

前 言

根据住房和城乡建设部《关于印发〈2010 年工程建设标准规范制订、修订计划〉的通知》(建标〔2010〕43 号)的要求,标准编制组经广泛调查研究,认真总结实践经验、参考有关国际标准和国外先进标准,并在广泛征求意见的基础上,修订本标准。

本标准共分 69 章和 4 个附录,主要技术内容是:总则、术语和符号、基本规定、试样制备和饱和、含水率试验、密度试验、比重试验、颗粒分析试验、界限含水率试验、崩解试验、毛管水上升高度试验、相对密度试验、击实试验、承载比试验、回弹模量试验、渗透试验、固结试验、黄土湿陷试验、三轴压缩试验、无侧限抗压强度试验、直接剪切试验、排水反复直接剪切试验、无黏性土休止角试验、自由膨胀率试验、膨胀率试验、收缩试验、膨胀力试验、土的静止测压力系数试验、振动三轴试验、共振柱试验、土的基床系数试验、冻土含水率试验、冻土密度试验、冻结温度试验、冻土导热系数试验、冻土的未冻含水率试验、冻胀率试验、冻土融化压缩试验、原位冻土融化压缩试验、原位冻胀率试验、原位密度试验、试坑渗透试验、原位直剪试验、十字板剪切试验、标准贯入试验、静力触探试验、动力触探试验、旁压试验、载荷试验、波速试验、化学分析试样风干含水率试验、酸碱度试验、易溶盐试验、中溶盐石膏试验、难溶盐碳酸钙试验、有机质试验、游离氧化铁试验、阳离子交换量试验、土的 X 射线衍射矿物成分试验、粗颗粒土的试样制备、粗颗粒土相对密度试验、粗颗粒土击实试验、粗颗粒土的渗透及渗透变形试验、反滤试验、粗颗粒土固结试验、粗颗粒土直接剪切试验、粗颗粒土三轴压缩试验、粗颗粒土三轴蠕变试验、粗颗粒土三轴湿化变形试验等。

本标准修订的主要内容是：

(1)增加了基本规定；

(2)增加了崩解试验、毛管水上升高度试验、无黏性土休止角试验、土的静止侧压力系数试验、振动三轴试验、共振柱试验、土的基床系数试验、冻土含水率试验、原位冻胀率试验、原位密度试验、试坑渗透试验、原位直剪试验、十字板剪切试验、标准贯入试验、静力触探试验、动力触探试验、旁压试验、载荷试验、波速试验、化学分析试样风干含水率试验、游离氧化铁试验、阳离子交换量试验、土的X射线衍射矿物成分试验、粗颗粒土的试样制备、粗颗粒土相对密度试验、粗颗粒土击实试验、粗颗粒土的渗透及渗透变形试验、反滤试验、粗颗粒土固结试验、粗颗粒土直接剪切试验、粗颗粒土三轴压缩试验、粗颗粒土三轴蠕变试验、粗颗粒土三轴湿化变形试验；

(3)补充完善了条文说明；

(4)删除了土的离心含水当量试验。

本标准由住房和城乡建设部负责管理，由水利部水利水电规划设计总院负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送水利部水利水电规划设计总院（地址：北京市西城区六铺炕北小街2-1号，邮政编码：100120）。

本标准主编单位、参编单位、主要起草人和主要审查人：

主 编 单 位：水利部水利水电规划设计总院

南京水利科学研究院

参 编 单 位：中国水利水电科学研究院

长江科学院

中国科学院寒区旱区环境与工程研究所冻土工程

国家重点实验室

西北农林科技大学（水利部西北水利科学研究所）

西安理工大学

中铁第一勘察设计院集团有限公司工程试验检测
中心

河海大学

长江岩土工程总公司(武汉)

中水东北勘测设计研究有限责任公司

主要起草人:蔡正银 王 芳 高长胜 何 宁 刘小生
龚壁卫 吴青柏 李 鹏 胡再强 凌 华
邓友生 王韞楠 朱俊高 李少雄 韩会生
曹 培 傅 华 高明霞 张延亿 李 杰
刘启旺 关云飞 郭 伟 曹永琅 蔡 红
左永振 李顺利 李小梅 黄英豪
主要审查人:饶锡保 陈德基 殷宗泽 路新景 盛树馨
辛鸿博 薛 强 汪明元 雷兴顺 冯 星
卞素珍 潘海利 江菊英

目 次

1	总 则	(1)
2	术语和符号	(2)
2.1	术语	(2)
2.2	符号	(3)
3	基本规定	(7)
4	试样制备和饱和	(8)
4.1	一般规定	(8)
4.2	仪器设备	(8)
4.3	扰动土试样预备程序	(9)
4.4	扰动土试样制备	(10)
4.5	原状土试样制备	(11)
4.6	试样饱和	(11)
4.7	计算和记录	(14)
5	含水率试验	(16)
5.1	一般规定	(16)
5.2	烘干法	(16)
5.3	酒精燃烧法	(17)
6	密度试验	(19)
6.1	一般规定	(19)
6.2	环刀法	(19)
6.3	蜡封法	(20)
7	比重试验	(22)
7.1	一般规定	(22)
7.2	比重瓶法	(22)

7.3	浮称法	(24)
7.4	虹吸筒法	(26)
8	颗粒分析试验	(29)
8.1	一般规定	(29)
8.2	筛析法	(29)
8.3	密度计法	(32)
8.4	移液管法	(41)
9	界限含水率试验	(44)
9.1	一般规定	(44)
9.2	液塑限联合测定法	(44)
9.3	碟式仪液限法	(47)
9.4	搓滚塑限法	(49)
9.5	缩限试验	(50)
10	崩解试验	(52)
11	毛管水上升高度试验	(54)
11.1	一般规定	(54)
11.2	直接观测法	(54)
11.3	土样管法	(55)
12	相对密度试验	(57)
12.1	一般规定	(57)
12.2	最小干密度试验	(57)
12.3	最大干密度试验	(59)
13	击实试验	(62)
13.1	一般规定	(62)
13.2	仪器设备	(62)
13.3	操作步骤	(64)
13.4	计算、制图和记录	(65)
14	承载比试验	(67)
14.1	一般规定	(67)

14.2	仪器设备	(67)
14.3	操作步骤	(70)
14.4	计算、制图和记录	(72)
15	回弹模量试验	(74)
15.1	一般规定	(74)
15.2	杠杆压力仪法	(74)
15.3	强度仪法	(77)
16	渗透试验	(79)
16.1	一般规定	(79)
16.2	常水头渗透试验	(79)
16.3	变水头渗透试验	(82)
17	固结试验	(85)
17.1	一般规定	(85)
17.2	标准固结试验	(85)
17.3	快速固结试验	(91)
17.4	应变控制加荷固结试验	(92)
18	黄土湿陷试验	(96)
18.1	一般规定	(96)
18.2	湿陷系数试验	(96)
18.3	自重湿陷系数试验	(97)
18.4	溶滤变形系数试验	(98)
18.5	湿陷起始压力试验	(98)
19	三轴压缩试验	(100)
19.1	一般规定	(100)
19.2	仪器设备	(100)
19.3	试样的制备和饱和	(106)
19.4	不固结不排水剪试验	(110)
19.5	固结不排水剪试验	(111)
19.6	固结排水剪试验	(113)

19.7	一个试样多级加荷试验	(113)
19.8	计算、制图和记录	(114)
20	无侧限抗压强度试验	(118)
20.1	一般规定	(118)
20.2	仪器设备	(118)
20.3	操作步骤	(119)
20.4	计算、制图和记录	(120)
21	直接剪切试验	(122)
21.1	一般规定	(122)
21.2	仪器设备	(122)
21.3	操作步骤	(123)
21.4	计算、制图和记录	(125)
22	排水反复直接剪切试验	(127)
22.1	一般规定	(127)
22.2	仪器设备	(127)
22.3	操作步骤	(127)
22.4	计算、制图和记录	(129)
23	无黏性土休止角试验	(131)
23.1	一般规定	(131)
23.2	仪器设备	(131)
23.3	操作步骤	(132)
23.4	计算和记录	(132)
24	自由膨胀率试验	(133)
24.1	一般规定	(133)
24.2	仪器设备	(133)
24.3	操作步骤	(133)
24.4	计算和记录	(134)
25	膨胀率试验	(136)
25.1	一般规定	(136)

25.2	无荷载膨胀率试验	(136)
25.3	有荷载膨胀率试验	(138)
26	收缩试验	(140)
26.1	一般规定	(140)
26.2	仪器设备	(140)
26.3	试验步骤	(141)
26.4	计算、制图和记录	(141)
27	膨胀力试验	(143)
27.1	一般规定	(143)
27.2	仪器设备	(143)
27.3	操作步骤	(143)
27.4	计算和记录	(144)
28	土的静止侧压力系数试验	(145)
28.1	一般规定	(145)
28.2	仪器设备	(145)
28.3	操作步骤	(146)
28.4	计算、制图和记录	(147)
29	振动三轴试验	(148)
29.1	一般规定	(148)
29.2	仪器设备	(148)
29.3	操作步骤	(149)
29.4	计算、制图和记录	(153)
30	共振柱试验	(158)
30.1	一般规定	(158)
30.2	仪器设备	(158)
30.3	操作步骤	(159)
30.4	计算、制图和记录	(162)
31	土的基床系数试验	(166)
31.1	一般规定	(166)

31.2	仪器设备	(166)
31.3	操作步骤	(166)
31.4	计算、制图和记录	(167)
32	冻土含水率试验	(168)
32.1	一般规定	(168)
32.2	烘干法	(168)
32.3	联合测定法	(169)
33	冻土密度试验	(172)
33.1	一般规定	(172)
33.2	浮称法	(172)
33.3	联合测定法	(174)
33.4	环刀法	(174)
33.5	充砂法	(175)
34	冻结温度试验	(177)
34.1	一般规定	(177)
34.2	仪器设备	(177)
34.3	操作步骤	(178)
34.4	计算、制图和记录	(179)
35	冻土导热系数试验	(180)
35.1	一般规定	(180)
35.2	仪器设备	(180)
35.3	操作步骤	(181)
35.4	计算和记录	(181)
36	冻土的未冻含水率试验	(183)
36.1	一般规定	(183)
36.2	仪器设备	(183)
36.3	操作步骤	(183)
36.4	计算、制图和记录	(183)
37	冻胀率试验	(185)

37.1	一般规定	(185)
37.2	仪器设备	(185)
37.3	操作步骤	(186)
37.4	计算和记录	(187)
38	冻土融化压缩试验	(188)
38.1	一般规定	(188)
38.2	仪器设备	(188)
38.3	操作步骤	(189)
38.4	计算、制图和记录	(190)
39	原位冻土融化压缩试验	(192)
39.1	一般规定	(192)
39.2	仪器设备	(192)
39.3	操作步骤	(193)
39.4	计算、制图和记录	(195)
40	原位冻胀率试验	(196)
40.1	一般规定	(196)
40.2	仪器设备	(196)
40.3	操作步骤	(197)
40.4	计算、制图和记录	(197)
41	原位密度试验	(199)
41.1	一般规定	(199)
41.2	灌砂法	(199)
41.3	灌水法	(202)
42	试坑渗透试验	(204)
42.1	一般规定	(204)
42.2	仪器设备	(204)
42.3	操作步骤	(205)
42.4	计算和记录	(205)
43	原位直剪试验	(207)

43.1	一般规定	(207)
43.2	仪器设备	(207)
43.3	操作步骤	(207)
43.4	计算、制图和记录	(209)
44	十字板剪切试验	(211)
44.1	一般规定	(211)
44.2	电测式十字板剪切试验	(211)
44.3	机械式十字板剪切试验	(214)
45	标准贯入试验	(218)
45.1	一般规定	(218)
45.2	仪器设备	(218)
45.3	操作步骤	(219)
45.4	计算、制图和记录	(220)
46	静力触探试验	(221)
46.1	一般规定	(221)
46.2	仪器设备	(221)
46.3	操作步骤	(225)
46.4	计算、制图和记录	(227)
47	动力触探试验	(229)
47.1	一般规定	(229)
47.2	仪器设备	(229)
47.3	操作步骤	(231)
47.4	计算、制图和记录	(232)
48	旁压试验	(234)
48.1	一般规定	(234)
48.2	仪器设备	(234)
48.3	操作步骤	(235)
48.4	计算、制图和记录	(238)
49	载荷试验	(241)

49.1	一般规定	(241)
49.2	平板载荷试验	(241)
49.3	黄土浸水载荷试验	(247)
49.4	螺旋板载荷试验	(249)
50	波速试验	(255)
50.1	一般规定	(255)
50.2	仪器设备	(255)
50.3	操作步骤	(256)
50.4	计算、制图和记录	(259)
51	化学分析试样风干含水率试验	(262)
51.1	一般规定	(262)
51.2	仪器设备	(262)
51.3	操作步骤	(262)
51.4	计算和记录	(263)
52	酸碱度试验	(264)
52.1	一般规定	(264)
52.2	仪器设备和试剂	(264)
52.3	操作步骤和记录	(265)
53	易溶盐试验	(266)
53.1	一般规定	(266)
53.2	浸出液制取	(266)
53.3	易溶盐总量测定(质量法)	(266)
53.4	碳酸根(CO_3^{2-})及重碳酸根(HCO_3^-)的测定(双指示剂中和 滴定法)	(268)
53.5	氯离子(Cl^-)的测定(硝酸银滴定法)	(270)
53.6	硫酸根(SO_4^{2-})的测定(EDTA 络合滴定法或比浊法)	(272)
53.7	钙离子(Ca^{2+})的测定(EDTA 法)	(277)
53.8	镁离子(Mg^{2+})的测定(钙镁含量滴定法)	(278)
53.9	钠离子(Na^+)和钾离子(K^+)的测定(火焰光度法)	(279)

54	中溶盐石膏试验	(282)
54.1	一般规定	(282)
54.2	仪器设备和试剂	(282)
54.3	操作步骤	(282)
54.4	计算和记录	(283)
55	难溶盐碳酸钙试验	(285)
55.1	一般规定	(285)
55.2	简易碱吸收容量法	(285)
55.3	气量法	(287)
56	有机质试验	(292)
56.1	一般规定	(292)
56.2	仪器设备和试剂	(292)
56.3	操作步骤	(293)
56.4	计算和记录	(294)
57	游离氧化铁试验	(295)
57.1	一般规定	(295)
57.2	仪器设备和试剂	(295)
57.3	操作步骤	(296)
57.4	计算	(297)
58	阳离子交换量试验	(299)
58.1	一般规定	(299)
58.2	氯化钡缓冲液法	(299)
58.3	$1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸铵交换法	(301)
58.4	乙酸钠-火焰光度法	(305)
59	土的 X 射线衍射矿物成分试验	(307)
59.1	一般规定	(307)
59.2	仪器设备和试剂	(307)
59.3	操作步骤	(308)
59.4	数据整理、鉴定和记录	(311)

60	粗颗粒土的试样制备	(317)
60.1	一般规定	(317)
60.2	仪器设备	(317)
60.3	操作步骤	(317)
60.4	计算和记录	(319)
61	粗颗粒土相对密度试验	(321)
61.1	一般规定	(321)
61.2	仪器设备	(321)
61.3	操作步骤	(322)
61.4	计算和记录	(324)
62	粗颗粒土击实试验	(326)
62.1	一般规定	(326)
62.2	仪器设备	(326)
62.3	操作步骤	(327)
62.4	计算、制图和记录	(329)
63	粗颗粒土的渗透及渗透变形试验	(330)
63.1	一般规定	(330)
63.2	仪器设备	(330)
63.3	操作步骤	(332)
63.4	计算、制图和记录	(334)
64	反滤试验	(337)
64.1	一般规定	(337)
64.2	无黏性土的反滤试验	(337)
64.3	黏性土的反滤试验	(339)
65	粗颗粒土固结试验	(341)
65.1	一般规定	(341)
65.2	仪器设备	(341)
65.3	操作步骤	(342)
65.4	计算、制图和记录	(343)

66	粗颗粒土直接剪切试验	(344)
66.1	一般规定	(344)
66.2	仪器设备	(344)
66.3	操作步骤	(345)
66.4	计算、制图和记录	(347)
67	粗颗粒土三轴压缩试验	(349)
67.1	一般规定	(349)
67.2	仪器设备	(349)
67.3	无黏性粗颗粒土三轴压缩试验	(350)
67.4	黏质粗颗粒土三轴压缩试验	(354)
67.5	计算、制图和记录	(356)
68	粗颗粒土三轴蠕变试验	(357)
68.1	一般规定	(357)
68.2	仪器设备	(357)
68.3	操作步骤	(357)
68.4	计算、制图和记录	(358)
69	粗颗粒土三轴湿化变形试验	(360)
69.1	一般规定	(360)
69.2	仪器设备	(360)
69.3	操作步骤	(361)
69.4	计算、制图和记录	(362)
附录 A	试验资料的整理与试验报告	(364)
附录 B	土样的要求与管理	(367)
附录 C	土的工程分类	(371)
附录 D	各项试验记录表	(374)
	本标准用词说明	(479)
	引用标准名录	(480)

Contents

1	General provisions	(1)
2	Terms and symbols	(2)
2.1	Terms	(2)
2.2	Symbols	(3)
3	Basic requirements	(7)
4	Preparation and saturation of test specimens	(8)
4.1	General requirements	(8)
4.2	Instruments and equipments	(8)
4.3	Disturbed soil sample preparation procedures	(9)
4.4	Disturbed soil specimen preparation	(10)
4.5	Undisturbed sample preparation	(11)
4.6	Sample saturated	(11)
4.7	Calculate and record	(14)
5	Water content test	(16)
5.1	General requirements	(16)
5.2	Drying method	(16)
5.3	Alcohol burning method	(17)
6	Density test	(19)
6.1	General requirements	(19)
6.2	Ring knife method	(19)
6.3	Wax sealing method	(20)
7	Specific gravity test	(22)
7.1	General requirements	(22)
7.2	Pycnometer method	(22)

7.3	Floating method	(24)
7.4	Siphon cylinder method	(26)
8	Grain distribution analysis test	(29)
8.1	General requirements	(29)
8.2	Sieve analysis method	(29)
8.3	Densimeter method	(32)
8.4	Pipette method	(41)
9	Limit water content test	(44)
9.1	General requirements	(44)
9.2	Liquid and plastic limit water content joint measurement	(44)
9.3	Disc type liquid limit method	(47)
9.4	Rolling method of plastic limit	(49)
9.5	Shrinkage limit test	(50)
10	Disintegration test	(52)
11	Capillary lift test	(54)
11.1	General requirements	(54)
11.2	Observation method	(54)
11.3	Sample tube method	(55)
12	Relative density test	(57)
12.1	General requirements	(57)
12.2	The minimum dry density test	(57)
12.3	The maximum dry density test	(59)
13	Compaction test	(62)
13.1	General requirements	(62)
13.2	Instruments and equipments	(62)
13.3	Operation steps	(64)
13.4	Calculate, drawing and record	(65)
14	California bearing ratio test	(67)
14.1	General requirements	(67)

14.2	Instruments and equipments	(67)
14.3	Operation steps	(70)
14.4	Calculate, drawing and record	(72)
15	Modulus of resilience test	(74)
15.1	General requirements	(74)
15.2	Lever pressure gauge method	(74)
15.3	Intensity method	(77)
16	Permeability test	(79)
16.1	General requirements	(79)
16.2	Constant water head method	(79)
16.3	Variable water head method	(82)
17	Consolidation test	(85)
17.1	General requirements	(85)
17.2	Standard consolidation test	(85)
17.3	Rapid consolidation test	(91)
17.4	Strain control loading consolidation test	(92)
18	Loess collapse test	(96)
18.1	General requirements	(96)
18.2	The collapsibility coefficient test	(96)
18.3	The gravity collapsibility coefficient test	(97)
18.4	Leached deformation coefficient test	(98)
18.5	The initial collapse pressure test	(98)
19	Triaxial compression test	(100)
19.1	General requirements	(100)
19.2	Instruments and equipments	(100)
19.3	Sample preparatin and saturation	(106)
19.4	Undrained and unconsolidation shear test	(110)
19.5	Undrained and consolidation shear test	(111)
19.6	Drained and consolidation shear test	(113)

19.7	Multistage loading test	(113)
19.8	Calculate, drawing and record	(114)
20	Unconfined compression test	(118)
20.1	General requirements	(118)
20.2	Instruments and equipments	(118)
20.3	Operation steps	(119)
20.4	Calculate, drawing and record	(120)
21	Direct shear test	(122)
21.1	General requirements	(122)
21.2	Instruments and equipments	(122)
21.3	Operation steps	(123)
21.4	Calculate, drawing and record	(125)
22	Drained repeated direct shear test	(127)
22.1	General requirements	(127)
22.2	Instruments and equipments	(127)
22.3	Operation steps	(127)
22.4	Calculate, drawing and record	(129)
23	Angle of repose test of cohesionless soil	(131)
23.1	General requirements	(131)
23.2	Instruments and equipments	(131)
23.3	Operation steps	(132)
23.4	Calculate, drawing and record	(132)
24	Free swell test	(133)
24.1	General requirements	(133)
24.2	Instruments and equipments	(133)
24.3	Operation steps	(133)
24.4	Calculate and record	(134)
25	Swelling ratio test	(136)
25.1	General requirements	(136)

25.2	No loading swelling ratio test	(136)
25.3	Loading swelling ratio test	(138)
26	Shrinkage test	(140)
26.1	General requirements	(140)
26.2	Instruments and equipments	(140)
26.3	Operation steps	(141)
26.4	Calculate, drawing and record	(141)
27	Swelling force test	(143)
27.1	General requirements	(143)
27.2	Instruments and equipments	(143)
27.3	Operation steps	(143)
27.4	Calculate and record	(144)
28	Coefficient of earth pressure at rest test	(145)
28.1	General requirements	(145)
28.2	Instruments and equipments	(145)
28.3	Operation steps	(146)
28.4	Calculate, drawing and record	(147)
29	Dynamic triaxial test	(148)
29.1	General requirements	(148)
29.2	Instruments and equipments	(148)
29.3	Operation steps	(149)
29.4	Calculate, drawing and record	(153)
30	Resonant column triaxial test	(158)
30.1	General requirements	(158)
30.2	Instruments and equipments	(158)
30.3	Operation steps	(159)
30.4	Calculate, drawing and record	(162)
31	Foundation modulus test of soil	(166)
31.1	General requirements	(166)

31.2	Instruments and equipments	(166)
31.3	Operation steps	(166)
31.4	Calculate, drawing and record	(167)
32	Frozen soil water content test	(168)
32.1	General requirements	(168)
32.2	Drying method	(168)
32.3	Joint measurement	(169)
33	Frozen soil density test	(172)
33.1	General requirements	(172)
33.2	Floating method	(172)
33.3	Joint measurement	(174)
33.4	Ring knife method	(174)
33.5	Sand filling method	(175)
34	Freezing temperature test	(177)
34.1	General requirements	(177)
34.2	Instruments and equipments	(177)
34.3	Operation steps	(178)
34.4	Calculate, drawing and record	(179)
35	Frozen soil coefficient of thermal conductivity test	(180)
35.1	General requirements	(180)
35.2	Instruments and equipments	(180)
35.3	Operation steps	(181)
35.4	Calculate and record	(181)
36	Unfrozen water content test	(183)
36.1	General requirements	(183)
36.2	Instruments and equipments	(183)
36.3	Operation steps	(183)
36.4	Calculate, drawing and record	(183)
37	Frost-heave ratio test	(185)

37.1	General requirements	(185)
37.2	Instruments and equipments	(185)
37.3	Operation steps	(186)
37.4	Calculate and record	(187)
38	Frozen soil thaw compression test	(188)
38.1	General requirements	(188)
38.2	Instruments and equipments	(188)
38.3	Operation steps	(189)
38.4	Calculate, drawing and record	(190)
39	In-situ frozen soil thaw compression test	(192)
39.1	General requirements	(192)
39.2	Instruments and equipments	(192)
39.3	Operation steps	(193)
39.4	Calculate, drawing and record	(195)
40	In-situ frost-heave test	(196)
40.1	General requirements	(196)
40.2	Instruments and equipments	(196)
40.3	Operation steps	(197)
40.4	Calculate, drawing and record	(197)
41	In-situ density test	(199)
41.1	General requirements	(199)
41.2	Sand filling method	(199)
41.3	Water filling method	(202)
42	Pit permeability test	(204)
42.1	General requirements	(204)
42.2	Instruments and equipments	(204)
42.3	Operation steps	(205)
42.4	Calculate and record	(205)
43	In-situ direct shear test	(207)

43.1	General requirements	(207)
43.2	Instruments and equipments	(207)
43.3	Operation steps	(207)
43.4	Calculate, drawing and record	(209)
44	Vane shear test	(211)
44.1	General requirements	(211)
44.2	Electrical vane shear test	(211)
44.3	Mechanical vane shear test	(214)
45	Standard penetration test	(218)
45.1	General requirements	(218)
45.2	Instruments and equipments	(218)
45.3	Operation steps	(219)
45.4	Calculate, drawing and record	(220)
46	Cone penetration test	(221)
46.1	General requirements	(221)
46.2	Instruments and equipments	(221)
46.3	Operation steps	(225)
46.4	Calculate, drawing and record	(227)
47	Dynamic penetration test	(229)
47.1	General requirements	(229)
47.2	Instruments and equipments	(229)
47.3	Operation steps	(231)
47.4	Calculate, drawing and record	(232)
48	Pressure meter test	(234)
48.1	General requirements	(234)
48.2	Instruments and equipments	(234)
48.3	Operation steps	(235)
48.4	Calculate, drawing and record	(238)
49	Plate loading test	(241)

49.1	General requirements	(241)
49.2	Plate loading test	(241)
49.3	The loess immersion loading test	(247)
49.4	Spiral plate loading test	(249)
50	Wave velocity test	(255)
50.1	General requirements	(255)
50.2	Instruments and equipments	(255)
50.3	Operation steps	(256)
50.4	Calculate, drawing and record	(259)
51	Chemical analysis specimens air-dried water content test	(262)
51.1	General requirements	(262)
51.2	Instruments and equipments	(262)
51.3	Operation steps	(262)
51.4	Calculate and record	(263)
52	Acidity and alkalinity test	(264)
52.1	General requirements	(264)
52.2	Equipments and reagents	(264)
52.3	Operation steps and record	(265)
53	Strongly soluble salt test	(266)
53.1	General requirements	(266)
53.2	Make leach liquor	(266)
53.3	Total soluble salt determination	(266)
53.4	CO_3^{2-} and HCO_3^- determination	(268)
53.5	Cl^- determination	(270)
53.6	SO_4^{2-} determination	(272)
53.7	Ca^{2+} determination	(277)
53.8	Mg^{2+} determination	(278)
53.9	Na^+ and K^+ determination	(279)

54	Moderately soluble salt test	(282)
54.1	General requirements	(282)
54.2	Equipments and reagents	(282)
54.3	Operation steps	(282)
54.4	Calculate and record	(283)
55	Slightly soluble salt test	(285)
55.1	General requirements	(285)
55.2	Simple alkali absorption capacity method	(285)
55.3	Gas volume method	(287)
56	Organicmatter test	(292)
56.1	General requirements	(292)
56.2	Equipments and reagents	(292)
56.3	Operation steps	(293)
56.4	Calculate and record	(294)
57	Free ferric oxide test	(295)
57.1	General requirements	(295)
57.2	Equipments and reagents	(295)
57.3	Operation steps	(296)
57.4	Calculate	(297)
58	Cation exchange test	(299)
58.1	General requirements	(299)
58.2	Barium chloride buffer method	(299)
58.3	$1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ ammonium acetate exchange method	(301)
58.4	Sodium acetate-flame photometry	(305)
59	Mineralogical composition of soil byX-ray diffraction test	(307)
59.1	General requirements	(307)
59.2	Equipments and reagents	(307)
59.3	Operation steps	(308)

59.4	Data sorting, identification and record	(311)
60	Preparation of coarse-grained soil specimens	(317)
60.1	General requirements	(317)
60.2	Instruments and equipments	(317)
60.3	Operation steps	(317)
60.4	Calculate and record	(319)
61	Relative density test of coarse-grained soil	(321)
61.1	General requirements	(321)
61.2	Instruments and equipments	(321)
61.3	Operation steps	(322)
61.4	Calculate and record	(324)
62	Compaction test of coarse-grained soil	(326)
62.1	General requirements	(326)
62.2	Instruments and equipments	(326)
62.3	Operation steps	(327)
62.4	Calculate, drawing and record	(329)
63	Permeability and filtration erosion test of coarse-grained soil	(330)
63.1	General requirements	(330)
63.2	Instruments and equipments	(330)
63.3	Operation steps	(332)
63.4	Calculate, drawing and record	(334)
64	Filter test	(337)
64.1	General requirements	(337)
64.2	Filter test of cohesionless soil	(337)
64.3	Filter test of cohesion soil	(339)
65	Consolidation test of coarse-grained soil	(341)
65.1	General requirements	(341)
65.2	Instruments and equipments	(341)

65.3	Operation steps	(342)
65.4	Calculate, drawing and record	(343)
66	Direct shear test of coarse-grained soil	(344)
66.1	General requirements	(344)
66.2	Instruments and equipments	(344)
66.3	Operation steps	(345)
66.4	Calculate, drawing and record	(347)
67	Triaxial compression test of coarse-grained soil	(349)
67.1	General requirements	(349)
67.2	Instruments and equipments	(349)
67.3	Triaxial compression test of cohesionless coarse-grained soil	(350)
67.4	Triaxial compression test of cohesion coarse-grained soil	(354)
67.5	Calculate, drawing and record	(356)
68	Triaxial rheological test of coarse-grained soil	(357)
68.1	General requirements	(357)
68.2	Instruments and equipments	(357)
68.3	Operation steps	(357)
68.4	Calculate, drawing and record	(358)
69	Triaxial slaking test of coarse-grained soil	(360)
69.1	General requirements	(360)
69.2	Instruments and equipments	(360)
69.3	Operation steps	(361)
69.4	Calculate, drawing and record	(362)
Appendix A	Test data collation and report	(364)
Appendix B	Requirements and management of soil sample	(367)
Appendix C	Engineering classification of soil	(371)

Appendix D Test records	(374)
Explanation of wording in this standard	(479)
List of quoted standards	(480)

1 总 则

1.0.1 为测定土的基本工程性质,统一试验方法,制定本标准。

1.0.2 本标准适用于工业和民用建筑、水利水电、交通、电力等建设工程的地基土及填筑土料的基本工程性质试验。

1.0.3 土工试验资料的整理,应通过对样本(试验测得的数据)的研究来估计土体单元特征及其变化的规律,使土工试验的成果为工程设计和施工提供准确可靠的土性指标。试验成果的分析整理应按本标准附录 A 进行。

1.0.4 土样的要求与管理应符合本标准附录 B 的规定,土的分类应符合本标准附录 C 的规定。

1.0.5 土工试验方法除应符合本标准外,尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 干比重 dry specific gravity

土在 105℃~110℃下烘至恒值时的质量与相当于土粒总体积的纯水 4℃时纯水质量的比值,土粒总体积包括土的固体颗粒、封闭型孔隙及开敞型孔隙组成的全部体积。

2.1.2 吸着含水率 absorbed water content

土粒在饱和面干状态时所含的水的质量与干土质量比,以百分数表示。

2.1.3 土的泊松比 poisson's ratio of soil

土在无侧限条件下加载时径向应变与竖向应变的比值。

2.1.4 主固结 primary consolidation

饱和土受压力后,随孔隙水的排出孔隙水压力逐渐消散至零,有效应力相应增加,体积逐渐减小的过程。

2.1.5 次固结 secondary consolidation

饱和黏性土在完成主固结后,土体积仍随时间减小的过程。

2.1.6 次固结系数 coefficient of secondary consolidation

土体主固结完成进入次固结后固结曲线的斜率,反映土体次固结速率的指标。

2.1.7 粗颗粒土 coarse-grained soil

粒径 5mm 以上土的质量大于总质量 50% 的粗粒土。

2.1.8 动三轴试验 dynamic triaxial test

在试验仪器压力室内,以一定围压或偏压使土样固结后施加动荷载以确定土的动强度、动弹性模量与阻尼以及液化势的试验。

2.1.9 原位测试 in-situ testing

在岩土体原来所处的位置,基本保持岩土体的结构、含水率和原位应力状态,直接或间接地测定岩土的工程特性。

2.1.10 载荷试验 plate loading test

用一定尺寸的承压板,对岩、土体施加竖向荷载,同时量测承压板沉降,以研究岩、土体在荷载作用下的变形特征,测定岩、土体承载力和变形模量等的原位试验。分为平板载荷试验和螺旋板载荷试验。

2.1.11 旁压试验 pressuremeter test(PMT)

利用可侧向膨胀的旁压仪,在钻孔中对孔壁施加径向压力,根据压力与变形关系测定岩土临塑压力、极限压力、旁压模量等参数的原位测试,又称横压试验。

2.1.12 波速测试 wave velocity testing

根据压缩波、剪切波或瑞利波在岩土体内的传播速度,间接测定岩土体在小应变条件下动弹性模量的原位测试。

2.1.13 纯水 pure water

脱气水或离子交换水。

2.2 符 号

2.2.1 物理性指标:

C_c ——曲率系数;

C_u ——不均匀系数;

D_r ——相对密度;

e ——孔隙比;

G_s ——土粒比重;

G'_s ——干比重;

I_D ——密度指数;

I_L ——液性指数;

I_P ——塑性指数;

S_r ——饱和度;

w ——含水率；
 w_f ——冻土含水率；
 w_{fn} ——冻土的未冻含水率；
 w_L ——液限；
 w_P ——塑限；
 w_{op} ——最优含水率；
 w_s ——缩限；
 W_o ——有机质含量；
 ρ ——土的湿密度；
 ρ_f ——冻土密度；
 ρ_d ——土的干密度；
 ρ_{fd} ——冻土干密度；
 α_c ——风干状态下休止角；
 α_m ——水下休止角。

2.2.2 力学性指标：

A_f ——试样破坏时孔隙水压力系数；
 A_t ——试样在时间 t 时的崩解量；
 a_{f0} ——冻土融沉系数；
 a_{fv} ——冻土融化压缩系数；
 a_v ——压缩系数；
 B ——试样初始孔隙水压力系数；
 B_i ——初始切线体积模量；
 c ——黏聚力；
 C_c ——压缩指数；
 C_b ——径向固结系数；
 C_s ——回弹指数；
 C_v ——固结系数；
 C_α ——次固结系数；
 CBR ——承载力；

E_c ——回弹模量；
 E_d ——动弹性模量；
 E_i ——初始切线模量；
 E_s ——压缩模量；
 E_m ——旁压模量；
 E_{sc} ——螺旋板试验土的变形模量；
 G_d ——动剪切模量；
 K ——基床系数；
 K_t ——切线体积变形模量；
 K_0 ——静止侧压力系数；
 k_{20} ——标准温度 20℃ 时的渗透系数；
 m_v ——体积压缩系数；
 p_c ——先期固结压力；
 p_c ——膨胀力；
 p_{sh} ——湿陷起始压力；
 q_u ——无侧限抗压强度；
 R_t ——破坏比；
 S ——抗剪强度；
 S_t ——灵敏度；
 u ——孔隙水压力；
 δ_e ——无荷载膨胀率；
 δ_{ef} ——自由膨胀率；
 δ_{ep} ——有荷载膨胀率；
 δ_s ——湿陷系数；
 δ_t ——时间 t 时的无荷载膨胀率；
 δ_{wt} ——溶滤湿陷系数；
 δ_{zs} ——自重湿陷系数；
 η_f ——冻胀率；
 λ ——阻尼比；

λ_s ——收缩系数；
 μ_i ——初始切线泊松比；
 σ ——正应力；
 τ ——剪应力；
 φ ——摩擦角。

2.2.3 热学指标：

T ——温度；
 T_f ——冻结温度；
 λ_f ——导热系数。

2.2.4 化学性指标：

$b(x)$ ——物质 x 的质量摩尔浓度；
 $C(x)$ ——溶液 x 的浓度；
 $\omega(x)$ ——物质 x 的含量；
 CEC ——阳离子交换量；
 $O. M.$ ——土壤有机质含量。

3 基本规定

3.0.1 本标准所用的仪器设备应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的有关规定,并应进行检定或校准。

3.0.2 本标准试验用水,除特殊要求外均应为纯水。

3.0.3 本标准试验用试剂,除特殊要求外应为国家标准二级品或以上等级的试剂。

4 试样制备和饱和

4.1 一般规定

- 4.1.1 试样制备的扰动土和原状土的颗粒粒径应小于 60mm。
- 4.1.2 制备特殊试样的程序应符合有关试验的规定。
- 4.1.3 试样制备的数量视试验需要而定,应多制备 1 个~2 个备用。原状土样同一组试样的密度最大允许差值应为 $\pm 0.03\text{g/cm}^3$,含水率最大允许差值应为 $\pm 2\%$;扰动土样制备试样密度、含水率与制备标准之间最大允许差值应分别为 $\pm 0.02\text{g/cm}^3$ 与 $\pm 1\%$;扰动土平行试验或一组内各试样之间最大允许差值应分别为 $\pm 0.02\text{g/cm}^3$ 与 $\pm 1\%$ 。
- 4.1.4 扰动土试样的制备视工程实际情况可分别采用击样法、击实法和压样法。

4.2 仪器设备

- 4.2.1 制备试样需用的主要仪器设备应符合下列规定:
- 1 筛:孔径 20mm、5mm、2mm、0.5mm;
 - 2 洗筛:孔径 0.075mm;
 - 3 台秤:称量 10kg~40kg,分度值 5g;
 - 4 天平:称量 1000g,分度值 0.1g;称量 200g,分度值 0.01g;
 - 5 碎土器:磨土机;
 - 6 击实器:包括活塞、导筒和环刀;
 - 7 抽气机(附真空表);
 - 8 饱和器(附金属或玻璃的真空缸)。
- 4.2.2 制备试样需用的其他设备:烘箱、干燥器、保湿器、研钵、木锤、木碾、橡皮板、玻璃瓶、玻璃缸、修土刀、钢丝锯、凡士林、土样标

签及盛土器。

4.3 扰动土试样预备程序

4.3.1 细粒土试样预备程序应符合下列规定：

1 对扰动土试样进行描述,描述内容可包括颜色、土类、气味及夹杂物;当有需要时,将扰动土充分拌匀,取代表性土样进行含水率测定。

2 将块状扰动土放在橡皮板上用木碾或利用碎土器碾散,碾散时勿压碎颗粒;当含水率较大时,可先风干至易碾散为止。

3 根据试验所需试样数量,将碾散后的土样过筛。过筛后用四分对角取样法或分砂器,取出足够数量的代表性试样装入玻璃缸内,试样应有标签,标签内容应包括任务单号、土样编号、过筛孔径、用途、制备日期和试验人员,以备各项试验之用。对风干土,应测定风干含水率。

4 配制一定含水率的试样,取过筛的风干土 1kg~5kg,平铺在不吸水的盘内,按本标准式(4.7.2)计算所需的加水量,用喷雾器喷洒预计的加水量,静置一段时间,装入玻璃缸内密封,润湿一昼夜备用,砂性土润湿时间可酌情减短。

5 测定湿润土样不同位置的含水率,取样点不应少于 2 个,最大允许差值应为 $\pm 1\%$ 。

6 对不同土层的土样制备混合土试样时,应根据各土层厚度,按权数计算相应的质量配合,然后应按本标准第 4.3.1 条第 1 款~第 4 款的规定进行扰动土的预备工作。

4.3.2 粗粒土试样预备程序应符合下列规定：

1 对砂及砂砾土,可按四分法或分砂器细分土样。取足够试验用的代表性土试样供颗粒分析试验用,其余过 5mm 筛。筛上和筛下土样分别贮存,供做比重及相对密度等试验用。取一部分过 2mm 筛的试样供做直剪、固结力学性试验用。

2 当有部分黏土依附在砂砾石表面时,先用水浸泡,将浸泡

过的土样在 2mm 筛上冲洗,取筛上及筛下代表性的试样供做颗粒分析试验用。

3 将冲洗下来的土浆风干至易碾散为止,应按本标准第 4.3.1 条第 2 款~第 4 款的规定进行预备工作。

4.4 扰动土试样制备

4.4.1 扰动土试样的制备,根据工程实际情况可分别采用击样法、击实法和压样法。

4.4.2 击样法应按下列步骤进行:

1 根据模具的容积及所要求的干密度、含水率,应按本标准式(4.7.1)、式(4.7.2)计算的用量制备湿土试样;

2 将湿土倒入模具内,并固定在底板上的击实器内,用击实方法将土击入模具内;

3 称取试样质量,应符合本标准第 4.1.3 条的规定。

4.4.3 击实法应按下列步骤进行:

1 根据试样所要求的干密度、含水率,应按本标准式(4.7.1)、式(4.7.2)计算的用量制备湿土试样。

2 应按本标准第 13.3.1 条、第 13.3.2 条的规定,将土样击实到所需的密度,用推土器推出。

3 将试验用的切土环刀内壁涂一薄层凡士林,刃口向下,放在土样上。用切土刀将土样切削成稍大于环刀直径的土柱。然后将环刀垂直向下压,边压边削,至土样伸出环刀为止。削去两端余土并修平。擦净环刀外壁,称环刀、土总量,准确至 0.1g,并应测定环刀两端削下土样的含水率,应符合本标准第 4.1.3 条的规定。

4.4.4 压样法应按下列步骤进行:

1 应按本标准第 4.4.2 条第 1 款的规定制备湿土试样,称出所需的湿土量。将湿土倒入压样器内,拂平土样表面,以静压力将土压入。

2 称取试样质量,并应符合本标准第 4.1.3 条的规定。

4.4.5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.1 的规定。

4.5 原状土试样制备

4.5.1 应小心开启原状土样包装皮,辨别土样上下和层次,整平土样两端。无特殊要求时,切土方向应与天然层次垂直。

4.5.2 应按本标准第 4.4.3 条第 3 款的操作步骤执行,切取试样,试样与环刀应密合。

4.5.3 切削过程中,应细心观察土样的情况,并应描述土样的层次、气味、颜色,同时记录土样有无杂质、土质是否均匀、有无裂缝等情况。

4.5.4 切取试样后剩余的原状土样,应用蜡纸包好置于保湿器内,以备补做试验之用;切削的余土做物理性试验。

4.5.5 应视试样本身及工程要求,决定试样是否进行饱和,当不立即进行试验或饱和时,应将试样暂存于保湿器内。

4.5.6 原状土开土记录格式应符合本标准附录 D 表 D.2 的规定。

4.6 试样饱和

4.6.1 试样饱和方法视土样的透水性能,可选用浸水饱和法、毛管饱和法及真空抽气饱和法。

1 砂土可直接在仪器内浸水饱和;

2 较易透水的细粒土,渗透系数大于 1×10^{-4} cm/s 时,宜采用毛管饱和法;

3 不易透水的细粒土,渗透系数小于 1×10^{-4} cm/s 时,宜采用真空饱和法;当土的结构性较弱时,抽气可能发生扰动者,不宜采用真空饱和法。

4.6.2 毛管饱和法应按下列步骤进行:

1 选用框式饱和器(图 4.6.2),在装有试样的环刀两面贴放滤纸,再放两块大于环刀的透水板于滤纸上,通过框架两端的螺丝将透水板、环刀夹紧;

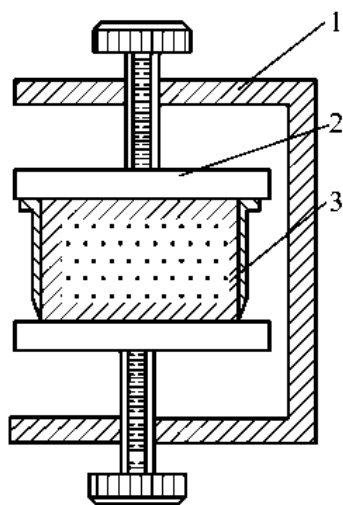


图 4.6.2 框式饱和器

1—框架;2—透水板;3—环刀

2 将装好试样的饱和器放入水箱中,注入清水,水面不宜将试样淹没;

3 关上箱盖,防止水分蒸发,借土的毛细管作用使试样饱和,约需 3d;

4 试样饱和后,取出饱和器,松开螺丝,取出环刀,擦干外壁,吸去表面积水,取下试样上下滤纸,称环刀、土总量,准确至 0.1g,应按本标准式(4.7.5)计算饱和度;

5 如饱和度小于 95%时,将环刀再装入饱和器,浸入水中延长饱和时间直至满足要求。

4.6.3 真空饱和法应按下列步骤进行:

1 选用重叠式饱和器(图 4.6.3-1)或框式饱和器,在重叠式饱和器下板正中放置稍大于环刀直径的透水板和滤纸,将装有试样的环刀放在滤纸上,试样上再放一张滤纸和一块透水板,以此顺序由下向上重叠至拉杆的高度,将饱和器上夹板放在最上部透水板上,旋紧拉杆上端的螺丝,将各个环刀在上下夹板间夹紧;

2 装好试样的饱和器放入真空缸内(图 4.6.3-2),盖上缸盖,盖缝内应涂一薄层凡士林,以防漏气;

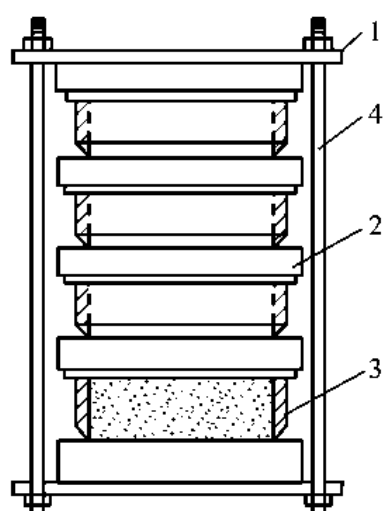


图 4.6.3-1 重叠式饱和器

1—夹板；2—透水板；3—环刀；4—拉杆

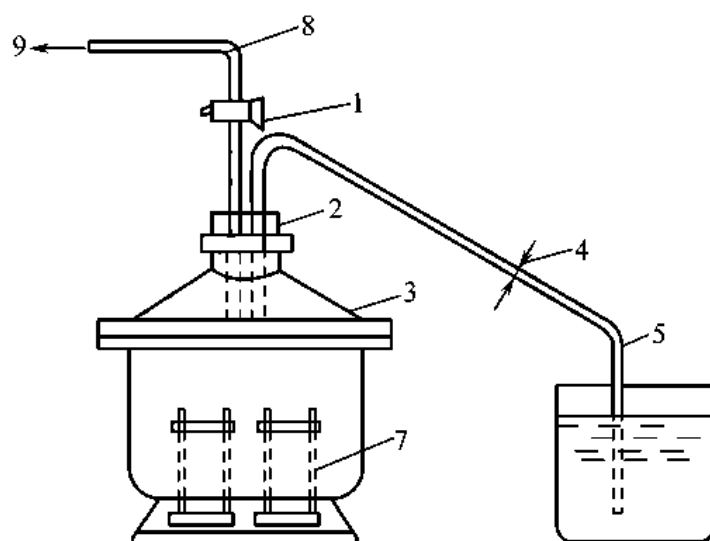


图 4.6.3-2 真空缸

1—二通阀；2—橡皮塞；3—真空缸；4—管夹；

5—引水管；7—饱和器；8—排气管；9—接抽气机

3 关管夹、开二通阀，将抽气机与真空缸接通，开动抽气机，抽除缸内及土中气体，当真空表接近 -100kPa 后，继续抽气，黏质土约 1h ，粉质土约 0.5h 后，稍微开启管夹，使清水由引水管徐徐注入真空缸内；在注水过程中，应调节管夹，使真空表上的数值基本上保持不变；

4 待饱和器完全淹没水中后即停止抽气，将引水管自水缸中

提出,开管夹令空气进入真空缸内,静置一定时间,细粒土宜为10h,使试样充分饱和;

5 应按本标准第4.6.2条第4款的规定取出试样,称量,计算饱和度。

4.7 计算和记录

4.7.1 干土质量应按下式计算:

$$m_d = \frac{m_0}{1 + 0.01w_0} \quad (4.7.1)$$

式中: m_d ——干土质量(g);

m_0 ——风干土质量(或天然湿土质量)(g);

w_0 ——风干含水率(或天然含水率)(%)。

4.7.2 土样制备含水率所加水量应按下式计算:

$$m_w = \frac{m_0}{1 + 0.01w_0} \times 0.01(w' - w_0) \quad (4.7.2)$$

式中: m_w ——土样所需加水质量(g);

w' ——土样所要求的含水率(%)。

4.7.3 制备扰动土试样所需总土质量应按下式计算:

$$m_0 = (1 + 0.01w_0)\rho_d V \quad (4.7.3)$$

式中: ρ_d ——制备试样所要求的干密度(g/cm³);

V ——计算出击实土样体积或压样器所用环刀容积(cm³)。

4.7.4 制备扰动土样应增加的水量应按下式计算:

$$\Delta m_w = 0.01(w' - w_0)\rho_d V \quad (4.7.4)$$

式中: Δm_w ——制备扰动土样应增加的水量(g)。

4.7.5 饱和度应按下式计算:

$$S_r = \frac{(\rho - \rho_d)G_s}{e\rho_d} \times 100 \text{ 或 } S_r = \frac{wG_s}{e} \quad (4.7.5)$$

式中: S_r ——饱和度(%);

ρ ——饱和后的密度(g/cm³);

G_s ——土粒比重;

e ——土的孔隙比；

w ——饱和后的含水率(%)。

4.7.6 扰动土开土记录格式应符合本标准附录 D 表 D.1 的规定。原状土开土记录应符合本标准附录 D 表 D.2 的规定。

5 含水率试验

5.1 一般规定

5.1.1 本试验以烘干法为室内试验的标准方法。在野外当无烘箱设备或要求快速测定含水率时,可用酒精燃烧法测定细粒土含水率。

5.1.2 土的有机质含量不宜大于干土质量的 5%,当土中有机质含量为 5%~10%时,仍允许采用本标准进行试验,但应注明有机质含量。

5.2 烘 干 法

5.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

1 烘箱:可采用电热烘箱或温度能保持 105℃~110℃的其他能源烘箱;

2 电子天平:称量 200g,分度值 0.01g;

3 电子台秤:称量 5000g,分度值 1g;

4 其他:干燥器、称量盒。

5.2.2 烘干法试验应按下列步骤进行:

1 取有代表性试样:细粒土 15g~30g,砂类土 50g~100g,砂砾石 2kg~5kg。将试样放入称量盒内,立即盖好盒盖,称量,细粒土、砂类土称量应准确至 0.01g,砂砾石称量应准确至 1g。当使用恒质量盒时,可先将其放置在电子天平或电子台秤上清零,再称量装有试样的恒质量盒,称量结果即为湿土质量;

2 揭开盒盖,将试样和盒放入烘箱,在 105℃~110℃下烘到恒量。烘干时间,对黏质土,不得少于 8h;对砂类土,不得少于 6h;对有机质含量为 5%~10%的土,应将烘干温度控制在 65℃~

70℃的恒温下烘至恒量；

3 将烘干后的试样和盒取出，盖好盒盖放入干燥器内冷却至室温，称干土质量。

5.2.3 含水率应按下式计算，计算至 0.1%。

$$w = \left(\frac{m_0}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (5.2.3)$$

式中： w ——含水率(%)。

5.2.4 本试验应进行两次平行测定，取其算术平均值，最大允许平行差值应符合表 5.2.4 的规定。

表 5.2.4 含水率测定的最大允许平行差值(%)

含水率 w	最大允许平行差值
<10	±0.5
10~40	±1.0
>40	±2.0

5.2.5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.3 的规定。

5.3 酒精燃烧法

5.3.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

- 1 电子天平：称量 200g，分度值 0.01g；
- 2 酒精：纯度不得小于 95%；
- 3 其他：称量盒、滴管、火柴、调土刀。

5.3.2 酒精燃烧法应按下列步骤进行：

1 取有代表性试样：黏土 5g~10g，砂土 20g~30g。放入称量盒内，应按本标准第 5.2.2 条第 1 款的规定称取湿土；

2 用滴管将酒精注入放有试样的称量盒中，直至盒中出现自由液面为止。为使酒精在试样中充分混合均匀，可将盒底在桌面上轻轻敲击；

3 点燃盒中酒精，烧至火焰熄灭；

4 将试样冷却数分钟，应按本标准第 5.3.2 条第 2 款、第 3

款的规定再重复燃烧两次。当第 3 次火焰熄灭后,立即盖好盒盖,称干土质量;

5 本试验称量应准确至 0.01g。

5.3.3 本试验应进行两次平行测定,计算方法及最大允许平行差值应符合本标准式(5.2.3)和表 5.2.4 的规定。

5.3.4 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.3 的规定。

6 密度试验

6.1 一般规定

6.1.1 细粒土宜采用环刀法。

6.1.2 试样易碎裂、难以切削时,可用蜡封法。

6.2 环刀法

6.2.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定:

1 环刀:尺寸参数应符合国家现行标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 及《土工实验仪器 环刀》SL 370 的规定;

2 天平:称量 500g,分度值 0.1g;称量 200g,分度值 0.01g。

6.2.2 环刀法试验应按下列步骤进行:

1 按工程需要取原状土试样或制备所需状态的扰动土试样,整平其两端,将环刀内壁涂一薄层凡士林,刃口向下放在试样上;

2 用切土刀(或钢丝锯)将土样削成略大于环刀直径的土柱。然后将环刀垂直下压,边压边削,至土样伸出环刀为止。将两端余土削去修平,取剩余的代表性土样测定含水率;

3 擦净环刀外壁称量,准确至 0.1g。

6.2.3 密度及干密度应按下列公式计算,计算至 0.01g/cm³。

$$\rho = \frac{m_0}{V} \quad (6.2.3-1)$$

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w} \quad (6.2.3-2)$$

式中: ρ 试样的湿密度(g/cm³);

ρ_d ——试样的干密度(g/cm³);

V ——环刀容积(cm³)。

6.2.4 本试验应进行两次平行测定,其最大允许平行差值应为 $\pm 0.03\text{g}/\text{cm}^3$ 。取其算术平均值。

6.2.5 本试验记录格式应符合本标准附录 D 表 D.4 的规定。

6.3 蜡 封 法

6.3.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定:

- 1 蜡封设备:应附熔蜡加热器;
- 2 天平:称量 500g,分度值 0.1g;称量 200g,分度值 0.01g。

6.3.2 蜡封法试验应按下列步骤进行:

1 切取约 30cm^3 的试样。削去松浮表土及尖锐棱角后,系于细线上称量,准确至 0.01g,取代表性试样测定含水率;

2 持线将试样徐徐浸入刚过熔点的蜡中,待全部沉浸后,立即将试样提出。检查涂在试样四周的蜡中有无气泡存在。当有气泡时,应用热针刺破,并涂平孔口。冷却后称蜡封试样质量,准确至 0.1g;

3 用线将试样吊在天平(图 6.3.2)一端,并使试样浸没于纯水中称量,准确至 0.1g。测记纯水的温度;

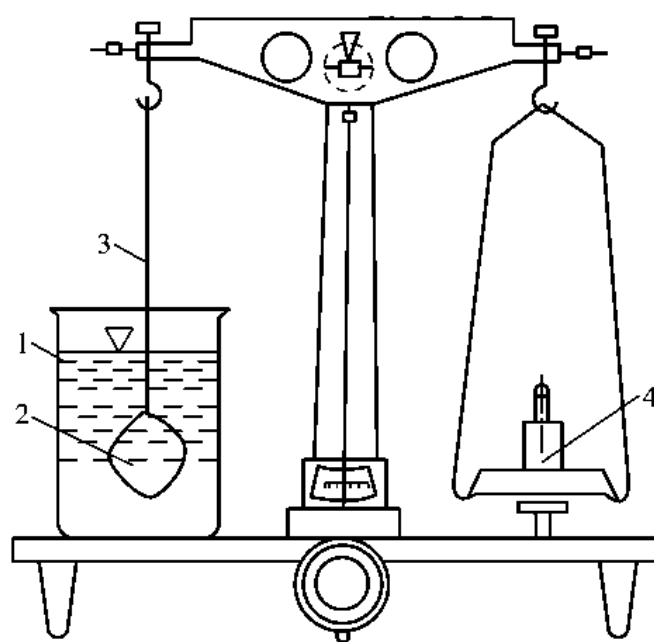


图 6.3.2 天平

1—盛水杯;2—蜡封试样;3—细线;4—砝码

4 取出试样,擦干蜡表面的水分,用天平称量蜡封试样,准确至 0.1g。当试样质量增加时,应另取试样重做试验。

6.3.3 湿密度及干密度应按下列公式计算:

$$\rho = \frac{m_0}{\frac{m_n - m_{nw}}{\rho_{wT}} - \frac{m_n - m_0}{\rho_n}} \quad (6.3.3-1)$$

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w} \quad (6.3.3-2)$$

式中: m_n ——试样加蜡质量(g);

m_{nw} ——试样加蜡在水中质量(g);

ρ_{wT} ——纯水在 $T^{\circ}\text{C}$ 时的密度(g/cm^3),准确至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$;

ρ_n ——蜡的密度(g/cm^3),准确至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ 。

6.3.4 本试验应进行两次平行测定,其最大允许平行差值应为 $\pm 0.03\text{g}/\text{cm}^3$ 。试验结果取其算术平均值。

6.3.5 本试验记录格式应符合本标准附录 D 表 D.5 的规定。

7 比重试验

7.1 一般规定

7.1.1 按照土粒粒径可分别用下列方法进行比重测定：

- 1 粒径小于 5mm 的土,用比重瓶法进行；
- 2 粒径不小于 5mm 的土,且其中粒径大于 20mm 的颗粒含量小于 10%时,应用浮称法；粒径大于 20mm 的颗粒含量不小于 10%时,应用虹吸筒法。

7.1.2 一般土粒的比重应用纯水测定；对含有易溶盐、亲水性胶体或有机质的土,应用煤油等中性液体替代纯水测定。

7.2 比重瓶法

7.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

- 1 比重瓶：容量 100mL 或 50mL,分长颈和短颈两种；
- 2 天平：称量 200g,分度值 0.001g；
- 3 恒温水槽：最大允许误差应为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ ；
- 4 砂浴：应能调节温度；
- 5 真空抽气设备：真空度 -98kPa ；
- 6 温度计：测量范围 $0^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$,分度值 0.5°C ；
- 7 筛：孔径 5mm；
- 8 其他：烘箱、纯水、中性液体、漏斗、滴管。

7.2.2 比重瓶的校准应按下列步骤进行：

- 1 将比重瓶洗净,烘干,称量两次,准确至 0.001g。取其算术平均值,其最大允许平均差值应为 $\pm 0.002\text{g}$ 。
- 2 将煮沸并冷却的纯水注入比重瓶,对长颈比重瓶,达到刻度为止。对短颈比重瓶,注满水,塞紧瓶塞,多余水自瓶塞毛细管

中溢出。移比重瓶入恒温水槽。待瓶内水温稳定后,将瓶取出,擦干外壁的水,称瓶、水总质量,准确至 0.001g。测定两次,取其算术平均值,其最大允许平行差值应为 $\pm 0.002\text{g}$ 。

3 将恒温水槽水温以 5°C 级差调节,逐级测定不同温度下的瓶、水总质量。

4 以瓶、水总质量为横坐标,温度为纵坐标,绘制瓶、水总质量与温度的关系曲线。

7.2.3 比重瓶法试验应按下列步骤进行:

1 将比重瓶烘干。当使用 100mL 比重瓶时,应称粒径小于 5mm 的烘干土 15g 装入;当使用 50mL 比重瓶时,应称粒径小于 5mm 的烘干土 12g 装入。

2 可采用煮沸法或真空抽气法排除土中的空气。向已装有干土的比重瓶注入纯水至瓶的一半处,摇动比重瓶,将瓶放在砂浴上煮沸,煮沸时间自悬液沸腾起砂土不得少于 30min,细粒土不得少于 1h。煮沸时应注意不使土液溢出瓶外。

3 将纯水注入比重瓶,当采用长颈比重瓶时,注水至略低于瓶的刻度处;当采用短颈比重瓶时,应注水至近满,有恒温水槽时,可将比重瓶放于恒温水槽内。待瓶内悬液温度稳定及瓶上部悬液澄清。

4 当采用长颈比重瓶时,用滴管调整液面恰至刻度处,以弯液面下缘为准,擦干瓶外及瓶内壁刻度以上部分的水,称瓶、水、土总质量;当采用短颈比重瓶时,塞好瓶塞,使多余水分自瓶塞毛细管中溢出,将瓶外水分擦干后,称瓶、水、土总质量。称量后应测定瓶内水的温度。

5 根据测得的温度,从已绘制的温度与瓶、水总质量关系中查得瓶、水总质量。

6 当土粒中含有易溶盐、亲水性胶体或有机质时,测定其土粒比重应用中性液体代替纯水,用真空抽气法代替煮沸法,排除土中空气。抽气时真空度应接近一个大气负压值 (-98kPa),抽气

时间可为 1h~2h,直至悬液内无气泡逸出时为止。其余步骤应按本标准第 7.2.3 条第 3 款~第 5 款的规定进行。

7 本试验称量应准确至 0.001g,温度应准确至 0.5℃。

7.2.4 土粒比重应按下列公式计算:

1 用纯水测定时:

$$G_s = \frac{m_d}{m_{bw} + m_d - m_{bws}} G_{wT} \quad (7.2.4-1)$$

式中: m_{bw} ——比重瓶、水总质量(g);

m_{bws} ——比重瓶、水、干土总质量(g);

G_{wT} —— $T^\circ\text{C}$ 时纯水的比重(可查物理手册),准确至 0.001。

2 用中性液体测定时:

$$G_s = \frac{m_d}{m_{bk} + m_d - m_{bks}} G_{kT} \quad (7.2.4-2)$$

式中: m_{bk} ——瓶、中性液体总质量(g);

m_{bks} ——瓶、中性液体、干土总质量(g);

G_{kT} —— $T^\circ\text{C}$ 时中性液体的比重(实测得),准确至 0.001。

7.2.5 本试验应进行 2 次平行测定,试验结果取其算术平均值,其最大允许平行差值应为 ± 0.02 。

7.2.6 本试验记录格式应符合本标准附录 D 表 D.6 的规定。

7.3 浮称法

7.3.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

1 铁丝筐:孔径小于 5mm,直径为 10cm~15cm,高为 10cm~20cm;

2 盛水容器:适合铁丝筐沉入;

3 浮称天平或秤:称量 2kg,分度值 0.2g;称量 10kg,分度值 1g;

4 筛:孔径为 5mm、20mm;

5 其他:烘箱、温度计。

7.3.2 浮称法试验应按下列步骤进行:

1 取粒径不小于 5mm,且其中粒径大于 20mm 的颗粒含量小于 10%的代表性试样 500g~1000g,当采用秤称时,称取 1kg~2kg;

2 冲洗试样,直至颗粒表面无尘土和其他污物;

3 将试样浸在水中 24h 后取出,将试样放在湿毛巾上擦干表面,即为饱和面干试样,称取饱和面干试样质量后,立即放入铁丝筐,缓缓浸没于水中,并在水中摇晃,至无气泡逸出时为止;

4 称铁丝筐和试样在水中的总质量(图 7.3.2);

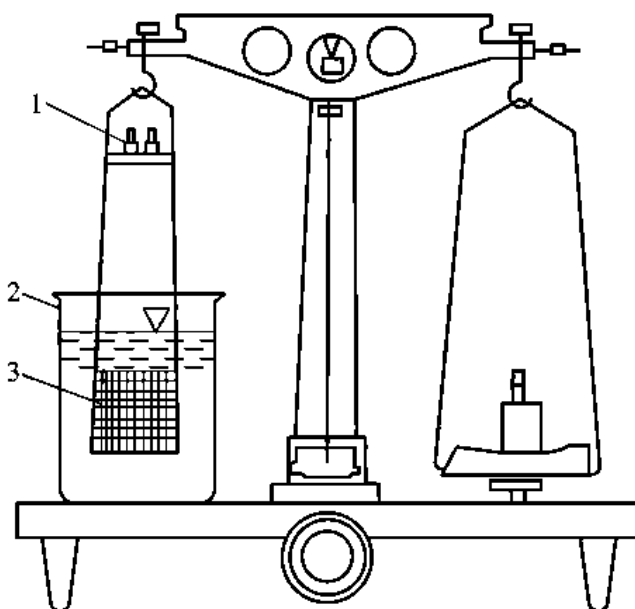


图 7.3.2 浮称天平

1—调天平平衡砝码盘;2—盛水容器;3—盛粗粒土的铁丝筐

5 取出试样烘干、称量;

6 称铁丝筐在水中质量,并应测量容器内水的温度,准确至 0.5℃;

7 本试验称量应准确至 0.2g。

7.3.3 土粒比重按下式计算:

$$G_s = \frac{m_d}{m_d - (m_{ks} - m_k)} G_{wT} \quad (7.3.3)$$

式中： m_{ks} ——试样加铁丝筐在水中总质量(g)；

m_k 铁丝筐在水中质量(g)。

7.3.4 干比重应按下式计算：

$$G'_s = \frac{m_d}{m_b - (m_{ks} - m_k)} G_{wT} \quad (7.3.4)$$

式中： m_b ——饱和面干试样质量(g)。

7.3.5 吸着含水率应按下式计算：

$$w_{ab} = \left(\frac{m_b}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (7.3.5)$$

式中： w_{ab} ——吸着含水率(%)，计算至 0.1%。

7.3.6 本试验应进行两次平行测定，两次测定最大允许差值应为 ± 0.02 ，试验结果取其算术平均值。

7.3.7 土粒平均比重应按下式计算：

$$G_s = \frac{1}{\frac{P_5}{G_{s1}} + \frac{1 - P_5}{G_{s2}}} \quad (7.3.7)$$

式中： P_5 ——粒径大于 5mm 的土粒占总质量的含量，以小数计；

G_{s1} ——粒径大于 5mm 的土粒的比重；

G_{s2} ——粒径小于 5mm 的土粒的比重。

7.3.8 本试验记录格式应符合本标准附录 D 表 D.7 的规定。

7.4 虹吸筒法

7.4.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

- 1 虹吸筒(图 7.4.1)；
- 2 台秤：称量 10kg，分度值 1g；
- 3 量筒：容量大于 2000mL；
- 4 筛：孔径 5mm、20mm；
- 5 其他：烘箱、温度计、搅拌棒。

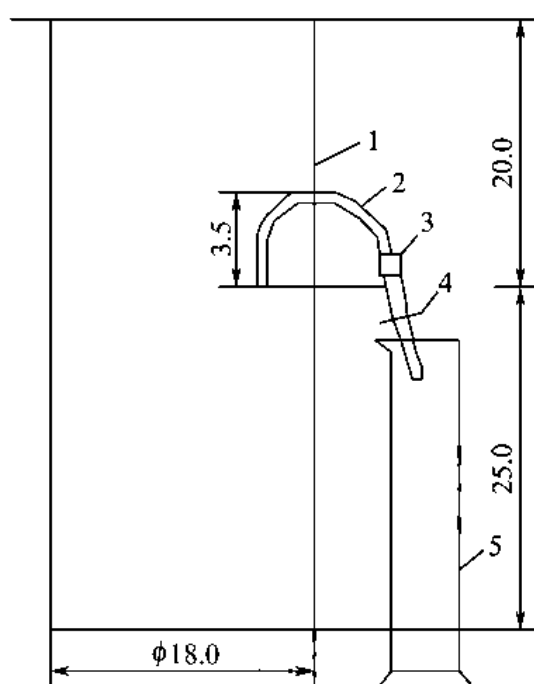


图 7.4.1 虹吸筒(单位:cm)

1—虹吸筒;2—虹吸管;3—橡皮管;4—管夹;5—量筒

7.4.2 虹吸筒法试验应按下列步骤进行:

1 取粒径不小于 5mm,且其中粒径不小于 20mm 的颗粒含量大于 10%的代表性试样 1000g~7000g;

2 将试样冲洗,直至颗粒表面无尘土和其他污物;

3 再将试样浸在水中 24h 后取出,晾干(或用布擦干)其表面水分,称量;

4 注清水入虹吸筒,至管口有水溢出时停止注水。待管口不再有水流出后,关闭管夹,将试样缓缓放入筒中,边放边使用搅拌棒搅拌,至无气泡逸出时为止,搅动时勿使水溅出筒外;

5 待虹吸筒中水面平静后,开管夹,让试样排开的水通过虹吸管流入量筒中;

6 称量筒与水总质量。测量筒内水的温度,准确至 0.5℃;

7 取出虹吸筒内试样,烘干、称量;

8 本试验称量应准确至 1g。

7.4.3 比重应按下式计算：

$$G_s = \frac{m_d}{(m_{cw} - m_c) - (m_{ad} - m_d)} G_{wT} \quad (7.4.3)$$

式中： m_{cw} ——量筒加排开水总质量(g)；

m_c ——量筒质量(g)；

m_{ad} ——晾干试样质量(g)。

7.4.4 本试验应进行两次平行测定，两次测定的最大允许平均差值应为 ± 0.02 。取其算术平均值。

7.4.5 平均比重应按本标准式(7.3.7)计算。

7.4.6 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.8 的规定。

8 颗粒分析试验

8.1 一般规定

8.1.1 本试验方法分为筛析法、密度计法、移液管法。

8.1.2 本试验根据土的颗粒大小及级配情况,可分别采用下列 4 种方法:

- 1 筛析法:适用于粒径为 0.075mm~60mm 的土;
- 2 密度计法:适用于粒径小于 0.075mm 的土;
- 3 移液管法:适用于粒径小于 0.075mm 的土;
- 4 当土中粗细兼有时,应联合使用筛析法和密度计法或筛析法和移液管法。

8.2 筛析法

8.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

- 1 试验筛:应符合现行国家标准《试验筛 技术要求和检验 第 1 部分:金属丝编织网试验筛》GB/T 6003.1 的规定;
- 2 粗筛:孔径为 60mm、40mm、20mm、10mm、5mm、2mm;
- 3 细筛:孔径为 2.0mm、1.0mm、0.5mm、0.25mm、0.1mm、0.075mm;
- 4 天平:称量 1000g,分度值 0.1g;称量 200g,分度值 0.01g;
- 5 台秤:称量 5kg,分度值 1g;
- 6 振筛机:应符合现行行业标准《实验室用标准筛振荡机技术条件》DZ/T 0118 的规定;
- 7 其他:烘箱、量筒、漏斗、瓷杯、附带橡皮头研杵的研钵、瓷盘、毛刷、匙、木碾。

8.2.2 筛析法试验应按下列步骤进行:

1 从风干、松散的土样中,用四分法按下列规定取出代表性试样:

- 1) 粒径小于 2mm 的土取 100g~300g;
- 2) 最大粒径小于 10mm 的土取 300g~1000g;
- 3) 最大粒径小于 20mm 的土取 1000g~2000g;
- 4) 最大粒径小于 40mm 的土取 2000g~4000g;
- 5) 最大粒径小于 60mm 的土取 4000g 以上。

2 砂砾土筛析法应按下列步骤进行:

- 1) 应按本标准第 8.2.2 条第 1 款规定的数量取出试样,称量应准确至 0.1g;当试样质量大于 500g 时,应准确至 1g;
- 2) 将试样过 2mm 细筛,分别称出筛上和筛下土质量;
- 3) 若 2mm 筛下的土小于试样总质量的 10%,则可省略细筛筛析。若 2mm 筛上的土小于试样总质量的 10%,则可省略粗筛筛析;
- 4) 取 2mm 筛上试样倒入依次叠好的粗筛的最上层筛中;取 2mm 筛下试样倒入依次选好的细筛最上层筛中,进行筛析。细筛宜放在振筛机上震摇,震摇时间应为 10min~15min;
- 5) 由最大孔径筛开始,顺序将各筛取下,在白纸上用手轻叩摇晃筛,当仍有土粒漏下时,应继续轻叩摇晃筛,至无土粒漏下为止。漏下的土粒应全部放入下级筛内。并将留在各筛上的试样分别称量,当试样质量小于 500g 时,准确至 0.1g;
- 6) 筛前试样总质量与筛后各级筛上和筛底试样质量的总和的差值不得大于试样总质量的 1%。

3 含有黏土粒的砂砾土应按下列步骤进行:

- 1) 将土样放在橡皮板上用土碾将黏结的土团充分碾散,用四分法取样,取样时应按本标准第 8.2.2 条第 1 款的规

定称取代表性试样,置于盛有清水的瓷盆中,用搅棒搅拌,使试样充分浸润和粗细颗粒分离;

- 2)将浸润后的混合液过 2mm 细筛,边搅拌边冲洗边过筛,直至筛上仅留大于 2mm 的土粒为止。然后将筛上的土烘干称量,准确至 0.1g。应按本标准第 8.2.2 条第 2 款第 3 项、第 4 项的规定进行粗筛筛析;
- 3)用带橡皮头的研杵研磨粒径小于 2mm 的混合液,待稍沉淀,将上部悬液过 0.075mm 筛。再向瓷盆加清水研磨,静置过筛。如此反复,直至盆内悬液澄清。最后将全部土料倒在 0.075mm 筛上,用水冲洗,直至筛上仅留粒径大于 0.075mm 的净砂为止;
- 4)将粒径大于 0.075mm 的净砂烘干称量,准确至 0.01g。并按本标准第 8.2.2 条第 2 款第 3 项、第 4 项的规定进行细筛筛析;
- 5)将粒径大于 2mm 的土和粒径为 2mm~0.075mm 的土的质量从原取土总质量中减去,即得粒径小于 0.075mm 的土的质量;
- 6)当粒径小于 0.075mm 的试样质量大于总质量的 10% 时,应按密度计法或移液管法测定粒径小于 0.075mm 的颗粒组成。

8.2.3 小于某粒径的试样质量占试样总质量百分数应按式计算:

$$X = \frac{m_A}{m_B} d_x \quad (8.2.3)$$

式中: X ——小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分数(%);

m_A ——小于某粒径的试样质量(g);

m_B ——当细筛分析时或用密度计法分析时所取试样质量(粗筛分析时则为试样总质量)(g);

d_x ——粒径小于 2mm 或粒径小于 0.075mm 的试样质量占

总质量的百分数(%)。

8.2.4 以小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分数为纵坐标,颗粒粒径为横坐标,在单对数坐标上绘制颗粒大小分布曲线。

8.2.5 级配指标不均匀系数和曲率系数 C_u 、 C_c 应按下列公式计算:

1 不均匀系数:

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} \quad (8.2.5-1)$$

式中: C_u ——不均匀系数;

d_{60} ——限制粒径(mm),在粒径分布曲线上小于该粒径的土含量占总土质量的 60% 的粒径;

d_{10} ——有效粒径(mm),在粒径分布曲线上小于该粒径的土含量占总土质量的 10% 的粒径。

2 曲率系数:

$$C_c = \frac{d_{30}^2}{d_{60}d_{10}} \quad (8.2.5-2)$$

式中: C_c ——曲率系数;

d_{30} ——在粒径分布曲线上小于该粒径的土含量占总土质量的 30% 的粒径(mm)。

8.2.6 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.9 的规定。

8.3 密度计法

8.3.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

1 密度计应符合下列规定:

- 1) 甲种:刻度单位以 20℃ 时每 1000mL 悬液内所含土质量的克数表示,刻度为 -5~50,分度值为 0.5;
- 2) 乙种:刻度单位以 20℃ 时悬液的比重表示,刻度为 0.995~1.020,分度值为 0.0002。

2 量筒:高约 45cm,直径约 6cm,容积 1000mL。刻度为 0mL~1000mL,分度值为 10mL。

3 试验筛应符合下列规定:

1)细筛:孔径 2mm、1mm、0.5mm、0.25mm、0.15mm;

2)洗筛:孔径 0.075mm。

4 天平:称量 200g,分度值 0.01g。

5 温度计:刻度 0℃~50℃,分度值 0.5℃。

6 洗筛漏斗:直径略大于洗筛直径,使洗筛恰可套入漏斗中。

7 搅拌器:轮径 50mm,孔径约 3mm;杆长约 400mm,带旋转叶。

8 煮沸设备:附冷凝管。

9 其他:秒表、锥形瓶、研钵、木杵、电导率仪。

8.3.2 试剂应符合下列规定:

1 分散剂:浓度 4%六偏磷酸钠,6%双氧水,1%硅酸钠;

2 水溶盐检验试剂:10%盐酸,5%氯化钡,10%硝酸,5%硝酸银。

8.3.3 密度计法试验应按下列步骤进行:

1 宜采用风干土试样,并应按下式计算试样干质量为 30g 时所需的风干土质量:

$$m_0 = m_d (1 + 0.01w_0) \quad (8.3.3-1)$$

式中: w_0 ——风干土含水率(%)。

2 试样中易溶盐含量大于总质量的 0.5%时,应洗盐。易溶盐含量检验可用电导法或目测法:

1)电导法应按电导率仪使用说明书操作,测定温度 T ℃时试样溶液(土水比 1:5)的电导率,20℃时的电导率应按下式计算:

$$K_{20} = \frac{K_T}{1 + 0.02(T - 20)} \quad (8.3.3-2)$$

式中: K_{20} ——20℃时悬液的电导率($\mu\text{S}/\text{cm}$);

K_T —— $T^\circ\text{C}$ 时悬液的电导率($\mu\text{S}/\text{cm}$)；

T 测定时悬液的温度($^\circ\text{C}$)。

当 $K_{20} > 1000 \mu\text{S}/\text{cm}$ 时,应洗盐。

2) 目测法应取风干试样 3g 于烧杯中,加适量纯水调成糊状研散,再加纯水 25mL 煮沸 10min 冷却后移入试管中,放置过夜,观察试管,当出现凝聚现象时应洗盐。

3 洗盐应按下列步骤进行:

1) 将分析用的试样放入调土杯内,注入少量蒸馏水,拌和均匀。迅速倒入贴有滤纸的漏斗中,并注入蒸馏水冲洗过滤。附在调土杯上的土粒全部洗入漏斗。发现滤液浑浊时,应重新过滤。

2) 应经常使漏斗内的液面保持高出土面约 5cm。每次加水后,应用表面皿盖住漏斗。

3) 检查易溶盐清洗程度,可用 2 个试管各取刚滤下的滤液 3mL~5mL,一管加入 3 滴~5 滴 10% 盐酸和 5% 氯化钡;另一管加入 3 滴~5 滴 10% 硝酸和 5% 硝酸银。当发现管中有白色沉淀时,试样中的易溶盐未洗净,应继续清洗,直至检查时试管中均不再发现白色沉淀为止。

4) 洗盐后将漏斗中的土样仔细洗下,风干试样。

4 称干质量为 30g 的风干试样倒入锥形瓶中,勿使土粒丢失。注入水 200mL,浸泡约 12h。

5 将锥形瓶放在煮沸设备上,连接冷凝管进行煮沸。煮沸时间约为 1h。

6 将冷却后的悬液倒入瓷杯中,静置约 1min,将上部悬液倒入量筒。杯底沉淀物用带橡皮头研杵细心研散,加水,经搅拌后,静置约 1min,再将上部悬液倒入量筒。如此反复操作,直至杯内悬液澄清为止。当土中粒径大于 0.075mm 的颗粒大致超过试样总质量的 15% 时,应将其全部倒至 0.075mm 筛上冲洗,直至筛上

仅留大于 0.075mm 的颗粒为止。

7 将留在洗筛上的颗粒洗入蒸发皿内,倾去上部清水,烘干称量,应按本标准第 8.2.2 条第 2 款的规定进行细筛筛析。

8 将过筛悬液倒入量筒,加 4% 浓度的六偏磷酸钠约 10mL 于量筒溶液中,再注入纯水,使筒内悬液达 1000mL。当加入六偏磷酸钠后土样产生凝聚时,应选用其他分散剂。

9 用搅拌器在量筒内沿整个悬液深度上下搅拌约 1min,往复各约 30 次,搅拌时勿使悬液溅出筒外。使悬液内土粒均匀分布。

10 取出搅拌器,将密度计放入悬液中同时开动秒表。可测经 0.5min、1min、2min、5min、15min、30min、60min、120min、180min 和 1440min 时的密度计读数。

11 每次读数均应在预定时间前 10s~20s 将密度计小心地放入悬液接近读数的深度,并应将密度计浮泡保持在量筒中部位置,不得贴近筒壁。

12 密度计读数均以弯液面上缘为准。甲种密度计应准确至 0.5,乙种密度应准确至 0.0002。每次读数完毕立即取出密度计放入盛有纯水的量筒中。并测定各相应的悬液温度,准确至 0.5℃。放入或取出密度计时,应尽量减少悬液的扰动。

13 当试样在分析前未过 0.075mm 洗筛,在密度计第 1 个读数时,发现下沉的土粒已超过试样总质量的 15% 时,则应于试验结束后,将量筒中土粒过 0.075mm 筛,应按本标准第 8.3.3 条第 7 款的规定进行筛析,并应计算各级颗粒占试样总质量的百分比。

8.3.4 小于某粒径的试样质量占试样总质量百分数应按下列公式计算:

1 甲种密度计:

$$X = \frac{100}{m_d} C_s (R_1 + m_T + n_w - C_D) \quad (8.3.4-1)$$

$$C_s = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_{w20}} \cdot \frac{2.65 - \rho_{w20}}{2.65} \quad (8.3.4-2)$$

式中： C_s ——土粒比重校正值，也可按表 8.3.4-1 执行；

R_1 ——甲种密度计读数；

m_T ——温度校正值，可按表 8.3.4-2 执行；

n_w ——弯液面校正值；

C_D ——分散剂校正值；

ρ_s ——土粒密度(g/cm^3)；

ρ_{w20} ——20℃时水的密度(g/cm^3)。

表 8.3.4-1 土粒比重校正值

土粒 比重	甲种土壤密度计 比重校正值 C_s	乙种土壤密度计 比重校正值 C'_s	土粒 比重	甲种土壤密度计 比重校正值 C_s	乙种土壤密度计 比重校正值 C'_s
2.50	1.038	1.666	2.70	0.989	1.588
2.52	1.032	1.658	2.72	0.985	1.581
2.54	1.027	1.649	2.74	0.981	1.575
2.56	1.022	1.641	2.76	0.977	1.568
2.58	1.017	1.632	2.78	0.973	1.562
2.60	1.012	1.625	2.80	0.969	1.556
2.62	1.007	1.617	2.82	0.965	1.549
2.64	1.002	1.609	2.84	0.961	1.543
2.66	0.998	1.603	2.86	0.958	1.538
2.68	0.993	1.595	2.88	0.954	1.532

表 8.3.4-2 温度校正值

悬液 温度 (℃)	甲种密度计 温度校正值 m_T	乙种密度计 温度校正值 m'_T	悬液 温度 (℃)	甲种密度计 温度校正值 m_T	乙种密度计 温度校正值 m'_T
10.0	-2.0	-0.0012	20.0	0.0	+0.0000
10.5	-1.9	-0.0012	20.5	+0.1	+0.0001
11.0	-1.9	-0.0012	21.0	+0.3	+0.0002
11.5	-1.8	-0.0011	21.5	+0.5	+0.0003
12.0	-1.8	-0.0011	22.0	+0.6	+0.0004
12.5	-1.7	-0.0010	22.5	+0.8	+0.0005
13.0	-1.6	-0.0010	23.0	+0.9	+0.0006
13.5	-1.5	-0.0009	23.5	+1.1	+0.0007
14.0	-1.4	-0.0009	24.0	+1.3	+0.0008
14.5	-1.3	-0.0008	24.5	+1.5	+0.0009
15.0	-1.2	-0.0008	25.0	+1.7	+0.0010
15.5	-1.1	-0.0007	25.5	+1.9	+0.0011
16.0	-1.0	-0.0006	26.0	+2.1	+0.0013
16.5	-0.9	-0.0006	26.5	+2.2	+0.0014
17.0	-0.8	-0.0005	27.0	+2.5	+0.0015
17.5	-0.7	-0.0004	27.5	+2.6	+0.0016
18.0	-0.5	-0.0003	28.0	+2.9	+0.0018
18.5	-0.4	-0.0003	28.5	+3.1	+0.0019
19.0	-0.3	-0.0002	29.0	+3.3	+0.0021
19.5	-0.1	-0.0001	29.5	+3.5	+0.0022
20.0	-0.0	-0.0000	30.0	+3.7	+0.0023

2 乙种密度计:

$$X = \frac{100V}{m_d} C'_s [(R_2 - 1) + m'_T + n'_w - C'_D] \rho_{w20} \quad (8.3.4-3)$$

$$C'_s = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_{w20}} \quad (8.3.4-4)$$

式中: V ——悬液体积(mL);

C'_s ——土粒比重校正值,也可按表 8.3.4-1 执行;

R_2 ——乙种密度计读数;

m'_T ——温度校正值,可按表 8.3.4-2 执行;

n'_w ——弯液面校正值;

C'_D ——分散剂校正值。

8.3.5 粒径应按下式计算:

$$d = \sqrt{\frac{1800 \times 10^4 \eta}{(G_s - G_{wT}) \rho_{w0} g} \cdot \frac{L_t}{t}} \quad (8.3.5-1)$$

式中: d ——粒径(mm);

η ——水的动力黏滞系数(1×10^{-6} kPa·s),可按表 8.3.5-1 执行;

G_{wT} ——温度为 $T^\circ\text{C}$ 时的水的比重;

ρ_{w0} —— 4°C 时水的密度(g/cm^3);

g ——重力加速度($981\text{cm}/\text{s}^2$);

L_t ——某一时间 t 内的土粒沉降距离(cm);

t ——沉降时间(s)。

为了简化计算,式(8.3.5-1)也可写成:

$$d = K \sqrt{\frac{L_t}{t}} \quad (8.3.5-2)$$

式中: K ——粒径计算系数 $\left[K = \sqrt{\frac{1800 \times 10^4 \eta}{(G_s - G_{wT}) \rho_{w0} g}} \right]$,与悬液温

度和土粒比重有关。其值可按表 8.3.5-2 执行。

表 8.3.5-1 水的动力黏滞系数、黏滞系数比、温度校正值

温度 $T(^{\circ}\text{C})$	动力黏滞 系数 η (1×10^{-6} kPa·s)	η_T/η_{20}	温度校正 系数 T_D	温度 $T(^{\circ}\text{C})$	动力黏滞 系数 η (1×10^{-6} kPa·s)	η_T/η_{20}	温度校正 系数 T_D
5.0	1.516	1.501	1.17	6.0	1.470	1.455	1.21
5.5	1.493	1.478	1.19	6.5	1.449	1.435	1.23

续表 8.3.5-1

温度 $T(^{\circ}\text{C})$	动力黏滞 系数 η (1×10^{-6} $\text{kPa} \cdot \text{s}$)	η_T/η_{20}	温度校正 系数 T_D	温度 $T(^{\circ}\text{C})$	动力黏滞 系数 η (1×10^{-6} $\text{kPa} \cdot \text{s}$)	η_T/η_{20}	温度校正 系数 T_D
7.0	1.428	1.414	1.25	18.5	1.048	1.038	1.70
7.5	1.407	1.393	1.27	19.0	1.035	1.025	1.72
8.0	1.387	1.373	1.28	19.5	1.022	1.012	1.74
8.5	1.367	1.353	1.30	20.0	1.010	1.000	1.76
9.0	1.347	1.334	1.32	20.5	0.998	0.988	1.78
9.5	1.328	1.315	1.34	21.0	0.986	0.976	1.80
10.0	1.310	1.297	1.36	21.5	0.974	0.964	1.83
10.5	1.292	1.279	1.38	22.0	0.963	0.953	1.85
11.0	1.274	1.261	1.40	22.5	0.952	0.943	1.87
11.5	1.256	1.243	1.42	23.0	0.941	0.932	1.89
12.0	1.239	1.227	1.44	24.0	0.919	0.910	1.94
12.5	1.223	1.211	1.46	25.0	0.899	0.890	1.98
13.0	1.206	1.194	1.48	26.0	0.879	0.870	2.03
13.5	1.188	1.176	1.50	27.0	0.859	0.850	2.07
14.0	1.175	1.163	1.52	28.0	0.841	0.833	2.12
14.5	1.160	1.148	1.54	29.0	0.823	0.815	2.16
15.0	1.144	1.133	1.56	30.0	0.806	0.798	2.21
15.5	1.130	1.119	1.58	31.0	0.789	0.781	2.25
16.0	1.115	1.104	1.60	32.0	0.773	0.765	2.30
16.5	1.101	1.090	1.62	33.0	0.757	0.750	2.34
17.0	1.088	1.077	1.64	34.0	0.742	0.735	2.39
17.5	1.074	1.066	1.66	35.0	0.727	0.720	2.43
18.0	1.061	1.050	1.68				

表 8.3.5-2 粒径计算系数 K 值表

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	土粒比重 G_s								
	2.45	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85
5	0.1385	0.1360	0.1339	0.1318	0.1298	0.1279	0.1261	0.1243	0.1226
6	0.1365	0.1342	0.1320	0.1299	0.1280	0.1261	0.1243	0.1225	0.1208
7	0.1344	0.1321	0.1300	0.1280	0.1260	0.1241	0.1224	0.1206	0.1189
8	0.1324	0.1302	0.1281	0.1260	0.1241	0.1223	0.1205	0.1188	0.1182
9	0.1305	0.1283	0.1262	0.1242	0.1224	0.1205	0.1187	0.1171	0.1164
10	0.1288	0.1267	0.1247	0.1227	0.1208	0.1189	0.1173	0.1156	0.1141
11	0.1270	0.1249	0.1229	0.1209	0.1190	0.1173	0.1156	0.1140	0.1124
12	0.1253	0.1232	0.1212	0.1193	0.1175	0.1157	0.1140	0.1124	0.1109
13	0.1235	0.1214	0.1195	0.1175	0.1158	0.1141	0.1124	0.1109	0.1004
14	0.1221	0.1200	0.1180	0.1162	0.1149	0.1127	0.1111	0.1095	0.1000
15	0.1205	0.1184	0.1165	0.1148	0.1130	0.1113	0.1096	0.1081	0.1067
16	0.1189	0.1169	0.1150	0.1132	0.1115	0.1098	0.1083	0.1067	0.1053
17	0.1173	0.1154	0.1135	0.1118	0.1100	0.1085	0.1069	0.1047	0.1039
18	0.1159	0.1140	0.1121	0.1103	0.1086	0.1071	0.1055	0.1040	0.1026
19	0.1145	0.1125	0.1108	0.1090	0.1073	0.1058	0.1031	0.1088	0.1014
20	0.1130	0.1111	0.1093	0.1075	0.1059	0.1043	0.1029	0.1014	0.1000
21	0.1118	0.1099	0.1081	0.1064	0.1043	0.1033	0.1018	0.1003	0.0990
22	0.1103	0.1085	0.1067	0.1050	0.1035	0.1019	0.1004	0.0990	0.09767
23	0.1091	0.1072	0.1055	0.1038	0.1023	0.1007	0.09930	0.09793	0.09659
24	0.1078	0.1061	0.1044	0.1028	0.1012	0.09970	0.09823	0.09600	0.09555
25	0.1065	0.1047	0.1031	0.1014	0.09990	0.09839	0.09701	0.09566	0.09434
26	0.1054	0.1035	0.1019	0.1003	0.09897	0.09731	0.09592	0.09455	0.09327
27	0.1041	0.1024	0.1007	0.09915	0.09767	0.09623	0.09482	0.09349	0.09225
28	0.1032	0.1014	0.09975	0.09818	0.09670	0.09529	0.09391	0.09257	0.09132
29	0.1019	0.1002	0.09859	0.09706	0.09555	0.09413	0.09279	0.09144	0.09028
30	0.1008	0.09910	0.09752	0.09597	0.09450	0.09311	0.09176	0.09050	0.08927

8.3.6 用小于某粒径的土质量百分数为纵坐标,粒径为横坐标,在单对数横坐标上绘制颗粒大小分布曲线。当与筛析法联合分析时,应将两段曲线绘成一平滑曲线。

8.3.7 本试验记录格式应符合本标准附录 D 表 D.10 的规定。

8.4 移液管法

8.4.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

- 1 移液管(图 8.4.1):容积 25mL;
- 2 小烧杯:容积 50mL;
- 3 天平:称量 200g,分度值 0.001g;
- 4 其他:应符合本标准第 8.3.1 条第 5 款~第 9 款的规定。

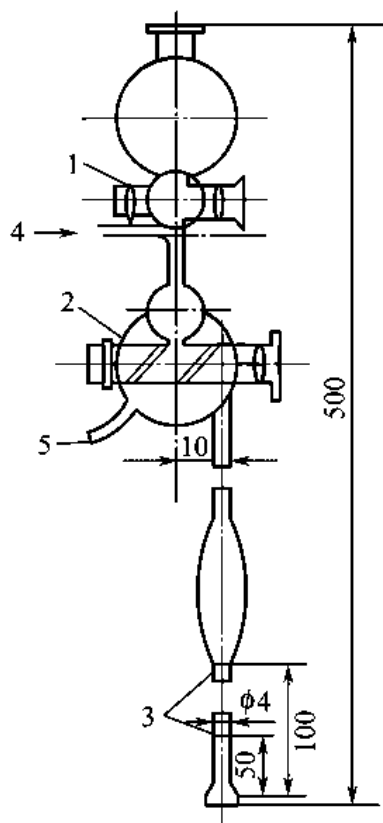


图 8.4.1 移液管示意图(单位:mm)

1—二通阀;2—三通阀;3—移液管;4—接吸球;5—放流口

8.4.2 移液管法试验应按下列步骤进行:

1 取代表性试样,黏土为 10g~15g,砂土为 20g,并应按本标准第 8.3.3 条第 1 款~第 8 款的规定制取悬液;

2 将盛试样悬液的量筒放入恒温水槽中,测记悬液温度,准确至 0.5℃。试验中悬液温度允许变化范围应为±0.5℃;

3 可按本标准式(8.3.5-2)推算出粒径小于 0.05mm、0.01mm、0.005mm、0.002mm 和其他所需粒径下沉一定深度所需的静置时间;

4 准备好移液管,将二通阀置于关闭位置,三通阀置于移液管和吸球相通的位置;

5 用搅拌器沿悬液上、下搅拌各 30 次,时间 1min,取出搅拌器;

6 开动秒表,根据各粒径的静置时间,提前约 10s,将移液管放入悬液中,浸入深度为 10cm,用吸球吸取悬液,吸取悬液量不应少于 25mL;

7 旋转三通阀,使与放流口相通,将多余的悬液从放流口放出,收集后倒入原量筒内的悬液中;

8 将移液管下口放入已称量过的小烧杯中,由上口倒入少量纯水,开三通阀使水流入移液管,连同移液管内的试样悬液流入小烧杯内;

9 每吸取一组粒径的悬液后必须重新搅拌,再吸取另一组粒径的悬液;

10 将烧杯内的悬液蒸发浓缩半干,在 105℃~110℃下烘至恒量,称小烧杯连同干土的质量,准确至 0.001g。

8.4.3 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分数应按下式计算:

$$X = \frac{m_{dx} V_x}{V'_x m_d} \times 100 \quad (8.4.3)$$

式中: m_{dx} ——吸取悬液中(25mL)土粒的干土质量(g);

V_x ——悬液总体积, $V_x=1000\text{mL}$;

V'_x ——移液管每次吸取的悬液体积, $V'_x = 25\text{mL}$ 。

8.4.4 以小于某粒径的试样质量百分数为纵坐标, 粒径为横坐标, 在单对数横坐标纸上绘制颗粒大小分布曲线。

8.4.5 本试验记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 11 的规定。

9 界限含水率试验

9.1 一般规定

9.1.1 土的粒径应小于 0.5mm 以及有机质含量不大于干土质量的 5%。

9.1.2 本试验中含水率的测定应按本标准第 5.2 节的烘干法执行。

9.2 液塑限联合测定法

9.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

1 液塑限联合测定仪(图 9.2.1)应包括带标尺的圆锥仪、电磁铁、显示屏、控制开关和试样杯。圆锥仪质量为 76g, 锥角为 30° ; 读数显示宜采用光电式、游标式和百分表式;

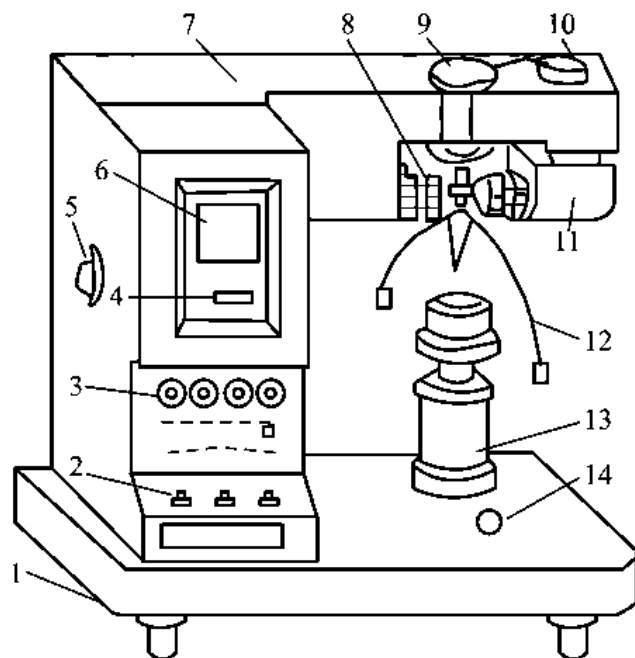


图 9.2.1 光电式液塑限联合测定仪示意图

- 1 水平调节螺丝; 2 控制开关; 3 指示灯; 4 零线调节螺丝; 5 反光镜调节螺丝;
6 屏幕; 7 机壳; 8 物镜调节螺丝; 9 电磁装置; 10 光源调节螺丝;
11—光源; 12—圆锥仪; 13—升降台; 14—水平泡

2 试样杯:直径 40mm~50mm;高 30mm~40mm;

3 天平:称量 200g,分度值 0.01g;

4 筛:孔径 0.5mm;

5 其他:烘箱、干燥缸、铝盒、调土刀、凡士林。

9.2.2 液塑限联合测定法试验应按下列步骤进行:

1 液塑限联合试验宜采用天然含水率的土样制备试样,也可用风干土制备试样。

2 当采用天然含水率的土样时,应剔除粒径大于 0.5mm 的颗粒,再分别按接近液限、塑限和二者的中间状态制备不同稠度的土膏,静置湿润。静置时间可视原含水率的大小而定。

3 当采用风干土样时,取过 0.5mm 筛的代表性土样约 200g,分成 3 份,分别放入 3 个盛土皿中,加入不同数量的纯水,使其分别达到本标准第 9.2.2 条第 2 款中所述的含水率,调成均匀土膏,放入密封的保湿缸中,静置 24h。

4 将制备好的土膏用调土刀充分调拌均匀,密实地填入试样杯中,应使空气逸出。高出试样杯的余土用刮土刀刮平,将试样杯放在仪器底座上。

5 取圆锥仪,在锥体上涂以薄层润滑油脂,接通电源,使电磁铁吸稳圆锥仪。当使用游标式或百分表式时,提起锥杆,用旋鈕固定。

6 调节屏幕准线,使初读数为零。调节升降座,使圆锥仪锥角接触试样面,指标灯亮时圆锥在自重下沉入试样内,当使用游标式或百分表式时用手扭动旋扭,松开锥杆,经 5s 后测读圆锥下沉深度。然后取出试样杯,挖去锥尖入土处的润滑油脂,取锥体附近的试样不得少于 10g,放入称量盒内,称量,准确至 0.01g,测定含水率。

7 应按本标准第 9.2.2 条第 4 款~第 6 款的规定,测试其余 2 个试样的圆锥下沉深度和含水率。

9.2.3 以含水率为横坐标,圆锥下沉深度为纵坐标,在双对数坐

标纸上绘制关系曲线。三点连一直线(图 9.2.3 中的 A 线)。当三点不在一直线上,通过高含水率的一点与其余两点连成两条直线,在圆锥下沉深度为 2mm 处查得相应的含水率,当两个含水率的差值小于 2% 时,应以该两点含水率的平均值与高含水率的点连成一线(图 9.2.3 中的 B 线)。当两个含水率的差值不小于 2% 时,应补做试验。

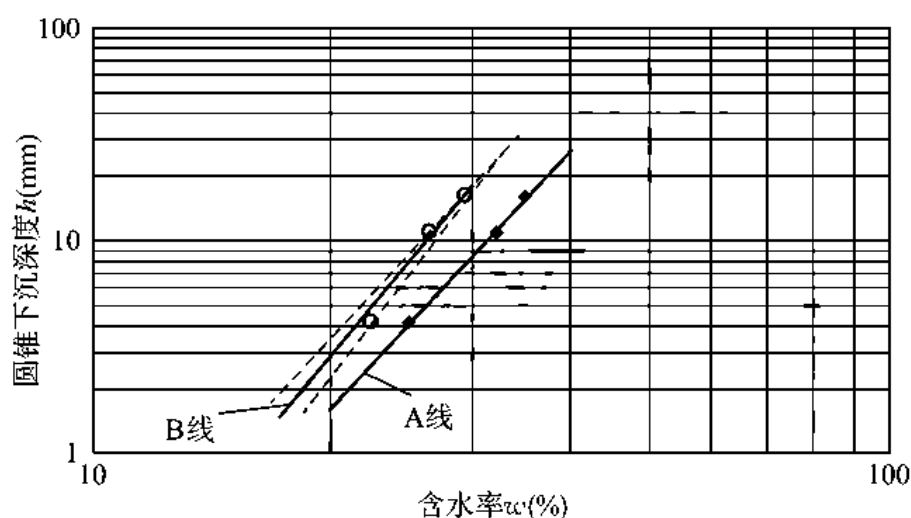


图 9.2.3 圆锥下沉深度与含水率关系图曲线

9.2.4 通过圆锥下沉深度与含水率关系图,查得下沉深度为 17mm 所对应的含水率为液限,下沉深度为 10mm 所对应的含水率为 10mm 液限;查得下沉深度为 2mm 所对应的含水率为塑限,以百分数表示,准确至 0.1%。

9.2.5 塑性指数和液性指数应按下列公式计算:

$$I_P = w_L - w_P \quad (9.2.5-1)$$

$$I_L = \frac{w_0 - w_P}{I_P} \quad (9.2.5-2)$$

式中: I_P ——塑性指数;

I_L ——液性指数,计算至 0.01;

w_L ——液限(%);

w_P ——塑限(%).

9.2.6 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.12 的规定。

9.3 碟式仪液限法

9.3.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

1 碟式液限仪(图 9.3.1):由土碟和支架组成专用仪器,并有专用划刀。其技术条件应符合现行国家标准《土工试验仪器 液限仪 第 1 部分:碟式液限仪》GB/T 21997.1 的规定;

2 天平:称量 200g,分度值 0.01g;

3 筛:孔径为 0.5mm;

4 其他:烘箱、干燥缸、铝盒、调土刀。

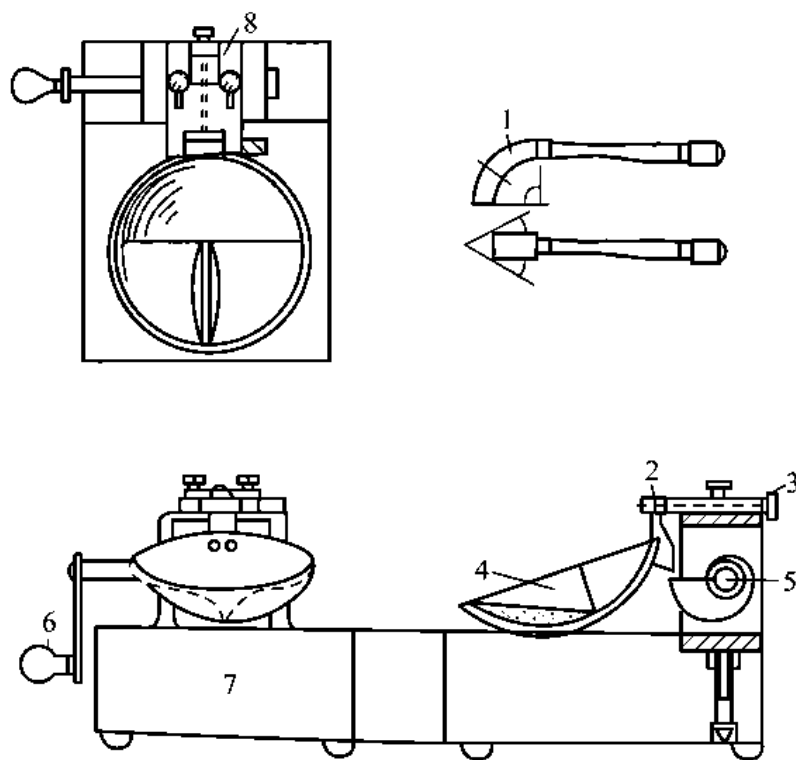


图 9.3.1 碟式液限仪

1—开槽器;2—销子;3—支架;4—土碟;

5—蜗轮;6—摇柄;7—底座;8—调整板

9.3.2 碟式仪液限法试验应按下列步骤进行：

1 取过 0.5mm 筛的土样(天然含水率的土样或风干土样均可)约 100g,放在调土皿中,按需要加纯水,用调土刀反复拌匀。

2 取一部分试样,平铺于土碟的前半部。铺土时应防止试样中混入气泡。用调土刀将试样面修平,使最厚处为 10mm,多余试样放回调土皿中。以蜗形轮为中心,用划刀自后至前沿土碟中央将试样划成槽缝清晰的两半(图 9.3.2-1)。为避免槽缝边扯裂或试样在土碟中滑动,允许从前至后,再从后至前多划几次,将槽逐步加深,以代替一次划槽,最后一次从后至前的划槽能明显的接触碟底,但应尽量减少划槽的次数。

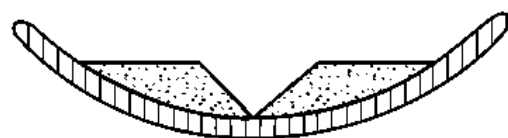


图 9.3.2-1 划槽状况

3 以每秒 2 转的速率转动摇柄,使土碟反复起落,坠击于底座上,数记击数,直至试样两边在槽底的合拢长度为 13mm 为止(图 9.3.2-2),记录击数,并在槽的两边采取试样 10g 左右,测定其含水率。



图 9.3.2-2 合拢状况

4 将土碟中的剩余试样移至调土皿中,再加水彻底拌和均匀,应按本标准第 9.3.2 条第 2 款、第 3 款的规定至少再做两次试验。这两次土的稠度应使合拢长度为 13mm 时所需击数为 15 次~35 次,其中 25 次以上及以下各 1 次。然后测定各击次下试样的相应含水率。

9.3.3 各击次下合拢时试样的相应含水率应按下式计算：

$$w_N = \left(\frac{m_N}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (9.3.3)$$

式中： w_N —— N 击下试样的含水率(%)；

m_N —— N 击下试样的质量(g)。

9.3.4 根据试验结果，以含水率为纵坐标，击次为横坐标，在单对数坐标上绘制击次与含水率关系曲线，查得曲线上击数 25 次所对应的含水率，即为该试样的液限。

9.3.5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.13 的规定。

9.4 搓滚塑限法

9.4.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

- 1 毛玻璃板：尺寸宜为 200mm×300mm；
- 2 卡尺：分度值 0.02mm；
- 3 天平：称量 200g，分度值 0.01g；
- 4 筛：孔径 0.5mm；
- 5 其他：烘箱、干燥缸、铝盒。

9.4.2 搓滚塑限法试验应按下列步骤进行：

1 取过 0.5mm 筛的代表性试样约 100g，加纯水拌和，浸润静置过夜。

2 将试样在手中捏揉至不黏手，捏扁，当出现裂缝时，表示含水率已接近塑限。

3 取接近塑限的试样一小块，先用手捏成橄榄形，然后再用手掌在毛玻璃板上轻轻搓滚。搓滚时手掌均匀施加压力于土条上，不得使土条在毛玻璃板上无力滚动，土条不得有空心现象，土条长度不宜大于手掌宽度。

4 当土条搓成 3mm 时，产生裂缝，并开始断裂，表示试样达到塑限。当不产生裂缝及断裂时，表示这时试样的含水率高于塑限；当土条直径大于 3mm 时即断裂，表示试样含水率小于塑限，

应弃去,重新取土试验。当土条在任何含水率下始终搓不到 3mm 即开始断裂,则该土无塑性。

5 取直径符合 3mm 断裂土条 3g~5g,放入称量盒内,盖紧盒盖,测定含水率。此含水率即为塑限。

9.4.3 塑限应按下式计算,计算至 0.1%:

$$w_p = \left(\frac{m_0}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (9.4.3)$$

9.4.4 本试验应进行两次平行测定,两次测定的最大允许差值应符合本标准第 5.2.4 条的规定。

9.4.5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.14 的规定。

9.5 缩限试验

9.5.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

- 1 收缩皿(或环刀):金属制成,直径 4.5cm~5.0cm,高 2.0cm~3.0cm;
- 2 天平:称量 500g,分度值 0.01g;
- 3 筛:孔径 0.5mm;
- 4 蜡,烧杯,细线,针;
- 5 其他:烘箱、干燥缸、铝盒、调土刀。

9.5.2 缩限试验应按下列步骤进行:

- 1 取代表性的土样,用纯水制备成约为液限的试样;
- 2 在收缩皿内抹一薄层凡士林,将试样分层装入收缩皿中,每次装入后将皿在试验台上拍击,直至驱尽气泡为止;
- 3 收缩皿装满试样后,用直尺刮去多余试样,擦净收缩皿外部,立即称收缩皿加湿土总质量;
- 4 将盛装试样的收缩皿放在室内逐渐晾干,至试样的颜色变淡时,放入烘箱中烘至恒量;
- 5 称皿和干土总质量,应准确至 0.01g;
- 6 应按本标准第 6.3 节的规定测定干土体积。

9.5.3 缩限应按下式计算,计算至 0.1%:

$$w_s = \left(0.01w' - \frac{V_0 - V_d}{m_d} \cdot \rho_w \right) \times 100 \quad (9.5.3)$$

式中: w_s ——缩限(%);

w' ——土样所要求的含水率(制备含水率)(%);

V_0 ——湿土体积(即收缩皿或环刀的容积)(cm^3);

V_d ——烘干后土的体积(cm^3);

ρ_w ——水的密度(g/cm^3)。

9.5.4 本试验应进行两次平行测定,两次测定的最大允许差值应符合本标准第 5.2.4 条的规定。

9.5.5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.15 的规定。

10 崩解试验

10.0.1 土样为有结构性的黏质土体。

10.0.2 本试验所用的仪器设备(图 10.0.2)应符合下列规定：

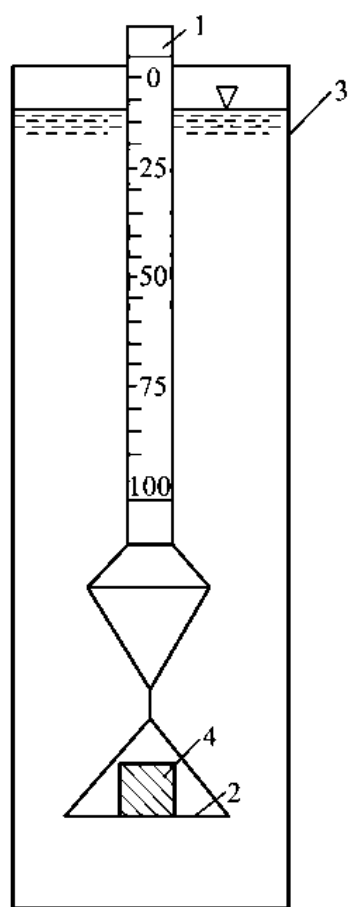


图 10.0.2 崩解仪示意图

1—浮筒；2—网板；3—玻璃水筒；4—试样

- 1 浮筒：长颈锥体，下有挂钩，颈上有刻度，分度值为 5；
- 2 网板：10cm×10cm。金属方格网，孔眼 1cm²，可挂在浮筒下端；

3 玻璃水筒:宽约 15cm,高约 70cm,长度视需要而定,内盛清水;

4 天平:称量 500g,分度值 0.01g;

5 其他:烘箱、干燥器、时钟、切土刀、调土皿、称量皿。

10.0.3 崩解试验应按下列步骤进行:

1 取原状土或用扰动土制备成所需状态的土样,用切土刀切成边长为 5cm 的立方体试样;

2 应按本标准第 5.2 节、第 6.2 节的规定测定试样的含水率及密度;

3 将试样放在网板中央,网板挂在浮筒下,然后手持浮筒颈端,迅速地将试样浸入水筒中,开动秒表,测记开始时浮筒齐水面处刻度的瞬间稳定读数及开始时间;

4 在试验开始时可按 1min、3min、10min、30min、60min、2h、3h、4h……测记浮筒齐水面处的刻度读数,并描述各该时试样的崩解情况,根据试样崩解的快慢,可适当缩短或增长测读的时间间隔;

5 当试样完全通过网格落下后,试验即告结束;当试样长期不崩解时,应记录试样在水中的情况。

10.0.4 崩解量应按下列式计算:

$$A_t = \frac{R_t - R_0}{100 - R_0} \times 100 \quad (10.0.4)$$

式中: A_t ——试样在时间 t 时的崩解量(%);

R_t ——时间 t 时浮筒齐水面处的刻度读数;

R_0 ——试验开始时浮筒齐水面处刻度的瞬间稳定读数。

10.0.5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.16 的规定。

11 毛管水上升高度试验

11.1 一般规定

11.1.1 本试验根据不同的土质,可分别采用直接观测法和土样管法。

11.1.2 直接观测法用于粗砂、中砂,土样管法用于细砂、粉土或毛管水上升高度较小的黏土。

11.2 直接观测法

11.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

1 毛管仪(图 11.2.1):包括支架、玻璃杯及厚壁玻璃管。厚壁玻璃管内径为 2cm~3cm,长约 100cm,分度值为 0.5cm,零点在下端,底端用金属网包住;

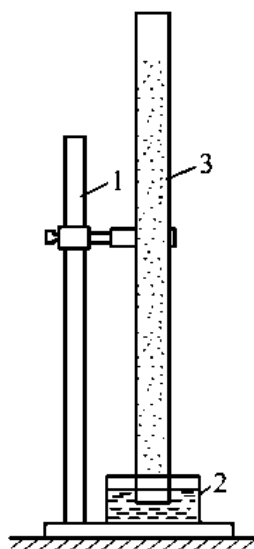


图 11.2.1 毛管仪

1—支架;2—玻璃杯;3—厚壁玻璃管

2 天平:称量 2000g,分度值 0.1g;

3 其他:烘箱、漏斗、称量盒、捣棒。

11.2.2 直接观测法试验应按下列步骤进行:

1 取代表性的风干砂土约 1500g,使其分散,借漏斗分数次装

入玻璃管中,并应用捣棒捣实,使密度均匀,并达到所需的干密度;

2 将玻璃管垂直插入玻璃杯中,管身用支架固定;

3 在玻璃杯中注入水,水面应高出管底 0.5cm~1.0cm。在试验过程中水面须保持不变;

4 注水入杯后,经过 5min、10min、20min、30min、60min,以后每隔数小时,根据玻璃管中砂土颜色的深浅,测记各时间毛管水上升最高点的高度(从杯中水面为基点),直至上升稳定为止。

11.2.3 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.17 的规定。

11.3 土样管法

11.3.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

1 土样管毛管仪(图 11.3.1)应符合下列规定:

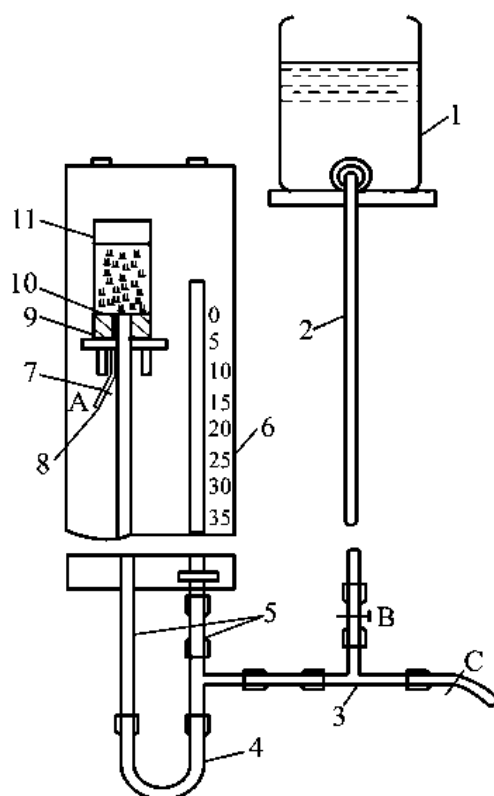


图 11.3.1 土样管毛管仪

1—供水瓶;2—玻璃管;3—三通接头;4—橡皮管;5—测压管;6—直尺;

7—管夹;8—排气管;9—橡皮塞;10—筛布;11—玻璃筒

- 1) 玻璃筒(或金属筒):直径 4cm~6cm,高约 12cm;
 - 2) 测压管:直径 0.5cm~1.0cm,长约 200cm;
 - 3) 直尺:分度值 0.5cm,其零点与试样面齐平。
- 2 天平:称量 2000g,分度值 0.1g;
 - 3 其他:烘箱、干燥缸、捣棒、直径比玻璃筒略小的切土筒、修土刀、称量盒。

11.3.2 土样管法试验应按下列步骤进行:

1 关好管夹 A、B、C。供水瓶注满水,取代表性风干土样约 500g~600g,经分散后倒入铺有筛布的玻璃筒中,并逐次用捣棒捣实,使其均匀,达到所需的孔隙比,直至试样高度达 8.0cm 为止,测定试样密度。

2 对原状土样,用切土筒削取试样高约为 8.0cm,测定含水率和密度。并将试样推入玻璃筒中,使其距玻璃筒端约 2cm。四周间隙用蜡密封,不使其漏气。玻璃筒下口用铺有筛布的橡皮塞塞紧,并采取封密措施。土中含有较多黏土颗粒时,则在筛布上铺一层约 1cm 厚粗砂缓冲层。此时,直尺零点应与缓冲层顶齐平。

3 开管夹 A、B,使水缓缓地经测压管上升至试样下部。排除管内空气至排气管流出的水中无气泡时,关管夹 A、B。

4 徐徐间断开或关管夹 B,使水缓缓地由下而上地饱和试样,至试样表面见水时,关管夹 B。

5 徐徐开管夹 C,使右边侧压管之水面逐渐下降,至管内水面停止下降或开始升高时,记下此时测压管中水面读数,即为毛管水上升高度。

6 应按本标准第 11.3.2 条第 1 款~第 5 款的规定重复 1 次,取两次测定结果的算术平均值,以整数(cm)表示。

11.3.3 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.18 的规定。

12 相对密度试验

12.1 一般规定

12.1.1 土样为能自由排水的砂砾土,粒径不应大于 5mm,其中粒径为 2mm~5mm 的土样质量不应大于土样总质量的 15%。

12.1.2 最小干密度试验宜采用漏斗法和量筒法,最大干密度试验宜采用振动锤击法。

12.1.3 本试验应进行两次平行测定,两次测定值其最大允许平行差值应为 $\pm 0.03\text{g/cm}^3$,取两次测值的算术平均值为试验结果。

12.2 最小干密度试验

12.2.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定:

- 1 量筒:容积为 500mL 及 1000mL 两种,后者内径应大于 6cm;
- 2 长颈漏斗:颈管内径约 1.2cm,颈口磨平;
- 3 锥形塞:直径约 1.5cm 的圆锥体,焊接在铜杆下端(图 12.2.1);
- 4 天平:称量 1000g,分度值 1g;
- 5 砂面拂平器。

12.2.2 最小干密度试验应按下列步骤进行:

- 1 取代表性的烘干或充分风干试样约 1.5kg,用手搓揉或用圆木棍在橡皮板上碾散,并应拌和均匀;
- 2 将锥形塞杆自漏斗下口穿入,并向上提起,使锥体堵住漏斗管口,一并放入 1000mL 量筒中,使其下端与筒底接触;
- 3 称取试样 700g,应准确至 1g,均匀倒入漏斗中,将漏斗与塞杆同时提高,然后下放塞杆使锥体略离开管口,管口应经常保持高出砂面 1cm~2cm,使试样缓缓且均匀分布地落入量筒中;

4 试样全部落入量筒后,取出漏斗与锥形塞,用砂面拂平器将砂面拂平,勿使量筒振动,然后测读砂样体积,估读至 5mL;

5 用手掌或橡皮板堵住量筒口,将量筒倒转,然后缓慢地转回原来位置,如此重复几次,记下体积的最大值,估读至 5mL;

6 从本标准第 12.2.2 条第 4 款和第 5 款两种方法测得的体积值中取体积值较大的一个,为松散状态时试样的最大体积。

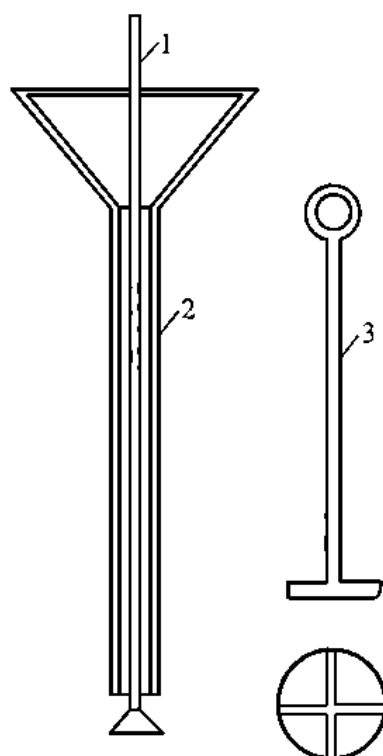


图 12.2.1 漏斗及拂平器

1—锥形塞;2—长颈漏斗;3—砂面拂平器

12.2.3 最小干密度应按下式计算,计算至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$;

$$\rho_{\text{dmin}} = \frac{m_{\text{d}}}{V_{\text{max}}} \quad (12.2.3)$$

式中: ρ_{dmin} ——最小干密度(g/cm^3);

V_{max} ——松散状态时试样的最大体积(cm^3)。

12.2.4 最大孔隙比应按下式计算:

$$e_{\max} = \frac{\rho_w G_s}{\rho_{\min}} - 1 \quad (12.2.4)$$

式中： $e_{\max}$ ——最大孔隙比。

12.2.5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 19 的规定。

12.3 最大干密度试验

12.3.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

- 1 金属容器,有两种:
 - 1) 容积 250mL,内径 5cm,高 12.7cm;
 - 2) 容积 1000mL,内径 10cm,高 12.75cm。
- 2 振动叉(图 12.3.1-1);

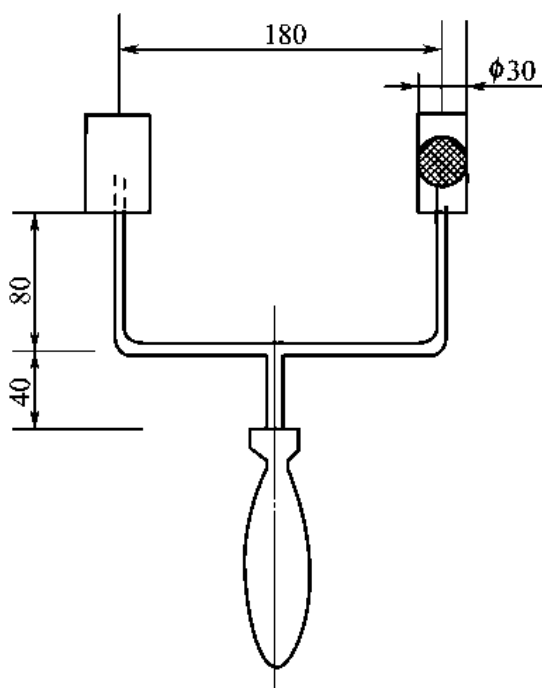


图 12.3.1-1 振动叉(单位:mm)

- 3 击锤:锤质量 1.25kg,落高 15cm,锤底直径 5cm(图 12.3.1-2);
- 4 台秤:称量 5000g,分度值 1g。

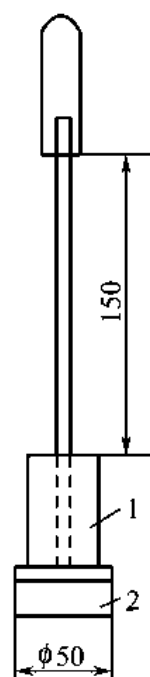


图 12.3.1-2 击锤(单位:mm)

1- 击锤;2 锤座

12.3.2 最大干密度试验应按下列步骤进行:

1 取代表性的试样约 4kg,应按本标准第 12.2.2 条第 1 款的规定处理。

2 分 3 次倒入容器进行振击。先取代表性试样 600g~800g (其数量应使振击后的体积略大于容器容积的 1/3)倒入 1000mL 容器内,用振动叉以每分钟各 150 次~200 次的速度敲打容器两侧,并在同一时间内,用击锤于试样表面每分钟锤击 30 次~60 次,直至砂样体积不变为止,一般击 5min~10min。敲打时要用足够的力量使试样处于振动状态;锤击时,粗砂可用较少击数,细砂应用较多击数。

3 应符合本标准第 12.3.2 条第 2 款的规定,进行后两次的装样、振动和锤击,第 3 次装样时应先在容器口上安装套环。

4 最后 1 次振毕,取下套环,用修土刀齐容器顶面刮去多余试样,称容器内试样质量,准确至 1g,并记录试样体积,计算其最小孔隙比。

12.3.3 最大干密度应按下式计算,计算至 0.01g/cm^3 :

$$\rho_{\text{dmax}} = \frac{m_{\text{d}}}{V_{\text{min}}} \quad (12.3.3)$$

式中: ρ_{dmax} ——最大干密度(g/cm^3);

V_{min} ——紧密状态时试样的最小体积(cm^3)。

12.3.4 最小孔隙比应按下式计算:

$$e_{\text{min}} = \frac{\rho_{\text{w}} G_{\text{s}}}{\rho_{\text{dmax}}} - 1 \quad (12.3.4)$$

式中: e_{min} ——最小孔隙比。

12.3.5 相对密度应按下列公式计算:

$$D_{\text{r}} = \frac{e_{\text{max}} - e_0}{e_{\text{max}} - e_{\text{min}}} \quad (12.3.5-1)$$

$$D_{\text{r}} = \frac{(\rho_{\text{d}} - \rho_{\text{dmin}}) \rho_{\text{dmax}}}{(\rho_{\text{dmax}} - \rho_{\text{dmin}}) \rho_{\text{d}}} \quad (12.3.5-2)$$

式中: D_{r} ——相对密度,计算至 0.01;

e_0 ——天然孔隙比或填土的相应孔隙比。

12.3.6 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.19 的规定。

13 击实试验

13.1 一般规定

13.1.1 土样粒径应小于 20mm。

13.1.2 本试验分轻型击实和重型击实。轻型击实试验的单位体积击实功约为 592.2kJ/m^3 ，重型击实试验的单位体积功约为 2684.9kJ/m^3 。

13.2 仪器设备

13.2.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

1 击实仪：应符合现行国家标准《土工试验仪器 击实仪》GB/T 22541 的规定。由击实筒(图 13.2.1-1)、击锤(图 13.2.1-2)和护筒组成，其尺寸应符合表 13.2.1 的规定。

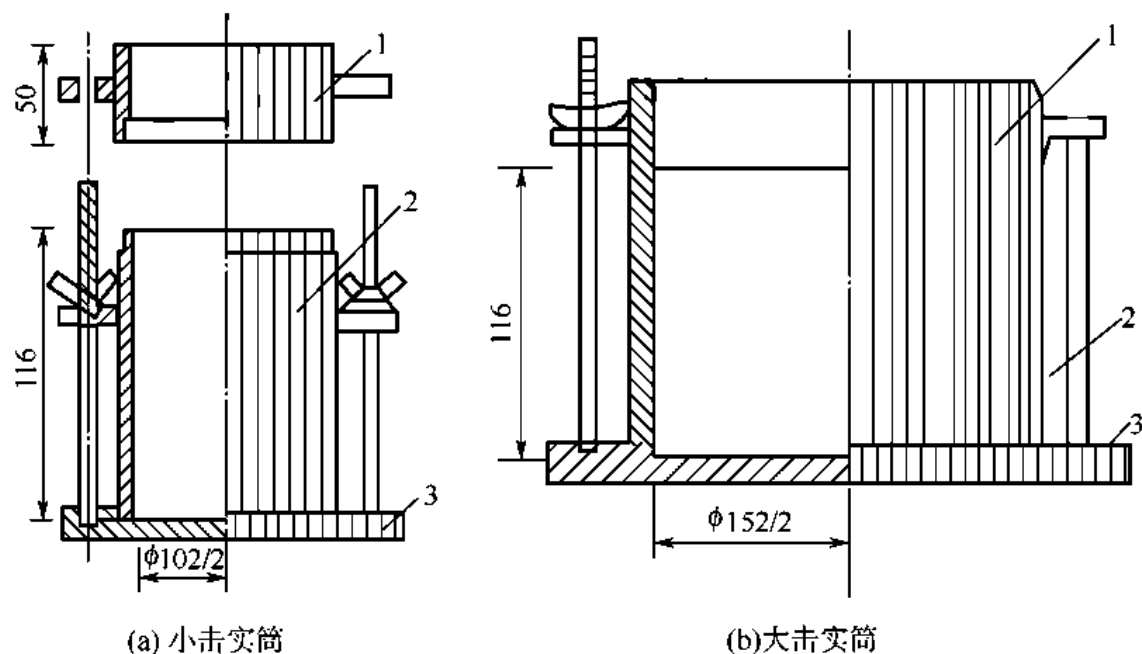


图 13.2.1-1 击实筒(单位:mm)

1—护筒;2—击实筒;3—底板

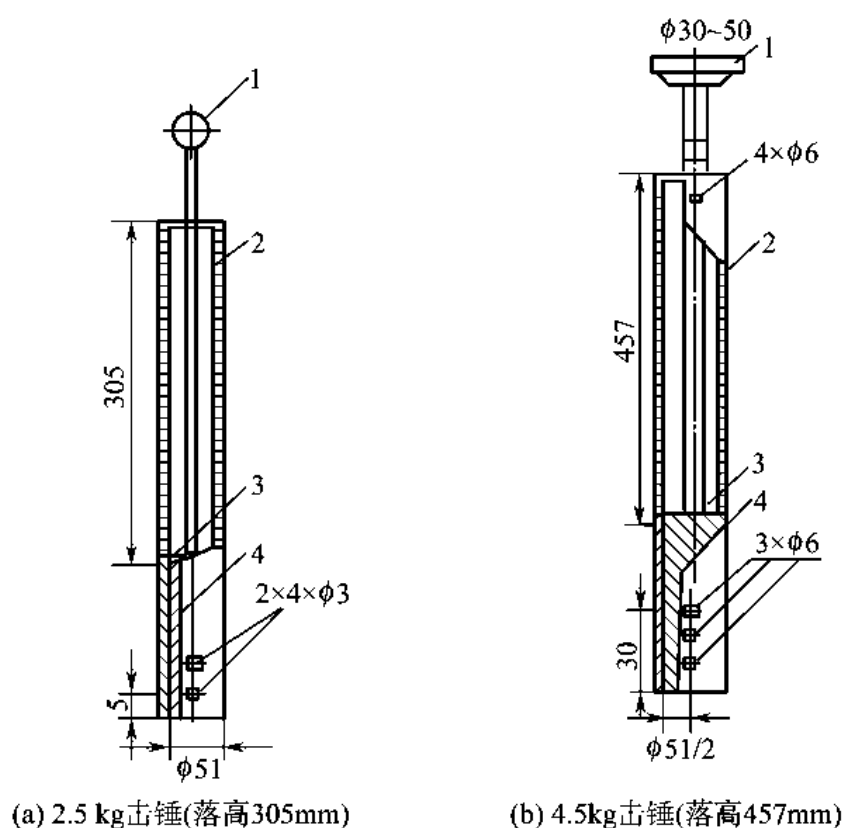


图 13.2.1-2 击锤与导筒(单位:mm)

1 - 提手; 2 导筒; 3 硬橡皮垫; 4 击锤

表 13.2.1 击实仪主要技术指标

试验方法	锤底直径 (mm)	锤质量 (kg)	落高 (mm)	层数	每层 击数	击实筒			护筒 高度 (mm)	备注
						内径 (mm)	筒高 (mm)	容积 (cm ³)		
轻型	51	2.5	305	3	25	102	116	947.4	≥50	
				3	56	152	116	2103.9	≥50	
重型		4.5	457	3	42	102	116	947.4	≥50	
				3	94	152	116	2103.9	≥50	
				5	56					

2 击实仪的击锤应配导筒,击锤与导筒间应有足够的间隙使锤能自由下落。电动操作的击锤必须有控制落距的跟踪装置和锤击点按一定角度均匀分布的装置。

3 天平:称量 200g,分度值 0.01g。

4 台秤:称量 10kg,分度值 1g。

5 标准筛:孔径为 20mm、5mm。

13.2.2 本试验所用的其他仪器设备应符合下列规定:

1 试样推出器:宜用螺旋式千斤顶或液压式千斤顶,如无此类装置,也可用刮刀和修土刀从击实筒中取出试样;

2 其他:烘箱、喷水设备、碾土设备、盛土器、修土刀和保湿设备。

13.3 操作步骤

13.3.1 试样制备可分为干法制备和湿法制备两种方法。

1 干法制备应按下列步骤进行:

1)用四分法取一定量的代表性风干试样,其中小筒所需土样约为 20kg,大筒所需土样约为 50kg,放在橡皮板上用木碾碾散,也可用碾土器碾散;

2)轻型按要求过 5mm 或 20mm 筛,重型过 20mm 筛,将筛下土样拌匀,并测定土样的风干含水率;根据土的塑限预估的最优含水率,并按本标准第 4.3 节规定的步骤制备不少于 5 个不同含水率的一组试样,相邻 2 个试样含水率的差值宜为 2%;

3)将一定量土样平铺于不吸水的盛土盘内,其中小型击实筒所需击实土样约为 2.5kg,大型击实筒所取土样约为 5.0kg,按预定含水率用喷水设备往土样上均匀喷洒所需加水量,拌匀并装入塑料袋内或密封于盛土器内静置备用。静置时间分别为:高液限黏土不得少于 24h,低液限黏土可酌情缩短,但不应少于 12h。

2 湿法制备应取天然含水率的代表性土样,其中小型击实筒所需土样约为 20kg,大型击实筒所需土样约为 50kg。碾散,按要求过筛,将筛下土样拌匀,并测定试样的含水率。分别风干或加水

到所要求的含水率,应使制备好的试样水分均匀分布。

13.3.2 试样击实应按下列步骤进行:

1 将击实仪平稳置于刚性基础上,击实筒内壁和底板涂一薄层润滑油,连接好击实筒与底板,安装好护筒。检查仪器各部件及配套设备的性能是否正常,并做好记录。

2 从制备好的一份试样中称取一定量土料,分3层或5层倒入击实筒内并将土面整平,分层击实。手工击实时,应保证使击锤自由铅直下落,锤击点必须均匀分布于土面上;机械击实时,可将定数器拨到所需的击数处,击数可按表13.2.1确定,按动电钮进行击实。击实后的每层试样高度应大致相等,两层交接面的土面应刨毛。击实完成后,超出击实筒顶的试样高度应小于6mm。

3 用修土刀沿护筒内壁削挖后,扭动并取下护筒,测出超高,应取多个测值平均,准确至0.1mm。沿击实筒顶细心修平试样,拆除底板。试样底面超出筒外时,应修平。擦净筒外壁,称量,准确至1g。

4 用推土器从击实筒内推出试样,从试样中心处取2个一定量的土料,细粒土为15g~30g,含粗粒土为50g~100g。平行测定土的含水率,称量准确至0.01g,两个含水率的最大允许差值应为±1%。

5 应按本条第1款~第4款的规定对其他含水率的试样进行击实。一般不重复使用土样。

13.4 计算、制图和记录

13.4.1 击实后各试样的含水率应按下式计算:

$$w = \left(\frac{m_0}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (13.4.1)$$

13.4.2 击实后各试样的干密度应按下式计算,计算至0.01g/cm³:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w} \quad (13.4.2)$$

13.4.3 土的饱和含水率应按下式计算:

$$w_{\text{sat}} = \left(\frac{\rho_w}{\rho_d} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100 \quad (13.4.3)$$

式中： w_{sat} ——饱和含水率(%)；

ρ_w ——水的密度(g/cm³)。

13.4.4 以干密度为纵坐标,含水率为横坐标,绘制干密度与含水率的关系曲线。曲线上峰值点的纵、横坐标分别代表土的最大干密度和最优含水率。曲线不能给出峰值点时,应进行补点试验。

13.4.5 数个干密度下土的饱和含水率应按本标准式(13.4.3)计算。以干密度为纵坐标,含水率为横坐标,在图上绘制饱和曲线。

13.4.6 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.20 的规定。

14 承载比试验

14.1 一般规定

14.1.1 土样粒径应小于 20mm。

14.1.2 本试验应采用重型击实法将扰动土在规定试样筒内制样后进行试验。

14.2 仪器设备

14.2.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

1 击实仪应符合本标准第 13.2.1 条的规定,其主要部件的尺寸应符合下列规定：

1)试样筒(图 14.2.1-1):内径 152mm,高 166mm 的金属圆筒;试样筒内底板上放置垫块,垫块直径为 151mm,高 50mm,护筒高度 50mm;

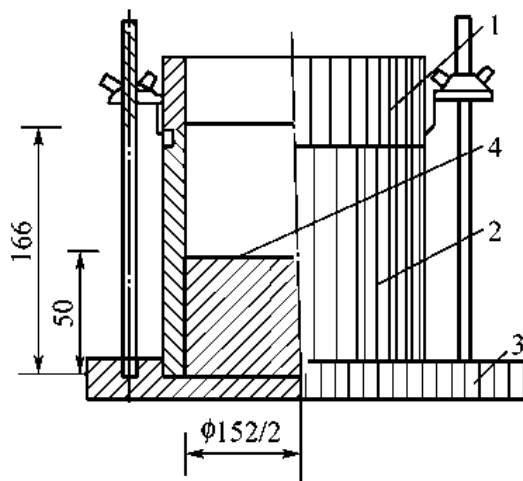


图 14.2.1-1 试样筒(单位:mm)

1—护筒;2—试样筒;3—底板;4—垫块

2)击锤和导筒:锤底直径 51mm,锤质量 4.5kg,落距 457mm;

击锤与导筒之间的空隙应符合现行国家标准《土工试验仪器 击实仪》GB/T 22541 的规定。

2 贯入仪(图 14.2.1-2)应符合下列规定:

- 1) 加荷和测力设备:量程应不低于 50kN,最小贯入速度应能调节至 1mm/min;
- 2) 贯入杆:杆的端面直径 50mm,杆长 100mm,杆上应配有安装百分表的夹孔;
- 3) 百分表:2 只,量程分别为 10mm 和 30mm,分度值 0.01mm。

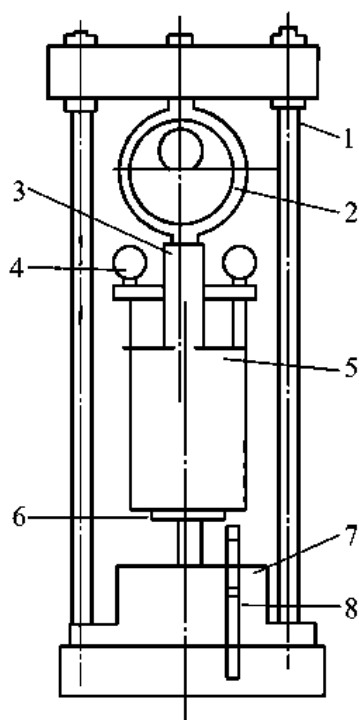


图 14.2.1-2 贯入仪示意图

- 1 框架;2 测力计;3 贯入杆;4 位移计;5 试样;
6—升降台;7—蜗轮蜗杆箱;8—摇把

3 标准筛:孔径为 20mm、5mm;

4 台秤:称量 20kg,分度值 1g;

5 天平:称量 200g,分度值 0.01g。

14.2.2 本试验所用的其他仪器设备应符合下列规定:

1 膨胀量测定装置(图 14.2.2-1):由百分表和三脚架组成;

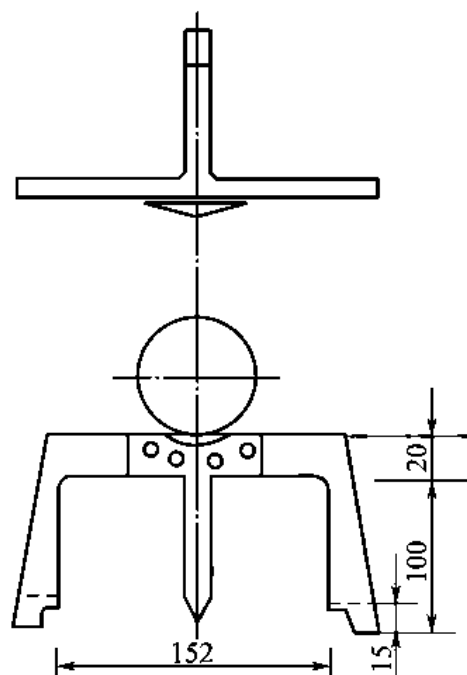


图 14.2.2-1 膨胀量测定装置(单位:mm)

2 有孔底板:孔径宜小于 2mm,底板上应配有可紧密连接试样筒的装置;带调节杆的多孔顶板(图 14.2.2-2);

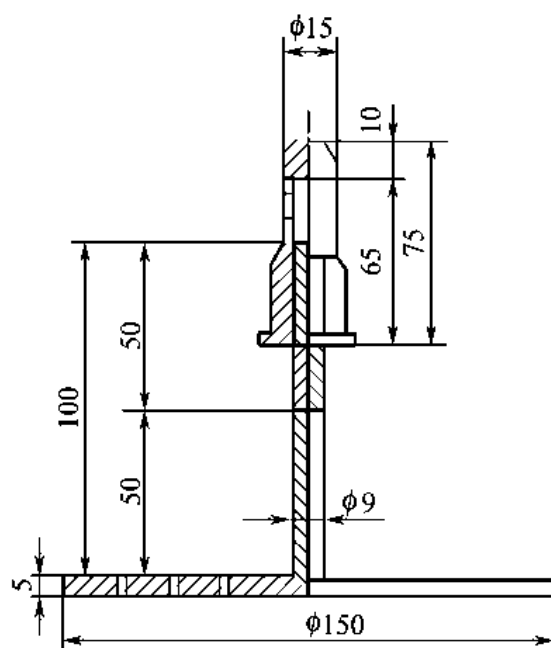


图 14.2.2-2 带调节杆的多孔顶板(单位:mm)

3 荷载块(图 14.2.2-3):直径 150mm,中心孔直径 52mm;每对质量 1.25kg,共 4 对,并沿直径分为两个半圆块;

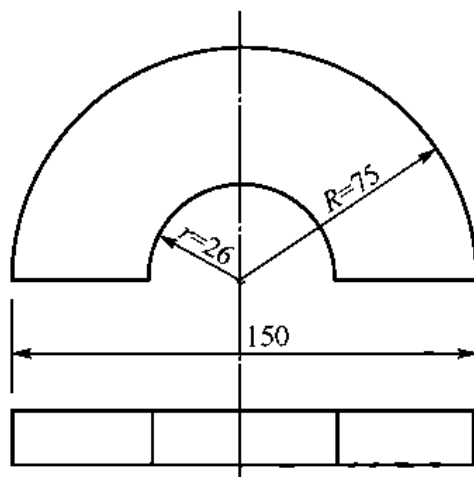


图 14.2.2-3 荷载块(单位:mm)

4 水槽:槽内水面应高出试件顶面 25mm;

5 其他:刮刀、修土刀、直尺、量筒、土样推出器、烘箱、盛土盘。

14.3 操作步骤

14.3.1 试样制备应按下列步骤进行:

1 试样制备应符合本标准第 13.3.1 条的规定。其中土样需过 20mm 筛,以筛除粒径大于 20mm 的颗粒,并记录超径颗粒的百分数;按需要制备数份试样,每份试样质量约为 6.0kg;

2 应按本标准第 13.3.2 条的规定进行重型击实试验,求取最大干密度和最优含水率;

3 应按最优含水率备料,进行重型击实试验制备 3 个试样,击实完成后试样超高应小于 6mm;

4 卸下护筒,沿试样筒顶修平试样,表面不平整处宜细心用细料修补,取出垫块,称试样筒和试样的总质量。

14.3.2 浸水膨胀应按下列步骤进行:

1 将一层滤纸铺于试样表面,放上多孔底板,并应用拉杆将试样筒与多孔底板固定好;

2 倒转试样筒,取一层滤纸铺于试样的另一表面,并在该面上放置带有调节杆的多孔顶板,再放上 8 块荷载块;

3 将整个装置放入水槽,先不放水,安装好膨胀量测定装置,并读取初读数;

4 向水槽内缓缓注水,使水自由进入试样的顶部和底部,注水后水槽内水面应保持在荷载块顶面以上大约 25mm(图 14.3.2);通常试样要浸水 4d;

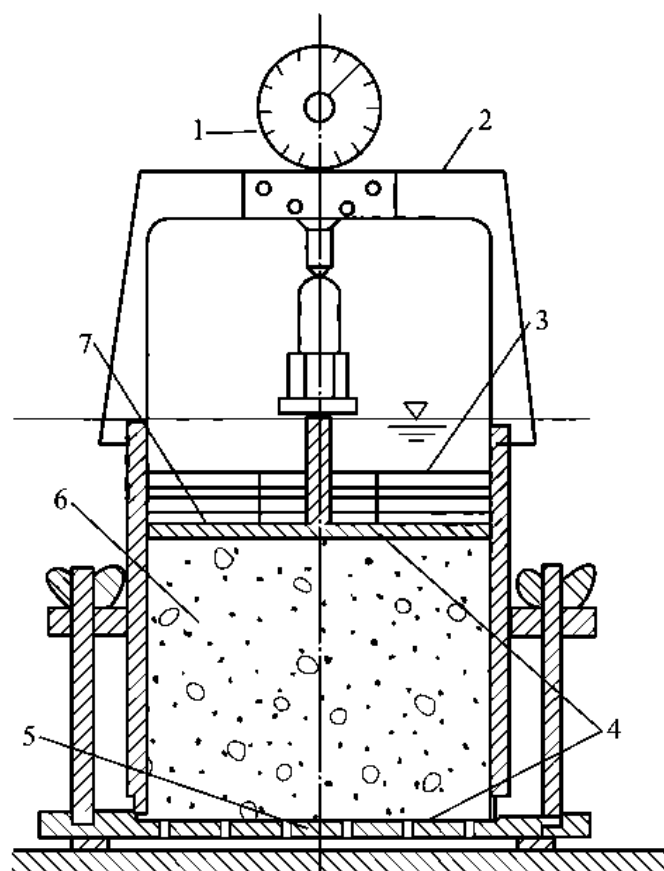


图 14.3.2 浸水膨胀试验装置

1—百分表;2—三脚架;3—荷载板;4—滤纸;5—多孔底板;
6—试样;7—多孔顶板

5 根据需要以一定时间间隔读取百分表的读数。浸水终了时,读取终读数。膨胀率应按下式计算:

$$\delta_w = \frac{\Delta h_w}{h_0} \times 100 \quad (14.3.2)$$

式中： δ_w ——浸水后试样的膨胀率(%)；

Δh_w ——浸水后试样的膨胀量(mm)；

h_0 ——试样的初始高度(mm)。

6 卸下膨胀量测定装置，从水槽中取出试样，吸去试样顶面的水，静置 15min 让其排水，卸去荷载块、多孔顶板和有孔底板，取下滤纸，并称试样筒和试样总质量，计算试样的含水率与密度的变化。

14.3.3 贯入试验应按下列步骤进行：

1 将浸水终了的试样放到贯入仪的升降台上，调整升降台的高度，使贯入杆与试样顶面刚好接触，并在试样顶面放上 8 块荷载块；

2 在贯入杆上施加 45N 荷载，将测力计量表和测变形的量表读数调整至零点；

3 加荷使贯入杆以 1mm/min~1.25mm/min 的速度压入试样，按测力计内量表的某些整读数(如 20、40、60)记录相应的贯入量，并使贯入量达 2.5mm 时的读数不得少于 5 个，当贯入量读数为 10mm~12.5mm 时可终止试验；

4 应进行 3 个试样的平行试验，每个试样间的干密度最大允许差值应为 $\pm 0.03\text{g/cm}^3$ 。当 3 个试样试验结果所得承载比的变异系数大于 12%时，去掉一个偏离大的值，试验结果取其余 2 个结果的平均值；当变异系数小于 12%时，试验结果取 3 个结果的平均值。

14.4 计算、制图和记录

14.4.1 由 $p-l$ 曲线上获取贯入量为 2.5mm 和 5.0mm 时的单位压力值，各自的承载比应按下列公式计算。承载比一般是指贯入量为 2.5mm 时的承载比，当贯入量为 5.0mm 时的承载比大于 2.5mm 时，试验应重新进行。当试验结果仍然相同时，应采用贯入量为 5.0mm 时的承载比。

1 贯入量为 2.5mm 时的承载比应按下式计算：

$$CBR_{2.5} = \frac{p}{7000} \times 100 \quad (14.4.1-1)$$

式中： $CBR_{2.5}$ ——贯入量为 2.5mm 时的承载比(%)；

p ——单位压力(kPa)；

7000——贯入量为 2.5mm 时的标准压力(kPa)。

2 贯入量为 5.0mm 时的承载比应按下式计算：

$$CBR_{5.0} = \frac{p}{10500} \times 100 \quad (14.4.1-2)$$

式中： $CBR_{5.0}$ ——贯入量为 5.0mm 时的承载比(%)；

10500——贯入量为 5.0mm 时的标准压力(kPa)。

14.4.2 以单位压力(p)为横坐标,贯入量(l)为纵坐标,绘制 $p-l$ 曲线(图 14.4.2)。图 14.4.2 中,曲线 1 是合适的,曲线 2 的开始段是凹曲线,应进行修正。修正的方法为:在变曲率点引一切线,与纵坐标交于 O' 点,这 O' 点即为修正后的原点。

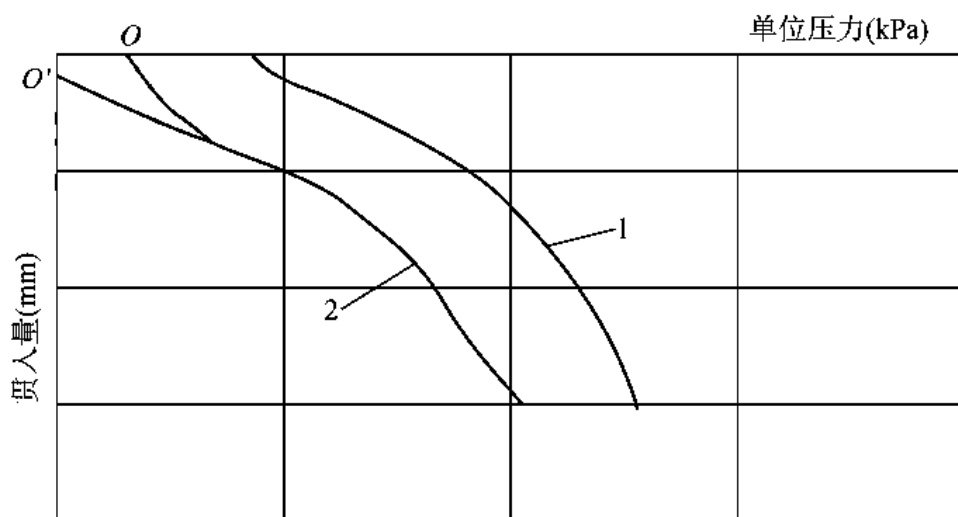


图 14.4.2 单位压力与贯入量的关系曲线($p-l$ 曲线)

14.4.3 承载比试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.21、表 D.22 的规定。

15 回弹模量试验

15.1 一般规定

15.1.1 土样粒径应小于 20mm。

15.1.2 本试验采用杠杆压力仪法和强度仪法。杠杆压力仪法用于含水率较大、硬度较小的试样。

15.2 杠杆压力仪法

15.2.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

1 杠杆压力仪(图 15.2.1-1):最大压力 1500N;

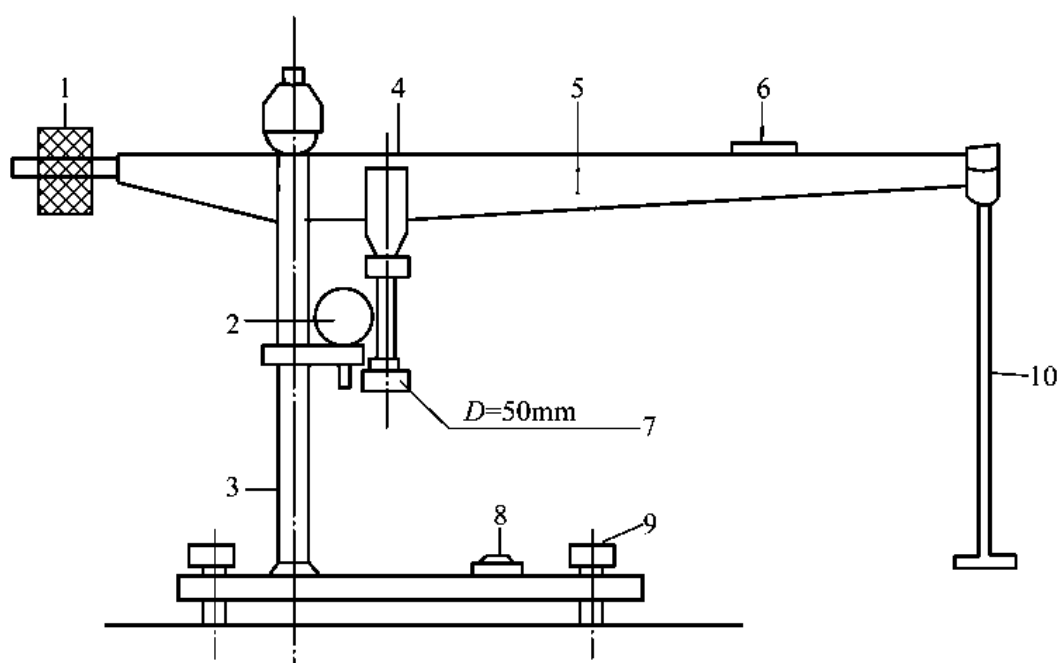


图 15.2.1-1 杠杆压力仪

1—调平砝码;2—千分表;3—立柱;4—加压杆;5—水平杠杆;6—水平气泡;
7—加压球座;8—底座水平气泡;9—调平脚螺丝;10—加载架

2 试样筒(图 15.2.1-2):内径 152mm,高 166mm 的金属圆筒,其形式和尺寸应符合本标准图 14.2.1-1 的规定,但在与夯击底板的立柱连接的缺口板上多一个内径 5mm、深 5mm 的螺丝孔,用来安装千分表支架;

3 护筒:高 50mm;

4 筒内垫块:直径 151mm,高 50mm,夯击底板与击实仪同;

5 承载板(图 15.2.1-3):直径 50mm,高 80mm;

6 千分表:2 只,量程 2.0mm,分度值 0.001mm;

7 秒表:分度值 0.1s。

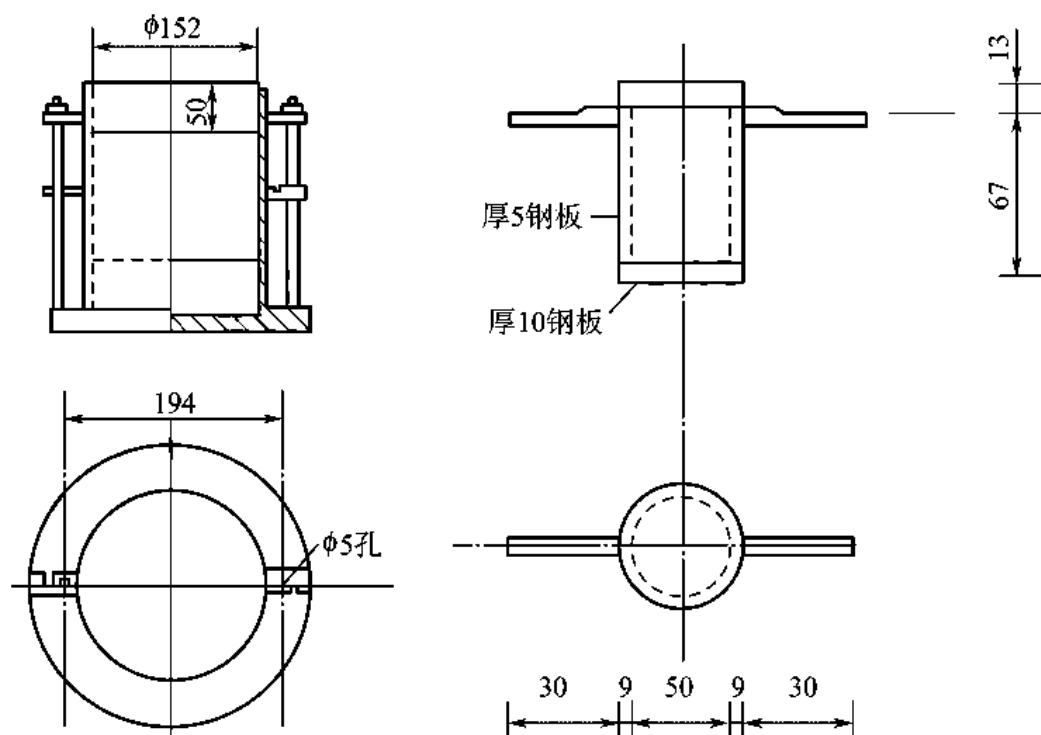


图 15.2.1-2 试样筒(单位:mm) 图 15.2.1-3 承载板(单位:mm)

15.2.2 杠杆压力仪法试验应按下列步骤进行:

1 应按本标准第 13.3.2 条的规定用重型击实法制备试样,得出最大干密度和最优含水率。

2 应按最优含水率制备试样,以规定的击数在试样筒内制备试样。

3 将装有试样的试样筒底面放在杠杆压力仪的底盘上,将承载板放在试样的中心位置,并与杠杆压力仪的加压球座对正。将千分表固定在立柱上,并将千分表的测头安放在承载板的表架上。

4 在杠杆压力仪的加载架上施加砝码,用预定的最大压力进行预压,对含水率大于塑限的土, $p=50\text{kPa}\sim 100\text{kPa}$;对含水率小于塑限的土, $p=100\text{kPa}\sim 200\text{kPa}$ 。预压应进行 1 次~2 次,每次预压 1min 卸载。预压后调整承载板位置,并将千分表调到零位。

5 预定的最大压力分为 4 级~6 级进行加载,每级加载时间为 1min,记录千分表读数,同时卸载,当卸载 1min 时,记录千分表读数,再施加下一级荷载。如此逐级进行加载和卸载,并记录千分表读数,直至最后一级荷载。为使试验曲线的开始部分比较准确,可将第 1 级、第 2 级荷载再分别分成 2 小级进行加载和卸载。试验中的最大压力也可略大于预定的最大压力。

6 土的回弹模量测定应进行 3 次平行试验,每次试验结果与回弹模量的均值间最大允许差值应为 $\pm 5\%$ 。

15.2.3 每级荷载下试样的回弹模量应按下列式计算:

$$E_c = \frac{\pi p D}{4l} (1 - \mu^2) \quad (15.2.3)$$

式中: E_c ——回弹模量(kPa);

p ——承载板上的单位压力(kPa);

D ——承载板直径(cm);

l ——相应于压力的回弹变形量(加载读数减卸载读数)(cm);

μ ——土的泊松比,一般取 0.35。

15.2.4 以单位压力 p 为横坐标,回弹变形量 l 为纵坐标,绘制 $p-l$ 曲线。试样的回弹模量取 $p-l$ 曲线的直线段计算,对于较软的土, $p-l$ 曲线不通过原点时,允许用初始直线段与纵坐标轴的交点当作原点,修正各级荷载下的回弹变形和回弹模量。

15.2.5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.23 的规定。

15.3 强度仪法

15.3.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定:

- 1 路面材料强度仪:应符合本标准第 14.2.1 条第 2 款的规定;
- 2 试样筒:应符合本标准第 15.2.1 条第 2 款的规定;
- 3 承载板:应符合本标准第 15.2.1 条第 5 款的规定;
- 4 千分表(量表)支杆与表夹:支杆长 200mm,直径 10mm,一端带有长 5mm 与试样筒上螺丝孔连接的螺丝杆,表夹可用钢制,也可用硬塑料制成;
- 5 其他仪器应符合本标准第 15.2.1 条第 6 款、第 7 款的规定。

15.3.2 强度仪试验应按下列步骤进行:

- 1 试样制备应符合本标准第 15.2.2 条第 1 款、第 2 款的规定;
- 2 将制备好的试样和试样筒的底面放在强度仪的升降台上,千分表支杆拧在试样筒两侧的螺丝孔上,承载板放在试样表面中央位置,并与强度仪的贯入杆对正;千分表和表夹安装在支杆上,并将千分表测头安放在承载板两侧的支架上;
- 3 摇动摇把,用预定的最大压力进行预压,预压方法应按本标准第 15.2.2 条第 4 款执行;
- 4 将预定的最大压力分为 4 级~6 级进行加载,加载卸载应按本标准第 15.2.2 条第 5 款执行;当试样较硬时,可以不受预定最大压力值的限制,增加加载级数,至需要的压力为止;
- 5 进行平行试验的次数和准确度应符合本标准第 15.2.2 条第 6 款的规定。

15.3.3 每级压力下试样的回弹模量应按本标准式(15.2.3)计算。其中计算中所用 μ 值一般为 0.35,对于具有一定龄期的加固土取值范围为 0.25~0.30。

15.3.4 本试验的 $p-l$ 曲线绘制应符合本标准第 15.2.4 条的

规定。

15.3.5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 23 的规定。

16 渗透试验

16.1 一般规定

16.1.1 常水头渗透试验适用于粗粒土,变水头渗透试验适用于细粒土。

16.1.2 试验用水宜采用实际作用于土中的天然水。有困难时,可用纯水或经过滤的清水。在试验前必须用抽气法或煮沸法进行脱气。试验时的水温宜高于室温 $3^{\circ}\text{C}\sim 4^{\circ}\text{C}$ 。

16.1.3 渗透系数的最大允许差值应为 $\pm 2.0 \times 10^{-n} \text{ cm/s}$,在测得的结果中取 3 个~4 个在允许差值范围内的数据,求得其平均值,作为试样在该孔隙比 e 时的渗透系数。

16.1.4 本试验应以水温 20°C 为标准温度,计算标准温度下的渗透系数。

16.2 常水头渗透试验

16.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

1 常水头渗透仪装置:封底圆筒的尺寸参数应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的规定;当使用其他尺寸的圆筒时,圆筒内径应大于试样最大粒径的 10 倍;玻璃测压管内径为 0.6cm ,分度值为 0.1cm (图 16.2.1);

2 天平:称量 5000g ,分度值 1.0g ;

3 温度计:分度值 0.5°C ;

4 其他:木锤、秒表。

16.2.2 常水头渗透试验应按下列步骤进行:

1 应先装好仪器(图 16.2.1),并检查各管路接头处是否漏

水。将调节管与供水管连通，由仪器底部充水至水位略高于金属孔板，关止水夹。

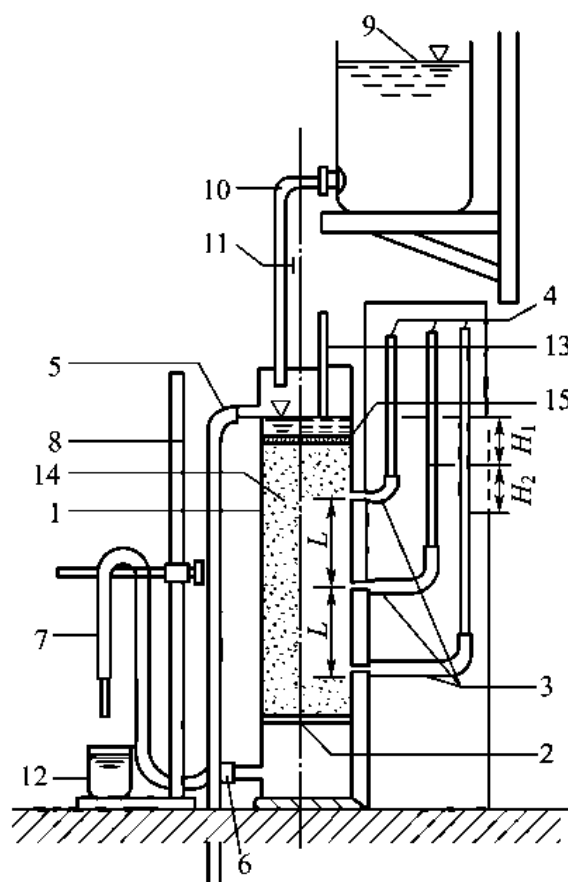


图 16.2.1 常水头渗透装置

1—封底金属圆筒；2—金属孔板；3—测压孔；4—玻璃测压管；5—溢水孔；6—渗水孔；
7—调节管；8—滑动支架；9—供水瓶；10—供水管；11—止水夹；
12—容量为 500mL 的量筒；13—温度计；14—试样；15—砾石层

2 取具有代表性的风干试样 3kg~4kg，称量准确至 1.0g，并测定试样的风干含水率。

3 将试样分层装入圆筒，每层厚 2cm~3cm，用木锤轻轻击实到一定的厚度，以控制其孔隙比。试样含黏粒较多时，应在金属孔板上加铺厚约 2cm 的粗砂过渡层，防止试验时细粒流失，并量出过渡层厚度。

4 每层试样装好后，连接供水管和调节管，并由调节管中进水，微开止水夹，使试样逐渐饱和。当水面与试样顶面齐平，关止水夹。饱和时水流不应过急，以免冲动试样。

5 按照本标准第 16.2.2 条第 1 款～第 4 款的规定逐层装试样,至试样高出上测压孔 3cm～4cm 为止。在试样上端铺厚约 2cm 砾石作缓冲层。待最后一层试样饱和后,继续使水位缓缓上升至溢水孔。当有水溢出时,关止水夹。

6 试样装好后量测试样顶部至仪器上口的剩余高度,计算试样净高。称剩余试样质量,准确至 1.0g,计算装入试样总质量。

7 静置数分钟后,检查各测压管水位是否与溢水孔齐平。不齐平时,说明试样中或测压管接头处有集气阻隔,用吸水球进行吸水排气处理。

8 提高调节管,使其高于溢水孔,然后将调节管与供水管分开,并将供水管置于金属圆筒内。开止水夹,使水由上部注入金属圆筒内。

9 降低调节管口,使其位于试样上部 1/3 高度处,造成水位差使水渗入试样,经调节管流出。在渗透过程中应调节供水管夹,使供水管流量略多于溢水量。溢水孔应始终有余水溢出,以保持常水位。

10 测压管水位稳定后,记录测压管水位,计算各测压管间的水位差。

11 开动秒表,同时用量筒接取经一定时间的渗透水量,并重复 1 次。接取渗透水量时,调节管口不得浸入水中。

12 测记进水与出水处的水温,取平均值。

13 降低调节管管口至试样中部及下部 1/3 处,以改变水力坡降,按本标准第 16.2.2 条第 9 款～第 12 款规定重复进行测定。

14 根据需要,可装数个不同孔隙比的试样,进行渗透系数的测定。

16.2.3 常水头渗透试验渗透系数应按下列公式计算:

$$k_T = \frac{2QL}{At(H_1 + H_2)} \quad (16.2.3-1)$$

$$k_{20} = k_T \frac{\eta_T}{\eta_{20}} \quad (16.2.3-2)$$

式中: k_T ——水温 $T^\circ\text{C}$ 时试样的渗透系数(cm/s);

Q ——时间 t 秒内的渗透水量(cm^3)；

L ——渗径(cm)，等于两测压孔中心间的试样高度；

A ——试样的断面积(cm^2)；

t ——时间(s)；

H_1 、 H_2 ——水位差(cm)；

k_{20} ——标准温度(20°C)时试样的渗透系数(cm/s)；

η_T —— $T^\circ\text{C}$ 时水的动力黏滞系数($1 \times 10^{-6} \text{kPa} \cdot \text{s}$)；

η_{20} —— 20°C 时水的动力黏滞系数($1 \times 10^{-6} \text{kPa} \cdot \text{s}$)。

比值 η_T/η_{20} 与温度的关系应按本标准表 8.3.5-1 执行。

16.2.4 当进行不同孔隙比下的渗透试验时，可在半对数坐标上绘制以孔隙比为纵坐标，渗透系数为横坐标的 $e-k$ 关系曲线图。

16.2.5 常水头渗透试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.24 的规定。

16.3 变水头渗透试验

16.3.1 本试验所用的仪器设备(图 16.3.1)应符合下列规定：

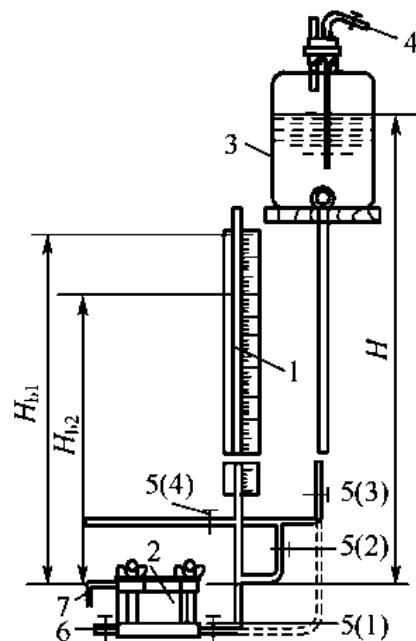


图 16.3.1 变水头渗透装置

1—变水头管；2—渗透容器；3—供水瓶；4—接水源管；5—进水管夹；6—排气管；7—出水管

- 1 渗透容器:由环刀、透水板、套筒及上、下盖组成;
- 2 水头装置:变水头管的内径,根据试样渗透系数选择不同尺寸,且不宜大于 1cm,长度为 1.0m 以上,分度值为 1.0mm;
- 3 其他:切土器、秒表、温度计、削土刀、凡士林。

16.3.2 变水头渗透试验应按下列步骤进行:

1 用环刀在垂直或平行土样层面切取原状试样或扰动土制备成给定密度的试样,进行充分饱和。切土时,应尽量避免结构扰动,不得用削土刀反复涂抹试样表面。

2 将容器套筒内壁涂一薄层凡士林,将盛有试样的环刀推入套筒,压入止水垫圈。把挤出的多余凡士林小心刮净。装好带有透水板的上、下盖,并用螺丝拧紧,不得漏气漏水。

3 把装好试样的渗透容器与水头装置连通。利用供水瓶中的水充满进水管,水头高度根据试样结构的疏松程度确定,不应大于 2m,待水头稳定后注入渗透容器。开排气阀,将容器侧立,排除渗透容器底部的空气,直至溢出水中无气泡。关排气阀,放平渗透容器。

4 在一定水头作用下静置一段时间,待出水管口有水溢出时,再开始进行试验测定。

5 将水头管充水至需要高度后,关止水夹 5(2),开时测记变水头管中起始水头高度和起始时间,按预定时间间隔测记水头和时间变化,并测记出水口的水温。如此连续测记 2 次~3 次后,再使水头管水位回升至需要高度,再连续测记数次,重复试验 5 次~6 次以上。

16.3.3 变水头渗透试验渗透系数应按下列公式计算:

$$k_T = 2.3 \frac{aL}{At} \lg \frac{H_{b1}}{H_{b2}} \quad (16.3.3-1)$$

$$k_{20} = k_T \frac{\eta_T}{\eta_{20}} \quad (16.3.3-2)$$

式中: a ——变水头管截面积(cm^2);

L ——渗径(cm),等于试样高度;

H_{b1} ——开始时水头(cm);

H_{b2} ——终止时水头(cm)。

16.3.4 变水头渗透试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 25 的规定。

17 固结试验

17.1 一般规定

17.1.1 土样应为饱和的细粒土。当只进行压缩试验时,可用于非饱和土。

17.1.2 渗透性较大的细粒土,可进行快速固结试验。

17.2 标准固结试验

17.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

1 固结容器:由环刀、护环、透水板、加压上盖和量表架等组成。环刀、透水板的技术性能和尺寸参数应符合现行国家标准《土工实验仪器 环刀》SL 370 切土环刀及相关标准的规定(图 17.2.1)。

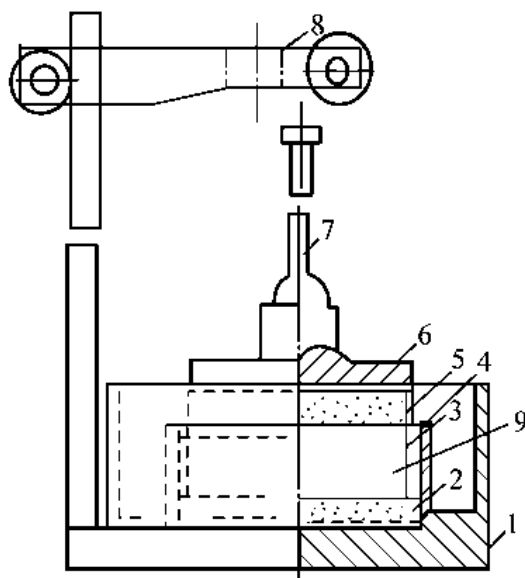


图 17.2.1 固结容器示意图

1—水槽;2—护环;3—环刀;4—导环;5—透水板;6—加压上盖;

7—位移计导杆;8—位移计架;9—试样

2 加压设备:可采用量程为 5kN~10kN 的杠杆式、磅秤式或其他加压设备,其最大允许误差应符合现行国家标准《土工试验仪器 固结仪 第 1 部分:单杠杆固结仪》GB/T 4935.1、《土工试验仪器 固结仪 第 2 部分:气压式固结仪》GB/T 4935.2 的有关规定。

3 变形测量设备:百分表量程 10mm,分度值为 0.01mm,或最大允许误差应为 $\pm 0.2\%F.S$ 的位移传感器。

4 其他:刮土刀、钢丝锯、天平、秒表。

17.2.2 标准固结试验应按下列步骤进行:

1 根据工程需要,切取原状土试样或制备给定密度与含水率的扰动土试样。制备方法应按本标准第 4.3 节、第 4.4 节执行。

2 冲填土应先将土样调成液限或 1.2 倍~1.3 倍液限的土膏,拌和均匀,在保湿器内静置 24h。然后把环刀倒置于小玻璃板上用调土刀把土膏填入环刀,排除气泡刮平,称量。

3 试样的含水率及密度的测定应符合本标准第 5.2.2 条、第 6.2.2 条的规定。对于扰动试样需要饱和时,应按本标准第 4.6 节规定的方法将试样进行饱和。

4 在固结容器内放置护环、透水板和薄滤纸,将带有环刀的试样小心装入护环,然后在试样上放薄滤纸、透水板和加压盖板,置于加压框架下,对准加压框架的正中,安装量表。

5 为保证试样与仪器上下各部件之间接触良好,应施加 1kPa 的预压压力,然后调整量表,使读数为零。

6 确定需要施加的各级压力。加压等级宜为 12.5kPa、25kPa、50kPa、100kPa、200kPa、400kPa、800kPa、1600kPa、3200kPa。最后一级的压力应大于上覆土层的计算压力 100kPa~200kPa。

7 需要确定原状土的先期固结压力时,加压率宜小于 1,可采用 0.5 或 0.25。最后一级压力应使 $e-\lg p$ 曲线下段出现较长的直线段。

8 第 1 级压力的大小视土的软硬程度宜采用 12.5kPa、25.0kPa 或 50.0kPa(第 1 级实加压力应减去预压压力)。只需测定压缩系

数时,最大压力不小于 400kPa。

9 如系饱和试样,则在施加第 1 级压力后,立即向水槽中注水至满。对非饱和试样,须用湿棉围住加压盖板四周,避免水分蒸发。

10 需测定沉降速率时,加压后宜按下列时间顺序测记量表读数: 6s、15s、1min、2min15s、4min、6min15s、9min、12min15s、16min、20min15s、25min、30min15s、36min、42min15s、49min、64min、100min、200min、400min、23h 和 24h 至稳定为止。

11 当不需要测定沉降速率时,稳定标准规定为每级压力下固结 24h 或试样变形每小时变化不大于 0.01mm。测记稳定读数后,再施加第 2 级压力。依次逐级加压至试验结束。

12 需要做回弹试验时,可在某级压力(大于上覆有效压力)下固结稳定后卸压,直至卸至第 1 级压力。每次卸压后的回弹稳定标准与加压相同,并测记每级压力及最后一级压力时的回弹量。

13 需要做次固结沉降试验时,可在主固结试验结束继续试验至固结稳定为止。

14 试验结束后,迅速拆除仪器各部件,取出带环刀的试样。需测定试验后含水率时,则用干滤纸吸去试样两端表面上的水,测定其含水率。

17.2.3 固结试验各项指标计算应符合下列规定:

1 试样的初始孔隙比 e_0 应按下式计算:

$$e_0 = \frac{\rho_w G_s (1 + 0.01w_0)}{\rho_0} - 1 \quad (17.2.3-1)$$

式中: e_0 ——初始孔隙比。

2 各级压力下固结稳定后的孔隙比 e_i 应按下式计算:

$$e_i = e_0 - (1 + e_0) \frac{\sum \Delta h_i}{h_0} \quad (17.2.3-2)$$

式中: e_i ——某级压力下的孔隙比;

$\sum \Delta h_i$ ——某级压力下试样的高度总变形量(cm);

h_0 ——试样初始高度(cm)。

3 某一压力范围内的压缩系数 a_v 应按下式计算：

$$a_v = \frac{e_i - e_{i+1}}{p_{i+1} - p_i} \times 10^3 \quad (17.2.3-3)$$

式中： a_v ——压缩系数(MPa⁻¹)；

p_i ——某一单位压力值(kPa)。

4 某一压力范围内的压缩模量 E_s 和体积压缩系数 m_v 应按下列公式计算：

$$E_s = \frac{1 + e_0}{a_v} \quad (17.2.3-4)$$

$$m_v = \frac{1}{E_s} = \frac{a_v}{1 + e_0} \quad (17.2.3-5)$$

式中： E_s ——压缩模量(MPa)；

m_v ——体积压缩系数(MPa⁻¹)。

5 压缩指数 C_c 及回弹指数 C_s (C_c 即 e - $\lg p$ 曲线直线段的斜率。用同法在回弹支上求其平均斜率, 即 C_s) 应按下式计算：

$$C_c \text{ 或 } C_s = \frac{e_i - e_{i+1}}{\lg p_{i+1} - \lg p_i} \quad (17.2.3-6)$$

式中： C_c ——压缩指数；

C_s ——回弹指数。

17.2.4 以孔隙比 e 为纵坐标, 单位压力 p 为横坐标, 绘制孔隙比与单位压力的关系曲线。

17.2.5 原状土的先期固结压力 p_c 的确定方法可按图 17.2.5 执行, 用适当比例的纵横坐标作 e - $\lg p$ 曲线, 在曲线上找出最小曲率半径 $R_{\min}$ 点 O 。过 O 点作水平线 OA 、切线 OB 及 $\angle AOB$ 的平分线 OD , OD 与曲线的直线段 C 的延长线交于点 E , 则对应于 E 点的压力值即为该原状土的先期固结压力。

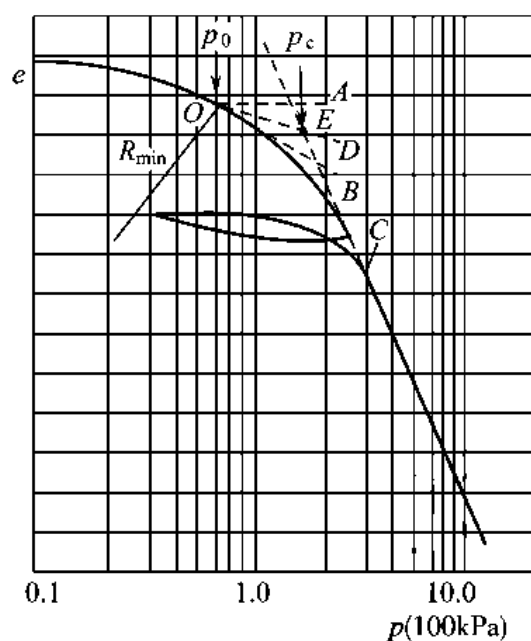


图 17.2.5 $e-\lg p$ 曲线和求 p_c 示意图

17.2.6 固结系数 C_v 应按下列方法求算：

1 时间平方根法：对于某一压力，以量表读数 $d(\text{mm})$ 为纵坐标，时间平方根 $\sqrt{t}(\text{min})$ 为横坐标，绘制 $d-\sqrt{t}$ 曲线（图 17.2.6-1）。延长 $d-\sqrt{t}$ 曲线开始段的直线，交纵坐标轴于 d_s （ d_s 称理论零点）。过 d_s 绘制另一直线，令其横坐标为前一直线横坐标的 1.15 倍，则后一直线与 $d-\sqrt{t}$ 曲线交点所对应的时间的平方根即为试样固结度达 90% 所需的时间 t_{90} 。该压力下的固结系数应按式计算：

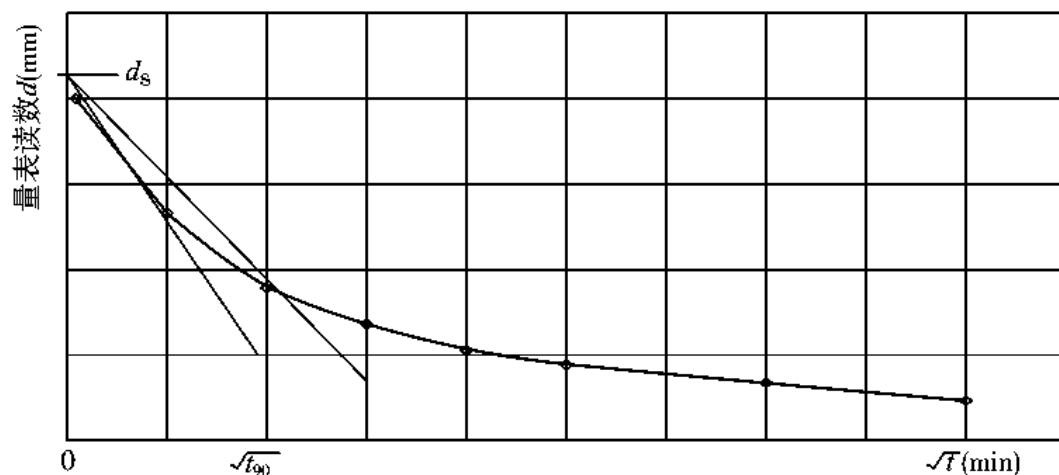


图 17.2.6-1 时间平方根法求 t_{90}

$$C_v = \frac{0.848 \bar{h}^2}{t_{90}} \quad (17.2.6-1)$$

式中： C_v ——固结系数(cm^2/s)；

$\bar{h}$ ——最大排水距离，等于某一压力下试样初始与终了高度的平均值之半(cm)；

t_{90} ——固结度达 90%所需的时间(s)。

2 时间对数法：对于某一压力，以量表读数 $d(\text{mm})$ 为纵坐标，时间在对数(min)横坐标上，绘制 $d-\lg t$ 曲线(图 17.2.6-2)。延长 $d-\lg t$ 曲线的开始线段，选任一时间 t_1 ，相对应的量表读数为 d_1 ，再取时间 $t_2 = \frac{t_1}{4}$ ，相对应的量表读数为 d_2 ，则 $2d_2 - d_1$ 之值为 d_{01} 。如此再选取另一时间，依同法求得 d_{02} 、 d_{03} 、 d_{04} 等，取其平均值即为理论零点 d_0 。延长曲线中部的直线段和通过曲线尾部数点切线的交点即为理论终点 d_{100} ，则 $d_{50} = \frac{d_0 + d_{100}}{2}$ ，对应于 d_{50} 的时间即为试样固结度达到 50%所需的时间 t_{50} 。该压力下的固结系数 C_v 应按下式计算：

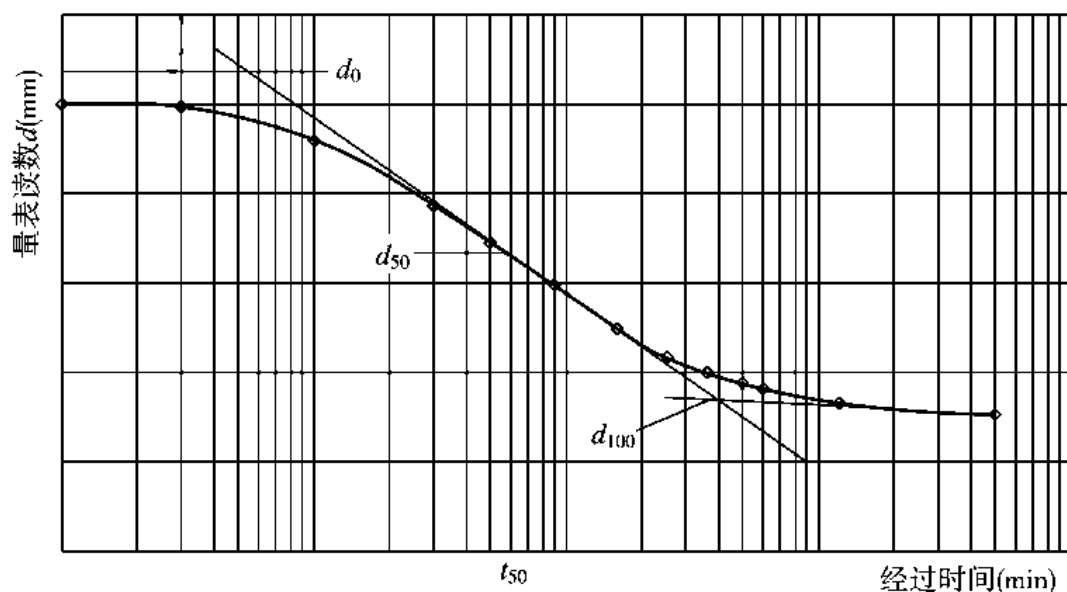


图 17.2.6-2 时间对数法求 t_{50}

$$C_v = \frac{0.197 \bar{h}^2}{t_{50}} \quad (17.2.6-2)$$

式中: t_{50} ——固结度达 50% 所需的时间(s)。

17.2.7 对于某一压力,以孔隙比 e 为纵坐标,时间在对数(min)横坐标上,绘制 e - $\lg t$ 曲线。主固结结束后试验曲线下部的直线段的斜率即为次固结系数。次固结系数应按下式计算:

$$C_\alpha = \frac{-\Delta e}{\lg(t_2/t_1)} \quad (17.2.7)$$

式中: C_α ——次固结系数;

Δe ——对应时间 t_1 到 t_2 的孔隙比的差值;

t_1 、 t_2 ——次固结某一时间(min)。

17.2.8 标准固结试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.26~表 D.28 的规定。

17.3 快速固结试验

17.3.1 仪器设备应符合本标准第 17.2.1 条的规定。

17.3.2 试验应按本标准第 17.2.2 条第 1 款~第 6 款、第 8 款、第 9 款和第 14 款执行。

17.3.3 计算应符合本标准第 17.2.3 条第 1 款~第 4 款的规定。对快速法所得的试验结果,当需要校正时,各级压力下试样校正后的总变形量应按下式计算:

$$\sum \Delta h_i = (h_i)_t \frac{(h_n)_{t_w}}{(h_n)_t} \quad (17.3.3)$$

式中: $\sum \Delta h_i$ ——某一压力下校正后的总变形量(mm);

$(h_i)_t$ ——某一压力下固结 1h 的总变形量减去该压力下的仪器变形量(mm);

$(h_n)_{t_w}$ ——最后一级压力下达到稳定标准的总变形量减去该压力下的仪器变形量(mm);

$(h_n)_t$ ——最后一级压力下固结 1h 的总变形量减去该压力

下的仪器变形量(mm)。

17.3.4 制图应符合本标准第 17.2.4 条的规定。

17.3.5 快速固结试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 29 的规定。

17.4 应变控制加荷固结试验

17.4.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

1 固结仪(图 17.4.1):由具有连续测孔隙水压力装置的刚性底座、护环、环刀、透水板、加压上盖等组成:

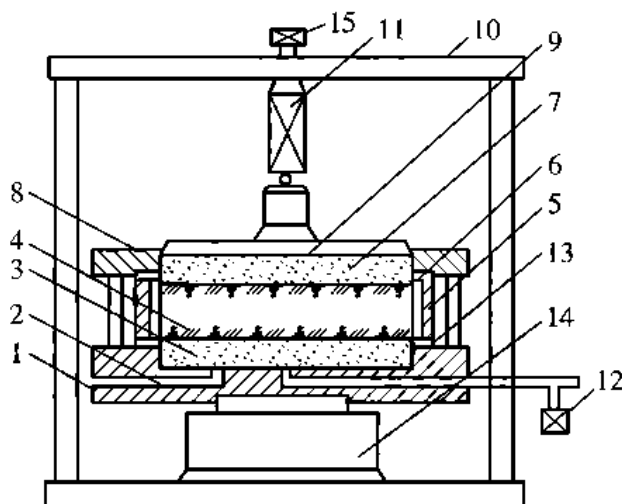


图 17.4.1 固结仪组装示意图

1—底座；2—排气孔；3—下透水板；4—试样；5—护环；6—环刀；7—上透水板；

8—上盖；9—加压盖板；10—加荷架；11—负荷传感器；12—孔压传感器；

13 密封圈；14 加压机座；15 位移传感器

1)环刀、透水板的技术性能和尺寸参数应符合现行行业标准《土工实验仪器 环刀》SL 370 及有关标准的规定；

2)环刀和护环底部与刚性底座要密封，应能经受 1.0MPa

的内压不泄漏。

2 轴向加荷设备:可采用螺旋杆式、液压式和气压式加荷装置。应能反馈、伺服跟踪连续加荷。轴向测力计采用负荷传感器等。测量装置应具有相应的刚度。量程应为 $0\text{kN}\sim 10\text{kN}$;最大允许误差应为 $\pm 0.5\%\text{F.S.}$ 。

3 孔隙水压力量测设备:可采用压力传感器,量程: $0\text{MPa}\sim 1\text{MPa}$;最大允许误差应为 $\pm 0.5\%\text{F.S.}$ 。其体积因数应小于 $1.5\times 10^{-5}\text{cm}^3/\text{kPa}$ 。

4 变形测量设备:可采用位移传感器,量程应为 $0\text{mm}\sim 10\text{mm}$;最大允许误差应为 $\pm 0.2\%\text{F.S.}$ 。

5 其他:切土器、刮土刀、天平、秒表、烘箱、土样盒。

17.4.2 应变控制式加荷固结试验应按下列步骤进行:

1 制备试样应按本标准第 17.2.2 条第 1 款执行。

2 测定试样的密度和含水率应符合本标准第 17.2.2 条第 3 款的规定,并对试样饱和。

3 将固结容器底部连接孔隙水压力传感器的阀门打开,用无气水排除底部滞留的气泡。并将透水板用无气水饱和,使水淹没底部透水板。透水板上放薄滤纸。

4 将装有试样的环刀放入护环内,装入固结容器,压入密封圈内。试样上放薄滤纸、透水板、上盖和加压盖板,用螺丝拧紧,使环刀和护环与底座密封。然后将固结仪放置到轴向加荷设备正中。在组装固结仪时,孔隙水压力测量系统不应带入气体。

5 装上位移传感器,并对试样施加 1kPa 的设置压力,然后调整孔隙水压力和位移传感器的初始读数或零读数。

6 选择适宜的应变速率。其标准应使在试验时的任何时间试样底部产生的孔隙水压力为施加垂直应力的 $3\%\sim 20\%$ 。应变速率可按表 17.4.2 选择。试验时,当超孔隙水压力值超出建议的范围时,可调整应变速率。

表 17.4.2 应变速率

液限 w_L (%)	应变速率 ϵ (%/min)	液限 w_L (%)	应变速率 ϵ (%/min)
0~40	0.04	80~100	0.001
40~60	0.01	100~120	0.0004
60~80	0.004	120~140	0.0001

7 接通控制系统、采集系统和加压设备的电源,预热 30min,采集初始读数。在所选的常应变速率下,施加轴向荷载,使产生轴应变。

8 数据采集时间间隔。在历时前 10min 内间隔 1min;随后的 1h 以内间隔 5min;1h 以后间隔 15min 采集 1 次轴荷载、超孔隙水压力和变形值。

9 连续加荷一直到预期应力或应变为止。当轴向荷载施加完成后,在轴向荷载不变或变形不变的条件下使孔隙水压力消散。

10 在试验时,需获得次固结数据时,在所需轴向荷载时中断控制应变加荷,并保持该荷载不变条件下,应按本标准第 17.2.2 条第 10 款规定的时间顺序记录变形值,一直延续至变形和对数时间关系曲线上呈现一次固结部分线性特性阶段为止。若需进一步加荷,则在先前常应变速率条件下,恢复控制应变的轴向加荷。

11 当要求回弹或卸荷特性时,试样在等于加荷时的应变速率条件下卸荷。卸荷时关闭孔隙水压力测量系统。应按本标准第 17.4.2 条第 8 款规定的时间间隔记录轴向荷载和变形。回弹完成后,打开孔隙水压力测量系统,监测孔隙水压力,并允许其消散。

12 所有试验完成后,从固结仪中取出整个试样,称量、烘干,求得干密度及含水率。

17.4.3 应变控制加荷固结试验指标应按下列规定计算:

- 1 试样的初始孔隙比 e_0 应按本标准式(17.2.3-1)计算;
- 2 任意时刻试样的孔隙比 e_t 应按本标准式(17.2.3-2)计算;
- 3 任意时刻试样的有效压力 σ'_t 应按下式计算:

$$\sigma'_i = \sigma_i - \frac{2}{3}u_b \quad (17.4.3-1)$$

式中： σ'_i ——任意时刻 t 试样上的有效压力(kPa)；

σ_i ——任意时刻 t 试样上施加的总压力(kPa)；

u_b ——任意时刻 t 试样底部的孔隙水压力(kPa)。

4 某一压力范围内的压缩系数 a_v 应按本标准式(17.2.3-3)计算；

5 某一压力范围内压缩模量 E_s 和体积压缩系数 m_v 应按本标准式(17.2.3-4)、式(17.2.3-5)计算；

6 压缩指数 C_c 和回弹指数 C_s 应按本标准式(17.2.3-6)计算；

7 任意时刻 t 的固结系数 C_v 应按下式计算：

$$C_v = \frac{\Delta \epsilon}{\Delta t} \cdot \frac{h^2}{2m_v u'_b} \quad (17.4.3-2)$$

式中： $\Delta \epsilon$ ——两读数间的应变变化(%)；

h ——两读数间的试样平均高度(cm)；

Δt ——两读数间的历时(s)；

u'_b ——两读数间试样底部测得的孔隙水压力平均值(kPa)。

17.4.4 以孔隙比 e 为纵坐标,有效压力 σ' 在对数横坐标上,绘制 $e-\lg \sigma'$ 的关系图。

17.4.5 以固结系数 C_v 为纵坐标,有效压力 σ' 为横坐标,绘制 $C_v-\sigma'$ 的关系图。

17.4.6 为获得次压缩数据,在半对数坐标上绘制变形与时间图。

17.4.7 应变控制式加荷固结试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.26~表 D.28、表 D.30 的规定。

18 黄土湿陷试验

18.1 一般规定

18.1.1 本试验应根据工程要求,分别测定黄土的湿陷系数、自重湿陷系数、溶滤变形系数和湿陷起始压力。

18.1.2 进行本试验时,从同一土样中制备的试样,其密度的最大允许差值应为 $\pm 0.03\text{g/cm}^3$ 。

18.1.3 本试验所用的仪器设备应符合本标准第 17.2.1 条的规定,环刀内径为 79.8mm。试验所用的滤纸及透水石的湿度应接近试样的天然湿度。

18.1.4 黄土湿陷试验的变形稳定标准为每小时变形不应大于 0.01mm,溶滤变形稳定标准为每 3d 变形不应大于 0.01mm。

18.2 湿陷系数试验

18.2.1 湿陷系数试验应按下列步骤进行:

1 试样制备应符合本标准第 4.5 节的规定,试样安装应符合本标准第 17.2.2 条第 4 款、第 5 款的规定。

2 确定需要施加的各级压力,压力等级宜为 50kPa、100kPa、150kPa、200kPa,大于 200kPa 后每级压力为 100kPa。最后一级压力应按取土深度而定:从基础底面算起至 10m 深度以内,压力为 200kPa;10m 以下至非湿陷土层顶面,应用其上覆土的饱和自重压力,当大于 300kPa 时,仍应用 300kPa。当基底压力大于 300kPa 时或有特殊要求的建筑物时,宜按实际压力确定。

3 施加第一级压力后,每隔 1h 测定一次变形读数,直至试样变形稳定为止。

4 试样在第一级压力下变形稳定后,施加第二级压力,以此

类推。试样在规定浸水压力下变形稳定后,向容器内自上而下或自下而上注入纯水,水面宜高出试样顶面,每隔 1h 测记一次变形读数,直至试样变形稳定为止。

5 测记试样浸水变形稳定读数后,应按本标准第 17.2.2 条第 14 款规定的步骤拆卸仪器及试样。

18.2.2 湿陷系数应按下列式计算:

$$\delta_s = \frac{h_p - h'_p}{h_0} \quad (18.2.2)$$

式中: δ_s ——湿陷系数;

h_p ——在某级压力下,试样变形稳定后的高度(mm);

h'_p ——在某级压力下,试样浸水湿陷变形稳定后的高度(mm)。

18.2.3 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.31 的规定。

18.3 自重湿陷系数试验

18.3.1 自重湿陷系数试验应按下列步骤进行:

1 试样制备应符合本标准第 4.5 节的规定,试样安装应符合本标准第 17.2.2 条第 4 款、第 5 款的规定;

2 施加土的饱和自重压力,当饱和自重压力小于或等于 50kPa 时,可一次施加;当压力大于 50kPa 时,应分级施加,每级压力不应大于 50kPa,每级压力时间不应少于 15min,如此连续加至饱和自重压力;加压后每隔 1h 测记一次变形读数,直至试样变形稳定为止;

3 向容器内注入纯水,水面应高出试样顶面,每隔 1h 测记一次变形读数,直至试样浸水变形稳定为止;

4 测记试样变形稳定读数后,可按本标准第 17.2.2 条第 14 款规定的步骤拆卸仪器及试样。

18.3.2 自重湿陷系数应按下列式计算:

$$\delta_{zs} = \frac{h_z - h'_z}{h_0} \quad (18.3.2)$$

式中: δ_{zs} ——自重湿陷系数;

h_z ——在饱和自重压力下,试样变形稳定后的高度(mm);

h'_z ——在饱和自重压力下,试样浸水湿陷变形稳定后的高度(mm)。

18.3.3 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.32 的规定。

18.4 溶滤变形系数试验

18.4.1 溶滤变形系数试验应按下列步骤进行:

1 试样制备应符合本标准第 4.5 节的规定,试样安装应符合本标准第 17.2.2 条第 4 款、第 5 款的规定;

2 试验应按本标准第 18.2.1 条第 2 款~第 4 款规定的步骤进行后继续用水渗透,每隔 2h 测记 1 次变形读数,24h 后每天测记 1 次~3 次,直至变形稳定为止;

3 测记试样溶滤变形稳定读数后,拆卸仪器及试样应按本标准第 17.2.2 条第 14 款执行。

18.4.2 溶滤变形系数应按下式计算:

$$\delta_{wt} = \frac{h'_p - h_s}{h_0} \quad (18.4.2)$$

式中: δ_{wt} ——溶滤变形系数;

h_s ——在某级压力下,长期渗透而引起的溶滤变形稳定后的试样高度(mm)。

18.4.3 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.31 的规定。

18.5 湿陷起始压力试验

18.5.1 本试验可用单线法或双线法。

18.5.2 湿陷起始压力试验应按下列步骤进行:

1 试样制备应符合本标准第 4.5 节的规定,单线法切取 5 个环刀试样,双线法切取 2 个环刀试样;试样安装应符合本标准第 17.2.2 条第 4 款、第 5 款的规定;

2 单线法试验:对 5 个试样均在天然湿度下分级加压,分别

加至不同的规定压力,应符合本标准第 18.2.1 条第 2 款~第 4 款的规定,直至试样湿陷变形稳定为止;

3 双线法试验:一个试样在天然湿度下分级加压,应符合本标准第 18.2.1 条第 2 款~第 4 款规定,直至湿陷变形稳定为止;另一个试样在天然湿度下施加第一级压力后浸水,直至第一级压力下湿陷稳定后,再分级加压,直至试样在各级压力下浸水变形稳定为止;压力等级,在 150kPa 以内,每级增量为 25kPa~50kPa;150kPa 以上,每级增量为 50kPa~100kPa;

4 测记试样湿陷变形稳定读数后,应按本标准第 17.2.2 条第 14 款的规定卸仪器及试样。

18.5.3 某一级压力下的湿陷系数应按下式计算:

$$\delta_{sp} = \frac{h_{pn} - h_{pw}}{h_0} \quad (18.5.3)$$

式中: δ_{sp} ——某一级压力下的湿陷系数;

h_{pn} ——在某一级压力下试样变形稳定后的高度(mm);

h_{pw} ——在某一级压力下试样浸水变形稳定后的高度(mm)。

18.5.4 以压力为横坐标,湿陷系数为纵坐标,绘制压力与湿陷系数关系曲线(图 18.5.4),湿陷系数为 0.015 所对应的压力即为湿陷起始压力。

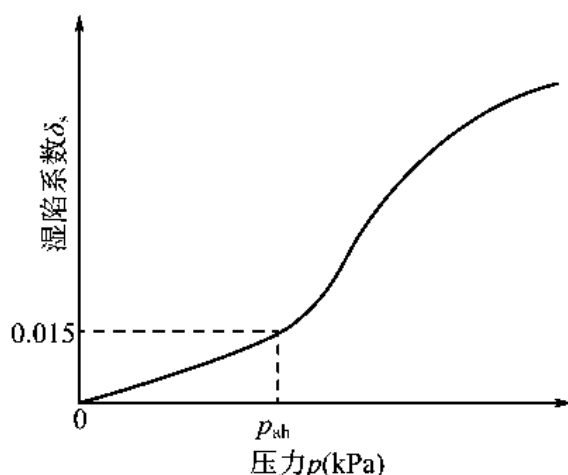


图 18.5.4 湿陷系数与压力关系曲线

18.5.5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.33 的规定。

19 三轴压缩试验

19.1 一般规定

19.1.1 土样粒径应小于 20mm。

19.1.2 根据排水条件的不同,本试验可分为不固结不排水剪(UU)、固结不排水剪(CU 或 $\overline{\text{CU}}$)和固结排水剪(CD)3 种试验类型。

19.1.3 对于无法取得多个试样、灵敏度较低的原状土,可采用一个试样多级加荷试验。

19.2 仪器设备

19.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

1 应变控制式三轴仪(图 19.2.1-1):由反压力控制系统、周围压力控制系统、压力室、孔隙水压力量测系统组成。其技术条件应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 及《土工试验仪器 三轴仪 第 1 部分:应变控制式三轴仪》GB/T 24107.1 的规定;

2 附属设备应符合下列规定:

- 1)击实器(图 19.2.1-2);
- 2)饱和器(图 19.2.1-3);
- 3)切土盘(图 19.2.1-4);
- 4)切土器和切土架(图 19.2.1-5);
- 5)原状土分样器(图 19.2.1-6);
- 6)承膜筒(图 19.2.1-7);
- 7)制备砂样圆模(图 19.2.1-8),用于冲填土或砂性土。

3 天平:称量 200g,分度值 0.01g;称量 1000g,分度值 0.1g;称量 5000g,分度值 1g;

- 4 负荷传感器:轴向力的最大允许误差为 $\pm 1\%$;
- 5 位移传感器(或量表):量程 30mm,分度值 0.01mm;
- 6 橡皮膜:对直径为 39.1mm 和 61.8mm 的试样,橡皮膜厚度宜为 0.1mm~0.2mm;对直径为 101mm 的试样,橡皮膜厚度宜为 0.2mm~0.3mm;
- 7 透水板:直径与试样直径相等,其渗透系数宜大于试样的渗透系数,使用前在水中煮沸并泡于水中。

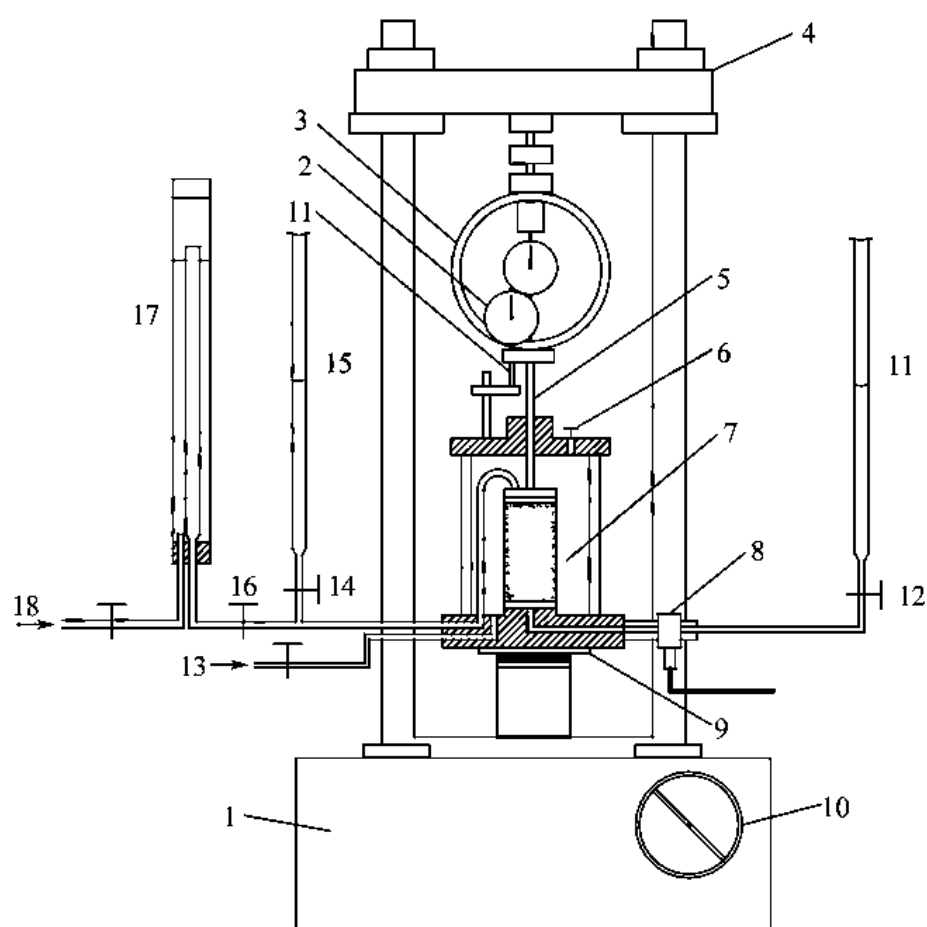


图 19.2.1-1 三轴仪示意图

- 1 试验机;2 轴向位移计;3 轴向测力计;4 试验机横梁;5 活塞;6 排气孔;
7—压力室;8—孔隙压力传感器;9—升降台;10—手轮;11—排水管;
12—排水管阀;13—周围压力;14—排水管阀;15—量水管;
16 体变管阀;17 体变管;18 反压力

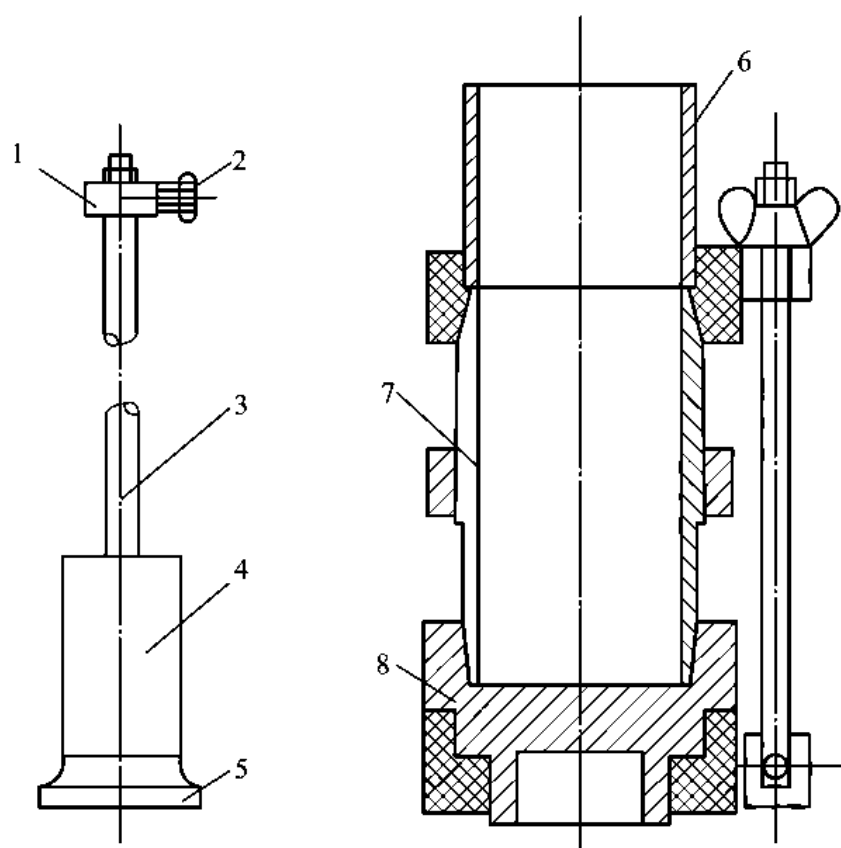


图 19.2.1-2 击实器

1—套环;2—定位螺丝;3—导杆;4—击锤;5—底板;6—套筒;7—饱和器;8—底板

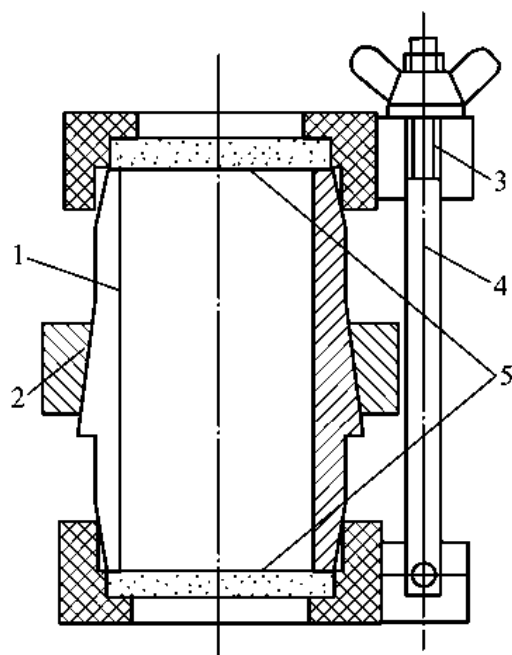


图 19.2.1-3 饱和器

1—土样筒;2—紧箍;3—夹板;4—拉杆;5—透水板

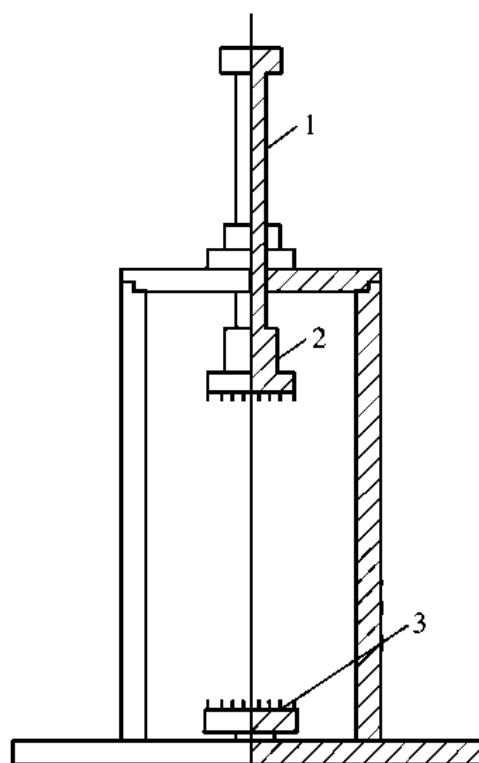


图 19.2.1-4 切土盘

1—轴；2—上盘；3—下盘

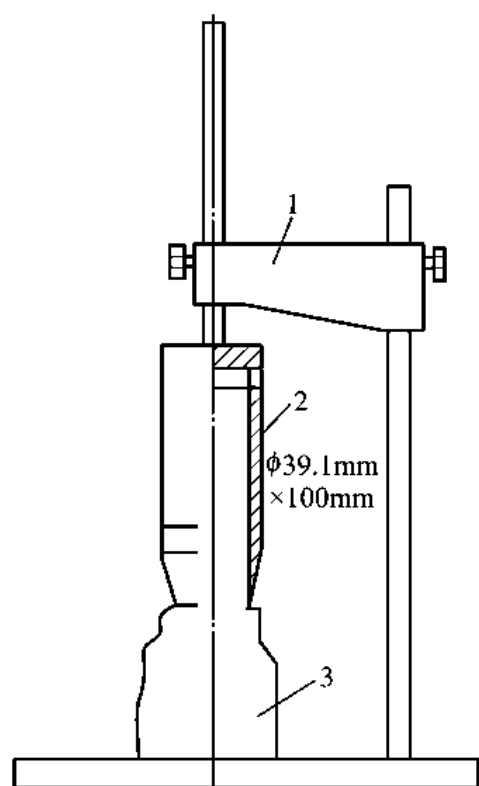


图 19.2.1-5 切土器和切土架

1—切土架；2—切土器；3—土样

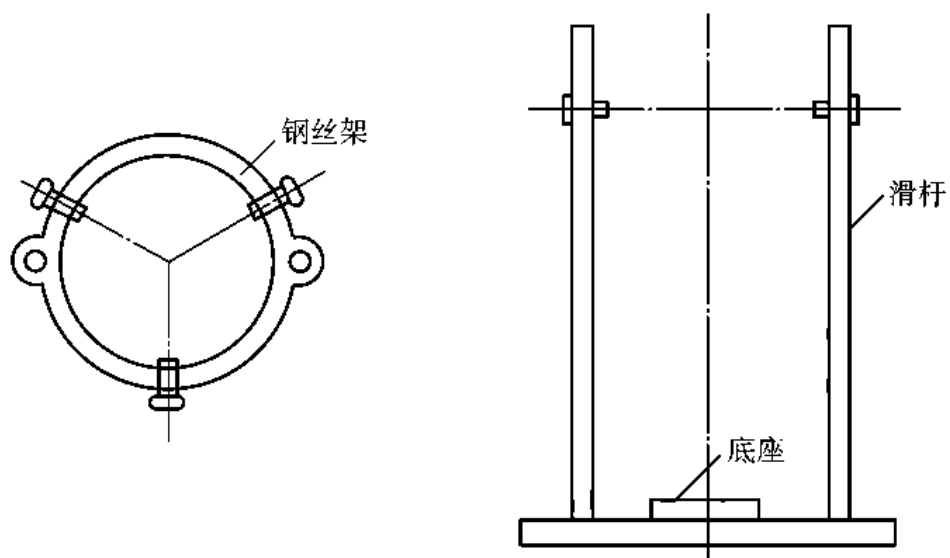


图 19.2.1-6 原状土分样器

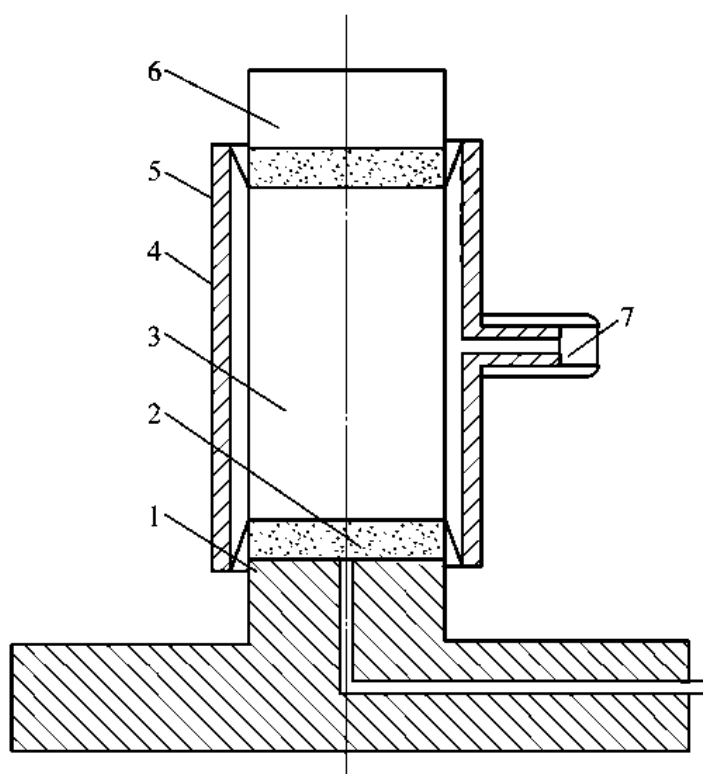


图 19.2.1-7 承膜筒安装示意图

1 压力室底座;2 透水板;3 试样;4 承膜筒;5 橡皮膜;6 上帽;7 吸气孔

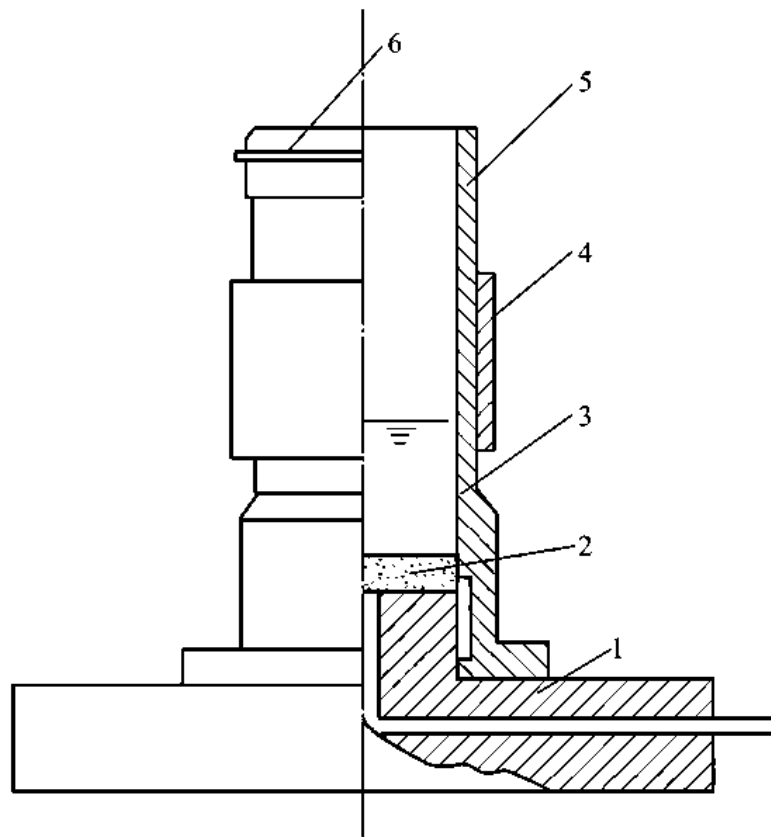


图 19.2.1-8 制备砂样圆模

1—压力室底座；2—透水板；3—制样圆模(两片合成)；

4—紧箍；5—橡皮膜；6—橡皮圈

19.2.2 试验时的仪器应符合下列规定：

1 根据试样的强度大小，选择不同量程的测力计。

2 孔隙压力量测系统的气泡应排除。其方法是：孔隙压力量测系统中充以无气水并施加压力，小心地打开孔隙压力阀，让管路中的气泡从压力室底座排出。应反复几次直到气泡完全冲出为止。孔隙压力量测系统的体积因数应小于 $1.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{kPa}$ 。

3 排水管路应通畅。活塞在轴套内应能自由滑动，各连接处应无漏水漏气现象。仪器检查完毕，关周围压力阀、孔隙压力阀和排水阀以备使用。

4 橡皮膜在使用前应仔细检查。其方法是扎紧两端，在膜内充气，然后沉入水下检查，应无气泡溢出。

19.3 试样的制备和饱和

19.3.1 试样制备应按下列步骤进行：

1 试样高度 h 与直径 D 之比(h/D)应为 2.0~2.5, 直径 D 分别为 39.1mm、61.8mm 及 101.0mm。对于有裂隙、软弱面或构造面的试样, 直径 D 宜采用 101.0mm。

2 原状土试样制备应按下列规定进行：

- 1) 对于较软的土样, 先用钢丝锯或削土刀切取一稍大于规定尺寸的土柱, 放在切土盘(图 19.2.1-4)的上、下圆盘之间。再用钢丝锯或削土刀紧靠侧板, 由上往下细心切削, 边切削边转动圆盘, 直至土样的直径被削成规定的直径为止。然后按试样高度的要求, 削平上下两端。对于直径为 10cm 的软黏土土样, 可先用原状土分样器(图 19.2.1-6)分成 3 个土柱, 再按上述的方法切削成直径为 39.1mm 的试样;
- 2) 对于较硬的土样, 先用削土刀或钢丝锯切取一稍大于规定尺寸的土柱, 上、下两端削平, 按试样要求的层次方向放在切土架上, 用切土器(图 19.2.1-5)切削。先在切土器刀口内壁涂上一薄层油, 将切土器的刀口对准土样顶面, 边削土边压切土器, 直至切削到比要求的试样高度高约 2cm 为止, 然后拆开切土器, 将试样取出, 按要求的高度将两端削平。试样的两端面应平整, 互相平行, 侧面垂直, 上下均匀。在切样过程中, 当试样表面因遇砾石而成孔洞时, 允许用切削下的余土填补;
- 3) 将切削好的试样称量, 直径为 101.0mm 的试样应准确至 1g; 直径为 61.8mm 和 39.1mm 的试样应准确至 0.1g。取切下的余土, 平行测定含水率, 取其平均值作为试样的含水率。试样高度和直径用卡尺量测, 试样的平均直径应按下列式计算:

$$D_0 = \frac{D_1 + 2D_2 + D_3}{4} \quad (19.3.1)$$

式中： D_0 ——试样平均直径(mm)；

D_1 、 D_2 、 D_3 ——试样上、中、下部位的直径(mm)。

4)对于特别坚硬的和很不均匀的土样,当不易切成平整、均匀的圆柱体时,允许切成与规定直径接近的柱体,按所需试样高度将上下两端削平,称取质量,然后包上橡皮膜,用浮称法称试样的质量,并换算出试样的体积和平均直径。

3 扰动土试样制备的击实法应按下列步骤进行:

1)选取一定数量的代表性土样。直径为 39.1mm 的试样约取 2kg,直径为 61.8mm 和 101.0mm 试样分别取 10kg 和 20kg。经风干、碾碎、过筛,筛的孔径应符合本标准表 19.3.1 的规定,测定风干含水率,按要求的含水率算出所需加水量;

表 19.3.1 土样粒径与试样直径的关系(mm)

试样直径 D	最大允许粒径 $d_{\max}$
39.1	$\frac{1}{10} D$
61.8	$\frac{1}{10} D$
101.0	$\frac{1}{5} D$

2)将需加的水量喷洒到土料上拌匀,稍静置后装入塑料袋,然后置于密闭容器内至少 20h,使含水率均匀。取出土料复测其含水率。含水率的最大允许差值应为 $\pm 1\%$ 。当不符合要求时,应调整含水率至符合要求为止;

3)击样筒的内径应与试样直径相同。击锤的直径宜小于试样直径,也可采用与试样直径相等的击锤。击样筒壁在使用前应洗擦干净,涂一薄层凡士林;

- 4) 根据要求的干密度,称取所需土质量。按试样高度分层击实,粉土分3层~5层,黏土分5层~8层击实。各层土料质量相等。每层击实至要求高度后,将表面刨毛,再加第2层土料。如此继续进行,直至击实最后一层。将击样筒中的试样两端整平,取出称其质量。
- 4 砂土试样制备应按下列步骤进行:
- 1) 根据试验要求的试样干密度和试样体积称取所需风干砂样质量,分三等份,在水中煮沸,冷却后待用;
 - 2) 开孔隙压力阀及量管阀,使压力室底座充水。将煮沸过的透水板滑入压力室底座上,并用橡皮带把透水板包扎在底座上,以防砂土漏入底座中。关孔隙压力阀及量管阀,将橡皮膜的一端套在压力室底座上并扎紧,将对开模套在底座上,将橡皮膜的上端翻出,然后抽气,使橡皮膜贴紧对开模内壁(图 19.2.1-8);
 - 3) 在橡皮膜内注脱气水约达试样高的 $1/3$ 。用长柄小勺将煮沸冷却的一份砂样装入膜中,填至该层要求高度。对含有细粒土和要求高密度的试样,可采用干砂制备,用水头饱和或反压力饱和;
 - 4) 第1层砂样填完后,继续注水至试样高度的 $2/3$,再装第2层砂样。如此继续装样,直至模内装满为止。如果要求干密度较大,则可在填砂过程中轻轻敲打对开模,使所称出的砂样填满规定的体积。然后放上透水板、试样帽,翻起橡皮膜,并扎紧在试样帽上;
 - 5) 开量管阀降低量管,使管内水面低于试样中心高程以下约 0.2m ,当试样直径为 101mm 时,应低于试样中心高程以下约 0.5m 。在试样内产生一定负压,使试样能站立。拆除对开模,测量试样高度与直径应符合本标准第 19.3.1 条第 2 款第 3 项的规定,复核试样干密度。各试样之间的干密度最大允许差值应为 $\pm 0.03\text{g/cm}^3$ 。

19.3.2 试样饱和宜选用下列方法：

1 抽气饱和法：应将装有试样的饱和器置于无水的抽气缸内，进行抽气，当真空度接近当地 1 个大气压后，应继续抽气，继续抽气时间宜符合表 19.3.2 的规定。

表 19.3.2 不同土性的抽气时间(h)

土 类	抽 气 时 间
粉土	>0.5
黏土	>1
密实的黏土	>2

当抽气时间达到表 19.3.2 的规定后，徐徐注入清水，并保持真空度稳定。待饱和器完全被水淹没即停止抽气，并释放抽气缸的真空。试样在水下静置时间应大于 10h，然后取出试样并称其质量。

2 水头饱和法：适用于粉土或粉土质砂。应按本标准第 19.3.1 条第 4 款第 1 项～第 5 项规定的步骤安装试样，试样顶用透水帽，然后施加 20kPa 的周围压力，并同时提高试样底部量管的水面和降低连接试样顶部固结排水管的水面，使两管水面差在 1m 左右。打开量管阀、孔隙压力阀和排水阀，让水自下而上通过试样，直至同一时间间隔内量管流出的水量与固结排水管内水量相等为止。当需要提高试样的饱和度时，宜在水头饱和前，从底部将二氧化碳气体通入试样，置换孔隙中的空气。二氧化碳的压力宜为 5kPa～10kPa，再进行水头饱和。

3 反压力饱和法：试样要求完全饱和时，可对试样施加反压力。

1) 试样装好后装上压力室罩，关孔隙压力阀和反压力阀，测记体变管读数。先对试样施加 20kPa 的周围压力预压，并开孔隙压力阀待孔隙压力稳定后记下读数，然后关孔隙压力阀；

2) 反压力应分级施加，并同时分级施加周围压力，以减少对

试样的扰动,在施加反压力过程中,始终保持周围压力比反压力大 20kPa,反压力和周围压力的每级增量对软黏土取 30kPa;对坚实的土或初始饱和度较低的土,取 50kPa~70kPa;

- 3)操作时,先调周围压力至 50kPa,并将反压力系统调至 30kPa,同时打开周围压力阀和反压力阀,再缓缓打开孔隙压力阀,待孔隙压力稳定后,测记孔隙压力计和体变管读数,再施加下一级的周围压力和反压力;
- 4)计算每级周围压力下的孔隙压力增量 Δu ,并与周围压力增量 $\Delta \sigma_3$ 比较,当孔隙水压力增量与周围压力增量之比 $\Delta u / \Delta \sigma_3 > 0.98$ 时,认为试样饱和;否则应按本标准第 19.3.2 条第 3 款的规定重复,直至试样饱和为止。

19.4 不固结不排水剪试验

19.4.1 试样的安装应按下列步骤进行:

- 1 对压力室底座充水,在底座上放置不透水板,并依次放置试样、不透水板及试样帽。对于砂性土的试样安装,应按本标准第 19.3.1 条第 4 款的规定进行。

- 2 将橡皮膜套在承膜筒内,两端翻出筒外(图 19.2.1-7),从吸气孔吸气,使膜贴紧承膜筒内壁,套在试样外,放气,翻起橡皮膜的两端,取出承膜筒。用橡皮圈将橡皮膜分别扎紧在压力室底座和试样帽上。

- 3 装上压力室罩。安装时应先将活塞提升,以防碰撞试样,压力室罩安放后,将活塞对准试样帽中心,并均匀地旋紧螺丝。

- 4 开排气孔,向压力室充水,当压力室内快注满水时,降低进水速度,水从排气孔溢出时,关闭排气孔。

- 5 关体变传感器或体变管阀及孔隙压力阀,开周围压力阀,施加所需的周围压力。周围压力大小应与工程的实际小主应力 σ_3 相适应,并尽可能使最大周围压力与土体的最大实际小主应力

σ_3 大致相等。也可按 100kPa、200kPa、300kPa、400kPa 施加。

6 上升升降台,当轴向测力计有微读数时表示活塞已与试样帽接触。然后将轴向负荷传感器或测力计、轴向位移传感器或位移计的读数调整到零位。

19.4.2 剪切试样应按下列步骤进行:

1 剪切应变速率宜为 0.5%/min~1.0%/min。

2 开动试验机,进行剪切。开始阶段,试样每产生轴向应变 0.3%~0.4%时,测记轴向力和轴向位移读数各 1 次。当轴向应变达 3%以后,读数间隔可延长为每产生轴向应变 0.7%~0.8%时各测记 1 次。当接近峰值时应加密读数。当试样为特别硬脆或软弱土时,可加密或减少测读的次数。

3 当出现峰值后,再继续剪 3%~5%轴向应变;轴向力读数无明显减少时,则剪切至轴向应变达 15%~20%。

4 试验结束后,关闭电动机,下降升降台,开排气孔,排去压力室内的水,拆除压力室罩,揩干试样周围的余水,脱去试样外的橡皮膜,描述破坏后形状,称试样质量,测定试验后含水率。对于直径为 39.1mm 的试样,宜取整个试样烘干;直径为 61.8mm 和 101mm 的试样,可切取剪切面附近有代表性的部分土样烘干。

19.5 固结不排水剪试验

19.5.1 试样的安装应按下列步骤进行:

1 开孔隙压力阀及量管阀,使压力室底座充水排气,并关阀。然后放上试样,试样上端放一湿滤纸及透水板。在其周围贴上 7 条~9 条浸湿的滤纸条,滤纸条宽度为试样直径的 1/5~1/6。滤纸条两端与透水石连接,当要施加反压力饱和试样时,所贴的滤纸条必须中间断开约试样高度的 1/4,或自底部向上贴至试样高度 3/4 处。

2 应按本标准第 19.4.1 条第 2 款的规定将橡皮膜套在试样外。橡皮膜下端扎紧在压力室底座上。

3 用软刷子或双手自下向上轻轻按抚试样,以排除试样与橡皮膜之间的气泡。对于饱和软黏土,可开孔隙压力阀及量管阀,使水徐徐流入试样与橡皮膜之间,以排除夹气,然后关闭。

4 开排水管阀,使水从试样帽徐徐流出以排除管路中气泡,并将试样帽置于试样顶端。排除顶端气泡,将橡皮膜扎紧在试样帽上。

5 降低排水管,使其水面至试样中心高程以下 20cm~40cm,吸出试样与橡皮膜之间多余水分,然后关排水管阀。

6 应按本标准第 19.4.1 条第 3 款、第 4 款的规定,装上压力室罩并注满水。然后放低排水管使其水面与试样中心高度齐平,测记其水面读数,并关排水管阀。

19.5.2 试样排水固结应按下列步骤进行:

1 使量管水面位于试样中心高度处,开量管阀,测读传感器,记下孔隙压力起始读数,然后关量管阀。

2 施加周围压力应符合本标准第 19.4.1 条第 5 款的规定,并调整负荷传感器或测力计、轴向位移传感器或位移计的读数。

3 打开孔隙压力阀,测记稳定后的孔隙压力读数,减去孔隙压力计起始读数,即为周围压力与试样的初始孔隙压力。

4 开排水管阀,按 0min、0.25min、1min、4min、9min...时间测记排水读数及孔隙压力计读数。固结度至少应达到 95%,固结过程中可随时绘制排水量 ΔV 与时间平方根或时间对数曲线及孔隙压力消散度与时间对数曲线。若试样的主固结时间已经掌握,也可不读排水管和孔隙压力的过程读数。

5 当要求对试样施加反压力时,则应符合本标准第 19.3.2 条第 3 款的规定。关体变管阀,增大周围压力,使周围压力与反压力之差等于原来选定的周围压力,记录稳定的孔隙压力读数和体变管水面读数作为固结前的起始读数。

6 开体变管阀,让试样通过体变管排水,并按本标准第 19.5.2 条第 2 款~第 4 款的规定进行排水固结。

7 固结完成后,关排水管阀或体变管阀,记下体变管或排水管和孔隙压力的读数。开动试验机,到轴向力读数开始微动时,表示活塞已与试样接触,记下轴向位移读数,即为固结下沉量 Δh 。依此算出固结后试样高度 h_c 。然后将轴向力和轴向位移读数都调至零。

8 其余几个试样按同样方法安装试样,并在不同周围压力下排水固结。

19.5.3 剪切试样应按下列步骤进行:

1 剪切应变速率宜为 $0.05\%/min \sim 0.10\%/min$,粉土剪切应变速率宜为 $0.1\%/min \sim 0.5\%/min$;

2 开始剪切试样。测力计、轴向变形、孔隙水压力的测记应符合本标准第 19.5.2 条第 3 款、第 4 款规定;

3 试验结束后,关闭电动机,下降升降台,开排气孔,排去压力室内的水,拆除压力室罩,揩干试样周围的余水,脱去试样外的橡皮膜,描述破坏后形状,称试样质量,测定试验后含水率。

19.6 固结排水剪试验

19.6.1 试样的安装、固结应按本标准第 19.5.1 条、第 19.5.2 条的规定进行。

19.6.2 试样的剪切应按本标准第 19.5.3 条的规定进行,但在剪切过程中应打开排水阀。剪切速率宜为 $0.003\%/min \sim 0.012\%/min$ 。

19.7 一个试样多级加荷试验

19.7.1 不固结不排水剪试验应按下列步骤进行:

1 试样的安装应符合本标准第 19.4.1 条的规定。

2 施加第一级周围压力,试样剪切应符合本标准第 19.4.2 条第 1 款的规定。当测力计读数达到稳定或出现倒退时,测记轴向位移和测力计读数,关闭电机停止剪切,将轴向压力退至零。

3 施加第二级周围压力。此时测力计因施加周围压力而增

加,应重新调至原来读数值,然后升高升降台。当测力计读数微动时,表示试样帽与测力系统重新接触,再按原剪切速率剪切,直至测力计读数稳定或接近稳定为止。按此进行其余各级周围压力的试验。最后一级周围压力下的剪切累积应变不应超过 20%。

4 试验结束后,关周围压力阀,拆除压力室罩,取下试样称量,并测定剪切后的含水率。

19.7.2 固结不排水剪试验应按下列步骤进行:

1 试样的安装应符合本标准第 19.5.1 条的规定。

2 试样的固结应符合本标准第 19.5.2 条的规定。

3 试样的剪切应符合本标准第 19.5.3 条的规定。施加第一级周围压力,试样剪切应变速率应符合本标准第 19.5.3 条第 1 款的规定。第一级剪切完成后,退除轴向压力,待孔隙水压力稳定后施加第二级周围压力,进行排水固结。

4 固结完成后进行第二级周围压力下的剪切,并按本标准第 19.7.2 条第 1 款~第 3 款的步骤进行第三级周围压力下的剪切,累计剪切累积应变不应超过 20%。

5 试验结束后,关周围压力阀,尽快拆除压力室罩,取下试样称量,并测定剪切后的含水率。

19.8 计算、制图和记录

19.8.1 计算应符合下列规定:

1 试样的高度、面积、体积及剪切时的面积应按表 19.8.1 中的公式计算。

表 19.8.1 高度、面积、体积计算表

项目	起始	固 结 后		剪切时校正值
		按实测固结下沉	等应变简化式样	
试样高度 (cm)	h_0	$h_c = h_0 - \Delta h_c$	$h_c = h_0 \times \left(1 - \frac{\Delta V}{V_0}\right)^{1/3}$	

续表 19.8.1

项目	起始	固 结 后		剪切时校正值
		按实测固结下沉	等应变简化式样	
试样面积 (cm ²)	A ₀	A _c = $\frac{V_0 - \Delta V}{h_c}$	A _c = A ₀ × $\left(1 - \frac{\Delta V}{V_0}\right)^{2/3}$	A _a = $\frac{A_0}{1 - 0.01\epsilon_1}$ (不固结不排水剪)
				A _a = $\frac{A_c}{1 - 0.01\epsilon_1}$ (固结不排水剪)
				A _a = $\frac{V_c - \Delta V_i}{h_c - \Delta h_i}$ (固结排水剪)
试样体积 (cm ³)	V ₀	V _c = h _c A _c		

注:表中, Δh_c 为固结下沉量,由轴向位移计测得(cm); ΔV 为固结排水量(实测或试验前后试样质量差换算)(cm³); ΔV_i 为排水剪中剪切时的试样体积变化(cm³),按体变管或排水管读数求得; ϵ_1 为轴向应变(%); Δh_i 试样剪切时高度变化(cm),由轴向位移计测得,为方便起见,可预先绘制 $\Delta V-h_c$ 及 $\Delta V-A_c$ 的关系线备用。

2 主应力差($\sigma_1 - \sigma_3$)应按下式计算:

$$(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{CR}{A_a} \times 10 \quad (19.8.1-1)$$

式中: σ_1 ——大主应力(kPa);

σ_3 ——小主应力(kPa);

C ——测力计率定系数(N/0.01mm);

R ——测力计读数(0.01mm);

A_a ——试样剪切时的面积(cm²)。

3 有效主应力比 σ_1/σ_3 应按下列公式计算:

$$\frac{\sigma_1'}{\sigma_3'} = \frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{\sigma_3'} + 1 \quad (19.8.1-2)$$

$$\sigma'_1 = \sigma_1 - u \quad (19.8.1-3)$$

$$\sigma'_3 = \sigma_3 - u \quad (19.8.1-4)$$

式中： σ'_1 、 σ'_3 ——有效大主应力和有效小主应力(kPa)；

σ_1 、 σ_3 ——大主应力与小主应力(kPa)；

u ——孔隙水压力(kPa)。

4 孔隙压力系数 B 和 A 应按下列公式计算：

$$B = \frac{u_0}{\sigma_3} \quad (19.8.1-5)$$

$$A = \frac{u_d}{B(\sigma_1 - \sigma_3)} \quad (19.8.1-6)$$

式中： u_0 ——试样在周围压力下产生的初始孔隙压力(kPa)；

u_d ——试样在主应力差($\sigma_1 - \sigma_3$)下产生的孔隙压力(kPa)。

19.8.2 制图应符合下列规定：

1 根据需要分别绘制主应力差($\sigma_1 - \sigma_3$)与轴向应变 ϵ_1 的关系曲线,有效主应力比(σ'_1/σ'_3)与轴向应变 ϵ_1 的关系曲线,孔隙压力 μ 与轴向应变 ϵ_1 的关系曲线,用 $\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2} \right]$ 与 $\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \left[\frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2} \right]$ 作坐标的应力路径关系曲线。

2 破坏点的取值可以($\sigma_1 - \sigma_3$)或(σ'_1/σ'_3)的峰点值作为破坏点。如($\sigma_1 - \sigma_3$)和(σ'_1/σ'_3)均无峰值,应以应力路径的密集点或按一定轴向应变(一般可取 $\epsilon_1 = 15\%$,经过论证也可根据工程情况选取破坏应变)相应的($\sigma_1 - \sigma_3$)或(σ'_1/σ'_3)作为破坏强度值。

3 应按下列规定绘制强度包线：

1)对于不固结不排水剪切试验及固结不排水剪切试验,以法向应力 σ 为横坐标,剪应力 τ 为纵坐标,在横坐标上以 $\frac{(\sigma_{1f} + \sigma_{3f})}{2}$ 为圆心, $\frac{(\sigma_{1f} - \sigma_{3f})}{2}$ 为半径(f 注脚表示破坏时的值),绘制破坏总应力圆后,作诸圆包线。该包线的倾角为内摩擦角 φ_μ 或 $\varphi_{c\mu}$,包线在纵轴上的截距为黏聚力 c_u 或 c_{cu} ；

- 2) 在固结不排水剪切中测孔隙压力,则可确定试样破坏时的有效应力。以有效应力 σ' 为横坐标,剪应力为 τ 为纵坐标,在横坐标轴上以 $\frac{(\sigma'_{1f} + \sigma'_{3f})}{2}$ 为圆心,以 $\frac{(\sigma_{1f} - \sigma_{3f})}{2}$ 为半径,绘制不同周围压力下的有效破坏应力圆后,作诸圆包线,包线的倾角为有效内摩擦角 φ' ,包线在纵轴上的截距为有效黏聚力 c' ;
- 3) 在排水剪切试验中,孔隙压力等于零,抗剪强度包线的倾角和在纵轴上的截距分别以 φ_d 和 c_d 表示;
- 4) 如各应力圆无规律,难以绘制各圆的强度包线,可按应力路径取值,即以 $\frac{\sigma'_1 - \sigma'_3}{2} \left[\frac{(\sigma_1 - \sigma_3)}{2} \right]$ 为纵坐标, $\frac{\sigma'_1 + \sigma'_3}{2} \left[\frac{(\sigma_1 + \sigma_3)}{2} \right]$ 为横坐标,绘制应力圆,作通过各圆之圆顶点的平均直线。根据直线的倾角及在纵坐标上的截距,应按下列公式计算 φ' 和 c' :

$$\varphi' = \sin^{-1} \tan \alpha \quad (19.8.2-1)$$

$$c' = \frac{d}{\cos \varphi'} \quad (19.8.2-2)$$

式中: α ——平均直线的倾角($^\circ$);

d ——平均直线在纵轴上的截距(kPa)。

19.8.3 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.34~表 D.36 的规定。

20 无侧限抗压强度试验

20.1 一般规定

20.1.1 土样应为饱和软黏土。

20.1.2 本试验方法加荷方式应为应变控制式。

20.2 仪器设备

20.2.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

1 应变控制式无侧限压缩仪(图 20.2.1):应包括负荷传感器或测力计、加压框架及升降螺杆等。应根据土的软硬程度选用不同量程的负荷传感器或测力计；

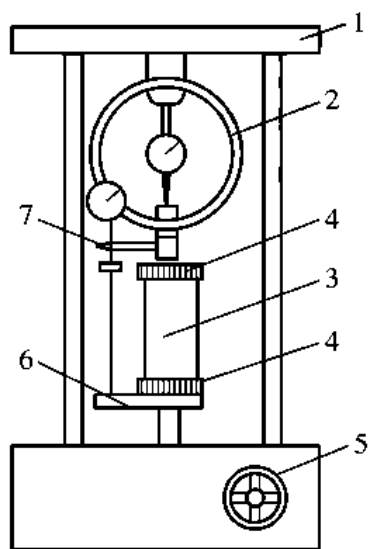


图 20.2.1 应变控制式无侧限压缩仪示意图

1—轴向加压架；2—轴向测力计；3—试样；4—传压板；5—手轮或电动转轮；

6—升降板；7—轴向位移计

2 位移传感器或位移计(百分表):量程 30mm,分度值 0.01mm;

3 天平:称量 1000g,分度值 0.1g。

20.2.2 本试验所用的其他仪器设备应符合下列规定:

1 重塑筒筒身应可以拆成两半,内径应为 3.5mm~4.0mm,高应为 80mm;

2 其他设备包括秒表、厚约 0.8cm 的铜垫板、卡尺、切土盘、直尺、削土刀、钢丝锯、薄塑料布、凡士林。

20.3 操作步骤

20.3.1 试样制备应符合本标准第 19.3.1 条的规定。

20.3.2 试样直径可为 3.5cm~4.0cm。试样高度宜为 8.0cm。

20.3.3 将试样两端抹一薄层凡士林,当气候干燥时,试样侧面亦需抹一薄层凡士林防止水分蒸发。

20.3.4 将试样放在下加压板上,升高下加压板,使试样与上加压板刚好接触。将轴向位移计、轴向测力读数均调至零位。

20.3.5 下加压板宜以每分钟轴向应变为 1%~3%的速度上升,使试验在 8min~10min 内完成。

20.3.6 轴向应变小于 3%时,每 0.5%应变测记轴向力和位移读数 1 次;轴向应变达 3%以后,每 1%应变测记轴向位移和轴向力读数 1 次。

20.3.7 当轴向力的读数达到峰值或读数达到稳定时,应再进行 3%~5%的轴向应变值即可停止试验;当读数无稳定值时,试验应进行到轴向应变达 20%为止。

20.3.8 试验结束后,迅速下降下加压板,取下试样,描述破坏后形状,测量破坏面倾角。

20.3.9 当需要测定灵敏度时,应立即将破坏后的试样除去涂有凡士林的表面,加入少量切削余土,包于塑料薄膜内用手搓捏,破坏其结构,重塑成圆柱形,放入重塑筒内,用金属垫板,将试样挤成与原状样密度、体积相等的试样。然后应按本标准第 20.3.4 条~第 20.3.8 条的规定进行试验。

20.4 计算、制图和记录

20.4.1 试样的轴向应变应按下式计算：

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100 \quad (20.4.1)$$

20.4.2 试样的平均断面积应按下式计算：

$$A_a = \frac{A_0}{1 - 0.01\epsilon_1} \quad (20.4.2)$$

20.4.3 试样所受的轴向应力应按下式计算：

$$\sigma = \frac{CR}{A_a} \times 10 \quad (20.4.3)$$

式中： σ ——轴向应力(kPa)；

C ——测力计率定系数(N/0.01mm)；

R ——测力计读数(0.01mm)；

A_a ——试样剪切时的面积(cm^2)。

20.4.4 以轴向应力为纵坐标，轴向应变为横坐标，绘制应力应变曲线(图 20.4.4)。取曲线上的最大轴向应力作为无侧限抗压强度 q_u 。最大轴向应力不明显时，取轴向应变为 15% 对应的应力作为无侧限抗压强度 q_u 。

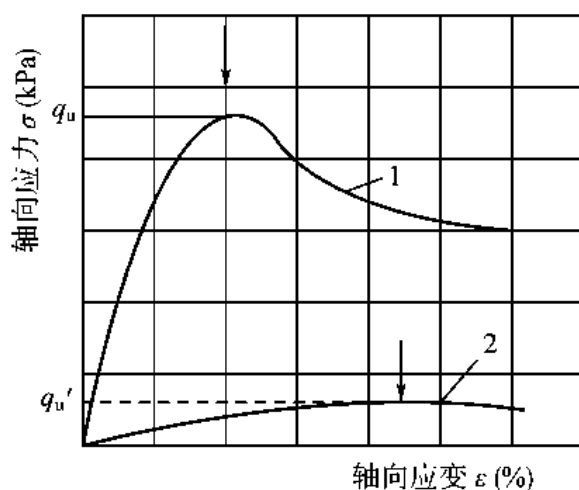


图 20.4.4 轴向应力与轴向应变关系曲线

1—原状试样；2—重塑试样

20.4.5 灵敏度应按下式计算：

$$S_t = \frac{q_u}{q'_u} \quad (20.4.5)$$

式中： S_t ——灵敏度；

q_u ——原状试样的无侧限抗压强度(kPa)；

q'_u ——重塑试样的无侧限抗压强度(kPa)。

20.4.6 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.37 的规定。

21 直接剪切试验

21.1 一般规定

21.1.1 本试验方法分为快剪、固结快剪和慢剪三种。

21.1.2 快剪试验和固结快剪试验的土样宜为渗透系数小于 $1 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$ 的细粒土。

21.2 仪器设备

21.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

1 应变控制式直剪仪(图 21.2.1):包括剪切盒(水槽、上剪切盒、下剪切盒),垂直加压框架,负荷传感器或测力计及推动机构等,其技术条件应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的规定;

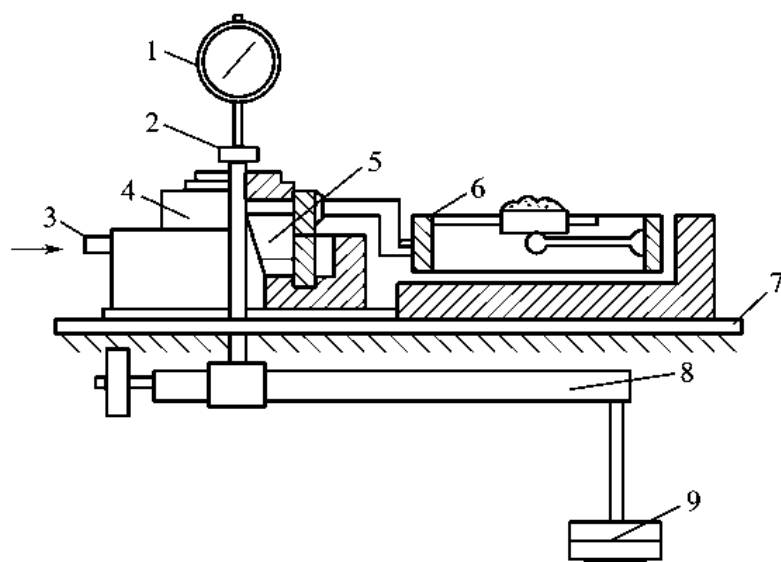


图 21.2.1 应变控制式直剪仪结构示意图

1—垂直变形百分表;2—垂直加压框架;3—推动座;4—剪切盒;
5—试样;6—测力计;7—台板;8—杠杆;9—砝码

2 位移传感器或位移计(百分表):量程 5mm~10mm,分度值 0.01mm;

3 天平:称量 500g,分度值 0.1g。

21.2.2 本试验所用的其他仪器设备应符合下列规定:

1 环刀:内径 6.18cm,高 2cm;

2 其他:饱和器、削土刀或钢丝锯、秒表、滤纸、直尺。

21.3 操作步骤

21.3.1 试样制备应按下列步骤进行:

1 黏性土试样制备:

1)从原状土样中切取原状土试样或制备给定干密度及含水率的扰动土试样。制备方法应符合本标准第 4.5 节的规定;

2)测定试样的含水率及密度,应符合本标准第 5.2 节及本标准第 6.2 节的规定。对于试样需要饱和时,应按本标准第 4.6 节规定的方法进行抽气饱和。

2 砂类土试样制备:

1)取过 2mm 筛孔的代表性风干砂样 1200g 备用。按要求的干密度称每个试样所需风干砂量,准确至 0.1g;

2)对准上下盒,插入固定销,将洁净的透水板放入剪切盒内;

3)将准备好的砂样倒入剪力盒内,拂平表面,放上一块硬木块,用手轻轻敲打,使试样达到要求的干密度。然后取出硬木块。

3 垂直压力应符合下列规定:每组试验应取 4 个试样,在 4 种不同垂直压力下进行剪切试验。可根据工程实际和土的软硬程度施加各级垂直压力,垂直压力的各级差值要大致相等。也可取垂直压力分别为 100kPa、200kPa、300kPa、400kPa,各个垂直压力可一次轻轻施加,若土质松软,也可分级施加以防试样挤出。

21.3.2 试样安装与剪切应按下列步骤进行:

1 快剪试验:

- 1) 对准上下盒,插入固定销。在下盒内放不透水板。将装有试样的环刀平口向下,对准剪切盒口,在试样顶面放不透水板,然后将试样徐徐推入剪切盒内,移去环刀。对砂类土,应按本标准第 21.3.1 条第 2 款的规定制备和安装试样;
- 2) 转动手轮,使上盒前端钢珠刚好与负荷传感器或测力计接触。调整负荷传感器或测力计读数为零。顺次加上加压盖板、钢珠、加压框架,安装垂直位移传感器或位移计,测记起始读数;
- 3) 应按本标准第 21.3.1 条第 3 款的规定施加垂直压力;
- 4) 施加垂直压力后,立即拔去固定销。开动秒表,宜采用 $0.8\text{mm}/\text{min} \sim 1.2\text{mm}/\text{min}$ 的速率剪切,每分钟 4 转 $\sim$ 6 转的均匀速度旋转手轮,使试样在 $3\text{min} \sim 5\text{min}$ 内剪损。当剪应力的读数达到稳定或有显著后退时,表示试样已剪损,宜剪至剪切变形达到 4mm 。当剪应力读数继续增加时,剪切变形应达到 6mm 为止,手轮每转一转,同时测记负荷传感器或测力计读数并根据需要测记垂直位移读数,直至剪损为止;
- 5) 剪切结束后,吸去剪切盒中积水,倒转手轮,移去垂直压力、框架、钢珠、加压盖板等,取出试样。需要时,测定剪切面附近土的含水率。

2 固结快剪试验:

- 1) 试样安装和定位应符合本条第 1 款第 1 项、第 2 项的规定。试样上下两面的不透水板改放湿滤纸和透水板;
- 2) 当试样为饱和样时,在施加垂直压力 5min 后,往剪切盒水槽内注满水;当试样为非饱和土时,仅在活塞周围包以湿棉花,防止水分蒸发;

- 3) 在试样上施加规定的垂直压力后,测记垂直变形读数。
当每小时垂直变形读数变化不大于 0.005mm 时,认为已达到固结稳定。试样也可在其他仪器上固结,然后移至剪切盒内,继续固结至稳定后,再进行剪切;
- 4) 试样达到固结稳定后,剪切应按本条第 1 款第 4 项执行,剪切后取试样测定剪切面附近试样的含水率。

3 慢剪试验:

- 1) 安装试样应符合本条第 1 款第 1 项、第 2 项的规定;试样固结应符合本条第 2 款第 1 项~第 3 项的规定。待试样固结稳定后进行剪切。剪切速率应小于 0.02mm/min。也可按下式估算剪切破坏时间:

$$t_f = 50t_{50} \quad (21.3.2)$$

式中: t_f ——达到破坏所经历的时间(min);

t_{50} ——固结度达到 50% 的时间(min)。

- 2) 剪损标准应按本条第 1 款第 4 项的规定选取;
- 3) 应按本条第 1 款第 5 项的规定进行拆卸试样及测定含水率。

21.4 计算、制图和记录

21.4.1 试样的剪应力应按下式计算:

$$\tau = \frac{CR}{A_0} \times 10 \quad (21.4.1)$$

式中: τ ——剪应力(kPa);

C ——测力计率定系数(N/0.01mm);

R ——测力计读数(0.01mm);

A_0 ——试样初始的面积(cm^2)。

21.4.2 以剪应力为纵坐标,剪切位移为横坐标,绘制剪应力 τ 与剪切位移 ΔL 关系曲线。

21.4.3 选取剪应力 τ 与剪切位移 ΔL 关系曲线上的峰值点或稳

定值作为抗剪强度 S 。当无明显峰点时,取剪切位移 $\Delta L = 4\text{mm}$ 对应的剪应力作为抗剪强度 S 。

21.4.4 以抗剪强度 S 为纵坐标,垂直单位压力 p 为横坐标,绘制抗剪强度 S 与垂直压力 p 的关系曲线。根据图上各点,绘一视测的直线。直线的倾角为土的内摩擦角 φ ,直线在纵坐标轴上的截距为土的黏聚力 c 。各种试验方法所测得的 c 、 φ 值,快剪试验应表示为 c_q 及 φ_q ;固结快剪试验应表示为 c_{cq} 及 φ_{cq} ;慢剪试验应表示为 c_s 及 φ_s 。

21.4.5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 38、表 D. 39 的规定。

22 排水反复直接剪切试验

22.1 一般规定

22.1.1 土样宜为超固结黏土及软弱岩石夹层的黏土。

22.1.2 本试验方法加荷方式为应变控制式。

22.2 仪器设备

22.2.1 应变控制式反复直剪仪(图 22.2.1)应包括变速设备、可逆电动机和反推夹具。

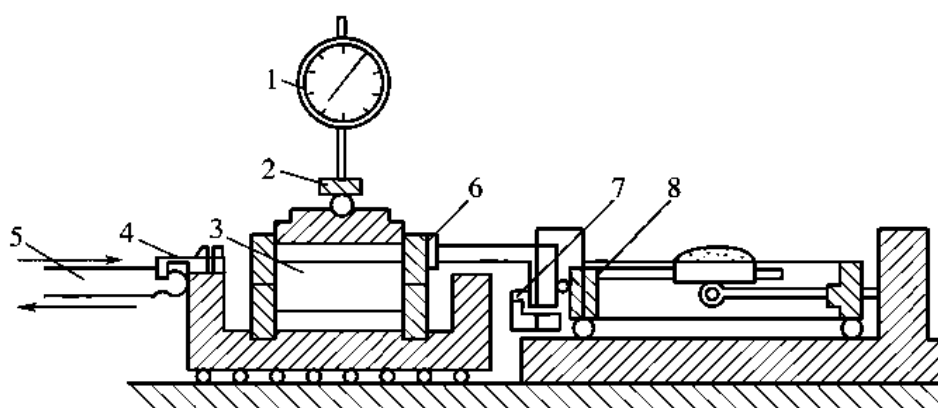


图 22.2.1 反复直剪仪结构示意图

1—垂直变形百分表；2—加压框架；3—试样；4—连接件；5—推动轴；
6—剪切盒；7—限制连接杆；8—测力计

22.2.2 其他仪器设备应符合本标准第 21.2.2 条的规定。

22.3 操作步骤

22.3.1 试样制备应按下列步骤进行：

1 对有软弱面的原状土样，先要分清软弱面的天然滑动方向，整平土样两端，使土样顶面平行于软弱面。在环刀内涂一薄层

凡士林。切土时,使软弱面位于环刀高度一半处,在试样面上标出软弱面的天然滑动方向。

2 对无软弱面的完整原状黏土或原状的超固结黏土,可用环刀按本标准第 4.5 节的规定制备试样,将试样放入剪切盒内。先在小于 50kPa 的垂直压力下,以较快的剪速进行预剪,使形成破裂面。当试样坚硬时,也可用刀、锯等工具先切割成一个剪切面,再加垂直荷载,待固结稳定后进行剪切。

3 对泥化带较厚的软弱夹层、滑坡层面,取靠近滑裂面 1mm~2mm 的土;对泥化带较薄的滑动面,取泥化的土;对无泥化带的裂隙面,取靠裂隙面两边的土。将所刮取的土样用纯水浸泡 24h 后调制均匀,制备成液限状态的土膏,将其填入环刀内。装填时,先沿环刀四周填入,然后填中部。应排除试样内的气体。

4 原状试样应取破裂面上的土测求含水率;对于扰动土试样,可取切下的余土测求含水率。

5 试样应达到饱和。饱和方法一般用抽气饱和法。

6 每组试验应制备 4 个试样,同组试样的密度最大允许差值应为 $\pm 0.03\text{g/cm}^3$ 。

22.3.2 试样剪切应按下列步骤进行:

1 先对仪器进行检查。然后将上、下剪切盒对准,插入固定销,顺次放入饱和的透水板、滤纸,将试样推入剪切盒内。再放上滤纸、透水板及加压盖板、钢珠、加压框架等,并安装垂直位移传感器或百分表。在加压板周围包以湿棉花,防止水分蒸发。然后记录负荷传感器或测记测力计和垂直位移的初始读数。

2 施加垂直压力应符合本标准第 21.3.1 条第 3 款的规定。对于液限状态的试样,应分级施加至规定压力,并按本标准第 21.3.2 条第 2 款第 3 项的规定进行固结。

3 除含水率相当于液限试样的剪切外,一般原状土、硬黏土的试验,在剪切时,剪切盒应开缝,缝宽应保持在 0.3mm~1.0mm。

4 转动手轮,使剪切盒前端的钢珠与测力计刚好接触,再调

整负荷传感器或测力计读数至零位。

5 拔出固定销,调节变速箱。对一般粉质土、粉质黏土及低塑性黏土,剪切速度不宜大于 0.06mm/min;对高塑性黏土,剪切速度不宜大于 0.02mm/min。开动电机,测读垂直位移和水平位移读数。在第 1 次剪切过程中,达到峰值剪应力之前,一般水平位移每隔 0.2mm~0.4mm 测记 1 次;过峰力后,每隔 0.5mm 测记 1 次。剪切时其每次正向剪切位移为 8mm~10mm,试验不能中断,直至最大剪切位移,停止剪切。

6 倒转手轮,用反推设备应以不大于 0.6mm/min 的剪切速度将下剪切盒反向推至与上剪切盒重合位置,插入固定销。按上述步骤进行第 2 次剪切。一次剪切完成后,也允许相隔一定时间后再按上述步骤进行下一次剪切。如此,继续反复进行剪切至剪应力达到稳定值为止。粉质黏土、砂质黏土需 5 次~6 次正向剪切,正向总剪切位移量为 40mm~48mm;黏土需要 3 次~4 次正向剪切,正向总剪切位移量为 24mm~32mm。

7 剪切结束,测记垂直位移读数,吸去剪切盒中积水,尽快卸除位移传感器或位移计、垂直压力、加压框架,加压盖板及剪切盒等,并描述剪切面的破坏情况。取剪切面附近的土样测定剪后含水率。

22.4 计算、制图和记录

22.4.1 残余剪应力应按下列式计算:

$$\tau_r = \frac{CR}{A_0} \times 10 \quad (22.4.1)$$

式中: τ_r ——残余剪应力(kPa)。

22.4.2 绘制剪应力与剪切位移关系曲线。取每个试验曲线上第 1 次剪切时峰值作为破坏强度值;取曲线上最后稳定值作为残余强度,并绘制抗剪强度与垂直压力关系曲线,抗剪强度包括峰值强度和残余强度。直线的倾角为土的内摩擦角 φ_r ,直线在纵坐标轴

上的截距为土的黏聚力 c_r 。

22.4.3 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 40 的规定。

23 无黏性土休止角试验

23.1 一般规定

23.1.1 土样应为粒径小于 5mm 的无黏性土。

23.1.2 本试验方法测定的休止角分为风干状态和水下状态两种。

23.2 仪器设备

23.2.1 休止角测定仪(图 23.2.1)圆盘直径分为 10cm 和 20cm 两种,分别适用于粒径小于 2mm 的无黏性和粒径小于 5mm 的无黏性土。

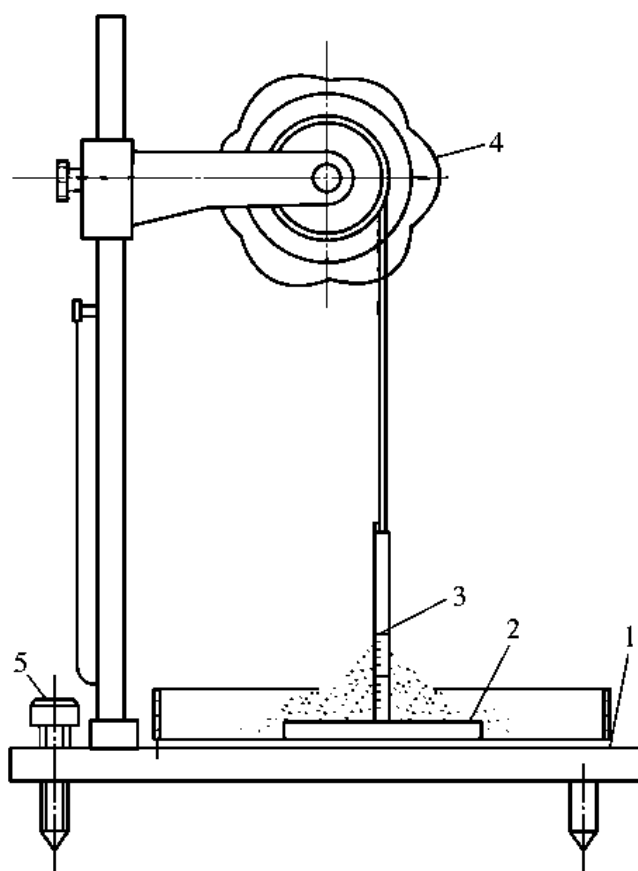


图 23.2.1 休止角测定仪

1—底盘;2—圆盘;3—铁杆;4—制动器;5—水平螺丝

23.2.2 附属设备包括勺子、水槽、烘箱。

23.3 操作步骤

23.3.1 取代表性的充分风干试样若干,并选择相应的圆盘。

23.3.2 转动制动器,使圆盘落在底盘中。

23.3.3 用小勺细心地沿铁杆四周倾倒试样。小勺离试样表面的高度应始终保持在 1cm 左右,直至圆盘外缘完全盖满为止。

23.3.4 慢慢转动制动器,使圆盘平稳升起,直至离开底盘内的试样为止。测记锥顶与铁杆接触处的刻度(h_{zc})。

23.3.5 当测定水下状态的休止角时,先将盛土圆盘慢慢地沉入水槽内。水槽内水面应达铁杆的 0 刻度处,应按本标准第 23.3.3 条的规定注入试样。应按本标准第 23.3.4 条的规定转动制动器,使圆盘下降。当锥体顶端达水面时,测记锥顶与铁杆接触处的刻度(h_{zm})。

23.3.6 根据测得的 h_{zc} 和 h_{zm} 值,计算其休止角。

23.3.7 本试验需进行 2 次平行测定,取其算术平均值,以整数($^{\circ}$)表示。

23.4 计算和记录

23.4.1 风干状态及水下休止角应按下列公式计算:

$$\alpha_c = \arctan\left(\frac{2h_{zc}}{d_z}\right) \quad (23.4.1-1)$$

$$\alpha_m = \arctan\left(\frac{2h_{zm}}{d_z}\right) \quad (23.4.1-2)$$

式中: α_c ——风干状态下休止角($^{\circ}$);

α_m ——水下休止角($^{\circ}$);

h_{zc} ——风干状态下试样堆积圆锥高度(cm);

h_{zm} ——水下试样堆积圆锥高度(cm);

d_z ——圆锥底面直径(cm)。

23.4.2 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.41 的规定。

24 自由膨胀率试验

24.1 一般规定

24.1.1 土样应为无结构情况下的黏土试样。

24.1.2 本试验应进行两次测定,当 $\delta_{ef} < 60\%$ 时,最大允许差值应为 $\pm 5\%$;当 $\delta_{ef} \geq 60\%$ 时,最大允许差值应为 $\pm 8\%$ 。取其算术平均值,以整数(%)表示。

24.2 仪器设备

24.2.1 玻璃量筒容积应为 50mL,分度值应为 1mL。

24.2.2 量土杯内径应为 20mm,容积应为 10mL。

24.2.3 无颈漏斗上口直径应为 50mm~60mm,下口直径约为 5mm。

24.2.4 搅拌器由直杆和带孔圆板组成,圆板应略小于量筒直径。

24.2.5 天平称量应为 200g,分度值应为 0.01g。

24.2.6 标准筛的孔径应为 0.5mm。

24.2.7 其他设备包括漏斗支架、刮土刀。

24.3 操作步骤

24.3.1 选取有代表性的风干土样 100g,碾碎后全部过 0.5mm 筛,在 $105^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ 下烘至恒量。取出放入干燥缸内冷却至室温。

24.3.2 将无颈漏斗放在支架上,漏斗下口对准量土杯中心并保持距离 10mm(图 24.3.2)。

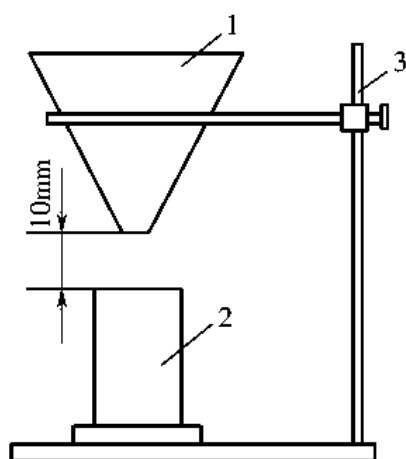


图 24.3.2 漏斗与量杯位置图

1—漏斗；2—量土杯；3—支架

24.3.3 应按图 24.3.2 装置用取土匙取适量试样倒入漏斗中,边倒边用细铁丝搅动。待量土杯装满土样并开始溢出时,移开漏斗,刮去杯口多余土,称量土杯中试样质量。将量杯中试样倒入匙内,再次倒入漏斗中,并落入量土杯,刮去多余土,称量土杯中试样的质量。两次测定的差值不得大于 0.1g。

24.3.4 向 50mL 的量筒内注入 30mL 纯水,并加入 5mL 浓度为 5% 的纯氯化钠溶液。

24.3.5 将备好的试样倒入量筒内,用搅拌器上下搅拌溶液各 10 次,用纯水淋洗搅拌器和量筒壁至悬液达 50mL,静置 24h。

24.3.6 待悬液澄清后每隔 2h 测读 1 次土面高度,估读至 0.1mL,直至 6h 内两次读数差值不大于 0.2mL 为止,当土面倾斜时,读数应取中值。

24.4 计算和记录

24.4.1 自由膨胀率应按下式计算:

$$\delta_{ef} = \frac{V_{wc} - V_0}{V_0} \times 100 \quad (24.4.1)$$

式中: δ_{ef} ——自由膨胀率(%);

V_{wc} ——土样在水中膨胀稳定后的体积(mL);

V_0 ——土样初始体积,即量土杯体积(mL)。

24.4.2 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 42 的规定。

25 膨胀率试验

25.1 一般规定

25.1.1 土样应为原状试样或击实试样。

25.1.2 本试验方法分为无荷载膨胀率和有荷载膨胀率两种。

25.2 无荷载膨胀率试验

25.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

1 膨胀仪(图 25.2.1):环刀直径 61.8mm,高 20mm;另备等直径环刀接环,高 10mm;

2 百分表:量程 10mm,分度值 0.01mm;

3 其他:天平、秒表、吸水球、刮土刀。

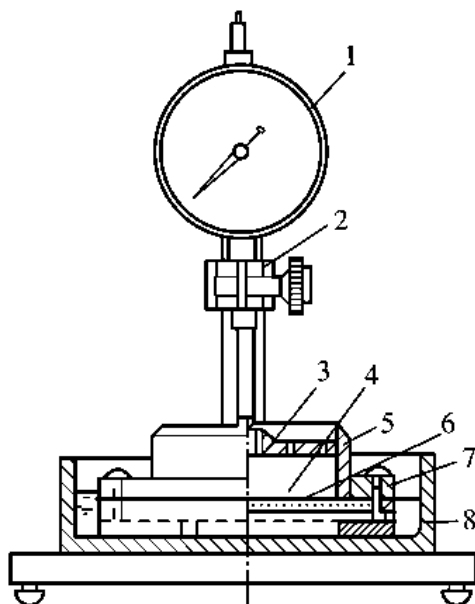


图 25.2.1 膨胀仪示意图

1—量表;2—表架;3—多孔板;4—试样;5—环刀;6—透水板;7—压板;8—水盒

25.2.2 无荷载膨胀率试验应按下列步骤进行:

1 在环刀内壁均匀涂抹薄层凡士林,切取代表性原状土试样或所需状态的击实试样,修平两面,制成高度为 20mm 的试样;

2 擦净环刀外壁,称环刀和土总质量,准确至 0.1g;

3 将烘干的透水板埋在切削下的碎土内 1h 后,取出刷净,放入仪器中;

4 将环刀钝口端用压环固定在底座上,使试样底面与透水板顶面密切接触,然后一起放到水盒中,将有孔盖板放在试样顶面,对准中心,安好百分表,记录初读数;

5 向水盒内注入纯水,使水自下而上进入试样,并保持水面高出试样 5mm,记录注水开始时间,按 5min、10min、20min、30min、1h、2h、3h、6h、12h 测读百分表读数;

6 当 6h 内变形不大于 0.01mm 时,可终止试验。移去百分表,吸去容器中的水,从环刀内推出试样,称量并烘至恒量;待冷却后再称量,计算胀后含水率和孔隙比。

25.2.3 膨胀含水率应按下式计算:

$$w_h = \frac{m_w}{m_d} \times 100 \quad (25.2.3)$$

式中: w_h ——膨胀含水率(%);

m_w ——膨胀稳定后试样中水的质量(g)。

25.2.4 体膨胀率应按下式计算:

$$\delta_e = \frac{V_w - V_0}{V_0} \times 100 \quad (25.2.4)$$

式中: δ_e ——体膨胀率(%);

V_w ——膨胀稳定后试样的体积(cm^3);

V_0 ——试样初始体积(cm^3)。

25.2.5 任一时间的无荷载膨胀率应按下式计算:

$$\delta_t = \frac{Z_0 - Z_t}{h_0} \times 100 \quad (25.2.5)$$

式中: δ_t ——时间 t 时的无荷载膨胀率(%);

Z_0 ——试验开始时量表的读数(mm);

Z_t ——时间 t 时量表的读数(mm);

h_0 ——试样初始高度(mm)。

25.2.6 当有需要时,可绘制膨胀率与时间关系曲线。

25.2.7 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 43、表 D. 44 的规定。

25.3 有荷载膨胀率试验

25.3.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

1 试样容器:应符合现行国家标准《土工试验仪器 固结仪 第 1 部分:单杠杆固结仪》GB/T 4935.1 的规定。另备等直径的环刀接环,高 10mm;

2 加压设备、变形测定设备:应符合本标准第 17.2.1 条第 2 款的规定;

3 其他:刮土刀、钢丝锯、天平、秒表。

25.3.2 有荷载膨胀率试验应按下列步骤进行:

1 在环刀内壁均匀涂抹薄层凡士林,切取代表性原状试样或所需状态的击实试样,修平两面制成高度 20mm 的试样;

2 擦净环刀外壁,称环刀和土总质量,应准确至 0.1g;

3 检查仪器的平衡状况及注水通路;

4 将烘干的透水板埋在切削下的碎土内 1h 后,取出刷净,放入仪器中;

5 将试样放到容器中,放上透水板和盖板,安好量表,施加 1kPa 的压力,使仪器各部分接触,调整量表,记下初读数;

6 根据试验所要求的荷载,可 1 次或分级施加,当每级荷载下每小时变形不大于 0.01mm 时,认为变形稳定;

7 至预定荷载变形稳定后,记下此时读数,开始向水盒内注入纯水,使水自下而上进入试样,并保持水面高出试样 5mm,记下注水开始时间;

8 浸水后每隔 2h 测记量表读数 1 次,当两次读数差值不大于 0.01mm 时,认为膨胀稳定,记下稳定读数;

9 试验结束,取出试样,称量并烘至恒量,计算胀后含水率和孔隙比。

25.3.3 特定荷载下的膨胀率应按下式计算:

$$\delta_{ep} = \frac{Z_{w1} - Z_{w2}}{h_0} \times 100 \quad (25.3.3)$$

式中: δ_{ep} ——压力 p 作用下的膨胀率(%);

Z_{w1} ——压力 p 作用下变形稳定后的量表读数(mm);

Z_{w2} ——压力 p 作用下膨胀稳定后的量表读数(mm)。

25.3.4 当有需要时,可绘制膨胀率与压力的关系曲线。

25.3.5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 43、表 D. 44 的规定。

26 收缩试验

26.1 一般规定

26.1.1 土样应为原状试样或击实试样。

26.1.2 本试验应在室温不高 30℃ 的条件下进行。

26.2 仪器设备

26.2.1 收缩仪(图 26.2.1)多孔板上孔的面积应大于总面积的 50%。

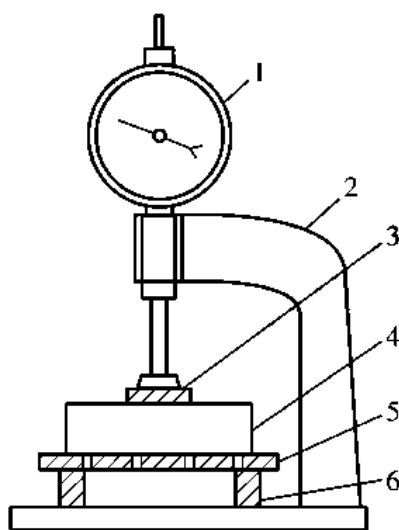


图 26.2.1 收缩仪

1—量表;2—支架;3—测板;4—试样;5—多孔板;6—垫块

26.2.2 环刀尺寸参数应符合现行行业标准《土工实验仪器 环刀》SL 370 的规定。

26.2.3 百分表量程应为 10mm,分度值应为 0.01mm。

26.2.4 天平量程应为 500g,分度值应为 0.1g。

26.2.5 其他设备包括烘箱、干燥缸、蜡封工具。

26.3 试验步骤

26.3.1 试样制备应按本标准第 4.3 节～第 4.5 节的步骤进行。

26.3.2 将制备好的试样推出环刀(当试样不紧密时,应采用风干脱环法),置于多孔板上,称试样和多孔板的质量,应准确至 0.1g。

26.3.3 装好百分表,记下初读数。

26.3.4 根据室内温度及收缩速度,宜每隔 1h～4h 测记百分表读数,并称整套装置和试样质量,准确至 0.1g;2d 后,每隔 6h～24h 测记百分表读数并称质量,直至两次百分表读数不变。称量时应保持百分表不变。在收缩曲线的第 I 阶段内应取得不少于 4 个数据。

26.3.5 取出试样在 105℃～110℃下烘干,称干土质量。

26.3.6 应按本标准第 6.3 节蜡封法的规定测定烘干试样体积。

26.4 计算、制图和记录

26.4.1 不同时间的含水率应按下式计算:

$$w_t = \left(\frac{m_t}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (26.4.1)$$

式中: w_t ——时间 t 时的试样含水率(%);

m_t ——时间 t 时的试样质量(g)。

26.4.2 线缩率应按下式计算:

$$\delta_{st} = \frac{Z_t - Z_0}{h_0} \times 100 \quad (26.4.2)$$

式中: δ_{st} ——时间 t 时的试样线缩率(%);

Z_t ——时间 t 时的百分表读数(mm);

Z_0 ——百分表初始读数(mm)。

26.4.3 体缩率应按下式计算:

$$\delta_v = \frac{V_0 - V_d}{V_0} \times 100 \quad (26.4.3)$$

式中: δ_v ——体缩率(%);

V_0 ——试样初始体积(环刀容积)(cm^3)；

V_d ——试样烘干后的体积(cm^3)。

26.4.4 收缩系数应按下式计算：

$$\lambda_s = \frac{\Delta\delta_{st}}{\Delta w} \quad (26.4.4)$$

式中： λ_s ——收缩系数；

$\Delta\delta_{st}$ ——收缩曲线上第 I 阶段 2 点线缩率之差(%)；

Δw ——相应于 $\Delta\delta_{st}$ 两点含水率之差(%)。

26.4.5 以线缩率为纵坐标，含水率为横坐标，绘制关系曲线(图 26.4.5)。延长第 I、III 阶段的直线段至相交，两线交点对应的横坐标值 w_s 即为原状土的缩限。

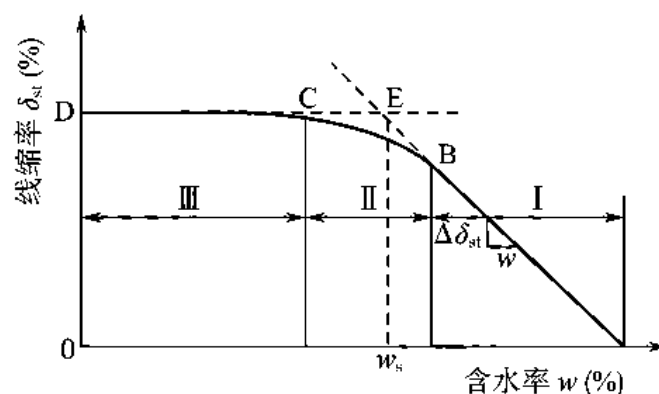


图 26.4.5 线缩率与含水率关系曲线

26.4.6 收缩试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.45 的规定。

27 膨胀力试验

27.1 一般规定

27.1.1 土样应为原状试样或击实试样。

27.1.2 本试验方法采用加荷平衡法。

27.2 仪器设备

27.2.1 试样容器应符合本标准第 25.3.1 条第 1 款的规定,另备等高 10mm 的直径环刀接环。

27.2.2 加压设备、变形测量设备应符合本标准第 25.3.1 条第 2 款的规定。

27.2.3 其他设备包括刮土刀、钢丝锯、天平、吸水球、分度值为 0.01mm 的量表。

27.3 操作步骤

27.3.1 试样安装应按本标准第 25.3.2 条第 1 款~第 5 款的规定进行。

27.3.2 向水盒内注入纯水,并保持水面高出试样 5mm。

27.3.3 试样开始膨胀,当膨胀量不大于 0.01mm 时,应施加平衡荷载,使量表指针仍指向初始读数,加荷载时应避免冲击力。

27.3.4 当平衡荷载足以产生仪器变形时,在加下一次平衡荷载时,此时量表指针应指向上一级平衡荷载相应的仪器变形位置。直到试样在某级平衡荷载下间隔 2h 不再膨胀时,则试样在该级荷载下达到稳定,允许膨胀量不应大于 0.01mm,记录施加的平衡荷载。

27.3.5 试验结束,吸去容器内水,取出试样,称试样质量,测定试

验后含水率并计算孔隙比。

27.4 计算和记录

27.4.1 膨胀力应按下列式计算：

$$p_e = k \frac{W}{A} \times 10 \quad (27.4.1)$$

式中： p_e ——膨胀力(kPa)；

k ——固结仪杠杆比；

W ——平衡荷载(N)；

A ——面积(cm^2)。

27.4.2 膨胀力试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 46、表 D. 47 的规定。

28 土的静止侧压力系数试验

28.1 一般规定

28.1.1 土样应为饱和的黏土或砂质土。

28.1.2 试样变形稳定标准为每小时变形不应大于 0.01mm。

28.2 仪器设备

28.2.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

- 1 侧压力仪(图 28.2.1)；
- 2 轴向加压设备分为杠杆式或磅秤式,最大负荷 5kN；
- 3 周围压力量测设备包括压力传感器,最大允许误差应为 $\pm 0.5\%F.S$,测量装置或三轴压缩仪的测压板。

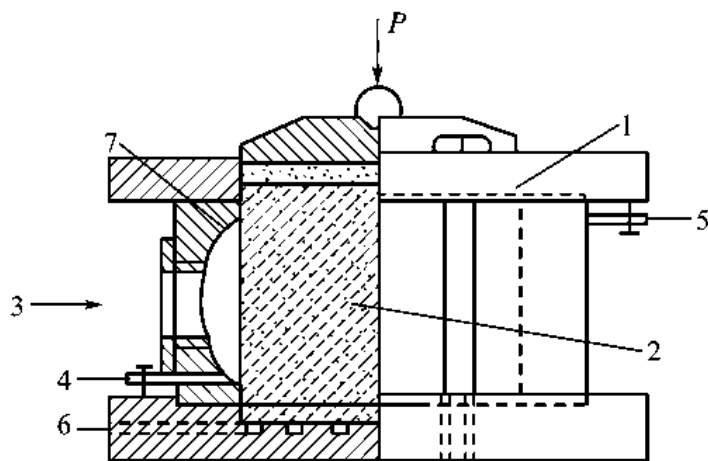


图 28.2.1 侧压力仪试验装置示意图

- 1 侧压仪容器；2 试样；3 接压力传递系统；4 进水孔；
5—排气孔阀；6—固结排水孔；7—O 形圈

28.2.2 本试验所用的其他仪器设备应符合下列规定：

- 1 切土环刀:内径 61.8mm,高度 40mm;
- 2 校正样块:内径 61.8mm,高度 100mm;
- 3 其他设备:饱和器、推样器、硅脂。

28.3 操作步骤

28.3.1 黏土试样的静止侧压力试验应按下列步骤进行:

1 试样分原状土和扰动土两类,原状土试样制备应按本标准第 4.5.1 条~第 4.5.5 条的规定进行;扰动土试样制备应按第 4.4.2 条~第 4.4.4 条的规定进行。

2 将带有环刀的试样装入框式饱和器内,应按本标准第 4.6 节的规定进行饱和,饱和度要求达到 95%以上。

3 将试样推出环刀,贴上滤纸条,套上橡皮膜并涂薄层硅脂,放入侧压仪容器内。安装试样前,打开进水阀,用调压筒抽出密闭受压室中的部分水,使橡皮膜凹进,试样推进容器后,再将抽出的水压回受压室,使试样与橡皮膜紧密接触,关进水阀。放上透水板、护水圈、传压板、钢珠。将容器置于加压框架正中,施加 1kPa 预压力。安装轴向位移计,并调至零位。

4 打开接侧压力量测装置的阀,调平电测仪表。测记受压室中水压力为零时的压力传感器读数(用三轴压缩仪的测压板测定受压室压力时,则调整零位指示器内水银面于指示线处,并测定压力表初始读数)。

5 施加轴向压力。压力等级应按 25kPa、50kPa、100kPa、200kPa、400kPa 施加。施加每级轴向压力后,随时调平电测仪表,应按 0.5min、1min、4min、9min、16min、25min、36min、49min……测记仪表读数和轴向变形,当用测压板测定受压室压力时,则随时调节调压筒,使零位指示器内水银面保持初始位置,按上述时间间隔测定压力表读数,直至变形稳定后再加下一级轴向压力。

6 试验结束后,关接侧压力装置阀,卸去轴向压力,拆除护水圈、传压板及透水板等。取出试样称量,并测定含水率。

28.3.2 砂质土的静止侧压力试验应按下列步骤进行：

1 根据要求的干密度和试样体积称取所需的风干砂样，准确至 0.1g；

2 将砂样装入容器中，拂平表面，放上一块硬木块，用手轻轻敲打，使试样达到要求的干密度，然后取下硬木块。若采用饱和砂样，则将干砂放入水中煮沸，冷却后填入容器；

3 试样填好后，放上透水板、传压板，将容器置于加压架、正中，应按本标准第 28.3.1 条第 3 款～第 6 款的规定进行。

28.4 计算、制图和记录

28.4.1 周围压力应按下式计算：

$$\sigma'_3 = C'(R_d - R_{d0}) \quad (28.4.1)$$

式中： σ'_3 ——密封受压室的水压力即侧向有效应力(kPa)；

C' ——压力传感器比例常数(kPa/mV)；

R_d ——试样竖向变形稳定时电测仪表读数(mV)；

R_{d0} ——周围压力等于零时，电测仪表的初读数(mV)。

28.4.2 以有效轴向压力为横坐标，有效周围压力为纵坐标，绘制 σ'_1 - σ'_3 关系曲线，其斜率为静止侧压力系数，即 $K_0 = \sigma'_3 / \sigma'_1$ 。

28.4.3 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 48 的规定。

29 振动三轴试验

29.1 一般规定

29.1.1 土样应为饱和的细粒土或砂土,其他粗粒土也可参照执行。

29.1.2 动强度(或抗液化强度)特性试验宜采用固结不排水振动试验条件。动力变形特性试验宜采用固结不排水振动试验条件。动残余变形特性试验宜采用固结排水振动试验条件。

29.2 仪器设备

29.2.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定:

1 振动三轴仪:按激振方式可分为惯性力式、电磁式、电液伺服式及气动式等振动三轴仪。其组成包括主机、静力控制系统、动力控制系统、量测系统、数据采集和处理系统。

- 1)主机(图 29.2.1):包括压力室和激振器等;
- 2)静力控制系统:用于施加周围压力、轴向压力、反压力,包括储气罐、调压阀、放气阀、压力表和管路等;
- 3)动力控制系统:用于轴向激振,施加轴向动应力,包括液压油源、伺服控制器、伺服阀、轴向作动器等。要求激振波形良好,拉压两半周幅值和持时基本相等,相差应小于 10%;
- 4)量测系统:由用于量测轴向载荷、轴向位移及孔隙水压力的传感器等组成;
- 5)计算机控制、数据采集和处理系统:包括计算机,绘图和打印设备,计算机控制、数据采集和处理程序等;
- 6)整个设备系统各部分均应有良好的频率响应,性能稳定,

误差不应超过允许范围。

- 2 附属设备应符合本标准第 19.2.1 条第 2 款的规定。
- 3 天平:称量 200g,分度值 0.01g;称量 1000g,分度值 0.1g。

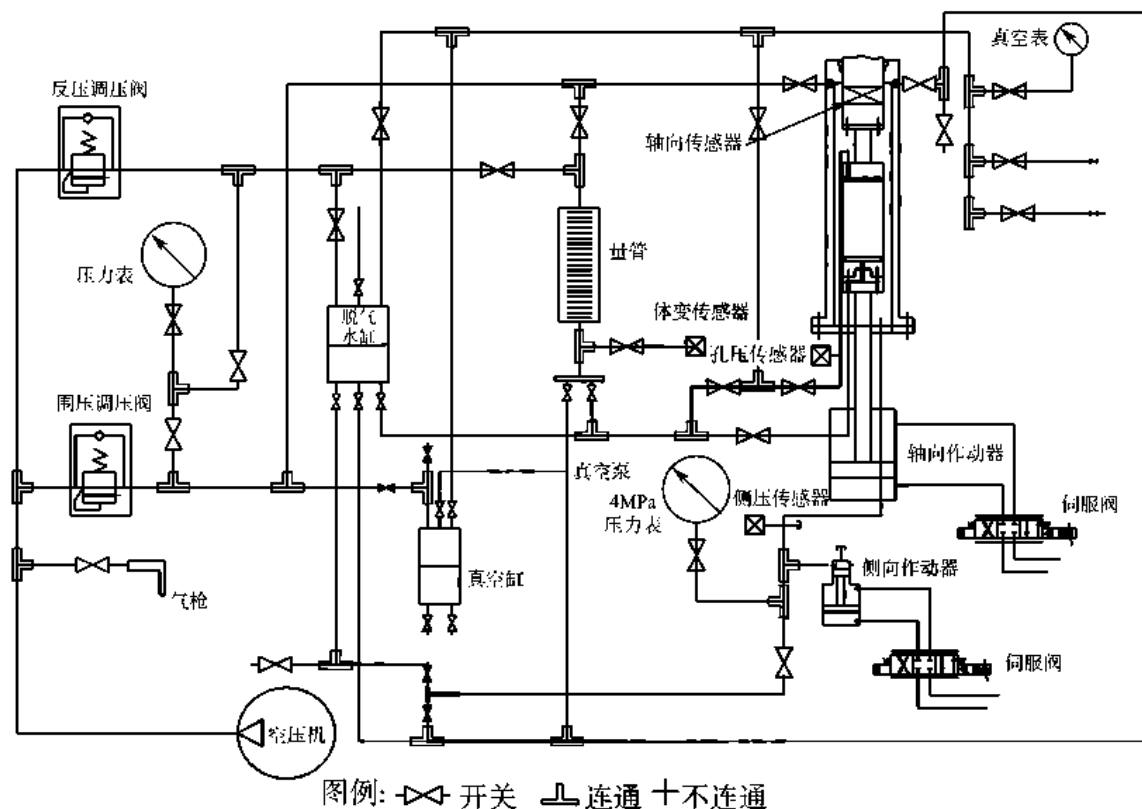


图 29.2.1 液压伺服单向激振式振动三轴仪示意图

29.2.2 压力室、静力控制系统、孔隙水压力量测系统的检查应符合本标准第 19.2.2 条第 1 款～第 3 款的规定。

29.3 操作步骤

29.3.1 试样制备应符合下列规定：

- 1 本试验采用的试样最小直径为 39.1mm,最大直径为 101mm,高度以试样直径的 2 倍~2.5 倍为宜;
- 2 原状土样的试样制备应按本标准第 19.3.1 条第 2 款的规定进行;
- 3 扰动土样的试样制备应按本标准第 19.3.1 条第 3 款的规

定进行；

4 砂土试样制备应按本标准第 19.3.1 条第 4 款的规定进行；

5 对填土，宜模拟现场状态用密度控制。对天然地基，宜用原状试样。

29.3.2 试样饱和应符合下列规定：

1 抽气饱和应按本标准第 19.3.2 条第 1 款的规定进行；

2 水头饱和应按本标准第 19.3.2 条第 2 款的规定进行；

3 反压力饱和应按第 19.3.2 条第 3 款的规定进行。

29.3.3 试样安装应符合下列规定：

1 打开供水阀，使试样底座充水排气，当溢出的水不含气泡时，应按本标准第 19.5.1 条第 1 款～第 6 款的规定安装试样；

2 砂样安装在试样制备过程中完成。

29.3.4 试样固结应符合下列规定：

1 等向固结应先对试样施加 20kPa 的侧压力，然后逐级施加均等的周围压力和轴向压力，直到周围压力和轴向压力相等并达到预定压力；

2 不等向固结应在等向固结变形稳定后，逐级增加轴向压力，直到预定的轴向压力，加压时勿使试样产生过大的变形；

3 对施加反压力的试样应按本标准第 19.3.2 条第 3 款的规定施加反压力；

4 施加压力后打开排水阀或体变管阀和反压力阀，使试样排水固结。固结稳定标准，对黏土和粉土试样，1h 内固结排水量变化不大于 0.1cm^3 ，砂土试样等向固结时，关闭排水阀后 5min 内孔隙压力不上升；不等向固结时，5min 内轴向变形不大于 0.005mm；

5 固结完成后关排水阀，并计算振前干密度。

29.3.5 动强度(抗液化强度)试验应按下列步骤进行：

1 动强度(抗液化强度)试验为固结不排水振动三轴试验，试验中测定应力、应变和孔隙水压力的变化过程，根据一定的试样破

坏标准,确定动强度(抗液化强度)。破坏标准可取应变等于 5% 或孔隙水压力等于周围压力,也可根据具体情况选取。

2 试样固结好后,在计算机控制界面中设定试验方案,包括动荷载大小、振动频率、振动波形、振动次数等。动强度试验宜采用正弦波激振,振动频率宜根据实际工程动荷载条件确定振动频率,也可采用 1.0Hz。

3 在计算机控制界面中新建试验数据存储的文件。

4 关闭排水阀,并检查管路各个开关的状态,确认活塞轴上、下锁定处于解除状态。

5 当所有工作检查完毕,并确定无误后,点击计算机控制界面的开始按钮,试验开始。

6 当试样达到破坏标准后,再振 5 周~10 周左右停止振动。

7 试验结束后卸掉压力,关闭压力源。

8 描述试样破坏形状,必要时测定试样振后干密度,拆除试样。

9 对同一密度的试样,可选择 1 个~3 个固结比。在同一固结比下,可选择 1 个~3 个不同的周围压力。每一周围压力下用 4 个~6 个试样。可分别选择 10 周、20 周~30 周和 100 周等不同的振动破坏周次,应按本标准第 29.3.5 条的规定进行试验。

10 整个试验过程中的动荷载、动变形、动孔隙水压力及侧压力由计算机自动采集和处理。

29.3.6 动力变形特性试验应按下列步骤进行:

1 在动力变形特性试验中,根据振动试验过程中的轴向应力和轴向动应变的变化过程和应力应变滞回圈,计算动弹性模量和阻尼比。动力变形特性试验一般采用正弦波激振,振动频率可根据工程需要选择确定。

2 试样固结好后,在计算机控制界面中设定试验方案,包括振动次数、振动的动荷载大小、振动频率和振动波形等。

3 在计算机控制界面中新建试验数据存储的文件。

4 关闭排水阀,检查管路各个开关的状态,确认活塞轴上、下锁定处于解除状态。

5 当所有工作检查完毕,并确定无误后,点击计算机控制界面的开始按钮,分级进行试验。试验过程中由计算机自动采集轴向动应力、轴向变形及试样孔隙水压力等的变化过程。

6 试验结束后,卸掉压力,关闭压力源。

7 在需要时测定试样振后干密度,拆除试样。

8 在进行动弹性模量和阻尼比随应变幅的变化的试验时,一般每个试样只能进行一个动应力试验。当采用多级加荷试验时,同一干密度的试样,在同一固结应力比下,可选1个~5个不同的侧压力试验,每一侧压力用3个~5个试样,每个试样采用4级~5级动应力,宜采用逐级施加动应力幅的方法,后一级的动应力幅值可控制为前一级的2倍左右,每级的振动次数不宜大于10次,应按本条的规定进行试验。

9 试验过程的试验数据由计算机自动采集、处理,并根据所采集的应力应变关系,画出应力应变滞回圈,整理出动弹性模量和阻尼比随应变幅的关系曲线。

29.3.7 动力残余变形特性试验应按下列步骤进行:

1 动力残余变形特性试验为饱和固结排水振动试验。根据振动试验过程中的排水量计算其残余体积应变的变化过程,根据振动试验过程中的轴向变形量计算其残余轴应变及残余剪应变的变化过程。

2 动力残余变形特性试验一般采用正弦波激振,振动频率可根据工程需要选择确定。

3 试样固结好后,在计算机控制界面中设定试验方案,包括动荷载、振动频率、振动次数、振动波形等。

4 在计算机控制界面中新建试验数据存储的文件。

5 保持排水阀开启,并检查管路各个开关的状态,确认活塞

轴上、下锁定处于解除状态。

6 当所有工作检查完毕,并确定无误后,点击计算机控制界面的开始按钮,试验开始。

7 试验结束后,卸掉压力,关闭压力源。

8 在需要时测定试样振后干密度,拆除试样。

9 对同一密度的试样,可选择 1 个~3 个固结比。在同一固结比下,可选择 1 个~3 个不同的周围压力。每一周围压力下用 3 个~5 个试样,应按本条的规定进行试验。

10 整个试验过程中的动荷载、侧压力、残余体积和残余轴向变形由计算机自动采集和处理。根据所采集的应力应变(包括体应变)时程记录,整理需要的残余剪应变和残余体应变模型参数。

29.4 计算、制图和记录

29.4.1 试样的静、动应力指标应按下列规定计算:

1 固结应力比应按下列式计算:

$$K_c = \frac{\sigma'_{1c}}{\sigma'_{3c}} = \frac{\sigma_{1c} - u_0}{\sigma_{3c} - u_0} \quad (29.4.1-1)$$

式中: K_c ——固结应力比;

σ'_{1c} ——有效轴向固结应力(kPa);

σ'_{3c} ——有效侧向固结应力(kPa);

σ_{1c} ——轴向固结应力(kPa);

σ_{3c} ——侧向固结应力(kPa);

u_0 ——初始孔隙水压力(kPa)。

2 轴向动应力应按下列式计算:

$$\sigma_d = \frac{W_d}{A_c} \times 10 \quad (29.4.1-2)$$

式中: σ_d ——轴向动应力(kPa);

W_d ——轴向动荷载(N);

A_c ——试样固结后截面积(cm^2)。

3 轴向动应变应按下式计算：

$$\epsilon_d = \frac{\Delta h_d}{h_c} \times 100 \quad (29.4.1-3)$$

式中： ϵ_d ——轴向动应变(%)；

Δh_d ——轴向动变形(mm)；

h_c ——固结后试样高度(mm)。

4 体积应变应按下式计算：

$$\epsilon_v = \frac{\Delta V}{V_c} \times 100 \quad (29.4.1-4)$$

式中： ϵ_v ——体积应变(%)；

ΔV ——试样体积变化，即固结排水量(cm^3)；

V_c ——试样固结后体积(cm^3)。

29.4.2 动强度(抗液化强度)计算应在试验记录的动应力、动变形和动孔隙水压力的时程曲线上，根据本标准第 29.3.5 条第 1 款规定的破坏标准，确定达到该标准的破坏振次。相应于该破坏振次试样 45° 面上的破坏动剪应力比 τ_d/σ'_0 应按下列公式计算：

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_0} = \frac{\sigma_d}{2\sigma'_0} \quad (29.4.2-1)$$

$$\tau_d = \frac{\sigma_d}{2} \quad (29.4.2-2)$$

$$\sigma'_0 = \frac{\sigma'_{1c} + \sigma'_{3c}}{2} \quad (29.4.2-3)$$

式中： τ_d/σ'_0 ——试样 45° 面上的破坏动剪应力比；

σ_d ——试样轴向动应力(kPa)；

τ_d ——试样 45° 面上的动剪应力(kPa)；

σ'_0 ——试样 45° 面上的有效法向固结应力(kPa)；

σ'_{1c} ——有效轴向固结应力(kPa)；

σ'_{3c} ——有效侧向固结应力(kPa)。

29.4.3 动强度试验的试验曲线可按下列规定进行绘图：

1 对同一固结应力条件进行多个试样的测试,以破坏动剪应力比 R_f 为纵坐标,破坏振次 N_f 为横坐标,在单对数坐标上绘制破坏动剪应力比 τ_d/σ'_0 与破坏振次 N_f 的关系曲线;

2 对于工程要求的等效破坏振次 N ,可根据破坏动剪应力比 τ_d/σ'_0 与破坏振次 N_f 的曲线确定相应的破坏动剪应力比 $(\tau_d/\sigma'_0)_N$,并可根据工程需要,按不同表示方法,整理出动强度(抗液化强度)特性指标;

3 在对动孔隙水压力数据进行整理时,可取动孔隙水压力的峰值;也可根据工程需要,取残余动孔隙水压力值;

4 当由于土的性能影响或仪器性能影响导致测试记录的孔隙水压力有滞后现象时,可对记录值进行修正后再作处理;

5 以动孔隙水压力为纵坐标,以振次为横坐标,根据试验结果在单对数坐标上绘制动孔隙水压力比与振次的关系曲线;

6 以动孔压比为纵坐标,以破坏振次 N_f 为横坐标,绘制振次比与动孔压比的关系曲线;

7 对于初始剪应力比相同的各个试验,可以动孔压比为纵坐标,以动剪应力比为横坐标,绘制在固定振次作用下的动孔压比与动剪应力比的关系曲线;也可根据工程需要,绘制不同初始剪应力比与不同振次作用下的同类关系曲线。

29.4.4 动弹性模量和阻尼比应按下列公式计算:

1 动弹性模量:

$$E_d = \frac{\sigma_d}{\epsilon_d} \times 100 \quad (29.4.4-1)$$

式中: E_d ——动弹性模量(kPa);

σ_d ——轴向动应力(kPa);

ϵ_d ——轴向动应变(%)。

2 阻尼比 λ :

$$\lambda = \frac{1}{4\pi} \frac{A_z}{A_s} \quad (29.4.4-2)$$

式中： λ ——阻尼比；

A_z ——滞回圈 ABCDA(图 29.4.4-1)的面积(cm^2)；

A_s ——三角形 OAE 的面积(cm^2)。

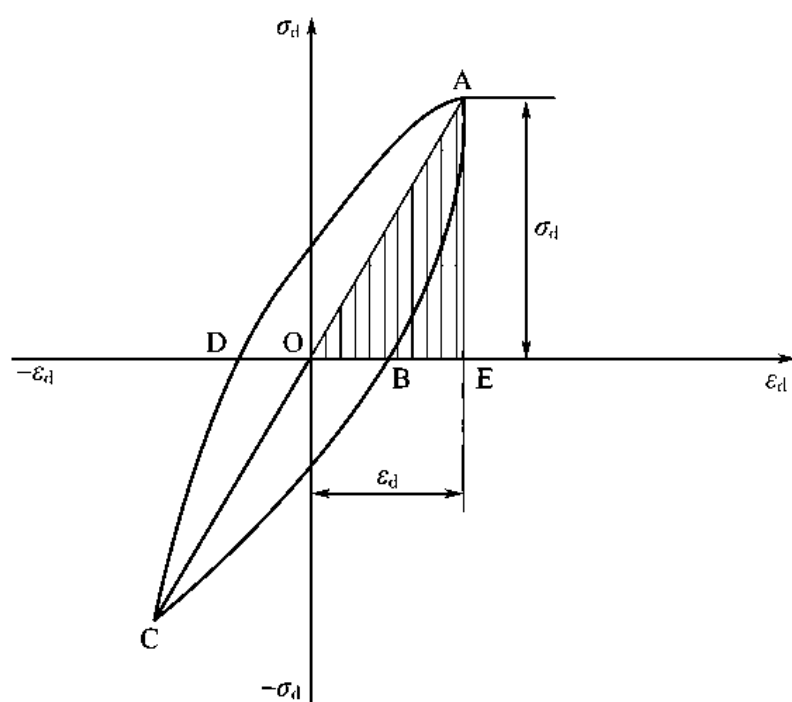


图 29.4.4-1 应力应变滞回圈

3 动弹性模量和动剪切模量及动轴向应变幅和动剪应变幅之间,可按下列公式进行换算:

$$G_d = \frac{E_d}{2(1+\mu)} \quad (29.4.4-3)$$

$$\gamma_d = \epsilon_d(1+\mu) \quad (29.4.4-4)$$

式中： G_d ——动剪切模量(kPa)；

μ ——泊松比；

γ_d ——动剪应变(%)。

4 最大动弹性模量可按下列规定求得:绘制 ϵ_d/σ_d (即 $1/E_d$) 与动应变 ϵ_d 的关系曲线(图 29.4.4-2),将曲线切线在纵轴上的截距的倒数作为最大动弹性模量。有条件时,可将在微小应变($\epsilon_d \leq 1 \times 10^{-5}$)测得的动弹性模量作为最大动弹性模量。

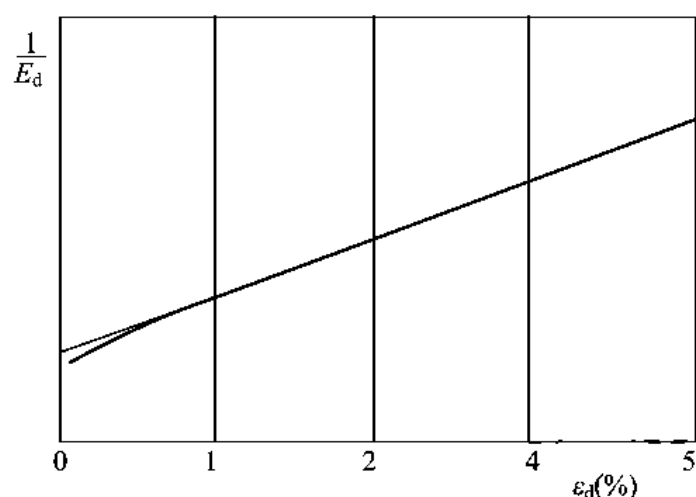


图 29.4.4-2 最大动弹性模量的确定示意图

29.4.5 残余变形计算应根据所采用计算模型和计算方法要求，对每个试样试验可分别整理残余体积应变、残余轴应变与振次关系曲线。

29.4.6 动强度(抗液化强度)试验记录和计算格式应符合本标准附录 D 表 D.49、表 D.50 的规定。动弹性模量和阻尼比试验记录和计算格式应符合本标准附录 D 表 D.51、表 D.52 的规定。动残余变形特性试验记录和计算格式应符合本标准附录 D 表 D.53、表 D.54 的规定。

30 共振柱试验

30.1 一般规定

30.1.1 土样应为饱和的细粒土或砂土。

30.1.2 本试验宜制备多个性质相同的试样,在不同周围压力和不同固结比下进行试验。周围压力和固结比宜根据工程实际确定。可采用 1 个~4 个周围压力,1 个~3 个固结比。

30.2 仪器设备

30.2.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定:

1 共振柱试验仪:按试样约束条件,可分为一端固定一端自由及一端固定一端用弹簧和阻尼器支承两类;按激振方式,可分为稳态强迫振动法和自由振动法两类;按振动方式,可分为扭转振动和纵向振动两类;

2 压力室(图 30.2.1):内部置放激振器、加速度计及试样,压力室底座和试样上压盖板应具有辐射状的凸条;

3 静力控制系统:应符合本标准第 29.2.1 条第 1 款第 2 项的规定;

4 激振控制系统:包括信号发生器、功率放大器、D/A 转换器和计算机;

5 量测系统:包括加速度计、电荷放大器、频率计、示波器或 A/D 转换器和计算机。

30.2.2 本试验所用的其他仪器设备应符合本标准第 19.2.1 条第 2 款的规定。

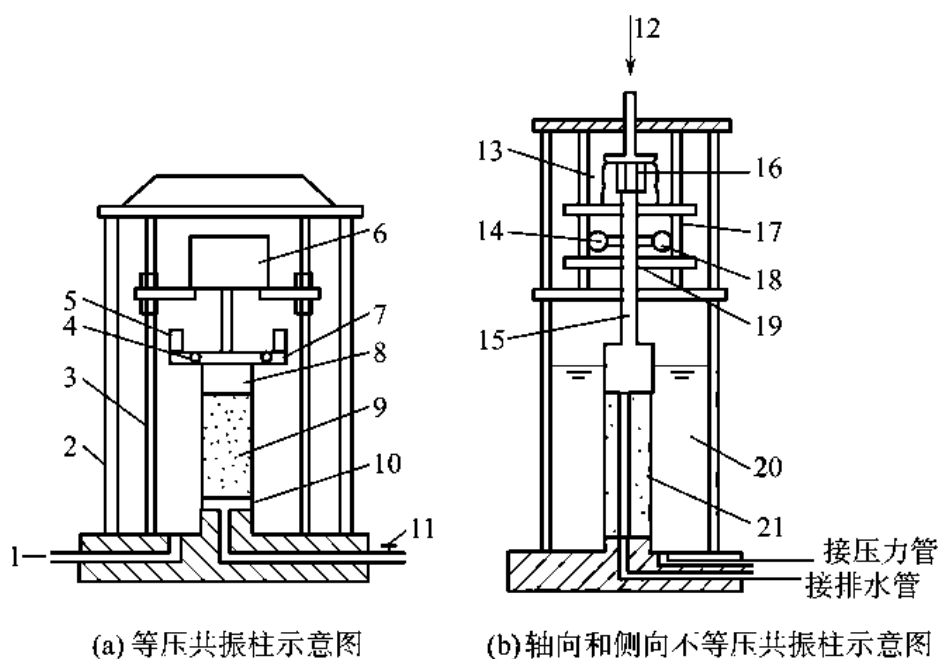


图 30.2.1 共振柱主机示意图

- 1—接周围压力系统；2—压力室外罩；3—支架；4—加速度计；5—扭转激振器；
 6—轴向激振器；7—驱动板；8—上压盖；9—试样；10—透水板；11—接排水管；
 12—轴向压力；13—弹簧；14—激振器；15—旋转轴；16—压力传感器；
 17—导向杆；18—加速度计；19—上下活动框架；20—水；21—试样

30.3 操作步骤

30.3.1 试样制备应符合下列规定：

- 1 本试验采用的试样直径为 50mm，试样高度为直径的 2 倍～2.5 倍；
- 2 原状土样的试样制备应按本标准第 19.3.1 条第 2 款的规定进行；
- 3 扰动土样的试样制备应按本标准 19.3.1 条第 3 款的规定进行；
- 4 砂性土的试样制备应按本标准第 19.3.1 条第 4 款的规定进行。

30.3.2 试样饱和应符合下列规定：

- 1 抽气饱和应按本标准第 19.3.2 条第 1 款的规定进行;
- 2 水头饱和应按本标准第 19.3.2 条第 2 款的规定进行;
- 3 饱和度检查和反压力饱和应按本标准第 19.3.2 条第 3 款的规定进行。

30.3.3 试样安装和固结应按下列步骤进行:

1 打开量管阀,使试样底座充水,当溢出的水不含气泡时,关量管阀,在底座透水板上放湿滤纸。

2 将试样放在底座上,并压入凸条中,在其周围贴 7 条~9 条宽 6mm 的湿滤纸条,用撑膜筒将乳胶膜套在试样外,下端与底座扎紧,取下撑膜筒。用对开圆模夹紧试样,将乳胶膜上端翻出模外。

3 对扭转振动,将加速度计和激振驱动系统水平固定在驱动板上,再将驱动板置于试样上端,将旋转轴与试样帽上端连接,翻起乳胶膜并扎紧在上压盖上(试样帽),按线圈座编号,将对应的线圈套进磁钢外极,磁极中心至线圈上、下端的距离应相等。两对线圈的高度应一致,线圈两侧的磁隙应相同,并对称于线圈支架,按线圈上的标志接线。

4 对轴向振动,将加速度计垂直固定在上压盖上,再将上压盖与激振器相连。当上压盖上下活动自如时,垂直地置于试样上端,翻起乳胶膜并扎紧在上压盖上。

5 用引线将加力线圈与功率放大器相连,并将加速度计与电荷放大器相连。

6 拆除对开圆模,装上压力室外罩。

7 转动调压阀,逐级施加至预定的周围压力,一端固定另一端弹簧支承的可进行不等向固结。打开排水阀,直至固结稳定。稳定标准应符合本标准第 29.3.4 条第 4 款的规定,关排水阀。

30.3.4 稳态强迫振动法应按下列步骤进行:

1 开启信号发生器、示波器、电荷放大器和频率计电源,预

热,打开计算机数据采集系统。

2 将信号发生器的振幅控制旋钮调至零位,开启功率放大器电源预热 5min,将功能开关置于共振挡。

3 将信号发生器输出调至给定值,连续改变激振频率,由低频逐渐增大,直至系统发生共振,读出最大电压值,此时频率计读数即为共振频率。测记共振频率和相应的电压值,由电压值确定动应变或动剪应变。

4 进行阻尼比测定时,当激振频率达到系统共振频率后,继续增大频率,这时振幅逐渐减小,测记每一激振频率和相应的振幅电压值。如此继续,测记 7 组~10 组数据,关仪器电源。以振幅为纵坐标,以频率为横坐标,绘制振幅与频率关系曲线。

5 宜逐级施加动应变幅或动应力幅进行测试,后一级的振幅可控制为前一级的 1 倍。在同一试样上选用允许施加的动应变幅或动应力幅的级数时,应避免孔隙水压力明显升高。

6 关闭仪器电源,退去压力,取下压力室罩,拆除试样,需要时测定试样的干密度和含水率。

30.3.5 自由振动法应按下列步骤进行:

1 开启电荷放大器电源,预热,开计算机系统电源。

2 将试验程序输入计算机,开功率放大器电源预热 5min,在计算机控制下进行试验。计算机指令 D/A 转换器控制驱动系统,对试样施加瞬时扭矩后立即卸除,使试样自由振动。在振动过程中,加速度计的信号经过电荷放大器和 A/D 转换器输入计算机处理,得到振幅衰减曲线。

3 宜逐级施加动应变幅或动应力幅进行测试,后一级的振幅可控制为前一级的 1 倍。在每一级激振力振动下试验后,逐次增大激振力,继续进行试验得到在试样应变幅值增大后测试的模量和阻尼比。一般应变幅值增大到 1×10^{-4} 为止。

4 关闭仪器电源,退除压力,取下压力室外罩,拆除试样,需要时测定试样的干密度和含水率。

30.4 计算、制图和记录

30.4.1 试样的动应变按下列公式计算：

1 动剪应变：

$$\gamma = \frac{A_d d_c}{3d_1 h_c} \times 100 = \frac{U d_c}{3d_1 h_c \beta \omega^2} \times 100 = \frac{U d_c}{12d_1 h_c \beta \pi^2 f_{nt}^2} \times 100 \quad (30.4.1-1)$$

式中： γ ——动剪应变(%)；

A_d ——安装加速度计处的动位移(cm)；

d_c ——试样固结后的直径(cm)；

d_1 ——加速度计到试样轴线的距离(cm)；

h_c ——试样固结后的高度(cm)；

U ——加速度计经放大后的电压值(mV)；

β ——标定系数[mV/(981cm·s²)]；

ω ——共振圆频率(rad/s)；

f_{nt} ——试验实测扭转共振频率(Hz)。

2 动轴向应变：

$$\epsilon_d = \frac{\Delta h_d}{h_c} \times 100 = \frac{U}{\beta \omega^2 h_c} \times 100 \quad (30.4.1-2)$$

式中： Δh_d ——动轴向变形(cm)。

30.4.2 扭转共振时的动剪切模量应按下式计算：

$$G_d = \left(\frac{2\pi f_{nt} h_c}{\beta_s} \right)^2 \rho_0 \times 10^{-4} \quad (30.4.2)$$

式中： G_d ——动剪切模量(kPa)；

f_{nt} ——试验时实测的扭转共振频率(Hz)；

β_s ——扭转无量纲频率因数；

ρ_0 ——试样密度(g/cm³)。

30.4.3 扭转无量纲频率因数应根据试样的约束条件分别按下列公式计算：

1 无弹簧支承：

$$\beta_s \tan \beta_s = \frac{I_0}{I_t} = \frac{m_0 d^2}{8I_t} \quad (30.4.3-1)$$

式中: I_0 ——试样的转动惯量($\text{g} \cdot \text{cm}^2$);

I_t ——试样顶端附加物的转动惯量($\text{g} \cdot \text{cm}^2$);

m_0 ——试样质量(g);

d ——试样直径(cm)。

2 有弹簧支承:

$$\beta_s \tan \beta_s = \frac{I_0}{I_t} \frac{1}{1 - \left(\frac{f_{0t}}{f_{nt}} \right)^2} \quad (30.4.3-2)$$

式中: f_{0t} ——无试样时转动振动各部分的扭振共振频率(Hz);

f_{nt} ——试验时实测的扭转共振频率(Hz)。

30.4.4 轴向共振时的动弹性模量应按下式计算:

$$E_d = \left(\frac{2\pi f_{nl} h_c}{\beta_L} \right)^2 \rho_0 \times 10^{-4} \quad (30.4.4)$$

式中: E_d ——动弹性模量(kPa);

f_{nl} ——试验时实测的纵向振动共振频率(Hz);

β_L ——纵向振动无量纲频率因数。

30.4.5 纵向振动无量纲频率因数应根据试样的约束条件分别按下列公式计算:

1 无弹簧支承:

$$\beta_L \tan \beta_L = \frac{m_0}{m_{ft}} \quad (30.4.5-1)$$

式中: m_0 ——试样的质量(g);

m_{ft} ——试样顶端附加物的质量(g)。

2 有弹簧支承:

$$\beta_L \tan \beta_L = \frac{m_0}{m_T} \frac{1}{1 - \left(\frac{f_{0l}}{f_{nl}} \right)^2} \quad (30.4.5-2)$$

式中: f_{0l} ——无试样时系统各部分的纵向振动共振频率(Hz);

f_{nl} ——试验时实测的纵向振动共振频率(Hz)。

30.4.6 土的阻尼比应按下列公式计算：

1 无弹簧支承：

1) 自由振动法：

$$\lambda = \frac{1}{2\pi} \frac{1}{N} \ln \frac{A_1}{A_{N+1}} \quad (30.4.6-1)$$

式中： λ ——阻尼比；

N ——计算所取的振动次数；

A_1 ——停止激振后第 1 周振动的振幅(mm)；

A_{N+1} ——停止激振后第 $N+1$ 周振动的振幅(mm)。

2) 稳态强迫振动法：

$$\lambda = \frac{1}{2} \left(\frac{f_2 - f_1}{f_n} \right) \quad (30.4.6-2)$$

式中： f_1 、 f_2 ——振幅与频率关系曲线上最大振幅值的 70.7% 处所对应的频率(Hz)；

f_n ——最大振幅值所对应的频率(Hz)。

2 有弹簧支承：

1) 自由扭转振动法：

$$\lambda = \frac{\delta_1(1 + s_1) - \delta_{01}s_1}{2\pi} \quad (30.4.6-3)$$

$$s_1 = \frac{I_t}{I_0} \left(\frac{f_{01}\beta_s}{f_{n1}} \right)^2 \quad (30.4.6-4)$$

式中： δ_1 、 δ_{01} ——有试样和无试样时系统扭转振动时的对数衰减率；

s_1 ——扭转振动时的能量比。

2) 自由纵向振动法：

$$\lambda = \frac{\delta_1(1 + s_1) - \delta_{01}s_1}{2\pi} \quad (30.4.6-5)$$

$$s_1 = \frac{m_t}{m_0} \left(\frac{f_{01}\beta_L}{f_{n1}} \right)^2 \quad (30.4.6-6)$$

式中： δ_1 、 δ_{01} ——有试样和无试样时系统纵向振动时的对数衰减率；

s_1 ——纵向振动时的能量比。

30.4.7 以动剪应变(或轴向应变)为横坐标,动剪切模量或动弹模量为纵坐标,在半对数纸上绘制不同周围压力下动剪应变或动弹模量与动剪切模量或轴向应变关系曲线。取微小动剪应变($\gamma < 1 \times 10^{-5}$)下的动剪切模量为最大动剪切模量 G_{dmax} 。

30.4.8 以动剪应变或轴向应变为横坐标,动剪切模量比或动弹模量比为纵坐标,在半对数纸上绘制周围压力下动剪应变或轴向应变与动剪切模量比或动弹模量比关系的归一化曲线。

30.4.9 以动剪应变或轴向动应变为横坐标,阻尼比为纵坐标,在半对数纸上绘制关系曲线。

30.4.10 共振柱试验记录格式应符合本标准附录 D 表 D.55～表 D.58 的规定。

31 土的基床系数试验

31.1 一般规定

31.1.1 土样应为饱和的黏土或砂质土。

31.1.2 本试验采用应力加荷法。

31.2 仪器设备

31.2.1 本试验主要仪器设备应符合本标准第 19.2.1 条的规定。

31.2.2 试验时的仪器设备应符合本标准第 19.2.2 条的规定。

31.3 操作步骤

31.3.1 试样的制备和饱和应按本标准第 19.3.1 条、第 19.3.2 条的规定进行。

31.3.2 土的静止侧压力系数 K_0 值应按本标准第 28.4 节的规定计算。

31.3.3 试样安装和固结应符合下列规定：

1 试样安装应符合本标准第 19.5.1 条的规定；

2 将试样在 K_0 条件下进行排水固结，侧向围压应按下列公式计算，排水固结应按本标准第 19.5.2 条的规定进行：

$$\sigma_3 = K_0 \sigma_1 \quad (31.3.3-1)$$

$$\sigma_1 = \gamma h_0 \quad (31.3.3-2)$$

式中： σ_1 ——轴向应力(kPa)；

σ_3 ——侧向围压(kPa)；

K_0 ——土的静止侧压力系数；

γ ——上覆土层重度(kN/m³)；

h_0 ——上覆土层厚度(m)。

31.3.4 固结稳定后,控制主应力增量 $\Delta\sigma_1$ 与围压增量 $\Delta\sigma_3$ 比值 n 为某一固定数值,应分别按 $n=0、0.1、0.2、0.3$ 等不同应力路径进行,剪切速率宜采用 $0.003\%/min\sim 0.012\%/min$,剪切过程中应打开排水阀。

31.3.5 试验结束后,关闭电动机,下降升降台,开排气孔,排去压力室内的水,拆除压力室罩,揩干试样周围的余水,脱去试样外的橡皮膜,描述试验后试样形状,称试样质量,测定试验后含水率。

31.4 计算、制图和记录

31.4.1 试验结果的整理应按本标准第 19.8 节的规定进行。

31.4.2 以主应力增量为纵坐标,轴向应变为横坐标,绘制 $\Delta\sigma_1-\epsilon_1$ 关系曲线;以主应力增量为纵坐标,轴向变形量为横坐标,绘制不同应力比的 $\Delta\sigma_1-\Delta h_i$ 关系曲线。

31.4.3 取 $\Delta\sigma_1-\Delta h_i$ 关系曲线初始段切线模量或取对应应力段的割线模量为基床系数。

31.4.4 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.59 的规定。

32 冻土含水率试验

32.1 一般规定

32.1.1 冻土的有机质含量不应大于干土质量的 5%。当冻土的有机质含量在 5%~10% 之间时,仍可采用烘干法,但应注明有机质含量。

32.1.2 本试验的标准方法为烘干法。在现场或需要快速测定含水率时,对层状和网状结构的冻土可采用联合测定法。

32.2 烘 干 法

32.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

1 烘箱:可采用电热烘箱或温度能保持 105℃~110℃ 的其他加热干燥设备;

2 天平:称量 500g,分度值 0.1g;称量 5000g,最小分度值 1g;

3 称量盒:可将盒调整为恒量并定期校正;

4 其他:干燥器、搪瓷盘、切土刀、吸水球、滤纸。

32.2.2 烘干法试验应按下列步骤进行:

1 整体状构造(肉眼不易看到显著冰晶)的黏质土或砂质土:

1) 每个试样的质量不宜少于 50g,试验应符合本标准第 5.2.2 条、第 5.2.3 条的规定;

2) 试验应进行两次平行测定,取其算术平均值,其最大允许平行差值应符合表 32.2.2 的规定。

2 对层状和网状构造的冻土,应采用平均试样法测定含水率:

1) 将冻土样用四分法取出 1000g~2000g,视冻土结构均匀程度而定,较均匀的可少取,反之多取。称量准确至 1g,放入搪瓷盘中使其融化;

表 32.2.2 冻土含水率测定平行差值(%)

含水率 w_f	最大允许平行差值
$w_f \leq 10$	± 1
$10 < w_f \leq 20$	± 2
$20 < w_f \leq 30$	± 3

- 2) 将融化的土样调拌成均匀糊状稠度,当土太湿时,多余水分待澄清后可用吸球和吸纸吸出,或让其自然蒸发;土太干时可适当加水。进行称量,准确至 0.1g;
- 3) 从糊状稠度土样中取样测定含水率,应按本标准第 5.2.2 条第 1 款~第 3 款的规定进行;
- 4) 试验应进行两次平行测定,其平行最大允许差值应为 $\pm 1\%$ 。

32.2.3 整体状构造的冻土含水率应按本标准式(5.2.3)计算,层状和网状构造的冻土应按下式计算冻土的含水率,计算至 0.1%:

$$w_f = \left[\frac{m_{f0}}{m_{f1}} (1 + 0.01w_n) - 1 \right] \times 100 \quad (32.2.3)$$

式中: w_f ——冻土含水率(%);
 m_{f0} ——冻土试样质量(g);
 m_{f1} ——调成糊状的土样质量(g);
 w_n ——平均试样含水率(%).

32.2.4 烘干法冻土含水率试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.60 的规定。

32.3 联合测定法

32.3.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

- 1 排液筒(图 32.3.1);
- 2 台秤:称量 5kg,分度值 1g;
- 3 量筒:容量 1000mL,分度值 10mL。

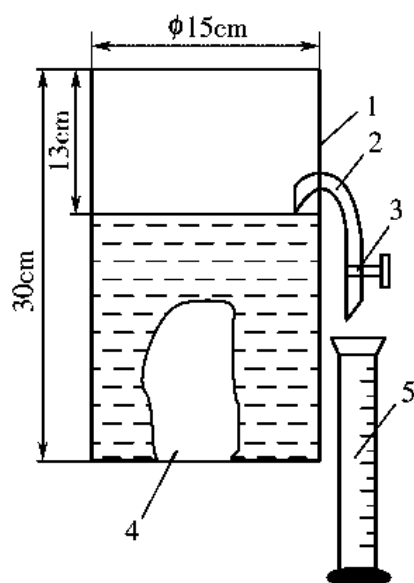


图 32.3.1 排液筒装置示意图

1—排液筒；2—虹吸管；3—止水夹；4—冻土试样；5—量筒

32.3.2 联合测定法试验应按下列步骤进行：

- 1 将排液筒置于台秤上，拧紧虹吸管止水夹。排液筒在台秤上的位置，在试验过程中不得移动；
- 2 取 1000g~1500g 的冻土试样，并称质量；
- 3 将接近 0℃ 的清水缓慢倒入排液筒，使水面超过虹吸管顶；
- 4 松开虹吸管的止水夹，使排液筒中的水面徐徐下降，待水面稳定和虹吸管不再出水时，拧紧止水夹，称排液筒和水的质量；
- 5 将冻土试样轻轻放入排液筒中，松开止水夹，使排液筒中的水流入量筒内；
- 6 水流停止后，拧紧止水夹，立即称排液筒、水和试样质量，同时测读量筒中水的体积，用以校核冻土试样的体积；
- 7 使冻土试样在排液筒中充分融化成松散状态，澄清。补加清水使水面超过虹吸管顶；
- 8 松开止水夹，排水。当水流停止后，拧紧止水夹，并称排液筒、水和土颗粒质量；

9 在试验过程中应保持水面平稳,在排水和放入冻土试样时,排液筒不得发生上下剧烈晃动。

32.3.3 冻土含水率 w_f 应按下列式计算,计算至 0.1%:

$$w_f = \left[\frac{m_{f0} (G_s - 1)}{(m_{tws} - m_{tw}) G_s} - 1 \right] \times 100 \quad (32.3.3)$$

式中: m_{f0} ——冻土试样质量(g);

m_{tws} ——筒、水和冻土颗粒的总质量(g);

m_{tw} ——筒加水的质量(g)。

32.3.4 联合测定法冻土含水率试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 61 的规定。

33 冻土密度试验

33.1 一般规定

33.1.1 土样应为原状冻土或人工冻土。

33.1.2 冻土密度试验应根据冻土的特点和试验条件选用浮称法、联合测定法、环刀法或充砂法：

- 1 浮称法用于表面无显著孔隙的冻土；
- 2 联合测定法用于砂质冻土和层状、网状结构的黏质冻土；
- 3 环刀法用于温度高于 -3°C 的黏质和砂质冻土；
- 4 充砂法用于表面有明显孔隙的冻土。

33.1.3 冻土密度试验宜在负温环境下进行。无负温环境时，应采取保温措施和快速测定。在试验过程中，冻土表面不得发生融化。

33.2 浮称法

33.2.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

- 1 天平(图 33.2.1)：称量 1000g，分度值 0.1g；
- 2 液体密度计：分度值 $0.001\text{g}/\text{cm}^3$ ；
- 3 温度计：测量范围为 $-30^{\circ}\text{C} \sim +20^{\circ}\text{C}$ ，分度值为 0.1°C ；
- 4 量筒：容积为 1000mL；
- 5 盛液筒：容积为 1000mL $\sim$ 2000mL。

33.2.2 浮称法试验应按下列步骤进行：

- 1 调整天平，将盛液筒置于天平一端；
- 2 切取质量为 300g $\sim$ 1000g 的冻土试样，用细线捆紧，放入盛液筒中并悬吊在天平挂钩上称量，准确至 0.1g；
- 3 将事先预冷接近冻土试样温度的煤油缓慢注入盛液筒，液面宜超过试样顶面 2cm，并用温度计量测煤油温度，准确至 0.1°C ；

- 4 称取试样在煤油中的质量,准确至 0.1g;
- 5 从煤油中取出冻土试样,削去表层带煤油的部分,然后按规定取样测定冻土的含水率;
- 6 采用 0℃ 水时,应快速测定,试样表面不得发生融化。

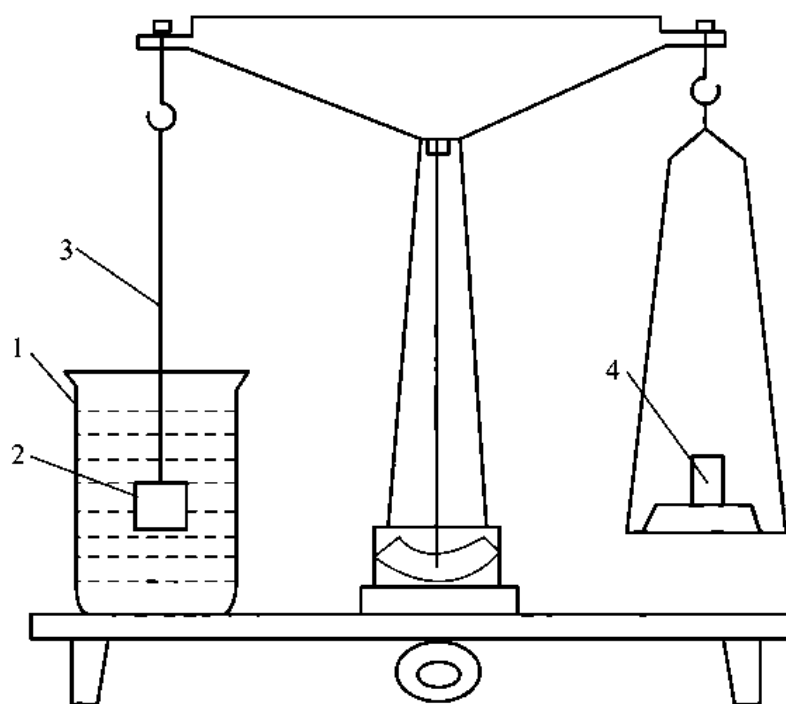


图 33.2.1 浮重天平

1—盛液筒;2—试样;3—细线;4—砝码

33.2.3 冻土密度应按下列公式计算:

$$\rho_f = \frac{m_{f0}}{V_f} \quad (33.2.3-1)$$

$$V_f = \frac{m_{f0} - m_{fm}}{\rho_m} \quad (33.2.3-2)$$

式中: ρ_f ——冻土密度(g/cm³);

m_{f0} ——冻土试样质量(g);

V_f ——冻土试样体积(cm³);

m_{fm} ——冻土试样在煤油中的质量(g);

ρ_m ——试验温度下煤油的密度(g/cm³),可由煤油密度与温

度关系曲线查得。

33.2.4 冻土干密度应按下式计算,计算至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$;

$$\rho_{\text{fd}} = \frac{\rho_{\text{f}}}{1 + 0.01w_{\text{f}}} \quad (33.2.4)$$

式中: ρ_{fd} ——冻土干密度(g/cm^3)。

33.2.5 冻土密度试验应进行不少于 2 组平行试验。对于整体状构造的冻土,两次测定的最大允许差值应为 $\pm 0.03\text{g}/\text{cm}^3$,并取其算术平均值;对于层状和网状构造和其他富冰冻土,宜提出两次测定值。

33.2.6 浮称法冻土密度试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.62 的规定。

33.3 联合测定法

33.3.1 本试验所用的仪器设备应符合本试验第 32.3.1 条的规定。

33.3.2 本试验方法应按本试验第 32.3.2 条规定的步骤进行。

33.3.3 联合测定法的冻土密度应按下列公式计算:

$$\rho_{\text{f}} = \frac{m_{\text{f0}}}{V_{\text{f}}} \quad (33.3.3-1)$$

$$V_{\text{f}} = \frac{m_{\text{f0}} + m_{\text{tw}} - m'_{\text{tw}}}{\rho_{\text{w}}} \quad (33.3.3-2)$$

式中: m'_{tw} ——放入冻土试样后筒、水、试样的总质量(g)。

33.3.4 联合测定法的冻土干密度应按本标准式(33.2.4)计算。

33.3.5 本试验应进行两次平行试验。试验结果取其算术平均值。

33.4 环刀法

33.4.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

- 1 环刀:容积不得小于 500cm^3 ;
- 2 天平:称量 3000g ,分度值 0.2g ;

3 其他:切土器、钢丝锯。

33.4.2 环刀法试验应按下列步骤进行:

1 本试验宜在负温环境中进行。无负温环境时,必须快速进行。切样和试验过程中的试样表面不得发生融化。

2 取原状土样,整平其两端,将环刀刃口向下放在土样上。

3 用切土刀(或钢丝锯)将土样削成大于环刀直径的土柱,然后将环刀垂直下压,边压边削,至土样伸出环刀为止。将两端余土削去修平,取剩余的代表性土样测定含水率。

4 擦净环刀外壁称量,算出冻土质量,准确至 0.2g。

33.4.3 冻土密度和冻土干密度应按本标准式(33.2.3-1)和式(33.2.4)计算。

33.4.4 本试验应进行两次平行试验。其平行最大允许差值应为 $\pm 0.03\text{g}/\text{cm}^3$ 。试验结果取其算术平均值。

33.4.5 环刀法冻土密度试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.63 的确定。

33.5 充 砂 法

33.5.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定:

1 金属测筒:内径宜用 15cm,高度宜用 13cm;

2 量砂:粒径 0.25mm~0.50mm 的干净标准砂;

3 漏斗:上口直径可为 15cm,下口直径为 1.5cm,高度为 10cm;

4 天平:称量 5000g,分度值 1g。

33.5.2 充砂法试验应按下列步骤进行:

1 切取冻土试样,试样宜取直径为 8cm~10cm,高为 8cm~10cm 的圆形或(8~10)cm×(8~10)cm×(8~10)cm 的方形体,试样底面必须削平,称试样质量。

2 将试样平面朝下放入测筒内,试样底面与测筒底面必须接触紧密。

3 用标准砂充填冻土试样与筒壁之间的空隙和试样顶面：

- 1) 取一定量的清洗干净校验后的干净标准砂,标准砂的温度应接近冻土试样的温度;
- 2) 用漏斗架将漏斗置于测筒上方,漏斗下口与测筒上口应保持 5cm~10cm 的距离;
- 3) 用薄板挡住漏斗下口,并将标准砂充满漏斗后移开挡板,使砂充入测筒,与此同时,不断向漏斗中补充标准砂,使砂面始终保持与漏斗上口齐平,在充砂过程中不得敲击或振动漏斗和测筒;
- 4) 当测筒充满标准砂后,移开漏斗,轻轻刮开砂面,使之与测筒上口齐平,在刮砂过程中不应将砂压密。

4 称测筒、试样和充砂的总质量。

33.5.3 冻土密度应按下列公式计算：

$$\rho_f = \frac{m_{f0}}{V_f} \quad (33.5.3-1)$$

$$V_f = V_{f0} - \frac{m_{tfs} - m_{lt} - m_{f0}}{\rho_{ls}} \quad (33.5.3-2)$$

$$\rho_{ls} = \frac{m_{ls} - m_{lt}}{V_t} \quad (33.5.3-3)$$

式中： m_{tfs} ——测筒、试样和量砂的总质量(g)；

m_{lt} ——测筒质量(g)；

m_{ls} ——筒、砂总质量(g)；

ρ_{ls} ——量砂的密度(g/cm³)；

V_t ——测筒容积(cm³)。

33.5.4 本试验应进行两次平行测定,其平行最大允许差值应为 ±0.03g/cm³,试验结果取其算术平均值。

33.5.5 充砂法冻土密度试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.64 的规定。

34 冻结温度试验

34.1 一般规定

34.1.1 土样应为黏土或砂质土。

34.1.2 本试验方法采用无外加载荷法。

34.2 仪器设备

34.2.1 仪器设备(图 34.2.1)包括零温瓶、低温瓶、测温设备和试样杯。仪器设备应符合下列规定：

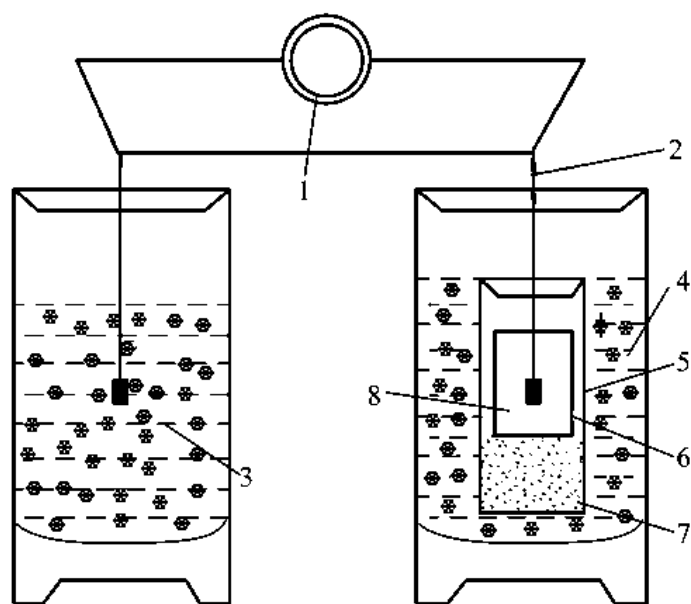


图 34.2.1 冻结温度测定装置示意图

1—数字电压表；2—热电偶；3—零温瓶；4—低温瓶；
5—塑料管；6—试样杯；7—干砂；8—试样

1 零温瓶：容积为 3.57L，内盛冰水混合物，其温度应为 $0 \pm 0.1^{\circ}\text{C}$ ；

2 低温瓶:容积为 3.57L,内盛低融冰晶混合物,其温度宜为 -7.6°C ;

3 测温设备:由热电偶和数字电压表组成。热电偶宜用 0.2mm 的铜和康铜线材制成;

4 数字电压表:量程为 2mV,分度值为 $1\mu\text{V}$;

5 试样杯:用黄铜制成,直径 3.5cm,高 5cm,带有杯盖。

34.2.2 其他:用于配制低融冰晶混合物的氯化钠、氯化钙。直径 5cm、长 25cm 的硬质聚氯乙烯管。切土刀。

34.3 操作步骤

34.3.1 原状冻土试验应按下列步骤进行:

1 土样应按自然沉积方向放置。剥去蜡封和胶带,开启土样筒取出土样;

2 试样杯内壁涂一薄层凡士林,杯口向下放在土样上,将试样杯垂直下压,并用切土刀沿杯外壁切削土样,边压边削至土样达到试样杯高度,用钢丝锯整平杯口,擦净外壁,盖上杯盖,并取余土测定含水率;

3 将热电偶的测温端插入试样中心,杯盖周侧用硝基漆密封;

4 零温瓶内装入用纯水制成的冰块,冰块直径应小于 2cm,再倒入纯水,使水面与冰块面相平,然后插入热电偶零温端;

5 低温瓶内装入用浓度 $2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氯化钠等溶液制成的盐冰块,其直径应小于 2cm,再倒入相同浓度的氯化钠溶液,使之与冰块面相平;

6 将封好底且内装 5cm 高干砂的塑料管插入低温瓶内,再把试样杯放入塑料管内,然后塑料管口和低温瓶口分别用橡皮塞和瓶盖密封;

7 将热电偶测定端与数字电压表相连,每分钟测量一次热电势,当电势值突然减小并连续 3 次稳定在某一数值(相应的温度即为冻结温度)时,试验结束。

34.3.2 扰动冻土试验应按下列步骤进行：

1 称取风干土样，平铺于搪瓷盘内，按所需的加水量将纯水均匀喷洒在土样上，充分拌匀后装入盛土器内盖紧，润湿 24h(砂质土的润湿时间可酌减)；

2 将配制好的土装入试样杯中，以装实装满为止，杯口加盖，将热电偶测温端插入试样中心，杯盖周侧用硝基漆密封；

3 应按本标准第 34.3.1 条第 4 款～第 7 款的规定进行试验。

34.4 计算、制图和记录

34.4.1 冻结温度应按下式计算：

$$T_f = U_f / K_f \quad (34.4.1)$$

式中： T_f ——冻结温度(℃)；

U_f ——热电势跳跃后的电压稳定值(μV)；

K_f ——热电偶的标定系数($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)。

34.4.2 以温度为纵坐标，时间为横坐标，绘制温度和时间过程曲线。

34.4.3 冻结温度试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.65 的规定。

35 冻土导热系数试验

35.1 一般规定

35.1.1 土样应为扰动的黏土或砂土。

35.1.2 本试验采用稳定态比较法。

35.2 仪器设备

35.2.1 试验装置(图 35.2.1)由恒热系统、测温系统和试样盒组成。

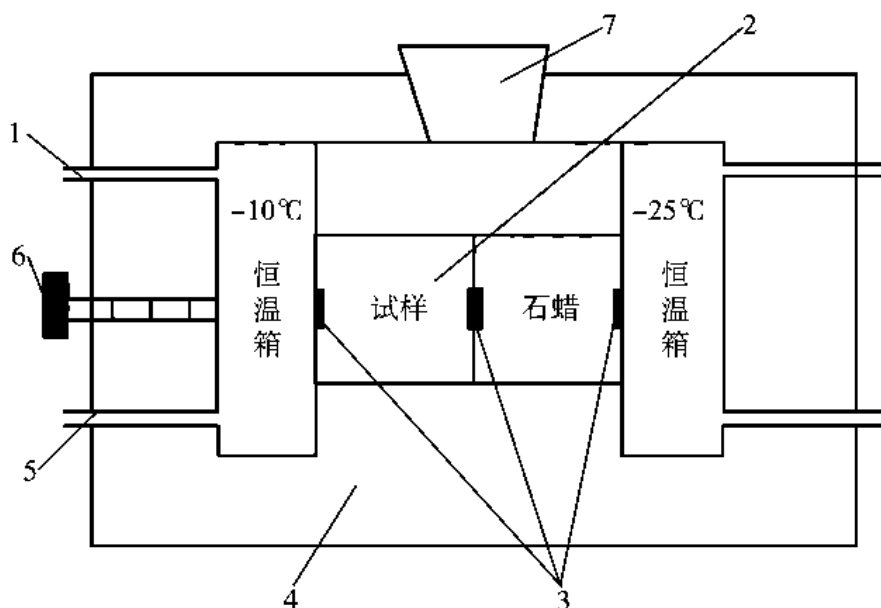


图 35.2.1 导热系数试验装置示意图

1—冷浴循环液出口;2—试样盒;3—热电偶;4—保温材料;

5—冷浴循环液进口;6—夹紧螺杆;7—保温盖

35.2.2 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定:

1 恒温系统:由 2 个尺寸 $l \times b \times h$ 为 $50\text{cm} \times 20\text{cm} \times 50\text{cm}$ 的

恒温箱和 2 台低温循环冷浴组成。恒温箱与试样盒接触面应采用 5mm 厚的平整铜板。2 个恒温箱分别提供 2 个不同的负温环境 (-10°C 和 -25°C)。恒温最大允许差值应为 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$ 。

2 测温系统:由热电偶、零温瓶和量程为 2mV、分度值 $1\mu\text{V}$ 的数字电压表组成。

3 试样盒:2 只,其外形尺寸 $l \times b \times h$ 为 $25\text{cm} \times 25\text{cm} \times 25\text{cm}$,盒的两侧为厚 5mm 的平整铜板。试样盒的另两侧、底面和上端盒盖应采用尺寸为 $25\text{cm} \times 25\text{cm}$,厚 3mm 的胶木板。

35.3 操作步骤

35.3.1 将风干试样平铺在搪瓷盘内,应按所需的含水率和土样制备要求制备试样。

35.3.2 将制备好的试样按要求的密度装入一个试样盒,装实装满后加盒盖。装土时,将 2 支热电偶的测温端放置在试样两侧铜板内壁的中心位置。

35.3.3 另一个试样盒装入石蜡,作为标准试样。装石蜡时,按要求安放两支热电偶。

35.3.4 应将分别装好石蜡和试样的 2 个试样盒按图 35.2.1 的方式安装好,驱动夹紧螺杆使试样恒温箱的各铜板面坚实接触。

35.3.5 接通测温系统。

35.3.6 开动 2 个低温循环冷浴,分别设定冷浴循环液温度为 -10°C 和 -25°C 。

35.3.7 冷浴循环液达到要求温度后再运行 8h,开始测温。每隔 10min 测定 1 次标准试样和冻土试样两侧壁面的温度,并记录。当各点的温度连续 3 次测得的差值小于 0.1°C 时,试验结束。

35.3.8 取出冻土试验,测定其含水率和密度。

35.4 计算和记录

35.4.1 导热系数应按下式计算:

$$\lambda_f = \frac{\lambda_0 \Delta\theta_0}{\Delta\theta} \quad (35.4.1)$$

式中： λ_f ——冻土的导热系数[W/(m·K)]；

λ_0 ——石蜡的导热系数[0.279 W/(m·K)]；

$\Delta\theta_0$ ——石蜡样品盒内两壁面温差(℃)；

$\Delta\theta$ ——待测试样盒两壁面温差(℃)。

35.4.2 导热系数试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 66 的规定。

36 冻土的未冻含水率试验

36.1 一般规定

36.1.1 土样应为黏土或砂质土。

36.1.2 冻土的未冻含水率以两次平行试验的差值,在 $0^{\circ}\text{C} \sim -3^{\circ}\text{C}$ 范围内最大允许误差应为 $\pm 2\%$;低于 -3°C 时最大允许误差应为 $\pm 1\%$ 。

36.2 仪器设备

36.2.1 本试验的主要仪器设备应符合本标准第 34.2.1 条的规定。

36.2.2 本试验的其他仪器设备应符合本标准第 34.2.2 条的规定。

36.3 操作步骤

36.3.1 应按本标准第 34.3.2 条第 1 款的规定制备 3 个试样。其中 1 个试样按所需的加水量加纯水制备;另 2 个试样的加水量宜使试样处于 10mm 液限和塑限状态作为初始含水率。

36.3.2 制备好的试样应按本标准第 34.3.2 条第 2 款、第 3 款的规定进行冻结试验。

36.4 计算、制图和记录

36.4.1 未冻含水率应按下列公式计算:

$$w_{\text{in}} = AT_{\text{f}}^{-B} \quad (36.4.1-1)$$

$$A = w_{\text{L}} T_{\text{L}}^B \quad (36.4.1-2)$$

$$B = \frac{\ln w_{\text{L}} - \ln w_{\text{P}}}{\ln T_{\text{P}} - \ln T_{\text{L}}} \quad (36.4.1-3)$$

式中： w_{in} ——冻土的未冻含水率(%)；

T_f ——试样的冻结温度(负温)绝对值(℃)；

T_L ——液限试样的冻结温度绝对值(℃)；

T_P ——塑限试样的冻结温度绝对值(℃)。

36.4.2 以试样的含水率为纵坐标,对应的冻结温度为横坐标,在双对数纸上绘制含水率与冻结温度的关系曲线。从曲线上查得需测试样的冻结温度 T_f 相对应的含水率,即为冻土的未冻含水率。

36.4.3 未冻含水率试验记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 65 的规定。

37 冻胀率试验

37.1 一般规定

37.1.1 土样应为黏土或砂质土。

37.1.2 本试验方法的降温速度,黏土应为 $0.3^{\circ}\text{C}/\text{h}$,砂质土应为 $0.2^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 。

37.2 仪器设备

37.2.1 试样盒(图 37.2.1)应由外径为 12cm、壁厚为 1cm、高为 10cm 的有机玻璃筒作为试样盒。在侧壁,沿高度每隔 1cm 设热敏电阻温度计插入孔,底板和顶盖结构能提供恒温液循环和外界水源补充通道。

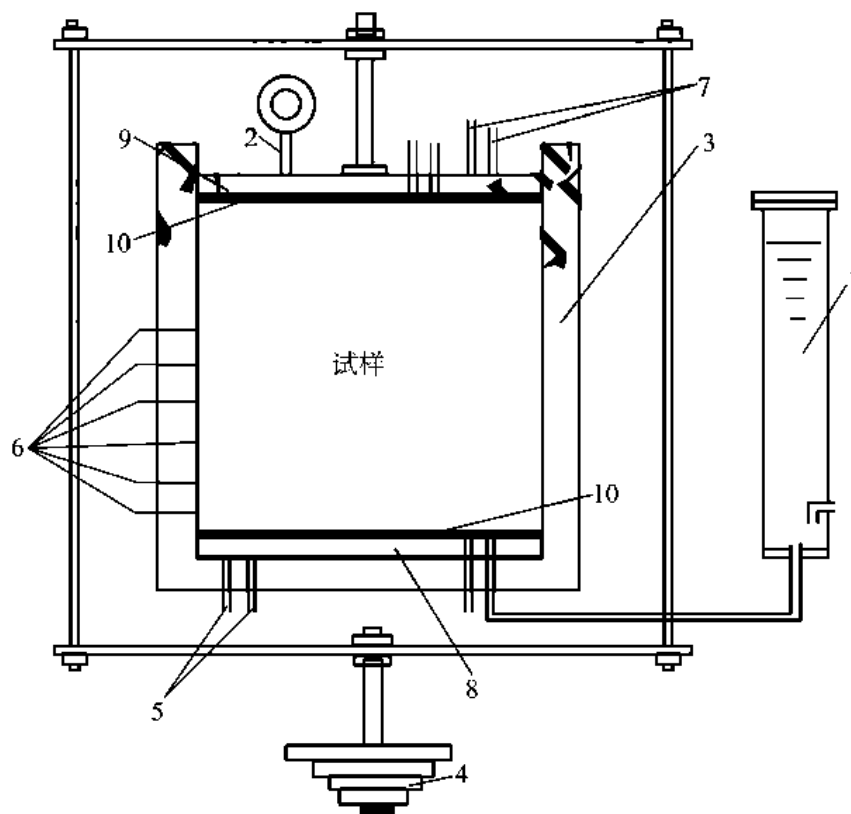


图 37.2.1 试样盒结构示意图

1—供水装置;2—百分表;3—保温材料;4—加压装置;5—正温循环液进出口;
6—热敏电阻测温点;7—负温循环液进出口;8—底板;9—顶板;10—滤水板

37.2.2 恒温箱容积不应小于 0.8m^3 , 内设冷液循环管路和加热器, 功率为 500W , 通过热敏电阻温度计与温度控制仪相连, 使试验期间箱温保持在 $1^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$ 。

37.2.3 温度控制系统应由低温循环浴和温度控制仪组成, 提供试验所需的顶板、底板温度。

37.2.4 温度监测系统应由热敏电阻温度计、数字电压表组成。监测试验过程中土样、顶板、底板温度和箱温变化。

37.2.5 补水系统应由恒定水位装置通过塑料管与底板相连, 水位应高于底板和土样接触面 0.5cm 。

37.2.6 变形监测系统百分表或位移传感器的量程应为 30mm , 分度值应为 0.01mm 。

37.2.7 加压系统应由加压框架和砝码组成。

37.3 操作步骤

37.3.1 原状土冻胀率试验应按下列步骤进行:

1 土样应按自然沉积方向放置, 剥去蜡封和胶带, 开启土样筒取出土样;

2 用切土器将原状土样削成直径为 10cm 、高为 5cm 的试样, 称量确定密度并取余土测定初始含水率;

3 在有机玻璃试样盒内壁涂上一薄层凡士林, 放在底板上并放一张滤纸, 然后将试样从顶装入盒内, 让其自由滑落在底板上;

4 在试样顶面上放一张滤纸, 然后放上顶板, 并稍稍加力, 以使土柱与顶、底板接触紧密;

5 将装有试样的试样盒放入恒温箱内, 试样周侧、顶板、底板内插入热敏电阻温度计, 试样周侧包裹 5cm 厚的泡沫塑料进行保温, 连接顶板、底板冷液循环管路及底板补水管路, 供水并排除底板内气泡, 调节供水装置水位, 当考虑无水源补充状态时, 可切断供水, 安装百分表或位移传感器;

6 若需模拟原状土天然受力状态, 可施加相应的荷载;

7 开启恒温箱、试样顶板、底板冷浴,设定恒温箱冷浴温度为 -15°C ,箱内温度为 1°C ;顶板、底板冷浴温度为 1°C ;

8 试样恒温 6h,并监测温度和变形。待试样初始温度均匀达到 1°C 以后,开始试验;

9 顶板温度调节到 -15°C 并持续 0.5h,让试样迅速从顶面开始冻结,然后将顶板温度调节到 -2°C 或所要求的负温,使土体温度匀速下降,保持箱温和底板温度均为 1°C ,记录初始水位,每隔 1h 记录水位、温度和变形量各 1 次,试验持续 72h;

10 试验结束后,迅速从试样盒中取出试样,量测试样高度并测定冻结深度。

37.3.2 扰动土冻胀率试验应按下列步骤进行:

1 称取风干土样,加纯水拌和呈稀泥浆,装入内径为 10cm 的有机玻璃筒内,加压固结,直至达到所需初始含水率和干容重要求后,将土样从有机玻璃筒中推出,并将土样高度切削到 5cm;

2 应按本标准第 37.3.1 条第 3 款~第 10 款的规定进行试验。

37.4 计算和记录

37.4.1 冻胀率应按下式计算:

$$\eta_f = \frac{\Delta h_f}{H_f - \Delta h_f} \times 100 \quad (37.4.1)$$

式中: η_f ——冻胀率(%);

Δh_f ——试样总冻胀量(mm);

H_f ——冻结深度(mm)。

37.4.2 冻胀率试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.67 的规定。

38 冻土融化压缩试验

38.1 一般规定

38.1.1 土样应为冻结黏土和粒径小于 2mm 的冻结砂质土。

38.1.2 本试验试验宜在负温环境下进行。严禁在切样和装样过程中使试样表面发生融化。试验过程中应满足自上而下单向融化。

38.2 仪器设备

38.2.1 融化压缩仪(图 38.2.1)应由加热传压板应采用导热性能好的金属材料制成。试样环应采用有机玻璃或其他导热性低的非金属材料制成,其尺寸宜为:内径 79.8mm,高 40.0mm。保温外套可用聚苯乙烯或聚氨酯泡沫塑料。

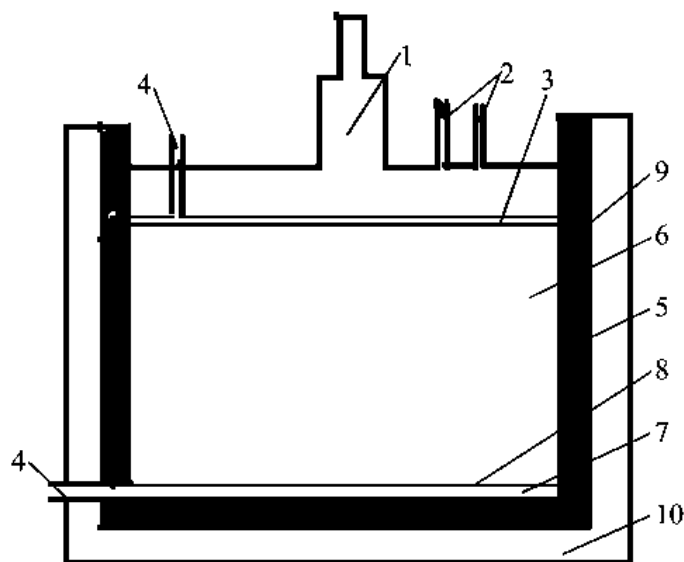


图 38.2.1 融化压缩仪示意图

- 1 加热传压板;2 热循环水进出口;3 透水板;4 上下排水孔;5 试样环;
6—试样;7—透水板;8—滤纸;9—导环;10—保温外套

38.2.2 加荷设备可采用量程为 2000kPa 的杠杆式、磅秤式和其他相同量程的加荷设备,其最大允许误差应符合现行国家标准《土工试验仪器 固结仪 第 1 部分:单杠杆固结仪》GB/T 4935.1 的规定。

38.2.3 变形测量设备由百分表或位移传感器组成,量程应为 10mm,分度值应为 0.01mm。

38.2.4 恒温供水设备。

38.2.5 原状冻土取样器钻具开口内径应为 79.8mm。

38.3 操作步骤

38.3.1 在切样和装样过程中不得使试样表面发生融化。

38.3.2 用冻土取样器钻取冻土试样,其高度应大于试样环高度。将钻样剩余的冻土取样测定含水率。钻样时必须保持试样的层面与原状土一致,且不得上下倒置。

38.3.3 将冻土样装入试样环,使之与环壁紧密接触。刮平上、下面,但不得造成试样表面发生融化。测定冻土试样的密度。

38.3.4 在融化压缩容器底部先放透水板,其上放一张润湿滤纸。将装有试样的试样环放在滤纸上,套上护环。然后在试样上部放滤纸和透水板,再放上加热传压板。装上保温外套,并将融化压缩容器放置在加压框架正中。安装百分表或位移传感器。

38.3.5 施加 1kPa 的压力,调整平加压杠杆。调整百分表或位移传感器到零位。

38.3.6 用胶管连接加热传压板的热循环水进出口与事先装有温度为 40℃~50℃水的恒温水槽,并打开开关和开动恒温器,以保持水温。

38.3.7 试样开始融沉时即开动秒表,分别记录 1min、2min、5min、10min、30min、60min 时的变形量。之后每 2h 观测记录 1 次,直到变形量在 2h 内小于 0.05mm 时为止,并测记最后一次变形量。

38.3.8 融沉稳定后,停止热水循环,并开始加荷进行压缩试验。加荷等级视实际工程需要确定,宜取 50kPa、100kPa、200kPa、400kPa、800kPa,最后一级荷载应比土层的计算压力大 100kPa~200kPa。

38.3.9 施加每级荷载后 24h 为稳定标准,并观测记录相应的压缩量。直到施加最后一级荷载压缩稳定为止。

38.3.10 试验结束后,拆卸仪器各部件,取出试样,测定含水率。

38.4 计算、制图和记录

38.4.1 融沉系数应按下式计算:

$$a_{f0} = \frac{\Delta h_{f0}}{h_{f0}} \times 100 \quad (38.4.1)$$

式中: a_{f0} ——冻土融沉系数(%);

Δh_{f0} ——冻土融化下沉量(mm);

h_{f0} ——冻土试样初始高度(mm)。

38.4.2 冻土试样初始孔隙比应按下式计算:

$$e_{f0} = \frac{\rho_w G_s (1 + 0.01 w_t)}{\rho_{f0}} - 1 \quad (38.4.2)$$

式中: e_{f0} ——冻土试样初始孔隙比;

ρ_{f0} ——冻土试样初始密度(g/cm³)。

38.4.3 融沉稳定后和各级压力下压缩稳定后的孔隙比应按下列公式计算:

$$e = e_{f0} - (h_{f0} - \Delta h_0) \frac{1 + e_{f0}}{h_{f0}} \quad (38.4.3-1)$$

$$e_i = e - (h - \Delta h) \frac{1 + e}{h} \quad (38.4.3-2)$$

式中: e 、 e_i ——融沉稳定后和压力作用下压缩稳定后的孔隙比;

h 、 h_{f0} ——融沉稳定后和初始试样高度(mm);

Δh 、 Δh_0 ——压力作用下稳定后的下沉量和融沉下沉量(mm)。

38.4.4 某一压力范围内的冻土融化压缩系数应按下式计算:

$$a_{fv} = \frac{e_i - e_{i+1}}{p_{i+1} - p_i} \times 10^3 \quad (38.4.4)$$

式中： a_{fv} ——某一压力范围内的冻土融化压缩系数(MPa⁻¹)。

38.4.5 以孔隙比为纵坐标,单位压力为横坐标,绘制孔隙比与压力关系曲线。

38.4.6 冻土融化压缩试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.68 的规定。

39 原位冻土融化压缩试验

39.1 一般规定

39.1.1 本试验应在现场试坑进行,位置为除漂石以外的其他各类冻土形成的地层。

39.1.2 试坑深度不得小于季节融化深度,对于非衔接的多年冻土,不得小于多年冻土层的上限深度。试坑底面积不得小于 $2\text{m} \times 2\text{m}$ 。

39.2 仪器设备

39.2.1 试验装置(图 39.2.1)应由内热式传压板、加荷系统、沉降量测系统、温度量测系统组成。

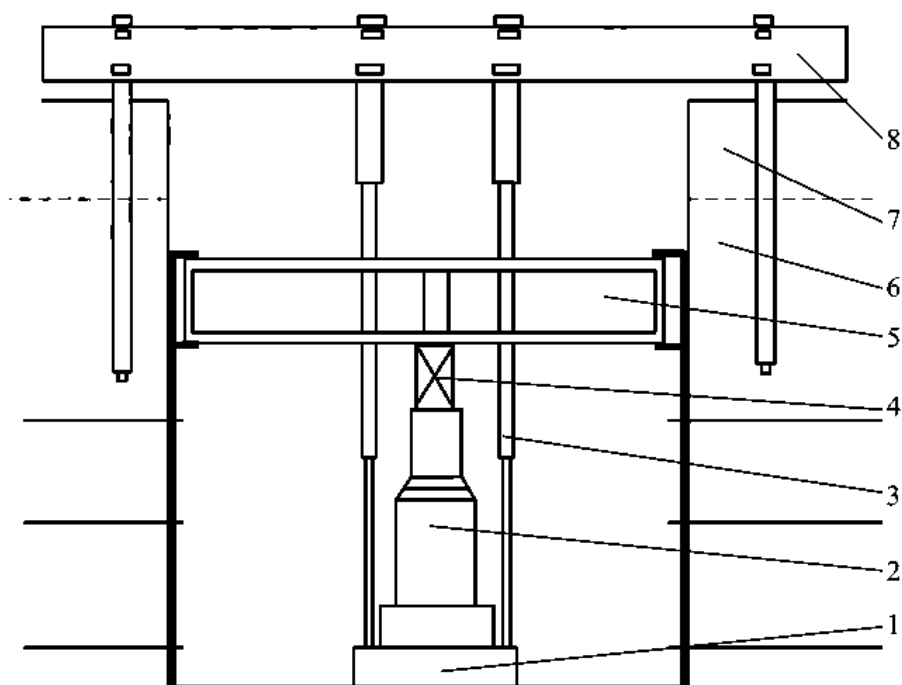


图 39.2.1 原位融化压缩试验示意图

- 1 热压模板;2 千斤顶;3 变位测针;4 压力传感器;5 反压横梁;
6—冻土;7—融土;8—测量支架

39.2.2 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

1 内热式传压板：传压板可取圆形或方形，中空式平板。应有足够刚度，承受上部荷载时不发生变形。面积不宜小于 5000cm^2 (图 39.2.2)；

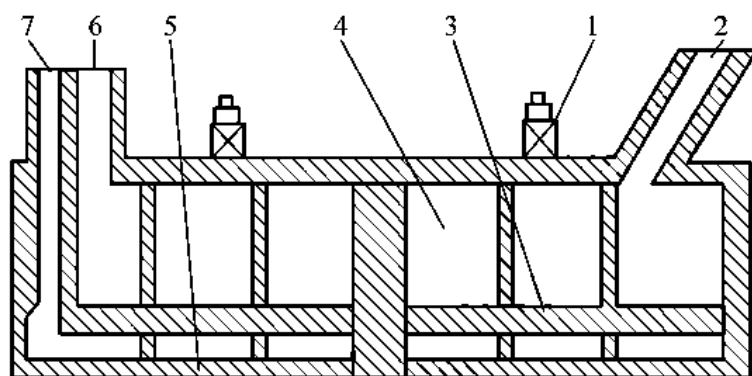


图 39.2.2 热压模板示意图

1—固定千斤顶螺丝；2—加热孔；3—热压模板；4—储水腔；

5—透水板；6—排水孔；7—加水孔

2 加热系统：传压板加热可用电热或水(汽)热，加热应均匀，加热温度不应超过 90°C 。传压板周围应形成一定的融化圈，其宽度不宜小于传压板直径的 30%；

3 加荷系统：加荷方式可用千斤顶或重物。当冻土的总含水率超过液限时，加荷装置的重量不应大于传压板底面高程处的上覆压力；

4 沉降量测系统：沉降量测可采用大量程百分表或位移传感器，其量测最大允许误差应为 0.01mm ；

5 温度量测系统：温度量测系统可由热电偶和数字电压表组成。量测准确度应为 0.1°C 。

39.3 操作步骤

39.3.1 应对试验场地进行冻结土层的岩性和冷生构造的描述，并取样进行其物理性试验。

39.3.2 仔细开挖试坑,平整试坑底面。必要时应进行坑壁保护。

39.3.3 在传压板的边侧钻孔,孔径 3cm~5cm,孔深宜为 50cm。将 5 支热电偶温端自下而上每隔 10cm 逐个放入孔内,并用黏质土夯实填孔。

39.3.4 坑底面铺砂找平。铺砂厚度不应大于 2cm。将传压板放置在坑底中央砂面上。

39.3.5 安装加荷装置,应使加荷点处于传压板中心部位。

39.3.6 在传压板周边等距安装 3 个位移计。

39.3.7 进行安全和可靠性检查后,向传压板施加等于该处上履压力,不小于 50kPa,直至传压板沉降稳定后,调整位移计至零读数,做好记录。

39.3.8 接通电(热)源,连接测温系统,使传压板下和周围冻土缓慢均匀融化。每隔 1h 观测记录 1 次土温和位移。

39.3.9 当融化深度达到 25cm~30cm 时,切断电(热)源停止加热。用钢钎探测 1 次融化深度,并继续观测记录土温和位移。当融化深度接近 40cm(50%传压板直径)时,每 15min 观测记录 1 次融化深度。当 0℃温度融化深度达到 40cm 时观测记录位移量,并用钢钎观测记录 1 次融化深度。

39.3.10 当停止加热时,依靠余热不能使传压板下的冻土继续融化达到 50%传压板直径的深度时,应继续补加热,直至满足这一要求。

39.3.11 经上述步骤达到融沉稳定后,开始逐级加荷进行压缩试验。加荷等级视实际工程需要确定,每级荷载,对黏质土宜取 50kPa,对砂质土宜取 75kPa,对含巨粒土宜取 100kPa,最后一级荷载应比计算压力大 100kPa~200kPa。

39.3.12 施加一级荷载后,每 10min、20min、30min、60min 测记 1 次位移计示值,此后每小时测记 1 次,直到传压板沉降稳定后再加下一级荷载。

39.3.13 沉降量可取 3 个位移计读数的平均值。沉降稳定标准,

对黏质土宜取 0.05mm/h,对砂和含巨粒砂土宜取 0.1mm/h。

39.3.14 试验结束后,拆除加荷装置,清除垫砂和 10cm 厚表土,然后取 2 个~3 个融化压实土样,进行含水率、密度及其他必要的试验。最后,应挖除其余融化压实土量测融化圈。

39.4 计算、制图和记录

39.4.1 融沉系数 a_{f0} 应按下列式计算:

$$a_{f0} = \frac{S_0}{h_{r0}} \times 100 \quad (39.4.1)$$

式中: S_0 ——冻土融沉($p=0$)阶段的沉降量(cm);

h_{r0} ——融化深度(cm)。

39.4.2 原位融化压缩系数 α_{fv} 应按下列公式计算:

$$\alpha_{fv} = \frac{\Delta\delta}{\Delta p} K_{fv} \quad (39.4.2-1)$$

$$\Delta\delta = \frac{S_{i+1} - S_i}{h_{r0}} \quad (39.4.2-2)$$

式中: $\Delta\delta$ ——相应于某一压力范围(Δp)的相对融沉降系数;

Δp ——单位压力增量值(kPa);

K_{fv} ——系数,黏土为 1.00,粉质黏土为 1.20,砂和砂质土为 1.30,巨粒土为 1.35;

S_i ——某一荷载作用下的沉降量(cm)。

39.4.3 以相对沉降量为纵坐标,单位压力为横坐标,绘制相对沉降量与单位压力关系曲线。

39.4.4 原位冻土融化压缩试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.69 的规定。

40 原位冻胀率试验

40.1 一般规定

40.1.1 本试验应选择有代表性的黏土或砂质土的场地。

40.1.2 场地的地表应整平。在地表开始冻结前埋设冻胀仪。

40.2 仪器设备

40.2.1 分层冻胀仪可采用图 40.2.1 所示的形式。

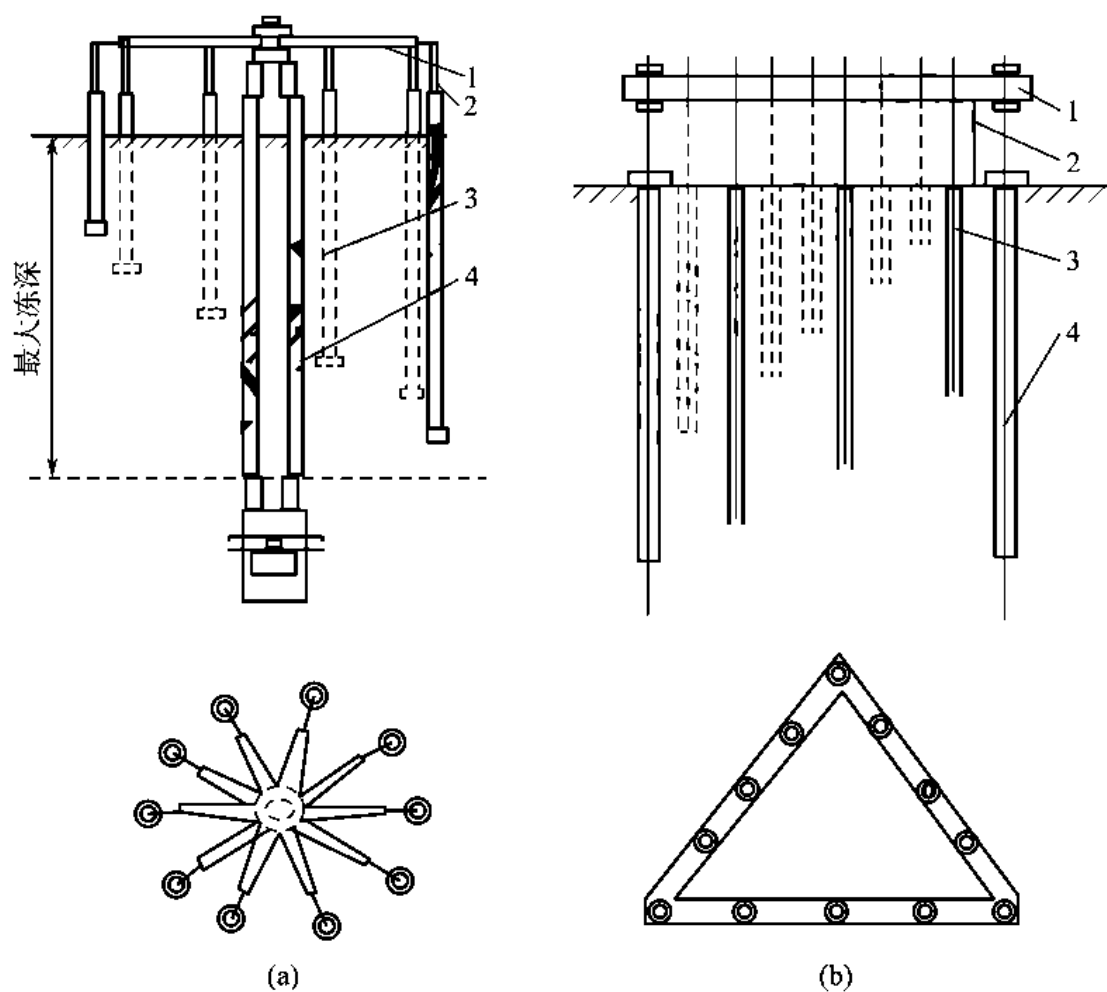


图 40.2.1 分层冻胀仪示意图

1—基准盘(梁); 2—测杆; 3—套管; 4—固定桩(杆)

40.2.2 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

- 1 冻深器应具有套管的水位管；
- 2 测尺分度值应为 1mm；
- 3 地下水位管及测钟；
- 4 $\phi 50\text{cm}$ 土钻及相应工具。

40.3 操作步骤

40.3.1 冻胀仪测杆分层埋设的间距可取 20cm~30cm,地表必须设 1 个测点,最深一点应达到最大冻深线。各测杆之间的水平埋设距离不得小于 30cm。

40.3.2 测杆应采用钻孔埋设。孔口应加盖保护。当地下水位处于冻结层内时,测杆与套管之间的空隙必须用工业凡士林或其他低温下不冻的材料充填。

40.3.3 架设基准盘(梁)的固定杆在最大冻深范围内必须加设套管。其打入最大冻深线以下土中的深度应小于 1m。

40.3.4 基准盘(梁)距冻前地面的架设高度应大于 40cm。

40.3.5 应在冻胀仪附近埋设冻深器和地下水位观测管。

40.3.6 冻胀量的测量可采用分度值为 1mm 的钢尺。在地表开始冻结前,应观测记录各测杆顶端至基准盘(梁)上相应固定点的长度,作为起始读数。

40.3.7 冻结期间可每隔 1d~2d 观测记录 1 次。融化期间可根据需要确定观测记录的次数。

40.3.8 观测期间宜用水准仪每隔半个月左右校核一次基准盘(梁)固定杆、冻深器、地下水位管顶端的高程变化,进行各项测值必要的修正。

40.4 计算、制图和记录

40.4.1 平均冻胀率应按下列公式计算：

$$\eta_t = \frac{\Delta h_t}{H_t} \times 100 \quad (40.4.1)$$

式中： η_t ——冻胀率(%)；

Δh_f ——地表总冻胀量(cm)；

H_f ——冻深(cm)，以冻结前地面算起的最大冻深。

40.4.2 绘制平均冻胀量、冻深与时间的关系曲线(图 40.4.2)。

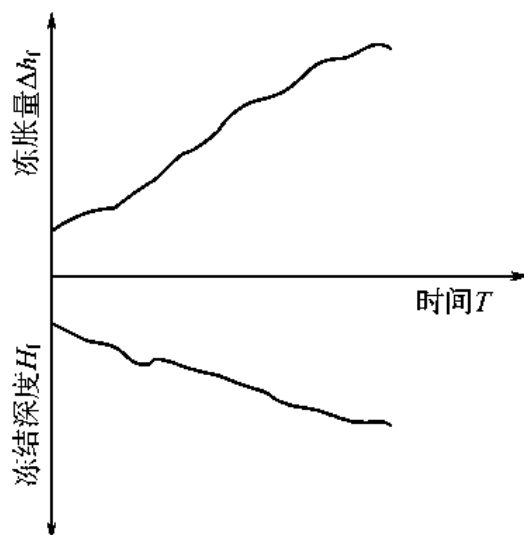


图 40.4.2 冻胀过程线

40.4.3 以冻深为纵坐标，总冻胀量或冻胀率为横坐标，绘制 H_f - Δh_f (η_t) 关系曲线(图 40.4.3)。

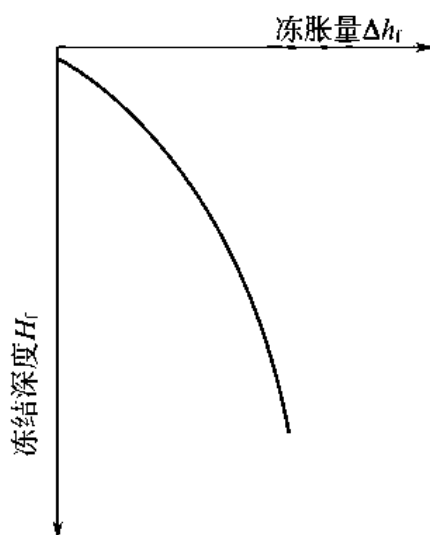


图 40.4.3 H_f - Δh_f (η_t) 关系曲线

40.4.4 原位冻胀率试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.70 的规定。

41 原位密度试验

41.1 一般规定

41.1.1 原位密度试验方法有环刀法、灌砂法、灌水法。

41.1.2 环刀法适用于细粒土。灌砂法、灌水法适用于细粒土、砂类土和砾类土。

41.2 灌砂法

41.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

1 灌砂法密度试验仪(图 41.2.1):包括漏斗、漏斗架、防风筒、套环、附有 3 个固定器；

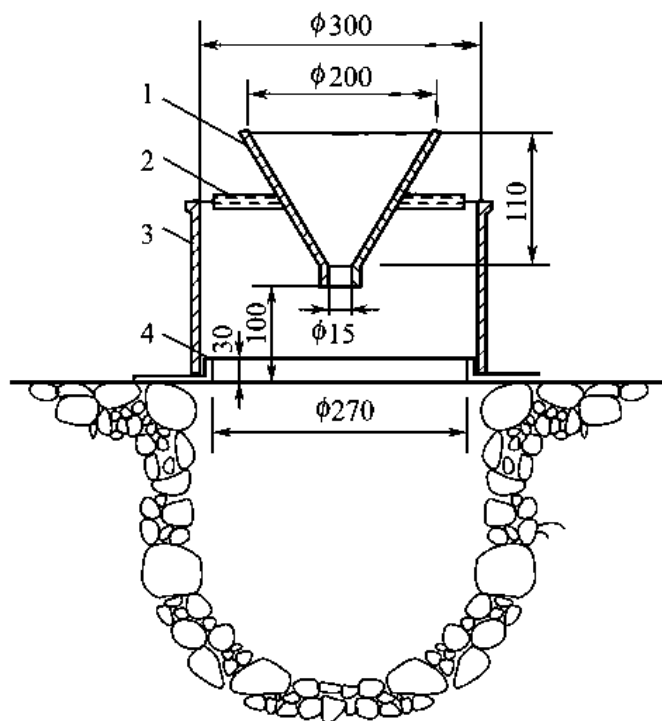


图 41.2.1 灌砂法密度试验仪(单位:mm)

1—漏斗;2—漏斗架;3—防风筒;4—套环

- 2 台秤:称量 10kg,分度值 5g;称量 50kg,分度值 10g;
- 3 量砂:粒径 0.25mm~0.50mm 的干燥清洁标准砂 10kg~40kg;
- 4 其他:有盖的量砂容器、直尺、铲土工具。

41.2.2 用套环的灌砂法试验应按下列步骤进行:

1 选定具有代表性的一块面积约 40cm×40cm 的场地并将地面铲平。检查填土压实密度时,应将表面未压实土层清除掉,并将压实土层铲去一部分,其深度视需要而定,使试坑底能达到规定的深度。

2 称盛量砂的容器加量砂质量。按图 41.2.1 所示,将仪器放在整平的地面上,用固定器将套环固定。开漏斗阀,将量砂经漏斗灌入套环内,待套环灌满后,拿掉漏斗、漏斗架及防风筒,无风可不用防风筒,用直尺刮平套环上砂面,使与套环边缘齐平。将刮下的量砂细心倒回量砂容器,不得丢失。称量砂容器加第 1 次剩余量砂质量。

3 将套环内的量砂取出,称量,倒回量砂容器内。环内量砂允许有少部分仍留在环内。

4 在套环内挖试坑,其尺寸应符合表 41.2.2 的规定。挖坑时要特别小心,将已松动的试样全部取出。放入盛试样的容器内,将盖盖好,称容器加试样质量,并取代表性试样,测定含水率。

表 41.2.2 试坑尺寸与相应的最大粒径(mm)

试样最大粒径	试坑尺寸	
	直径	深度
5(20)	150	200
40	200	250
60	250	300
200	880	1000

5 在套环上重新装上防风筒、漏斗架及漏斗。将量砂经漏斗

灌入试坑内,量砂下落速度应大致相等,直至灌满套环。

6 取掉漏斗、漏斗架及防风筒,用直尺刮平套环上的砂面,使与套环边缘齐平。刮下的量砂全部倒回量砂容器内,不得丢失。称量砂容器加第二次剩余量砂质量。

41.2.3 不用套环的灌砂法试验应按下列步骤进行:

1 应按本标准第 41.2.2 条第 1 款的规定选择试验地点,在刮平的地面上应按本标准表 41.2.2 的规定挖坑;

2 称盛量砂容器加量砂质量,在试坑上放置防风筒和漏斗,将量砂经漏斗灌入试坑内,量砂下落速度应大致相等,直至灌满试坑;

3 试坑灌满量砂后,去掉漏斗及防风筒,用直尺刮平量砂表面,使与原地面齐平,将多余的量砂倒回量砂容器,称量砂容器加剩余量砂质量。

41.2.4 计算应符合下列规定。

1 湿密度应按下列公式计算:

1)用套环法:

$$\rho = \frac{(m_{y4} - m_{y6}) - [(m_{y1} - m_{y2}) - m_{y3}]}{\frac{m_{y2} + m_{y3} - m_{y5}}{\rho_{ls}} - \frac{m_{y1} - m_{y2}}{\rho'_{ls}}} \quad (41.2.4-1)$$

2)不用套环法:

$$\rho = \frac{m_{y4} - m_{y6}}{\frac{m_{y1} - m_{y7}}{\rho_{ls}}} \quad (41.2.4-2)$$

式中: m_{y1} ——量砂容器加原有量砂质量(g);

m_{y2} ——量砂容器加第 1 次剩余量砂质量(g);

m_{y3} ——从套环中取出的量砂质量(g);

m_{y4} ——试样容器加试样质量(包括少量遗留砂质量)(g);

m_{y5} ——量砂容器加第 2 次剩余量砂质量(g);

m_{y6} ——试样容器质量(g);

m_{y7} ——量砂容器加剩余量砂质量(g);

ρ_{1s} ——往试坑内灌砂时量砂的平均密度(g/cm³);

ρ'_{1s} ——挖试坑前,往套环内灌砂时量砂的平均密度(g/cm³),计算至 0.01g/cm³。

2 干密度应按下式计算:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w} \quad (41.2.4-3)$$

3 本试验需进行两次平行测定,取其算术平均值。

41.2.5 灌砂法试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.71、表 D.72 的规定。

41.3 灌 水 法

41.3.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

- 1 储水筒:直径应均匀,并附有刻度;
- 2 台秤:称量 20kg,分度值 5g;称量 50kg,分度值 10g;
- 3 薄膜:聚乙烯塑料薄膜;
- 4 其他:铲土工具、水准尺、直尺等。

41.3.2 灌水法试验应按下列步骤进行:

- 1 将测点处的地面整平,并用水准尺检查;
- 2 应按本标准表 41.2.2 的规定确定试坑尺寸,按确定的试坑直径划出坑口轮廓线,在轮廓线内下挖至要求的深度。将坑内的试样装入盛土容器内,称试样质量,取有代表性的试样测定含水率;
- 3 试坑挖好后,放上相应尺寸的套环,并用水准尺找平,将大于试坑容积的塑料薄膜沿坑底、坑壁紧密相贴(图 41.3.2);
- 4 记录储水筒内初始水位高度,拧开储水筒内的注水开关,将水缓慢注入塑料薄膜中。当水面接近套环上边缘时,将水流调小,直至水面与套环上边缘齐平时关闭水开关,不应使套环内的水溢出;持续 3min~5min,记录储水筒内水位高度。

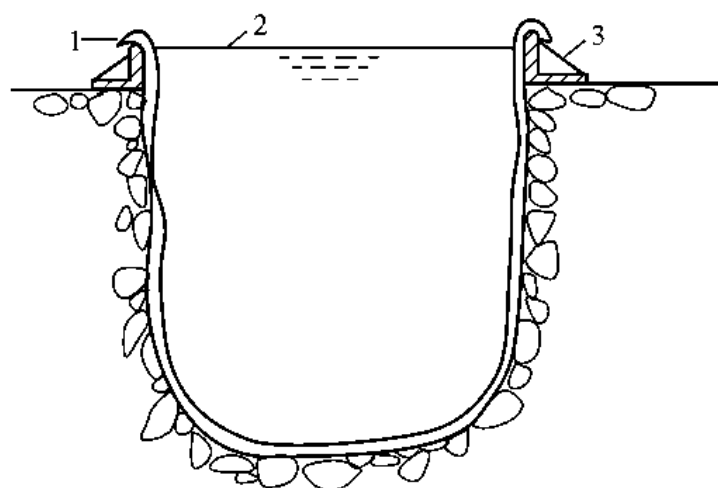


图 41.3.2 灌水法密度试验

1 塑料薄膜；2 参考水平面；3 钢套环

41.3.3 计算应符合下列规定：

1 试坑体积应按下式计算：

$$V_{sk} = (H_{t2} - H_{t1})A_w - V_{th} \quad (41.3.3-1)$$

式中： V_{sk} ——试坑体积(cm^3)；

H_{t1} ——储水筒内初始水位高度(cm)；

H_{t2} ——储水筒内注水终了时水位高度(cm)；

A_w ——储水筒断面积(cm^2)；

V_{th} ——套环体积(cm^3)。

2 湿密度及干密度按下列公式计算，计算至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$ ：

$$\rho = \frac{m_0}{V_{sk}} \quad (41.3.3-2)$$

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w} \quad (41.3.3-3)$$

3 本试验需进行两次平行测定，取算术平均值。

41.3.4 灌水法试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.73 的规定。

42 试坑渗透试验

42.1 一般规定

42.1.1 本试验采用试坑注水法,可测定非饱和土的渗透参数。

42.1.2 试验方法有双环法和单环法,砂土及粉土宜用单环法,黏性土宜用双环法。

42.2 仪器设备

42.2.1 本试验试验装置可采用图 42.2.1 所示的形式。

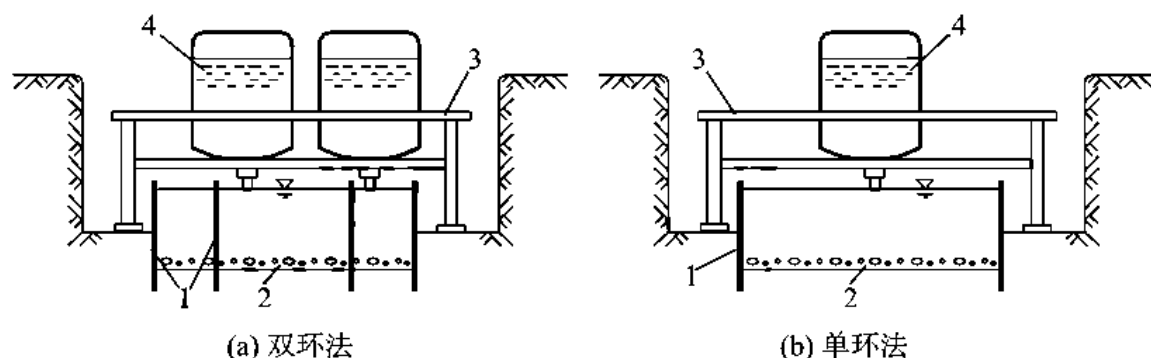


图 42.2.1 试坑渗水法装置

1—铁环;2—砾石层;3—支架;4—供水瓶

42.2.2 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

1 铁环:双环法为内环直径 25cm、高 15cm,外环直径 50cm、高 15cm。单环法铁环直径 37cm~75cm(铁环横截面积 1000cm^2)、高 15cm。在木支架上倒置着容量为 5000mL~10000mL 装有斜口玻璃管和橡皮塞的供水瓶,根据试验需要可为一个或多个。供水瓶的分度值为 50mL。

2 温度计:量程 $0^{\circ}\text{C}\sim 50^{\circ}\text{C}$,分度值 1°C 。

3 其他设备:土钻、吸水球及原位测含水率设备。

42.3 操作步骤

42.3.1 应在试验地区拟定的测试土体中按预定深度开挖一面积不小于 $1.0\text{m} \times 1.5\text{m}$ 的试坑,在坑底再下挖一直径等于外环、深 $10\text{cm} \sim 15\text{cm}$ 的贮水坑,整平坑底。

42.3.2 把铁环细心放入贮水坑中,钢环入土深度至环上的起点刻度。双环法应使内、外环成同心圆状,两环上缘应在同一水平面上。压环时,须防止土的压实或变形。如扰动过大,须重新挖试坑另做。

42.3.3 在环底部土体上均铺 2cm 厚的砾石层,然后向环内注入清水至满,安放支架至水平位置。将供水瓶注满清水后倒置于支架上,供水瓶的斜口玻璃管插入环内水面以下。双环法注水时,支架上倒置 2 个注满清水的供水瓶,2 个供水瓶的斜口玻璃管分别插入内环和内外环之间的水面以下,玻璃管的斜口应在同一高度上,即环口水平面。

42.3.4 打开橡皮塞,调节供水瓶出水量,以保持环内水位不变。双环法注水时,内环和内外环之间的水面应在同一高度。

42.3.5 记录渗水开始时间及供水瓶的水位和水温。经一定时间后,测记在此时间内由供水瓶渗入土中的水量,直至流量稳定为止。

42.3.6 从供水瓶流出的水量达稳定后,在 $1\text{h} \sim 2\text{h}$ 内测记流出水量至少 5 次 $\sim$ 6 次。每次测记的流量与平均流量之差不应超过 10% 。双环法主要侧记内环供水瓶的流量。

42.3.7 试验结束后,拆除仪器,吸出贮水坑中的水。

42.3.8 在离试坑中心 $3\text{m} \sim 4\text{m}$ 以外,钻几个 $3\text{m} \sim 4\text{m}$ 深的钻孔,每隔 0.2m 取土样 1 个,平行测定其含水率。根据含水率的变化,确定渗透水的入渗深度。

42.4 计算和记录

42.4.1 渗透系数应按下列公式计算:

1 近似值:

$$k_T = \frac{Q}{tA_h} \quad (42.4.1-1)$$

2 较精确值:

$$k_T = \frac{QH_1}{tA_h(H_{y1} + H_{y2} + H_{y3})} \quad (42.4.1-2)$$

$$k_{20} = k_T \frac{\eta_T}{\eta_{20}} \quad (42.4.1-3)$$

式中: Q —— 渗透水量(cm^3), 双环法为内环渗透水量;

t —— 时间(s);

A_h —— 铁环面积(cm^2), 双环法为内环面积;

H_{y1} —— 试验时水的人渗深度(cm);

H_{y2} —— 贮水坑中水的深度(cm);

H_{y3} —— 相当于作用毛细管力的水柱高度(cm), 根据不同土质可按表 42.4.1 采用;

η_T 、 η_{20} —— 分别为 $T^\circ\text{C}$ 和 20°C 时水的动力黏滞系数($1 \times 10^{-6} \text{ kPa} \cdot \text{s}$)。

比值 η_T/η_{20} 与温度的关系可按本标准表 8.3.5-1 执行。

表 42.4.1 相当于作用毛细管力的水柱高度表(cm)

土的名称	H_{y3}	土的名称	H_{y3}
粉质黏土(CL)	100	黏土质细砂(SC)	30
砂质黏土(CLS)	80	细砂(SM)	20
粉土(ML)	60	中砂(SP)	10
砂质粉土(MLS)	40	粗砂(SW)	5

42.4.2 试坑注水法渗透试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.74 的规定。

43 原位直剪试验

43.1 一般规定

43.1.1 本试验方法可分为岩土体法向应力作用下沿剪切面剪切破坏的抗剪断试验,岩土体剪断后沿剪切面继续剪切的抗剪试验(摩擦试验),法向应力为零时岩体剪切的抗剪试验。

43.1.2 原位直剪试验可在试洞、试坑、探槽或大口径钻孔内进行。当剪切面水平或接近于水平时,可采用平推法或斜推法;当剪切面较陡时,可采用契形体法。

43.2 仪器设备

43.2.1 本试验所用的主要仪器设备应由垂直加荷装置、水平推力(拉力)装置、剪切盒、水平及垂直位移计组成。

43.2.2 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

- 1 附压力表的千斤顶 4 个~6 个,出力 150kN~200kN;压力表为 1.5 级。经称量的加重物若干块;
- 2 拉力计:量程为 0kN~100kN,最大允许差值为 1.0%F.S;
- 3 百分表:2 个~4 个,量程 10mm~25mm,分度值 0.01mm;
- 4 牵引及导向设备:钢丝绳、滑轮、三脚架、锚座等;
- 5 其他设备:加荷台、起重葫芦、秒表、土锚、工字梁、槽钢、垫块、滚珠轴承、链条钳。

43.3 操作步骤

43.3.1 同一组试验体的土性应基本相同,受力状态应与土体在工程中的受力状态相近。

43.3.2 开挖试坑时,应避免对试体的扰动,尽量保持土体结构及

含水率不产生显著变化。在地下水位以下进行试验时,应避免水压力及渗流对试体的影响。

43.3.3 每组试验土体不宜少于 3 个。剪切面积不宜小于 0.3m^2 , 高度不宜小于 20cm 或宜为最大土粒粒径的 4 倍~8 倍,剪切面开缝应为最小粒径的 $1/3\sim 1/4$ 。

43.3.4 将修整好的试体在顶面放上盖板,周边套上剪切盒,剪切盒与试样间的间隙应用膨胀快凝水泥砂浆填充。剪切盒底边应在剪切面以上留适当的间隙。

43.3.5 施加的法向压力、剪切压力应位于剪切面、剪切缝的中心,或使法向压力与剪切压力的合力通过剪切面的中心,并保持法向压力不变。

43.3.6 最大的法向压力应大于设计荷载,并按等量分成 4 个~5 个压力进行试验。法向压力施加方法如下:

1 当采用重物加荷时,可先在土试体上搁置加荷平台,均匀地逐渐加上重物。应避免加荷时发生偏心现象;

2 当采用千斤顶加荷时,安装好反力装置,按顺序装上千斤顶和滚轮及滑轨,必须保证试验全过程中作用力位于试体的中心。

43.3.7 施加法向压力后,让土体在此压力下进行压缩,并用百分表量测法向变形量。当法向变形量每小时小于 0.01mm 时,即达到相对稳定后,架设测试剪向位移的百分表即可开始剪切。

43.3.8 剪切时,施加剪应力的速率应适当选择。施加每级剪切压力可按预估最大压力的 $8\%\sim 10\%$ 分级等量施加,或按法向压力的 $5\%\sim 10\%$ 分级等量施加,一般每隔 30s 施加一级剪切荷载。

43.3.9 在施加每一级剪应力时,均应测记剪切力和土试块的剪向位移量及法向位移量。位移量应在加下一级剪应力前测试。同时观察周围土的变形现象,当剪切变形急剧增长或剪切变形量达试体尺寸的 $1/10$ 时,即认为土体已经破坏,可停止试验。

43.3.10 试验停止后,掀开剪切盒及试样土块,记录剪切面的形态、土体的结构特征或软弱面的发育特点,并进行素描或照相。

43.3.11 按本标准上述规定,测定不同垂直压力下试块的抗剪强度。

43.3.12 当需要时可沿剪切面继续进行摩擦试验。

43.4 计算、制图和记录

43.4.1 作用于试块上的法向应力 σ 计算应符合下列规定:

1 采用重物加载法应按下式计算:

$$\sigma = \frac{W}{A_0} \times 10 \quad (43.4.1-1)$$

式中: σ ——作用于试块上的法向压力(kPa);

W ——作用于加荷台上的轴向总荷载(N);

A_0 ——试体或混凝土试块的面积(cm^2)。

2 采用千斤顶法加载法应按下式计算:

$$\sigma = \frac{pa_h}{A_0} \quad (43.4.1-2)$$

式中: p ——单位压力,即垂直千斤顶上压力表的读数(kPa);

a_h ——千斤顶活塞面积(cm^2)。

43.4.2 土体的剪应力 τ 或抗滑强度 S 应按下式计算:

$$\tau(S) = \frac{F_H}{A} \times 10 \quad (43.4.2)$$

式中: F_H ——试体或地基土破坏时的剪切力(当采用滑轮组加荷时,根据滑轮组合计算求得,当用千斤顶加载时,则为水平千斤顶上压力表的读数乘千斤顶活塞面积)(kN);

A ——土试体(混凝土试块)的面积(cm^2)。

43.4.3 绘制剪应力与剪切位移曲线(图 43.4.3),应按现行国家标准《岩土工程勘察规范》GB 50021 的规定,确定比例强度 τ_c 、屈服强度 τ_p 和峰值强度 τ_f 。

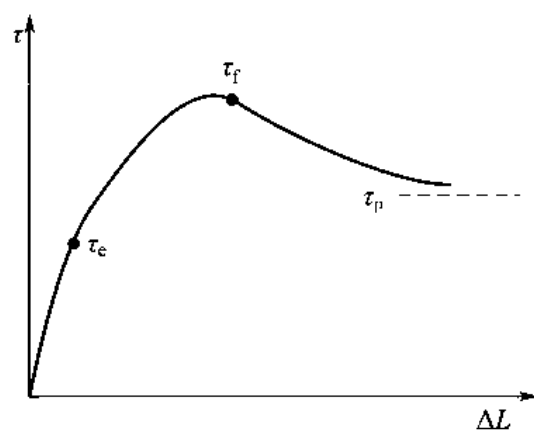


图 43.4.3 剪应力与剪切位移曲线

43.4.4 根据不同垂直压力的试验,以抗剪强度(一般为峰值强度)为纵坐标,垂直压力为横坐标,绘制抗剪强度与垂直压力关系曲线(图 43.4.4),确定相应的强度参数 c 、 φ 。

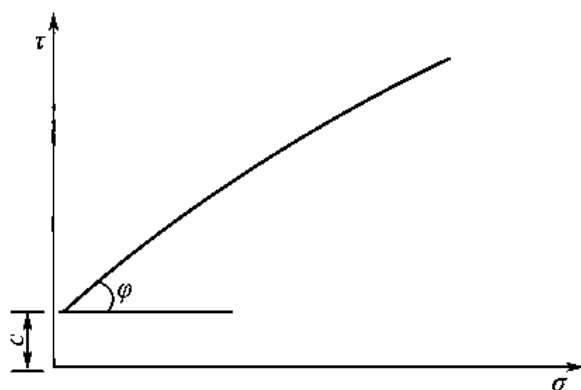


图 43.4.4 抗剪强度与垂直压力关系曲线

43.4.5 原位直剪试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.75 的规定。

44 十字板剪切试验

44.1 一般规定

44.1.1 十字板剪切试验按力的传递方式分为电测式和机械式两类。

44.1.2 对于均质的软黏土,十字板剪切试验点的布置宜按 1.0m 左右进行一点试验,对于非均质或夹薄层粉细砂的软黏土,宜先进行静力触探试验探清土层分布,选择软黏土进行试验。

44.2 电测式十字板剪切试验

44.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

1 压入主机:应能将十字板头垂直压入土中,可采用触探主机或其他压入设备;

2 十字板头:基本参数、机械和材料应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的规定;

3 扭力量测仪表:传感器和量测仪表应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的规定;

4 扭力装置:由蜗轮蜗杆、变速齿轮、钻杆夹具和手柄组成;

5 环境要求:仪器应在 $-10^{\circ}\text{C} \sim +45^{\circ}\text{C}$ 条件下能正常工作,应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的规定;

6 其他:钻杆、水平尺、管钳等。

44.2.2 电测式十字板剪切试验应按下列步骤进行:

1 在试验点两旁将地锚旋入土中,安装和固定压入主机。用分度值为 1mm 的水平尺校平,并安装好施加扭力的装置。

2 将十字板头接在扭力传感器上并拧紧。把穿好电缆的钻

杆插入扭力装置的钻杆夹具孔内,将传感器的电缆插头与穿过钻杆的电缆插座连接并进行防水处理。接通量测仪表,然后拧紧钻杆。钻杆应平直,接头要拧紧。宜在十字板以上 1m 的钻杆接头处加扩孔器。

3 将十字板头压入土中预定的试验深度后,调整机架使钻杆位于机架面板导孔中心。当试验深度处为较硬的夹层时,应穿过夹层进行试验。

4 十字板头压入试验深度后,应静止 2min~3min 方可开始试验。

5 拧紧扭力装置上的钻杆夹具,并将量测仪表调零或读取初读数。

6 顺时针方向转动扭力装置上的手摇柄,当量测仪表读数开始增大时,即开动秒表,宜以 $1^{\circ}/10\text{s}\sim 2^{\circ}/10\text{s}$ 的速率旋转钻杆。每转 1° 测记读数 1 次,当读数出现峰值或稳定值后,再继续旋转测记 1min。峰值或稳定值作为原状土剪切破坏时的读数。

7 在峰值或稳定值测试完成后,按顺时针方向旋转 6 圈,使十字板头周围的土充分扰动后,应按本条第 6 款的规定测定重塑土的不排水抗剪强度。重塑土的抗剪强度试验视工程需要而定。

8 如需继续进行试验,可松开钻杆夹具,将十字板头压至下一个试验深度,按上述的规定进行。

9 全孔试验完毕后,逐节提取钻杆和十字板头,清洗干净,检查各部件完好程度。

10 对需要钻孔进行十字板剪切试验的,则钻孔并下套管至欲测试深度以上 3 倍~5 倍套管直径或 0.5m 处,然后使用有孔螺旋钻清孔,并将十字板头、轴杆、钻杆逐节接好用管钳拧紧,然后下放孔内至十字板头与孔底接触,将十字板头压入钻孔底的深度不得小于钻孔或套管直径的 3 倍~5 倍或 0.5m。

11 试验时应避免十字板头被暴晒或受冻,对开口钢环十字板剪切仪,应修正轴杆与土间的摩阻力影响。

12 在工程试验前和结束后,应对十字板头的扭力传感器进行标定,每次标定的使用时效一般以 1 个月~3 个月为宜,在使用过程中出现异常应重新标定,标定时所用的传感器、导线和测量仪器应与试验时相同。

13 水上进行十字板试验,当孔底土质软时,为防止套管在试验过程中下沉,应采用套管控制器。

44.2.3 各试验点土体的十字板剪切强度 C_u 、 C'_u 应按下列公式计算:

$$C_u = 10K'_1 \xi R_y \quad (44.2.3-1)$$

$$C'_u = 10K'_1 \xi R_c \quad (44.2.3-2)$$

$$K'_1 = \frac{2}{\pi D^2 H \left(1 + \frac{D}{3H}\right)} \quad (44.2.3-3)$$

式中: C_u ——原状土不排水抗剪强度(kPa);

C'_u ——重塑土不排水抗剪强度(kPa);

K'_1 ——与十字板头尺寸有关的常数(cm^{-3});

ξ ——传感器率定系数[$\text{N} \cdot (\text{cm}/\mu\epsilon)$];

R_y ——原状土剪切破坏时的读数($\mu\epsilon$);

R_c ——重塑土剪切破坏时的读数($\mu\epsilon$);

D ——十字板头直径(cm);

H ——十字板头高度(cm)。

44.2.4 土的灵敏度 S_l 应按下式计算:

$$S_l = C_u / C'_u \quad (44.2.4)$$

44.2.5 以深度为纵坐标,抗剪强度为横坐标,绘制抗剪强度 C_u 值随深度变化曲线。必要时以抗剪强度为纵坐标,转动角为横坐标,绘制各试验点的抗剪强度与转动角的关系曲线。

44.2.6 根据土层条件和地区经验,对实测土体的十字板不排水抗剪强度进行修正。

44.2.7 电测式十字板剪试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.76 的规定。

44.3 机械式十字板剪切试验

44.3.1 机械式十字板剪切仪(图 44.3.1)应符合现行国家标准《土工试验仪器 剪切仪 第2部分:现场十字板剪切仪》GB/T 4934.2 的规定。

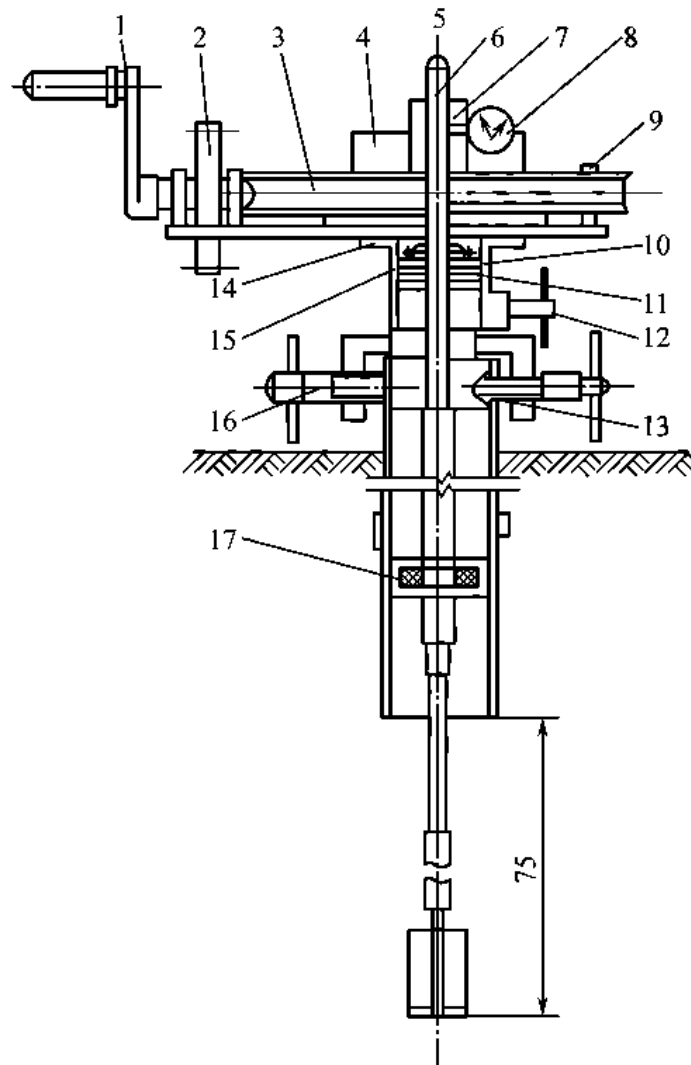


图 44.3.1 机械式十字板剪切仪示意图(单位:cm)

1—手摇柄;2—齿轮;3—涡轮;4—开口钢环;5—导杆;6—特制键;7—固定夹;
8—量表;9—支座;10—压圈;11—平面弹子盘;12—锁紧轴;
13—底座;14—固定套;15—横销;16—制紧轴;17—导轮

44.3.2 机械式十字板剪切仪由十字板头、钻杆和扭力装置组成。

1 十字板头:基本参数、机械和材料要求应符合本标准第 44.2.1 条第 2 款的规定。连接形式有离合式和牙嵌式(图 44.3.2);

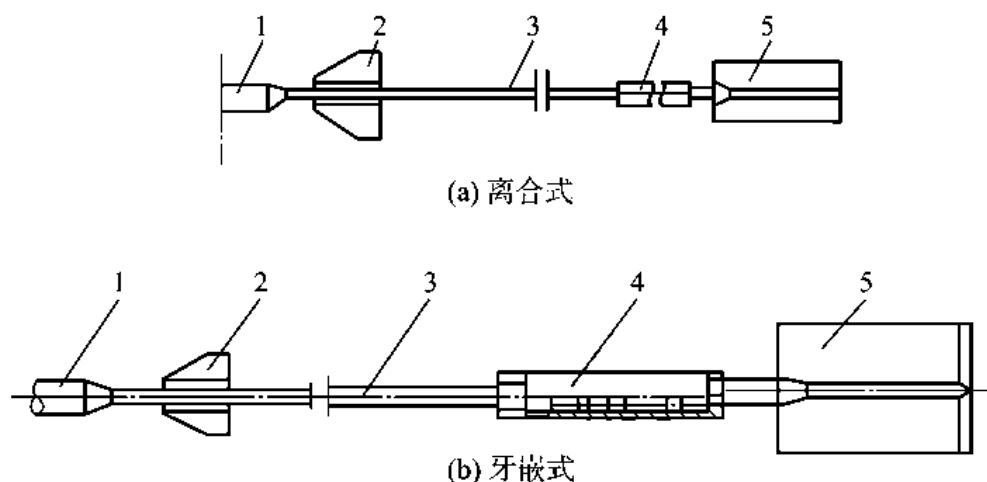


图 44.3.2 十字板头离合器示意图

1—钻杆;2—导轮;3—轴杆;4—离合器;5—十字板头

2 钻杆:应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 标准的规定;

3 扭力装置:由开口钢环、刻度盘、旋转手柄等组成,量程和最大允许误差应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的规定。

44.3.3 机械式十字板剪切试验应按下列步骤进行:

1 在试验地点按钻探深度,将套管下至欲测试深度以上 3 倍~5 倍套管直径或 0.5m 处;

2 用木套管夹或链条钳将套管固定,以防套管下沉或扭力过大时套管发生反向旋转;

3 清除孔内残土,为避免试验土层受扰动,一般使用有孔螺旋钻清孔;

4 将十字板头、轴杆、钻杆逐节接好用管钳拧紧,然后下放孔内至十字板头与孔底接触;

5 接上导杆,将底座穿过导杆固定在套管上,用制紧螺丝拧

紧,然后将十字板头徐徐压至试验深度。当试验深度处为较硬夹层时,应穿过夹层进行试验;

6 十字板头压入试验深度后,应静止 2min~3min,方可开始试验;

7 套上传动部件,转动底板使导杆键槽与钢环固定夹键槽对正,用锁紧螺丝将固定套与底座锁紧,再转动手摇柄使特制键自由落入键槽,将指针对准任何一整数刻度,装上百分表并调至零位;

8 试验开始,以 $1^{\circ}/10\text{s}\sim 2^{\circ}/10\text{s}$ 的转速转动手摇柄,同时开动秒表,每转 1° 测记百分表读数 1 次;当读数出现峰值或稳定值后,再继续旋转测读 1min,其峰值读数或稳定值读数即为原状土剪切破坏时量表最大读数 R_y ;

9 拨出特制键,在导杆上端装上旋转手柄,顺时针方向转动 6 圈,使十字板头周围土充分扰动。取下旋转手柄,然后插上特制键,应按本条第 8 款的规定,测记重塑土剪切破坏时量表最大读数 R_y ,重塑土的抗剪强度试验视工程需要而定;

10 对于离合式十字板头,拨下特制键,上提导杆 2cm~3cm,使离合齿脱离,再插上特制键,匀速转动手摇柄,测记轴杆与土摩擦的量表稳定读数 R_y ;

11 对于牙嵌式十字板头,逆时针快速转动手柄十余圈,使轴杆与十字板头脱离,再顺时针方向匀速转动手柄,测记轴杆与土摩擦时的量表读数 R_y ;

12 试验完毕,卸下转动部件和底座,在导杆孔中插入吊钩,逐节提取钻杆和十字板头。清洗十字板头,检查螺丝是否松动,轴杆是否弯曲;

13 水上进行十字板试验,当孔底土质软时,为防止套管在试验过程中下沉,应采用套管控制器;

14 对于开口钢环十字板剪切仪,应修正轴杆与土体之间的摩擦力的影响;

15 在工程试验前和结束后,应对十字板头的扭力传感器进

行标定,在使用过程中出现异常应重新标定,标定时所用的传感器、导线和测量仪器应与试验时相同。

44.3.4 十字板剪切强度 C_u 、 C'_u 应按下列公式计算:

$$C_u = 10K'_2 C (R_y - R_g) \quad (44.3.4-1)$$

$$C'_u = 10K'_2 C (R_c - R_g) \quad (44.3.4-2)$$

$$K'_2 = \frac{2L_{lb}}{\pi D^2 H \left(1 + \frac{D}{3H}\right)} \quad (44.3.4-3)$$

式中: K'_2 ——与十字板头尺寸有关的常数(cm^{-2});

C ——钢环系数(N/mm);

R_g ——轴杆和钻杆与土摩擦时的量表最大读数(mm);

L_{lb} ——率定时的力臂长(cm)。

44.3.5 土的灵敏度的计算应按本标准式(44.2.4)计算。

44.3.6 制图应按本标准第 44.2.5 条的规定进行。

44.3.7 机械式十字板剪切试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.77 的规定。

45 标准贯入试验

45.1 一般规定

45.1.1 土样应为原位的砂土、粉土和黏土。

45.1.2 对于流塑状态的软黏土层,不宜进行标准贯入试验。

45.2 仪器设备

45.2.1 标准贯入器(图 45.2.1)应由刃口形的贯入器靴、对开圆筒式贯入器身和贯入器头 3 部分组成。

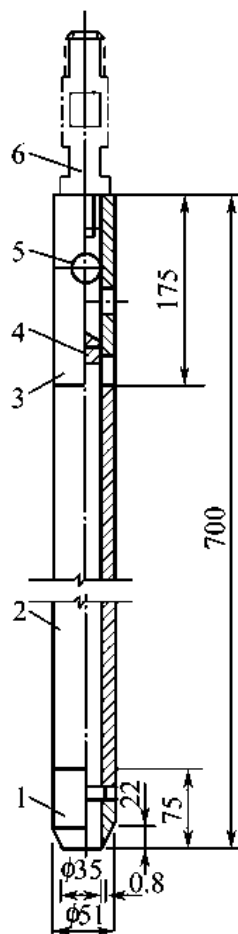


图 45.2.1 标准贯入器结构图(单位:mm)

1—贯入器靴;2—贯入器身;3—贯入器头;4—钢球;5—排水孔;6—钻杆接头

45.2.2 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

1 标准贯入器：其机械要求和材料要求应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 和《土工试验仪器 贯入仪》GB/T 12746 的规定。具体规格应符合表 45.2.2 的要求；

表 45.2.2 贯入器规格

贯入器靴	长度(mm)	50~76
	刃口角度(°)	18~20
	靴壁厚(mm)	1.6
贯入器身	长度(mm)	>500
	外径(mm)	51±1
	内径(mm)	35±1
贯入器头	长度(mm)	175

2 落锤(穿心锤)：钢锤质量为 $63.5\text{kg} \pm 0.5\text{kg}$ ，应配有自动落锤装置，落距为 $76\text{cm} \pm 2\text{cm}$ ；

3 钻杆：直径 42mm，抗拉强度应大于 600MPa；轴线的直线度最大允许误差应为 $\pm 0.1\%$ ；

4 锤垫：承受锤击钢垫，附导向杆，两者总质量宜不超过 30kg。

45.3 操作步骤

45.3.1 标准贯入试验孔采用回转钻进，当在地下水位以下的土层进行试验时，应使孔内水位略高于地下水位，以免出现涌砂和坍孔，必要时下套管或用泥浆护壁，下套管时，套管不得进入钻孔底部的土层，以免使试验结果偏大。

45.3.2 先用钻具钻至试验土层标高以上 15cm 处，清除残土，清孔时应避免试验土层受到扰动。

45.3.3 贯入前应拧紧钻杆接头，将贯入器放入孔内，避免冲击孔

底,注意保持贯入器、钻杆、导向杆连接后的垂直度,孔口宜加导向器,以保证穿心锤中心施力。在贯入器放入孔内后,测定其深度,残土厚度不应大于 10cm。

45.3.4 采用自动落锤法,锤击速率宜采用每分钟 15 击~30 击,将贯入器打入土中 15cm 后,开始记录每打入 10cm 的锤击数,累计打入 30cm 的锤击数为标准贯入击数 N ,同时记录贯入深度与试验情况。若遇密实土层,当锤击数已达到 50 击,而贯入深度尚未达到 30cm 时,不应强行打入,记录 50 击的贯入深度,并按本标准式(45.4.1)换算成相当于 30cm 的标准贯入试验锤击数 N_{30} 。

45.3.5 旋转钻杆,提出贯入器,取贯入器中的土样进行鉴别、描述、记录,并量测其长度。将需要保存的土样仔细包装、编号,以备试验之用。

45.3.6 应按本标准第 45.3.1 条~第 45.3.4 条的规定进行下一深度的贯入试验,直到所需深度。

45.3.7 试验时每隔 1.0m~2.0m 进行一次试验,对于土质不均匀的土层进行标准贯入试验时,应增加试验点的密度。

45.4 计算、制图和记录

45.4.1 相应于贯入 30cm 的锤击数 N_{30} 应按下式换算:

$$N_{30} = \frac{0.3N_0}{\Delta S} \quad (45.4.1)$$

式中: N_{30} ——贯入 30cm 相应的一阵击锤击数;

N_0 ——所选取贯入的锤击数;

ΔS ——对应锤击数为 N_0 的贯入深度(m)。

45.4.2 以深度标高为纵坐标,击数为横坐标,绘制击数(N_i)和贯入深度标高(H)关系曲线。

45.4.3 标准贯入试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.78 的规定。

46 静力触探试验

46.1 一般规定

46.1.1 土样为原位的软土、一般黏性土、粉土、砂土或含少量碎石的土层。其中孔压静力触探试验中土样为饱和土。

46.1.2 静力触探可根据工程需要采用单桥探头、双桥探头或带孔隙水压力测量的单、双桥探头。试验时将圆锥形探头按一定速率匀速压入土中,可量测比贯入阻力、锥尖阻力、侧壁摩阻力和贯入时的孔隙水压力。

46.1.3 静力触探试验可用于:

1 划分土层,判定土层类别,查明软、硬夹层及土层在水平和垂直方向的均匀性;

2 评价地基土的工程特性,包括容许承载力、压缩性质、不排水抗剪强度、水平向固结系数、土体液化判别、砂土密实度;

3 探寻和确定桩基持力层,预估打入桩沉桩可能性和单桩承载力;

4 检验人工填土的密实度及地基加固效果。

46.2 仪器设备

46.2.1 本试验贯入装置可采用图 46.2.1 所示的形式。

46.2.2 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

1 触探主机:应能匀速地将探头垂直压入土中,其额定贯入力和贯入速度应满足现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的规定。

2 反力装置:可用地锚、压重、车辆自重提供所需的反力。

3 探头:探头的结构按功能分为单桥探头、双桥探头和孔压探头:

- 1)规格和结构:单桥探头用于测定比贯入阻力 p_s ,其结构主要由探头管、顶柱、变形柱(传感器)及锥头组成(图 46.2.2-1);双桥探头用于测定锥尖阻力 q_c 和侧壁摩阻力 f_s ,它与单桥探头的区别主要是有 2 个传感器(2 个电桥)分别测定锥头阻力和侧壁摩阻力,其结构可参照图 46.2.2-2;孔压静探探头,除测定锥尖阻力和侧壁摩阻力外,同时还测定孔隙压力及其消散,其结构可参照图 46.2.2-3。探头的锥头截面积最大允许误差为 $\pm 3\%$,双桥摩擦筒表面积最大允许误差为 $\pm 2\%$,锥头高度允许误差范围为 $-10\% \sim 0$;
- 2)材料和机械要求应符合现行国家标准《土工试验仪器触探仪》GB/T 12745 的规定;
- 3)探头传感器最大允许误差应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 标准的规定。

4 探杆:探杆应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的规定。

5 量测仪器可采用下列仪器:

- 1)静态电阻应变仪:最大允许误差为 $\pm 2\%$,分度值为 $5\mu\epsilon$;
- 2)静力触探数字测力仪:最大允许误差,自动挡为 0.3% ,手动挡为 0.5% ;
- 3)电子电位差计:0.5 级;
- 4)深度记录装置:最大允许误差为 $\pm 1\%$ 。

6 其他:水准尺、管钳。

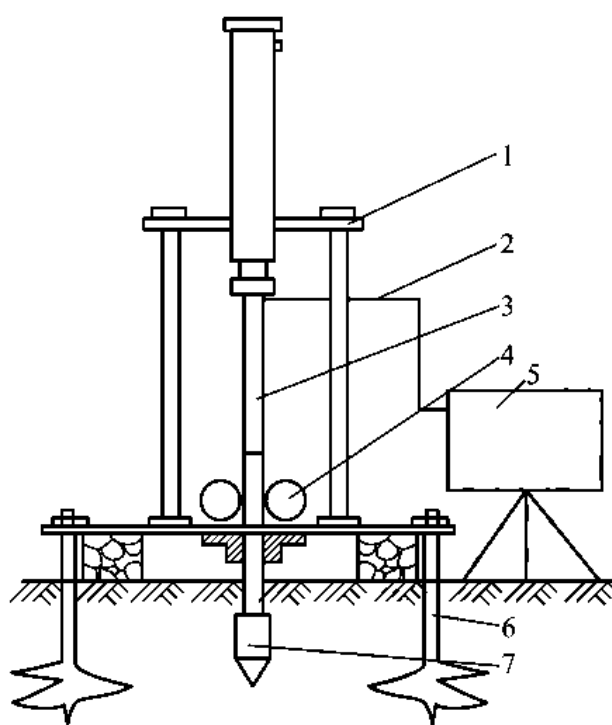


图 46.2.1 贯入装置示意图

1—触探主机；2—导线；3—探杆；4—深度转换装置；5—测量记录仪；
6—反力装置；7—探头

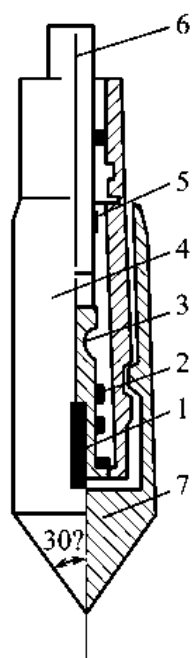


图 46.2.2-1 单桥探头

1—顶柱；2—电阻片；3—变形柱；4—探头筒；
5—密封圈；6—电缆；7—锥头

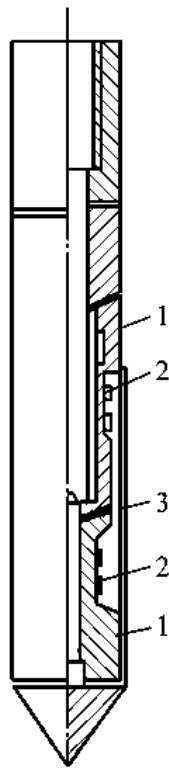


图 46.2.2-2 双桥探头

1—变形柱；2—电阻片；3—摩擦筒



图 46.2.2-3 孔压静力探头

1—透水石；2—孔压传感器；3—变形柱；4—电阻片

46.3 操作步骤

46.3.1 平整试验场地,设置反力装置。将触探主机对准孔位,调平机座,用分度值为 1mm 的水准尺校准,并紧固在反力装置上。

46.3.2 将已穿入探杆内的传感器引线按要求接到量测仪器上,打开电源开关,预热并调试到正常工作状态。

46.3.3 贯入前应试压探头,检查顶柱、锥头、摩擦筒等部件工作是否正常。当测孔隙压力时,应使孔压传感器透水面饱和。正常后将连接探头的探杆插入导向器内,调整垂直并紧固导向装置,必须保证探头垂直贯入土中。启动动力设备并调整到正常工作状态。

46.3.4 采用自动记录仪时,应安装深度转换装置,并检查卷纸机构运转是否正常;采用电阻应变仪或数字测力仪时,应设置深度标尺。

46.3.5 将探头按 (1.2 ± 0.3) m/min 均速贯入土中 0.5m~1.0m 左右,冬季应超过冻结线,然后稍许提升 5cm~10cm,使探头传感器处于不受力状态。待探头温度与地温平衡后(仪器零位基本稳定),将仪器调零或记录初读数,即可进行正常贯入。在深度 6m 内,一般每贯入 1m~2m,应提升探头检查温漂并调零;6m 以下每贯入 5m~10m 应提升探头检查回零情况,当出现异常时,应检查原因及时处理。

46.3.6 贯入过程中,当采用自动记录时,应根据贯入阻力大小合理选用供桥电压,并随时核对,校正深度记录误差,做好记录;使用电阻应变仪或数字测力计时,一般每隔 0.1m~0.2m 记录读数 1 次。

46.3.7 孔压探头在贯入前,应采用抽气饱和等方法确保探头应变腔为已排除气泡的液体所饱和,并在现场采取措施保持探头的饱和状态,直至探头进入地下水位以下的土层为止,在进行孔压静探过程中应连续贯入,不得中间提升探头。

46.3.8 当测定孔隙水压力消散时,应在预定的深度或土层停止贯入,立即锁定钻杆并同时启动测量仪器,测定不同时间的孔隙水压力消散值,直至基本稳定,在消散过程中不得碰撞和松动探杆。

46.3.9 为保证探头孔压系统的饱和,在地下水位以上的部分应预先开孔,注水后在进行贯入。

46.3.10 当贯入预定深度或出现下列情况之一时,应停止贯入:

- 1 触探主机达到额定贯入力,探头阻力达到最大容许压力;
- 2 反力装置失效;
- 3 发现探杆弯曲已达到不能容许的程度。

46.3.11 试验结束后应及时起拔探杆,并记录仪器的回零情况。探头拔出后应立即清洗上油,妥善保管,防止探头被曝晒或受冻。

46.3.12 试验应注意下列事项:

- 1 试验点与已有钻孔、触探孔、十字板试验孔等的距离,不宜小于 20 倍已有的孔径,且不宜小于 2m;
- 2 试验前应根据试验场地的地质情况,合理选用探头,使其在贯入过程中,仪器的灵敏度较高而又不致损坏;
- 3 试验点必须避开地下设施,以免发生意外;
- 4 由于人为或设备的故障而使贯入中断 10min 以上时,应及时排除故障。故障处理后,重新贯入前应提升探头,测记零读数。对超深触探孔分两次或多次贯入时,或在钻孔底部进行触探时,在深度衔接点以下的扰动段,其测试数据应舍弃;
- 5 应注意安全操作和安全用电;
- 6 当使用液压式、电动丝杆式触探主机时,活塞杆、丝杆的行程不得超过上、下限位,以免损坏设备;
- 7 采用拧锚机时,应待准备就绪后才可启动。拧锚过程中如遇障碍,应立即停机处理;
- 8 锥尖阻力及侧壁阻力的“采零”应在试验终止时进行,孔压的“采零”应在探头提出地面更换透水元件时进行;

9 探头测力传感器应连同仪器、电缆进线定期标定,室内探头标定测力传感器的非线性误差、重复性误差、滞后误差、温度漂移、归零等最大允许误差应为 $\pm 1\%F.S$,现场归零误差应为 $\pm 3\%$,绝缘电阻不应小于 $500M\Omega$ 。

46.4 计算、制图和记录

46.4.1 原始数据的处理应按下列规定进行:

1 零点读数:当有零点漂移时,一般按回零段内以线性内插法进行校正,校正值等于读数减零读数内插值;

2 记录深度与实际深度有误差时,应按线性内插法进行调整。

46.4.2 比贯入阻力 p_s 、锥头阻力 q_c 、侧壁摩阻力 f_s 、摩阻比 F_m 及孔隙水压力 u 应按下列公式分别计算:

$$p_s = k_p \epsilon_p \quad (46.4.2-1)$$

$$q_c = k_q \epsilon_q \quad (46.4.2-2)$$

$$f_s = k_f \epsilon_f \quad (46.4.2-3)$$

$$u = k_u \epsilon_u \quad (46.4.2-4)$$

$$F_m = \frac{f_s}{q_c} \quad (46.4.2-5)$$

式中: k_p 、 k_q 、 k_f 、 k_u —— p_s 、 q_c 、 f_s 、 u 对应的率定系数(kPa/ $\mu\epsilon$ 或kPa/mV);

ϵ_p 、 ϵ_q 、 ϵ_f 、 ϵ_u ——单桥探头、双桥探头、摩擦筒及孔压探头传感器的应变变量或输出电压($\mu\epsilon$ 或mV)。

46.4.3 静探径向固结系数 C_h 应按下列式估算:

$$C_h = \frac{R_t^2}{t_{50}} T_{50} \quad (46.4.3)$$

式中: T_{50} ——与圆锥几何形状、透水板位置有关的相应于孔隙压力消散度50%的时间因数(对锥角 60° 、截面积为 10cm^2 、透水板位于锥底处的孔压探头,取 $T_{50}=5.6$);

R_t ——探头圆锥底半径(cm);

t_{50} ——实测孔隙消散度达 50% 的经历时间(s)。

46.4.4 以深度(H)为纵坐标,以锥头阻力 q_c (或比贯入阻力 p_s)、侧壁摩阻力 f_s 、摩阻比 F 及孔隙压力 u 为横坐标,绘制 q_c-H (p_s-H)、 f_s-H 、 $F-H$ 及 $u-H$ 关系曲线。

46.4.5 孔隙水压力消散曲线按下列规定绘制:

1 数据取舍应符合下列规定:由于土的变异、孔压传感器含气以及操作等原因,使实测的初始孔隙水压力滞后很多或波动太大的,这些数据应舍弃;

2 将消散数据归一化为超孔隙压力,消散度 $\bar{U}$ 应按下列式计算:

$$\bar{U} = \frac{u_i - u_0}{u_i - u_0} \quad (46.4.5)$$

式中: $\bar{U}$ —— t 时孔隙水压力消散度(%);

u_i —— t 时孔隙水压力实测值(kPa);

u_0 ——初始孔隙水压力,即静水压力(kPa);

u_i ——开始(或贯入)时的孔隙水压力($t=0$)(kPa)。

3 以消散度为纵坐标,以时间为横坐标,绘制 $\bar{U}-\lg t$ 的关系曲线。

46.4.6 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.79 的规定。

47 动力触探试验

47.1 一般规定

47.1.1 动力触探试验根据锤击能量分为轻型、重型和超重型 3 种。

47.1.2 轻型动力触探适用于浅部的素填土、砂土、粉土和黏性土,重型动力触探适用于中、粗、砾砂和中密以下碎石土,超重型适用于卵石、密实和很密的碎石土以及砾石类土。

47.2 仪器设备

47.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

1 动力触探仪:由落锤、探头和触探杆(包括锤座和导向杆)组成,其规格应符合表 47.2.1 的规定;

表 47.2.1 动力触探设备规格

设备类型		轻型	重型	超重型
落锤	质量 $m(\text{kg})$	10 ± 0.2	63.5 ± 0.5	120 ± 1
	落距 $H(\text{m})$	0.50 ± 0.02	0.76 ± 0.02	100 ± 0.02
探头	直径 (mm)	40	74	74
	截面积 (cm^2)	12.6	43	43
	圆锥角 $(^\circ)$	60	60	60
触探杆	直径 (mm)	25	42,50	50~63
	每米质量 (kg)	—	<8	<12
	锥座质量 (kg)	—	10~15	—
指标		贯入 30cm 的 读数 N_{10}	贯入 10cm 的 读数 $N_{63.5}$	贯入 10cm 的 读数 N_{120}

2 为保证锤击能量的恒定,动力触探设备应采用固定落距的自动落锤装置;

3 探头的尺寸如图 47.2.1-1 和图 47.2.1-2 所示。重型和超重型动力触探探头直径的最大允许磨损尺寸为 2mm,探头尖端的最大允许磨损尺寸为 5mm;

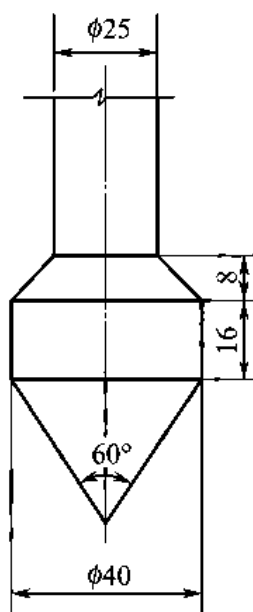


图 47.2.1-1 轻型动力触探探头(单位:mm)

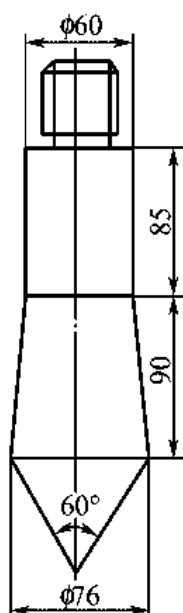


图 47.2.1-2 重型、超重型动力触探探头(单位:mm)

4 触探杆最大偏斜度为 $\pm 2\%$,每个接头的容许最大偏心为0.2mm。重型和超重型动力触探的锤座直径应小于100mm,并不大于锤底面直径的一半。锤座和导杆的总质量不应超过30kg。

47.2.2 试验时的仪器设备应符合下列规定:

1 锤击贯入应连续进行;防止锤击偏心、探杆倾斜和侧向晃动,保持锤座、导向杆与触探杆的轴中心成一直线。触探杆的接头应与触探杆具有相同的直径;

2 锤击速率每分钟宜为15击~30击,每贯入1m,宜将探杆转动一圈半,当贯入深度超过10m时,每贯入20cm宜转动探杆一次,使探杆能保持垂直贯入,并减少探杆的侧阻力,每一孔触探孔应连续贯入,只是在接探杆时才允许停顿。

47.3 操作步骤

47.3.1 轻型动力触探法试验应按下列步骤进行:

1 先用轻便钻具钻至试验土层标高以上0.3m处,将探头和探杆放入到孔内,保持探杆垂直,就位后对所需试验土层连续进行触探;

2 试验时,穿心锤落距为 $0.50\text{m} \pm 0.02\text{m}$,使其自由下落,记录每打入土层中0.30m时所需的锤击数,最初0.30m可以不记,然后连续向下贯入,记录下一深度的锤击数,重复试验到预定的试验深度;

3 若需描述土层情况时,可将触探杆拔出,取下探头,换贯入器进行取样;

4 如遇密实坚硬土层,当贯入0.30m所需锤击数超过100击或贯入0.15m超过50击时,即可停止试验;如需对下卧土层进行试验时,可用钻具穿透坚实土层后再贯入;

5 本试验一般用于贯入深度小于4m的土层。必要时也可在贯入4m后用钻具将孔掏清后再继续贯入2m。

47.3.2 重型动力触探法试验应按下列步骤进行:

1 试验前将触探架安装平稳,使触探保持垂直地进行,触探杆应保持平直,连接牢固。

2 贯入时,应使穿心锤自由下落,落锤落距为 $0.76\text{m} \pm 0.02\text{m}$ 。地面上的触探杆的高度不宜过高,以免倾斜与摆动太大。

3 贯入过程应连续进行,所有超过 5min 的间断都应在记录中予以注明。

4 及时记录每贯入 0.10m 所需的锤击数。其方法可在触探杆上每隔 0.10m 划出标记,记录锤击数;也可以记录每一阵击的贯入度,然后再换算为每贯入 0.10m 所需的锤击数。

5 对于一般砂、圆砾和卵石,触探深度不宜超过 12m~15m,超过该深度时,应考虑触探杆的侧壁摩阻影响。

6 每贯入 0.10m 所需锤击数连续 3 次超过 50 击时,即停止试验。当需对土层继续进行试验时,应改用超重型动力触探。

7 本试验也可在钻孔中分段进行。可先进行贯入,然后进行钻探直至动力触探所及深度以上 1m 处,取出钻具将触探器放入孔内再进行贯入。

8 本试验用于贯入深度小于 12m~15m,当超过 15m 时,需考虑探杆侧壁摩阻的影响。

47.3.3 超重型动力触探法试验应按下列步骤进行:

1 贯入时穿心锤自由下落,落距为 $100\text{m} \pm 0.02\text{m}$ 。贯入深度不宜超过 20m,超过该深度时,需考虑触探杆侧壁摩阻的影响。

2 其他步骤可参照本标准第 47.3.2 条第 1 款~第 5 款的规定进行。

3 本试验 N_{120} 的正常击数为 3 击~40 击,击数超过这个范围,如遇软黏土,可记录每击的贯入度,如遇硬土层,可记录一定击数下的贯入度。

47.4 计算、制图和记录

47.4.1 触探指标应按下列式计算:

$$N_{63.5} = \frac{100N_0}{\Delta S} \quad (47.4.1)$$

式中： $N_{63.5}$ ——每贯入 0.10m 所需的锤击数，超重型动力触探为 N_{120} ；

N_0 ——相应的一阵击锤击数；

ΔS ——一阵击的贯入度(mm)。

47.4.2 动贯入阻力 q_d 应按下式计算：

$$q_d = \frac{Q_{lc}^2}{(Q_{lc} + Q_{ct})} \cdot \frac{H_l N_0}{A_t \Delta S} \times 1000 \quad (47.4.2)$$

式中： q_d ——动贯入阻力(kPa)；

Q_{lc} ——落锤重(kN)；

Q_{ct} ——触探器被打入部分(包括探头、触探杆、锤座和导向杆)的重量(kN)；

H_l ——落距(m)；

A_t ——探头面积(m²)。

47.4.3 动力触探曲线应按下列规定绘制：

1 计算单孔分层贯入指标平均值时，应剔除超前和滞后影响范围内及个别指标的异常值；

2 以深度为纵坐标，贯入指标为横坐标，绘制贯入指标与触探深度曲线。

47.4.4 动力触探试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 80 和表 D. 81 的规定。

48 旁压试验

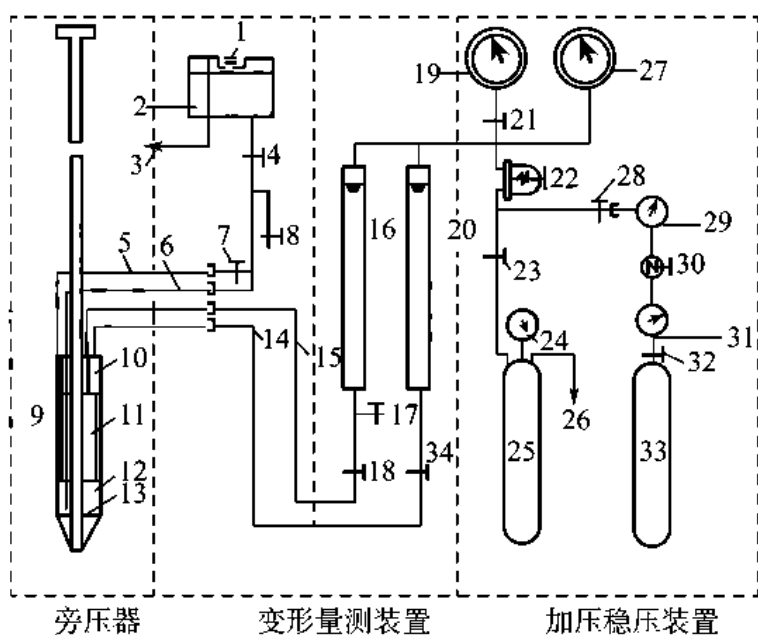
48.1 一般规定

48.1.1 土样为原位的黏性土、粉土、砂土、碎石土、残积土、极软岩或软岩。

48.1.2 本试验方法为预钻式旁压试验。

48.2 仪器设备

48.2.1 旁压仪由旁压器、加压稳定装置和变形测量装置及导管等部分组成,其结构框图见图 48.2.1。



注: — 为快速接头

图 48.2.1 旁压仪结构图

- 1—安全阀;2—水箱;3—水箱加压;4—注水阀;5—注水管 2;6—注水管 1;7—中腔注水;
8—排水阀;9—旁压器;10—上腔;11—中腔;12—下腔;13—导水管;14—导压管;
15—导压管 4;16—量管;17—调零阀;18—测压阀;19—600kPa 压力表;20—辅管;
21—低压表阀;22—调压器;23—手动加压阀;24—2500kPa 压力表;25—贮气罐;
26—手动加压;27—1600kPa 压力表;28—氮气加压阀;29—2500kPa 压力表;
30—减压阀;31—25000kPa 压力表;32—氮气源阀;33—高压氮气源;34—辅管阀

48.2.2 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

1 旁压器：为圆柱形骨架，外套有密封的弹性膜。预钻式一般分上、中、下三腔。中腔为测试腔，上、下腔为辅助腔。上、下腔用金属管连通，而与中腔严密隔离。自钻式一般为单腔，旁压器中央为导水管，用以疏导地下水，以利于将旁压器放到测试位置。在弹性膜外按需要可加装一层可扩张的金属保护套（铠装保护）。其规格应符合表 48.2.2 的要求。

表 48.2.2 旁压仪规格

旁 压 器				体 变 管		压 力		量管 截面积 (cm ²)
外径 (mm)	中腔长度 (mm)	总长度 (mm)	总长度 外径 (mm)	量程 (cm ³)	最大 允许误差 (%)	量程 (MPa)	最大 允许误差 (%)	
44~90	200~250	450~980	4~10	0~600	±1.5	0~7.0	±1.5	13.2~ 34.5

2 加压稳压装置：压力源为高压氮气或人工打气，并附有加压稳定调节阀和压力表。其量程和最大允许误差应符合表 48.2.2 的要求。

3 变形量测装置：一般由体变管或液位仪及辅管组成，其量程和最大允许误差应符合表 48.2.2 的要求。也可采用横向变形传感器直接测出径向变形。其技术条件应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的规定。

4 导管：为尼龙软管，连接旁压器中腔与体变管相通，连接上、下腔与辅管相通。

5 自钻式旁压仪的自钻钻头、钻头转速、钻进速率、刃口距离、泥浆压力和流量等应符合有关规定。

48.3 操 作 步 骤

48.3.1 试验前平整试验场地，根据土的分类和状态选择适宜的钻头开孔。要求孔壁垂直、呈完整的圆形，尽可能减少孔壁土体扰动。

48.3.2 钻孔时,若遇松散砂层和软土地层时,须用泥浆护壁钻进。钻孔孔径应略大于旁压器外径 2mm~10mm。

48.3.3 试验点布置原则:必须保证旁压器上、中、下三腔都在同一土层中,试验点垂直间距不宜小于 1m。试验孔与已有钻孔的水平距离不宜小于 1m,取完土样或做过标贯试验的部位不得进行旁压试验。

48.3.4 试验前在水箱内注满蒸馏水或无杂质的冷开水,打开水箱安全盖。

48.3.5 检查并接通管路,把旁压器的注水管和导压管的快速接头对号插入。

48.3.6 把旁压器竖立于地面,打开水箱至量管、辅管各管阀门,使水从水箱分别注入旁压器各个腔室,并返回到量管和辅管。在此过程中需不停地拍打尼龙管并摇晃旁压器,以便尽量排除旁压器和管路中滞留的气泡。为了加速注水和排除气泡,亦可向水箱稍加压力。当量管和辅管水位升到刻度零或稍高于零,即可终止注水,关闭注水阀和中腔注水阀。

48.3.7 调零。把旁压器垂直提高,直到使中腔的中点与量管零位相平,打开调零阀,并密切注意水位的变化,当水位下降到零时,立即关闭调零阀、量管阀和辅管阀,然后放下旁压器。

48.3.8 将旁压器放入钻孔中预定的试验深度,其深度以中腔中点为准。打开量管阀和辅管阀施加压力。

48.3.9 用高压氮气源加压时,接上氮气加压装置导管(手动加压装置则应关闭),把减压阀按逆时针方向拧到最松位置,打开气源阀,按顺时针方向调节减压阀,使高压降低到比所需最高试验压力大 100kPa~200kPa,然后缓慢地按顺时针方向调节高压阀并调到所需的试验压力。

48.3.10 手动加压时,先接上打气筒,关闭氮气加压阀,打开手动加压阀,用打气筒向贮气罐加压,使贮气罐内的压力增加到比所用最高试验压力大 100kPa~200kPa 以上。然后按顺时针方向缓慢

旋转调节阀调到所需的试验压力。

48.3.11 加压等级一般为预计极限压力的 $1/7 \sim 1/5$, 初始加荷等级可取小值, 也可参照表 48.3.11 选用。必要时可做卸荷再加荷试验, 测定再加荷旁压模量。

表 48.3.11 试验加压等级(kPa)

土的工程特性	加压等级	
	临塑压力前	临塑压力后
淤泥、淤泥质土、流塑状态的黏质土、饱和或松散的粉细砂	<15	≤ 30
软塑状的黏质土、疏松的黄土、稍密很湿的粉细砂, 稍密的中、粗砂	$15 \sim 25$	$30 \sim 50$
可塑至硬塑状态的黏质土, 一般黄土, 中密至密实很湿的粉细砂, 稍密至中密的中、粗砂	$25 \sim 50$	$50 \sim 100$
坚硬状态的黏质土, 密实的中、粗砂	$50 \sim 100$	$100 \sim 200$
中密至密实的碎石类土	≥ 100	≥ 200

48.3.12 各级压力下的相对稳定时间标准为 1min 或 3min。相对稳定时间标准为 1min 时, 加荷后 15s、30s、60s 测读变形量; 相对稳定时间标准为 3min 时, 加荷后 60s、120s、180s 测读变形量。

48.3.13 当测量腔的扩张体积相当于量测腔的固有体积时, 或试验压力达到仪器的容许最大压力时, 应立即终止试验。

48.3.14 试验结束后, 采取以下方法使弹性膜恢复原状:

1 试验深度小于 2m 时, 把调压阀按逆时针方向拧到最松位置, 即与大气相通, 利用弹性膜的约束力回水至量管和辅管, 当水位接近零时, 即可关闭量管阀和辅管阀;

2 试验深度大于 2m 时, 打开水箱安全盖, 再打开注水阀和中腔注水阀, 利用试验压力使旁压器回水至水箱;

3 当需排净旁压器内的水时, 可打开排水阀和中腔注水阀,

利用试验压力排净旁压器内的水；

4 也可引用真空泵吸回水。

48.3.15 终止试验消压后,必须等 2min~3min 后才能取出旁压器,并仔细检查、擦洗、装箱。

48.3.16 当需进行下一试验点时,重复本标准第 48.3.1 条~第 48.3.15 条。

48.4 计算、制图和记录

48.4.1 校正压力应按下式计算:

$$p_x = p_m + p_w - p_i \quad (48.4.1)$$

式中: p_x ——校正后的单位压力(kPa);

p_m ——压力表读数(kPa);

p_w ——静水压力(kPa);

p_i ——弹性膜约束力(kPa),查弹性膜约束力校正曲线确定。

48.4.2 校正变形量应按下列公式计算:

$$V = H_x A \quad (48.4.2-1)$$

$$H_x = H_m - a(p_m + p_w) \quad (48.4.2-2)$$

式中: V ——校正后的体变量(cm^3);

H_x ——校正后的量管水位下降值(cm);

A ——量水管截面积(cm^2);

H_m ——量水管水位下降值(cm);

a ——仪器综合变形校正系数(cm/kPa)。

48.4.3 以校正后的体变 V 为纵坐标,校正后的压力 p 为横坐标,绘制 p - V 曲线(图 48.4.3)。也可绘制压力和量管水位变化曲线。作图比例:纵坐标以 1cm 代表体积变量 100cm^3 ;横坐标为单位压力 p 值,以 1cm 代表 100kPa 。或根据具体情况选择比例标准。图幅尺寸要求宜为 $10\text{cm} \times 10\text{cm}$ 。

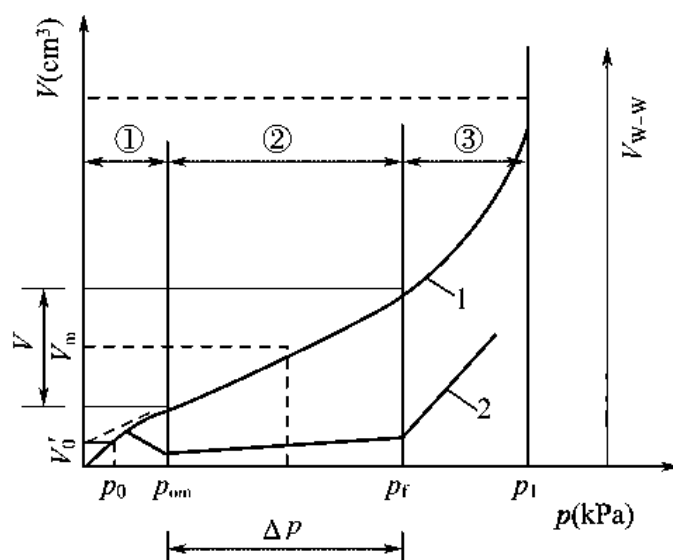


图 48.4.3 旁压曲线

1—旁压曲线；2—蠕变曲线

48.4.4 在绘制的 p - V 曲线上,确定三个压力特征值: p_0 、 p_r 、 p_l 。

1 将旁压曲线直线段延长与纵坐标相交,交点为 V_0 ,由 V_0 作与 p 轴平行线相交于曲线的一点,其对应的压力为原位水平土压力 p_0 值;

2 取旁压曲线直线段的终点,即曲线与直线段的第 2 个切点所对应的压力为临塑压力 p_r 值;

3 曲线过临塑压力后,趋向于与纵轴平行的渐近线时,其对应的压力为极限压力 p_l 值,当从 p - V 曲线上不能直接求出极限压力 p_l 值时,可用曲线外推方法至最大体积增量值 $V_l (=V_c + 2V_0)$, V_c 为旁压器中腔初始体积, V_0 为孔穴体积与初始体积的差值),取对应 V_l 的压力为极限压力 p_l 。或用倒数曲线法求取。

48.4.5 可从三个压力特征值确定承载力的基本值 f_{0k} 。

1 临塑压力法:

$$f_{0k} = p_r - p_0 \quad (48.4.5-1)$$

2 极限压力法:

$$f = (p_l - p_0) / F_a \quad (48.4.5-2)$$

式中: p_0 ——原位水平单位土压力(kPa);

F_a ——安全系数。

48.4.6 不排水抗剪强度应按下式计算：

$$C_u = p_f - p_0 \quad (48.4.6)$$

48.4.7 侧压力系数应按下式估算：

$$K_0 = \frac{p_0}{z\gamma} \quad (48.4.7)$$

式中： z ——旁压器中心点至地面的土柱高度(m)；

γ ——土的容重(kN/m³)。

48.4.8 旁压模量应按下式计算：

$$E_m = 2(1 + \mu)(V_c + V_m) \frac{\Delta p}{\Delta V} \quad (48.4.8)$$

式中： E_m ——由旁压试验确定的模量，称为旁压模量(kPa)；

μ ——泊松比；

V_c ——旁压器(中腔)初始体积(cm³)；

V_m ——平均体积增量(取旁压试验曲线直线段两点间压力所对应的体积之和的一半)(cm³)；

Δp ——旁压试验曲线上直线变形段的压力增量(kPa)；

ΔV ——相应于 Δp 的体积变化增量(cm³)。

48.4.9 旁压试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.82 的规定。

49 载 荷 试 验

49.1 一 般 规 定

49.1.1 载荷试验方法可用于测定承压板下应力主要影响范围内岩土承载力和变形模量,包括平板载荷试验和螺旋板载荷试验,每个场地试验点不宜少于 3 个,土体不均匀时,应适当增加试验点。

49.1.2 平板载荷试验方法适用于各类地基土。它所反映的相当于承压板下 1.5 倍~2.0 倍承压板直径或宽度的深度范围内地基土的强度、变形的综合性状。浅层平板载荷试验适用于浅层地基土,深层平板载荷试验适用于试验深度不小于 5m 的深层地基土和大直径桩的桩端土。

49.1.3 螺旋板载荷试验适用于黏土和砂土地基,用于深层地基土或地下水位以下的地基土。

49.2 平板载荷试验

49.2.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定:

1 承压板:平板载荷试验一般采用圆形或正方形钢质板,也可采用现浇或预制混凝土板,应具有足够的刚度。土的浅层平板载荷试验承压板的面积不应小于 0.25m^2 ,对于软土和粒径较大的填土,不应小于 0.50m^2 ;对于含碎石的土类,承压板宽度应为最大碎石直径的 10 倍~20 倍,加固后复合地基宜采用大型载荷试验。土的深层平板载荷试验承压板面积宜选用 0.5m^2 ,紧靠承压板周围外侧的土层高度不应少于 80cm。

2 加荷装置:包括压力源、载荷台架或反力构架;

1) 压力源:可用液压装置或重物,出力最大允许误差为

$\pm 1\%F.S$;安全过负荷率应大于 120%;

2) 载荷台架或反力构架:必须牢固稳定、安全可靠,其承受能力不小于试验最大荷载的 1.5 倍~2.0 倍;

3 沉降观测装置:其组合必须牢固稳定、调节方便。位移仪表可采用大量程百分表或位移传感器等,其量测最大允许误差应为 $\pm 1\%F.S$ 。

49.2.2 平板载荷试验试验应按下列步骤进行:

1 在有代表性的地点,整平场地,开挖试坑。浅层平板载荷试验的试坑宽度不应小于承压板直径或宽度的 3 倍,深层平板载荷试验的试井直径应等于承压板直径,当试井直径大于承压板直径时,紧靠承压板周围土的高度不应小于承压板直径。

2 试验前应保持试坑或试井底的土层避免扰动,在开挖试坑及安装设备中,应将坑内地下水位降至坑底以下,并防止因降低地下水位而可能产生破坏土体的现象。试验前应在试坑边取原状土样 2 个,以测定土的含水率和密度。

3 设备安装应符合图 49.2.2-1、图 49.2.2-2 的要求,步骤应符合下列规定:

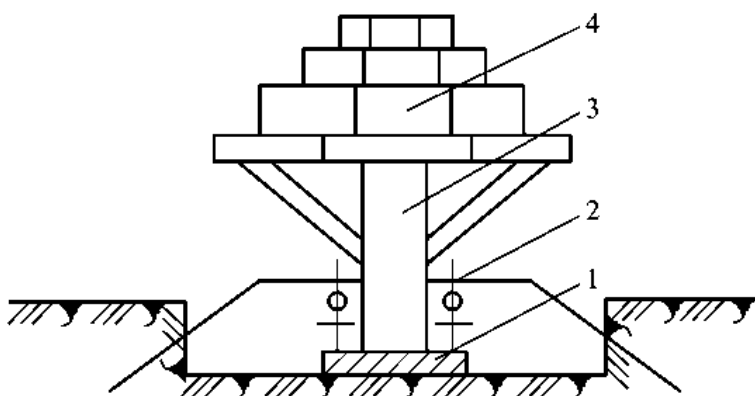


图 49.2.2-1 重物式装置示意图

1—承压板;2—沉降观测装置;3—荷载台架;4—重物

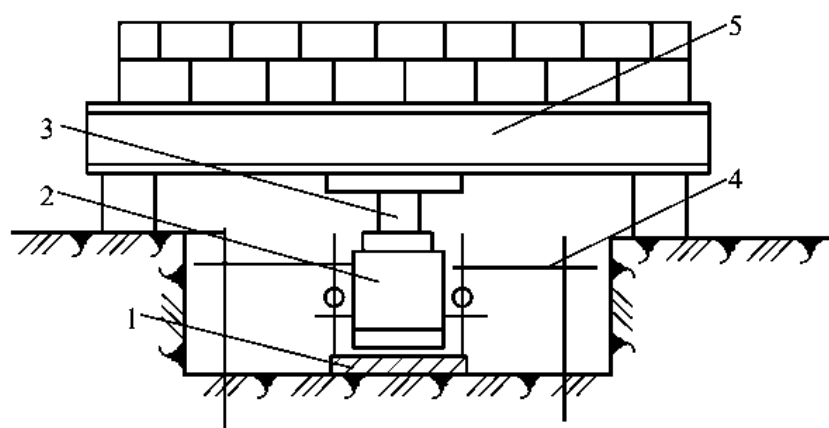


图 49.2.2-2 反力式装置示意图

1—承压板；2—加荷千斤顶；3—荷重传感器；4—沉降观测装置；5—反力装置

- 1) 安装承压板前应整平试坑面,铺设不超过 20cm 厚的中砂垫层找平,使承压板与试验面平整接触,并尽快安装设备;
- 2) 安放载荷台架或加荷千斤顶反力构架,其中心应与承压板中心一致。当调整反力构架时,应避免对承压板施加压力;
- 3) 安装沉降观测装置。其固定点应设在不受变形影响的位置处。沉降观测点应对称设置。

4 试验点应避免冰冻、曝晒、雨淋,必要时设置工作棚。

5 载荷试验加荷方式应采用分级维持荷载沉降相对稳定法(常规慢速法),有地区经验时,可采用分级加荷沉降非稳定法(快速法)或等沉降速率法。加荷等级宜取 10 级~12 级,并不应少于 8 级,最大加载量不应小于设计要求的 2 倍,载荷量测最大允许误差应为 $\pm 1\%F.S.$ 。每级荷载增量一般取预估试验土层极限压力的 $1/10\sim 1/12$,当不易预估其极限压力时,可参考表 49.2.2 所列增量选用。

表 49.2.2 荷载增量表(kPa)

试验土层特征	荷载增量
淤泥、流塑状黏质土、饱和或松散的粉细砂	≤ 15

续表 49.2.2

试验土层特征	荷载增量
软塑状黏质土、疏松的黄土、稍密的粉细砂	15~25
可塑~硬塑状黏质土、一般黄土、中密~密实的粉细砂	25~100
坚硬的黏质土、中粗砂、碎石类土、软质岩石	50~200

6 每级荷载作用下都必须保持稳压,由于地基土的沉降和设备变形等都会引起荷载的减小,试验中应随时观察压力变化,使所加的荷载保持稳定。

7 稳定标准可采用相对稳定法,即每施加一级荷载,待沉降速率达到相对稳定后再加下一级荷载。

8 应按时、准确观测沉降量。每级荷载下观测沉降的时间间隔一般采用下列标准:对于慢速法,每级荷载施加后,间隔 5min、5min、10min、10min、15min、15min 测读 1 次沉降,以后每隔 30min 测读 1 次沉降,当连续 2 小时每小时沉降量不大于 0.1mm 时,可以认为沉降已达到相对稳定标准,施加下一级荷载。

9 试验宜进行至试验土层达到破坏阶段终止。当出现下列情况之一时,即可终止试验,前三种情况其所对应的前一级荷载即为极限荷载:

- 1) 承压板周围土出现明显侧向挤出,周边土体出现明显隆起和裂缝;
- 2) 本级荷载沉降量大于前级荷载沉降量的 5 倍,荷载-沉降曲线出现明显陡降段;
- 3) 在本级荷载下,持续 24h 沉降速率不能达到相对稳定值;
- 4) 总沉降量超过承压板直径或宽度的 6%;
- 5) 当达不到极限荷载时,最大压力应达预期设计压力的 2.0 倍或超过第一拐点至少三级荷载。

10 当需要卸载观测回弹时,每级卸载量可为加载增量的 2 倍,每卸一级荷载后,间隔 15min 观测一次,1h 后再卸第二级荷载,荷载卸完后继续观测 3h。

11 对于深层平板载荷试验,加荷等级可按预估承载力的 $1/15 \sim 1/10$ 分级施加,当出现下列情况之一时,可终止加荷:

- 1) 在本级荷载下,沉降急剧增加,荷载-沉降曲线出现明显的陡降段,且沉降量超过承压板直径的 4%;
- 2) 在本级荷载下,持续 24h 沉降速率不能达到相对稳定值;
- 3) 总沉降量超过承压板直径或宽度的 6%;
- 4) 当持力层土层坚硬,沉降量很小时,最大加载量不应小于设计要求的 2.0 倍。

49.2.3 对原始数据检查、校对后,整理出荷载与沉降值、时间与沉降值汇总表。

49.2.4 绘制 $p-s$ 曲线(图 49.2.4),必要时绘制 $s-t$ 曲线或 $s-\lg t$ 曲线,如果 $p-s$ 曲线的直线段延长不经过 $(0,0)$ 点,应采用图解法或最小二乘法进行修正。 p 坐标单位为 kPa, s 坐标单位为 mm。

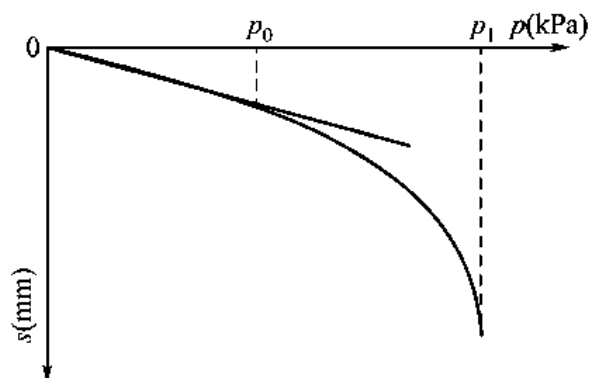


图 49.2.4 典型 $p-s$ 曲线

49.2.5 特征值的确定应符合下列规定:

- 1 当曲线具有明显直线段及转折点时,以转折点所对应的荷载定为比例界限压力和极限压力;
- 2 当曲线无明显直线段及转折点时,可按本标准第 49.2.2 条第 9 款所列情况确定极限荷载值,或取对应于某一相对沉降值(即 s/d , d 为承压板直径)的压力评定地基土称承压力。

49.2.6 承载力基本值 f_0 可按现行国家标准《建筑地基基础设计

规范》GB 50007 确定。

- 1 比例界限明确时,取该比例界限所对应的荷载值,即 $f_0 = p_1$;
- 2 当极限荷载能确定时(且该值小于比例界限荷载值 1.5 倍时),取极限荷载值的一半,即 $f_0 = p_1/2$;
- 3 不能按照上述两点确定时,以沉降标准进行取值,若压板面积为 $0.25\text{m}^2 \sim 0.50\text{m}^2$,对低压缩性土和砂土,取 $s = (0.01 \sim 0.015)b$ 对应的荷载值;对中、高压缩性土,取 $s = 0.02b$ 对应的荷载值。

49.2.7 变形模量计算应符合下列规定:

- 1 浅层平板载荷试验法可按下列公式计算:

$$E_0 = 0.785(1 - \mu^2)D_c \frac{p}{s} \quad (\text{承压板为圆形}) \quad (49.2.7-1)$$

$$E_0 = 0.886(1 - \mu^2)a_c \frac{p}{s} \quad (\text{承压板为方形}) \quad (49.2.7-2)$$

- 2 深层平板载荷试验法可按下列公式计算:

$$E_0 = \omega' D_c \frac{p}{s} \quad (49.2.7-3)$$

式中: E_0 ——试验土层的变形模量(kPa);

μ ——土的泊松比(碎石取 0.27,砂土取 0.30,粉土取 0.35,粉质黏土取 0.38,黏土取 0.42);

D_c ——承压板的直径(cm);

p ——单位压力(kPa);

s ——对应于施加压力的沉降量(cm);

a_c ——承压板的边长(cm);

ω' ——与试验深度和土类有关的系数,可按表 49.2.7 选用。

表 49.2.7 深层载荷试验计算系数 ω'

土类	碎石土	砂土	粉土	粉质黏土	黏土
$d/z=0.30$	0.477	0.489	0.491	0.515	0.524
$d/z=0.25$	0.469	0.480	0.480	0.506	0.514
$d/z=0.20$	0.460	0.471	0.471	0.497	0.505

续表 49.2.7

土类	碎石土	砂土	粉土	粉质黏土	黏土
$d/z=0.15$	0.444	0.454	0.454	0.479	0.487
$d/z=0.10$	0.435	0.446	0.446	0.470	0.478
$d/z=0.05$	0.427	0.437	0.437	0.461	0.468
$d/z=0.01$	0.418	0.429	0.429	0.452	0.459

49.2.8 平板载荷试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.83 的规定。

49.3 黄土浸水载荷试验

49.3.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

- 1 承压板：面积不宜小于 0.5m^2 ，其余应符合本标准第 49.2.1 条第 1 款的规定；
- 2 加荷装置应符合本标准第 49.2.1 条第 2 款的规定；
- 3 沉降观测装置应符合本标准第 49.2.1 条第 3 款的规定。

49.3.2 黄土浸水载荷试验应按下列步骤进行：

- 1 单线法：
 - 1) 整平场地，开挖试坑。应在同一土层内平行挖 3 个试坑，间距不应大于 6m；
 - 2) 设备安装应按本标准第 49.2.2 条第 2 款的规定进行。承压板的安装应按本标准第 49.2.2 条第 3 款第 1 项的规定进行，在承压板以外的试坑面积也应铺设 5cm～10cm 厚的砂砾石滤层。沉降观测的装置固定点不得受浸水影响；
 - 3) 施加荷载增量取预估湿陷起始压力的 $1/5$ ，或采用 10kPa～20kPa。试验终止压力不宜小于 200kPa；
 - 4) 按相对稳定法进行天然湿度下的加载试验，直到预估的湿陷起始压力；
 - 5) 向试坑注水。试坑内的水头高度应高于滤层顶面 3cm。

并按相对稳定法的观测要求观测浸水沉降量(湿陷量),直至每小时的沉降量不大于 0.1mm 为止;

- 6)应按本标准第 49.3.2 条第 1 款第 4 项、第 5 项的规定,选用大小或小于预估湿陷压力 50kPa 压力下,进行其余两个试坑的试验。

2 双线法:

- 1)应按本标准第 49.3.2 条第 1 款第 1 项的规定,在同一土层内平行开挖 2 个试坑;
- 2)应按本标准第 49.3.2 条第 1 款第 2 项的规定安装试验设备;
- 3)应按本标准第 49.3.2 条第 1 款第 3 项的规定确定加载等级;
- 4)一个试坑按相对稳定法在天然湿度下进行加载试验,另一个试坑在预先浸水饱和后再按相对稳定法进行加载试验。

3 饱水单线法:

- 1)应按本标准第 49.3.2 条第 1 款第 1 项的规定平整场地,开挖 1 个试坑;
- 2)应按本标准第 49.3.2 条第 1 款第 2 项的规定安装试验设备;
- 3)应按本标准第 49.3.2 条第 1 款第 3 项的规定确定荷载等级;
- 4)向试坑内注水,使 3.5 倍承压板直径(或宽度)深度范围内的土层达到饱和。饱和标准采用饱和含水率;
- 5)应按相对稳定法进行加荷试验。

49.3.3 绘制 $p-s$ 曲线,然后在图上取不同压力下的湿陷量(s_{sh} 值),并绘出 $p-s_{sh}$ 曲线(图 49.3.3-1、图 49.3.3-2)。

49.3.4 一般取 $p-s_{sh}$ 曲线转折点对应的荷载作为湿陷起始压力(p_{sh})。当曲线上的转折点不明显时,可取浸水下沉量与承压板宽度之比($\frac{s}{b}$)等于 0.02 所对应的荷载作为湿陷起始压力。

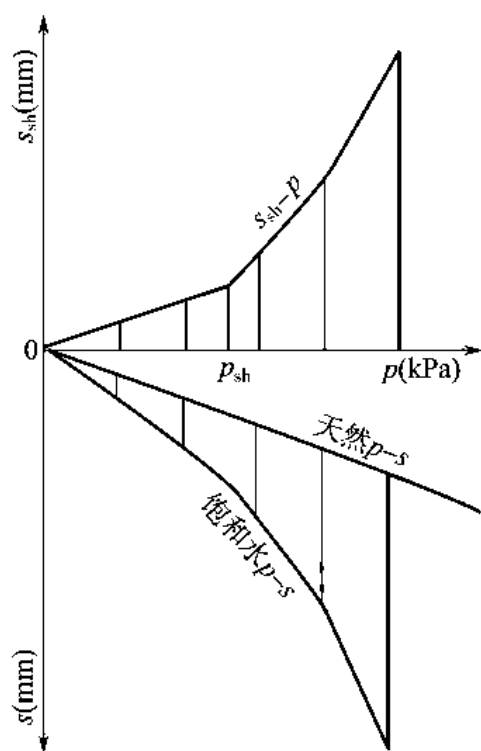


图 49.3.3-1 双线法求湿陷起始压力

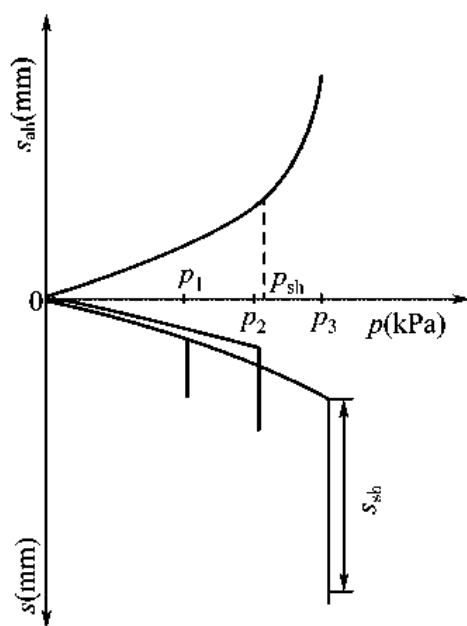


图 49.3.3-2 单线法求湿陷起始压力

49.4 螺旋板载荷试验

49.4.1 仪器设备(图 49.4.1)应由螺旋承压板、加荷装置、位移

观测装置组成,并应符合下列规定:

1 螺旋承压板:螺旋板尺寸参数及测力传感器的最大允许压力宜符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的规定;

2 加荷装置:包括压力源和反力构架,其技术条件应符合本标准第 49.2.1 条第 2 款的规定;

3 位移观测装置应符合本标准第 49.2.1 条第 3 款的规定。

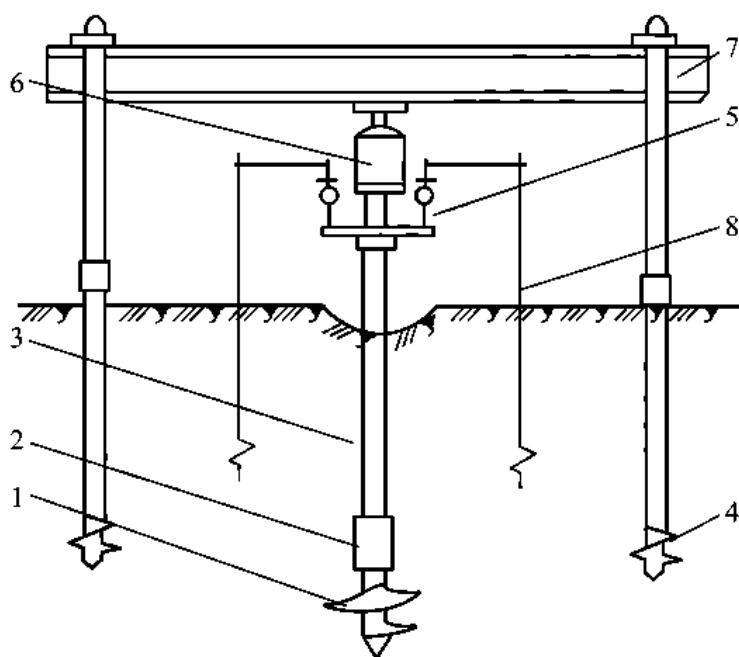


图 49.4.1 螺旋板荷载试验装置示意图

- 1 螺旋承载板;2 测力传感器;3 传力杆;4 反力地锚;5 位移计;
6—油压千斤顶;7—反力钢梁;8—位移固定锚

49.4.2 螺旋板载荷试验应按下列步骤进行:

- 1 将试验场地平整,设置反力装置及位移计的固定地锚。
- 2 选择适宜尺寸的螺旋承压板旋钻至预定深度,旋钻时应控制每旋转一周钻进一螺距,尽可能减小对土体的扰动程度。
- 3 安装加荷千斤顶,其中心应与螺旋承压板中心一致;安装位移计,并调整零点。
- 4 按下列方式进行加荷:

- 1) 当采用应力控制式时,按等量分级施加,荷载增量应按本标准第 49.2.2 条第 5 款的规定,每级荷载确保稳压;
- 2) 当采用应变控制式时,应连续加荷,控制沉降速度应为 $0.25\text{mm}/\text{min} \sim 2.00\text{mm}/\text{min}$;
- 3) 试验的加荷等级、试验结束条件应符合本标准第 49.2.2 条第 4 款~第 9 款的规定;
- 4) 按本标准第 49.4.2 条第 4 款第 1 项、第 2 项的规定加荷时,应进行沉降观测。应力控制式加荷沉降观测的时间顺序宜采用 0.10min 、 0.25min 、 1.00min 、 2.25min 、 4.00min 等按 $\sqrt{t}$ 读取,直至沉降基本稳定,再加下一级荷载,该时间顺序用于绘制 $\sqrt{t}-s$ 曲线;应变控制式加载沉降观测每隔 30s 等间距读取 1 次,试验至土体破坏。

5 土体破坏后,卸除加荷和位移观测装置,再将螺旋承压板旋钻至下一个预定的试验深度,应按本标准第 49.4.2 条第 3 款、第 4 款的规定进行试验。

49.4.3 应按本标准第 49.2.3 条、第 49.2.4 条的规定,进行计算并绘制 $p-s$ 曲线(图 49.4.3)。

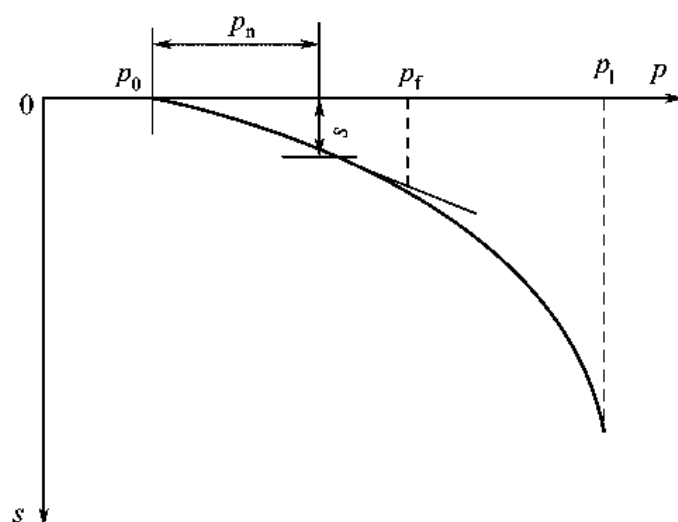


图 49.4.3 $p-s$ 曲线

49.4.4 根据各级荷载下的沉降 s 与时间 t 的数据,绘制 $s-\sqrt{t}$ 曲线(图 49.4.4)。

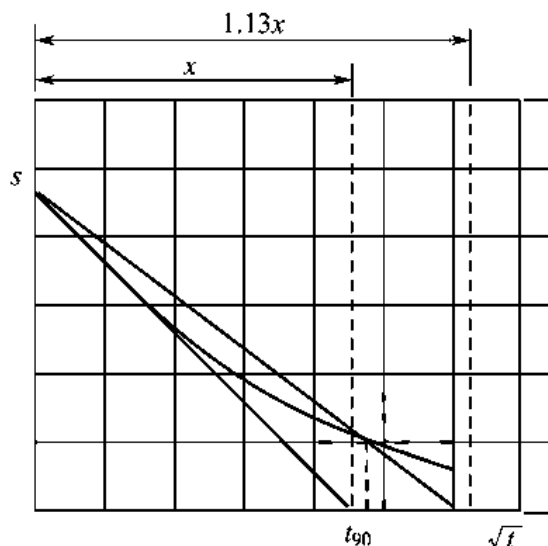


图 49.4.4 $s-\sqrt{t}$ 曲线

49.4.5 特殊值应按下规定确定：

1 原位有效自重压力 p_0 :取 $p-s$ 曲线的直线段与 p 轴的交点作为 p_0 值；

2 临塑压力 p_f :相应于 $p-s$ 曲线的直线段终点的压力；

3 极限压力 p_l :相应于 $p-s$ 曲线末尾直线段起点的压力；

4 固结度达 90%所需时间 t_{90} :以 $s-\sqrt{t}$ 曲线初始直线段与沉降坐标(纵坐标)的交点作为理论零点,其延长段交于沉降稳定值的渐近线(横坐标)上,见图 49.4.4 的 x 段,再作与初始直线斜率 1.13 倍的直线,该直线与 $s-\sqrt{t}$ 曲线的交点所对应的时间为 t_{90} 。

49.4.6 变形模量应按下式计算：

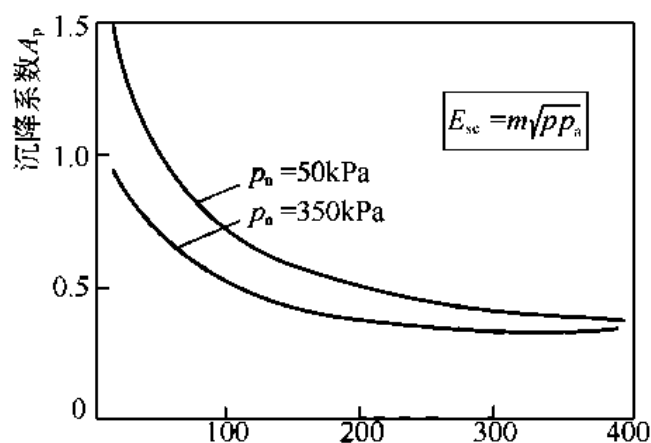
$$E_{sc} = m_{sc} p_a \left(\frac{p}{p_a} \right)^{1-a_p} \quad (49.4.6-1)$$

可根据 $p-s$ 曲线求得变形模量系数 m_{sc} ：

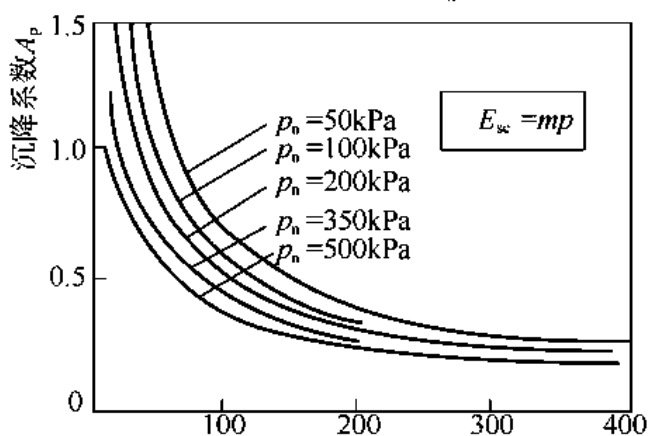
$$m_{sc} = \frac{A_p}{s} \cdot \frac{p - p'_0}{p_a} D_{sc} = \frac{A_p}{s} \cdot \frac{p_n}{p_a} D_{sc} \quad (49.4.6-2)$$

式中： E_{sc} ——螺旋板试验土的变形模量(kPa)；

- m_{sc} ——变形模量系数,对正常饱和黏土一般为 5~50;
 p_n ——标准压力,取 100kPa;
 p ——单位压力(kPa),取直线段内任一压力值;
 a_p ——应力指数,超固结饱和土取 1,砂与粉土取 1/2,正常固结饱和黏土,取 $a=0$;
 A_p ——无量纲沉降系数,与 p_0 、 p_n 有关,查图 49.4.6 确定;
 s ——对应于施加压力的沉降量(cm);
 p'_0 ——原位有效自重压力(kPa);
 D_{sc} ——螺旋承压板直径(cm)。



(a)有效自重压力 p_0 (kPa)



(b)有效自重压力 p_0 (kPa)

图 49.4.6 沉降系数 A_p 值

49.4.7 径向固结系数应按下列式估算：

$$C_h = T_{90} \frac{R_{sc}^2}{t_{90}} = 0.335 \frac{R_{sc}^2}{t_{90}} \quad (49.4.7)$$

式中： C_h ——径向固结系数(cm^2/s)；

T_{90} ——相应于 90%固结度的时间因数， $T_{90}=0.335$ ；

R_{sc} ——螺旋承压板半径(cm)；

t_{90} ——固结度达 90%的所需时间(s)。

49.4.8 螺旋板载荷试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.83 的规定。

50 波速试验

50.1 一般规定

50.1.1 波速试验分跨孔法、单孔波速法(检层法)和面波法。

50.1.2 跨孔法以一孔为激振孔,另布置 2 孔或 3 孔作检波孔,测定直达的压缩波初至和第一个直达剪切波的到达时间,计算传播速度。常用于多层体系地层中。

50.1.3 单孔波速法是在同一孔中,在孔口设置振源,孔内不同深度处放置检波器,测出孔口振源所产生的波传到孔内不同深度处所需的时间,计算传播速度。常用于地层软硬变化大和层次较少或岩基上为覆盖层的地层中。

50.1.4 面波法,本试验采用稳态振动法。测定不同激振频率下瑞利波(R 波)速度弥散曲线(即 R 波波速与波长关系曲线),可以计算一个波长范围内的平均波速。

50.2 仪器设备

50.2.1 本试验所用的主要仪器设备由激振器、检波器、放大器、记录器、测斜仪、零时触发器和套管组成。

50.2.2 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定:

1 激振器:可采用机械震源、电火花等,但主要是采用能正反向重复激振的井下剪切波锤。面波法采用电磁式或机械式激振器;

2 检波器:采用三分量检波器,其谐振频率一般为 8Hz~27Hz,检波器必须置于密封防水的无磁性圆筒内;

3 放大器:采用低噪声多通道放大器,噪声水平应低于 2 μ V,相位一致性偏差应小于 0.1ms,并配有可调的增益装置,电

压增益应大于 80dB,不应采用信号滤波装置;

4 记录器:可采用各种型号的示波记录器或多通道工程地震仪,记录最大允许误差应为 1ms~2ms;

5 测斜仪:应能测量 $0^{\circ}\sim 360^{\circ}$ 的方位角及 $0^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 的倾角,倾角测量允许差值应为 0.1° ;

6 零时触发器:采用压电晶体触发器或机械触发装置,其升压时间延迟应不大于 0.1ms;

7 套管:内径为 76mm~85mm,壁厚为 6mm~7mm 的硬聚氯乙烯塑料管。

50.3 操作步骤

50.3.1 跨孔波速法试验应按下列步骤进行:

1 试验孔布置(图 50.3.1)应符合下列规定:

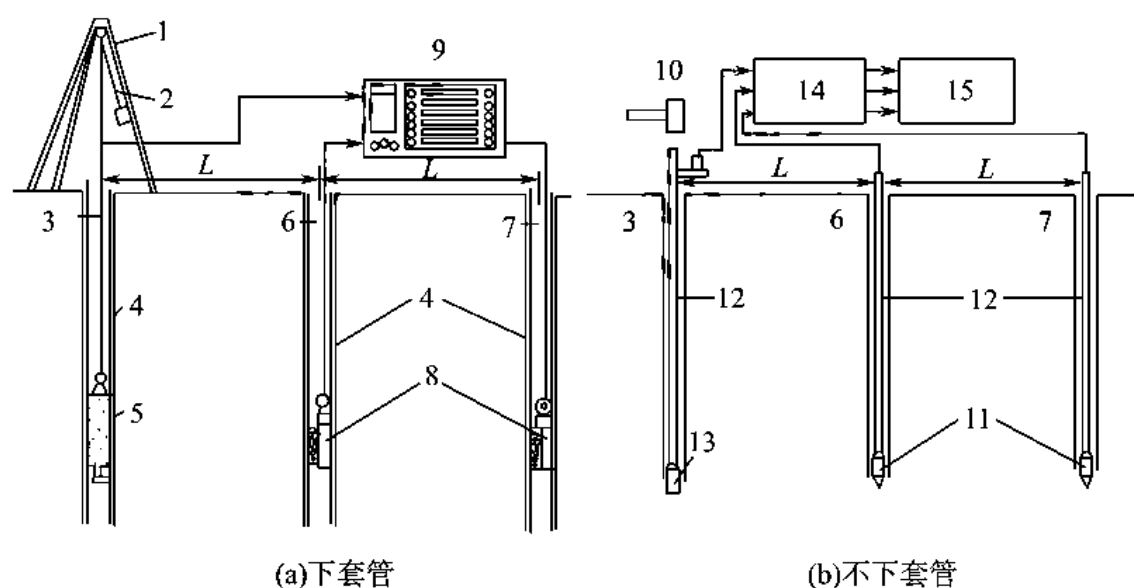


图 50.3.1 试验布置图

1—三脚架;2—绞车;3—震源孔;4—套管;5—井下剪切波锤;6—接收孔 1;
7 接收孔 2;8 井下检波器;9 信号增强地震仪;10 锤子;11 检波器;
12—钻杆;13—取土器;14—测震放大器;15—振子示波器

1)振源孔和测试孔应布置在一条直线上,试验孔应尽量布

置在地表高程相差不大的地段,若地表起伏较大,必须准确测量孔口高程;

2) 一组试验布置 3 孔,试验孔的间距,在土层中宜取 2m~5m,在岩层中宜取 8m~15m,测点垂直间距宜取 1m~2m,近地表测点宜布置在 2/5 孔距的深处,振源和检波器应置于同一地层的相同标高处,并绘制钻孔柱状图。在保证直达波首先到达检波器的前提下,孔距可根据地层厚度、测试要求适当调整。

2 先将一组试验孔一次全部钻好,接着在孔内安置好塑料套管,并在孔壁与套管的间隙内灌浆或用砂充填。

3 灌浆前按照 1:1:6.25 的比例将水泥、膨润土和水搅拌成混合物。然后采用移动式循环高压泥浆泵,通过放到孔底的灌浆管,从孔底向上灌浆,直到灌满孔壁与套管的间隙,并测定孔口溢流出的泥浆浓度(或密度)与预先搅拌的泥浆浓度(或密度)相等为止。

4 待灌浆或填砂后 3d~6d,方可进行测试。

5 为准确地算出各测点的直达波传播距离,当测试孔深度大于 15m 时,应进行激振孔和测试孔倾斜度和倾斜方位的量测,测点间距宜取 1m。

6 将井下剪切波锤利用气囊,或用弹簧、机械扩展装置等方法固定。然后拉动上、下质量块,上、下冲击固定锤体,使土层水平向产生 S 波,用放入孔内贴壁式三分量检波器由上往下逐点测量。从孔口往下 2/5 孔距处为第 1 个测点,然后以 1m~2m 的间距连续测量。每个地层一般要有 2 个~5 个测点,每个测点需测量 2 次~4 次。每次测试时,振源中心和检波器中心须在同一高程上。

7 当用几台钻机分段钻进时,待钻至预定测试深度后,提出钻机,将振源装置和检波器分别放入各钻孔底,进行测试。采用此方法时,为确保振源装置和检波器顺利放到所测深度处,孔底残余扰动土应小于 10cm 厚,否则应重新清除孔底浮土。

50.3.2 单孔波速法试验应按下列步骤进行:

1 在所选定的试验点沿垂直向进行钻孔,并绘制钻孔柱状图,将三分量检波器固定在孔内预定深度出,并紧贴孔壁;

2 可采用地面激振动或孔内激振,进行孔内激振时,在距孔口 $1.0\text{m}\sim 3.0\text{m}$ 处放一长度为 $2\text{m}\sim 3\text{m}$ 的混凝土板或木板,木板上应放置约 500kg 的重物,用锤沿板纵轴从两个相反方向水平敲击板端,使地层产生水平剪切波;

3 将检波器用气囊,或用弹簧、机械扩展装置等方法固定在孔内不同深度接受剪切波;

4 应结合土层布置测点,测点垂直间距宜取 $1\text{m}\sim 3\text{m}$,层位变化处加密,测试应自下而上进行,每个试验点,试验次数不应小于 3 次。

50.3.3 稳态振动面波法试验应按下列步骤进行:

1 选择试验场地,并进行整平;

2 可采用瞬态法或稳定法,宜采用低频检波器,间距可根据场地条件通过试验确定,以振源作为测线零点,在振源一边布置 2 个或 3 个检波器(图 50.3.3);

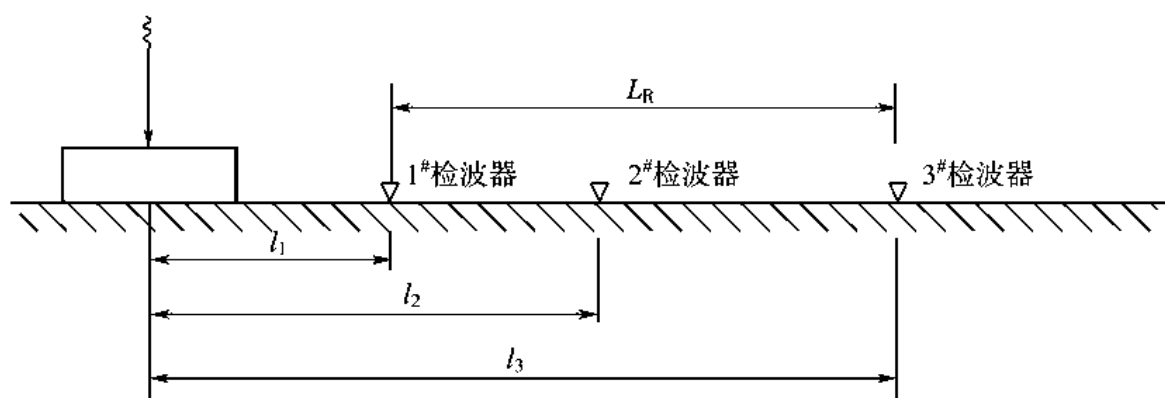


图 50.3.3 面波法(稳定振动)布置图

3 选择适合的激振频率,开启激振器,由拾振器接受瑞利波;

4 当两检波器接收到的振动波有相位差时,表明两检波器的间距 Δl 不等于瑞利波波长 L_R ,因此,移动其中任一检波器,使两检波器记录的波形同相位(2π),然后在同一频率下,移动检波器

至 2 个波长或 3 个波长处, $l = L_R, 2L_R, 3L_R \dots$ 进行测试。试验应重复多次, 一般 5 组即可。

50.4 计算、制图和记录

50.4.1 波形识别按下列规定进行:

1 在各测点的原始波形记录上识别出压缩波(P波)序列和剪切波(S波)序列, 第 1 个起跳点即为压缩波的初至。然后, 根据下列特征识别出第 1 个剪切波的到达点:

2 波幅突然增至压缩波幅 2 倍以上, 如图 50.4.1(a)所示;

3 周期比压缩波周期至少增加 2 倍以上, 如图 50.4.1(b)所示;

4 若采用井下剪切波锤作振源, 一般压缩波的初至极性不发生变化, 而第一个剪切波到达点的极性产生 180° 的改变, 所以, 极性波的交点即为第一个剪切波的到达点[图 50.4.1(c)]。

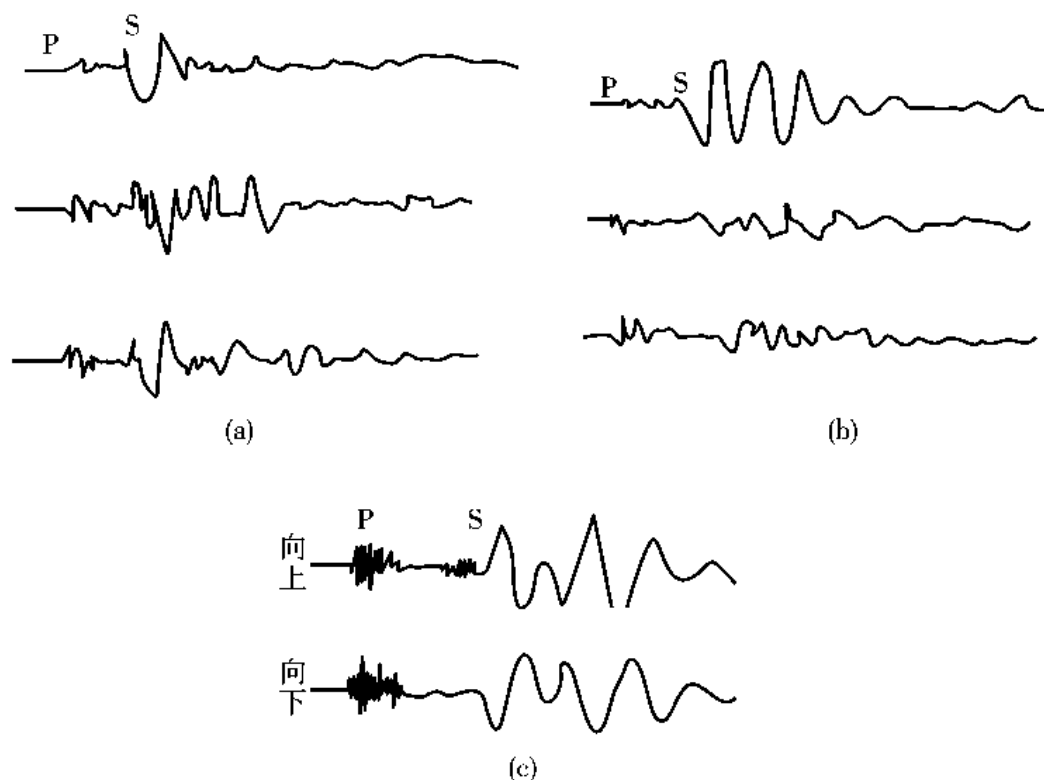


图 50.4.1 P波、S波的识别

50.4.2 应正确计算激振点与检波点之间的距离,对跨孔法,如孔有偏斜,应对孔距进行校准。

50.4.3 压缩波、剪切波和瑞利波的传播速度应按下列公式计算,其最大允许误差应为 $\pm 5\%$;

$$v_P = \frac{L_P}{t_P} \quad (50.4.3-1)$$

$$v_S = \frac{L_S}{t_S} \quad (50.4.3-2)$$

$$v_R = \frac{L_R}{t_R} = \frac{L_R}{\frac{2\pi}{\omega}} = L_R f \quad (50.4.3-3)$$

式中: v_P 、 v_S 、 v_R ——压缩波、剪切波和瑞利波的波速(m/s);

L_P 、 L_S 、 L_R ——压缩波、剪切波和瑞利波的传播距离(激振点与检波点的距离)(m);

t_P 、 t_S 、 t_R ——各波从激振点传至检波点所需的时间(s);

ω ——简谱波的圆频率(rad/s);

f ——激振频率(s^{-1})。

50.4.4 动剪切模量、动弹性模量和泊松比应按下列公式计算:

$$G_d = \rho v_S^2 \quad (50.4.4-1)$$

$$E_d = \frac{\rho v_S^2 (3v_P^2 - 4v_S^2)}{v_P^2 - v_S^2} \quad (50.4.4-2)$$

或

$$E_d = 2\rho v_S^2 (1 + \mu_d) \quad (50.4.4-3)$$

$$E_d = \frac{\rho v_P^2 (1 + \mu_d) (1 - 2\mu_d)}{1 - \mu_d} \quad (50.4.4-4)$$

$$\mu_d = \left[\left(\frac{v_P}{v_S} \right)^2 - 2 \right] / \left[2 \left(\frac{v_P}{v_S} \right)^2 - 2 \right] \quad (50.4.4-5)$$

式中: G_d ——地层的动剪切模量(kPa);

v_S ——地层的剪切波波速(m/s);

v_P ——地层的压缩波波速(m/s);

E_d ——地层的动弹性模量(kPa);

μ_d ——地层的动泊松比。

50.4.5 根据整理和计算的数据,以深度为纵坐标,压缩波波速、剪切波速、动剪切模量、动弹性模量为横坐标,绘出 v_P 、 v_S 、 G_d 、 E_d 值与深度变化的关系曲线。

50.4.6 波速试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 84、表 D. 85 的规定。

51 化学分析试样风干含水率试验

51.1 一般规定

51.1.1 土样为除有机质含量较高以及含石膏较多的土之外的各种土。

51.1.2 本试验方法所用试样应为风干试样。

51.2 仪器设备

51.2.1 电子天平称量应为 200g,分度值应为 0.001g。

51.2.2 本试验所用的其他仪器设备应符合下列规定:

- 1 烘箱:附温度控制装置;
- 2 铝盒或水分皿;
- 3 干燥器,盛有氯化钙或其他干燥剂。

51.3 操作步骤

51.3.1 将洁净的铝盒置于 105℃~110℃的烘箱中烘焙 3h~4h,取出,置于干燥器中冷却至室温,用电子天平称量。如此反复操作,直至恒量为止,恒量稳定标准为前后两次质量相差不大于 0.001g。记下铝盒质量。

51.3.2 将风干试样 2g~3g 放入上述称量过的铝盒中,用电子天平称量,准确至 0.001g。

51.3.3 将盛有试样的铝盒置于烘箱中,敞开铝盒,在 105℃~110℃下烘焙 6h~8h。

51.3.4 取出铝盒,将盒盖盖好,放在干燥器中冷却至室温,立即称量。

51.3.5 再将铝盒放在烘箱中,敞开铝盒,在 105℃~110℃下烘

焙 3h~4h,取出铝盒,将盒盖好,放在干燥器中冷却至室温,立即称量。如此反复操作直至恒量为止,记下质量。

51.4 计算和记录

51.4.1 风干土含水率应按下式计算:

$$w_0 = \left(\frac{m_0}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (51.4.1)$$

式中: w_0 ——风干土含水率(%);

m_0 ——风干试样质量(g)。

51.4.2 风干土含水率结果应计算至 0.01%,平行试验最大允许差值应为±0.5%,试验结果取其算术平均值。

51.4.3 化学分析试样风干含水率试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.86 的规定。

52 酸碱度试验

52.1 一般规定

52.1.1 土样为各种土类。

52.1.2 本试验方法采用电位法测定。

52.2 仪器设备和试剂

52.2.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

- 1 酸度计(pH 计):附玻璃电极、甘汞电极或复合电极;
- 2 天平:称量 200g,分度值 0.01g;
- 3 电动振荡器;
- 4 容量瓶;
- 5 广口瓶;
- 6 烧杯;
- 7 定性滤纸;
- 8 温度计。

52.2.2 本试验所用的试剂应符合下列规定：

1 邻苯二甲酸盐标准缓冲溶液($\text{pH}=4.01$):称取在温度 $105^{\circ}\text{C}\sim 110^{\circ}\text{C}$ 下经 2h~3h 烘干恒重的邻苯二甲酸氢钾($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_6$) 10.21g,用无二氧化碳纯水溶解后,移至 1000mL 容量瓶中,稀释至刻度,摇匀。

2 磷酸盐标准缓冲溶液($\text{pH}=6.87$):称取在温度 $105^{\circ}\text{C}\sim 110^{\circ}\text{C}$ 下经 2h~3h 烘干恒重的磷酸氢二钠(Na_2HPO_4) 3.53g 和磷酸二氢钾(KH_2PO_4) 3.39g,用无二氧化碳纯水溶解后,移至 1000mL 容量瓶中,稀释至刻度,摇匀。

3 硼酸盐标准缓冲溶液($\text{pH}=9.18$):称取硼砂($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)

3. 80g,用无二氧化碳纯水溶解后,移至 1000mL 容量瓶中,稀释至刻度,摇匀,转入密闭的塑料瓶中保存。此溶液保存使用期不宜超过 2 个月,若出现发霉、浑浊,不宜使用。

4 饱和氯化钾(KCl)溶液:向适量纯水中加入氯化钾,边加边搅拌,直至不溶解为止。

52.3 操作步骤和记录

52.3.1 土悬液制备应称取通过 2mm 筛的风干试样 10g,置于 100mL 广口瓶中,加 50mL 无二氧化碳纯水(土水比为 1:5)。在振荡器上振荡 3min,静止 30min,待测。

52.3.2 将少许土悬液盛于小烧杯中,将酸度计上的玻璃电极和甘汞电极(或复合电极)插入杯中,轻轻摇动烧杯,使土悬液均匀接触电极 2min~3min,弃去。如此反复用土悬液洗涤 1 次~2 次。再取土悬液按仪器说明书测定 pH 值,准确至 0.01。同时测定土悬液温度,进行温度补偿。两次平行最大允许误差应为 ± 0.1 。

52.3.3 测量完毕,关闭电源,用纯净水洗净电极,并用滤纸吸干电极表面的水分或将玻璃电极浸泡在饱和氯化钾溶液中。

52.3.4 酸碱度试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.87 的规定。

53 易溶盐试验

53.1 一般规定

53.1.1 土样为各种土类。

53.1.2 本试验方法所用试样应为风干试样。

53.2 浸出液制取

53.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

- 1 过滤设备：包括真空泵、平底瓷漏斗、抽滤瓶；
- 2 离心机：转速为 10000r/min；
- 3 天平：称量 200g，分度值 0.01g；
- 4 其他：广口瓶、细颈瓶等、微孔滤膜。

53.2.2 浸出液制取法试验应按下列步骤进行：

1 称取 2mm 筛下风干试样 50g~150g(视土中含盐量和分析项目而定)，准确至 0.01g。置于广口瓶，按土水比例 1：5 加入纯水，振荡 3min，抽气过滤；另取试样 3g~5g，按本标准第 51.3.1 条~第 51.3.5 条的规定测定风干含水率；

2 将滤纸用纯水浸湿后贴在漏斗底部，漏斗装在抽滤瓶上，连通真空泵抽气，使滤纸与漏斗贴紧，将振荡后的土悬液摇匀，倾入漏斗中抽气过滤；

3 当发现滤液混浊时，需重新过滤。经反复过滤仍然浑浊，应用离心机分离，或用微孔滤膜过滤。所得的透明滤液即为土的浸出液，贮于细口瓶中供分析用。

53.3 易溶盐总量测定(质量法)

53.3.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

- 1 分析天平:称量 200g,分度值 0.0001g;
- 2 烘箱:附温度控制装置;
- 3 其他:水浴锅、蒸发皿、表面皿、移液管、干燥器。

53.3.2 本试验所用的试剂应符合下列规定:

- 1 15%双氧水(化学纯);
- 2 2%碳酸钠(Na_2CO_3)溶液。

53.3.3 易溶盐总量测定试验应按下列步骤进行:

1 用移液管吸取浸出液 50mL~100mL 注入已恒量的蒸发皿中,放在水浴锅上蒸干;当蒸干残渣中呈现黄褐色时,表明残渣含有有机质,加入少量 15%双氧水,继续在水浴上加热,反复处理至残渣发白,以完全除去有机质;

2 将蒸发皿放入烘箱,在温度 $105^\circ\text{C}\sim 110^\circ\text{C}$ 下烘干 4h~8h,取出后放入干燥器中冷却,称蒸发皿加试样的总质量,反复进行至两次质量差值不大于 0.0001g;

3 当浸出液蒸干残渣中含有大量结晶水时,将使测得的易溶盐含量偏高,遇此情况,可用两个蒸发皿,一个加浸出液 50mL,另一个加纯水 50mL,然后各加等量 2%碳酸钠溶液,搅拌均匀后按上述的规定操作,烘干温度改为 180°C 。

53.3.4 易溶盐含量应按下列公式计算,计算至 $0.1\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,平行最大允许差值应为 $\pm 0.2\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$,取算术平均值。

- 1 未经 2%碳酸钠溶液处理的易溶盐含量应按下式计算:

$$\omega(\text{易溶盐}) = \frac{(m_{mz} - m_m) \frac{V_w}{V_{x1}}}{m_d \times 10^{-3}} \quad (53.3.4-1)$$

式中: $\omega(\text{易溶盐})$ ——易溶盐含量($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$);

m_{mz} ——蒸发皿加烘干残渣质量(g);

m_m ——蒸发皿质量(g);

V_w ——制取浸出液所加纯水量(mL);

V_{x1} ——吸取浸出液量(mL)。

2 经 2% 碳酸钠处理后的易溶盐含量应按下式计算:

$$\omega(\text{易溶盐}) = \frac{V_w(m_{z1} - m_z)}{V_{x1}m_d \times 10^{-3}} \quad (53.3.4-2)$$

式中: m_{z1} ——蒸干后试样加碳酸钠质量(g);

m_z ——蒸干后碳酸钠质量(g)。

53.3.5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 88 的规定。

53.4 碳酸根(CO_3^{2-})及重碳酸根(HCO_3^-)的测定 (双指示剂中和滴定法)

53.4.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

- 1 酸式滴定管:容量为 25mL,分度值为 0.1mL;
- 2 分析天平:称量 200g,分度值 0.0001g;
- 3 其他:容量瓶、蒸发皿、烘箱等。

53.4.2 本试验所用的试剂应符合下列规定:

- 1 0.1% 甲基橙指示剂:称 0.1g 甲基橙溶于 100mL 纯水中;
- 2 0.5% 酚酞指示剂:称 0.5g 酚酞溶于 50mL 95% 的酒精中,用纯水稀释至 100mL;
- 3 硫酸(H_2SO_4)标准溶液:将 3mL 浓硫酸加入 1000mL 纯水,然后稀释至 5000mL。

53.4.3 硫酸(H_2SO_4)标准溶液的标定应取在温度 $160^\circ\text{C} \sim 180^\circ\text{C}$ 下烘干 2h~4h 的无水碳酸钠(Na_2CO_3)3 份,每份 0.1g(准确至 0.0001g)。放入 3 个锥形瓶中,注入 20mL~30mL 纯水,加 0.1% 甲基橙指示剂 2 滴,用配制好的硫酸标准溶液滴定至溶液由黄色变为橙色为止。记下硫酸标准溶液用量。硫酸标准溶液的浓度应按下式计算,计算准确至 $0.0001\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$,取 3 个结果的算术平均值作为硫酸标准溶液的浓度:

$$C\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right) = m_{\text{hl}} / (V_{\text{hbl}} \times 0.053) \quad (53.4.3)$$

式中： $C\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ ——硫酸标准溶液的浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)；

m_{h1} ——碳酸钠的用量(g)；

V_{hb1} ——硫酸标准溶液的用量(mL)；

0.053 碳酸钠 $\left(\frac{1}{2}\text{Na}_2\text{CO}_3\right)$ 摩尔质量($\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$)。

53.4.4 碳酸根(CO_3^{2-})及重碳酸根(HCO_3^-)的测定试验应按下列步骤进行：

1 用移液管吸取土浸出液 25mL，注入锥形瓶中，加 0.5% 酚酞指示剂 2 滴~3 滴，如试液不显红色，表示无碳酸根(CO_3^{2-})存在；当试液显红色时，用硫酸标准溶液滴定至呈淡红色为止，记下硫酸标准溶液的用量，准确至 0.01mL；

2 在试液中加入 0.1% 甲基橙指示剂 1 滴~2 滴，继续用硫酸标准溶液滴定至试液由黄色变为橙色为止，记下硫酸标准溶液用量，准确至 0.05mL；

3 滴定后的试液，可作测定氯离子(Cl^-)用。

53.4.5 碳酸根的含量按下列公式计算，计算准确至 $0.001\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 或 $0.01\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，平行最大允许误差应为 $\pm 0.015\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 或 $\pm 0.25\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ，取算术平均值：

$$b\left(\frac{1}{2}\text{CO}_3^{2-}\right) = \frac{2V_{\text{hb2}}C\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)\frac{V_w}{V_{x2}}}{m_d \times 10^{-3}} \quad (53.4.5-1)$$

$$\omega(\text{CO}_3^{2-}) = 0.030 \times b(\text{CO}_3^{2-}) \quad (53.4.5-2)$$

式中： $b\left(\frac{1}{2}\text{CO}_3^{2-}\right)$ ——碳酸根的质量摩尔浓度($\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)；

$\omega(\text{CO}_3^{2-})$ ——碳酸根含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)；

V_{hb2} ——酚酞指示剂达到终点时消耗硫酸标准溶液的量(mL)，此时碳酸盐只是半中和；

V_w ——制浸出液加纯水量(mL)；

V_{x2} ——试验时吸取土浸出液量(mL)；

$C\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ ——硫酸标准溶液的浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$);

0.030——碳酸根 $\left(\frac{1}{2}\text{CO}_3^{2-}\right)$ 的摩尔质量($\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$)。

53.4.6 重碳酸根的含量按下列公式计算,计算准确至 $0.001\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 或 $0.01\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$,平行最大允许误差应为 $\pm 0.02\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 或 $\pm 0.3\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$,取算术平均值:

$$b(\text{HCO}_3^-) = \frac{(V_{\text{hb3}} - 2V_{\text{hb2}})C\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)\frac{V_w}{V_{x2}}}{m_d \times 10^{-3}} \quad (53.4.6-1)$$

$$\omega(\text{HCO}_3^-) = 0.061b(\text{HCO}_3^-) \quad (53.4.6-2)$$

式中: $b(\text{HCO}_3^-)$ ——重碳酸根的质量摩尔浓度($\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$);

$\omega(\text{HCO}_3^-)$ ——重碳酸根含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$);

V_{hb3} 甲基橙为指示剂滴定时的硫酸标准溶液用量
(mL);

0.061——重碳酸根的摩尔质量($\text{g} \cdot \text{mmol}^{-1}$)。

53.4.7 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.89 的规定。

53.5 氯离子(Cl^-)的测定(硝酸银滴定法)

53.5.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定:

- 1 酸式滴定管、试剂瓶、细口瓶均为棕色;
- 2 分析天平:称量 200g,分度值 0.0001g;
- 3 其他:容量瓶、蒸发皿、烘箱等。

53.5.2 本试验所用的试剂应符合下列规定:

1 5%铬酸钾(K_2CrO_4)指示剂:取 5g 铬酸钾溶于大约 75mL 纯水中,逐滴加入硝酸银(AgNO_3)标准溶液至略有砖红色沉淀为止。放置 24h 后过滤,将滤液稀释至 100mL,贮于棕色瓶中,备用。

2 浓度为 $0.02\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 重碳酸钠 (NaHCO_3) 溶液:称取 1.7g 重碳酸钠,溶于纯水中,稀释至 1000mL。

3 浓度为 $0.02\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硝酸银 (AgNO_3) 标准溶液:准确称取经 $105^\circ\text{C} \sim 110^\circ\text{C}$ 烘干的分析纯硝酸银 3.3974g,溶解于纯水中,倒入 1000mL 容量瓶,用纯水稀释定容,贮于棕色细口瓶中。

53.5.3 氯离子 (Cl^-) 测定试验应按下列步骤进行:

1 用滴定碳酸盐和重碳酸盐以后的溶液继续滴定 Cl^- 。如果不用这个溶液,另取 25mL 土浸出液,加入甲基橙指示剂,逐滴加入浓度为 $0.02\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 重碳酸钠溶液至试液变为纯黄色,酸碱度控制为 7。再加入 5% 铬酸钾指示剂 5 滴~6 滴。用硝酸银标准溶液滴定,直至生成砖红色沉淀,记下硝酸银标准溶液用量。

2 用移液管吸取 25mL 纯水,应按本标准第 53.4.3 条 1 款的规定进行空白试验,记下硝酸银标准溶液用量。

53.5.4 氯根的含量按下列公式计算,计算准确至 $0.001\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 或 $0.01\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$,平行最大允许差值应为 $\pm 0.005\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 或 $0.1\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$,取算术平均值:

$$b(\text{Cl}^-) = \frac{C(\text{AgNO}_3)(V_{\text{hb4}} - V_{\text{hb5}}) \frac{V_w}{V_{x2}}}{m_d \times 10^{-3}} \quad (53.5.4-1)$$

$$\omega(\text{Cl}^-) = 0.0355b(\text{Cl}^-) \quad (53.5.4-2)$$

式中: $b(\text{Cl}^-)$ ——氯根的质量摩尔浓度 ($\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$);

$C(\text{AgNO}_3)$ ——硝酸银标准溶液浓度 ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$);

V_{hb4} ——滴定试样时硝酸银标准溶液用量 (mL);

V_{hb5} ——空白试验中硝酸银标准溶液用量 (mL);

$\omega(\text{Cl}^-)$ ——氯根含量 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$);

0.0355——氯离子的摩尔质量 ($\text{g} \cdot \text{mmol}^{-1}$);

10^{-3} ——将 g 换算成 kg 的因数。

53.5.5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.90 的规定。

53.6 硫酸根(SO_4^{2-})的测定(EDTA 络合滴定法或比浊法)

53.6.1 硫酸根的测定应根据硫酸根含量的估测结果选用下列方法:

- 1 EDTA 络合滴定法适用于常量分析;
- 2 比浊法适用于硫酸根含量小于 $50\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。

53.6.2 硫酸根含量的估测应符合下列规定:

- 1 5%氯化钡(BaCl_2)溶液:5g 氯化钡溶于 95mL 纯水。
- 2 硫酸根含量的估测应按下列步骤进行:
 - 1)取土浸出液 5mL 注入试管,加入 1:1 盐酸 2 滴,5%氯化钡溶液 5 滴摇匀。按溶液混浊程度查表 53.6.2 估测硫酸根的含量。当含量不小于 $50\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,用 EDTA 络合滴定法;当含量小于 $50\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,用比浊法;
 - 2)硫酸根含量测定时,吸取土浸出液体积和钡镁混合剂用量应查表 53.6.2 确定。

表 53.6.2 硫酸根测定方法选择与试剂用量表

加氯化钡后溶液 浑浊情况	硫酸根含量 ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)	测定方法	吸取土浸出液体积 (mL)	钡镁混合剂 (mL)
数分钟后微浑浊	<10	比浊法		
立即呈微浑浊	25~50	比浊法	—	—
立即浑浊	50~100	EDTA 法	25	4~5
立即沉淀	100~200	EDTA 法	25	8
立即大量沉淀	>200	EDTA 法	10	10~12

53.6.3 EDTA 间接络合滴定法应按下规定进行:

- 1 EDTA 络合滴定法所用的主要仪器设备应符合本标准第 53.2.1 条第 1 款~第 3 款的规定,但需增加电炉。
- 2 试剂应符合下列规定:
 - 1)1:4 盐酸溶液:将浓盐酸 10mL 与 40mL 纯水混匀;

- 2) 钡镁混合剂: 将 1.22g 氯化钡($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)和 1.02g 氯化镁($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$)溶于水中, 稀释至 500mL, 溶液中钡、镁(Ba^{2+} 、 Mg^{2+})离子浓度为 $0.01\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 每毫升约沉淀硫酸根(SO_4^{2-})1mg;
- 3) 氨缓冲溶液($\text{pH}=10$): 将 67.50g 氯化铵(NH_4Cl)溶于 300mL 纯水中, 加入氨水 570mL, 用纯水稀释至 1000mL, 贮于塑料瓶中;
- 4) 铬黑 T 指示剂: 将 0.5g 铬黑 T 和 100g 烘干氯化钠(NaCl)混合, 磨细拌匀, 贮于棕色瓶中, 并放入干燥器中;
- 5) 酒精: 浓度为 95%;
- 6) 钙(Ca^{2+})标准溶液: 准确称取在 $105^\circ\text{C} \sim 110^\circ\text{C}$ 下烘干 4h~6h 的分析纯 CaCO_3 0.5004g, 溶于 25mL $0.5\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸溶液中, 煮沸除去 CO_2 , 用无 CO_2 的纯水洗入 500mL 容量瓶, 并稀释至刻度。此溶液浓度为 $0.01\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$;
- 7) 浓度为 $0.01\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ EDTA 标准溶液: 称取乙二胺四乙酸二钠 3.720g 溶于无 CO_2 的纯水中, 微热溶解, 冷却后定容至 1000mL。用钙标准溶液标定。

3 标准溶液的标定应符合下列规定:

- 1) 浓度为 $0.01\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ EDTA 标准溶液的标定应用移液管吸取 3 份浓度为 $0.01\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 钙标准溶液, 每份 20mL, 分别注入 3 个锥形瓶中, 加纯水至 50mL, 加氨缓冲溶液 10mL, 铬黑 T 指示剂少许, 95% 酒精 5mL, 用 EDTA 标准溶液滴定, 使溶液由红色变为亮蓝色为止, 记下用量;
- 2) EDTA 标准溶液的浓度应按下式计算, 计算至 $0.0001\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$, 取 3 个标定值的算术平均值:

$$C(\text{EDTA}) = V_c \frac{C(\text{Ca}^{2+})}{V_E} \quad (53.6.3-1)$$

式中: $C(\text{EDTA})$ ——EDTA 标准溶液的浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$);

V_{c} ——钙标准溶液的用量(mL);

$C(\text{Ca}^{2+})$ ——钙标准溶液的浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$);

V_{E} ——EDTA 标准溶液的用量(mL)。

4 EDTA 间接络合滴定法试验应按下列步骤进行:

1) 参考表 53. 6. 2 的规定, 用移液管吸取土浸出液放入 150mL 三角瓶中, 稀释成 25mL, 加入 1 : 4 的盐酸溶液 8 滴, 并煮沸除去二氧化碳。按表 53. 6. 2 的规定用滴定管缓慢加入钡镁合剂, 边加边摇动。再煮沸 5min, 冷却后静置 2h。加入氨缓冲溶液 10mL 摇匀, 再加入铬黑 T 指示剂少许, 95% 酒精 5mL, 摇匀。用 EDTA 标准溶液滴定, 当溶液呈紫色时, 摇动 0. 5min ~ 1min, 继续滴定至试液变为亮蓝色为止。记下 EDTA 标准溶液用量, 准确至 0. 01mL;

2) 另取锥形瓶进行空白试验。用移液管吸取 25mL 纯水放入 150mL 三角瓶中, 加入 1 : 4 的盐酸溶液 8 滴, 加入 10mL 钡镁合剂、10mL 氨缓冲溶液、少许铬黑 T 指示剂, 95% 酒精 5mL, 摇匀。再用 EDTA 标准溶液滴定至空白试液由红色变为亮蓝色为止。记下 EDTA 标准溶液用量。

5 钡镁混合液浓度应按下式计算, 计算至 $0.0001\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$:

$$C(\text{Ba} + \text{Mg}) = V_{\text{E}} \frac{C(\text{EDTA})}{10} \quad (53. 6. 3-2)$$

式中: $C(\text{Ba} + \text{Mg})$ ——钡镁混合液浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$);

$C(\text{EDTA})$ ——EDTA 标准溶液浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)。

6 硫酸根(SO_4^{2-})的含量按下列公式计算, 计算至 $0.001\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 或 $0.01\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平行最大允许误差应为 $\pm 0.025\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 或 $\pm 0.25\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$, 取算术平均值:

$$b\left(\frac{1}{2}\text{SO}_4^{2-}\right) = \frac{[C(\text{Ba} + \text{Mg})V_B - (V_E - V_{E0})C(\text{EDTA})] \frac{V_w}{V_{x2}} \times 2}{m_d \times 10^{-3}} \quad (53.6.3-3)$$

$$\omega(\text{SO}_4^{2-}) = 0.048b\left(\frac{1}{2}\text{SO}_4^{2-}\right) \quad (53.6.3-4)$$

式中： $b\left(\frac{1}{2}\text{SO}_4^{2-}\right)$ ——硫酸根的质量摩尔浓度($\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)；

$\omega(\text{SO}_4^{2-})$ ——硫酸根含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)；

$C(\text{Ba} + \text{Mg})$ ——钡镁混合液浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)；

V_B ——加入钡镁混合剂量(mL)；

V_{E0} ——消耗于与测硫酸根时体积相同的土浸出液中钙离子和镁离子的 EDTA 标准溶液的滴定量(mL)；

$C(\text{EDTA})$ ——EDTA 标准溶液的浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)；

0.048——硫酸根的摩尔质量($\text{g} \cdot \text{mmol}^{-1}$)。

7 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 91、表 D. 92 的规定。

53.6.4 比浊法应按下列规定进行：

1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

- 1) 磁力搅拌器，秒表；
- 2) 光电比色计或分光光度计；
- 3) 量匙：容量为 0.2mL~0.3mL；
- 4) 其他：移液管、容量瓶、烧杯等。

2 试剂应符合下列规定：

- 1) 悬浊液稳定剂：将浓盐酸 30mL，95% 的酒精 100mL，纯水 300mL，氯化钠(NaCl)75g 的溶液与 50mL 甘油混合；
- 2) 结晶氯化钡(BaCl_2)：将氯化钡结晶过筛，取粒径在 0.25mm~0.5mm 之间的结晶备用；
- 3) 硫酸根(SO_4^{2-})标准溶液：称取在温度 105℃~110℃下烘干

的无水硫酸钠(Na_2SO_4) 0.1479g,溶于纯水中,倒入 1000mL 容量瓶中定容。此溶液中硫酸根含量为 $0.1\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 。

3 比浊法试验应按下列步骤进行:

- 1) 用移液管吸取土浸出液 25mL(当硫酸根含量大于 $4\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时应减少土浸出液用量并稀释至 25mL),放入 50mL 烧杯中。准确加入悬浊液稳定剂 1mL 和一量匙氯化钡结晶(1.0g),用磁力搅拌器搅拌 1min,将上述悬浊液在 15min 内于 420nm 或 480 nm 下进行比浊,以同一土浸出液(25mL 中加 1mL 稳定剂,不加氯化钡结晶),调节比色(浊)计吸收值“0”点,或测读吸收值后在土样浊液吸收值中减去,从工作曲线上查得比浊液中硫酸根含量($\text{mg} \cdot 25\text{mL}^{-1}$)。记录测定时的室温;
- 2) 工作曲线的绘制:用移液管分别准确吸取硫酸根标准溶液 0mL、1mL、2mL、4mL、6mL、8mL、10mL 倒入 25mL 容量瓶中,加水定容,即成硫酸根含量为 0mL、0.1mL、0.2mL、0.4mL、0.6mL、0.8mL、1.0mg/25mL 的标准系列溶液。按上述与待测液相同的步骤,加悬浊稳定剂 1mL 和一量匙氯化钡结晶显浊和测读吸收值后,以硫酸根含量为纵坐标,吸收值为横坐标,绘制关系曲线。该曲线称为标准曲线,并注明试验温度。

4 硫酸根(SO_4^{2-})含量按下列公式计算:

$$\omega(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{0.001K_{\text{hl}} \frac{V_w}{V_{x1}}}{m_d \times 10^{-3}} \quad (53.6.4-1)$$

$$b\left(\frac{1}{2}\text{SO}_4^{2-}\right) = \frac{\omega(\text{SO}_4^{2-})}{0.0480} \quad (53.6.4-2)$$

式中: $\omega(\text{SO}_4^{2-})$ ——硫酸根含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$);

$b\left(\frac{1}{2}\text{SO}_4^{2-}\right)$ ——硫酸根的质量摩尔浓度($\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$);

K_{hl} ——由标准曲线查得的 25mL 浸出液中的 SO_4^{2-} 含

量(mg);

0.001 将 mg 换算成 g 的因数;

0.0480—— $\frac{1}{2}\text{SO}_4^{2-}$ 的摩尔质量($\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$)。

5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 91、表 D. 92 的规定。

53.7 钙离子(Ca^{2+})的测定(EDTA 法)

53.7.1 本试验所用的仪器设备应符合本标准第 53.4.1 条的规定。

53.7.2 本试验所用的试剂应符合下列规定:

1 试剂应符合本标准第 53.6.2 条第 2 款的规定;

2 刚果红试纸;

3 K. B 指示剂应称取 0.5g 酸性铬蓝 K、1g 萘酚绿 B 与 100g 干燥分析纯氯化钠(NaCl)研细混匀,贮于棕色瓶中,用毕即刻盖好,可长期使用。放在干燥器中保存;

4 $2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氢氧化钠(NaOH)溶液应称取 8g 氢氧化钠溶于 100mL 无二氧化碳的纯水中。

53.7.3 标准溶液标定应符合本标准第 53.6.3 条第 3 款的规定。

53.7.4 钙离子(Ca^{2+})试验应按下列步骤进行:

1 用移液管吸取土浸出液 25mL,加入 150mL 三角瓶中,放入刚果红试纸一小片。滴入 1:4 的盐酸溶液,使试纸变蓝色,煮沸除去二氧化碳。当土浸出液中碳酸根和重碳酸根含量很少,可省去此步骤;

2 冷却后,加入 $2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氢氧化钠 2mL(酸碱度控制在 12),摇匀放置 1min~2min,使镁离子沉淀完全。加入钙指示剂少许,95%酒精 5mL,用 EDTA 标准溶液滴定至试液由红色变为浅蓝色为止。记下 EDTA 标准溶液的用量,准确至 0.01mL。

53.7.5 钙离子的含量按下列公式计算,计算至 $0.001\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 或

0.01mmol · kg⁻¹, 平行最大允许差值应为 ± 0.004g · kg⁻¹ 或 0.1mmol · kg⁻¹, 取算术平均值:

$$b\left(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}\right) = \frac{C(\text{EDTA})V_{\text{El}}\frac{V_{\text{w}}}{V_{\text{x1}}}\times 2}{m_{\text{d}}\times 10^{-3}} \quad (53.7.5-1)$$

$$\omega(\text{Ca}^{2+}) = 0.020b\left(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}\right) \quad (53.7.5-2)$$

式中: $b\left(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}\right)$ ——钙离子的质量摩尔浓度(mmol · kg⁻¹);

$\omega(\text{Ca}^{2+})$ ——钙离子含量(g · kg⁻¹);

V_{El} ——滴定 Ca^{2+} 时所用的 EDTA 体积(mL);

0.020——钙离子 $\left(\frac{1}{2}\text{Ca}^{2+}\right)$ 的摩尔质量(kg · mol⁻¹)。

53.7.6 本试验记录格式应符合本标准附录 D 表 D.93 的规定。

53.8 镁离子(Mg^{2+})的测定(钙镁含量滴定法)

53.8.1 本试验所用的仪器设备应符合本标准第 53.4.1 条的规定。

53.8.2 本试验所用的试剂应符合本标准第 53.6.3 条第 2 款的规定。

53.8.3 标准溶液的标定应符合本标准第 53.6.3 条第 3 款的规定。

53.8.4 镁离子(Mg^{2+})的测定试验应按下列步骤进行:

1 用移液管吸取土浸出液 25mL, 注入三角瓶中, 加入氨缓冲溶液 5mL, 摇匀, 加铬黑 T 指示剂少许, 95%酒精 5mL, 充分摇匀。再用 EDTA 标准溶液滴定试液至亮蓝色为止, 记下 EDTA 标准溶液用量, 准确至 0.01mL;

2 用移液管吸取与本标准第 53.8.4 条第 1 款规定的等体积浸出液, 应按本标准第 53.7.4 条的规定, 滴定钙离子对 EDTA 标准溶液的用量。

53.8.5 镁离子的含量应按下列公式计算,计算准确至 $0.001\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 或 $0.01\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$,平行最大允许差值应为 $\pm 0.004\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 或 $0.15\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$,取算术平均值:

$$b\left(\frac{1}{2}\text{Mg}^{2+}\right) = \frac{C(\text{EDTA})(V_{\text{E2}} - V_{\text{E1}})\frac{V_{\text{w}}}{V_{\text{x1}}}}{m_{\text{d}} \times 10^{-3}} \quad (53.8.5-1)$$

$$\omega(\text{Mg}^{2+}) = 0.0122b\left(\frac{1}{2}\text{Mg}^{2+}\right) \quad (53.8.5-2)$$

式中: $b\left(\frac{1}{2}\text{Mg}^{2+}\right)$ ——镁离子的质量摩尔浓度($\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$);

$\omega(\text{Mg}^{2+})$ ——镁离子含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$);

V_{E2} ——滴定 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 合量时所用的 EDTA 标准溶液体积(mL);

0.0122——镁离子的摩尔质量($\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$)。

53.8.6 镁离子的测定记录格式应符合本标准附录 D 表 D.93 的规定。

53.9 钠离子(Na^+)和钾离子(K^+)的测定(火焰光度法)

53.9.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

- 1 火焰光度计或原子吸收光谱-火焰分光光度计;
- 2 分析天平:称量 100g ,分度值 0.0001g ;
- 3 其他:烧杯、容量瓶、塑料瓶、高温电炉、烘箱。

53.9.2 试剂应符合下列规定:

1 钠(Na^+)标准溶液:准确称取经 550°C 灼烧过的氯化钠(NaCl) 0.2542g ,在少量纯水中溶解,移至 1000mL 容量瓶定容,贮于塑料瓶中,此溶液含钠离子浓度为 $0.1\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$,以此为母液可稀释配制成所需浓度的标准系列溶液;

2 钾(K^+)标准溶液:准确称取经 $105^\circ\text{C} \sim 110^\circ\text{C}$ 烘干 $4\text{h} \sim 6\text{h}$ 的分析纯氯化钾(KCl) 0.1907g ,在少许纯水中溶解,移至 1000mL 容量瓶中定容,贮于塑料瓶中,此溶液含钾离子 $0.1\text{mg}/\text{mL}$,以此

为母液可稀释配制所需浓度的标准系列溶液。

53.9.3 钠离子(Na^+)和钾离子(K^+)的测定试验应按下列步骤进行:

1 标准曲线的制作。取 50mL 容量瓶 9 个,准确加入钠和钾标准溶液各为 0mL、0.5mL、1mL、2.5mL、5mL、10mL、15mL、20mL、25mL,然后用纯水稀释定容,即成钠、钾含量分别为 $0\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $1\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $2\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $5\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $10\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $20\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $30\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $40\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 、 $50\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的标准系列溶液。按火焰光度计使用说明进行操作,分别用钠滤光片和钾滤光片逐个测定其吸收值,然后以吸收值为横坐标,相应的钠、钾浓度为纵坐标,分别绘制标准曲线,并将曲线进行回归,求出回归方程。

2 吸取 10mL~20mL 的土浸出液,在火焰光度计上,按仪器说明书进行操作。当钠、钾含量超过仪器容许范围时,需稀释后再操作。分别用钠滤光片、钾滤光片逐个测定吸光值。记下仪器读数,注明试验条件。分别查钠、钾标准曲线,计算其钾、钠含量。用原子吸收-火焰分光光度计时,用发射挡。

53.9.4 钠离子的含量应按下列公式计算,计算至 $0.001\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 或 $0.01\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$,平行最大允许差值应为 $\pm 0.005\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 或 $\pm 0.2\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$,取算术平均值:

$$\omega(\text{Na}^+) = \frac{0.001N_x K_n V_w}{m_d \times 10^{-3}} \quad (53.9.4-1)$$

$$b(\text{Na}^+) = \frac{\omega(\text{Na}^+)}{0.023} \quad (53.9.4-2)$$

式中: $\omega(\text{Na}^+)$ ——钠离子含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$);

$b(\text{Na}^+)$ ——钠离子的质量摩尔浓度($\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$);

0.001——mg 换算成 g 的因数;

N_x ——土浸出液的稀释倍数,当直接取土浸出液比色时, $N_x=1$;

K_n ——由标准曲线查得的钠离子含量($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$);

0.023——钠离子的摩尔质量($\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$)。

53.9.5 钾离子的含量应按下列公式计算,计算至 $0.001\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 或 $0.01\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$,平行最大允许差值应为 $\pm 0.02\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 或 $\pm 0.5\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$,取算术平均值:

$$\omega(\text{K}^+) = \frac{0.001NK_kV_w}{m_d \times 10^{-3}} \quad (53.9.5-1)$$

$$b(\text{K}^+) = \frac{\omega(\text{K}^+)}{0.039} \quad (53.9.5-2)$$

式中: $\omega(\text{K}^+)$ ——钾离子含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$);

$b(\text{K}^+)$ ——钾离子的质量摩尔浓度($\text{mmol} \cdot \text{kg}^{-1}$);

K_k ——由标准曲线查得的钾离子含量($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$);

0.039——钾离子的摩尔质量($\text{kg} \cdot \text{mol}^{-1}$)。

53.9.6 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.94 的规定。

54 中溶盐石膏试验

54.1 一般规定

54.1.1 土样为含石膏较多的土类。

54.1.2 当土中石膏含量很高时,以 $55^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$ 烘干土或风干土计算为宜。

54.2 仪器设备和试剂

54.2.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

- 1 高温电炉、水浴锅、瓷坩埚;
- 2 分析天平:称量 200g,分度值 0.0001g;
- 3 其他:容量瓶、漏斗、漏斗架、烧杯、无灰滤纸。

54.2.2 试剂应符合下列规定:

- 1 浓度为 $0.25\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸(HCl)溶液:将浓盐酸 20.8mL 稀释至 1000mL;
- 2 10%氨水(NH_4OH):将浓氨水 31mL 稀释成 100mL;
- 3 10%氯化钡(BaCl_2)溶液:将 10g 氯化钡溶于少量纯水中,稀释至 100mL;
- 4 酸化硝酸银(AgNO_3)溶液:将 0.5g 硝酸银溶于 50mL 纯水中,加入少量浓硝酸酸化。贮于棕色瓶中;
- 5 0.1%甲基橙指示剂;
- 6 1:1 盐酸溶液。

54.3 操作步骤

54.3.1 试样中石膏的浸提液制备应按下列规定进行:

- 1 称取过 0.25mm 筛的风干试样 1g~5g,准确至 0.0001g。

放入 250mL 烧杯中,缓慢加入浓度为 $0.25\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸溶液 50mL。边加边搅拌。当土中含碳酸钙时,应加盐酸至无气泡产生为止,放置过夜;

2 第二天过滤,并用浓度为 $0.25\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸溶液淋洗土样至滤液中无硫酸根为止。

54.3.2 硫酸根的测定应按下列规定进行:

1 应按本标准上述的规定处理后的滤液中加入 2 滴 0.1% 甲基橙指示剂,用 10% 氨水中和溶液,当溶液呈黄色时,再用 1:1 盐酸溶液调至红色后多加 10 滴,加热煮沸,进行搅拌,并缓慢滴入热的 10% 氯化钡溶液,直至试液中硫酸根沉淀完全,并稍有过量为止。放在水浴锅(60°C 左右)保温 2h,或静置过夜。

2 将硫酸根沉淀,用无灰滤纸过滤,用温纯水洗涤至无氯离子为止(用硝酸银溶液检验)。

3 用滤纸包好洗净的沉淀物,放入经 600°C 灼烧至恒量的瓷坩埚中,置于电炉上灰化滤纸(不得出现明火燃烧)。然后移入高温炉中,控制在 600°C 下灼烧 1h 取出,放于洁净的石棉网上,在干燥器中冷却至室温,称质量,再在 600°C 下灼烧 30min,冷却后称质量,反复操作至恒量,记下质量。

4 易溶盐硫酸根的测定,应按本标准第 53.6 节的规定进行。

54.4 计算和记录

54.4.1 减去易溶盐硫酸根含量时中溶盐(石膏)含量应按下式计算,计算至 $0.1\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,平行最大允许差值应为 $\pm 1\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,取算术平均值:

$$\omega(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = \left[\frac{(m_{\text{gz}} - m_{\text{g0}}) \times 0.4114}{m_{\text{d}} \times 10^{-3}} - \omega(\text{SO}_4^{2-}) \right] \times 1.7922 \quad (54.4.1)$$

式中: $\omega(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ ——中溶盐(石膏)含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$);

m_{gz} ——瓷坩埚与沉淀总质量(g);

m_{g0} ——瓷坩埚质量(g);

0.4114——由硫酸钡换算为硫酸根的系数;

$\omega(\text{SO}_4^{2-})$ ——易溶盐硫酸根的含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$);

10^{-3} ——将 g 换算成 kg 的因数;

1.7922——由硫酸根换算为石膏的系数。

54.4.2 不减去易溶盐硫酸根含量时中溶盐(石膏)含量应按下式计算,计算至 $0.1 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,平行最大允许差值应为 $\pm 1 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,取算术平均值:

$$\omega(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = \frac{(m_{gz} - m_{g0}) \times 0.7377}{m_d \times 10^{-3}} \quad (54.4.2)$$

式中:0.7377——由硫酸钡换算为石膏的系数。

54.4.3 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.95 的规定。

55 难溶盐碳酸钙试验

55.1 一般规定

55.1.1 土样为各类土。

55.1.2 本试验方法分为简易碱吸收容量法和气量法两种方法，可根据试验数量和最大允许误差要求选用其中之一。对测定结果要求较准确时宜用简易碱吸收容量法，而气量法适用于大批试样的粗略测定。

55.2 简易碱吸收容量法

55.2.1 本试验使用的仪器设备应符合下列规定：

1 简易的碱吸收容量法测定装置(图 55.2.1)；

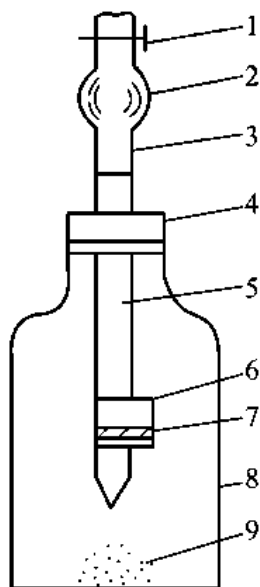


图 55.2.1 简易碱吸收容量法测定装置

1 止水夹；2 玻璃珠；3 乳胶管；4 橡皮塞；5 玻璃管；
6—塑料杯；7—橡皮筋；8—广口瓶；9—土样

2 分析天平:称量 100g,分度值 0.0001g;

3 其他:容量瓶、250mL 三角瓶、酸式滴定管、50mL 医用注射器、塑料瓶、点滴瓶。

55.2.2 本试验使用的试剂应符合下列规定:

1 浓度为 $2\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 的氢氧化钾(KOH)溶液:应将 112g 氢氧化钾溶解于 700mL 煮沸后冷却的纯水中,移至 1000mL 容量瓶中,用纯水稀释至刻度,摇匀。贮于有隔绝空气中二氧化碳装置(苏打石灰膏)的塑料瓶中。

2 浓度为 $2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸(HCl)溶液:应将 167mL 盐酸(HCl, $\rho \approx 1.19\text{g}/\text{cm}^3$, 分析纯)稀释至 1000mL。

3 浓度为 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸溶液:应将 83mL 盐酸(HCl, $\rho \approx 1.19\text{g}/\text{cm}^3$, 分析纯)稀释至 1000mL。

4 浓度为 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸标准溶液制备应按下列规定进行:

1)浓度为 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸标准溶液的配制:应将 8.3mL 盐酸(HCl, $\rho \approx 1.19\text{g}/\text{cm}^3$, 分析纯)稀释至 1000mL;

2)盐酸标准溶液的标定应按本标准第 53.4.3 条的规定进行,并计算其浓度,计算结果表示到小数点后四位;

3)溴甲酚绿指示剂:应将 0.1g 溴甲酚绿溶解于 250mL 浓度为 $0.0006\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的氢氧化钾溶液中;

4)百里酚兰-酚酞试剂:应将 1 份 $1.0\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 百里酚蓝的 50% 的酒精溶液与 3 份 $1.0\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 酚酞酒精溶液相混合。

55.2.3 简易碱吸收容量法试验应按下列步骤进行:

1 用分析天平准确称取过 0.15mm 筛孔的风干土样 1g~8g (碳酸钙含量不超过 0.25g),放置于广口瓶中,在塑料杯中加入 5mL 浓度为 $2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的氢氧化钾溶液,塞紧瓶塞勿使漏气。将 50mL 医用注射器连接在乳胶管上端,捏开玻璃珠开关,从广口瓶中抽出 50mL 空气。

2 用注射器通过乳胶管向广口瓶中注入 20mL 浓度为 $2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸溶液,乳胶管上端用止水夹夹紧,轻轻旋转广口瓶使试样与

盐酸充分接触均匀,在室温下放置 16h~24h。

3 打开瓶塞,细心取出塑料杯,用 50mL 无二氧化碳的纯水,将塑料杯中的氢氧化钾溶液洗入 200mL 三角瓶中。加百里酚兰-酚酞混合指示剂 20 滴,用 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸溶液滴定至溶液由紫色变为淡红色时,改用 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸标准溶液滴定至溶液刚出现黄色而红色又未完全消失($\text{pH}=8.3$)为止(不记用量)。然后加入 16 滴钾溴酚绿指示剂,用浓度为 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸标准溶液滴定至溶液由蓝色变为亮黄色($\text{pH}=3.9$)为止,记下这次滴定用量。

4 应按本条第 3 款的规定进行空白试验。

55.2.4 碳酸钙含量应按下式计算,计算结果表示到小数点后一位,平行最大允许差值应为 $\pm 2\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,试验结果取算术平均值:

$$\omega(\text{CaCO}_3) = \frac{2C_{\text{bl}}(V_{\text{hb6}} - V_{\text{hb7}}) \times 0.050}{m_{\text{d}} \times 10^{-3}} \quad (55.2.4)$$

式中: $\omega(\text{CaCO}_3)$ ——难溶盐碳酸钙含量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$);

2——因 V_1 只是酸中和重碳酸根时的用量,故中和碳酸根的用量应为 2 倍 V_1 ;

C_{bl} ——盐酸标准滴定溶液浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$);

V_{hb6} ——以钾溴酚绿为指示剂时盐酸滴定标准溶液滴定溶液的体积的数值(mL);

V_{hb7} ——空白试验,以钾溴酚绿为指示剂时盐酸标准滴定溶液的体积的数值(mL);

0.050——碳酸钙摩尔质量的一半($\text{g} \cdot \text{mmol}^{-1}$),因 1mmol 盐酸仅能与 0.5mmol 碳酸钙作用;

10^{-3} ——将 g 换算成 kg 的因数。

55.2.5 本试验碱吸收容量法的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.96 的规定。

55.3 气 量 法

55.3.1 本试验所用的仪器设备应符合下列规定:

- 1 二氧化碳约测计,装置如图 55.3.1 所示;
- 2 气压计、温度计;
- 3 天平:称量 200g,分度值 0.01g;
- 4 其他:瓷坩埚、指形管等。

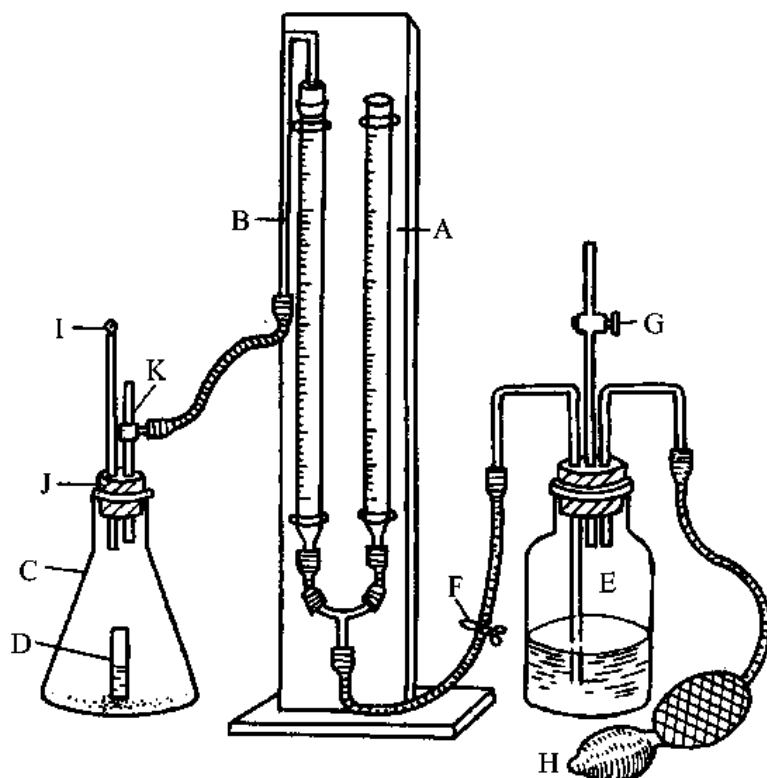


图 55.3.1 二氧化碳约测计示意图

A、B- 量管;C 三角瓶;D 试管;E 广口瓶;F 夹子;G 活塞;
H—打气球;I—温度计;J—橡皮塞;K—活塞

55.3.2 试剂应符合下列规定:

- 1 1 : 3 盐酸溶液:将 1 份盐酸(HCl , $\rho \approx 1.19 \text{g/cm}^3$, 分析纯)与 3 份纯水混合;
- 2 浓度约为 $0.5 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的 H_2SO_4 有色溶液,每 100mL 纯水中加硫酸(H_2SO_4 , $\rho = 1.84 \text{g/cm}^3$, 化学纯)3mL,加甲基红指示剂数滴,装入量气管;
- 3 含量为 $1.0 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的甲基红指示剂。

55.3.3 气量法试验应按下列步骤进行:

- 1 称取过 0.25mm 筛,经 $105^\circ\text{C} \sim 110^\circ\text{C}$ 烘干的试样 1g~5g

(CaCO_3 含量 $0.1\text{g}\sim 0.2\text{g}$), 准确至 0.01g , 小心地将土样倒入三角瓶底。在试管 D 中装入盐酸溶液(1:3)约至 $2/3$ 处, 将试管用镊子小心地立在已盛有土样的三角瓶 C 中。

2 给广口瓶中装入浓度为 $0.5\text{ mol}\cdot\text{L}^{-1}$ 的 H_2SO_4 有色溶液, 关闭活塞 G, 打开夹子 F, 用打气球打气, 使有色溶液装满滴定管。检查是否漏气: 关闭活塞 K, 将橡皮塞 J 塞紧, 此时 B 管液面略低于 A 管, 稍等片刻, 检查是否漏气。如果漏气, 两管液面会慢慢齐平, 应仔细检查各接头并用石蜡溶液密封, 使不漏气。

3 打开活塞 K, 使 A、B 两管液面在同一平面, 记录 B 管液面读数, 再关好活塞 K, 同时打开活塞 G。

4 将三角瓶 C 中的试管 D 的盐酸倒于瓶底, 此时即有 CO_2 气体产生, B 管液面下降, 应及时用夹子 F 调节 A 管中液面, 使 A 管液面始终略高于 B 管。当 B 管液面停止下降时, 用长柄夹子夹住三角瓶 C 颈部, 间歇摇动三角瓶 C 四至五次, 直到 B 管液面不下降为止。

5 用夹子 F 或上下变动 A 管高低来调节 A、B 两管液面使之在同一水平面上, 记录 B 管液面读数。最终读数与起始读数之差即为产生的二氧化碳体积的数值, 并同时记录温度和气压。

55.3.4 碳酸钙的含量应按式计算, 计算结果表示到个位, 平行最大允许差值应为 $\pm 5\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, 取算术平均值:

$$\omega(\text{CaCO}_3) = \frac{V_{\text{CO}_2} \rho_{\text{CO}_2} \times 10^{-6} \times 2.272}{m_d \times 10^{-3}} \quad (55.3.4)$$

式中: $\omega(\text{CaCO}_3)$ ——碳酸钙含量($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$);

V_{CO_2} ——二氧化碳的体积(mL);

ρ_{CO_2} ——在试验的温度和气压下二氧化碳的密度($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$), 可查表 55.3.4 确定;

2.272 由二氧化碳换算成碳酸钙的系数(100/44);

10^{-6} —— μg 与 kg 的换算系数;

10^{-3} —— g 与 kg 的换算系数。

表 55.3.4 不同温度及大气压力下二氧化碳密度 ρ_{CO_2} ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$)

温度 (℃)	大气压力[kPa(mmHg)]													
	98.925 (742)	99.258 (744.5)	99.591 (747)	99.858 (749)	100.125 (753.5)	100.458 (751)	100.791 (756)	101.059 (758)	101.325 (760)	101.658 (762.5)	101.991 (756)	102.258 (767)	102.525 (769)	102.791 (771)
28	1778	1784	1791	1797	1804	1810	1817	1823	1828	1833	1837	1842	1847	1852
27	1784	1790	1797	1803	1810	1816	1823	1829	1834	1839	1843	1848	1853	1858
26	1791	1797	1803	1809	1816	1822	1829	1835	1840	1845	1849	1854	1859	1864
25	1797	1803	1810	1816	1823	1829	1836	1842	1847	1852	1856	1861	1866	1871
24	1803	1809	1816	1822	1829	1835	1842	1848	1853	1858	1862	1867	1872	1877
23	1809	1815	1822	1828	1835	1841	1848	1854	1859	1864	1868	1873	1878	1883
22	1815	1821	1828	1834	1841	1847	1854	1860	1865	1870	1875	1880	1885	1890
21	1822	1828	1835	1841	1848	1854	1861	1867	1872	1877	1882	1887	1892	1897
20	1828	1834	1841	1847	1854	1860	1867	1873	1878	1883	1888	1893	1898	1903
19	1834	1840	1847	1853	1860	1866	1873	1879	1884	1889	1894	1899	1904	1909
18	1840	1846	1853	1859	1866	1872	1879	1885	1890	1895	1900	1905	1910	1915
17	1846	1853	1860	1866	1873	1879	1886	1892	1897	1902	1907	1912	1917	1922
16	1853	1860	1866	1873	1879	1886	1892	1893	1903	1909	1913	1918	1923	1928
15	1859	1866	1872	1879	1886	1892	1899	1905	1910	1915	1920	1925	1930	1935
14	1865	1872	1878	1885	1892	1899	1906	1912	1917	1922	1927	1932	1937	1942
13	1872	1878	1885	1892	1899	1906	1913	1919	1924	1929	1934	1939	1944	1949
12	1878	1885	1892	1899	1906	1912	1919	1925	1930	1935	1940	1945	1950	1955
11	1885	1892	1899	1906	1913	1919	1926	1932	1937	1942	1947	1952	1957	1962
10	1892	1899	1906	1913	1919	1926	1933	1939	1944	1949	1954	1959	1964	1969

55.3.5 在无气压计情况下采用标准曲线法计算 CaCO_3 的含量。在分度值为 0.01g 的天平上称取干燥的分析纯 CaCO_3 分别为 0.05g、0.1g、0.2g、0.3g、0.4g(如果用 50mL 滴定管收集气体称取的 CaCO_3 量不要大于 0.2g),按上述试验应按下列步骤进行:测定 CO_2 毫升数,以 CO_2 的体积为纵坐标, CaCO_3 含量为横坐标,画出标准曲线,或求出其回归方程。然后用同一时间测得的土样 CO_2 的体积数求出 CaCO_3 含量。计算结果表示到个位,平行最大允许差值应为 $\pm 5\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,取算术平均值。

$$\omega(\text{CaCO}_3) = \frac{m_{\text{cl}}}{m_{\text{d}} \times 10^{-3}} \quad (55.3.5)$$

式中: m_{cl} ——查得 CaCO_3 的质量(g)。

55.3.6 本试验气量法的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 97 的规定。

56 有机质试验

56.1 一般规定

56.1.1 本试验采用重铬酸钾容量法测定其中的有机碳,再乘以经验系数 1.724 换算成有机质,并以 1kg 烘干土中所含有机质的克(g)数表示,单位为克每千克($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。

56.1.2 土样的有机质含量不应大于 $150 \text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

56.2 仪器设备和试剂

56.2.1 本试验使用的仪器设备应符合下列规定:

- 1 分析天平:称量 200g,分度值 0.0001g;
- 2 油浴锅:内盛甘油或植物油并应带铁丝笼;
- 3 温度计:量程 $0^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$,分度值为 0.5°C ;
- 4 其他:酸式滴定管、三角瓶、硬质试管、小漏斗、试管夹。

56.2.2 本试验所用的试剂应符合下列规定:

1 浓度为 $0.8000 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的重铬酸钾 $\left(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right)$ 标准溶液:用分析天平称取经 $105^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ 烘干并研磨细的重铬酸钾 39.2245g,溶于 400mL 纯水,加热溶解,冷却后倒入 1000mL 容量瓶中,用纯水稀释至刻度,摇匀。

2 浓度为 $0.2 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的硫酸亚铁($\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$)(或硫酸亚铁铵)标准溶液应符合下列规定:

- 1)浓度为 $0.2 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的硫酸亚铁 $\left(\frac{1}{2}\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}\right)$ (或硫酸亚铁铵)标准溶液的配制:称取硫酸亚铁 56.0g(或硫酸亚铁铵 80.0g),溶于纯水中,加入浓度为 $6 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

的硫酸 $\left(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4\right)$ 溶液 30mL, 稀释至 1000mL, 贮于棕色瓶中;

2) 浓度为 $0.2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的硫酸亚铁 $\left(\frac{1}{2}\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}\right)$ (或硫酸亚铁铵)标准溶液的标定: 准确吸取重铬酸钾标准溶液 5mL、硫酸 5mL 各三份, 分别放入 250mL 锥形瓶中, 稀释至 60mL 左右, 加入邻啡罗啉指示剂 3 滴~5 滴, 用硫酸亚铁标准溶液进行滴定, 使溶液由黄色经绿色突变至棕红色为止。按下式计算硫酸亚铁的浓度, 计算结果表示到小数点后四位, 取三份结果的算术平均值:

$$C\left(\frac{1}{2}\text{FeSO}_4\right) = \frac{C\left(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right)V_K}{V_F} \quad (56.2.2)$$

式中: $C\left(\frac{1}{2}\text{FeSO}_4\right)$ ——硫酸亚铁标准滴定溶液的浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$);

$C\left(\frac{1}{6}\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7\right)$ ——重铬酸钾标准溶液的浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$);

V_K ——重铬酸钾标准溶液的体积的数值(mL);

V_F ——硫酸亚铁标准滴定溶液的体积的数值(mL)。

3 硫酸(H_2SO_4 , $\rho=1.84\text{g}/\text{cm}^3$, 分析纯)。

4 邻啡罗啉指示剂: 将邻啡罗啉 1.485g 和硫酸亚铁 0.695g 溶于 100mL 纯水中, 贮于棕色瓶中。

56.3 操作步骤

56.3.1 当试样中含有机质小于 8mg 时, 用分析天平称取剔除植物根并通过 0.15mm 筛的风干试样 0.1g~0.5g, 放入干燥的试管底部, 准确吸取重铬酸钾标准溶液 5mL、硫酸 5mL, 加入试管并摇匀, 在试管口放上小漏斗。

56.3.2 将试管插入铁丝笼中, 放入 190°C 左右的油浴锅内。试

管内的液面低于油面。温度应控制在 $170^{\circ}\text{C} \sim 180^{\circ}\text{C}$, 从试管内试液沸腾时开始计时, 煮沸 5min, 取出。

56.3.3 将试管内溶液倒入三角瓶中, 用纯净水洗净试管内部, 并使溶液控制在 60mL 左右, 加入邻啡罗啉指示剂 3 滴~5 滴, 用硫酸亚铁标准滴定溶液滴定, 当溶液由黄色经绿色突变至橙红色时为止。记下硫酸亚铁标准溶液用量, 准确至 0.01mL。

56.3.4 试样试验的同时, 应按本标准第 56.3.1 条~第 56.3.3 条的规定采用纯砂进行空白试验。

56.4 计算和记录

56.4.1 有机质含量应按下式计算, 计算至 $0.1\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 平行最大允许误差为 $\pm 0.5\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$, 试验结果取算术平均值:

$$O.M. = \frac{0.003 \times 1.724 \times C\left(\frac{1}{2}\text{FeSO}_4\right)(V_{\text{hb8}} - V_{\text{hb9}})}{m_d \times 10^{-3}} \quad (56.4.1)$$

式中: $O.M.$ ——土壤有机质含量 ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$);

V_{hb8} ——空白试验时硫酸亚铁标准滴定溶液的体积的数值 (mL);

V_{hb9} ——硫酸亚铁标准滴定溶液的体积的数值 (mL);

0.003 ——1mol 硫酸亚铁所相当的有机质碳量 (kg);

1.724 ——有机碳换算成有机质的系数;

10^{-3} ——将 g 换算成 kg 的系数。

56.4.2 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.98 的规定。

57 游离氧化铁试验

57.1 一般规定

57.1.1 土样为各类土。

57.1.2 本试验用于测定土中游离氧化铁的总量(米拉·杰克逊法)和无定形游离氧化铁的含量(达姆试剂法),二者相减可得结晶质游离氧化铁。

57.2 仪器设备和试剂

57.2.1 本试验使用的仪器设备应符合下列规定:

- 1 离心机(转速为 $3000\text{r/min} \sim 4000\text{r/min}$), 50mL 离心管;
- 2 分析天平:称量 200g,分度值 0.0001g ;
- 3 可见光分光光度计;
- 4 水浴锅(附温度控制器);
- 5 振荡器;
- 6 其他设备:容量瓶、移液管、量筒、100mL 棕色广口瓶、100mL 试剂瓶、0.25mm 细筛。

57.2.2 本试验使用的试剂应符合下列规定:

- 1 连二亚硫酸钠($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_4$),化学纯;
- 2 氯化钠溶液:称取氯化钠 58.45g 溶于纯水,稀释至 1L,氯化钠溶液浓度为 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$;
- 3 $100\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸羟胺溶液:称取 10g 化学纯盐酸羟胺溶于水中,移入 100mL 容量瓶中,用纯水稀释至刻度,摇匀,贮于棕色试剂瓶中;
- 4 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 碳酸氢钠溶液:称取 84.01g 碳酸氢钠(NaHCO_3 , 化学纯)溶于水,移入 1000mL 容量瓶中,用纯水稀释至刻度,

摇匀;

5 $0.3\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 柠檬酸钠溶液:称取 104.4g 柠檬酸钠($\text{Na}_3\text{C}_6\text{H}_5\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$,化学纯)溶于纯水,移入 1000mL 容量瓶中,用纯水稀释至刻度,摇匀;

6 醋酸-醋酸钠缓冲溶液:称取 68g 醋酸钠($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot \text{H}_2\text{O}$)溶于 500mL 纯水中,加入 28.8mL 冰醋酸,用纯水稀释至 1000mL;

7 铁标准储备溶液:称取 0.7017g 硫酸亚铁铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}]$ 溶于纯水中,加浓硫酸 5mL,然后移入 1000mL 容量瓶中,用纯水稀释刻度,摇匀,此时溶液含铁 $100\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$;

8 铁标准溶液:将 $100\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 铁标准溶液稀释 10 倍成为 $10\mu\text{g}/\text{mL}$ 的溶液液,供比色制标准曲线;

9 $1.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 邻菲罗啉:称取 1.0g 邻菲罗啉($\text{C}_{12}\text{H}_8\text{N}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$)溶于 1000mL 纯水中(内含 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸 5mL);

10 达姆试剂($0.2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 草酸铵缓冲液):称取 62.1g 草酸铵、31.5g 草酸溶于 2500mL 纯水中,溶液 pH 值为 3.2 左右,必要时可用氨水或草酸调节。

57.3 操作步骤

57.3.1 试样处理应按下列规定进行:

1 用分析天平称过 0.25mm 筛的风干土样 0.1g~0.5g(游离氧化铁含量很低时要称 0.5g~1.0g),放入 50mL 离心管中,加入 $0.3\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 柠檬酸钠溶液 20mL, $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 碳酸氢钠溶液 2.5mL;

2 将离心管在水浴锅上加热至 80°C (不能超过此温度)后,加固体连二亚硫酸钠 0.5g,不断搅拌 15min,然后再加氯化钠溶液 5mL,取出冷却,用离心机分离,清液倒入 250mL 容量瓶中,如此反复处理至土样呈灰白色;

3 用 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氯化钠溶液洗涤离心管内残渣 2 次~3 次,清液一并倒入 250mL 容量瓶中,定容待测游离氧化铁总量;

4 用分析天平称取 1g~2g 土样,放入 100mL 经过烘干的棕色广口瓶中,用移液管或酸式滴定管加入 $0.2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 达姆试剂草酸氨缓冲溶液 50mL,加塞振荡 2h 后,立即倒入离心管中离心机分离,将澄清液倒入烘干的 100mL 试剂瓶中待测无定形铁之用。

57.3.2 铁的测定应按下列步骤进行:

1 分别吸取一定量的上述两种待测液至 50mL 容量瓶中,加入 $100\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸羟胺 1mL 摇匀放置 10min,加醋酸-醋酸钠缓冲溶液 5mL,加入 $1.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 邻菲罗啉 5mL,摇匀,室温 20°C 时放置 1.5h,使其充分显色。用纯水稀释至刻度后,摇匀,然后于 520nm 波长处用 1cm 比色皿比色,测定其吸光度。

2 分别吸取 $10\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 铁标准溶液使用液 0mL、1mL、3mL、5mL、7mL、9mL,相应的含铁量为 $0\mu\text{g}$ 、 $10\mu\text{g}$ 、 $30\mu\text{g}$ 、 $50\mu\text{g}$ 、 $70\mu\text{g}$ 、 $90\mu\text{g}$,应按本标准第 57.4.2 条第 1 款的规定与待测液做同样处理显色,测定其对应的吸光度,然后以含铁量为横坐标,吸光度为纵坐标,绘制标准曲线。显色时间在室温下需 24h,亦可在水浴锅上加热 15min,以加快显色过程。

57.4 计 算

57.4.1 游离氧化铁总量应按下式计算,计算结果表示到小数点后一位,平行最大允许差值应为 $\pm 1\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,取算术平均值:

$$\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) = \frac{F \frac{V_w}{V_{x1}} \times 1.4297 \times 10^{-3}}{m_d} \quad (57.4.1)$$

式中: $\omega(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ ——游离氧化铁总量($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$);

F ——按待测液的消光值在标准曲线上查得的铁含量(μg);

V_w ——浸提液的总体积的数值(mL);

V_{x1} ——吸取待测液的体积的数值(mL);

1.4297——Fe 与 Fe_2O_3 的换算系数；

10^{-3} ——将 g 换算成 kg 的系数。

57.4.2 无定形游离氧化铁应按下式计算,计算结果表示到小数点后一位,平行最大允许差值应为 $\pm 1\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$,取算术平均值。

$$\omega(\text{无定形游离氧化铁}) = \frac{F_1 \frac{V_w}{V_{x1}} \times 1.4297 \times 10^{-3}}{m_d} \quad (57.4.2)$$

式中: F_1 ——标准曲线上查的得铁含量(μg);

V_w ——达姆试剂浸提液的总体积(mL)。

57.4.3 结晶态游离氧化铁应按下式计算:

$$\omega(\text{结晶态游离氧化铁}) = \omega(\text{Fe}_2\text{O}_3) - \omega(\text{无定形游离氧化铁}) \quad (57.4.3)$$

57.4.4 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.99、表 D.100 的规定。

58 阳离子交换量试验

58.1 一般规定

58.1.1 本试验采用氯化钡缓冲液法、 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸铵交换法、乙酸钠-火焰光度法测定土中阳离子交换总量。

58.1.2 氯化钡缓冲液法适用于非盐渍化的各种土类, $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸铵交换法适用于酸性土,乙酸钠-火焰光度法适用于石灰性土和盐碱土。

58.2 氯化钡缓冲液法

58.2.1 本试验使用的主要仪器设备应符合下列规定:

- 1 离心机(转速为 $3000\text{r}/\text{min} \sim 4000\text{r}/\text{min}$)及离心管(容量为 100mL);
- 2 分析天平:称量 100g ,分度值 0.0001g ;天平,分度值 0.1g ;
- 3 其他:移液管、滴定管、容量瓶、三角瓶等。

58.2.2 本试验使用的试剂应符合下列规定:

1 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氯化钡(BaCl_2)溶液:称取 244g 氯化钡($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$),溶于纯水中,移入 1000mL 容量瓶中,用纯水稀释至刻度,摇匀;

2 氯化钡缓冲试剂:将等体积的三乙醇胺溶液与浓度为 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的氯化钡溶液混合,调节 pH 值至 8.1 ;

3 $\text{pH}=10$ 的氨缓冲溶液:称取 67.5g 氯化氨于纯水中,加入 570mL 浓氨水($\rho=0.9\text{g}/\text{cm}^3$,含氨 25%),加纯水稀释至 1000mL ;

4 $0.025\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸镁(MgSO_4)溶液:称取 6.2g 硫酸镁($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$),用纯水稀释至 1000mL ;

5 $0.01\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ EDTA 标准溶液:称取 3.720g EDTA,用

纯水稀释至 1000mL,其标定见本标准第 53.6.3 条第 2 款第 7 条的规定;

6 三乙醇胺溶液:量取 90mL 三乙醇胺,用纯水稀释至 1000mL,加入 140mL 浓度为 $2\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 的盐酸,移入 2000mL 容量瓶中,用纯水稀释至刻度,摇匀,贮存期间防止吸收二氧化碳;

7 $1.0\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 铬黑 T:称取 0.1g 铬黑 T,与 5g 盐酸羟胺共溶于 100mL 酒精中。

58.2.3 氯化钡缓冲液法试验应按下列步骤进行:

1 称取 2g 左右通过 0.15mm 筛孔的风干土样,放入离心管中准确称量;

2 若土样系石灰性土,加入 40mL 氯化钡缓冲液试剂,间歇摇晃 1h,用离心机转 3min~5min,弃去清液;若土样系非石灰性土,则此步骤可以省略;

3 加入 80mL 氯化钡缓冲液,摇晃后放置过夜,离心弃去上部清液;

4 加入 80mL 纯水,摇晃至土块碎裂,再离心,弃去上部清液,将离心管及内容物一起称量;

5 用移液管向离心管中注入 40mL 的 $0.025\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸镁溶液,间歇摇晃 2h,离心后,将上部清液仔细移入有盖三角瓶中;

6 从三角瓶中吸出 5mL 溶液,加 8 滴 $\text{pH}=10$ 的氨缓冲溶液和 4 滴铬黑 T 指示剂,使呈紫色,用 EDTA 标准溶液滴定至颜色从红变蓝为止(滴定量为 V_{E1});

7 另吸 5mL 的 $0.025\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸镁溶液用 EDTA 标准溶液滴定至终点(滴定量为 V_{E5}),根据 2 份滴定结果之差计算交换量。

58.2.4 计算应符合下列规定:

1 考虑到离心过的土样用纯水洗后残留体积的影响,对土样的滴定量(V_{E4})应按下式的规定进行校正:

$$V_{E3} = V_{E4} (40 + m_{g2} - m_{g1}) / 40 \quad (58.2.4-1)$$

式中： V_{E3} ——EDTA 标准滴定溶液的体积的数值(mL)；

m_{g1} ——试样加离心管质量(g)；

m_{g2} ——离心后土液混合物加离心管质量(g)。

2 阳离子交换量应按下式计算：

$$CEC = \frac{(V_{E5} - V_{E3}) \times \frac{40}{5} \times C(EDTA) \times 100}{m_d} \quad (58.2.4-2)$$

式中： CEC ——阳离子交换量($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)；

V_{E5} ——滴定硫酸镁溶液所消耗 $\text{Na}_2\text{-EDTA}$ 的体积(mL)；

V_{E3} ——滴定经硫酸镁处理的土样溶液所消耗的 EDTA 标准滴定溶液的体积(mL)；

$\frac{40}{5}$ ——分取倍数；

$C(EDTA)$ ——EDTA 标准滴定溶液的浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)；

100——mol 与 cmol 的换算系数。

58.2.5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.101 的规定。

58.3 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸铵交换法

58.3.1 本试验使用的仪器设备应符合下列规定：

1 离心机(转速为 $3000\text{r/min} \sim 4000\text{r/min}$)及离心管(容量为 100mL)；

2 分析天平：称量 100g ，分度值 0.0001g ；天平，称量 200g ，分度值 0.01g ；

3 其他：移液管、滴定管、容量瓶、三角瓶、开氏瓶(150mL)、蒸馏装置。

58.3.2 本试验使用的试剂应符合下列规定：

1 固体氧化镁：将氧化镁(化学纯)放在镍蒸发皿或坩埚内，

在 $500^{\circ}\text{C} \sim 600^{\circ}\text{C}$ 高温电炉中灼烧半小时,冷后贮藏在密闭的玻璃器皿内。

2 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸铵溶液($\text{pH}=7.0$):称取乙酸铵($\text{CH}_3\text{COONH}_4$, 化学纯)77.09g 用水溶解,用纯水稀释至近 1000mL。如 $\text{pH} \neq 7.0$,使用 1:1 氨水溶液或稀乙酸溶液调节 $\text{pH}=7.0$,然后用纯水稀释至 1000mL。

3 95 %乙醇溶液。

4 液体石蜡(化学纯)。

5 $20\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸指示剂溶液:称取硼酸(H_3BO_3 , 化学纯)20g,溶于 1000mL 水中;每升硼酸溶液中加入甲基红-溴甲酚绿混合指示剂 20mL,并用稀酸或稀碱调节至紫红色(葡萄酒色),此时该溶液的 $\text{pH}=4.5$ 。

6 $\text{pH}=10$ 的氨缓冲溶液:称取氯化铵(化学纯)67.5g 溶于无二氧化碳的水中,加入新开瓶的浓氨水(分析纯, $\rho=0.9\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$, 含氨 25%)570mL,用水稀释至 1000mL,贮于塑料瓶中,并注意防止吸收空气中的二氧化碳。

7 $0.05\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸标准溶液应符合下列规定:

1) $0.05\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸标准溶液的配制:吸取盐酸(HCl , $\rho \approx 1.19\text{g}/\text{cm}^3$, 分析纯)4.5mL,放入 1000mL 容量瓶中,用纯水稀释至刻度,摇匀;

2) $0.05\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸标准溶液的标定:标定剂硼砂($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$, 分析纯)必须保存于相对湿度为 60%~70%的空气中,以确保硼砂含 10 个结合水,通常可在干燥器的底部放置氯化钠和蔗糖的饱和溶液(并有二者的固体存在),密闭容器中空气的相对湿度即为 60%~70%。称取硼砂 2.3825g 溶于水中,用纯水稀释至 250mL,得 $0.05\text{mol} \cdot \text{L}^{-1} \left(\frac{1}{2} \text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \right)$ 标准溶液。

吸取上述溶液 25mL 置于 250mL 锥形瓶中,加 2 滴溴

甲酚绿-甲基红指示剂(或 $2.0\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 甲基红指示剂), 用配好的 $0.05\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 盐酸溶液滴定至溶液变酒红色为终点(甲基红的终点为由黄突变为微红色)。同时做空白试验。盐酸标准溶液的浓度应按下式计算, 取 3 次标定结果的平均值:

$$C_{\text{bl}} = \frac{C_{\text{b2}} \times V_{\text{hb12}}}{V_{\text{hb10}} - V_{\text{hb11}}} \quad (58.3.2)$$

式中: C_{bl} ——盐酸标准滴定溶液的浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$);

C_{b2} ——硼砂($1/2\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$)标准溶液的浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$);

V_{hb10} ——盐酸标准滴定溶液的体积的数值(mL);

V_{hb11} ——空白试验用去盐酸标准溶液的体积的数值(mL);

V_{hb12} ——吸取硼砂标准溶液的体积的数值(mL)。

8 纳氏试剂:称取氢氧化钾(KOH, 分析纯)134g 溶于 460mL 水中。另称取碘化钾(KI, 分析纯)20g 溶于 50mL 水中, 加入碘化汞(HgI_2 , 分析纯)大约 3g, 使溶解至饱和状态。然后将两溶液混合即成。

9 甲基红-溴甲酚绿混合指示剂:称取溴甲酚绿 0.099g 和甲基红 0.066g 置于玛瑙研钵中, 加少量 95%乙醇, 研磨至指示剂完全溶解为止, 最后加 95%乙醇至 100mL。

58.3.3 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸铵交换法试验应按下列步骤进行:

1 称取通过 2mm 筛孔的风干土样 2.0g, 质地较轻的土壤称取 5.0g, 放入 100mL 离心管中, 沿离心管壁加入少量 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸铵溶液, 用橡皮头玻璃棒搅拌土样, 使其成为搅拌均匀的泥浆状态。再加 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸铵溶液至总体积约 60mL, 并充分搅拌均匀, 然后用 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸铵溶液洗净橡皮头玻璃棒, 溶液收入离心管内。

2 将离心管成对放在粗天平的两盘上, 用乙酸铵溶液使之质量平衡。平衡好的离心管对称地放入离心机中, 离心 3min~5min, 转速为 3000r/min~4000r/min, 如不测定交换性盐基, 离心

后的清液即弃去,如需测定交换性盐基时,每次离心后的清液收集在 250mL 容量瓶中,如此用 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸铵溶液处理 3 次~5 次,直到最后浸出液中无钙离子反应为止。最后用 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸铵溶液定容,留着测定交换性盐基。

3 往载土的离心管中加少量 95% 乙醇,用橡皮头玻璃棒搅拌土样,使之成为泥浆状态,再加 95% 乙醇约 60mL,用橡皮头玻璃棒充分搅匀,以便洗去土粒表面多余的乙酸铵,切不可有小土团存在。然后将离心管成对放在粗天平的两盘上,用 95% 乙醇溶液使之质量平衡,并对称放入离心机中,离心 3min~5min,转速为 3000r/min~4000r/min,弃去酒精溶液。如此反复用酒精洗 3 次~4 次,直到最后 1 次乙醇溶液中无铵离子为止,用纳氏试剂检查铵离子。

4 用水冲洗离心管的外壁,往离心管内加少量水,并搅拌成糊状,用水把泥浆洗入 150mL 开氏瓶中,并用橡皮头玻璃棒擦洗离心管的内壁,使全部土样转入开氏瓶内,洗入水的体积应控制在 50mL~80mL。蒸馏前往开氏瓶内加入液状石蜡 2mL 和氧化镁 1g,立即把开氏瓶装在蒸馏装置上。

5 将盛有 $20\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$ 硼酸指示剂吸收液 25mL 的锥形瓶(250mL),放置在用缓冲管连接的冷凝管的下端。打开螺丝夹(蒸汽发生器内的水要先加热至沸),通入蒸汽,随后摇动开氏瓶内的溶液使其混合均匀。打开开氏瓶下的电炉电源,接通冷凝系统的流水。用螺丝夹调节蒸汽流速度,使其一致,蒸馏约 20min,馏出液约达 80mL 以后,应检查蒸馏是否完全。检查方法:取下缓冲管,在冷凝管下端取几滴馏出液于白瓷比色板的凹孔中,立即往馏出液内加 1 滴甲基红-溴甲酚绿混合指示剂,呈紫红色,则表示氨已蒸完,呈蓝色则需继续蒸馏(如加滴纳氏试剂,无黄色反应,即表示蒸馏完全)。

6 将缓冲管连同锥形瓶内一起取下,用水冲洗缓冲管的内外壁(洗入锥形瓶内),然后用盐酸标准溶液滴定。同时做空白试验。

58.3.4 阳离子交换量应按下式计算:

$$CEC = \frac{C_{bl}(V_{hb10} - V_{hb11})}{m_d} \times 100 \quad (58.3.4)$$

式中:CEC——阳离子交换量($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$);

C_{bl} ——盐酸标准溶液的浓度($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)。

58.3.5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 102 的规定。

58.4 乙酸钠-火焰光度法

58.4.1 本试验,适用于石灰性土和盐碱土,所用的仪器设备应符合下列规定:

- 1 离心机(转速为 $3000\text{r}/\text{min} \sim 4000\text{r}/\text{min}$)及离心管(容量为 100mL);
- 2 分析天平:称量 100g ,分度值 0.0001g ;天平,分度值 0.1g ;
- 3 火焰光度计;
- 4 其他:移液管、容量瓶。

58.4.2 试剂应符合下列规定:

1 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 乙酸钠溶液($\text{pH} = 8.2$):称取乙酸钠($\text{CH}_3\text{COONa} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$,分析纯) 136g 用蒸馏水溶解并稀释至 1000mL 。此溶液 $\text{pH} = 8.2$;

2 异丙醇(99%)或乙醇(95%);

3 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NH_4OAc 溶液($\text{pH} = 7.0$):取冰乙酸(99.5%) 57mL ,加蒸馏水至 500mL ,加 69mL 浓氨水($\text{NH}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$),再加蒸馏水至约 980mL ,用氨水溶液或乙酸溶液调节溶液 $\text{pH} = 7.0$,然后用纯水稀释到 1000mL ;

4 钠(Na)标准溶液:称取氯化钠(分析纯, 105°C 烘 4h) 2.5423g ,以 $\text{pH} = 7.0$ 的 $0.1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NH_4OAc 溶液为溶剂,定容于 1000mL ,即为 $1000\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 钠标准溶液,然后逐级用醋酸铵溶液稀释成 $3\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $5\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $10\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $20\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、

$30\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 、 $50\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 钠标准溶液,贮于塑料瓶中保存。

58.4.3 乙酸钠-火焰光度法试验应按下列步骤进行:

1 称取过 1mm 筛孔的风干土样 $4.00\text{g} \sim 6.00\text{g}$ (黏土 4g,砂土 6g),置于 50mL 离心管中。

2 当含盐量较大时,于离心管中加入 50°C 左右的 50% 乙醇溶液 30mL,搅拌,离心,弃去清液,反复数次至用 BaCl_2 溶液检查清液仅有微量 BaSO_4 反应为止。

3 加 $\text{pH}=8.2$ 的 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NaOAc 溶液 33mL,使各管质量一致,塞住管口,振荡 5min 后离心,弃去清液。重复用 NaOAc 提取 4 次。然后以同样方法,用异丙醇或乙醇溶液洗涤试样 3 次,最后 1 次尽量除尽洗涤液。

4 将上述土样加 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NH_4OAc 溶液 33mL,振荡 5min (必要时用玻棒搅动),离心,将清液小心地倾入 100mL 容量瓶中;按同样方法用 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NH_4OAc 溶液交换洗涤两次,收集的清液最后用 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ NH_4OAc 溶液稀释至刻度。

5 用火焰光度计测定溶液中 Na^+ 浓度,计算土壤交换量。

58.4.4 阳离子交换量应按下式计算:

$$\text{CEC} = \frac{\rho_{\text{Na}^+} \cdot V_{\text{hd}} N}{m_d \times 23} \times 10^{-1} \quad (58.4.4)$$

式中: ρ_{Na^+} ——标准曲线上查得的待测液中钠离子的质量浓度 ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$);

V_{hd} ——测定时定容的体积的数值 (mL);

N ——吸取滤液的稀释倍数;

23 ——钠的摩尔质量 ($\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$)。

58.4.5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.103 的规定。

59 土的 X 射线衍射矿物成分试验

59.1 一般规定

59.1.1 本方法是以 X 射线射入矿物晶格产生的衍射为基础,定性或半定量地判断土的矿物组成。

59.1.2 土样为各种土类。

59.2 仪器设备和试剂

59.2.1 本试验使用的主要仪器设备应符合下列规定:

1 X 射线衍射仪:X 射线发生器、测角仪、计数器及自动记录装置。X 射线衍射仪应按仪器说明书进行校准;

2 载样玻璃片:平面的及开有试样孔槽的硬质玻璃片;

3 离心机:5000r/min;

4 高温电炉及电炉;

5 干燥器:内盛饱和硝酸钙溶液,相对湿度约为 50%;

6 其他:烧杯、量杯、移液管、玻璃片、软毛刷等。

59.2.2 试剂应符合下列规定:

1 $0.5\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氯化镁(MgCl_2)溶液:将 102g 氯化镁溶于少量纯水中,移入 1000mL 容量瓶中,用纯水稀释至刻度,摇匀;

2 $0.5\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氯化钾(KCl)溶液:将 74.5g 氯化钾溶于少量纯水中,移入 1000mL 容量瓶中,用纯水稀释至刻度,摇匀;

3 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硝酸铵溶液:将 80g 硝酸铵溶于少量纯水中,稀释至 1000mL;

4 盐酸溶液(1+1);

5 95%乙醇;

6 丙酮;

7 甘油(1+1)。

59.3 操作步骤

59.3.1 常规鉴定用的试样制备应按下列规定进行：

1 镁饱和试样制备应按下列步骤进行：

- 1) 称取 1g 左右过 0.15mm 筛孔的风干土试样,放入离心管中,加入 $0.5\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氯化镁溶液 50mL,用球状玻璃棒充分搅拌,然后用 3000r/min 以上的速度离心,弃去上部清液;再用 $0.5\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氯化镁溶液处理两次;
- 2) 分别用纯水和 95%乙醇或丙酮洗涤,离心 2 次~3 次;
- 3) 将处理过的试样晾干,或在低于 50℃下烘干,磨细备用。

2 干粉末试样制备:应将开有试样孔的载样玻璃片,放在一块平整玻璃片上,向试样孔中填入经过风干磨细的土样,使其厚度略高出试样孔。盖上一块平整玻璃片,用手按压,将试样压实、压平,然后移去上下的玻璃片。用软毛刷小心地扫除试样孔周围多余的土样。

3 水分散定向薄膜试样的制备:应称取 0.05g 镁饱和试样,加 2mL~3mL 纯水,充分搅拌使其分散。吸出 1.5mL 悬液,在 3.5cm×5cm 洁净的平面载样玻璃板上均匀铺开,静置晾干。

59.3.2 试样的专门处理与制备应按下列规定进行：

1 镁饱和试样甘油化扩展处理应按下列步骤进行：

- 1) 供蒙脱石类矿物与蛭石、绿泥石区分,以及水化埃洛石与伊利石区分用;
- 2) 将镁饱和试样 50mg 放入离心管中,加入 5%甘油溶液 10mL,用球状玻璃棒充分搅拌。用 3000r/min 以上的速度离心,弃去上部清液。按此操作用甘油溶液再处理一次,最后将离心管倒立于滤纸上,吸尽剩余的甘油溶液,按本标准第 59.3.1 条第 3 款的规定制成定向薄膜试样;

- 3)也可按本标准第 59.3.1 条第 2 款的规定压制的干粉末样,加入 1 滴~2 滴的甘油溶液(1+1)湿润,稍干后即可供鉴定用。若试样加甘油后膨胀隆起,用玻璃片压实刮平。
- 2 钾饱和试样的制备和热处理应按下列步骤进行:
- 1)供扩展性与非扩展性晶格的矿物区分,以及蛭石与蒙脱石类矿物区分用;
 - 2)钾饱和试样制备:可按本标准第 59.3.1 条的规定制备,仅需将试剂相应地换成 $1\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 氯化钾溶液即可;
 - 3)薄膜制备:可将钾饱和试样按本标准第 59.3.1 条第 3 款的规定制成定向薄膜试样,或风干磨成粉末后可按本标准第 59.3.1 条第 2 款的规定进行压制;
 - 4)钾饱和试样的热处理:将钾饱和粉末试样或其定向薄膜放入 $300^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ 高温炉内加热 2h(定向薄膜的玻璃片加热时应逐渐上升至所需温度,加热后应逐渐冷却)。然后冷却至 60°C 左右,取出贮于盛有无水氯化钙或五氧化二磷的干燥器中,直至进行 X 射线分析时取出使用。若是粉末试样,使用时应按本标准第 59.3.1 条第 2 款的规定进行压制。
- 3 试样 550°C 热处理应按下列步骤进行:
- 1)供绿泥石与高岭石以及其他 $14 \times 10^{-1}\text{nm}$ 矿物区分用;
 - 2)将钾或镁饱和粉末试样或其定向薄膜放入 550°C 高温炉中加热 2h,然后冷却至 60°C 左右,取出贮于盛有无水氯化钙或五氧化二磷的干燥器中,直至进行 X 射线分析时取出使用。若是粉末试样,使用时应按本标准第 59.3.1 条第 2 款的规定进行压制。
- 4 试样的盐酸溶蚀处理应按下列步骤进行:
- 1)供绿泥石与高岭石以及其他 $14 \times 10^{-1}\text{nm}$ 矿物区分用;
 - 2)盐酸溶蚀处理:将试样用盐酸溶液(1+1)在 100°C 下加

热处理 15min~20min,然后移至离心管中,离心,弃去上部清液,分别用纯水和 95%乙醇或丙酮各处理两次,离心洗去多余的盐酸;

- 3)溶蚀过的试样应按本标准第 59.3.1 条第 3 款的规定制成定向薄膜,或风干磨细成粉末后应按本标准第 59.3.1 条第 2 款的规定进行压制。

5 试样的硝酸铵处理应按下列步骤进行:

- 1)供镁质蛭石与其他 $14 \times 10^{-1} \text{nm}$ 矿物区分用;
- 2)硝酸铵处理:将试样或其镁饱和试样用 $1 \text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硝酸铵溶液煮沸 10min,然后移至离心管中,离心,弃去上部清液,分别用纯水、95%乙醇或丙酮各处理两次,离心洗去多余的盐类;
- 3)处理过的试样应按本标准第 59.3.1 条第 3 款的规定制成定向薄膜,或风干磨细成粉末后应按本标准第 59.3.1 条第 2 款的规定进行压制。

59.3.3 X 射线衍射分析应按下列规定进行:

1 在分析前,各种试样(加热处理的试样除外)应在盛有饱和硝酸钙溶液的干燥器中放置 3d。

2 加热处理的试样从无水氯化钙干燥器中取出后,应加热至 60℃左右或立即进行分析。若衍射仪试样台有加热装置,则加热处理的试样应在 120℃温度下进行衍射分析。

3 试验条件的控制和主要参数选择(因仪器型号、性能不同而有所差异,下列为参考值):

- 1)X 射线管阳极一般为铜靶(CuK α 辐射),含铁多的试样最好能用铁靶(FeK α 辐射)。X 射线管的工作电压为 30kV~40kV,工作电流为 10mA~15mA;
- 2)发射狭缝:1°或 0.5°;散射狭缝:1°(加镍滤片或不加);接收狭缝:0.2mm 或 0.4mm。
- 3)扫描速度:可在 0.5°~2°(2 θ /min)内选择,一般用 1°(2 θ /min);

- 4) 扫描范围:一般为 $2^{\circ} \sim 32^{\circ}(2\theta)$ 。如果要研究矿物高角度的衍射谱线如(060)等,则应将扫描范围延续到 $65^{\circ}(2\theta)$ 左右(都是对铜靶而言),同时要减小扫描速度,放宽狭缝;
- 5) 灵敏度:满刻度 $400\text{N/s} \sim 2000\text{N/s}$;
- 6) 时间常数: $4\text{s} \sim 8\text{s}$;
- 7) 记录纸移动速度: $300\text{mm/h} \sim 600\text{mm/h}$ 。

4 将载有试样的玻片插在 X 射线衍射仪的试验台上,选定技术参数和试验条件后,按仪器使用说明书启动仪器进行操作。当测角器转至所需角度(2θ)上限后,即可结束试验,关闭仪器。

59.4 数据整理、鉴定和记录

59.4.1 数据整理应符合下列规定:

1 试验结束后所得到的试验结果为仪器记录的衍射图谱,它是以衍射角(2θ)为横坐标,以衍射谱线的衍射强度(衍射峰的高度)为纵坐标的曲线。为了鉴定矿物,必须进行整理求得晶面间距和衍射强度两种衍射数据。

2 数据的整理方法:

- 1) 由各衍射峰的峰尖向横坐标作垂线,确定衍射峰的衍射角(2θ);
- 2) 根据衍射峰的衍射角查衍射角与晶面间距换算表(即 θ - d 对照表,可参照有关专著)求得相应的晶面间距(一般称作 d 值)。也可按布拉格公式求出 d 值,简化后的布拉格公式为:

$$d = \lambda_{\text{hx}} / 2\sin\theta \quad (59.4.1)$$

式中: d ——晶面间距(10^{-1}nm);

λ_{hx} ——X 射线波长(X 射线管为铜靶时, $\lambda_{\text{hx}} = 1.5418 \times 10^{-1}\text{nm}$;
若是铁靶, $\lambda_{\text{hx}} = 1.9373 \times 10^{-1}\text{nm}$)(10^{-1}nm);

θ ——衍射角($^{\circ}$)。

- 3) 根据衍射峰的高度或面积,确定其衍射强度(一般用 I 表示)。衍射强度广为应用的是相对强度(I/I_0)。表示方法常用的有:100 分制:以最强者为 100,最弱者为 0.5,然后对比其他衍射峰的强度;10 分制:以最强者为 10,最弱者为 1,然后对比其他衍射峰的强度;五级制:将强度分为最强、强、中等、弱、最弱五个等级;
- 4) 对于某些形状特殊的衍射峰,需注明宽散程度、对称程度等;
- 5) 在衍射图谱上注明试验条件、主要参数及试样制备和处理方法。

59.4.2 黏土矿物鉴定应符合下列规定:

1 衍射数据整理后,便可与标准矿物的衍射数据对比,进行鉴定矿物。鉴定的要点如下:

- 1) 应有 3 条强衍射谱线(即衍射峰)的 d 值和 I/I_0 [有的矿物在 $2^\circ \sim 32^\circ (2\theta)$ 范围内可能只出现一条衍射谱线],与标准矿物的数据基本吻合,其中 d 值吻合程度要求高一些, I/I_0 吻合程度可以差一些;
- 2) 对比时,应以低角度谱线(值大的谱线)特别是(001)基面谱线为主,高角度衍射谱线为辅;
- 3) 应注意特征谱线的对比(表 59.4.2);

表 59.4.2 常见的黏土矿物粉晶衍射数据表

高岭石(苏州)		埃洛石(阳泉)		蒙脱石(抚顺)		伊利石(南京)		蛭石		绿泥石	
$d(10^{-1} \text{ nm})$	I/I_0	$d(10^{-1} \text{ nm})$	I/I_0	$d(10^{-1} \text{ nm})$	I/I_0	$d(10^{-1} \text{ nm})$	I/I_0	$d(10^{-1} \text{ nm})$	I/I_0	$d(10^{-1} \text{ nm})$	I/I_0
7.19	10	10.04	10	15.0	10	9.83	8	14.5	10	14.02	0.5
4.459	3.5	4.391	7.5	5.007	0.5	4.983	6	4.952	2	7.08	10
4.439	4.5	3.361	3	4.548	1	4.484	4	4.571	3	4.717	6.5
4.167	4	2.996	1	3.006	0.5	4.230	1	3.504	2	3.546	6

续表 59.4.2

高岭石(苏州)		埃洛石(阳泉)		蒙脱石(抚顺)		伊利石(南京)		蛭石		绿泥石	
$d(10^{-1}$ nm)	I/I_0	$d(10^{-1}$ nm)	I/I_0	$d(10^{-1}$ nm)	I/I_0	$d(10^{-1}$ nm)	I/I_0	$d(10^{-1}$ nm)	I/I_0	$d(10^{-1}$ nm)	I/I_0
3.830	2	2.554	2.5	2.569	1	3.480	1	2.605	5	3.323	0.5
3.736	1	1.682	1	1.524	1	3.339	10	2.421	3	2.838	0.5
3.576	10	1.481	1.5			3.184	7	1.674	2	2.547	0.5
3.372	1					2.979	3	1.529	4	2.378	0.5
2.564	3					2.550	3			2.031	0.5
2.534	1					2.456	1			1.663	0.5
2.495	3					2.380	1			1.538	0.5
2.384	1					2.276	1				
2.336	4					2.128	1				
2.290	8					1.994	3				
1.994	3.5					1.817	0.5				
1.786	0.5					1.624	1				
1.650	1.5					1.497	2				
1.617	1										
1.545	0.5										
1.489	2.5										

4) 注意衍射峰的形状特征:黏土矿物衍射峰形状大多宽散,非黏土矿大多较尖锐。扩展性晶格矿物如蒙脱石等衍射峰具有明显的宽散特征;

5) 先鉴别出主要的黏土矿物类型,然后再作细分,最后鉴定伴存矿物。

2 高岭石与埃洛石的衍射图谱相似,可用下列方法区分:

1) 高岭石为片状结晶,易于形成定向集合体,故 $d(001)=$

$7.0 \times 10^{-1} \text{ nm} \sim 7.2 \times 10^{-1} \text{ nm}$, 衍射强度大, $4.4 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 附近谱线强度弱, 谱线均无宽散现象。埃洛石的(001)基面间距略大些, $d = 7.4 \times 10^{-1} \text{ nm} \sim 7.6 \times 10^{-1} \text{ nm}$, 谱线宽散且强度较弱, 但 $4.4 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 附近谱线强度大, 并有向小的晶面间距扩散的趋势;

2) 埃洛石在甘油饱和后, $d(001)$ 可扩展至 $10 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 左右, 高岭石不扩展;

3) 高岭石(001)与绿泥石(002)基面间距相似, 均在 $7 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 左右, 可用下列方法区分: 将试样按酸的溶蚀处理后, 绿泥石因分解, 衍射谱线全部消失(绿泥石的特征反应), 而高岭石无变化。故处理后 $7 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 谱线仍然存在, 示有高岭石; 反之, 说明原有 $7 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 附近谱线是绿泥石的。将试样进行 550°C 热处理后, 高岭石因晶格破坏, 衍射谱线全部消失。绿泥石衍射谱线仅稍有变化, 往往是(001)基面谱线增强, 而(002)、(003)和(004)基面的衍射谱线减弱。高岭石与绿泥石还可按下列谱线对比来区分:

绿泥石	高岭石
$4.72 \times 10^{-1} \text{ nm}(003)$ 无	
$3.54 \times 10^{-1} \text{ nm}(004)$	$3.57 \times 10^{-1} \text{ nm} \sim 3.58 \times 10^{-1} \text{ nm}(002)$
极弱或无(006)	$2.37 \times 10^{-1} \text{ nm} \sim 2.39 \times 10^{-1} \text{ nm}(003)$ 弱
$1.53 \times 10^{-1} \text{ nm}(060)$	$1.48 \times 10^{-1} \text{ nm} \sim 1.49 \times 10^{-1} \text{ nm}(060)$

3 蒙脱石、蛭石、绿泥石这三种矿物都有 $14 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 附近的谱线, 可按下列方法区分:

1) 在镁饱和甘油化定向薄膜试样的衍射图谱中, 仅蒙脱石的(001)基面间距由 $14 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 附近扩展至 $17.7 \times 10^{-1} \text{ nm}$ (蒙脱石的特征反应)。据此易于将蒙脱石与其他 $14 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 矿物区分开来;

2) 将试样进行热处理后, 三者之中仅绿泥石(001)基面间距

无显著变化,且衍射强度往往有所增大,而蒙脱石和蛭石均由 $14 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 附近收缩至 $10 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 附近。此可作为绿泥石与其他 $14 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 附近矿物相区别的特征反应;

- 3) 将试样进行酸的溶蚀处理后,三者之中仅绿泥石衍射线全部消失,其余两者的谱线基本上不变;
- 4) 将试样制成钾饱和定向薄膜,其中绿泥石的 $14 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 谱线无变化,蛭石 $14 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 谱线收缩至 $10 \times 10^{-1} \text{ nm}$,而蒙脱石则收缩至 $12 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 附近(有的亦可收缩至 $10 \times 10^{-1} \text{ nm}$)。若再进行 $300^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ 加热处理,三者中仅有绿泥石谱线无变化,其余二者均可收缩至 $10 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 左右;
- 5) 将试样进行硝酸铵处理后,三者之中仅绿泥石衍射线无变化。镁质蛭石 $14 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 谱线将收缩至 $10 \times 10^{-1} \text{ nm}$,蒙脱石则收缩至 $12 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 附近;
- 6) 伊利石与水化埃洛石这两种矿物都有 $10 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 附近谱线,可按下列方法区分:试样处理成镁饱和甘油化定向薄膜后,伊利石谱线无变化,水化埃洛石的 $10 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 谱线将扩展至 $11 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 附近。试样进行 $300^{\circ}\text{C} \sim 350^{\circ}\text{C}$ 加热处理后,伊利石谱线无变化,水化埃洛石的 $10 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 谱线将收缩至 $7.2 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 附近。
- 7) 伊利石类矿物 $d(003) = 3.32 \times 10^{-1} \text{ nm} \sim 3.36 \times 10^{-1} \text{ nm}$,石英 $d(101) = 3.34 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 左右。这两种矿物都是土中常见的,在判读 $d = 3.34 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 左右谱线时容易混淆,应当注意。石英以 $d(100) = 4.26 \times 10^{-1} \text{ nm}$ 附近谱线为依据较为适宜;
- 8) 二八面体和三八面体的黏土矿物,可用(060)晶面间距大小以及(002)谱线的强弱来鉴别。通常二八面体的黏土矿物 $d(060) = 1.48 \times 10^{-1} \text{ nm} \sim 1.51 \times 10^{-1} \text{ nm}$,并且

(002)谱线较强;三八面体的黏土矿物 $d(060)=1.52\times 10^{-1}\text{nm}\sim 1.53\times 10^{-1}\text{nm}$, (002)谱线较弱或没有。应当注意不要将石英的 $1.53\times 10^{-1}\text{nm}$ 附近的谱线加以误判。

59.4.3 本试验系定性的鉴定而不是定量分析,所以鉴定结果依据主要衍射峰的高度和面积粗略地加以估计后,按各种黏土矿物大致含量由多到少依次排列。至于伴存的非黏土矿物,宜按其含量由少到多依次排列在黏土后面。

59.4.4 试验记录中除了将鉴定出的矿物依次排列外,还应将整理后的衍射数据列入记录表中,同时应将试样的 X 射线衍射图谱附在成果鉴定表后。

59.4.5 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 104 的规定。

60 粗颗粒土的试样制备

60.1 一般规定

60.1.1 土样应为黏质粗颗粒土或无黏性粗颗粒土。

60.1.2 本试验对于含超粒径土样的处理方式有剔除法、等量替代法、相似级配法和混合法。

60.2 仪器设备

60.2.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

- 1 粗筛孔径:100mm、80mm、60mm、40mm、20mm、10mm、5mm;
- 2 细筛孔径:2mm、1mm、0.5mm、0.25mm、0.10mm、0.075mm。

60.2.2 本试验所用的其他仪器设备应符合下列规定：

- 1 台秤:称量 100kg 或 50kg,分度值 50g;称量 10kg,分度值 5g;
- 2 天平:称量 5000g,分度值 1g;称量 200g,分度值 0.01g;
- 3 其他:碎石机、振筛机、烘箱、木锤、橡皮板、铁铲、盛土盘、喷雾器、保湿缸。

60.3 操作步骤

60.3.1 黏质粗颗粒土的试样制备应按下列步骤进行：

- 1 风干土样制备应将全部土样置于橡皮板上风干,用木锤将土块及附着在粗颗粒土上的细粒土敲散,应注意避免破坏土的天然颗粒。将全部土样依次过筛,按 $>100\text{mm}$ 、 $100\text{mm}\sim 80\text{mm}$ 、 $80\text{mm}\sim 60\text{mm}$ 、 $60\text{mm}\sim 40\text{mm}$ 、 $40\text{mm}\sim 20\text{mm}$ 、 $20\text{mm}\sim 10\text{mm}$ 、 $10\text{mm}\sim 5\text{mm}$ 、 $<5\text{mm}$ 分组并称其质量,计算各粒组含量百分数,测定粒径大于 5mm 土及粒径小于 5mm 的各粒组土的风干含水率。

2 根据土样性质及工程要求,从粒径大于 5mm 和小于 5mm 的土中分别取代表性土样进行物理性试验。必要时,参照地质鉴定方法对粒径大于 5mm 土粒的岩性、形状、风化程度及粒径小于 5mm 土粒特性进行描述。

3 根据试验要求的级配进行配制土样。各粒组取土质量应按本标准第 60.4.5 条的规定计算。当土样中含超粒径颗粒时,可按下列 4 种方法处理:

- 1)剔除法:将超粒径颗粒剔除;
- 2)等量替代法:用粒径小于仪器允许最大粒径并大于 5mm 的土粒按比例等质量替换超粒径颗粒;
- 3)相似级配法:根据原级配曲线的粒径,分别按照几何相似条件等比例地将原样粒径缩小至仪器允许的粒径;
- 4)混合法:同时采用本款第 2 项、第 3 项两种方法,即先用适当的比尺缩小,使粒径小于 5mm 的土的质量不大于总质量的 30%,若仍有超粒径颗粒再用等量替代法制样。

4 将取好的土样拌和均匀,平铺在不吸水的垫板上,含水率应按本标准第 60.4.6 条的规定计算加水量。用喷雾器均匀喷洒所需的水量后,充分拌和,在保湿器内湿润 24h,并实测含水率,含水率的最大允许差值应为 $\pm 1\%$ 。

5 制备好的土样如暂时不用,应装入塑料袋或有内衬塑料膜的编织袋中,扎紧袋口,密封保存,以防含水率变化。

6 如土料数量不够,可重复使用,但风化土和含有棱角的易破碎的石渣、堆石料则不允许重复使用。

7 天然含水率土样制备:应在保持天然含水率不变的情况下,将全部土样拌和均匀。根据含砾量多少,取不少于以下规定的代表性土样,测定其天然含水率:

粗、细颗粒混合土样	2000g~5000g
粒径大于 5mm 粗颗粒土	2000g~3000g(各粒组分别测定时取 200g~2000g)

粒径不大于 5mm 细颗粒土 100g~200g

根据各项试验所需总质量,用四分法分别取所需土样质量(务必使粗颗粒分配均匀),装入保湿器内,以防含水率变化。

60.3.2 无黏性粗颗粒土的试样制备应符合下列规定:

1 将全部土样依次过粗筛,分组称量。必要时取粒径小于 5mm 土过筛,计算各粒组含量百分数。按粒组分别存放备用;

2 应按本标准第 60.3.1 条第 2 款~第 6 款的规定进行备样。

60.4 计算和记录

60.4.1 剔除法级配应按下式计算:

$$X_i = \frac{X_{0i}}{1 - P_{dmax}} \quad (60.4.1)$$

式中: X_i ——剔除后某粒组含量(%);

X_{0i} ——原级配某粒组含量(%);

P_{dmax} 超粒径颗粒含量,以小数计。

60.4.2 等量替代法级配应按下式计算:

$$X_i = \frac{X_{0i}}{P_5 - P_{dmax}} P_5 \quad (60.4.2)$$

式中: P_5 ——粒径大于 5mm 的土粒占总质量的含量,以小数计。

60.4.3 相似级配法粒径应按下式计算:

$$d_{ni} = \frac{d_{0i}}{n_d} \quad (60.4.3-1)$$

$$n_d = d_{0max} / d_{max} \quad (60.4.3-2)$$

式中: d_{ni} ——原级配某粒径缩小后的粒径(mm);

d_{0i} 原级配某粒径(mm);

n_d ——粒径缩小倍数;

d_{0max} ——原级配最大粒径(mm);

d_{max} ——仪器允许最大粒径(mm)。

60.4.4 相似级配法级配应按下式计算:

$$X_{dn} = X_{d0} / n_d \quad (60.4.4)$$

式中: X_{dn} ——粒径缩小 n_d 倍后相应的小于某粒径含量(%);

X_{d0} ——原级配相应的小于某粒径含量(%).

60.4.5 各单项试验所需风干土质量和某粒组应取风干土质量应按下列公式计算:

1 各单项试验所需风干土质量:

$$m_0 = m_{01} + m_{02} \quad (60.4.5-1)$$

$$m_{01} = V\rho_d P_5 (1 + 0.01w_{01}) \quad (60.4.5-2)$$

$$m_{02} = V\rho_d (1 + 0.01w_{02}) (1 - P_5) \quad (60.4.5-3)$$

2 某粒组应取风干土质量:

$$m_{0i} = \frac{0.01X_i}{P_5} m_{01} \quad (60.4.5-4)$$

式中: m_0 ——风干土样总质量(kg);

m_{01} ——粒径大于 5mm 风干土质量(kg);

m_{02} ——粒径不大于 5mm 风干土质量(kg);

m_{0i} ——某粒组风干土质量(kg);

w_{01} ——粒径大于 5mm 风干土含水率(%);

w_{02} ——粒径不大于 5mm 风干土含水率(%);

V ——试样体积(cm^3);

X_i ——某粒径组含量(%).

60.4.6 土样所需加水量应按下列公式计算:

$$m_w = \frac{m_0}{1 + 0.01w_0} 0.01(w' - w_0) \quad (60.4.6-1)$$

$$w_0 = w_{01} P_5 + w_{02} (1 - P_5) \quad (60.4.6-2)$$

60.4.7 土样制备记录格式应符合本标准附录 D 表 D.105 的规定。

61 粗颗粒土相对密度试验

61.1 一般规定

61.1.1 土样应为最大粒径不大于 60mm 的能自由排水的粗颗粒土。

61.1.2 粗颗粒土中细粒土的含量不应大于 12%。

61.2 仪器设备

61.2.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

1 振动台：具有隔振装置的振动台。台面尺寸为 762mm×762mm，振动台的负荷应满足试样筒、套筒、加重底板、加重物及试样等总质量要求。振动台频率应为 40Hz～60Hz，振幅为 0mm～2mm 可调，加重盖板为 1.2cm 厚的钢板，直径略小于试样筒，中心应有 15mm 未穿通的提吊螺孔。对所用的试样筒，加重盖板与加重物的总压力为 14kPa。

2 表面振动器：由振动电动机及钢制夯组成。钢制夯由连接杆、连接栓固定于振动电动机下，其底部为厚 15mm 的圆形夯板。夯板直径略小于试样筒内径 2mm～5mm。表面振动器振动频率为 40Hz～60Hz，激振力约为 4.2kN，夯与振动器对试样的静压力为 14kPa。

3 试样筒：试样筒的尺寸应符合表 61.2.1 的规定。

表 61.2.1 试样筒尺寸

内径 D (cm)	高度 H (cm)	体积 V (cm ³)	允许最大粒径 $d_{\max}$ (mm)	试料质量 m (kg)
30	34	24033	60	40～50

61.2.2 本试验所用的其他仪器设备应符合下列规定：

- 1 套筒:应与试样筒紧固连接;
- 2 测针架及测针:测针的分度值为 0.1mm;
- 3 灌注设备:带管嘴的漏斗。管嘴直径 10mm~20mm,漏斗喇叭口径 100mm~150mm,管嘴长度视套筒高度而定;
- 4 试验筛:
 - 1)粗筛:孔径分别为 60mm、40mm、20mm、10mm、5mm;
 - 2)细筛:孔径分别为 5mm、2mm、1mm、0.5mm、0.25mm、0.075mm。
- 5 台秤:称量 50kg,分度值 50g;称量 10kg,分度值 5g;
- 6 其他:搅拌盘、起吊设备、铁铲、毛刷、秒表、钢尺、卡尺、称料桶、大瓷盘。

61.3 操作步骤

61.3.1 选用代表性土样在 105℃~110℃下烘干,并分级过筛贮存。筛分过程中应使弱胶结的土样能充分剥落。

61.3.2 最小干密度试验应按下列步骤进行:

- 1 称筒质量。
- 2 对粒径不大于 10mm 的烘干土,采用固定体积法。将拌匀的土样从漏斗管嘴均匀徐徐地注入试样筒。注入时随时调整漏斗管口的高度,使自由下落的距离保持在 2mm~5mm 之间。同时要从外侧向中心呈螺旋线移动,使土层厚度均匀增高而不产生大小颗粒分离。当充填到高出筒顶约 25mm 时,用钢直刀沿筒口刮去余土。注意在操作时不得扰动试样筒。称筒及试样总质量。
- 3 对粒径大于 10mm 的烘干土,采用固定体积法。用大勺或小铲将土样填入试样筒内。装填时小铲应贴近筒内土面,使铲中土样徐徐滑入筒内,直至填土高出筒顶,余土高度不应超过 25mm。然后将筒面整平。当有大颗粒露顶时,凸出筒顶的体积应能近似地与筒顶水平面以下的大凹隙体积相抵消,称筒及试样

总质量。

4 最小干密度测定应按上述的规定进行平行试验,取其算术平均值,其最大允许平行差值应为 $\pm 0.03\text{g/cm}^3$ 。

61.3.3 最大干密度振动台法试验应按下列步骤进行:

1 振动台法(干法):先拌匀烘干土样,将土样装填于试样筒中,称筒与试样总质量。装填方法与最小干密度的测定相同。通常情况是直接用最最小干密度试验时装好的试样筒,放在振动台上,加上套筒,把加重盖板放于土面上,依次安放好加重物。随即将振动台调至最优振幅 0.64mm ,振动 8min 后,卸除加重物和套筒,测读试样高度,计算试样体积。

2 振动台法(湿法):在烘干试料中加适量的水,或用天然的湿土进行装样。装完试样后,应立即振动 6min 。对于高含水率的土样,为了防止某些土在振动过程中产生颗粒跳动,振动 6min 时,应随时减小振动台的振幅。振动后吸除土面上的积水,依次装上套筒。施加重物,然后固定在振动台上,振动 8min 后,依次卸除加重物与套筒。测读试样高度,称筒与试样总质量。取代表性土样测含水率。

3 最大干密度测定应按上述的规定进行平行试验,取其算术平均值,其最大允许平行差值应为 $\pm 0.03\text{g/cm}^3$ 。

61.3.4 最大干密度表面振动法试验的测定应按下列步骤进行:

1 干法表面振动法应先将试样筒及底板固定在基础上,制样及装填方法应按本标准第61.3.3条第1款的规定进行,将试样均分为两份,分两层装填,每层振动 8min ,取出振动器,卸除套筒,量测试样高度。称试样筒和土的质量。

2 湿法表面振动法应先将试样筒及底板固定在基础上,制样及装填方法应按本标准第61.3.3条第2款的规定进行,将试样均分为两份,分两层装填,第一层装好后,放入振动器进行振动,振动 8min 后,提起振动器,吸除土表面的积水,重复第一层试样装填振动

步骤。测读试样高度,称筒与试样总质量并应按本标准第 60.3.1 条第 3 款第 7 项的规定测试样含水率。

61.4 计算和记录

61.4.1 最小、最大干密度应按下列公式计算:

1 最小干密度:

$$\rho_{dmin} = \frac{m_d}{V_c} \quad (61.4.1-1)$$

2 最大干密度:

$$\rho_{dmax} = \frac{m_d}{V_s} = \frac{m_d}{V_c - (R_i - R_t) \times 0.1 \times A} \quad (61.4.1-2)$$

式中: V_c ——试样筒的体积(cm^3);

V_s ——试样体积(cm^3);

R_i ——起始读数(mm);

R_t ——振后加荷盖板上百分表的读数(mm);

A ——试样筒断面积(cm^2)。

61.4.2 相对密度 D_r 应按下列公式计算:

$$D_r = \frac{(\rho_{d0} - \rho_{dmin})\rho_{dmax}}{(\rho_{dmax} - \rho_{dmin})\rho_{d0}} \quad (61.4.2-1)$$

$$D_r = \frac{e_{max} - e_0}{e_{max} - e_{min}} \quad (61.4.2-2)$$

式中: ρ_{d0} ——天然状态或人工填筑之干密度(g/cm^3);

e_0 ——天然或填筑孔隙比。

61.4.3 压实度应按下式计算:

$$R_c = \frac{\rho_{d0}}{\rho_{dmax}} \quad (61.4.3)$$

式中: R_c ——压实度,以小数计。

61.4.4 密度指数应按下式计算:

$$I_D = \frac{\rho_{d0} - \rho_{dmin}}{\rho_{dmax} - \rho_{dmin}} \times 100 \quad (61.4.4)$$

式中： I_D ——密度指数(%)。

61.4.5 粗颗粒土相对密度试验记录格式应符合本标准附录 D 表 D.106 的规定。

62 粗颗粒土击实试验

62.1 一般规定

62.1.1 土样应为最大粒径不大于 60mm 且不能自由排水的含黏质土的粗颗粒土。

62.1.2 本试验分为轻型击实试验和重型击实试验。轻型击实试验的单位体积击实功约为 592.2kJ/m^3 , 重型击实试验的单位体积功约为 2684.9kJ/m^3 。

62.2 仪器设备

62.2.1 大型击实仪应符合下列规定(图 62.2.1):由击实筒、套筒、击锤、导筒等组成。其主要指标应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的规定,见表 62.2.1。

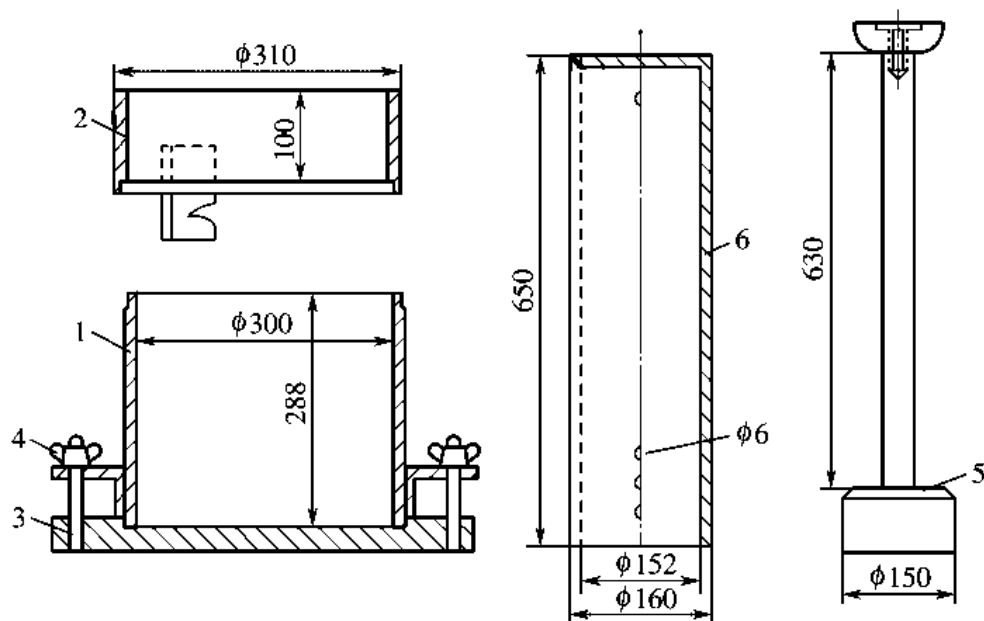


图 62.2.1 大型击实仪示意图(单位:mm)

1—击实筒;2—套筒;3—底盘;4—固定螺丝;5—击锤;6—导筒

表 62.2.1 大型击实仪技术性能

击锤质量 (kg)	击锤底直径 (cm)	落高 (cm)	击实筒尺寸		装土 层次	每层 击数	单位面积 冲量 (kPa·s)
			直径(cm)	高度(cm)			
15.5	15	60	30	28.8	3	44	3
35.2	15	60	30	28.8	3	88	7

62.2.2 本试验所用的其他仪器设备应符合下列规定：

- 1 天平：称量 200g，分度值 0.01g；称量 2000g，分度值 1g；
- 2 台秤：称量 10kg，分度值 5g；称量 100kg，分度值 50g；
- 3 粗筛：孔径 100mm、80mm、60mm、40mm、20mm、10mm、5mm；
- 4 其他：喷水器、恒湿器、搪瓷盘、大铝盒、铁铲、木棒、刮土刀、平口刀。

62.3 操作步骤

62.3.1 试样制备分为湿样法和干样法两种。

1 干法制备应按下列步骤进行：

- 1) 将有代表性土样一次备足，充分拌匀后取 20kg～50kg，测定试验前的级配、混合含水率或分别测定粗颗粒土、粒径不大于 5mm 土样的含水率、比重及细粒土的液塑限；
- 2) 将代表性土样风干，将土块及附于粗颗粒上的细颗粒碾散。碾散时，应避免将天然颗粒碾破。然后将全部土样过筛，按 >60mm、60mm～40mm、40mm～20mm、20mm～10mm、10mm～5mm、<5mm 粒组分别堆放备用；
- 3) 备好的土样应按照本标准第 60.3.1 条第 3 款的规定进行处理，分别计算并称取每一试样所需的各级粒组的质量（每个试样的质量约为 35kg～45kg），一组试验不少于 5 个试样；
- 4) 调制粒径不大于 5mm 试样含水率，各试样依次相差 2%

左右,其中 2 个大于最优含水率,2 个小于最优含水率(按细粒的塑限估计最优含水率)。所需加水量按本标准第 60.4.6 条的规定进行计算。若粗颗粒采用饱和面干状态含水率,则只需计算粒径不大于 5mm 试样的加水量;

- 5)将各个试样分别置于不吸水的平板上,用喷水设备均匀喷洒至预定水量。分层边喷洒边拌和,待拌和均匀后,装入盛土密闭器具内,在保湿器内湿润 24h,根据土的性质可延长或缩短贮存时间。

2 湿法制备应按下列步骤进行:

- 1)宜用于含强风化的粗颗粒土;
- 2)取天然含水率的粗颗粒土约为 300kg~400kg,分成 7 等份,其中 1 份作测定试样含水率用,1 份备用,其余 5 份应分别按本标准第 62.3.1 条第 1 款第 4 项的规定制备试样。

62.3.2 击实试验应按下列步骤进行:

1 击实仪应放在刚性基础上,安装调整好,拧紧全部螺帽,在击实筒内壁及底板涂一薄层润滑油。

2 取制备好的土样,拌和均匀。应按本标准表 62.2.1 的规定分层击实。装填试样时,应防止粗粒集中并控制每层的高度大致相同,每层击实后,应将其表面刨毛。最后一层的顶面不应大于击实筒顶面 15mm。

3 击实完成后,取下套环,取去超高部分余土,并将表面填平。然后卸去底盘,将击实筒外壁擦净,称筒与试样总质量,准确至 50g。

4 将试样从击实筒内推出,并从试样中部取 2kg~5kg 混合土样测定其含水率,或取 50g~100g 粒径不大于 5mm 的土样,测定其含水率。

5 应按本标准第 62.3.2 条第 2 款~第 4 款的规定进行不同

含水率土样的击实试验。

62.4 计算、制图和记录

62.4.1 干密度应按下式计算：

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w} \quad (62.4.1)$$

62.4.2 以干密度为纵坐标,含水率为横坐标,绘制干密度和含水率关系曲线。曲线的峰值为最大干密度 $\rho_{d\max}$,与其对应的含水率为最优含水率 w_{op} 。

62.4.3 饱和状态的含水率应按下式计算：

$$w_{sat} = \left(\frac{\rho_w}{\rho_d} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100 \quad (62.4.3)$$

式中： w_{sat} ——饱和状态含水率(%)。

62.4.4 计算数个干密度下土的饱和含水率,以干密度为纵坐标,含水率为横坐标,绘制饱和曲线。

62.4.5 粗颗粒土击实试验记录格式应符合本标准附录 D 表 D.107的规定。

63 粗颗粒土的渗透及渗透变形试验

63.1 一般规定

63.1.1 土样应为扰动的粗颗粒土试样。

63.1.2 本试验方法分为垂直渗透试验和水平渗透试验。

63.2 仪器设备

63.2.1 本试验所使用的主要仪器设备应符合以下规定：

1 垂直渗透变形仪(图 63.2.1-1):包括仪器筒、顶盖、底座、透水板及支架。筒身内径与试样最大颗粒粒径之比不应小于 5,试样高度不应小于试样直径。顶盖中心为一活塞套。透水板分上透水板和下透水板,上透水板兼起传递荷载作用。在下透水板之下,也可设置斜透水板,坡度为 1:1~1:1.5,用以排除水中含气斜透水板上端设有排气孔。

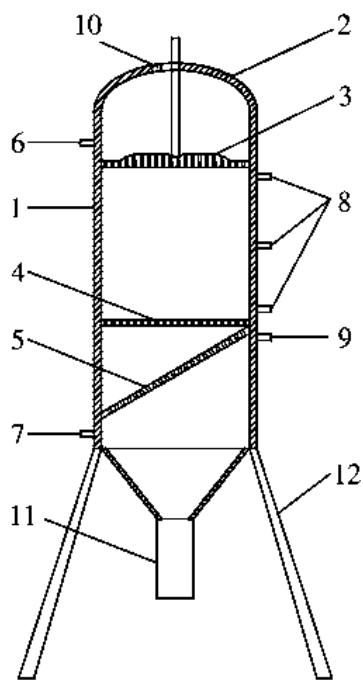


图 63.2.1-1 垂直渗透变形仪示意图

1—筒身;2—上盖;3—上透水板;4—下透水板;5—斜透水板;6—上进水口(溢水口);7—下进水口(溢水口);8—测压孔;9—排气孔;10—上排气孔;11—集砂器;12—支架

2 水平渗透变形仪(图 63.2.1-2):由进水段、试样段、出水段、集砂器、水箱、支架组成。仪器的宽度和厚度与试样最大颗粒粒径比不得小于 5,长度不得小于宽度。

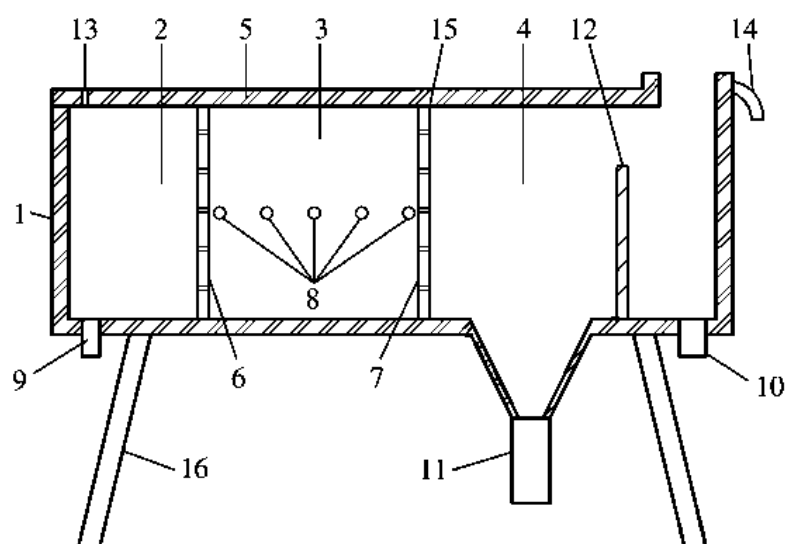


图 63.2.1-2 水平渗透变形仪示意图

1—筒;2—进水段;3—试样段;4—出水段;5—上盖板;6—上游透水板;
7—下游透水板;8—测压孔;9—上游进水口(放水口);10—下游放水口;
11—集砂器;12—格栅;13—上游排气孔;14—下游溢水口;15—橡皮止水;16—支架

3 供水设备:供水箱,提升架、橡皮管。供水箱设置溢流堰能保持常水头。

4 加荷设备:活塞杆、加荷框架、加荷杠杆和百分表支架。

5 量测设备:测压管、量筒、秒表、温度计、百分表和测压装置。

6 其他设备:击锤(或振动器)、台秤、天平及标准筛等。

63.2.2 仪器检查应下列步骤进行:

1 将下进水口与供水管相连接,使仪器充水,检查仪器的各部件是否堵塞及漏水等。检查完毕,降低供水箱,对于垂直渗透仪使水箱中水位与下透水板的下沿齐平,对于水平渗透仪使水箱中水位与试样底部齐平。

2 对于垂直渗透仪,取去顶盖,在下透水板上铺设滤网,以免细料漏失,沿仪器壁和滤网之间的接触缝隙涂一圈油泥或橡皮泥。对于水平渗透仪,取去上盖板,固定上游透水板,在透水板上铺设滤网。只进行渗透系数试验时,在下游固定透水板并铺设滤网。需进行渗透变形时,下游设置格栅,安好集砂器。沿仪器壁和透水板之间的接触缝隙涂一圈油泥或橡皮泥。

3 开启全部测压孔,使之处于排气状态。

63.3 操作步骤

63.3.1 试样制备应按下列步骤进行:

1 从风干、松散的土样中取具有代表性土样,进行颗粒分析试验,确定试样的颗粒级配,并绘制颗粒级配曲线。

2 根据试验土样粒径,按仪器内径不应小于试样最大粒径的5倍选择仪器。当常规试验的仪器内径不能满足要求时,应设计加工大直径的渗透变形仪。或根据试样情况,对最大允许粒径以上的粗颗粒可按本标准第60.3.1条第3款第2项的规定处理。

3 根据需要控制的干密度及试样高度,试样质量应按下列式计算:

$$m_d = \rho_d \pi r^2 h' \quad (63.3.1)$$

式中: r ——仪器筒身半径(cm);

h' ——试样高度(cm)。

4 称取试样后,为减少粗细颗粒分离现象,保证试样的均匀性,应当分层装填试样,且每层的级配应相同,还可酌加相当于试样质量1%~2%的水分,拌和均匀后再进行装样。

5 将称好的试样均匀分层装入仪器中,用击实锤(对于风化石渣或易击碎之土料可采用振动加密法)击实。达到要求的密度试样总厚度:砂土不小于10cm;细砾石不小于15cm;中粗砾石为20cm~25cm;卵石为试样最大粒径的3倍~5倍。装填分层厚度:砂土一般为2cm~3cm;砂砾石及砂卵石为试样最大粒径的

1.5 倍~2.0 倍。

63.3.2 试样饱和应按下列步骤进行:

1 试样装好后,测量试样的实际厚度,然后用无气水采用水头饱和法进行饱和。使水位略高于试样底面位置,再缓慢地提升水箱,每次提升 1cm,待水箱水位与试样中水位相等,并停 10min 后,再提升水箱。随着供水箱上升,让水由仪器底部向上渗入,使试样缓慢饱和,以完全排除试样中的空气。与此同时,随着水位上升,应接通相应的测压管(若试验用自来水,应至少贮存一天曝气后再用来作试验用水,以减少水中气体的离析)。

2 为减少试验过程中由于试验用水分离出的气泡堵塞试样孔隙,影响试验准确度,应使试验用水的温度不低于室温,或采用其他排气措施。

63.3.3 渗透试验应按下列步骤进行:

1 根据工程要求,当需要在试验过程中在试样顶面施加荷载时,则利用加荷设备。对于垂直渗透仪,通过活塞及上透水板对试样施加荷载;对于水平渗透仪,通过上盖板对试样施加荷载。

2 试验时,选择初始渗透坡降及渗透坡降递增值,应先根据细粒含量大致判别试样渗透变形的破坏形式。如为管涌破坏,则渗透坡降初始值及递增值要小一些。如为流土破坏,则渗透坡降初始值及递增值应大一些。其原则是既要测得试样临发生变形前的坡降,又要准确地测得临界坡降。

3 提升供水箱,使供水箱的水面高出渗透容器的溢水口(上进水口)保持常水头差,形成初始渗透坡降。

4 对管涌土,加第一级水头时,初始渗透坡降可为 0.02~0.03;然后一般可按 0.05、0.1、0.15、0.2、0.3、0.4、0.5、0.7、1.0、1.5、2.0……等坡降递增。但在接近临界坡降时,渗透坡降递增值应酌量减小。对于非管涌土,初始渗透坡降可适当提高,渗透坡降递增值应适当放大。

5 每次升高水头 30min 至 1h 后,测记测压管水位,并用量

筒测读渗水量 3 次。每次测读间隔时间一般为 10min~20min。同时测读水温、室温。对非管涌土,测读间隔时间可适当延长。仔细观察试验过程中出现的各种现象,如水的浑浊程度、冒气泡、细颗粒的跳动、移动或被水流带出、土体悬浮、渗流量及测压管水位的变化等,并描述记于记录中。

6 如果连续 3 次测得的水位及渗水量基本稳定,又无异常现象,即可提升至下一级水头。

7 对于每级渗透坡降,均应按本标准 63.3.3 条第 5 款的规定重复进行,直至试验破坏或当水头不能再继续增加时,即可结束试验。

63.4 计算、制图和记录

63.4.1 试样的干密度应按下式计算:

$$\rho_d = \frac{m_d}{\pi r^2 h_0} \quad (63.4.1)$$

式中: r ——试样半径(cm);

h_0 ——试样初始高度(cm)。

63.4.2 试样的孔隙率应按下式计算:

$$n = \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_w G_s}\right) \times 100 \quad (63.4.2)$$

式中: n ——孔隙率(%)。

63.4.3 土粒比重 G_s 应为粗细颗粒混合比重,应按下式计算:

$$G_s = \frac{1}{\frac{P_{\bar{s}}}{G_{s1}} + \frac{1 - P_{\bar{s}}}{G_{s2}}} \quad (63.4.3)$$

式中: G_{s1} 、 G_{s2} ——粒径大于 5mm 和不大于 5mm 的土粒比重。

63.4.4 渗透坡降应按下式计算:

$$i = \frac{\Delta H}{L} \quad (63.4.4)$$

式中: i ——渗透坡降;

ΔH ——测压管水头差(cm);

L ——与水头差 ΔH 相应的渗径长度(cm)。

63.4.5 渗流速度应按下式计算:

$$v = \frac{Q}{tA} \quad (63.4.5)$$

式中: v ——渗透流速(cm/s);

Q ——渗水量(cm^3);

t ——时间(s);

A ——试样面积(cm^2)。

63.4.6 渗透系数应按下式计算:

$$k_T = \frac{v}{i} \quad (63.4.6)$$

63.4.7 在双对数纸上,以渗透坡降 i 为纵坐标,渗透速度 v 为横坐标,绘制渗透坡降与渗流速度关系曲线($\lg i - \lg v$ 曲线)。

63.4.8 对管涌破坏的试样,应分别确定其临界坡降及破坏坡降。首先根据试样的总厚度作出 $\lg i - \lg v$ 曲线,必要时还应作出测压管之间试样厚度的 $\lg i - \lg v$ 曲线。临界坡降可根据 $\lg i - \lg v$ 关系曲线进行判断。当 $\lg i - \lg v$ 关系曲线的斜率开始变化,并观察到细颗粒开始跳动或被水流带出时,认为该试样达到了临界坡降 i_k ,其值为:

$$i_k = \frac{i_2 + i_1}{2} \quad (63.4.8-1)$$

式中: i_2 ——开始出现管涌时的坡降;

i_1 ——开始出现管涌前一级的坡降。

随着水头逐步加大,细粒不断被冲走,渗透流量变大,当水头增加到试样破坏,该坡降称为试样的破坏坡降 i_F ,其值为:

$$i_F = \frac{i'_2 + i'_1}{2} \quad (63.4.8-2)$$

式中: i'_2 ——试样破坏时的渗流坡降;

i'_1 ——试样破坏前一级的渗流坡降。

发生流土破坏时,有时 i'_2 不易测得,则可按下式计算:

$$i_F = i'_1 \quad (63.4.8-3)$$

63.4.9 粗颗粒土的渗透及渗透变形试验记录格式应符合本标准附录 D 表 D.108 的规定。

64 反 滤 试 验

64.1 一 般 规 定

64.1.1 土样应为无黏性土样和黏性土样。

64.1.2 本试验方法采用垂直渗透法。

64.2 无黏性土的反滤试验

64.2.1 本试验所用的主要仪器设备应符合本标准第 63.2.1 条第 1 款～第 6 款的规定。当渗透水流由上向下时,下游溢水口处,加设一个可升降的溢流水箱。

64.2.2 仪器检查应符合本标准第 63.2.2 条第 1 款～第 3 款的规定。

64.2.3 试样的制备与饱和应按下列步骤进行:

1 试样制备应按下列步骤进行:

- 1)将称好的土样分层装入仪器内,用击实锤(对风化石渣或易击碎的土料,可采用振动加密法)击实,使之达到要求的干密度;
- 2)被保护土和反滤料的厚度应符合第 63.3.1 条第 5 款的规定,并不小于 15cm;
- 3)在滤料与被保护土和滤层与滤层之间的接触面上均应布置测压管;
- 4)如渗透水流方向由上向下,反滤料应位于被保护土之下。

2 试样饱和应符合本标准第 63.3.2 条的规定。

64.2.4 无黏性土的反滤试验应按下列步骤进行:

1 进行由上向下的渗透试验时,下游溢水箱水面应高于或位于被保护土和滤层的接触面。

2 试验开始时,以相应于 0.1~0.2 的渗透坡降的水头作为第一级水头进行试验,以后每隔 1h 加一级水头。

3 每抬高一级水头后,隔 30min 读数一次。每级水头应测读两次。流量也应进行两次测量,取其平均值。

4 若试样未发生任何变化,流量未随时间增大,测压管水位无变化,无细粒移动和水色变浑等迹象,即可进行下一级水头的试验。以后各级水头,大致按 0.3、0.5、1.0、1.5、2.0、3.0、4.0…的坡降逐次升高。每升高一次水头,均应按标准第 64.2.4 条第 3 款的规定进行测读。

5 在本级水头下,如发现细粒通过接触面跑入滤层,或发现滤层中的测压管水头差不断增大时,则本级水头和以后步骤中的每一级水头试验持续时间需延长到 3h~4h。

6 当渗入滤层中的细粒停止移动,位于滤层中的测压管水头差不再继续增大时,应继续升高水位,进行下一级水头的试验,不宜中断。

7 有下列情况之一者,可结束试验:

- 1) 当升高水头后,流量不断变大,被保护土中的渗透坡降减小;
- 2) 滤层中的渗透坡降等于被保护土中的渗透坡降;
- 3) 被保护土为黏质土,渗透坡降大于 50~100 时;被保护土为无黏性土,渗透坡降大于 10 时,被保护土仍未破坏。

8 试验结束后,应缓慢降低水箱水位,以防止上层细粒在停水过程中掉入下层,或通过透水板掉入下漏斗。

9 仪器中水放完后,分层取样,进行颗粒分析。在分层取样时,记录下列现象:滤层淤填厚度、接触带变化情况、被保护土中细粒流失粒径、流失部分、深度等。

64.2.5 干密度、孔隙率、土粒比重、渗透坡降、渗流速度应按本标准第 63.4.1 条~第 63.4.4 条所列公式计算。

64.2.6 应绘制被保护土的 $\lg i - \lg v$ 曲线和 $v - t$ 曲线。

64.2.7 应绘制被保护土和滤层在试验前后的颗粒级配曲线,用以确定从被保护土层中带出的土粒量及滤层内的淤填量。

64.2.8 无黏性土的反滤试验记录格式应符合本标准附录 D 表 D.108 的规定。

64.3 黏性土的反滤试验

64.3.1 仪器设备应符合本标准第 63.2.1 条第 1 款~第 6 款的规定。

64.3.2 仪器检查应符合本标准第 63.2.2 条第 1 款~第 3 款的规定。

64.3.3 反滤料试样制备应按下列步骤进行:

1 渗透水流方向采用由上向下,反滤料应置于黏性土试样之下;

2 先将称好的反滤料分层装入仪器内,用击实锤击实或振动加密法压实,使之达到要求的干密度;

3 在反滤料与黏性土之间的接触面上应布置测压管。

64.3.4 反滤料试样饱和应符合本标准第 63.3.2 条的规定。当反滤料里的水面离出口表面差 2cm 时,停止饱和。

64.3.5 黏性土试样制备应按下列步骤进行:

1 为了在黏性土试样中形成贯穿裂缝,将长度略高于试样高度的 $70\text{mm} \times 3\text{mm}$ (宽 $\times$ 厚)的造缝模具置于试样中心部位、反滤料层顶面处;

2 将称好的黏性土分层装入仪器内,用击实锤击实,使之达到要求的干密度;

3 小心拔出预先放置的模具,在黏性土试样中形成 $70\text{mm} \times 3\text{mm}$ (长 $\times$ 宽)的贯通裂缝。

64.3.6 黏性土的反滤试验应按下列步骤进行:

1 从下游溢水箱处缓慢注水,并调整溢流水面置于略高于黏性土和滤料的接触面的位置;

2 对黏性土缝隙表面用砾石或碎石进行保护,防止水流直接冲刷缝隙表面;

3 上游慢慢注水,充满整个容器,待水充满整个容器后,立即施加水头进行试验,施加水头采用一次性加压到位的方法,水头值应保证黏性土试样土体(不考虑裂缝)所承的水力比降不低于 100;

4 施加水头后测量记录不同时间的渗流量以及出水是否浑浊,试验开始后立即测定流量,并在随后的 30min 内每 5min 测记 1 次流量,然后每小时测记 1 次流量;

5 试验结束后,应缓慢降低水箱水位;

6 仪器中水放完后,拆样察看裂缝自愈的情况,以及裂缝的土体是否进入到反滤料中。

64.3.7 有下列情况之一者,可以结束试验:

1 渗流量越来越大,而且出水浑浊;

2 出水先是有点浑浊,然后变清,而且渗流量逐步减小,试验进行 24h;

3 渗流量基本上不变,试验进行 24h。

64.3.8 应按本标准第 63.4.1 条~第 63.4.3 条所列公式计算干密度、孔隙率、土粒比重、渗透坡降,并绘制 $Q-t$ 曲线。

64.3.9 黏性土的反滤试验记录格式应符合本标准附录 D 表 D.108 的规定。

65 粗颗粒土固结试验

65.1 一般规定

65.1.1 土样应为扰动的粗颗粒土试样。

65.1.2 本试验方法采用标准固结法。

65.2 仪器设备

65.2.1 本试验所用的仪器设备应符合以下规定：

1 固结仪(图 65.2.1)；

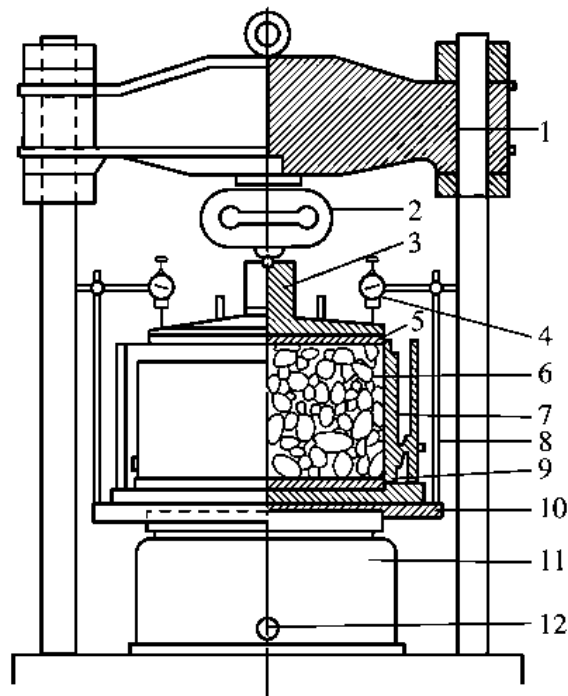


图 65.2.1 大型压缩仪装置示意图

1—加荷框架；2—测力计；3—传压块；4—百分表；5—有孔金属透水板；6—试样；
7 浮环；8 饱和水槽；9 浮环垫块；10 底盘；11 油压机；12 接压力油库

1) 固结容器(浮环式): 直径(D)与高度(H)之比为 $1.5 \sim$

2.5,高度与试样最大粒径 $d_{\max}$ 之比 4~6 为宜,其尺寸应符合现行国家标准《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406 的规定;

2)加荷设备(附稳压装置):负荷传感器(或测力计)最大允许误差应为 $\pm 1\%F.S$;

3)位移传感器:最大允许误差应为 $\pm 0.2\%F.S$;或位移计:分度值 0.01mm。

2 磅秤:称量 100kg,分度值 50g;台秤:称量 5000g,分度值 5g。

3 其他:饱和装置、吊装设备、振动器、击实器、推土器、秒表、烘箱、瓷盘、铁铲。

65.2.2 加荷平台要求水平稳固与加荷框架平行,中心一致;稳压器灵敏,试验压力稳定。各管路接头、阀门不泄漏。

65.3 操作步骤

65.3.1 试样制备应按下列步骤进行:

1 应按本标准第 60.3.1 条、第 60.3.2 条的规定制备土样。取制备好的土样拌匀,均分为 2 份~3 份,注意勿使粗粒集中。

2 将带套环的固结容器内壁涂一层润滑脂,安放在放有透水板的底盘上。容器下垫以垫块。透水板上放一层滤纸或薄层无纺土工布,分层均匀装料。黏质粗颗粒土用击实法,无黏性粗颗粒土用振动法,将试样分层压实至要求的干密度。除去套环,整平表面,其上放一层滤纸或薄层无纺土工布,顺次放透水板和传压板。

65.3.2 试样安装与饱和应按下列步骤进行:

1 将装有试样的固结容器吊装到水槽内,置于加荷框架中心;

2 试样需饱和时,将饱和装置连接供水装置,对无黏性粗颗粒土试样,宜用水头饱和;对黏质粗颗粒土试样,宜用真空饱和;

3 拆去容器的浮环垫块,安装负荷传感器或测力计、位移传

感器或百分表。

65.3.3 固结试验应按下列步骤进行：

1 用稳压装置施加 3kPa~5kPa 的预压力,使试样与仪器各部之间接触良好。将各百分表或位移传感器调整到零点或初始读数；

2 施加各级压力,压力等级一般为 50kPa、100kPa、200kPa、400kPa、800kPa、1600kPa、3200kPa…最后一级压力应大于土层实际压力 100kPa~200kPa；

3 对黏质粗颗粒土需要测定固结系数时,则施加每一级压力后,按下列时间顺序测记试样高度的变化:0.1min、0.25min、1min、2.25min、4min、6.25min、9min、12.25min、16min、20.25min、30.25min、36min、42.25min、60min,此后每隔 1h 测记 1 次,直至主固结完成或延长至 24h；

4 当需做回弹试验时,可在施加大于上覆压力的某级压力固结稳定后逐级退压,直至退到第一级压力,每次退压后的回弹稳定标准与加压相同,测记试样的回弹量；

5 试验结束后,排除容器中的水,拆除仪器各部件,将试样从容器内推出,取代表性试样测定试验后含水率,当需了解颗粒破碎情况时,应对全部试样进行颗粒分析试验。

65.4 计算、制图和记录

65.4.1 计算应符合本标准第 17.2.3 条的规定。

65.4.2 制图应符合本标准第 17.2.4 条的规定。

65.4.3 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.109、表 110 规定。

66 粗颗粒土直接剪切试验

66.1 一般规定

66.1.1 土样应为最大粒径不大于 60mm 的粗颗粒土。

66.1.2 本试验采用应变控制式大型直接剪切仪测定粗颗粒土的抗剪强度参数。

66.2 仪器设备

66.2.1 应变控制式大型直剪仪(图 66.2.1)应由上剪切盒、下剪切盒、传压板、滚珠排、加荷设备、垂直加压框架和水平加压支座等组成。

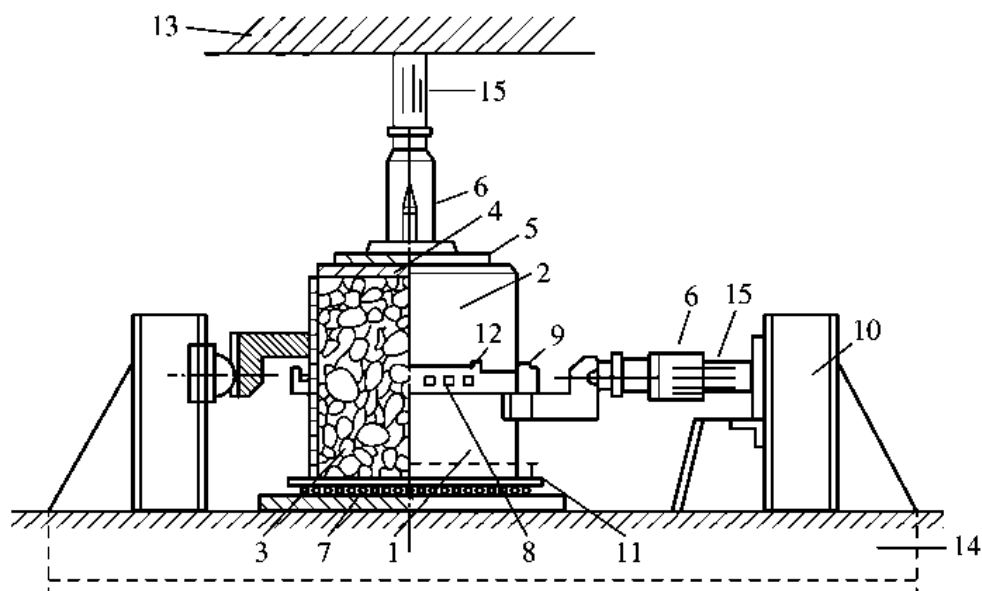


图 66.2.1 大型直剪仪示意图

- 1—下剪切盒;2—上剪切盒;3—试样;4—透水板;5—传压板;6—测力计;
7—滚轴排;8—开缝装置;9—水槽;10—水平加荷支座;11—进水孔;
12—固定销;13—上反力横梁;14—下反力横梁;15—传动轴

66.2.2 剪切盒形状宜采用圆形,尺寸: $D/d_{\max}$ 为 $8\sim 12$, $H/d_{\max}$ 为 $4\sim 8$ 。

66.2.3 百分表或位移计:分度值 0.01mm 。

66.2.4 粗筛:孔径 60mm 、 40mm 、 20mm 、 10mm 、 5mm 、 2mm 。

66.2.5 磅秤:分度值 250g 。

66.2.6 其他设备:附真空测压表的真空泵、饱和器、台秤、水平尺、拌和工具、恒湿设备与击实锤。

66.3 操作步骤

66.3.1 试样制备和安装应下列步骤进行:

1 试样应按本标准第 60.3.1 条、第 60.3.2 条的规定进行备料。根据试验要求的干密度、含水率和试样尺寸,计算并称取试验所需的土样数量。对无黏性粗颗粒土,为防止颗粒分离,也可根据装填层数,分层称取试验所需的土样。

2 将下剪切盒吊放在滚轴排上,并在下剪切盒上安放开缝环及钢珠,控制剪切开缝尺寸为 $(1/3\sim 1/4) d_{\max}$,然后将上剪切盒放上,使上、下盒同心,并用固定插销定位。

3 将称好的试样拌匀后分层装入剪切盒内(层次可根据高度与层缝错开的原则而定,一般为 3 层或 5 层)。每一层可采用击实、振捣或静压等制样方法控制每一层试样至预定要求的高度。对黏质粗颗粒土,每层表面刨毛后,再填下一层。重复上述步骤至最后一层,整平表面。

4 试样当需饱和时,对无黏性粗颗粒土,宜用水头饱和法;对黏质粗颗粒土,宜用真空饱和法。

5 在试样面上依次放上透水板、传压板等。要求安装对中,传压板应用水平尺校平。上、下反力钢梁应水平。安装 2 个~4 个垂直百分表,徐徐开动垂直传动轴,使各部接触。记录变形起始读数。

6 安装水平百分表或位移计,使水平传动轴的着力线通过剪

切面的中心。徐徐开动水平传动轴,使其与下剪切盒的着力点接触即停止。

7 每组试验应制备 4 个~5 个试样,在不同压力下进行试验,其密度最大允许差值应为 $\pm 0.03\text{g}/\text{cm}^3$,含水率最大允许差值应为 $\pm 1\%$ 。

66.3.2 快剪试验应按下列步骤进行:

1 应按本标准第 66.3.1 条第 5 款的规定安装试样和定位,但在试样上、下面接触处,安放与透水板厚度相等的不透水钢板。在试样上一次施加预定的垂直荷载,使其在整个试验过程中保持恒定。

2 拔除上、下剪切盒的固定销并取掉开缝环。记录垂直、水平测力计、百分表等的读数。开动水平传动轴和秒表,以每分钟剪切试样直径的 $1.2\%\sim 1.8\%$ 的剪切速率,使试样在 $5\text{min}\sim 10\text{min}$ 内剪损。如剪应力的读数达到稳定,或有显著后退,表示试样已剪损。若剪应力读数继续增加,则剪切变形应达到 60mm 或达到试样直径的 $1/15\sim 1/10$ 为止。每 1mm 测记负荷传感器或测力计读数并根据需要测记垂直位移读数,直至剪损为止。

3 试验结束后,尽快卸去百分表或位移计、水平荷载、垂直荷载和加荷设备。视需要对剪切面作简要描述。取剪切面附近的试样,测定其剪切后含水率与颗粒级配。

66.3.3 固结快剪试验应按下列步骤进行:

1 应按本标准第 66.3.1 条第 5 款的规定进行试样安装和定位,试样上、下两面的不透水板换放细铜丝布和透水钢板;

2 在试样上施加垂直荷载后,当每小时垂直变形小于 0.03mm 时,认为变形稳定。测记此时垂直百分表读数;

3 试样达到固结稳定后应按本标准第 66.3.2 条第 2 款、第 3 款的规定进行剪切。

66.3.4 慢剪试验应按下列步骤进行:

1 应按本标准第 66.3.1 条第 5 款的规定进行试样安装和定

位,但试样上、下两面的不透水板改放细铜丝布和透水钢板。

2 应按本标准第 66.3.3 条第 2 款的规定进行试样固结。

3 试样达到固结稳定后,拔除上、下剪切盒固定销并取掉开缝环。检查垂直荷载、水平测力计、百分表等,记录其读数。开动水平传动轴和秒表,以一定剪切速率施加水平荷载,每隔 1mm 测记 1 次水平荷载读数和垂直百分表读数。剪切速率可按式(66.3.4)计算剪切破坏时间,根据剪损时的剪切变形计算剪切速率。当水平荷载读数达到稳定,或有显著后退,表示试样已剪损。若剪应力读数继续增加,应控制剪切变形达试样直径的 $1/5 \sim 1/10$,方可停止试验;

$$t_f = 50t_{50} \quad (66.3.4)$$

式中: t_f ——达到破坏所经历的时间(s);

t_{50} ——固结度达到 50%的时间(s)。

4 试验结束后应按本标准 66.3.2 条第 3 款的规定拆除试样,并测定其剪切后含水率与颗粒级配。

66.4 计算、制图和记录

66.4.1 剪应力应按式计算:

$$\tau = \frac{CR - F}{A} \quad (66.4.1)$$

式中: τ ——剪应力(kPa);

C ——水平测力计率定系数(kN/0.01mm);

R ——水平测力计读数(0.01mm);

F ——某垂直压力下仪器摩擦力(kN);

A ——试样面积(m^2)。

66.4.2 以剪应力和垂直变形为纵坐标,水平位移为横坐标,分别绘制某级垂直压力下剪应力 τ 与水平位移 ΔL 关系曲线、垂直变形 Δs 与水平位移 ΔL 关系曲线。

66.4.3 取剪应力 τ 与水平位移 ΔL 关系曲线上峰值或稳定值作

为抗剪强度。当无明显峰值时,取水平位移达到试样直径 $1/15 \sim 1/10$ 处的剪应力作为抗剪强度 S 。

66.4.4 以抗剪强度 S 为纵坐标,垂直压力 p 为横坐标,绘制抗剪强度 S 与垂直压力 p 的关系曲线。直线的倾角为粗颗粒土的内摩擦角 φ ,直线在纵坐标轴上的截距为粗颗粒土的黏聚力 c 。

66.4.5 粗颗粒土直接剪切试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.111 的规定。

67 粗颗粒土三轴压缩试验

67.1 一般规定

67.1.1 土样应为最大粒径不大于 60mm 的粗颗粒土。

67.1.2 根据粗颗粒土的性质、工程情况和不同的排水条件,本试验分为不固结不排水剪(UU)、固结不排水剪(CU)、固结排水剪(CD)等三种试验类型。

67.2 仪器设备

67.2.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定:

1 大型三轴仪(图 67.2.1):包括压力室、轴向加压系统、周围压力系统、反压力系统、体变量测系统和孔隙水压力量测系统等部分:

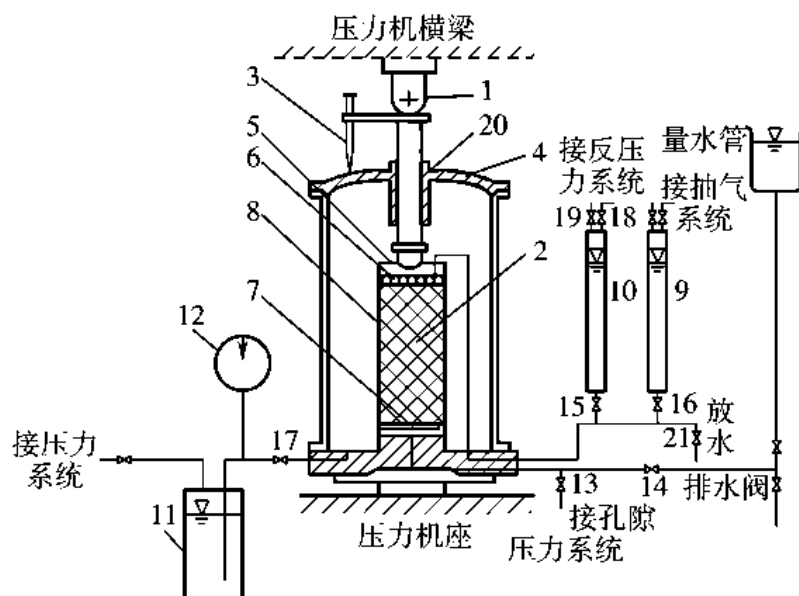


图 67.2.1 大型三轴仪示意图

- 1—轴向荷载传感器;2—试样;3—轴向位移计;4—压力室罩;5—顶帽;6—上透水板;
7—下透水板;8—橡皮膜;9—量水管;10—体变管;11—压力库;12—压力表;
13—孔隙压力阀;14—进水管阀;15—排水阀;16—量水管阀;17—周围压力阀;
18—反压力阀;19—通气阀;20—排气阀;21—排气(水)阀

- 1) 压力室:为钢筒,尺寸按试样大小选用,钢筒上宜镶有有机玻璃窗口;
- 2) 轴向加压系统:包括加压框架、加压设备和轴向压力量测设备(轴向荷载传感器、压力机)等;
- 3) 周围压力系统:包括空气压缩机、压力库和恒压装置;
- 4) 变形量测系统:包括大量程百分表(或位移传感器)和体变管(或体变测量装置)。

2 附属设备:包括对开成型筒、承膜筒、击实锤或振捣器、橡皮膜、真空泵、磅秤、天平、钢尺、秒表、瓷盘、烘箱等。

67.2.2 三轴仪使用前应按下列规定进行检查:

1 轴向压力系统、周围压力系统运行正常。根据工程要求确定周围压力 σ_3 的最大值,按 $\sigma_1 > 5\sigma_3$ 估算轴向额定压力。轴向荷载传感器的最大允许误差宜为 $\pm 1\%F.S.$ 。

2 压力室应密封不泄漏。传压活塞应在轴套内滑动正常,孔隙压力量测设备的管道内应无气泡,各管道、阀门、接头等应通畅不泄漏。检查完毕后,关闭周围压力阀、排水阀、孔隙压力阀等;以备使用。

3 橡皮膜应不漏水。

4 孔隙压力量测系统可按本标准第 19.2.2 条第 2 款的规定进行检查。

67.3 无黏性粗颗粒土三轴压缩试验

67.3.1 试样制备应按以下步骤进行:

1 试样尺寸:试样直径不应小于最大土粒直径的 5 倍($D \geq 5d_{\max}$),试样高度宜为试样直径的 2 倍~2.5 倍($H/D = 2.0 \sim 2.5$)。一般试样直径宜采用 200mm~500mm。

2 应按本标准第 60.3.2 条的规定备好土料。根据试验要求的干密度、含水率及试样尺寸计算并分层称取试验所需的土样,分层不少于 5 层。

3 将透水板放在试样底座上,开进水阀,使试样底座透水板充水至无气泡逸出,关闭阀门。

4 在底座上扎好橡皮膜,安装成型筒,将橡皮膜外翻在成型筒上,并使其顺直和紧贴成型筒内壁。

5 装入第 1 层土样,均匀拂平表面,用振捣法使土样达到预计高度后,再以同样方法填入第 2 层土样。如此继续,直至装完最后一层,应防止粗细颗粒分离,保证试样的均匀性。整平表面,加上透水板和试样帽,扎紧橡皮膜。开真空泵从试样顶部抽气,使试样在 30kPa 负压下直立,再去掉成型筒。

6 检查橡皮膜,若有破裂处,进行粘补,必要时再加一层。

7 用钢直尺量测试样高度 H_0 ,用钢卷尺量测试样上、中、下部的直径,试样平均直径 D_0 应按下式计算:

$$D_0 = \frac{1}{4}(D_1 + 2D_2 + D_3) - 2d_m \quad (67.3.1)$$

式中: D_1 、 D_2 、 D_3 ——试样上部、中部、下部的直径(cm);

d_m ——橡皮膜厚度(cm)。

8 安装压力室,旋紧连接螺栓。开压力室排气孔,向压力室注满水后,关排气孔。开压力机,使试样与传力活塞和轴向荷载传感器等接触,当轴向荷载传感器的读数微动时立即停机。并调整轴向位移计(百分表)和轴向荷载传感器为零。

67.3.2 试样饱和应按下步骤进行:

1 抽气饱和法:由试样顶部抽气,试样内形成负压,测记进水量管水位读数后,徐徐开进水阀,使用脱气水在负压作用下,水由下而上逐渐饱和试样。待试样上部出水后,持续 20min 左右,停止抽气。徐徐打开周围压力阀施加周围压力 σ_3 ($\leq 30\text{kPa}$),并开试样上部排气(水)阀释放负压。提高进水管水位,用水头饱和法继续进行饱和。

2 水头饱和法:按本标准第 67.3.1 条第 8 款的规定安装压力室,然后徐徐打开周围压力阀施加周围压力 σ_3 ($\leq 30\text{kPa}$)和

开试样上部排气(水)阀,释放负压,测记进水量管水位读数。开进水阀,逐渐提高进水量管水头,水由下而上逐渐饱和试样,待上部出水后,测记进、出水量管水位读数。用进水量、出水量和孔隙体积估算饱和度。若未达到要求,适当提高水进出水管水头差,最大水头差不应大于 2m,仍按上述方法延长饱和时间,至符合要求为止。

3 二氧化碳(CO₂)饱和法:二氧化碳饱和系统见图 67.3.2。应先按本标准第 67.3.1 条第 8 款的规定安装压力室后,然后徐徐开排气阀(5),施加周围压力 σ_3 ($=30\text{kPa}$)。开阀门(1)和(3),使二氧化碳(CO₂)由试样底部注入,由下而上置换试样孔隙中的空气。二氧化碳(CO₂)的压力宜为 $2\text{kPa}\sim 10\text{kPa}$ 。待水气瓶(6)内的水面冒气泡 $30\text{min}\sim 60\text{min}$,再关阀门(1),开阀门(2)。利用水头使试样饱和。

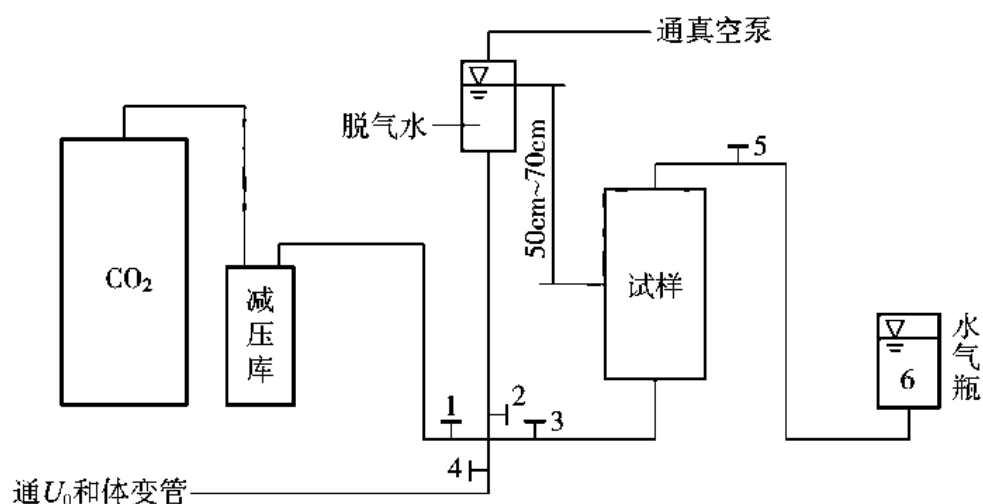


图 67.3.2 二氧化碳饱和系统示意图

4 饱和度的鉴别。当孔隙压力系数 $B \geq 0.95$ 时,可认为试样已达到饱和。当 $B < 0.95$ 时,应继续饱和, B 值的计算应按本标准式(19.8.1-3)计算。

67.3.3 固结不排水剪试验(CU)(测孔隙压力)应按下列步骤进行:

1 试样饱和后,使量水管水面位于试样中部,测记读数。关排水阀,测记孔隙压力的起始读数。施加周围压力至预定值,并保持恒定,测定孔隙压力稳定后的读数。

2 开排水阀,每隔 20s~30s 测记排水量管水位和孔隙压力计读数各 1 次。在固结过程中随时绘制排水量 ΔV 与时间 t 或孔隙水压力 u 与时间 t 关系曲线。正常情况下,排水量应趋于稳定,即曲线的下段趋于水平,即认为固结完成。

3 固结完成后,关排水阀,测记量水管水位和孔隙压力计读数。开压力机,当轴向荷载传感器微动时,表示活塞与试样接触,关压力机,测轴向位移计读数,计算固结下沉量 Δh 。

4 以每分钟轴向应变为 0.1%~1.0% 的速率施加轴向压力。试样的轴向应变每 0.1%~0.4% 测记轴向荷载传感器、孔隙压力计和轴向位移计读数各 1 次,若有特殊要求,可酌情加密或减少读数次数。有峰值时,试验应进行至轴向应变达到峰值出现后的 3%~5%。如无峰值时,则轴向应变达到 15%~20%。

5 试验结束后,关孔隙压力阀,卸去轴向压力,再卸去周围压力,开压力室排气孔和排水阀,排去压力室内的水,卸除压力室罩,揩干试样周围余水,去掉橡皮膜,拆掉试样,并对剪后试样进行描述。必要时测定剪切面试样含水率和分析颗粒破碎情况。

6 其余几个试样应分别在不同周围压力下,按上述步骤进行试验。

67.3.4 固结排水剪试验(CD)应按下列步骤进行:

1 应按本标准第 67.3.3 条第 1 款、第 2 款的规定进行固结,完成后不关排水阀,使试样保持排水条件。以每分钟应变为 0.1%~0.5% 的剪切速率进行剪切。在剪切过程中测记轴向荷载传感器、轴向位移计和量水管读数。

2 其余试样应分别在不同周围压力下,按本标准第 67.3.3 条第 1 款的规定进行试验。

67.4 黏质粗颗粒土三轴压缩试验

67.4.1 试样制备应按下列步骤进行:

1 应按本标准第 60.3.1 条的规定制备土样。根据干密度、含水率、试样体积及个数一次备好一组试验所需的土样,称取每个试样所需要的土样质量备用。

2 将每个试样的土样分成 3 等份或 5 等份,分 3 层或 5 层填入成型筒。用锤击实或压力机压实,第 1 层土样压实后,其表面应刨毛,再加第 2 层土样压实。其他各层用同样的方法进行压实,每层土样应压实至预定高度。

3 拆去成型筒(或将试样从成型筒内推出)。将试样置于压力室底座上测定其直径 D_0 及高度 H_0 ,依次放上顶帽,套上橡皮膜,并将其与顶帽和底座扎紧。

67.4.2 试样饱和应按下列步骤进行:

1 抽气饱和法:将试样连同成型筒一起吊入饱和缸内,盖好密封顶盖后进行抽气。待接近 1 个大气压后,持续约 1h,徐徐注入清水,并保持真空度稳定,直至试样全部浸没,停止抽气。静置 10h 以上,将成型筒连同试样从水中取出,将试样从成型筒内取出,然后称量并计算其饱和度。抽气饱和也可在三轴仪上进行,其方法应符合本标准第 67.3.2 条第 1 款的规定。因黏质粗颗粒土透水性小,负压值宜在 60kPa~90kPa 范围内。

2 反压力饱和法:若需反压力饱和时,将试样安装于压力室后,先向接反压力系统的体变管内注水,并关闭孔隙压力阀、反压力阀、测记体变管读数。再向试样施加 30kPa 的周围压力,开孔隙压力阀,测记孔隙压力稳定读数。同时分级施加周围压力和反压力,施加过程中,始终保持周围压力比反压力大 30kPa,反压力和周围压力的每级增量为 20kPa,待孔隙压力稳定后,测记孔隙压力和体变管读数,然后再施加下一级周围压力和反压力,直至 $B = \Delta u / \Delta \sigma_3 \geq 0.95$ 为止。

67.4.3 不固结不排水剪试验(UU)应按下列步骤进行:

1 试样饱和后,关进水阀、排水阀,开周围压力阀施加周围压力至预定值,并保持恒定,周围压力的大小应根据工程的实际荷载选用;

2 应以每分钟轴向应变 $0.1\% \sim 0.5\%$ 的速率按本标准第 67.3.3 条第 4 款至第 67.3.3 条第 6 款的规定进行剪切,试验过程中可不测孔隙压力。

67.4.4 固结不排水剪(CU)应按下列步骤进行:

1 试样饱和后应按本标准第 67.3.3 条第 1 款、第 2 款的规定进行排水固结,同时开排水阀和秒表,在 0min、0.15min、1min、4min、9min、16min、25min、36min、49min……时刻测记量水管水位和孔隙压力计读数,在固结过程中随时绘制固结排水量 ΔV 与时间 t 对数(或平方根)曲线;或绘制孔隙压力消散度 U 与时间 t 对数曲线。

2 如对试样施加反压力时,则应按本标准第 67.4.2 条第 2 款的规定进行。然后保持反压力恒定,关排水阀,增大周围压力,使其与反压力之差等于选定的周围压力并保持恒定,测记稳定后的孔隙压力计和体变管水位读数作为固结前的起始读数。然后开排水阀,让试样排水到体变管,并按本标准第 67.4.4 条第 1 款的规定进行排水固结。固结度至少达到 95%,固结完成后测记体变管水位、孔隙压力计和轴向位移计读数等,测定固结下沉量 Δh 。

3 剪切速率控制在每分钟轴向应变 $0.05\% \sim 0.1\%$ 以内,应按本标准 67.3.3 条第 4 款的规定进行剪切。

4 对固结不排水,不测孔隙水压力的剪切试验,在固结完成后,关排水阀、孔隙压力阀,按上述的规定进行剪切,但剪切过程中不测孔隙水压力。

67.4.5 固结排水剪试验(CD)应按下列步骤进行:固结完成后,不关孔隙压力阀和排水阀,保持排水条件,应以每分钟轴向应变为 $0.012\% \sim 0.003\%$ 的剪切速率按本标准第 67.3.4 条第 1 款和第

67.3.4 条第 2 款的规定进行剪切。并在剪切过程中测记轴向荷载传感器示值、轴向位移计、量水管水位和孔隙压力计读数。

67.5 计算、制图和记录

67.5.1 计算应符合本标准第 19.8.1 条的规定。

67.5.2 制图应符合本标准第 19.8.2 条的规定。

67.5.3 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.34～表 D.36 的规定。

68 粗颗粒土三轴蠕变试验

68.1 一般规定

68.1.1 土样应为最大粒径不大于 60mm 的粗颗粒土。

68.1.2 本试验方法加荷方式采用应力控制式。

68.2 仪器设备

68.2.1 本试验所用的仪器设备应符合以下规定：

1 粗颗粒土的蠕变试验宜在能长期恒压的应力控制式大型三轴压缩仪上进行。大型三轴仪的设备组成可参照本标准第 67.2.1 条第 1 款的规定,参见图 67.2.1。试验期间应保持试验室温度相对稳定。

2 附属设备:应符合本标准第 67.2.1 条第 2 款的规定。

68.2.2 三轴仪使用前的轴向压力系统、周围压力系统、压力室、体变量测系统和孔隙压力量测系统等应按本标准第 67.2.2 条第 1 款~第 4 款的规定进行检查。

68.3 操作步骤

68.3.1 试样制备应按下列步骤进行：

1 试样尺寸:试样的直径和高度应符合本标准第 67.3.1 条第 1 款的规定；

2 无黏性粗颗粒土应按本标准第 67.3.1 条第 2 款~第 8 款的规定,黏质粗颗粒土应按本标准第 67.4.1 条第 1 款~第 3 款的规定,进行试样制备并量测试样的直径和高度。

68.3.2 试样饱和应按下列步骤进行:无黏性粗颗粒土应按本标准第 67.3.2 条的规定,黏质粗颗粒土应按本标准第 67.4.2 条的

规定,进行试样饱和并进行饱和度的鉴别。

68.3.3 试样固结应按下列步骤进行:无黏性粗颗粒土的固结应符合本标准第 67.3.3 条第 1 款、第 2 款的规定,黏质粗颗粒土的固结应符合应按本标准第 67.4.4 条第 1 款、第 2 款的规定。

68.3.4 无黏性粗颗粒土的剪切速率应符合本标准第 67.3.4 条第 1 款的规定,黏质粗颗粒土的剪切速率应符合本标准第 67.4.5 条的规定,剪切至预定轴向压力,保持轴向应力不变。剪切过程中测读轴向荷载传感器、轴向位移计、体变管水位读数等。

68.3.5 蠕变试验应按下列步骤进行:

1 加载到设定的轴向荷载后,立即记录时间、轴向位移计、体变管水位读数,作为初值。在整个蠕变试验过程,应保持围压和轴向应力不变;

2 每隔一定时间记录时间、温度、轴向位移计、体变管水位。时间可选为:0.2min、0.5min、1min、2min、3min、5min、10min、30min、60min……在蠕变试验中期和后期,可数小时或十数小时读数一次;

3 蠕变稳定标准可取每 24h 内轴向应变的变化量小于 0.05‰,或取 24h 的轴向应变小于累计蠕变轴向应变的 1‰~5‰,达到稳定标准后,可结束试验,停机、拆样;

4 蠕变试验可取 3 级~5 级围压,每个围压下取 3 级~4 级应力水平。

68.4 计算、制图和记录

68.4.1 应按本标准第 19.8.1 条、第 19.8.2 条进行蠕变试验前的计算和制图。

68.4.2 蠕变轴向应变、蠕变体积应变应按下列公式计算:

$$\epsilon_{\text{tr}} = \frac{\Delta h_{\text{t}}}{h_{\text{c}}} \times 100 \quad (68.4.2-1)$$

$$\epsilon_{\text{vt}} = \frac{\Delta V_{\text{t}}}{V_{\text{c}}} \times 100 \quad (68.4.2-2)$$

式中： ϵ_{lt} ——蠕变轴向应变(%)；

ϵ_{vt} ——蠕变体积应变(%)；

Δh_t ——剪切蠕变开始后到某时刻止试样的轴向变形(cm)；

h_c ——试样固结后的高度(cm)；

ΔV_t ——剪切蠕变开始后到某时刻止试样的体积变化(cm^3)，
通过体变管或排水管量测；

V_c ——试样固结后的体积(cm^3)。

68.4.3 以时间为横坐标，以轴向应变 ϵ_{lt} 和体积应变 ϵ_{vt} 为纵坐标，绘制蠕变变形与时间的关系曲线。

68.4.4 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D. 34～表 D. 36、表 D. 112 的规定。

69 粗颗粒土三轴湿化变形试验

69.1 一般规定

69.1.1 土样为最大粒径不应大于 60mm 的粗颗粒土。

69.1.2 本试验方法加荷方式采用应力控制式。

69.2 仪器设备

69.2.1 本试验所用的仪器设备应符合以下规定：

1 粗颗粒土的湿化试验宜在能长期恒压的应力控制式大型三轴压缩仪上进行,大型三轴仪的设备组成可参考本标准图 67.2.1。为准确测量体积变化,应在大型三轴压缩仪围压系统上增加高精度的外体变测量系统(图 69.2.1)。

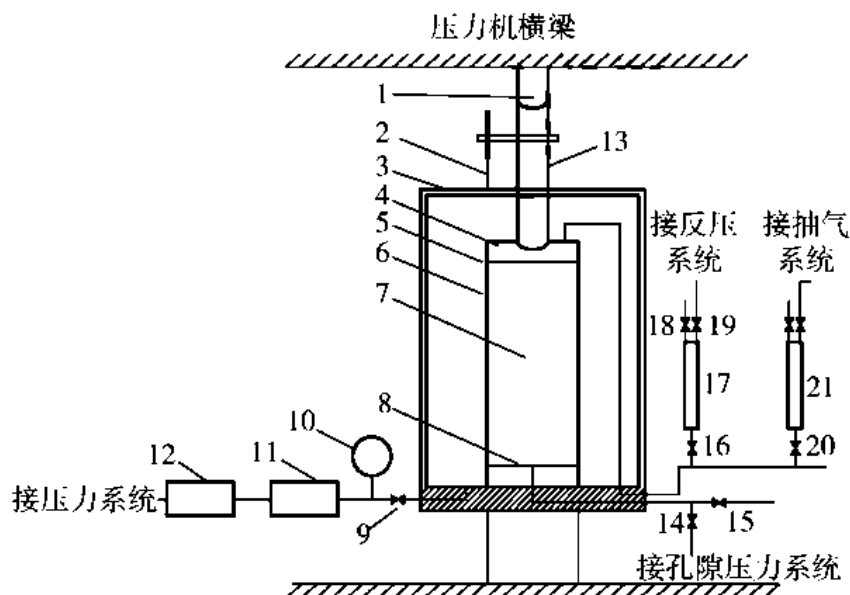


图 69.2.1 大型三轴压缩仪

- 1—轴向荷载传感器;2—位移传感器;3—压力室;4—试样帽;5—上透水板;6—橡皮膜;
7—试样;8—下透水板;9—周围压力阀;10—压力表;11—外体变测量系统;
12—液压推缸;13—传力杆;14—孔隙压力阀;15—进水管阀;16—排水阀;
17—体变管;18—通气阀;19—反压力阀;20—量水管阀;21—量水管

2 附属设备:应符合本标准第 67.2.1 条第 2 款的规定。

69.2.2 三轴仪使用前的轴向压力系统、周围压力系统、压力室、体变量测系统和孔隙压力量测系统等应按本标准第 67.2.2 条第 1 款~第 4 款的规定进行检查。

69.3 操作步骤

69.3.1 试样制备应按下列步骤进行:

1 试样尺寸:试样的直径和高度应符合本标准第 67.3.1 条第 1 款的规定;

2 无黏性粗颗粒土应按本标准第 67.3.1 条第 2 款~第 8 款的规定,黏质粗颗粒土应按本标准第 67.4.1 条的规定,进行试样制备并测定试样的直径和高度。

69.3.2 试样固结应按下列步骤进行:

1 施加周围压力至预定压力;

2 待外体变测量系统读数稳定后,清零读数;

3 开排水阀(实际起排气作用),每隔 20s~30s 测记外体变测量系统读数 ΔV 一次,计算得到试样的体积变化 ΔV 。固结过程中随时绘制 $\Delta V-t$ 关系曲线,当曲线下段趋于水平时即认为固结完成。

69.3.3 施加轴向应力应按下列步骤进行:

1 无黏性粗颗粒土应符合本标准第 67.3.4 条第 1 款的规定,黏质粗颗粒土应符合本标准第 67.4.5 条的规定,剪切至预定轴向压力后,保持轴向压力不变。剪切过程中应测记轴向荷载传感器、位移计、外体变测量系统等读数。

2 经过 3h~5h,在围压和轴向应力作用下,当 30min 内干样的轴向应变变化量小于 0.01%时,认为干样的变形稳定。

69.3.4 湿化试验应按下列步骤进行:

1 干样变形稳定后,将轴向位移计、外体变测量系统等清零或记录湿化前的初始读数。保持周围压力和轴向应力不变,应按

本标准第 67.3.2 条第 2 款的规定进行水头饱和。在试样饱和过程中,应保持试样中心部位水压恒定在 10kPa。

2 水头饱和过程中应记录时间、测计轴向荷载传感器、轴向位移计、孔隙压力计和外体变测量系统读数。

3 对于细粒含量较少的无黏性粗颗粒土,湿化变形能较快稳定,对于黏质粗颗粒土,稳定的时间应适当放长。当 30min 内轴向应变的变化量小于 0.01% 时,可认为湿化变形稳定。

4 湿化变形稳定后停机拆样。

5 湿化变形试验可取 3 级~5 级围压,每个围压下 3 级~4 级应力水平。

69.4 计算、制图和记录

69.4.1 干样固结后的体积 V_c 应按下列公式计算:

$$V_c = V_0 - \Delta V \quad (69.4.1-1)$$

$$\Delta V = \Delta V' - \Delta h_c A_g = \Delta V' - \frac{\Delta h_c \pi D_g^2}{4} \quad (69.4.1-2)$$

式中 V_c ——干样固结后的体积(cm^3);

V_0 ——干样初始体积(cm^3);

$\Delta V'$ ——外体变测量系统读数变化(cm^3);

Δh_c ——干样固结后下沉量(cm),由轴向位移计测得;

A_g ——传力杆的面积(cm^2);

D_g ——平均直径(cm),选择传力杆 3 个位置,分 4 个角度用游标卡尺量测传力杆的直径。

69.4.2 湿化轴向应变 ϵ_{1s} 、湿化体积应变 ϵ_{vs} 应按下列公式计算:

$$\epsilon_{1s} = \frac{\Delta h_s}{h_c} \times 100 = \frac{\Delta h_s}{h_0 - \Delta h_c} \times 100 \quad (69.4.2-1)$$

$$\epsilon_{vs} = \frac{\Delta V_s}{V_c} \times 100 = \frac{\Delta V' - \Delta h_s A_g}{V_c} \times 100 \quad (69.4.2-2)$$

式中 ϵ_{1s} ——湿化轴向应变(%);

ϵ_{vs} ——湿化体积应变(%);

Δh_s ——某时刻止湿化产生的轴向变形(cm)；

h_c ——干样固结后的高度(cm)；

ΔV_s ——某时刻止湿化产生的体积变化(cm^3)。

69.4.3 以时间为横坐标,以轴向应变和体积应变为纵坐标,绘制湿化变形与时间的关系曲线。

69.4.4 本试验的记录格式应符合本标准附录 D 表 D.34~表 D.36、表 D.113 的规定。

附录 A 试验资料的整理与试验报告

A.0.1 为使试验资料可靠和适用,应进行正确的数据分析和整理。整理时对试验资料中明显不合理的数据,应通过研究,分析原因(试样的代表性、试验过程中出现异常情况),或在有条件时,进行一定的补充试验后,可决定对可疑数据的取舍或改正。

A.0.2 舍弃试验数据时,应根据误差分析或概率的概念,按三倍标准差(即 $\pm 3s$)作为舍弃标准,即在资料分析中应该舍弃那些在 $\bar{x} \pm 3s$ 范围以外的测定值,然后重新计算整理。

A.0.3 土工试验测得的土性指标,可按其在工程设计中的实际作用分为一般特性指标和主要计算指标。前者如土的天然密度、天然含水率、土粒比重、颗粒组成、液限、塑限、有机质、水溶盐等,系指作为对土分类定名和阐明其物理化学特性的土性指标;后者如土的黏聚力、内摩擦角、压缩系数、变形模量、渗透系数等,系指在设计计算中直接用以确定主体的强度、变形和稳定性等力学性的土性指标。

A.0.4 对一般特性指标的成果整理,通常可采用多次测定值 x_i 的算术平均值 $\bar{x}$,并计算出相应的标准差 s 和变异系数 c_v ,以反映实际测定值对算术平均值的变化程度,从而判别其采用算术平均值时的可靠性。

1 算术平均值 $\bar{x}$ 应按下式计算:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (\text{A.0.4-1})$$

式中: n ——指标测定的总次数;

$\sum_{i=1}^n x_i$ ——指标测定值的总和。

2 标准差 s 应按下式计算:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{A. 0. 4-2})$$

3 变异系数 c_v 应按下式计算, 并按表 A. 0. 4 评价变异性:

$$c_v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (\text{A. 0. 4-3})$$

表 A. 0. 4 变异性评价

变异系数	$c_v < 0.1$	$0.1 \leq c_v < 0.2$	$0.2 \leq c_v < 0.3$	$0.3 \leq c_v < 0.4$	$c_v \geq 0.4$
变异性	很小	小	中等	大	很大

A. 0. 5 对于主要计算指标的成果整理, 测定的组数较多时, 此时指标的最佳值接近于诸测值的算术平均值, 仍可按一般特性指标的方法确定其设计计算值, 即采用算术平均值。但通常由于试验的数据较少, 考虑到测定误差、土体本身不均匀性和施工质量的影响等, 为安全考虑, 对初步设计和次要建筑物宜采用标准差平均值, 即对算术平均值加或减一个标准差的绝对值 ($\bar{x} \pm |s|$)。

A. 0. 6 对不同应力条件下测得的某种指标, 如抗剪强度等, 应经过综合整理求取。在有些情况下, 尚需求出不同土体单元综合使用时的计算指标。这种综合性的土性指标, 一般采用图解法或最小二乘方分析法确定。

1 图解法: 将不同应力条件下测得的指标值 (如抗剪强度) 求得算术平均值, 然后以不同应力为横坐标, 以指标平均值为纵坐标作图, 并求得关系曲线, 确定其参数 (如土的黏聚力 c 和角摩擦系数 $\tan \varphi$)。

2 最小二乘方分析法: 根据各测定值同关系曲线的偏差的平方和为最小的原理求取参数值。

3 当设计计算几个土体单元土性参数的综合值时, 可按土体单元在设计计算中的实际影响, 采用加权平均值, 即:

$$\bar{x} = \frac{\sum \omega_i x_i}{\sum \omega_i} \quad (\text{A. 0. 6})$$

式中： ω_i ——不同土体单元的对应权；

x_i ——不同土体单元的计算指标。

A.0.7 试验报告的编写和审核应符合下列规定：

1 试验报告所依据的试验数据应进行整理、检查、分析，经确定无误后方可采用。

2 试验报告所提供的依据应包括根据不同建筑物的设计和施工的具体要求所拟试验的全部土性指标。

3 试验报告的内容可包括：试验方案的简要说明，试验数据和基本结论。其中试验方案的内容可包括工程概况，所需解决的问题以及由此对试样的采制，试验项目和试验条件提出的要求。

4 试验报告中应采用国家颁布的法定计量单位。

5 试验报告应按下列方面审查：

- 1) 对照委托任务书，检查试验项目应齐全；
- 2) 检查试验项目应按照试验方法标准进行；
- 3) 综合分析检查各指标间的关系应合理；
- 4) 对需要进行数据统计分析的试验报告检查选用的方法应合理，结果应正确；
- 5) 检查土的定义应与相关标准相符。

6 试验报告审批应符合下列程序：

- 1) 由试验人员填写成果汇总表；
- 2) 经校核人员校核汇总表中的数据；
- 3) 由试验负责人编写试验报告；
- 4) 由技术负责人签字并盖章发送。

附录 B 土样的要求与管理

B.0.1 采样数量应满足要求进行的试验项目和试验方法的需要,常规试验项目采样的数量可按表 B.0.1 的规定进行,并应附取土记录及土样现场描述。

表 B.0.1 试验取样数量和过土筛标准

试 验 项 目	土 样 数 量					
	细粒土		砂土		砂砾土	过筛标准 (mm)
	原状土 (筒) $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$	扰动土 (kg)	原状土 (筒) $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$	扰动土 (kg)	扰动土 (kg)	
含水率	1	0.8	1	0.8	10	—
密度	1	—	1	—	—	—
比重	1	0.8	1	0.8	10	—
颗粒分析	1	0.8	1	0.8	200	—
界限含水率	1	0.5	—	—	—	0.5
崩解	1	2	—	—	—	—
毛管水上升高度	—	—	1	2	—	—
相对密度	—	—	1	6	80	5、60

续表 B.0.1

试 验 项 目	土 样 数 量					
	细粒土		砂土		砂砾土	过筛标准 (mm)
	原状土 (筒) $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$	扰动土 (kg)	原状土 (筒) $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$	扰动土 (kg)	扰动土 (kg)	
击实		30~50			300	20、60
承载比	—	50	—	—	—	20
渗透	1	2	1	5	80	2.0、60
反滤料	—	—	—	—	150	60
固结	1	2	1	2	200	2.0、60
黄土湿陷	1	—	—	—	—	—
三轴压缩	2	5	3	5~20	600	2.0、20、 60
三轴流变	—	—	—	—	2400	60
三轴湿化变形	—	—	—	—	2400	60
无侧限抗压强度	1	2	—	—	—	2.0
直接剪切	1	3	1	3	1000	2.0、60
排水反复剪切	1	3	1	3	1000	2.0、60
无黏性土休止角	—	—	—	3	—	5
膨胀、收缩	2	2	—	—	—	2.0
振动三轴、共振柱试验		20		20~300	5000	2、20、60

续表 B.0.1

试验项目	土类	黏土		砂土		过筛标准 (mm)
	土样数量	原状土 (筒) $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$	扰动土 (g)	原状土 (筒) $\phi 10\text{cm} \times 20\text{cm}$	扰动土 (g)	
土的静止侧压力系数		1	2000	1	2000	—
土的基床系数		2	5000	3	5000~ 20000	2、20
冻土含水率		1	2000	1	2000	—
冻土密度		1	3000	1	3000	
冻结温度		—	500	—	500	—
冻土导热系数		—	20000	—	20000	—
未冻含水率		1	500	1	500	—
冻胀率		1	1500	1	1500	—
冻土融化压缩试验		1	1000	1	1000	—
化学分析试样风干含水率		—	500	—	500	2
酸碱度			500		500	2
易溶盐			500		500	2
中溶盐石膏		—	100	—	100	0.25
难溶盐碳酸钙		—	100	—	100	0.15
有机质		—	100	—	100	0.15
游离氧化铁		—	500	—	500	2
阳离子交换量		—	500	—	500	2
土的矿物组成		—	100	—	100	0.15

B.0.2 土样的验收和管理应符合下列规定：

1 土样送达试验单位，必须附送样单及试验委托书或其他有关资料。送样单应有原始记录和编号。内容应包括工程名称，试坑或钻孔编号、高程、取土深度、取样日期。原状土应有地下水位高程、土样现场鉴别和描述及定义、取土方法等。试验委托书应包括工程名称、工程项目、试验目的、试验项目、试验方法及要求。例如原状土进行力学性试验时，试样是在天然含水率状态下还是饱和状态下进行；剪切试验的仪器；剪切试验方法；剪切和固结的最大荷重；渗透试验是垂直还是水平方向；求哪一级荷重或某一个干密度孔隙比下的固结系数或湿陷渗透系数；黄土压缩试验须提出设计荷重。扰动土样的力学性试验要提出初步设计干密度和施工现场可能达到的平均含水率等。

2 试验单位接到土样后，应按试验委托书验收。验收中需查明土样数量、编号，所送土样应满足试验项目和试验方法的要求。必要时可抽验土样质量，验收后登记，编号。登记内容应包括：工程名称、委托单位、送样日期、土样室内编号和野外编号、取土地点和取土深度、试验项目的要求以及要求提出成果的日期等。

3 土样送交试验单位验收、登记后，即将土样按顺序妥善存放，应将原状土样和保持天然含水率的扰动土样置于阴凉的地方，尽量防止扰动和水分蒸发。土样从取样之日起至开始试验的时间不应超过 3 周。

4 土样经过试验之后，余土应贮存于适当容器内，并标记工程名称及室内土样编号，妥善保管，以备审核试验成果之用。一般保存到试验报告提出 3 个月以后，委托单位对试验报告未提出任何疑义时，方可处理。

5 处理试验余土时应考虑余土对环境的污染、卫生等要求。

附录 C 土的工程分类

C.0.1 土的工程分类应符合现行国家标准《土的工程分类标准》GB/T 50145 的规定。

C.0.2 土按其不同粒组的相对含量可分为：巨粒类土、粗粒类土和细粒类土。土的粒组应按表 C.0.2 中规定的土颗粒粒径范围划分。

- 1 巨粒类土应按粒组划分；
- 2 粗粒类土应按粒组、级配、细粒土含量划分；
- 3 细粒类土应按塑性图、所含粗粒类别以及有机质含量划分。

表 C.0.2 粒组划分

粒组	颗 粒 名 称		粒径(d)的范围(mm)
巨粒	漂石(块石)		$d > 200$
	卵石(碎石)		$60 < d \leq 200$
粗粒	砾粒	粗砾	$20 < d \leq 60$
		中砾	$5 < d \leq 20$
		细砾	$2 < d \leq 5$
	砂粒	粗砂	$0.5 < d \leq 2$
		中砂	$0.25 < d \leq 0.5$
		细砂	$0.075 < d \leq 0.25$
细粒	粉粒		$0.005 < d \leq 0.075$
	黏粒		$d \leq 0.005$

C.0.3 巨粒类土的分类应符合表 C.0.3 的规定。

表 C.0.3 巨粒类土的分类

土类	粒 组 含 量		土类代号	土类名称
巨粒土	巨粒含量 $>75\%$	漂石含量大于卵石含量	B	漂石(块石)
		漂石含量不大于卵石含量	Cb	卵石(碎石)
混合巨粒土	$50\% < \text{巨粒含量} \leq 75\%$	漂石含量大于卵石含量	BSI	混合土漂石(块石)
		漂石含量不大于卵石含量	CbSI	混合土卵石(块石)
巨粒混合土	$15\% < \text{巨粒含量} \leq 50\%$	漂石含量大于卵石含量	SIB	漂石(碎石)混合土
		漂石含量不大于卵石含量	SICb	卵石(碎石)混合土

C.0.4 砾类土的分类应符合表 C.0.4 的规定。

表 C.0.4 砾类土的分类

土类	粒 组 含 量		土类代号	土类名称
砾	细粒含量 $<5\%$	级配: $C_u \geq 5, 1 \leq C_c \leq 3$	GW	级配良好砾
		级配: 不同时满足上述要求	GP	级配不良砾
含细粒土砾	$5\% \leq \text{细粒含量} < 15\%$		GF	含细粒土砾
细粒土质砾	$15\% \leq \text{细粒含量} < 50\%$	细粒组中粉粒含量不大于 50%	GC	黏土质砾
		细粒组中粉粒含量大于 50%	GM	粉土质砾

C.0.5 砂类土的分类应符合表 C.0.5 的规定。

表 C.0.5 砂类土的分类

土类	粒 组 含 量		土类代号	土类名称
砂	细粒含量 $<5\%$	级配: $C_u \geq 5, 1 \leq C_c \leq 3$	SW	级配良好砂
		级配: 不同时满足上述要求	SP	级配不良砂
含细粒土砂	$5\% \leq \text{细粒含量} < 15\%$		SF	
细粒土质砂	$15\% \leq \text{细粒含量} < 50\%$	细粒组中粉粒含量不大于 50%	SC	黏土质砂
		细粒组中粉粒含量大于 50%	SM	粉土质砂

C.0.6 细粒土的分类应符合表 C.0.6 的规定。

表 C.0.6 细粒土的分类

土的塑性指标在塑性图中的位置		土类代号	土类名称
$I_P \geq 0.73(w_L - 20)$ 和 $I_P \geq 7$	$w_L \geq 50\%$	CH	高液限黏土
	$w_L < 50\%$	CL	低液限黏土
$I_P < 0.73(w_L - 20)$ 或 $I_P < 4$	$w_L \geq 50\%$	MH	高液限粉土
	$w_L < 50\%$	ML	低液限粉土

附录 D 各项试验记录表

表 D.1 扰动土试样制备记录

任务单号		制备日期		计算者													
仪器名称及编号		试验者		校核者													
试样 编号	制备标准		所需土质量及增加水量的计算					试样制备					与制备标准 之差		备注		
	干密 度 ρ_d (g/cm ³)	含水率 w' (%)	环刀或 计算的 实容积 V (cm ³)	干土 质量 m_d (g)	含水率 w_0 (%)	湿土 质量 m (g)	增加的 水量 Δm_w (mL)	所需 土质量 m (g)	制备 方法	环刀 质量 (g)	环刀加 湿土 质量 (g)	湿土 质量 m (g)	密度 ρ (g/cm ³)	含水率 w (%)		干密度 ρ_d (g/cm ³)	含水率 w (%)

表 D.2 原状土开土记录

[illegible]

表 D.3 含水率试验记录

任务单号		试验者							
试验日期		计算者							
天平编号		校核者							
烘箱编号									
试样 编号	试样 说明	盒号	盒质量	盒加湿土	盒加干土	水分质量 (g)	下土质量 m_d (g)	含水率 w (%)	平均 含水率 $\bar{w}$ (%)
			(g)	(g)	(g)				
			(1)	(2)	(3)	(4) = (2) - (3)	(5) = (3) - (1)	(6) = $\frac{(4)}{(5)} \times 100$	(7)

表 D.4 密度试验记录表(环刀法)

任务单号					试验者				
试验日期					计算者				
天平编号					校核人员				
烘箱编号									
试样编号	环刀号	环刀体积 V (cm^3)	湿土质量 m_0 (g)	湿密度 ρ (g/cm^3)	含水率 w (%)	干密度 ρ_d (g/cm^3)	平均干密度 $\bar{\rho}_d$ (g/cm^3)		

表 D.5 密度试验记录表(蜡封法)

任务单号				试验者									
试验日期				计算者									
试验标准				校核者									
烘箱编号				天平编号									
蜡的密度 $\rho_n = 0.92(\text{g}/\text{cm}^3)$													
试样 编号	试样 质量 m (g)	试样 加蜡 质量 m_n (g)	试样加蜡 在水中 质量 m_{nw} (g)	温度 ($^{\circ}\text{C}$)	水的 密度 ρ_{wT} (g/cm^3)	试样 加蜡 体积 (cm^3)	蜡体积 (cm^3)	试样体积 (cm^3)	湿密度 ρ (g/cm^3)	含水率 w (%)	干密度 ρ_d (g/cm^3)	平均 干密度 $\bar{\rho}_d$ (g/cm^3)	备注
	(1)	(2)	(3)	—	(4)	(5) = $\frac{(2)-(3)}{(4)}$	(6) = $\frac{(2)-(1)}{\rho_n}$	(7) - (5) - (6)	(8) = $\frac{(1)}{(7)}$	(9)	(10) = $\frac{(8)}{1+0.01(9)}$	(11)	

表 D.6 比重试验记录表(比重瓶法)

任务单号				试验环境						
试验日期				试验者						
试验标准				校核者						
烘箱编号				天平编号						
试样 编号	比重 瓶号	温度 (C)	液体比重 G_{KT}	干土质量 m_d (g)	比重瓶、 液总质量 m_{bk} (g)	比重瓶、液、 土总质量 m_{bks} (g)	与干土同体积 的液体质量 (g)	比重 G_s	平均 比重 $\bar{G}_s$	备注
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)=(3)+(4)-(5)	(7)= $\frac{(3)}{(6)} \times (2)$		

表 D.7 比重试验记录表(浮称法)

任务单号					试验者				
试验日期					计算者				
天平编号					校核者				
烘箱编号									
试样编号	温度 (℃)	水的比重 G_{wT}	烘干土 质量 m_d (g)	铁丝筐加试样 在水中质量 m_{ks} (g)	铁丝筐在 水中质量 m_k (g)	试样在水中质量 (g)	比重 G_s	平均比重 $\bar{G}_s$	备注
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6) = (4) — (5)	(7) = $\frac{(3) \times (2)}{(3) - (6)}$		

表 D.8 比重试验记录表(虹吸筒法)

任务单号						试验者					
试验日期						计算者					
试验标准						校核者					
烘箱编号						天平编号					
试样 编号	温度 (℃)	水的 比重 G_{WT}	烘干土 质量 m_d (g)	烘干土 质量 m_{ed} (g)	量筒 质量 m_c (g)	量筒加排 开水质量 m_{cw} (g)	排开水质量 (g)	吸着水质量 (g)	比重 G_s	平均 比重 $\bar{G}_s$	备注
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)=(6)-(5)	(8)=(4)-(3)	(9)= $\frac{(3) \times (2)}{(7) \times (8)}$		

表 D.9 颗粒分析试验记录表(筛析法)

任务单号			试验者		
试验日期			计算者		
烘箱编号			校核者		
试样编号			天平编号		
风干土质量 = _____ g 小于 0.075mm 的土占总土质量百分数 $X =$ _____ % 2mm 筛上土质量 = _____ g 小于 2mm 的土占总土质量百分数 $X =$ _____ % 2mm 筛下土质量 = _____ g 细筛分析时所取试样质量 $m_B =$ _____ g					
试验筛编号	孔径 (mm)	累积留筛土质量 (g)	小于某粒径的试样 质量 m_A (g)	小于某粒径的试样 质量百分数 (%)	小于某粒径的试样质量 占试样总质量的百分数 $X(\%)$
底盘总计					

表 D.11 颗粒分析试验记录表(移液管法)

任务单号				试验日期			
试样编号				试验者			
烘箱编号				计算者			
量筒编号				校核者			
移液管编号				天平编号			
三角烧瓶编号							
小于 2mm 颗粒土质量百分数		小于 0.075mm 颗粒土质量百分数		移液管体积 V_x			
干土总质量 m_d		30g		土粒比重 G_s			
粒径 d (mm)	杯号	杯加干土 质量 (g)	杯质量 (g)	吸管内悬液土粒 的干土质量 m_{dx} (g)	1000mL 量筒 内土质量 m_d (g)	小于某粒径的 土质量百分数 (%)	小于某粒径土占 总土质量百分数 $X(\%)$
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = (3) - (4)	(6)	(7)	(8)

表 D.12 液塑限联合试验记录表

任务单号						试验者	
试验日期						计算者	
天平编号						校核者	
烘箱编号						液塑限联合测定仪编号	
试样 编号	圆锥下沉 深度 h (mm)	盒号	湿土质量 m_0 (g)	干土质量 m_d (g)	含水率 w (%)	液限 w_L (%)	塑限 w_P (%)
	—	—	(1)	(2)	$(3) - \left[\frac{(1)}{(2)} - 1 \right] \times 100$	(4)	(5)

表 D.13 碟式仪液限法试验记录表

任务单号				试验者		
试验日期				计算者		
碟式仪编号				校核者		
烘箱编号				天平编号		
试样 编号	击数 N	盒号	湿土质量 m_N (g)	干土质量 m_d (g)	含水率 w_N (%)	液限 w_L (%)
	—	—	(1)	(2)	$(3) = \left[\frac{(1)}{(2)} - 1 \right]$	(4)

表 D.14 搓滚塑限法试验记录表

任务单号			试验者		
试验日期			计算者		
烘箱编号			校核者		
天平编号					
试样编号	盒号	湿土质量 $m(g)$	干土质量 m_d (g)	含水率 w_p (%)	塑限 w_p (%)
	—	(1)	(2)	$(3)=\left[\frac{(1)}{(2)}-1\right]\times 100$	—

表 D.15 缩限试验记录表

任务单号		试验者	
试验日期		计算者	
烘箱编号		校核者	
收缩皿编号		天平编号	
试样编号			
湿土质量(g)	(1)	—	
干土质量 m_d (g)	(2)	—	
含水率 w' (%)	(3)	$\left[\frac{(1)}{(2)} - 1 \right] \times 100$	
湿土体积 V_o (cm ³)	(4)	—	
干土体积 V_d (cm ³)	(5)	—	
收缩体积(g/cm ³)	(6)	(4) - (5)	
收缩含水率(%)	(7)	$\frac{(6)}{(2)} \rho_w \times 100$	
缩限 w_s (%)	(8)	(3) - (7)	
平均值(%)	(9)	—	

表 D.16 崩解试验记录表

任务单号		试验者			
试验日期		计算者			
试样名称		校核者			
天平编号		烘箱编号			
密度_____ (g/cm ³)		含水率_____ (%)			
观察时间	经过时间 h:min	浮筒读数 R_t	浮筒读数差 $R_t - R_0$	崩解量 A_t (%)	崩解情况
年 月 d:h:min					

表 D.17 毛管水上升高度试验记录表(直接观测法)

任务单号				试验者	
试样编号				计算者	
烘箱编号				校核者	
毛管仪编号				天平编号	
试验日期	_____年_____月_____日				
日	时	分	毛管水上升高度(cm)	试样状态	
				试样干密度(ρ_d)=_____ g/cm ³ 试样孔隙比(e)=_____	

表 D.18 毛管水上升高度试验记录表(土样管法)

任务单号			试验者		
试样编号			计算者		
烘箱编号			校核者		
毛管仪编号			天平编号		
试验日期	_____年_____月_____日				
试样质量 m (g)	(1)	—			
试样体积 V (cm ³)	(2)	—			
密度 ρ (g/cm ³)	(3)	(1)/(2)			
含水率 w (%)	(4)				
干密度 ρ_d (g/cm ³)	(5)	$\frac{(3)}{1+0.01(4)}$			
土粒比重 G_s	(6)				
孔隙比 e	(7)	$(6)/(5)-1$			
毛管水上升高度(cm)		—			
毛管水上升高度平均值(cm)		—			

表 D. 19 相对密度试验记录表

任务单号			试验者		
试验日期			计算者		
试样编号			校核者		
相对密度仪编号			天平编号		
烘箱编号					
试验项目			最大孔隙比 $e_{\max}$	最小孔隙比 $e_{\min}$	备注
试验方法			漏斗法	量筒法	
试样加容器质量(g)	(1)	—	—		
容器质量(g)	(2)	—	—		
试样质量 m_d (g)	(3)	(1) - (2)			
试样体积 V (cm ³)	(4)	—			
干密度 ρ_d (g/cm ³)	(5)	(3)/(4)			
平均干密度(g/cm ³)	(6)	—			
比重 G_s	(7)	—			
孔隙比 e	(8)				
天然干密度(g/cm ³)	(9)				
天然孔隙比 e_0	(10)	—			
相对密度 D_r	(11)	—			

表 D. 20 击实试验记录表

任务单号	试验者										
试验日期	计算者										
击实仪编号	校核者										
台秤编号	天平编号										
击实筒体积 (cm ³)	烘箱编号										
落距 (mm)	击锤质量 (kg)										
每层击数	击实方法										
试样 编号	试验 序号	下 密 度			含 水 率				超高 (mm)		
		筒加土 质量 (g)	筒质量 (g)	湿土质量 m_0 (g)	干密度 ρ_d (g/cm ³)	盒号	湿土质量 m_0 (g)	干土质量 m_d (g)		含水率 w (%)	平均含水率 $\bar{w}$ (%)
		最大干密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)			最优含水率 w_{opt} (%)						

表 D.21 承载比试验记录表(膨胀量)

任务单号				试验者			
试验日期				计算者			
仪器名称及编号				校核者			
试样筒体积 $V(\text{cm}^3)$							
试样编号		(1)		1	2	3	
击实筒编号		(2)					
含水率	盒加湿土质量 (g)	(3)					
	盒加干土质量 (g)	(4)					
	盒质量 (g)	(5)					
	含水率 $w(\%)$	(6)	$\left[\frac{(3)-(5)}{(4)-(5)} - 1 \right] \times 100$				
	平均含水率 $\bar{w}(\%)$	(7)					
密度	筒加试样质量 $m_2(\text{g})$	(8)					
	筒质量 $m_1(\text{g})$	(9)					
	湿密度 $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$	(10)	$\frac{(8)-(9)}{V}$				
	干密度 $\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$	(11)	$\frac{(10)}{1+0.01(7)}$				
	干密度平均值 $\bar{\rho}_d(\text{g}/\text{cm}^3)$	(12)					
膨胀率	浸水前试样高度 $h_0(\text{mm})$	(13)					
	浸水后试样高度 $h_w(\text{mm})$	(14)					
	膨胀率 $\delta_w(\%)$	(15)	$\frac{(14)-(13)}{(13)} \times 100$				
	膨胀率平均值 $\bar{\delta}_w(\%)$	(16)					
	浸水后筒加试样质量 $m_3(\text{g})$	(17)					
吸水	吸水量 $m_w(\text{g})$	(18)	$(17)-(8)$				
	吸水量平均值 $\bar{m}_w(\text{g})$	(19)					

表 D.22 承载比试验记录表(贯入)

任务单号			试验者			
试验日期			计算者			
试样筒体积			校核者			
仪器名称编号						
击实方法	(次/层)		荷载板质量 m	(kg)	测力计率定系数 C	(N/0.01mm)
最大干密度 ρ_{dmax}	(g/cm ³)		贯入速度 v	(mm/min)	浸水条件	
最优含水率 w_{op}	(%)		贯入面积 A	(cm ²)		
试样编号 No			试样编号 No			
贯入量(0.01mm)			贯入量(0.01mm)		单位压力	
量表 I	量表 II	平均值	量表 I	量表 II	平均值	(kPa)
$CBR_{2.5} =$ (%)			$CBR_{2.5} =$ (%)		$CBR_{2.5} =$ (%)	
$CBR_{5.0} =$ (%)			$CBR_{5.0} =$ (%)		$CBR_{5.0} =$ (%)	
$CBR =$ (%)			$CBR =$ (%)		$CBR =$ (%)	
			平均 CBR = (%)			

表 D.23 回弹模量试验记录表

任务单号						试验者				回弹模量 E_r (kPa)
试样编号						计算者				
试验标准						校核者				
仪器名称及编号						试验日期				
承载板直径 $D(\text{cm})$										
加载级数	单位压力 p (kPa)	单位压力(kPa) 或测力计读数 (0.01mm)	量表读数(0.001mm)						回弹变形量 $l(\text{cm})$	
			加 载		卸 载		读数值	修正值		
			左	右	平均	左				

表 D.24 常水头渗透试验记录

[illegible]

表 D.25 变水头渗透试验记录

任务单号		试样说明		试样面积 (cm ²)		试验者					
试样编号		测压管断面积 a (cm ²)		孔隙比 e		计算者					
仪器名称及编号		试样高度 (cm)		试验日期		校核者					
开始时间 t ₁ (d h min)	终止时间 t ₂ (d h min)	经过时间 t (s)	开始水头 H _{b1} (cm)	终止水头 H _{b2} (cm)	$2.3 \frac{a}{A} \frac{L}{t}$ (6)	$\lg \frac{H_{b1}}{H_{b2}}$ (7)	水温 T℃ 时的渗透系数 k _T (cm/s)	水温 T (℃)	校正系数 $\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$ (10)	渗透系数 k ₂₀ (cm/s)	平均渗透系数 $\bar{k}_{20}$ (cm/s)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
—	—	(2)—(1)	—	—	$2.3 \frac{a}{A} \frac{L}{(3)}$	$\lg \frac{(4)}{(5)}$	(6)×(7)	—	—	(8)×(10)	$\frac{\sum (11)}{n}$

表 D.26 标准固结试验记录表(一)

任务单号				试验者				
试样编号				计算者				
取土深度				校核者				
试样说明				试验日期				
仪器名称及编号								
1. 含水率试验								
试样 情况	盒号	盒加湿土 质量 (g)	盒加干土 质量 (g)	盒质量 (g)	水质量 (g)	干土质量 m_d (g)	含水率 w (%)	平均含水率 $\bar{w}$ (%)
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
		—	—	—	(1) - (2)	(2) - (3)	(4)/(5) $\times 100$	$\frac{\sum(6)}{2}$
试验前								
试验后								
2. 密度试验								
试样情况	环加土质量 (g)	环刀质量 (g)	湿土质量 m_0 (g)	试样体积 V (cm ³)	湿密度 ρ (g/cm ³)			
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)			
	—	—	(1) - (2)	—	(3)/(4)			
试验前								
试验后								
3. 孔隙比及饱和度计算 $G_s =$ _____								
试样情况	试验前		试验后					
含水率 w (%)								
湿密度 ρ (g/cm ³)								
孔隙比 e								
饱和度 S_r (%)								

表 D. 27 标准固结试验记录表(二)

任务单号					试验者				
试样编号					计算者				
试验日期					校核者				
仪器名称及编号									
经过时间	试样在不同上覆压力下变形								
	()(kPa)		()(kPa)		()(kPa)		()(kPa)		
	时间	量表读数 (0.01mm)	时间	量表读数 (0.01mm)	时间	量表读数 (0.01mm)	时间	量表读数 (0.01mm)	
0									
6"									
15"									
1"									
2'15"									
4'									
6'15"									
9'									
12'15"									
16'									
20'15"									
25'									
30'15"									
36'									
42'15"									
49'									
64'									
100'									
200'									
400'									
23h									
24h									
总变形量(mm)									
仪器变形量(mm)									
试样总变形量(mm)									

表 D.28 标准固结试验记录表(三)

任务单号					试验者			
试样编号					计算者			
试验日期					校核者			
仪器名称及编号								
试样原始高度 $h_0=20.0\text{mm}$					$C_v=\frac{0.848(\bar{h})^2}{t_{90}}$ 或 $C_v=\frac{0.1978(\bar{h})^2}{t_{90}}$			
试验前孔隙比 $e_0=$								
加压 历时 (h)	压力 p (kPa)	试样总变形量 $\sum \Delta h_i$ (mm)	压缩后试样高度 h (mm)	孔隙比 e_i	压缩模量 E_s (MPa)	压缩系数 a_v (MPa ⁻¹)	排水距离 $\bar{h}$ (cm)	固结系数 C_v (cm ² /s)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)
—	—	—	(4)= $h_0-(3)$	(5)= $e_0-\frac{(3)(1+e_0)}{h_0}$			(8)= $\frac{h_i+h_{i+1}}{4}$	
0								
24								
24								
24								
24								
24								
24								
24								
24								
24								
24								

表 D.29 快速固结试验记录表

任务单号				试验者			
试样编号				计算者			
试验日期				校核者			
仪器名称及编号							
试验初始高度: $h_0 =$ _____ mm $K = (h_n)_T / (h_n)_i =$ _____							
加压历时 (h)	压力 p (kPa)	校正前试样 总变形量 $(h_i)_i$ (mm)	校正后试样 总变形量 $\sum \Delta h_i$ (mm)	压缩后试样高度 h (mm)	孔隙比 e_i	压缩模量 E_s (MPa)	压缩系数 a_v (MPa ⁻¹)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
—	—	—	(4) = K(3)	(5) = $K_0 - (4)$	(6) = $e_0 - \frac{(4)(1+e_0)}{h_0}$	—	—
1							
1							
1							
1							
1							
稳定							

表 D. 30 应变控制加荷固结试验记录表

任务单号				试验者					
试样编号				计算者					
试验日期				校核者					
仪器名称及编号									
试样初始高度 $h_0 =$ _____ cm		试样面积 $A =$ _____ cm ²		负荷传感器系数 $\alpha =$ _____					
试样初始孔隙比 $e_0 =$ _____		应变速率 = _____ %/s		孔压传感器系数 $\beta =$ _____					
经过时间 t (min)	轴向变形 Δh (0.01mm)	应变 (%)	t 时孔隙比 e_i	负荷 传感器 读数	轴向荷载 P (kN)	轴向压力 σ (MPa)	孔压 传感器 读数	底部 孔隙压力 u_b (MPa)	轴向有效 压力 σ' (MPa)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
—	—	(3) = (2) / (10 × h_0)	(4) = $e_0 -$ $\frac{(1 - e_0) \times (3)}{100}$	—	(6) = (5) × α	(7) = (6) / A	—	(9) = (8) × β	(10) = (7) - $\frac{2}{3}$ (9)
0									
1									
2									
⋮									
10									
15									
20									
25									
⋮									
60									
75									
90									
105									
120									
135									
150									

表 D.31 黄土湿陷试验记录

任务单号	试样含水率 $w(\%)$				试验者					
试样编号	试样湿密度 $\rho(g/cm^3)$				计算者					
仪器名称及编号	土粒比重 G_s				校核者					
试验方法	试样初始高度 $h_0(mm)$				试验日期					
试样在不同上覆压力下变形										
经过时间(h)	() (kPa)		() (kPa)		() (kPa)		浸水湿陷		浸水溶滤	
	时间	读数 (0.01mm)	时间	读数 (0.01mm)	时间	读数 (0.01mm)	时间	读数 (0.01mm)	时间	读数 (0.01mm)
1										
2										
3										
4										
5										
⋮										
总变形量 (mm)										
仪器变形量 (mm)										
试样变形量 (mm)										

表 D.33 黄土湿陷性试验记录 (湿陷起始压力)

任务单编号											试验者													
试样编号											计算者													
试验日期											校核者													
仪器名称及编号																								
环刀号：		试样初始高度 h_0 ：								(mm)		环刀号：		试样初始高度 h_0 ：								(mm)		
经过时间 (min)	天然状态						仪器号：						浸水状态						仪器号：					
	()	()	()	()	()	()	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	()	()	()	()	()	()	(kPa)	(kPa)	()	()				
	(kPa)						(kPa)						(kPa)						(kPa)					
变形读数(0.01mm)																								
仪器变形量 (mm)																								
试样变形量 (mm)																								
湿陷系数 δ_{sp}																								

表 D.34 三轴压缩试验记录表 (一)

任务单号					试验者	
试样编号					计算者	
试样说明					校核者	
试验方法					试验日期	
试样状态						
项 目	起始值	固结后	剪切后			
直径 $D(\text{cm})$				周围压力 $\sigma_3(\text{kPa})$		
高度 $h_0(\text{cm})$				反压力 $u_0(\text{kPa})$		
面积 $A(\text{cm}^2)$				周围压力下的孔隙压力 $u(\text{kPa})$		
体积 $V(\text{cm}^3)$				孔隙压力系数 $B = \frac{u_0}{\sigma_3}$		
质量 $m(\text{g})$				破坏应变 $\varepsilon_f(\%)$		
湿密度 $\rho(\text{g}/\text{cm}^3)$				破坏主应力差 $(\sigma_1 - \sigma_3)_f(\text{kPa})$		
干密度 $\rho_d(\text{g}/\text{cm}^3)$				破坏主应力 $\sigma_{1f}(\text{kPa})$		
试样含水率						
起始值				剪切后		
盒号					破坏孔隙压力系数 $\overline{B}_f = \frac{U_f}{\sigma_{3f}}$	
盒质量(g)					相应的有效大主应力 $\sigma'_1(\text{kPa})$	
盒加湿土质量(g)					相应的有效小主应力 $\sigma'_3(\text{kPa})$	
湿土质量 $m(\text{g})$					最大有效主应力比 $\left(\frac{\sigma'_1}{\sigma'_3}\right)_{\max}$	
盒加干土质量(g)					孔隙压力系数 $A_f = \frac{u_{df}}{B(\sigma_1 - \sigma_3)_f}$	
干土质量 $m_d(\text{g})$					呈鼓状破坏	
水质量(g)						
含水率 $w(\%)$						
饱和度 S_r						
试样破坏情况的描述						
备 注						

表 D. 36 三轴压缩试验记录表 (三)

试样编号			试验者												
试验方法			计算者												
试验日期			校核者												
仪器名称及编号															
周围压力 $\sigma_3 =$ _____ kPa 剪切应变速率 = _____ mm/min 测力计率定系数 $C =$ _____ N/0.01mm			固结下沉量 $\Delta h =$ _____ cm 固结后高度 $h_c =$ _____ cm 固结后面积 $A_c =$ _____ cm ²												
轴向 变形 读数 Δh_i (0.01 mm)	轴向 应变 $\epsilon_1 = \frac{\Delta h_i}{h_c \times 10}$ (%)	试样校正后 面积 $A_n = \frac{A_c}{1 - \epsilon_1 \times 0.01}$ (cm ²)	测力计表 读数 R (0.01mm)	主应力差 $(\sigma_1 - \sigma_3) = \frac{RC}{A_n} \times 10$ (kPa)	大主应力 $\sigma_1 = \sigma_3 + (\sigma_1 - \sigma_3)$ (kPa)	孔隙压力 u 读数 压力值 (kPa)	试样体积变化 排水管 排出 水量 (cm ³) 读数 体积变化 体变 量 (cm ³)		有效 大主 应力 σ'_1 (kPa)	有效 小主 应力 σ'_3 (kPa)	有效 主应 力比 $\frac{\sigma_1}{\sigma_3}$	$\frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2}$ (kPa)	$\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{2}$ (kPa)	$\frac{\sigma_1 + \sigma_3}{3}$ (kPa)	

表 D.38 直接剪切试样记录表(一)

任务单号					试验者											
试样编号					计算者											
试样说明					校核者											
试验日期					仪器名称及编号											
试样编号					1			2			3			4		
					起始	饱和	和后	起始	饱和	和后	起始	饱和	和后	起始	饱和	和后
湿密度 ρ (g/cm ³)	(1)	(1)														
含水率 w (%)	(2)	(2)														
干密度 ρ_d (g/cm ³)	(3)	$\frac{(1)}{1 + 0.01 \times (2)}$														
孔隙比 e	(4)	$\frac{G_s}{(3)} - 1$														
饱和度 S_r (%)	(5)	$\frac{G_s \times (2)}{(4)}$														

表 D.39 直接剪切试样记录表(二)

任务单号			计算者	
试样编号			校核者	
试验方法			试验者	
			试验日期	
试样编号			剪切前固结时间(min)	
仪器名称及编号			剪切前压缩量(mm)	
垂直压力 p (kPa)			剪切历时(min)	
测力计率定系数 C (N/0.01mm)		抗剪强度 S (kPa)		
手轮转数 (转)	测力计读数 R (0.01mm)	剪切位移 Δl (0.01mm)	剪应力 τ (kPa)	垂直位移 (0.01mm)
(1)	(2)	(3) = (1) $\times$ 20 — (2)	(4) = $\frac{(2) \times C}{A_0} \times 10$	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
:				
32				

表 D.40 排水反复直接剪切试验

任务单号		试验者	
试样编号		计算者	
试验日期		校核者	
仪器名称及编号		剪前固结时间(min)	
测力计率定系数 $C(N/0.01mm)$		剪前固结沉降量(mm)	
剪切速率(mm/min)		剪切次数	
垂直压力 $p(kPa)$		抗剪强度 $S(kPa)$	
剪切位移 Δl (0.01mm)	垂直位移计读数 (0.01mm)	测力计读数 R (0.01mm)	剪应力 τ (kPa)
30			
60			
100			
130			
160			
200			
230			
260			
300			
350			
400			
⋮			
800			

表 D.41 无黏性土休止角试验记录表

任务单号				试验者			
试样说明				计算者			
试验方法				校核者			
仪器名称及编号				试验日期			
圆锥底面直径 d_z (cm)							
试样 编号	充分风干状态休止角 α_c			水下状态休止角 α_m			备注
	读	数	平均值	读	数	平均值	
	h_{zc} (cm)	(°)	(°)	h_{zm} (cm)	(°)	(°)	

表 D.42 自由膨胀率试验记录表

任务单号				试验者					
量筒体积				计算者					
试验日期				校核者					
仪器名称及编号									
试样 编号	干土质量 m_d (g)	量筒 编号	不同时间的体积读数(mL)						自由膨胀率 δ_{ef} (%)
			2h	4h	6h	8h	10h	12h	
备注									

表 D.43 膨胀率试验记录(一)

任务单号				试验者			
试验类型				校核者			
试样编号				计算者			
仪器名称及编号				试验日期			
试样状态							
项	环刀加 湿土 质量 (g)	环刀加 干土 质量 (g)	环刀 质量 (g)	湿土 质量 m_0 (g)	干土 质量 m_d (g)	水质量 m_w (g)	含水率 w (%)
目	(1)	(2)	(3)	(4) = (1) - (3)	(5) = (2) - (3)	(6) = (4) - (5)	(7) = $\frac{(6)}{(5)} \times 100$
							(8)
							(9) = $\frac{(4)}{(8)}$
							(10) = $\frac{(5)}{(8)}$
							(11)
							(12) = $\frac{(11)}{(10)} - 1$
试验前							
试验后							

表 D.44 膨胀率试验记录(二)

任务单号					试验者	
试验类型					校核者	
试样编号					计算者	
仪器名称及编号					试验日期	
测定时间		经过时间			量表读数 (mm)	膨胀率 (%)
d	h	min	d	h		

表 D. 45 收缩试验记录表

任务单号			试验者						
试样编号			计算者						
试验日期			校核者						
仪器名称及编号									
测定时间			百分表读数	单向收缩	线收缩率	试样质量	水质量	含水率	备注
d	h	min	z_1 (0.01mm)	$z_1 - z_0$ (mm)	δ_{s1} (%)	m_1 (g)	m_w (g)	w_1 (%)	

表 D.46 膨胀力试验记录(一)

任务单号							试验者					
试验类型							校核者					
试样编号							计算者					
仪器名称及编号							试验日期					
试样状态												
项 目	环刀加 湿土 质量 (g)	环刀加 干土 质量 (g)	环刀 质量 (g)	湿土 质量 m_0 (g)	干土 质量 m_d (g)	水质量 m_w (g)	含水率 w (%)	试样 体积 V (cm^3)	密度 ρ (g/cm^3)	干密度 ρ_d (g/cm^3)	土粒 比重 G_s	孔隙比 e
	(1)	(2)	(3)	(4) = (1) - (3)(2) - (3)(4) - (5)	(5) = (6) =	(6) =	(7) = $\frac{(6)}{(5)} \times 100$	(8)	(9) = $\frac{(4)}{(8)}$	(10) = $\frac{(5)}{(8)}$	(11)	(12) = $\frac{(11)}{(10)} - 1$
试验前												
试验后												

表 D.48 静止侧压力系数试验记录表

1. 含水率 w _____ %				
任务单号			试验者	
试样编号			计算者	
试验日期			校核者	
仪器名称及编号				
项 目	试验前		试验后	
	(1)	(2)	(1)	(2)
盒号				
湿土加盒质量(g)				
干土加盒质量(g)				
盒质量(g)				
含水率 w (%)				
平均含水率 $\bar{w}$ (%)				
2. 密度 ρ _____ g/cm ³				
项 目	试验前		试验后	
试样面积 A (cm ²)				
试样高度 h (cm)				
试样体积 V (cm ³)				
试样质量 m_0 (g)				
试样密度 ρ (g/cm ³)				
孔隙比 e				
试样描述				
3. K_0 试验				
电测仪表初始读数 R_0 = _____ μE (mV)				
压力传感器比例常数 C' = _____ kPa/ μE (mV)				
轴向压力 = _____ kPa				
经过时间 t (min)	轴向变形 Δh (0.01mm)	电测仪表读数 R_d (μE , mV)	读数变化值 ($R_d - R_{d0}$) (μE , mV)	周围压力 σ'_3 (kPa)

表 D.49 振动三轴动强度(抗液化强度)试验记录表(一)

任务单号		试验者	
试样编号		计算者	
试验日期		校核者	
仪器名称及编号			
固 结 前	固 结 后	固 结 条 件	试验条件和破坏标准
试样直径 d (mm)	试样直径 d_c (mm)	固结应力比 K_c	动荷载 W_d (kN)
试样高度 h (mm)	试样高度 h_c (mm)	轴向固结应力 σ_{1c} (kPa)	振动频率(Hz)
试样面积 A (cm ²)	试样面积 A_c (cm ²)	侧向固结应力 σ_{3c} (kPa)	等压时孔压破坏标准(kPa)
体积分管读数 V_1 (cm ³)	体积分管读数 V_2 (cm ³)	固结排水量 ΔV (mL)	等压时应变破坏标准(%)
试样体积 V (cm ³)	试样体积 V_c (cm ³)	固结变形量 Δh (mm)	偏压时应变破坏标准(%)
试样干密度 ρ_d (g/cm ³)	试样干密度 ρ_d (g/cm ³)	振后排水量(mL)	振后高度(mm)
试样破坏情况描述			
备 注			

表 D.51 振动三轴动力变形特性试验记录表(一)

任务单号					试验者					
试样编号					计算者					
试验日期					校核者					
仪器名称及编号										
固 结 前		固 结 后				固结条件及振动试验条件				
试样直径 d (mm)		试样直径 d_c (mm)				固结应力比 K_c				
试样高度 h (mm)		试样高度 h_c (mm)				轴向固结应力 σ_{1c} (kPa)				
试样面积 A (cm ²)		试样面积 A_c (cm ²)				侧向固结应力 σ_{3c} (kPa)				
体积量管读数 V_1 (cm ³)		体积量管读数 V_2 (cm ³)				固结排水量 ΔV (mL)				
试样体积 V (cm ³)		试样体积 V_c (cm ³)				固结变形量 Δh (mm)				
试样干密度 ρ_d (g/cm ³)		试样干密度 ρ_{dc} (g/cm ³)				振动频率 f (Hz)				
级 数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
每级动荷载(kN)										
备 注										

表 D.53 振动三轴残余变形特性试验记录表 (一)

任务单号			试验者		
试样编号			计算者		
试验日期			校核者		
仪器名称及编号					
固 结 前	固 结 后		固 结 条 件		试 验 及 破 坏 条 件
试样直径 d (mm)		试样直径 d_c (mm)		固结应力比 K_c	动荷载 (kN)
试样高度 h (mm)		试样高度 h_c (mm)		轴向固结应力 σ_{1c} (kPa)	振动频率 f (Hz)
试样面积 A (cm ²)		试样面积 A_c (cm ²)		侧向固结应力 σ_{3c} (kPa)	振动次数 (次)
体积量管读数 V_1 (cm ³)		体积量管读数 V_2 (cm ³)		固结排水量 ΔV (mL)	振后排水量 (mL)
试样体积 V (cm ³)		试样体积 V_c (cm ³)		固结变形量 Δh (mm)	振后高度 (mm)
试样干密度 ρ_d (g/cm ³)		试样干密度 ρ_{dc} (g/cm ³)			
试样破坏情况描述					
备 注					

表 D.55 共振柱试验记录表 (带弹簧和阻尼器支承端扭转共振柱)

任务单号		试验者	
试样编号		计算者	
试验日期		校核者	
仪器名称及编号			
试样情况		计算参数	
试样干质量(g)		试样干密度(g/cm ³)	
固结前高度(cm)		试样质量 m ₁ (g)	
固结前直径(cm)		试样转动惯量 I ₁ (g/cm ²)	
固结后高度(cm)		顶端附加物质量 m ₀ (g)	
固结后直径(cm)		顶端附加物转动惯量 I ₀ (g/cm ²)	
固结后体积(cm ³)		加速度计到试样轴线距离 d ₁ (cm)	
试样含水率(%)		加速度标定系数 β(981cm·s ² /mV)	
扭转共振测试结果			
测定次数	最大电压值 U (mV)	扭转共振频率 f _{n1} (Hz)	扭转共振圆频率 ω (rad/s)
		无试样时系统共振频率 f ₀₁ (Hz)	扭转无量纲频率因数 β _s
		动剪应变 ×10 ⁻¹ (%)	有试样时系统扭转振动时的能量比 S _t
			无试样时系统扭转振动时的对数衰减率 δ ₀₁
			有试样时系统扭转振动时的对数衰减率 δ ₁
			动剪模量 G _d (kPa)
			阻尼比 λ

表 D.56 共振柱试验记录表(带弹簧和阻尼器支承端纵向振动共振柱)

任务单号				试验者	
试样编号				计算者	
试验日期				校核者	
仪器名称及编号					
试样情况				计算参数	
试样干质量(g)				试样干密度(g/cm ³)	
固结前高度(cm)				试样质量 m ₁ (g)	
固结前直径(cm)				试样转动惯量 I ₁ (g/cm ²)	
固结后高度(cm)				顶端附加物质量 m ₀ (g)	
固结后直径(cm)				顶端附加物转动惯量 I ₀ (g/cm ²)	
固结后体积(cm ³)				加速度计到试样轴线距离 d ₁ (cm)	
试样含水率(%)				加速度标定系数 β(981cm·s ² /mV)	
纵向振动测试结果					
测定次数	轴向 动应变 ×10 ⁻⁴ (%)	纵向 共振频率 f _{n1} (Hz)	无试样时 系统纵向 共振频率 f ₀₁ (Hz)	动弹性 模量 E _d (kPa)	有试样时 系统纵向 振动时的 对数衰减率 δ ₁
					无试样时 系统纵向 振动时的 对数衰减率 δ ₀₁
					纵向振动时 的能量比 S ₁
					阻尼比 λ

表 D.57 共振柱试验记录表(自由端扭转共振柱)

任务单号					试验者								
试样编号					计算者								
试验日期					校核者								
仪器名称及编号													
试样情况				试验参数									
试样干质量(g)				试样干密度(g/cm ³)									
固结前高度(cm)				试样质量 m_1 (g)									
固结前直径(cm)				试样转动惯量 I_1 (g/cm ²)									
固结后高度(cm)				顶端附加物质量 m_0 (g)									
固结后直径(cm)				顶端附加物转动惯量 I_0 (g/cm ²)									
固结后体积(cm ³)				加速度计到试样轴线距离 d_1 (cm)									
试样含水率(%)				加速度标定系数 β (981cm • s ² /mV)									
扭转自由振动测试结果													
测定次数	电 荷 输出电压 U (mV)	自振周期(s)			自振幅(mm)			扭转自由 振动频率 f_n (Hz)	动剪 应变 γ (%)	无试样时系 统扭转自由 振动频率 f_0 (Hz)	扭转无量 纲频率 因数 β_s	动剪切 模量 G_d (kPa)	阻尼比 λ
		T_1	T_2	T_3	平均	A_1	A_2						

表 D.58 共振柱试验记录表(自由端纵向振动共振柱)

任务单号					试验者									
试样编号					计算者									
试验日期					校核者									
仪器名称及编号														
试样情况				计算参数										
试样干质量(g)				试样干密度(g/cm³)										
固结前高度(cm)				试样质量 m_1 (g)										
固结前直径(cm)				试样转动惯量 I_1 (g/cm²)										
固结后高度(cm)				顶端附加物质量 m_0 (g)										
固结后直径(cm)				顶端附加物转动惯量 I_0 (g/cm²)										
固结后体积(cm³)				加速度计到试样轴线距离 d_1 (cm)										
试样含水率(%)				加速度标定系数 β (981cm·s²/mV)										
自由纵向振动测试结果														
测定次数	电荷输出电压 U (mV)	自振周期(s)			自振振幅(mm)			纵向自由 振动频率 f_{nl} (Hz)	轴向 动应变 ϵ_d (%)	无试样时系 统纵向自由 振动频率 f_{0l} (Hz)	纵向无 量纲频率 因数 β_1	动弹性 模量 E_s (kPa)	阻尼比 λ	
		T_1	T_2	T_3	平均	Λ_1	Λ_2							Λ_3

表 D. 60 冻土含水率试验记录表(烘干法)

任务单号			试验者						
试验日期			计算者						
仪器名称及编号			校核者						
试样 编号	试样 说明	盒号	盒质量 (g)	盒加湿土 质量 (g)	盒加干土 质量 (g)	冻土质量 m_{10} (g)	干土质量 m_d (g)	冻土含水率 w_T (%)	冻土含水率 平均值 $\bar{w}_T$ (%)
			(1)	(2)	(3)	(4)=(2)-(1)	(5)=(3)-(1)	(6)= $\left[\frac{(4)}{(5)}-1\right]\times 100$	(7)

表 D.61 冻土含水率和冻土密度试验记录表(联合测定法)

任务单号		试验者							
试验日期		计算者							
仪器名称及编号		校核者							
试样编号	冻土质量 m_{f0} (g)	筒加水质量 m_{tw} (g)	筒加水加 试样质量 (g)	筒加水加 冻土颗粒质量 m_{tws} (g)	土粒比重 G_s	冻土试样体积 V_f (cm^3)	冻土密度 ρ_f (g/cm^3)	冻土含水率 w_f (%)	

表 D.62 冻土密度试验记录表(浮称法)

任务单号					试验者			
试验日期					计算者			
仪器名称及编号					校核者			
试样 编号	试样 描述	煤油温度 (℃)	煤油密度 ρ_m (g/cm ³)	冻土质量 m_0 (g)	试样在油中 的质量 m_{fm} (g)	冻土体积 V_f (cm ³)	冻土密度 ρ_f (g/cm ³)	平均冻土 密度 $\bar{\rho}_f$ (g/cm ³)
		(1)	(2)	(3)	(4)	$(5) = \frac{(3)-(4)}{(2)}$	$(6) = \frac{(3)}{(5)}$	(7)

表 D.63 冻土密度试验记录表(环刀法)

任务单号						试验者			
试验日期						计算者			
仪器名称及编号						校核者			
试样 编号	试样 描述	冻土体积 V_t (cm^3)	冻土质量 m_{t0} (g)	冻土密度 ρ_t (g/cm^3)	冻土含水率 w_1 (%)	冻土干密度 ρ_{td} (g/cm^3)	冻土平均干密度 $\bar{\rho}_{td}$ (g/cm^3)		
		(1)	(2)	(3) = $\frac{(2)}{(1)}$	(4)	(5) = $\frac{(3)}{1+0.01 \times (4)}$	(6)		

表 D.64 冻土密度试验记录表(充砂法)

任务单号						试验者			
试验日期						计算者			
仪器名称及编号						校核者			
试样 编号	测筒 质量 m_1 (g)	试样 质量 m_{10} (g)	测筒、试样 加量砂质量 m_{tfs} (g)	量砂质量 (g)	量砂 密度 ρ_{fs} (g/cm ³)	测筒容积 V_1 (cm ³)	试样体积 V_t (cm ³)	冻土密度 ρ_f (g/cm ³)	冻土平均 密度 $\bar{\rho}_f$ (g/cm ³)
	(1)	(2)	(3)	(4)=(3)-(1)-(2)	(5)	(6)	(7)=(6)- $\frac{(4)}{(5)}$	(8)= $\frac{(2)}{(7)}$	(9)

表 D. 65 冻结温度试验记录表

任务单号		试验者		
试验日期		计算者		
仪器名称及编号		校核者		
热电偶编号: 热电偶系数 $K_t =$ _____ $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$				
试样编号	历时 (min)	电压表示值 U_t (μV)	冻结温度 T_f ($^\circ\text{C}$)	备注
	(1)	(2)	(3) = (2) / K_t	

表 D. 66 冻土导热数试验记录表

任务单号		试验者			
试验日期		计算者			
仪器名称及编号		校核者			
冻土试样含水率 $w_f =$ _____ % 石蜡导热系数 $\lambda_0 = 0.279\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 冻土试样密度 $\rho_f =$ _____ g/cm^3					
试样编号	时间 (min)	石蜡样品盒内 两壁面温差 $\Delta\theta_0$ ($^\circ\text{C}$)	待测试样盒 两壁面温差 $\Delta\theta$ ($^\circ\text{C}$)	导热系数 λ_f [$\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$]	备注
	(1)	(2)	(3)	(4) = $\lambda_0 \times (2)/(3)$	

表 D. 68 冻土融化压缩试验记录表

任务单号		试验者	
试验日期		计算者	
试样编号		校核者	
仪器名称及编号			
融沉下沉量 $\Delta h_{f0} =$ _____ cm 融沉后试样孔隙比 $e =$ _____			
加压时间 t (h, min)	压力 p (kPa)	试样 总变形量 (mm)	孔隙比 e_i
(1)	(2)	(3)	(4) = $e - \frac{(3)}{h}(1+e)$

表 D. 69 原位冻土融化压缩试验记录表

任务单号		试验者							
试验日期		计算者							
仪器名称及编号		校核者							
试坑编号及深度		土类							
冻结状态含水率 $w_f =$ _____ % 密度 $\rho_f =$ _____ g/cm ³									
荷载 (kPa)	历时		变形 (mm)		荷载 (kPa)	历时		变形 (mm)	
	读数 时间	累计 (min)	量表 读数	变形量		读数 时间	累计 (min)	量表 读数	变形量

表 D.70 原位冻胀率试验记录表

任务单号							试验者			
试验地点							计算者			
试验日期							校核者			
仪器名称及编号										
试样编号										
时间	温度及冻胀量	深度 (cm)					地下水位 (m)	冻深 H_f (m)		冻胀率 η (%)
		0	20	40	60	80		100	地温计	
	温度 (°C)									
	冻胀量 Δh_f (cm)									
	温度 (°C)									
	冻胀量 Δh_f (cm)									
	温度 (°C)									
	冻胀量 Δh_f (cm)									

表 D. 71 原位密度试验记录表(灌砂法,用套环)

任务单号	试验者		
试验日期	计算者		
试验环境	校核者		
试样编号	仪器名称及编号		
试样描述	取样地点		
量砂容器质量加原有量砂质量 m_{y1} (g)	(1)		
量砂容器质量加第 1 次剩余量砂质量 m_{y2} (g)	(2)		
套环内耗砂质量(g)	(3)	(1)－(2)	
量砂密度 ρ'_s (g/cm ³)	(4)		
套环体积 (cm ³)	(5)	(3)/(4)	
从套环内取出量砂质量 m_{y3} (g)	(6)		
套环内残留量砂质量(g)	(7)	(3)－(6)	
量砂容器质量加第 2 次剩余量砂质量 m_{y5} (g)	(8)		
试坑及套环内耗砂质量(g)	(9)	(2)+(6)－(8)	
量砂密度 ρ_s (g/cm ³)	(10)	(9)/(10)	
试坑及套环总体积 (cm ³)	(11)		
试坑体积 (cm ³)	(12)	(11)－(5)	
试样容器质量加试样质量(内包括残留之量砂) m_{y4} (g)	(13)		
试样容器质量 m_{y6} (g)	(14)		
试样质量 m_0 (g)	(15)	(13)－(14)－(7)	
试样密度 ρ (g/cm ³)	(16)	(15)/(12)	
试样含水率 w (%)	(17)		
干密度 ρ_d (g/cm ³)	(18)	$\frac{(16)}{1+0.01 \times (17)}$	
平均干密度 $\bar{\rho}_d$ (g/cm ³)	(19)		

表 D.72 原位密度试验记录表(灌砂法,不用套环)

任务单号		试验者	
试验日期		计算者	
试验环境		校核者	
试样编号		仪器名称及编号	
试样描述		取样地点	
量砂容器质量加原有量砂质量 m_{y1} (g)	(1)		
量砂容器质量加剩余量砂质量 m_{y2} (g)	(2)		
试坑内耗砂质量 (g)	(3)	(1) - (2)	
量砂密度 ρ_n (g/cm ³)	(4)		
试坑体积 (cm ³)	(5)	(3) / (4)	
试样质量加试样容器质量 m_{y1} (g)	(6)		
试样容器质量 m_{y6} (g)	(7)		
试样质量 m_0 (g)	(8)	(6) - (7)	
试样密度 ρ (g/cm ³)	(9)	(8) / (5)	
试样含水率 w (%)	(10)		
干密度 ρ_d (g/cm ³)	(11)	$\frac{(9)}{1+0.01 \times (10)}$	
平均干密度 $\bar{\rho}_d$ (g/cm ³)	(12)		

表 D.73 原位密度试验记录表(灌水法)

任务单号			试验者						
试验日期			计算者						
试验环境			校核者						
试样描述			仪器名称及编号						
取样地点			试样编号						
试样 编号	套环 体积 V_{th} (cm^3)	储水筒水位(cm)		储水筒 面积 A_w (cm^2)	试坑体积 V_{sk} (cm^3)	试样 质量 m_0 (g)	试样 含水率 w ($\%$)	试样 湿密度 ρ (g/cm^3)	试样 干密度 ρ_d (g/cm^3)
		初始 H_{11}	终了 H_{12}						
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)=[(4)-(3)]×(5)-(2)	(7)	(8)	(9)=(7)/(6)	(10)= $\frac{(9)}{1+0.01\times(8)}$

表 D.74 试坑渗透试验记录表

任务单号			试坑编号		试验方法		试验者						
土质说明			铁(内)环直径		试坑深度		计算者						
仪器名称及编号					试验日期		校核者						
测量时间	时间间隔 t (min)		渗入水量 Q (cm ³)	水的渗透流量		近似渗透系数 k_T (cm/s)	试验时水的渗入深度 H_{y1} (cm)	贮水坑中水的深度 H_{y2} (cm)	相当于作用毛细管力的水柱高度 H_{y3} (cm)	渗透系数 k_T (cm/s)	水温 20℃ 渗透系数 k_{20} (cm/s)	平均渗透系数 $\bar{k}_{20}$ (cm/s)	
	d	h		min	cm ³ /min								cm ³ /s
—	—	—	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
—	—	—	—	—	$\frac{(2)}{(1)}$	$\frac{(3)}{60}$	(4)/A	—	—	$\frac{(4) \times (6)}{A[(6) + (7) + (8)]}$	$(9) \times \frac{\eta_T}{\eta_{20}}$	$\frac{\sum(10)}{n}$	

表 D.75 原位直剪试验记录表

任务单号		试验者	
试验地点		计算者	
试样编号		校核者	
试验方法		试验日期	
仪器名称及编号			
试样(混凝土板) 面积 A_0 (cm ²)		垂直压力 p (kPa)	
固结时间(h)		剪切历时(min)	
试样压缩量(mm)		抗剪强度 S (kPa)	
剪切历时 (min)	剪应力 τ (kPa)	剪切位移 ΔL (mm)	备 注

表 D.76 电测试十字板剪切试验记录表

任务单号		试验者				
试验地点		计算者				
试验孔号		校核者				
仪器名称及编号		试验日期				
孔口标高		应变仪编号				
试验环境		稳定水位				
十字板规格 $D=$ _____ mm $H=$ _____ mm $K'_1=$ _____ cm^{-3} 传感器编号: _____ 率定系数 $\xi=$ _____ $\text{N} \cdot (\text{cm}/\mu\epsilon)$						
序号	原状土		重塑土		试验深度 (m)	备注
	应变仪读数 R_y ($\mu\epsilon$)	抗剪强度 C_u (kPa)	应变仪读数 R_c ($\mu\epsilon$)	抗剪强度 C'_u (kPa)		

表 D.77 机械式十字板剪切试验记录表

任务单号		试验者					
试验地点		计算者					
试验孔号		校核者					
仪器名称及编号		试验日期					
孔口标高		稳定水位					
试验环境							
十字板规格 $D = \underline{\hspace{2cm}}$ mm $H = \underline{\hspace{2cm}}$ mm $K'_2 = \underline{\hspace{2cm}}$ cm ⁻² 钢环编号: <u> </u> 钢环系数 $C = \underline{\hspace{2cm}}$ N/0.01mm							
序号	原状土		重塑土		轴杆	试验深度 (m)	备注
	百分表读数 (0.01mm)	抗剪强度 C_u (kPa)	百分表 读数 (0.01mm)	抗剪强度 C'_u (kPa)	百分表 读数 (0.01mm)		

表 D. 78 标准贯入试验记录表

任务单号		试验者			
钻孔编号		计算者			
孔口标高		校核者			
地下水位		试验日期			
仪器名称及编号		试验环境			
钻孔孔径		钻进方式			
护孔方式		落锤方式			
孔内水位(或泥浆高程)					
序号	浮上厚度 (cm)	试验深度 (m)	贯入深度 (cm)	击数 N	描述

表 D.79 静力触探试验记录表

任务单号		探头编号		试验者			
孔号		率定系数 k_p		计算者			
孔口标高(m)		率定系数 k_q		校核者			
水位标高(m)		率定系数 k_f		试验日期			
试验环境		率定系数 k_u					
1. 阻力测定							
触探深度 (m)	锥头阻力 $q_c(p_s)$		摩擦阻力 f_s		孔隙水压力 u		摩阻比 $F_m = \frac{f_s}{q_c}$ (%)
	仪表读数 ($\mu\epsilon, mV$)	贯入阻力 (kPa)	仪表读数 ($\mu\epsilon, mV$)	贯入阻力 (kPa)	仪表读数 ($\mu\epsilon, mV$)	贯入阻力 (kPa)	
2. 孔压消散(触探深度: m)							
时间 (min)	经过时间 (min)	仪表读数 ($\mu\epsilon, mV$)	孔隙压力 u_t (kPa)	孔隙压力消散百分数 $\bar{U}$ (%)			

表 D. 80 轻型动力触探试验记录表

任务单号			孔号			试验者		
试验地点			探杆直径			计算者		
孔口标高			探杆质量			校核者		
地下水位			锤座质量			试验日期		
仪器名称及编号								
触探杆 总长 (m)	触探 深度 (m)	一阵 锤击数 N_0	贯入度 ΔS (mm)	每贯入 0.1m 锤击数 $N_{63.5}$	小层累计 贯入度 (mm)	小层平均 锤击数	说明	

表 D. 81 重型、超重型动力触探试验记录表

任务单号			孔号			试验者		
试验地点			探杆直径			计算者		
孔口标高			探杆质量			校核者		
地下水位			锤座质量			试验日期		
仪器名称及编号								
触探杆 总长 (m)	触探 深度 (m)	一阵 锤击数 N_0	贯入度 ΔS (mm)	每贯入 0.1m 锤击数 N_{120}	小层累计 贯入度 (mm)	小层平均 锤击数	说明	

表 D.83 载荷试验记录表

任务单号					试验者										
试验地点					计算者										
试验深度					校核者										
试验方法					试验日期										
承压板面积					气候条件										
试验环境					土层性状										
仪器名称及编号															
加荷 时间	读数 时间	单位 压力 p (kPa)	沉降量 s (cm)								平均 沉降量 (cm)	累计 沉降量 (cm)	备注		
			A		B		C		D						
			读数	沉降	读数	沉降	读数	沉降	读数	沉降					

表 D. 84 波速试验记录表(跨孔法)

任务单号		试验者															
试验日期		计算者															
钻孔排列方位		校核者															
仪器名称及编号																	
深度 (m)	土层 名称	测斜后的实际水平距离(m)			波的传播时间(ms)						波速值(m/s)						
		S—R ₁	S—R ₂	R ₁ —R ₂	S—R ₁		S—R ₂		R ₁ —R ₂		S—R ₁		S—R ₂		R ₁ —R ₂		
					t _p	t _s	t _p	t _s	t _p	t _s	t _p	t _s	t _p	t _s	t _p	t _s	v _p

表 D.85 波速试验记录表(面波法)

任务单号	试验者			
试验地点	计算者			
试验日期	校核者			
仪器名称及编号				
激振频率 f (s^{-1})	检波器与振源间距离(m)			波速值 $V_R = L_R f$ (m/s)
	$S-l_1$	$S-l_2$	$S-l_3$	
			$L_R = l_3 - l_1$	

表 D. 86 风干含水率试验记录表

任务单号				试验者						
试验地点				计算者						
试验日期				校核者						
仪器名称及编号										
试样 编号	铝盒 编号	铝盒质量(g)		铝盒加风 干土质量 (g)	铝盒加烘干土质量(g)		烘干土 质量 m_1 (g)	失水质量 (g)	风干含水率 w_0 (%)	
		第 1 次	第 2 次		第 1 次	第 2 次			计算值	平均值

表 D.87 酸碱度 (pH) 测定记录表

任务单号		试验者																					
试验地点		计算者																					
试验日期		校核者																					
仪器名称及编号																							
试样编号	上水比例	温度(℃)	<table><thead><tr><th colspan="2">pH 值</th></tr><tr><th>第 1 次</th><th>第 2 次</th></tr></thead><tbody><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr><tr><td></td><td></td></tr></tbody></table>	pH 值		第 1 次	第 2 次																
pH 值																							
第 1 次	第 2 次																						

表 D. 88 易溶盐总量测定试验记录表

任务单号			试验者							
试验地点			计算者							
试验日期			校核者							
仪器名称及编号										
试样 编号	风干 土质量 m_0 (g)	风干 含水率 w_0 (%)	烘干 土质量 m_d (g)	加水 容积 V_w (mL)	吸取 浸出液 V_{sl} (mL)	蒸发皿 编号 No.	蒸发皿 质量 m_m (g)	蒸发皿加 烘干残渣 质量 m_{mz} (g)	烘干残渣 质量 $m_{mz} - m_m$ (g)	易溶盐总量 ω (易溶盐) (g · kg ⁻¹)
										计算值
										平均值

表 D.89 易溶盐碳酸根($\frac{1}{2}\text{CO}_3^{2-}$)及重碳酸根(HCO_3^-)试验记录表

任务单号				试验者				
试验地点				计算者				
试验日期				校核者				
仪器名称及编号								
试样 编号	烘干土 质量 m_d (g)	加水 体积 V_w (mL)	吸取 滤液 体积 V_{x2} (mL)	硫酸($\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4$)标准溶液			重碳酸根含量 $\omega(\text{CO}_3^{2-})$ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)	重碳酸钙含量 $\omega(\text{HCO}_3^-)$ ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$)
				浓度 $C(\frac{1}{2}\text{H}_2\text{SO}_4)$ ($\text{mol}\cdot\text{L}^{-1}$)	第1次用量 $V_{\text{H}2}$ (mL)	第2次用量 $V_{\text{H}3}$ (mL)		

表 D.90 易溶盐氯根 (Cl⁻) 的试验记录表

任务单号				试验者			
试验地点				计算者			
试验日期				校核者			
仪器名称及编号							
试样 编号	烘干土 质量 m_d (g)	加水 体积 V_w (mL)	吸取滤液 体积 V_{x2} (mL)	硝酸银标准溶液			氯离子含量 $\omega(\text{Cl}^-)$ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
				浓度 $C(\text{AgNO}_3)$ ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)	滴定用量 V_{hd} (mL)	空白用量 V_{hbs} (mL)	
							计算值
							平均值

表 D.91 硫酸根(SO₄²⁻)测定记录表(EDTA 法)

任务单号						试验者			
试验方法		EDTA 法				计算者			
试验日期						校核者			
仪器名称及编号									
试样 编号	烘干土 质量 m_d (g)	加水 体积 V_w (mL)	吸取滤 液体积 V_{x2} (mL)	钡镁混合液		EDTA 标准溶液			硫酸根含量 $\omega(\text{SO}_4^{2-})$ (g · kg ⁻¹)
				浓度 $C(\text{Ba}+\text{Mg})$ (mol · L ⁻¹)	用量 V_B (mL)	浓度 $C(\text{EDTA})$ (mL)	用量 V_E (mL)	滴定钙镁用量 V_{E0} (mL)	

表 D. 92 硫酸根 (SO_4^{2-}) 测定记录表 (比浊法)

任务单号				试验者			
试验方法		比浊法		计算者			
试验日期				校核者			
仪器名称及编号							
试样 编号	烘干土 质量 m_d (g)	加水 体积 V_w (mL)	吸取滤液 体积 V_{x2} (mL)	试验时 温度 ($^{\circ}\text{C}$)	吸收值	由标准曲线查出 的硫酸根质量 K_{H} (mg)	硫酸根含量 $\omega(\text{SO}_4^{2-})$ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)
						计算值	平均值

表 D.94 钠离子(Na^+)、钾离子(K^+)测定记录表

任务单号						试验者						
试验方法		火焰光度法				计算者						
试验日期						校核者						
仪器名称及编号												
试样 编号	烘干土 质量 m_d (g)	加水 体积 V_w (mL)	吸取 滤液 稀释 倍数 n	试验 条件	测钠 离子 读数 E_n	由标准曲线 查钠离子 含量 K_n ($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)	钠离子含量 $\omega(\text{Na}^+)(\text{g} \cdot \text{kg}^{-1})$		测钾离子 读数 E_k	由标准曲线 查钾离子 含量 K_k ($\text{mg} \cdot \text{mL}^{-1}$)	钾离子含量 $\omega(\text{K}^+)$ ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	
							计算值	平均值			计算值	平均值

表 D.95 中溶盐石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)测定记录表

[illegible]

表 D. 96 难溶盐碳酸钙(CaCO₃)测定记录表(碱吸收容量法)

任务单号				试验者		
试验方法		碱吸收容量法		计算者		
试验日期				校核者		
仪器名称及编号						
试样 编号	风干土质量 m_0 (g)	风干含水率 w_0 (%)	烘干质量 m_d (g)	盐酸标准溶液		
				浓度 C_{HCl} (mol · L ⁻¹)	用量 V_{HCl} (mL)	空白用量 V_{HCl7} (mL)

表 D.97 难溶盐碳酸钙(CaCO_3)测定记录表(气量法)

[illegible]

表 D.98 有机质试验记录表

任务单号				试验者				
试验方法				计算者				
试验日期				校核者				
仪器名称及编号								
试样 编号	烘干 质量 m_d (g)	重铬酸钾标准溶液			硫酸亚铁标准溶液			有机质含量 $O, M,$ ($g \cdot kg^{-1}$)
		浓度 $C\left(\frac{1}{6}K_2Cr_2O_7\right)$ ($mol \cdot L^{-1}$)	用量 V_K (mL)	空白用量 V (mL)	浓度 $C\left(\frac{1}{2}FeSO_4\right)$ ($mol \cdot L^{-1}$)	空白用量 V_{hb8} (mL)	用量 V_{hb9} (mL)	

表 D.99 游离氧化铁总量试验记录表

[illegible]

表 D. 100 无定形(非晶质)游离氧化铁试验记录表

任务单号				试验者			
试验方法		达姆试剂法		计算者			
试验日期				校核者			
仪器名称及编号							
试样 编号	烘干 质量 m_d (g)	浸提液		消光值	从标准曲线上 查得的含铁量 F (μg)	无定形游离氧化铁含量 ω (无定形游离氧化铁) ($\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)	
		总体积 V_w (mL)	用量 V_{x1} (mL)			计算值	平均值

表 D.101 阳离子交换量试验记录表(氯化钡缓冲液法)

任务单号				试验者					
试验方法		氯化钡缓冲液法		计算者					
试验日期				校核者					
仪器名称及编号									
试样 编号	烘干 质量 m_d (g)	离心管加试样质量		EDTA 标准溶液			校正后 滴定 用量 V_{E3} (mL)	阳离子交换量 CEC ($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)	
		处理前 m_{g1} (g)	处理后 m_{g2} (g)	滴定用量 V_{E4} (mL)	空白滴定用量 V_{E5} (mL)	浓度 C_E ($\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$)		计算值	平均值

表 D.102 阳离子交换量试验记录表 (1mol·L⁻¹乙酸铵交换法)

任务单号				试验者			
试验方法		1mol·L ⁻¹ 乙酸铵交换法		计算者			
试验日期				校核者			
仪器名称及编号							
试样 编号	风干土 质量 m_0 (g)	烘干土质量 m_d (g)	HCl 标准溶液			阳离子交换量 CEC (cmol·kg ⁻¹)	
			滴定用量 V_{hb10} (mL)	空白滴定用量 V_{hb11} (mL)	浓度 C_{bf} (mol·L ⁻¹)	计算值 平均值	

表 D.103 阳离子交换量试验记录表(乙酸钠-火焰光度法)

任务单号			试验者			
试验方法	乙酸钠-火焰光度法		计算者			
试验日期			校核者			
仪器名称及编号						
试样 编号	烘干土 质量 m_d (g)	吸取溶液体积 V_{sol} (mL)	吸取滤液稀释 倍数 N	Na 的测定		阳离子交换量 CEC ($\text{cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$)
				测钠离子读数 E_n	由标准曲线 查钠离子含量 ρ_{Na^+} ($\mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$) 计算值 平均值	

表 D.104 X 射线粉晶衍射分析记录表

任务单号					试验者			
试验方法					计算者			
试验日期					校核者			
仪器名称及编号								
d (10^{-1}nm)	I/I_0	d (10^{-1}nm)	I/I_0	d (10^{-1}nm)	I/I_0	d (10^{-1}nm)	I/I_0	鉴定结果
								试验条件
X 射线衍射图谱：								

表 D.105 粗颗粒土扰动试样制备记录表

任务单号				试验者	
试样名称及编号				计算者	
允许最大粒径(mm)				校核者	
含砾量 P_s				试验日期	
超粒径颗粒处理方法					
粒径(mm)	原级配或要求级配		替换料级配 (%)	各粒组取风干土质量 m_{oi} (kg)	描述
	留筛土质量 (kg)	留筛百分数 (%)			
100					
80					
60					
40					
20					
10					
5					
<5					
总计					
控制干密度 ρ_d (g/cm ³)			控制含水率 w' (%)		
试样体积 V (cm ³)			大于 5mm 粒径风干土含水率 w_{01} (%)		
大于 5mm 粒径风干土质量 m_{01} (kg)			不大于 5mm 粒径风干土含水率 w_{02} (%)		
不大于 5mm 粒径风干土质量 m_{02} (kg)			试料风干含水率 w_0 (%)		
总风干试料土质量 m_0 (kg)			试料加水量 m_w (kg)		

表 D.106 粗颗粒土相对密度试验记录表

任务单号		试验者	
试样编号		计算者	
试验日期		校核者	
仪器名称及编号		试验方法	
试样筒质量(kg)		土粒比重 G_s	
天然状态(人工填筑)干密度 ρ_{d0} (g/cm ³)		天然孔隙比 e_0	
试 验 项 目	最小干密度的测定	最大干密度的测定	
试样体积 V_s (cm ³)			
试样加试样筒质量(kg)			
试样质量 m_d (kg)			
干密度 ρ_d (g/cm ³)			
平均干密度 (g/cm ³)			
孔隙比 e			
平均孔隙比 e			
相对密度 D_r			
压实度 R_c			
密度指数 I_D (%)			

表 D.107 粗颗粒土击实试验记录表

任务单号											试验者			
试样编号											计算者			
试验日期											校核者			
仪器名称及编号														
每层击数											试验前 P_3		试验后 P_3	
击实筒体积 (cm ³)											起始含水率 (%)		试样比重 G_s	
试样说明											击实筒质量 (g)			
											制样方法			
	试验次数													
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14													
干密度	制样加水量(g)													
	筒加湿土质量(g)													
	湿土质量 m_0 (g)													
	湿密度 ρ (g/cm ³)													
	干密度 ρ_d (g/cm ³)													
含水率	盘号													
	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14													
	盘加湿土质量(g)													
	盘加干土质量(g)													
	盘质量(g)													
含水率 w (%)														
平均含水率(%)														
饱和含水率 w_{sat} (%)														
最大干密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)														
最优含水率 w_{op} (%)														

表 D.108 粗颗粒土的渗透变形及反滤试验记录表

任务单号	试样质量 m_d (g)	试样不均匀系数 C_u	试验者															
试样编号	试样面积 A (cm ²)	曲率系数 C_c	计算者															
试样采取地点	试验前试样高度 h (cm)	试样中值粒径 d_{50} (mm)	校核者															
试样类别	试验后试样高度 h' (cm)	骨架粒径 (mm)	试验日期															
试验组次	试样干密度 ρ_d (g/cm ³)	填料含量 P_5	渗流方向															
荷载 p (kPa)	试样孔隙率 n (%)	接触面下移距离 (mm)	土粒比重 G_s															
反滤层层数	反滤层中值粒径 d_{50} (mm)	反滤层不均匀系数 C_u	反滤层厚度 (cm)															
仪器名称及编号																		
试验次数	记录时间 (h, min)	测压管编号	测压管读数 (cm)	测压管水位差 ΔH (cm)	测压管间距 L (cm)	渗透坡降 $i = \frac{\Delta h}{L}$	渗水量 Q (cm ³)	时间 t (s)	渗流速度 $v = \frac{Q}{tA}$ (cm/s)	渗透系数 $k = \frac{v}{i}$ (cm/s)	温度校正系数 $\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$	渗透系数 k_{20} (cm/s)	沉降量 (cm)	集砂量 (g)	反滤层填量 Z (%)	水温 T (℃)	室温 T (℃)	试验现象描述

表 D.109 粗颗粒土固结试验记录表(一)

任务单号						试验者																	
试样编号						计算者																	
试验日期						校核者																	
仪器名称及编号																							
记录时间			变形读数(0.01mm)																				
			50kPa			100kPa			200kPa			400kPa			800kPa			1600kPa			3200kPa		
h	min	s	1表	2表	平均	1表	2表	平均	1表	2表	平均	1表	2表	平均	1表	2表	平均	1表	2表	平均	1表	2表	平均
		15																					
	1																						
	2	15																					
	4																						
	6	15																					
	9																						
	12	15																					
	16																						
	20	15																					
	25																						
	30	15																					
	36																						
	42	15																					
	60																						
2																							
3																							
4																							
5																							
6																							
7																							
8																							
24																							
总变形量(mm)																							
仪器变形量(mm)																							
试样总变形量 (mm)																							

表 D.110 粗颗粒土固结试验记录表(二)

任务单号						试验者				
试验编号						计算者				
试验日期						校核者				
仪器名称及编号										
制样密度		>5mm 粗粒 含量 P_5	总含水率 w		比重 G_s		饱和度 S_r	起始 孔隙比 e_0	试样 原始 高度 h_0 (mm)	$C_v = \frac{0.848(\bar{h})^2}{t_{90}}$ 或 $C_v = \frac{0.1978(\bar{h})^2}{t_{50}}$
			起始 w_0 (%)	饱和后 w_{sat} (%)	>5mm 颗粒	<5mm 颗粒				
湿密度 ρ (g/cm ³)	干密度 ρ_d (g/cm ³)									
压力 p (MPa)	试样总 变形量 $\sum \Delta h_i$ (mm)	压缩后试样高度 $h = h_0 - \sum \Delta h_i$ (mm)	孔隙比 $e_i = e_0 - \frac{(1+e_0)\sum \Delta h_i}{h_0}$	压缩系数 $a_v = \frac{e_i - e_{i+1}}{p_{i+1} - p}$ (MPa ⁻¹)	压缩模量 $E_s = \frac{1+e_0}{a_v}$ (MPa)	排水距离 $\bar{h} = \frac{h_1 + h_2}{4}$ (cm)	固结系数 C_v (cm ² /s)			
0										
0.05										
0.1										
0.2										
0.4										
0.8										
1.6										
3.2										

表 D.111 粗颗粒土直接剪切试验记录表

任务单号					试验者						
试样编号					计算者						
制样日期					校核者						
仪器名称及编号											
试验方法		快剪 (q)		固结快剪 (R)		慢剪 (S)					
垂直压力 $p =$ _____ kPa 试样面积 $A =$ _____ m^2 固结时间 $t =$ _____ h 开缝尺寸 $t_1 =$ _____ mm 剪切速率 = _____ mm/min 摩擦力 $F =$ _____ kN 起始干密度 $\rho_d =$ _____ g/cm^3 风干含水率 $w =$ _____ % 破坏剪应力 $\tau =$ _____ kPa $C =$ _____ kN/0.01mm											
测力计读数 (0.01mm)	剪应力 τ (kPa)	水平位移 (0.01mm)			垂直变形 (0.01mm)						
		百分表读数 ΔL		累计增量 $\sum \Delta L$	百分表读数 Δs						
		1	2		平均	1	2	平均			
备 注											

表 D.112 粗颗粒土三轴蠕变试验记录表

任务单号						试验者					
试样编号						计算者					
试验日期						校核者					
仪器名称及编号											
周围压力 σ_3 (kPa)						轴向应力 σ_1 (kPa)					
固结后高度 h_c (cm)						剪切后高度 h_j (cm)					
固结后面积 A_c (cm ²)						剪切后面积 A_j (cm ²)					
固结后体积 V_c (cm ³)						剪切后体积 V_j (cm ³)					
时间 t_1		室内 温度 T (℃)		经过 时间 t_2 (min)	试样 轴向变形 Δh_t (cm)	轴向应变 $\epsilon_{lt} = \frac{\Delta h_t}{h_c} \times 100$ (%)	试样体积变化 ΔV_t (cm ³)	体积应变 $\epsilon_{vt} = \frac{\Delta V_t}{V_c} \times 100$ (%)	备注		
		d	h	min							

表 D.113 粗颗粒土三轴湿化试验记录表

任务单号				试验者			
试验日期				计算者			
温度				校核者			
仪器名称及编号							
周围压力 σ_3 (kPa)				轴向应力 σ_1 (kPa)			
固结后高度 h_c (cm)				剪切后高度 h_i (cm)			
固结后面积 A_c (cm ²)				剪切后面积 A_j (cm ²)			
固结后体积 V_c (cm ³)				剪切后体积 V_j (cm ³)			
传力杆面积 A_g (cm ²)							
时间 T (min)	试样轴向 变形 Δh_s (cm)	湿化轴向应变 $\epsilon_{ls} = \frac{\Delta h_s}{h_c} \times 100$ (%)	外体变测量 系统读数 $\Delta V'$ (cm ³)	试样湿化体积变化 $\Delta V_s = \Delta V' \Delta h_s A_g$ (cm ³)	湿化体积应变 $\epsilon_{vs} = \frac{\Delta V_s}{V_c} \times 100$ (%)	备注	

本标准用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1)表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2)表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3)表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4)表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

- 《建筑地基基础设计规范》GB 50007
- 《岩土工程勘察规范》GB 50021
- 《土的工程分类标准》GB/T 50145
- 《土工试验仪器 剪切仪 第2部分：现场十字板剪切仪》GB/T 4934.2
- 《土工试验仪器 固结仪 第1部分：单杠杆固结仪》GB/T 4935.1
- 《土工试验仪器 固结仪 第2部分：气压式固结仪》GB/T 4935.2
- 《试验筛 技术要求和检验 第1部分：金属丝编织网试验筛》GB/T 6003.1
- 《土工试验仪器 触探仪》GB/T 12745
- 《土工试验仪器 贯入仪》GB/T 12746
- 《岩土工程仪器基本参数及通用技术条件》GB/T 15406
- 《土工试验仪器 液限仪 第1部分：碟式液限仪》GB/T 21997.1
- 《土工试验仪器 击实仪》GB/T 22541
- 《土工试验仪器 三轴仪 第1部分：应变控制式三轴仪》GB/T 24107.1
- 《实验室用标准筛振荡机技术条件》DZ/T 0118
- 《土工实验仪器 环刀》SL 370