

UDC

中华人民共和国行业标准

TB

TB 10102—2004

J 338—2004

P

铁路工程土工试验规程

Code for soil test of railway engineering

2004-03-09 发布

2004-04-01 实施

中华人民共和国铁道部 发布

中华人民共和国行业标准

铁路工程土工试验规程

Code for soil test of railway engineering

TB 10102—2004

J 338—2004

主编单位：铁道第一勘察设计院

批准部门：中华人民共和国铁道部

施行日期：2004 年 4 月 1 日

中 国 铁 道 出 版 社

2004 年 · 北 京

关于发布《铁路工程土工试验规程》等5项 铁路工程建设标准的通知

铁建设函〔2004〕121号

《铁路工程土工试验规程》(TB 10102—2004)、《铁路工程水文地质勘察规程》(TB 10049—2004)、《铁路工程物理勘探规程》(TB 10013—2004)、《铁路隧道衬砌质量无损检测规程》(TB 10223—2004)及《铁路工程结构混凝土强度检测规程》(TB 10426—2004)等5项铁路工程建设标准,经审查现予发布,自2004年4月1日起施行。原《铁路工程土工试验方法》(TBJ 102—87,含1996年局部修订版)、《填土密度湿度核子仪测试规程》(TB/T 10217—96)、《铁路供水水文地质勘测规则》(TBJ 15—96)、《铁路工程水文地质勘测规范》(TB 10049—96)、《铁路工程物理勘探规程》(TB 10013—98)同时废止。

以上标准由铁道部建设管理司负责解释,由中国铁道出版社和铁路工程技术标准所组织出版发行。

中华人民共和国铁道部

二〇〇四年三月九日

前 言

本规程是根据铁道部《关于下达 2000 年铁路工程建设规范、定额编制计划的通知》(铁建函〔2000〕36 号)的要求,在《铁路工程土工试验方法》(TBJ 102—87,含 1996 年局部修订版)和《填土密度湿度核子仪测试规程》(TB/T 10217—96)的基础上修订而成的。

本规程内容包括:总则,术语和符号,土样和试样制备,含水率试验,密度试验,颗粒密度试验,颗粒分析试验,界限含水率试验,湿化试验,最大分子吸水率试验,相对密度试验,天然坡角试验,毛细管水上升高度试验,渗透试验,固结试验,直接剪切试验,排水反复直接剪切试验,三轴压缩试验,无侧限抗压强度试验,击实试验, K_{30} 、 E_{vd} 平板载荷试验,黄土湿陷性试验,自由膨胀率试验,膨胀率试验,膨胀力试验,收缩试验,冻土总含水率试验,冻土密度试验,改良土试验,酸碱度(pH 值)试验,易溶盐试验,中溶盐试验,难溶盐试验,有机质含量试验,阳离子交换量试验,蒙脱石含量试验等 36 章,另有 5 个附录。

本规程修订的主要内容如下:

1. 根据国家法定计量单位的规定,对部分名词和计量单位进行了修改,增加了“术语和符号”一章。

2. 物理性项目试验中,对部分试验方法作了补充和修改,含水率试验删去了原“炒干法”,增加了“碳化钙减量法”;密度试验删去了原“湿度密度计法”,增加了“气囊法”等。

3. 力学性质试验项目补充增加了“12 h 快速固结试验”、三轴压缩试验的“固结排水剪”和“一个试样多级加荷试验”等。

4. 为了加强路基工程施工质量检测的需要,总结吸收了部

分科研成果而列入“ K_{30} 平板载荷试验”、“ E_{vd} 动态平板载荷试验”、“改良土试验”等方法。

5. 为了满足对膨胀土判定的需要，增加了“阳离子交换量试验”和“蒙脱石含量试验”。

本规程以黑体字标志的条文为强制性条文，必须严格执行。

在执行本规程过程中，希望各单位结合工程实践，认真总结经验，积累资料。如发现需要修改和补充之处，请及时将意见及有关资料寄交铁道第一勘察设计院（甘肃省兰州市和政路 75 号，邮政编码：730000），并抄送铁路工程技术标准所（北京市海淀区羊坊店路甲 8 号，邮政编码：100038），供今后修订时参考。

本规程由铁道部建设管理司负责解释。

本规程主编单位：铁道第一勘察设计院。

本规程参编单位：中铁一局集团有限公司、铁道建筑研究设计院。

本规程主要起草人：强世杰、吴连荣、俞志英、王鹤、屠海峰、彭树立、肖作声、张贵珍、李怒放、赵亚品。

目 次

1	总 则	1
2	术语和符号	2
2.1	术 语	2
2.2	符 号	3
3	土样和试样制备	6
3.1	土样的验收与保管	6
3.2	扰动土试样制备	8
3.3	原状土试样制备	12
3.4	化学分析试样制备	12
3.5	试样饱和	13
4	含水率试验	16
4.1	一般规定	16
4.2	烘 干 法	16
4.3	酒精燃烧法	18
4.4	碳化钙减量法	19
4.5	核子射线法	20
5	密度试验	24
5.1	一般规定	24
5.2	环 刀 法	24
5.3	蜡 封 法	25
5.4	灌 砂 法	27
5.5	灌 水 法	31
5.6	气 囊 法	33
5.7	核子射线法	35
6	颗粒密度试验	37

6.1	一般规定	37
6.2	量瓶法	37
6.3	浮称法	40
6.4	虹吸筒法	42
7	颗粒分析试验	45
7.1	一般规定	45
7.2	筛析法	45
7.3	密度计法	49
7.4	移液管法	59
8	界限含水率试验	64
8.1	一般规定	64
8.2	液、塑限联合测定法	64
8.3	碟式仪液限试验	67
8.4	搓条法塑限试验	70
8.5	收缩皿法缩限试验	72
9	湿化试验	74
10	最大分子吸水率试验	76
11	相对密度试验	79
11.1	一般规定	79
11.2	砂的相对密度试验	79
11.3	碎石类土的相对密度试验	83
12	天然坡角试验	88
13	毛细管水上升高度试验	90
13.1	一般规定	90
13.2	直接观测法	90
13.3	土样管法	92
13.4	塑限与含水率曲线交会法	94
14	渗透试验	96
14.1	一般规定	96
14.2	常水头法	96

14.3	变水头法	102
15	固结试验	105
15.1	一般规定	105
15.2	标准固结试验	105
15.3	12 h 快速固结试验	115
15.4	1 h 快速压缩试验	117
16	直接剪切试验	120
16.1	一般规定	120
16.2	快剪试验	120
16.3	固结快剪试验	124
16.4	慢剪试验	124
17	排水反复直接剪切试验	126
18	三轴压缩试验	131
18.1	一般规定	131
18.2	仪器设备	131
18.3	试样的制备和饱和	135
18.4	不固结不排水剪试验	139
18.5	固结不排水剪试验	142
18.6	固结排水剪试验	151
18.7	一个试样多级加荷试验	152
19	无侧限抗压强度试验	156
20	击实试验	160
21	K_{30} 、 E_{vd} 平板载荷试验	167
21.1	一般规定	167
21.2	K_{30} 平板载荷试验	168
21.3	E_{vd} 动态平板载荷试验	172
22	黄土湿陷性试验	176
22.1	一般规定	176
22.2	湿陷系数的测定	176
22.3	自重湿陷系数的测定	178

22.4	湿陷起始压力的测定	179
23	自由膨胀率试验	182
24	膨胀率试验	185
24.1	一般规定	185
24.2	无荷载膨胀率试验	185
24.3	有荷载膨胀率试验	187
25	膨胀力试验	189
26	收缩试验	191
27	冻土总含水率试验	195
27.1	一般规定	195
27.2	烘 干 法	195
27.3	联合测定法	196
28	冻土密度试验	199
28.1	一般规定	199
28.2	液体称量法	199
28.3	联合测定法	202
28.4	充 砂 法	202
28.5	环 刀 法	204
29	改良土试验	205
29.1	一般规定	205
29.2	重型击实试验	206
29.3	无侧限抗压强度试验	211
29.4	水泥或石灰的剂量测定 (EDTA 滴定法)	215
30	酸碱度 (pH 值) 试验	220
31	易溶盐试验	222
31.1	一般规定	222
31.2	蒸干法易溶盐总量测定	224
31.3	离子交换法易溶盐总量测定	226
31.4	碳酸根、重碳酸根的测定	229
31.5	氯根的测定	231

31.6	络合滴定法硫酸根的测定	233
31.7	比浊法硫酸根的测定	236
31.8	钙离子测定	239
31.9	钙镁离子总量的测定与镁离子的计算	240
31.10	差减法计算钠钾离子总量	241
31.11	原子吸收分光光度法钠离子与钾离子的测定	242
32	中溶盐试验	246
32.1	一般规定	246
32.2	硫酸钡质量法	246
32.3	EDTA 容量法	250
33	难溶盐试验	253
33.1	一般规定	253
33.2	气量法	253
33.3	中和法	257
34	有机质含量试验	260
34.1	一般规定	260
34.2	灼失量法	260
34.3	重铬酸钾法	262
35	阳离子交换量试验	266
36	蒙脱石含量试验	271
附录 A	量瓶校正与煤油密度的测定	274
附录 B	密度计校正	278
附录 C	直剪仪校正及测力计率定	286
附录 D	固结仪的变形量校正	288
附录 E	K_{30} 平板载荷试验仪校验方法	290
	本规程用词说明	294
	《铁路工程土工试验规程》条文说明	295

1 总 则

1.0.1 为统一铁路工程土工试验方法及技术要求，为工程设计和施工提供可靠的计算指标和参数，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于铁路工程各类地基土和填料的基本性质试验。

1.0.3 本规程试验用水，除特殊要求外均指纯水。纯水的纯度应符合电导率小于 $2\mu\text{S}/\text{cm}$ 或电阻率大于 $0.5\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ 的要求；试验用试剂，除特殊要求外，应符合国家标准二级品，即分析纯（A、R）及以上等级的试剂。

1.0.4 本规程试验采用的仪器、设备，应按规定进行检定或校验。

1.0.5 铁路工程土工试验除应符合本规程外，尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术 语

2.1.1 土样 sample

土样是指未经加工的土的样品。

2.1.2 试样 specimen

试样是指按试验目的, 将土样经过加工制成可供试验的样品。

2.1.3 量瓶 measuring bottle

量瓶是指具有一定标准体积的测量容器, 容量有 50 mL、100 mL 两种。以前称为比重瓶。

2.1.4 动力黏度 dynamic viscosity

移动的液体中的切应力与速度梯度 (流速沿高度的变化率) 成正比, 此比例系数 η 则称为动力黏度 (或称黏滞系数), 简称黏度。

2.1.5 黏聚力 cohesion

当法向应力为零时, 土粒间的抗剪强度, 也称凝聚力、内聚力、黏着力。

2.1.6 K_{30} 试验 (K_{30} for coefficient of subgrade reaction test)

用直径为 30 cm 的刚性承压板, 测定下沉量为 1.25 mm 时的地基系数的试验方法。

2.1.7 动态变形模量 dynamic modulus of deformation

动态变形模量是指土体在一定大小的竖向冲击力 F_s 和冲击时间 t_s 作用下抵抗变形能力的参数。

2.1.8 荷重率 (荷载率) load rate

某级的荷载增量与前一级荷载总量之比。

2.1.9 饱和面干密度(表干密度) saturated surface-dry density

单位体积(含材料的实体矿物成分及其闭口空隙、开口空隙等颗粒表面轮廓线所包围的全部毛体积)物质颗粒的饱和面干质量。

2.1.10 毛体积密度 bulk density

单位体积(含材料的实体矿物成分及其闭口空隙、开口空隙等颗粒表面轮廓线所包围的全部毛体积)物质颗粒的干质量。

2.1.11 酸碱度 acidity and alkalinity

溶液中氢离子浓度活度的负对数, 即 pH 值。

2.2 符 号

2.2.1 物理性指标

A_t ——崩解量

C_c ——曲率系数

C_u ——不均匀系数

C_s ——收缩系数

D_r ——相对密度

e ——孔隙比

e_s ——线缩率

e_v ——体缩率

F_s ——自由膨胀率

H_k ——毛细管水上升高度

H_c ——毛细管水强烈上升高度

I_L ——液性指数

I_p ——塑性指数

k ——渗透系数

m ——土(或试样)质量

S_r ——饱和度

V_H ——膨胀率

V_{HP} ——加荷膨胀率
 w ——含水率
 w_A ——冻土总含水率
 w_x ——吸水率
 w_L ——液限
 w_p ——塑限
 w_s ——缩限
 w_{opt} ——最优含水率
 W_u ——有机质含量
 a_w ——含水比
 ρ ——土的密度
 ρ_s ——土的颗粒密度
 ρ_w ——水的密度
 ρ_{dmax} ——最大干密度
 ρ_a ——毛体积密度
 ρ_b ——饱和面干密度

2.2.2 力学性指标

A_f ——试样破坏时的孔隙水压力系数
 a_v ——压缩系数
 B ——孔隙水压力系数
 c ——黏聚力
 C_c ——压缩指数
 C_s ——回弹指数
 C_v ——固结系数
 E_e ——回弹模量
 E_s ——压缩模量
 E_{vd} ——动态变形模量
 K_{30} ——地基系数

m_v ——体积压缩系数
 p_c ——先期固结压力
 p_p ——膨胀力
 p_{sh} ——湿陷起始压力
 q_u ——无侧限抗压强度
 R ——改良土的无侧限抗压强度
 S ——抗剪强度
 S_t ——灵敏度
 S_i ——单位沉降量
 S_r ——残余强度
 u ——孔隙水压力
 δ_s ——湿陷系数
 δ_{zs} ——自重湿陷系数
 η ——动力黏度
 σ ——正应力
 ϕ ——内摩擦角

2.2.3 化学性指标

b_B ——物质 B 的质量摩尔浓度
 $CEC (NH_4^+)$ ——阳离子交换量
 DT ——易溶盐含量
 M ——蒙脱石含量
 pH ——酸碱度，即 pH 值

3 土样和试样制备

3.1 土样的验收与保管

3.1.1 土样验收应按下列步骤进行：

1 土样送达试验单位，必须同时提交试验委托书及其他必要的工程资料。试验委托书应写明工程名称、试坑（或钻孔）编号、土样编号、取土深度（原状土应有地下水位高程、土柱上下方向）、取样日期、试验项目、试验方法及要求等。

2 试验单位接到土样后，应按试验委托书进行验收。在清点土样时，要仔细核对土样标签上填写的土样编号、工程名称、试坑（或钻孔）编号、取样深度等是否与委托书相符，检查土样包装是否符合要求，判定土样数量和质量能否满足试验项目和试验方法的要求。各试验项目所需土样数量应符合表 3.1.1 规定。

3 验收后应进行室内编号和登记。

3.1.2 土样保管应符合下列规定：

1 土样验收后交给负责试验的人员妥善保管。应将原状土样和需要保持天然含水率的扰动土样置于阴凉处，原状土样上下方向不得倒置。从取土样之日起至开始试验的时间不宜超过 20 d。

2 对含放射性和有毒物质的土样，或取自瘟疫流行区和农业病虫害流行区的土样，必须按有关行业的防护规定采取严格的防护措施。

3 试验后的剩余土样应装入原土样筒（或土样袋）内妥善保管，待试验报告提交一个月后仍无查询方可处理。若有疑问，可用余土复试。

表 3.1.1 各试验项目所需土样数量

种 类 试验项目	黏性土、粉土		砂类土、圆（角）砾土	
	原状土(筒)	扰动土	原状土(筒)	扰动土
	$\phi 10\text{ cm} \times 20\text{ cm}$	(g)	$\phi 10\text{ cm} \times 20\text{ cm}$	(g)
含水率		100~300		800~1000
密度	1		1	
颗粒密度		50		砂 50; 砾 2000~10000
颗粒分析		100~400		砂 200~500; 砾 7000
液塑限		500		
收缩	1	1000		
膨胀	2	2000		
湿化	1	1000		
毛细管水上升高度	1	1500		1500
击实		40000~50000		50000~60000
渗透	1	2000		3000~5000
固结	1	1000		
黄土湿陷	2			
三轴压缩	4	10000		15000
直接剪切	2	5000		
残余强度	2	5000		
无侧限抗压强度	1			
相对密度				3000~6000
天然坡角				5000
易溶盐		均质 500, 非均质 1000		
中溶盐		均质 500, 非均质 1000		
难溶盐		均质 500, 非均质 1000		
有机质		均质 500, 非均质 1000		
阳离子交换量		均质 500, 非均质 1000		
蒙脱石		均质 500, 非均质 1000		

3.2 扰动土试样制备

3.2.1 试样制备采用的仪器设备应符合下列要求：

- 1 细筛：孔径5、2、0.5 mm。
- 2 洗筛：孔径0.075 mm。
- 3 台秤：称量10~50 kg，分度值为10~50 g。
- 4 天平：称量1000 g，分度值0.1 g；称量200 g，分度值0.01 g。
- 5 环刀：内径61.8 mm和79.8 mm，高20 mm；内径61.8 mm，高40 mm。

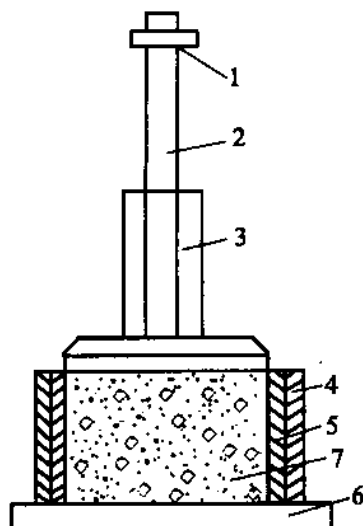


图 3.2.1—1 击样器

1—定位环；2—导杆；
3—击锤；4—击样筒；5—环刀；
6—底座；7—试样

- 6 击样器：如图3.2.1—1所示。
- 7 压样器：如图3.2.1—2所示。
- 8 抽气机（附真空测压表）。
- 9 其他：烘箱、干燥器、保湿器、研钵木碾、橡皮板、玻璃瓶、切土刀，钢丝锯、凡士林、土样标签及盛土器皿等。

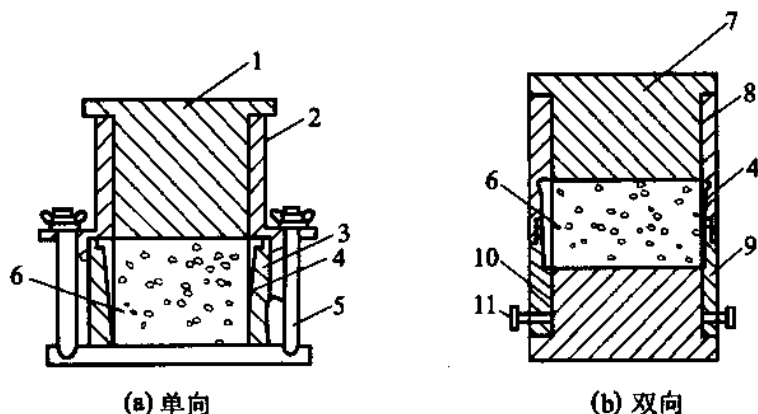


图 3.2.1—2 压样器

1—活塞；2—导筒；3—护环；4—环刀；5—拉杆；6—试样；
7—上活塞；8—上导筒；9—下导筒；10—下活塞；11—销钉

3.2.2 扰动土试样制备应按下列步骤进行：

- 1 对土样的颜色、土类、气味及夹杂物等进行描述。如有

需要，应将土样充分拌匀，取代表性土样测含水率。

2 将团、块状扰动土样风干后，在橡皮板上用木碾碾散（切勿破坏土粒天然结构）。

3 根据试验所需土样数量，将碾散后的土样过筛。物理性试验土样如液限、塑限、缩限等试验，过 0.5 mm 筛；水理性及力学性试验土样，过 2 mm 筛；击实试验土样，过 5 mm 筛。筛下土样充分拌匀后，用四分对角取样法取出试验用的土样，则为制得供试验备用的扰动土试样。

4 当配制一定含水率的试样时，应取过 2 mm 筛的风干土 1~5 kg，按式（3.2.6—2）计算所需加水量。将试样平铺于搪瓷盘内，用喷雾器喷洒所需加水量充分拌匀，然后装入保湿器内浸润一昼夜备用。砂类土浸润时间可酌情缩短。

5 测定浸润后试样的含水率，与要求的含水率差值不得大于 $\pm 1\%$ ，若大于 $\pm 1\%$ 时应适当减少或增加试样中的加水量。

6 对不同土层的土样制备混合试样时，应根据各土层厚度，按比例计算相应的取土量，然后按本条第 1 至第 4 款进行制备。

7 对无黏聚性的砂类土和砾类土土样，按本条第 3 款制备试样，并用四分法取出代表性试样一部分供颗粒分析用。其余过 5 mm 筛，将筛上、筛下的试样分别贮存，供作颗粒密度和最大、最小孔隙比试验用。取 5 mm 筛下一部分试样再过 2 mm 筛，留筛下试样供作力学性试验用。

8 当砾类土土样表面粘有黏粒时，应先用水浸泡，将泡过的土样在 2 mm 筛上冲洗。然后将筛上、筛下（土浆）分别风干碾散，取一部分作颗粒大小分析用。余下的部分再按本条第 2~5 款步骤进行。

9 根据工程对试验项目的要求，将扰动土制备成所需状态试样，供水理、物理、力学等试验用。

10 试样制备数量视需要而定，一般应多制备 1~2 个备用。扰动土制成同一组试样的密度、含水率与要求的密度、含水率之差值应分别在 $\pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ 与 $\pm 1\%$ 范围之内，且各试样之间的

差值也应满足这一规定。

11 试样制备可采用击实法、击样法和压样法。

3.2.3 击实法应符合下列规定：

1 根据试样所要求的干密度、含水率，按式（3.2.6—1）和式（3.2.6—2）计算结果制备湿土样，然后按本规程第 20 章的击实程序将土样击实到所需的密度，用推土器推出。

2 将环刀的内壁涂一薄层凡士林，刀口向下放在土样上，用切土刀将土样削成略大于环刀直径的土柱。边垂直下压环刀边削土柱至伸出环刀为止。

3 用钢丝锯或切土刀将环刀与土柱分离，削去两端余土并修平。擦净环刀外壁，称环刀与土总质量，准确至 0.1 g。取环刀两端削下的土样测含水率。试样制备应迅速。

3.2.4 击样法应符合下列规定：

1 根据环刀容积及要求的干密度，按式（3.2.6—3）计算结果称取湿土试样。

2 将称出的湿土试样全部倒入装有环刀的击样器内，用击实方法将试样全部击入环刀内。

3 取出带试样的环刀，称环刀和试样总质量，准确到 0.1 g。

3.2.5 压样法应符合下列规定：

1 按第 3.2.4 条第 1 款要求计算称取所需湿土试样质量，将湿土试样倒入装有环刀的压样器内，以静压力将试样全部压入环刀内。

2 取出环刀，称环刀和试样总质量，准确至 0.1 g。

3.2.6 扰动土试样制备应按下列公式计算：

1 干土质量

$$m_d = \frac{m_0}{1 + 0.01w_0} \quad (3.2.6-1)$$

式中 m_d ——干土质量 (g)；

m_0 ——湿土（或风干土）质量 (g)；

w_0 ——湿土（或风干土）含水率 (%)。

2 制备试样所需加水量

$$m_w = \frac{m_0}{1 + 0.01w_0} \times 0.01(w_1 - w_0) \quad (3.2.6-2)$$

式中 m_w ——试样所需加水量 (g);

w_1 ——试样所要求的含水率 (%)。

3 制备试样所需湿土质量

$$m_0 = (1 + 0.01w_0)\rho_d V \quad (3.2.6-3)$$

式中 ρ_d ——试样干密度 (g/cm³);

V ——试样体积 (环刀容积) (cm³)。

4 制备试样应增加的水量

$$\Delta m_w = 0.01(w_1 - w_0)\rho_d V \quad (3.2.6-4)$$

式中 Δm_w ——制备试样应增加的水量 (g)。

3.2.7 扰动土试样制备记录格式应符合表3.2.7的要求。

表 3.2.7 扰动土试样制备记录

试样 编号	制备标准		计算所需土质量 及加水质量				试 样 制 备								与制备 标准之差			
	含水率	干密度	试样 体积	干土 质量	风干或天然 含水率	风干或天然 状态土质量	加水 质量	湿土 质量	制备 方法	环刀与湿土 质量	环刀 质量	湿土 质量	环刀 体积	湿土 密度	含水率	干土 密度	含水率	干密度
	(%)	(g/cm ³)	(cm ³)	(g)	(%)	(g)	(g)	(g)		(g)	(g)	(g)	(cm ³)	(g/cm ³)	(%)	(g/cm ³)	(%)	(g/cm ³)

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

3.3 原状土试样制备

3.3.1 根据力学试验项目要求，制备同一组试样的密度差值不应大于 0.03 g/cm^3 ，含水率差值不应大于 2%。

3.3.2 原状土试样制备应按下列步骤进行：

1 将土样筒按标明的上、下方向放置，剥去蜡皮和胶带，开启土样筒取出土样。检查土样情况，当确定土样已扰动或取土质量不符合规定（如土样结构受到破坏、土样直径小于制样要求尺寸等）时，不应制备力学试验的试样。

2 制备直接剪切的试样，应将土样上、下方向颠倒放置，其他力学试验项目制样切土方向应与土样的天然沉积方向一致。

3 按本规程第3.2.3条第2~3款步骤切削土样。切削过程中应细心观察土样的情况，并描述试样的层次、气味、颜色、有无夹杂物，土质是否均匀等。

4 切取软塑的细粒土，土样竖直放置易产生堆瘫时，可将土样水平放置，切成略大于环刀高度的土样段，用环刀一次压入制成试样。

5 切取试样后剩余的原状土样，应装入原筒并在周围用碎土填紧，或用蜡纸包好放在保湿器内，以备补作试验时用。对切好的试样，如不立即进行试验和无需饱和，则应将试样暂存于保湿器内。

3.4 化学分析试样制备

3.4.1 pH值与易溶盐试验用的试样制备应按下列步骤进行：

将潮湿的土样捏碎摊开于瓷盘中，弃除土中植物根、茎及其他杂物，置于阴凉通风处晾干。风干后用木棒或橡皮锤敲击胶结团核使其分散（注意不得破坏土的天然颗粒），拌和均匀后用四分法取 300 g，过 2 mm 筛，称筛上剩余颗粒的质量后弃去，并计算其占总试样质量百分数。2 mm 筛下的试样用研钵充分研碎使全部通过 1 mm 筛（不得撒失）混合均匀，贮于广口瓶中备用。

3.4.2 中溶盐、难溶盐和有机质试验用的试样制备应按下列步骤进行：

将潮湿土样捏碎摊开置于瓷盘中，除去土中植物根、茎、叶及其他夹杂物，放在阴凉通风处晾干。风干后拌和均匀，用四分法取平均试样约 100 g，用玛瑙研钵彻底研细，使全部通过孔径 0.15 mm 筛（不得撒失）混合均匀后贮于广口瓶中备用。

3.4.3 蒙脱石和阳离子交换量试验用的试样制备应按下列步骤进行：

土样处理同第 3.4.2 条，用四分法取风干拌匀的试样 100 g，在玛瑙研钵中研细，使全部通过孔径 0.25 mm 筛（不得撒失）混合均匀贮于广口瓶中备用。

用以上方法制得的试样均为风干土试样，化学分析前应按本规程第 4.2 节测定风干土含水率。

3.5 试样饱和

3.5.1 试样饱和宜根据土样的透水性能，可分别采用下列方法：

1 砂类土可直接在仪器内浸水饱和。

2 渗透系数大于 10^{-4} cm/s 的较易透水的黏性土，可采用毛细管饱和法；渗透系数小于 10^{-4} cm/s 的黏性土，可采用真空饱和法，但土的结构性较差，抽气可能发生试样扰动者不宜采用。

3.5.2 毛细管饱和法应符合下列规定：

1 选用框架式饱和器（图 3.5.2），在装有试样的环刀两面贴放滤纸和直径略大于环刀的透水石，装入饱和器内，旋紧固定螺母。

2 将装好试样的饱和器放入水箱中，注清水入箱，水面不宜将试样淹没，使土中气体得以排出。

3 关上箱盖，防止水分蒸发，借土

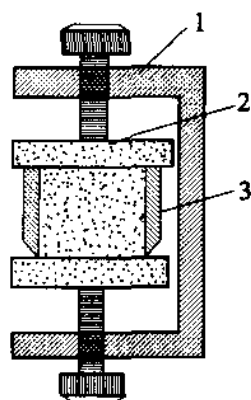


图 3.5.2 框架式饱和器

1—夹板；2—透
水石；3—环刀

的毛细管作用使试样饱和，饱和时间约需 3 d。

4 取出饱和器，松开螺丝，取出环刀，擦干外壁，吸去试样表面积水，取下试样上、下滤纸，称环刀和试样的总质量，准确至 0.1 g，并计算试样的饱和度。如果饱和度小于 95% 时，应按本条第 1~3 款继续进行饱和。

3.5.3 真空饱和法应符合下列规定：

1 选用重叠式饱和器(图 3.5.3—1)或框架式饱和器(图 3.5.2)和真空饱和装置(图 3.5.3—2)。在重叠式饱和器下夹板的正中，依次放置透水石、滤纸、带试样的环刀、滤纸、透水石，如此顺序重复，由下向上重叠到拉杆高度，将饱和器上夹板盖好后，拧紧拉杆上端的螺丝，将各个环刀在上、下夹板间夹紧。

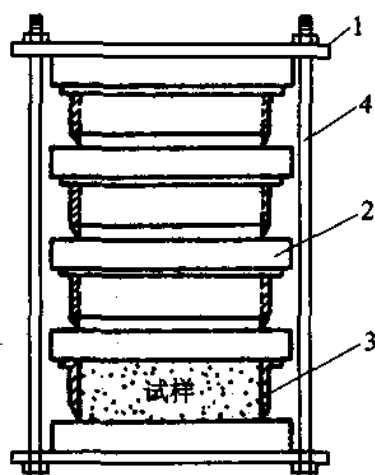


图 3.5.3—1 重叠式饱和器
1—夹板；2—透水板；
3—环刀；4—拉杆

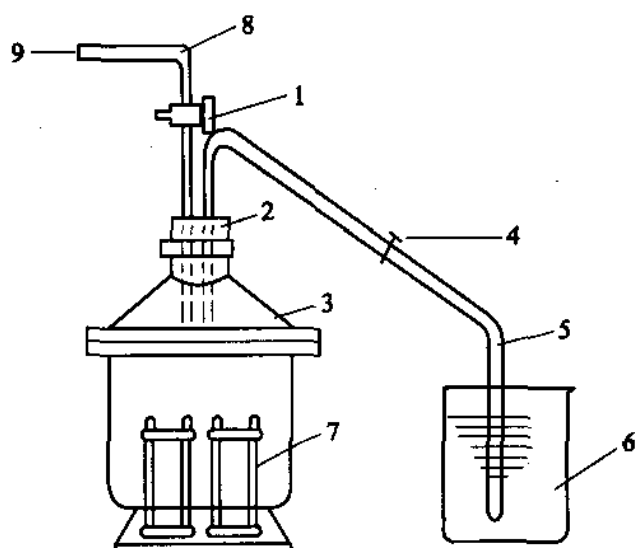


图 3.5.3—2 真空饱和装置

1—二通阀；2—橡皮塞；3—真空缸；4—管夹；5—引水管；
6—水缸；7—重叠式饱和器；8—排气管；9—接抽气机

2 将装有试样的饱和器放入真空缸内，真空缸和盖之间应

涂一层凡士林以防漏气。

3 关闭管夹，打开二通阀，将真空缸与抽气机接通，开动抽气机，当真空压力表读数接近 -100 kPa 后，继续抽气不少于 1 h 。然后开启管夹，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，使真空压力表上的数值基本保持不变。

4 待饱和器完全被水淹没后停止抽气，将引水管自水缸中提出，使空气由引水管进入真空缸内，静置一定时间，借大气压力使试样饱和。

5 取出带环刀的试样，称环刀和土总质量，准确至 0.1 g ，并计算饱和度。如饱和度小于 95% ，应继续进行饱和。

3.5.4 试样的饱和度应按下式计算：

$$S_r = \frac{w_{sr}\rho_s}{e\rho_w} \quad (3.5.4)$$

式中 S_r ——试样的饱和度（%）；

w_{sr} ——试样饱和后的含水率（%）；

ρ_s ——土的颗粒密度（ g/cm^3 ）；

e ——试样的孔隙比；

ρ_w ——水的密度（ g/cm^3 ）。

4 含水率试验

4.1 一般规定

4.1.1 土的含水率是土在 $105^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ 温度下烘至恒量时所失去水的质量与恒量后干土质量的比值，以百分数表示。

4.1.2 本试验以烘干法为测定含水率的标准方法，适用于各类土。当需要快速测定含水率时，可依土的性质和工程情况分别选用下列方法：

1 酒精燃烧法：适用于不含有机质的砂类土、粉土和黏性土。

2 碳化钙减量法：适用于各类土。

3 核子射线法：适用于现场原位测定填料为细粒土和砂类土的含水率。

4.1.3 烘干法测定含水率，当土中有机质含量即灼失量超过5%或土中含石膏和硫酸盐时，应控制温度在 $65^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ 将试样烘至恒量。

4.2 烘 干 法

4.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 电热干燥箱：应能控制温度为 $105^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ 。

2 真空干燥箱：应能控制温度为 $65^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ 。

3 天平：称量200 g，分度值0.01 g；称量1000 g，分度值0.2 g。

4 称量盒：直径50 mm，高30 mm；长200 mm，宽100 mm，高40 mm，可采用等质量称量盒。

5 干燥箱：内用硅胶干燥剂。

4.2.2 试验操作应按下列步骤进行:

1 根据不同土类按表4.2.2确定称取代表性试样质量,放入称量盒内,立即盖好盒盖,将盒外附着的土擦净后称量。称量时可在天平放砝码的盘内放上等质量的称量盒,即可直接称得湿土质量。

表 4.2.2 烘干法测定含水率所需试样质量

按《铁路路基设计规范》 填料分类	按《铁路工程岩土分类标准》 分类	取试样质量 (g)
细粒土	粉土、黏性土	15~30
粗粒土	砂类土、有机土	30~50
	圆砾或角砾	250~500
碎石类土	碎石类土	500~1 000

2 打开盒盖,将装有试样的称量盒放入烘箱,在 105℃~110℃ 温度下烘干。烘干时间对粉土、黏性土不少于 8h;砂类土不少于 6h;砾、碎石类土不少于 4h。

3 将称量盒从烘箱中取出,盖上盒盖,放入干燥器中冷却至室温,称干土质量。

4 本试验称量小于 200g,准确至 0.01g;称量大于 200g,准确至 0.2g。

5 对含有机质大于 5% 的土,烘干温度应控制 65℃~70℃,在真空干燥箱中烘 7h 或在电热干燥箱中烘 18h。

4.2.3 试验结果应按下列式计算:

$$w = \left(\frac{m_0}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (4.2.3)$$

式中 w ——含水率 (%), 计算至 0.1%;

m_d ——干试样质量 (g);

m_0 ——湿试样质量 (g)。

4.2.4 本试验应进行平行测定,平行测定的差值应符合表4.2.4的规定,取其算术平均值。

表 4.2.4 含水率测定允许差

土 的 类 别	含水率平行差值 (%)		
	$w \leq 10$	$10 < w \leq 40$	$w > 40$
砂类土、有机土、粉土、黏性土	0.5	1.0	2.0
碎石土	1.0	2.0	—

4.2.5 记录格式应符合表4.2.5的要求。

表 4.2.5 烘干法含水率试验记录

试样 编号	称量 盒号	湿土质量(g)	干土质量(g)	含水率(%)	平均含水率(%)	备 注
		(1)	(2)	$\left(\frac{(1)}{(2)} - 1\right) \times 100$		

复核_____ 年___月___日 试验_____ 年___月___日

4.3 酒精燃烧法

4.3.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 天平：称量200g，分度值 0.01g。
- 2 酒精：浓度95%。
- 3 其他：干燥器、等质量的称量盒、滴管、火柴等。

4.3.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 取代表性试样（黏性土5~10g，砂类土20~30g），放入称量盒内，按本规程第4.2.2条第1款称得湿土质量。

2 打开盒盖，用滴管将浓度为95%的酒精滴入盒内，直至试样表面出现自由液面。将盒底在桌面上轻轻敲击，使酒精浸透全部试样，然后点燃盒中酒精，直烧至火焰熄灭。

3 冷却约1min后，再按本条第2款重复操作。黏性土应烧4次，砂类土应烧3次。

4 待最后一次燃烧火焰熄灭后，盖上盒盖，在干燥器中冷却至室温，立即称干土质量。

5 本试验称量应准确至0.01 g。

4.3.3 本试验结果应按本规程式(4.2.3)计算。

4.3.4 本试验允许差应符合本规程第4.2.4条的规定。

4.3.5 本试验记录格式应符合本规程表4.2.5的要求。

4.4 碳化钙减量法

4.4.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 天平：称量200 g或1000 g，分度值0.01 g。

2 反应容器：采用烧杯或蒸发皿时用玻璃棒当研杵；采用搪瓷容器时用塑料棒当研杵。

3 碳化钙（电石）粉末：粒径应小于0.5 mm。

4 其他设备：玻璃表面皿、毛刷、勺子。

4.4.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 用已知质量的反应容器（带研杵）在天平上按表4.2.2依不同土类确定称取试样质量，准确至0.01 g。

2 用表面皿在天平上称取碳化钙粉末，其用量按表4.4.2确定，准确至0.01 g。

表 4.4.2 按估计试样含水率和取样量确定碳化钙的用量

估计的试样含水率(%)	3	7	11	15	20	25	30	36	42
经验倍数值 n	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0	1.2	1.4	1.6	1.8
碳化钙粉末用量(g)	试验时称取试样质量 $m \times n$								

3 将称取的碳化钙粉末全部倒入已盛有试样的反应容器中（不得撒失），然后用研杵充分研磨（捣碎泥球、结块）约3~5 min，彻底均匀混合后，称取混合物及反应容器和研杵的总质量，取下再研磨1~2 min，再称量，如此重复，直至相邻两次称量之差不大于0.01 g，则认为反应完毕，试验即告结束。

4.4.3 试验结果应按下式计算：

$$w = \frac{m_{C_2H_2} \times 1.385}{m - m_{C_2H_2} \times 1.385} \times 100 \quad (4.4.3)$$

$$m_{C_2H_2} = m_A - m_B$$

式中 w ——含水率 (%), 计算至 0.1%;

m ——称取湿土试样的质量 (g);

$m_{C_2H_2}$ ——产生乙炔气体的质量 (g), 计算至 0.01 g;

m_A ——反应前试样加碳化钙粉末和反应容器 (带研杵) 的总质量 (g);

m_B ——反应后混合物和反应容器 (带研杵) 的总质量 (g);

1.385——($2H_2O/C_2H_2$) 的换算因数。

4.4.4 本试验应进行平行测定, 平行测定的差值应符合本规程表 4.2.4 的规定, 取算术平均值。

4.4.5 记录格式应符合表 4.4.5 的要求。

表 4.4.5 碳化钙减量法含水率试验记录

试样编号	反应容器与研杵的质量 (g)	反 应 前		反 应 后		试验结果	
		湿土样质量 (g)	碳化钙粉末质量 (g)	混合物的质量 (g)	$m_{C_2H_2}$ 的质量 (g)	含水率	平均值
						(%)	(%)

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

4.5 核子射线法

4.5.1 本试验应采用下列仪器设备:

1 主机: 由放射源、探测器、微处理器、测深定位装置等组成, 见图 4.5.1 所示。

1) 放射源: 铯 137— γ 源, 辐射活性 3.7×10^8 Bq; 镅 241/铍中子源, 辐射活性 1.85×10^9 Bq。

2) 探测器: 盖革—密勒计数管, 接收 γ 射线; 氦-3 探测

管，接收中子射线。

- 3) 微处理器：将探测器接收到的射线信号转换成数据，并经运算后显示检测结果。
- 4) 测深定位装置：将放射源定位到预定的测试深度。

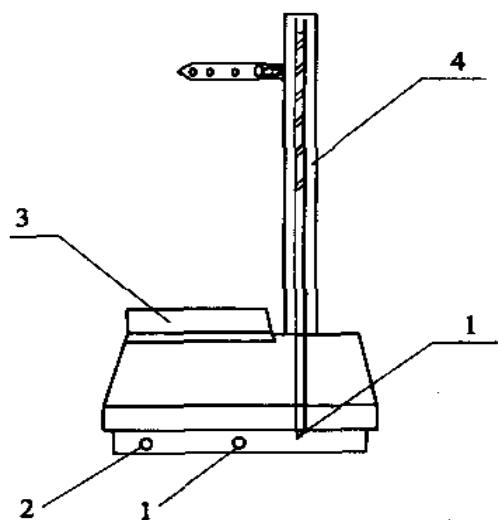


图 4.5.1 核子湿度密度仪示意

1—放射源；2—探测器；3—微处理器；4—测深定位装置

2 附件：标准块、导板、钻杆、充电器。

3 技术指标：

1) 测量范围：含水量 $0 \sim 0.64 \text{ g/cm}^3$ ；密度 $1.12 \sim 2.73 \text{ g/cm}^3$ 。

2) 准确度：含水量 $\pm 0.004 \text{ g/cm}^3$ ；密度 $\pm 0.004 \text{ g/cm}^3$ 。

4 计量检定应按《核子湿度密度测试仪检定规程》(JJG 128—91) 进行，检定周期为两年。

4.5.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 标准计数或统计试验：将标准块放在坚硬的材质表面，按规定将仪器放置在标准块上，仪器手柄设置在安全位置。周围 10 m 以内无其他放射源，3 m 以内的地面上不应堆放其他材料。按下启动键，开始进行标准计数或统计试验。操作人员应退到离仪器 2 m 以外区域。当仪器发出结束信号后，检查含水量、密度的标准计数或统计分析结果，如果其数值在规定的范围内，即可

开始检测。

2 输入设定参数：

- 1) 测量计数时间（不宜小于 30 s）；
- 2) 选择计量单位 g/cm^3 或 kg/cm^3 ；
- 3) 密度、含水量的偏移量，当无偏移量时输入“0”；
- 4) 测点记录号。

3 平整被测材料表面，必要时可用少量细粉颗粒铺平，然后用导板和钻杆造孔。孔深必须大于测试深度，孔应垂直；孔壁光滑，不得坍塌。如被测材料不便于造孔，可采用反射法进行检测。

4 按规定将仪器就位，并将放射源定位到预定的测试深度，按下启动键开始测试，操作人员退到离仪器 2 m 以外的区域。

5 当仪器发出测试结束信号后，将放射源退回到安全位置，并储存或记录检测结果。

6 当被测材料中含有硼、氘等吸收中子的元素或非自由水氢元素时，其检测结果应用烘干法求出偏移量进行校正。

7 在基坑边缘或沟中测试时，仪器的侧面与坑壁的距离不宜小于 0.6 m；采用特殊补偿功能对测试结果进行校正的不受距离的限制。

4.5.3 试验结果应按下式计算：

$$w = \frac{\rho_{sw}}{\rho - \rho_{sw}} = \frac{\rho_{sw}}{\rho_d} \times 100\% \quad (4.5.3)$$

式中 w ——含水率（%），计算至 0.1%；

ρ_d ——干密度（ g/cm^3 ）；

ρ ——湿密度（ g/cm^3 ）；

ρ_{sw} ——含水量（单位体积土中水的质量）（ g/cm^3 ）。

4.5.4 试验允许差应符合下列规定：

本试验在同一测点，仪器在初始位置进行第一次读数，然后将仪器绕测孔旋转 180° 进行第二次读数，当允许平行差值符合本规程第 4.2.4 条的规定，试验结果取两次读数的平均值。如果两次测定的平行差值超过允许差值，则应将仪器再旋转到 90° 和

270°的位置进行两次读数，取其四次读数的算术平均值。

4.5.5 记录格式应符合表4.5.5的要求。

表 4.5.5 核子射线法测定含水率和密度记录表

测试日期	里程	填筑高度 (m)	测点位置	测点编号	读数次数	湿密度 (g/cm^3)		干密度 (g/cm^3)		含水率 (%)	
						读数	平均	读数	平均	读数	平均
					1						
					2						
					3						
					4						

复核_____年__月__日 试验_____年__月__日

5 密度试验

5.1 一般规定

5.1.1 土的密度是土的单位体积质量。

5.1.2 本试验的目的是测定土的密度，用于计算土的干密度，孔隙比、孔隙度、饱和度等指标。

5.1.3 本试验应根据土的类别采用下列方法：

- 1 环刀法适用于粉土和黏性土。
- 2 蜡封法适用于环刀难以切削并易碎裂的土。
- 3 灌砂法、气囊法适用于现场测定最大粒径小于 20 mm 的土的密度。
- 4 灌水法适用于现场测定最大粒径小于 60 mm 的土的密度。
- 5 核子射线法适用于现场测定填料为细粒土、砂类土的压实密度。

5.2 环刀法

5.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 环刀：内径 61.8 mm 或 79.8 mm，高 20 mm。
- 2 天平：称量 500 g，分度值 0.1 g；称量 200 g，分度值 0.01 g。
- 3 其他：切土刀、钢丝锯、直尺、凡士林等。

5.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

本试验应按工程需要取原状土或扰动土制备击实试样，试样切削和称量按本规程第 3.2.3 条第 2～3 款规定进行。称量试样时，可在天平放法码一端放一等质量环刀，直接称出湿土质量，准确至 0.1 g。

5.2.3 试验结果应按下列公式计算:

$$\rho = \frac{m_0}{V} \quad (5.2.3-1)$$

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w} \quad (5.2.3-2)$$

式中 ρ ——试样的湿密度 (g/cm^3), 计算至 $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$;

ρ_d ——试样的干密度 (g/cm^3);

m_0 ——湿试样质量 (g);

V ——环刀容积 (cm^3);

w ——试样含水率 (%)。

5.2.4 本试验应进行平行测定, 平行测定的差值不得大于 $0.03 \text{ g}/\text{cm}^3$, 取算术平均值。

5.2.5 记录格式应符合表5.2.5的要求。

表 5.2.5 环刀法密度试验记录

试样编号	环刀号	湿土质量 (g)	环刀体积 (cm^3)	湿密度 (g/cm^3)	含水率 (%)	干密度 (g/cm^3)	平均干密度 (g/cm^3)
		(1)	(2)	(3) = $\frac{(1)}{(2)}$	(4)	(5) = $\frac{(3)}{1 + 0.01(4)}$	(6)

复核_____ 年___月___日 试验_____ 年___月___日

5.3 蜡 封 法

5.3.1 本试验应采用下列仪器设备:

1 天平: 称量500 g, 分度值 0.1 g。

2 其他: 切土刀、石蜡、烧杯、温度计、细线、针及熔蜡加热器等。

5.3.2 试验操作应按下列步骤进行:

1 切取约 30 cm^3 的代表性试样, 削去表面浮松土及尖锐棱

角，系于细线上称其质量，准确至 0.1 g，并取切削余土测定含水率。

2 持线将试样缓缓浸入刚过熔点的蜡液中，待全部浸没后立即提出。仔细检查试样四周的蜡膜上有无气泡存在。若有气泡应用热针刺破，并涂平孔口。待冷却后，称蜡封试样在空气中的质量，准确至 0.1 g。

3 持线将蜡封试样吊在天平一端，浸没于烧杯中的水中(如图 5.3.2)，且勿与杯壁接触，称蜡封试样在水中的质量，准确至 0.1 g，并测记水的温度，准确至 1℃。

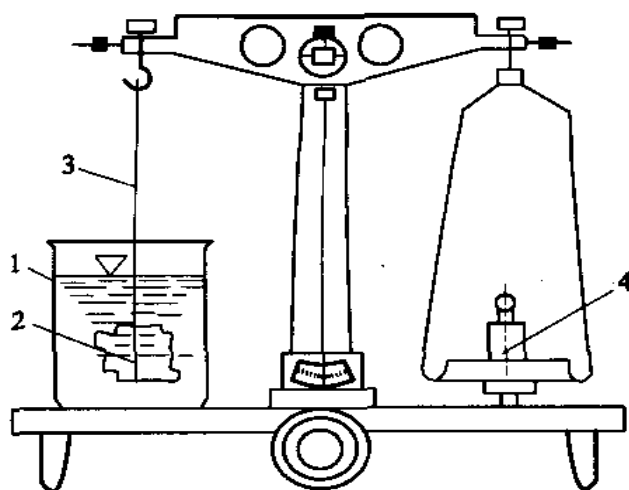


图 5.3.2 蜡封法密度测定示意

1—盛水杯；2—蜡封试样；3—细线；4—砝码

4 取出试样，擦干表面水分后再称一次质量。与第一次所称质量相比较，若质量增加，则证明试样中有水浸入，应另取试样重作试验。

5 当用电子天平或电子秤测定时，先将盛水的烧杯放在称盘上，当显示稳定后，按清零键。再将蜡封试样吊在固定支架上浸没于水中，勿与杯壁接触，称量，准确至 0.1 g。该质量即为蜡封试样排开液体的质量。

5.3.3 试验结果应按下列公式计算：

1 采用吊盘天平测定时

$$\rho = \frac{m_0}{\frac{m_n - m_{nw}}{\rho_{wT}} - \frac{m_n - m_0}{\rho_n}} \quad (5.3.3-1)$$

式中 m_n ——蜡封试样质量 (g);

m_{nw} ——蜡封试样在水中的质量 (g);

ρ_{wT} ——纯水在 $T^\circ\text{C}$ 时的密度 (g/cm^3), 查表 7.3.4—3;

ρ_n ——蜡的密度 ($\approx 0.92 \text{ g}/\text{cm}^3$)。

2 采用用电子天平测定时

$$\rho = \frac{m_0}{\frac{m_{nf}}{\rho_{wT}} - \frac{m_n - m_0}{\rho_n}} \quad (5.3.3-2)$$

式中 m_{nf} ——蜡封试样排开水的质量 (g)。

3 试样的干密度按本规程式 (5.2.3—2) 计算。

5.3.4 本试验应进行平行测定, 平行测定的差值不得大于 $0.03 \text{ g}/\text{cm}^3$, 取算术平均值。

5.3.5 记录格式应符合表 5.3.5 的要求。

5.4 灌 砂 法

5.4.1 本试验应采用下列仪器设备:

1 密度测定器: 由容砂瓶、灌砂漏斗和底盘组成, 如图 5.4.1 所示。容砂瓶的容积为 4 L; 灌砂漏斗高 135 mm、直径 165 mm、颈部有孔径为 13 mm 的圆柱形阀门; 容砂瓶和灌砂漏斗之间用螺纹接头联接。底盘承托灌砂漏斗和容砂瓶。

2 天平: 称量 10 kg, 分度值 5 g; 称量 500 g, 分度值 0.1 g。

3 土样筛: 孔径 0.25、0.50 mm。

4 其他: 小铁锹、小铁铲、盛土容器等。

5.4.2 标准砂密度的测定应按下列步骤进行:

1 标准砂宜选用粒径为 0.25~0.50 mm, 密度为 $1.47 \sim 1.61 \text{ g}/\text{cm}^3$ 的洁净干燥砂。

表 5.3.5 蜡封法密度试验记录(蜡密度 $\rho_n = 0.92 \text{ g/cm}^3$)

[illegible]

复核_____年____月____日

试验_____年____月____日

2 将容砂瓶与灌砂漏斗经螺纹接头接紧，并作以标记，以后每次拆卸再衔接时都要接在这一位置。称组装好的密度测定器的质量 (m_{r1})，准确至 5 g。

3 将干燥的密度测定器竖立（灌砂漏斗口向上）在工作台上，打开阀门，往密度测定器内注水，直至水面高出阀门，关闭阀门，倒掉漏斗中多余的水，称注满水的密度测定器总质量 (m_{r2})，准确至 5 g，同时测定水温，准确至 0.5℃。再重复测定两次，将三次测值之间的差值换算为该温度下水的体积不得大于 3 mL，取三次测定值的平均值。

4 将干燥的密度测定器竖立（灌砂漏斗口向上）在工作台上，关阀门，向漏斗中灌满标准砂。打开阀门使漏斗中的砂漏入容砂瓶内，边漏边继续向漏斗中补充砂，当标准砂停止流动时迅速关闭阀门。倒掉漏斗内多余的砂，称灌满标准砂的密度测定器总质量 (m_{r3})，准确至 5 g。测定过程中应避免震动。

5 容砂瓶容积按下式计算：

$$V_r = (m_{r2} - m_{r1}) / \rho_{wT} \quad (5.4.2-1)$$

式中 V_r ——容砂瓶容积 (cm^3)；

m_{r2} ——注满水的密度测定器的总质量 (g)；

m_{r1} ——密度测定器的质量 (g)。

6 标准砂的密度按下式计算：

$$\rho_{sr} = \frac{m_{r3} - m_{r1}}{V_r} \quad (5.4.2-2)$$

式中 ρ_{sr} ——标准砂的密度 (g/cm^3)；计算至 0.01 g/cm^3 。

m_{r3} ——灌满标准砂的密度测定器的总质量 (g)。

5.4.3 测定灌满灌砂漏斗所需标准砂的质量应按下列步骤进

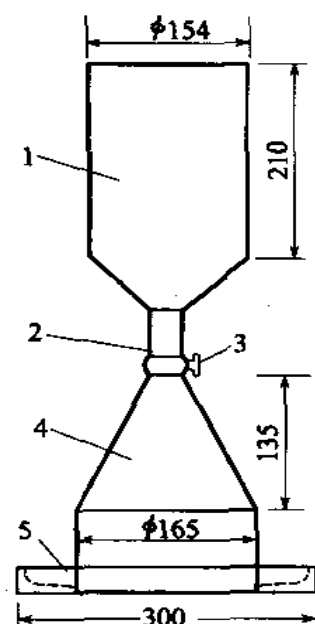


图 5.4.1 密度测定器

1—容砂瓶；2—螺纹接头；
3—阀门；4—灌砂漏斗；
5—底盘

行:

1 按本章第5.4.2条第4款方法将标准砂灌满容砂瓶,并称取灌满标准砂的密度测定器的总质量(m_{r3})。

2 将灌满标准砂的密度测定器倒置(即灌砂漏斗口向下)在一洁净的平面上,打开阀门,直至砂停止流动。

3 迅速关闭阀门,称取剩余标准砂和密度测定器的总质量,计算流失的标准砂的质量,该流失量即为灌满漏斗所需标准砂的质量(m_{r4})。

4 重复上述步骤三次,取其平均值。

5.4.4 试验操作应按下列步骤进行:

1 按土的最大粒径不大于20 mm的要求选定试坑位置,将试坑位置的地面铲平,其面积略大于试坑直径150 mm,按试坑直径划出坑口轮廓线,在轮廓线内下挖至要求深度200 mm处,边挖边将挖出的土放入盛土容器内,称土的质量,准确至10 g,然后取代表性土样测定含水率。

2 向容砂瓶内灌满标准砂,关阀门,称灌满标准砂的密度测定器的总质量,准确至5 g。

3 将密度测定器倒置(灌砂漏斗口向下)于挖好的坑口上,打开阀门,使密度测定器内的标准砂流入坑内,当密度测定器内标准砂停止流动时关闭阀门。

4 称密度测定器和剩余标准砂的质量 m_{r5} ,准确至5 g,并计算灌满试坑所用标准砂的质量($m_{sr} = m_{r3} - m_{r4} - m_{r5}$)。

5.4.5 试验结果应按下列公式计算:

$$\rho = \frac{m_p}{\frac{m_{sr}}{\rho_{sr}}} \quad (5.4.5-1)$$

$$\rho_d = \frac{\frac{m_p}{1 + 0.01w_0}}{\frac{m_{sr}}{\rho_{sr}}} \quad (5.4.5-2)$$

式中 m_{sr} ——灌满试坑所用标准砂的质量 (g);
 m_p ——取自试坑内土的质量 (g)。

5.4.6 记录格式应符合表5.4.6的要求。

表 5.4.6 灌砂法密度试验记录

试 坑 编 号			测 定
灌满标准砂的密度测定器总质量 (g)	(1)		
灌砂漏斗所需标准砂的质量 (g)	(2)		
密度测定器和剩余标准砂的质量 (g)	(3)		
灌满试坑所用标准砂的质量 (g)	(4)	$(4) = (1) - (2) - (3)$	
标准砂密度 (g/cm^3)	(5)		
试坑体积 (cm^3)	(6)	$(6) = (4) / (5)$	
土和容器质量 (g)	(7)		
容器质量 (g)	(8)		
土的质量 (g)	(9)	$(9) = (7) - (8)$	
土的密度 (g/cm^3)	(10)	$(10) = (9) / (6)$	
土的含水率 (%)	(11)		
土的干密度 (g/cm^3)	(12)	$(12) = (10) / [1 + 0.01(11)]$	

复核_____ 年___月___日 试验_____ 年___月___日

5.5 灌 水 法

5.5.1 本试验应采用下列仪器设备:

- 1 储水筒: 直径应均匀, 并附有刻度及出水管。
- 2 台秤: 称量50 kg, 分度值 10 g。
- 3 塑料薄膜袋: 由聚氯乙烯塑料薄膜制成。
- 4 其他: 盛土容器、水准尺、钢卷尺、挖土工具等。

5.5.2 试验操作应按下列步骤进行:

- 1 在选定的试坑位置处铲平略大于试坑直径的地面, 并根

据土的最大粒径，按表 5.5.2 确定试坑尺寸。

2 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深度。边挖边将坑内的试样装入盛土容器内，称土的质量，准确至 10 g，并取代表性土样测定含水率。

表 5.5.2 试坑尺寸

试样最大粒径 (mm)	试坑尺寸 (mm)	
	直径	深度
5~20	150	200
40	200	250
60	250	300

3 试坑挖好后，将略大于试坑容积的塑料薄膜袋沿坑底、坑壁紧密相贴，到地面后翻开袋口，袋口周围用重物压牢固定。

4 记录储水筒内初始水位高度，打开储水筒的注水管，让水缓缓流入坑内塑料薄膜袋内。当袋内水面上升到接近坑口地面时将水流调小，待水面与坑口地面齐平时立即关闭注水管，持续 3~5 min，记录储水筒内水位的高度。如袋内出现水面下降时，应另取塑料薄膜袋重做试验。

5.5.3 试验结果应按下列公式计算：

$$\rho = \frac{m_p}{V_p} \quad (5.5.3-1)$$

$$V_p = (H_1 - H_2) \cdot A_w \quad (5.5.3-2)$$

式中 V_p ——试坑体积 (cm^3)；

H_1 ——储水筒内初始水位高度 (cm)；

H_2 ——储水筒内注水终止时水位高度 (cm)；

A_w ——储水筒断面积 (cm^2)；

5.5.4 记录格式应符合表 5.5.4 的要求。

表 5.5.4 灌水法密度试验记录

试样编号	试坑编号	储水筒水位 (cm)		储水筒断面积 (cm ²)	试坑体积 (cm ³)	土的质量 (g)	土的含水率 (%)	土的湿密度 (g/cm ³)	平均值 (g/cm ³)	平均干密度 (g/cm ³)
		初始	終了							
		(1)	(2)	(3)	(4) = [(2) - (1)] × (3)	(5)	(6)	(7) = $\frac{(5)}{(4)}$	(8)	(9) = $\frac{(8)}{1 + 0.01(6)}$

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日 .7

5.6 气 囊 法

5.6.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 气囊式容积测定仪：仪器主要由气囊、缸筒、活塞、空心活塞杆、球囊、水位管、数显测尺、护坑环组成，如图 5.6.1 所示。仪器各部件应符合下列要求：

- 1) 气囊应有弹性，壁厚不大于 0.3 mm，直径和容积不小于试坑直径和体积。
- 2) 缺筒容积不小于 5 L。
- 3) 水位管长度不小于 650 mm。
- 4) 50% 的氯化锌水溶液，密度不小于 1.5 g/cm³。
- 5) 数显测尺最小分度值 0.01 mm。

2 台秤：称量 10 kg，分度值 5 g。

3 挖土工具：凿子、锤子、勺子、半圆土铲、毛刷等。

4 其他：盛土容器、钢卷尺等。

5.6.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 清扫场地，护坑环置于试坑位置。

2 仪器置于护坑环上，并用压块固定。

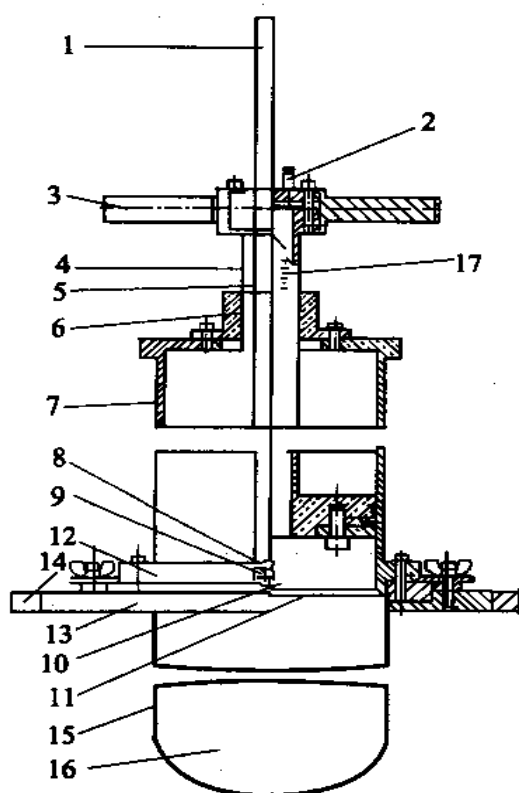


图 5.6.1 气囊式容积测定仪

1—水位标线;2—排气阀;3—封盖及手柄;4—活塞杆;5—水位管;
6—导向盘;7—缸筒;8—球囊;9—水溶液;10—活塞;11—隔栅;
12—压盘;13—护坑环;14—踏板;15—气囊;16—压缩空气;17—数显测尺

3 打开排气阀，将测尺游标推至缸筒顶面，活塞提到缸筒顶端。

4 关上排气阀，慢慢向下推动活塞，直到水位管中溶液水柱升至水位标线。读取数显测尺初始数显数值 (L_1) 并做记录。

5 提起活塞，使水柱退回零位，松开固定压块，移走仪器。

6 试坑开挖和试样称量按本章第5.5.2条第1~2款的规定进行。

7 仪器重新置于护坑环上并固定；将测尺游标重新推至缸筒顶面，慢慢地向下推动活塞，直到溶液水柱升至水位标线，读取数显测尺终止数显数值 (L_2) 并做记录。

8 当坑壁与大气温差较大时,气囊在坑内停留时间不宜超过 3 min。

5.6.3 试验结果应按下列公式计算:

$$\rho = \frac{m_p}{V_p} \quad (5.6.3-1)$$

$$V_p = A_g \cdot (L_2 - L_1) \quad (5.6.3-2)$$

式中 A_g ——容积仪常数 (cm^3/mm);
 L_1 ——数显测尺初始读数 (mm);
 L_2 ——数显测尺终止读数 (mm)。

5.6.4 记录格式应符合表 5.6.4 的要求。

表 5.6.4 气囊法密度试验记录

容积仪常数 $A_g =$ cm^3/mm

试坑编号	试样编号	数显测尺读数 (mm)			试坑体积 (cm^3)	试样质量 (g)	试样湿密度 (g/cm^3)	含水率 (%)	试样干密度 (g/cm^3)	平均干密度 (g/cm^3)
		初始	终止	读数差						
		(1)	(2)	(3) = (2) - (1)	(4) = $A_g \cdot (3)$	(5)	(6) = (5)/(4)	(7)	(8) = $\frac{(6)}{1 + \frac{(7)}{100}}$	

复核_____年____月____日 试验_____年____月____日

5.7 核子射线法

5.7.1 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 4.5.1 条的要求。

5.7.2 试验操作应按本规程第 4.5.2 条规定进行。

5.7.3 试验结果应按下列公式计算:

$$\rho_d = \rho - \rho_{sw} \quad (5.7.3)$$

式中 ρ_d ——干密度 (g/cm^3), 计算至 $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$;
 ρ ——湿密度 (g/cm^3);
 ρ_{sw} ——含水量 (g/cm^3)。

5.7.4 试验允许差应符合下列规定：

本试验在同一测点，仪器在初始位置进行第一次读数，然后将仪器绕测孔旋转 180° 进行第二次读数，当密度的平行差值不大于 0.03 g/cm^3 时，试验结果取两次读数的平均值。如果两次测定的平行差值超过允许差值，则应将仪器再绕测孔旋转到 90° 和 270° 的位置进行两次读数，取其四次读数的算术平均值。

5.7.5 记录格式应符合本规程表4.5.5的要求。

6 颗粒密度试验

6.1 一般规定

6.1.1 土的颗粒密度是土体内固体颗粒质量与颗粒体积之比值，单位为 g/cm^3 。

6.1.2 本试验的目的是测定土的颗粒密度，用于计算土的孔隙比、孔隙度、饱和度等指标。

6.1.3 本试验应根据土粒不同粒径，分别采用下列方法：

1 粒径小于5 mm的土用量瓶法测定。

2 粒径等于大于5 mm 的土，其中大于 20 mm 的颗粒含量少于 10% 时用浮称法，多于 10% 时用虹吸筒法。

3 当土中含有小于和大于5 mm的颗粒，则应按本条第 1~2 款规定，分别用量瓶法、浮称法或虹吸筒法测定不同粒径的颗粒密度，平均颗粒密度应按下式计算：

$$\rho_{\text{sm}} = \frac{1}{\frac{P_1}{\rho_{\text{sl}}} + \frac{P_2}{\rho_{\text{sl}}}} \quad (6.1.3)$$

式中 ρ_{sm} ——平均颗粒密度 (g/cm^3)，计算至 $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$ ；

$\rho_{\text{sl}}, \rho_{\text{sl}}$ ——大于和小于 5 mm 粒径的颗粒密度 (g/cm^3)；

P_1, P_2 ——大于和小于 5 mm 粒径的土粒质量占总质量的质量分数。

6.2 量瓶法

6.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 量瓶：容积100（或 50）mL。

2 天平：称量 200 g，分度值 0.001 g。

3 恒温水槽：准确度应为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。

4 砂浴：应能调节温度。

5 温度计：测量范围 $0^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$ ，分度值 0.5°C 。

6 真空抽气设备：包括真空泵、抽气缸、真空压力表等。

7 其他：烘箱、纯水、中性液体（如煤油等）、孔径 20 mm 及 5 mm 筛、漏斗、滴管等。

6.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 一般土的颗粒密度应采用纯水测定；当土中含有可溶盐、亲水性胶体或有机质，应采用中性液体（如煤油）测定。

2 量瓶在使用前必须进行量瓶和水（或中性液体）总质量的校正，其校正方法应按附录 A 规定进行。

3 将量瓶烘干，取烘干土 15 g 装入 100 mL 量瓶内（若用 50 mL 量瓶，宜取 10 g ），称量瓶和土的总质量，准确至 0.001 g 。

4 向已装有干土的量瓶内注入纯水至量瓶的一半处，摇动量瓶，然后将量瓶放在砂浴上煮沸。煮沸时间自悬液沸腾时算起，砂土及粉土不少于 30 min ，黏土及粉质黏土不少于 1 h 。

5 煮沸完毕，取下量瓶，冷却至接近室温，将事先煮沸并冷却的纯水注入量瓶至近满（有恒温水槽时，可将量瓶放于恒温水槽内）。待瓶内悬液温度稳定及悬液上部澄清时，塞好瓶塞，使多余水分自瓶塞毛细管中溢出，将瓶外壁上的水分擦干后，称量瓶、水和土总质量，准确至 0.001 g ，并测定量瓶内水的温度，准确至 0.5°C 。

6 根据测得的温度，从已绘制的“温度与量瓶和水的总质量关系曲线”中查得量瓶和水的总质量。

7 用中性液体（如煤油）测定含有可溶盐、亲水性胶体或有机质土的颗粒密度时，可用真空抽气法代替煮沸法排除土中空气。对砂土，为了防止煮沸时颗粒跳出，也可采用真空抽气法。抽气时真空压力表读数须接近 100 kPa ，抽气时间 $1 \sim 2\text{ h}$ ，直至悬液内无气泡逸出时为止。其余步骤与本条第3~5款相同。根据测得温度，从已绘出的“温度与量瓶和中性液体的总质量关系曲线”中查得量瓶和中性液体的总质量。

6.2.3 试验结果应按下列公式计算:

1 用纯水测定时

$$\rho_s = \frac{m_d}{m_{pw} + m_d - m_{pws}} \cdot \rho_{wT} \quad (6.2.3-1)$$

式中 ρ_s ——颗粒密度 (g/cm^3), 计算至 $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$;

m_{pw} ——量瓶和水的总质量 (g);

m_{pws} ——量瓶、水和土的总质量 (g);

m_d ——干试样质量 (g);

ρ_{wT} —— $T^\circ\text{C}$ 时水的密度 (g/cm^3)。

2 用中性液体测定时

$$\rho_s = \frac{m_d}{m_{pu} + m_d - m_{pus}} \cdot \rho_{uT} \quad (6.2.3-2)$$

式中 m_{pu} ——量瓶和中性液体总质量 (g);

m_{pus} ——量瓶、中性液体和土的总质量 (g);

ρ_{uT} —— $T^\circ\text{C}$ 时中性液体的密度 (g/cm^3), 按附录 A.0.4 实测。

6.2.4 本试验应进行平行测定, 平行测定的差值不得大于 $0.02 \text{ g}/\text{cm}^3$, 取算术平均值。

6.2.5 记录格式应符合表 6.2.5 的要求。

表 6.2.5 量瓶法颗粒密度试验记录

试样 编号	瓶 号	量瓶 质量 (g)	干试 样质 量 (g)	量瓶 + 液 体 + 干试 样质量 (g)	温度 T ($^\circ\text{C}$)	$T(^\circ\text{C})$ 时 量瓶 + 液 体质量 (g)	与干试样 同体积的 液体质量 (g)	$T(^\circ\text{C})$ 时 液体密度 (g/cm^3)	颗粒 密度 (g/cm^3)	平均值 (g/cm^3)
①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧ = ④ + ⑦ - ⑤	⑨	⑩ = (④ /⑧) · ⑨	

复核_____ 年___月___日 试验_____ 年___月___日

6.3 浮 称 法

6.3.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 孔径小于 5 mm 的铁丝筐，直径约 10~15 cm，高约 10~20 cm。
- 2 适合铁丝筐沉入用的盛水容器。
- 3 浮称天平：称量 2 kg，分度值 0.2 g。
- 4 其他：烘箱、温度计、孔径 5 及 20 mm 筛、毛巾、瓷盘等。

6.3.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 取粒径大于 5 mm 的代表性试样约 1 000 g，用清水洗净后，将试样浸在 15℃~25℃ 的水中，浸泡 24 h 后取出，将试样放在湿毛巾上滚擦或擦干（以颗粒表面无发亮水膜为准），即得饱和面干试样，称饱和面干试样质量 (m_b)。

2 将铁丝筐浸入水中，称铁丝筐在水中的质量 (m_1)，如图 6.3.2。

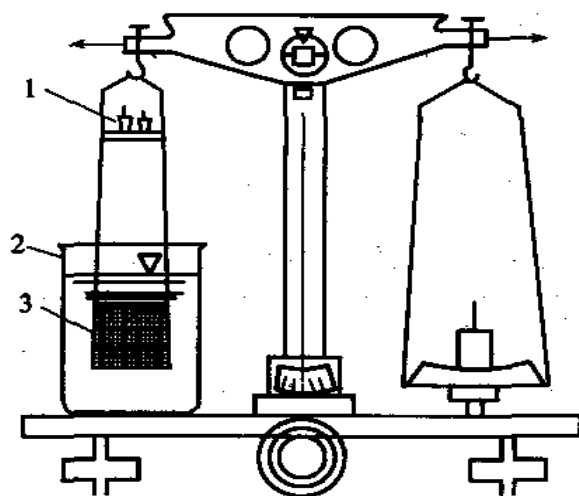


图 6.3.2 浮称天平

1—调平平衡砝码盘；2—盛水容器；3—盛土样的铁丝筐

3 将已知质量的饱和面干试样全部放入铁丝筐中，缓缓浸没于水中，并在水中摇晃至无气泡逸出为止，称铁丝筐和试样在

水中总质量 (m_2), 并测定盛水容器内水温, 准确至 0.5°C 。

4 取出铁丝筐中的全部试样放于瓷盘中, 吸去盘中余水, 置于 $105^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ 烘箱中烘 $4 \sim 6\text{h}$, 取出冷却至室温, 称烘干试样的质量 (m_d)。

5 本试验称量应准确至 0.2g 。

6.3.3 试验结果应按下列公式计算:

1 颗粒密度

$$\rho_s = \frac{m_d}{m_d - (m_2 - m_1)} \cdot \rho_{wT} \quad (6.3.3-1)$$

式中 m_1 ——铁丝筐在水中的质量 (g);

m_2 ——铁丝筐和试样在水中总质量 (g)。

2 饱和面干密度和毛体积密度

$$\rho_b = \frac{m_b}{m_b - (m_2 - m_1)} \cdot \rho_{wT} \quad (6.3.3-2)$$

$$\rho_a = \frac{m_d}{m_b - (m_2 - m_1)} \cdot \rho_{wT} \quad (6.3.3-3)$$

式中 ρ_b ——饱和面干密度 (g/cm^3);

ρ_a ——毛体积密度 (g/cm^3);

m_b ——饱和面干试样质量 (g)。

3 吸着含水率

$$w_x = \left(\frac{m_b}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (6.3.3-4)$$

式中 w_x ——吸着含水率 (%), 计算至 0.1% 。

6.3.4 本试验应进行平行测定, 平行测定的差值不得大于 $0.02\text{g}/\text{cm}^3$, 取算术平均值。

6.3.5 记录格式应符合表 6.3.5 的要求。

表 6.3.5 浮称法颗粒密度试验记录

试样编号	烘干试样质量 (g)	饱和面干试样质量 (g)	筐加试样在水中质量 (g)	筐在水中质量 (g)	试样在水中质量 (g)	温度 (℃)	水的密度 (查表) (g/cm ³)	颗粒密度 (g/cm ³)	平均值 (g/cm ³)
	①	②	③	④	⑤ = ③ - ④	⑥	⑦	⑧ = $\frac{① \times ⑦}{① - ⑤}$	

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

6.4 虹吸筒法

6.4.1 本试验应采用下列仪器设备:

- 1 虹吸筒: 见图 6.4.1。
- 2 台秤: 称量 10 kg, 分度值 1 g。
- 3 量筒: 容积大于 200 mL。
- 4 其他同第 6.3.1 条第 4 款。

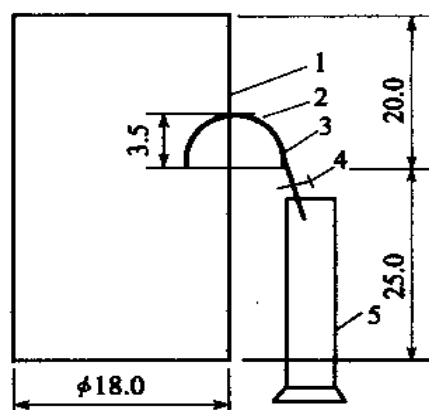


图 6.4.1 虹吸筒示意 (单位: cm)

1—虹吸筒; 2—虹吸管; 3—橡皮管; 4—管夹; 5—量筒

6.4.2 试验操作应按下列步骤进行:

- 1 取粒径大于 5 mm 具代表性的试样 1~7 kg, 将试样彻底

冲洗，直至颗粒表面无尘土和其他污物。

2 再将试样浸没水中浸泡 24 h 后取出，用湿毛巾滚擦颗粒表面水分，即得饱和面干试样，称其质量。

3 注清水入虹吸筒，至管口有水溢出时为止。待管中水流停止后，关闭管夹。将已称量的饱和面干试样缓缓放入筒中，边放边搅，直至无气泡逸出为止。搅动时勿使水溅出虹吸筒外。

4 待虹吸筒中水面平静后，开启管夹，让试样排开的水从虹吸管中流入量筒内。

5 测量筒内水的温度，准确至 0.5°C ，称量筒质量及量筒和水的总质量。

6 取出虹吸筒内全部试样放于瓷盘中，吸去余水，置于 $105^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ 烘干，称其质量。

7 本试验称量应准确至 1 g。

6.4.3 试验结果应按下列公式计算：

1 颗粒密度

$$\rho_s = \frac{m_d}{(m_{cw} - m_c)(m_b - m_d)} \cdot \rho_{wT} \quad (6.4.3-1)$$

式中 m_c ——量筒质量 (g)；

m_{cw} ——量筒和水的总质量 (g)。

2 饱和面干密度和毛体积密度

$$\rho_b = \frac{m_b}{(m_{cw} - m_c)} \cdot \rho_{wT} \quad (6.4.3-2)$$

$$\rho_a = \frac{m_d}{(m_{cw} - m_c)} \cdot \rho_{wT} \quad (6.4.3-3)$$

3 吸着含水率应按本规程式 (6.3.3—4) 计算。

6.4.4 本试验应进行平行测定，平行测定的差值不得大于 0.02 g/cm^3 ，取算术平均值。

6.4.5 记录格式应符合表 6.4.5 的要求。

表 6.4.5 虹吸筒法颗粒密度试验记录

量筒质量 $m_c =$ g

试样号	水的温度 ($^{\circ}\text{C}$)	水的密度 (g/cm^3) (查表)	烘干试样质量 (g)	饱和面干试样质量 (g)	量筒和排开水总质量 (g)	排开水质量 (g)	吸着水质量 (g)	颗粒密度 (g/cm^3)	平均值 (g/cm^3)
	①	②	③	④	⑤	⑥ = ⑤ - m_c	⑦ = ④ - ③	⑧ = $\frac{③ \times ②}{⑥ - ⑦}$	

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

7 颗粒分析试验

7.1 一般规定

7.1.1 颗粒分析试验是测定土中粒组及各粒组干土质量占该土总质量的质量分数，以百分数表示。

7.1.2 本试验应根据土的颗粒粒径大小，采用下列试验方法：

- 1 筛析法适用于粒径小于或等于 60 mm，大于 0.075 mm 的土。
- 2 密度计法和移液管法适用于粒径小于 0.075 mm 的土。
- 3 当土中含有粒径大于和小于 0.075 mm 的颗粒，各超过总质量的 10% 时，应联合使用筛析法及密度计法或移液管法。

7.2 筛析法

7.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 分析筛：
 - 1) 粗筛：孔径为 60、40、20、10、5、2 mm；
 - 2) 细筛：孔径为 2、1、0.5、0.25、0.075 mm。
- 2 天平：称量 5 000 g，分度值 1 g；称量 1 000 g，分度值 0.1 g；称量 200 g，分度值 0.01 g。
- 3 筛析机：上下震动正常。
- 4 其他设备：烘箱、瓷盘、研钵（带橡皮头的杵、钢丝刷）等。

7.2.2 筛析法的取样数量，应符合表 7.2.2 的规定。

表 7.2.2 取 样 数 量

土 粒 粒 径 (mm)	取 样 数 量 (g)
<2	100~300
<10	300~1 000
<20	1 000~2 000

续表 7.2.2

土 粒 粒 径 (mm)	取 样 数 量 (g)
<40	2000~4000
<60	4000 以上

7.2.3 试验操作应按下列步骤进行:

1 无凝聚性土的试验

- 1) 视土样颗粒大小,用四分对角线法按表 7.2.2 的规定取样数量,取代表性风干试样。当称量小于 500 g 时,应准确至 0.1 g;当称量大于 500 g 时,应准确至 1 g。
- 2) 将试样过 2 mm 筛,称筛上或筛下的试样质量。当筛下的试样质量小于试样总质量的 10% 时,不作细筛分析;当筛上的试样质量小于试样总质量的 10% 时,不作粗筛分析。
- 3) 取过 2 mm 筛上的试样倒入依次叠好的粗筛最上层筛中;筛下的试样倒入依次叠好的细筛最上层筛中,进行筛析。细筛宜置于筛析机上震筛,震筛时间为 10~15 min。
- 4) 按由上而下的顺序将各筛取下,于白瓷盘上用手拍叩摇晃,检查各筛,直至筛净为止,筛下的试样应收放入下一级筛内,最后称各级筛上及底盘内试样的质量,应准确至 0.1 g。
- 5) 筛后各级筛上和底盘内试样质量的总和与筛前试样总质量的差值,不得大于试样总质量的 1%。

2 含有黏土粒的砂类土的试验

- 1) 先将土样放在橡皮板上,用木碾充分碾散黏结的土团块,然后按本条第 1 款要求称取试样,置于盛有清水的容器内充分搅拌,使试样中的粗细颗粒完全分离。
- 2) 将容器中的试样悬液通过 2 mm 筛,边翻动、边冲洗、边过筛,直到筛上仅留大于 2 mm 的土粒为止。取筛

上的试样风干后称量,准确至 0.1 g,然后按本条第 1 款第 3)~5) 项各步骤进行粗筛分析。

3) 取过 2 mm 筛下的悬液,用带橡皮头的研杵研磨,使通过 0.075 mm 筛,筛上土粒反复加清水研磨过筛,直至悬液澄清为止,将筛上的试样烘干称量,准确至 0.1 g,然后按本条第 1 款第 3)~5) 项各步骤进行细筛分析。

4) 当小于 0.075 mm 试样质量超过试样总质量的 10% 时,应按本规程密度计法或移液管法测定小于 0.075 mm 的颗粒组成。

7.2.4 试验结果应按下列公式计算及制图:

1 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分数:

$$X = \frac{m_A}{m_B} \cdot d_x \quad (7.2.4-1)$$

式中 X ——小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分数(%),计算至 0.1%;

m_A ——小于某粒径的试样质量 (g);

m_B ——细筛(或密度计)分析时为所取试样质量;粗筛分析时为所取试样总质量 (g);

d_x ——粒径小于 2 mm 或粒径小于 0.075 mm 的试样质量占试样总质量的百分数(%);若土中无大于 2 mm (或无大于 0.075 mm) 的颗粒时,计算细筛(或密度计)及粗筛分析 $d_x = 100\%$ 。

2 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,在单对数坐标纸上绘制颗粒大小分布曲线,见图 7.2.4 中 03 号线。当粗筛与细筛或筛析法与密度计法联合分析时,应将分段曲线接绘成一平滑曲线。

3 级配指标:

1) 不均匀系数

$$C_u = d_{60}/d_{10} \quad (7.2.4-2)$$

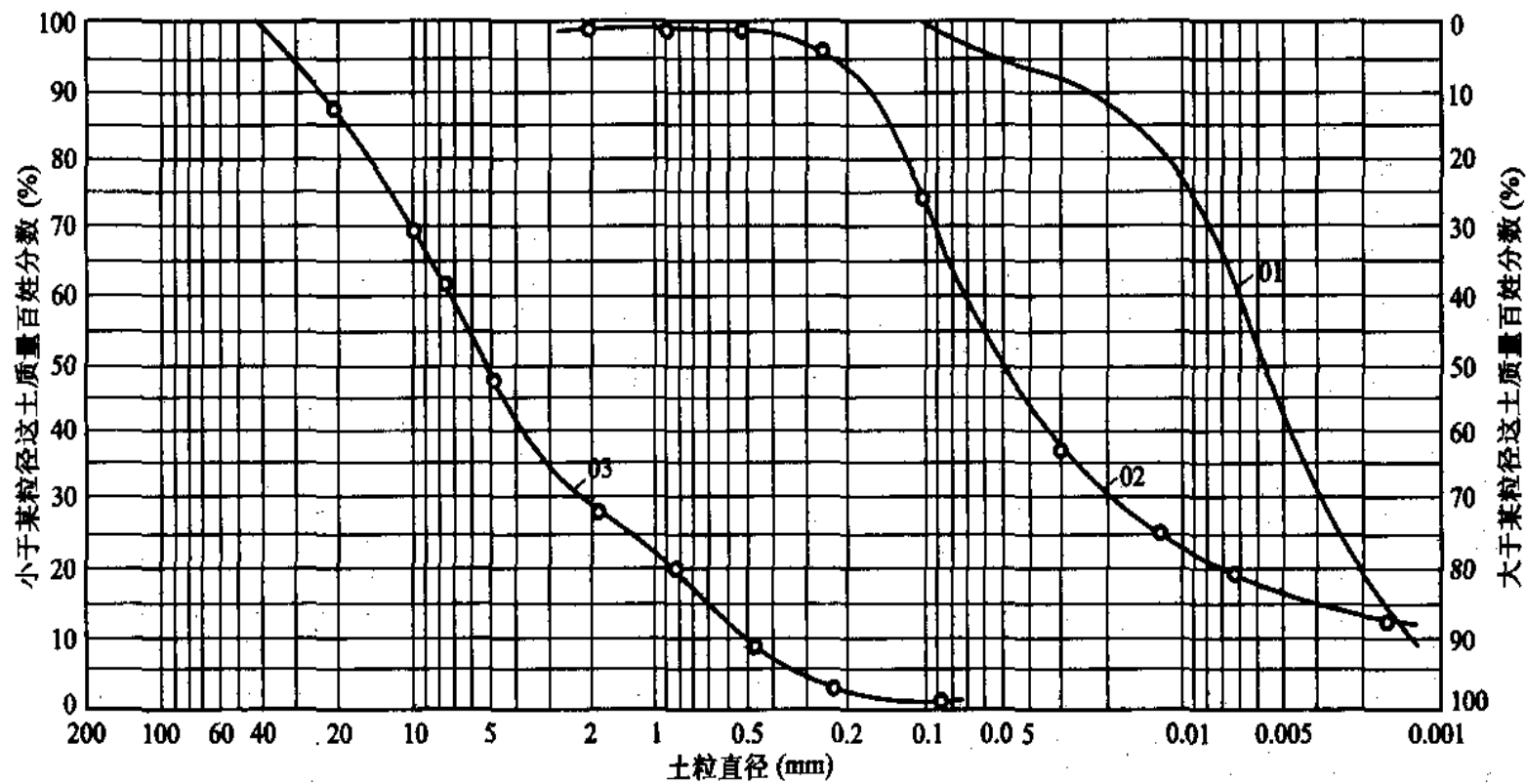


图 7.2.4 颗粒大小分布曲线

式中 C_u ——不均匀系数, 计算至 0.01;
 d_{60} ——限制粒径, 即在分布曲线上小于该粒径的试样含量占总试样质量的 60% 的粒径;
 d_{10} ——有效粒径, 即在分布曲线上小于该粒径的试样含量占总试样质量的 10% 的粒径。

2) 曲率系数

$$C_c = d_{30}^2 / (d_{10} \cdot d_{60}) \quad (7.2.4-3)$$

式中 C_c ——曲率系数, 计算至 0.01;
 d_{30} ——在分布曲线上, 小于该粒径的试样含量占总试样质量的 30% 的粒径;

7.2.5 记录格式应符合表 7.2.5 的要求。

表 7.2.5 筛析法颗粒分析记录

试样编号:

风干试样质量 = g 小于 0.075 mm 的试样占总试样质量百分数 = %					
2 mm 筛上试样质量 = g 小于 2 mm 的试样占总试样质量百分数 = %					
2 mm 筛下试样质量 = g 细筛分析时所取试样质量 = g					
筛 号	孔径 (mm)	累积留筛 试样质量 (g)	小于该孔径 的试样质量 (g)	小于该孔径的 试样质量百分数 (%)	小于该孔径占总 试样质量百分数 (%)
底盘总计					

复核 年 月 日 试验 年 月 日

7.3 密度计法

7.3.1 本试验应采用下列仪器设备:

1 密度计: 密度计应按本规程附录 B 校正。

- 1) 甲种: 刻度单位以摄氏 20℃ 时每 1000 mL 悬液内所含试样质量的克数表示。刻度自 -5~50, 分度值为 0.5。
- 2) 乙种: 刻度单位以摄氏 20℃ 时悬液的相对密度表示。刻度自 0.995~1.020, 分度值为 0.0002。

2 量筒：高约 420 mm，内径约 60 mm，容积 1 000 mL，刻度 0~1 000 mL，分度值为 10 mL。

3 细筛：孔径为 2、0.5、0.25、0.075 mm。

4 洗筛：孔径为 0.075 mm。

5 洗筛漏斗：上口直径略大于洗筛直径，下口直径略小于量筒直径。

6 天平：称量 1 000 g，分度值 0.1 g；称量 200 g，分度值 0.01 g。

7 温度计：量程 0℃~50℃，分度值为 0.5℃。

8 搅拌器：底板直径 50 mm，孔径为 3 mm，杆长约 450 mm，带旋转叶。

9 煮沸设备：附冷凝管装置。

10 其他设备：秒表、锥形瓶（500 mL）、研钵、木杵、电导率仪等。

7.3.2 试剂配制应符合下列规定：

1 4%六偏磷酸钠溶液：溶解 4 g 六偏磷酸钠 (NaPO_3)₆ 于 100 mL 水中。

2 5%酸性硝酸银溶液：溶解 5 g 硝酸银 (AgNO_3) 于 100 mL 10%硝酸溶液中。

3 5%酸性氯化钡溶液：溶解 5 g 氯化钡 (BaCl_2) 于 100 mL 10%盐酸溶液中。

7.3.3 试验操作应按下列步骤进行：

1 本试验应采用风干试样。当试样中易溶盐含量大于 0.5%时，应洗盐。易溶盐含量的检验方法可用电导法或目测法。

1) 电导法：按电导率仪使用说明书操作，测定土水比为 1:5 的试样溶液在 T ℃时的电导率，并按下式计算 20℃时的电导率：

$$\sigma_{20} = \sigma_T / [1 + 0.02(T - 20)] \quad (7.3.3-1)$$

式中 σ_{20} ——20℃时试样溶液的电导率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)；

σ_T —— T ℃时试样溶液的电导率 ($\mu\text{S}/\text{cm}$)；

T ——测定试样溶液时的温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

当 σ_{20} 大于 $1000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 时, 应洗盐。当 σ_{20} 大于 $2000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ 时, 应按本规程第 31.2 节测定易溶盐含量。

2) 目测法: 取风干试样 3 g 于烧杯中, 加少量水调成糊状研散, 再加水 25 mL, 煮沸 10 min, 冷却后移入试管中, 放置过夜, 观察试管中悬液, 若出现有凝聚现象, 应洗盐。并按本规程第 31.2 节进行易溶盐含量测定。

3) 洗盐方法: 按式 (7.3.3—3) 计算应称取干试样质量为 30 g 时的风干试样质量, 准确至 0.01 g, 倒入 500 mL 的锥形瓶中, 加水 200 mL, 搅拌后用滤纸过滤或抽气过滤, 并用水洗滤, 直至滤液的电导率 σ_{20} 小于 $1000\ \mu\text{S}/\text{cm}$ (或对 5% 酸性 AgNO_3 和 5% 酸性 BaCl_2 溶液均无白色沉淀反应) 为止。洗盐后滤纸上试样按本条第 4 款进行操作。

2 称取具有代表性风干试样 200~300 g, 过 2 mm 筛, 求出筛上试样占试样总质量的百分数。取筛下试样测定风干含水率。

3 计算按干试样质量为 30 g 时应取风干试样质量:

当易溶盐含量小于 1% 时

$$m_0 = 30(1 + 0.01w_0) \quad (7.3.3-2)$$

当易溶盐含量大于或等于 1% 时

$$m_0 = \frac{30(1 + 0.01w_0)}{1 - 0.01DT} \quad (7.3.3-3)$$

式中 m_0 ——风干试样质量 (g);

w_0 ——风干试样含水率 (%);

DT ——易溶盐含量 (%)。

4 将计算后应称取的风干试样或洗盐后在滤纸上的试样倒入 500 mL 锥形瓶中, 加水 200 mL 并冲洗滤纸上土粒, 浸泡过夜, 然后置于煮沸设备上煮沸 40 min。

5 将煮沸后冷却的悬液移入烧杯中, 静置 1 min, 使上部悬液通过洗筛漏斗上 0.075 mm 洗筛进入量筒中, 留在杯底的沉淀

物用带橡皮头的研杵研散，加适量水搅拌后，静置 1 min，再使悬液通过洗筛漏斗上的 0.075 mm 洗筛进入量筒中，如此反复倾洗（每次倾洗最后所得总悬液不得超过 1000 mL）直至杯内的砂粒洗净为止。将杯中和筛上的砂粒合并洗入蒸发皿中，倾弃清水，烘干称量、并按本规程第 7.2.3 条第 1 款第 3)~5) 项进行细筛分析，并计算各级颗粒占试样总质量的百分数。

6 于量筒内的悬液加入 4% 六偏磷酸钠 (NaPO_3)₆ 10 mL，再加水至 1000 mL。对于加入六偏磷酸钠后仍不能完全分散的试样应选用其他分散剂。

7 将搅拌器放入量筒中，沿悬液深度上下搅拌 1 min，取出搅拌器，立即开动秒表，将密度计放入悬液中测记 0.5、1、5、30、120、1 440 min 时的密度计读数。每次读数均应在预定时间前 10~20 s 内将密度计放入悬液中并接近读数的深度，保持密度计浮泡处于量筒中心，不得贴近量筒内壁。

8 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；乙种密度计应准确至 0.000 2。每次读数后应取出密度计放入盛有纯水的量筒中，并应测定相应的悬液温度，准确至 0.5℃。放入或取出密度计时，不得搅动悬液。

7.3.4 试验结果应按下列公式计算及制图：

1 小于某粒径试样质量占总试样的百分数：

甲种密度计：

$$X = \frac{100}{m_d} C_s (R + m_T + n - C_D) \quad (7.3.4-1)$$

式中 X ——小于某粒径试样质量百分数 (%)，计算至 0.1%；

m_d ——试样干质量 (g)；

C_s ——颗粒密度校正值，见表 7.3.4—1；

m_T ——悬液温度校正值，见表 7.3.4—2；

C_D ——分散剂校正值；

n ——弯液面校正值；

R ——甲种密度计读数。

乙种密度计:

$$X = \frac{100 V_x}{m_d} C_s' [(R' - 1) + m_T' + n' - C_D'] \rho_{w20} \quad (7.3.4-2)$$

式中 R' ——乙种密度计读数;

V_x ——悬液体积 ($=1000 \text{ mL}$);

C_s' ——颗粒密度校正值, 见表 7.3.4—1;

m_T' ——悬液温度校正值, 见表 7.3.4—2;

n' ——弯液面校正值, 按本规程附录 B.0.3 校正;

C_D' ——分散剂校正值, 按本规程附录 B.0.4 校正;

ρ_{w20} —— 20°C 时纯水的密度 ($=0.998232 \text{ g/cm}^3$)。

表 7.3.4—1 颗粒密度校正值

颗粒密度 ρ_s (g/cm^3)	颗粒密度校正值	
	甲种密度计 (C_s)	乙种密度计 (C_s')
0.50	1.038	1.667
2.52	1.032	1.658
2.54	1.027	1.649
2.56	1.022	1.641
2.58	1.017	1.633
2.60	1.012	1.625
2.62	1.007	1.617
2.64	1.002	1.610
2.66	0.997	1.602
2.68	0.993	1.595
2.70	0.989	1.588
2.72	0.984	1.581
2.74	0.981	1.575
2.76	0.976	1.568
2.78	0.973	1.562
2.80	0.969	1.556
2.82	0.964	1.549
2.84	0.961	1.543
2.86	0.958	1.538
2.88	0.954	1.532

表 7.3.4—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	20.5	+0.1	+0.0001
10.5	-1.9	-0.0012	21.0	+0.3	+0.0002
11.0	-1.9	-0.0012	21.5	+0.5	+0.0003
11.5	-1.8	-0.0011	22.0	+0.6	+0.0004
12.0	-1.8	-0.0011	22.5	+0.8	+0.0005
12.5	-1.7	-0.0010	23.0	+0.9	+0.0006
13.0	-1.6	-0.0010	23.5	+1.1	+0.0007
13.5	-1.5	-0.0009	24.0	+1.3	+0.0008
14.0	-1.4	-0.0009	24.5	+1.5	+0.0009
14.5	-1.3	-0.0008	25.0	+1.7	+0.0010
15.0	-1.2	-0.0008	25.5	+1.9	+0.0011
15.5	-1.1	-0.0007	26.0	+2.1	+0.0013
16.0	-1.0	-0.0006	26.5	+2.2	+0.0014
16.5	-0.9	-0.0006	27.0	+2.5	+0.0015
17.0	-0.8	-0.0005	27.5	+2.6	+0.0016
17.5	-0.7	-0.0004	28.0	+2.9	+0.0018
18.0	-0.5	-0.0003	28.5	+3.1	+0.0019
18.5	-0.4	-0.0003	29.0	+3.3	+0.0021
19.0	-0.3	-0.0002	29.5	+3.5	+0.0022
19.5	-0.1	-0.0001	30.0	+3.7	+0.0023
20.0	0.0	0.0000			

2 土粒粒径:

$$d = \sqrt{\frac{1800 \times \eta \cdot L}{\left(\frac{\rho_s - \rho_{wT}}{\rho_w}\right) \gamma_w \cdot t}} \quad (7.3.4-3)$$

$$= \sqrt{\frac{18 \times 10^4 \times \eta \cdot L}{\left(\frac{\rho_s - \rho_{wT}}{\rho_w}\right) \times 9.81 \cdot t}}$$

式中 d ——土粒粒径 (mm), 计算至 0.001 mm;

η ——水的动力黏度 ($=10^{-6}$ kPa·s), 查表 7.3.4—3;

ρ_s ——颗粒密度 (g/cm^3);

ρ_{wT} —— T °C 时水的密度 (g/cm^3), 查表 7.3.4—3;

ρ_w ——4 °C 时水的密度 (g/cm^3);

γ_w ——4℃时水的容重 ($=9.81 \text{ kN/m}^3$);

L ——某一时间内土粒沉降距离 (cm);

t ——沉降时间 (s)。

为简化计算, 式 (7.3.4—3) 可写成:

$$d = K \sqrt{\frac{L}{t}} \quad (7.3.4-4)$$

式中 K ——粒径计算系数 $\left[= \sqrt{\frac{18 \times 10^4 \eta}{\left(\frac{\rho_s - \rho_w T}{\rho_w} \right) \times 9.81}} \right]$, 与悬液温度和颗粒密度有关, 其值可查表 7.3.4—4。

表 7.3.4—3 $T^\circ\text{C}$ 时水的动力黏度和密度

温度 T $^\circ\text{C}$	动力黏度 η $\times 10^{-6} \text{ kPa}\cdot\text{s}$	水的密度 ρ_w g/cm^3	温度 T $^\circ\text{C}$	动力黏度 η $\times 10^{-6} \text{ kPa}\cdot\text{s}$	水的密度 ρ_w g/cm^3	温度 T $^\circ\text{C}$	动力黏度 η $\times 10^{-6} \text{ kPa}\cdot\text{s}$	水的密度 ρ_w g/cm^3
5.0	1.516	0.999 992	15.0	1.144	0.999 126	25.0	0.899	0.997 074
5.5	1.493	982	15.5	1.130	050	25.5	0.889	0.996 944
6.0	1.470	968	16.0	1.115	0.998 970	26.0	0.879	813
6.5	1.449	951	16.5	1.101	888	26.5	0.869	679
7.0	1.427	930	17.0	1.088	802	27.0	0.860	542
7.5	1.407	905	17.5	1.074	714	27.5	0.850	403
8.0	1.387	876	18.0	1.061	623	28.0	0.841	262
8.5	1.367	844	18.5	1.048	530	28.5	0.832	119
9.0	1.347	809	19.0	1.035	433	29.0	0.823	0.995 974
9.5	1.328	770	19.5	1.022	334	29.5	0.814	826
10.0	1.310	728	20.0	1.010	232	30.0	0.806	676
10.5	1.292	682	20.5	0.998	128	30.5	0.797	524
11.0	1.274	633	21.0	0.986	021	31.0	0.789	369
11.5	1.256	580	21.5	0.974	0.997 911	31.5	0.781	213
12.0	1.239	525	22.0	0.963	799	32.0	0.773	054
12.5	1.223	466	22.5	0.952	685	32.5	0.765	0.994 894
13.0	1.206	404	23.0	0.941	567	33.0	0.757	731
13.5	1.190	339	23.5	0.930	448	33.5	0.749	566
14.0	1.175	271	24.0	0.919	327	34.0	0.742	399
14.5	1.160	200	24.5	0.909	201	34.5	0.734	230

表 7.3.4—4 粒径计算系数 K 值

温 度(℃)	颗 粒 密 度 (g/cm ³)										
	2.5	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85	2.90	2.95	3.00
5.0	0.1362	0.1340	0.1319	0.1298	0.1279	0.1261	0.1243	0.1226	0.1210	0.1194	0.1180
5.5	0.1351	0.1329	0.1309	0.1288	0.1269	0.1251	0.1233	0.1217	0.1200	0.1185	0.1170
6.0	0.1342	0.1320	0.1299	0.1279	0.1260	0.1242	0.1225	0.1208	0.1192	0.1177	0.1162
6.5	0.1331	0.1310	0.1289	0.1269	0.1251	0.1233	0.1215	0.1199	0.1183	0.1167	0.1153
7.0	0.1322	0.1300	0.1280	0.1260	0.1242	0.1224	0.1207	0.1189	0.1174	0.1159	0.1145
7.5	0.1312	0.1290	0.1270	0.1251	0.1232	0.1214	0.1197	0.1181	0.1165	0.1150	0.1136
8.0	0.1303	0.1281	0.1261	0.1242	0.1224	0.1206	0.1189	0.1173	0.1158	0.1142	0.1128
8.5	0.1293	0.1272	0.1252	0.1233	0.1214	0.1197	0.1180	0.1164	0.1149	0.1134	0.1120
9.0	0.1284	0.1263	0.1243	0.1224	0.1206	0.1188	0.1172	0.1156	0.1141	0.1126	0.1112
9.5	0.1274	0.1254	0.1234	0.1215	0.1197	0.1180	0.1163	0.1147	0.1132	0.1118	0.1104
10.0	0.1266	0.1245	0.1226	0.1207	0.1189	0.1172	0.1156	0.1140	0.1125	0.1110	0.1096
10.5	0.1257	0.1237	0.1217	0.1198	0.1182	0.1165	0.1147	0.1132	0.1117	0.1102	0.1088
11.0	0.1248	0.1228	0.1209	0.1190	0.1173	0.1156	0.1140	0.1124	0.1109	0.1095	0.1081
11.5	0.1239	0.1219	0.1200	0.1182	0.1164	0.1147	0.1131	0.1116	0.1101	0.1087	0.1073
12.0	0.1231	0.1211	0.1192	0.1174	0.1156	0.1140	0.1124	0.1108	0.1094	0.1080	0.1066
12.5	0.1223	0.1206	0.1184	0.1166	0.1150	0.1133	0.1116	0.1101	0.1087	0.1073	0.1059
13.0	0.1215	0.1195	0.1176	0.1158	0.1141	0.1125	0.1109	0.1094	0.1080	0.1065	0.1052

续表 7.3.4—4

温 度(℃)	颗 粒 密 度 (g/cm ³)										
	2.5	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85	2.90	2.95	3.00
13.5	0.1207	0.1187	0.1168	0.1151	0.1134	0.1118	0.1102	0.1087	0.1072	0.1058	0.1045
14.0	0.1199	0.1179	0.1161	0.1143	0.1126	0.1110	0.1094	0.1079	0.1065	0.1051	0.1038
14.5	0.1191	0.1172	0.1153	0.1135	0.1118	0.1102	0.1087	0.1072	0.1058	0.1045	0.1031
15.0	0.1183	0.1164	0.1146	0.1128	0.1112	0.1096	0.1080	0.1065	0.1052	0.1038	0.1025
15.5	0.1175	0.1156	0.1138	0.1121	0.1103	0.1087	0.1073	0.1058	0.1044	0.1031	0.1018
16.0	0.1168	0.1149	0.1131	0.1114	0.1097	0.1082	0.1066	0.1052	0.1038	0.1024	0.1012
16.5	0.1161	0.1142	0.1124	0.1107	0.1091	0.1075	0.1060	0.1045	0.1031	0.1018	0.1005
17.0	0.1153	0.1134	0.1117	0.1100	0.1084	0.1068	0.1053	0.1038	0.1025	0.1012	0.0999
17.5	0.1146	0.1127	0.1109	0.1092	0.1077	0.1062	0.1046	0.1032	0.1018	0.1005	0.0992
18.0	0.1139	0.1120	0.1103	0.1086	0.1070	0.1054	0.1040	0.1025	0.1012	0.0999	0.0986
18.5	0.1132	0.1113	0.1096	0.1079	0.1064	0.1049	0.1033	0.1019	0.1006	0.0993	0.0980
19.0	0.1125	0.1106	0.1089	0.1072	0.1057	0.1041	0.1027	0.1013	0.1000	0.0986	0.0974
19.5	0.1118	0.1100	0.1083	0.1066	0.1050	0.1035	0.1021	0.1007	0.0993	0.0981	0.0968
20.0	0.1111	0.1093	0.1076	0.1059	0.1044	0.1029	0.1014	0.1000	0.0987	0.0974	0.0962
20.5	0.1104	0.1086	0.1069	0.1053	0.1039	0.1024	0.1008	0.0994	0.0981	0.0969	0.0956
21.0	0.1098	0.1080	0.1063	0.1047	0.1031	0.1016	0.1002	0.0988	0.0976	0.0963	0.0951
21.5	0.1091	0.1074	0.1057	0.1041	0.1026	0.1011	0.0956	0.0983	0.0970	0.0957	0.0945

续表 7.3.4—4

温 度(℃)	颗 粒 密 度 (g/cm ³)										
	2.5	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85	2.90	2.95	3.00
22.0	0.1085	0.1067	0.1050	0.1034	0.1019	0.1004	0.0990	0.0977	0.0964	0.0951	0.0940
22.5	0.1078	0.1061	0.1044	0.1028	0.1013	0.0999	0.0984	0.0971	0.0958	0.0946	0.0934
23.0	0.1072	0.1055	0.1038	0.1022	0.1007	0.0993	0.0979	0.0965	0.0953	0.0940	0.0929
23.5	0.1066	0.1048	0.1032	0.1016	0.1002	0.0988	0.0973	0.0960	0.0947	0.0935	0.0923
24.0	0.1060	0.1043	0.1026	0.1011	0.0996	0.0982	0.0968	0.0954	0.0942	0.0930	0.0918
24.5	0.1054	0.1036	0.1020	0.1005	0.0090	0.0976	0.0962	0.0949	0.0936	0.0924	0.0913
25.0	0.1048	0.1031	0.1015	0.0999	0.0984	0.0970	0.0957	0.0944	0.0931	0.0919	0.0908
25.5	0.1042	0.1025	0.1009	0.0993	0.0979	0.0965	0.0951	0.0938	0.0926	0.0914	0.0902
26.0	0.1036	0.1019	0.1003	0.0988	0.0973	0.0959	0.0946	0.0933	0.0921	0.0909	0.0897
26.5	0.1030	0.1013	0.0997	0.0982	0.0968	0.0954	0.0940	0.0927	0.0915	0.0903	0.0892
27.0	0.1025	0.1008	0.0992	0.0977	0.0963	0.0949	0.0936	0.0923	0.0911	0.0899	0.0888
27.5	0.1018	0.1002	0.0986	0.0971	0.0957	0.0943	0.0930	0.0917	0.0905	0.0893	0.0882
28.0	0.1013	0.0997	0.0981	0.0966	0.0952	0.0938	0.0925	0.0912	0.0900	0.0889	0.0878
28.5	0.1008	0.0991	0.0976	0.0961	0.0948	0.0935	0.0920	0.0907	0.0895	0.0884	0.0873
29.0	0.1002	0.0986	0.0970	0.0956	0.0942	0.0928	0.0915	0.0903	0.0891	0.0879	0.0868
29.5	0.0997	0.0980	0.0965	0.0950	0.0939	0.0926	0.0910	0.0897	0.0886	0.0874	0.0863
30.0	0.0992	0.0975	0.0960	0.0946	0.0932	0.0918	0.0906	0.0893	0.0881	0.0870	0.0859
30.5	0.0986	0.0970	0.0955	0.0940	0.0927	0.0913	0.0900	0.0888	0.0876	0.0865	0.0854

3 以小于某粒径试样质量百分数为纵坐标, 土粒直径的对数值为横坐标绘制颗粒大小分布曲线。如与筛析法联合分析, 应将两段曲线绘成一平滑曲线, 见图 7.2.4。

7.3.5 记录格式应符合表 7.3.5 的要求。

表 7.3.5 密度计法颗粒分析试验记录

试样编号:

小于 2 mm 试样占总试样质量的百分数		%	密度计号							
风干试样质量 (m_0)		g	量筒号							
风干含水率 (w_0)		%	颗粒密度 (ρ_s)							
干试样质量 (m_d)		g	颗粒密度校正值 (C_s)							
易溶盐含量 (DT)		%	弯液面校正值 (n)							
试样处理说明:			土样原始状态							
试验 时 间	下沉 时间 t (min)	悬液 温度 T ($^{\circ}\text{C}$)	密度计读数 (R_H)				土粒 沉降 距离 L (cm)	土粒 直径 d (mm)	小于 某粒 径试 样质 量百 分 数 (%)	小于 某粒 径占 试样 总质 量百 分 数 (%)
			密度 计读 数 R	温度 校正 值 m_T	分散 剂校 正值 C_D	$R_M = R + m_T + n - C_D$				
	0.5									
	1									
	2									
	5									
	30									
	120									
	1440									

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

7.4 移液管法

7.4.1 本试验应采用下列仪器设备

1 移液管: 容积 25 mL, 见图 7.4.1。

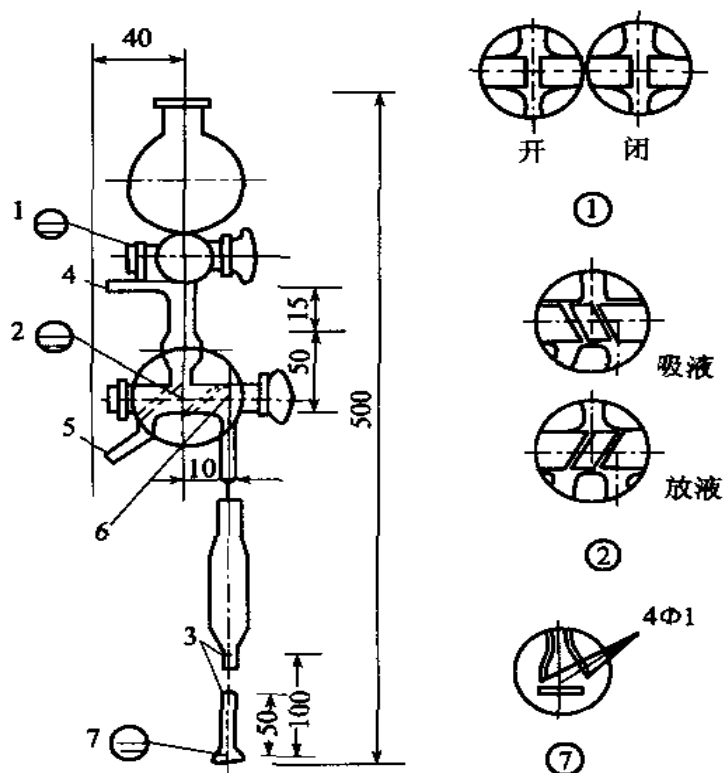


图 7.4.1 移液管装置

1—二通阀；2—三通阀；3—移液管刻度；4—接吸球；
5—放液口；6—移液管容积 ($25\text{ mL} \pm 0.5\text{ mL}$)；7—移液管口

- 2 小烧杯：容积 50 mL，称量准确至 0.001 g。
- 3 分析天平：称量 200 g，分度值 0.001 g。
- 4 恒温水槽：量程 $0^{\circ}\text{C} \sim 100^{\circ}\text{C}$ ，分度值 0.5°C 。
- 5 其他设备同本标准密度计法第 7.3.1 条。

7.4.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 称取代表性试样（黏土 10~15 g、砂土 20 g），准确至 0.001 g，并按本标准密度计法第 7.3.3 条第 1~6 款各步骤制备悬液。

2 将装置悬液的量筒置于恒温水槽中至悬液温度稳定，测记悬液温度，准确至 0.5°C 。

3 按本规程式 (7.3.4—4) 计算粒径，小于 0.05、0.01、0.005、0.002 mm 和其他所需粒径下沉一定深度需要静置的时间，可查表 7.4.2。

表 7.4.2 土粒沉降时间表

土粒 比重	粒径 (cm)	沉降 距离 (cm)	10℃			15℃			16℃			17℃			18℃			19℃			20℃			21℃			22℃			23℃			24℃			25℃			
			h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s	h	min	s				
2.60	0.05	10		1	0			57			51			50			49			47			46			45			44			43			42			41	
	0.01			25	3			23	50		21	19		20	48		20	17		19	46		19	18		18	50		18	22		17	57		17	33		17	10
	0.005		1	40	12	1	35	22	1	25	50	1	23	11	1	21	7	1	19	4	1	17	11	1	15	20	1	13	30	1	11	50	1	10	11	1	8	41	
	0.002		10	26	17	9	56	0	8	52	59	8	39	52	8	26	55	8	14	8	8	2	24	7	50	49	7	39	22	7	28	56	7	18	37	7	9	17	
2.65	0.05	10			58			51			50			48			47			46			45			44			43			42			41			40	
	0.01			24	17			21	12		20	41		20	10		19	39		19	9		18	41		18	16		17	49		17	25		17	2		16	38
	0.005		1	37	7	1	24	50	1	22	44	1	20	40	1	18	38	1	16	37	1	14	46	1	13	5	1	11	17	1	9	38	1	8	8	1	6	32	
	0.002		10	7	1	8	50	10	8	37	5	8	24	10	8	11	25	7	58	50	7	47	17	7	36	45	7	25	29	7	15	12	7	5	53	6	55	50	
2.70	0.05	10			57			49			48			47			46			45			44			43			42			41			40			39	
	0.01			23	34			20	37		20	3		19	35		19	5		18	37		18	10		17	43		17	19		16	54		16	32		16	8
	0.005		1	34	15	1	22	26	1	20	14	1	18	20	1	16	20	1	14	29	1	12	40	1	10	52	1	9	13	1	7	36	1	6	8	1	4	33	
	0.002		9	49	3	8	35	14	8	21	25	8	9	37	7	57	3	7	45	31	7	34	8	7	22	36	7	12	39	7	2	31	6	53	20	6	43	26	
2.75	0.05	10			55			48			47			46			44			43			42			41			40			39			39			38	
	0.01			22	54			20	1		19	31		19	1		18	31		18	4		17	39		18	12		17	48		16	26		16	4		15	41
	0.005		1	31	34	1	20	5	1	18	3	1	18	2	1	14	4	1	12	15	1	10	35	1	8	49	1	7	12	1	5	44	1	4	17	1	2	44	
	0.002		9	32	20	8	20	30	8	7	48	8	7	16	7	4	53	7	31	32	7	21	11	7	10	6	7	0	0	6	50	51	6	41	48	6	32	2	
2.80	0.05	10			53			47			45			44			43			42			41			40			39			38			37			37	
	0.01			22	16			19	26		18	56		18	29		18	2		17	35		17	18		16	44		16	20		15	58		15	37		15	16
	0.005		1	29	5	1	17	46	1	15	45	1	13	55	1	12	7	1	10	19	1	8	11	1	6	56	1	5	20	1	3	54	1	2	28	1	1	3	
	0.002		9	16	48	8	6	0	7	53	29	7	42	0	7	30	40	7	19	28	7	8	24	6	58	20	6	48	22	6	39	21	6	31	26	6	21	36	

4 用搅拌器沿悬液深度上下搅拌 1 min, 取出搅拌器并开动秒表, 将移液管的二通阀置于关闭位置, 三通阀置于移液管和吸球相通位置, 根据各粒径所需的静置时间, 提前 10 s 将移液管放入悬液中, 浸入深度 10 cm 处, 用吸球吸取悬液。吸取量不得少于 25 mL。

5 旋转三通阀, 使吸球与放液口相通让多余的悬液从放液口流出并收集倒回原悬液中。

6 将移液管下口放入烧杯内, 旋转三通阀, 使吸球与移液管相通, 用吸球将悬液挤入烧杯中, 从上口倒入小量水, 旋转二通阀, 使上下口连通, 水则通过移液管将悬液洗入烧杯中。

7 将烧杯内悬液蒸干, 并在 105 ℃ ~ 110 ℃ 温度下烘至恒量, 准确至 0.001 g。

7.4.3 试验结果应按下式计算及制图:

1 小于某粒径的试样质量占总试样质量的百分数:

$$X = \frac{m_x \cdot V_x}{V \cdot m_d} \times 100 \quad (7.4.3)$$

式中 X ——小于某粒径的试样质量占总试样质量的百分数 (%), 计算至 0.1 %;

V_x ——悬液总体积 (= 1 000 mL);

V ——吸取悬液的体积 (= 25 mL);

m_x ——吸取 25 mL 悬液中的干试样质量 (g);

m_d ——干试样质量 (g)。

2 颗粒大小分布曲线应按本规程第 7.2.4 条第 2 款绘制。当移液管法与筛析法联合分析时, 应将试样总质量折算后再绘制颗粒大小分布曲线, 并将两段曲线连成一条平滑的曲线见本规程图 7.2.4 中 02 号线。

7.4.4 记录格式应符合表 7.4.4 的要求。

表 7.4.4 移液管法颗粒分析记录

试样编号					土颗粒密度			g/cm^3
干试样质量					g	锥形瓶号		
小于 2 mm 颗粒占总试样质量百分数					%	烧杯号		
小于 0.075 mm 颗粒占总试样质量百分数					%	量筒号		
粒径 (mm)	杯 号	杯加试 样质量 (g)	杯质量 (g)	吸管内干 试样质量 (g)	1L 量筒内干 试样的质量 (g)	小于某粒径试 样质量百分数 (%)	小于某粒径试样占 总试样质量百分数 (%)	
0.05								
0.01								
0.005								
0.002								

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

8 界限含水率试验

8.1 一般规定

8.1.1 液限是黏性土从可塑状态过渡到流动状态时的界限含水率；塑限是黏性土从可塑状态过渡到半固体状态时的界限含水率；缩限是土由半固体状态过渡到固体状态时且体积不再收缩时的界限含水率。

8.1.2 本试验的目的是测定黏性土的液限、塑限和缩限，用于计算塑性指数、液性指数和土的分类。

8.1.3 本试验适用于粒径小于 0.5 mm 颗粒组成的土。

8.2 液、塑限联合测定法

8.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 液塑限联合测定仪如图 8.2.1 所示。

1) 圆锥质量 76 g，锥角 30°。

2) 读数显示：宜采用光电式、游标式和百分表式。

3) 试样杯：直径 40~50 mm，高 30~40 mm。

2 天平：称量 200 g，分度值 0.01 g。

3 其他：烘箱、干燥器、称量盒、调土刀、凡士林等。

8.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 本试验应采用保持天然含水率的土样制备试样。在无法保持土的天然含水率情况下，也可用风干土制备试样。

2 当采用天然含水率的土样时，应剔除大于 0.5 mm 的颗粒，然后分别按下沉深度为 3~5 mm、9~11 mm 及 16~18 mm（或分别按接近液限、塑限和二者的中间状态）制备不同稠度的土膏，静置湿润。静置时间可根据含水率的大小而定。

3 当采用风干土样时，取过 0.5 mm 筛的代表性试样约 200 g，分成 3 份，分别放入 3 个盛土皿中，加入不同数量的纯水，使分别达到本条第 2 款中所述的 3 种稠度状态，调成均匀土膏，然后用玻璃和湿毛巾盖住或放在密封的保湿器中，静置 24 h。

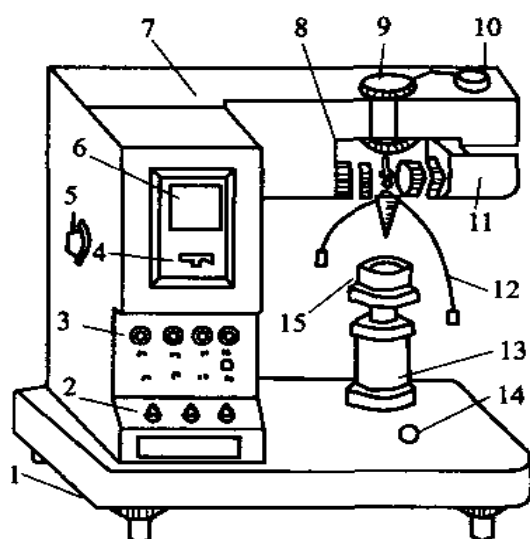


图 8.2.1 光电式液塑限联合测定仪

- 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；15—试样杯

4 将制备好的土膏用调土刀加以充分调拌均匀，密实地填入试样杯中，尽量使土中空气逸出。高出试样杯的余土用调土刀刮平，将试样杯安放在仪器升降座上。

5 在圆锥仪锥体上涂以薄层凡士林。接通电源，使电磁铁吸稳圆锥仪（对于游标式或百分表式，提起锥杆，用旋钮固定）。

6 调节屏幕准线，使初始读数为零（游标尺或百分表读数调零）。调整升降台，使圆锥仪锥尖刚好接触土面，指示灯亮时圆锥仪在自重作用下沉入试样中（游标式或百分表式用手扭动旋钮，放开锥杆）。约经 5 s 后立即测读圆锥下沉深度。取出试样杯，取 10 g 以上的试样 2 个装入称量盒内，测定其含水率。

7 重复本条第 4~6 款步骤，测试其余两个试样的圆锥下沉深度和含水率。

8.2.3 试验结果应按下列公式计算及绘图：

1 试样的含水率按本程式 (4.2.3) 计算。

2 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如图 8.2.3 的关系曲线。三点应连成一条直线，如图中 A 线所示。当三点不在一条直线上，则通过高含水率这一点与其余两点连成两条直线，在圆锥下沉深度为 2 mm 处可查得相应的两个含水率。当这两个含水率的差值小于 2% 时，应以这两点的含水率平均值与高含水率的点连成一条直线，如图中 B 线所示。当这两个含水率之差值大于或等于 2% 时，则应再补做试验。

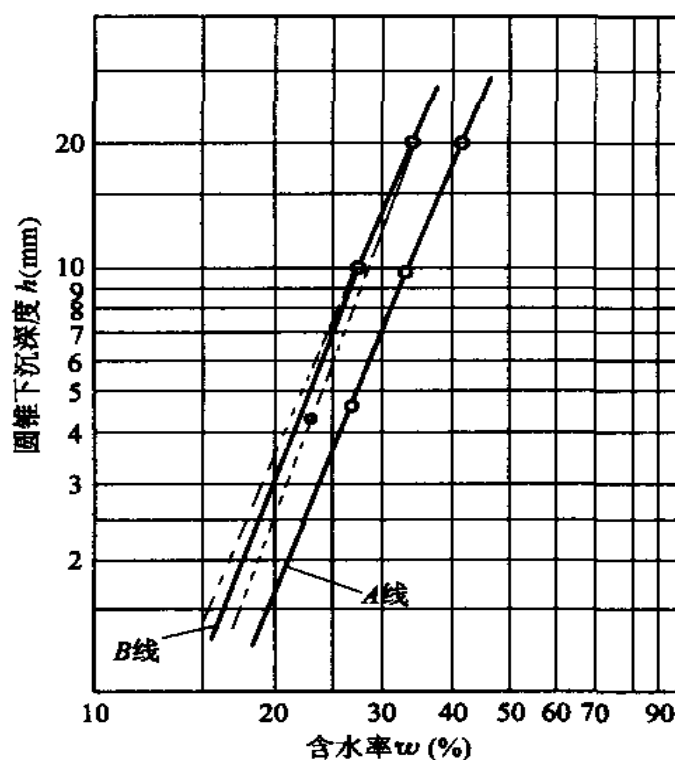


图 8.2.3 圆锥下沉深度与含水率关系曲线

3 在图 8.2.3 中，下沉深度为 17 mm 所对应的含水率为液限；下沉深度为 10 mm 所对应的含水率为 10 mm 液限；下沉深度为 2 mm 所对应的含水率为塑限。取值以百分数表示，准确至 0.1%。

4 塑性指数

$$I_p = w_L - w_p \quad (8.2.3-1)$$

式中 I_p ——塑性指数；
 w_L ——液限（%）；
 w_p ——塑限（%）。

5 液性指数

$$I_L = \frac{w - w_p}{I_p} \quad (8.2.3-2)$$

式中 I_L ——液性指数，计算至 0.01；
 w ——天然含水率（%）。

6 含水比

$$a_w = \frac{w}{w_L} \quad (8.2.3-3)$$

式中 a_w ——含水比。

8.2.4 记录格式应符合表 8.2.4 的要求。

表 8.2.4 液、塑限联合试验记录

试样 编号	圆锥 下沉 深度 h (mm)	称 量 盒 号	湿试样 质量 (g)	干试样 质量 (g)	含 水 率 (%)	液 限 (%)	液 限 (%)	塑 限 (%)	土 的 分 类
			(1)	(2)	(3) $= \left(\frac{(1)}{(2)} - 1 \right) \times 100$	(4) $h = 17 \text{ mm}$	(5) $h = 10 \text{ mm}$	(6) $h = 2 \text{ mm}$	

复核_____年____月____日 试验_____年____月____日

8.3 碟式仪液限试验

8.3.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 碟式液限仪：由土碟、支架及底座组成，见图 8.3.1。其底座由硬橡胶制成，并配有一定形状和尺寸的专用划刀。

2 天平：称量 200 g，分度值 0.01 g。

3 其他：烘箱、干燥器、称量盒、调土刀等。

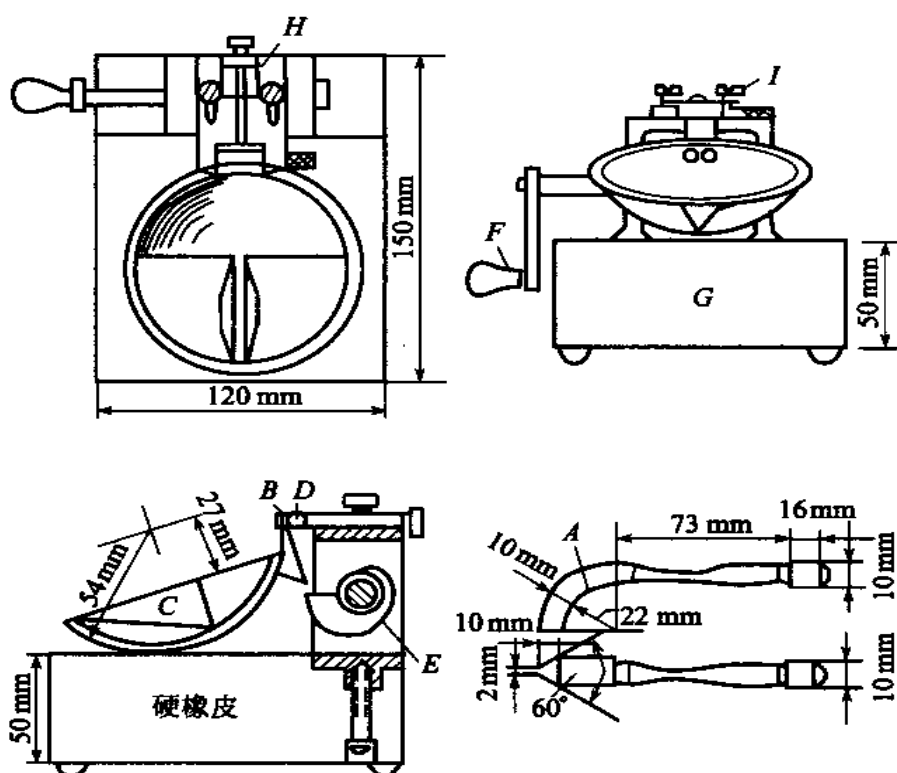


图 8.3.1 碟式液限仪

A—划刀；B—销子；C—土碟；D—支架；E—蜗轮；
F—摇柄；G—底座；H—调整板；I—螺丝

8.3.2 碟式仪在试验前的检查校正应按下列步骤进行：

- 1 检查连接土碟的销子 B 是否磨损。
- 2 上紧固定螺丝 I。

3 用划刀柄（直径为 10mm）为量度，前后移动调整板 H，使土碟底至底座 G 之间落高为 10 mm，拧紧螺丝 I，固定调整板。

8.3.3 试验操作应按下列步骤进行：

1 取已过 0.5 mm 筛的天然或风干试样约 100 g，放在调土皿中，加入纯水，用调土刀进行反复拌匀。

2 由调土皿中取一部分试样，平铺于土碟的前半部，如图 8.3.1 中。铺土时必须注意防止在试样中混入气泡，并用调土刀

将试样面修平，使中间最厚处为 10 mm，将多余试样仍放回原来的调土皿中。以蜗轮为中心，用划刀自后向前沿土碟中央将试样划成槽缝清晰的两半，如图 8.3.3 (a)。为避免槽缝边扯裂或者是试样在土碟中滑动，允许从前到后，再从后到前多划几次，将槽逐步加深，以代替一次划槽。最后一次从后至前划槽能明显地接触碟底，但宜减少划槽的次数。

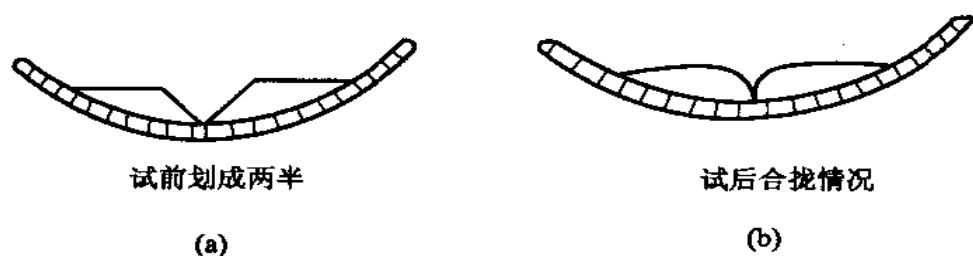


图 8.3.3 划槽及合拢状况

3 以 2 r/s 的速率转动摇柄，使土碟反复起落，坠击于底座上，数其击数，直至试样两边在槽底的合拢长度为 13 mm 为止，如图 8.3.3 (b) 所示。记录击数，并在槽的两边采取试样 10 g 左右，测定其含水率。

4 将土碟中所剩余的试样仍移到调土皿中，加水充分拌和均匀，仍按本条第 1~3 款至少再做 2 次试验。这 2 次土的稠度应使合拢长度为 13 mm 时所需击数在 15~35 次之间（25 次以上和以下各 1 次），然后测定各击次下试样的相应含水率。

8.3.4 试验结果应按下式计算及制图：

1 各击数下合拢时试样的相应含水率

$$w_N = \left(\frac{m_N}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (8.3.4)$$

式中 w_N —— N 击数下试样的含水率（%），计算至 0.1%；

m_N —— N 击数下试样的质量（g）；

m_d ——烘干试样的质量（g）。

2 根据计算结果，在单对数坐标纸上以含水率为纵坐标，以击数为横坐标，绘制含水率与击数关系曲线，见图 8.3.4。曲

线上击数 25 次所对应的含水率，即为该试样的液限。

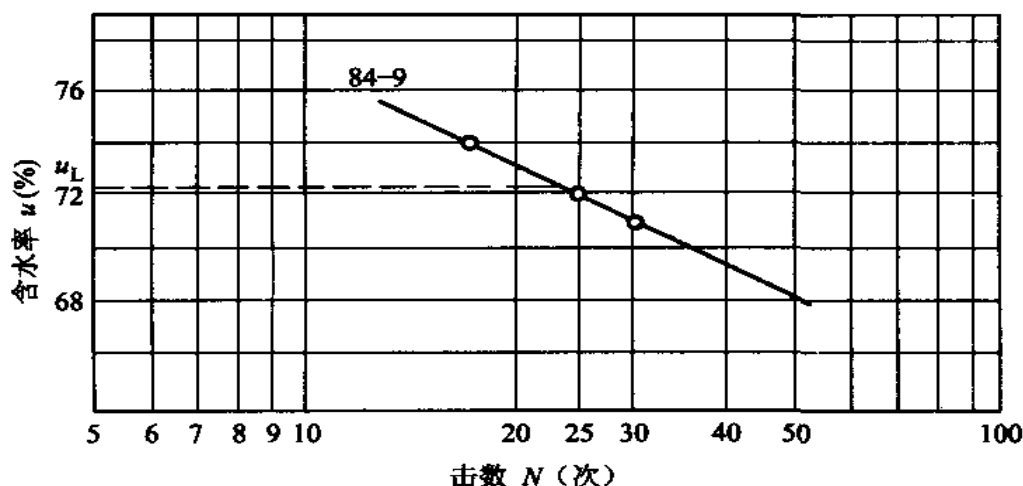


图 8.3.4 含水率与击数关系曲线

8.3.5 记录格式应符合表 8.3.5 的要求。

表 8.3.5 碟式仪液限试验记录

试样编号	击数 N	盒号	湿试样质量 m (g)	干试样质量 m _d (g)	含水率 w (%)	液限 w _L (%)	塑限 w _p (%)	塑性指数 I _p	液性指数 I _L
			(1)	(2)	(3) = $\left(\frac{(1)}{(2)} - 1\right) \times 100$	(4)	(5)	(6)	(7) = $\frac{(3) - (5)}{(6)}$

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

8.4 搓条法塑限试验

8.4.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 毛玻璃板：约 200 mm × 300 mm。
- 2 直径 3 mm 的金属丝或卡尺。
- 3 其他：同本规程第 8.3.1 条第 2~3 款。

8.4.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 取 0.5 mm 筛下的代表性试样 100 g，加纯水拌和均匀，湿润过夜；或者直接从液限试验制备好的试样中取约 30 g 土备用。

2 为使试样的含水率接近塑限,可先将试样在手中捏揉至不黏手,或用吹风机稍微吹干,然后将试样捏扁。如出现裂缝,表示试样已接近塑限。

3 取接近塑限的试样8~10 g,用手搓成椭圆形,然后用手掌在毛玻璃板上搓滚。搓滚时手掌要均匀施加压力于土条上,不得使土条在毛玻璃板上作无力滚动,土条长度不宜超过手掌宽度,土条不得产生空心现象。

4 土条搓成直径3 mm时未产生裂缝或断裂,表示试样的含水率高于塑限,应将土条捏成一团,重新搓滚,直至土条直径达3 mm时产生裂缝并开始断裂为止。当土条直径大于3 mm时即断裂,表示试样含水率低于塑限,应弃掉,重新取样做试验。若土条在任何含水率下始终搓不到3 mm即开始断裂,则该土无塑性。

5 取直径符合3 mm断裂土条3~5 g放入称量盒内,盖紧盒盖,测定其含水率,此含水率即土的塑限。

8.4.3 试验结果应按下式计算:

$$w_p = \left(\frac{m}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (8.4.3)$$

式中 w_p ——塑限(%),计算至0.1%;

m ——湿试样质量(g)。

8.4.4 本试验应进行两次平行测定,允许平行差值应符合本规程第4.2.4条的规定,取其算术平均值。

8.4.5 记录格式应符合表8.4.5的要求。

表 8.4.5 搓条法塑限试验记录

试样编号	盒号	湿试样质量 (g)	干试样质量 (g)	含水率 (g)	塑 限 (%)
		(1)	(2)	(3) = $\left(\frac{(1)}{(2)} - 1 \right) \times 100$	(4)

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

8.5 收缩皿法缩限试验

8.5.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 收缩皿：金属制成，直径 45~50 mm，高 20~30 mm。
- 2 天平：称量 500 g，分度值 0.01 g。
- 3 蜡、烧杯、细线、针。
- 4 其他应符合本规程第 8.2.1 条第 3 款的要求。

8.5.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 取已过 0.5 mm 筛的代表性试样约 200 g，搅拌均匀，加纯水制备成含水率等于或略大于 10 mm 液限的试样。

2 在收缩皿内涂一薄层凡士林，将试样分层填入收缩皿中，每次填入后，将收缩皿底拍击试验桌桌面，直至驱尽气泡，在收缩皿内填满试样后刮平表面。

3 擦净收缩皿的外部，称收缩皿和试样的总质量，准确至 0.01 g。

4 将填满试样的收缩皿放在通风处晾干，当试样颜色逐渐变淡时，放入烘箱内烘至恒量。取出后立即置于干燥器内冷却至室温，称收缩皿和干试样的总质量，准确至 0.01 g。

5 用蜡封法测定干试样的体积。

8.5.3 试验允许差应符合本规程第 4.2.4 条规定。

8.5.4 试验结果应按下列式计算：

$$w_s = w - \frac{V_0 - V_d}{m_d} \cdot \rho_w \times 100 \quad (8.5.4)$$

式中 w_s ——土的缩限（%），计算至 0.1%；

w ——制备时湿试样的含水率（%）；

V_0 ——湿试样体积（cm³）；

V_d ——干试样体积（cm³）；

ρ_w ——水的密度（g/cm³）。

8.5.5 记录格式应符合表 8.5.5 的要求。

表 8.5.5 收缩皿法缩限试验记录

试 样 编 号							
收 缩 皿 编 号							
湿试样质量	(g)	(1)					
干试样质量	(g)	(2)					
含水率	(%)	(3)	$\left(\frac{(1)}{(2)} - 1\right) \times 100$				
湿试样体积	(cm ³)	(4)					
干试样体积	(cm ³)	(5)					
收缩体积	(cm ³)	(6)	(4) - (5)				
收缩含水率	(%)	(7)	$\frac{(6)}{(2)} \rho_w \times 100$				
缩限	(%)	(8)	(3) - (7)				
平均值	(%)	(9)					

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

9 湿化试验

9.0.1 土的湿化是土体在水中发生崩解的现象。

9.0.2 本试验的目的是测定黏性土在水中的湿化速度及崩解状态。

9.0.3 本试验适用于具有原状结构的黏性土和按工程需要用扰动土制备的击实土。

9.0.4 本试验应采用下列仪器设备：

1 湿化仪：由浮筒、网板、玻璃水槽组成，如图 9.0.4。

1) 浮筒：长颈锥体，下有挂钩，颈上有刻度，分度值为 5。

2) 网板：10 cm×10 cm 金属方格网，孔径 1 cm，可挂在浮筒下端。

3) 玻璃水槽：宽约 15 cm，高约 70 cm，长度视需要而定，内盛清水。

2 天平：称量 500 g，分度值 0.01 g。

3 其他：切土刀、钢尺、秒表、时钟

等。

9.0.5 试验操作应按下列步骤进行：

1 从原状土或按工程需要用扰动土制备的重塑土样中，切取边长为 5 cm 的立方体试样。

2 按本规程第 4.2 节和第 5.2 节规定分别测定土的含水率和密度。

3 将试样放在金属网板中央，并悬挂在浮筒下端，然后手持浮筒颈端，迅速将试样浸入水槽中，开动秒表。

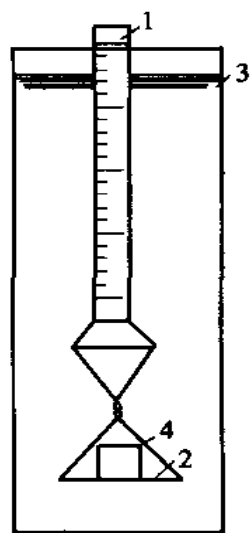


图 9.0.4 湿化仪示意

1—浮筒；2—网板；
3—水槽；4—试样

4 立即测记开始时浮筒齐水面处刻度的瞬间读数及开始时间。

5 按1、5、10、30、60 min, 2、3、4 h……测记浮筒齐水面处的刻度读数, 并描述试样的崩解情况(粉状、片状、块状)。根据试样崩解的快慢, 可适当缩短或增长测读时间间隔。

6 当试样完全崩解通过网格落下后, 试验即告结束。如果试样经两昼夜不崩解可终止试验, 则记下试样在水中的情况。

9.0.6 试验结果应按下式计算:

$$A_t = \frac{R_t - R_0}{100 - R_0} \times 100 \quad (9.0.5)$$

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刻度的瞬间稳定读数。

9.0.7 记录格式应符合表 9.0.7 的要求。

表 9.0.7 湿化试验记录

试样编号		密 度 (g/cm ³)		含水率 (%)	试 样 状 态		仪 器 号
试验开始时间		浮筒读数 经过时间		浮筒读数	浮筒读数 差 值	崩解量(%)	崩解情况描述
年	月	h	min	R_t	$R_t - R_0$	$A_t = \frac{R_t - R_0}{100 - R_0} \times 100$	
d: ____ h: ____ min: ____							
试验开始浮筒读数 R_0							

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

10 最大分子吸水率试验

10.0.1 土的最大分子吸水率是土粒表面由分子力所吸引的薄膜水的质量与干土质量的比值,以百分数表示。

10.0.2 本试验的目的是测定充分饱和的土承受1000倍重力的离心作用1h后的含水率,该含水率视为土的最大分子吸水率。

10.0.3 本试验采用离心含水当量法测定土的最大分子吸水率。适用于粒径小于0.5 mm的土。

10.0.4 本试验应采用下列仪器设备:

1 离心机:其尺寸与运转能确保在试样的重心处产生相当于1000倍重力的离心力达1h。

2 离心枢轴杯:带有盖子,内装古氏坩埚及相应的支承架。坩埚离杯底距离为13 mm,如图10.0.4所示。在离心力作用下所排出的水不与坩埚或土接触。

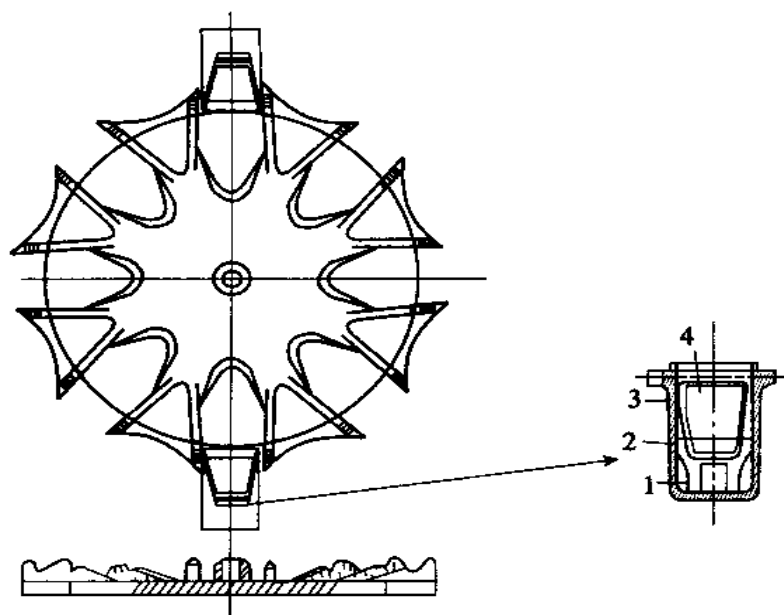


图 10.0.4 离心机主零件示意

1—坩埚支承架;2—滤纸;3—离心枢轴杯;4—坩埚

3 古氏坩埚:容积约为 25 mL,具有底孔的瓷坩埚。其外部尺寸:高约 37.5 mm,顶部直径 25 mm,底部直径 20 mm,如图 10.0.4。

4 天平:称量 200 g,分度值 0.01 g。

5 其他:2 mm 筛、称量盒、保湿器、烘箱等。

10.0.5 试验操作应按下列步骤进行:

1 试样制备应按本规程第 3.2.2 条第 2~3 款的规定进行。从制备好的小于 0.5 mm 的试样中取 2 份,每份 5 g,分别倒入底面铺湿滤纸的两个坩埚中。

2 将装有试样的坩埚置于盛有纯水的盆中,水深应高出试样顶面 5 mm,静置 8 h 以上,当试样表面出现自由水时,表示试样已饱和,取出坩埚放入保湿器中再静置 12 h,以保证试样中水分均匀分布。

3 取出坩埚,吸去试样表面的自由水,放入离心枢轴杯中,将成对的坩埚放在离心机的对称位置上。

4 控制离心机的内室温度在 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$,使离心机在 5 min 内达到要求的转速(约为 2300 r/min),在该速度下旋转 1 h,然后逐渐减速,在 5 min 内停止转动。

5 取出两个坩埚内的试样分别放入两个称量盒内,盖紧上盖,按本规程第 4.2.2 条步骤测定该试样此时的含水率即为离心含水当量。

10.0.6 试验结果应按下列式计算:

$$w_{\text{cme}} = \left(\frac{m_a}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (10.0.6)$$

式中 w_{cme} ——土的离心含水当量(%),计算至 0.1%;

m_a ——离心后的试样质量(g);

m_d ——烘干试样质量(g)。

10.0.7 本试验应进行平行测定,平行测定允许差值应符合:当 $w_{\text{cme}} \leq 15\%$ 时,不大于 1%;当 $w_{\text{cme}} > 15\%$ 时,不大于 2%。取算术平均值。

10.0.8 记录格式应符合表 10.0.8 的要求。

表 10.0.8 离心含水当量试验记录

试样 编号	称量 盒号	离心后的 试样质量 (g)	烘干试样 质量 (g)	离心含水当量 (%)	离心含水当量 平均值 (%)	备 注
		(1)	(2)	$\left(\frac{(1)}{(2)} - 1\right) \times 100$		

复核_____年__月__日 试验_____年__月__日

11 相对密度试验

11.1 一般规定

11.1.1 相对密度是无黏性土处于最松散孔隙比与天然状态（或给定）孔隙比之差和最松散态孔隙比与最紧密状态孔隙比之差的比值。

11.1.2 本试验测定砂的最小干密度采用漏斗法或量筒法，测定最大干密度采用振动锤击法；测定碎石类土的最小和最大干密度分别采用固定体积法和振动台振动加重物法。

11.1.3 砂的相对密度试验适用于颗粒粒径小于 5 mm，且粒径 2~5 mm 的试样质量不大于试样总质量的 15% 及粒径小于 0.075 mm 的颗粒质量不大于总土质量的 12%；砾和碎石类土的相对密度试验适用于最大粒径为 60 mm，且粗颗粒中小于 0.075 mm 的颗粒含量不得大于 12%。

11.2 砂的相对密度试验

11.2.1 本试验应采用仪器设备：

- 1 量筒：容积 500 mL 和 1000 mL，后者内径应大于 6 cm；
- 2 长颈漏斗：颈管内径约 1.2 cm，颈口磨平，见图 11.2.1—1；
- 3 锤形塞：直径约 1.5 cm 的圆锥体镶于铁杆上；
- 4 砂面拂平器，见图 11.2.1—1；
- 5 金属容器：容积 250 mL，内径 5 cm，高 12.7 cm；容积 1000 mL，内径 10 cm，高 12.7 cm；
- 6 振动叉，见图 11.2.1—2；
- 7 击锤：锤质量 1.25 kg，落高 15 cm，锤底直径 5 cm，见

图 11.2.1—2;

8 天平: 称量 5 000 g, 分度值 1 g。

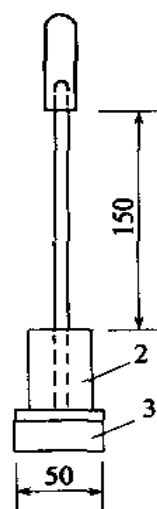
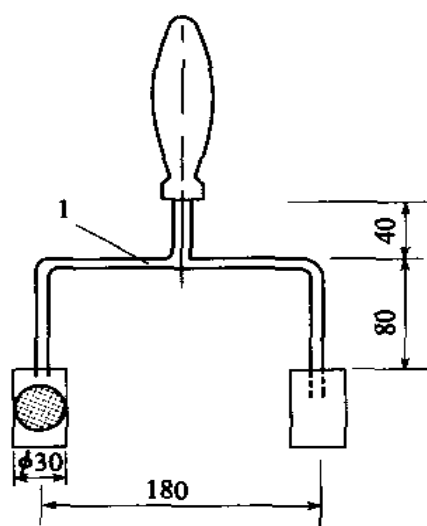
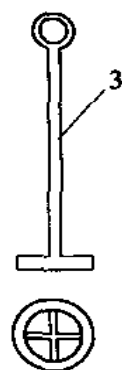
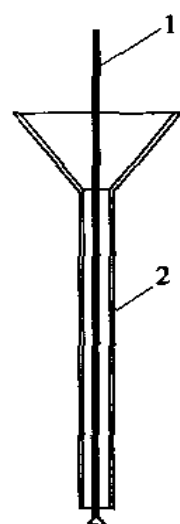


图 11.2.1—1 漏斗及拂平器

1—锥形塞; 2—长颈漏斗;
3—砂面拂平器

图 11.2.1—2 振动叉及击锤

1—振动叉; 2—击锤; 3—锤座

11.2.2 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的土样, 用手搓匀或用圆木棍在橡皮板上碾散, 然后过 5 mm 筛, 并剔除大于 5 mm 的颗粒。拌合均匀后取 1 500 g 试样进行试验。

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, 一并放入容积 1 000 mL 的量筒中, 使其下端与筒底接触。

3 称取试样 700 g, 准确至 1 g, 均匀倒入漏斗中, 将漏斗与塞杆同时提高, 移动塞杆使锥体略离开管口, 管口应经常保持高出砂面约 1~2 cm, 使试样缓慢且均匀的落入量筒中。

4 待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, 然后测读砂样的体积, 估读至 5 mL。

5 用手掌或橡皮板堵住量筒口, 将量筒倒转, 然后缓慢的转回到原来位置, 如此重复几次, 记下试样在量筒内所占体积的

最大值, 估读至 5 mL。

6 取上述两种方法测得的较大体积值, 计算最小干密度。

7 当试样中不含大于 2 mm 的颗粒时, 可取试样 400 g, 采用 500 mL 的量筒, 按上述步骤进行试验。

11.2.3 最大干密度试验应按下列步骤进行:

1 取代表性试样约 4 kg, 按本规程第 11.2.2 条第 1 款进行处理。

2 将试样分三次倒入金属容器内进行振击。第一次取试样 600~800 g (其数量应控制在振击后试样体积略大于容器容积的 1/3) 倒入 1000 mL 的容器内, 用振动叉以每分钟各 150~200 次的速度敲打容器两侧, 并在同一时间内用击锤锤击试样表面, 每分钟 30~60 次, 直至试样体积不变为止 (一般约 5~10 min), 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 按本条第 2 款步骤进行后两次的装样、振动和锤击, 第三次装样时应先在容器口上安装套环。

4 最后一次振毕, 取下套环, 用修土刀齐容器顶面刮去多余试样, 称容器和试样总质量, 准确至 1 g。

5 当试样中不含大于 2 mm 的颗粒时, 可每次取试样 500 g, 用 250 mL 金属容器, 分 3 层按上述步骤进行试验。

11.2.4 试验结果应按下列公式计算:

1 最小与最大干密度

$$\rho_{d \min} = \frac{m_d}{V_{\max}} \quad (11.2.4-1)$$

$$\rho_{d \max} = \frac{m_d}{V_{\min}} \quad (11.2.4-2)$$

式中 $\rho_{d \min}$ ——最小干密度 (g/cm^3); 计算至 0.01 g/cm^3 ;

$\rho_{d \max}$ ——最大干密度 (g/cm^3); 计算至 0.01 g/cm^3 ;

m_d ——试样干质量 (g);

$V_{\max}$ ——最松散状态的试样体积 (cm^3);

$V_{\min}$ ——最密实状态的试样体积 (cm^3)。

2 最大与最小孔隙比

$$e_{\max} = \frac{\rho_s}{\rho_{d \min}} - 1 \quad (11.2.4-3)$$

$$e_{\min} = \frac{\rho_s}{\rho_{d \max}} - 1 \quad (11.2.4-4)$$

式中 $e_{\max}$ ——最大孔隙比；

$e_{\min}$ ——最小孔隙比；

ρ_s ——土的颗粒密度 (g/cm^3)。

3 相对密度

$$D_r = \frac{e_{\max} - e_0}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (11.2.4-5)$$

$$D_r = \frac{\rho_{d \max}(\rho_d - \rho_{d \min})}{\rho_d(\rho_{d \max} - \rho_{d \min})} \quad (11.2.4-6)$$

式中 D_r ——相对密度，计算至 0.01；

e_0 ——天然孔隙比或填土的孔隙比；

ρ_d ——天然干密度或填土的干密度 (g/cm^3)。

11.2.5 最小干密度与最大干密度均应进行平行测定，平行差值不得大于 $0.03 \text{ g}/\text{cm}^3$ ，取其算术平均值。

11.2.6 记录格式应符合表 11.2.6 的要求。

表 11.2.6 砂的相对密度试验记录

试样编号	试样说明						
	试验项目			最大孔隙比		最小孔隙比	
	试验方法			漏斗法		锤击法	
试样加容器质量		(1)					
容器质量		(2)					
试样质量		(3)	(1) - (2)				
试样体积		(4)					
干密度		(5)	(3) + (4)				

续表 11.2.6

试样编号			试样说明				
	试验项目			最大孔隙比		最小孔隙比	
	试验方法			漏斗法		锤击法	
平均干密度		(6)					
颗粒密度		(7)					
孔隙比		(8)					
天然干密度		(9)					
天然孔隙比		(10)					
相对密度		(11)					

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

11.3 碎石类土的相对密度试验

11.3.1 本试验应采用下列仪器设备:

1 最大干密度试验装置,如图 11.3.1 所示。它由振动台、试样筒、套筒、加重盖板及加重物组成。

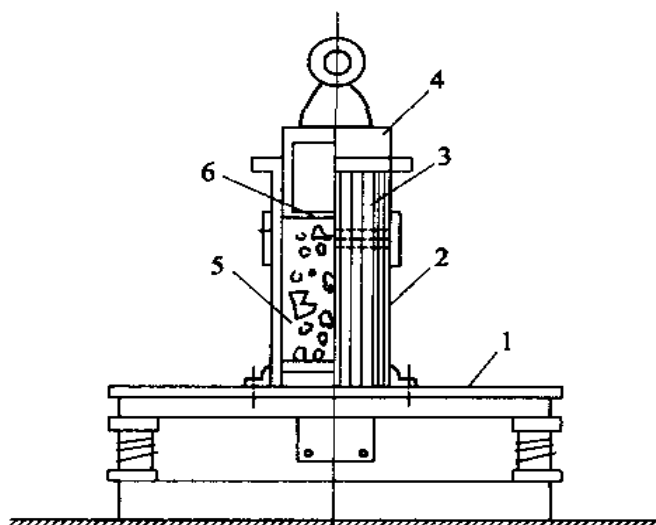


图 11.3.1 最大干密度试验装置

1—振动台; 2—试样筒; 3—套筒; 4—加重物; 5—试样; 6—加重盖板

1) 振动台: 具有隔振装置的振动台。台面尺寸为 762 mm

×762 mm, 振动台的负荷应满足试样筒、套筒、加重盖板、加重物及试样等总质量要求。振动台频率应为 40~60 Hz, 振幅为 0~2 可调。

- 2) 试样筒: I 及 II 号试样筒的尺寸见表 11.3.1。试样筒体积应进行校准: 用量程 0 ~ 300 mm, 分度值 0.05 mm, 的游标卡尺直接测量试样筒的尺寸, 并绘制出体积与高度的关系曲线以备使用。测量时准确到 0.1 mm。计算体积时, I 号试样筒准确到 25 cm³, II 号筒准确到 10 cm³。

表 11.3.1 试样筒尺寸

试样筒编号	内径 D (cm)	高度 H (cm)	体积 V (cm ³)	允许最大粒径 $d_{\max}$ (mm)	试样质量 m (kg)
I	30	34	24033	60	40-50
II	20	23	7226	20	10-15

- 3) 套筒: 应与试样筒紧固连接。

- 4) 加重盖板: 盖板为 1.2 cm 厚的钢板, 直径略小于试样筒, 中心应有 15 mm 穿通的提吊螺孔。

- 5) 加重物: 每一种尺寸的试样筒有一重物。对所用的试样筒, 加重盖板与加重物的总压力为 14 kPa。

- 2 测针架及测针: 测针的分度值为 0.1 mm。

- 3 灌注设备: 带管嘴的漏斗。管嘴直径 10~20 mm, 漏斗喇叭口径 $\phi 100 \sim 150$ mm, 管嘴长度视套筒长度而定。

- 4 试验筛:

- 1) 粗筛: 孔径分别为 60、40、20、10、5 mm;

- 2) 细筛: 孔径分别为 5、2、1、0.5、0.25、0.125、0.075 mm。

- 5 台秤: 称量 50 kg, 分度值 50 kg; 称量 10 kg, 分度值 5 kg。

- 6 其他设备: 搅拌盘、提吊设备、铁铲、毛刷、秒表、钢

尺、卡尺、称料筒、大瓷盘等。

11.3.2 试样制备应选用代表性试样在 $105^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ 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。

11.3.3 最小干密度试验应按下列步骤进行：

1 根据试样的最大粒径，选用灌注设备及试样筒。称筒质量。

2 对粒径小于 10 mm 的烘干试样，采用固定体积法。将拌匀的试样，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 $2 \sim 5\text{ cm}$ 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 25 mm 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 10 mm 的烘干试样，采用固定体积法。用大勺或小铲将试样填入试样筒内。装填时小铲应贴近筒内土面，使铲中试样徐徐滑入筒内，直至填土高出筒顶，余土高度不应超过 25 mm 为止，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步骤进行平行试验。每次测定值都列出，不取平均值。

5 对于超径料含量较多的粗颗粒土，为求得原级配的相对密度值，应进行最大粒径以下不同模型比的最小干密度系列试验。

11.3.4 最大干密度试验可采用干法或湿法按下列步骤进行：

1 干法：先拌匀烘干试样，将试样装填于试样筒内，称筒与试样总质量。装填方法与最小干密度方法相同。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，把加压盖板放在土上面依次安放好加重物。随即将振动台调整至最优振幅 0.64 mm ，振动 8 min 后，卸除加重物和套筒，测读试样高度，计算试样体积。

2 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 6 min。对于高含水率的试样，为了防止某些土在振动过程中产生颗粒跳动，振动 6 min 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 8 min 后，依次卸除加重物与套筒。测读试样高度，称试样筒与试样总质量。取代表性试样测含水率。

3 最大干密度测定应进行平行试验。每次测定值都列出，不取平均值。

11.3.5 试验结果应按下列公式计算：

1 最小、最大干密度和试样体积

1) 最小干密度

$$\rho_{d\min} = \frac{m_d}{V_c} \quad (11.3.5-1)$$

2) 最大干密度

$$\rho_{d\max} = \frac{m_d}{V_s} \quad (11.3.5-2)$$

3) 试样体积

$$V_s = V_c - (R_i - R_t) \cdot A \quad (11.3.5-3)$$

式中 V_c ——试样筒的体积 (cm^3)；

V_s ——试样体积 (cm^3)；

R_t ——振动后加压盖板上百分表的读数 (mm)；

R_i ——起始读数 (mm)；

A ——试样筒断面积 (cm^2)。

2 相对密度 D_r

$$D_r = \frac{\rho_{d\max} - (\rho_d - \rho_{d\min})}{\rho_d(\rho_{d\max} - \rho_{d\min})} \quad (11.3.5-4)$$

$$D_r = \frac{e_{\max} - e_0}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (11.3.5-5)$$

3 压实度

$$R_c = \frac{\rho_d}{\rho_{\max}} \quad (11.3.5-6)$$

式中 R_c ——压实度，以小数计。

4 密度指数：

$$I_D = \frac{\rho_d - \rho_{\min}}{\rho_{d\max} - \rho_{d\min}} \times 100 \quad (11.3.5-7)$$

式中 I_D ——密度指数。

11.3.6 记录格式应符合表 11.3.6 的要求。

表 11.3.6 碎石类土相对密度试验记录

试样编号		试样说明				
试验项目		最大孔隙比	最小干密度	最小孔隙比	最大干密度	
		e_{max}	ρ_{dmin}	e_{min}	ρ_{dmax}	
试验方法		干 法				
		湿 法				
试样加试样筒质量 (kg)						
试样筒质量 (kg)						
试样质量 (kg)						
试样体积 (cm ³)						
干密度 (g/cm ³)						
平均干密度 (g/cm ³)						
颗粒密度 (g/cm ³)						
孔隙比						
天然（给定）干密度 (g/cm ³)						
天然孔隙比						
相对密度						
压实度						
密度指数 (%)						

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

12 天然坡角试验

12.0.1 天然坡角是砂类土在堆积时其天然坡面和水平面所形成的最大倾角。

12.0.2 本试验的目的是测定砂类土在充分风干状态和水下状态的天然坡角。

12.0.3 本试验采用圆盘提升法。适用于粒径小于 5 mm 且不含粉粒的砂类土。

12.0.4 本试验应采用下列仪器设备：

1 天然坡角测定仪：见图 12.0.4 所示。圆盘直径 10 cm，适用于粒径小于 2 mm 的砂类土；圆盘直径 20 cm，适用于粒径小于 5 mm 的砂类。

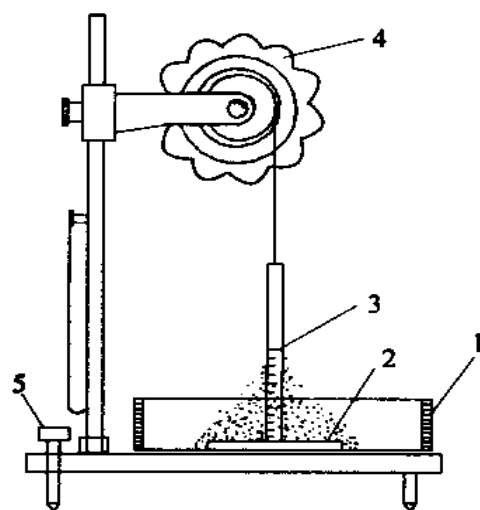


图 12.0.4 天然坡角测定仪

1—底盘；2—圆盘；3—铁杆；4—制动器；5—水平螺丝

2 其他：勺、水槽等。

12.0.5 试验操作应按下列步骤进行：

1 取代表性的充分风干试样若干。转动制动器，使圆盘落

在底盘中。用勺沿铁杆四周倾倒试样，勺离试样表面的高度应始终保持在 1 cm 左右，直至圆盘的外缘完全蓄满为止。

2 徐徐转动制动器，使圆盘平稳升起，直至离开底盘内的试样为止。读取锥顶与铁杆接触处的刻度 ($\tan\alpha_c$)。

3 如需继续测定水下状态的天然坡角时，应重复以上步骤测读锥顶及铁杆接触处的刻度后，将盛满试样的圆盘缓缓地沉入水槽中。当锥体全部浸入水中后，停止下沉，待充分饱和，直至无气泡上升为止。

4 再徐徐转动制动器，使圆盘由水中升起。当锥体露出水面时，再读取锥顶与铁杆接触处的刻度 ($\tan\alpha_w$)。

5 根据已测得的值 $\tan\alpha_c$ 和 $\tan\alpha_w$ ，可从三角函数表中查得天然坡角。

6 本试验应进行两次平行测定，取算术平均值，以整数(度)表示。

12.0.6 记录格式应符合表 12.0.6 的要求。

表 12.0.6 天然坡角试验记录

试样编号	充分风干状态天然坡角			水下状态天然坡角			备注
	读 数		平均值	读 数		平均值	
	$\tan\alpha_c$	(°)	(°)	$\tan\alpha_w$	(°)	(°)	

复核_____年____月____日 试验_____年____月____日

13 毛细管水上升高度试验

13.1 一般规定

13.1.1 土的毛细管水上升高度是水在土孔隙中因受毛细管作用而上升的最大高度；毛细管水强烈上升高度是对路基工程易发生危害的那部分毛细管水上升高度。

13.1.2 本试验的目的是测定土的毛细管水上升高度或毛细管水强烈上升高度。

13.1.3 本试验应根据不同的土类，采用下列方法：

1 直接观测法：适用于粗砂、中砂。

2 土样管法：适用于细砂、粉土和毛细管水上升高度较小的黏性土。

3 塑限与含水率曲线交会法：适用于测定黏性土的毛细管水强烈上升高度。

13.2 直接观测法

13.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 直接观测法装置如图 13.2.1 所示，包括支架、盛水器及厚壁玻璃管。厚壁玻璃管内径为 2~3 cm，长约 100 cm，零刻度离底端 1 cm，刻度读数自下而上，分度值 0.5 cm。底端用金属网布包扎。

2 天平：称量 2000 g，分度值 0.1 g。

3 其他：漏斗、捣棒、锥形瓶、管夹等。

13.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 试样制备应符合本规程第 3.3.2 条的规定。从制备好的试样中取 1500 g，用漏斗分数次装入玻璃管中，并用捣棒轻轻捣实，使密度均匀，并达到所需的干密度。

2 将装好试样的玻璃管垂直插入盛水器中,使零刻度低于盛水器口,用两个管夹将玻璃管固定在支架上。

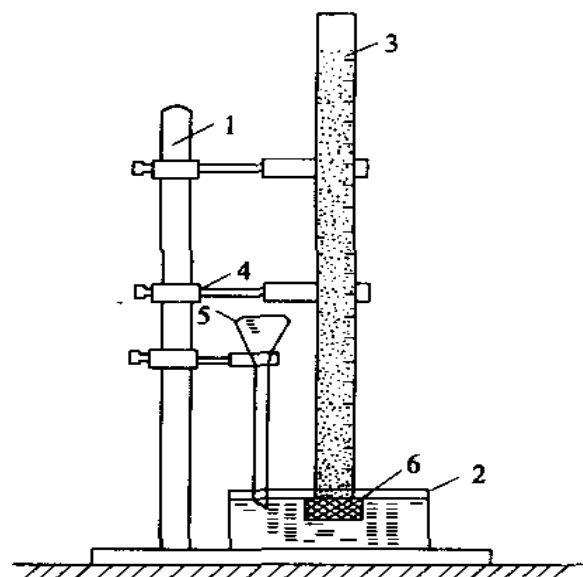


图 13.2.1 直接观测法装置

1—支架; 2—盛水器; 3—玻璃管; 4—管夹; 5—锥形瓶; 6—金属网布

3 往盛水器中注水,使水面与玻璃管上的零刻度齐平。为了保持试验过程中盛水器内水位不变,倒扣一个盛水的小锥形瓶。锥形瓶口安一细玻璃管与盛水器中的水面接触,用管夹将三角瓶固定在支架上。

4 注水后根据玻璃管中试样颜色变化,测记毛细管水上升高度,准确至 0.5 cm。测记时间为 5、10、20、30、60 min,以后每隔 3~4 h 测记一次,直至上升高度不变为止,取稳定值即为毛细管水上升高度。

13.2.3 记录格式应符合表 13.2.3 的要求。

表 13.2.3 直接观测法毛细管水上升高度试验记录

试 样 编 号								试样状态
仪 器 编 号								
毛细管 水上升 高 度 (cm)	日	时	分					试样干密度 = g/cm ³
								试样孔隙比 =

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

13.3 土样管法

13.3.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 土样管毛管仪如图 13.3.1 所示：

- 1) 玻璃筒（或一端呈刃口的金属筒）。直径 4~6 cm，高约 12 cm，底部装有带孔橡皮塞。
- 2) 测压管：直径约 1 cm，长度约 200 cm。
- 3) 排气管：安有橡皮管和止水管夹。

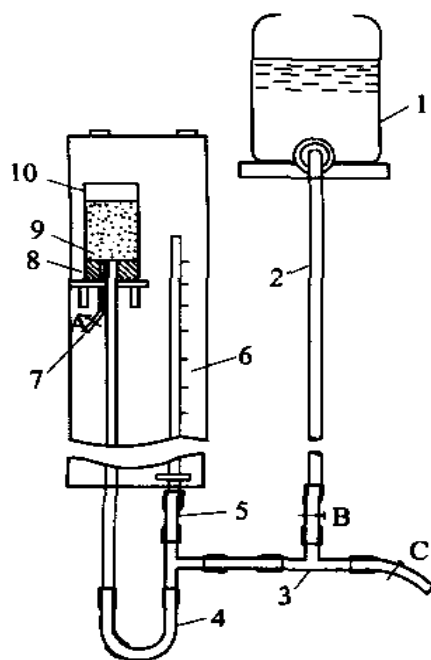


图 13.3.1 土样管毛管仪

1—供水瓶；2—玻璃管；3—三三通接头；4—橡皮管；5—测压管；6—直尺；7—排气管；8—橡皮塞；9—筛布；10—玻璃筒；A、B、C 为管夹

4) 直尺：刻度分度值 0.5 cm，零刻度与试样底部齐平。

2 天平：称量 2000 g，分度值 0.1 g。

3 其他：供水瓶、切土筒、盛土皿、切土刀、捣棒、称量盒等。

13.3.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 关闭管夹 A、B、C，供水瓶注满水。取代表性风干试样 500~600 g，经研散后分数次装入底部铺有金属网布的玻璃筒

13.4 塑限与含水率曲线交会法

13.4.1 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 4.2.1 条和第 8.4.1 条的要求。

13.4.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 于试坑壁按间距 15~20 cm 自上而下采取土样，并按本规程第 4.2.2 条测定各间距所取土样的含水率。

2 根据试坑土质变化情况分层，并按本规程第 8.4.2 条测定各分层土的塑限。

13.4.3 试验结果应按下列公式计算和绘图：

1 按本规程式 (4.2.3) 计算土的含水率。

2 按本规程式 (8.4.3) 计算土的塑限。

3 以取样深度为纵坐标，含水率为横坐标，绘制深度与含水率关系曲线。再用竖直线段在图上标出相应土层的塑限，竖直线段与含水率曲线最上面的交点，即为毛细管水强烈上升高度的顶点，此点到地下水位曲线的距离为毛细管水强烈上升高度，图 13.4.3 所示。

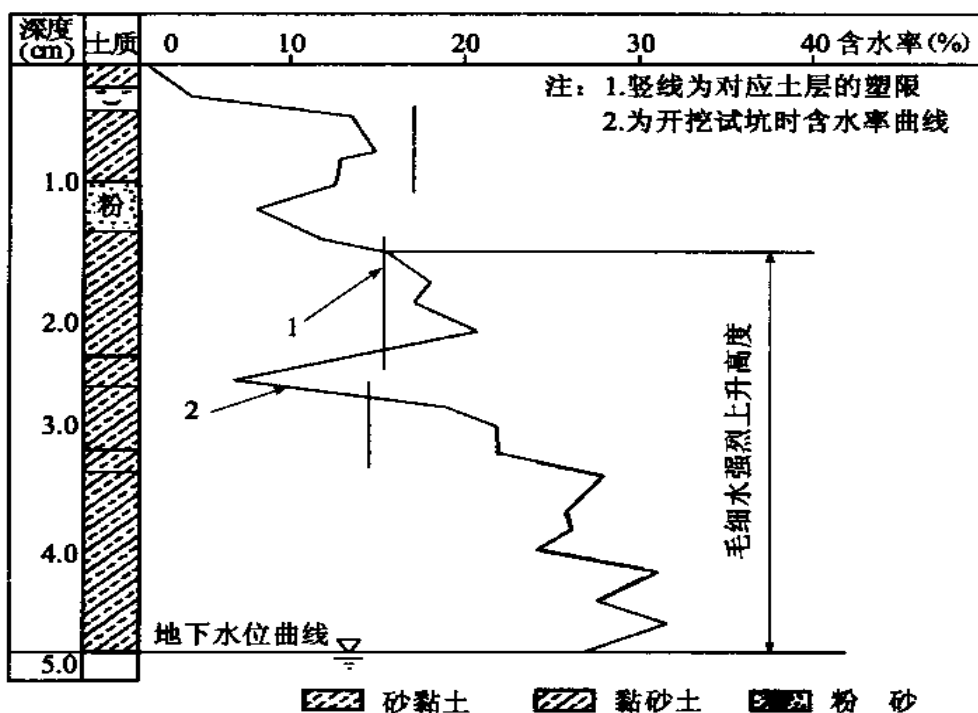


图 13.4.3 塑限与含水率曲线交会法确定毛细管水强烈上升高度示意

13.4.4 本试验应进行平行测定，平行测定允许差值应符合本规程第 4.2.4 条的规定。

13.4.5 记录格式应符合表 13.4.5 的要求。

表 13.4.5 塑线与含水率试验记录

试样 编号	盒号	湿土质量 (g)	干土质量 (g)	含 水 率 (%)	塑 限 (%)
		(1)	(2)	$(3) = \left(\frac{(1)}{(2)} - 1 \right) \times 100$	(4)

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

14 渗透试验

14.1 一般规定

14.1.1 渗透是水在土孔隙中运动的现象。当土中渗透水呈层流状态时，则渗透速度 v 与水力坡降 i 成正比，当水力坡降 $i = 1$ 时的渗透速度称为土的渗透系数 k 。以达西定理表示为：

$$v = ki$$

14.1.2 本试验的目的是测定土的渗透系数 k 。供设计与施工开挖工程中选择排水、降水方法，计算斜坡稳定、坝基渗流，确定路堤、河堤断面浸润线位置等。

14.1.3 本试验应根据不同土类，采用下列方法：

- 1 常水头法：适用于砂土及含少量砾石的无黏聚性土。
- 2 变水头法：适用于粉土和黏性土。

14.1.4 本试验用水应采用纯水或洁净天然水。在试验前必须用抽气法或煮沸法进行脱气。试验时水温宜高于室温 $3^{\circ}\text{C} \sim 4^{\circ}\text{C}$ 。

14.2 常水头法

14.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 常水头渗透仪装置如图 14.2.1 所示。其中：封底金属圆筒内径为 10 cm，高 40 cm，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；玻璃测压管内径宜为 0.6 cm；分度值为 0.1 cm。

- 2 天平：称量 5000 g，分度值 1.0 g。
- 3 量筒：容积 500 mL。
- 4 温度计：分度值 0.5°C 。
- 5 其他附属设备：秒表、木锤、橡皮管、支架等。

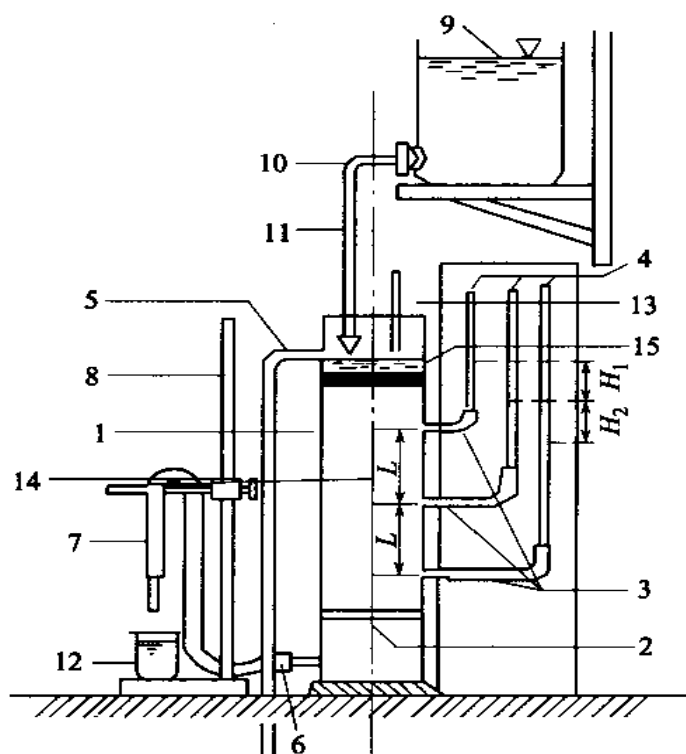


图 14.2.1 常水头渗透仪装置

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—容量为 5000 mL 的供水瓶；10—供水管；
11—止水夹；12—容量为 500 mL 的量筒；13—温度计；14—试样 15—砾石层

14.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 按图 14.2.1 装好仪器，并检查各管路接头处是否漏水。将调节管与供水管连通，从渗水孔向圆筒内充水至水位略高于金属孔板，关止水夹。

2 取具有代表性的风干试样 3~4 kg，称量准确至 0.1 g，并测定含水率。

3 用直尺量测圆筒中金属孔板至筒顶的高度，然后将风干试样分层装入圆筒内，每层厚 2~3 cm，用木锤轻轻击实到一定厚度，以控制到所要求的孔隙比。当试样含黏粒较多时，应在金属孔板上加铺约 2 cm 的粗砂过滤层，防止试验时细粒流失。每层试样装好后使水由圆筒底部向上渗入，使试样逐渐饱和至顶面。如此逐层装填试样并进行饱和，直至最后一层试样高出测压

孔 3~4 cm 为止。在试样上端同样铺约 2 cm 厚度的砾砂作缓冲层。待最后一层试样饱和后,继续使水位缓缓上升至溢水孔有水溢出。

4 试样装好后,量测试样顶面至圆管上口的高度,计算试样净高。称剩余试样质量,准确至 0.1 g,计算装入的试样总质量。

5 静置数分钟后,检查各测压管水位是否与溢水孔齐平。当不齐平时,可用吸水球对准水位低的测压管口进行吸水排气,直至水位齐平为止。

6 提高调节管,使其高于溢水孔,然后将调节管与供水管分开,并将供水管放入圆筒内,开止水夹,使水由上端注入圆筒内。

7 降低调节管至试样上部 1/3 高度处,形成水位差,使水渗过试样经调节管流出。在渗透过程中应调节供水管止水夹,使进入圆筒的水量略多于渗出的水量,溢水孔始终有余水溢出,以保持圆筒内水位不变,使试样处于常水头下渗透。

8 测压管水位稳定后,记录其水位,并计算各测压管间的水位差。

9 开动秒表,同时用量筒自调节管口接取经一定时间的渗透水,并重复一次。在接取渗透水时,调节管口不可淹没于水中。

10 测记进水与出水处的水温,取平均值。

11 降低调节管至试样的中部及下部 1/3 处,以改变水力坡降,按本条第 7~10 款步骤重复进行测定。

12 根据需要,可改变试样的孔隙比,测定相应的渗透系数。

14.2.3 试验结果应按下列公式计算及制图:

1 试样的干密度 ρ_d 及孔隙比 e :

$$\rho_d = \frac{m_d}{A \cdot h} \quad (14.2.3-1)$$

$$e = \frac{\rho_s}{\rho_d} - 1 \quad (14.2.3-2)$$

式中 ρ_d ——试样干密度 (g/cm^3);
 m_d ——试样干质量 (g);
 A ——试样面积 (cm^2);
 h ——试样高度 (cm);
 e ——试样孔隙比;
 ρ_s ——土的颗粒密度 (g/cm^3)。

2 渗透系数 k_T 及 k_{20}

$$k_T = \frac{Q \cdot L}{A \cdot H \cdot t} \quad (14.2.3-3)$$

$$k_{20} = k_T \frac{\eta_T}{\eta_{20}} \quad (14.2.3-4)$$

式中 k_T ——水温 $T^\circ\text{C}$ 时试样的渗透系数 (cm/s), 取两位有效数乘以 10^{-n} (n 为整数值);
 Q ——时间 t 秒内渗透水量 (cm^3);
 L ——两测压孔中心间的试样高度 (10 cm);
 H ——平均水位差 (cm);
 t ——时间 (s);
 A ——试样面积 (cm^2);
 k_{20} ——标准温度 (20°C) 时试样的渗透系数 (cm/s);
 η_T —— $T^\circ\text{C}$ 时水的动力黏度 ($10^{-6}\text{ kPa}\cdot\text{s}$);
 η_{20} —— 20°C 时水的动力黏度 ($10^{-6}\text{ kPa}\cdot\text{s}$);

动力黏度比 η_T/η_{20} 与温度关系, 可按表 14.2.3 确定。

注: 平均水位差 H 可按 $(H_1 + H_2)/2$ 计算。 H_1 为上、中测压管水位差 (cm), H_2 为中、下测压管水位差 (cm)。

3 当进行不同孔隙比下的渗透系数试验时, 可在单对数坐标纸上绘制以孔隙比 e 为纵坐标, 渗透系数 k_{20} 为横坐标的 $e-\lg k_{20}$ 关系曲线, 如图 14.2.3 所示。

14.2.4 试验允许差应符合下列规定:

在测得的渗透系数结果中应取 3~4 个充许差值小于 2.0×10^{-7} cm/s 的数值, 求其平均值, 作为试样在该孔隙比 e 的渗透系数。

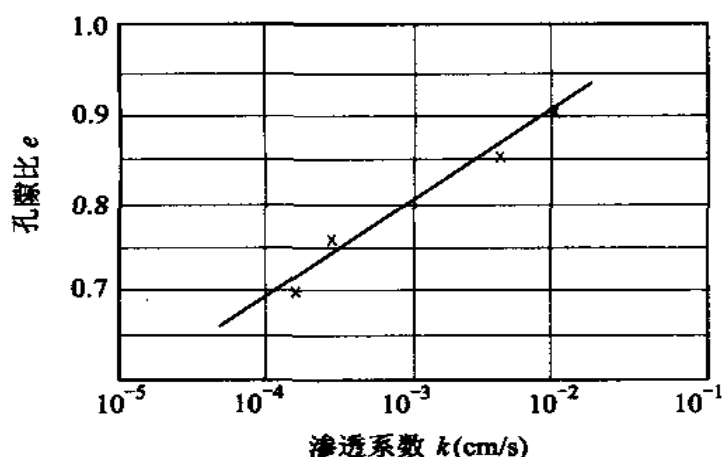


图 14.2.3 孔隙比与渗透系数关系曲线

表 14.2.3 不同温度水的动力黏度比

温度 (℃)	$\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$	温度 (℃)	$\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$	温度 (℃)	$\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$	温度 (℃)	$\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$	温度 (℃)	$\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$
5	1.501	10.0	1.297	15.0	1.133	20.0	1.000	27.0	0.850
5.5	1.478	10.5	1.297	15.5	1.119	20.5	0.988	28.0	0.833
6.0	1.455	11.0	1.261	16.0	1.104	21.0	0.976	29.0	0.815
6.5	1.435	11.5	1.243	16.5	1.090	21.5	0.964	30.0	0.798
7.0	1.414	12.0	1.227	17.0	1.077	22.0	0.953	31.0	0.781
7.5	1.393	12.5	1.211	17.5	1.066	22.5	0.943	32.0	0.765
8.0	1.373	13.0	1.194	18.0	1.050	23.0	0.932	33.0	0.750
8.5	1.353	13.5	1.176	18.5	1.038	24.0	0.910	34.0	0.735
9.0	1.334	14.0	1.163	19.0	1.025	25.0	0.890	35.0	0.720
9.5	1.315	14.5	1.148	19.5	1.012	26.0	0.870		

注: 不同温度时水的动力黏度, 见本规程表 7.3.4—3。

14.2.5 记录格式应符合表 14.2.5 的要求。

14.3 变水头法

14.3.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 变水头装置：由渗透容器、变水头管、供水瓶、进水管等组成，如图 14.3.1。变水头管内径应均匀，且不大于 1 cm，长度 1.5 m 左右，固定在刻度板上，刻度最小分度值为 1.0 mm。

2 渗透容器：由环刀、透水石、套环及上、下盖组成。环刀内径 61.8 mm，高 40 mm；透水石的渗透系数应大于 10^{-3} cm/s。

3 其他：100 mL 量筒、秒表、温度计、切土刀、凡士林、橡皮管等。

14.3.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 根据工程需要，用环刀在垂直或平行土样层面切取原状试样或由扰动土制备成给定密度的试样。切土时不得用切土刀反复涂抹试样表面。

2 将容器套环内壁涂抹一薄层凡士林，然后将盛有试样的环刀推入套环内，擦净挤出的凡士林，装好带有透水石和垫圈的上下盖，拧紧螺丝，使其不漏气，不漏水。对不易透水的试样，按本规程第 3.5.3 条的规定进行抽气饱和；对饱和试样和易透水的试样，直接用变水头装置的水头进行试样饱和。

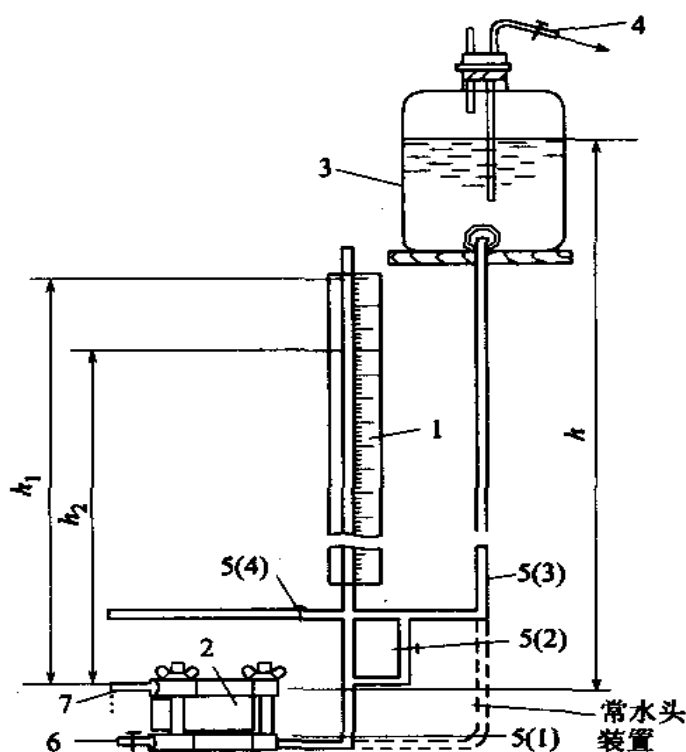


图 14.3.1 变水头渗透装置

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

3 将渗透容器的进水口与水头装置连通，关闭管夹5(2)、5(3)，开启管夹4，使供水瓶注满水。然后关闭管夹4开启管夹5(2)及5(3)，使水头管内充满水。

4 将容器侧立，排气管6向上，并打开排气管管夹。打开进水口管夹5(1)，充水排除渗透容器底部的空气，直至溢出水无夹带气泡为止。关闭排气管管夹，放平渗透容器。

5 在一定水头（应根据试样结构疏松程度确定，且不宜大于2.0m）作用下，静置一段时间，待上出水管口有水溢出时，可开始测定。

6 将水头管充水至需要高度后，关闭管夹5(2)。当水位降至所选定的开始水头 H_1 时，开动秒表，经过时间 t 后，测记终止水头 H_2 。如此连续测记2~3次后，再使水头管的水位回升至另一需要高度，重复以上步骤试验5~6次。每次测记水头时同时测定水温，准确至0.5℃。

14.3.3 试验结果应按下列公式计算：

1 渗透系数 k_T ：

$$k_T = 2.3 \frac{aL}{A(t_2 - t_1)} \lg \frac{H_1}{H_2} \quad (14.3.3)$$

式中 a ——变水头管的断面积 (cm^2)；

2.3—— $\ln$ 和 $\lg$ 的变换因数；

L ——渗径，即试样高度 (cm)；

t_1, t_2 ——测读水头的起始和终止时间 (s)；

H_1, H_2 ——起始和终止水头 (cm)。

2 标准温度下的渗透系数 k_{20} 应按式 (14.2.3—4) 计算。

14.3.4 试验允许差应符合本规程第14.2.4条规定。

14.3.5 记录格式应符合表14.3.5的要求：

表 14.3.5 变水头渗透试验记录表

试样编号_____

测压管断面积(a)	cm ²
---------------	-----------------

孔隙比

仪器编号_____

试样高度(L) cm

试样面积(A) cm²[illegible]

复核_____年____月____日

试验_____年____月____日

15 固结试验

15.1 一般规定

15.1.1 饱和土体受到压力后，孔隙中的部分水逐渐从土体中排出，土中孔隙水压力逐渐减小，作用在土骨架上的有效应力逐渐增加，土体积随之压缩，直到变形达到稳定为止。土体这一变形的过程称为固结。非饱和土在外力作用下的变形通常是由孔隙中气体排出或压缩所引起，主要取决于有效应力的改变，土体的这种变形称为压缩。

15.1.2 本试验的目的是测定试样在侧限与轴向排水条件下的变形和压力，或孔隙比与压力的关系、变形和时间的关系，以便计算土的压缩系数 α_v 、压缩指数 C_c 、回弹指数 C_s 、压缩模量 E_s 、固结系数 C_v 及原状土的先期固结压力等。

15.1.3 本试验应优先采用标准固结试验。该方法适用于饱和的黏性土，当只进行压缩试验时，允许用于非饱和土。

15.1.4 当采用标准固结试验的时间不能满足工程要求时，可采用 12 h 快速固结试验。该方法适用于测定一般黏性土的先期固结压力和压缩指数的试验。

15.1.5 对沉降计算要求精度不高，主要求压缩系数和压缩模量时，可采用 1 h 快速压缩试验。该方法适用于渗透性较大的非饱和土。

15.2 标准固结试验

15.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 固结容器：由环刀、护环、透水板、加压上盖和水槽等组成，如图 15.2.1 所示。固结仪变形量应按本规程附录 D 进行

校正。

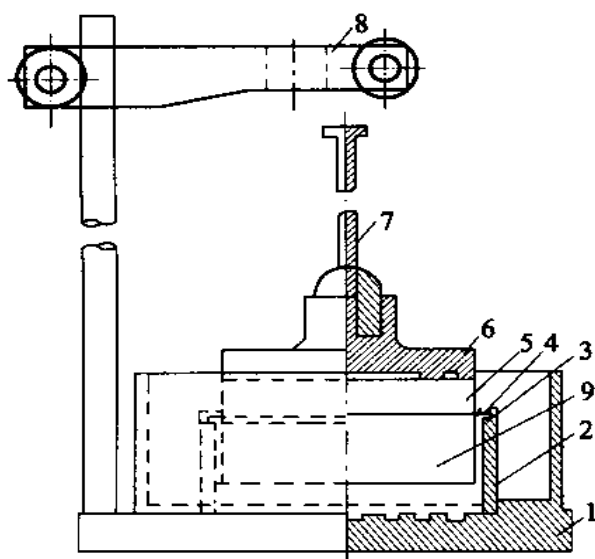


图 15.2.1 固结容器示意

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

- 1) 环刀：内径为 61.8 mm 和 79.8 mm，高度为 20 mm。
- 2) 透水板：透水石或不受腐蚀的金属材料制成，其渗透系数必须大于试样的渗透系数。顶部透水板的直径应小于环刀内径 0.2~0.5 mm。

2 加压设备：能垂直施加各级规定的压力，无冲击影响。

3 变形量测设备：百分表量程 10 mm，分度值为 0.01 mm 或准确度为全量程 0.2% 的位移传感器。

4 天平：称量 500 g，分度值 0.1 g；称量 100 g，分度值 0.01 g。

5 其他：切土刀、钢丝锯、称量盒、烘箱、秒表等。

15.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

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，制备方法按本规程第 3.2 节和第 3.3 节规定进行。需要饱和时，按第 3.5.3 条的规定进行抽气饱和。

2 在固结容器内放入护环、透水板、滤纸；将带有环刀的

试样装入护环内，在试样上再放入滤纸、透水板、加压盖板，置于加压框架下；对准加压框架的中心，安装百分表或位移传感器。当试样为饱和土时，上、下透水板应事先浸水饱和；对非饱和状态的试样，透水板和滤纸的湿度应与试样湿度相接近。

3 施加 1 kPa 的预压力，使试样与仪器上下各部件之间接触良好，将百分表或位移传感器调整到零位或测读初始值。

4 记录初始读数后，卸除预压力，开始施加第一级压力，第一级压力的大小应根据土的软硬程度而定，可分别为 12.5、25 或 50 kPa。

5 饱和试样或工程上要求浸水的试样，在施加第一级压力后，立即向容器内注水，使试样在水下进行试验。非饱和试样，用湿棉纱围住加压盖板四周，以避免试验过程中水分的蒸发。

6 加压等级一般为 12.5、25、50、100、200、400、800、1 600、3 200 kPa。最后一级的压力应大于上覆土层计算压力的 100~200 kPa。

7 需要测定先期固结压力时，加压率宜小于 1.0，可采用 0.5 或 0.25 的加压率。最后一级压力应使 $e-\lg p$ 曲线的下段出现较长的直线段。

8 当需测定沉降速率、固结系数时，加压后应按下列时间顺序测记量表读数：6 s、15 s、1 min、2 min15 s、4 min、6 min15 s、9 min、12 min15 s、16 min、20 min15 s、25 min、30 min15 s、36 min、42 min15 s、49 min、64 min、100 min、200 min、400 min 及 23、24 h 直至稳定为止。

9 当不需要测定沉降速率时，稳定标准为每级压力下固结 24 h。只测定压缩系数时，每级压力下的稳定标准为每小时试样的变形量不大于 0.005 mm。

10 当需作回弹试验时，可在某级压力下固结稳定后逐级卸荷，直到卸至第一级压力为止。每次卸荷后的回弹稳定标准与加压时相同，并测记每级压力及最后一级压力时的回弹稳定读数。

11 试验结束后，迅速拆除仪器各部件，取出带环刀的试

样，擦干试样两端和环刀壁上的水分，并测定整块试样试验后的含水率。

15.2.3 试验结果应按下列公式计算及制图：

1 初始孔隙比：

$$e_0 = \frac{\rho_s(1 + 0.01w_0)}{\rho_0} - 1 \quad (15.2.3-1)$$

式中 e_0 ——初始孔隙比，计算至 0.01。

ρ_s ——颗粒密度 (g/cm^3)；

w_0 ——试样初始含水率 (%)；

ρ_0 ——试样初始密度 (g/cm^3)；

2 各级压力下固结稳定后的单位沉降量：

$$S_i = \frac{\sum \Delta h_i}{h_0} \times 1000 \quad (15.2.3-2)$$

式中 S_i ——单位沉降量 (mm/m)；

$\sum \Delta h_i$ ——在某级压力下，试样固结稳定后的总变形量 (mm)
(等于该压力下固结稳定后的读数减去仪器变形量)；

h_0 ——试样的初始高度 (mm)。

3 第 i 级压力下固结稳定后的孔隙比：

$$e_i = \frac{h_i(1 + e_0)}{h_0} - 1 \quad (15.2.3-3)$$

式中 e_i ——第 i 级压力下固结稳定后的孔隙比，计算至 0.01；

h_i ——第 i 级压力下固结稳定后的高度 (mm)。

4 某一压力范围内的压缩系数：

$$\alpha_v = \frac{e_i - e_{i+1}}{p_{i+1} - p_i} \quad (15.2.3-4)$$

式中 α_v ——某一压力范围内的压缩系数 (MPa^{-1})，计算至 0.01 MPa^{-1} ；

e_{i+1} ——第 $i+1$ 级压力下固结稳定后的孔隙比；

p_i ——第 i 级压力 (kPa);

p_{i+1} ——第 $i+1$ 级压力 (kPa)。

5 某一压力范围内的压缩模量和体积压缩系数:

$$E_s = \frac{1 + e_i}{\alpha_v} \quad (15.2.3-5)$$

$$m_v = \frac{1}{E_s} = \frac{\alpha_v}{1 + e_i} \quad (15.2.3-6)$$

式中 E_s ——压缩模量 (MPa), 计算至 0.1 MPa;

m_v ——体积压缩系数 (MPa^{-1}), 计算至 0.01 MPa^{-1} 。

6 压缩指数和回弹指数:

$$C_c(C_s) = \frac{e_i - e_{i+1}}{\lg p_{i+1} - \lg p_i} \quad (15.2.3-7)$$

式中 C_c ——压缩指数, 即 $e-\lg p$ 曲线直线段的斜率, 计算至 0.001;

C_s ——回弹指数, 即回弹曲线上某一压力范围内的平均斜率, 计算至 0.001。

7 以单位沉降量 S_i 或孔隙比 e 为纵坐标, 压力 p 为横坐标, 绘制单位沉降量或孔隙比与压力的关系曲线, 见图 15.2.3—1。

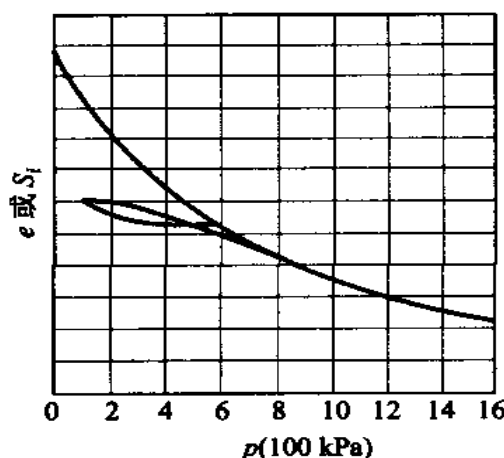


图 15.2.3—1 $e(S_i)-p$ 关系曲线

8 以孔隙比 e 为纵坐标, $\lg p$ 为横坐标, 绘制 $e-\lg p$ 关系曲线, 见图 15.2.3—2。

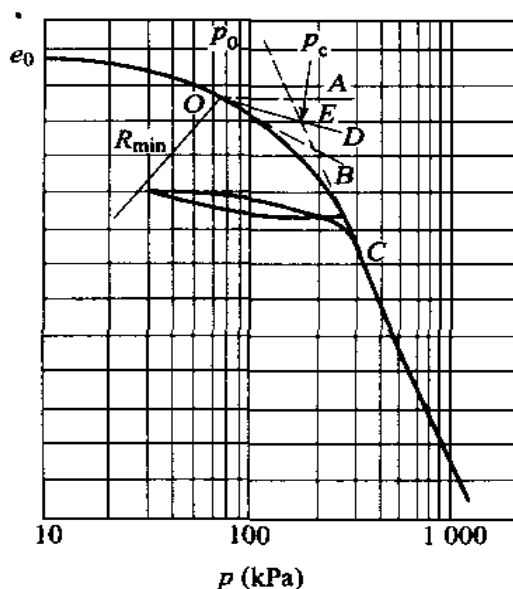


图 15.2.3—2 $e-\lg p$ 曲线求 p_c 示意图

9 原状土的先期固结压力 p_c 的确定方法见图 15.2.3—2 所示, 在 $e-\lg p$ 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 $\angle AOB$ 的角平分线 OD , OD 与曲线直线段 C 的延长线交于 E 点, 对应于 E 点的压力即为该原状土的先期固结压力 p_c 。

10 固结系数 C_v 应按下列方法确定:

- 1) 时间平方根法: 对某一级压力, 以试样的变形 d (mm) 为纵坐标, 时间平方根 $\sqrt{t}$ (min) 为横坐标, 绘制 $d-\sqrt{t}$ 曲线, 见图 15.2.3—3。延长 $d-\sqrt{t}$ 曲线开始段的直线, 交纵坐标轴于 d_s (d_s 为理论零点)。过 d_s 作另一直线, 使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按下式计算:

$$C_v = \frac{0.848(\bar{h})^2}{t_{90}} \quad (15.2.3-8)$$

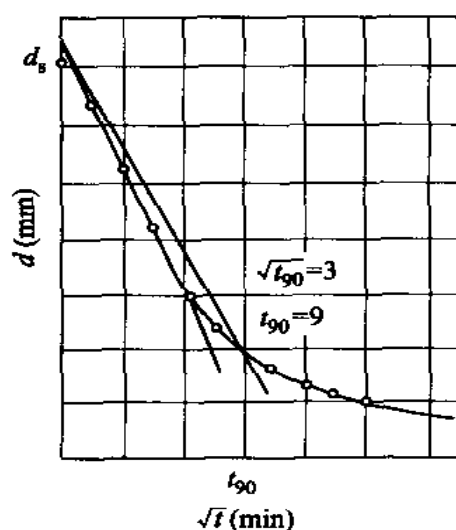


图 15.2.3—3 时间平方根法求 t_{90}

式中 C_v ——固结系数 (cm^2/s), 计算至 $0.01 \text{ cm}^2/\text{s}$;

$\bar{h}$ ——最大排水距离, 等于某一压力下试样初始和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: 对某一级压力, 以试样的变形 $d(\text{mm})$ 为纵坐标, 时间对数 (min) 为横坐标, 绘制 $d-\lg t$ 曲线, 见图 15.2.3—4。在 $d-\lg t$ 曲线的开始线段, 选任一时间 t_1 , 相对应的变形量为 d_1 , 再取时间 $t_2 = t_1/4$, 相对应的变形量为 d_2 , 则 $2d_2 - d_1$ 为 d_{01} 。依次再取另一时间按此法求得 d_{02} 、 d_{03} 、 d_{04} 等, 取其平均值即为理论零点 d_0 。延长 $d-\lg t$ 曲线中部的直线段和过曲线尾部数点作一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 50% 所需的时间 t_{50} , 该压力下的固结系数按下式计算:

$$C_v = \frac{0.197(\bar{h})^2}{t_{50}} \quad (15.2.3-9)$$

式中 t_{50} ——固结度达 50% 所需的时间 (s)。

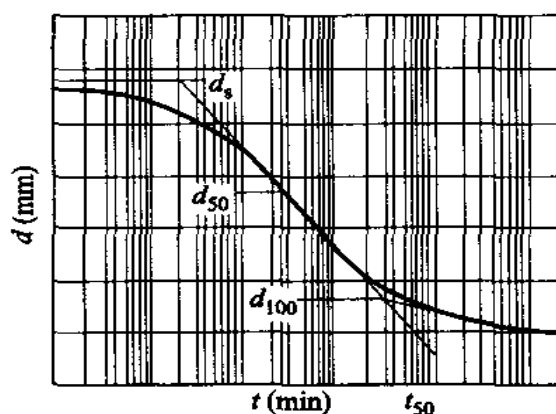


图 15.2.3—4 时间对数法求 t_{50}

15.2.4 记录格式应符合表 15.2.4—1~3 的要求。

表 15.2.4—1 标准固结试验记录 (一)

试样编号 _____

仪器号 _____

试样面积 试验前试样高度	cm ² cm	颗粒密度 试验前饱和度	g/cm ³ %	初始孔隙比 试验后饱和度	%		
试样密度	环刀号	环刀加湿 试样的质量	环刀 质量	湿试样 质量	环刀 体积	密度	平均 密度
		(g)	(g)	(g)	(cm ³)	(g/cm ³)	(g/cm ³)
试验前							
试验后							
试样含水率	盒 号	湿试样质量	干试样质量	含水率	平均值		
		(g)	(g)	(%)	(%)		
试验前							
试验后							

复核 _____ 年 ____ 月 ____ 日 试验 _____ 年 ____ 月 ____ 日

表 15.2.4—2 标准固结试验记录(二)

压力(kPa) 经过时间	P =		P =		P =		P =	
	日期	百分表 读 数	日期	百分表 读 数	日期	百分表 读 数	日期	百分表 读 数
		(mm)		(mm)		(mm)		(mm)
0								
6 s								
15 s								
1 min								
2.25 min								
4 min								
6.25 min								
9 min								
12.25 min								
16 min								
20.25 min								
25 min								
30.25 min								
36 min								
42.25 min								
49 min								
64 min								
100 min								
200 min								
400 min								
23 h								
24 h								
总变形量(mm)								
仪器变形量(mm)								
试样总变形量(mm)								

复核_____年__月__日 试验_____年__月__日

表 15.2.4—3 标准固结试验记录 (三)

试样编号

试验前试样高度, h_0

试验前孔隙比 e_0

$$C_v = \frac{0.848(\bar{h})^2}{t_{90}} \text{ 或 } C_v = \frac{0.197(\bar{h})^2}{t_{50}}$$

[illegible]

复核_____年____月____日

试验 _____ 年 _____ 月 _____ 日

15.3 12 h 快速固结试验

15.3.1 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 15.2.1 条的要求。

15.3.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 试样的制备、安装和预压应按本规程第 15.2.1 条第 1~4 款步骤进行。

2 在施加第一级压力后,立即向容器内注水,使试样在水中进行试验。也可用湿棉纱围住加压盖板四周,以避免试验过程中水份的蒸发。

3 需要施加的各级压力应与标准固结试验相同,宜为 12.5、25、50、100、200、400、800、1 600、3 200 kPa。第一级的压力大小应视土的软硬程度而定,宜用 12.5 或 25 kPa,施加的压力应使测得的 $e-\lg p$ 曲线下段出现直线段,最后一级压力应大于土的自重压力与附加压力之和。

4 每级压力下测记 12 h 变形量后立即施加下一级压力,逐级加压至所需压力。最后一级压力下除测记 12 h 的试样变形量外,还须测记加压到 24 h 的试样变形量。

5 试验结束后,吸去容器中的水,卸去荷重,取出试样。

15.3.3 试样在各级压力下固结 12 h 和最后一级压力下固结 24 h 时的孔隙比应按下列公式计算：

1 试样初始孔隙比的计算应按本规程第 15.2.3 条第 1 款进行。

2 各级压力下试样固结 12 h 时的孔隙比：

$$e_{i12} = \frac{h_{i12}(1 + e_0)}{h_0} - 1 \quad (15.3.3-1)$$

式中 e_{i12} ——第 i 级压力下试样固结 12 h 的孔隙比；

h_{i12} ——第 i 级压力下试样固结 12 h 后的高度 (mm)。

3 最后一级压力下试样固结 24 h 时的孔隙比：

$$e_L = \frac{h_L(1 + e_0)}{h_0} - 1 \quad (15.3.3-2)$$

式中 e_L ——最后一级压力下试样固结 24 h 的孔隙比；
 h_L ——最后一级压力下试样固结 24 h 后的高度 (mm)。

15.3.4 试样孔隙比计算结果应采用下式进行校正：

$$\Delta e_{i12} = \frac{\Delta e_L}{C_{eL}} \times C_{ci12} \quad (15.3.4-1)$$

$$e_i = e_{i12} - \Delta e_{i12} \quad (15.3.4-2)$$

式中 e_i ——第 i 级压力下修正后的孔隙比；
 Δe_{i12} ——第 i 级压力下的次固结孔隙比增量；
 Δe_L ——最后一级压力下次固结孔隙比增量（最后一级压力下 12 h 与 24 h 孔隙比之差）；
 C_{ci12} ——第 i 级压力下的压缩指数，即为各级 12 h 所得 $e - \lg p$ 曲线第 i 级节点处斜率的绝对值，宜根据 $(e_{i12}, \lg p_i)$ 各节点采用三次样条函数插值计算， C_{ci12} 为节点处一阶导数绝对值；
 C_{eL} ——最后一级压力下的压缩指数。

15.3.5 在计算条件有限时，可采用 K 值修正法对各级压力下试样变形量进行修正，其修正方法如下：

$$K = \frac{\Delta h_{L24}}{\Delta h_{L12}} \quad (15.3.5-1)$$

$$\Delta h_i = K \times \Delta h_{i12} \quad (15.3.5-2)$$

式中 Δh_i ——第 i 级压力下修正后的试样总变形量 (mm)；
 K ——修正系数；

Δh_{L24} ——最后一级压力下 24 h 的试样总变形量 (mm)；
 Δh_{L12} ——最后一级压力下 12 h 的试样总变形量 (mm)。

修正后孔隙比为

$$e_i = e_0 - \frac{1 + e_0}{h_0} \Delta h_i \quad (15.3.5-3)$$

15.3.6 以修正后孔隙比 e 为纵坐标，以压力对数 $\lg p$ 为横坐标，绘制 $e - \lg p$ 曲线。原状土试样先期固结压力的确定方法应

3 款的规定进行。加荷等级一般为 50、100、200、300、400、600 kPa。

2 加压后测记 1 h 时的试样高度变化, 立即施加下一级压力, 逐级加压至所需压力。加最后一级压力时除测记 1 h 时的试样变形外, 还需测记试样达到压缩稳定时的量表读数。稳定标准为每小时试样变形不超过 0.005 mm。

3 试验结束后应按本规程第 15.2.2 条第 11 款的规定拆除仪器。

15.4.3 试验结果应按下列公式计算及制图:

1 各级压力下试样校正后的总变形量:

$$\sum \Delta h_i = (h_i)_t \frac{(h_n)_T}{(h_n)_t} = K(h_i)_t \quad (15.4.3-1)$$

式中 $\sum \Delta h_i$ ——某一压力下校正后的试样总变形量 (mm), 计算至 0.01 mm;

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

K ——校正系数。

2 试样的初始孔隙比应按本规程式 (15.2.3—1) 进行计算。

3 各级压力下固结 1 h 试样校正后的孔隙比:

$$e_i = e_0 - \frac{1 + e_0}{h_0} \sum \Delta h_i \quad (15.4.3-2)$$

式中 e_i ——某一压力下固结 1 h 试样校正后的孔隙比, 计算至 0.01。

4 某一压力范围内的压缩系数 α_v 和压缩模量 E_s , 应按本规程式 (15.2.3—4) 和式 (15.2.3—5) 进行计算。

15.4.4 以孔隙比 e 为纵坐标, 压力 p 为横坐标, 绘制孔隙比与压力关系曲线。

15.4.5 记录格式应符合表 15.4.5 的要求。

表 15.4.5 1h 快速压缩试验记录

试样编号_____

仪器号_____

试样初始高度 颗粒密度		mm g/cm ³	试样初始密度 K = (h _n) _T / (h _n) _t =	g/cm ³	试样初始含水率 %		
加压 历时 (h)	压力 (kPa)	校正前试样 总变形量 (mm)	校正后试样 总变形量 (mm)	压缩后 试样高 度 (mm)	校正后 孔隙比	压缩系数 (MPa ⁻¹)	压缩模量 (MPa)
1							
1							
1							
1							
1							
1							
稳定							

复核_____ 年___月___日

试验_____ 年___月___日

16 直接剪切试验

16.1 一般规定

16.1.1 直接剪切试验，应取 4 个试样，在直剪仪中分别施加不同竖向压力，再分别对它们施加水平剪切力进行剪切，求得破坏时的剪应力 τ 。然后根据库仑定律确定土的抗剪强度参数：内摩擦角 ϕ 和黏聚力 c 。

16.1.2 直接剪试验可分为快剪、固结快剪、慢剪三种试验方法。

16.1.3 本试验适用于测定黏性土和粉土的抗剪强度参数 c 和 ϕ 及土颗粒粒径小于 2 mm 砂类土的抗剪强度参数 ϕ 。渗透系数 $k > 10^{-6} \text{cm/s}$ 的土不宜做快剪试验。

16.2 快剪试验

16.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 应变控制式直剪仪：包括剪切盒、垂直加压设备、剪切传动装置、测力计、位移量测系统。如图 16.2.1。直剪仪和测力计应按本规程附录 C 进行校正和率定。

2 位移计：可用量程为 10 mm，分度值为 0.01 mm 的百分表；或准确度为全量程 0.2% 的传感器。

3 环刀：内径 61.8 mm，高 20 mm。

4 透水板或不透水板：直径比环刀略小约 0.2~0.5 mm。

5 天平：称量 500 g，分度值 0.1 g。

6 其他：切土刀、滤纸、保湿器等。

16.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 原状土试样制备应按本规程第 3.3 节的规定进行；扰动土试样制备应按本规程第 3.2 节的规定进行；当试样需要进行饱

和时，应按本规程第 3.5 节的规定进行。

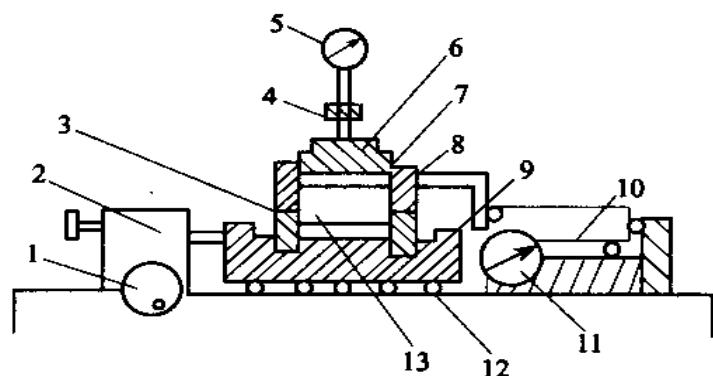


图 16.2.1 应变控制式直剪仪

- 1—剪切传动装置；2—推动器；3—下盒；4—垂直加压框架；
5—垂直位移计；6—传压板；7—透水板；8—上盒；9—储水盒；
10—测力计；11—水平位移计；12—滚珠；13—试样

2 对准剪切容器的上下盒，插入固定销，在下盒内放入不透水板，将带有试样的环刀刃口向上，对准剪切盒口，在试样上面放不透水板（或透水板加薄膜塑料），然后将试样缓缓推入剪切盒内，再移去环刀。

3 转动传动装置，使上盒的前端钢珠刚好与测力计接触，调整测力计读数为零。顺次加上传压板、钢珠、加压框架。如需观测垂直变形，可安装垂直位移计，并记录初始读数。

4 施加垂直压力的大小应根据工程要求和土的软硬状态决定。一般可按 25、50、100、200 kPa 或 100、200、300、400 kPa 施加压力。

5 立即拔去固定销，将测力计调零后，开动秒表，以 0.8~1.2 mm/min 的剪切速度对试样进行剪切，控制在 3~5 min 内剪损。当测力计的读数不变或出现后退，表示试样已被剪损，一般应剪切至剪切变形达 4 mm 为止。如测力计读数随剪切变形继续加大，则剪切变形应达到 6 mm 为止。试样每产生 0.2~0.4 mm 位移时，应测记测力计和位移读数一次，直到剪损为止，记下破坏值。

6 剪切结束后应立即吸去剪切盒内积水，退去剪切力和垂直

压力，移去加压框架，取出试样，测定试样剪切面上的含水率。

7 按上述步骤连续剪完不同垂直压力下的其余三个试样。

16.2.3 试验结果应按下列公式计算及制图：

1 剪应力及剪切位移：

$$\tau = (CR/A_0) \times 10 \quad (16.2.3-1)$$

$$\Delta L = \Delta L' n - R \quad (16.2.3-2)$$

式中 τ ——剪应力 (kPa)，计算至 1 kPa；

C ——测力计率定系数 (N/0.01 mm)；

R ——测力计读数 (0.01 mm)；

A_0 ——试样面积 (cm²)；

10——单位换算因数；

ΔL ——剪切位移 (0.01 mm)；

n ——手轮转数；

$\Delta L'$ ——手轮每转的位移 (mm)。

2 以剪应力 τ 为纵坐标，剪切位移 ΔL 为横坐标，绘制 τ — ΔL 关系曲线，见图 16.2.3—1。选取 τ — ΔL 关系曲线上剪应力的峰值或稳定值作为抗剪强度 s ，见图 16.2.3—1 中曲线上的箭头所示。如无明显峰值时，取剪切位移 4 mm 所对应的剪应力作为抗剪强度。

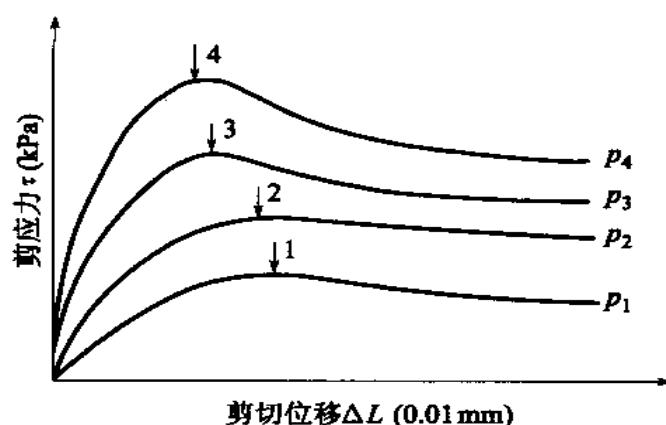


图 16.2.3—1 剪应力与剪切位移关系曲线

3 以抗剪强度 S 为纵坐标，垂直压力 p 为横坐标，绘制

$S-p$ 关系曲线, 见图 16.2.3—2。根据图上各实测点, 绘制一条视测直线, 各实测点与直线上对应点的抗剪强度之差, 不得超过直线上对应点抗剪强度的 $\pm 5\%$ 。直线在纵坐标上的截距为土的黏聚力 c , 直线的倾角为土的内摩擦角 ϕ 。

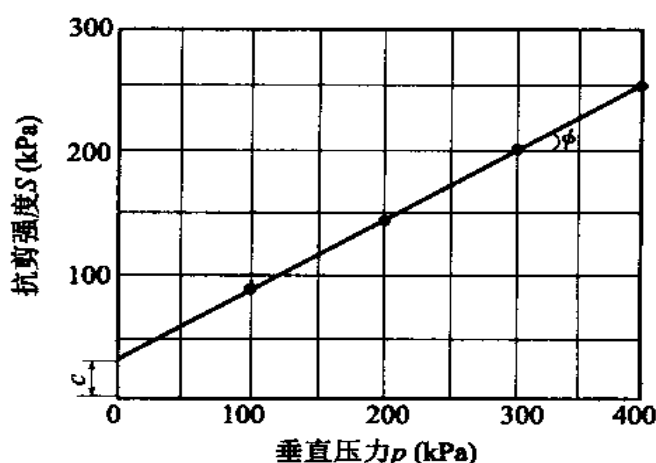


图 16.2.3—2 抗剪强度与垂直压力关系曲线

16.2.4 记录格式应符合表 16.2.4 的要求。

表 16.2.4 直接剪切试验记录

试样编号		土颗粒密度 $\rho_s =$		试验方法		
环刀号	试样状态	含水率 $w(\%)$	湿密度 $\rho(g/cm^3)$	干密度 $\rho_d(g/cm^3)$	孔隙比 e	饱和度 S_r
	初始					
	饱和					
	剪后					
仪器编号		垂直压力		kPa	率定系数 $C =$	
剪切速率		mm/min	剪切历时		min	试样面积 $A_0 =$
剪切前固结时间		min	剪切前压缩量		mm	抗剪强度
						kPa
时间	垂直量表读数 (0.01 mm)	手轮转数 (n)	测力计读数 (0.01 mm)	剪切位移 (0.01 mm)	剪应力 (kPa)	
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) = $\Delta L' \times (3) - (4)$	(6) = $\frac{(4) \times C}{A_0} \times 10$	

复核_____ 年___月___日 试验_____ 年___月___日

16.3 固结快剪试验

16.3.1 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 16.2.1 条的要求。

16.3.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 原状土和扰动土试样制备可按本规程第 16.2.2 条第 1 款规定进行。

2 试样的安装可按本规程第 16.2.2 条第 2~3 款进行。但试样上下两面的不透水板应改为透水板，并贴放湿滤纸。

3 施加垂直压力后，每隔 1 h 测定垂直位移一次，待试样每小时变形量：黏性土不大于 0.005 mm，粉土和砂类土不大于 0.01 mm 时，则固结已趋稳定。

4 其余试验步骤应按本规程第 16.2.2 条第 4~7 款进行。

16.3.3 试验结果计算及制图应按本规程第 16.2.3 条进行。

16.3.4 记录格式应符合本规程表 16.2.4 的要求。

16.4 慢剪试验

16.4.1 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 16.2.1 条的要求。

16.4.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 原状土和扰动土试样制备可按本规程第 16.2.2 条第 1 款规定进行。

2 试样的安装、施加垂直压力和固结等步骤可按本规程第 16.3.2 条第 2~4 款进行。

3 试样固结稳定后，拔去固定销，起动传动装置，以 0.02 mm/min 剪速进行剪切。也可按下式估算剪切破坏时间：

$$t_f = 50 t_{50} \quad (16.4.2)$$

式中 t_f ——达到破坏所经历的时间 (min)；

t_{50} ——固结度达 50% 所需的时间 (min)。

剪损标准可按本规程第 16.2.2 条第 5 款规定选取。

4 其余试验步骤可按本规程第 16.2.2 条第 6~7 款进行。

16.4.3 试验结果计算和制图应按本规程第 16.2.3 条进行。

16.4.4 记录格式应符合本规程表 16.2.4 的要求。

17 排水反复直接剪切试验

17.0.1 在给定的有效应力作用下，对黏性土进行排水剪切试验，当剪应力达到峰值强度后，随着剪切位移的增大，强度逐渐减小，最后趋于某一稳定值，此值称为残余强度。

17.0.2 排水反复直接剪切试验应制备4个试样在不同的垂直压力下进行反复剪切，分别求得剪应力的最后稳定值，以确定残余强度参数 c_r 和 ϕ_r 。

17.0.3 本试验适用于黏性土和泥化夹层。

17.0.4 本试验应采用下列仪器设备：

1 应变控制式反复直剪仪：包括变速设备、可逆电动机和反推夹具，如图 17.0.4 所示。直剪仪和测力计应按本规程附录 C 进行校正和率定。

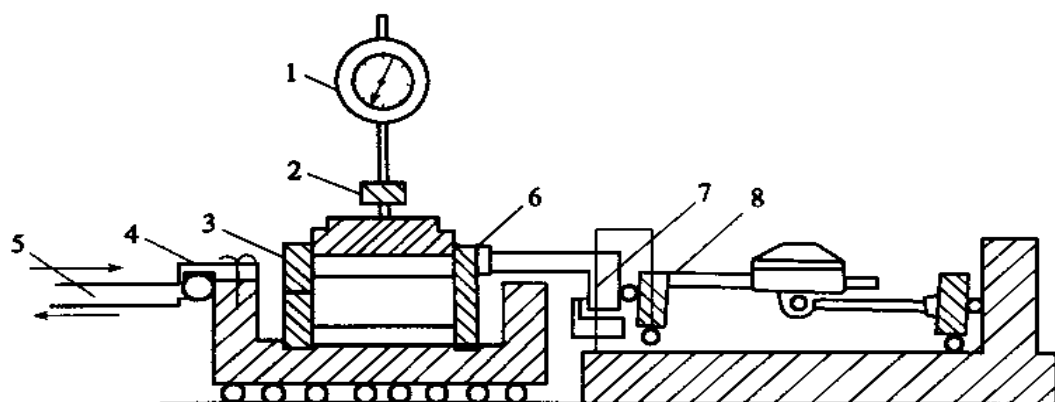


图 17.0.4 反复直剪仪示意

1—垂直变形位移计；2—加压框架；3—试样；4—连接件；
5—推动轴；6—剪切盒；7—限制连接件；8—测力计

2 垂直变形位移计（百分表）：量程 10 mm，分度值 0.01 mm。

3 天平：称量 500 g，分度值 0.1 g。

4 环刀：内径 61.8 mm，高 20 mm。

5 其他：饱和器、切土刀、钢丝锯、滤纸、秒表等。

17.0.5 试样制备应按下列规定进行：

1 有软弱面的原状土样，应先分清软弱面的天然滑动方向，整平土样的两端，使顶面与软弱面平行。在环刀内涂一薄层凡士林。切土时，应使此软弱面处于环刀的高度一半处，然后在试样面上划出此软弱面的天然滑动方向。

2 对超固结黏土或完整的原状黏土，应按本规程第 3.3 节的规定制成试样后，放入剪切盒内。先在小于 50 kPa 的垂直压力下以较快的剪切速率进行预剪，使形成一个破裂面（如试样坚硬，也可用刀、锯等工具先切割成一个剪切面），然后在垂直加荷下固结稳定后进行剪切。

3 对于泥化夹层或滑坡层面，当无法取得原状土样时，可刮取夹层或层面上的土样，制备成圆锥下沉深度为 10 mm 的液限状态土膏，再将土膏填入环刀内。填装时，先沿环刀的四周填入，再填中部，应排除试样内的空气，同一组试样填入密度允许差值为 0.03 g/cm^3 。

4 原状土样应尽量取靠近破裂面上的土测其含水率，扰动土样应取切下的余土测其含水率。

5 一般采用抽气饱和法使试样达到饱和。

17.0.6 试验操作应按下列步骤进行：

1 对直剪仪进行详细检查。对准上、下剪切盒，插入固定销。顺序放上透水板、滤纸，并将试样推入剪切盒内。上面再放上滤纸、透水板、加压盖板、钢珠及加压框架等。安装垂直变形位移计。在剪切盒周围包以湿棉花，以防止水分的蒸发。

2 每组试验应制备 4 个试样，在 4 种不同垂直压力下进行剪切。垂直压力宜为 100、200、300、400 kPa。各个垂直压力可一次轻轻施加，若土质松软，应分级施加以防试样被挤出。

3 在试样上施加垂直压力后，测记垂直变形读数，当读数小于 0.005 mm/h 时，可认为固结已达稳定。也可在其他仪器上

进行预固结，然后再移到剪切盒内，继续固结至稳定后，再进行剪切。

4 除含水率相当于液限试样的剪切外，一般原状土和硬黏土在试验时剪切盒应开缝，缝宽 0.3~1.0 mm。

5 启动电动机，使剪切盒前端的钢珠与测力计接触，并调整其初始读数。

6 拔出固定销，调节变速箱。对粉土、粉质黏土的剪速不宜超过 0.06 mm/min；对黏土的剪速不宜超过 0.02 mm/min。开动电动机正向开关，按以上剪速进行剪切，试样每产生剪切位移 0.2~0.4 mm，测记测力计和位移读数，当剪应力超过峰值后，按剪切位移每隔 0.5 mm 测记一次。直至最大剪切位移 8~10 mm 时停止剪切。每次剪切时，试验不允许中断。

7 第一次剪切完成后，启动电动机反向开关，以剪速不大于 0.6 mm/min 将剪切盒反向推至与上剪切盒重合后，插入固定销。

8 等待半小时后，重复本条第 5~7 款的步骤进行第二次剪切，如此反复剪切多次，直至最后两次剪切时测力计读数接近为止。一般对粉土、粉质黏土需剪切 5~6 次。总剪切量达 40~50 mm，对黏土需剪切 3~4 次，总剪切位移量达 30~40 mm。

9 剪切结束后，测记垂直位移计的读数，吸去剪切盒中积水，尽快卸除位移计、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。取剪切面上下的试样测定剪后含水率。

17.0.7 试验结果应按下式计算及制图：

1 残余强度：

$$\tau_r = (C \cdot R / A_0) \times 10 \quad (17.0.7)$$

式中 τ_r ——剪应力 (kPa)，计算至 1 kPa；

C ——测力计率定系数 (N/0.01mm)；

R ——测力计读数 (0.01mm)；

A_0 ——试样面积 (cm²)；

10——单位换算因数。

2 绘制剪应力与剪切位移关系曲线，见图 17.0.7—1。取每一个试验曲线上第一次剪切峰值为峰值剪应力 τ_f ，最后稳定值为残余剪应力 τ_r 。绘制抗剪强度与垂直压力关系曲线，见图 17.0.7—2。

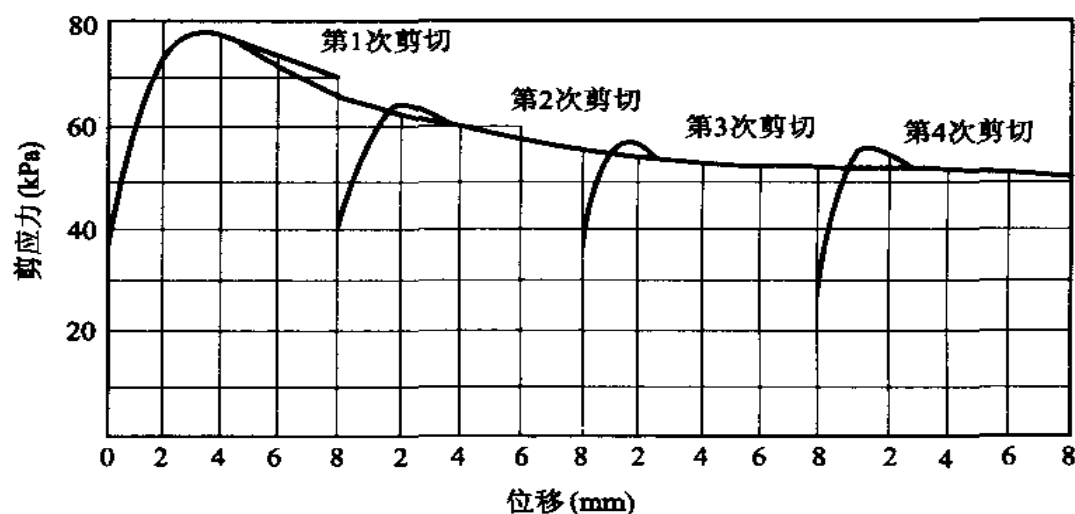


图 17.0.7—1 剪应力与剪切位移曲线

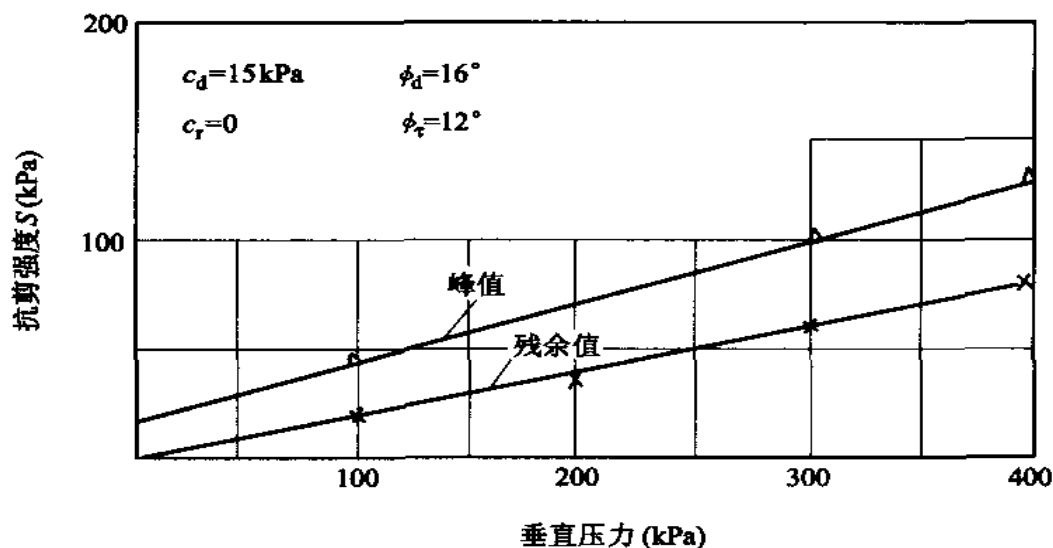


图 17.0.7—2 抗剪强度与垂直压力关系曲线

17.0.8 记录格式应符合表 17.0.8 的要求。

表 17.0.8 排水反复直接剪切试验

工程名称 _____

试样编号 _____

仪器编号:		剪前固结时间: min	
测力计率定系数: N/0.01 mm		剪前固结沉降量: mm	
剪切速率: mm/min		试样面积: cm ²	
垂直压力: kPa		剪切次数:	
		抗剪强度: kPa	

剪切位移 (0.01 mm)	垂直位移计读数 (0.01 mm)	测力计读数 (0.01 mm)	剪应力 (kPa)
30			
60			
100			
130			
160			
200			
230			
260			
300			
350			
400			
⋮			
800			

注：“+”为剪胀，“-”为剪缩。

复核 _____ 年 ____ 月 ____ 日

试验 _____ 年 ____ 月 ____ 日

18 三轴压缩试验

18.1 一般规定

18.1.1 三轴压缩试验宜采用 3~4 个圆柱形试样，分别在不同的恒定周围压力下，逐渐增加轴向压力，使试样内部产生剪应力直至试样破坏的一种抗剪强度试验。

18.1.2 本试验方法适用于测定黏性土、粉土和砂类土的总抗剪强度参数和有效抗剪强度参数。

18.1.3 本试验根据排水条件，可分为下列三种方法：

1 不固结不排水剪（UU）试验是在施加周围压力和增加轴向压力直至破坏过程中不允许试样排水。可求得总抗剪强度参数（ c_u 、 ϕ_u ）。

2 固结不排水剪（CU 或 $\overline{CU}$ ）试验是试样先在某一周围压力作用下排水固结。然后在保持不排水的情况下，增加轴向压力直至破坏为止。本试验可测得总抗剪强度参数 c_{cu} 、 ϕ_{cu} 或者有效抗剪强度参数 c' 、 ϕ' 和孔隙压力系数。

3 固结排水剪（CD）试验是试样先在某一周围压力作用下排水固结，然后在允许试样继续排水的条件下增加轴向压力直至破坏为止。本试验可测得有效抗剪强度参数 c_d 、 ϕ_d 。

18.1.4 在无法取得 3~4 个试样进行三轴压缩试验时，可采用一个试样多级加荷试验。

18.2 仪器设备

18.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 应变控制式三轴仪如图 18.2.1—1 所示，主要包括压力室、轴向加压设备、周围压力控制系统、反压力控制系统、孔隙

压力测量系统、轴向变形和体积变化量测系统。

2 附属设备

- 1) 击实筒：见图 18.2.1—2。
- 2) 饱和器：见图 18.2.1—3。
- 3) 切土盘：见图 18.2.1—4。
- 4) 切土器和切土架：见图 18.2.1—5。
- 5) 原状土分样器：见图 18.2.1—6。
- 6) 承膜筒安装示意图：见图 18.2.1—7。
- 7) 制备砂样圆模：见图 18.2.1—8。

3 天平：称量 200 g、分度值 0.01 g；称量 1 000 g，分度值 0.1 g；称量 5 kg，分度值 1 g。

4 量表：量程 30 mm，分度值 0.01 mm。

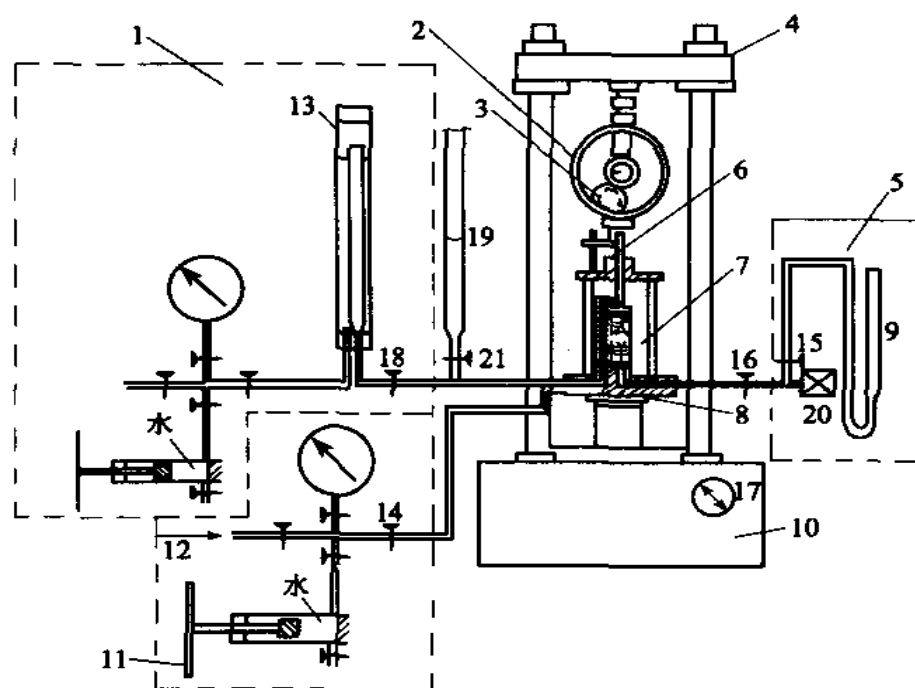


图 18.2.1—1 三轴仪组成示意

- 1—反压力控制系统；2—轴向测力计；3—轴向位移计；4—试验机横梁；
5—孔隙压力测量系统；6—活塞；7—压力室；8—升降台；9—量水管；
10—试验机；11—周围压力控制系统；12—压力源；13—体变管；
14—周围压力阀；15—量管阀；16—孔隙压力阀；17—手轮；
18—体变管阀；19—排水管；20—孔隙压力传感器；21—排水管阀

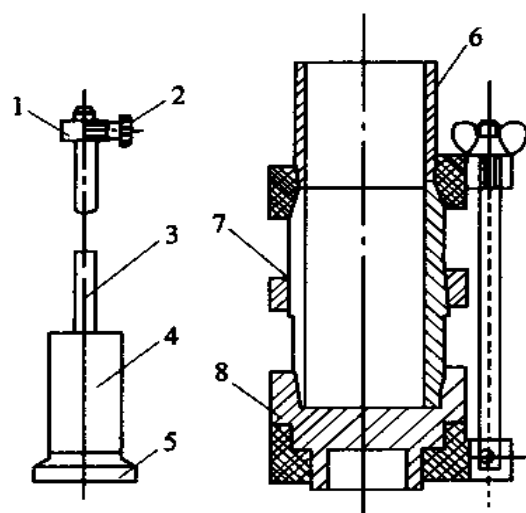


图 18.2.1—2 击实筒

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；

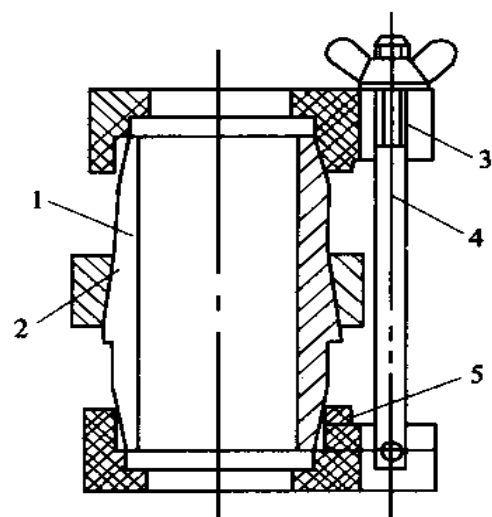


图 18.2.1—3 饱和器

1—土样筒；2—紧箍；3—夹板；
4—拉杆；5—透水板

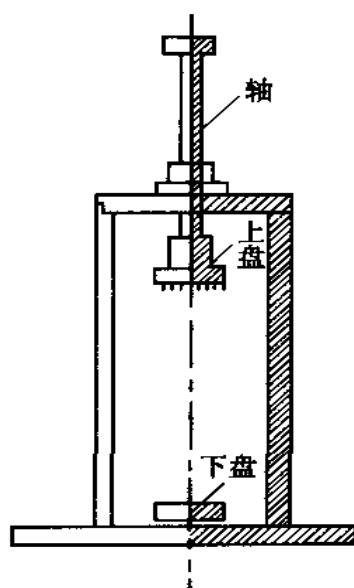


图 18.2.1—4 切土盘

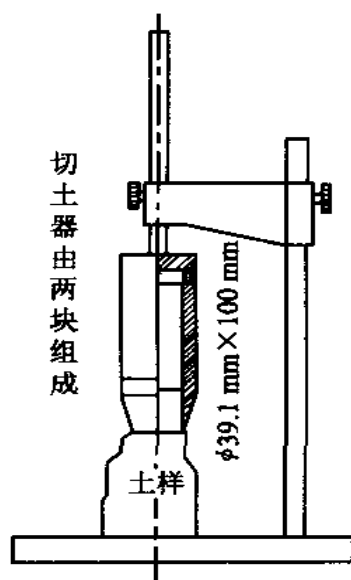


图 18.2.1—5 切土器和切土架

5 橡皮膜：对直径 39.1 mm 和直径 61.8 mm 的试样，橡皮膜厚度以 0.1~0.2 mm 为宜，对直径 101 mm 的试样，橡皮膜厚度以 0.2~0.3 mm 为宜。

18.2.2 试验时的仪器应符合下列要求：

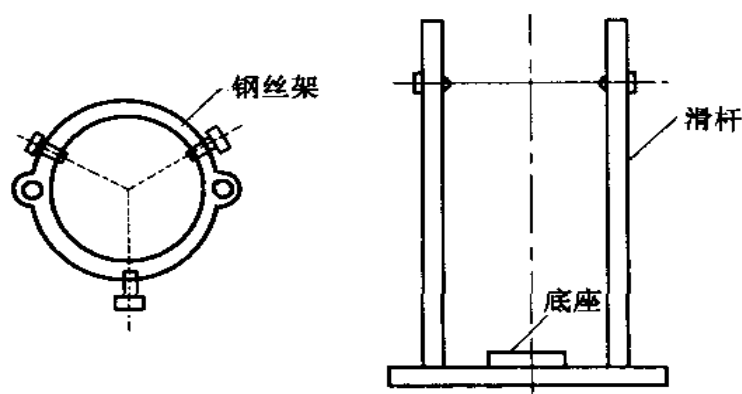


图 18.2.1—6 原状土分样器

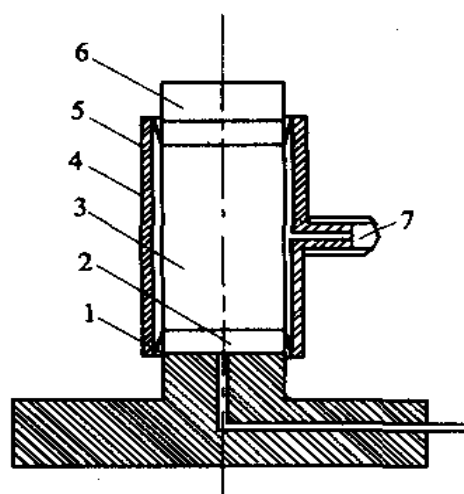


图 18.2.1—7 承膜筒安装示意

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

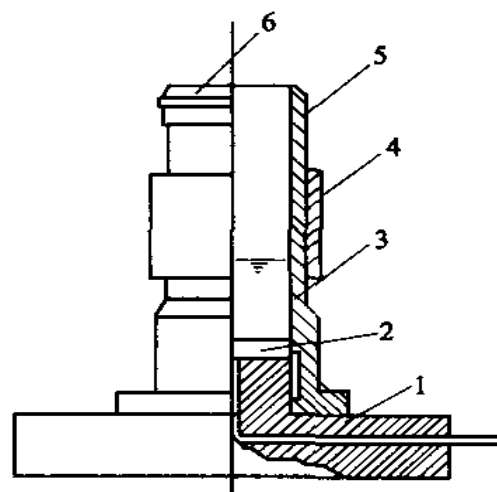


图 18.2.1—8 制备砂样圆模

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

1 对于周围压力控制系统和反压力控制系统的仪表其误差应小于全量程的 $\pm 1\%$ 。如用传感器，其误差应小于全量程的 $\pm 0.5\%$ 。根据试样强度的大小，选择不同量程的测力计，应使最大轴向压力的准确度不低于 1% 。

2 孔隙压力量测系统的气泡应完全排除。其方法是一边向系统内充脱气水一边施加压力，并打开孔隙压力阀让管路中的气泡从压力室底座排除。应反复几次，使气泡完全冲出为止。

(如用零位指示器时,可将水银移入贮槽内,关闭量管阀,用调压筒对孔隙压力量测系统加压排除气泡,注意勿使贮槽内水银冲出指示器。排气完毕后,从贮槽中移回水银,关闭孔隙压力阀,用调压筒施加压力)。整个系统的体积变化系数应小于 $1.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{kPa}$ 。

3 排水管路应畅通,各连接处应无漏水漏气现象,压力室活塞杆在轴套内能自由滑动。

4 橡皮膜的检查方法是扎紧两端,向膜内充气,然后沉入水中应无气泡溢出,方可使用。

5 各种试验方法进行试样剪切前,应按表 18.2.2 规定对三轴仪阀门的开、关状态进行检查。

表 18.2.2 各阀门的开、关状态及强度参数

试验方法	体变管阀 (18)	排水管阀 (19)	周围压力阀 (14)	孔隙压力阀 (16)	量管阀 (15)	强度 参数
UU 试验	关	关	开	关	关	c_u, ϕ_u
$\overline{\text{CU}}$ 试验 (测孔隙压力)	关	关	开	开	关	c', ϕ'
CU 试验	关	关	开	关	关	c_{cu}, ϕ_{cu}
CD 试验	开	开	开	开	关	c_d, ϕ_d

18.3 试样的制备和饱和

18.3.1 试样尺寸应符合下列规定:

1 试样直径为 35.0 mm、39.1 mm、61.8 mm 和 101 mm,高度与直径之比为 2.0~2.5 倍。

2 试样的允许最大粒径:当试样直径小于 100 mm 时为直径的 1/10;当试样直径大于或等于 100 mm 时为直径的 1/5。

3 对于有裂隙、软弱面或构造面的试样,试样直径宜采用 61.8 mm 或 101 mm。

18.3.2 原状土试样制备应按下列步骤进行:

1 对于一般土样,先用钢丝锯或切土刀切取一稍大于规定

尺寸的土柱，放在切土盘上、下圆盘之间（图 18.2.1—4），用钢丝锯或切土刀紧靠侧板，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。对于直径大于 10 cm 的土样，可先用分样器（图 18.2.1—6）切成 3 个土柱，然后再按上述方法切取直径为 39.1 mm 的试样。

2 对于较硬的土样，先用切土刀或钢丝锯切取一块稍大于规定尺寸的土柱，并将上、下两端削平，然后按试样上下层次，放在切土架（图 18.2.1—5）上进行切削。切削前应先先在切土器刃口内壁涂上薄层滑润油，将刀口对准土样的顶面，边削边压切土器，直至切削到比要求的试样高度高出约 2 cm 为止。拆开切土器，将试样取出，按要求高度将两端削平。在切样过程中，如试样表面遇到砾石而形成孔洞，允许用切削下来的余土填补。

3 将切成的试样称量，用卡尺测量试样的直径和高度，按下式计算试样的平均直径：

$$D_0 = \frac{D_1 + 2D_2 + D_3}{4} \quad (18.3.2)$$

式中 D_0 ——试样的平均直径（mm）；

D_1 ——试样的上部直径（mm）；

D_2 ——试样的中部直径（mm）；

D_3 ——试样的下部直径（mm）。

4 取切下的余土测定含水率。同一组试样间的含水率差值不宜大于 2%，密度差值不宜大于 0.03 g/cm³。

18.3.3 扰动土试样制备宜采用击实法或石膏法，应按下列步骤进行：

1 击实法试样制备应根据要求的干密度和含水率，按本规程第 3.2.2 条第 1~5 款步骤备样后，在击实筒内分层击实，粉土分 3~5 层，黏性土分 5~8 层，每层土样质量应相等，每层接触面应刨毛。击完最后一层，将击实筒内的试样两端整平，取出

试样称其质量，同一组试样的密度差值不得超过 0.02 g/cm^3 。

2 对于含水率接近液限的软黏土应采用土膏法制样。先将土样调成含水率略大于液限的土膏，在保湿器内静置约 24 h。测定土膏含水率，同一组试样含水率差值不应大于 1%。在压力室底座上依次装上透水板、湿滤纸、橡皮膜和对开圆模，称制备好的土膏将其填入橡皮膜内。操作中应避免在试样中夹有气泡。试样装好后整平顶部，称剩余的土膏，计算装入土膏质量。在试样顶部依次放湿滤纸、透水板和顶帽并扎紧橡皮膜。然后打开孔隙压力阀和量管阀，降低量水管，使其水位低于试样中心约 50 cm，测读量水管读数，算出排水后试样的含水率。拆去对开模，测定试样上、中、下部位的直径及高度，按本程式 (18.3.2) 计算试样的平均直径。

18.3.4 砂类土试样制备应按下列步骤进行：

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。分为三等分，在水中煮沸，冷却后待用。

开启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，用橡皮圈将透水板扎紧在底座上。关闭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，使橡皮膜的上端翻过来，抽气，可使橡皮膜贴紧对开模的内壁，如图 18.2.1—8。注脱气水约达对开膜高度的 $1/3$ 处，立即将经煮沸冷却后的砂样装入膜中，填至要求高度。当第 1 层砂样填完后，继续注水至 $2/3$ 高度处，装第 2 层砂样。直至模内装满所称的砂样为止。放上透水板、试样帽，翻起橡皮膜，扎紧试样帽。

开启量水管阀降低量水管，使量水管内水面低于试样中心位置下约 20 cm，以产生负压，使试样能站立起来。除去对开膜，再量测此时试样的直径和高度，复核试样的干密度，各试样的干密度差值不得大于 0.03 g/cm^3 。

18.3.5 试样饱和宜选用下列方法：

1 抽气饱和：将装有试样的饱和器置于真空缸中进行抽气。

当真空度接近 1 个大气压后再继续抽气 1~2 h。其他步骤可按本规程第 3.5.3 条进行。然后取出试样并称其质量。

2 水头饱和：对于砂类土和粉土可直接在仪器上用水头饱和。其方法是先将试样按本规程第 18.5.1 条第 1 款的步骤安装于压力室内。施加 18 kPa 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平面，使两管水面差在 1 m 左右，打开孔隙压力阀、量管阀和排水阀，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。

3 反压力饱和：要求试样完全饱和时，则应对试样施加反压力。反压力系统和周围压力系统相同（对不固结不排水剪试验可用同一套设备施加），但应用双层体变管代替排水量管。试样装好后，调节孔隙水压力等于大气压力，关闭孔隙压力阀、反压力阀、体变管阀，测记体变管读数，开启周围压力阀，先对试样施加 18 kPa 的周围压力，开启孔隙压力阀，待孔隙压力稳定后记录读数，并关闭孔隙压力阀。

反压力应分级施加，并同时分级施加周围压力，宜减少对试样的扰动。在施加反压力过程中，始终保持周围压力比反压力大 18 kPa。反压力和周围压力的每级增量：对软黏土取 30 kPa；对坚实的土或初始饱和度较低的土取 50~70 kPa。具体操作时，先调节周围压力至 50 kPa，并将反压力系统调至 30 kPa，同时打开周围压力阀和反压力阀，再缓慢地打开孔隙压力阀，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。

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 $\Delta u / \Delta \sigma_3 \leq 0.98$ 时，则表示试样尚未饱和，这时应关闭孔隙压力阀、反压力阀和周围压力阀，继续按上述规定施加下一级周围压力和反压力。当试样在某级压力下 $\Delta u / \Delta \sigma_3 > 0.98$ 时，表明试样已达到饱和。

18.4 不固结不排水剪试验

18.4.1 试验操作应按下列步骤进行:

1 试样安装:

- 1) 对压力室底座充水,在底座上放置不透水板,依次放上试样、不透水板、试样帽。将橡皮模套在承膜筒内,两端翻出筒外,如图 18.2.1—7 所示。从吸气孔吸气,使膜贴紧承膜筒的内壁,然后套在试样的外面,放气,翻起橡皮膜的两端,取出承模筒。用橡皮圈将橡皮膜两端与压力室底座及试样帽分别扎紧。
- 2) 提升压力室罩顶部活塞,装上压力室罩,将活塞对准试样帽的中心,旋紧底座连接螺丝,再将轴向测力计对准活塞。
- 3) 开启排气孔,向压力室充水,当快注满水时,降低进水速度,当水从排气孔溢出时,关闭排气孔。
- 4) 关闭体变管阀和孔隙压力阀,开启周围压力阀,施加周围压力 σ_3 。周围压力大小应与工程的实际荷载相适应,尽可能使最大周围压力与土体的最大实际荷载大致相等。也可按 100、200、300、400 kPa 施加周围压力。
- 5) 旋转手轮,同时转动活塞,当轴向测力计有微读数时表示活塞已与试样帽接触。将轴向测力计和轴向位移计的读数调整到零位。

2 试样剪切:

- 1) 电动机启动前,应按表 18.2.2 规定将各阀门开启或关闭。
- 2) 剪切应变速率宜为每分钟应变 0.5%~1.0%,按此调整变速箱排档。
- 3) 启动电动机,合上离合器,进行剪切。在开始阶段,试样每产生 0.3%~0.4% 的轴向应变,测记测力计读

数和轴向位移计读数各一次。当轴向应变大于 3% 时, 试样每产生 0.7%~0.8% 的轴向应变, 测记一次。当遇到试样特别脆硬或软弱时, 应加密或减少测记次数。

- 4) 当读数出现峰值时, 应继续剪切至轴向应变超过 3%。当测力计读数不出现峰值时, 应继续剪切到轴向应变达 15%~20%。
- 5) 试样剪切结束后, 关闭电动机、脱开离合器, 关闭压力阀, 使压力表退回到零, 对准粗调离合器, 反转粗调手轮, 降下压力室, 开排气孔, 排除压力室内的水。
- 6) 拆卸压力室外罩, 取下试样外面的橡皮膜, 称取试样的质量和测定含水率。

18.4.2 试验结果应按下列公式计算及制图:

1 轴向应变:

$$\epsilon_1 = \frac{\Delta h_i}{h_0} \times 100 \quad (18.4.2-1)$$

式中 ϵ_1 ——轴向应变 (%), 计算至 0.1%;

Δh_i ——剪切过程中试样高度变化 (mm);

h_0 ——试样原始高度 (mm)。

2 试样剪切时的面积:

$$A_a = \frac{A_0}{1 - 0.01\epsilon_1} \quad (18.4.2-2)$$

式中 A_a ——试样剪切时的面积 (cm^2), 计算至 0.01cm^2 ;

A_0 ——试样初始面积 (cm^2)。

3 主应力差:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = \frac{CR}{A_a} \times 10 \quad (18.4.2-3)$$

式中 $\sigma_1 - \sigma_3$ ——主应力差 (kPa);

σ_1 ——大主应力 (kPa);

σ_3 ——小主应力 (kPa);

C ——测力计率定系数 ($\text{N}/0.01\text{mm}$);

R ——测力计读数 (0.01 mm);

10——单位换算因数。

4 以主应力差为纵坐标, 轴向应变为横坐标, 绘制主应力差与轴向应变关系曲线 (见图 18.4.2—1)。取曲线上主应力差峰值作为破坏点, 无峰值时, 取 15% 轴向应变时的主应力差值作为破坏点。

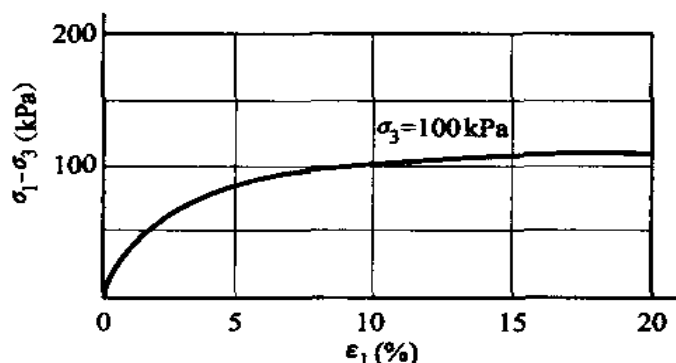


图 18.4.2—1 主应力差与轴向应变关系曲线

5 以剪应力为纵坐标, 垂直应力为横坐标, 在横坐标轴上以破坏时的 $\frac{\sigma_{1f} + \sigma_{3f}}{2}$ 为圆心, 以 $\frac{\sigma_{1f} - \sigma_{3f}}{2}$ 为半径, 在 τ — σ 应力平面上绘制破损应力圆, 绘制不同周围压力下破损应力圆包线。该包线的倾角为内摩擦角 ϕ_u , 包线在纵轴上的截距为黏聚力 c_u (见图 18.4.2—2)。

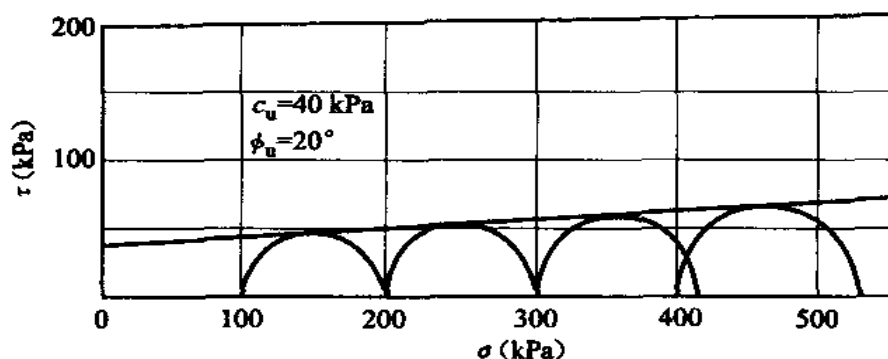


图 18.4.2—2 不固结不排水剪强度包线

18.4.3 试验记录格式应符合表 18.4.3 的要求。

表 18.4.3 不固结不排水剪三轴试验记录

工程名称: _____

试样编号: _____

试样直径: ____ (mm)		试样高度 h_0 : ____ (mm)		试样面积 A_0 : ____ (cm ²)	
试样体积: ____ (cm ³)		试样质量: ____ (g)		试样密度: ____ (g/cm ³)	
试样含水率 w : ____ (%)		周围压力: ____ (kPa)		剪切速率: ____ (mm/min)	
测力计率定系数 C : ____ (N/0.01 mm)					
轴向位移计 读数 (mm)	测力计 读数 (0.01mm)	轴向应变 (%)	剪切时的 试样面积 (cm ²)	主应力差 (kPa)	
(1)	(2)	(3) = $\frac{(1)}{h_0} \times 100\%$	(4) = $\frac{A_0}{1 - 0.01(3)}$	(5) = $\frac{10 \times C \times (2)}{(4)}$	

复核 _____ 年 ____ 月 ____ 日 试验 _____ 年 ____ 月 ____ 日

18.5 固结不排水剪试验

18.5.1 试验操作应按下列步骤进行:

1 试样安装:

- 1) 开启孔隙压力阀和量管阀, 对孔隙水压力系统及压力室底座充水排气, 关闭孔隙压力阀和量管阀。在压力室底座上依次放透水板、湿滤纸、试样、湿滤纸、透水板, 并在试样的周围贴浸过水的滤纸条 7~9 条。将橡皮膜用承膜筒套在试样的外面, 用橡皮圈将橡皮膜下端与底座扎紧。
- 2) 打开孔隙压力阀和量管阀, 使水徐徐地从试样底部流入, 以排除试样与橡皮膜之间的气泡, 关闭孔隙压力阀和量管阀。开启排水阀, 使试样帽中充水, 用橡皮圈将橡皮膜上端与试样帽扎紧, 降低排水管, 使管内水面位于试样中心以下约 18~40 cm, 吸尽试样与橡皮膜之间的多余水分, 关闭排水阀。
- 3) 如需要测定应力应变关系时, 应在试样与透水板之间放置中间夹有硅脂的两层圆形橡皮膜, 在膜的中间应

留有直径为 10 mm 的圆孔排水。

- 4) 压力室罩安装、充水及测力计调整应按本规程第 18.4.1 条第 1 款第 2)~5) 项的规定进行。

2 试样固结:

- 1) 调整量管水面位于试样中心高度处。开启量管阀 (若用零位指示器时用调压筒调整零位指示器的水银面于毛细管指示线), 测读传感器, 记下孔隙压力计起始读数, 然后关量管阀。
- 2) 按本规程第 18.4.1 条第 1 款第 4) 项规定施加周围压力。开启孔隙压力阀, 测记稳定后的孔隙压力读数, 减去起始读数即为初始孔隙压力 u 。如不测孔隙压力, 可不做本款试验。
- 3) 开启排水管阀, 同时记时间读数, 按 0、0.25、1、4、9 min……测记排水管水面及孔隙压力计读数。这时必须使零位指示器水银面保持在原来位置, 排水管的水面位置也应在试样的中心处。固结度应达到 95% 以上, 随时绘制排水量 ΔV 与时间平方根或者时间对数曲线, 如图 18.5.1(a)、(b)。
- 4) 开启体变管阀, 使试样排水固结。完成固结后, 关闭排水管阀或体变管阀, 记下读数。转动细调手轮, 待测力计读数开始微动, 表示活塞已与试样接触, 记录轴向位移计读数, 此时固结下沉为 Δh 。计算此时的试样高 h_c 。
- 5) 使测力计、垂直位移计读数调到零。其余试样按以上方法在不同 σ_3 压力下排水固结。

3 试样剪切:

- 1) CU 试验的试样剪切应按本规程第 18.4.1 条第 2 款的规定进行。
- 2) $\overline{CU}$ 试验的剪切应变速率: 黏土和粉质黏土宜用每分钟应变 0.05%~0.1%; 粉土为每分钟应变 0.1%~0.5%。

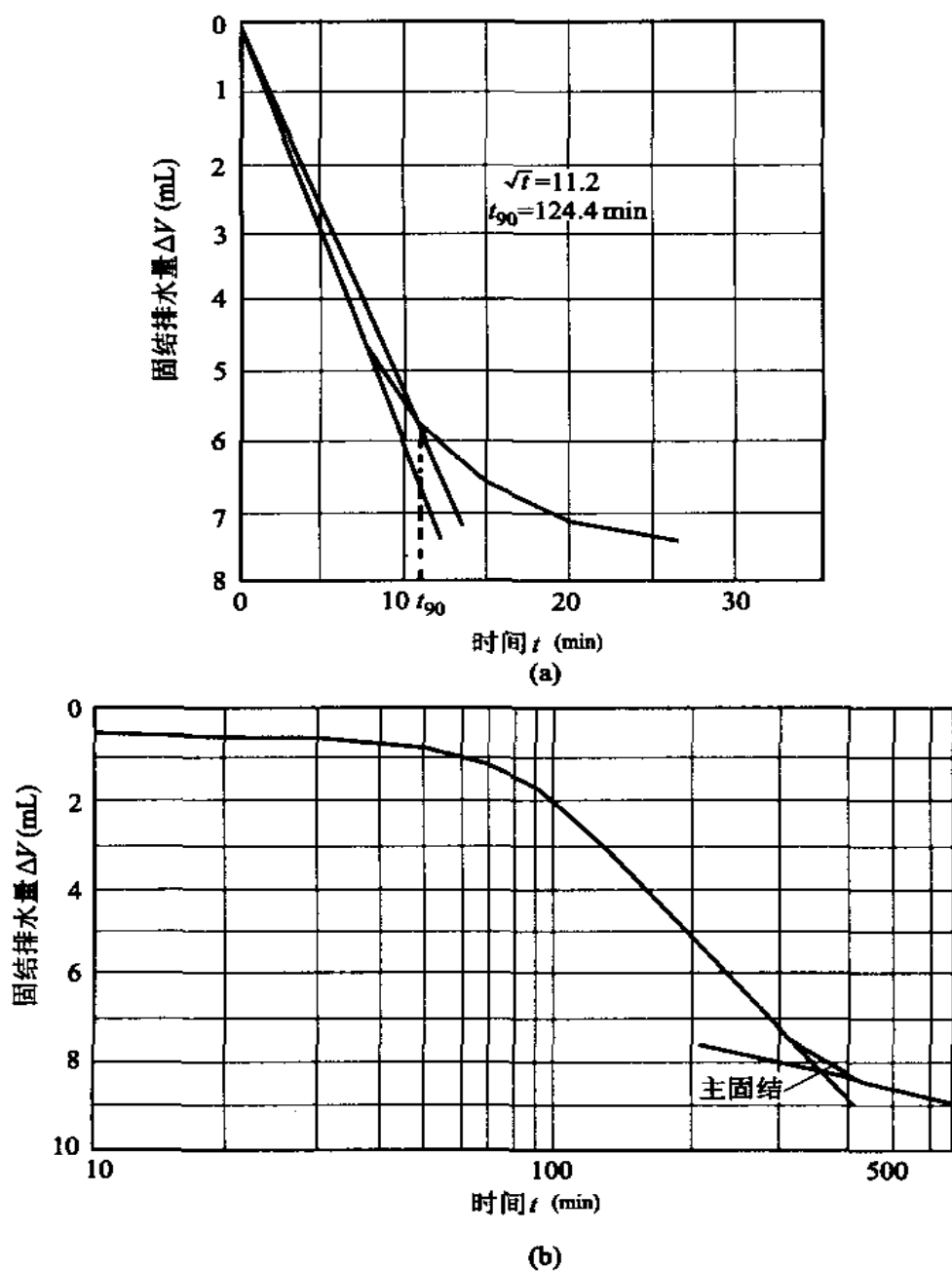


图 18.5.1 排水量与排水时间的关系曲线

(a) 固结排水量与时间平方根曲线；(b) 固结排水量与时间对数曲线

3) 试样剪切应按表 18.2.2 规定检查各阀门开启和关闭状态。

4) 启动电动机，合上离合器，开始剪切。测力计、轴向

位移计的读数,应按本规程 18.4.1 条第 2 款第 3)、4) 项进行测记。 $\overline{\text{CU}}$ 试验测读轴向位移计时应同时测读孔隙压力计的读数。

5) 试验结束后,按本规程第 18.4.1 条第 2 款第 5)、6) 项退掉压力,卸除压力室外罩及试样。

18.5.2 试验结果应按下列公式计算及制图:

1 试样固结后高度:

$$\text{按实测固结下沉} \quad h_c = h_0 - \Delta h_c \quad (18.5.2-1)$$

$$\text{按等应变简化式} \quad h_c = h_0 \left(1 - \frac{\Delta V}{V_0} \right)^{1/3} \quad (18.5.2-2)$$

式中 h_c ——试样固结后高度 (cm), 计算至 0.01 cm;

Δh_c ——实测固结变形量 (cm);

h_0, V_0 ——分别为试样原始高度 (cm) 和体积 (cm^3);

ΔV ——试样固结前后体积变化 (可由实测或试验前后质量差换算)。

2 试样固结后面积:

$$\text{按实测固结下沉} \quad A_c = \frac{V_0 - \Delta V}{h_c} \quad (18.5.2-3)$$

$$\text{按等应变简化式} \quad A_c = A_0 \left(1 - \frac{\Delta V}{V_0} \right)^{2/3} \quad (18.5.2-4)$$

式中 A_c ——试样固结后面积 (cm^2), 计算至 0.01 cm^2 。

3 试样剪切时的面积:

$$A_a = \frac{A_c}{1 - 0.01 \varepsilon_1} \quad (18.5.2-5)$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h_i}{h_c} \times 100 \quad (18.5.2-6)$$

4 主应力差应按本规程式 (18.4.2—3) 计算。

5 有效主应力比:

$$\frac{\sigma_1'}{\sigma_3'} = \frac{\sigma_1 - u}{\sigma_3 - u} \quad (18.5.2-7)$$

式中 σ_1' ——有效大主应力 (kPa);
 σ_3' ——有效小主应力 (kPa);
 u ——孔隙水压力 (kPa)。

6 初始孔隙水压力系数:

$$B = \frac{u_1}{\sigma_3} \quad (18.5.2-8)$$

式中 B ——试样初始孔隙水压力系数;
 u_1 ——在周围压力下所产生的初始孔隙压力 (kPa)。

7 试样破坏时孔隙水压力系数:

$$A_f = \frac{u_f}{B(\sigma_1 - \sigma_3)} \quad (18.5.2-9)$$

式中 A_f ——试样破坏时孔隙水压力系数, 计算至 0.01;
 u_f ——试样在主应力差下产生的孔隙压力 (kPa)。

8 主应力差与轴向应变关系曲线应按本规程第 18.4.2 条第 4 款规定绘制。

9 以有效主应力比为纵坐标, 轴向应变为横坐标, 绘制有效主应力比与轴向应变关系曲线 (见图 18.5.2—1)。

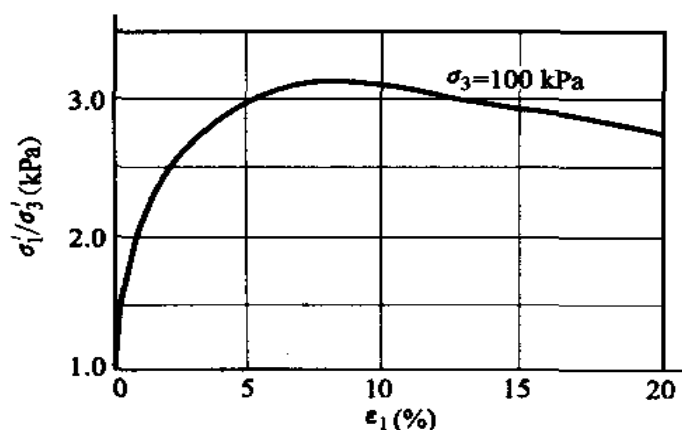


图 18.5.2—1 有效主应力比与轴向应变关系曲线

10 以孔隙水压力 u 为纵坐标, 轴向应变 ϵ_1 为横坐标, 绘制孔隙水压力与轴向应变关系曲线 (见图 18.5.2—2)。

11 以 $\frac{1}{2}(\sigma_1' - \sigma_3')$ 为纵坐标与 $\frac{1}{2}(\sigma_1' + \sigma_3')$ 为横坐标, 绘

制有效应力路径曲线，以曲线上密集点或转折点作为破坏点，连成一条直线（见图 18.5.2—3），并按下列公式计算有效内摩擦角和有效黏聚力：

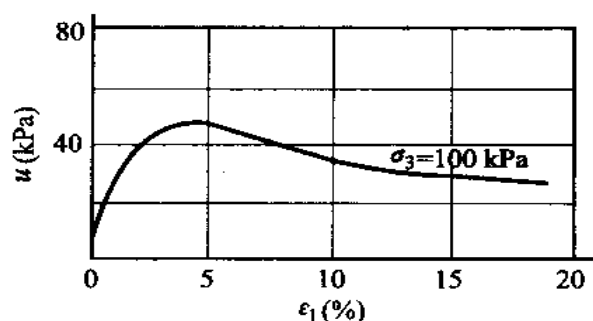


图 18.5.2—2 孔隙压力与轴向应变关系曲线

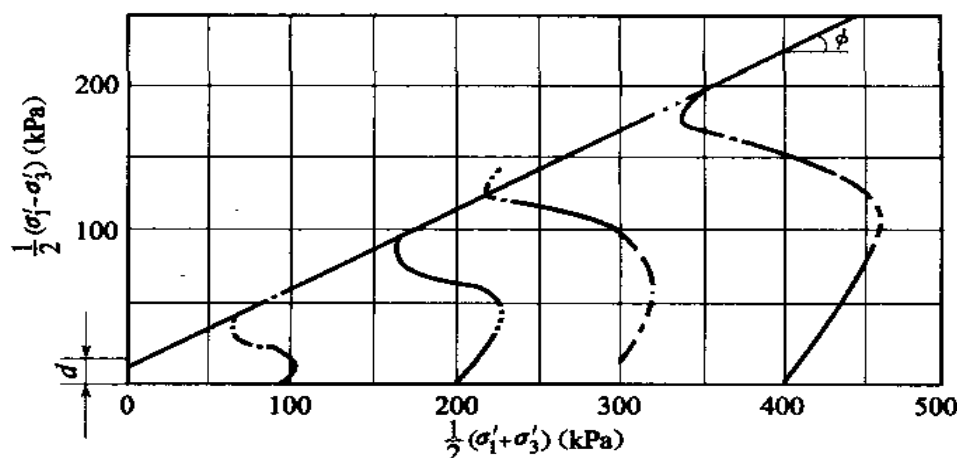


图 18.5.2—3 应力路径曲线（正常固结黏土）

有效内摩擦角：

$$\phi' = \arcsin(\tan \phi) \quad (18.5.2-10)$$

有效黏聚力：

$$c' = \frac{d}{\cos \phi'} \quad (18.5.2-11)$$

式中 ϕ' ——有效内摩擦角（°），计算至 0.1°；

ϕ ——应力路径曲线图上破坏点连线的倾角（°）；

c' ——有效应力；

d ——应力路径曲线图上破坏点连线在纵坐标轴上的截

距。

12 以有效主应力差或有效主应力比的峰值作为破坏点，无峰值时，以有效应力路径的密集点或轴向应变 15% 时主应力差值作为破坏点，按本规程第 18.4.2 条第 5 款的规定绘制破坏应力圆及不同周围压力下的破坏应力圆包线，并求出总应力强度参数；有效内摩擦角和有效黏聚力，应以 $\frac{1}{2}(\sigma'_{1f} + \sigma'_{3f})$ 为圆心，以 $\frac{1}{2}(\sigma'_{1f} - \sigma'_{3f})$ 为半径（下角标 f 表示破坏时的值），绘制有效破坏应力圆确定（见图 18.5.2—4 中的虚线所示）。

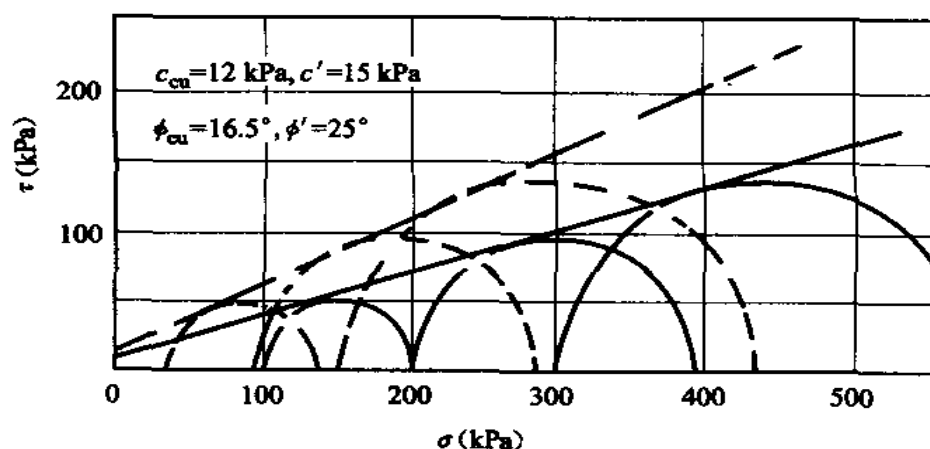


图 18.5.2—4 固结不排水剪强度包线

18.5.3 记录格式应符合表 18.5.3—1 和表 18.5.3—2 的要求。

表 18.5.3—1 三轴压缩试验记录(固结过程)

工程名称: _____

试样编号: _____

周围压力: _____ (kPa) 试样质量: _____ (g) 试样密度: _____ (g/cm ³) 试样饱和度: _____ (%)					试样尺寸		固 结 前		固 结 后							
					试样直径		D_0 (mm)		D_c (mm)							
					试样高度		h_0 (mm)		h_c (mm)							
					试样面积		A_0 (cm ²)		A_c (cm ²)							
					试样体积		V_0 (cm ³)		V_c (cm ³)							
反 压 力 过 程							说明 (检验 结果)	固 结 过 程						说 明		
时间 (min)	周围 压力 σ_3 (kPa)	反压力 u_0 (kPa)	孔隙 压力 u (kPa)	孔隙压力 增量 Δu (kPa)	试样体积变化			时间 (min)	量 管		孔隙压力		体 变 管			
					读数 (cm ³)	体变量 (cm ³)			读数	排水量	读数 (kPa)	压力值 (kPa)	读数 (cm ³)		体变值 (cm ³)	

复核 _____ 年 ____ 月 ____ 日

试验 _____ 年 ____ 月 ____ 日

表 18.5.3—2 三轴压缩试验记录(固结不排水和排水剪切试验)

工程名称: _____

试样编号: _____

试样固结后高度 h_c : _____ (mm)试样固结后面积 A_c : _____ (cm²)试样固结后体积 V_c : _____ (cm³)周围压力 σ_3 : _____ (kPa)

剪切速率: _____ (mm/min)

测力计率定系数 C : _____ (N/0.01mm)

轴向 变形 读数 Δh (0.01 mm)	轴向 应变 $\epsilon_1 = \frac{\Delta h_i}{h_c}$ (%)	试样校 正面积 $A_a = \frac{A_c}{1 - \epsilon_1}$ (cm ³)	测力 计读 数 R (0.01 mm)	主应力差 ($\sigma_1 - \sigma_3$) $= \frac{RC}{A_a} \times 10$ (kPa)	大主应力 $\sigma_1 = (\sigma_1 - \sigma_3) + \sigma_3$ (kPa)	孔隙压力		试样体积变化				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)	$\frac{\sigma_1' + \sigma_3'}{2}$ (kPa)
						读 数	压 力 值 (kPa)	排水管		体积变化							
								读 数	排 出 水 量 (cm ³)	读 数	体 变 量 (cm ³)						

复核 _____ 年 ____ 月 ____ 日

试验 _____ 年 ____ 月 ____ 日

18.6 固结排水剪试验

18.6.1 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 试样的安装应按本规程第 18.5.1 条第 1 款规定进行。
- 2 排水固结应按本规程第 18.5.1 条第 2 款规定进行。
- 3 试样剪切：
 - 1) 固结排水剪中试样剪切应按表 18.2.2 规定检查各阀门的开启和闭关状态。
 - 2) 剪切速率应采用每分钟应变 $0.003\% \sim 0.012\%$ 。在整个剪切过程中，应使孔隙水压力消散度达 95% 以上，当达不到时，应放慢剪切速率。
 - 3) 启动电动机，合上离合器。剪切过程中测记测力计、轴向变形读数应按本规程第 18.4.1 条第 2 款第 2)、4) 项规定进行。在测读轴向变形时，应同时测体变管读数或排水管水位。在剪切过程中，应经常调整排水管及量管水的水位，使水位与试样中心高度齐平。
 - 4) 试样剪切结束后，关闭排水阀、孔隙压力阀及量管阀。再按本规程第 18.4.1 条第 2 款第 5)、6) 项退除压力，卸掉压力室外罩和试样。

18.6.2 试验结果应按下列公式计算及制图：

- 1 试样固结后的面积、高度应按本规程式 (18.5.2—1) 和式 (18.5.2—2) 进行计算。

- 2 剪切时的试样面积校正值：

$$A_a = \frac{V_c - \Delta V_i}{h_c - \Delta h_i} \quad (18.6.2)$$

$$V_c = A_c h_c$$

式中 V_c ——试样固结后体积 (cm^3)；

ΔV_i ——剪切过程中试样体积变化 (cm^3)；

Δh_i ——剪切过程中试样高度变化 (cm)。

- 3 主应力差应按本规程公式 (18.4.2—3) 进行计算。

4 有效主应力比及孔隙压力系数应按本规程式 (18.5.2—7)、式 (18.5.2—8) 和式 (18.5.2—9) 进行计算。

5 主应力差与轴向应变关系曲线应按本规程第 18.4.2 条第 4 款规定绘制。

6 主应力比与轴向应变关系曲线应按本规程第 18.5.2 条第 9 款规定绘制。

7 破损应力圆、有效内摩擦角和有效黏聚力应按本规程第 18.5.2 条第 12 款步骤绘制固结排水剪强度包线 (见图 18.6.2)。

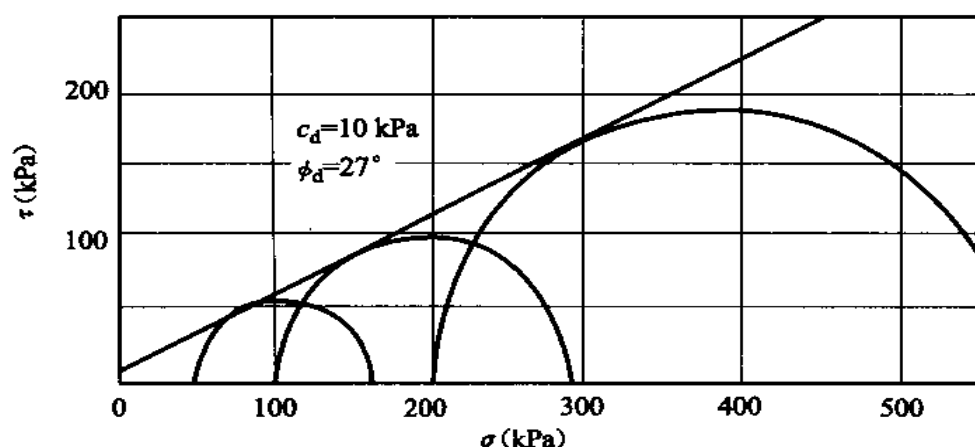


图 18.6.2 固结排水剪强度包线

18.6.3 记录格式应符合本规程表 18.5.3—1 和表 18.5.3—2 的要求。

18.7 一个试样多级加荷试验

18.7.1 本试验采用一个试样多级施加周围压力和轴向压力进行剪切, 以测定土的总抗剪强度参数 c 、 ϕ 和有效抗剪强度参数 c' 、 ϕ' 。本方法适用于一般黏性土和粉土。

18.7.2 不固结不排水剪试验应按下列步骤进行:

1 试样安装应按本规程第 18.4.1 条第 1 款步骤进行。

2 施加第一级周围压力, 试样剪切应按本规程第 18.4.1 条第 2 款第 2)、3) 项规定的应变速率进行。当测力计读数达到稳

定或接近稳定时，测记测力计和轴向位移计读数。关闭电动机，将测力计调整为零。

3 施加第二级周围压力，这时测力计因施加周围压力读数略有增加，应将测力计读数调整至零位。然后转动手轮，当测力计读数微动时，表示试样帽与测力计重新接触，再按原来剪切速率进行剪切，直至测力计读数稳定或接近稳定为止。如此进行第三级、第四级周围压力下的剪切。累计轴向应变不应超过 20%。

4 试验结束后，拆除试样，称试样的质量，并测定含水率。

5 试验结果应按本规程第 18.4.2 条第 1~4 款规定进行计算及绘图。试样的轴向应变按累计变形计算，绘制不固结不排水剪试验的主应力差与轴向应变关系曲线（见图 18.7.2）。

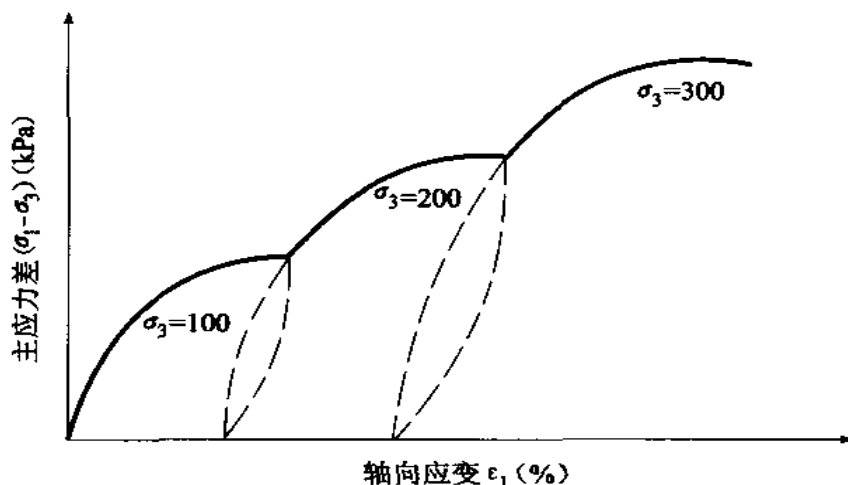


图 18.7.2 不固结不排水剪的应力与应变关系曲线

18.7.3 固结不排水剪试验应按下列步骤进行：

1 试样安装应按本规程第 18.5.1 条第 1 款步骤进行。

2 试样固结应按本规程第 18.5.1 条第 2 款步骤进行。第一级周围压力采用 50 kPa，第二级和以后各级周围压力应等于、大于前一级周围压力下的破坏大主应力。

3 试样剪切按本规程第 18.5.1 条第 3 款步骤进行。第一级剪切完成后，退除轴向压力，待孔隙压力稳定后再施加第二级周围压力，进行排水固结。

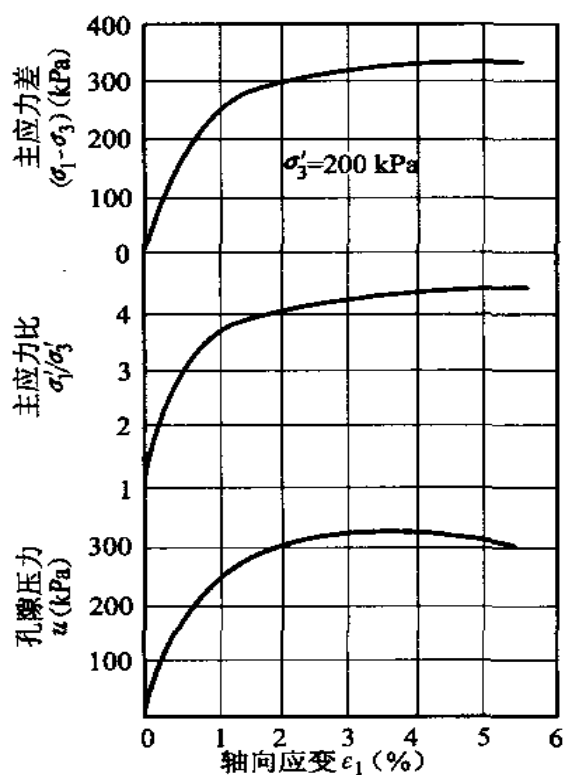


图 18.7.3—1 固结不排水剪应力与应变曲线

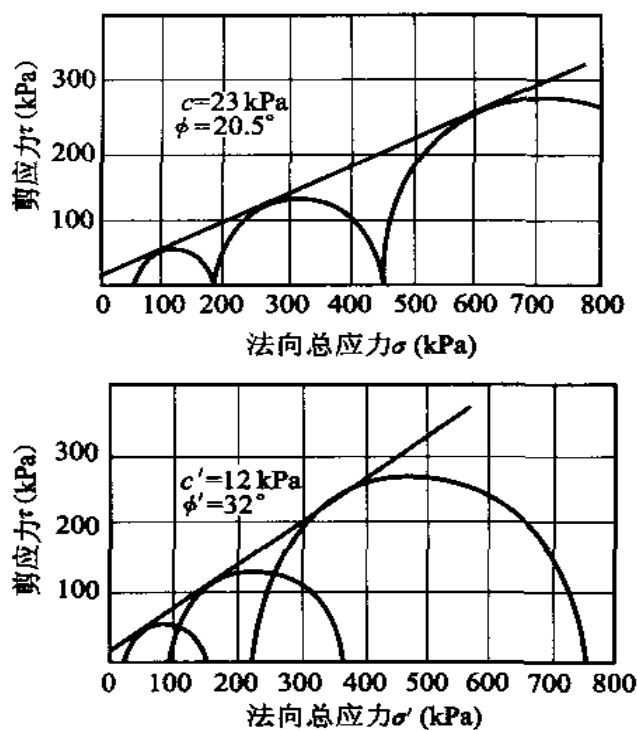


图 18.7.3—2 一个试样固结不排水剪强度包线

4 固结完成后进行第二级周围压力下的剪切，并按上述步骤进行，第三级周围压力下的剪切，累计轴向应变不得超过 20%。

5 试验结束后，拆除试样，称试样质量并测定含水率。

6 试验结果应按本规程第 18.5.2 条的规定进行计算及绘图。试样的轴向变形，应以前一级剪切終了退去轴向压力后的试样高度作为后一级的起始高度，计算各级周围压力下的轴向应变。绘制固结不排水剪应力与应变曲线（见图 18.7.3—1）及一个试样固结不排水剪强度包线（见图 18.7.3—2）。

18.7.4 记录格式应符合本规程表 18.4.3、表 18.5.3—1 和表 18.5.3—2 的要求。

19 无侧限抗压强度试验

19.0.1 无侧限抗压强度是圆柱体试样在无侧向压力条件下，抵抗轴向压力的极限强度。

原状土无侧限抗压强度与相应的重塑土无侧限抗压强度之比为土的灵敏度。

19.0.2 本试验适用于测定在自重作用下不发生变形的饱和软黏土的无侧限抗压强度 q_u 和灵敏度 S_t 。

19.0.3 本试验应采用下列仪器设备：

1 应变控制式无侧限压缩仪：见图 19.0.3 所示。包括轴向测力计、轴向位移计、加荷架、升降板以及上、下传压板等。测力计按本规程附录 C 进行标定。

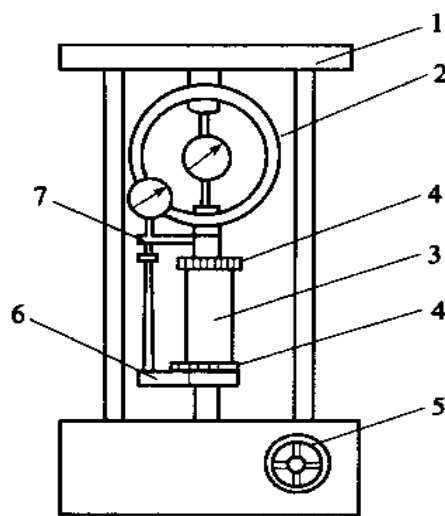


图 19.0.3 应变控制式无侧限压缩仪

1—轴向加荷架；2—轴向测力计；3—试样；4—上、下传压板；
5—手轮或电动转轮；6—升降板；7—轴向位移计

2 轴向位移计：量程 10 mm，分度值 0.01 mm 的百分表或准确度为全量程 0.2% 的位移传感器。

3 天平：称量 500 g，分度值 0.1 g。

4 其他：切土盘、重塑筒、秒表、0.1 mm 精度卡尺、切土刀、钢丝锯、凡士林等。

19.0.4 试验操作应按下列步骤进行：

1 按本规程第 18.3 节制备试样。试样直径宜为 35~50 mm，高径比宜为 2.0~2.5。

2 将已制备的试样置于下传压板上，开始转动转轮，使试样与上传压板刚好接触，并将轴向测力计和轴向位移计的读数均调整到零。

3 以每分钟 1%~3% 的应变速度（每分钟约 5~15 转）转动转轮，使整个试验在 8~10 min 内完成。

4 轴向应变小于 3% 时，每增加 0.5% 记录测力计和位移计读数一次；轴向应变到达 3% 以后，每增加 1% 记录测力计和位移计读数一次。

5 测力计读数达到峰值或稳定值以后，应继续转动转轮，再继续进行 3%~5% 的应变值，即可停止试验。当读数无稳定值时，则试验应进行到轴向应变达 20% 为止。

6 试验结束后，迅速反转转轮，取出试样，并描述破坏后试样的形状。

7 当需测定灵敏度时，应将已破坏后的试样刮掉表面上的凡士林，再加入少量切削下来的余土，包以塑料布，用手搓捏，以破坏其原来结构。按本规程第 3.2 节制成与原状试样密度相等的重塑试样。然后按上述步骤进行试验。

19.0.5 试验结果应按下列公式计算及制图：

1 轴向应变：

$$\varepsilon_1 = \frac{\Delta h}{h_0} \times 100 \quad (19.0.5-1)$$

式中 ε_1 ——轴向应变（%）；

Δh ——轴向变形（mm）；

h_0 ——试样的初始高度（mm）。

2 校正后的试样面积:

$$A_a = \frac{A_0}{1 - 0.01\varepsilon_1} \quad (19.0.5-2)$$

式中 A_a ——校正后试样面积 (cm^2);

A_0 ——试样初始面积 (cm^2)。

3 试样所受的轴向应力:

$$\sigma = \frac{C \cdot R}{A_a} \times 10 \quad (19.0.5-3)$$

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);

10——单位换算因数。

4 以轴向应力为纵坐标, 轴向应变为横坐标, 绘制应力与应变关系曲线; 见图 19.0.5。在曲线上最大轴向应力值为 q_u , 当最大轴向应力值不明显时, 可取轴向应变为 15% 处的应力为无侧限抗压强度值。

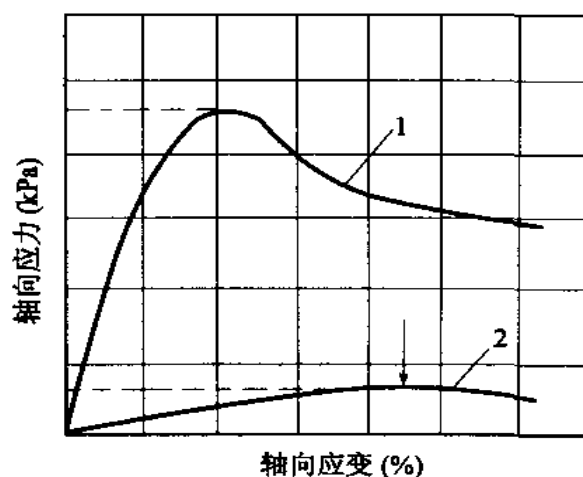


图 19.0.5 轴向应力与轴向应变关系曲线

1—原状试样; 2—重塑试样

5 灵敏度:

$$S_t = \frac{q_u}{q_u} \quad (19.0.5-4)$$

式中 S_s ——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)。

19.0.6 记录格式应符合表 19.0.6 的要求。

表 19.0.6 无侧限抗压强度试验记录

试样说明

试样编号

试验前试样高度 $h_0 =$ cm		转轮每转一转上升高度 $\Delta L =$ mm		试样破坏 状态		
试验前试样直径 $D_0 =$ cm		量力环率定系数 $C =$ N/0.01 mm				
试验前试样面积 $A_0 =$ cm ²		原状试样无侧限抗压强度 $q_u =$ kPa				
试样质量 $m =$ g		重塑试样无侧限抗压强度 $q_u' =$ kPa				
试样密度 $\rho =$ g/cm ³		灵敏度 $S_1 =$				
转轮转数	测力计读数	轴向变形	轴向应变	校正后面积	轴向荷重	轴向应力
(n)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(%)	(cm ²)	(N)	(kPa)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
				$\frac{A_0}{1 - (4)}$	$C \times (2)$	$\frac{(6)}{(5)} \times 10$

复核 年 月 日

试验 年 月 日

20 击实试验

20.0.1 击实试验是测定试样在标准击实功作用下含水率与干密度之间的关系，从而确定该试样的最优含水率和最大干密度。

20.0.2 本试验应分轻型击实和重型击实。轻型击实试验单位体积击实功宜为 600 kJ/m^3 ，重型击实试验单位体积击实功宜为 2700 kJ/m^3 。

20.0.3 本试验类型和方法列于表 20.0.3，应根据工程要求和试样最大粒径选用。

表 20.0.3 击实试验标准技术参数

试验类型	试 验 方 法										
	编 号	击 实 仪 规 格							试 验 条 件		
		击 锤			击 实 筒			护筒	层数	每层击数	最大粒径 (mm)
		质量 (kg)	锤底直径 (mm)	落距 (mm)	内径 (mm)	筒高 (mm)	容积 (cm^3)	高度 (mm)			
轻 型	Q1	2.5	51	305	102	116	947.4	50	3	25	5
	Q2	2.5	51	305	152	116	2103.9	50	3	56	20
重 型	Z1	4.5	51	457	102	116	947.4	50	5	25	5
	Z2	4.5	51	457	152	116	2103.9	50	5	56	20
	Z3	4.5	51	457	152	116	2103.9	50	3	94	40

注：1 Q1、Q2、Z1、Z2、Z3 分别称轻 1、轻 2、重 1、重 2、重 3；

2 Q2、Z2、Z3 筒高为筒内净高。

20.0.4 当试样中粒径大于各方法相应最大粒径 5 mm、20mm 或 40mm 的颗粒质量占总质量的 5% ~ 30% 时，其最大干密度和最优含水率应进行校正。

20.0.5 本试验应采用下列仪器设备：

1 击实筒：钢制圆柱形筒，尺寸应符合表 20.0.3 规定。该筒配有钢护筒、底板和垫块，见图 20.0.5—1。

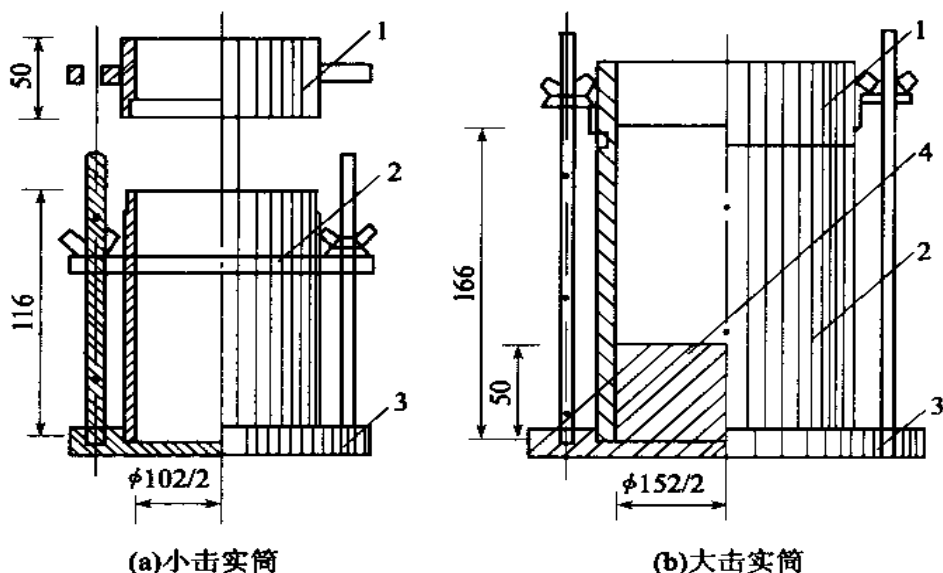


图 20.0.5—1 击实筒 (mm)

1—护筒；2—击实筒；3—底板；4—垫块

2 击锤：击锤必须配备导筒，锤与导筒之间要有相应的间隙，使锤能自由下落，并设有排气孔，见图 20.0.5—2。击锤可用人工操作或机械操作，机械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 推土器：螺旋式推土器或其他适用设备。

4 天平：称量 200 g，分度值 0.01 g。

5 台秤：称量 15 kg，分度值 5 g。

6 标准筛：孔径为 5 mm、20 mm、40 mm。

7 其他：碾土设备、喷水设备、切土刀、称量盒、烘箱等。

20.0.6 试样制备分为干法和湿法两种，应符合下列规定：

1 干法制备试样应按下列步骤进行：

1) 将代表性试样风干或在低于 50℃ 温度下进行烘干。烘干后以不破坏试样的基本颗粒为准。将土碾碎，过 5 mm、20 mm 或 40 mm 筛，拌和均匀备用。试样数量，小直径击实筒最少 20 kg，大直径击实筒最少 50 kg。

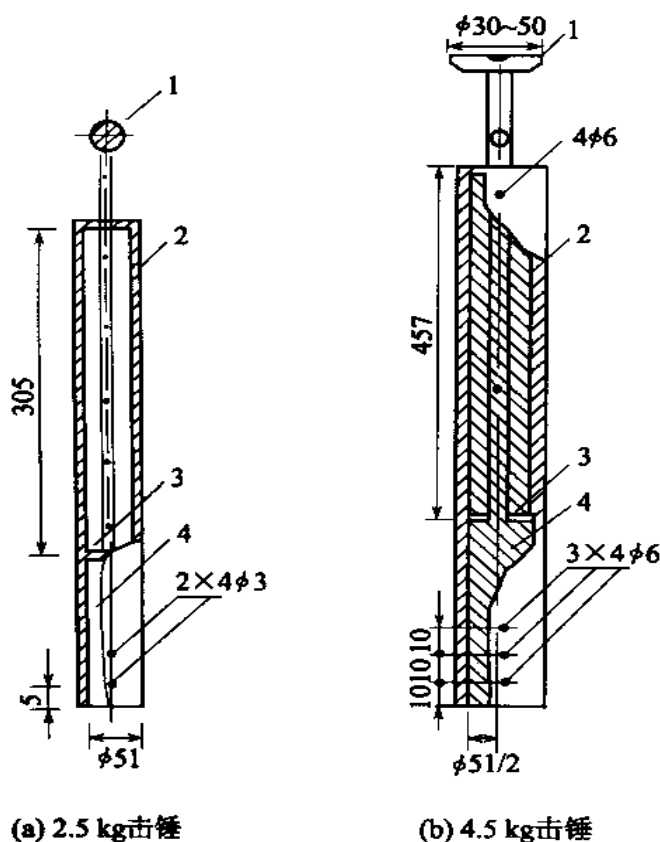


图 20.0.5—2 击锤与导筒 (单位: mm)

1—提手; 2—导筒; 3—硬橡皮垫; 4—击锤

- 2) 按本规程第 4.2 节烘干法测定试样的风干含水率。按试样的塑限估计最优含水率, 在最优含水率附近选择依次相差约 2% 的含水率制备一组试样至少 5 个, 其中 2 个含水率大于塑限、2 个小于塑限、1 个接近塑限。加水量可用下式计算:

$$m_w' = \frac{m_0}{1 + w_0} (w' - w_0) \quad (20.0.6)$$

式中 m_w' ——所需加水量 (g);
 m_0 ——风干试样质量 (g);
 w_0 ——风干试样含水率 (%);
 w' ——要求达到的含水率 (%)。

- 3) 按预定的含水率制备试样。根据击实筒容积大小, 每

个试样取 2.5 kg 或 6.5 kg，平铺于不吸水的平板上，洒水拌和均匀，然后分别放入有盖的容器里静置备用。高塑性黏性土静置时间不得小于 24 h，低塑性黏性土静置时间可缩短，但不应小于 12 h。

2 湿法制备试样应按下列步骤进行：将天然含水率的试样碾碎过 5 mm、20 mm 或 40 mm 筛，混合均匀后，按选用击实筒容积取 5 份试样，其中一份保持天然含水率，其余 4 份分别风干或加水达到所要求的不同含水率。制备好的试样要完全拌匀，保证水分均匀分布。

20.0.7 试验操作应按下列步骤进行：

1 称取击实筒质量 (m_1) 并作记录。

2 将击实仪放在坚实的地面上，安装好击实筒及护筒（大直径击实筒内还要放入垫块），内壁涂少许润滑油。每个试样应根据选用试验类型按表 20.0.3 规定，分层击实。每层高度应近似，两层交界处层面刨毛，所用试样的总量应使最后的击实面超出击实筒顶不大于 6 mm。击实时要保持导筒垂直平稳，并按第 20.0.3 条规定相应试验类型的层数和击数，以均匀速度作用到整个试样上。击锤应沿击实筒周围锤击一遍后，中间再加一击。

3 击实完成后拆去护筒，用切土刀修平击实筒顶部的试样，拆除底板，当试样底面超出筒外时，也应修平，擦净筒的外壁，称筒和试样的总质量，准确至 5 g。

4 用推土器将试样从筒中推出，从其中心取 2 个代表性试样按本规程第 4.2 节烘干法测定含水率。

5 试样不宜重复使用。对易被击碎的脆性颗粒及高塑性黏土的试样不得重复使用。

6 按以上步骤进行不同含水率试样的击实。

20.0.8 试验结果应按下列公式计算及制图：

1 击实后试样的湿密度：

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (20.0.8-1)$$

式中 ρ ——击实后试样的湿密度 (g/cm^3), 计算至 $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$;
 m_2 ——击实后筒和湿试样质量 (g);
 m_1 ——击实筒质量 (g);
 V ——击实筒容积 (cm^3)。

2 击实后试样的干密度:

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w} \quad (20.0.8-2)$$

式中 ρ_d ——击实后试样的干密度 (g/cm^3), 计算至 $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$;
 w ——含水率 (%)。

3 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, 见图 20.0.8。曲线上峰值点的纵横坐标分别表示该击实试样的最大干密度和最优含水率。若曲线不能绘出正确的峰值点, 应进行补点。

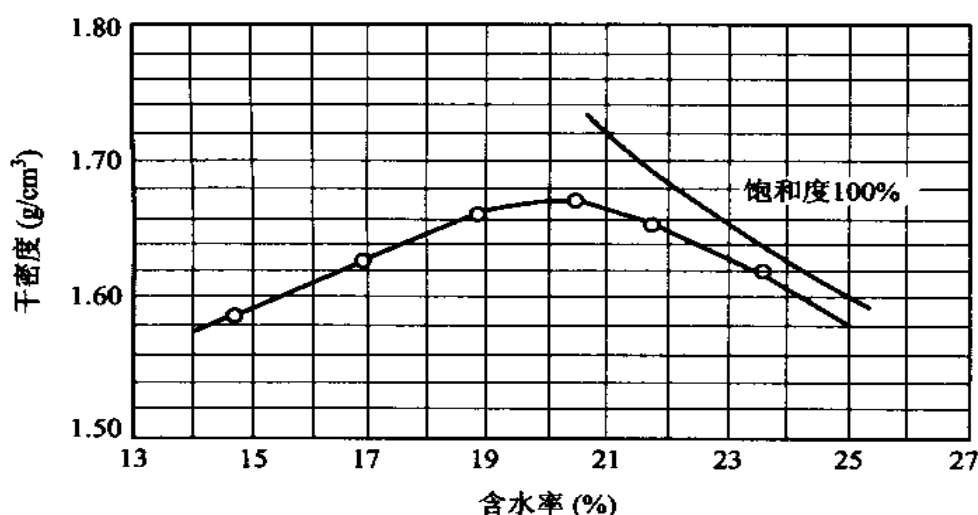


图 20.0.8 ρ_d — w 关系曲线

4 根据第 20.0.4 条规定, 试验所得的最大干密度和最优含水率需校正时, 应按以下公式进行:

1) 校正后试样的最大干密度:

$$\rho'_{dmax} = \frac{1}{\frac{1 - P_s}{\rho_{dmax}} + \frac{P_s}{\rho_a}} \quad (20.0.8-3)$$

式中 ρ'_{dmax} ——校正后试样的最大干密度 (g/cm^3), 计算至 $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$;

ρ_{dmax} ——粒径小于 5 mm、20 mm 或 40 mm 的试样试验所得的最大干密度 (g/cm^3);

P_s ——试样中粒径大于 5 mm、20 mm 或 40 mm 的颗粒含量的质量分数;

ρ_a ——粒径大于 5 mm、20 mm 或 40 mm 的颗粒毛体积密度 (g/cm^3), 由本规程第 6.3 节或第 6.4 节测得。

2) 校正后试样的最优含水率:

$$w'_{\text{opt}} = w_{\text{opt}}(1 - P_s) + P_s w_x \quad (20.0.8-4)$$

式中 w'_{opt} ——校正后试样的最优含水率 (%), 计算至 0.01 %;

w_{opt} ——粒径小于 5 mm、20 mm 或 40 mm 的试样试验所得的最优含水率 (%);

w_x ——粒径大于 5 mm、20 mm 或 40 mm 颗粒吸着含水率 (%), 由本规程第 6.3 节或第 6.4 节测得。

5 饱和含水率:

$$w_{\text{sat}} = \left(\frac{\rho_w}{\rho_d} - \frac{\rho_w}{\rho_s} \right) \times 100 \quad (20.0.8-5)$$

式中 w_{sat} ——饱和含水率 (%), 计算至 0.1 %;

ρ_s ——试样颗粒密度, 对于粗粒土, 则为试样中粗细颗粒的混合密度;

ρ_w ——4℃时水的密度 (g/cm^3);

6 计算数个干密度下试样的饱和含水率, 以干密度为纵坐标, 含水率为横坐标, 绘制出饱和曲线, 见图 20.0.8。

20.0.9 记录格式应符合表 20.0.9 的要求。

表 20.0.9 击实试验记录

试样编号_____

试验方法 土的分类 土的密度		风干试样含水率 估计最优含水率 干法、湿法制备		层数 每层击数				
试验点号				1	2	3	4	5
干 密 度	筒和试样总质量 (g)	(1)						
	筒质量 (g)	(2)						
	湿试样质量 (g)	(3)	(1) - (2)					
	湿密度 (g/cm ³)	(4)						
	干密度 (g/cm ³)	(5)	$\frac{(4)}{1+w}$					
含 水 率	盒号	—						
	盒和湿试样总质量 (g)	(1)						
	盒和干试样总质量 (g)	(2)						
	盒质量 (g)	(3)						
	水质量 (g)	(4)	(1) - (2)					
	干试样质量 (g)	(5)	(2) - (3)					
	含水率 (%)	(6)	$[(4) \div (5)] \times 100$					
	平均含水率 (%)							
最大干密度		g/cm ³	最优含水率		%	饱和度		%
大于 5mm、20mm 或 40mm 颗粒含量		%	校正后最大干密度		g/cm ³	校正后最优含水率		%

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

21 K_{30} 、 E_{vd} 平板载荷试验

21.1 一般规定

21.1.1 K_{30} 平板载荷试验是采用直径为 30 cm 的荷载板测定下沉量为 1.25 mm 地基系数的试验方法。计量单位为 MPa/m。

21.1.2 E_{vd} 动态平板载荷试验是采用动态变形模量测试仪来监控检测土体承载力指标——动态变形模量 E_{vd} 的试验方法。它通过落锤试验和沉陷测定来直接测出反映土体动态特性的指标 E_{vd} ，计量单位为 MPa。

21.1.3 K_{30} 平板载荷试验和 E_{vd} 动态平板载荷试验适用于粒径不大于荷载板直径 1/4 的各类土和土石混合填料，测试有效深度范围为 400~500 mm。

21.1.4 试验场地及环境条件应符合下列要求：

1 K_{30} 平板载荷试验：

- 1) 对于水分挥发快的均粒砂，表面结硬壳、软化、或因其他原因表层扰动的土，平板荷载试验应置于扰动带以下进行。
- 2) 对于粗、细粒均质土，宜在压实后 2~4 h 内开始进行。
- 3) 测试面必须是平整无坑洞的地面。对于粗粒土或混合料造成的表面凹凸不平，应铺设一层约 2~3 mm 的干燥中砂或石膏腻子。此外，测试面必须远离震源，以保持测试精度。
- 4) 雨天或风力大于 6 级的天气，不得进行试验。

2 E_{vd} 动态平板载荷试验：

- 1) 测试面宜水平，其倾斜度不大于 5°。

- 2) 测试面必须平整无坑洞。对于粗粒土或混合料造成的表面凹凸不平,可用少量细中砂来补平。
- 3) 试验时测试点必须远离震源。

21.2 K_{30} 平板载荷试验

21.2.1 本试验应采用下列仪器设备:

1 荷载板:荷载板为圆形钢板,其直径为 30 cm,板厚为 25 mm。荷载板上应带有水准泡。

2 加载装置:

- 1) 液压千斤顶与手动油泵,通过高压油软管连接。千斤顶顶端应设置球铰,并配有可调节丝杆和加长杆件,以便与各种不同高度的反力装置相适应。选用荷载应大于或等于 50 kN。
- 2) 液压油软管长度至少为 2 m,两端应装有自动开闭阀门的快速接头,以防止液压油漏出。
- 3) 手动液压泵上应装有一个可调节减压阀,可准确地分级对荷载板实施加、卸载。
- 4) 测压表量程应达到最大试验荷载的 1.25 倍,精度不低于 0.6 级。
- 5) 当使用测力计直接测量加荷荷载时,测力计精度应达到 1%。

3 反力装置的承载能力应大于最大试验荷载 10 kN。

4 下沉量测量装置由测桥和测表组成。测桥是用于安装测表固定支架或作为测表量测基准面,由长度大于 3 m 的支撑梁和支撑座组成,当跨度为 4 m 时其截面系数应大于或等于 8 cm^3 。测表宜配置 3~4 个精度为 0.01 mm 的百分表或电子数显百分表,量程应不小于 10 mm,每个测表应配有可调式固定支架。

5 其他:铁锹、钢板尺(长 400 mm)、毛刷、圪工泥刀、刮铲、水准仪、铅锤、褶尺、干燥中砂、石膏、油、遮阳挡风设施等。

21.2.2 试验仪器的校验应符合下列规定:

1 测试地基系数时,应对仪器进行测试校验。

2 新仪器进行试验的三个月内,应每月标定一次,以作出相应误差修正。当三次标定误差小于 $\pm 5\%$ 时,仪器进入稳定期。

3 仪器每次投入新工点或每年必须予以校验一次。仪器校验方法见本规程附录 E。

21.2.3 试验操作应按下列步骤进行:

1 场地测试面应进行平整,并使用毛刷扫去松土。当处于斜坡上时,应将荷载板支撑面做成水平面。

2 安置平板载荷仪:

1) 将荷载板放置于测试地面上,应使荷载板与地面良好接触,必要时可铺设一薄层干燥砂(2~3 mm)或石膏腻子。当用石膏腻子做垫层时,应在荷载板底面上抹一层油膜,然后将荷载板安放在石膏层上,左右转动荷载板并轻轻击打顶面,使其与地面完全接触,与此同时可借助荷载板上水准泡或水准仪调整水平。

2) 将反力装置承载部分安置于荷载板上方,并加以制动。反力装置的支撑点必须距荷载板外侧边缘 1 m 以外。

3) 将千斤顶放置于反力装置下面的荷载板上,可利用加长杆和通过调节丝杆,使千斤顶顶端球铰座紧贴在反力装置承载部位上,组装时应保持千斤顶垂直不出现倾斜。

4) 安置测桥,测桥支撑座应设置在距离荷载板外侧边缘及反力装置支承点 1 m 以外,测表的安放必须相互对称,并且应与荷载板中心保持等距离。

3 加载试验:

1) 为稳固荷载板,预先加 0.01 MPa 荷载约 30 s,待稳定后卸除荷载,将百分表读数调至零或读取百分表读数作为下沉量的起始读数。

2) 以 0.04 MPa 的增量,逐级加载。每增加一级荷载,当

1 min 的沉降量不大于该级荷载产生的沉降量的 1% 时, 读取荷载强度和下沉量读数, 然后增加下一级荷载。

3) 当总下沉量超过规定的基准值 (1.25 mm), 或者荷载强度超过估计的现场实际最大接触压力, 或者达到地基的屈服点, 试验即可终止。

4 当试验过程出现异常时 (如荷载板严重倾斜, 荷载板过度下沉), 应将试验点下挖相当于荷载板直径的深度, 重新进行试验。对出现的异常应在试验记录表中注明。

21.2.4 试验结果应按下列公式计算及制图:

1 根据试验结果绘出荷载强度与下沉量关系曲线, 见图 21.2.4。

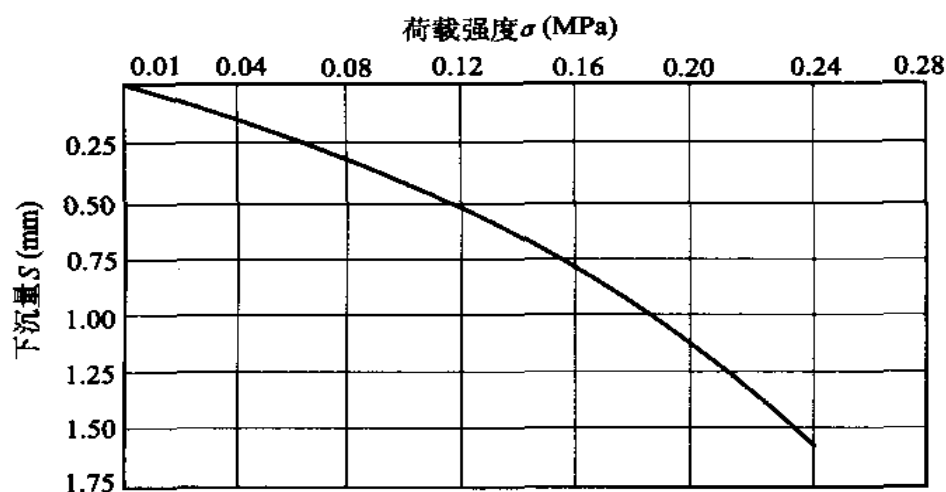


图 21.2.4 荷载强度 σ —下沉量 S 关系曲线

2 从荷载强度与下沉量关系曲线得出下沉量基准值时的荷载强度, 并按下式计算出地基系数:

$$K_{30} = \sigma_s / S_s \quad (21.2.4)$$

式中 K_{30} ——由直径 30 cm 的荷载板测得的地基系数 (MPa/m), 计算取整数;

σ_s —— σ — S 曲线中 $S_s = 1.25 \times 10^{-3}$ m 相对应的荷载强度 (MPa);

S_s ——下沉量基准值 ($=1.25 \times 10^{-3} \text{ m}$)。

21.2.5 试验记录格式应符合表 21.2.5 的要求。

表 21.2.5 K_{30} 平板载荷试验记录

工程名称:		填料类型:		试验编号:			
工程地点:		填层厚度:		试验日期:			
施工单位:		检测里程:		试验人员:			
荷载板直径:		检测标高:		试验负责人:			
加载顺序	荷载强度 σ (MPa)	油压表读数 $P_{\text{压}}$ (MPa)	下沉量 S (mm)(百分表读数)				荷载板中心下沉量 (mm)
			表 1	表 2	表 3	平均	
预压	0.01						
复位	0.00						
1	0.04						
2	0.08						
3	0.12						
4	0.16						
5	0.20						
6	0.24						

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

21.2.6 随机误差应按下列规定进行校正:

1 由被测土体表面状态影响, 所出现的随机误差可通过作图法和 K_{30} ADJUST 程序进行校正。

2 作图法校正见图 21.2.6 所示。

当试验结果如图中曲线②时, 曲线经坐标原点, 可不校正。

当试验误差结果如图中曲线①时, 应在曲线出现明显拐点的位置沿正常曲线延伸, 使交 S 轴于 O_1 点, 此时零点下移 $\Delta S''$, 标准下沉量应为 $S_1 = S_s + \Delta S''$, 并由此对应的荷载强度 σ_1 计算出 K_s 值。

当试验结果如图中曲线③时, 应在曲线出现明显拐点的位置沿正常曲线曲率延伸, 使交 S 轴于 O_3 点, 此时零点上移 $\Delta S'$, 标准下沉量应为 $S_3 = S_s - \Delta S'$, 并由此对应的荷载强度 σ_3 计算出 K_s 值。

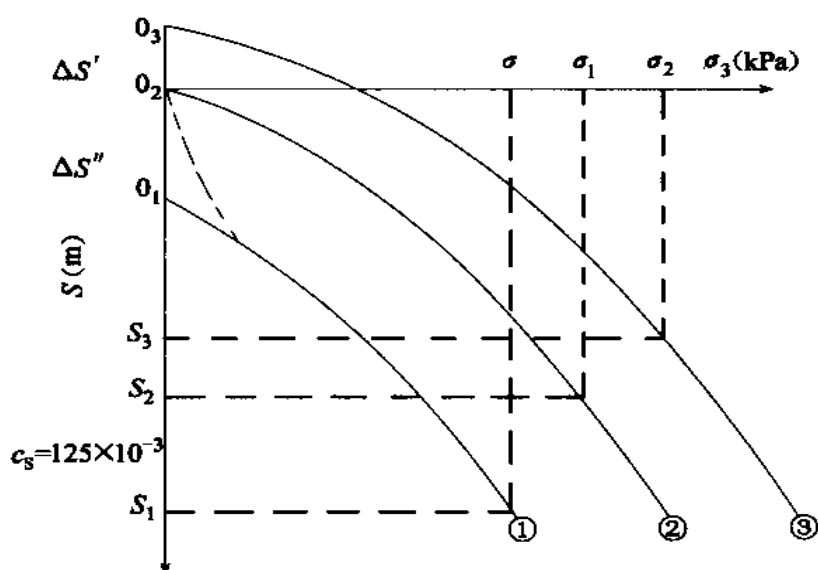


图 21.2.6 随机误差的校正示意

21.3 E_{vd} 动态平板载荷试验

21.3.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 动态变形模量测试仪由加载装置、荷载板和沉陷测定仪三部分组成，见图 21.3.1。

2 加载装置主要由挂（脱）钩装置、落锤、导向杆、阻尼装置等部分构成。

1) 落锤重：10 kg。

2) 最大冲击力：7.07 kN。

3) 冲击持续时间： 18 ± 2 ms。

4) 导向杆必须保持垂直、光洁。

3 荷载板主要由圆形钢板和传感器等部分构成。

1) 圆形钢板直径 300 mm；厚度 20 mm。

2) 传感器必须牢固密贴地安装在荷载板的中心位置上。

4 沉陷测定仪主要由信号处理、显示、打印机和电源等部分构成。

5 沉陷测试范围： $(0.1 \sim 2.0) \text{ mm} \pm 0.05 \text{ mm}$ 。

E_{vd} 测试范围： $10\text{ MPa} < E_{vd} < 225\text{ MPa}$ 。

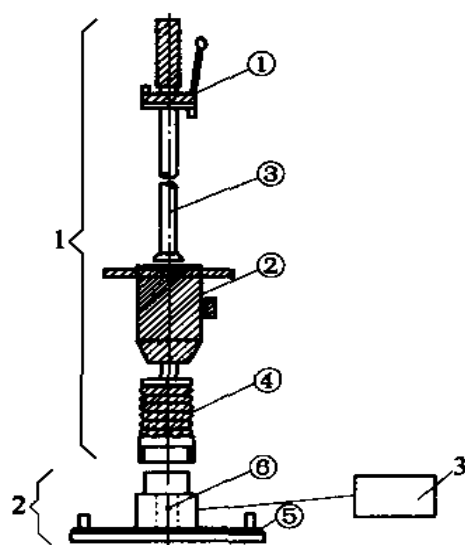


图 21.3.1 动态变形模量测试仪

1—加载装置 (①挂(脱)钩装置; ②落锤; ③导向杆; ④阻尼装置);
2—载荷板 (⑤圆形钢板; ⑥传感器); 3—沉陷测定仪

21.3.2 仪器的校验和标定应符合下列要求:

- 1 仪器在每次试验前应按使用说明书进行校验。
- 2 仪器每年必须重新标定一次。

21.3.3 试验操作应按下列步骤进行:

1 测试前的准备工作:

- 1) 测试面应整平。应使荷载板与地面良好接触。必要时可用少量的细中砂来补平。
- 2) 导向杆应保持垂直。
- 3) 检查仪器标明的落距。

2 测试步骤:

- 1) 荷载板放置在平整好的测试面上, 安装上导向杆并保持其垂直。
- 2) 将落锤提升至挂(脱)钩装置上挂住, 然后使落锤脱钩并自由落下, 当落锤弹回后将其抓住并挂在挂(脱)钩装置上。按此操作进行三次预冲击。
- 3) 正式测试时按上述第 2) 项的方式进行三次冲击测试, 作

为正式测试记录。测试时应避免荷载板的移动和跳跃。

- 4) 测试时, 应记录每个测点的工程名称、检测部位、试验时间、土的种类、含水率以及相关的参数。

21.3.4 试验结果应按下列平板压力公式计算:

$$E_{vd} = 1.5 \times r \times \sigma / S \quad (21.3.4-1)$$

式中 E_{vd} ——动态变形模量 (MPa), 计算至 0.1 MPa;

r ——圆形刚性荷载板的半径 (mm), 即 $r = 150$ mm;

σ ——荷载板下的最大动应力, 它是通过在刚性基础上, 由最大冲击力 $F_s = 7.07$ kN 且冲击时间 $t_s = 18$ ms 时标定得到的, $\sigma = 0.1$ MPa;

S ——实测荷载板下沉幅值 (mm);

1.5——荷载板形状影响系数。

实测结果可采用下列简化公式:

$$E_{vd} = 22.5 / S \quad (21.3.4-2)$$

根据 E_{vd} 与 K_{30} 的相关关系, 可以推算出 K_{30} 值。

21.3.5 记录格式应符合表 21.3.5 的要求。

表 21.3.5 E_{vd} 动态平板载荷试验记录

工程名称:		填料类型:		试验编号:
检测部位:		填层厚度:		试验日期:
施工单位:		检测里程:		环境温度:
仪器型号:		检测标高:		含水率:
冲击顺序	沉陷值 S_i (mm)	平均沉陷值 S (mm)	动态变形模量 E_{vd} (MPa)	备 注
附 动态变形模量测试仪打印的实测结果及实测 $S-t$ (沉陷—时间) 曲线:				

复核: _____ 年 ____ 月 ____ 日 试验: _____ 年 ____ 月 ____ 日

1 取三次冲击测得的平均值 S 计算 E_{vd} , 作为该检测点的测试值。

2 在试验记录表格中应附有动态变形模量测试仪打印出的实测结果及实测 $S-t$ (沉陷—时间) 曲线。

22 黄土湿陷性试验

22.1 一般规定

22.1.1 黄土湿陷性是黄土在一定的压力、浸水作用下，产生压缩、湿陷变形的过程。

22.1.2 黄土湿陷性试验应根据不同工程要求，分别测定黄土的湿陷系数、自重湿陷系数和湿陷起始压力。

22.1.3 本试验在同一土样中制备的试样密度差值不得大于 0.03 g/cm^3 。

22.2 湿陷系数的测定

22.2.1 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 15.2.1 条规定。环刀面积不得小于 50 cm^2 。

22.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 切土时，应使试样的加荷方向与土层受压方向一致。如遇有大孔隙贯通试样时，应用切余的碎土填入堵塞。

2 试样安装及施加预压应按本规程第 15.2.2 条第 2~3 款规定进行。浸水水质应采用纯水，当有特殊要求时，可按要求的水质浸水，但应在报告中加以注明水质条件。

3 记录初读数后，立即卸除预压力，开始施加第一级压力 50 kPa ，加压后，每隔 1 h 测记百分表读数一次，直至试样变形稳定为止。然后依次施加第二级及以后各级压力。

4 加压等级一般为 50 、 100 、 150 、 200 kPa ，最后一级压力应按取土深度而定：从基底算起至 10 m 深度以内，压力为 200 kPa ； 10 m 以下至非湿陷性土层顶面，使用其上覆土层的饱和自重压力，当大于 300 kPa 时，仍应用 300 kPa ；当基底压力大

于 300 kPa 时, 宜按实际压力确定。

5 当试样在最后一级压力下变形稳定后, 向容器内注入纯水, 水面应高出试样顶面, 并保持该水面直至试验结束。每隔 1 h 测读百分表一次, 直至试样变形稳定为止。

6 各级压力下及浸水后的变形稳定标准为每小时变形量不大于 0.01 mm。

7 拆卸仪器及试样应符合本规程第 15.2.2 条第 11 款的规定。

22.2.3 试验结果应按下式计算:

$$\delta_s = \frac{h_p - h_p'}{h_0} \quad (22.2.3)$$

式中 δ_s ——湿陷系数, 计算至 0.001;

h_p ——试样在加至最后一级压力时, 下沉稳定后的高度 (mm);

h_p' ——试样在加至最后一级压力稳定后, 经浸水下沉稳定的高度 (mm);

h_0 ——试样的原始高度 (mm)。

22.2.4 记录格式应符合表 22.2.4 的要求。

表 22.2.4 黄土湿陷性试验记录

试样编号_____

仪器号_____

试验方法_____

试样初始高度_____ mm

试样含水率_____

试样密度_____

颗粒密度_____

压力(kPa) 变形读数 (mm)											浸 水	
	时间	读数	时间	读数	时间	读数	时间	读数	时间	读数	时间	读数
总变形量												
仪器变形量												

续表 22.2.4

压力(kPa) 变形读数 (mm)											浸 水	
	时间	读数	时间	读数	时间	读数	时间	读数	时间	读数	时间	读数
试样变形量												
试样高度												
	湿陷变形系数 $\delta_s = \frac{h_1 - h_2}{h_0}$						自重湿陷系数 $\delta_z = \frac{h_z - h_z'}{h_0}$					

复核_____ 年___月___日 试验_____ 年___月___日

22.3 自重湿陷系数的测定

22.3.1 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 22.2.1 条规定。

22.3.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 试样制备及安装应按本规程第 22.2.2 条第 1~2 款规定进行。

2 土的饱和自重压力按下式计算确定。

$$P_z = g_n \sum_{i=1}^n \rho_{sri} \times H_i \quad (22.3.2-1)$$

$$\rho_{sri} = \frac{\rho_{0i}}{1 + 0.01 w_{0i}} \left(1 - \frac{0.85}{\rho_{si}} \rho_{w4} \right) + 0.85 \rho_{w4} \quad (22.3.2-2)$$

式中 P_z ——该土样深度处上覆土的饱和 (S_r 为 85%) 自重压力 (kPa), 计算至 1 kPa;

g_n ——重力加速度 ($\approx 9.81 \text{ m/s}^2$);

n ——该深度范围内土的分层数;

H_i ——第 i 层土的厚度 (m);

ρ_{sri} ——第 i 层土的饱和密度 (g/cm^3);

- ρ_{0i} ——第 i 层土的密度 (g/cm^3);
 w_{0i} ——第 i 层土的含水率 (%);
 ρ_{si} ——第 i 层土的颗粒密度 (g/cm^3);
 ρ_{w4} ——4℃ 时水的密度 (g/cm^3)。

3 将试样保持在天然湿度下,施加土的饱和自重压力。当饱和自重压力小于 50 kPa 时,可一次施加;当大于 50 kPa 时,应分次施加。每次加压不应大于 50 kPa,每次加压的时间间隔不应少于 15 min。如此连续加压直至饱和自重压力 P_z 为止。加最后一次压力后,每隔 1 h 测记百分表读数一次,直至试样变形稳定为止。稳定标准应符合本规程第 22.2.2 条第 6 款的规定。

4 浸水后湿陷变形应按本规程第 22.2.2 条第 5~6 款规定测定。

5 拆卸仪器及试样应符合本规程第 15.2.2 条第 11 款规定。

22.3.3 试验结果应按下式计算:

$$\delta_{zs} = \frac{h_z - h'_z}{h_0} \quad (22.3.3)$$

式中 δ_{zs} ——自重湿陷系数,计算至 0.001;

h_z ——保持天然的湿度和结构的试样,加压至土的饱和自重压力时,下沉稳定后的高度 (mm);

h'_z ——上述加压稳定后的试样,在浸水作用下,下沉稳定后的高度 (mm);

22.3.4 记录格式应符合本规程表 22.2.4 的要求。

22.4 湿陷起始压力的测定

22.4.1 本试验应采用的仪器设备应符合本规程第 22.2.1 条规定。

22.4.2 本试验可采用单线法或双线法。

22.4.3 试验操作应按下列步骤进行:

1 试样制备应按本规程第 3.3.2 条和第 22.2.2 条第 1 款规

定进行。单线法切取 5 个环刀试样；双线法切取 2 个环刀试样。试样安装应按本规程第 15.2.2 条第 2~3 款规定进行。

2 采用单线法试验时，5 个试样都在天然湿度下加压，分别加至不同的规定压力时，再按本规程第 22.2.2 条第 3~6 款规定进行试验，直至试样湿陷变形稳定为止。

3 采用双线法试验时，一个试样在天然湿度下分级加压，按本规程第 22.2.1 条第 3~6 款的步骤进行试验，直至最后一级压力下浸水湿陷变形稳定为止；另一个试样在天然湿度下施加第一级压力，变形稳定后浸水，至湿陷稳定，再继续分级加压，直至试样在各级压力下浸水变形稳定为止。

压力等级在 150 kPa 以内，每级增量为 25~50 kPa；150 kPa 以上，每级增量为 50~100 kPa。最后一级压力的大小，应符合本规程第 22.2.2 条第 4 款的规定。

4 试验结束后，按本规程第 15.2.2 条第 11 款的规定拆卸仪器及试样。

22.4.3 试验结果应按下式计算及制图：

1 各级压力下的湿陷系数：

$$\delta_{sp} = \frac{h_{pn} - h_{pw}}{h_0} \quad (22.4.3)$$

式中 δ_{sp} ——各级压力下的湿陷系数；计算至 0.001；

h_{pn} ——在各级压力下试样变形稳定后的高度（mm）；

h_{pw} ——在各级压力下试样浸水变形稳定后的高度（mm）。

2 以湿陷系数为纵坐标，压力为横坐标，绘制湿陷系数与压力的关系曲线见图 22.4.3。取曲线上湿陷系数为 0.015 所对应的压力即为湿陷起始压力。

22.4.4 记录格式应符合表 22.4.4 的要求。

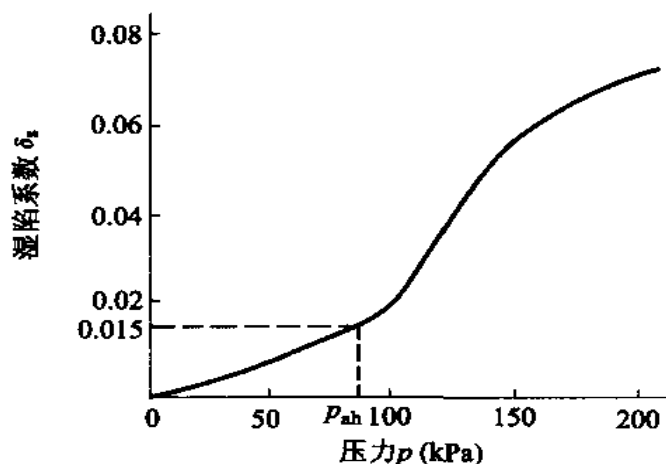


图 22.4.3 湿陷系数与压力关系曲线

表 22.4.4 黄土湿陷性试验记录 (湿陷起始压力)

试样编号: _____

试样初始高度： (mm)								试样初始高度： (mm)						
	天然状态 仪器号：							浸水状态 仪器号：						
经过 时间 (min)	50 (25) (kPa)	100 (50) (kPa)	150 (75) (kPa)	200 (100) (kPa)	250 (150) (kPa)	300 (200) (kPa)	浸 水	50 (25) (kPa)	浸 水	100 (50) (kPa)	150 (75) (kPa)	200 (100) (kPa)	250 (150) (kPa)	300 (200) (kPa)
	百分表读数(mm)							百分表读数(mm)						
仪器变 形 量														
试样变 形 量														
湿 陷 系 数														

复核 _____ 年 ____ 月 ____ 日 试验 _____ 年 ____ 月 ____ 日

23 自由膨胀率试验

23.0.1 土的自由膨胀率是人工制备的松散干土，在水中增加的体积与原始体积之比，以百分数表示。

23.0.2 本试验是测定土在无结构情况下的自由膨胀特性，是膨胀土的初判指标。本试验适用于粒径小于 0.5 mm 的土。

23.0.3 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 量筒：容积 50 mL，分度值 1 mL，容积和刻度应标定。
- 2 量土杯：容积 10 mL，内径 20 mm。
- 3 无颈漏斗：上口直径 50~60 mm，下口直径 5 mm。
- 4 搅拌器：由直杆和带孔圆板组成，圆板直径应小于量筒内径 2 mm。
- 5 天平：称量 200 g，分度值 0.01 g。
- 6 其他：孔径 0.5 mm 筛、取土勺、平口刮刀、漏斗支架、碾土工具等。

23.0.4 试验操作应按下列步骤进行：

1 用四分对角线法取风干试样约 100 g，在橡皮板上碾散，剔除石子、结核后，过 0.5 mm 筛，并在 105℃~110℃ 温度下烘干 8 h，移入干燥器内冷却至室温。

2 按图 23.0.3 所示装置，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 10 mm，用取土匙取适量试样倒入漏斗中，倒试样时取土匙应与漏斗壁接触并尽量靠近漏斗底部，边倒边用细铁丝轻轻搅动。当量土杯装满试样并溢出时，停止向漏斗倒试样，移开漏斗，轻轻地用平口刮刀刮去杯口多余土，称量土杯中试样质量，准确至 0.01 g。另取一个量土杯，重复上述操作，称取第二个试样质量。两个试样质量的差值应不大于 0.1 g。

3 向量筒内注水约 30 mL，并加入 5% NaCl 溶液 5 mL，将试样倒入量筒内，用搅拌器在量筒中自液面至筒底上下搅拌各 10 次，再用水冲洗搅拌器和量筒内壁至悬液达 50 mL。

4 待悬液澄清后，每隔 2 h 测记一次土面读数；估读至 0.1 mL，直至两次读数差值小于 0.2 mL，则认为膨胀稳定。若土面倾斜，读数可取中值。

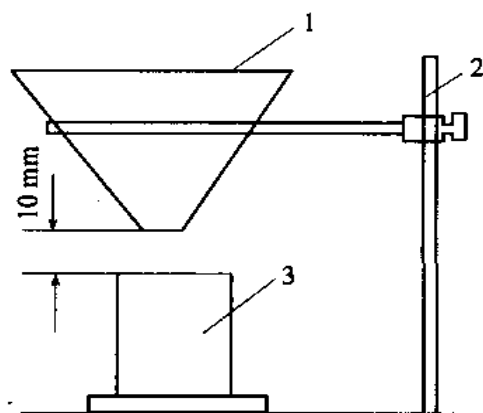


图 23.0.3 漏斗和量土杯位置

1—漏斗；2—支架；3—量土杯

23.0.5 试验结果应按下式计算：

$$F_s = \frac{V_1 - V_0}{V_0} \times 100 \quad (23.0.5)$$

式中 F_s ——自由膨胀率（%），计算至 1%；

V_1 ——试样在水中膨胀稳定的体积（mL）；

V_0 ——试样原体积（mL）。

23.0.6 本试验应进行平行测定，允许平行差值：当 $F_s < 60\%$ 时为 5%； $F_s \geq 60\%$ 时为 8%。取其算术平均值。

23.0.7 试验记录格式应符合表 23.0.7 的要求。

表 23.0.7 自由膨胀率试验记录

试样 编号	干试样 质量	试样原 始体积	量筒 编号	量筒 校正值	不同时间 (h) 体积读数 (mL)					体积 增量	自由 膨胀率	平均值
	(g)	(mL)		(mL)	2	4	6	8	10	(mL)	(%)	(%)
					(mL)					(mL)	(%)	(%)

复核_____年____月____日

试验_____年____月____日

24 膨胀率试验

24.1 一般规定

24.1.1 膨胀率是试样在有侧限条件下浸水后的单向膨胀量与试样原始高度之比值。

24.1.2 膨胀率试验可分为无荷载膨胀率试验和有荷载膨胀率试验。

24.1.3 本试验适用于测定原状土和扰动土击实试样的膨胀率。

24.2 无荷载膨胀率试验

24.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 膨胀仪：见图 24.2.1；也可用固结仪，见本规程图 15.2.1。

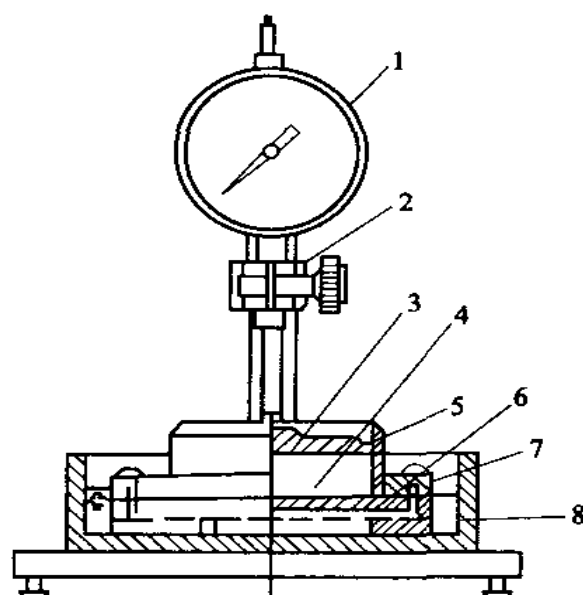


图 24.2.1 膨胀仪示意

1—百分表；2—表架；3—有孔板；4—试样；
5—环刀；6—透水板；7—压板；8—水盒

2 环刀：内径 61.8 mm，高 20 mm（另配一个与环刀内径相同高 10 mm 的接环）。

3 天平：称量 500 g，分度值 0.01 g。

4 其他：切土刀、吸水球等。

24.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 在环刀内壁涂一薄层凡士林，切取原状土试样或所需状态的击实试样，修平两端。称环刀和土的总质量，准确至 0.1 g，并测定试验前的含水率、密度及计算孔隙比。

2 将烘干冷却的透水板埋置于切削下的余土内 1 h，取出刷尽后，放入仪器中。将环刀套上接环，钝口端用压环固定在底座上，使试样底面与透水板顶面密贴，然后一起放入水盒中。将有孔活塞板轻轻放在试样的顶面，对准活塞中心，安装百分表，并记下初读数。

3 在水盒中注入纯水，使水自下而上进入试样，并保持水面高出试样顶面约 5 mm。注水后，每隔 2 h 测记百分表读数一次，直至两次读数之差值不超过 0.01 mm 为止。

4 试验完毕后，吸去容器中的水。从环刀内推出试样，并称其质量。将试样烘干后再称其干质量，计算膨胀后的含水率、密度和孔隙比。

24.2.3 试验结果应按下列式计算：

$$V_H = \frac{R_t - R_0}{H_0} \times 100 \quad (24.2.3)$$

式中 V_H ——时间 t 时的无荷载膨胀率（%），计算至 0.1%；

R_t ——时间 t 时的百分表读数（mm）；

R_0 ——试验开始时百分表读数（mm）；

H_0 ——试验原始高度（mm）。

24.2.4 记录格式应符合表 24.2.4 的要求。

表 24.2.4 膨胀率试验记录

试样编号		土颗粒密度 ρ_s (g/cm ³)		压力 (kPa)		仪器号		环刀号	
项目	内 容			试 验 前			试 验 后		
含水率	湿试样质量 (g)			(1)			(1)		
	干试样质量 (g)			(2)			(2)		
	含水率 (%)			(3) = [(1)/(2) - 1] / 100			(3) = [(1)/(2) - 1] / 100		
密度	环刀加湿试样质量 (g)			(4)			(4)		
	环刀质量 (g)			(5)			(5)		
	湿试样质量 (g)			(6) = (4) - (5)			(6) = (4) - (5)		
	试样体积 (cm ³)			(7) V_0			(7) $V_0(1 + V_h)$		
	密度 (g/cm ³)			(8) = (6)/(7)			(8) = (6)/(7)		
干密度 (g/cm ³)				(9) = (8)/[1 + 0.01(3)]			(9) = (8)/[1 + 0.01(3)]		
孔隙比 (1)				(10) = [ρ_s /(9)] - 1			(10) = [ρ_s /(9)] - 1		
膨胀率测定									
测定时间			经过时间			量表读数 R		膨胀率 V_h (V_{HP})	
d	h	min	d	h	min	(mm)		(%)	

复核_____ 年___月___日 试验_____ 年___月___日

24.3 有荷载膨胀率试验

24.3.1 本试验应采用下列仪器设备:

1 固结仪: 见本规程图 15.2.1, 另备一个与环刀内径相同的接环, 高 10mm。试验前, 应按附录 D 对固结仪在不同压力下进行仪器变形量校正。

2 其他与本规程第 24.2.1 条第 2~4 款相同。

24.3.2 试验操作应按下列步骤进行:

1 在环刀内壁涂一薄层凡士林,按第 5.2.2 条要求切取有代表性的试样,称环刀和试样的总质量,准确至 0.1 g。并测定试验前的含水率、密度及计算孔隙比。

2 将试样放入容器内,放上接环透水石和盖板,安好百分表,施加 1 kPa 的预压力,使仪器各部件之间接触良好。将百分表指针调整到全量程的中值整数,记下初读数,卸下预压力。

3 按要求分级连续施加压力,直至达到要求的压力为止。如要求的压力大于或等于 150 kPa 时,每级增量应为 50 kPa。如要求的压力小于 150 kPa 时,每级增量应为 25 kPa。每级加压的间隔时间为 10 min。加压时应避免冲击。当施加最后一级压力后,每小时变形小于 0.01 mm 即可认为变形已稳定。

4 随后向容器内注入纯水,使水自下而上进入试样,并保持水面高出试样顶面约 5 mm。

5 浸水后每隔 2 h 测记百分表读数一次,直至两次读数差值不超过 0.01 mm 为止。

6 试验完毕后,吸去容器中的水,卸除荷载,取出试样称量,烘干冷却后再称量,计算膨胀后的含水率、密度和孔隙比。

24.3.3 试验结果应按下列式计算:

$$V_{HP} = \frac{R_t + R_P - R_0}{H_0} \times 100 \quad (24.3.3)$$

式中 V_{HP} ——压力 P 下的膨胀率 (%),计算至 0.1 %;

R_P ——压力 P 下的仪器压缩变形量 (mm)。

24.3.4 记录格式应符合表 24.2.4 的要求。

25 膨胀力试验

25.0.1 土的膨胀力是试样在体积不变的条件下，浸水膨胀后所产生的内应力。

25.0.2 本试验应采用加荷平衡法，适用于原状土和击实土的膨胀力测定。

25.0.3 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 15.2.1 条的要求。

25.0.4 试验操作应按下列步骤进行：

1 按本规程第 15.2.2 条第 2 款将试样放入压缩容器内，并施加 1 kPa 的预压力，使试样和仪器上下各部件紧密接触。安装百分表，并调整到零位，测记初读数后卸去预压力。

2 自下而上向容器内注入纯水，并保持水面高出试样顶面 5 mm。

3 当百分表开始顺时针方向转动时，表明试样开始膨胀，应立即施加适当的平衡荷载，使百分表指针重新回到初读数。

4 当所施加的荷载足以使仪器产生变形时，在施加下一级平衡荷载时，百分表指针不仅应回到原位，还应逆时针转动一个相当于该荷载下仪器变形量的数值。

5 试样在某级荷载下间隔 2 h 百分表读数不再变化，表示试样在该荷载下已达到稳定。

6 试验结束后吸去容器内的水，取出试样并称其质量及测定试验后的含水率、密度，计算孔隙比。

25.0.5 试验结果应按下列式计算：

$$P_p = \frac{W \cdot r}{A} \times 10 \quad (25.0.5)$$

式中 P_p ——膨胀力 (kPa)，计算至 1 kPa；

W ——施加在试样上的总平衡荷载 (N);

A ——试样面积 (cm^2);

r ——固结仪的杠杆比。

25.0.6 记录格式应符合表 25.0.6 的要求。

表 25.0.6 膨胀力试验记录

试样编号			仪器号	杠杆比 (r)		
土颗粒密度 ρ_s (g/cm^3)			试样面积 (cm^2)	环刀号		
项目	内 容				试验前	试验后
含水率	湿试样质量 (g)			(1)		
	干试样质量 (g)			(2)		
	含水率 (%)			$(3) = \left[\frac{(1)}{(2)} - 1 \right] \times 100$		
密度	环刀和湿试样总质量 (g)			(4)		
	环刀质量 (g)			(5)		
	湿试样质量 (g)			$(6) = (4) - (5)$		
	试样体积 (cm^3)			(7)		
	密度 (g/cm^3)			$(8) = (6)/(7)$		
干密度 (g/cm^3)				$(9) = (8)/(1 + 0.01(3))$		
孔隙比 (1)				$(10) = [\rho_s/(9)] - 1$		
膨胀力测定						
测定时间			总平衡荷载	仪器变形量	膨胀力	
d	h	min	(N)	(mm)	(kPa)	

复核_____ 年___月___日 试验_____ 年___月___日

26 收缩试验

26.0.1 土的收缩是原状土在水分蒸发过程中体积减小的现象。

26.0.2 本试验适用于原状土和击实黏性土。

26.0.3 本试验应采用下列仪器设备：

1 收缩仪：如图 26.0.3 所示。多孔板上的孔的面积应大于总面积的 50%。

2 环刀：直径 61.8 mm，高度 20 mm。

3 百分表：量程 10 mm，分度值 0.01 mm。

4 天平：称量 500 g，分度值 0.1 g。

5 其他：烘箱、制样器具及蜡封工具等。

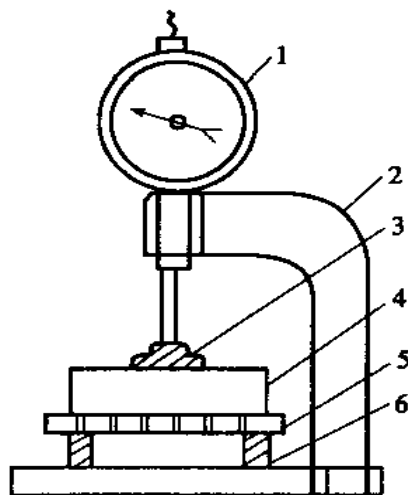


图 26.0.3 收缩仪

1—百分表；2—支架；3—测板；4—试样；5—多孔板；6—垫块

26.0.4 试验操作应按下列步骤进行：

1 收缩试验的原状土试样应按本规程第 3.3.1 条和第 3.3.2 条的规定进行制备，击实土试样按本规程第 3.2.3 条的规定制备。

2 将制好的试样置于收缩仪上,放上测板,安装百分表,记下初读数,在 $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 下进行风干。

3 试验初期,根据室内温度和收缩速度,每隔 1~4 h 测记百分表读数,并称整套装置和试样质量,准确至 0.1 g。2 d 后,每隔 6~24 h 测记百分表读数并称质量,直至两次百分表读数基本不变。称质量时应保持百分表读数不变。在图 26.0.5 所示的收缩曲线的第 I 阶段内应取得不少于 4 个数据。

4 试验结束后取出试样,在 $105^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ 温度下烘干,称干土质量,准确到 0.1 g。

5 按本规程第 5.3 节蜡封法测定烘干试样体积。

26.0.5 试验结果应按下列公式计算及绘图:

1 试样在不同时间的含水率:

$$w_i = \left(\frac{m_i}{m_d} - 1 \right) \times 100 \quad (26.0.5-1)$$

式中 w_i ——某时刻试样的含水率 (%), 计算至 0.01;

m_i ——某时刻试样的质量 (g);

m_d ——试样烘干后的质量 (g)。

2 线缩率:

$$e_{st} = \frac{R_t - R_0}{H_0} \times 100 \quad (26.0.5-2)$$

式中 e_{st} ——试样在某时刻的线缩率 (%);

R_t ——某时刻的百分表读数 (0.01 mm);

R_0 ——百分表初始读数 (0.01 mm);

H_0 ——试样初始高度 (mm)。

3 体缩率:

$$e_v = \frac{V_0 - V_d}{V_0} \times 100 \quad (26.0.5-3)$$

式中 e_v ——体缩率 (%);

V_0 ——试样初始体积 (cm^3);

V_d ——试样烘干后的体积 (cm^3)。

4 收缩系数:

$$C_s = \frac{\Delta e_{si}}{\Delta w} \quad (26.0.5-4)$$

式中 C_s ——竖向收缩系数;

Δe_{si} ——与 Δw 相对应的两点线缩率之差 (%);

Δw ——收缩曲线上第 I 阶段两点的含水率之差 (%)。

5 以线缩率为纵坐标, 含水率为横坐标, 绘制关系曲线, 如图 26.0.5。延长第 I、III 阶段的直线段至相交, 两线交点对应的横坐标 w_s 即为原状土的缩限。

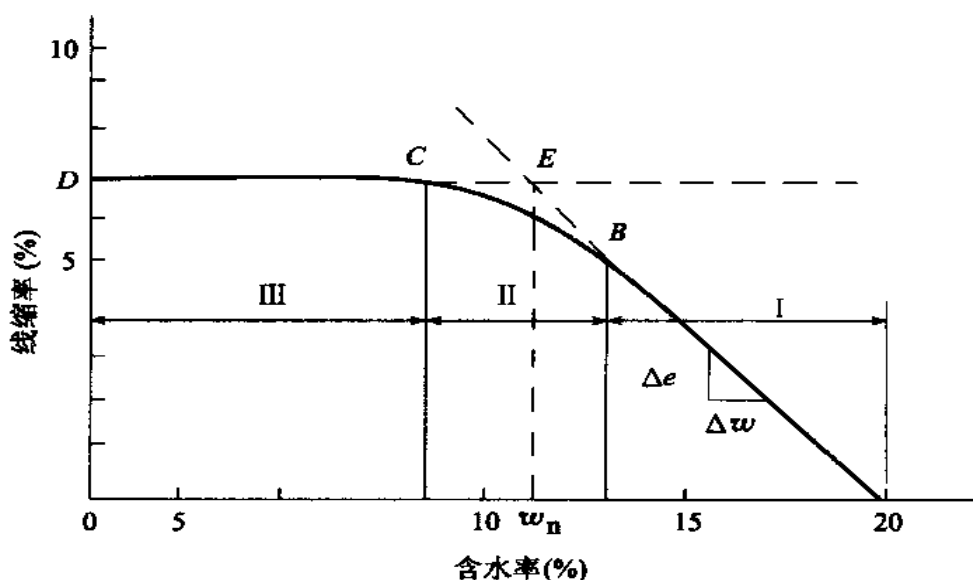


图 26.0.5 线缩率与含水率关系曲线

26.0.6 记录格式应符合表 26.0.6 的要求。

表 26.0.6 收缩试验记录

试样编号: _____

试样说明: _____

测定时间			百分表读数	单向收缩	线缩率	试样质量	水质量	含水率	备注
d	h	min	(0.01 mm)	(mm)	(%)	(g)	(g)	(%)	

续表 26.0.6

测定时间			百分表读数	单向收缩	线缩率	试样质量	水质量	含水率	备注
d	h	min	(0.01 mm)	(mm)	(%)	(g)	(g)	(%)	
体缩 (%)			收缩系数		缩限 (%)				

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

27 冻土总含水率试验

27.1 一般规定

27.1.1 冻土总含水率是冻土中所含冰和未冻水的总质量与干土质量之比，即冻土试样在 $105^{\circ}\text{C} \sim 110^{\circ}\text{C}$ 下烘至恒量时所失去的水的质量与烘干土质量的比值，以百分数表示。

27.1.2 本试验的标准方法应为烘干法，在现场或需要快速测定含水率时，对层（网）状冰构造的黏性土或砂类土冻土，可采用联合测定法。

27.2 烘 干 法

27.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 天平：称量 5 000 g，分度值 1 g。
- 2 其余仪器设备应符合本规程第 4.2.1 条的要求。

27.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 对整体状冰构造的黏性土或砂类土冻土，含水率的试验步骤应按本规程第 4.2.2 条规定进行，但每个试样的质量不得少于 50 g。

2 对薄层（网）状及中等层（网）状冰构造的冻土，应采用平均试样法测定含水率：

- 1) 将土样用四分对角法取出 1 000 ~ 2 000 g（视冻土构造均匀程度而定，较均匀的可少取，反之应多取），进行称量，准确至 0.1 g，放入搪瓷盘中使其融化。
- 2) 将融化的试样调拌成均匀糊状（土太湿时，将多余水分澄清后可用吸水球和滤纸吸出，或让其自然蒸发；土太干时，可适当加水），进行称量，准确至 0.1 g。

3) 从糊状土中取样测定含水率, 其试验步骤可按本规程第 4.2 节进行。

27.2.3 试验结果应按下列公式计算:

1 整体状冰构造的冻土总含水率计算与本规程第 4.2.3 条公式相同。

2 层(网)状冰构造冻土总含水率, 应按下式计算:

$$w_A = \left[\frac{m_1}{m_2} (1 + 0.01 w_n) - 1 \right] \times 100 \quad (27.2.3)$$

式中 w_A ——冻土总含水率(%), 计算至 0.1%;

m_1 ——冻土试样质量(g);

m_2 ——调成糊状的试样质量(g);

w_n ——糊状试样的含水率(%)。

27.2.4 试验允许差应符合下列规定:

整体状冰构造冻土的总含水率应进行平行测定, 其平行差值应符合表 27.2.4 的规定; 层(网)状冰构造冻土的含水率平行差值不应大于 1%。

表 27.2.4 冻土总含水率测定平行差值

含水率(%)	小于 10	10~30	大于 30
平行差值(%)	1	2	3

27.2.5 整体状冰构造冻土的总含水率记录格式应同本规程表 4.2.5。层(网)状冰构造的冻土总含水率记录格式应符合表 27.2.5 的要求。

27.3 联合测定法

27.3.1 本试验应采用下列仪器设备:

1 排液筒: 见图 27.3.1。

2 台秤: 称量 10 kg, 分度值 1 g。

3 量筒: 容积 1000 mL, 分度值 10 mL。

表 27.2.5 层(网)状冰构造的冻土总含水率试验记录

工程名称:

试坑(钻孔)号:

试样 编 号	冻土 试样 质量	调成糊 状的试 样质量	糊状试样的含水率				冻土总含水率 w_A (%)
	m_1	m_2	盒 号	湿试 样质 量	干试 样质 量	含水 率	
	m_1	m_2		m_s	m_d	w_n	
	(g)	(g)		(g)	(g)	(%)	
							$w_A = \left[\frac{m_1}{m_2} (1 + 0.01 w_n) - 1 \right] \times 100$

复核_____年____月____日 试验_____年____月____日

27.3.2 试验操作应按下列步骤进行:

- 1 取约 1000~1500 g 的冻土试样,称其质量。
- 2 将接近 0℃ 的清水倒入排液筒内,置于台秤上,松开止水夹,让多余的水流出。然后拧紧止水夹,称筒和水的总质量。

3 将试样用细线拴住缓缓放入排液筒中,打开止水夹,使排液筒中的水流入量筒内。水流停止后,拧紧止水夹,立即称排液筒、水和试样的总质量。同时测读量筒中水的体积,用以校核冻土试样的体积。

4 使冻土试样在排液筒内完全融化并呈松散状态,筒中水面下降后应重新加水至高出虹吸管顶,待水澄清后松开止水夹排水,当水流停止后拧紧止水夹,并称排液筒、水和土颗粒的总质量。

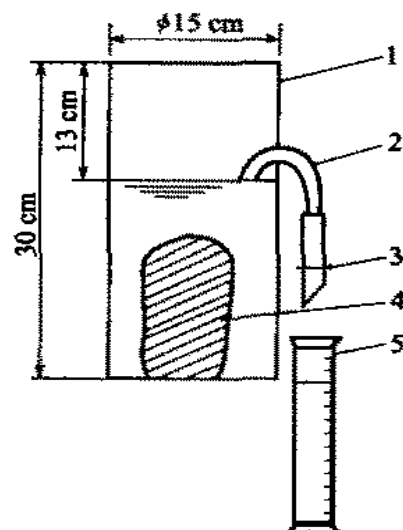


图 27.3.1 排液筒装置示意

- 1—排液筒; 2—虹吸管;
3—止水夹; 4—冻土试样;
5—量筒

5 本试验称量应准确至 1 g。

27.3.3 试验结果应按下列公式计算：

1 冻土密度：

$$\rho_t = \frac{m}{m + m_1 - m_2} \cdot \rho_w \quad (27.3.3-1)$$

式中 ρ_t ——冻土密度 (g/cm^3)，计算至 $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$ ；

m ——冻土试样质量 (g)；

m_1 ——筒和水的总质量 (g)；

m_2 ——筒、水和试样的总质量 (g)；

ρ_w ——水的密度 (g/cm^3)。

2 冻土总含水率：

$$w_A = \left[\frac{m \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 \right)}{(m_3 - m_1) \frac{\rho_s}{\rho_w}} - 1 \right] \times 100 \quad (27.3.3-2)$$

式中 w_A ——冻土总含水率 (%)，计算至 0.1%；

m_3 ——筒、水和土颗粒的总质量 (g)；

ρ_s ——土颗粒密度 (g/cm^3)，可实测也可采用经验值。

27.3.4 记录格式应符合表 27.3.4 的要求。

表 27.3.4 冻土密度和总含水率联合测定记录

工程名称：

试坑（钻孔）号：

试样 编号	冻土 试样 质量	筒和 水的总 质量	筒、水和 试样总 质量	筒、水和 土粒的 总质量	土颗 粒密 度	冻土 体积	冻土 密度	冻土总含水率
	m	m_1	m_2	m_3	ρ_s		ρ_t	w_A
号	(g)	(g)	(g)	(g)	g/cm^3	cm^3	(g/cm^3)	(%)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
						$\frac{(1)+(2)-(3)}{\rho_w}$	$\frac{(1)}{(6)}$	$\left\{ \frac{(1) \cdot [(5)-1]}{[(4)-(2)] \cdot (5)} - 1 \right\} \times 100$

复核_____年___月___日 试验_____年___月

28 冻土密度试验

28.1 一般规定

28.1.1 冻土密度是冻土的单位体积质量。

28.1.2 本试验应根据冻土的特点和试验条件选用液体称量法、联合测定法、充砂法和环刀法。

- 1 液体称量法适用于表面无显著孔隙的冻土。
- 2 联合测定法适用于层（网）状冰构造的黏性土或砂类土。
- 3 充砂法适用于表面有明显孔隙的冻土。
- 4 环刀法适用于土温高于 -3°C 的黏性土和砂类土。

28.1.3 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。

28.2 液体称量法

28.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 天平：称量 1000 g ，分度值 0.1 g 。
- 2 液体密度计：分度值为 0.001 g/cm^3 。
- 3 温度计：测量范围 $-30^{\circ}\text{C} \sim +20^{\circ}\text{C}$ ，分度值为 0.1°C 。
- 4 量筒：容积 1000 mL 。
- 5 盛液筒：容积 $1000 \sim 2000\text{ mL}$ 。
- 6 广口保温瓶：容积约 9000 mL 。
- 7 试验用液体：负温煤油或 0°C 水。

28.2.2 试验操作应按下列步骤进行：

- 1 测定负温下的煤油密度：在广口保温瓶中装入冰和水若干，然后加入一定比例的盐冷却剂（见表 28.2.2），搅拌均匀后，

将盛煤油的量筒放入此保温瓶内的冰、水混合物中，预冷至煤油温度稳定后，测定其密度，准确至 0.001 g/cm^3 ；同时测记温度，准确至 0.1°C 。如此调整 4~5 个不同的负温值，测定其相应的密度值，并绘制煤油的密度与温度关系曲线（如图 28.2.2）。

表 28.2.2 盐 冷 却 剂

盐的名称	100 g 水 ($10^\circ\text{C} \sim 15^\circ\text{C}$) 中盐的克数 (g)	混合后达到最低温度 ($^\circ\text{C}$)	100 g 雪(或细冰) 中盐的克数 (g)	混合后达到最低温度 ($^\circ\text{C}$)
NH_4Cl	30	-5.1	25	-15.8
NaNO_3	75	-5.3	59	-18.5
NH_4NO_3	60	-13.6	60	-17.3
$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	250	-12.4	82 125 143	-21.5 -40.3 -55
NaCl			33	-21.2
KCNS	150	-23.7		
$(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$			62	-19

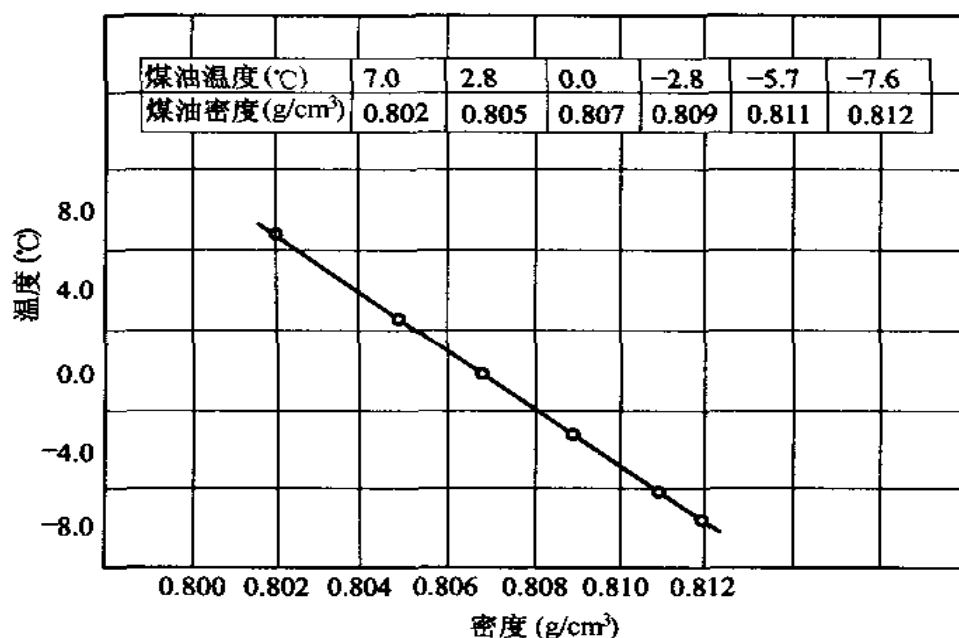


图 28.2.2 煤油密度与温度关系曲线

2 切取冻土试样 300~1000 g, 系于细线上称其质量, 准确至 0.1 g。

3 将预先冷却至接近试样温度的煤油, 装入盛液筒内 2/3 高度处, 用温度计测煤油温度, 准确至 0.1℃。

4 如用浮称天平时, 可将试样吊在天平一端, 使试样全部浸没在煤油中, 称试样在煤油中的质量, 准确至 0.01 g; 如用电子天平或上皿天平时, 将盛液筒放在天平的称量盘上, 将试样吊在固定的支架上浸入煤油中 (勿与盛液筒底或壁接触), 称其质量, 准确至 0.01 g。

5 取出试样, 削去表层有煤油的部分, 并按本规程第 27.2.2 条的规定测定冻土总含水率。

28.2.3 试验结果应按下列公式计算:

1 冻土密度:

$$\rho_f = \frac{m}{V} \quad (28.2.3-1)$$

2 冻土试样体积:

采用浮称天平

$$V = \frac{m - m_1}{\rho_{mT}} \quad (28.2.3-2)$$

采用电子天平

$$V = \frac{m_2}{\rho_{mT}} \quad (28.2.3-3)$$

式中 ρ_f ——冻土密度 (g/cm^3), 计算至 0.01 g/cm^3 ;

V ——冻土试样体积 (cm^3);

m ——冻土试样质量 (g);

m_1 ——用浮称天平测得的试样在煤油中的质量 (g);

m_2 ——用电子天平测得的试样排开液体的质量 (g);

ρ_{mT} ——试验温度下煤油的密度 (g/cm^3), 可由图 28.2.2 实测煤油密度与温度关系曲线查得; 或由附录 A.0.4 计算。

28.2.4 试验允许差应符合下列规定：

冻土密度试验应进行平行测定。整体状冰构造冻土的平行测定差值不应大于3%，取平均值；层（网）状冰构造冻土，宜提供两次测定值，不取平均值。

28.2.5 记录格式应符合表 28.2.5 的要求。

表 28.2.5 液体称量法冻土密度试验记录

工程名称

试坑、钻孔编号

试样 编号	简单 描述	煤油 温度	煤油 密度	试样 质量	试样在煤 油中质量	试样体积	密度	平均密度 (g/cm ³)
		(℃)	(g/cm ³)	(g)	(g)	(cm ³)	(g/cm ³)	
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	
						$\frac{(3)-(4)}{(2)}$	$\frac{(3)}{(5)}$	

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

注：此记录格式是用浮称天平测定的记录表，如用电子天平测定时，表中（4）、（5）两栏应按式（28.2.3—3）数据填写。

28.3 联合测定法

28.3.1 本试验应按本规程第 27.3 节联合测定法的规定进行。

28.4 充 砂 法

28.4.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 金属容器：容积 1000~2000 mL。
- 2 漏斗：上口直径为 150 mm，下口直径为 15 mm，高度为 100 mm。
- 3 天平：称量 5000 g，分度值 0.1 g。
- 4 量砂：粒径为 0.25~0.50 mm 干燥洁净砂。
- 5 其他：瓷盘、切土刀、钢丝锯、直尺等。

28.4.2 试验操作应按下列步骤进行：

1 测定量砂密度:

- 1) 将漏斗置于已知质量和容积的金属容器上方,使漏斗下口与金属容器上口保持约 100 mm 的距离,然后将接近试样温度的量砂,经漏斗灌入容器中。当漏斗中砂面下降时,要不断进行补充,使砂面始终保持与漏斗上缘齐平,应控制量砂下落速度不变。灌砂不得敲击或振动容器。当容器充满砂后,移开漏斗,用直尺刮平砂面,使与容器上缘齐平。称容器和量砂的总质量,准确至 0.1 g。
- 2) 量砂密度按下式计算:

$$\rho_n = \frac{m_2 - m_1}{V_c} \quad (28.4.2)$$

式中 ρ_n ——量砂密度 (g/cm³);
 m_1 ——金属容器质量 (g);
 m_2 ——容器和砂的总质量 (g);
 V_c ——金属容器的容积 (cm³)。

- 3) 按上述方法重复进行 3~4 次,当量砂密度差值小于 0.02 g/cm³ 时,取算术平均值为量砂密度。

2 切取冻土试样,使其直径或边长比金属容器的直径约小 40~60 mm,并将一面削平,称冻土试样质量,准确至 0.1 g。然后将试样削平的一面朝下放入容器内,使试样面与容器底面密贴。

3 将装有试样的金属容器置于清洁的瓷盘内,按本条第 1 款步骤将量砂充填于试样周围(量砂的温度应接近冻土试样温度)。容器充满量砂后,刮平砂面,称容器、试样和量砂的总质量,准确至 0.1 g。

28.4.3 试验结果应按下式计算:

$$\rho_t = \frac{m}{V} \quad (28.4.3-1)$$

$$V = V_c - \frac{m_3 - m_1 - m}{\rho_n} \quad (28.4.3-2)$$

式中 m_3 ——容器、试样和量砂的总质量 (g)。

28.4.4 记录格式应符合表 28.4.4 的要求。

表 28.4.4 充砂法冻土密度试验记录

工程名称 _____

试坑号 _____

试样编号	金属容器质量 (g)	试样质量 (g)	量砂的总质量 容器、试样和 (g)	量砂质量 (g)	量砂密度 (g/cm ³)	容器容积 (cm ³)	试样体积 (cm ³)	冻土密度 (g/cm ³)	平均密度 (g/cm ³)	量砂密度		
										量砂质量 (g)	容器容积 (cm ³)	量砂密度 (g/cm ³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(A)	(B)	(C)
				(4) - (2) - (3)			(7) - (5) (6)	(3) (8)				(A) (B)

复核 _____ 年 ____ 月 ____ 日 试验 _____ 年 ____ 月 ____ 日

28.5 环 刀 法

28.5.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 天平：称量 1000 g，分度值 0.1 g。
- 2 环刀：容积应大于或等于 500 cm³。
- 3 其他：切土器、钢丝锯等。

28.5.2 本试验应在负温环境中进行。其试验步骤、结果计算、记录格式等应按本规程第 5.2 节进行。

29 改良土试验

29.1 一般规定

29.1.1 改良土是在土中掺入适量的水泥、石灰、粉煤灰等掺合料或其他固化剂，按最优含水率加水拌和，经压实及养生后，抗压强度满足工程要求的混合料。

29.1.2 本试验适用于土粒径小于 40 mm 的水泥改良土、石灰改良土、水泥石灰改良土，水泥粉煤灰改良土、石灰粉煤灰改良土、水泥石灰粉煤灰改良土等各种混合料的击实、无侧限抗压强度和水泥石灰的剂量试验。

29.1.3 本试验取样，可用下列方法：

1 四分法：将样品放在清洁、平整、坚硬的平面上，加清水使样品潮湿，用铲翻动使成圆锥体的料堆，再用铲翻动成一个新料堆，如此重复三次。形成新料堆时，每铲翻料都要放在锥顶，应使滑动边部的样品尽可能均匀，并保持锥体中心不移动。自最后形成的一料堆顶部用平头铲反复交错垂直插入使锥体顶部变平，每次插入提起铲时不要带有样品，最后将料堆等分成四份，将对角的两分铲到一边，剩余两份重复上述拌和方法缩分到达要求的样品数量为止。

2 分料器法：如果样品中含有小于 5 mm 颗粒的细料，材料应是表面干燥的。将材料充分拌和后通过分料器，保留一部分，另一部分再通过分料器，如此重复进行，直至达到要求的样品数量为止。

29.1.4 本试验含水率测定，应根据试样颗粒大小分别称取：细粒土约 50 g，准确至 0.01 g，粗粒土约 500 g，准确至 0.2 g，碎石类土约 2000 g，准确至 1 g。再按本规程第 4 章第 4.2 节进行

测定。现场快速测定可按本规程第 4 章第 4.4 节进行测定。

29.1.5 按预定干密度制成的各种改良土作无侧限抗压强度的试件，采用高径比为 1 的圆柱体。

29.2 重型击实试验

29.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 击实仪：尺寸规格应符合本规程表 20.0.3 的规定。
- 2 天平、台称、标准筛等应符合本规程第 20.0.5 条的规定。
- 3 量筒：50 mL、100 mL、500 mL。
- 4 其他：脱模器、刮平尺、拌和土用工具、切土刀、瓷盘、称量盒、烘箱。

29.2.2 试料准备应符合下列规定：

1 改良土的试料按本章第 29.1.3 条取风干试样，如有结块、土团应用木锤捣碎（以不破坏土的单个颗粒为准），然后过筛。在现场将此过筛的试料用四分法缩分至最后取出细粒土不少于 30 kg，粗粒土不少于 35 kg，碎石类土不少于 40 kg。

2 试料全部通过 5 mm 筛的细粒土，可选用重 1 法击实；当试样中有大于 5 mm 的颗粒时，应过 20 mm 筛，若全部通过，可选用重 2 法击实；当试样中有大于 20 mm 的颗粒时，应过 40 mm 筛，选用重 3 法击实。每次筛分后应记录筛上颗粒粒径及占总量百分率。

3 在击实试验的前一天，应按烘干法分别测定土、石灰、粉煤灰等试样的风干含水率，水泥含水率应为零。

4 改良土混合料应根据设计文件要求的配合比和实测各种风干试样的含水率进行配制。

29.2.3 试验操作应按下列步骤进行：

1 将准备好的风干试样分成 5~6 份。每份试样的干质量按颗粒大小称取：细粒土约 4.5 kg，粗粒土约 5.5 kg，碎石类土约 5.5 kg。

2 每份试样按预定的不同含水率，依次使相差约 1% ~ 2%，其中至少有两份小于和两份大于最优含水率。最优含水率可参照土的塑限按如下进行估计：

- 1) 各份试样含水率控制：对砂砾土在最优含水率附近取相差 1%，其余 2%；对细粒土取相差 2%，但对黏土取 3%。
- 2) 最优含水率的估计，对于细粒土一般最优含水率较土的塑限约小 3% ~ 10%（砂性土接近 3%，黏性土约 6% ~ 10%）。对于天然砂砾土，级配集料等的最优含水率与集料中细粒土含量和塑性指数有关，细土少的， I_p 为零的未筛分碎石的最优含水率接近 5%；细土偏多， I_p 较大的砂砾土一般在 10% 左右。水泥改良土的最优含水率与土接近，石灰改良土的最优含水率较土约大 1% ~ 3%。

3 将每份风干改良土试样分别平铺于金属盘内，按式 (29.2.3) 计算各份试样预定含水率应加的水量。将应加的水量均匀喷洒在试样上，用拌和工具充分拌和使达到均匀状态。当试料是石灰改良土和水泥、石灰综合改良土，可先将石灰和试样一起拌匀，水泥应在临击实试验前拌和，但水泥应加的水量在计算时应予计入。然后装入密封器或塑料袋中浸润备用。

$$m_w = \left(\frac{m_0}{1 + 0.01w_0} + \frac{m_c}{1 + 0.01w_c} \right) \times 0.01w' - \left(\frac{m_0 \times 0.01w_0}{1 + 0.01w_0} + \frac{m_c \times 0.01w_c}{1 + 0.01w_c} \right) \quad (29.2.3)$$

式中 m_w ——混合料中应加的水量 (g)；
 m_0 ——混合料中风干土或集料的质量 (g)；
 m_c ——混合料中风干石灰（或水泥）的质量 (g)；
 w_0 ——混合料中土或集料的风干含水率 (%)；
 w_c ——混合料中石灰（或水泥）风干含水率 (%)；
 w' ——混合料要求达到的含水率 (%)。

4 浸润时间为生石灰不少于 24 h；黏性土 12~24 h；粉性土 6~8 h；砂性土、砂砾土、红土砂砾、级配砂砾等约 4 h；含土很少的未筛分碎石、砂砾和砂约 2 h。

5 按配比所需水泥用量加入浸润后的试料中，用小铲或其他拌和工具充分拌和均匀后，在 1 h 内完成击实试验全过程，超过 1 h 的试样应予作废（石灰和石灰粉煤灰改良土除外）。

6 将击实仪平稳放置于刚性基础上，使击实筒与底座联接好，装好护筒，在击实筒内壁均匀涂上薄层润滑油，取制备好的试样（重 1、重 2 分五层击实，每层细粒土约 0.9 kg，粗粒土约 1.1 kg；重 1、重 2、重 3 分三层击实，每层约 1.8 kg）倒入击实筒内（其量应分别略高于筒高的 1/5 和 1/3），平整表面，稍加压实后，按所需击数（见本规程表 20.0.3 的规定）进行第 1 层击实（击锤 4.5 kg，落距 457 mm，锤迹应均匀分布于试样面）。第 1 层击实后应检查该层高度是否合适，以便调整下一层试样用量。用刮刀将击实面拉毛，然后重复第 1 层的做法，进行其余各层试样的击实。最后一层试样击实后，试样超出试筒顶的高度应小于 6 mm（超出高度过大的试件应作废）。

7 卸下护筒，用直刮刀修平试筒顶部的试样，拆除底板，再修平试样底部，擦净试筒外壁，称筒和试样的总质量，准确至 5 g。

8 用推土器将试样从试筒内推出，从上到下取 2 个代表性试样，按本章第 29.1.4 条的规定测定含水率。

本试验凡已用过的试样，均不得重复使用。

29.2.4 试验结果应按下列公式计算和绘图：

1 改良土密度和干密度：

$$\rho_g = \frac{m_2 - m_1}{V} \quad (29.2.4-1)$$

$$\rho_{dg} = \frac{\rho}{1 + 0.01 w_g} \quad (29.2.4-2)$$

式中 ρ_g ——改良土的密度 (g/cm^3)，计算至 $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$ ；

ρ_{dg} ——改良土的干密度 (g/cm^3), 计算至 $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$;

m_1 ——击实筒的质量 (g);

m_2 ——击实筒与试样总质量 (g);

V ——击实筒的容积 (cm^3);

w_g ——改良土试样的含水率 (%);

2 以干密度为纵坐标, 含水率为横坐标, 在直角坐标纸上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表示该改良土的最大干密度 ($\rho_{g,dmax}$) 和最优含水率 ($w_{g,opt}$)。 $\rho_{g,dmax}$ 准确至 $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$ 。 $w_{g,opt}$ 大于 12% 时, 准确至 1%; 在 6%~12% 时, 准确至 0.5%; 小于 6% 时准确至 0.2%。

当曲线不能给出正确的峰值点时, 应进行补点。

3 超尺寸颗粒的校正:

试样中大于规定最大粒径的超尺寸颗粒的含量为 5%~30% 时, 应按下列公式校正。超尺寸颗粒含量小于 5% 的可不进行校正。

$$\rho'_{g,dmax} = \rho_{g,dmax}(1 - 0.01P) + 0.9 \times 0.01P\rho_a \quad (29.2.4-3)$$

$$w'_{g,opt} = w_{g,opt}(1 - 0.01P) + 0.01Pw_x \quad (29.2.4-4)$$

式中 $\rho'_{g,dmax}$ ——校正后最大干密度 g/cm^3 , 计算至 $0.01 \text{ g}/\text{cm}^3$;
 $w'_{g,opt}$ ——校正后的最优含水率 (%), 计算精度同本条第 2 款;

$\rho_{g,dmax}$ ——试验所得最大干密度 (g/cm^3);

$w_{g,opt}$ ——试验所得最优含水率 (%);

P ——试样中超尺寸颗粒的百分率 (%);

ρ_a ——超尺寸颗粒的毛体积密度 (g/cm^3);

w_x ——超尺寸颗粒的吸着含水率 (%)。

ρ_a 、 w_x 按本规程第 6.3.3 条或第 6.4.3 条的第 2、3 款计算。

29.2.5 本试验应进行平行试验, 允许平行差值应符合表 29.2.5

的规定，取算术平均值。

表 29.2.5 平行试验允许差值

土 类	最大干密度允许平行差值	最优含水率允许平行差值
改良细粒土	不应超过 0.05 g/cm ³	$w_{g, opt} < 10\%$ 不应超过 0.5% $w_{g, opt} > 10\%$ 不应超过 1.0%
改良粗粒土	不应超过 0.08 g/cm ³	
改良碎石类土		

29.2.6 记录格式应符合表 29.2.6 的要求。

表 29.2.6 改良土击实试验记录

试验编号：		试验方法：									
混合料名称：		混合料含水率：									
水泥、石灰剂量：											
	试 验 序 号	1	2	3	4	5	6				
干 密 度	应加水量 (g)										
	试筒和湿试样的总质量 (g)										
	试筒的质量 (g)										
	湿试样质量 (g)										
	湿密度 (g/cm^3)										
	干密度 (g/cm^3)										
含 水 率	盒号										
	盒和湿试样的总质量 (g)										
	盒和干试样的总质量 (g)										
	盒的质量 (g)										
	水的质量 (g)										
	干试样质量 (g)										
	含水率 (%)										
	平均含水率 (%)										
最大干密度 (g/cm^3)		最优含水率 (%)									
超尺寸颗粒 的校正	$\rho_{g, d \max} = \quad \text{g/cm}^3$ $w_{g, opt} = \quad \%$										

复核 _____ 年 ____ 月 ____ 日 试验 _____ 年 ____ 月 ____ 日

29.3 无侧限抗压强度试验

29.3.1 本试验应采用下列仪器设备:

- 1 圆孔筛: 孔径为 10 mm、20 mm、40 mm。
- 2 试模的尺寸 (直径×高): 细粒土 50 mm×50 mm、粗粒土 100 mm×100 mm、碎石类土 150 mm×150 mm。
- 3 脱模器。
- 4 液压千斤顶: 0.2~1.0 MN。
- 5 反力框架: 400 kN 以上。
- 6 击锤和导筒: 同本规程第 20.0.3 条表 20.0.3 中 Z2 和 20.0.5 条的规定。
- 7 恒温恒湿箱或混凝土标准养护室。
- 8 水槽: 深度应比试件高 50 mm。
- 9 材料试验机: 大于 200 kN。
- 10 天平: 称量 200 g, 分度值 0.01 g; 台称称量 10 kg, 分度值 5 g。
- 11 其他设备: 量筒、拌和工具、漏斗、烘箱、称量盒。

29.3.2 试料准备应按下列步骤进行:

1 按本章第 29.1.3 条规定取具有代表性的风干试料, 必要时, 可在 50℃ 烘箱内烘干, 用木锤或木碾捣碎 (不破坏原颗粒粒径), 将试料过筛 (细粒土应除去大于 10 mm 颗粒; 粗粒土应除去大于 20 mm 颗粒; 碎石类土应除去大于 40 mm 颗粒) 备用, 备用试料数量: 细粒土 1.1~1.3 kg, 粗粒土 16~17 kg, 碎石类土 74~78 kg。在预定试验的前一天, 按本规程第 29.1.4 条测定风干含水率。

2 混合料的最优含水率和最大干密度应预先按本规程第 29.2 节击实试验确定。

29.3.3 试件应符合下列规定:

1 同一改良土应制备相同状态的试件数量: 细粒土不少于 6 个; 粗粒土不少于 9 个; 碎石类土不少于 13 个。细粒土可以一次称取 6 个试件的试料, 粗粒土可以一次称取 3 个试件的试

料，碎石类土一次只称取一个试件的试料。

2 根据试模尺寸，每个试件所需干试料质量：小试件 $\phi 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 约需 180~210 g；中试件 $\phi 100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 约需 1700~1900 g；大试件 $\phi 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 约需 5700~6000 g。所需风干试料的质量由下式计算。

$$m_g = m_{dg}(1 + 0.01w_g) \quad (29.3.3)$$

式中 m_g ——风干改良土试料质量 (g)；

w_g ——改良土试料的风干含水率 (%)；

m_{dg} ——改良土干试料的质量 (g)。

3 将称取的风干试料放入方盘 (约 $40 \text{ cm} \times 60 \text{ mm} \times 70 \text{ mm}$) 内，按式 (29.2.3) 计算应向试料中加的水量 (细粒土使其含水率较最优含水率小 3%，粗粒土、碎石类土按最优含水率计算)。将试料与水拌和均匀后放入密封容器内浸润备用，石灰改良土和水泥、石灰改良土，可将石灰和土一起拌匀浸润。浸润时间为生石灰不少于 24 h；黏性土 12~24 h；粉性土 6~8 h；砂性土、砂砾土、红土砂砾，级配砂砾等约 4 h；含土很少的未筛分碎石、砂砾或砂约 2 h。

4 将浸润过的试料，加入预定数量的水泥并拌和均匀，在拌和过程中将预留的 3% 水 (细粒土) 加入试料中，使混合料的含水率达到最优含水率 (拌和均匀的加有水泥的混合料应在 1 h 内按下述方法制成试件，超过 1 h 的混合料应作废，其他混合料可不受此限，但也应尽快制成试件)。

注：水泥或石灰的剂量按干土质量的百分率计。

29.3.4 试件制备可采用静力压实法或锤击法按下列步骤进行：

1 静力压实法：利用反力框架和液压千斤顶将混合试料压入试模中。加入混合试料的数量，按预定的干密度和试模容积计算。

$$m_{sg} = \rho_{dg} V(1 + 0.01w_{sg}) \quad (29.3.4)$$

式中 m_{sg} ——应取浸润混合料数量 (g)；

w_{sg} ——浸润混合料的含水率 (%)；

ρ_{dg} ——改良土试件的干密度 (g/cm^3)；

V ——试模的容积 (cm^3)。

先将试模内壁和上下压柱底部涂上一薄层润滑油，再将试模的下压柱放入试模的下部，约外露 2 cm。将称取预定数量的浸润混合料分 2~3 次用漏斗灌入试模中，每次灌入后都用夯棒轻轻均匀插实。然后将上压柱放入试模内，也约外露 2 cm。再将整个试模连同上下压柱，放到反力框架内的千斤顶上，千斤顶下应放一扁球座，施加压力直至上下压柱都压入试模为止。维持 1 min 后，解除压力，取出试模，拿去上压柱，放到脱模器上利用千斤顶和下压柱将试件推出脱模，称取试件质量，准确至小试件 1 g；中试件 2 g；大试件 5 g；最后用游标卡尺量试件高度，准确至 0.1 mm。

1) 小试件可以将试料一次倒入试模中，上下压柱露出试模外约 2 cm 部分应该相等。

2) 用水泥稳定具有黏结性的材料制成的试件可以立即脱模；用水泥稳定无黏结性材料制成试件最好过数小时后再脱模。

2 锤击法：步骤同静力压实法，不同的是以击实试验用的击锤代替反力框架和千斤顶将上下压柱击入已放有试料的试模内，压柱顶面应垫一块牛皮或胶皮，以保护锤面和压柱顶面不受损伤。

29.3.5 试件养生应符合下列规定：

1 试件脱模称量后应立即放入密封的恒温恒湿箱内进行养生，养生时中、大试件应先用塑料薄膜包复。

2 养生时间视需要而定，通常取养生 7 d。养生期间的温度应保持 $(20 \pm 3)^\circ\text{C}$ 。

3 养生期的最后一天，将试件再次称量。如果试件需要浸水时，应将试件放入水中浸泡 24 h，水面应高出试件顶部 2.5 cm。取出试件用柔软的抹布吸去试件表面的余水，称取试件的质量。在养生期间试件质量的损失：小试件不得超过 1 g；中试件不得超过 4 g；大试件不得超过 10 g。试件质量损失超过此

规定的,应作废。质量损失是指水分损失,试件掉粒或掉块,不作为水分损失。

29.3.6 试验操作应按下列步骤进行:

1 取养生后(或已浸泡 24 h)的试件用游标卡尺量取试件高度,准确至 0.1 mm。

2 将试件安装在材料试验机的升降台上进行抗压试验。在试验过程中,应使试件的变形等速增加,并保持速率约为 1 mm/min,记录试件被破坏时的最大压力。

3 从破碎试件中取代表性试样,按本规程第 29.1.4 条规定测定其含水率。

29.3.7 试验结果应按下式计算:

$$R_c = P/A \quad (29.5.8)$$

式中 R_c ——无侧限抗压强度(MPa),小于 2.0 MPa 计算至 0.01 MPa;大于 2.0 MPa 计算至 0.1 MPa;

P ——试件破坏时最大荷载(N);

A ——试件面积(mm²)。

29.3.8 本试验允许相对标准偏差应符合下列规定:

1 无侧限抗压强度相对标准偏差:

$$CV = (S/\bar{R}_c) \times 100 \quad (29.3.8)$$

$$\bar{R}_c = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n R_c$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (R_c - \bar{R}_c)^2}$$

式中 CV ——相对标准偏差(%);

$\bar{R}_c$ ——无侧限抗压强度均值(MPa);

S ——无侧限抗压强度标准偏差(MPa);

n ——无侧限抗压强度试验试件个数。

2 允许相对标准偏差 CV%:

小试件 CV 不大于 10%

中试件 CV 不大于 15%

大试件 CV 不大于 20%

29.3.9 记录格式应符合表 29.3.9 的要求。

表 29.3.9 无侧限抗压强度试验记录

试 验 编 号: _____	最 优 含 水 率: _____
混 合 料 名 称: _____	最 大 干 密 度: _____
固 化 剂 剂 量: _____	试 件 压 实 度: _____
水 泥 种 类 和 标 号: _____	试 件 尺 寸: _____
石 灰 等 级: _____	养 生 龄 期: _____
材 料 的 颗 粒 组 成: _____	试 件 压 制 方 法: _____

试件号																		
制试件日期																		
试验日期																		
养生前试件质量 (m_1) (g)																		
浸水前试件质量 (m_2) (g)																		
浸水后试件质量 (m_3) (g)																		
养生期间质量损失 ($m_1 - m_2$) (g)																		
吸水量 ($m_3 - m_2$) (g)																		
养生前试件高度 (h) (cm)																		
浸水后试件高度 (h) (cm)																		
试件破坏时最大荷载 (P) (N)																		
无侧限抗压强度 (R_c) (MPa)																		
试件破坏后含水率 (w) (%)																		

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

29.4 水泥或石灰的剂量测定 (EDTA 滴定法)

29.4.1 本试验应采用下列仪器设备:

- 1 标准筛: 孔径 2 mm, 2.5 mm。
- 2 搪瓷杯: 容积约 1.2 L(10 个)。
- 3 搅拌棍: 不锈钢或粗玻棒 (10 根)。
- 4 量筒: 容量 100 mL、50 mL、5 mL。
- 5 天平: 称量 200 g, 分度值 1 mg; 称量 500 g, 分度值

0.5 g; 称量 100 g, 分度值 0.1 g。

6 容量瓶: 1 000 mL(1 个)。

7 烧杯: 约 2 L(或 1 L); 300 mL(10 个)。

8 锥形瓶: 容量约 250 mL(10 个)。

9 移液管: 容量 10 mL(10 支)。

10 滴定管: 酸式 50 mL, 分度值 0.1 mL。

11 滴定台及滴定管夹。

12 其他设备: 秒表、表面皿、玛瑙研钵、pH 试纸 (pH 值 12~14)、洗瓶、吸水球、乳胶管、毛刷、去污粉、特种铅笔、厘米纸、角 (或塑料) 勺、塑料桶、试剂瓶。

29.4.2 试剂配制应符合下列规定:

1 0.1 mol/L, $c(\text{EDTA})$ 标准溶液: 准确称取乙二胺四乙酸二钠 ($\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 37.226 g 于 1 L 容量瓶中, 用微热的无 CO_2 纯水溶解, 待冷至室温后, 继续稀释至刻度。

2 10% NH_4Cl 溶液: 将 500 g, 分析纯 NH_4Cl 放入 10 L 洁净的聚乙烯桶中, 加水 4 500 mL, 充分振荡使完全溶解。此溶液应当天配制, 当天用完。

3 1.8% NaOH (含三乙醇胺) 溶液: 用 100 g 天平称取 NaOH , 18 g, 放入洁净干燥的 1 000 mL 烧杯中, 加水 1 000 mL, 待完全溶解并冷至室温后, 加入 2 mL 三乙醇胺, 搅拌均匀后贮于聚乙烯瓶中。

4 钙指示剂: 称取钙指示剂 ($\text{C}_{21}\text{H}_{13}\text{O}_7\text{N}_2\text{SNa}$) 0.2 g 与预先在 105℃ 烘干 1 h 的 (K_2SO_4) 20 g, 一起放入玛瑙研钵中混合均匀研成粉末, 贮于棕色瓶中以防止吸潮。

29.4.3 标准曲线绘制应按下列步骤进行:

1 从现场采取具代表性的石灰、土或集料。风干后, 分别过孔径 2 mm 或 2.5 mm 筛, 然后分别测定其风干含水率, 水泥的含水率为零。

2 当风干混合料的质量为 300 g 时, 由以下公式计算混合料的组成, 单位为 g。

干混合试料的质量 = $300 \text{ g} / (1 + 0.01w_{g,\text{opt}})$

干土的质量 = 干混合料质量 / $(1 + 0.01C)$

干石灰（或水泥）质量 = 干混合料质量 - 干土质量

风干土质量 = 干土质量 $\times (1 + 0.01w_0)$

风干石灰的质量 = 干石灰质量 $\times (1 + 0.01w_c)$

应加水的质量 = $300 \text{ g} - \text{风干土质量} - \text{风干石灰质量}$

式中 $w_{g,\text{opt}}$ ——混合料最优含水率（%）；

C ——石灰或水泥剂量（%）；

w_0 ——风干土含水率（%）；

w_c ——风干石灰含水率（%）。

3 按上述计算混合料组成的方法，配制 5 种水泥或石灰改良土混合料试样，其中水泥或石灰的剂量分别为 0%、2%、4%、6%、8%，每种试样均取两份作平行测定，每份风干混合料为 300 g。

1) 试样 1，准备水泥或石灰剂量为 0% 的风干混合料试样两份，每份 300 g，分别放入 2 个搪瓷杯中，然后根据混合料的含水率应等于现场预期达到的最优含水率的要求，按上述计算应加水的质量，土中所加的水应与现场所用的水相同。

2) 试样 2，准备水泥或石灰剂量为 2% 的风干混合料试样两份，每份 300 g，分别放在两个搪瓷杯中，然后根据混合料的含水率应等于现场预期达到的最优含水率的要求，按上述计算应加水的质量，所加的水应与现场所用的水相同。

3) 试样 3、4、5，各准备水泥或石灰剂量分别为 4%、6%、8% 的风干混合料试样各两份，每份 300 g 分别放入 6 个搪瓷杯中，其他条件均与试样 2 相同。

4 取一个盛有水泥土或石灰土混合料的搪瓷杯，从中加入 10% NH_4Cl 溶液 600 mL，用搅拌棒以 110~120 次/min 的速度，搅拌 3 min。放置 4 min，若不澄清应继续放置，直至出现澄清悬

液为止，记录所需时间。以后所有该种水泥土或石灰土混合料的试验均应控制同一时间。然后将上部清液移至 300 mL 烧杯中，盖上表面皿待测。

以上操作当混合料是细粒土时，计算每份风干混合料的质量，可由 300 g 减为 100 g，加入 10% NH_4Cl 的溶液，由 600 mL 减为 200 mL。另外绘制水泥或石灰剂量为 0% ~ 8% 标准曲线，现场实际所需水泥或石灰剂量应处于标准曲线范围内，否则应重新绘制适合现场的标准曲线。

5 用移液管吸取上部清液 10 mL，放入约 250 mL 锥形瓶中，加 1.8% NaON (含三乙醇胺) 溶液 50 mL，此时溶液可用 pH 试纸检验，pH 值为 12.5 ~ 13.0 然后加入钙指示剂少许，摇匀，用 EDTA 标准溶液滴定至由玫瑰红色转变为天蓝色为终点，记下 EDTA 标准溶液用量，准确至 0.1 mL。

6 其他各搪瓷杯中的试样均按本条第 4 ~ 5 款用同样方法进行试验，并记录各自的 EDTA 标准溶液的用量。

7 以同一水泥剂量或石灰剂量混合料消耗 EDTA 标准溶液的平均值为纵坐标，水泥剂量或石灰剂量 (%) 为横坐标，绘制标准曲线，见图 29.4.3。

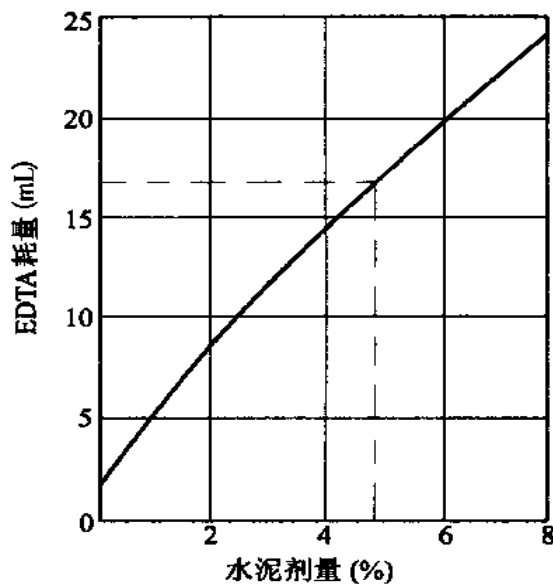


图 29.4.3 标准曲线

29.4.4 试验操作应按下列步骤进行

1 称取水泥或石灰混合料 300 g, 放于搪瓷杯中, 用搅拌棒将结块搅散后, 加入 10% NH_4Cl 溶液 600 mL, 以下步骤按本试验第 29.4.3 条第 4、5 款操作, 以测得 EDTA 标准溶液用量。

2 利用图 29.4.3 标准曲线, 由测得 EDTA 标准溶液用量 (mL), 可以确定其相对应的混合料中水泥或石灰剂量 (%)。

29.4.5 记录格式应符合表 29.4.5 的要求

表 29.4.5 EDTA 法水泥或石灰剂量测定记录

试验 编号	混合料 名 称	稳定剂 种 类	EDTA 用量 (mL)				试 验 结 果	备 注
			由	至	耗	平均	稳定剂剂量 (%)	

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

30 酸碱度 (pH 值) 试验

30.0.1 pH 值是溶液中氢离子浓度的负对数。是测量土浸出液酸碱度的指标。

30.0.2 本试验采用酸度计法, 适用于各类土。

30.0.3 本试验应采用下列仪器设备:

1 酸度计 (或 pH 计): 测量范围 1~12 pH, 分度值 0.01 pH。附玻璃电极、甘汞电极或复合电极和磁力搅拌器等。

2 天平: 称量 100 g, 分度值 0.01 g。

3 温度计: 刻度 0~60℃, 分度值 0.5℃。

4 其他设备: 烘箱、烧杯、1 L 容量瓶、试剂瓶、玻璃棒等。

30.0.4 试剂配制应符合下列规定:

1 pH=4.01 标准缓冲溶液: 称取在 105℃~110℃ 烘干 2 h 的分析纯邻苯二甲酸氢钾 ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$) 10.21 g, 通过漏斗用水冲洗入 1 L 容量瓶中, 待溶解后, 继续加水至刻度。

2 pH=6.87 标准缓冲溶液: 称取在 105℃~110℃ 烘干 2 h 的分析纯磷酸氢二钠 (Na_2HPO_4) 3.53 g 和磷酸二氢钾 (KH_2PO_4) 3.39 g, 通过漏斗用水冲洗入 1 L 容量瓶中, 待溶解后, 继续加水至刻度。

3 pH=9.18 标准缓冲溶液: 称取分析纯硼砂 ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$) 3.80 g, 通过漏斗用新煮沸放冷的纯水冲洗入 1 L 容量瓶中, 待溶解后, 继续加新煮沸放冷的纯水至刻度。贮于干燥密闭的塑料瓶中。

以上标准缓冲溶液的 pH 值, 是指 25℃ 时的 pH 值。

4 饱和氯化钾溶液: 向适量水中加入氯化钾 (KCl), 边加边搅拌, 直至不再溶解为止。

30.0.5 试验操作应按下列步骤进行:

1 酸度计校正：在测定土悬液 pH 值之前，应按酸度计使用说明书，用标准缓冲溶液进行校正。

2 按第 3.4.1 条制备试样，称取试样 10 g，放入烧杯中，加水 50 mL(土水比 1:5)，投入搅拌棍，放在磁力搅拌器下搅拌 3 min，静置 30 min，即得土悬液。

3 小心地将玻璃电极和甘汞电极（或复合电极）放入土悬液中，直至玻璃电极球部被悬液浸没为止，并使电极与杯底保持适量距离，然后将电极固定在电极架上，并使电极与酸度计连接。

4 再开动磁力搅拌器搅拌 1 min(使悬液与电极充分接触)，测记悬液温度，然后按酸度计使用说明书测定土悬液的 pH 值，准确至 0.01pH。

5 测定完毕，关闭电源，取出电极用水冲洗，并用滤纸吸干，或将电极浸泡于水中。

30.0.6 本试验应进行平行测定，平行测定允许差值应不大于 0.02 pH。

30.0.7 记录格式应符合表 30.0.7 的要求。

表 30.0.7 pH 值测定记录

试样编号	土水比	悬液温度 (℃)	pH 值 测 定			平均值
			1	2	3	

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

31 易溶盐试验

31.1 一般规定

31.1.1 易溶盐是指土中易溶于水的盐类。包括全部氯化物和钠钾硫酸盐，钠钾碳酸盐。

31.1.2 本试验适用于各类土中小于 2 mm 颗粒的土，当土中含有大于 2 mm 颗粒的土时，应先进行筛分求出大于 2 mm 颗粒土总土质量的百分数。

本试验硫酸根含量的测定：EDTA 络合滴定法适用于硫酸根含量大于 0.025 % 或大于 50 mg/L 的土；比浊法适用于硫酸根含量小于 0.025 % 的土。

31.1.3 易溶盐含量大于 0.5 % 的称为盐渍土，盐渍土分类应按铁道部现行的《铁路工程岩土分类标准》(TB10077) 和《铁路工程特殊土勘察规范》(TB10038) 的规定进行。

31.1.4 本试验应采用平行测定，平行测定允许差应符合下列规定：

1 质量法：蒸发残渣量取浸出液的体积，以蒸干所得残渣不少于 0.020 g 为宜，当蒸干称量所得残渣在 0.020 ~ 0.500 g 之间时，平行测定偏差应不大于 0.003 g；当蒸干称量所得残渣大于 0.500 g 时，平行测定偏差应小于 0.005 g。

2 容量法：量取浸出液的体积，以滴定消耗标准溶液不少于 1 mL 为宜，平行滴定偏差应小于或等于 0.1 mL。

31.1.5 本试验用土浸出液的制备：称取按本规程第 3.4.1 条制备的试样约 50 ~ 100 g (视土中含盐量和测定项目而定)，准确至 0.01 g，放入广口瓶中，按土水比 1:5 加水 (当土中含盐量高达几十克时，可加大土水比例，但最大不宜超过 1:20)，搅拌约

5 min, 放置 12 h(或用振荡器振荡 3 min) 后过滤, 所得溶液即为土浸出液。浸出液应是无色透明溶液, 如果混浊应采用离心分离或用砂离棒抽滤; 如果有色可用双氧水或活性碳脱色, 浸出液贮于细口瓶中备用。同时另取一份试样按第 4.2 节测定风干含水率。

31.1.6 本试验记录格式应符合表 31.1.6 的要求。

表 31.1.6 易溶盐试验综合记录

试样编号						土水比 ($m_s:V_w$)			pH 值		
试验项目 B	标准溶液浓度 c_T (mol/L)	取样 V_s	滴定(V)			平均 V	计 算		结 果		
			由	至	耗		$b_B = \frac{c_T \cdot V_w (1 + 0.01 w_0) \times 1000}{V_s \cdot m_0}$	b_B	w_B	ρ_B	
			(mL)				$w_B = b_B \times 10^{-3} M_B \times 100$ $\rho_B = b_B \cdot M_B$	(mmol/kg)	(%)	(mg/kg)	
CO_3^{2-}											
HCO_3^-											
Cl^-											
SO_4^{2-}											
Ca^{2+}											
Tb ($1/z\text{P}^{z+}$)											
Mg^{2+}	$b(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - b(\text{Ca}^{2+})$										
$\text{Na}^+ + \text{K}^+$											
DT	皿号	皿质量 $m_1(\text{g})$	试样 (mL)	皿 + 盐 $m_2(\text{g})$	盐质量 $m_{\text{盐}}(\text{g})$	$m_{\text{盐}} \cdot V_w (1 + 0.01 w_0) \times 100 / (V_s \cdot m_0)$		结果 (%)	平均 (%)		
风干含水率 w_0											

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

31.2 蒸干法易溶盐总量测定

31.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 天平：称量 200 g，分度值 0.000 1 g。
- 2 移液管：100 mL 或 50 mL、25 mL。
- 3 其他设备：蒸发皿、水浴锅、电炉、烘箱、干燥器。

31.2.2 试剂配制应符合下列规定：

- 1 15% 双氧水溶液：取 30% H_2O_2 50 mL 用水稀释至 100 mL。
- 2 2% Na_2CO_3 溶液：称取 2 g Na_2CO_3 溶解于 100 mL 水中。

31.2.3 试验操作应按下列步骤进行：

1 用移液管吸取土浸出液 50~100 mL (视含盐量而定) 于已知质量的蒸发皿中，盖上表面皿，放于水浴锅上蒸干。当蒸干残渣呈黄褐色时，应加入 15% H_2O_2 1~2 mL，继续在水浴锅上蒸干，反复处理，直至黄褐色消失。

2 将蒸发皿放入烘箱中，控制在 (105~110) °C 温度烘干 4 h，取出放入干燥器中，待冷却至室温称量，再放入烘箱中烘干 2 h，取出放入干燥器中冷却至室温称量，反复进行直至最后相邻两次质量差不大于 0.000 1 g。

3 当土浸出液蒸干残渣含有大量结晶水时，将使测得易溶盐偏高，此时，可取蒸发皿两个，一个加土浸出液 50 mL，一个加纯水 50 mL，然后各加等量的 2% Na_2CO_3 溶液，搅拌均匀后，一起按本条第 1、2 款的步骤操作，烘干温度改用 180 °C。

31.2.4 试验结果应按下列公式计算：

- 1 未经 2% Na_2CO_3 溶液处理的易溶盐总量：

$$DT = (m_2 - m_1) V_w (1 + 0.01 w_0) \times 100 / (V_s \times m_0) \quad (31.2.4-1)$$

式中 DT ——易溶盐总量 (%), 计算至 0.01 %;

V_w ——土浸出液用水的总体积 (mL);

V_s ——吸取土浸出液体积 (mL);

m_1 ——蒸发皿质量 (g);

m_2 ——蒸发皿加残渣质量 (g);

m_0 ——风干试样质量 (g);

w_0 ——风干试样含水率 (%)。

2 经 2% Na_2CO_3 处理后易溶盐总量的计算:

$$DT = \frac{(m - m_2) V_w (1 + 0.01 w_0) \times 100}{V_s \cdot m_0} \quad (31.2.4-2)$$

$$m_2 = m_3 - m_1$$

$$m = m_4 - m_1$$

式中 m_3 ——蒸发皿加碳酸钠蒸干后质量 (g);

m_4 ——蒸发皿加碳酸钠加试样蒸干后的质量 (g);

m_2 ——蒸干后碳酸钠质量 (g);

m ——蒸干后试样加碳酸钠质量 (g)。

31.2.5 试验允许差应符合下列规定:

1 平行测定允许差值应符合第 31.1.4 条的要求。

2 易溶盐与阴阳离子总和的相对偏差应符合表 31.2.5 的要求。

表 31.2.5 易溶盐总量与阴阳离子和的允许偏差

易溶盐 DT (%)	相对偏差 D (%)	易溶盐 DT (%)	相对偏差 D (%)
$DT \leq 0.05$	-25 ~ +20	$0.5 < DT \leq 2.00$	-10 ~ +5
$0.05 < DT \leq 0.20$	-20 ~ +15	$2.00 < DT \leq 5.00$	-5 ~ +3
$0.20 < DT \leq 0.5$	-15 ~ +10	$DT > 5.00$	-3 ~ +2

3 相对偏差按下式计算:

$$D = \left[\sum w(\text{P}^+ \text{N}^-) - DT \right] \times 100 / DT \quad (31.2.5)$$

$$\sum w(\text{P}^+ \text{N}^-) = w(\text{CO}_3^{2-}) + w(\text{HCO}_3^-) / 2 + w(\text{Cl}^-) + w(\text{SO}_4^{2-}) \\ + w(\text{Ca}^{2+}) + w(\text{Mg}^{2+}) + w(\text{Na}^+ + \text{K}^+) + \dots$$

式中 D ——相对偏差 (%);

$\sum w(\text{P}^+ \text{N}^+)$ ——阴阳离子质量分数之和, 以 % 表示。

31.2.6 记录格式应符合本规程 31.1.6 的要求。

31.3 离子交换法易溶盐总量测定

31.3.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 离子交换柱装置见图 31.3.1。
- 2 分析天平：最大称量，200 g，分度值 0.000 1 g。
- 3 滴定管：容量 25 mL，分度值 0.1 mL。
- 4 其他设备：烘箱、干燥器、称量瓶、容量瓶、移液管、锥形瓶、洗瓶、坩埚钳、滴定台、烧杯等。

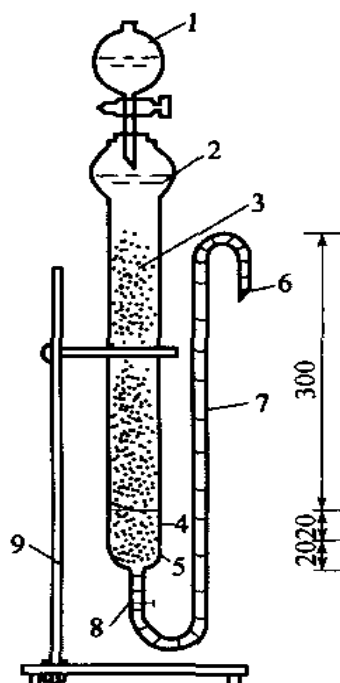


图 31.3.1 离子交换柱 (单位: mm)

- 1—分液漏斗；2—离子交换柱；3—阳离子交换树脂；
4—玻璃棉；5—玻璃球；6—玻璃滴管；7—橡皮管；
8—螺旋夹；9—固定支架

31.3.2 试剂配制应符合下列规定：

- 1 甲基橙指示剂：溶解 0.1 g 甲基橙于 100 mL 水中。
- 2 氢氧化钠标准溶液：溶解 4 g NaOH 于 100 mL 水中，待溶解后，取 20 mL 于 1 L 容量瓶中，用水稀释至刻度，贮于聚乙烯瓶中，然后按以下方法标定：

用分析天平称取预先在 105℃~110℃ 烘干 2 h 的邻苯二甲酸氢钾 ($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$) 0.1000 g, 共称三份, 分别置于锥形瓶中, 加无 CO_2 的水 100 mL, 使完全溶解, 加酚酞指示剂 5~6 滴, 用以上 NaOH 溶液滴定至呈现稳定玫瑰红色为终点, 记下用量, 按下式计算准确浓度:

$$c(\text{NaOH}) = \frac{m(\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4) \times 1000}{V(\text{NaOH}) \cdot M(\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4)} \quad (31.3.2)$$

式中 $c(\text{NaOH})$ ——氢氧化钠标准溶液浓度 (mol/L);

$V(\text{NaOH})$ ——氢氧化钠标准溶液用量 (mL);

$m(\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4)$ ——称取苯二甲酸氢钾的质量 (g);

$M(\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4)$ ——苯二甲酸氢钾的摩尔质量 (g/mol)。

计算至 0.0001 mol/L, 三个平行测定, 平行绝对偏差不大于 0.05 mL, 取算术平均值。

3 酚酞指示剂: 称取 0.5 g 酚酞溶解于 100 mL 乙醇中。

4 阳离子交换树脂的活化与再生: 按图 31.3.1 所示, 先在交换柱下部放入一层厚约 20 mm 玻璃球, 再于玻璃球上铺一层厚约 20 mm 玻璃棉, 然后自上而下装入强酸性阳离子交换树脂至高约 310 mm 处, 将柱垂直固定于支架上, 用水通过皮管自下而上冲洗树脂层 (使树脂中的粉末、夹杂物溢出并排除干净)。按如下进行树脂活化: 先用吸水球通过皮管吸干树脂中滞水, 再用 (1+4)HCl 溶液自下而上反冲树脂层至柱中气泡排尽并使酸液浸没树脂层, 用螺旋夹夹紧柱下皮管, 然后装上预先放在 (1+4)HCl 溶液的分液漏斗于柱顶部, 调节螺旋夹和漏斗活塞, 使酸液自上而下控制流速约 3 mL/min 作动态活化 30 min, 此后关闭活塞和螺旋夹放置约 2~3 h 后, 排干柱中滞酸改用水自下而上, 再自上而下如此反复洗涤柱中树脂层, 直至洗出液呈甲基橙中性反应为止, 即告活化完毕, 可供使用。当树脂经使用后老化时, 可重复上述活化步骤进行再生活化。

31.3.3 试验操作应按下列步骤进行:

1 按图 31.3.1 所示, 用移液管吸取土浸出液 5~10 mL (视

含盐浓度而定)于交换柱顶部的分液漏斗中,在柱下流出处放一锥形瓶承接流出液。

2 调节分液漏斗活塞和柱下螺旋夹使以 2~3 mL/min 流速流入锥形瓶中,待漏斗中土浸出液流尽为止,关闭活塞。

3 加适量水洗涤漏斗后,再打开活塞调节以 3~5 mL/min 的流速进行洗柱,洗液合并于同一锥形瓶中,如此反复洗柱直至流出液呈甲基橙中性为止。

4 取下锥形瓶,加入甲基橙指示剂 2~3 滴,然后用氢氧化钠标准溶液滴定至呈现橙黄色为终点,记下 $c(\text{NaOH})$ 标准溶液用量,估读至 0.05 mL。

31.3.4 试验结果应按下列公式计算:

1 土浸出液中阳离子总量的计算:

$$Tb(1/zP^{z+}) = \frac{V \times c(\text{NaOH}) V_w (1 + 0.01 w_0) \times 1000}{V_s \times m_0} + \sum b(1/2\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-) \quad (31.3.4-1)$$

式中 $Tb(1/zP^{z+})$ ——土浸出液中阳离子总量(mmol/kg),
计算至 0.01 mmol/kg;

V —— $c(\text{NaOH})$ 标准溶液用量(mL);

$\sum b(1/2\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-)$ ——土浸出液中 $b(1/2\text{CO}_3^{2-})$ 与 $b(\text{HCO}_3^-)$ 之和 (mmol/kg)。

2 易溶盐总量的计算:当阳离子总量 $Tb(1/zP^{z+})$ 与实测阴离子和 $\sum b(1/zN^{z-})$ 之间的相对偏差满足表 31.3.5 的规定时,易溶盐总量按如下计算:

$$DT = \sum w(P^+ N^-) \quad (31.3.4-2)$$

$$\begin{aligned} \sum w(P^+ N^-) = & w(\text{CO}_3^{2-}) + w(\text{HCO}_3^-)/2 + w(\text{Cl}^-) \\ & + w(\text{SO}_4^{2-}) + w(\text{Ca}^{2+}) + w(\text{Mg}^{2+}) \\ & + w(\text{Na}^+) + w(\text{K}^+) + \dots \end{aligned}$$

式中 DT ——易溶盐总量(%),计算至 0.001%;

$\sum w(P^+ N^-)$ ——实测阴阳离子质量分数之和(%),准确至

0.001%。

31.3.5 试验允许差应符合下列规定：

- 1 平行滴定允许差值应符合本规程第 31.1.4 条要求。
- 2 阳离子总量与阴离子和的允许差值应符合表 31.3.5 要求。

表 31.3.5 $Tb(1/zP^{z+})$ 与 $\sum b(1/zN^{z-})$ 之间允许差

$Tb(1/zP^{z+})(\text{mmol/kg})$	相对偏差 (%)	$Tb(1/zP^{z+})(\text{mmol/kg})$	相对偏差 (%)
$Tb(1/zP^{z+}) \leq 10.00$	-25 ~ +20	$100.00 < Tb(1/zP^{z+}) \leq 350.00$	-10 ~ +5
$10.00 < Tb(1/zP^{z+}) \leq 50.00$	-20 ~ +15	$350.00 < Tb(1/zP^{z+}) \leq 900.00$	-5 ~ +3
$50.00 < Tb(1/zP^{z+}) \leq 100.00$	-15 ~ +10	$Tb(1/zP^{z+}) > 900.00$	-3 ~ +2

3 相对偏差

$$D = \left[\sum b(1/zN^{z-}) - Tb(1/zP^{z+}) \right] \times 100 / Tb(1/zP^{z+})$$

31.3.6 记录格式应符合本规程表 31.1.6 的要求。

31.4 碳酸根、重碳酸根的测定

31.4.1 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 31.3.1 条第 2~4 款的要求。

31.4.2 试剂配制应符合下列规定：

- 1 甲基橙指示剂、酚酞指示剂按本规程第 31.3.2 条配制。
- 2 0.0500 mol/L $c(\text{HCl})$ 标准溶液：取浓盐酸 4.2 mL，于 1 L 容量瓶中用纯水稀释至刻度，然后按如下方法标定：

用分析天平称取预先在 180℃ 烘干 2 h 的 (Na_2CO_3) 0.1000 g 共取三份，放入锥形瓶中，加水约 25 mL，摇匀完全溶解后，再加甲基橙指示剂 3~4 滴，然后用配制好的盐酸标准溶液滴定至呈现橙红色为终点，记录用量，按下式计算盐酸标准溶液浓度：

$$c(\text{HCl}) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3) \times 1000}{V(\text{HCl}) \cdot M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)} \quad (31.4.2)$$

式中 $c(\text{HCl})$ ——盐酸标准溶液浓度 (mol/L)；

$V(\text{HCl})$ ——盐酸标准溶液用量 (mL);

$m(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ ——碳酸钠的用量 (g);

$M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)$ ——碳酸钠摩尔质量 (g/mol)。

计算至 0.000 1 mol/L, 三个平行测定, 平行绝对偏差不大于 0.05 mL, 取算术平均值。

盐酸标准溶液也可用氢氧化钠标准溶液标定。也允许用硫酸标准溶液代替, 标定方法同盐酸标准溶液。

31.4.3 试验操作应按下列步骤进行:

1 用移液管吸取土浸出液 25~100 mL(视其含量而定)于锥形瓶中, 加酚酞指示剂 2~3 滴, 摇匀(溶液不显红色, 表示无碳酸根存在), 溶液呈红色, 即用盐酸标准溶液滴定至红色刚褪去为止, 记下盐酸标准溶液用量, 估读至 0.05 mL。

2 继续加甲基橙指示剂 1~2 滴, 仍用盐酸标准溶液滴定至土浸出液由黄色变为橙色为终点, 记下盐酸标准溶液用量, 估读至 0.05 mL。

31.4.4 试验结果应按下列公式计算:

1 碳酸根含量:

$$b(\text{CO}_3^{2-}) = \frac{2V_1 \times c(\text{HCl}) V_w (1 + 0.01w_0) \times 1000}{V_s \times m_0} \times 0.5 \quad (31.4.4-1)$$

$$w(\text{CO}_3^{2-}) = b(\text{CO}_3^{2-}) \times 10^{-6} \times 60 \times 100 \quad (31.4.4-2)$$

$$w'(\text{CO}_3^{2-}) = b(\text{CO}_3^{2-}) \times 60 \quad (31.4.4-3)$$

式中 $b(\text{CO}_3^{2-})$ ——碳酸根质量摩尔浓度 (mmol/kg), 计算至 0.01 mmol/kg;

$w(\text{CO}_3^{2-})$ ——碳酸根的含量 (%), 计算至 0.001 %;

$w'(\text{CO}_3^{2-})$ ——碳酸根含量 (mg/kg), 计算至 1 mg/kg;

V_1 ——酚酞为指示剂滴定盐酸标准溶液的用量 (mL);

60——碳酸根的摩尔质量 (g/mol);

10^{-6} ——换算因数。

2 重碳酸根含量:

$$b(\text{HCO}_3^-) = \frac{(V_2 - V_1)c(\text{HCl})V_w(1 + 0.01w_0) \times 1000}{V_s \cdot m_0} \quad (31.4.4-4)$$

$$w(\text{HCO}_3^-) = b(\text{HCO}_3^-) \times 10^{-6} \times 61 \times 100 \quad (31.4.4-5)$$

$$w'(\text{HCO}_3^-) = b(\text{HCO}_3^-) \times 61 \quad (31.4.4-6)$$

式中 $b(\text{HCO}_3^-)$ ——重碳酸根的质量摩尔浓度(mmol/kg),
计算至 0.01 mmol/kg ;

$w(\text{HCO}_3^-)$ ——重碳酸根的含量(%),计算至 0.001% ;

$w'(\text{HCO}_3^-)$ ——重碳酸根的含量(mg/kg)计算至 1 mg/kg ;

V_2 ——甲基橙为指示剂滴定盐酸标准溶液的用量
(mL);

61——重碳酸根的摩尔质量(g/mol);

10^{-6} ——换算因数。

31.4.5 本试验应采用平行测定,允许差值应符合本规程第 31.1.4 条的规定,取算术平均值。

31.4.6 记录格式应符合本规程表 31.1.6 的要求。

31.5 氯根的测定

31.5.1 本试验应采用下列仪器设备:

1 棕色滴定管:容量 25 mL ,分度值 0.1 mL 。

2 其余仪器设备应符合本规程第 31.3.1 条第 2、4 款的要求。

31.5.2 试剂配制应符合下列规定:

1 铬酸钾指示剂:称取 5 g 铬酸钾 (K_2CrO_4) 于烧杯中,加水适量使溶解,然后逐滴加入硝酸银标准溶液至出现砖红色沉淀为止,放置 24 h 后过滤,滤液用水稀释至 100 mL ,贮于滴瓶中。

2 硝酸银标准溶液:称取预先在 $105^\circ\text{C} \sim 110^\circ\text{C}$ 烘干 0.5 h ,冷却后的硝酸银 (AgNO_3) 8.5000 g ,通过漏斗用水冲洗入 1 L 容量瓶中,待溶解后,继续用水稀释至刻度,贮于棕色瓶中,则硝

酸银的浓度为

$$c(\text{AgNO}_3) = \frac{m(\text{AgNO}_3)}{V \cdot M(\text{AgNO}_3)} = 8.5000 / (1 \times 169.868) \\ = 0.0500 \text{ mol/L}$$

此硝酸根标准溶液也可用氯化钠基准溶液标定，浓度可根据氯根含量进行调整。

31.5.3 试验操作应按下列步骤进行：

1 用移液管吸取土浸出液 25~100 mL(视其含量而定)于锥形瓶中，土浸出液的 pH 值应控制在 6.3~9.0 之间，超此范围应先用酸或碱溶液中和，加入铬酸钾指示剂 10 滴。

2 用 AgNO_3 标准溶液滴定至刚出现红褐色沉淀在摇动中不消失为终点，记下 AgNO_3 标准溶液用量，估读至 0.05 mL。

3 用移液管吸取与土浸出液同体积的纯水于另一锥形瓶中，同本条第 1、2 款操作，作为空白试验。

31.5.4 试验结果应按下列公式计算：

$$b(\text{Cl}^-) = \frac{(V_1 - V_2)c(\text{AgNO}_3)V_w(1 + 0.01w_0) \times 1000}{V_s \cdot m_0} \quad (31.5.4-1)$$

$$w(\text{Cl}^-) = b(\text{Cl}^-) \times 10^{-6} \times 35.5 \times 100 \quad (31.5.4-2)$$

$$w'(\text{Cl}^-) = b(\text{Cl}^-) \times 35.5 \quad (31.5.4-3)$$

式中 $b(\text{Cl}^-)$ ——氯根的质量摩尔浓度 (mmol/kg) 计算至 0.01 mmol/kg;

$w(\text{Cl}^-)$ ——氯根含量 (%), 计算至 0.001 %;

$w'(\text{Cl}^-)$ ——氯根含量 (mg/kg), 计算至 1 mg/kg;

V_1 ——土浸出液滴定硝酸银标准溶液的用量 (mL);

V_2 ——空白滴定硝酸银标准溶液的用量 (mL);

AgNO_3 ——硝酸银标准溶液浓度 (mol/L);

35.5——氯根的摩尔质量 (g/mol)。

31.5.5 本试验应采用平行滴定，平行允许差值应符合本规程第 31.1.4 条的规定，取算术平均值。

31.5.6 记录格式应符合本规程表 31.1.6 的要求。

31.6 络合滴定法硫酸根的测定

31.6.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 玛瑙研钵及杵、角勺、量杯、量筒、试管。
- 2 其他仪器设备应符合本规程第 31.3.1 条第 2~4 款的要求。

31.6.2 试剂配制应符合下列规定：

- 1 (1+1) 盐酸溶液：用一份盐酸溶液与一份水混合均匀。
- 2 刚果红试纸：溶解刚果红 0.5 g 于 1 L 水中，加乙酸 5 滴，使溶液温热后浸入试纸，待浸透后，取出晾干。
- 3 铬黑 T 指示剂：取铬黑 T($C_{20}H_{12}O_7N_3SNa$) 1 g 与氯化钠 (NaCl) 100 g 于玛瑙研钵中研磨均匀，贮于棕色磨口瓶中。
- 4 氨镁缓冲溶液：取氯化铵 (NH_4Cl) 17.5 g 于 500 mL 量筒中加水约 25 mL，使溶解后再加浓氨水 450 mL，继续用水稀释至刻度，为 a 液；另用分析天平称取氯化镁 ($MgCl_2 \cdot 6H_2O$) 10.000 g 于 800 mL 烧杯中，加适量水溶解后，再加入 EDTA ($C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2 \cdot 2H_2O$) 18.317 g (此时不溶解)，为 b 液。在搅拌下将 a 液缓慢地加入 b 液中 (此时沉淀逐渐溶解)，然后将此溶液移入 1 L 容量瓶中，再用水稀释至刻度。
- 5 锌基准溶液：称取预先在 105℃~110℃ 烘干 1 h 的锌粉 (或锌粒)，1.6345 g 于烧杯中，慢慢地加入 (1+1)HCl 溶液约 30 mL，置于水浴上加热至锌完全溶解 (切勿溅失)，然后移入 1 L 容量瓶中，用水稀释至刻度，按下式计算锌基准溶液的浓度：

$$c(Zn^{2+}) = \frac{m(Zn^{2+})}{V \cdot M(Zn^{2+})} = \frac{1.6345}{1 \times 65.38} = 0.0250 \text{ mol/L}$$

- 6 氨缓冲溶液：称取氯化铵 (NH_4Cl) 67.5 g 于 1 L 量筒中加水 200 mL 溶解，再加浓氨水 570 mL，继续用水稀释至 1 L。

- 7 EDTA 标准溶液：称取乙二胺四乙酸二钠 (简称 EDTA)

$\text{C}_{10}\text{H}_{14}\text{N}_2\text{O}_8\text{Na}_2\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 9 g 溶解于适量热水中,待冷却后,移入 1 L 容量瓶中,再用水稀释至刻度,然后用锌基准溶液标定。

用移液管吸取锌基准溶液 25 mL 于锥形瓶中,共取三份,分别用适量水稀释后,加氨缓冲溶液 10 mL,铬黑 T 指示剂少许,再加 95% 乙醇 5 mL,然后用 EDTA 标准溶液滴定至呈现天蓝色为终点,记下 EDTA 标准溶液用量,按下式计算 EDTA 标准溶液浓度:

$$c(\text{EDTA}) = \frac{V(\text{Zn}^{2+}) \cdot c(\text{Zn}^{2+})}{V(\text{EDTA})}$$

式中 $c(\text{EDTA})$ ——EDTA 标准溶液浓度 (mol/L), 计算至 0.0001 mol/L;

$V(\text{EDTA})$ ——EDTA 标准溶液用量 (mL);

$c(\text{Zn}^{2+})$ ——锌基准溶液浓度 (mol/L);

$V(\text{Zn}^{2+})$ ——锌基准溶液的用量 (mL)。

三份平行测定,平行绝对偏差不大于 0.05 mL,取算术平均值。

8 氯化钡标准溶液:称取氯化钡 ($\text{BaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 12.5 g 通过漏斗用水冲洗入 1 L 容量瓶中,待溶解后,继续用水稀释至刻度,然后用 EDTA 标准溶液标定:

用移液管吸取氯化钡标准溶液 5.0 mL 于锥形瓶中,用适量水稀释后,再准确加入氨镁缓冲溶液 5.0 mL,摇匀,加入铬黑 T 指示剂少许,然后用 EDTA 标准溶液滴定至呈现天蓝色为终点,记下用量,即得:

$$5.0 \text{ mL}(\text{BaCl}_2) \approx V_{\text{BE}} \text{ mL}(\text{EDTA})$$

31.6.3 试验操作应按下列步骤进行:

1 取土浸出液 5 mL 于试管中,加 (1+1) HCl 溶液 2 滴,再加 5% BaCl_2 溶液 5 滴,摇匀并观察,按表 31.6.3 估计 SO_4^{2-} 含量,以确定试验方法和取样数量。当估计 SO_4^{2-} 含量小于 50 mg/L 时,应采用比浊法按本规程第 31.7 节进行操作。

表 31.6.3 SO_4^{2-} 含量估计与取样数量的确定

呈现浑浊程度	估计 SO_4^{2-} 含量 (mg/L)	采用测定方法	取土浸出液数量 (mL)
立即生成大量沉淀	>200	络合滴定法	5~10
立即生成沉淀	100~200	络合滴定法	25~50
立即生成浑浊	50~100	络合滴定法	50~100
浑浊或微浑浊	<50	比浊法	—

2 根据观察呈现浑浊程度,按表 31.6.3 确定吸取一定量土浸出液于锥形瓶中,用水适当稀释后,投入刚果红试纸一片,滴加 (1+1) 盐酸溶液至试纸呈蓝色,再过量 2~3 滴。

3 准确加入 BaCl_2 标准溶液 5.0 mL (BaCl_2 加入量应过量 50%),放置 30 min 后,准确加入氨镁缓冲溶液 5.0 mL 和铬黑 T 指示剂少许,摇匀。

4 用 EDTA 标准溶液滴定至呈现天蓝色为终点,记下 EDTA 标准溶液用量,估读至 0.05 mL。

5 另用移液管吸取土浸出液 25 mL 于锥形瓶中,按本规程第 31.9 节测定 $b(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ 浓度。如果土浸出液中 $b(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ 已确定,本款操作可略。

31.6.4 试验结果应按下列公式计算:

$$b(\text{SO}_4^{2-}) = b(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) + \frac{(V_{\text{BE}} - V_{\text{E}})c(\text{EDTA})(1 + 0.01w_0)V_w \times 1000}{V_s \cdot m_0} \quad (31.6.4-1)$$

$$w(\text{SO}_4^{2-}) = b(\text{SO}_4^{2-}) \times 10^{-6} \times 96 \times 100 \quad (31.6.4-2)$$

$$w'(\text{SO}_4^{2-}) = b(\text{SO}_4^{2-}) \times 96 \quad (31.6.4-3)$$

式中 $b(\text{SO}_4^{2-})$ ——硫酸根的质量摩尔浓度 (mmol/kg), 计算至 0.01 mmol/kg;

$w(\text{SO}_4^{2-})$ ——硫酸根含量 (%), 计算至 0.001 %;

$w'(\text{SO}_4^{2-})$ ——硫酸根含量 (mg/kg), 计算至 1 mg/kg;

V_{BE} ——5.0 mL $BaCl_2$ 相当于 EDTA 标准溶液的体积 (mL);

V_E ——加 $BaCl_2$ 后土浸出液滴定 EDTA 标准溶液的用量 (mL);

$b(Ca^{2+} + Mg^{2+})$ ——土浸出液中钙镁的质量摩尔浓度 (mmol/kg);

$c(EDTA)$ ——EDTA 标准溶液浓度 (mol/L);

96——硫酸根的摩尔质量 (g/mol)。

31.6.5 本试验应进行平行测定, 平行滴定允许差值应符合本规程第 31.1.4 条的规定, 取其算术平均值。

31.6.6 记录格式应符合本规程表 31.1.6 的要求。

31.7 比浊法硫酸根的测定

31.7.1 本试验应采用下列仪器设备:

- 1 光电比色计或分光光度计。
- 2 磁力搅拌器。
- 3 量勺: 容量 0.2~0.3 cm³。
- 4 筛子: 孔径 0.6~0.85 mm。
- 5 容量瓶: 容量 100 mL, 5 个。

其他设备应符合本规程第 31.3.1 条第 2、4 款的要求。

31.7.2 试剂配制应符合下列规定:

1 悬浊液稳定剂: 于 300 mL 纯水中加入浓盐酸 30 mL、95% 乙醇 100 mL、氯化钠 25 g 溶解混匀再加甘油 50 mL, 混合均匀。

2 结晶氯化钡: 使结晶氯化钡先通过孔径 0.85 mm 筛, 再通过 0.6 mm 筛, 取 0.85 mm 与 0.6 mm 之间的晶粒。

3 硫酸根标准溶液: 称取预先在 105℃~110℃ 温度下烘干 2 h 的无水硫酸钠 0.1479 g, 通过漏斗用水冲洗入 1 L 容量瓶中, 溶解后继续用水稀释至刻度。(SO₄²⁻ = 0.1 mg/mL)。

31.7.3 试验操作应按下列步骤进行:

1 标准曲线的绘制: 用刻度移液管分别吸取硫酸根标准溶液

5、10、20、30、40 mL 于 100 mL 容量瓶中，然后均用水稀释至刻度，制成硫酸根含量分别为 0.5、1.0、2.0、3.0、4.0 mg/100 mL 的标准系列。将标准系列分别依次倒入烧杯中，各加悬浊液稳定剂 5.0 mL、氯化钡结晶 1 量勺，依次置于磁力搅拌器上搅拌 1 min，以水为参比，在光电比色计上用紫色滤光片（或用分光光度计于波长 200~400 nm）进行比浊，在 3 min 内，每隔 30 s 测读一次悬液吸光值，取稳定后的吸光值，然后以 SO_4^{2-} 含量为纵坐标，相应的吸光值为横坐标，在坐标纸上绘制关系曲线（或用统计法进行直线回归）。

2 SO_4^{2-} 含量的测定：用移液管吸取土浸出液 100 mL（或少取再用水稀释至 100 mL）倒入烧杯中，加悬浊液稳定剂 50 mL，氯化钡结晶一量勺，置于磁力搅拌器上搅拌 1 min，以水为参比，在光电比色计上用紫色滤光片（或用分光光度计于波长 200~400 nm）进行比浊，在 3 min 内，每隔 30 s 测读一次悬液吸光值。然后用测得吸光值由标准曲线上查得相对应的（或由回归方程计算） SO_4^{2-} 含量。

31.7.4 试验结果应按下列公式计算：

$$w(\text{SO}_4^{2-}) = \frac{m(\text{SO}_4^{2-}) V_w (1 + 0.01 w_0) \times 100}{m_0 \cdot V_s \times 10^3} \quad (31.7.4-1)$$

$$w'(\text{SO}_4^{2-}) = w(\text{SO}_4^{2-}) 0.01 \times 10^6 \quad (31.7.4-2)$$

$$b(\text{SO}_4^{2-}) = [w(\text{SO}_4^{2-}) 0.01 / 0.096] \times 1000 \quad (31.7.4-3)$$

式中 $m(\text{SO}_4^{2-})$ ——由标准曲线查得或用回归方程计算而得

SO_4^{2-} 含量 (mg)；

$w(\text{SO}_4^{2-})$ ——硫酸根含量 (%)；

31.7.5 本试验的精密度和准确度应符合下列要求：

1 标准曲线的线性相关系数 r 应满足于

$$1 > r > 0.999$$

2 带标准物对照回收值应满足在 0.90~1.10 之间。

31.7.6 记录格式应符合表 31.7.6 的要求。

表 31.7.6 比浊法 SO_4^{2-} 试验记录[illegible]

复核_____年____月____日

试验_____年____月____日

31.8 钙离子测定

31.8.1 本试验仪器设备应符合本规程第 31.6.1 条的要求。

31.8.2 试剂配制应符合下列规定：

1 2 mol/L c(NaOH) 溶液：称取 8 g NaOH 于烧杯中，用适量水溶解，待冷却后，继续用水稀释至 100 mL，贮于聚乙烯瓶中。

2 钙指示剂或紫脲酸铵指示剂：称取 0.5 g 钙指示剂或 0.2 g 紫脲酸铵与 100 g 预先烘焙的氯化钠互相混合，并置于玛瑙研钵中研细均匀，贮于棕色广口瓶中。

3 EDTA 标准溶液：按本规程第 31.6.2 条配制与标定。

4 (1+1) 盐酸溶液和刚果红试纸按本规程第 31.6.2 条制备。

5 95% 乙醇溶液。

31.8.3 试验操作应按下列步骤进行：

1 用移液管吸取土浸出液 25~100 mL(视钙子含量而定)于锥形瓶中，投刚果红试纸一片，滴加 (1+1) HCl 溶液至试纸变为兰色为止。煮沸除去 CO₂(当土浸出液中 CO₃²⁻、HCO₃⁻ 含量很少时，可省略此步骤)。

2 冷却后，加 2 mol/L c(NaOH) 溶液 2 mL(此时溶液 pH≈12)，摇匀，放置 1~2 min

3 加钙指示剂或紫脲酸铵少许，95% 乙醇 5 mL，用 EDTA 标准溶液滴定至钙指示剂由红色转变为蓝色或紫脲酸铵是由红色转变为紫色为终点，记下 EDTA 标准溶液用量。估读至 0.05 mL。

31.8.4 试验结果应按下列公式计算：

$$b(\text{Ca}^{2+}) = \frac{V \cdot c(\text{EDTA}) V_w (1 + 0.01 w_0) \times 1000}{V_s \cdot m_0} \quad (31.8.4-1)$$

$$w(\text{Ca}^{2+}) = b(\text{Ca}^{2+}) \times 10^{-6} \times 40 \times 100 \quad (31.8.4-2)$$

$$w'(\text{Ca}^{2+}) = b(\text{Ca}^{2+}) \times 40 \quad (31.8.4-3)$$

式中 $b(\text{Ca}^{2+})$ ——钙离子质量摩尔浓度 (mmol/kg), 计算至 0.01 mmol/kg ;

$w(\text{Ca}^{2+})$ ——钙离子含量 (%), 计算至 0.001% ;

$w'(\text{Ca}^{2+})$ ——钙离子含量 (mg/kg), 计算至 1 mg/kg ;

$c(\text{EDTA})$ ——EDTA 标准溶液浓度 (mol/L);

V ——EDTA 标准溶液用量 (mL);

40——钙离子的摩尔质量 (g/mol)。

31.8.5 本试验应进行平行滴定, 平行滴定允许差值应符合本规程第 31.1.4 条的规定, 取算术平均值。

31.8.6 记录格式应符合本规程表 31.1.6 的要求。

31.9 钙镁离子总量的测定与镁离子的计算

31.9.1 本试验仪器设备应符合本规程第 31.6.1 条的要求。

31.9.2 试剂配制应按本规程第 31.6.2 条进行。

31.9.3 试验操作应按如下步骤进行:

1 用移液管吸取土浸出液 $25 \sim 100 \text{ mL}$ (视钙镁总含量而定) 于锥形瓶中, 加入氨缓冲溶液 2.5 mL , 摇匀后, 加入铬黑 T 少许, 95% 乙醇 5 mL , 充分摇匀, 用 EDTA 标准溶液滴定至由红色转变为天蓝色为终点, 记下 EDTA 标准溶液用量, 估读至 0.05 mL 。

2 另取土浸出液一份, 按本规程第 31.8 节测定钙离子的质量摩尔浓度 (如果试验已测定钙离子的含量, 可利用其计算结果, 此操作可省略)。

31.9.4 试验结果应按下列公式计算:

$$b(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) = \frac{V \cdot c(\text{EDTA}) V_w (1 + 0.01 w_0) \times 1000}{V_s \cdot m_0} \quad (31.9.4-1)$$

$$b(\text{Mg}^{2+}) = b(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) - b(\text{Ca}^{2+}) \quad (31.9.4-2)$$

$$w(\text{Mg}^{2+}) = b(\text{Mg}^{2+}) \times 10^{-6} \times 24 \times 100 \quad (31.9.4-3)$$

$$w'(\text{Mg}^{2+}) = b(\text{Mg}^{2+}) \times 24 \quad (31.9.4-4)$$

式中 $b(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+})$ ——钙镁的质量摩尔浓度 (mmol/kg), 计

算至 0.01 mmol/kg;

$b(\text{Mg}^{2+})$ ——镁离子质量摩尔浓度 mmol/kg, 计算至 0.01 mmol/kg;

$w(\text{Mg}^{2+})$ ——镁离子含量 (%), 计算至 0.001 %;

$w'(\text{Mg}^{2+})$ ——镁离子含量(mg/kg), 计算至 1 mg/kg;

24——镁离子摩尔质量 (g/mol)。

31.9.5 本试验应进行平行测定, 平行滴定允许差值应符合本规程第 31.1.4 条的规定, 取算术平均值。

31.9.6 记录格式应符合本规程表 31.1.6 的要求。

31.10 差减法计算钠钾离子总量

31.10.1 差减法计算土中钠钾总量, 可采用阳离子交换树脂法测得阳离子总量 $Tb(1/z\text{P}^{z+})$ 或用实测得到的阴离子之和 $\sum b(1/z\text{N}^{z-})$ 进行计算。

1 钠钾质量摩尔浓度:

1) 阳离子交换树脂法

$$b(\text{Na}^+ + \text{K}^+) = Tb(1/z\text{P}^{z+}) - 2b(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad (31.10.1-1)$$

2) 实测阴离子之和

$$b(\text{Na}^+ + \text{K}^+) = \sum b(1/z\text{N}^{z-}) - 2b(\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}) \quad (31.10.1-2)$$

$$\sum b(1/z\text{N}^{z-}) = 2b(\text{CO}_3^{2-}) + b(\text{HCO}_3^-) + b(\text{Cl}^-) + b(\text{SO}_4^{2-}) + \dots$$

2 钠钾离子总量:

$$w(\text{Na}^+ + \text{K}^+) = b(\text{Na}^+ + \text{K}^+) \times 10^{-6} \times 25 \times 100 \quad (31.10.1-3)$$

$$w'(\text{Na}^+ + \text{K}^+) = b(\text{Na}^+ + \text{K}^+) \times 25 \quad (31.10.1-4)$$

式中 $b(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ ——钠钾离子质量摩尔浓度 (mmol/kg), 计算至 0.01 mmol/kg;

$w(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ ——钠钾离子总量 (%), 计算至 0.001 %;
 $w'(\text{Na}^+ + \text{K}^+)$ ——钠钾离子总量(mg/kg), 计算至 1 mg/kg;
25——钠钾离子摩尔质量 (g/mol)。

31.10.2 记录格式应符合本规程表 3.1.6 的要求。

31.11 原子吸收分光光度法钠离子与钾离子的测定

31.11.1 本试验应采用下列仪器设备:

- 1 原子吸收分光光度计: 附钠、钾的空心阴极灯。
- 2 乙炔钢瓶及乙炔: 附减压阀、流量计。
- 3 空气压缩机: 附流量计
- 4 分析天平: 称量 200 g, 分度值 0.000 1 g。
- 5 其他设备: 刻度移液管、10 mL 比色管、比色管架、烧杯、量筒、容量瓶、高温炉、蒸发皿、坩埚钳、干燥器、玻璃漏斗、洗瓶等。

31.11.2 试剂配制应符合下列规定:

1 (1+1) HNO_3 溶液: 取一份浓硝酸与一份水互相混合, 贮于滴瓶中。

2 5% SrCl_2 溶液: 溶解 5 g 氯化锶于 100 mL 水中。

3 钠标准溶液: 称取预先在 500 °C ~ 600 °C 灼烧 1 h 后的氯化钠 (NaCl) 2.521 g, 经漏斗用水冲洗入 1 L 容量瓶中, 待完全溶解后, 继续用水稀释至刻度 (此溶液含 Na^+ 为 1 g/L)。用移液管取此液 1.0 mL 于 100 mL 容量瓶中, 用水稀释至刻度, 此溶液含 Na^+ 为 10 $\mu\text{g/mL}$ 或 10 mg/L。

4 钾标准溶液: 称取预先在 500 °C ~ 600 °C 灼烧 1 h 后的氯化钾 (KCl) 1.906 8 g, 经漏斗用水冲洗入 1 L 容量瓶中, 待完全溶解后, 继续用水稀释至刻度 (此溶液含 K^+ 为 1 g/L)。用移液管吸取此溶液 2.0 mL 于 100 mL 容量瓶中, 并用水稀释至刻度, 此溶液 K^+ 为 20 $\mu\text{g/mL}$ 或 20 mg/L。

31.11.3 试验操作应按下列步骤进行:

- 1 工作条件按表 31.11.3 选择。

表 31.11.3 原子吸收工作条件

	钠离子 Na ⁺	钾离子 K ⁺
光源灯	钠空心阴极灯	钾空心阴极灯
灯电流	10 mA	
波 长	589.0 nm	766.5 nm
燃烧器火焰高度	选用 7.5 cm 处的氧化焰	
火焰燃气	乙炔—空气，其中乙炔流量为 2.3 L/min(相当于 29.4 kPa 大气压) 空气流量为 9.4 L/min (相当于 156.9 kPa 大气压)	

2 标准曲线绘制：取 10 mL 比色管 5 支，置于比色管架上，于管中分别加入 10 μg/mL 的标准溶液和 20 μg/mL 钾标准溶液 0、1、2、3、4 mL，然后均用水稀释至刻度，再各加 5% SrCl₂ 1 mL 和 (1+1)HNO₃ 溶液 4 滴，即得钠钾混合标准系列，其中含有 0、1、2、3、4 μg/mL 的 Na⁺ 和 0、2、4、6、8 μg/mL 的 K⁺。然后按照选择的工作条件和所使用仪器型号的使用说明书进行操作，分别记下不同浓度的吸光值，绘制 Na⁺、K⁺ 浓度与对应的吸光值关系曲线，或用最小二乘法建立直线回归方程。

3 钠、钾含量测定：吸取一定量土浸出液于容量瓶中，用水稀释至钠钾含量均在标准系列的浓度范围内。取此稀释后的土浸出液 10 mL 于 10 mL 比色管中，加 SrCl₂ 溶液 1 mL 和 (1+1) HNO₃ 溶液 4 滴，然后按照标准曲线绘制的工作条件进行操作，记录土浸出液的吸光值，查标准曲线或用回归方程计算钠、钾含量。

31.11.4 试验结果应按下列公式计算：

$$w(\text{Na}^+) = \frac{\rho(\text{Na}^+) V_c \times V_w (1 + 0.01 w_0) \times 100}{V_s \times m_0 \times 10^6} \quad (31.11.4-1)$$

$$w(\text{K}^+) = \frac{\rho(\text{K}^+) V_c \times V_w (1 + 0.01 w_0) \times 100}{V_s \times m_0 \times 10^6} \quad (31.11.4-2)$$

$$b(\text{Na}^+) = [w(\text{Na}^+) 0.01 / (23 \times 10^{-3})] \times 1000 \quad (31.11.4-3)$$

$$b(K^+) = [w(K^+)0.01/(39 \times 10^{-3})] \times 1000 \quad (31.11.4-4)$$

$$w'(Na^+) = b(Na^+) \times 23 \quad (31.11.4-5)$$

$$w'(K^+) = b(K^+) \times 39 \quad (31.11.4-6)$$

式中 $w(Na^+)$, $w(K^+)$ ——钠、钾含量 (%), 计算至 0.001%;
 $b(K^+)$, $b(Na^+)$ ——钾、钠质量摩尔浓度 (mmol/kg),
 计算 0.01 mmol/kg;

$w'(Na^+)$, $w'(K^+)$ ——钠、钾含量 (mg/kg), 计算至
 1 mg/kg;

$\rho(Na^+)$, $\rho(K^+)$ ——钠、钾质量浓度 ($\mu\text{g/mL}$);

V_c ——标准系列定容体积 (mL);

23, 39 ——钠、钾摩尔质量 (g/mol)。

31.11.5 本试验的精密度和准确度应符合下列要求:

1 标准曲线的线性相关系数 r 应满足

$$1 > r > 0.999$$

2 带标准作对照回收试验, 回收值应满足在 0.95~1.05 之间。

31.11.6 记录表格应符合按表 31.11.6 的要求。

表 31.11.6 原子吸收光度法钠离子钾离子测定记录

[illegible]

复核_____年____月____日

试验_____年 月 日

32 中溶盐试验

32.1 一般规定

32.1.1 土的中溶盐是指土中石膏而言。测定结果以干土中含 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 的质量百分数表示。

32.1.2 本试验采用硫酸钡质量法，适用于各类土；采用 EDTA 容量法，适用于现场和杂质较少的土。

32.2 硫酸钡质量法

32.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 分析天平：称量 200 g，分度值 0.000 1 g。
- 2 加热设备：高温炉、电炉、烘箱、水浴、干燥器。
- 3 其他设备：烧杯、洗瓶、量筒、容量瓶、坩埚、坩埚钳、漏斗架、玻璃棒、定量滤纸等。

32.2.2 试剂配制应符合下列规定：

- 1 0.25 mol/L $c(\text{HCl})$ 溶液：量取浓盐酸 20.8 mL 溶于适量水中，然后继续用水稀释至 1 L。
- 2 10% NH_4OH 溶液：于 1 L 量筒中加适量水，再加浓 NH_4OH 400 mL，然后用水稀释至 1 L。
- 3 10% BaCl_2 溶液：称取 (BaCl_2) 10 g，溶于 100 mL 水中。
- 4 酸化硝酸银溶液：称取 (AgNO_3) 1 g，溶于 100 mL 水中，加 $(1+1)\text{HNO}_3$ 溶液数滴酸化，贮于棕色滴瓶中。
- 5 $(1+1)\text{HCl}$ 溶液：取一份浓 HCl 与一份水互相混合。
- 6 甲基橙指示剂：按第 30.2.2 条配制。

32.2.3 试验操作应按下列步骤进行：

1 试样制备应按本规程第 3.4.2 条进行。称取试样 1.0000~5.0000 g(视其含量而定)于 200 mL 烧杯中,徐徐加入 0.25 mL/L $c(\text{HCl})$ 溶液 50 mL 边加边搅拌,如果土中含有较高的碳酸盐,应继续加至无气泡产生为止,放置 12 h。另取此试样 5.00 g 测定其风干含水率。

2 将放置 12 h 后的酸浸出液过滤于另一烧杯中,并用 0.25 mol/L $c(\text{HCl})$ 溶液淋洗残渣至滤液无 SO_4^{2-} 为止(可承取最后滤液数滴于试管中,加 10% BaCl_2 数滴应无白色浑浊生成)。

3 向滤液中加甲基橙指示剂 2 滴,用 10% NH_4OH 溶液中和至呈现黄色,然后改用 (1+1) HCl 溶液滴加至滤液刚转变为红色为止,继续多加 10 滴过量的酸。

4 置于电炉上加热至沸,在搅拌下缓缓滴加热的 10% BaCl_2 溶液,直至滤液中 SO_4^{2-} 完全沉淀后,再加数滴使稍过量为止(是否完全沉淀,可稍等滤液澄清后,沿杯壁滴加氯化钡溶液,观察溶液接触处,如无白色浑浊生成,表示已沉淀完全)。

5 将沉淀溶液移置于水浴内,使在 60℃ 下保温 2 h(或在室温放置 12 h)。

6 用无灰定量滤纸过滤,并用热水洗涤沉淀物,直至滤液无 Cl^- 为止(可承接滤液少许,用酸化 AgNO_3 溶液检验至无白色浑浊表示已洗净)。

7 将已洗净的沉淀物连同滤纸包裹好,放入预先在 600℃ 灼烧已知质量的坩埚中,再将坩埚放在电炉上用文火加热使滤纸充分灰化(但不得出现明火),然后移入高温炉中,控制在 600℃ 灼烧 1 h,取出放在石棉板上稍冷,再移入干燥器中继续冷却至室温,迅速称量,准确至 0.0001 g。再将其放入高温炉中,控制在 600℃ 灼烧 30 min。取出冷却、称量如此反复操作,直至最后两次称量差值不大于 0.0005 g 为恒量。

8 另取试样一份按照本规程第 31.1.5 条制备土浸出液,并

按第 31.6 节或第 31.7 节测定易溶盐中 SO_4^{2-} 含量。

32.2.4 试验结果应按下列公式计算：

$$w(\text{SO}_4^{2-})_b = \frac{(m_2 - m_1) \times 0.4114(1 + 0.01w_0) \times 100}{m_0} \quad (32.2.4-1)$$

$$w(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = [w(\text{SO}_4^{2-})_b - w(\text{SO}_4^{2-})_w] \times 1.7922 \quad (32.2.4-2)$$

式中 $w(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ ——中溶盐（石膏）含量（%），计算至 0.01%；

$w(\text{SO}_4^{2-})_b, w(\text{SO}_4^{2-})_w$ ——酸浸出液和水浸出液中硫酸根的含量（%），计算至 0.01%；

m_1 ——坩埚的质量（g）；

m_2 ——坩埚加沉淀物的质量（g）；

m_0 ——风干试样质量（g）；

w_0 ——风干试样含水率（%）；

0.4114——（ $\text{SO}_4^{2-}/\text{BaSO}_4$ ）换算因数；

1.7922——（ $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}/\text{SO}_4^{2-}$ ）换算因数。

32.2.5 本试验采用平行测定，平行测定允许差值应符合表 32.2.5 的规定，取算术平均值。

表 32.2.5 平行测定允许差

$w(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ (%)	平行测定允许差值 (%)
<1	<0.1
1~5	<0.2
5~10	<0.3
>10	<0.5

32.2.6 记录格式应符合表 32.2.6 的要求。

32.3 EDTA 容量法

32.3.1 本试验应采用下列仪器设备:

- 1 分析天平: 称量 200 g, 分度值 0.0001 g。
- 2 其他设备: 滴定管、移液管、锥形瓶、烧杯、容量瓶、玻璃棒、漏斗及架, 滤纸等。

32.3.2 试剂配制应符合下列规定:

- 1 混合碱试剂: 称取 Na_2CO_3 13.5 g, NaOH 10 g 分别溶于适量水中, 然后将两液混合, 并用水稀释至 500 mL。
- 2 0.25 mol/L $c(\text{HCl})$ 溶液、10% NH_4OH 溶液等按第 32.2.2 条配制。
- 3 刚果红试纸、铬黑 T 指示剂, 氨镁缓冲溶液, EDTA 标准溶液, BaCl_2 标准溶液等按本规程第 31.6.3 条配制。
- 4 三乙醇胺。

32.3.3 试验操作应按下列步骤进行:

- 1 同第 32.2.3 条第 1、2 款操作。
- 2 于滤液中加刚果红一片, 用 10% NH_4OH 溶液中和至试纸恰转变为红色。
- 3 将中和后的滤液加入混合碱试剂约 15 mL (视 $\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+}$ 及其他重金属离子含量而定), 摇匀, 置于电热板上煮沸 10 min, 取下冷却后, 过滤于 250 mL 容量瓶中, 用水洗滤数次, 合并滤液, 继续用水稀释至刻度。
- 4 用移液管吸取此滤液各 5.0 mL 于两个锥形瓶中, 各加刚果红试纸一片, 用 0.25 mol/L $c(\text{HCl})$ 溶液滴加至试纸由红变蓝为止。取其中一瓶多加 0.25 mol/L $c(\text{HCl})$ 溶液 5 滴, 准确加入 BaCl_2 标准溶液 5.0 mL, 摇匀, 静置 0.5 h, 再准确加入氨镁缓冲溶液 5.0 mL, 铬黑 T 指示剂少许, 然后用 EDTA 标准溶液滴定至天蓝色为终点, 记下用量 V_E 。取另一瓶, 直接加氨缓冲溶液 2.5 mL 和铬黑 T 指示剂少许, 用 EDTA 标准溶液滴定至天蓝色为终点, 记下用量 V_H 。

5 另取试样一份,按本规程第 31.1.5 条制备土浸出液,并按本规程第 31.6 节测定易溶盐中 SO_4^{2-} 含量。

32.3.4 试验结果应按下式计算:

$$\begin{aligned} w(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = & \left[\frac{(V_H + V_{\text{BE}} - V_E) \cdot c(\text{EDTA}) V \cdot (1 + 0.01w_0) \times 9.6}{m_0 \cdot V_s} - w(\text{SO}_4^{2-})_w \right] \\ & \times 1.7922 \end{aligned} \quad (32.3.4)$$

式中 $w(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ ——中溶盐(石膏)含量(%),计算至 0.01%;

V_H ——钙镁消耗 EDTA 标准溶液的体积 (mL);

V_{BE} ——5.0 mL BaCl_2 溶液消耗 EDTA 标准溶液的体积 (mL);

V_E ——滴定过量 BaCl_2 消耗 EDTA 标准溶液的体积 (mL);

V ——酸浸出液总体积 (mL);

V_s ——测定时取酸浸出液体积 (mL);

$c(\text{EDTA})$ ——EDTA 标准溶液浓度 (mol/L);

32.3.5 本试验采用平行测定,平行滴定允许差值应符合本规程第 31.1.4 条规定,取算术平均值。

32.3.6 记录格式应符合表 32.3.6 的要求。

表 32.3.6 中溶盐试验记录(容量法)

试样 编 号	风干土 质量 m_0 (g)	风干含 水率 w_0 (%)	酸浸 出液 总体 积 V (mL)	易溶盐 中 SO_4^{2-} 含量 $w(\text{SO}_4^{2-})_w$ (%)	标准溶 液浓度 $c(\text{EDTA})$ (mol/L)	5 mL BaCl_2 相当于 EDTA 溶液体积 V_{BE} (mL)	体积 V_s 酸浸 出液中 $\text{Ca}^{2+} \cdot \text{Mg}^{2+}$ 对 EDTA 的用量 V_H (mL)				体积 V_s 酸浸 出液中过量 BaCl_2 对 EDTA 的用量 V_E (mL)				计 算	试验结果
							由	至	耗	平均	由	至	耗	平均	$w(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}) = [(V_H + V_{\text{BE}} - V_E)c$ $(\text{EDTA})V(1 + 0.01w_0) \times 9.6 / (m_0 \times V_s)$ $- w(\text{SO}_4^{2-})_w] \times 1.7922$	中溶盐 $w(\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$ (%)

复核 _____ 年 ____ 月 ____ 日

试验 _____ 年 ____ 月 ____ 日

33 难溶盐试验

33.1 一般规定

33.1.1 土中难溶盐是指土中钙镁的碳酸盐类。测定结果以干土中含 CaCO_3 的质量百分数表示。

33.1.2 本试验应采用气量法和中和法。气量法适用于难溶盐含量在 20% 以下的土；中和法适用于难溶盐含量较高、杂质较少的土。

33.2 气量法

33.2.1 本试验应采用下列仪器设备：

1 CO_2 约测计装置，见图 33.2.1。

2 分析天平：称量 200g，分度值 0.001g。

3 其他设备：气压计、温度计、瓷坩埚、长柄夹、烘箱、干燥器等。

33.2.2 试剂配制应符合下列规定：

1 甲基橙指示剂：按本规程第 31.3.2 条配制。

2 (1 + 3) 盐酸溶液：取一份浓盐酸溶液与三份水互相混合。

33.2.3 试验操作应按下列步骤进行：

1 按图 33.2.1 所示，安装好 CO_2 约测计固定于支架上。

2 通过移动管上漏斗活塞，将

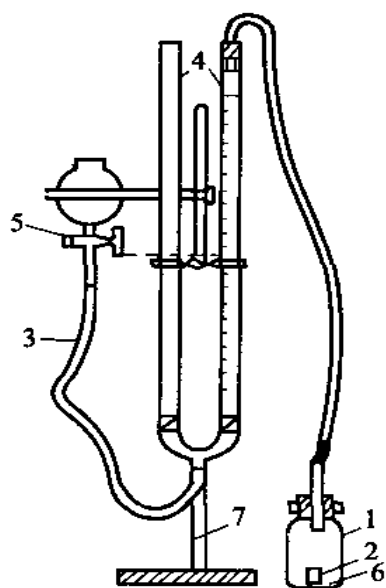


图 33.2.1 CO_2 约测计

1—广口瓶；2—瓷坩埚；
3—升降橡皮管；4— CO_2
测量管；5—升降瓶活塞；
6—土样；7—固定支架

漏斗中加有少量盐酸和几滴甲基橙溶液的水注入 CO_2 测量管中。

3 取适量已按本规程第 3.4.2 条制备好的风干试样置于 $105^\circ\text{C} \sim 110^\circ\text{C}$ 烘干, 冷却后, 用天平称取 $1 \sim 5\text{ g}$ (视其含量而定), 准确至 0.001 g , 放入广口瓶中, 另取适量 (1+3) 盐酸溶液于瓷坩埚中, 用长柄夹小心地将坩埚夹入广口瓶中放稳, 塞紧广口瓶塞, 然后打开活塞, 升降橡皮管使三管水面齐平。

4 为了检查约测计各接头是否漏气, 可关闭活塞, 将升降橡皮管下移, 观察测量管左右两管水位是否保持平衡, 若水面随之下落, 表示漏气, 此时应检查各接头, 直至不漏气为止。打开活塞, 再使两测量管水面保持同一水平, 再关闭活塞, 记录测量管右管的水位 (起始读数)。

5 用手按住广口瓶颈部, 轻轻摇动瓶子, 使瓶中坩埚内的盐酸溶液倾出与试样充分混合, 此时产生 CO_2 逸出使测量右管受压水位下降, 应立即开启活塞, 使两测量管水面保持在同一水平上。

6 放置 10 min 至测量管水面稳定后, 再移动升降橡皮管, 使三管水面齐平, 关闭活塞, 记录测量管右管的最终水面读数。

7 同时记录水温和大气压力。

33.2.4 试验结果应按下列公式计算:

1 当大气压力大于 98.925 kPa 时

$$w(\text{CaCO}_3) = \frac{V(\text{CO}_2) \cdot \rho(\text{CO}_2) \times 2.272}{m_d \times 10^6} \times 100 \quad (33.2.4-1)$$

式中 $w(\text{CaCO}_3)$ ——难溶盐(碳酸钙)含量(%), 计算至 0.01% ;

$V(\text{CO}_2)$ ——二氧化碳体积 (mL);

$\rho(\text{CO}_2)$ ——在试验时的水温和大气压力的二氧化碳密度 ($\mu\text{g/mL}$), 由表 33.2.4 查得;

2.272—— $\text{CaCO}_3/\text{CO}_2$ 换算因数;

10^6 ——由微克数换算成克数;

m_d ——干试样质量 (g)。

表 33.2.4 不同温度及大气压力下二氧化碳密度 $\rho(\text{CO}_2)(\mu\text{g}/\text{mL})$

温度 ($^{\circ}\text{C}$)	大 气 压 力 [kPa(mmHg)]														
	98.925 (742)	99.258 (744.5)	99.591 (747)	99.858 (749)	100.125 (751)	100.458 (753.5)	100.791 (756)	101.059 (758)	101.325 (760)	101.658 (762)	101.991 (765)	102.258 (767)	102.525 (769)	102.791 (771)	103.191 (774)
28	1778	1784	1791	1797	1804	1810	1817	1823	1828	1833	1837	1842	1847	1852	1856
27	1784	1790	1707	1803	1810	1816	1823	1829	1834	1839	1843	1848	1853	1858	1863
26	1791	1797	1803	1809	1816	1822	1829	1835	1840	1845	1849	1854	1859	1864	1869
25	1797	1803	1810	1816	1823	1829	1836	1842	1847	1852	1856	1861	1866	1871	1876
24	1803	1809	1816	1822	1829	1835	1842	1848	1853	1858	1862	1867	1872	1877	1882
23	1809	1815	1822	1825	1835	1842	1848	1854	1859	1864	1868	1873	1878	1883	1888
22	1815	1821	1828	1834	1841	1847	1854	1860	1865	1870	1875	1880	1885	1890	1895
21	1822	1828	1835	1841	1848	1854	1861	1867	1872	1877	1882	1887	1892	1897	1902
20	1828	1834	1841	1847	1854	1860	1867	1873	1878	1883	1888	1893	1898	1903	1908
19	1834	1840	1847	1853	1860	1866	1873	1879	1884	1889	1894	1899	1904	1909	1914
18	1840	1846	1853	1859	1866	1872	1879	1885	1890	1895	1900	1905	1910	1915	1920
17	1846	1853	1860	1866	1873	1879	1885	1892	1897	1902	1907	1912	1917	1922	1927
16	1853	1860	1866	1872	1879	1885	1892	1898	1903	1908	1913	1918	1923	1928	1933
15	1859	1866	1872	1879	1885	1892	1899	1905	1910	1915	1920	1925	1930	1935	1940
14	1865	1872	1878	1885	1892	1899	1906	1912	1917	1922	1927	1932	1937	1942	1947
13	1872	1878	1885	1892	1899	1906	1913	1919	1924	1929	1934	1939	1944	1949	1954
12	1878	1885	1892	1899	1906	1913	1919	1925	1930	1935	1940	1945	1950	1955	1960
11	1885	1892	1899	1906	1913	1919	1926	1932	1937	1942	1947	1952	1957	1962	1967
10	1892	1899	1906	1913	1919	1926	1933	1939	1944	1949	1954	1959	1964	1969	1974

2 当大气压力小于 98.925 kPa 时

$$w(\text{CaCO}_3) = \frac{M(\text{CaCO}_3)n(\text{CO}_2) \times 100}{m_d} \quad (33.2.4-2)$$

$$n(\text{CO}_2) = P \cdot V(\text{CO}_2) / (R \cdot T)$$

式中 $M(\text{CaCO}_3)$ ——碳酸钙摩尔质量 (g/mol);

$n(\text{CO}_2)$ ——二氧化碳物质的量 (mol);

P ——试验时大气压力 (kPa);

T ——试验时水的热力学温度 (K);

R ——摩尔气体常数 [=8314 kPa·mL/(mol·K)]。

33.2.5 本试验采用平行测定, 平行测定允许差值应符合表 33.2.5 的规定, 取算术平均值。

表 33.2.5 平行测定允许差

难溶盐 $w(\text{CaCO}_3)$ (%)	平行测定允许差值 (%)
>10	<1.0
1~10	<0.5
<1	<0.2

33.2.6 记录格式应符合表 33.2.6 的要求。

表 33.2.6 气量法难溶盐记录表

试样 编号	烘干 试样 质量 m_d	试验 时水 温度	大气 压力 P	CO ₂ 密度 $\rho(\text{CO}_2)$	CO ₂ 体积 V			计 算	难溶盐含量	
	(g)	(℃)	(kPa)	(μg/mL)	初 读数	终 读数	实 测 值	$w(\text{CaCO}_3) = \frac{V(\text{CO}_2)\rho(\text{CO}_2) \times 2.272}{w_d \times 10^6} \times 100$	$w(\text{CaCO}_3)$	平 均
					(mL)			(%)	(%)	

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

33.3 中和法

33.3.1 本试验应采用下列仪器设备:

- 1 分解装置见图 33.3.1。
- 2 水浴锅或电热板。
- 3 移液管、滴定管、锥形瓶、瓶塞打孔器。
- 4 烘箱、干燥器。
- 5 分析天平: 称量 200 g, 分度值 0.001 g。

33.3.2 试剂配制应符合下列规定:

1 硫酸标准溶液: 用刻度移液管量取浓硫酸 5.6 mL, 溶于适量水, 待冷却后, 继续用水稀释至 1 L。然后称取预先在 180 °C 烘干 2 h 的碳酸钠 0.1000 g, 放入锥形瓶中, 用适量水溶解, 加甲基橙指示剂 3~4 滴, 再用配制好的硫酸标准溶液滴定至橙红色为终点, 记下用量, 按下式计算硫酸标准溶液的准确浓度。

$$c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) = \frac{m(\text{Na}_2\text{CO}_3) \times 1000}{V_{\text{H}} \cdot M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)} \quad (33.3.2)$$

式中 $c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4)$ ——硫酸标准溶液浓度 (mol/L);

V_{H} ——硫酸标准溶液滴定用量 (mL);

$m(\text{Na}_2\text{CO}_3)$ ——称取 Na_2CO_3 的质量 (g);

$M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)$ ——碳酸钠摩尔质量 (= 52.994 g/mol)。

2 氢氧化钠标准溶液: 称取 NaOH 8 g, 溶于适量水, 待冷却后, 继续用水稀释至 1 L。然后用邻苯二甲酸氢钾按本规程第 31.3.2 条改酚酞指示剂为甲基红指示剂, 滴定终点由红色转变为黄色进行标定。

3 甲基红指示剂: 称取甲基红指示剂 0.1 g 溶解于 100 mL

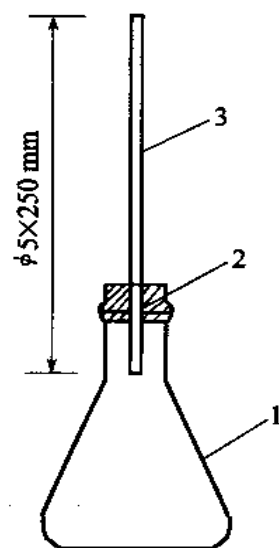


图 33.3.1 分解装置

- 1—锥形瓶;
2—单孔橡皮塞;
3—玻璃管

水中。

33.3.3 试验操作应按下列步骤进行：

1 取适量已按本规程第 3.4.2 条制备好的风干试样，置于 105℃～110℃ 烘干 2h，待冷却至室温，称取 0.1～0.5g(视其含量而定)准确至 0.001g，放入锥形瓶中，用少量水润湿。

2 向锥形瓶中用移液管加入硫酸标准溶液 25.0 mL(视碳酸盐含量而定，应过量 50%)，然后用插有玻璃管的单孔橡皮塞塞紧，如图 33.3.1 所示。

3 摇匀，使锥形瓶中硫酸标准溶液与试样充分混合，再放入沸水浴(或电热板上)加热至无气泡产生，取下冷却。

4 打开橡皮塞，用水冲洗玻璃管，橡皮塞和瓶壁，然后加甲基红指示剂 4 滴，立即用氢氧化钠标准溶液滴定至溶液由红色转变为黄色为终点，记下用量。

33.3.4 试验结果应按下式计算：

$$w(\text{CaCO}_3) = \left\{ \left[V_{\text{H}} \cdot c(1/2\text{H}_2\text{SO}_4) - V_{\text{OH}} \cdot c(\text{NaOH}) \right] \times \frac{0.022 \times 100}{m_d} \right\} \times 2.274 \quad (33.3.4)$$

式中 $c(\text{NaOH})$ ——氢氧化钠标准溶液浓度 (mol/L)；

V_{OH} ——氢氧化钠标准溶液用量 (mL)；

0.022—— CO_2 摩尔质量 (kg/mol)；

2.274—— $\text{CaCO}_3/\text{CO}_2$ 换算因数。

33.3.5 本试验应采用平行测定，平行测定允许差值应符合表 33.3.5 规定，取算术平均值。

表 33.3.5 平行测定允许差值

$w(\text{CaCO}_3)$ (%)	平行测定允许差值 (%)
<10	0.2
10~20	0.3
>20	0.6

33.3.6 记录格式应符合表 33.3.6 的要求。

34 有机质含量试验

34.1 一般规定

34.1.1 土中有机质含量的测定应采用以下两种方法:

1 灼失量法是指土在 550℃ 烧灼至恒量时,所失去质量与干试样质量之比,以百分数表示。用以估计土中有机质含量。

2 重铬酸钾法测定有机质是以碳、氧、氢、氮为主体,还有少量硫、磷以及金属元素组成的有机化合物的通称。试验结果为有机碳乘以 1.724 换算成有机质。

34.1.2 本试验灼失量法适用于含碳酸盐和结晶水较少的土;重铬酸钾法适用于有机质含量不大于 15% 的土。

34.1.3 本试验用水和试剂的纯度应符合本规程第 1.0.3 条的要求。

34.2 灼失量法

34.2.1 本试验应采用下列仪器设备:

- 1 天平:称量 200 g,分度值 0.001 g;
- 2 高温炉:应能满足控温 550℃ 的要求;
- 3 其他设备:烘箱、干燥器、坩埚、坩埚钳。

34.2.2 试验操作应按下列步骤进行:

1 取按本规程第 3.4.2 条制备的试样,约 20 g 置于干燥箱中,按本规程第 4.2.2 条第 5 款规定烘干试样。烘干后将试样放于干燥器内冷却并保存好。

2 称取烘干后的试样 3.000~5.000 g 于已知质量的瓷坩埚中,再将坩埚放入高温炉内,在炉温 550℃ 下烧灼 0.5 h,取出稍冷,盖上坩埚盖,放入干燥器内,冷至室温,称量,如此重复烧灼、冷却、称量,直至最后相邻两次称量相差不大于 0.005 g 为恒量。称

量准确至 0.001 g。

34.2.3 试验结果应按下式计算：

$$Q = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_3)} \times 100 \quad (34.2.3)$$

式中 Q ——灼失量 (%)，计算至 0.1%；

m_3 ——坩埚质量 (g)；

m_1 ——在 65℃ ~ 70℃ 烘干试样加坩埚质量 (g)；

m_2 ——在 550℃ 烧灼试样加坩埚质量 (g)。

34.2.4 本试验采用平行测定，平行测定允许差值应符合表 34.2.4 的规定，取算术平均值。

表 34.2.4 平行测定允许差值

灼失量 Q (%)	平行测定允许差值 (%)
>20	0.5
20~10	0.3
10~1	0.2
<1	0.05

34.2.5 记录格式应符合表 34.2.5 的要求。

表 34.2.5 灼失量试验记录

试样 编号	坩 埚 号	坩 埚 质量 m_3 (g)	坩 埚 加 烘 干 试 样 质 量 m_1 (g)	坩 埚 加 烧 灼 试 样 质 量 m_2 (g)	计 算	试验结果	
					$Q = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_3)} \times 100$	灼失量 Q	平均
						(%)	

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

34.3 重铬酸钾法

34.3.1 本试验应采用下列仪器设备:

- 1 天平: 称量 200 g, 分度值 0.0001 g。
- 2 硬质试管: 内径 20 mm, 长 200 mm。
- 3 油浴锅: 内装植物油, 并带有铁丝笼。
- 4 其他设备: 温度计 0~200 °C、电炉、小漏斗、试管架、滴定台、夹、滴定管、锥形瓶、2 L 烧杯、2 L 容量瓶。

34.3.2 试剂配制应符合下列规定:

1 0.075 mol/L $c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ 溶液: 称取预先研细后在 105 °C~110 °C 烘干, 冷却的 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 44.1282 g 放入 2 L 烧杯中, 加水约 80 mL, 使其溶解 (如不溶解可加热) 再缓慢地加入浓 H_2SO_4 1 000 mL, 放置冷却至室温, 移入 2 L 容量瓶中, 用少量水洗涤烧杯数次, 洗液一并移入容量瓶中, 然后继续用水稀释至刻度。

2 0.2000 mol/L $c(\text{FeSO}_4)$ 标准溶液: 称取 $(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$ 56 g [或 $(\text{NH})_2\text{Fe}(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 80 g] 于烧杯中, 用适量水溶解, 再加 3 mol/L $c(\text{H}_2\text{SO}_4)$ 溶液 30 mL, 然后用水稀释至 1 L。按如下标定:

用移液管量取 0.075 mol/L $c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ 溶液 10.0 mL, 取三份于锥形瓶中, 分别加水约 50 mL, 加邻菲罗啉指示剂 3~5 滴, 然后用 $c(\text{FeSO}_4)$ 标准溶液滴定至溶液由黄色经绿色又突变成橙红色为终点, 记下用量, 按下式计算 $c(\text{FeSO}_4)$ 的浓度:

$$c(\text{FeSO}_4) = 10.0 \times 0.075 \times 6 / V$$

式中 $c(\text{FeSO}_4)$ ——亚铁标准溶液浓度 (mol/L), 计算至 0.0001 (mol/L);

V ——亚铁标准溶液用量 (mL);

0.075—— $c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ 溶液的浓度 (mol/L);

10.0——量取 $c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ 溶液的体积 (mL);

6——换算因数 $n(\text{FeSO}_4)/n(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7) = 6/1$ 。

标定平行允许差值应小于或等于 0.05 mL。

3 邻菲罗啉指示剂：称取邻菲罗啉 1.485 g 和 $(\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O})$ 0.695 g 共溶于 100 mL 水中，贮于棕色瓶中。

34.3.3 试验操作应按下列步骤进行：

1 称取按本规程第 3.4.2 条制备的风干试样，约 0.1 ~ 0.5 g (视有机质含量而定)，准确至 0.000 1 g，放入预先干燥的硬质试管底部，用滴定管缓慢滴入 0.075 mol/L $c(\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7)$ 溶液 10.0 mL，使与试样混合均匀，于试管口插一小漏斗。

2 将试管插入铁丝笼中，放入预先加热至 190 °C 左右的油浴锅内，试管内的液面应低于油面，控制在 170 °C ~ 180 °C 的温度内，从试管内溶液沸腾时开始计时，煮沸 5 min 取出稍冷，擦去试管外壁油渍，放于试管架上。

3 将试管内溶液倒入锥形瓶中，并用水洗涤试管内部，使试液控制在 60 mL 左右。

4 于锥形瓶中加入邻菲罗啉指示剂 3 ~ 15 滴，用 $c(\text{FeSO}_4)$ 标准溶液滴定至溶液由黄色经绿色突变为橙红色为终点，记下 $c(\text{FeSO}_4)$ 标准溶液用量。估读至 0.05 mL。

5 用纯砂代替试样，在试验同时，按本条第 1 ~ 4 款操作，进行空白试验。

6 另取一份风干试样按本规程第 4.2.2 条第 5 款规定测定含水率。

34.3.4 试验结果应按下式计算：

$$W_u = c(\text{FeSO}_4)(V_0 - V)(1 + 0.01w_0) \times 0.003 \times 1.724 \times 1.1 \times 100 / m_0 \quad (34.3.4)$$

式中 W_u ——有机质含量 (%)，计算至 0.01 %；

$c(\text{FeSO}_4)$ ——硫酸亚铁标准溶液浓度 (mol/L)；

V_0 ——空白滴定硫酸亚铁用量 (mL)；

V ——试样滴定硫酸亚铁用量 (mL)；

0.003—— $M(1/4C)$ 摩尔质量 (kg/mol)；

1.724——有机碳换算成有机质的因数；

1.1——氧化校正系数；

m_0 ——风干试样质量 (g)；

w_0 ——风干试样含水率 (%)。

34.3.5 本试验采用平行测定，平行测定允许差值应符合表 34.3.5 的规定，取算术平均值。

表 34.3.5 平行测定允许差

W_u (%)	平行测定允许差值 (%)	W_u (%)	平行测定允许差值 (%)
<0.1	0.01	5~10	0.3
0.1~1	0.05	>10	0.4
1~5	0.2		

34.3.6 记录格式应符合表 34.3.6 的要求。

表 34.3.6 重铬酸钾法有机质试验记录

试样 编号	风干试 样质量 m_0 (g)	风干试 样含水 率 w_0 (%)	硫酸亚铁 标准溶液 $c(\text{FeSO}_4)$ (mol/L)	滴定 $c(\text{FeSO}_4)$				计	算	试验结果		
				(mL)	由	至	耗	$W_u = [c(\text{FeSO}_4)(V_0 - V)(1 + 0.01w_0) / 0.003 \times 1.724 \times 1.1 / m_0] \times 100$	W_u	平均		
									(%)			
				V_0								
				V								
				V_0								
				V								
				V_0								
				V								
				V_0								
				V								
				V_0								
				V								
				V_0								
				V								
				V_0								
				V								
				V_0								
				V								

复核_____年____月____日

试验_____年____月____日

35 阳离子交换量试验

35.0.1 阳离子交换量是测量土对溶液中阳离子交换吸附性能强弱的指标。试验结果以所交换阳离子浓度毫摩尔每千克土表示, 即 mmol/kg 。

35.0.2 本试验采用 EDTA 铵盐法, 适用于酸性土、中性土, 也适用于石灰性土。

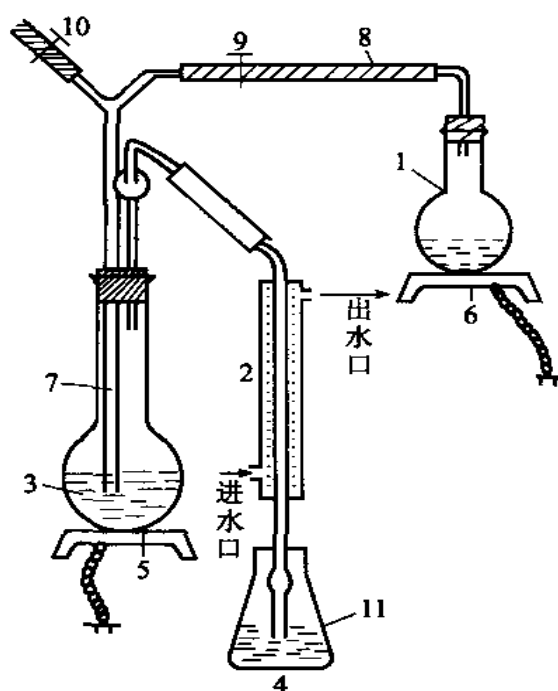


图 35.0.2 蒸馏装置

1—蒸汽发生器; 2—冷凝箱; 3—开氏瓶; 4—吸收瓶; 5、6—电炉;
7—Y形管; 8—橡皮管; 9—螺丝夹; 10—弹簧夹; 11—缓冲管

35.0.3 本试验应采用下列仪器设备:

1 离心机: 转速 $3000 \sim 4000 \text{ r/min}$, 离心管 100 mL 。

2 天平: 称量 200 g , 分度值 0.0001 g ; 称量 200 g , 分度值 0.01 g ; 称量 500 g , 分度值 0.5 g 。

3 蒸馏装置：按图 35.0.2 所示安装，其中开氏瓶体积为 150 mL。

4 其他设备：带橡皮头玻棒、烧杯、锥形瓶、滴定管、滴定管夹及台、白瓷板，100 mL 量筒，1 L 容量瓶。

35.0.4 试剂配制应符合下列规定：

1 EDTA 铵盐混合液，称取醋酸铵 ($\text{NH}_4\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2$) 77.09 g 和乙二胺四乙酸 ($\text{C}_{10}\text{H}_{16}\text{N}_2\text{O}_8$) 1.641 g，用水溶解后一起洗入 1 L 容量瓶中，加水至 900 mL 左右，用 (1+1) 氨水 (NH_4OH) 或稀醋酸溶液调至 pH 7.0 或 pH 8.5，然后定容至刻度。即用同样方法配成两种不同酸度的混合液备用。其中 pH 7.0 用于中性和酸性土的提取；pH 8.5 仅用于石灰性土的提取。调节 pH 值可在酸度计上进行，即准确吸取混合液 50 mL，调节所用 NH_4OH 或醋酸的用量，以此算出 1 L 混合液需要量。

2 95% 乙醇（应无铵离子反应）。

3 氧化镁：在高温炉中于 500℃～600℃ 灼烧 0.5 h。

4 定氮混合指示剂：分别称取甲基红 0.1 g 和溴甲酚绿 0.5 g，放入玛瑙研钵中，用 100 mL 95% 乙醇研磨溶解，然后用稀盐酸或稀氢氧化钠调节到 pH 4.5（指示剂显淡紫色）。

5 钠氏试剂：取氢氧化钾 (KOH) 135 g 溶于 460 mL 水中为 A 液，取碘化钾 (KI) 20 g 溶于 50 mL 水中，加碘化汞使溶液至饱和状态（约 32 g）为 B 液。然后 A、B 两液互相混合。

6 2% 硼酸溶液：称取硼酸 20 g，用热水（约 60℃）溶解，冷却后稀释至 1 L。加定氮混合指示剂 3～5 滴，用稀盐酸或稀氢氧化钠调节至溶液呈淡紫色（pH 4.5）。

7 盐酸标准溶液：取浓盐酸 4.17 mL，用水稀释至 1 L，按下列标定。

称取预先在 180℃ 烘干 2 h 的碳酸钠三份，每份 0.1000 g，分别放入锥形瓶中，加水约 25 mL 使其溶解，各加混合指示剂 1～2 滴，用盐酸标准溶液滴定至溶液由蓝色变为淡红色为终点，按下式计算盐酸标准溶液准确浓度：

$$c(\text{HCl}) = m / [V \cdot M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)]$$

式中 $c(\text{HCl})$ ——盐酸标准溶液浓度(mol/L),计算至 0.0001 mol/L;

m ——取碳酸钠的质量 (g);

V ——盐酸标准溶液用量 (mL), 平行滴定绝对偏差
不大于 0.05 mL, 取平均值;

$M(1/2\text{Na}_2\text{CO}_3)$ ——碳酸钠摩尔质量 ($=0.053 \text{ kg/mol}$)。

8 丙酮 (或苯)。

9 固体石蜡 (或液体石蜡)

35.0.5 试验操作应按下列步骤进行:

1 试样按第 3.4.2 条制备, 称取过 0.25 mm 筛的风干试样约 1 g (视交换量大小而定) 准确至 0.01。

2 将试样放入 100 mL 离心管中, 沿离心管壁加入约 1 mL EDTA 铵盐混合液, 用带橡皮头的玻棒充分搅拌成泥浆状态, 再加约 70~80 mL 的 EDTA 铵盐混合液, 再搅拌约 1~2 min, 洗净带橡皮头玻棒。

3 在托盘天平上将离心管及其内容物调整至成对平衡后, 对称放入离心机中, 以 3000 r/min 的速度, 离心约 3~5 min, 弃去离心管中上部清液。

4 于离心管中加 95% 乙醇约 50~60 mL, 充分搅拌后, 再离心洗涤, 弃去清液, 直至过剩铵盐洗净为止 (检验方法: 以 95% 乙醇为空白, 取数滴 95% 乙醇和数滴清液分别置于白瓷板上, 各加 1 滴钠氏试剂, 应不显黄色)。一般洗涤三次即可, 个别试样在洗涤到最后可能出现浑浊现象, 此时可改用 20 mL 95% 乙醇搅拌后, 再加 40 mL 丙酮 (或苯) 再搅拌, 然后离心洗涤, 使上部溶液澄清弃去。

5 洗净铵盐后, 将离心管口向下, 用水冲洗离心管外壁, 然后于离心管中加入约 1 mL 水, 搅拌成糊状, 再用水冲洗入 150 mL 开氏瓶中 (洗入水总体积控制在 80~100 mL 左右), 加石蜡 2 g 待蒸馏。

6 按图 35.0.2 连接好蒸馏装置, 并检查各接头不漏气后,

将盛有 25 mL 2% 硼酸吸收液（补加定氮混合指示剂 1~2 滴）的锥形瓶，用缓冲管接在冷凝管的下端，缓冲管下端应沉入锥形瓶中液面下。

7 取 1 g 氧化镁，用水调成糊状，通过 Y 形管冲洗入开氏瓶中，夹好弹簧夹 10。打开螺旋夹 9（蒸汽发生器中的水应预先加热至沸），通入蒸汽，随后摇动开氏瓶，使混合均匀，再开电炉 5 和冷凝自来水。

8 用螺旋夹 9 调节蒸汽流速，使与蒸馏一致，蒸馏约 20 min 后，用钠氏试剂检查蒸出液，如不显黄色，表示蒸馏完全。

9 先将缓冲管连同锥形瓶取下，用少量水冲洗缓冲管，洗入锥形瓶中，再关闭电炉 5、6 和冷凝水，然后用盐酸标准溶液滴定至溶液由蓝色变为淡紫红色为终点，记下用量。

10 于开氏瓶中加入同体积水和石蜡 2 g，然后按第 6~9 款进行空白试验，记下盐酸标准溶液用量。

35.0.6 试验结果应按下式计算：

$$CEC(NH_4^+) = (V - V_0)c(HCl)1000/m_0 \quad (35.0.6)$$

式中 $CEC(NH_4^+)$ ——阳离子交换量 (mmol/kg)，计算至 1 mmol/kg；

$c(HCl)$ ——盐酸标准溶液浓度 (mol/L)；

V ——盐酸标准溶液用量 (mL)；

V_0 ——空白试验盐酸标准溶液用量 (mL)；

m_0 ——风干试样质量 (g)。

35.0.7 本试验采用平行测定，平行测定允许差值应符合表 35.0.7 规定，取算术平均值。

表 35.0.7 平行测定允许差值

阳离子交换量 $CEC(NH_4^+)$ (mmol/kg)	平行测定允许差值 (mmol/kg)
$CEC \leq 100$	6
$100 \leq CEC \leq 200$	8
$200 < CEC \leq 300$	10
$CEC > 300$	13

35.0.8 记录格式应符合表 35.0.8 的要求。

表 35.0.8 阳离子交换量记录

试样 编号	试样 质量 m_0 (g)	标准溶 液浓度 $c(\text{HCl})$ (mol/L)	HCl 滴定				计 算 $\text{CEC}(\text{NH}_4^+) = (V - V_0)c(\text{HCl}) \times 1000/m_0$	试验结果	
			体 积	由	至	耗		$\text{CEC}(\text{NH}_4^+)$ (mmol/kg)	平均
				(mL)					
			V_0						
			V						
			V_0						
			V						
			V_0						
			V						
			V_0						
			V						

复核_____ 年___月___日 试验_____ 年___月___日

36 蒙脱石含量试验

36.0.1 本试验是根据蒙脱石定量吸附亚甲蓝的特性，定量加入过量亚甲蓝，然后以氯化亚锡 (SnCl_2) 返滴定过量亚甲蓝来计算土中蒙脱石含量。

36.0.2 本试验适用于土中蒙脱石定量。试验用水和试剂应符合本规程第 1.0.3 条的规定。

36.0.3 本试验应采用下列仪器设备：

- 1 天平：称量 200 g，分度值 0.000 1 g。
- 2 微量滴定管：容量 5~10 mL，分度值 0.01 mL。
- 3 半微量滴定管：容量 25~30 mL，分度值 0.1 mL。
- 4 其他设备：电炉、烘箱、称量瓶、干燥器、25 mL 量筒、100 mL 比色管、100 mL 烧杯、10 mL 移液管、150 mL 锥形瓶、滴定台及滴定管夹。

36.0.4 试剂配制应符合下列规定：

1 亚甲蓝标准溶液 (0.002 g/mL)：称取预先在 $(90 \pm 5)^\circ\text{C}$ 干燥 7 h 后，于干燥器中冷却至室温的亚甲蓝 2.000 0 g，使通过漏斗用水冲洗入 1 L 容量瓶中，并稀释至刻度。

2 1% 焦磷酸钠 ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) 溶液：溶解 1 g ($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$) 于 100 mL 水中。

3 盐酸 $c(\text{HCl})$ 溶液：12 mol/L、6 mol/L。

4 5% SnCl_2 贮备液：称取 ($\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) 29.75 g，使通过漏斗用 6 mol/L $c(\text{HCl})$ 溶液冲洗入 500 mL 容量瓶中，并稀释至刻度，贮于棕色试剂瓶中，投入 1 粒锡，再用石蜡封盖液面，存于冰箱内备用。

5 0.1% SnCl_2 使用溶液：用移液管吸取 5% SnCl_2 溶液 10 mL 于 500 mL 容量瓶中，用 6 mol/L $c(\text{HCl})$ 溶液稀释至刻度

(此液应在滴定操作前临时配制)。

36.0.5 试验操作应按下列步骤进行:

1 试样按本规程第 3.4.2 条制备,称取过 0.25 mm 孔筛的风干试样约 10 g,置于称量瓶中,放在 105℃~110℃烘箱中烘干 8 h。

2 取 150 mL 烧杯 2 个,其中一个放入烘干试样 0.100 0 g,另一个为空白(不放试样),然后于两个烧杯中各加 1% $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7$ 15 mL,水约 15 mL,同时加热煮沸 5 min,取下冷却。

3 将以上试样悬液和空白,分别移入 2 支比色管中,再用滴定管边滴加边搅拌,各加亚甲蓝标准溶液 15.0 mL。均匀后,放置约 5~10 min,(观察试样悬液管上部清液应呈蓝色,否则应再定量加亚甲蓝标准溶液,使上部清液保持呈蓝色),然后分别记下试样和空白亚甲蓝标准溶液用量。

4 将试样和空白两管均用水稀释至 100 mL 刻度,搅拌均匀,放置 4 h 以上使彻底分层。如果分层不彻底,应离心分离。

5 用移液管吸取试样和空白的上部清液各 10 mL,分别放入 150 mL 锥形瓶中,各加 12 mol/L $\text{c}(\text{HCl})$ 10 mL。同时按第 36.0.3 条第 5 款配制 0.1% SnCl_2 使用溶液,置于微量滴定管中,分别滴定试样和空白至溶液由蓝色变为无色或呈微黄色为终点,记下 0.1% SnCl_2 溶液用量。本操作步骤从 0.1% SnCl_2 溶液配制至滴定结束应控制在 0.5 h 以内完成。操作环境温度以 (5~20)℃ 为宜。

36.0.6 试验结果应按下式计算:

$$M = \frac{\left[V(\text{MB})_s - V(\text{SnCl}_2)_s \cdot T \cdot \frac{V}{V_s} \right] \cdot \rho(\text{MB}) \times 100}{m_d \times 0.44} \quad (36.0.6)$$

式中 M ——蒙脱石含量(%),计算至 0.1%;

V ——试样悬液总体积(mL);

V_s ——滴定时吸取试样清液体积(mL);

T ——滴定度,即 $T = V(\text{MB})_B / V(\text{SnCl}_2)_B$,其中 $V(\text{MB})_B$

为空白亚甲蓝体积, $V(\text{SnCl}_2)_B$ 为空白滴定 SnCl_2 用量;

$\rho(\text{MB})$ ——亚甲蓝标准溶液浓度 (g/mL);

$V(\text{MB})_s$ ——试样中加入亚甲蓝体积 (mL);

$V(\text{SnCl}_2)_s$ ——滴定消耗 SnCl_2 溶液的体积 (mL);

0.44——亚甲蓝对蒙脱石的换算因数;

m_d ——干试样质量 (g)。

36.0.7 本试验采用平行测定, 平行测定允许差值应符合表 36.0.7 的规定, 取算术平均值。

表 36.0.7 平行测定允许差值

蒙脱石 (M) 含量 (%)	平行测定允许差值 (%)	蒙脱石 (M) 含量 (%)	平行测定允许差值 (%)
$M \leq 10$	1.0	$30 < M \leq 50$	2.0
$10 < M \leq 30$	1.5	$M > 50$	2.5

36.0.8 记录格式应符合表 36.0.8 的要求。

表 36.0.8 蒙脱石含量试验记录

亚甲蓝标准溶液浓度 $\rho(\text{MB}) =$				空白中加亚甲蓝的体积 $V_B(\text{MB}) =$					
试样与空白定容总体积 $V =$				空白中吸取溶液的体积 $V_B =$					
试样总体积中吸取溶液体积 $V_s =$									
空白总体积中吸取亚甲蓝体积 $V(\text{MB})_B = V_B(\text{MB}) \times V_B/V =$									
滴定度 $T = V(\text{MB})_B/V(\text{SnCl}_2)_B =$									
试样 编号	烘干 试样 质量 m_d (g)	试样中 加亚甲 蓝体积 $V(\text{MB})_s$ (mL)	SnCl ₂ 滴定			计 算 $M = \left[\frac{V(\text{MB})_s - V(\text{SnCl}_2)_s \cdot T \cdot \frac{V}{V_s}}{\rho(\text{MB}) \times 100 / m_d \times 0.44} \right]$	试验结果		
			体 积	由	至		耗	M	平均
				(mL)					
			$V(\text{SnCl}_2)_B$						
			$V(\text{SnCl}_2)_s$						
			$V(\text{SnCl}_2)_B$						
			$V(\text{SnCl}_2)_s$						

复核_____年___月___日 试验_____年___月___日

附录 A 量瓶校正与煤油密度的测定

A.0.1 量瓶称量校正法应符合下列规定：

1 量瓶称量校正应采用下列仪器设备：

- 1) 量瓶：容积 50 mL 或 100 mL；
- 2) 天平：称量 200 g，分度值 0.001 g；
- 3) 恒温水槽：准确至 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ；
- 4) 温度计：刻度范围 $0\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，分度值 0.5°C ；
- 5) 其他：滴管、干燥器、烘箱等。

2 量瓶称量校正应按下列步骤进行：

- 1) 将量瓶洗净，烘干，称量 2 次，准确至 0.001 g。取其算术平均值，2 次称量差值不得大于 0.002 g。
- 2) 将事先煮沸并冷却或真空抽气的纯水注入量瓶。对长颈量瓶达到刻度处为止；对短颈量瓶，注满水，塞紧瓶塞，多余水自瓶塞毛细管中溢出。将量瓶放入恒温水槽内直至瓶内水温稳定。取出量瓶，擦干外壁，称量瓶和水的总质量，准确至 0.001 g。重复上述步骤进行第 2 次测定，取其算术平均值，其平行差值不得大于 0.002 g。
- 3) 将恒温水槽内的水温以 5°C 级差调节，逐级测定不同温度下的量瓶和水的总质量。

3 在直角坐标纸上，以温度为纵坐标，量瓶和水的总质量为横坐标，绘制温度与量瓶和水的总质量关系曲线，如图 A.0.1 所示。

4 量瓶称量校正记录应符合表 A.0.1 的要求。

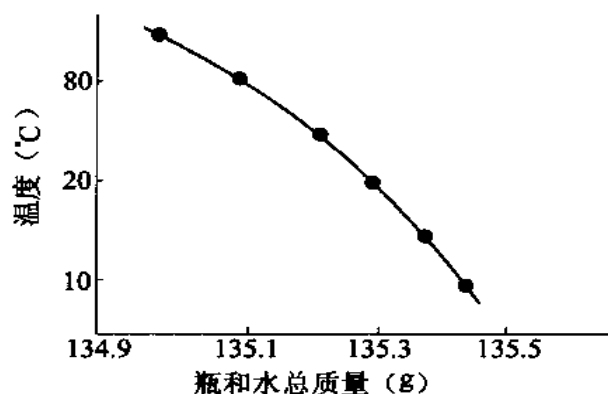


图 A.0.1 温度与量瓶和水的总质量关系曲线

表 A.0.1 量瓶称量校正法记录

瓶号	量瓶质量 (g)	
温度 (°C)	量瓶与纯水 (或煤油) 总质量 (g)	平均值 (g)

复核_____年___月___日 校正_____年___月___日

A.0.2 量瓶计算校正法应符合下列规定:

1 量瓶计算校正法采用的仪器设备除不需要恒温水槽外,其他应符合本附录 A.0.1 条第 1 款的要求。

2 量瓶计算校正法应按下列步骤进行:

按本附录量瓶称量校正法称取量瓶质量及室温为 T_1 时的量瓶和水的总质量。

3 不同温度时的量瓶和水的总质量应按下式计算:

$$m_i = m_0 + (m_1 - m_0) \frac{\rho_{wi}}{\rho_{w1}} + [1 + \epsilon_v(T_i - T_1)] \quad (\text{A.0.2})$$

式中 m_i —— T_i °C 时量瓶和水的总质量 (g);

m_1 —— T_1 ℃时量瓶和水的总质量 (g);

m_0 ——量瓶的质量 (g);

ρ_{w1} —— T_1 ℃时纯水的密度 (g/cm³), 查本规程表 7.3.4—3;

ρ_{wi} —— T_i ℃时纯水的密度 (g/cm³), 查本规程表 7.3.4—3;

ϵ_v ——玻璃膨胀系数平均值 ($2.4 \times 10^{-5} \text{℃}^{-1}$)。

4 温度与量瓶和水的总质量关系曲线按本附录 A.0.1 条第 3 款规定进行绘制。

5 量瓶计算校正法的记录格式应符合表 A.0.2 的要求。

表 A.0.2 量瓶计算校正法记录表

瓶号:	$T_1 =$	℃	$\rho_{w1} =$							g/cm ³
瓶质量 $m_0 =$	g	$m_1 =$	g							
任意温度 T_i (℃)	(1)		5	10	15	20	25	30	35	
温度差 $T_i - T_1$ (℃)	(2)	(1) - T_1								
$[1 + \epsilon_v (T_i - T_1)]$	(3)	$1 + \epsilon_v \times (2)$								
T_i ℃时的水密度 ρ_{wi} (g/cm ³)	(4)									
ρ_{wi}/ρ_{w1}	(5)	$\frac{(4)}{\rho_{w1}}$								
$(m_1 - m_0) \times \rho_{wi}/\rho_{w1} \times [1 + \epsilon_v (T_i - T_1)]$ (g)	(6)	$(m_1 - m_0) \times (3) \times (5)$								
m_i (g)	(7)	(6) + m_0								

复核_____ 年___月___日 校正_____ 年___月___日

A.0.3 量瓶和煤油总质量的校正, 应将纯水换为经过真空抽气的煤油, 其具体方法步骤应与 A.0.1 条相同。也可采用本附录 A.0.2 条计算法, 但必须将式 (A.0.2) 中水的密度改为煤油密度。

A.0.4 煤油密度测定应符合下列规定:

1 将已称量的量瓶, 装满经真空抽气的煤油, 放入恒温水槽内, 待瓶内温度保持稳定后取出 (使多余煤油从瓶塞的毛细孔中溢出)。将瓶外壁擦干, 称量瓶和煤油的总质量, 准确至

0.001 g, 并记录煤油温度 ($T^{\circ}\text{C}$)。

2 用同一量瓶装满经真空抽气的纯水, 控制同一温度 ($T^{\circ}\text{C}$), 重复本条第 1 款步骤操作, 称量瓶和纯水的总质量, 准确至 0.001 g。

3 煤油密度应按下式计算:

$$\rho_m = \frac{m_{pv} - m_p}{m_{pw} - m_p} \cdot \rho_{wT} \quad (\text{A.0.4—1})$$

式中 ρ_m —— $T^{\circ}\text{C}$ 时煤油密度 (g/cm^3), 计算至 $0.001 \text{ g}/\text{cm}^3$;

m_{pv} —— $T^{\circ}\text{C}$ 时量瓶和煤油的总质量 (g);

m_{pw} —— $T^{\circ}\text{C}$ 时量瓶和纯水的总质量 (g);

m_p ——量瓶的质量 (g);

ρ_{wT} —— $T^{\circ}\text{C}$ 时纯水的密度, 查本规程表 7.3.4—3。

4 煤油密度必须进行平行测定, 平行测定的差值不得大于 $0.002 \text{ g}/\text{cm}^3$, 取算术平均值。

5 由实测得 $T^{\circ}\text{C}$ 时煤油密度 ρ_m , 用下式计算任意温度时的煤油密度:

$$\rho_{mi} = \rho_m [1 + \beta(T - T_i)] \quad (\text{A.0.4—2})$$

式中 ρ_{mi} —— $T_i^{\circ}\text{C}$ 时的煤油密度 (g/cm^3), 计算至 $0.001 \text{ g}/\text{cm}^3$;

β ——煤油密度的平均温度补正系数 ($^{\circ}\text{C}^{-1}$), 由表 A.0.4 查得;

T ——实测煤油密度时的温度 ($^{\circ}\text{C}$);

T_i ——任意温度 ($^{\circ}\text{C}$)。

表 A.0.4 煤油密度的平均温度补正系数

$T^{\circ}\text{C}$ 时 ρ_m (g/cm^3)	β ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)	$T^{\circ}\text{C}$ 时 ρ_m (g/cm^3)	β ($^{\circ}\text{C}^{-1}$)
0.7700~0.7799	8.05×10^{-4}	0.8100~0.8199	7.52×10^{-4}
0.7800~0.7899	7.92×10^{-4}	0.8200~0.8299	7.38×10^{-4}
0.7900~0.7999	7.78×10^{-4}	0.8300~0.8399	7.25×10^{-4}
0.8000~0.8099	7.65×10^{-4}		

附录 B 密度计校正

B.0.1 密度计校正应包括下列内容：

1 土粒沉降距离校正：密度计读数不仅表示悬液密度，同时也由悬液面至密度计浮泡体积中心的距离来表示土粒的沉降深度。试验时，当密度计放入悬液后，液面随之升高，致使土粒沉降距离较实际为大，故在试验前应对密度计进行土粒沉降距离校正。

2 刻度及弯液面校正：密度计制造时，刻度不易准确，使用前必须进行校正。另外，密度计的刻度一般以弯液面的下缘为准，而试验时密度计读数是以弯液面的上缘为准，故应进行弯液面校正。刻度及弯液面校正可合并进行。

3 分散剂校正：密度计刻度是以纯水为标准的，当悬液中加入分散剂后，使悬液密度增大，故必须校正。

B.0.2 土粒沉降距离校正应符合下列规定：

1 仪器设备：

- 1) 密度计：甲种（刻度为 $-5 \sim 50$ ，最小分度值为 1.0 或 0.5 ）；乙种（ $20^{\circ}\text{C}/20^{\circ}\text{C}$ 刻度为 $0.995 \sim 1.20$ ，最小分度值为 0.001 或 0.0002 ）。
- 2) 量筒：容量 1 L （直径约 60 mm ，刻度精确至 10 mL ）；容积 250 mL ，最小分度值 1 mL 。
- 3) 直尺：长约 $(200 \pm 1)\text{ mm}$ 。
- 4) 恒温水槽：精确为 $\pm 1^{\circ}\text{C}$ 。
- 5) 其他设备：密度计固定架，温度计。

2 校正步骤：

- 1) 测定密度计浮泡体积：在 250 mL 量筒内加入约 130 mL 纯水，并保持水温为 20°C ，测定量筒内水面

读数（以液面下缘为准）后划一标记，将密度计放入量筒中，使水面达密度计最低刻度处（以液面下缘为准），同时测记水面在量筒上的读数（以液面下缘为准）后再划一标记，两者之差即为密度计浮泡体积（ V_b ）读数准确至 1 mL。

- 2) 测定密度计浮泡体积中心：在测定浮泡体积 V_b 之后，将密度计向上缓缓垂直提起使水面恰落至两标记的正中间，此时水面与浮泡相切处（以液面下缘为准），即为浮泡体积中心。将密度计固定在支架上，用直尺准确量出水面至密度计最低刻度的垂直距离（ L_0 ）。
- 3) 测定 1L 量筒内径，准确至 1 mm，并算出量筒面积。
- 4) 量出自密度计最低刻度至玻璃杆上各刻度处的距离（ L_1 ），每隔五格或十格测量一次，估读至 0.1 mm。

3 土粒有效沉降距离按下式计算（见图 B.0.2）：

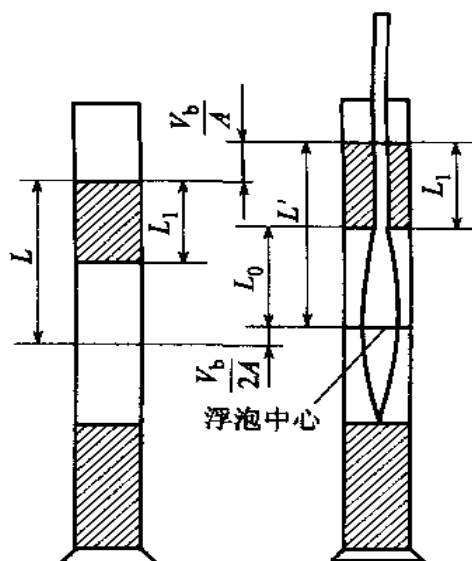


图 B.0.2 土粒沉降距离校正

$$L = L_1 + \left(L_0 - \frac{V_b}{2A} \right) \quad (\text{B.0.2})$$

式中 L ——土粒有效沉降距离 (cm);

L_1 ——自最低刻度至玻璃杆上各刻度的距离 (cm);

L_0 ——密度计浮泡中心至最低刻度的距离 (cm);

V_b ——密度计浮泡体积 (cm³);

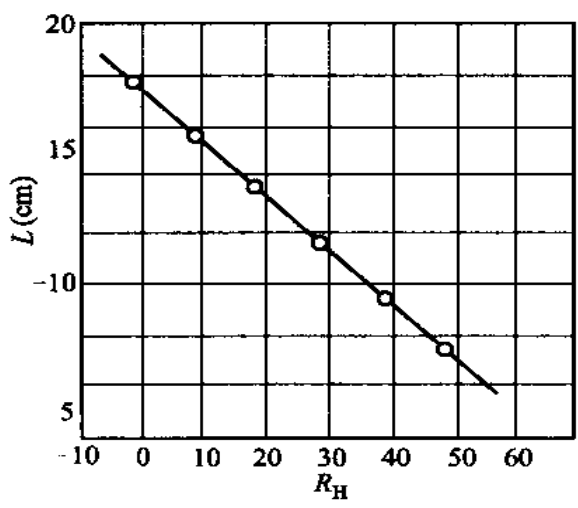
A ——1 L 量筒的面积 (cm²)。

4 土粒沉降距离校正计算表, 应符合表 B.0.2—1 或表 B.0.2—2 的要求。

表 B.0.2—1 土粒沉降距离校正计算表

密度计编号	甲 1		1 L 量筒编号	1 号	
密度计浮泡体积 (V_b)	86.0 cm ³		1 L 量筒内径 (D)	6.79 cm	
密度计浮泡中心至最低分度距离 (L_0)	8.6 cm		1 L 量筒面积 (A)	36.19 cm ²	
$L = L_1 + \left(L_0 - \frac{V_b}{2A} \right) = L_1 + 7.41$			弯液面校正值 (n)	-1.2	

密度计 刻 度	由最低分 度至各分 度距离	土粒有 效沉降 距 离	密度计 读 数
R	L_1	L	$R + n$
	(cm)	(cm)	
0	10.58	17.99	-1.2
10	8.41	15.82	8.8
20	6.35	13.76	18.8
30	4.22	11.63	28.8
40	2.02	9.43	38.8
50	0	7.41	48.8



密度计读数 R_H —土粒沉降距离 L 关系图

校正

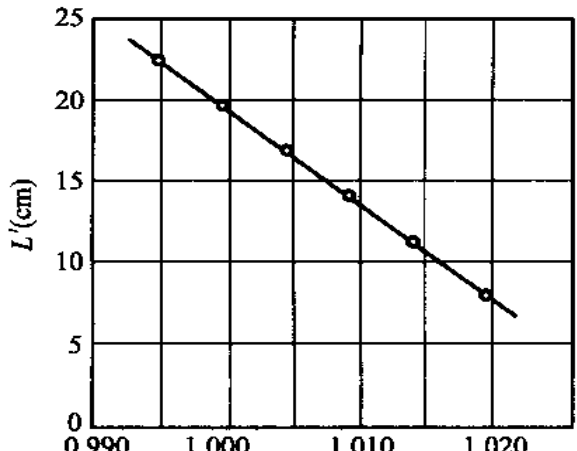
计算

复核

校正日期

表 B.0.2—2 土粒沉降距离校正计算表

密度计编号 Z1		1L 量筒编号 9 号	
密度计浮泡体积 (V_b') 60.0 cm^3		1L 量筒直径 (D) 6.63 cm	
密度计浮泡中心至最低分度距离 (L_0') 8.8 cm		1L 量筒面积 (A) 34.52 cm^2	
$L' = L_1' + \left(L_0' - \frac{V_b'}{2A} \right) = L_1' + 7.931$		弯液面校正值 (n') -0.0004	
密度计 刻 度	由最低分 度至各分 度距离	土粒有 效沉降 距 离	密度计 读 数
R'	L_1'	L'	$R' + n'$
	(cm)	(cm)	
0.955	14.180	22.411	0.9946
1.000	11.651	19.582	0.9996
1.005	8.759	16.690	1.0046
1.010	5.863	13.794	1.0096
1.015	2.910	10.841	1.0146
1.020	0	7.931	1.0196



密度计读数 R_H' — 土粒沉降距离 L' 关系图

校正

计算

复核

校正日期

B.0.3 刻度及弯液面校正应符合下列规定：**1 仪器设备：**

- 1) 量瓶：容积 100 mL。
- 2) 烧杯：容量 1000 mL。
- 3) 电动拌搅器。
- 4) 分析天平：称量 100 g，分度值 0.1 mg。
- 5) 无水氯化钠或密度为 1.84 g/cm^3 的硫酸。
- 6) 其他设备同 B.0.2。

2 校正步骤：

- 1) 于 1L 烧杯中加纯水 700 mL，按表 B.0.3 中第(3)项规定的硫酸数量，用滴定管依次加入密度为 1.84 g/cm^3

的硫酸于烧杯中，用玻棒搅拌均匀；或按表 B.0.3 中第 3 项规定称取化学纯氯化钠数量于 500 mL 烧杯中，加纯水约 200 mL，用玻棒搅拌至完全溶解。然后倒入 1 L 量筒中并用纯水稀释至刻度，另取一盛纯水的量筒以供清洗、存放密度计之用。

- 2) 将盛有标准溶液的量筒放入 20℃ 恒温水槽中，用搅拌器搅拌筒内溶液，待筒内温度达 20℃ 时，将擦干净的密度计依次放入各量筒中，以弯液面上缘为准读数，甲种密度计估读至 0.1；乙种密度计估读至 0.000 1，每次读数后，取出密度计放入盛纯水的量筒中清洗。至少测记读数两次，取其平均值记入表 B.0.3 第 (6) 栏中。

表 B.0.3 刻度及弯液面校正计算表

20℃ 时密度计 刻度		20℃ 时标准溶液浓度	每升标准溶液中所需的		试验时温度	由实测溶液密度所计算的密度计准确读数		校正时由密度计测定的平均读数		刻度及弯液面校正值	
甲 1	乙 1		NaCl	H ₂ SO ₄		甲 1	乙 1	甲 1	乙 1	甲 1	乙 1
(g/L)	1	(g/mL)	(g)	(mL)	(℃)	(g/L)	1	(g/L)	1	(g/L)	1
(1)		(2)	(3)		(4)	(5)		(6)		(7)	
0	1.000	0.998 232	0	0	20	0.0	1.000 0	-1.8	0.999 6	1.8	0.000 4
5	1.003 1	1.001 349	4.56	2.5	20	5.1	1.003 4	3.0	1.003 0	2.1	0.000 4
10	1.006 2	1.004 465	8.94	4.9	20	9.7	1.006 4	8.6	1.005 9	1.1	0.000 5
15	1.009 4	1.007 582	13.30	7.4	20	15.1	1.009 6	12.9	1.008 8	2.2	0.000 8
20	1.012 5	1.010 698	17.79	9.8	20	20.0	1.012 8	19.0	1.012 0	1.0	0.000 8
25	1.025 6	1.013 815	22.30	12.6	20	25.1	1.015 8	23.2	1.015 2	1.9	0.000 6
30	1.018 7	1.016 931	26.73	15.5	20	30.1	1.018 8	28.3	1.018 0	1.8	0.000 8
35	1.021 9	1.020 048	31.11	18.3	20	34.6	1.022 0	33.5	1.021 0	1.1	0.001 0
40		1.023 165	35.61	20.8	20	40.0		38.0		2.0	
45		1.025 282	40.32	23.4	20	45.1		42.6		2.5	
50		1.029 398	44.88	26.0	20	49.9		47.1		2.8	

- 3) 从量筒内取出一部分溶液，分别装满两个 100 mL(或 50 mL) 的量瓶，放入恒温为 20℃ 的水槽内，待恒温后，塞好瓶塞，擦干量瓶，称量，精确至 0.0001 g。
- 4) 倾去量瓶内溶液，洗净后装满纯水放入恒温 20℃ 水槽内，待恒温后，盖好瓶塞，擦干后称量，精确至 0.0001 g。

3 标准溶液的密度按下式计算：

$$\rho = \frac{m_v}{m_w} \rho_w \quad (\text{B.0.3—1})$$

式中 ρ ——实测标准溶液的密度 (g/cm^3)；

m_v ——量瓶内标准溶液在 20℃ 时的质量 (g)；

m_w ——量瓶内纯水在 20℃ 时的质量 (g)；

ρ_w ——4℃ 时水的密度 (g/cm^3)。

两个平行测定，偏差应不大于 0.0002，取其算术平均值。如超差，应从量筒内再取溶液重新测定。

4 甲种密度计准确读数 $R_{\text{甲}}$ 按下式计算：

$$R_{\text{甲}} = \frac{(\rho/\rho_w - 1) \times 1000}{0.624413} = \left(\frac{\rho}{\rho_w} - 1 \right) \times 1601.5041 \quad (\text{B.0.3—2})$$

乙种密度计准确读数等于标准溶液的密度 (以 20℃ 为准)。

5 以表 B.0.3 第 (5) 栏由实测标准溶液密度所计算的密度计准确读数减校正时由密度计测的平均读数，即得刻度及弯液面的校正值。如减得的数为正，则校正值为正；如为负，则校正值为负。

6 以实测的密度计读数为横坐标，刻度及弯液面校正值为纵坐标，绘制刻度及弯液面校正曲线，见图 B.0.3—1 及图 B.0.3—2。

7 当密度计刻度准确度能满足甲种为 0.5，乙种为 0.0002 时，可不作刻度校正，仅作弯液面校正。即将密度计放于 20℃ 纯水的量筒中，求出弯液面上、下缘读数之差，此值即为弯液面

校正值，见图 B.0.3—3。

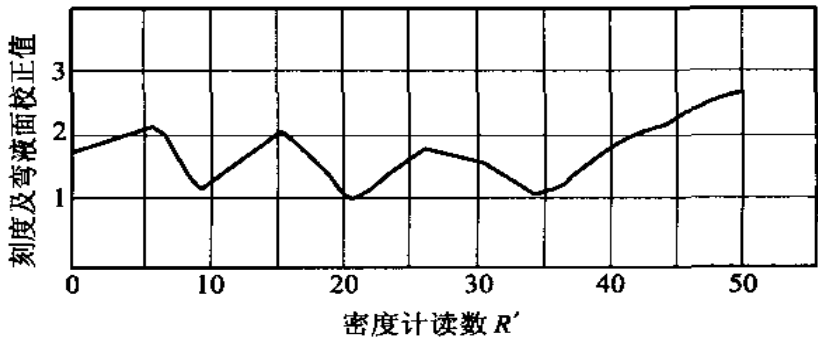


图 B.0.3—1 甲种密度计刻度及弯液面校正曲线

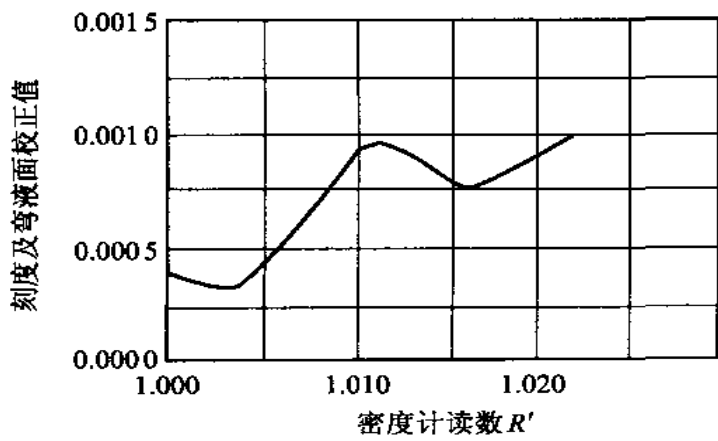


图 B.0.3—2 乙种密度计刻度及弯液面校正曲线

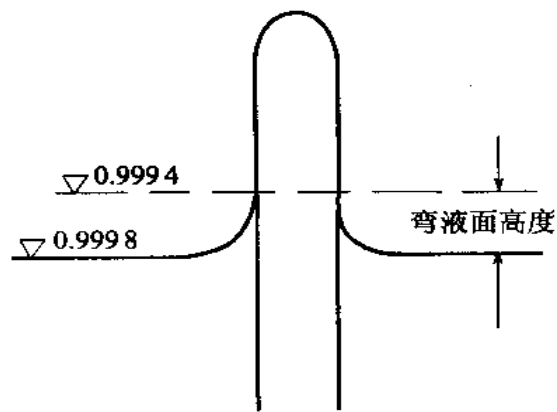


图 B.0.3—3 弯液面校正

B.0.4 分散剂校正应符合下列规定：

1 仪器设备

- 1) 搅拌器：搅拌杆应高出量筒。
- 2) 分散剂：4%六偏磷酸钠。其他设备同 B.0.2。

2 校正步骤

- 1) 注适量纯水于 1 L 量筒中，再加入用量与试验时相同的 4%六偏磷酸钠 (NaPO_3)₆ 溶液，然后用纯水稀释至刻度。
- 2) 放搅拌器于量筒内上、下搅拌均匀；另取一个 1 L 量筒注纯水至刻度，两者同时放入恒温水槽中使至 20℃ 恒温。
- 3) 先将密度计放入纯水量筒中，测记密度计读数；取出密度计再放入加分散剂的量筒中，测记密度计读数，两者读数之差即为分散剂校正值。

3 分散剂校正值计算：

$$C_D = R_{D20} - R_{H20}$$

式中 C_D ——分散剂校正值；

R_{D20} ——加分散剂溶液密度计读数；

R_{H20} ——纯水中密度计读数。

附录 C 直剪仪校正及测力计率定

C.0.1 直剪仪校正应符合下列规定：

- 1 直剪仪应安置稳固，不得摇动或倾斜。
- 2 称垂直加压盘、加压框架、加压盖板、钢珠和透水石等总质量。
- 3 校正加压框架的竖杆，使两根竖杆在横梁间的长度相等。
- 4 上盒的传力凸嘴与测力计的着力点应保持良好的接触，不得扭斜或倾斜到边上。
- 5 所有滑动部分必须经常擦油，以保持灵活。
- 6 所用砝码应定期校正质量，准确至 0.1%。

C.0.2 测力计率定应符合下列规定：

- 1 测力计（量力环）从直剪仪上取下安装在校验加荷架上，将百分表调整为零。校验时所施加的负荷应沿测力计的轴线。加负荷时应平稳、无冲击。
- 2 将测力计施加标称负荷反复预压三次，调整好百分表，按校验点逐级进行加荷。
- 3 校验应从标称负荷的 10% 左右开始。校验点不少于 8 点，加、卸负荷不少于 3 次。百分表的读数必须在指针静止时测读。
- 4 每次卸负荷后，百分表的回零差不得大于 0.3 分度。每次加荷前应将百分表调回到零位。
- 5 取各次校验中的加（卸）负荷时所得读数的算术平均值作为相应负荷的示值。
- 6 在直角坐标纸上，以荷重为纵坐标，百分表读数为横坐标，将各实测点联成通过坐标原点的直线，如图 C.0.2 所示。

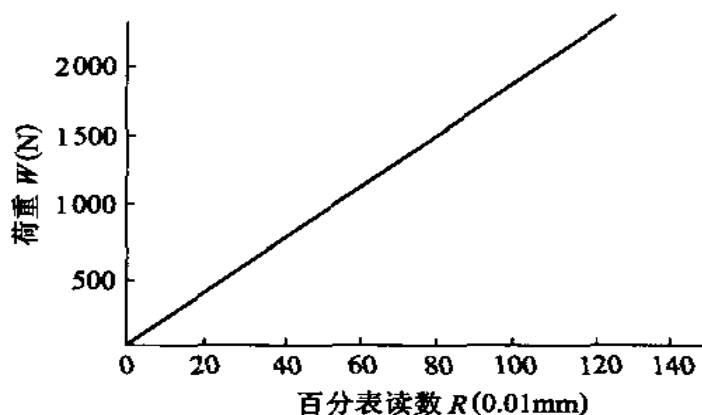


图 C.0.2 荷重与百分表读数关系曲线

7 测力计率定系数应按下式计算:

$$C = \frac{W}{R} \quad (\text{C.0.2})$$

式中 C ——率定系数 (N/0.01 mm);

W ——垂直荷重 (N);

R ——百分表读数 (0.01 mm)。

附录 D 固结仪的变形量校正

D.0.1 固结仪在负荷作用下，由于各部件的变形及各部件之间间隙的压紧等产生仪器变形，特别是对压缩系数较小的试样。仪器的压缩变形占土试样变形时的比例较大，会对压缩性指标带来较大的误差，故应进行固结仪的变形校正。

D.0.2 固结仪在使用过程中每年应校正一次。如在这段时间内，仪器零件和传压板、加压框架、透水板等的更换，或因搬迁、震动等影响，应随时予以校正。

D.0.3 固结仪加压设备的检查和调整应符合下列规定：

1 杠件加压座必须稳固，受压台面必须水平，加压框架的竖杆必须垂直，并不得与受压台面上的小孔接触，否则应进行修整。

2 用水平尺检查框架的横梁是否水平，如有倾斜现象，用横梁上的螺丝进行调整至水平位置，并使横梁凸头与受压台面间的距离恰好等于装好试样后的固结仪高度。也就是使传压活塞的凹部能与横梁的凸头密合。

D.0.4 固结仪变形量校正应符合下列规定：

1 以与试样等高、等直径的金属块代替土试样，并按本规程第 15.2.2 条第 2 款的规定安装容器及百分表。

2 按规定的加压等级每 10 min 加荷一次，依次为 25、50、100、200、400、800 kPa……。测记各级压力下的百分表读数。

3 将最大一级压力下的百分表读数记录后，再按与加压等级相反的次序，每 10 min 卸荷一次，并测记相应百分表读数，直至压力完全卸除。

4 按固结试验步骤拆除仪器，再重新安装。重复上述步骤再进行测定。取其平均值作为各级压力下仪器的变形量，要求平

行差值不得大于 0.01 mm。

5 以固结仪变形量为纵坐标，压力为横坐标，绘制校正曲线，如图 D.0.4。

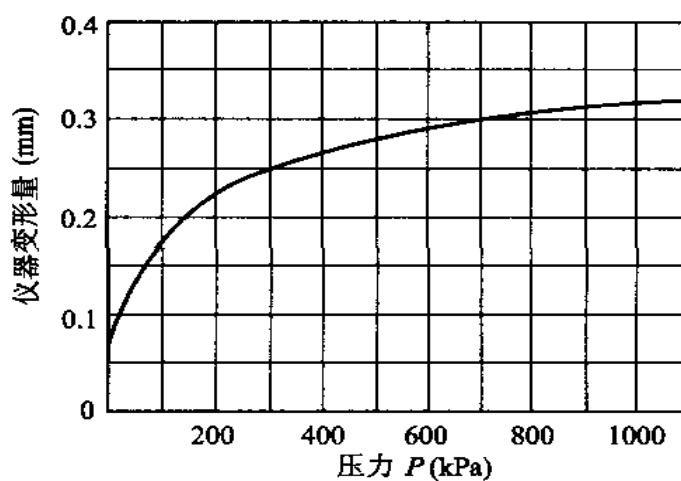


图 D.0.4 仪器变形量与压力关系曲线

附录 E K_{30} 平板载荷试验仪校验方法

E.0.1 K_{30} 平板载荷试验仪在使用中应定期进行校验, 以消除由于仪器自身系统液压阻力变化所引起的测量误差。通过校验测定出实际加载值或实际荷载板正应力值与系统压力表读数值之间的相关关系, 建立其回归方程, 并经整理绘制成图表, 以作为 K_{30} 平板载荷试验的计算基础。

E.0.2 K_{30} 平板载荷试验仪校验的技术条件, 应符合下列规定:

1 试验仪配置的压力表、百分表 (或电子数显表) 应定期送检进行计量标定。

2 试验仪液压系统应不渗漏油。

3 用于校验的压力支架或压力机的承载能力应大于 50 kN。

4 用于校验的压力机的计量误差应小于 10 N, 压力传感器计量误差应小于 5 N。

E.0.3 K_{30} 平板载荷试验仪的校验应采用以下两种方法:

1 测定实际加载值 F 与压力表读数值 $P_{\text{压}}$ 之间的相关关系

1) 校验时, 如图 E.0.3—1 所示, 将 K_{30} 试验仪安放于压力支架或压力机上, 其上端安置业已送检过的测力仪。通过手动油泵对试验仪进行逐级增量加压直至加到预计的最大测量载荷为止, 按表 E.0.3—1 记录每次增量加压后的测力仪和压力表的读数, 反复进行三次, 以求出每次增量平均值。

2) 整理校验数据后得出其回归方程为

$$F = BP_{\text{压}} + A \quad (\text{E.0.3—1})$$

式中 F ——实际加载值 (kN);

$P_{\text{压}}$ ——压力表读数 (MPa);

B ——斜率;

A——截距。

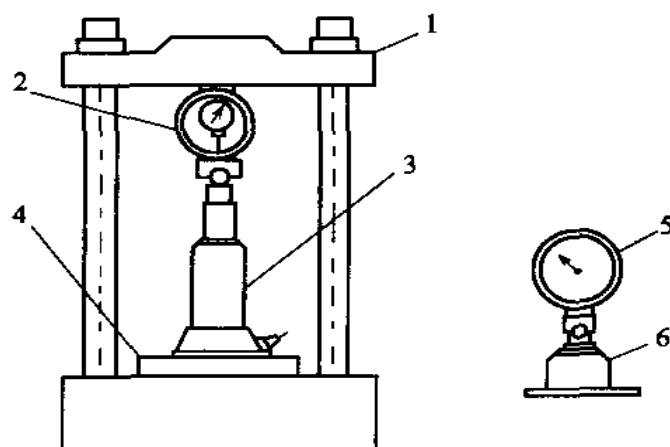


图 E.0.3—1 校验方法 1 示意

1—支架；2—测力仪；3—千斤顶；4— $\phi 30$ 荷载板；5—压力表；6—手动油泵

表 E.0.3—1 校验方法 1 记录表

加载级数	测力仪示值 (kN)				实际加载值 F (kN)	压力表读数值 $P_{\text{压}}$ (MPa)			
	1	2	3	平均		1	2	3	平均
1	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
2									
3									
4									
6									
7									
8									

校验员

核验员

校验日期 年 月 日

3) 在进行测试时,可根据式 (E.0.3—1) 由 $P_{\text{压}}$ 得出相对应的 F 值并按式 (E.0.3—2) 计算出荷载板正应力 σ 值。

$$\sigma = (F + W) / A \quad (\text{E.0.3—2})$$

式中 σ ——荷载板正应力 (MPa);

W ——试验仪的基本重量 (kN);

A —— $\phi 30$ cm 荷载板面积, 为 706.86 cm^2 。

注: 试验仪的基本重量 W 包括千斤顶、荷载板及组装在板上的仪表支架等重量, 至于测试过程中在千斤顶上端增加的接杆重量, 由于已被相应增加的系统阻力所抵消, 故不予以考虑。

2 测定荷载板正应力 σ 与压力表读数值 $P_{\text{压}}$ 之间的相关关系

1) 校验时, 如图 E.0.3—2 所示, 将 K_{30} 试验仪安放于压力支架或压力机上, 其下端安置业已送检过的压力传感器。通过手动油泵对试验仪进行逐级增量加压直至加到预计的最大测量载荷为止, 按表 E.0.3—2 记录每次增量加压后的压力传感器和压力表的读数, 反复进行三次, 以求出每次增量平均值。

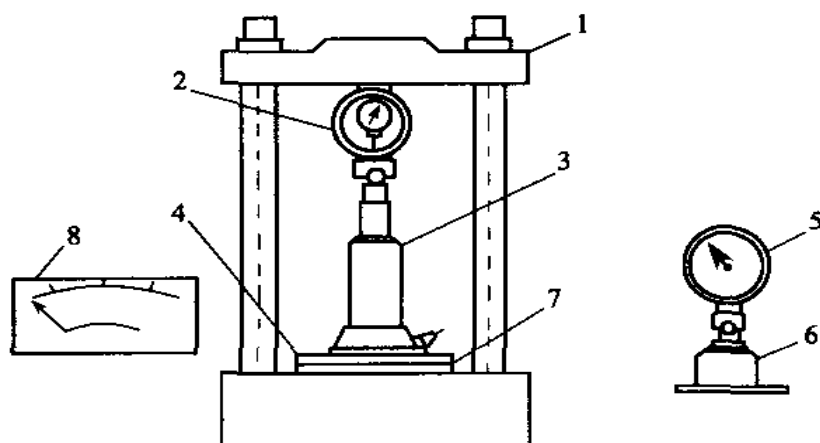


图 E.0.3—2 校验方法 2 示意

1—支架; 2—测力仪; 3—千斤顶; 4— $\phi 30$ 荷载板; 5—压力表;
6—手动油泵; 7—压力传感器; 8—传感器示值表

表 E.0.3—2 校验方法 2 记录表

加 载 级 数	压力传感器示值 (kN)				实际荷载板正 应力值 (MPa)	压力表读数值 $P_{\text{压}}$ (MPa)			
	1	2	3	平均		1	2	3	平均
1	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
2					0.04				
3					0.08				
4					0.12				
5					0.16				
6					0.20				
7					0.24				
8					0.28				

校验员

核验员

校验日期 年 月 日

2) 整理校验数据后得出其回归方程为

$$\sigma = bP_{\text{压}} + a \quad (\text{E.0.3—3})$$

3) 在进行测试时, 可根据式 (E.0.3—3) 由 $P_{\text{压}}$ 得出相对应的 σ 值。

E.0.4 K_{30} 平板载荷试验仪校验周期: 在新仪器使用的前三个月内, 应每月校验标定一次, 以作出相应的误差修正, 当三次标定的误差小于 ± 5 , 即认为仪器已进入稳定期, 但仪器每次投入新工点使用前或每年必须予以校验一次。

本规程用词说明

执行本规程条文时，对于要求严格程度的用词说明如下，以便在执行中区别对待。

(1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

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用词：

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用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的用词，采用“可”。

《铁路工程土工试验规程》

条文说明

本条文说明系对重点条文的编制依据、存在的问题以及在执行中应注意的事项等予以说明。为了减少篇幅，只列条文号，未抄录原条文。

1.0.2 本条中“各类地基土和填料的基本性质试验”，主要应满足《铁路工程地质勘察规范》(TB10012)所要求的“土的物理力学性质试验项目”和《铁路路基设计规范》(TB10001)“填料分类”所要求的试验项目。

2.1.7 动态变形模量 $E_{vd} = 1.5 \times r \times \sigma / S$ ，单位 MPa。其中 1.5 为荷载板形状影响系数； r 为圆形钢性荷载板的半径 150 mm； σ 为荷载板下的最大冲击动应力 0.1 MPa，它是通过在钢性基础上，由最大冲击力 $F_s = 7.07 \text{ kN}$ 且冲击时间 $t_s = 18 \text{ ms}$ 时标定得到的； S 为实测荷载板下沉幅值 (mm)。

3.2.2 本条第 3 款是对碾散后的土样进行过筛的规定。筛孔径的大小取决于试验所用仪器容器的大小。例如：用于直接剪切试验中的试样颗粒最大粒径，不应大于剪切盒内径的 1/20 (以剪切盒内径为 6.18 cm 计)，故土样过 2 mm 筛是符合条件的。对压缩试验的试样最大颗粒粒径为容器高度的 1/6 ~ 1/8。目前所用的固结仪，其容器高度 2 cm，用过 2 mm 筛的土样是可以满足要求的。另外，粒径 2 mm 又恰为砂粒的上限。因此，制备力学性试验的土样统一过 2 mm 筛，物理性试验的土样过 0.5 mm 筛，击实试验的土样过 5 mm 筛，重型击实试验过 20 mm 筛。第 8 款是砾石表面黏有黏粒时要求试样浸泡后在水中过筛。根据试验资料，同样的砾类土，干过筛与湿过筛的结果，测得的黏粒结果有

很大区别。例如：有一组角砾土，干过筛黏粒含量为 22%，而湿过筛测得的黏粒含量达到 38%。因此，砾类土表面附有黏粒时，必须用湿过筛，否则会影响筛分结果。

本条第 10 款是对所制备试样的密度和含水率的允许差的要求。为了控制制备试样的均匀性，减少试验数据的离散性，扰动土试样制备不仅规定了各试样之间的允许差，还规定了试样与所要求的密度、含水率的允许差。国家标准《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999) 规定：“扰动土样同一组试样的密度与要求的密度之差不得大于 $\pm 0.01 \text{ g/cm}^3$ ，一组试样的含水率与要求的含水率之差不得大于 $\pm 1\%$ 。”水利部行业标准《土工试验规程》(SL 237—1999) 规定：“制备试样密度、含水率与制备标准之差值应分别在 $\pm 0.02 \text{ g/cm}^3$ 与 $\pm 1\%$ 范围以内。”本规程 1996 年局部修订版规定：一组试样的密度、含水率与制备标准之差值不大于 0.03 g/cm^3 和 1%，本次修订将密度之差值修改为 0.02 g/cm^3 ，经过实际验证是可行的，含水率的差值不大于 $\pm 1\%$ 与国标和水利部行业标准相一致。

3.3.1 由于原状土的均匀性是反映天然土体的状态，非人工所能控制，因此，同一组试样的密度和含水率的差值比扰动土试样的稍大一些。

3.4.1 pH、易溶盐分析试样制备，规定试样要通过 2 mm 筛，目的是求得砾和砂、黏粒各占总土质量的百分数，然后用小于 2 mm 试样测定易溶盐和 pH 值，并用测得易溶盐换算成在总土质量中所占百分含量。当土样中均是小于 2 mm 颗粒的均质土时，可以免去过 2 mm 筛这一步骤，直接将土样粉碎使全部通过 1 mm 筛（如果有大于 1 mm 不易粉碎的砂粒也不能弃去，应将筛上、下颗粒混合均匀）作为试样。粉碎过 1 mm 筛的目的主要是增加土粒接触面，促进盐类的溶解。本规程 1996 年局部修订版规定过 0.5 mm 筛，但根据“土壤理化分析”的实验资料证实，过 2 mm 筛的 pH 值为 4.7，经粉碎至 0.16 mm 时，测得 pH 值约增加 1.0~1.3 单位，因此，这次修订采纳了用过 1 mm 筛的建议。

3.4.2 中溶盐、难溶盐和有机质的分析试验规定过 0.15 mm 筛，主要是因试验取样量少，目的是提高试样的代表性使颗粒越细越均匀，同时也有利于试样的分解以提高试验的准确性。

3.5.2 毛细管饱和法：原规程中采用重叠式或框架式饱和器，本次修改为框架式饱和器。因为毛细管饱和，水面不宜将试样淹没，用重叠式饱和器不能满足该要求。

4.1.2 本条第 3 款中所列的核子射线法是对原《填土密度湿度核子仪测试规程》(TB/T 10217—96) 进行修订并纳入本规程的。这次修订，对该方法测定粗粒土的含水率和密度的适用条件进行专题研究。课题组通过对粒径 2~50 mm 的颗粒含量在 30%~60% 的三种砾砂、砾石类填料的 232 个测点进行核子射线法与灌砂法的比对试验，取得了 1400 多个试验数据，由统计结果表明：当填料含水率大于 5.0% 时，两种试验方法测得的含水率的平均差值为 0.6%，回归方程为 $Y = 0.839X + 0.446$ (Y —灌砂法试验用烘法测得的含水率； X —核子射线法测得的含水率)，相关系数为 0.94；当填料的含水率小于 5.0% 时，两种试验方法测得的含水率的平均差值为 0.5%，回归方程为： $Y = 0.729X + 1.232$ ，相关系数为 0.74。两种试验方法测得的干密度的平均差值为 0.043 g/cm^3 ，回归方程为 $Y = 0.928X + 0.028$ (Y —灌砂法测得的干密度值； X ——核子射线法测得的干密度值)，相关系数为 0.75。以上结果可供实际生产应用中的参考。今后核子射线法用于粗粒土检测时仍需与灌砂法进行对比试验（对比的测点不少于 30 个），求出两种试验方法测定结果的平均差值作为偏移量或进行相关分析，建立回归方程（相关系数宜达到 0.90），对核子射线法检测得出的含水率和干密度进行修正。

4.4.1 碳化钙（俗称电石），应具有足够纯度，制成粉末后应贮于干燥、密封容器中，以防吸水失效。更不可遇水，要注意存放、使用安全。

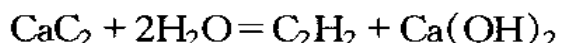
4.4.2 本试验是用过量碳化钙与土样中游离水混合接触产生化学反应生成乙炔气体，根据乙炔气体逸出失去的质量，通过换算

求得土中含水率，故称为碳化钙减量法。

根据铁道建筑研究设计院的研究成果，碳化钙的用量，应按取样量和估计含水率来确定，该成果认为表 4.4.2 是确定碳化钙最佳用量。用量少了反应不完全，多了又浪费。该院还通过试验研究，建立数学模型，已将此试验方法，以多用电子天平的自动称量、记录、储存、并按既定程序进行数据处理合为一体，可直接给出含水率试验结果。

采用此试验方法，化学反应的产物是乙炔，其性质是窒息、易燃气体，主要是易燃。因此，试验场所要注意通风远离火源。试验后的混合物不得随意乱倒。

4.4.3 本试验的成果计算是按照化学反应过程：



进行计算的，即定量的水（36 g）与定量的 CaC_2 （64 g）作用可生成定量的乙炔（26 g）。

本试验根据铁道建筑研究设计院提供的用烘干法进行对比试验，其结果见说明表 4.4.3。由表中绝对偏差说明均在烘干法的允许差范围内。

说明表 4.4.3 碳化钙减量法与烘干法的对比试验

土质	土号	烘干法 (%)	CaC_2 减量法 (%)	绝对偏差 (%)	土质	土号	烘干法 (%)	CaC_2 减量法 (%)	绝对偏差 (%)
黏土	1	3.00	2.88	0.12	黑色粉土	1	15.02	15.12	0.10
	2	3.01	2.92	0.09		2	15.07	15.41	0.34
	3	3.05	2.86	0.19		3	15.17	15.46	0.29
	4	3.04	2.86	0.18		4	15.14	14.68	0.54
	5	3.01	2.87	0.14		5	15.35	15.07	0.28
黄色黏土	1	14.92	15.51	0.59	黏土	1	22.41	22.67	0.26
	2	14.97	15.59	0.62		2	22.46	23.17	0.71
	3	14.99	15.59	0.60		3	22.62	22.82	0.20
	4	14.94	15.50	0.56		4	22.50	22.58	0.08
	5	14.83	15.09	0.26		5	22.51	22.68	0.17

5.1.2 本条第 3 款中所列的气囊法是铁道建筑研究设计院于 2001 年研究成功的现场密度试验新方法。该方法与灌砂法、灌水法在室内用模拟试坑标准罐做了 30 组对比试验,在现场对砂类土、砾石土、碎石土各做了 40 组对比试验。室内外试验结果证明,气囊法的测试精度与灌砂法接近、比灌水法高,测试时间较灌砂法、灌水法少。

5.3.2 本条第 2 款是对试样进行蜡封的规定,如果蜡的温度过高,会对试样的含水率和结构造成一定影响,而温度过低会使蜡溶解不均匀,不易封好蜡皮,故要求蜡的温度控制到刚过熔点。在操作时,应缓缓浸入蜡中,全部浸没后应立即提出,这样可避免气泡封闭在土与蜡中间。第 3 和 5 款是蜡封试样在水中称量的方法,其目的是求取试样排开液体的质量并计算试样的体积。按第 3 款使用吊盘天平(规程正文中图 5.3.2 所示)称量时,试样排开液体的质量则等于空气中称得的质量减去水中称得的质量;而第 5 款使用电子天平(或电子秤)时,在称盘上放置好盛有纯水的容器,并将试样吊在固定支架上浸入水中称量,该称量值就是试样排开液体的质量,不需要再以空气中称得的质量相减。

5.4.1 本条第 1 款是有关密度测定器的组成及尺寸问题。原规程中该仪器是按照美国 ASTM 标准仿造的,灌砂漏斗的尺寸为:直径 17.3 cm,高度 13.5 cm;容砂瓶的直径为 15.4 cm,高度为 2 cm。国标 GB/T 50123—1999 的密度测定器,其灌砂漏斗直径为 165 mm,容砂瓶的高度为 210 mm,与本规程不同。本次修订将测定器各部分的尺寸与国标统一,有利于仪器的定型生产。但原有密度测定器可继续使用,因为试验中必须进行标准砂的测定,仪器的尺寸对灌砂法测定的密度不会产生影响。

5.6.1 气囊式容器测定仪依据物理学波义尔定律,即在一定温度条件下,密闭容器内气体压强与气体体积乘积为一常数的原理,用气体(空气)作压力传递介质,较国外用水作压力传递介质的水囊式容积测定仪在技术上有较大改进。总体质量减少约 5 kg,操作更加便捷。

5.6.2 测试场地坡度对测试结果无影响，试验时，有坡场地不必整成水平。

水溶液水柱上升速度不应超过 100 mm/s。仪器测试精度受温度变化影响，数显初始读数 (L_1) 和终了读数 (L_2) 应在相同环境条件下读取。

5.6.3 容积仪常数 A_g 为缸筒每毫米高的容积，由仪器制造厂家标定给出。

6.1.1 “比重”这个量的名称，在法定计量单位中已被废除，故原规程中的“颗粒比重”改为“颗粒密度”。

6.2.1 量瓶容积有 100 mL 和 50 mL 两种，经比较试验证明，量瓶容积大小对密度结果影响不大，但容积 100 mL 的量瓶可以多取些试样，以提高试样的代表性和试验准确度。

6.2.2 本条第 1 款中未列出土中有机质含量和易溶盐含量达到某一界限时应用中性液体代替纯水测定的方法。可参考《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)，当有机质含量大于 5% 或含盐量大于 0.5% 时，采用中性液体测定。

本条第 3 款试样规定用烘干土，可减少计算中的累计误差，也适合于含有机质、可溶盐、亲水性胶体等的土用中性液体测定。如遇有某些土用烘干土测定会影响试验结果时，也可采用风干土或天然土用纯水测定，试验结束后再测定试样的烘干质量。但对含可溶盐的土不能用纯水测定。

本条第 5 款主要列入了短颈量瓶的试验方法。也可用长颈量瓶，在调整瓶内液面时应至刻度处（以下缘为准），并将刻度以上瓶颈内壁附着的水分用洁净脱脂棉或滤纸擦干。

6.3.3 本条给出四个计算公式，其中式 (6.3.3—1) 为土工试验应测颗粒密度的公式。式 (6.3.3—2~4) 是击实试验超颗粒校正必须提供的指标，如果不做击实试验，可不作此计算。

7.2.5 当土中含有小于 2 mm 的土粒，应进行细筛与粗筛联合分析时，其土中某孔径占试样总质量的百分数的计算实例见说明表 7.2.5。

说明表 7.2.5 粗筛与细筛联合分析计算实例

粗筛分析用的 风干试样质量 = 2400 g		小于 0.075 mm 的试样质量占总试样质量的百分数 = 6.7%			
细筛分析用小于 2 mm 试样质量 ≈ 300 g		小于 2 mm 的试样质量占总试样质量百分数 = 80%			
	孔径 (mm)	累积留筛 试样质量 (g)	小于该孔径 试样的质量 (g)	小于该孔径试样 质量百分数 (%)	小于该孔径试样质量占 总试样质量百分数 (%)
粗 筛	40	228	2172	90.5	90.5
	20	240	2160	90.0	90.0
	10	264	2136	89.0	89.0
	5	336	2064	86.0	86.0
	2	480	1920	80.0	80.0
细 筛	1	52.5	247.5	82.5	$82.5 \times 0.80 = 66.0$
	0.5	153.6	146.4	48.8	$48.8 \times 0.80 = 39.0$
	0.25	232.5	67.5	22.5	$22.5 \times 0.80 = 18.0$
	0.075	274.8	25.2	8.4	$8.4 \times 0.80 = 6.7$
	底盘 总计	298.0	2.0		

7.3.3 本规程规定当试样中易溶盐含量大于 0.5% 时, 应经过洗盐后再进行密度计法颗粒分析。因为试样中易溶盐的存在会影响试验结果, 说明表 7.3.3 是试样经过洗盐和未经洗盐用密度计法颗粒分析的结果。

说明表 7.3.3 试样经洗盐和未经洗盐的比较

省市	试样号	易溶盐 含 量 (%)	粉粒含量 (%)		黏粒含量 (%)	
			0.050~0.005 mm		<0.005 mm	
			未经洗盐	经洗盐	未经洗盐	经洗盐
新疆	146	5.26	22.33	6.00	9.08	18.61
	147	14.66	17.23	13.10	40.04	41.17
甘肃	133	2.10	62.20	47.50	1.50	14.00
	142	2.19	54.50	43.50	0.50	14.00
	143	1.11	24.99	22.47	17.99	21.34
	149	5.13	20.79	7.21	5.25	16.52
	156	0.88	41.50	34.70	9.50	18.00

由表比较结果说明：试样经过洗盐者，则黏粒含量高、粉粒含量低；未经洗盐者，则黏粒含量低，粉粒含量高。这与盐的存在影响土粒的分散有关。因此，试验易溶盐大于 0.5% 时应进行洗盐。

洗盐检验，本规程采用电导率法与目测法以供选用，宜优先选用电导率法估测盐的含量 ($\sigma_{20} > 2\,000\ \mu\text{S}/\text{cm}$) 以确定高含盐量对试验计算的影响，目测法虽然简捷，但不能确定土中盐的实际含量。

土粒的分散问题：黏性土的颗粒可分成原级颗粒和团粒两种。对于颗粒的分散标准，有的主张用全分散法，理由是颗粒分析本身应该反映土的各种真实原级颗粒的组成；有的主张用半分散法或微集成法（即不加任何分散剂使其在水中自然分散，以符合实际土末被完全分散的情况），本试验采用半分散法。

国际上对分散剂的品种有采用强分散剂，而不考虑对不同土采用不同分散剂的趋势，以期统一标准和方法。如美国的 ASTM—82 已用六偏磷酸钠加搅拌的方法；英国的 BS 1377—75 用六偏磷酸钠加硅酸钠振荡 4 h 的方法；德国的 DIN 18123—71 用 5% 焦磷酸钠 25 mL 后搅拌 10 min 的方法；日本的 JIS A 1204—90 用偏磷酸钠饱和溶液 10 mL，搅拌 1 min。

国内多数行业标准选用六偏磷酸钠做分散剂但并不完全一致，例如《公路土工试验规程》(JTJ 051—93) 是根据土悬液的 pH 值大小选用不同的分散剂，即：pH < 6.5，加 0.5 mol/L c(NaOH) 20 mL；pH = 6.5~7.5，加 0.25 mol/L c(Na₂C₂O₄) 18 mL；pH > 7.5，加 0.083 mol/L c[(Na₂PO₃)₆] 15 mL；pH > 8.0，加 0.083 mol/L c[(Na₂PO₃)₆] 15 mL。如效果不好，应另加 0.125 mol/L c(Na₄P₂O₇·10H₂O) 14 mL。

以上加分散剂后均稍加振荡，煮沸 40 min。当加焦磷酸钠仍不分散时，可用阳离子交换树脂先交换再加 0.083 mol/L c[(Na₂PO₃)₆] 15 mL。

综上所述，分散剂的选择，既应考虑不同类土的矿物组成，

结晶性质及浓度，又要考虑到试验资料的可比性及国内外交流的需要。根据国家标准和以往对分散剂使用的现状及我国土类分布的多样性，本试验规定采用与国标一致的用4%偏磷酸钠为分散剂。如果遇上用此分散剂不易分散的特殊土类，应按工程实际需要及土类特征选择合适的分散剂。

7.3.4 土粒粒径的计算公式：

$$\text{CGS 制为} \quad d = \sqrt{\frac{1800\mu \cdot L}{(G_s - G_{wT})\rho_{w0} \cdot t}} \quad (\text{说明 7.3.4—1})$$

$$\text{法定单位制为} \quad d = \sqrt{\frac{18 \times 10^4 \times \eta \cdot L}{\left(\frac{\rho_s - \rho_{wT}}{\rho_{w0}}\right) \gamma_{w0} \cdot t}} \quad (\text{说明 7.3.4—2})$$

其中动力黏度 μ 与 η 之间存在以下关系：

$$\mu \cdot L / \rho_{w0} \cdot t = \eta \cdot L / \gamma_{w0} \cdot t \quad (\text{说明 7.3.4—3})$$

则 CGS 制与法定单位制间仅存在 10^{-5} 与 $10^{-6}/9.81$ 的关系，因数相差 10^2 。

本条表 7.3.4—1 颗粒密度校正值和表 7.3.4—3 水的动力黏度值，也可用以下公式计算而得：

1 颗粒密度校正：

$$\text{甲种比重计} \quad C_s = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_{w20}} \cdot \frac{2.65 - \rho_{w20}}{2.65} \quad (\text{说明 7.3.4—4})$$

$$\text{乙种比重计} \quad C'_s = \frac{\rho_s}{\rho_s - \rho_{w20}} \quad (\text{说明 7.3.4—5})$$

2 水的动力黏度

$$\begin{aligned} \eta / \text{kPa} \cdot \text{s} &= \left(\frac{1.814 \times 10^{-5}}{1 + 3.37 \times 10^{-2}t + 2.2 \times 10^{-4}t^2} \right) \frac{\text{g} \cdot \text{s}}{10^{-4} \text{m}^2} \times 9.81 \times 10^{-6} \\ &= \left(\frac{1.814 \times 10^{-5}}{1 + 3.37 \times 10^{-2}t + 2.2 \times 10^{-4}t^2} \right) \times 9.81 \times 10^{-2} \end{aligned} \quad (\text{说明 7.3.4—6})$$

7.3.5 当土中含有小于 2 mm 和小于 0.075 mm 颗粒，必须进行筛析法和密度计法联合分析时，小于某孔径颗粒占总土质量百分数的计算实例，参见说明表 7.3.5。

说明表 7.3.5 筛析法与密度计法联合分析计算实例

小于 2 mm 颗粒占总土质量百分数 = 97%											密度计号: 甲 1	
取小于 2 mm 颗粒的干试样质量 = 30 g												
土粒密度 $\rho_s = 2.78 \text{ g/cm}^3$ 颗粒密度校正值 $C_s = 0.973$ 弯液面校正值 $n = 1.20$												
密度计法	t	T	密度计读数 R_H					L	d	小于某粒径的土质量百分数 (%)	小于某粒径的颗粒质量占总土质量百分数 (%)	
	(min)	($^{\circ}\text{C}$)	R	m_T	G_D	$R_M = R + m_T + n - C_D$	$R_h = R_M C_s$	(cm)	(cm)			
	1	16.5	29.5	-0.9	1.3	28.5	27.73	12.25	0.05	92.4	89.6	
	5	16.5	28.2	-0.9	1.3	27.2	26.47	12.75	0.022	88.2	85.6	
	30	16.8	23.5	-0.8	1.3	22.6	21.99	13.25	0.0091	73.3	71.1	
	120	17.7	16.5	-0.7	1.3	15.7	15.28	14.75	0.0048	50.9	49.4	
	1440	17.1	4.1	-0.8	1.3	3.2	3.11	17.00	0.0015	10.4	10.1	
筛析法	孔径 (mm)		累积留筛试样质量 (g)		小于该孔径的试样质量 (g)		小于该孔径的试样质量百分数 (%)		小于该孔径的试样质量占总土质量百分数 (%)			
	2		—		—		100		97.0			
	1		0.5		29.5		98.3		95.4			
	0.5		1.1		28.9		96.3		93.4			
	0.25		1.5		28.5		95.0		92.2			
	0.075		2.0		28.0		93.3		90.5			
	底盘											
总计												

7.4.2 移液管法颗粒分析适用粒径小颗粒密度大的土。此法虽然不及密度计法简单快速,但可免去密度计的一系列校正,而且测得黏粒含量也比较准确。公路部门曾用移液管法与密度计法在不同温度 ($40^{\circ}\text{C} \sim 60^{\circ}\text{C}$) 下进行比较试验,结果表明黏粒含量接近,偏差不大,并建议采用 50°C ,一般情况下可采用 40°C ,这样可以缩短试验时间。

本条表 7.4.2 土粒沉降时间也可用下式计算而得:

$$t = K^2 \cdot L / d^2 \quad (\text{说明 } 7.4.2)$$

式中 t ——沉降时间 (s);

K ——颗粒计算系数, 由表 7.3.4—4 查得;

L ——沉降距离 (cm);

d ——土粒粒径 (mm)。

8.1.2 测定黏性土的液限试验方法, 原规程列有: 圆锥仪法、联合测定法和碟式仪法三种。实际上前两种都是采用 76 g 质量的圆锥仪, 其区别只是一个用手工放锥, 一个是控制仪器的电磁开关自动放锥。目前, 联合测定仪已有定型产品, 使用上也已普及, 故本次修订时取消了用手工放锥的方法。

国内大多数单位采用圆锥仪测定液限极少用碟式仪。但美国、日本及欧洲国家均采用碟式仪测定液限。为了便于国际交流, 供必要时使用, 故将碟式仪仍列入本规程。

液、塑限联合测定法可替代搓条法测塑限, 但考虑与碟式仪法配套, 仍保留搓条法测塑限。同时, 当用联合测定测得的塑限如有异常时, 可用搓条法进行校正。

8.1.3 本次修订取消了“有机质含量不超过 5%”的限制, 因为在含水率试验中已规定: 有机质含量超过 5% 的土, 应在温度 $65^{\circ}\text{C} \sim 70^{\circ}\text{C}$ 下烘干。

10.0.1 土的最大分子吸水率, 原规程列有三种方法, 即: 吸水介质法; 高柱法和离心含水当量测定法。本次修订取消了前两种方法。其理由是: 这两种方法最早是在水利电力部的《土工试验规程》中列入的方法, 在 1960 年版规程的说明中曾指出: 有一些苏联学者认为, 最大分子吸水量的试验方法没有充分根据, 因而测定指标不能认为具有一定的物理意义。水电部在 1979 年版规程中取消了这两种方法; 在路内应用上述两种方法的单位也极少, 本次修订取消这两种方法。

土的离心含水当量试验是应用离心技术测定土的最大分子吸水率。本方法参照美国 ASTM《岩土工程试验标准》编制。

10.0.4 离心机的性能必须满足: 在整个试验过程中, 离心机内

室的温度能保持 $(20 \pm 1)^\circ\text{C}$ ，在试样的重心处经 1000 倍重力的离心力达 1 h。以往试验中，发现有的离心机旋转 1 h，内室发热，不能保持恒温。因此，选择符合条件的离心机是至关重要的。

11.1.3 相对密度是测定砂、砾、碎石类土密实程度的重要指标，砂的相对密度试验一般只适用于透水性良好的纯砂、纯砾和混合砂砾。当砂类土中粒径 $2 \sim 5\text{ mm}$ 的颗粒较多时，由于受漏斗管径的限制，这些粗颗粒易受到阻塞，影响最小干密度的测定结果，因此，本次修订时对粒径 $2 \sim 5\text{ mm}$ 的颗粒含量加以限制，规定其质量不得大于总质量的 15%；当试样中含有的小于 0.075 mm 的粒径较多时，由于粗细颗粒的分选和细颗粒的喷出，影响最大干密度的测定。美国 ASTM 规定：细粒 ($<0.075\text{ mm}$) 含量不超过 12%，且能自由排水的试料，宜用相对密度做试验。因此，根据实践经验和参照国内外一些标准的规定，对于小于 0.075 mm 颗粒含量加以限制，规定其质量不得大于试样总质量的 12%。对于小于 0.075 mm 颗粒含量超过试样总质量 12% 的土，如要求必须测定此项指标时，可同时进行击实试验和最大干密度试验，取两种方法中的最大测定值。

11.2.1 原规程最小干密度只有漏斗法，本次修订增加了量筒法，该法是在量筒中装入试样后，以慢速倒转的方法求最大体积的一种方法。慢速倒转时，细颗粒下落慢，粗颗粒下落快，粗细颗粒稍有分离现象，但仍达到较松散状态。将漏斗法和量筒法结合起来，并选用两种结果的较大体积值，这样求得最大孔隙比即最小干密度更符合实际情况。

13.1.1 土中毛细管现象是由于土粒与水分子之间的相互吸引力的表面张力而产生的。根据毛细管水上升高度及其毛细管作用的强度，可分为毛细管水最大上升高度和毛细管水强烈上升高度。

毛细管水最大上升高度是指在毛细管的作用下，地下水所能上升的最大高度。

毛细管水强烈上升高度是指对路基工程易发生危害的那部分毛细管水上升高度。

毛细管水上升高度试验，可以求出土内毛细管水的上升高度及其上升速度，用以估测地下水位升高时，某些地区是否会变成沼泽地或盐碱化，建筑物有无被浸湿的可能性等问题，并用来推算降低地下水位的必要深度。铁道第一勘察设计院在新疆和青海等盐渍土地区对毛细管水上升高度规律的研究证实，在确定路基最小高度时，只需考虑对路基有害的那一部分毛细管水活动范围，即毛细管水强烈上升高度，就能满足路基不受次生盐渍化和冻胀的要求。

13.1.3 目前测定毛细管水上升高度的方法可以综合为两类：正水头作用和负水头作用。试验原理都是根据毛细管水的弯液面所能支持的水柱重力而计算出毛细管水的上升高度。

直接观测法为正水头作用的试验法，该法是使土中毛细管水弯液面支持上升的水柱；土样管法为负水头作用的方法，该法是使土中毛细管水弯液面支持下降的水柱。

毛细管水强烈上升高度对路基工程的影响较大，以塑限作为毛细管水强烈上升高度的界限是因为含水率小于塑限时，对路基不发生危害。

14.1.3 本条是对两种试验方法适用范围的原则规定。日本的JIS规定：常水头渗透试验适用于渗透系数较大的材料，即 $k = 10^{-2} \sim 10^{-3} \text{ cm/s}$ ；变水头渗透试验适用于渗透系数较小的材料，通常指 $k = 10^{-3} \sim 10^{-6} \text{ cm/s}$ 。这就是说，上述两种方法仅适用于 $k = 10^{-2} \sim 10^{-6} \text{ cm/s}$ 。对此范围以外的极高和极低的渗水性的土，应采用其他特殊方法或通过间接的推算求得渗透系数。

14.1.4 试验用水应预先经过脱气处理，因为水中溶有空气，试验期间，空气从水中游离出来，在试样中形成气泡，堵塞土空隙，致使渗透系数降低。另外，若水温低于试样温度时，水进入试样中因温度升高而分解出气体，这样，也会影响渗透系数的测定结果。因此，试验不仅要用脱气水，还要求水温比室温高出

3℃~4℃。

14.2.3 土的渗透系数大小与水的动力黏度 (η) 密切相关, 而水的动力黏度随温度的升高而减小。因此, 在任意温度条件下测定的渗透系数应校正为标准温度下的渗透系数。关于标准温度, 目前国外也不统一, 美国采用 20℃, 德国采用 20℃ 或 10℃, 日本采用 15℃, 前苏联用 10℃。以 20℃ 作为标准的理由, 可由标准温度的定义来解释, 以 10℃ 或 15℃ 为标准的理由是因为地下水的温度在 10℃~15℃ 左右。在 TBJ 102—87 版中, 采用了以 10℃ 为标准。本次修订, 经与国标及国内其他行业标准协调, 修改为 20℃ 作为标准温度。

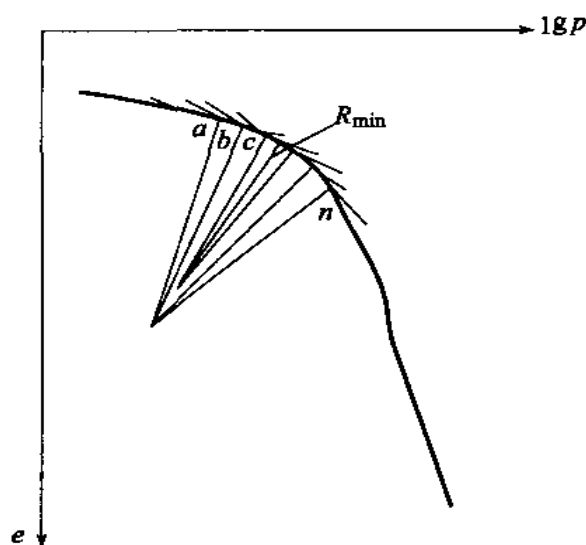
14.2.4 对一个试样多次测定的取值问题: 原规程规定“在测得的结果中取 2 个以上允许误差范围以内的数值, 求取平均值, 作为试样在该空隙比 e 时的渗透系数。允许误差范围: 当 $k = A \times 10^{-n}$ 时, A 值最大与最小差值不大于 2。本次修订参考了水利部六个单位的 467 组试验结果 (当 $k = A \times 10^{-n}$ 时, n 值不变, A 的差值小于 1.0 的占 66.3%, 小于 2.0 的占 82.6%, 大于 2.0 的占 17.4%), 将本条修订为: 在连续测定六次以后, 取同次方的 A 值最大与最小的差值不大于 2.0 的 3~4 个结果取平均值, 该规定也和《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999) 相一致。

15.1.3 在修建铁路工程时, 需采集大量土样做高压固结试验以测定地基土先期固结压力和压缩指数。如按标准固结试验方法, 试验时间长, 不能满足实际需要。因此, 进行了“12h 快速固结法确定地基土先期固结压力试验方法”专题研究。通过对天津地区 45 组一般饱和黏土、粉质黏土、粉土三种土样进行 12h 快速固结试验与 24h 加荷一级的标准固结试验的对比试验, 并对 12h 快速固结试验结果进行次固结增量法修正或 K 值修正, 所得结果与标准固结试验结果基本一致, 可以满足铁路工程应用的精度要求。

15.2.3 本条第 8 款绘制 $e-\lg p$ 关系曲线时, 应注意选择合适

的纵横坐标的比例，一般在纵轴上取 $\Delta e = 0.1$ 时的长度与横轴上取一个对数周期长度之比值宜为 $0.4 \sim 1.0$ 。当土样极软或极硬时，根据土的具体情况，可选择小于或大于上述范围的纵横坐标比例。

本条第 9 款 $e - \lg p$ 曲线最小曲率半径的确定可参照下列方法：在说明图 15.2.3 所示的曲线弯曲段范围内，用分规分割成若干均等小段如图 1 中 ab 、 bc ……，过 a 、 b 、 c ……各点分别做切线，同时过上列诸点做各切线的垂线，从中选出两条相邻的最短垂线段，联结它们对应的两条切线的两个切点成一线段。该线段的中垂线与最短垂线段交点 O ，即为所求最小曲率半径 $R_{\min}$ 点 O ，从点 O 到中垂线的垂足线长即为 $R_{\min}$ 的长度。



说明图 15.2.3 求 $R_{\min}$ 示意

本条第 10 款关于固结系数 C_v 的确定方法。常用的有时间平方根法、时间对数法和时间对数坡度法。实践证明：用时间对数法确定理论零点误差较大，如果按时间对数坡度法确定 t_{68} ，所求得的 C_v 值误差就更大。因此，本规程列入了时间平方根法和时间对数法两种。在应用时，宜先用第一种方法求 C_v ，如不能准确定出起始直线段，可再改用第二种方法。

15.3.4 研究结果表明黏性土主固结完成时间一般在 $2 \sim 4$ h，某

些饱和软黏土主固结时间大于 4 h。在各级压力下,黏性土次固结系数 C_a 与相应压力下的压缩指数 C_c 之间存在着线性关系: $C_a/C_c = a$ (常数), 通常情况下 a 值在 0.02~0.10 范围内。根据这种关系及应力-应变与时间压缩特性的理论, 导出了次固结修正公式。

插值计算中由于个别节点的误差会影响到 C_{ci} 值的求取, 故在编写三次样条曲线插值计算程序时, 应适当加入对 $e-\lg p$ 曲线计算的人工干预手段。

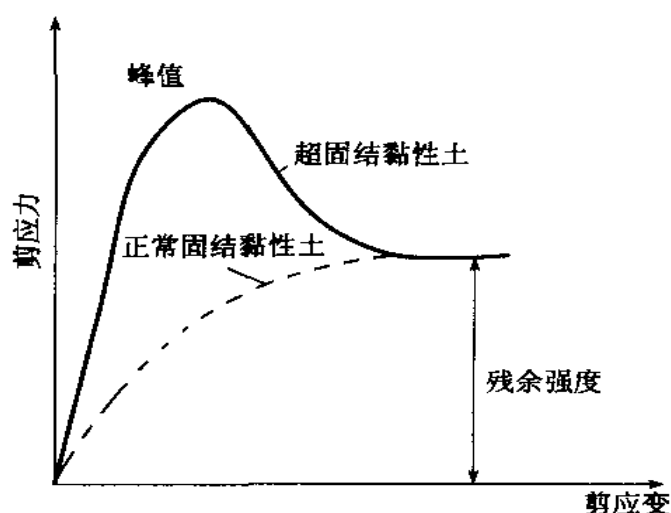
15.3.5 12 h 快速固结试验结果由于修正计算中 C_{ci12} 的人工计算难度较大, 在计算条件有限, 无法采用电算等自动化手段处理需人工计算制图时, 可采用 K 值修正法进行修正, 其误差也能够满足铁路建设精度要求。

16.1.3 关于直接剪切试验的适用条件。原规程规定: “在选用试验方法时, 应使试验方法反映土的特性和模拟现场土体剪切条件, 并与分析计算方法相适应。对饱和软黏土只适用于慢剪法试验。”这一规定比较原则和笼统, 现修改为: “本试验适用于测定黏性土和粉土的抗剪度参数 c 和 ϕ 及土颗粒粒径小于 2 mm 砂类土的抗剪强度参数 ϕ ”。并限制“快剪”适用于渗透系数小于 10^{-6} cm/s 的细粒土。考虑到部分黏性土、粉土及大部分黄土呈坚硬或硬塑状态时, 在快剪试验过程中不会或较少造成孔隙水流失, 对试验结果影响不大, 这类土仍可采用直接快剪试验。不属于此情况时, 应采用三轴仪试验。

16.2.2 本条第 5 款是对剪切速率的规定。剪切速率是从两个方面影响土的强度: 一方面是剪切的快慢影响试样的排水固结强度; 另一方面是对黏滞阻力的影响, 剪切速率越快黏滞阻力越大, 强度也越高; 反之亦然。原规程“以 0.8~2 mm/min, 的均匀速度对试样进行剪切”, 变化范围很宽, 特别是 2 mm/min 的剪速太快, 现将剪切速率修改为: 0.8~1.2 mm/min, 基本与国内其他土工试验标准(规程)一致。

17.0.1 在黏性土中, 坚硬的超固结黏土的剪应力与剪应变曲线

常呈现较大峰值，超固结比 OCR 愈大，其峰值强度与残余强度的差值愈大；正常固结黏性土或软黏土，则不出现峰值，如说明图 17.0.1 所示。



说明图 17.0.1 峰值强度与残余强度

17.0.2 目前室内测定残余强度的仪器和方法主要有：三轴压缩仪做三轴切面剪、用环剪仪做环形剪切试验、用直剪仪做排水反复直接剪切试验三种方法，本规程只列入最后一种方法。原规程此项试验的名称为“残余强度试验”，本次修订，为了与国内各土工试验方法标准、规程协调一致，将名称改为“排水反复直接剪切试验”。

17.0.4 原规程采用的仪器为英国 ELE 生产的直剪/残剪仪，在路内只有少数单位配有这种设备。本次修订改为“应变控制式反复直剪仪”，该仪器在国内有定型产品，易于选购和使用。

17.0.6 本条第 6 款是关于剪切速率问题。本次修订对粉土、粉质黏土、低塑性黏土的正方向剪切速率改为不超过 0.06 mm/min (原规程为 0.065 mm/min)；反方向剪切速率原规程未做规定，现规定为小于 0.6 mm/min 。修改后的剪切速率与国家标准《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999) 取得了一致。

18.1.3 三轴仪在试样剪切过程中能严格控制排水条件，所以试验方法有不固结不排水剪 (UU)、固结不排水剪 (CU 和 $\overline{\text{CU}}$)、

固结排水剪 (CD) 三种。根据土的性质, 不同工程要求和所采用的稳定性分析方法等选用其中的试验方法。例如: 当建筑物施工速度快、土的渗透系数较低、排水条件又差时, 可采用 UU 试验; 为了求取总抗剪强度或有效抗剪强度参数, 可采用 CU 或 $\overline{\text{CU}}$ 试验; 为了求取排水有效抗剪强度指标, 所得成果作为确定变形模量、剪切模量等变形指标时, 可采用 CD 试验。

18.2.2 本条第 2 款关于孔隙压力量测系统, 除了不能残留气泡外, 应有一定的灵敏度, 量测时不允许孔隙水流动。试样内孔隙水的流动会导致: 一是不能准确的测定孔隙压力值, 尤其在低压缩的土中显得特别重要; 其次是在透水性小的土中会发生时间滞后现象, 使得读数难以稳定。本规程规定孔压测量系统的体积系数不能大于 $1.5 \times 10^{-5} \text{ cm}^3/\text{kPa}$ (即当零位指示器的毛管直径为 0.1 cm 时, 孔隙压力测量系统在 500 kPa 压力下, 毛管水银面上升不超过 9 mm)。这一数值与英国帝国学院、挪威土工研究所、美国垦务局等使用仪器的体积系数基本一致。

对于孔隙压力系统采用的传感器, 要求体积系数小, 线性误差和重复性误差小, 时漂要满足试验要求。传感器体积系数的测定, 可采用精密的双套体变管的方法, 将传感器接在体变管的量测系统中 (体变管内管更换成毛细管), 排除气泡, 用调压筒加压, 记下压力值与体积变化值, 作出压力与体积的关系曲线, 即可求出传感器的体积系数。

18.5.1 需测孔隙压力的固结不排水剪为了加快试样的固结速度, 并在剪切时使试样内孔隙压力能够得到均匀传递, 规定在试样周围贴湿滤纸条。一般用上下均与透水板相连的滤纸条。如需对试样施加反压力, 滤纸条的上下端应与透水板断开, 以防止反压力与孔隙压力测量直接连通。

18.5.2 在绘制应力圆时, 关于试样剪切破坏点的确定, 一般以主应力差与轴向应变关系曲线的峰值或稳定值作为破坏点, 如无峰值或稳定值时, 则以应变 15% 的主应力差为破坏点。或以有效主应力比 (σ_1'/σ_3') 为曲线的峰值作为破坏点。

如以上两种方法不能确定破坏点时,可考虑采用有效应力路径曲线选定破坏点;可以选曲线上密集点或转折点作为破坏点;也可以应力路径包线的切点连成直线确定。

18.7.1 对该方法“适用的土类”问题进行研究,得出以下结论:

(1) 通过三轴常规方法与“一个试样多级加荷试验”两种方法对一般黏性土和粉土(土样取自上海地区、兰州地区和兰武线各工点,共47组)进行UU对比试验,其结果:一个试样多级加荷试验的强度指标黏聚力略小,内摩擦角略大。通过对两种方法试验结果的方差和均值进行数理统计分析(F检验和T检验),说明两种试验方法测得的 c 、 ϕ 值无显著差异。

(2) 同样用两种方法分别对21组黏土和粉土(土样取自天津地区和兰州地区)进行CU对比试验,其结果:一个试样多级加荷试验的总应力强度指标黏聚力略小、内摩擦角略大,两种试验方法的有效黏聚力和有效内摩擦角十分接近。经过F检验和T检验,说明两种方法测得 c 、 ϕ 和 c' 、 ϕ' 值均无显著差异。

(3) 通过对比试验认为:一个试样多级加荷试验在一般黏性土和粉土中进行UU、CU试验是适用的。但一个试样的代表性低于多个试样的代表性,因此,一个试样多级加荷试验只限于无法切取3~4个试样的情况下采用,并不建议替代作为常规方法采用。

18.7.2 一个试样多级加荷试验的破坏点确定应与多个试样的破坏相一致。但是对于软黏土或塑性大的黏土,有时因破坏点不明显,如根据峰值或稳定值的近似点作为施加下一级周围压力标准也是较困难的。因此建议按预先设定的轴向应变,施加各级周围压力:第一级轴向应变至16%;第二级轴向应变至18%;第三级轴向应变至20%。如果轴向应变达到15%~20%时,还未出现峰值或稳定值时,说明此试样不适合用一个试样进行多级加荷试验。

18.7.3 固结不排水剪中因第一级周围压力下所求得土的强度中

已包含了原状土的固化黏聚力、原始黏聚力和摩擦分量，而在以后各级周围压力下固化黏聚力已失去，所得的强度仅仅是反映出了后两种之和。故第一级周围压力下所求得的摩尔圆要大一些，而且会与后面两级的摩尔圆的切线相割。

19.0.1 无侧限抗压强度是试样在侧面不受任何限制的条件下所承受的最大垂直压力。对本试验适用的土类应具备两个试验条件：(1) 在不排水的条件下进行试验，要求有一定的应变速率，必须在 8~20 min 时间内完成试验。(2) 要求在自重条件下能竖立起来不发生变形。这样就对中、低塑性的黏性土进行本试验时加以一定的限制。

19.0.3 无侧限压缩仪有应力控制式和应变控制式两种。前种仪器的使用比较复杂，常常会出现试样受到急剧破坏的情况。除了用于蠕变试验等特殊情况以外，一般不采用这种试验仪器。

20.0.2 轻型击实单位击实功 600 kJ/m^3 和重型单位击实功 2700 kJ/m^3 均为大约数，与实际计算值相差为 7.8(Q1 法)、2.7(Q2 法)、38.2(Z1 法) 和 15.1(Z2 法) kJ/m^3 。百位数取整便于记忆，利于书面和口头表述。

20.0.3 根据国内外经验，轻型击实和重型击实分别增加一种和两种方法，使两种击实适用范围有所拓宽，重型击实用 Z1 法时，可大幅度减少试样用量和试验人员工作量。击实仪基本参数改为与国家标准相一致，便于技术管理。最大粒径原为 19.1 mm，按标准筛孔径改为 20 mm。

20.0.4 击实结果校正计算时，大于最大粒径的颗粒含量，国内标准均为上限 30%，但对下限有的定为 3%，有的未做规定。本标准参照美国标准 1998 年版 ASTM D4718 下限定为 5%。

20.0.6 试样制备方法不同，所得击实试验结果也不同。通过对高含水率的黏性土进行“干法”与“湿法”制样做击实试验的比较，其结果：最大干密度前者大，后者小；最优含水率前者小，后者大。因此，对高含水率的土宜选用“湿法”制样；对于非高含水率的土则选用“干法”制样。试样制备过 5 mm、20 mm 或

40 mm 筛, 不受击实类型限制。

20.0.7 “周围锤击一遍后, 中间再加一击”的规定是因为用 $\phi 102\text{ mm}$ 击实筒周围锤击一遍时中心点始终处于边缘界面上, 用 $\phi 152\text{ mm}$ 击实筒时中央区 $\phi 50\text{ mm}$ 属空白, 因此, 中间有必要加一击。

20.0.8 式 (20.0.8—3) 中 ρ_a 注释为“毛体积密度”。原标准中相应符号 (G_{a}) 注释为“饱和面干比重”。据美国标准 ASTM C127—88 给出的定义, 毛体积密度和饱和面干密度分别为颗粒的干密度和湿密度。美国和我国击实试验现行标准 (包括国际在内), 校正计算公式均采用美国学者 Holts 等人早年提出并列入 ASTM D4718 中的同一干密度校正计算公式。该公式中相应符号 (G_M) 注释为“bulk specific gravity”, 此词中文确切译义应为“毛体积密度 (比重)”。

试样中粒径大于 5 mm 或 20 mm 的颗粒含量超过 30 % 时, 击实方法 Q1、Z1 和 Z2 分别改用击实方法 Q2、Z2 或 Z3, 并做相应校正计算。

100 % 饱和曲线位于击实曲线右侧, 且于右侧曲线大致平行, 理论上, 击实曲线不能与饱和曲线相交, 否则, 应检查颗粒密度、称量、计算、试验方法或绘图是否有误。

21.1.1 本试验的编制主要是参照日本 JISA 1215—1995 年修订版《公路的平板荷载试验方法》和德国 DIN18134《平板荷载试验》—1993 年修订板, 并吸收近几年的科技发展成果和施工实践经验, 同时针对在实际应用上存在问题予以修正, 以便其能适合今后施工的需要。

K_{30} 平板荷载试验是使用直径为 30 cm 的荷载板通过试验求出地基反力系数, 以标准值 K_{30} 表示。我国自 1985 年引用以地基反力系数 K_{30} 值作为路基填料质量的检测控制指标以来, 在铁路系统均以“地基系数”为基本用语。因此, 为了统一起见, 此次编制中仍沿用“地基系数”作为基本用语。并明确用语定义, 即“地基系数”系指以某一下沉量除与其相对应的荷载强度所得

出的值，以标准值 K_{30} 作为标记。

所谓下沉量是指荷载板在路基、基床层面上受荷载引起的中心垂直变形尺寸。其中包含弹性变形和塑性变形两部分。

21.1.2 动态平板载荷试验是通过落锤试验和沉陷测定来直接获取土体动态特性的承载力指标“动态变形模量”值的，以 E_{vd} 表示，其计量单位为 MPa。本试验主要是参照德国 1997 年颁布的《道路施工岩土试验技术规程——采用轻型落锤仪进行动态平板载荷试验》(TP BF-StB Teil B8.3) 和德国 1997 年的补充修订版《轻型落锤仪在铁路施工中的使用准则》(DR-A2015)，并结合铁道部 1999 年科技研究开发计划项目 (99G13) “秦沈客运专线路基关键技术研究——施工质量监控测试仪器的研制”的科技成果而编制的。通过对秦沈客运专线及京沪高速铁路试验段的细粒土、粗粒土、碎石土和级配碎石等四种土共 800 多组的动态变形模量 E_{vd} 与地基系数 K_{30} 的现场对比试验，其结果表明， E_{vd} 与 K_{30} 之间具有一定的相关性，动态平板载荷试验也可作为一种快速试验方法。

21.1.3 K_{30} 平板载荷试验和 E_{vd} 动态平板载荷试验仪适用的土体颗粒最大粒径尺寸是由荷载板直径决定的。本规程规定“可用于不大于荷载板直径 1/4 的各类土和土石混合填料”。落锤对土层的影响深度是仪器的一项重要指标，它是决定被检测路基每层填土压实检测厚度的主要因素。动态变形模量测试仪测试影响深度范围的确定，是通过在土体中各种深度处理设压力盒的试验方法，根据能量沿土层深度方向消耗衰减的程度来确定的，其试验数据见说明表 21.1.3。由表测试数据可以说明，锤击能量的大部分（约 70%）消耗在 400 mm 厚的土层内。因此，可以得出落锤的影响深度为 400~500 mm 的结论，它与 K_{30} 平板载荷试验仪以及德国 1997 年的补充修订版《轻型落锤仪在铁路施工中的使用准则》(DR-A2015) 一致。

说明表 21.1.3 测试作用深度影响范围试验数据

土压力盒编号	埋入深度 (mm)	示波器记录的幅值 (mm)
9077	0	230
9001	100	150
9077	150	200
9001	200	105
9001	300	75
9077	400	66
9001	500	48
9077	600	33

21.1.4 K_{30} 试验的场地和环境条件是此次编制中需重点解决的问题。从广深准高速铁路, 秦沈客运专线施工现场对 K_{30} 值的测试情况, 普遍反映存在的问题是: 同一测试地点不同时间测出的 K_{30} 值离散性很大, 重复性差, 缺乏可比性。从而给质量检测评定工作造成很大困难。因此, 根据铁建技字 (99) 第 12 号“ K_{30} 测试精度影响因素研究课题报告”中的初步结论, 做以下规定:

(1) 被测土体表面状态是影响 K_{30} 测试精度的主要因素之一。为此, 本条第 1 款是依据德国 DIN18134 (1993 年) 规定, 对于水分挥发快的均粒砂, 表面结硬壳, 软化, 或其他原因表层扰动的土。必须下挖后试验, 下挖深度限定在荷载板直径 D 的范围内。本条第 3 款规定了对被测面的要求及为了保证荷载板与测试面的良好密贴接触可采用的处理方法。

(2) 被测土体含水率对测试结果也起主要影响作用。根据室内模拟试验, 说明 K_{30} 值与含水率之间存在着类似于压实度与含水率之间的关系。 K_{30} 最大值时的含水率要低于压实度的最佳含水率, 而且随着含水率的增加 K_{30} 值将急剧下降。因此, 本条第 2 款规定平板荷载试验, 宜在填料层压实后 2~4 h 内进行试验, 主要是为了防止填层碾压完成后, 表层含水率的变化, 而影响测试结果。对于级配砾石 (碎石) 填料, 特别是砾石级配料施工现

场为了易于压实，而将其含水率调高，而且在碾压过程中，由于表层始终是松散状态，因此规定需待凉干后进行测试。但需要凉干到什么程度才能测出该层的真实值，还需要通过测定其含水率加以确定，还有待研究。根据国外资料介绍，土体的含水率对其强度测定有极大的影响，因此，测定时土体的含水率变化范围应是在其使用期间所能保持的范围。

(3) 此次对 K_{30} 平板载荷试验的有效深度未明确规定，但根据国内外资料表明，试验载荷所涉及深度约为荷载板直径的 1.5~2 倍，因此，在实际试验过程中应加以注意。

21.2.1 鉴于目前尚未制定 K_{30} 平板荷载试验设备标准的情况下，为了规范施工现场使用的平板荷载仪，参照国外 41-T121 和 1-T121/A 平板荷载试验仪（参见说明图 21.2.1—1、说明图 21.2.1—2 所示），结合国内现有标准，提出有关仪器设备的要求。其中基本要点是：

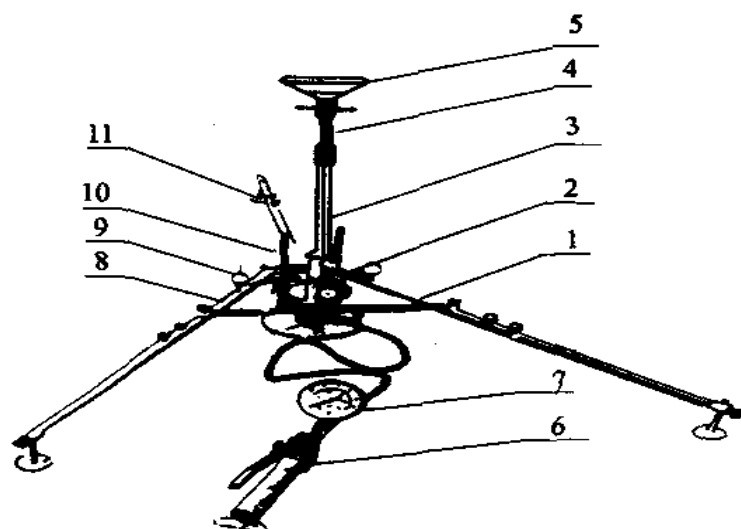
(1) 为了不影响检测精度，本条第 2 款第 1) 项规定千斤顶与手动油泵应为分体式，采用高压细管连接，千斤顶顶端应设置球铰，并配有不同长度的加长杆件，以便与各种不同高度的反力装置相对应。

(2) 强调了对荷载板下沉量的测量，应使用 3 只测表在距荷载板中心点相等距离的三点上测定荷载板平面法线方向的位移。以便于求出其中心点的沉降值。这是因为早期引进的日本平板荷载试验装置上只配置两只百分表，而实际上却忽略了其使用说明，按照条文说明中“4.4 (3)：用于测定下沉量的位移计，应沿荷载板的周边等分设置 2~4 个，如果使用 2 个位移计，则应以荷载板下沉不出现偏歪为前提。”

(3) 本条第 2 款第 5) 项规定了可用测力计直接测定加载荷载，早期日本使用的平板荷载试验装置，是将测力计（压力环）设置在千斤顶顶端，位于球铰座与油缸活塞杆之间，用以直接测定加载荷载，其目的是可以减少由于测定油压受油缸内摩擦阻力影响所产生的系统误差。最近国内研制的数据采集系统，亦将测

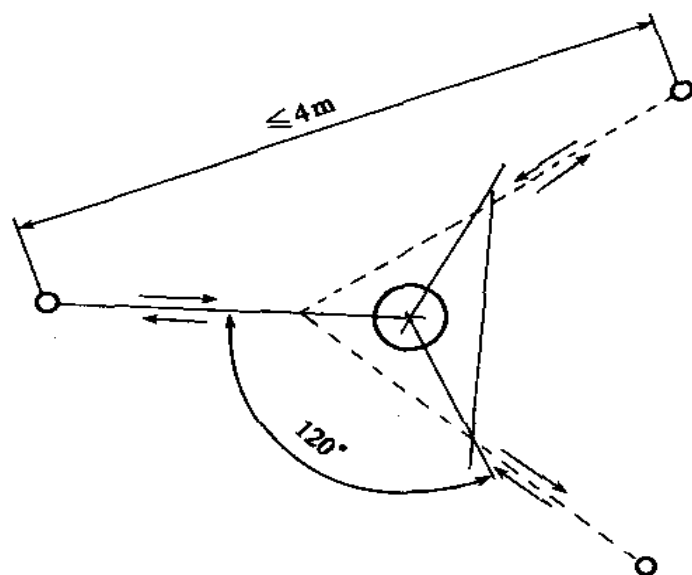
力计（压力传感器）设置于荷载板的千斤顶底座上，用于直接测定荷载板承受的荷载。

（4）为了保证测桥有足够的刚度，规定在 4 m 时，其截面系数不得小于 8 cm^3 。



说明图 21.2.1—1 平板荷载仪组成示意

1—荷载板；2—千斤顶；3—加长杆；4—调节丝杆；5—球铰座；6—手动液压泵；
7—油压表；8—测桥；9—百分数；10—仪表支架；11—测桥支撑座



说明图 21.2.1—2 测桥布置

21.2.3 对于试验终止的确定,日本规定试验下沉量应该达到 15 mm 为止,德国规定当使用直径 762 mm 荷载板试验,下沉量应达到 13 mm 或荷载强度达到 0.2 MPa 为止。我国亦规定试验下沉量应达到 15 mm 为止。但实际上,地基系数是直接按不同领域规定的下沉量基准值(1.25 mm)进行计算。而且,正常情况试验的下沉量也不可能出现所规定的值,因此,此次规定“试验可以进行至下沉量超出其领域内规定的基准值为止”。这在实用上不会有任何问题。

为了便于从仪表上读取读数,按照德国规定预加荷载强度为 0.01 MPa 和每级荷载强度增量为 0.04 MPa。

21.2.4~21.2.5 试验结果计算和记录,其中表 21.2.5 中荷载强度 σ 与油压表 $P_{\text{压}}$ 的关系应根据本规程第 21.2.2 条仪器校验标定得出,即 $\sigma = bP_{\text{压}} + a$ 。地基系数计算所使用下沉量基准值为 1.25×10^{-3} m。

21.2.6 随机误差的校正,主要是针对由于土体表面状态的影响所出现的偶然误差进行修正,并列举两种修正方法,其中作图法修正,需要有一定的实践经验才能分析判断。因此,为了便于施工现场使用,最好是通过使用 K_{30} ADJUST 修正程序进行修正。

21.3.3 仪器要求导向杆与荷载板保持垂直,要求测试面与荷载板底面完全密贴,在实测中,可以用少量中细砂来补平。为了防止荷载板振动时将铺垫的细砂喷出,也可以用潮湿的细砂。

本试验中“进行三次预冲击”是依据德国 1997 年的补充修订版《轻型落锤仪在铁路施工中的使用准则》(DR-A2015)中规定。试验前首先进行三次预冲击,目的是消除可能产生的塑性变形的影响,并可使荷载板下产生平整面。

21.3.4 根据某种条件下同类性质土的 E_{vd} 与 K_{30} 的相关关系,可以推算出测试点相应的 K_{30} 值。相关关系见说明表 21.3.4。

说明表 21.3.4 中的相关关系是通过采用“DBM 型动态变型模量测试仪”和“ K_{30} 平板载荷试验仪”对秦沈客运专线路基的 800 多组对比试验数据统计得出的,其中细粒土、粗粒土、碎石

土和级配碎石等四类土各 180 组。对于某一具体工程，在有条件的情况下，应该通过 E_{vd} 与 K_{30} 的对比试验，来确定 E_{vd} 值与 K_{30} 值相关关系，并在应用中进一步积累试验数据，不断修改和完善。

说明表 21.3.4 E_{vd} 与 K_{30} 的相关性参考表

土 的 种 类	相 关 系 数	相 关 关 系
细粒土	0.926	$K_{30} = 3.45 E_{vd} + 0.1$
粗粒土	0.913	$K_{30} = 3.33 E_{vd} + 6.1$
碎石土	0.915	$K_{30} = 3.10 E_{vd} + 14.3$
级配碎石	0.915	$K_{30} = 3.49 E_{vd} + 14.4$

22.3.2 本条第 2 款给出了土的饱和自重压力计算公式。在进行试验时土的密度可以用环刀法直接测定，而用烘干法测定天然含水率则需要很长时间才能求出结果，使得在制备试样时，不能当即计算出土的饱和密度和自重压力。所切的环刀试样存放过久就很难保持其天然含水率不发生变化。黄土的湿陷性对土的含水率极为敏感，一般要求在切取环刀试样后应立即进行湿陷性试验。为了解决上述矛盾，铁道第一勘察设计院通过对甘肃、青海黄土地区大量试验资料统计，饱和自重压力 P_z (kPa) 与取土深度 H (m) 有如下相关关系：

$$P_z = 18H$$

用此关系式可缩短计算饱和自重压力的时间。

根据张苏民勘察大师的研究成果“黄土的饱和自重和饱和密度”（见《岩土工程技术》1999 年第 3 期），如果将黄土的颗粒密度取值 2.71 g/cm^3 ，则本规程中式 (22.3.2—2) 可简化为

$$\rho_{sri} = 0.686 \frac{\rho_{0i}}{1 + 0.01 w_{0i}} + 0.85 \rho_{wd}$$

(说明 22.3.2—2)

在实际工作中也可将不同的天然密度和天然含水率按上式计算出饱和密度并列成表。试验时可估计土的天然含水率（估计误

差限值要求不大于 1.8%~3.0%), 如估计天然含水率无把握, 可用本规程中“酒精燃烧法”和“碳化钙减量法”测定。然后, 按上式或列表很快求得饱和密度, 可立即计算出饱和自重压力。

22.4.2 关于湿陷起始压力的测试方法, 原规程采用“三点单线法”, 即切取 3 个环刀试样, 一个测湿陷系数, 一个测自重湿陷系数, 再一个样选择合适的压力 (一般在 50~100 kPa 之间) 按测自重湿陷系数的方法进行试验, 根据这三个试样测得的湿陷系数确定起始压力。该方法存在的主要缺点: 一是三个试样的试验方法不统一, 其中一个样按正常加荷法试验, 另两个按快速加荷法进行试验; 二是插入点选择的“合适”压力不一定符合实际; 三是按三个点绘制的湿陷系数与压力关系曲线因点数少而不太规律。故本次修订取消“三点单线法”而改用“单线法”或“双线法”, 与国家标准《湿陷性黄土地区建筑规范》的试验方法相一致。

23.0.3 量筒的体积如果不够准确应进行校正, 否则会影响计算结果。

23.0.4 本试验操作不统一, 将导致不同的试验结果。因此, 对粒径的要求、试样的加入时与量土杯的距离、悬液搅拌的次数以及加凝聚剂的浓度、数量等都必须严格执行本试验的规定和操作。膨胀稳定标准各行业有所不同, 国标《土工试验方法标准》、地矿部《土工试验规程》规定读数时间为每隔 2 h 读数一次, 两次读数差值不大于 0.2 mL; 冶金部、交通部的《土工试验规程》规定每隔 5 h 读数一次, 两次读数差值不大于 0.2 mL, 两者读数差值一致, 但读数间隔时间不同。本试验保持原来采用每隔 5 h 读数一次, 两次读数差不大于 0.2 mL 的规定。

23.0.5 自由膨胀率的符号, 各行业表示不尽相同, 国家标准用 δ_{ef} , 地矿、冶金标准用 δ_{ef} , 交通标准用 S_F 表示, 本规程与本行业《铁路工程地质勘察规范》统一, 仍用 F_s 表示。

26.0.1、26.0.2 收缩试验与缩限试验两者区别主要是目的不同。收缩试验是为了测定原状土试样和击实土试样在自然风干条

件下的线缩率、体缩率、缩限及收缩系数等指标；而缩限试验是为了确定土的界限含水率—缩限，适用于含水率等于或略大于液限的扰动土试样。因而，试验方法也不同。

26.0.4 本条第3款是试样收缩过程中测读变形及质量的时间及次数的有关规定。原规程规定：试验初期，每隔1~4h测读变形和称量一次，2d后，每隔8~12h测读一次，当两次量表读数不超过0.02mm时再继续测读两次以上，直至基本不变为止。本次修订，采取与国标《土工试验方法标准》(GB/T 50123—1999)相一致的读数时间及次数。即试验初期每隔1~4h测记百分表读数一次，2d后，每隔6~24h测记百分表读数，直至两次读数不变为止。每次测读百分表读数后应称试样质量。还规定在收缩曲线的Ⅰ阶段内读数不能少于4个。与国标规定一致，有利于收缩试验数据的对比分析。

26.0.5 本条第5款是按作图法求缩限。由于原状土和用扰动土按要求密度制备的试样不一定是饱和的，为符合缩限定义，该指标借绘图法（如条文中图26.0.5）求得。同时，按定义：在收缩过程中，缩限是体积不再变化时所对应的含水率。但在实际试验中，很难确定这一点。因此，通常用Ⅰ、Ⅲ阶段直线延长线的交点E所对应的含水率代替。

27.2.2 原规程列有“厚层（网）状冰构造冻土试样”的含水率测定。考虑到这种类型的冻土，不需要测含水率，用肉眼鉴定就可以判定它属于饱冰冻土，就可确定其工程性质。故本次修订予以删除。

27.2.4 关于冻土总含水率的平行试验差值。由于冻土中冰、水成分分布极不均匀，其平均差值往往比融土的大。对于整体状冰构造的冻土，含水率的平行差值大多数在3%以内，只有个别试样超过3%。因此表27.2.4规定的平行差值，是参照一般土含水率平行差值的要求确定。

对于层（网）状冰构造的冻土，如采取一般取样方法进行含水率试验，当含水率小于液限时，其平行试验的差值一般在

5%~10%。当含水率大于液限时，平行试验的差值超过10%，有的竟达20%以上。因此，对这种类型的冻土，必须采用平均试样法，其平行差值可控制在1%以内。

27.3 联合测定法是采用一个试样，同时测定冻土密度和冻土总含水率两个指标。其原理是通过量测已知质量的试样所排开水的体积来求得冻土试样密度，并利用土的颗粒密度来计算出冻土的总含水率。计算时，水的密度可忽略温度的影响，近似取 1 g/cm^3 ；土的颗粒密度，有条件时应进行实测，当没有实测值时，可近似的取同类土的平均值或根据各地区的经验和统计资料确定。例如：砂取 2.66 g/cm^3 ，粉土取 2.70 g/cm^3 ，粉质黏土取 2.72 g/cm^3 ，黏土取 2.74 g/cm^3 。或西北地区按建立的塑性指数与颗粒密度的关系（参见说明表27.3.4）确定颗粒密度。

说明表 27.3.4 塑性指数与土颗粒密度关系

塑性指数	3.6~ 5.8	5.9~ 7.9	8.0~ 9.0	10.0~ 11.8	11.9~ 13.7	13.8~ 15.8	15.9~ 18.3	18.4~ 21.4	21.5~ 27.0	>27.1
颗粒密度 (g/cm^3)	2.68	2.69	2.70	2.71	2.72	2.73	2.74	2.75	2.76	2.77

28.2.2 本条第1款测定试样体积使用的煤油，因品种不同其密度不同，同一品种的煤油，密度也随温度而变化。因此，在正式测定密度之前，对所使用的煤油应控制在不同的负温达到稳定后测其对应的密度，并绘制煤油密度与温度的关系曲线。在进行冻土密度试验时，只需测量煤油的温度（应与冻土试样温度接近），就可直接从曲线上查得该温度下的煤油密度。测定煤油密度宜选用刻度范围 $0.760\sim0.840\text{ g/cm}^3$ 、分度值为 0.001 g/cm^3 的液体密度计。

29.1.1 本试验是根据《秦沈客运专线铁路路基施工技术细则》（试行）的要求，参照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》（JTJ 057—94）编制的。在术语上公路称为无机结合料稳定土，铁路路基施工技术细则称为改良土，为统一行业称谓，本试验也称为改良土。

29.1.2 原材料的质量要求, 根据《秦沈客运专线铁路路基施工技术细则》(试行) 第 5.4.2 条的规定, 石灰应选用不低于Ⅲ级钙质生石灰, 使用前过筛; 粉煤灰中 $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ 总量应大于 70%, 灼失量不大于 20%; 固化剂初凝时间大于 4 h, 终凝时间小于 12 h; 掺入固化剂时, 土中硫酸盐应小于 0.8%; 用石灰改良时, 土中有机质应小于 10%。按照第 5.4.12 条第 7、8 款的规定, 石灰应在使用前 7~10 d 充分消解 (每吨石灰消解需用水量约 500~800 kg), 消石灰宜过孔径 10 mm 筛, 并尽快使用。但按照《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTJ 051—94) 第 4.0.5 条说明, 实际使用的石灰有两种: 一种是用块灰自行消解的消石灰粉 (过孔径 2 mm 筛), 另一种是用袋装生石灰粉。采用生石灰粉时, 必须与土拌和后一起进行浸润不小于 3 h。因此在进行本试验时, 必须明确设计文件提供的各项技术条件。

29.1.3 取样的目的是使所采取样品应能代表原材料总体的平均状况, 即材料的特性、颗粒组成等均能代表施工现场所用的材料。因此, 取样应从料堆的不同部位、深度分别随机采取部分样品, 然后混合成一个样品, 采用四分法或分料器法缩分成所需数量的样品。

29.1.4 水泥与水拌和即发生水化作用, 这种水化作用在升温过程中发生的更快, 而且与水泥发生水化作用的水又不能用烘干法除去, 从而使测得含水率偏小。为此, 最好先将烘箱温度升至 $105^\circ\text{C} \sim 110^\circ\text{C}$ 控温范围, 再放入水泥混合料试样, 使一开始就在控温条件下烘干, 这样可能会有所改善。

29.2.3 水泥遇水即产生水化作用, 从加水拌和到进行击实试验间隔时间愈长, 因水化作用产生结硬程度就愈大, 从而影响水泥混合料所能达到的密实度也愈大。例如: 公路在编制 JTJ 057 标准时, 曾用一种水泥砂砾混合料做加水拌和间隔时间的击实试验结果列于说明表 29.2.3。

说明表 29.2.3 加水拌和间隔时间击实试验

击实间隔时间	测得干密度 (g/cm ³)	相当于立即击实试验的密实度
立即进行击实试验	2.37	1.00
间隔 1 h 进行击实试验	2.30	0.97
间隔 4 h 进行击实试验	2.18	0.92
间隔 8 h 进行击实试验	2.10	0.89

由说明表 29.2.3 可知, 有水泥的混合料在加水拌和后应在 1 h 内完成试验。

击实仪应采用符合本试验要求的仪器, 因击实仪规定锤底直径 51 mm, 试筒内径 152 mm, 因此, 击实时, 应沿筒内壁捶击一圈后, 应在筒中心捶一击, 如此反复进行, 直至达到要求的总击数。

对于粗粒土、碎石土击后难以刮平, 在整平过程中, 可以允许某些大颗粒露出表面, 但同时要取出某些颗粒, 使表面有些空洞, 尽可能使空洞的体积与突出的体积相等。

29.2.4 超尺寸颗粒含量小于 5% 时, 对 ρ_{dmax} 的影响位于平行允许差范围之内, 故不用校正。

29.3.4 静力压实法制备试样, 用 400 kN 反力框架和千斤顶, 仅适用于制备 $\phi 50 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$ 和直径 $100 \text{ mm} \times 100 \text{ mm}$ 的试件, 如要制备压实度高的 $\phi 150 \text{ mm} \times 150 \text{ mm}$ 的试件, 此压力则显不够, 应选用能达到 1 MN 的反力框架和千斤顶。

制作试件时, 要特别注意两端的压柱是否均匀进入。如果发现压柱的一侧已进入试模筒内并已与试模筒顶齐平, 而另一侧则未完全进入筒内, 应解除压力, 旋转试模筒, 然后再加压, 直到压柱完全进入试模筒内。如果加压过程不注意, 压力过大会将试模筒压坏 (中间鼓出)。

29.3.5 试件养生, 按《秦沈客运专线铁路路基施工技术细则》(试行) 第 5.4.1 条规定, 在保湿条件下养生 7 d, 进行无侧限抗压强度试验, 试验结果应满足设计要求。

试件的质量损失是指水分的减小，不包括由于各种条件从试件上掉下的混合料。

29.4.3 EDTA 滴定法的指示终点，一般可用钙指示剂、紫尿酸氨。前者滴定的终点是由红色转变为蓝色，较好辨认；后者是由红色转变为紫色，不易辨认。故本试验采用钙指示剂。

在待测液中加 1.8% NaOH 与三乙醇胺混合溶液的目的，是为了调节溶液的 pH 值在 11~12.5 之间，以满足钙的络合条件。同时三乙醇胺与 Fe、Al 等生成稳定络合物可起到掩蔽作用，消除对滴定终点的干扰。

30.0.2 比色法不如酸度计法方便、准确，因此本规程采用酸度计法。

30.0.3 酸度计是由玻璃电极（指示电极）、甘汞电极（参比电极）和电位计组成。作为电极产品一般玻璃电极与甘汞电极是分开出售的，但也有复合电极，它是把玻璃电极与甘汞电极合并成一支电极出售的，它们只是在制造形式的不同，而测定原理是相同的。

30.0.4 标准缓冲溶液：如果能买到市售的 pH 缓冲试剂，可按说明书配制代替本条 pH 标准缓冲溶液的配制。标准缓冲溶液的 pH 值，随温度不同而稍有差异。其变化关系，见说明表 30.0.4。

说明表 30.0.4 不同温度时标准缓冲溶液的 pH 值

温度 (°C)	溶液	$\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$	$\text{KH}_2\text{PO}_4 + \text{Na}_2\text{HPO}_4$	$\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$
		0.05 mol/L	0.025 mol/L	0.01 mol/L
标准缓冲溶液的 pH 值				
10		4.00	6.92	9.33
15		4.00	6.90	9.28
20		4.00	6.88	9.22
25		4.01	6.87	9.18
30		4.01	6.85	9.14
35		4.02	6.84	9.10

31.1

本次修订，电导法测定土中易溶盐未编入，由于此方法的准确度受溶液中含盐性质的影响，仅适用于某区域已知盐性的易溶盐含量的测定。

31.1.4 本试验的所有测定项目，除比浊法、光度法采用标准对照回收外，其他均规定以平行测定进行质量控制。因采用测定方法本身的精密度和使用计量器具的限制，平行测定偏差的大小与含盐浓度、取样体积有关，因此，本试验对质量法和容量法的平行测定偏差、取样与滴定消耗量、称量数量等均做出不同规定。

31.1.5 土浸出液的制备，采用不同的土水比例和浸出时间会影响测定结果。土水比例大、浸泡时间长，会加大中、难溶盐的溶解；土水比例小了，会使易溶盐因饱和而溶解不完全。浸泡时间过长还会因为空气中 CO_2 溶入而引起浸出液酸碱度的变化，也会使土水间发生离子交换作用。时间太短也会使易溶盐溶解不完全。但土水比例应多少，浸泡时间应多长合适，至今也没有一致意见，如有选择土水比 1:1、1:2、1:5、1:10 等，无论如何，目的是力求易溶盐完全溶解，中、难溶盐少溶解，空气中 CO_2 少溶入。本试验采用国内普遍采用的土水比例为 1:5，浸泡时间为震荡 3 min 或密封静置 12 h。对含盐量高达几十克乃至百克以上的土，本规程允许可按易溶盐的溶解度适当加大土水比例，以利于易溶盐完全溶解。

土浸出液应是澄清过滤液，当土中含盐很少并富含胶粒时，滤液可能出现胶体浑浊而影响盐的测定。如何去除滤液胶体浑浊，目前较有效方法是采用多层滤纸抽滤，砂滤棒抽滤，或用离心机分离，当土浸出液呈现颜色时，可能是有色无机离子或大量有机质的存在，颜色的存在也影响各种盐的测定，一般常用过氧化氢脱色。

31.1.7 本规程易溶盐及其各种盐类的测定采用综合记录格式，具有记录与汇总的作用，便于自检试验质量，减少汇总手续，也

节约纸张。

31.2.3 用蒸干法测定土中易溶盐含量，由于此法不需特殊仪器设备，故在室内试验中应用广泛。本规程将蒸干法列为第一法。实际上用蒸干法测得蒸发残渣并不等于土中易溶盐总量，因为在蒸干与烘干过程中 HCO_3^- 将分解生成 CO_2 与水逸出使测定结果偏低；蒸发残渣主要是易溶盐，但不排除里面含有黏土胶粒和盐类结晶水、有机质等的存在而使测定结果偏高，这些非盐物质如果存在很少，本试验可以予以忽略不计，如果是大量存在以致影响测定误差时，则应予以处理排除。

加 2% 碳酸钠的目的，是使浸出液中含有大量结晶水的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 硫酸盐、氯盐均转化为难溶性钙镁碳酸盐，从而除去结晶水。此蒸发残渣必须在 180°C 烘干才能得到较稳定的试验结果。

31.2.5 易溶盐总量与实测阴阳离子质量之和的闭合差，是铁道第一勘察设计院多年来用以评定试验质量的依据，此标准与国内有关部门所规定的标准相一致。

31.3

阳离子交换法具有快速、仪器设备轻便适合流动现场，测试结果又不存在因热分解和存在结晶水、有机质的影响等特点。主要是要掌握好交换柱的始漏和及时再生。本方法测定结果是土中易溶盐阳离子质量摩尔浓度，如果基本单元指的是化合物，那么测定结果便是易溶盐的质量摩尔浓度。计算单位为 mmol/kg 。

本方法不能直接测出易溶盐总质量，它必须与土中各离子测定结果相结合。即当土中阳离子总量与实测阴离子之和的质量摩尔浓度相等（不超过规定允许差）时，便可用阴阳离子之和的质量分数表示易溶盐含量。由于此法具有上述特点，故本规程保留作为第二方法。

31.3.5 阳离子总量与阴离子和之间的允许差，基本上与蒸干法控制的允许差是一致的。而且，远比蒸干法容易闭合，因此用本

法间接算出的易溶盐总量也基本是合理的。

31.4.3 碳酸根和重碳酸根的测定应在土浸出液过滤后立即进行，否则将因空气中 CO_2 的溶入或浸出液的 pH 值的变化而影响测定结果。

本条文使用双指示剂，以酚酞指示剂滴定碳酸根，滴定终点 8.3 pH；甲基橙指示剂滴定重碳酸根，滴定终点 4.4 pH。有些行业采用混合指示剂代替甲基橙，目的是提高滴定终点的分辨率，但混合指示剂的配制并不统一，因此，本条文仍采用甲基橙为指示剂。

31.4.4 计量单位采用质量摩尔浓度 (mmol/kg) 和质量分数 (分别以 % 和 mg/kg 表示) 是根据《铁路工程岩土分类标准》(TB10077) 中盐渍土的分类和《岩土工程勘察规范》(GB 50021) 中对混凝土的腐蚀性判定的要求而提供这两个物理量和单位。

原《铁路工程土工试验规程》(TBJ 102—96) 质量摩尔浓度的单位符号 $\text{mmol}/100\text{g}_{\pm}$ ，实际上是个量值。按照国家标准《量和单位》的规定：单位标记不得附加任何标记或符号。因此本条文将 $\text{mmol}/100\text{g}_{\pm}$ 改为 mmol/kg 符合国家标准，也不影响盐渍土分类。

31.5

氯根的测定，本节规定采用硝酸银容量法，此外还可采用硝酸汞容量法、硫氰酸汞光度法、电位滴定法、离子色谱法等。这些方法有的适用于低浓度的测定，有的适用于有色溶液的测定，但操作都不如硝酸银容量法简捷，也不需要专门仪器设备，因此，本节选用硝酸银容量法。

31.6

本测定方法与有关行业不同之处是采用氨镁缓冲溶液代替氨缓冲溶液；以钡标准溶液代替钡镁溶液。即先以足够量的 Mg^{2+} ，于氨缓冲溶液中预先与 EDTA 准确络合，使其在滴定过

程中不再消耗 EDTA 标准溶液。采用这样的滴定方法，其对照回收率可达 90% 以上，并具有下列优点：（1）可以减少 EDTA 标准溶液消耗；（2）可按照土中 SO_4^{2-} 高低以确定钡标准溶液的浓度和加入量，而不受 Mg^{2+} 存在的影响；（3）由于 Mg^{2+} 在滴定前已预先络合，不会因生成 MgSO_4 而被 BaSO_4 沉淀包裹的可能性，从而可获得稳定的络合滴定终点。

31.7

SO_4^{2-} 低含量的测定方法很多，如比浊法、光度法、原子吸收光度法、离子色谱法等。在这些方法中以比浊法最为简便，仪器设备一般试验室均可满足。其精确度虽然较差，但基本上可以满足这一指标的实际要求，因此，本节对低含量 SO_4^{2-} 测定选用比浊法。

31.8

钙的测定方法很多，但钙的常量测定目前广泛采用 EDTA 络合滴定，最为简便，故本规程也选用此方法。采用此方法，当土浸出液中含有大量 Mg 时，在加入 NaOH 溶液后会产生大量 $\text{Mg}(\text{OH})_2$ 沉淀而影响滴定终点的判别。遇此情况，最好先加适量（不要过量）EDTA 标准溶液使预先络合（要记下用量），再加 NaOH 溶液，按常规步骤操作，这样可能会使滴定终点的判别得到改善。

31.9

镁离子的测定方法很多，但常量镁离子大都是采用 EDTA 络合滴定差减法以求得镁离子含量。此方法不用专门仪器，操作简便，故本节采用此方法。本方法原理是以控制土浸出液的 pH 值，即使钙镁离子在 pH 值约 9~10、钙离子在 pH 大于 12 时，分别与 EDTA 络合，然后由测定结果之差求得镁离子含量。

在有关行业的标准中，是规定以等体积的试样分别测定钙镁

离子和钙离子对相同浓度的 EDTA 的消耗体积，然后由两者消耗 EDTA 体积之差计算镁离子含量。本节不规定用等体积的试样。而是分别计算钙镁离子总量和钙离子含量，然后由两者之差求得镁离子含量。这样可以根据试样中钙、镁离子浓度大小，分别决定取样的体积。

31.10.1 根据工程的实际情况，当不要求分别提供钠离子和钾离子的含量时，可以按本条文用差减法提供钠钾离子总量。此差减法是综合指标，可能有较大误差，但一般能满足工程的需要。

31.11.1 当工程需要分别提供钠离子和钾离子的含量时，可采用光度计法分别测定钠离子和钾离子。光度计法最常用的有火焰光度计法和原子吸收分光光度计法。两者都具有操作简便、灵敏、准确的优点，但由于考虑到本行业仪器设备的现状，一般都配备有原子吸收分光光度计，此仪器可以承担远比火焰光度计更多的项目，本着一机多用，故本条文推荐采用原子吸收分光光度法。

32.1.2 在国家标准和国内有关行业中，对于中溶盐的测定只列硫酸钡质量法，主要认为 EDTA 络合滴定法，因试样中共存有大量碳酸钙或镁对测定产生很大影响，不易取得满意试验结果。其实不然，只要对试样酸浸出液中的钙、镁做预先处理，便可取得稳定的试验结果。质量法虽然准确，但毕竟操作烦琐，设备笨重，远不及 EDTA 络合滴定法简便，且设备轻便，因此，本规程推荐 EDTA 络合滴定法为第二法。

32.2.3 中溶盐试验要求试样通过 0.15 mm 筛，目的是增加接触表面积，以加快溶解。

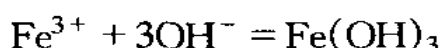
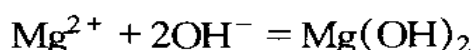
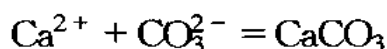
中溶盐虽属可溶盐，但它在水中的溶解度仅约 0.2%，很难完全为水溶解，因此，只能选用酸浸出法。

质量法测定结果是否准确，取决于下列因素：(1) 要注意调控沉淀 BaSO_4 的 pH 环境和检查沉淀是否完全，过滤分离应彻底，操作过程不得有任何撒失。(2) 灰化过程不能出现明火燃烧以防飞溅损失。(3) 为防止残留炭素还原 BaSO_4 生成 BaS ，灼烧

温度以 600℃ 为宜。

32.2.5 本条试验偏差，原参照国家地质总局制定的，只分大于 1% 和小于 1% 两档，有些粗略。故本次修订参考了交通部《公路土工试验规程》和中科院《土壤理化分析》的一些规定，结合本行业的实际情况作了较详细的修改。为了简便，本试验本次修订只用绝对允许偏差进行质量控制，不用相对偏差。

32.3.3 在酸浸出液中的大量 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ，将消耗大量的 EDTA 溶液；某些重金属离子的存在将干扰络合滴定的终点判别，从而影响测定。为解决此问题，本条在测试前先加混合碱试剂以沉淀分离 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和某些重金属离子，以排除对测定的影响，即



按照本条操作，通过验证，结果略比质量法偏高，基本可满足要求，试验结果列于说明表 32.3.3。

说明表 32.3.3 比 较 试 验

	BaSO ₄ 沉淀法			EDTA 络合滴定法			树脂交换后 EDTA 络合滴定法		
	回收率 P(%)	标准偏 差 σ	σ/σ̄	回收率 P(%)	标准偏 差 σ	σ/σ̄	回收率 P(%)	标准偏差 σ	σ/σ̄
1	98.52	0.40	0.3	110.3	4.0	0.8		7.0	1.2
2	99.11	0.99	0.8	124.4	9.3	1.8		9.1	1.5
3	96.01	2.10	1.7	116.1	1.0	0.2		2.1	0.3
4	100.52	2.40	7.9	109.6	8.5	1.1			
5	97.71	0.41	0.3						
6	96.83	1.24	1.0						
Σ	588.72	7.56		460.4	20.6		317.07	18.2	
$\bar{p}(\%)$	98.12			115.1			105.69		
$\bar{\sigma}$		1.26			5.15			6.07	

由说明表 32.3.3 中标准偏差 σ 与 $\bar{\sigma}$ 之比, 可看出均未超出 2.5 的允许差范围。EDTA 法回收率略显偏高, 若将经沉淀分离后的浸出液调成中性, 再用阳离子交换树脂处理, 测得回收率就会降低。但是大量的 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 和重金属离子的排除仅能用碱试剂, 不宜用离子交换法除去。

操作中氨镁缓冲溶液的用量应准确, 以便消除 EDTA 或 Mg^{2+} 的过剩或不足带来误差。混合碱试剂加入不管过量与否, 都要测定中和后浸出液的空白值 (Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等对 EDTA 标准溶液的用量 V_H)。

本试验的标准化及质量控制可参见《铁道工程学报》1995 年第二期。

33.1.2 原《铁路工程土工试验方法》(TBJ 102—96) 对难溶盐测定选用气量法、中和法和碱吸收法, 考虑到碱吸收法虽然精确, 但操作烦琐, 极少为工程需要所采用, 多数有关行业都把气量法选定作为惟一的测定方法。本次修订删去碱吸收法。

33.2.1 CO_2 约测计中的管 4, 即量气管宜用容积 50 mL 刻度管制成, 最小分度值为 0.5 mL。容积太小不利于量度 CO_2 体积, 容积太大必将降低量读 CO_2 的精度。

33.2.5 试验允许差, 原《铁路工程土工试验方法》(TBJ 102—96) 是参照国家地质总局制定的, 此允许差与《公路土工试验规程》(JTJ 051—93) 规定的允许差比较相差较大, 见说明表 33.2.5。

说明表 33.2.5 试验允许差比较表

铁路工程土工试验方法		公路土工试验规程		
(TBJ 102—96)		(JTJ 051—93)		
CaCO_3 (%)	绝对偏差 (%)	CaCO_3 (%)	绝对偏差 (%)	相对偏差 (%)
≤ 5	0.7	< 1	0.2	17~25
5~10	1.1	1~5	0.6	11~17
10~20	1.9	5~10	0.8	7~11
20~30	2.7	10~20	< 1	5~7

同时，我们又查阅了《土壤理化分析》对气量法绝对偏差的规定，是综合规定 0.5%。此绝对偏差的规定，我们认为是气量法正常含量的测定（ CaCO_3 约 1.5% ~ 10%）。综上分析，本次对此条文进行了修订。

33.3

本试验也是一种较粗略的测定方法。它具有设备简单、操作便捷的优点，但对准确度的影响因素较多，例如，除难溶盐外的其他能消耗酸的可溶盐和某些矿物质的存在都能使测定结果偏高；同时也不能排除因大量 CO_2 的生成，使部分 CO_2 溶解于过量酸中，与酸一起消耗标准溶液使测定结果偏低。所以本试验是粗略的，较适合于难溶盐含量较纯较高的，又难于用气量法测定的试样。本试验选用硫酸标准溶液，目的是利用同离子效应以减少试样中可溶盐对测定结果的影响。

34.1.1 本规程原来灼失量试验与有机质含量试验是分列两章编写的，但在国内外有关行业对灼失量大都是把它当作有机质含量粗略估计的方法，因此，本次修订把灼失量与有机质含量试验合并，作为有机质含量试验的方法之一。

34.2.2 灼失量的烧灼温度，国内有关行业的规定并不统一，分别有 550℃、700℃、950℃ 的，根据资料，土中的几种物质成分，含有结晶水的 MgCl_2 、 Na_2CO_3 、 Na_2SO_4 、 CaCl_2 等一般在 200℃ 以下则失去，而且，这些物质除 CaCl_2 外，大都在 400℃ 以下则分解成挥发性氯化氢和二氧化碳，所以灼失量测定不适用于含有大量碱金属的碳酸盐、硫酸盐和钙镁的氯化物的土。其余的如钙镁的碳酸盐、硫酸盐等的分解温度都在 700℃ 以上，由此可见，温度越高，灼失量越大，与有机质的实际含量相差也越大。烧灼温度采用 550℃，虽然不能说明有机质完全分解，但还是比较接近有机质实际含量。因此，作为估计土中有机质含量的灼失量测定，其烧灼温度，本规程规定为 550℃。

34.2.3 平行测定允许差，国内有关行业的规定也不一致，如

《土壤理化分析方法》规定绝对偏差 0.1%，冶金部《土工试验规程》(YSJ 225—92) 规定绝对偏差 0.5%，交通部《公路土工试验规程》(JTJ 051—93) 规定详见说明表 34.2.4。

说明表 34.2.4 灼失量试验允许差

灼失量	绝对偏差	相对偏差	灼失量	绝对偏差	相对偏差
>50	<0.9	1.0~1.5	0.1~0.05	<0.006	6.0~8.0
50~30	<0.7	1.5~2.0	0.05~0.01	<0.004	8.0~10.0
30~10	<0.5	2.0~3.0	0.01~0.005	<0.001	10.0~12.0
10~5	<0.3	3.0~4.0	0.005~0.001	<0.0006	12.0~15.0
5~1	<0.2	4.0~5.0	<0.001	<0.00015	15.0~20.0
1~0.1	<0.05	5.0~6.0			

本规程原规定与冶金部一致，平行差不大于 0.5%。本次修订所规定允许差是在以上的基础上制定的。

34.3.1 有关资料介绍油浴可用石蜡、硫酸、磷酸等，但这些介质都不理想，因为在加热时产生具有腐蚀性、刺激性有害烟雾，故本条文采用植物油。

34.3.2 本条文选用邻菲罗啉指示剂，此试剂虽然昂贵，但安全、容易配制，滴定终点易掌握。过去曾用二苯氨作指示剂，此试剂虽然便宜，但配制麻烦，对环境 and 人身不利，故不采用。

34.3.3 有机质的测定方法有质量法、容量法、比色法等，其中以重铬酸钾容量法被广泛采用，此方法具有操作便捷、重现性好，不受大量碳酸盐存在的干扰，设备又简单，很适用于批量试样的试验，但是采用此法测得有机质含量偏低，一般只有 90% 有机质被氧化为碳，因此，本试验在计算时乘以 1.1 的校正系数。

消煮温度范围和时间必须严格控制，这是本试验规定的统一条件，否则将影响试验结果。

34.3.5 平行测定允许差，参考有关资料都不一致。如《土壤理化分析》规定绝对偏差 0.05%，交通部《公路土工试验规程》

(JTJ 051—93), 规定绝对偏差在 10% ~ 0.05% 含量范围内为 0.3% ~ 0.004% 之间, 本规程原规定小于 1%, 相对偏差 1% (相当于绝对偏差的 0.05%); 大于 1%, 相对偏差 5% (相当于绝对偏差 0.25%), 比较粗略。因此, 本次对此作了修订。

35.0.1 阳离子交换量的试验方法有醋酸氨法、氯化氨—醋酸氨法和 EDTA 铵盐法等。其中, 前两种方法操作烦琐, 而 EDTA 铵盐法交换快速, 且既适用于酸性土、中性土, 也适用于石灰性土, 所以, 本规程采用 EDTA 铵盐法。

35.0.4 氧化镁灼烧的目的, 是使氧化镁中可能存在的碳酸镁转化为氧化镁, 以提高利用率, 同时防止蒸馏时产生大量气泡。

35.0.5 试验前应先用盐酸检验试样是否属石灰性土, 以便选定用 EDTA 铵盐混合液的 pH 值范围。

矿化度较高的土, 用 EDTA 铵盐混合液一次提取交换不完全, 一般需要提取 2~3 次, 因为钠盐与 EDTA 容易形成稳定常数较小的二胺四乙酸二钠盐。

含有机质较高或较黏的土, 蒸馏时常有气泡沫发生, 遇此情况除要多加石蜡外, 还要控制蒸汽流, 经常摇动开氏瓶, 防止泡沫冲过定氮球。

蒸馏时只能用氧化镁 (MgO), 不宜用氢氧化钠 (NaOH), 因为 NaOH 碱性强, 能水解土中部分有机氮生成氨态氮, 致使结果偏高。为防止气态氨的损失, 氧化镁宜调成糊状从装置中 Y 形管加入。

35.0.7 本试验平行测定允许差是根据铁道部建设科字 (2001) 2 号文立项“阳离子交换量允许差的研究”的研究成果。

36.0.1 蒙脱石含量的测定方法很多, 亚甲蓝法是其中对蒙脱石矿物进行定量的一种方法, 此方法具有简捷、稳定和设备简单等特点, 是铁路工程膨胀土判定与分级指定的方法, 所以本规程仅编入亚甲蓝法。

36.0.3 微量滴定管主要用于 SnCl_2 溶液的滴定, SnCl_2 溶液的用量对测定精度影响较大, 如用 SnCl_2 溶液滴定偏差为 0.05 mL

时，则试验结果可产生平行偏差为 1.2%，因此，为提高测定精度，应选用微量滴定管。

36.0.4 亚甲蓝，别名又称品蓝、次甲基蓝、四甲基蓝、盐基湖蓝、碱性亚甲天蓝等。亚甲蓝的纯度及其吸湿量均对测定有影响，因此，亚甲蓝应选用国家标准试剂。干燥温度应控制在 $(90 \pm 5)^\circ\text{C}$ 范围，过高温度将会使亚甲蓝分解失效，亚甲蓝干燥 7 h 认为已达到恒量是通过多次用不同时间进行干燥试验得出的结论。亚甲蓝浓度采用 0.002 g/mL (0.2%) 是试验选定的浓度，过高的浓度可能产生二聚合作用而使测定复杂化。

SnCl_2 溶液的浓度，应采用低浓度以提高其测定精度，但浓度过低将影响测定的稳定性。实验说明，当 SnCl_2 溶液浓度低于 0.1% 时，其稳定时间仅为 10~15 min。这样必将给操作带来不便。所以本规程 SnCl_2 溶液浓度选用 0.1%，其稳定时间约 0.5 h，即 0.1% SnCl_2 使用溶液的配制和滴定过程都应在 0.5 h 内完成，否则，将影响试验结果。

36.0.5 亚甲蓝加入量必须准确，而且必须过量，才能使蒙脱石完全吸附，才能被 SnCl_2 溶液返滴定。所以试验过程要注意观察试样上部澄清液层残留亚甲蓝色剂的状况，以便决定是否补加色剂。

试样滤液必须彻底分层，吸取清液，必须注意，不得有悬浮颗粒混入，以免影响滴定使测定结果偏低。放置的目的是使滤液完全分层，如仍不分层，应离心分离。

36.0.7 本试验平行测定允许差是“蒙脱石测定允许差的研究”的科研成果。