关于发布《铁路工程土工试验规程》的通知

铁建设〔2010〕224号

现发布《铁路工程土工试验规程》（TB 10102—2010，另发单行本），自印发之日起施行。铁道部原发《铁路工程土工试验规程》（TB 10102—2004）和《变形模量E_{v2}检测规程（试行）》（铁建设〔2005〕188号）同时废止。

本标准由铁道部建设管理司负责解释，由铁路工程技术标准所、中国铁道出版社组织出版发行。

中华人民共和国铁道部

二〇一〇年十一月二十一日

国家铁路局信息公开
浏览专用

国家铁路局信息公开
浏览专用

前　言

本规程是根据铁道部“关于印发《2010年铁路工程建设标准编制计划》通知”（铁建设函〔2010〕6号）的要求，在《铁路工程土工试验规程》（TB 10102—2004）的基础上全面修订而成。本规程编制过程中充分吸收了路内外近几年土工试验科研成果和新技术的应用经验，开展了“地基系数K_{30}平板载荷试验”及“粗粒土最大干密度试验”的现场对比试验，在广泛听取了设计、施工等各单位对铁路工程土工试验的意见和建议的基础上，经反复审查定稿。

本规程共分46章，主要内容包括：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、静止侧压力系数试验、弹性模量试验、动三轴试验、共振柱试验、击实试验、承载比试验、回弹模量试验、粗粒土最大干密度试验、粗粒土直接剪切试验、粗粒土三轴压缩试验、级配碎石试验、化学改良土试验、地基系数试验、二次变形模量试验、动态变形模量试验、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、冻结温度试验、未冻含水率试验、冻土导热系数试验、冻胀率试验、冻土融化压缩试验等，另有6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，修改了部分名词和计量单位。

2. 与《铁路工程岩土化学分析规程》（TB 10103—2008）相

国家铁路局信息公开 浏览专用

协调，删除了酸碱度（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、蒙脱石含量试验等内容。

3. 新增了静止侧压力系数试验、弹性模量试验、动三轴试验、共振柱试验、承载比试验、回弹模量试验、粗粒土最大干密度试验、粗粒土直接剪切试验、粗粒土三轴压缩试验、级配碎石试验、冻结温度试验、未冻含水率试验、冻土导热系数试验、冻胀率试验、冻土融化压缩试验、二次变形模量试验共计 16 章。

4. 第 3 章“土样和试样制备”增加“粗粒土土样和试样制备”、第 35 章“黄土湿陷性试验”增加“溶滤变形系数的测定”、第 38 章“膨胀力试验”增加“不同压力下膨胀率与膨胀力联合测定法”等节。

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，请及时将意见和有关资料寄交中铁第一勘察设计院集团有限公司（西安市西影路 2 号，邮编 710043），并抄送铁路工程技术标准所（北京市海淀区北蜂窝路乙 29 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：中铁第一勘察设计院集团有限公司。

本规程参编单位：铁道第三勘察设计院集团有限公司、中铁第五勘察设计院集团有限公司、中铁工程设计咨询集团有限公司、中铁十二局集团有限公司、中铁六局集团有限公司。

本规程主要起草人：强世杰、王韫楠、王永安、李兰民、马振华、肖金凤、屠海峰、唐文军、黄直久、东爱明、李怒放、彭树立、肖作声、张贵珍、赵亚品、邢 亮、钱国玉、王彩文。

本规程主要审定人：米　隆、吴明友、周诗广、韩文雷、彭泽仁、张千里、罗　强、肖道坦、王子江、吴连海、杜文山、张建邦、章国辉、杨安杰、关　宏、杨德平。

国家铁路局信息公开 浏览专用

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　扰动细粒土试样制备 …… 8
3.3　粗粒土土样和试样制备 …… 13
3.4　原状土试样制备 …… 16
3.5　试样饱和 …… 17
4　含水率试验 …… 20
4.1　一般规定 …… 20
4.2　烘 干 法 …… 20
4.3　碳化钙减量法 …… 22
4.4　酒精燃烧法 …… 24
4.5　核子射线法 …… 25
5　密度试验 …… 28
5.1　一般规定 …… 28
5.2　环 刀 法 …… 28
5.3　蜡 封 法 …… 30
5.4　灌 砂 法 …… 31
5.5　灌 水 法 …… 36
5.6　气 囊 法 …… 37
5.7　核子射线法 …… 40

国家铁路局信息公开
浏览专用

6 颗粒密度试验 …… 41
6.1 一般规定 …… 41
6.2 量 瓶 法 …… 41
6.3 浮 称 法 …… 44
6.4 虹吸筒法 …… 46
7 颗粒分析试验 …… 49
7.1 一般规定 …… 49
7.2 筛 析 法 …… 49
7.3 密度计法 …… 53
7.4 移液管法 …… 64
8 界限含水率试验 …… 68
8.1 一般规定 …… 68
8.2 液、塑限联合测定法 …… 68
8.3 碟式仪液限试验 …… 72
8.4 搓条法塑限试验 …… 75
8.5 收缩皿法缩限试验 …… 76
9 湿化试验 …… 79
10 最大分子吸水率试验 …… 81
11 相对密度试验 …… 84
11.1 一般规定 …… 84
11.2 砂的相对密度试验 …… 84
11.3 砾石类的相对密度试验 …… 88
12 天然坡角试验 …… 94
13 毛细管水上升高度试验 …… 96
13.1 一般规定 …… 96
13.2 直接观测法 …… 96
13.3 土样管法 …… 98
13.4 塑限与含水率曲线交会法 …… 100
14 渗透试验 …… 103

国家铁路局信息公开
浏览专用

14.1 一般规定…… 103
14.2 常水头法…… 103
14.3 变水头法…… 109
15 固结试验…… 113
15.1 一般规定…… 113
15.2 标准固结试验…… 113
15.3 12 h 快速固结试验 …… 123
15.4 1 h 快速压缩试验 …… 125
16 直接剪切试验…… 128
16.1 一般规定…… 128
16.2 快剪试验…… 128
16.3 固结快剪试验…… 132
16.4 慢剪试验…… 133
17 排水反复直接剪切试验…… 134
18 三轴压缩试验…… 139
18.1 一般规定…… 139
18.2 仪器设备…… 139
18.3 试样的制备和饱和…… 143
18.4 不固结不排水剪试验…… 147
18.5 固结不排水剪试验…… 150
18.6 固结排水剪试验…… 156
18.7 一个试样多级加荷试验…… 160
19 无侧限抗压强度试验…… 163
20 静止侧压力系数试验…… 167
21 弹性模量试验…… 171
22 动三轴试验 …… 175
22.1 一般规定…… 175
22.2 仪器设备…… 175
22.3 试样制备、饱和、安装及固结…… 177

国家铁路局信息公开
浏览专用

22.4 动强度（液化）试验…… 178
22.5 动弹性模量和阻尼比试验…… 184
23 共振柱试验…… 187
23.1 一般规定…… 187
23.2 仪器设备…… 187
23.3 试样制备、饱和、安装及固结…… 188
23.4 自由振动法…… 189
23.5 稳态强迫振动法…… 190
23.6 试验结果计算、制图和记录…… 191
24 击实试验…… 200
25 承载比试验…… 208
26 回弹模量试验…… 217
26.1 一般规定…… 217
26.2 强度仪法…… 217
26.3 杠杆压力仪法…… 221
27 粗粒土最大干密度试验…… 223
28 粗粒土直接剪切试验…… 229
29 粗粒土三轴压缩试验…… 233
29.1 一般规定…… 233
29.2 仪器设备…… 233
29.3 试样制备和安装…… 234
29.4 试样饱和…… 236
29.5 不固结不排水剪试验…… 237
29.6 固结不排水剪试验…… 238
29.7 固结排水剪试验…… 240
30 级配碎石试验…… 241
30.1 一般规定…… 241
30.2 筛分试验…… 243
30.3 黏土团及其他杂质含量试验…… 246

国家铁路局信息公开
浏览专用

30.4 质软、易破碎颗粒含量试验 …… 248
30.5 针状、片状颗粒含量试验 …… 249
30.6 洛杉矶磨耗率试验 …… 251
30.7 硫酸钠溶液浸泡损失率试验 …… 253
30.8 粗颗粒中带破碎面的颗粒含量试验 …… 255
31 化学改良土试验 …… 258
31.1 一般规定 …… 258
31.2 重型击实试验 …… 259
31.3 无侧限抗压强度试验 …… 264
31.4 水泥或石灰的剂量测定（EDTA 滴定法） …… 269
32 地基系数试验 …… 273
33 二次变形模量试验 …… 281
34 动态变形模量试验 …… 288
35 黄土湿陷性试验 …… 291
35.1 一般规定 …… 291
35.2 湿陷系数的测定 …… 291
35.3 自重湿陷系数的测定 …… 292
35.4 溶滤变形系数的测定 …… 294
35.5 湿陷起始压力的测定 …… 295
36 自由膨胀率试验 …… 298
37 膨胀率试验 …… 300
37.1 一般规定 …… 300
37.2 无荷载膨胀率试验 …… 300
37.3 有荷载膨胀率试验 …… 302
38 膨胀力试验 …… 305
38.1 一般规定 …… 305
38.2 加荷平衡法 …… 305
38.3 不同压力下膨胀率与膨胀力联合测定法 …… 307
39 收缩试验 …… 308

国家铁路局信息公开
浏览专用

40　冻土总含水率试验…… 311
40.1　一般规定…… 311
40.2　烘干法…… 311
40.3　联合测定法…… 312
41　冻土密度试验…… 316
41.1　一般规定…… 316
41.2　液体称量法…… 316
41.3　联合测定法…… 319
41.4　充砂法…… 319
41.5　环刀法…… 321
42　冻结温度试验…… 322
43　未冻含水率试验…… 325
44　冻土导热系数试验…… 327
45　冻胀率试验…… 330
46　冻土融化压缩试验…… 334
46.1　一般规定…… 334
46.2　室内冻土融化压缩试验…… 334
46.3　现场冻土融化压缩试验…… 337
附录 A　铁路工程常用土工试验方法适用条件 …… 341
附录 B　量瓶校正与煤油密度的测定 …… 346
附录 C　密度计校正 …… 350
附录 D　直剪仪校正及测力计率定…… 357
附录 E　固结仪的变形量校正…… 359
附录 F　地基系数测试仪校验…… 361
本规程用词说明…… 364
《铁路工程土工试验规程》条文说明 …… 365

国家铁路局信息公开
浏览专用

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物理力学性质试验。

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 μS/cm 或电阻率大于 0.5 MΩ·cm 的要求。

1.0.4 本规程试验用试剂，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。

1.0.5 **铁路工程土工试验方法的选择应贯彻准确、先进、快捷、便于操作和掌握的原则，具体内容参见附录 A。**

1.0.6 **本规程试验工作应遵守国家、地方和相关部门有关环境保护、安全生产及节能减排等方面的法律、法规，确保试验过程不污染环境并保障操作人员与仪器设备的安全。**

1.0.7 **本规程试验采用的仪器、设备，应按规定进行检定或校验。**

1.0.8 铁路工程土工试验除应执行本规程外，尚应符合国家有关强制性标准的规定。

国家铁路局标准公开浏览专用

2 术语和符号

2.1 术　　语

2.1.1 土样　sample

未经加工的土的样品。

2.1.2 试样　specimen

按试验目的，将土样经过加工制成可供试验的样品。

2.1.3 孔隙率　soil porosity

表示土中孔隙大小的程度，为土中孔隙体积占总体积的百分比。

2.1.4 饱和面干密度　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。

2.1.5 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。

2.1.6 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。

2.1.7 黏聚力　cohesion

法向应力为零时，土粒间的抗剪强度。

2.1.8 荷重率　load rate

某级的荷载增量与前一级荷载总量之比。

2.1.9 压实系数　compaction coefficient

国家铁路局信息公开
浏览专用

工地试样的干密度与由室内试验得到的试样的最大干密度的比值。

2.1.10 地基系数 coefficient of subgrade reaction

土体在荷载作用下，下沉量基准值所对应的荷载强度与下沉量基准值的比值。

2.1.11 动态变形模量 dynamic modulus of deformation

土体在一定大小的冲击力和冲击时间作用下，抵抗变形能力的参数。

2.1.12 二次变形模量 the second strain modulus

用第二次加载测得的承载板下应力和与之相对应的承载板中心沉降量计算的变形模量。

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

国家铁路局信息公开 浏览专用

S_r——饱和度

K——压实系数

n——孔隙率

V_H——膨胀率

V_{HP}——加荷膨胀率

w——含水率

w_A——冻土总含水率

λ——冻土的导热系数

w_x——吸着含水率

w_L——液限

w_P——塑限

w_s——缩限

w_{opt}——最优含水率

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

K_0——静止侧压力系数

国家铁路局信息公开
浏览专用

E_e——回弹模量

E——弹性模量

E_d——动弹性模量

λ_d——阻尼比

E_s——压缩模量

G_d——动剪切模量

E_{Vd}——动态变形模量

E_{V2}——二次变形模量

K_s——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

CBR——承载比

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

δ_{wt}——溶滤变形系数

η——动力黏度

σ——正应力

φ——内摩擦角

国家铁路局信息公开
浏览专用

3 土样和试样制备

3.1 土样的验收与保管

3.1.1 土样验收应符合下列规定：

1 土样送达试验单位，应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。清点土样时，应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是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 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，应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）内妥善保存，待试验报告提交 1 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

试验项目 \ 种类		黏性土、粉土		砂类土、砾石类、碎(卵)石	
		原状土(筒)	扰动土	原状土(筒)	扰动土
		ϕ10 cm×20 cm	(kg)	ϕ10 cm×20 cm	(kg)
含水率			0.1～0.3		0.8～1
密度		1		1	
颗粒密度			0.05		砂 0.05； 砾 2～10
颗粒分析			0.1～0.4		砂 0.2～0.5； 砾 7
界限含水率			0.5		
收缩		1	1		
湿化		1	1		
毛细管水上升高度		1	1.5		1.5
相对密度					3～6
天然坡角					5
渗透		1	2		3～5
固结		1	1		
直接剪切		2	5		
残余强度		2	5		
三轴压缩		4	10		15
无侧限抗压强度		1			
静止侧压力系数		1	1		
弹性模量		1	1.5		
动三轴	动强度(液化)	5～15	4～8		
	动弹性模量	15～30	12～24		
共振柱		3～5	2～5		
击实			40～50		50～60

国家铁路局信息公开浏览专用

续表 3.1.1

试验项目 \ 种类	黏性土、粉土		砂类土、砾石类、碎(卵)石	
	原状土(筒)	扰动土	原状土(筒)	扰动土
	ϕ10 cm×20 cm	(kg)	ϕ10 cm×20 cm	(kg)
承载比 CBR		50		
回弹模量				粒径小于 20 mm 至少取 15；粒径小于 40 mm 至少取 30
粗粒土直接剪切				200
粗粒土三轴压缩				400
黄土湿陷性	2			
膨胀性	2	2		
冻土总含水率	1	1		
冻土密度	1			
冻结温度	1	1		
未冻含水率		1		
冻土导热系数		3		
冻胀率	2	3		
冻土融化压缩	2			
改良土		50～60		砂类土 80～100、砾石类 100～120、碎(卵)石＞150

国家铁路局信息公开浏览专用

3.2 扰动细粒土试样制备

3.2.1 试样制备采用的仪器设备应符合下列规定：

1 分析筛：孔径 5 mm、2 mm、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 1 000 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。

6 击样器：如图 3.2.1—1 所示。

7 压样器：如图 3.2.1—2、图 3.2.1—3 所示。

8 抽气机（附真空测压表）。

9 其他：电热干燥箱、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。

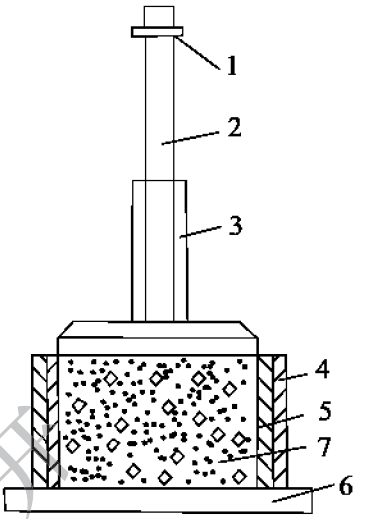


图 3.2.1—1 击样器

1—定位环；2—导杆；3—击锤；4—击样筒；5—环刀；6—底座；7—试样

3.2.2 扰动细粒土试样制备应符合下列规定：

1 描述土样的颜色、土类、气味及夹杂物等；必要时，应将土样充分拌匀，取代表性土样测含水率。

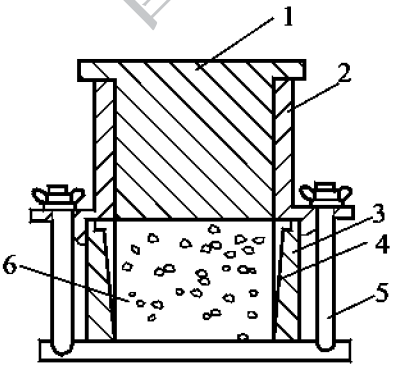


图 3.2.1—2 压样器（单向）

1—活塞；2—导筒；3—护环；4—环刀；5—拉杆；6—试样

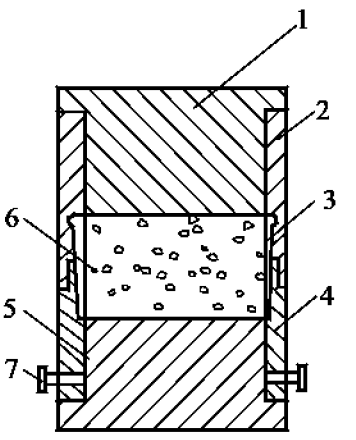


图 3.2.1—3 压样器（双向）

1—上活塞；2—上导筒；3—环刀；4—下导筒；5—下活塞；6—试样；7—销钉

国家铁路局信息公开 浏览专用

2　团、块状扰动土样风干后，在橡皮板上用木碾碾散（不得破坏土粒天然结构）。

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　配制一定含水率的试样时，应取过 2 mm 筛的风干土 1～5 kg，按公式(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±1%，若大于±1%时应适当减少或增加试样中的加水量。

6　采用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 1～4 款进行制备。

7　根据工程对试验项目的要求，将扰动细粒土制备成所需状态试样，供物理、水理、力学等试验用。

8　试样制备数量视需要而定，宜多制备 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±0.02 g/cm^3、±1%范围之内，且各试样之间的差值也应满足此规定。

9　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，按公式(3.2.6—1) 和(3.2.6—2) 计算结果，制备湿土样，然后按本规程第 24 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

国家公路局作废公开 浏览专用

修平。擦净环刀外壁，称环刀与土总质量，准确至0.1 g，并取环刀两端削下的土样测含水率。

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、含水率，按公式（3.2.6—3）和（3.2.6—4）计算结果，制备湿土样。

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 取出带试样的环刀，称环刀和试样总质量，准确至0.1 g。

3.2.6 扰动细粒土试样制备应按下列公式计算：

1 干土质量

$$m_d=\frac{m_0}{1+0.01w_0} \qquad (3.2.6\text{—}1)$$

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

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

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

$$m_0=(1+0.01w_0)\rho_d V \qquad (3.2.6\text{—}3)$$

式中 ρ_d——试样干密度（g/cm³）；

V——试样体积（环刀容积）（cm³）。

国家铁路局信息公开浏览专用

表 3.2.7　扰动细粒土试样制备记录

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（g/cm³）	试样体积（m³）	干土质量（g）	干天含率风或然水（%）	风干或天然状态土质量（g）	加水质量（g）	湿土质量（g）	制备方法	环刀与湿土质量（g）	环刀质量（g）	湿土质量（g）	环刀容积（cm³）	湿土密度（g/cm³）	含水率（%）	干土密度（g/cm³）	含水率（%）	干密度（g/cm³）

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

国家地震局信息公开 浏览专用

4　制备试样应增加的水量

$$\Delta m_w = 0.01(w_1 - w_0)\rho_d V \qquad (3.2.6\text{—}4)$$

式中　Δm_w——制备试样应增加的水量（g）。

3.2.7　记录格式应符合表 3.2.7 的要求。

3.3　粗粒土土样和试样制备

3.3.1　本方法适用于各类粗粒土。

3.3.2　主要仪器设备应符合下列规定。

1　分析筛：孔径 200 mm、150 mm、100 mm、75 mm、60 mm、40 mm、20 mm、10 mm、5 mm、2 mm、0.5 mm、0.075 mm。

2　台秤：称量 500 kg，分度值 200 g；称量 100 kg 或 50 kg，分度值 50 g。

3　案秤：称量 10 kg，分度值 5 g。

4　天平：称量 5 000 g，分度值 1 g；称量 200 g，分度值 0.01 g。

3.3.3　黏性粗粒土土样制备应符合下列规定：

1　全部土样置于橡皮板上风干，用木锤将土块及附着在粗颗粒表面上的细粒土锤散，锤击时不应破坏土的天然颗粒。全部土依次过筛，按大于 100 mm、100～60 mm（75～60 mm）、60～40 mm、40～20 mm、20～10 mm、10～5 mm 以及不大于 5 mm，分粒组称其质量，计算各粒组含量百分数。分别测定大于 5 mm 部分和不大于 5 mm 部分土的风干含水率。土样应按粒组分别存放。

2　天然含水状态土样制备应在保持天然含水率的情况下，全部土样拌和均匀。根据含砾量多少，取代表性土样，测定其天然含水率。根据各项试验所需总量，分别取所需土样质量进行存放，装入保湿器或塑料袋中扎紧袋口存放，防止含水率变化。

3.3.4　制备无黏性粗颗粒土的土样时，应将全部土样按第

国家铁路局信息公开 浏览专用

3.3.3 条第 1 款依次过粗筛，分组称量，必要时取不大于 5 mm 粒组过筛，计算各粒组含量百分数。按粒组分别存放。

3.3.5 描述粗粒的岩性、形状、风化程度及细粒特性。

3.3.6 根据天然级配或人工级配或工程要求的级配进行试样配制，试样中含有超过试样允许的最大粒径颗粒时，可按以下方法处理：

1 剔除法：剔除超粒径颗粒。

2 等量替代法：根据试样允许的最大粒径以下的大于 5 mm 各粒组含量，按比例等质量替换超粒径颗粒。

3 相似级配法：根据原级配曲线的粒径，分别按照几何相似条件等比例地将原样粒径缩小。缩小后的土样级配应保持不均匀系数和曲率系数不变。

4 结合法：先用相似级配法以较适宜的比例缩小粒径，控制不大于 5 mm 粒径符合试验要求的含量，超粒径颗粒再用等量替代法处理。

3.3.7 根据确定的试验级配，称取各粒组的土样，将土样平铺在不吸水的垫板上拌和均匀，按控制含水率均匀施加所需的水量后，充分拌和，浸润 24 h。实测含水率与控制含水率之差不应大于 1%。

3.3.8 处理超粒径颗粒的计算应符合下列规定：

1 剔除法级配应按下列公式计算：

$$P_i=\frac{P_{0i}}{100-P_{\mathrm{dmax}}}\times 100 \qquad (3.3.8\text{—}1)$$

式中 P_i——剔除后某粒组含量（%）；

P_{0i}——原级配某粒组含量（%）；

P_{dmax}——超粒径颗粒含量（%）。

2 等量替代法级配应按下列公式计算：

$$P_i=\frac{P_5}{P_5-P_{\mathrm{dmax}}}P_{0i} \qquad (3.3.8\text{—}2)$$

国家铁路局信息公开 试读专用

式中 P_i——替代后粗粒某粒组含量（%）；

P_5——原级配大于 5 mm 粒组含量（%）。

3 相似级配法粒径和级配应按下列公式计算：

$$d_{ni}=\frac{d_{0i}}{n} \tag{3.3.8—3}$$

$$n=\frac{d_{0\max}}{d_{\max}} \tag{3.3.8—4}$$

$$P_{dn}=\frac{P_{d0}}{n} \tag{3.3.8—5}$$

式中 d_{ni}——原级配某粒径缩小后的粒径（mm）；

n——粒径缩小系数；

P_{dn}——粒径缩小 n 倍后相应的不大于某粒径含量百分数（%）；

d_{0i}——原级配某粒径（mm）；

$d_{0\max}$——原级配最大粒径（mm）；

$d_{\max}$——试样允许最大粒径（mm）；

P_{d0}——原级配相应的不大于某粒径含量百分数（%）。

3.3.9 按试验要求级配进行土样制备时，各粒组质量及所需加水量计算应符合下列规定：

1 所需风干土或天然含水状态土质量和某粒组风干土或天然含水状态土质量应按下列公式计算：

$$m=m_1+m_2 \tag{3.3.9—1}$$

$$m_1=V\rho_d(1+0.01w_1)0.01P_5 \tag{3.3.9—2}$$

$$m_2=V\rho_d(1+0.01w_2)(1-0.01P_5) \tag{3.3.9—3}$$

$$m_i=\frac{P_i}{P_5}m_1 \tag{3.3.9—4}$$

式中 m——风干土或天然土总质量（g）；

m_1——大于 5 mm 粗粒风干土或天然土质量（g）；

m_2——小于 5 mm 细粒风干土或天然土质量（g）；

m_i——粗粒某粒组中风干土质量（g）；

国家铁路局信息公开 浏览专用

V——试样体积（cm^3）；

ρ_d——试样控制干密度（g/cm^3）；

P_5——制样时大于 5 mm 颗粒含量（%）；

w_1——大于 5 mm 颗粒风干或天然含水率（%）；

w_2——小于 5 mm 颗粒风干或天然含水率（%）；

P_i——粗粒某粒组含量（%）。

2　土样所需加水量应按下列公式计算：

$$m_w=\frac{m}{1+0.01w_0}0.01(w-w_0) \qquad (3.3.9\text{—}5)$$

$$w_0=0.01w_1P_5+w_2(1-0.01P_5) \qquad (3.3.9\text{—}6)$$

式中　m_w——土样所需加水量（g）；

w_0——风干土或天然土总含水率（%）；

w——试样控制含水率（%）。

3.3.10　记录格式应符合表 3.3.10 的要求。

表 3.3.10　粗粒土扰动样制备记录表

试样编号：_____　允许最大粒径：____ mm　超径颗粒处理方法：_____

控制干密度（g/m^3）	控制含水率（%）	试样体积（cm^3）	干试样质量（g）	>5 mm 粒组		≤5 mm 粒组			风干试样含水率（%）	试样加水量（g）
				干质量（g）	风干含水率（%）	干质量（g）	风干含水率（%）	取土样质量（g）		

>5 mm 粒组	原级配粒组含量	试验级配粒组含量	取土样质量

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

3.4　原状土试样制备

3.4.1　根据力学试验项目要求，制备同一组试样的密度差值不

国家铁路局信息公开浏览专用

应大于 0.03 g/cm^3，含水率差值不应大于 2%。

3.4.2 原状土试样制备应符合下列规定：

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，确认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，并描述土样的层次、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，以备补作试验时使用。切好的试样不立即进行试验或无需饱和时，应将试样暂存于保湿器内。

3.5 试 样 饱 和

3.5.1 试样饱和宜根据土样的透水性能，分别采用下列方法：

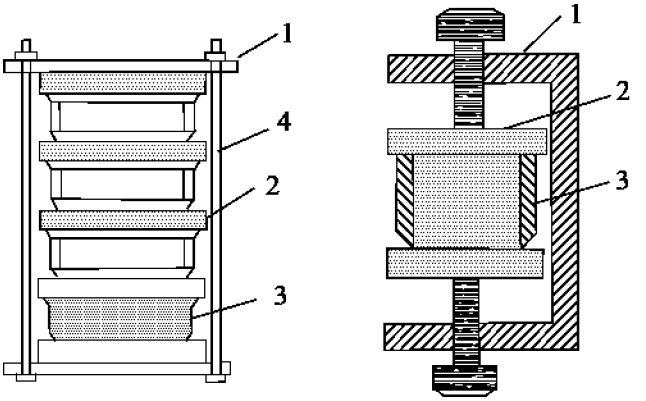
1 砂类土可直接在仪器内浸水饱和。

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，土的结构性较差、抽气可能发生试样扰动时则不宜采用。

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(b)），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。

国家铁路局信息公开 浏览专用



(a) 重叠式饱和器　　(b) 框架式饱和器

图 3.5.2　饱和器

1—夹板；2—透水石；3—环刀；4—拉杆

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　选用重叠式或框架式饱和器（图 3.5.2）和真空饱和装置（图 3.5.3）。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。

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，真空压力表读数接近 1 个大气负压力值后，继续抽气不

国家铁路局信息公开
测试专用

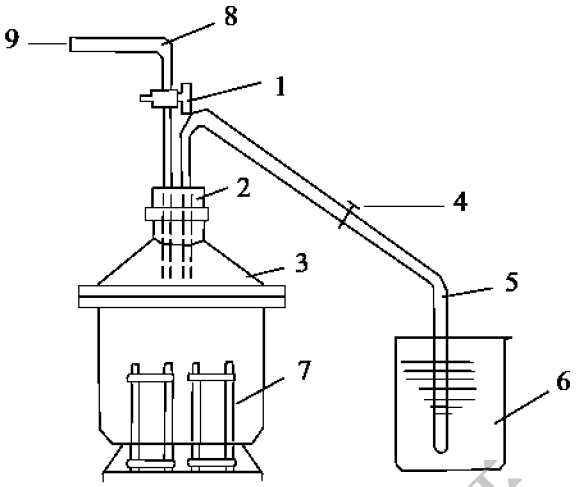


图 3.5.3　真空饱和装置

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

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，称取环刀和土总质量，准确至 0.1 g，并计算饱和度。饱和度小于 95%时，应继续进行饱和。

3.5.4　试样的饱和度应按下式计算：

$$S_r=\frac{w_{sr}\rho_s}{e\rho_w} \tag{3.5.4}$$

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）。

国家铁路局信息公开浏览专用

4 含水率试验

4.1 一 般 规 定

4.1.1 本试验可用于测定土的含水率，计算土的干密度、孔隙比、孔隙率、饱和度等指标。

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。需要快速测定含水率时，应根据土的性质和工程情况分别选用下列方法：

1 碳化钙减量法：适用于各类土。

2 酒精燃烧法：适用于不含有机质的砂类土、粉土和黏性土。

3 核子射线法：适用于现场原位测定填料为细粒土和粗粒土的含水率，测定前宜用灌砂法的结果进行标定。

4.1.3 烘干法测定含水率，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 ℃～70 ℃，将试样烘至恒量。

4.2 烘 干 法

4.2.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 电热干燥箱：应能控制温度为105 ℃～110 ℃。

2 真空干燥箱：应能控制温度为65 ℃～70 ℃。

3 天平：称量200 g、分度值0.01 g；称量1 000 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。

国家铁路局信息公开 浏览专用

5　干燥箱：内用硅胶干燥剂。

4.2.2　试验操作应符合下列规定：

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（采用电子天平，先放一等质量称量盒去皮），即可直接称得湿土质量。

2　打开盒盖，将装有试样的称量盒放入电热干燥箱，在 105 ℃～110 ℃温度下烘干。

烘干时间：粉土、黏性土不少于 8h，砂类土不少于 6 h，砾、碎石类土不少于 4 h。

3　将称量盒从电热干燥箱中取出，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 200 g，准确至 0.01 g；称量大于 200 g，准确至 0.2 g。

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

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
	有机土	30～50
粗粒土	砂类土	30～50
	砾石类	500～1 000
巨粒土	碎石类	1 500～3 000

4.2.3　试验结果应按下式计算：

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

式中　w——含水率（%），计算至 0.1%；

m_d——干试样质量（g）；

国家铁路局信息公开
测试专用

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。平行测定的差值大于允许差值时，应重新进行试验。

表4.2.4 含水率平行测定允许差值

土的类别	含水率平行差值(%)		
	$w\leqslant10$	$10<w\leqslant40$	$w>40$
砂类土、有机土、粉土、黏性土	0.5	1.0	2.0
砾石类、碎石类	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)	$\left[\frac{(1)}{(2)}-1\right]\times100$		

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

4.3 碳化钙减量法

4.3.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 天平：称量200 g或1 000 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。

国家铁路局信息公开 浏览专用

4.3.2 试验操作应符合下列规定：

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 4.3.2 确定，准确至 0.01 g。

表 4.3.2 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，试验即可结束。

4.3.3 试验结果应按下式计算：

$$w=\frac{m_{C_2H_2}\times 1.385}{m-m_{C_2H_2}\times 1.385}\times 100 \qquad (4.3.3\text{—}1)$$

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，

$$m_{C_2H_2}=m_A-m_B \qquad (4.3.3\text{—}2)$$

其中 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。

4.3.4 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。平行测定的差值大于允许差值

国家铁路局信息公开 浏览专用

时，应重新进行试验。

4.3.5 记录格式应符合表 4.3.5 的要求。

表 4.3.5 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	$m_{C_2H_2}$ 的质量(g)	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)		含水率(%)	平均值(%)

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

4.4 酒精燃烧法

4.4.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 天平：称量 200 g，分度值 0.01 g。

2 酒精：浓度 95%。

3 其他：干燥器、等质量的称量盒、滴管等。

4.4.2 试验操作应符合下列规定：

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

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，烧至火焰熄灭。

3 冷却约 1 min 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。

4.4.3 本试验结果应按本规程公式(4.2.3) 计算。

4.4.4 本试验允许差应符合本规程第 4.2.4 条的规定。

国家铁路局信息公开 浏览专用

4.4.5 本试验记录格式应符合本规程表 4.2.5 的要求。

4.5 核子射线法

4.5.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 主机：由放射源、探测器、微处理器、测深定位装置等组成，如图 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。

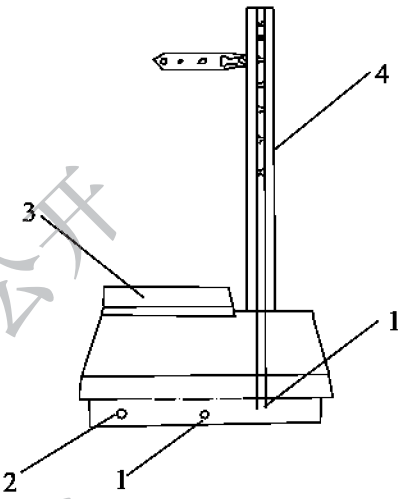


图 4.5.1 核子湿度密度仪示意图
1—放射源；2—探测器；3—微处理器；4—测深定位装置

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 0～0.64 g/cm³，密度 1.12～2.73 g/cm³。

2）准确度：含水量 ±0.004 g/cm³，密度±0.004 g/cm³。

4.5.2 试验操作应符合下列规定：

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。仪器发出结束信号后，检查含水率、密度

国家图书馆信息公开浏览专用

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/cm³ 或 kg/cm³；

3）密度、含水率的偏移量，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。孔深应大于测试深度，孔应垂直；孔壁光滑，不得坍塌。被测材料不便于造孔时，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 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 被测材料中含有硼、氢等吸收中子的元素成非自由水氢元素时，其检测结果应用烘干法求出偏移量进行校正。

7 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 试验结果应按下列公式计算：

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

式中 w——含水率（%），计算至 0.1%；

ρ_d——干密度（g/cm³）；

ρ——湿密度（g/cm³）；

ρ_{sw}——含水量（单位体积土中水的质量）（g/cm³）。

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

国家铁路局标准公开浏览专用

将仪器绕测孔旋转 180°进行第二次读数，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。两次测定的平行差值超过允许差值时，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/cm³）		干密度（g/cm³）		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

国家铁路局信息公开浏览专用

5 密 度 试 验

5.1 一 般 规 定

5.1.1 本试验可用于测定土的密度，计算土的干密度、孔隙比、孔隙率、饱和度、压实系数等指标。

5.1.2 本试验应根据土的类别采用下列方法：

1 环刀法适用于测定粉土和黏性土的密度。

2 蜡封法适用于测定环刀难以切削并易碎裂的土的密度。

3 灌砂法适用于现场测定最大粒径小于 75 mm 的土的密度。

4 灌水法适用于现场测定最大粒径小于 200 mm 的土的密度。

5 气囊法适用于现场测定最大粒径小于 40 mm 的土的密度。

6 核子射线法适用于现场测定填料为细粒土、粗粒土的压实密度，测定前宜用灌砂法的结果进行标定。

5.2 环 刀 法

5.2.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

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 试验操作应符合下列规定：

1 按工程需要取原状土或扰动土制备击实试样，试样切削

国家铁路局信息公开浏览专用

和称量按本规程第 3.2.3 条第 2～3 款规定进行。

2 称量试样时，可在天平放法码一端放一等质量环刀（采用电子天平，先放一等质量环刀去皮），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：

$$\rho=\frac{m_0}{V} \tag{5.2.3—1}$$

$$\rho_d=\frac{\rho}{1+0.01w} \tag{5.2.3—2}$$

式中 ρ——试样的湿密度（g/cm³），计算至 0.01 g/cm³；

ρ_d——试样的干密度（g/cm³）；

m_0——湿试样质量（g）；

V—— 环刀容积（cm³）；

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 g/cm³，取算术平均值。平行测定的差值大于允许差值时，应重新进行试验。

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）	环刀容积（cm³）	湿密度（g/cm³）	含水率（%）	干密度（g/cm³）	平均干密度（g/cm³）
		(1)	(2)	$(3)=\frac{(1)}{(2)}$	(4)	$(5)=\frac{(3)}{1+0.01\times(4)}$	(6)

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

国家铁路局信息公开 测试专用

5.3 蜡 封 法

5.3.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

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 试验操作应符合下列规定：

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，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 ℃。

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，如果质量增加，则证明试样中有水浸入，应另取试样重作试验。

5 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，不得与杯壁接触，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

$$\rho=\frac{m_0}{\frac{m_n-m_{nw}}{\rho_{wT}}-\frac{m_n-m_0}{\rho_n}} \tag{5.3.3—1}$$

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 ℃时的密度（g/cm³），查表 7.3.4—3；

ρ_n——蜡的密度（约 0.92 g/cm³）。

2 采用电子天平测定时

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

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公式(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 g/cm³，取算术平均值。平行测定的差值大于允许差值时，应重新进行试验。

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 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

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连接。底盘承托灌砂漏斗和容砂瓶。填料最大粒径大于 60 mm 时，采用边长 400 mm 的底盘。

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

3 分析筛：孔径 0.25 mm、0.50 mm。

4 其他：小铁锹、小铁铲、盛土容器等。

5.4.2 量砂密度的测定应符合下列规定：

1 量砂宜选用粒径为 0.25～0.50 mm，密度为 1.47～1.61 g/cm³ 的洁净干燥砂。

国家铁路局信息公开 浏览专用

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

试样编号	试样质量（g）	蜡封试样质量（g）	蜡封试样在水中的质量（g）	水温（℃）	水的密度（g/cm^3）	蜡封试样体积（cm^3）	蜡体积（cm^3）	试样体积（cm^3）	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）
	(1)	(2)	(3)		(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)
						$\frac{(2)-(3)}{(4)}$	$\frac{(2)-(1)}{\rho_n}$	(5)−(6)	$\frac{(1)}{(7)}$		$\frac{(8)}{1+0.01(9)}$	

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

国家铁路局信息公开
浏览专用

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，三次测值之间的差值不得大于 5 g，否则应重新测定，取三次测定值的平均值。

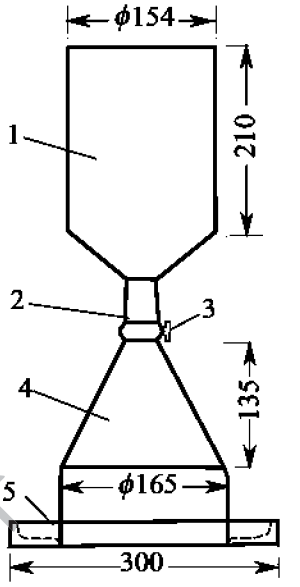


图 5.4.1 密度测定器
1—容砂瓶；2—螺纹接头；3—阀门；4—灌砂漏斗；5—底盘

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，向漏斗中灌满量砂。打开阀门使漏斗中的量砂漏入容砂瓶内，边漏边继续向漏斗中补充量砂，当量砂停止流动时迅速关闭阀门。倒掉漏斗内多余的量砂，称灌满量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 容砂瓶容积按下列公式计算：

$$V_r = \frac{m_{r2} - m_{r1}}{\rho_{wT}} \qquad (5.4.2\text{—}1)$$

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 量砂的密度按下列公式计算：

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

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

国家铁路局信息公开 测试专用

m_{r3}——灌满量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量砂的质量应符合下列规定：

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

2 将灌满量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，打开阀们，直至砂停止流动。

3 迅速关闭阀们，称取剩余量砂和密度测定器的总质量，计算流失量砂的质量，该流失量即为灌满漏斗所需量砂的质量（m_{r4}）。

4 重复上述步骤三次，取其平均值。

5.4.4 试验操作应符合下列规定：

1 根据试样最大粒径确定试坑尺寸，如表5.4.4所示。试坑深度不应大于该层填筑深度。

表5.4.4 灌砂法试坑尺寸

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
75	300	400

2 将选定试坑位置处的地面铲平，其面积略大于试坑直径，按试坑直径划出坑口轮廓线，在轮廓线内下挖至要求深度，边挖边将挖出的土放入盛土容器内，称土的质量 m_p，准确至10 g，然后取代表性土样测定含水率。

3 向容砂瓶内灌满量砂，关阀门，称灌满量砂的密度测定器的总质量 m_{r3}，准确至5 g。

4 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，使密度测定器内的量砂流入坑内，当密度测定器内量砂停止流动时关闭阀门。

国家铁路局信息公开 浏览专用

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

6　取出试坑内的量砂，以备下次试验时再用。若量砂的湿度发生变化或混有杂质，则应风干、过筛后再用。

7　试验完毕，应将试坑回填，并夯实。

5.4.5　试验结果应按下列公式计算：

$$\rho=\frac{m_p}{\frac{m_{sr}}{\rho_{sr}}} \tag{5.4.5—1}$$

$$\rho_d=\frac{\frac{m_p}{1+0.01w_0}}{\frac{m_{sr}}{\rho_{sr}}} \tag{5.4.5—2}$$

式中　m_{sr}——灌满试坑所用量砂的质量（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
灌满量砂的密度测定器总质量(g)	(1)		
灌砂漏斗所需量砂的质量(g)	(2)		
密度测定器和剩余量砂的质量(g)	(3)		
灌满试坑所用量砂的质量(g)	(4)	(4)=(1)−(2)−(3)	
量砂密度(g/cm³)	(5)		
试坑容积(cm³)	(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/cm³)	(10)	(10)=(9)/(6)	
土的含水率(%)	(11)		
土的干密度(g/cm³)	(12)	(12)=(10)/[1+0.01×(11)]	

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

国家铁路局信息公开浏览专用

5.5 灌 水 法

5.5.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 储水筒：直径应均匀，并附有刻度及出水管。

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 试验操作应符合下列规定：

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，试坑深度不应大于该层填筑深度。

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 m_p，准确至 10 g。并取代表性土样测定含水率。

表 5.5.2 灌水法试坑尺寸

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
75	300	400
150	600	750
200	800	1 000

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

国家铁路局信息公开 浏览专用

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 试验完毕，应将试坑回填，并夯实。

5.5.3 试验结果应按下列公式计算：

$$\rho=\frac{m_p}{V_p} \tag{5.5.3—1}$$

$$V_p=(H_1-H_2)\cdot A_w \tag{5.5.3—2}$$

式中 V_p——试坑容积（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——储水筒横断面面积（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）	试坑容积（cm^3）	土的质量（g）	土的含水率（%）	土的湿密度（g/cm^3）	平均湿密度（g/cm^3）	平均干密度（g/cm^3）
		初始	终止							
		(1)	(2)	(3)	(4)=[(2)−(1)]×(3)	(5)	(6)	(7)=(5)/(4)	(8)	(9)=(8)/[1+0.01×(6)]

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

5.6 气 囊 法

5.6.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

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

国家铁路局信息公开 试读专用

所示。仪器各部件应符合下列要求：

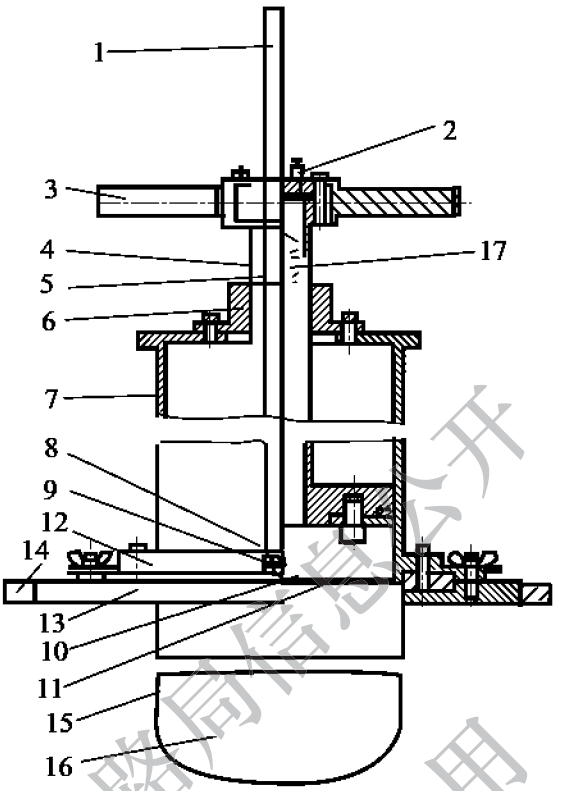


图 5.6.1　气囊式容积测定仪示意图

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

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）缸筒容积不小于 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/cm^3。

5）数显测尺最小分度值 0.01 mm。

2　台秤：称量 10kg，分度值 5 g。

3　挖土工具：凿子、锤子、勺子、半圆土铲、毛刷等。

国家铁路局信息公开
测试专用

4　其他：盛土容器、钢卷尺等。

5.6.2　试验操作应符合下列规定：

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。

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　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。

9　试验完毕，应将试坑回填，并夯实。

5.6.3　试验结果应按下列公式计算：

$$\rho=\frac{m_p}{V_p} \tag{5.6.3—1}$$

$$V_p=A_g(L_2-L_1) \tag{5.6.3—2}$$

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。

国家铁路局信息公开浏览专用

表 5.6.4　气囊法密度试验记录

容积仪常数 A_g＝____ cm^3/mm

试样编号	试坑编号	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·(3)	(5)	(6)＝(5)/(4)	(7)	(8)＝(6)/[1+0.01×(7)]	

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：

$$\rho_d = \rho - \rho_{sw} \tag{5.7.3}$$

式中　ρ_d——干密度（g/cm^3），计算至 0.01 g/cm^3；

ρ——湿密度（g/cm^3）；

ρ_{sw}——单位体积土中水的质量（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，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。

国家铁路局信息公开 试验专用

6 颗粒密度试验

6.1 一 般 规 定

6.1.1 本试验可用于测定土的颗粒密度，计算土的孔隙比、孔隙率、饱和度等指标。

6.1.2 本试验应根据土粒不同粒径，分别采用下列方法：

1 最大粒径小于 5 mm 的土采用量瓶法测定。

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%时采用浮称法；大于 10%时采用虹吸筒法。

3 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列公式计算：

$$\rho_{sm}=\frac{1}{\frac{P_1}{\rho_{s1}}+\frac{P_2}{\rho_{s2}}} \tag{6.1.2}$$

式中 ρ_{sm}——平均颗粒密度（g/cm³），计算至 0.01 g/cm³；

ρ_{s1}、ρ_{s2}——分别为大于和小于 5 mm 粒径的颗粒密度（g/cm³）；

P_1、P_2——分别为大于和小于 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 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

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±1 ℃。

国家铁路局信息公开 浏览专用

4　砂浴：可调节温度。

5　温度计：测量范围0～50 ℃，分度值0.5 ℃。

6　真空抽气设备：包括真空泵、抽气缸、真空压力表等。

7　其他：电热干燥箱、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　试验操作应符合下列规定：

1　一般土的颗粒密度应采用纯水测定；土中含有可溶盐、亲水性胶体或有机质时，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B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，测定量瓶内水的温度，准确至0.5 ℃。

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

国家铁路局标准公开
测试专用

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应达到约一个大气负压力值，抽气时间1～2 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

$$\rho_s=\frac{m_d}{m_{pw}+m_d-m_{pws}}\rho_{wT} \qquad (6.2.3\text{—}1)$$

式中 ρ_s——颗粒密度（g/cm³），计算至0.01 g/cm³；

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 ℃时水的密度（g/cm³）。

2 用中性液体测定时

$$\rho_s=\frac{m_d}{m_{pu}+m_d-m_{pus}}\rho_{uT} \qquad (6.2.3\text{—}2)$$

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 ℃时中性液体的密度（g/cm³），按附录B.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 g/cm³，取算术平均值。平行测定的差值大于允许差值时，应重新进行试验。

6.2.5 记录格式应符合表6.2.5的要求。

国家铁路局信息公开 浏览专用

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(℃)	T(℃)时量瓶＋液体质量(g)	与干试样同体积的液体质量(g)	T(℃)时液体密度(g/cm³)	颗粒密度(g/cm³)	平均值(g/cm³)
(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　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　孔径小于 5 mm 的铁丝筐，直径约 100～150 mm，高约 100～200 mm。

2　适合铁丝框沉入用的盛水容器。

3　天平：称量不小于 2 kg，分度值不小于 0.2 g。

4　其他：电热干燥箱、温度计、孔径 5 mm 及 20 mm 筛、毛巾、瓷盘等。

6.3.2　试验操作应符合下列规定：

1　取粒径大于 5 mm 的代表性试样不少于 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）。

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

国家铁路局信息公开浏览专用

水中总质量（m_2），并测定盛水容器内水温，准确至0.5 ℃。

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 ℃～110 ℃电热干燥箱中烘4～6 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0.2 g。

6.3.3 试验结果应按下列公式计算：

1 颗粒密度

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

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

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

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

式中 ρ_b——饱和面干密度（g/cm³）；

ρ_a——毛体积密度（g/cm³）；

m_b——饱和面干试样质量（g）。

3 吸着含水率

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

式中 w_x——吸着含水率（%），计算至0.1%。

4 孔隙率

$$n=\left(1-\frac{\rho_d}{\rho_s}\right)\times 100 \tag{6.3.3—5}$$

式中 n——孔隙率（%）；

ρ_d——干密度（g/cm³）；

ρ_s——颗粒密度（g/cm³）。

6.3.4 本试验应进行平行测定，平行测定的差值不得大于

国家铁路局信息公开
试览专用

0.02 g/cm³，取算术平均值。平行测定的差值大于允许差值时，应重新进行试验。

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/cm³）	颗粒密度（g/cm³）	平均值（g/cm³）
	(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

国家铁路局信息公开 浏览专用

6.4 虹 吸 筒 法

6.4.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 虹吸筒：如图 6.4.1 所示。

2 案秤：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。

6.4.2 试验操作应符合下列规定：

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 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。

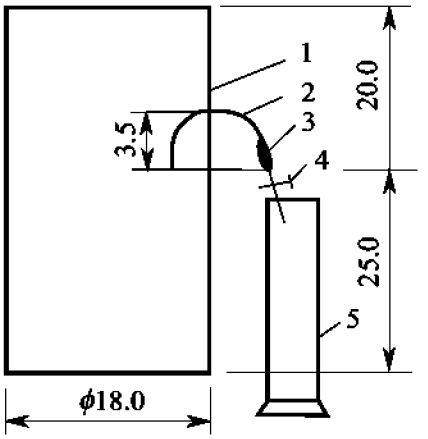


图 6.4.1　虹吸筒示意图（单位：cm）

1—虹吸筒；2—虹吸管；3—橡皮管；4—管夹；5—量筒

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 ℃，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 ℃～110 ℃电热干燥箱中烘干，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

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

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

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

国家铁路局信息公开
测试专用

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

3 吸着含水率应按本规程式(6.3.3—4) 计算。

4 孔隙率按本规程式(6.3.3—5) 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/cm³，取算术平均值。平行测定的差值大于允许差值时，应重新进行试验。

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

试样编号	水的温度(℃)	水的密度(查表)(g/cm³)	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/cm³)	平均值(g/cm³)
	(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

国家铁路局信息公开浏览专用

7　颗粒分析试验

7.1　一 般 规 定

7.1.1　本试验可用于测定土中各粒组干土质量占该土总质量的质量分数。

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 200 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　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　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　分析筛

1）粗筛：孔径为 200 mm、150 mm、100m、75 mm、60 mm、40 mm、20 mm、10 mm、5 mm、2 mm。

2）筛：孔径为 2 mm、1 mm、0.5 mm、0.25 mm、0.075 mm。

2　台秤：称量 100 kg 或 50 kg，分度值 50 g。

3　案秤：称量 10 kg，分度值 5 g；称量 5 kg，分度值 1 g。

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

5　筛析机：上下震动正常。

6　其他设备：电热干燥箱、瓷盘、研钵（带橡皮头的杵、钢丝刷）等。

国家铁路局信息公开
浏览专用

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
＜40	2 000～4 000
＜60	≥5 000
＜75	≥6 000
＜100	≥8 000
＜150	≥10 000
＜200	≥10 000

7.2.3 试验操作应符合下列规定：

1 无凝聚性土的试验

1）根据土样颗粒大小，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。称量小于 500 g 时，应准确至 0.1 g；称量大于 500 g 时，应准确至 1 g；称量大于5 kg 时，应准确至 5 g；称量大于 10 kg 时，应准确至 50 g。

2）将试样过 2 mm 筛，称筛上或筛下的试样质量，筛下的试样质量小于试样总质量的 10%时，不作细筛分析；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，置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。

国家铁路局信息公开浏览专用

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后通过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3～5项各步骤进行细筛分析。

4）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

$$X=\frac{m_{\mathrm{A}}}{m_{\mathrm{B}}}\cdot d_{\mathrm{x}} \qquad (7.2.4\text{—}1)$$

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）及粗筛分析土质量百分数 $d_x=100\%$。

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，在半对数坐标纸上绘制颗粒大小分布曲线，如图 7.2.4 中 03 号线。

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条平滑曲线。

3 级配指标

1）不均匀系数

$$C_u=d_{60}/d_{10} \qquad (7.2.4\text{—}2)$$

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。

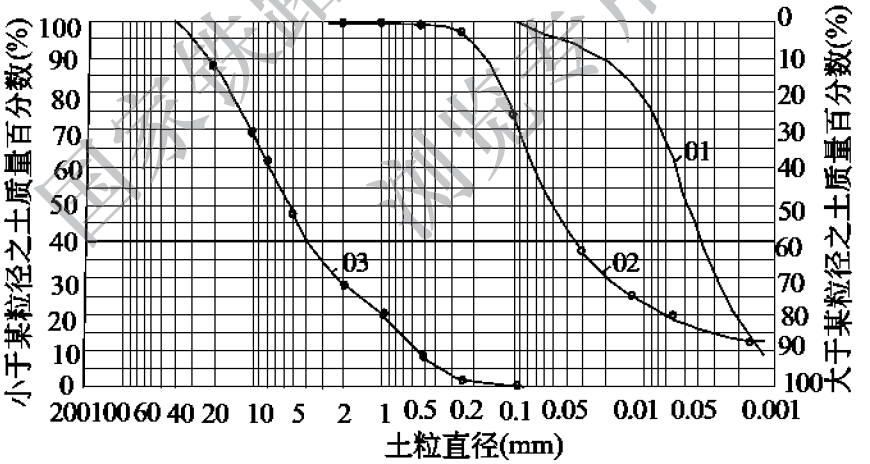


图 7.2.4 颗粒大小分布曲线图

2）曲率系数

$$C_c=d_{30}^2/(d_{10}\cdot d_{60}) \qquad (7.2.4\text{—}3)$$

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。

国家铁路局信息公开 仅供参用

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						
d_{85}＝_____ d_{60}＝_____ d_{30}＝_____ d_{15}＝_____ d_{10}＝_____ $C_u=d_{60}/d_{10}$＝_____ $C_c=d_{30}^2/(d_{10}\cdot d_{60})$＝_____						
筛类别	孔径（mm）	分计留筛试样质量（g）	累计留筛试样质量（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（%）	小于该孔径占试样总质量百分数（%）
筛底存留(g)						

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

国家铁路局信息公开
浏览专用

7.3　密　度　计　法

7.3.1　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　密度计：密度计刻度应按本规程附录 C 校正。

1）甲种：刻度单位以 20 ℃时每 1 000 mL 悬液内所含试样质量的克数表示。刻度－5～50，分度值为 0.5。

2）乙种：刻度单位以 20 ℃时悬液的相对密度表示。刻度 0.995～1.020，分度值为 0.000 2。

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 分析筛：孔径为 2 mm、0.5 mm、0.25 mm、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 试验操作应符合下列规定：

1 本试验应采用风干试样。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：

$$K_{20}=K_T/[1+0.02(T-20)] \qquad (7.3.3-1)$$

式中 K_{20}——20 ℃时试样溶液的电导率（μS/cm）；

K_T—— T ℃时试样溶液的电导率（μS/cm）；

国家铁路局信息公开浏览专用

T——测定试样溶液时的温度（℃）。

当 $K_{20}>1\ 000\ \mu S/cm$ 时，应洗盐。当 $K_{20}>2\ 000\ \mu S/cm$ 时，应按《铁路工程岩土化学分析规程》（TB 10103）第 34.1 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《铁路工程岩土化学分析规程》（TB 10103）第 34.1 节进行易溶盐含量测定。

3）洗盐方法：按公式(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 $K_{20}<1\ 000\ \mu S/cm$（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

$$m_0=30(1+0.01w_0) \qquad (7.3.3—2)$$

当易溶盐含量大于或等于 1%时

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

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

国家铁路局信息公开浏览专用

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 1min，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 1 000 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 3～5 项进行细筛分析，并计算各粒组颗粒占试样总质量的百分数。

6 量筒内的悬液加入 4%六偏磷酸钠［$(NaPO_3)_6$］10 mL，再加水至 1 000 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 min、1 min、5 min、30 min、120 min、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：

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

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，如表 7.3.4—1 所示；

m_T——悬液温度校正值，如表 7.3.4—2 所示；

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：

$$X=\frac{100V_x}{m_d}C'_s[(R'-1)+m'_T+n'-C'_D]\rho_{w20} \qquad (7.3.4—2)$$

式中 R'——乙种密度计读数；

V_x——悬液体积（V_x=1 000 mL）；

C'_s——颗粒密度校正值，如表 7.3.4—1 所示；

m'_T——悬液温度校正值，如表 7.3.4—2 所示；

n'——弯液面校正值，按本规程附录 C.0.3 校正；

C'_D——分散剂校正值，按本规程附录 C.0.4 校正；

ρ_{w20}——20 ℃时纯水的密度（ρ_{w20}=0.998 232 g/cm³）。

表 7.3.4—1 颗粒密度校正值

颗粒密度 ρ_s(g/cm³)	颗粒密度校正值	
	甲种密度计(C_s)	乙种密度计(C'_s)
2.50	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

国家铁路局信息公开 浏览专用

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	−0.001 2	20.0	0.0	0.000 0
10.5	−1.9	−0.001 2	20.5	+0.1	+0.000 1
11.0	−1.9	−0.001 2	21.0	+0.3	+0.000 2
11.5	−1.8	−0.001 1	21.5	+0.5	+0.000 3
12.0	−1.8	−0.001 1	22.0	+0.6	+0.000 4
12.5	−1.7	−0.001 0	22.5	+0.8	+0.000 5
13.0	−1.6	−0.001 0	23.0	+0.9	+0.000 6
13.5	−1.5	−0.000 9	23.5	+1.1	+0.000 7
14.0	−1.4	−0.000 9	24.0	+1.3	+0.000 8
14.5	−1.3	−0.000 8	24.5	+1.5	+0.000 9
15.0	−1.2	−0.000 8	25.0	+1.7	+0.001 0
15.5	−1.1	−0.000 7	25.5	+1.9	+0.001 1
16.0	−1.0	−0.000 6	26.0	+2.1	+0.001 3
16.5	−0.9	−0.000 6	26.5	+2.2	+0.001 4
17.0	−0.8	−0.000 5	27.0	+2.5	+0.001 5
17.5	−0.7	−0.000 4	27.5	+2.6	+0.001 6
18.0	−0.5	−0.000 3	28.0	+2.9	+0.001 8
18.5	−0.4	−0.000 3	28.5	+3.1	+0.001 9
19.0	−0.3	−0.000 2	29.0	+3.3	+0.002 1
19.5	−0.1	−0.000 1	29.5	+3.5	+0.002 2
			30.0	+3.7	+0.002 3

国家铁路局信息公开浏览专用

2　土粒粒径

$$d=\sqrt{\frac{1\,800\cdot\eta\cdot L}{\left(\frac{\rho_s-\rho_{wT}}{\rho_w}\right)\gamma_w\cdot t}}=\sqrt{\frac{18\times10^4\eta\cdot L}{\left(\frac{\rho_s-\rho_{wT}}{\rho_w}\right)9.81\cdot t}}\qquad(7.3.4\text{—}3)$$

式中　d——土粒粒径（mm），计算至 0.001 mm；

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

ρ_s——颗粒密度（g/cm³）；

ρ_{wT}——T ℃时水的密度（g/cm³），查表 7.3.4—3；

ρ_w——4 ℃时水的密度（g/cm³）；

γ_w——4 ℃时水的容重（值为 9.81 kN/m³）；

L——某一时间内土粒沉降距离（cm）；

t——沉降时间（s）。

表 7.3.4—3　T ℃时水的动力黏度和密度

温度 T	动力黏度 η	水的密度 ρ_w	温度 T	动力黏度 η	水的密度 ρ_w	温度 T	动力黏度 η	水的密度 ρ_w
℃	$\times10^{-6}$ kPa·s	g/cm³	℃	$\times10^{-6}$ kPa·s	g/cm³	℃	$\times10^{-6}$ kPa·s	g/cm³
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	0.999 982	15.5	1.130	0.999 050	25.5	0.889	0.996 944
6.0	1.470	0.999 968	16.0	1.115	0.998 970	26.0	0.879	0.996 813
6.5	1.449	0.999 951	16.5	1.101	0.998 888	26.5	0.869	0.996 679
7.0	1.427	0.999 930	17.0	1.088	0.998 802	27.0	0.860	0.996 542
7.5	1.407	0.999 905	17.5	1.074	0.998 714	27.5	0.850	0.996 403
8.0	1.387	0.999 876	18.0	1.061	0.998 623	28.0	0.841	0.996 262
8.5	1.367	0.999 844	18.5	1.048	0.998 530	28.5	0.832	0.996 119
9.0	1.347	0.999 809	19.0	1.035	0.998 433	29.0	0.823	0.995 974
9.5	1.328	0.999 770	19.5	1.022	0.998 334	29.5	0.814	0.995 826
10.0	1.310	0.999 728	20.0	1.010	0.998 232	30.0	0.806	0.995 676
10.5	1.292	0.999 682	20.5	0.998	0.998 128	30.5	0.797	0.995 524
11.0	1.274	0.999 633	21.0	0.986	0.998 021	31.0	0.789	0.995 369
11.5	1.256	0.999 580	21.5	0.974	0.997 911	31.5	0.781	0.995 213
12.0	1.239	0.999 525	22.0	0.963	0.997 799	32.0	0.773	0.995 054
12.5	1.223	0.999 466	22.5	0.952	0.997 685	32.5	0.765	0.994 894
13.0	1.206	0.999 404	23.0	0.941	0.997 567	33.0	0.757	0.994 731
13.5	1.190	0.999 339	23.5	0.930	0.997 448	33.5	0.749	0.994 566
14.0	1.175	0.999 271	24.0	0.919	0.997 327	34.0	0.742	0.994 399
14.5	1.160	0.999 200	24.5	0.909	0.997 201	34.5	0.734	0.994 230

国家铁路局信息公开 浏览专用

表 7.3.4—4　粒径计算系数 K 值

温度(℃)	颗　粒　密　度(g/cm^3)										
	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85	2.90	2.95	3.00
5.0	0.136 2	0.134 0	0.131 9	0.129 8	0.127 9	0.126 1	0.124 3	0.122 6	0.121 0	0.119 4	0.118 0
5.5	0.135 1	0.132 9	0.130 9	0.128 8	0.126 9	0.125 1	0.123 3	0.121 7	0.120 0	0.118 5	0.117 0
6.0	0.134 2	0.132 0	0.129 9	0.127 9	0.126 0	0.124 2	0.122 5	0.120 8	0.119 2	0.117 7	0.116 2
6.5	0.133 1	0.131 0	0.128 9	0.126 9	0.125 1	0.123 3	0.121 5	0.119 9	0.118 3	0.116 7	0.115 3
7.0	0.132 2	0.130 0	0.128 0	0.126 0	0.124 2	0.122 4	0.120 7	0.118 9	0.117 4	0.115 9	0.114 5
7.5	0.131 2	0.129 0	0.127 0	0.125 1	0.123 2	0.121 4	0.119 7	0.118 1	0.116 5	0.115 0	0.113 6
8.0	0.130 3	0.128 1	0.126 1	0.124 2	0.122 4	0.120 6	0.118 9	0.117 3	0.115 8	0.114 2	0.112 8
8.5	0.129 3	0.127 2	0.125 2	0.123 3	0.121 4	0.119 7	0.118 0	0.116 4	0.114 9	0.113 4	0.112 0
9.0	0.128 4	0.126 3	0.124 3	0.122 4	0.120 6	0.118 8	0.117 2	0.115 6	0.114 1	0.112 6	0.111 2
9.5	0.127 4	0.125 4	0.123 4	0.121 5	0.119 7	0.118 0	0.116 3	0.114 7	0.113 2	0.111 8	0.110 4
10.0	0.126 6	0.124 5	0.122 6	0.120 7	0.118 9	0.117 2	0.115 6	0.114 0	0.112 5	0.111 0	0.109 6
10.5	0.125 7	0.123 7	0.121 7	0.119 8	0.118 2	0.116 5	0.114 7	0.113 2	0.111 7	0.110 2	0.108 8
11.0	0.124 8	0.122 8	0.120 9	0.119 0	0.117 3	0.115 6	0.114 0	0.112 4	0.110 9	0.109 5	0.108 1
11.5	0.123 9	0.121 9	0.120 0	0.118 2	0.116 4	0.114 7	0.113 1	0.111 6	0.110 1	0.108 7	0.107 3
12.0	0.123 1	0.121 1	0.119 2	0.117 4	0.115 6	0.114 0	0.112 4	0.110 8	0.109 4	0.108 0	0.106 6
12.5	0.122 3	0.120 6	0.118 4	0.116 6	0.115 0	0.113 3	0.111 6	0.110 1	0.108 7	0.107 3	0.105 9
13.0	0.121 5	0.119 5	0.117 6	0.115 8	0.114 1	0.112 5	0.110 9	0.109 4	0.108 0	0.106 5	0.105 2

国家铁路局铁道行业标准 交流使用

续表 7.3.4—4

温度(℃)	颗 粒 密 度(g/cm^3)										
	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85	2.90	2.95	3.00
13.5	0.120 7	0.118 7	0.116 8	0.115 1	0.113 4	0.111 8	0.110 2	0.108 7	0.107 2	0.105 8	0.104 5
14.0	0.119 9	0.117 9	0.116 1	0.114 3	0.112 6	0.111 0	0.109 4	0.107 9	0.106 5	0.105 1	0.103 8
14.5	0.119 1	0.117 2	0.115 3	0.113 5	0.111 8	0.110 2	0.108 7	0.107 2	0.105 8	0.104 5	0.103 1
15.0	0.118 3	0.116 4	0.114 6	0.112 8	0.111 2	0.109 6	0.108 0	0.106 5	0.105 2	0.103 8	0.102 5
15.5	0.117 5	0.115 6	0.113 8	0.112 1	0.110 3	0.108 7	0.107 3	0.105 8	0.104 4	0.103 1	0.101 8
16.0	0.116 8	0.114 9	0.113 1	0.111 4	0.109 7	0.108 2	0.106 6	0.105 2	0.103 8	0.102 4	0.101 2
16.5	0.116 1	0.114 2	0.112 4	0.110 7	0.109 1	0.107 5	0.106 0	0.104 5	0.103 1	0.101 8	0.100 5
17.0	0.115 3	0.113 4	0.111 7	0.110 0	0.108 4	0.106 8	0.105 3	0.103 8	0.102 5	0.101 2	0.099 9
17.5	0.114 6	0.112 7	0.110 9	0.109 2	0.107 7	0.106 2	0.104 6	0.103 2	0.101 8	0.100 5	0.099 2
18.0	0.113 9	0.112 0	0.110 3	0.108 6	0.107 0	0.105 4	0.104 0	0.102 5	0.101 2	0.099 9	0.098 6
18.5	0.113 2	0.111 3	0.109 6	0.107 9	0.106 4	0.104 9	0.103 3	0.101 9	0.100 6	0.099 3	0.098 0
19.0	0.112 5	0.110 6	0.108 9	0.107 2	0.105 7	0.104 1	0.102 7	0.101 3	0.100 0	0.098 6	0.097 4
19.5	0.111 8	0.110 0	0.108 3	0.106 6	0.105 0	0.103 5	0.102 1	0.100 7	0.099 3	0.098 1	0.096 8
20.0	0.111 1	0.109 3	0.107 6	0.105 9	0.104 4	0.102 9	0.101 4	0.100 0	0.098 7	0.097 4	0.096 2
20.5	0.110 4	0.108 6	0.106 9	0.105 3	0.103 9	0.102 4	0.100 8	0.099 4	0.098 1	0.096 9	0.095 6
21.0	0.109 8	0.108 0	0.106 3	0.104 7	0.103 1	0.101 6	0.100 2	0.098 8	0.097 6	0.096 3	0.095 1
21.5	0.109 1	0.107 4	0.105 7	0.104 1	0.102 6	0.101 1	0.099 6	0.098 3	0.097 0	0.095 7	0.094 5

国家铁路局信息化

续表 7.3.4—4

温度(℃)	颗 粒 密 度(g/cm³)										
	2.50	2.55	2.60	2.65	2.70	2.75	2.80	2.85	2.90	2.95	3.00
22.0	0.108 5	0.106 7	0.105 0	0.103 4	0.101 9	0.100 4	0.099 0	0.097 7	0.096 4	0.095 1	0.094 0
22.5	0.107 8	0.106 1	0.104 4	0.102 8	0.101 3	0.099 9	0.098 4	0.097 1	0.095 8	0.094 6	0.093 4
23.0	0.107 2	0.105 5	0.103 8	0.102 2	0.100 7	0.099 3	0.097 9	0.096 5	0.095 3	0.094 0	0.092 9
23.5	0.106 6	0.104 8	0.103 2	0.101 6	0.100 2	0.098 8	0.097 3	0.096 0	0.094 7	0.093 5	0.092 3
24.0	0.106 0	0.104 3	0.102 6	0.101 1	0.099 6	0.098 2	0.096 8	0.095 4	0.094 2	0.093 0	0.091 8
24.5	0.105 4	0.103 6	0.102 0	0.100 5	0.099 0	0.097 6	0.096 2	0.094 9	0.093 6	0.092 4	0.091 3
25.0	0.104 8	0.103 1	0.101 5	0.099 9	0.098 4	0.097 0	0.095 7	0.094 4	0.093 1	0.091 9	0.090 8
25.5	0.104 2	0.102 5	0.100 9	0.099 3	0.097 9	0.096 5	0.095 1	0.093 8	0.092 6	0.091 4	0.090 2
26.0	0.103 6	0.101 9	0.100 3	0.098 8	0.097 3	0.095 9	0.094 6	0.093 3	0.092 1	0.090 9	0.089 7
26.5	0.103 0	0.101 3	0.099 7	0.098 2	0.096 8	0.095 4	0.094 0	0.092 7	0.091 5	0.090 3	0.089 2
27.0	0.102 5	0.100 8	0.099 2	0.097 7	0.096 3	0.094 9	0.093 6	0.092 3	0.091 1	0.089 9	0.088 8
27.5	0.101 8	0.100 2	0.098 6	0.097 1	0.095 7	0.094 3	0.093 0	0.091 7	0.090 5	0.089 3	0.088 2
28.0	0.101 3	0.099 7	0.098 1	0.096 6	0.095 2	0.093 8	0.092 5	0.091 2	0.090 0	0.088 9	0.087 8
28.5	0.100 8	0.099 1	0.097 6	0.096 1	0.094 8	0.093 5	0.092 0	0.090 7	0.089 5	0.088 4	0.087 3
29.0	0.100 2	0.098 6	0.097 0	0.095 6	0.094 2	0.092 8	0.091 5	0.090 3	0.089 1	0.087 9	0.086 8
29.5	0.099 7	0.098 0	0.096 5	0.095 0	0.093 9	0.092 6	0.091 0	0.089 7	0.088 6	0.087 4	0.086 3
30.0	0.099 2	0.097 5	0.096 0	0.094 6	0.093 2	0.091 8	0.090 6	0.089 3	0.088 1	0.087 0	0.085 9
30.5	0.098 6	0.097 0	0.095 5	0.094 0	0.092 7	0.091 3	0.090 0	0.088 8	0.087 6	0.086 5	0.085 4

国家公路局试读文件 请勿外传

为简化计算，公式(7.3.4—3)可写成：

$$d=K\sqrt{\frac{L}{t}} \qquad (7.3.4\text{—}4)$$

式中 K——粒径计算系数$\left(\text{值为}\sqrt{\dfrac{18\times10^{4}\eta}{\left(\dfrac{\rho_s-\rho_{wT}}{\rho_w}\right)9.81}}\right)$与悬液温度和颗粒密度有关。其值查表7.3.4—4。

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，如图7.2.4所示。

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试样占总试验样质量百分数：_____%	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 (℃)	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	$R_M=R+m_T+n-C_D$	$R_H=R_M\cdot C_s$				
	0.5										
	1										
	5										
	30										
	120										
	1 440										

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

国家铁路局信息公开 测试专用

7.4 移 液 管 法

7.4.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 移液管：容积 25 mL，如图 7.4.1 所示。

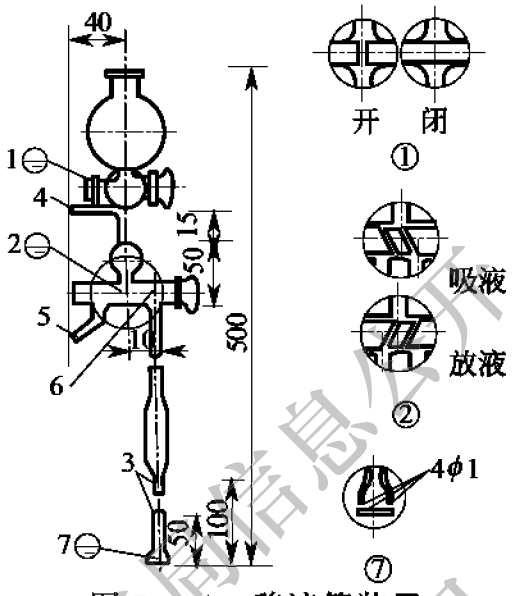


图 7.4.1 移液管装置

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 mL±0.5 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 0～100 ℃，分度值 0.5 ℃。

5 其他设备同本规程第 7.3.1 条。

7.4.2 试验操作应符合下列规定：

1 称取代表性试样（黏土 10～15 g、砂土 20 g），准确至 0.001 g，并按本规程第 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 ℃。

3 按本规程式（7.3.4—4）计算粒径小于 0.05 mm、0.01 mm、0.005 mm、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。

国家铁路局信息公开浏览专用

表 7.4.2　土粒沉降时间表

颗粒密度	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	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

国家建筑工程质量监督检验中心

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，从上口倒入少量水，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 试验结果应按下列公式计算及制图：

1 小于某粒径的试样质量占总试样质量的百分数

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

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（V_x=1 000 mL）；

V——吸取悬液的体积（V=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，如本规程图 7.2.4 中 02 号线。

7.4.4 记录格式应符合表 7.4.4 的要求。

国家铁路局信息公开
浏览专用

表 7.4.4　移液管法颗粒分析记录

试样编号：_____　　土颗粒密度：_____ g/cm³

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）	1 L 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

国家铁路局信息公开
浏览专用

8 界限含水率试验

8.1 一 般 规 定

8.1.1 本试验可用于测定黏性土的液限、塑限和缩限，计算塑性指数、液性指数。

8.1.2 本试验应采用下列方法：

1 液、塑限联合测定法：测定土的 10 mm 和 17 mm 液限与塑限。

2 碟式仪法：测定土的液限。

3 搓条法：测定土的塑限。

4 收缩皿法：测定土的缩限。

8.1.3 本试验适用于最大粒径小于 0.5 mm 颗粒组成的土。

8.2 液、塑限联合测定法

8.2.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

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：电热干燥箱、干燥器、称量盒、调土刀、凡士林等。

8.2.2 试验操作应符合下列规定：

1 本试验应采用保持天然含水率的土样制备试样。无法保持土的天然含水率时，可采用风干土制备试样。

2 采用天然含水率的土样时，应剔除大于 0.5 mm 的颗粒，

国家铁路局信息公开
浏览专用

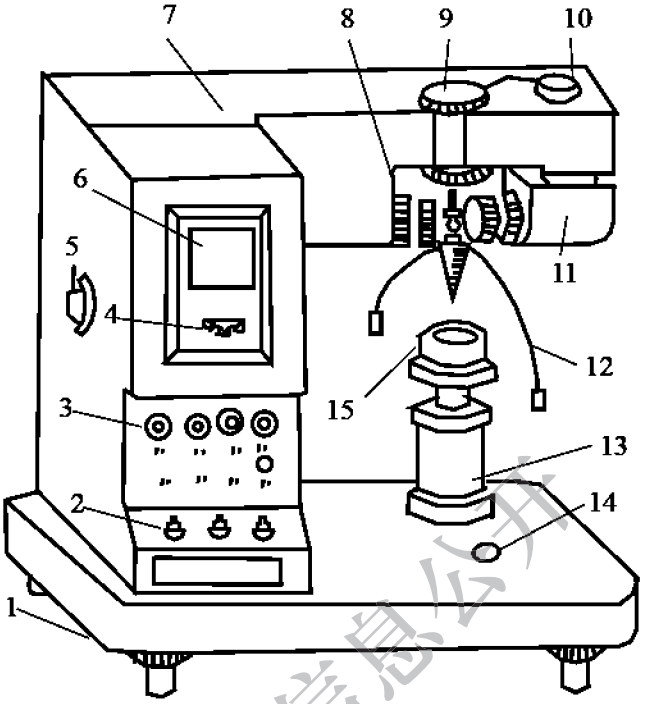


图 8.2.1　光电式液塑限联合测定仪

1—水平调节螺丝；2—控制开关；3—指标灯；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

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　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，使其分别达到本条第 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。

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

国家铁路局信息公开 浏览专用

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 调节屏幕准线至初始读数为零（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纽，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，测试其余二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 试样的含水率按本规程式（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

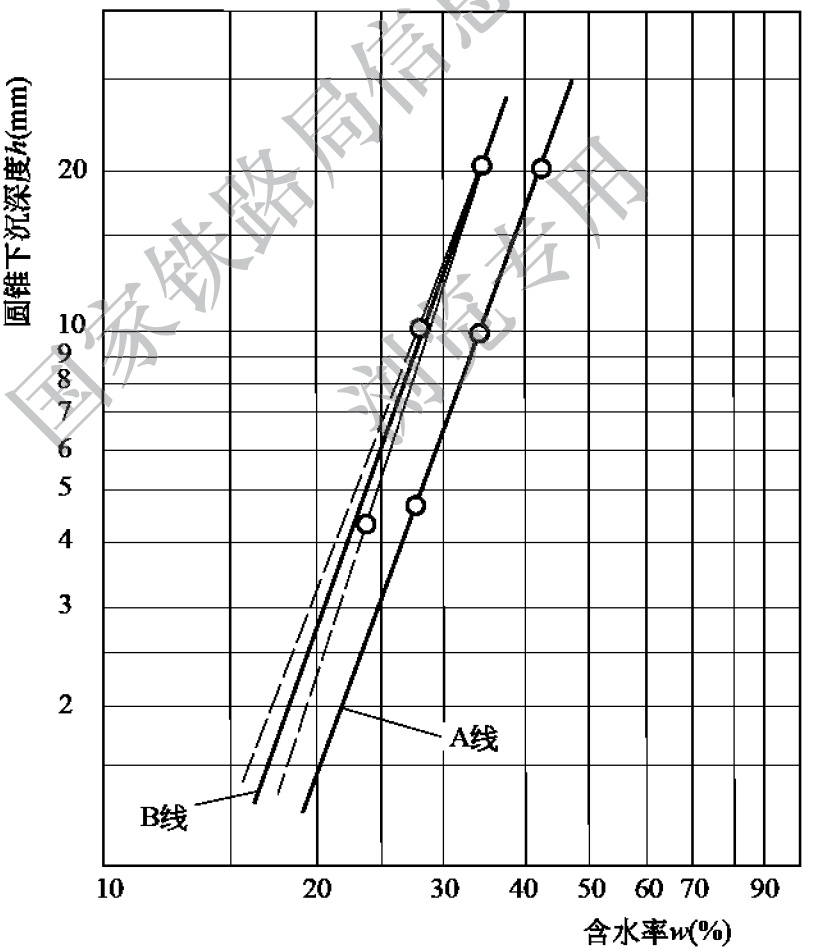


图 8.2.3 圆锥下沉深度与含水率关系曲线

国家铁路局信息公开 测试专用

坐标纸上绘制如图 8.2.3 所示的关系曲线。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。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。这两个含水率之差值大于或等于 2%时，则应再补作试验。

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

$$I_P = w_L - w_P \tag{8.2.3—1}$$

式中 I_P——塑性指数；

w_L——液限（%）；

w_P——塑限（%）。

5 液性指数

$$I_L = \frac{w - w_P}{I_P} \tag{8.2.3—2}$$

式中 I_L——液性指数，计算至 0.01；

w——天然含水率（%）。

6 含水比

$$a_w = \frac{w}{w_L} \tag{8.2.3—3}$$

式中 a_w——含水比。

8.2.4 记录格式应符合表 8.2.4 的要求。

国家铁路局信息公开浏览专用

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)=$\left[\frac{(1)}{(2)}-1\right]\times100$	(4) h= 17 mm	(5) h= 10 mm	(6) h= 2 mm	

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

8.3　碟式仪液限试验

8.3.1　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　碟式液限仪：由土碟、支架及底座所组成，如图 8.3.1 所示。其底座由硬橡胶所制成，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：电热干燥箱、干燥器、称量盒、调土刀等。

8.3.2　碟式仪在试验前的检查校正应符合下列规定：

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 10 mm）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　试验操作应符合下列规定：

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 所示。铺土时应注意防止在试样中混入气泡。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) 所示。为避免槽缝边扯裂

国家铁路局信息公开
测试专用

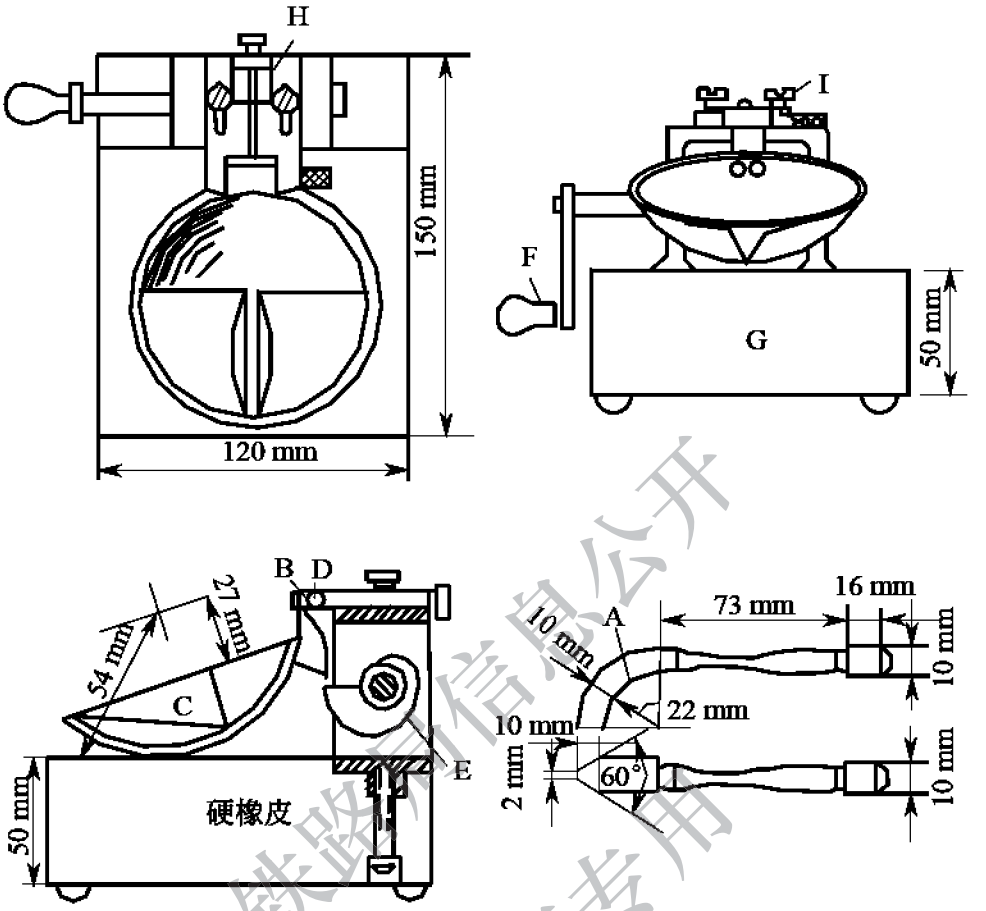


图 8.3.1　碟式液限仪

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

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，能明显地接触到碟底。但应尽量减少划槽的次数。



试前划成两半
(a)

试后合龙情况
(b)

图 8.3.3　划槽及合龙状况

国家铁路信息公开
测试专用

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龙长度为 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。取值以百分数表示，准确至 0.1%。

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 次土的稠度应使合龙长度为 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。取值以百分数表示，准确至 0.1%。

8.3.4 试验结果应按下式计算及制图：

1 各击数下合龙时试样的相应含水率

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

式中 w_N——N 击下试样的含水率（%）；

m_N——N 击下试样的质量（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，如图 8.3.4 所示。曲线上击数 25 次所对应的含水率，即为该试样的液限。

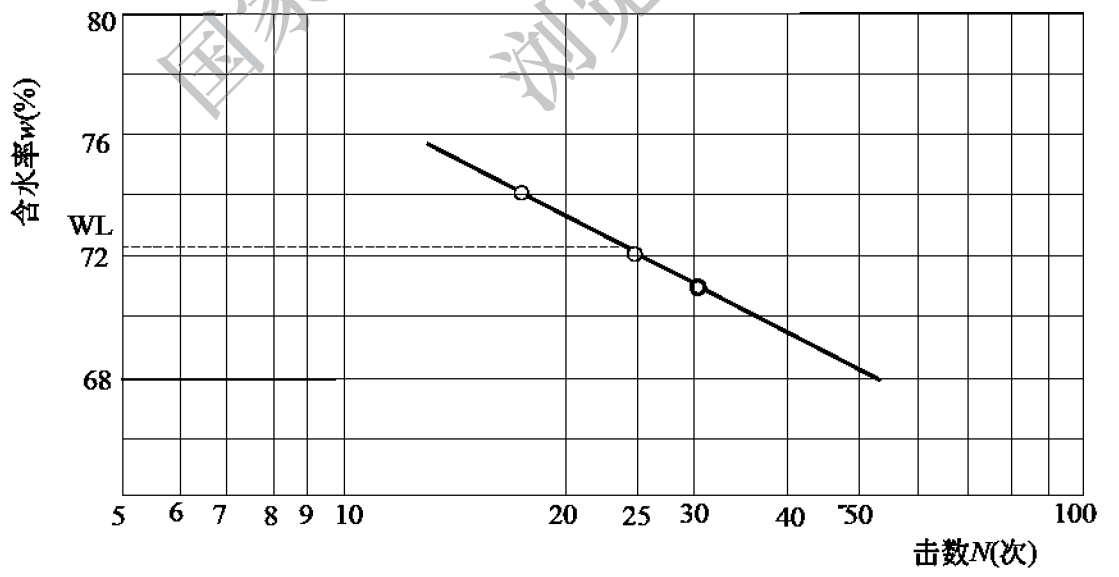


图 8.3.4 含水率与击数关系曲线

国家铁路局信息公开 浏览专用

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_N(g)	干试样质量 m_d(g)	含水率 w (%)	液限 w_L (%)
			(1)	(2)	(3)=$\left[\frac{(1)}{(2)}-1\right]\times100$	(4)

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

8.4 搓条法塑限试验

8.4.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

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 试验操作应符合下列规定：

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

国家铁路局信息公开
试览专用

达 3 mm 时产生裂缝并开始断裂为止。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，重新取样作试验。如果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。取值以百分数表示，准确至 0.1%。

8.4.3 试验结果应按下式计算：

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

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。平行测定的差值大于允许差值时，应重新进行试验。

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 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

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。

国家铁路局信息公开 测试专用

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　试验操作应符合下列规定：

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，放入电热干燥箱内烘至恒量。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　试验结果应按下式计算：

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

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（cm^3）；

V_d——干试样体积（cm^3）；

ρ_w——水的密度（g/cm^3）。

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)					

国家铁路局标准公开 试读专用

续表 8.5.5

试样编号						
收缩皿编号						
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)	$\frac{(6)}{(2)}\times\rho_w\times 100$				
缩限(%)	(8)	(3)－(7)				
平均值(%)	(9)					

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

国家铁路局信息公开
浏览专用

9 湿化试验

9.0.1 本试验可用于测定黏性土在水中的湿化速度及崩解状态。

9.0.2 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。

9.0.3 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 湿化仪：由浮筒、网板、玻璃水槽组成，如图 9.0.3 所示。

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。

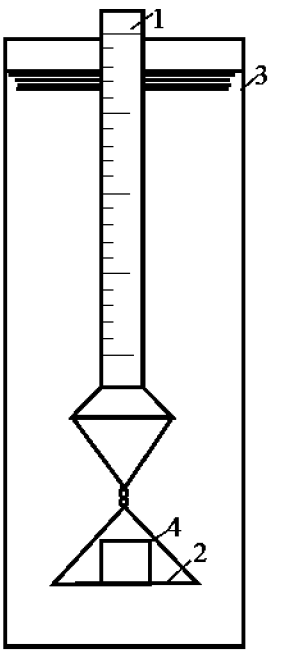


图 9.0.3 湿化仪示意图

1—浮筒；2—网板；3—水槽；4—试样

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。

9.0.4 试验操作应符合下列规定：

1 从原状土或按工程需要用扰动土制备的重塑土样中，切取边长宜为 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。

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。

国家公路信息公开 浏览专用

5 按 1 min、5 min、10 min、30 min、60 min，2 h、3 h、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，则可终止试验，并记下试样在水中的情况。

9.0.5 试验结果应按下式计算：

$$A_t=\frac{R_t-R_0}{100-R_0}\times 100 \tag{9.0.5}$$

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。

9.0.6 记录格式应符合表 9.0.6 的要求。

表 9.0.6 湿化试验记录

试样编号		密度(g/cm³)		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

国家铁路局信息公开 测试专用

10　最大分子吸水率试验

10.0.1　本试验可用于测定土的最大分子吸水率。

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

10.0.3　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

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 1 000 倍重力的离心力达 1 h。

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 10.0.3 所示。在离心力作用下所排出的水不与坩埚或土接触。

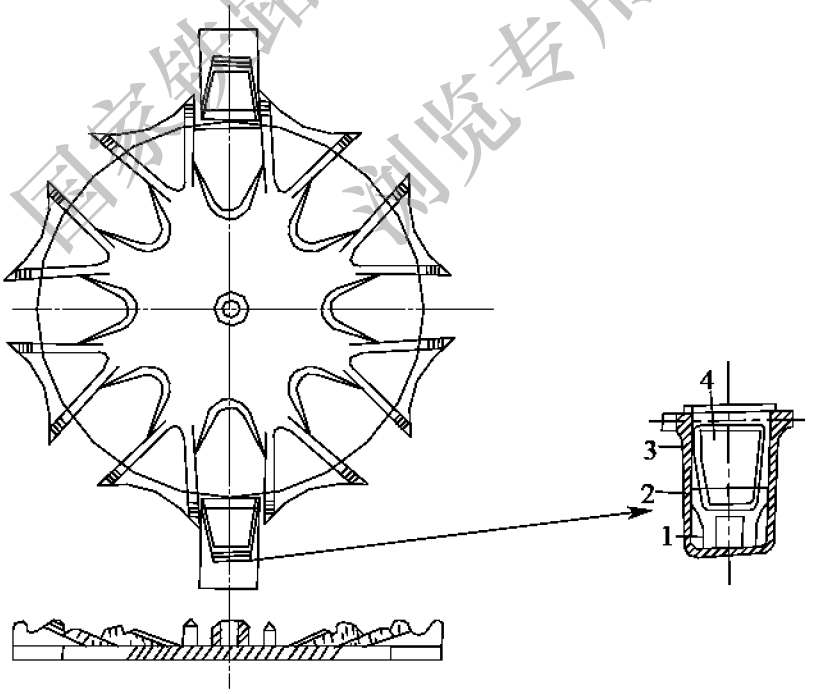


图 10.0.3　离心机主零件示意图

1—坩埚支承架；2—滤纸；3—离心枢轴杯；4—坩埚

国家铁路局信息公开
浏览专用

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 10.0.3 所示。

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、电热干燥箱等。

10.0.4 试验操作应符合下列规定：

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±1）℃，使离心机在5 min 内达到要求的转速（约为 2 300 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最大分子吸水率。

10.0.5 试验结果应按下式计算：

$$w_m=\left(\frac{m_a}{m_d}-1\right)\times 100 \qquad (10.0.5)$$

式中 w_m——最大分子吸水率（%），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）。

10.0.6 本试验应进行平行测定，取算术平均值。平行测定允许差值应符合：$w_m\leqslant 15\%$时，不大于 1%；$w_m>15\%$时，不大于

2%。平行测定的差值大于允许差值时，应重新进行试验。

10.0.7 记录格式应符合表 10.0.7 的要求。

表 10.0.7 最大分子吸水率试验记录

试样编号	称量盒号	离心后的试样质量(g)	烘干试样质量(g)	最大分子吸水率(%)	最大分子吸水率平均值(%)	备注
		(1)	(2)	$\left[\frac{(1)}{(2)}-1\right]\times 100$		

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

国家铁路局信息公开浏览专用

11 相对密度试验

11.1 一 般 规 定

11.1.1 本试验可用于测定砂和砾石类的最大和最小干密度，计算相对密度。

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；测定砾石类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最大粒径小于 5 mm、且 2～5 mm 的颗粒含量不大于 15%、小于 0.075 mm 的颗粒含量不大于 12%的土；砾石类的相对密度试验适用于最大粒径为 60 mm、且小于 0.075 mm 的颗粒含量不大于 12%的土。

11.2 砂的相对密度试验

11.2.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 量筒：容积 500 mL 和 1 000 mL，后者内径应大于 60 mm。

2 长颈漏斗：颈管内径约 12 mm，颈口磨平。如图 11.2.1—1 所示。

3 锤形塞：直径约 15 mm 的圆锥体镶于铁杆上。

4 拂平器：如图 11.2.1—1 所示。

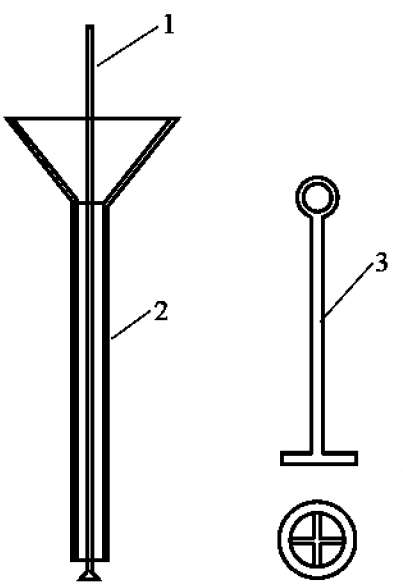
5 金属容器：容积 250mL，内径 50 mm，高 127 mm；容积 1 000 mL，内径 100 mm，高 127 mm。

6 振动叉：如图 11.2.1—2 所示。

7 击锤：锤质量 1.25 kg，落高 150 mm，锤底直径 50

mm。如图 11.2.1—2 所示。

8 案秤：称量 5 000 g，分度值 1 g。



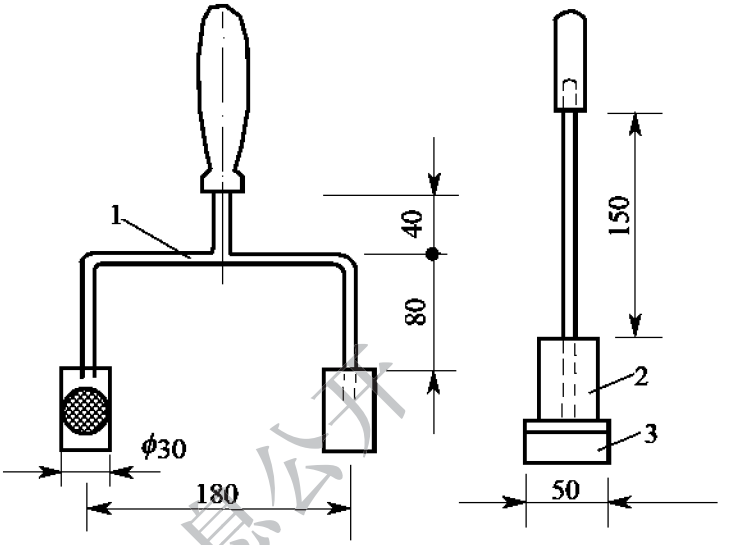


图 11.2.1—1 漏斗及拂平器　图 11.2.1—2 振动叉及击锤（单位：mm）

1—锥形塞；2—长颈漏斗；3—砂面拂平器　1—振动叉；2—击锤；3—锤座

11.2.2 最小干密度试验应符合下列规定：

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。拌和均匀后取 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 10～20 mm，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

国家铁路局信息公开 测绘专用

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 最大干密度试验应符合下列规定：

1 取代表性试样约 4 kg，按第 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 1 000 mL 的容器内，用振动叉以每分钟 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 款步骤进行再次的装样、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 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

$$\rho_{\mathrm{dmin}}=\frac{m_{\mathrm{d}}}{V_{\mathrm{max}}} \qquad (11.2.4\text{—}1)$$

$$\rho_{\mathrm{dmax}}=\frac{m_{\mathrm{d}}}{V_{\mathrm{min}}} \qquad (11.2.4\text{—}2)$$

国家铁路局信息公开 浏览专用

式中 ρ_{dmin}——最小干密度（g/cm³）；计算至 0.01 g/cm³；

ρ_{dmax}——最大干密度（g/cm³）；计算至 0.01 g/cm³；

m_d——试样干质量（g）；

V_{max}——最松散状态的试样体积（cm³）；

V_{min}——最密实状态的试样体积（cm³）。

2 最大与最小孔隙比

$$e_{max}=\frac{\rho_s}{\rho_{dmin}}-1 \qquad (11.2.4\text{—}3)$$

$$e_{min}=\frac{\rho_s}{\rho_{dmax}}-1 \qquad (11.2.4\text{—}4)$$

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/cm³）。

3 相对密度

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

$$D_r=\frac{\rho_{dmax}(\rho_d-\rho_{dmin})}{\rho_d(\rho_{dmax}-\rho_{dmin})} \qquad (11.2.4\text{—}6)$$

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/cm³）。

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 g/cm³，取其算术平均值。平行测定的差值大于允许差值时，应重新进行试验。

11.2.6 记录格式应符合表 11.2.6 的要求。

国家铁路局信息公开浏览专用

表 11.2.6　砂的相对密度试验记录

试样编号			试样说明		
试验方法	漏斗法(　　)　　锤击法(　　)				
试验项目		最大孔隙比 e_{max}	最小干密度 ρ_{dmin}	最小孔隙比 e_{min}	最大干密度 ρ_{dmax}
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					

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

国家铁路局信息公开
供览专用

11.3　砾石类的相对密度试验

11.3.1　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

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。

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号试样筒的尺寸如表 11.3.1 所示。试样筒容积应进行校准：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，并绘制出容

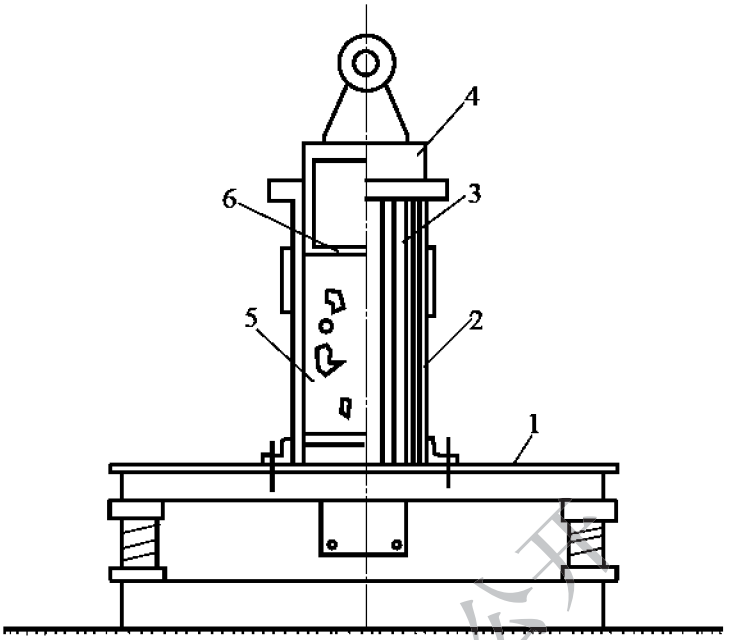


图 11.3.1　最大干密度试验装置

1—振动台；2—试样筒；3—套筒；
4—加重物；5—试样；6—加重盖板

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 cm^3，Ⅱ号筒准确到 10 cm^3。

表 11.3.1　试样筒尺寸

试样筒编号	内径 D (cm)	高度 H (cm)	容积 V (cm^3)	允许最大粒径 d_{max} (mm)	试样质量 m (kg)
Ⅰ	30	34	24 033	60	40～50
Ⅱ	20	23	7 226	20	10～15

3）套筒：应与试样筒紧固连接。

4）加重盖板：盖板为 12 mm 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。

国家铁路局信息公开 浏览专用

3 灌注设备：带管嘴的漏斗。管嘴直径 10～20 mm，漏斗喇叭口径 ϕ100～150 mm，管嘴长度视套筒长度而定。

4 分析筛：

粗筛：孔径分别为 60 mm、40 mm、20 mm、10 mm、5 mm；

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

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

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 试样制备选用代表性试样在 105 ℃～110 ℃下烘干，并分级过筛贮存。筛分过程中应使弱胶结的土样能充分剥落。

11.3.3 最小干密度试验应符合下列规定：

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 粒径小于 10 mm 的烘干试样，应采用固定体积法。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 20～50 mm 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。充填到高出筒顶约 25 mm 时，用钢直刀沿筒口刮去余土，在操作时不得扰动试样筒。称筒及试样总质量。

3 粒径大于 10 mm 的烘干试样，应采用固定体积法。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。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 最小干密度测定应进行平行试验，取其算术平均值。

国家铁路局信息公开
浏览专用

5　超径料含量较多的粗颗粒土，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，试验应符合下列规定：

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。对于含水率高的试样，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，取其算术平均值。

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

$$\rho_{\mathrm{dmin}}=\frac{m_{\mathrm{d}}}{V_{\mathrm{c}}} \qquad (11.3.5\text{—}1)$$

2）最大干密度

$$\rho_{\mathrm{dmax}}=\frac{m_{\mathrm{d}}}{V_{\mathrm{s}}} \qquad (11.3.5\text{—}2)$$

3）试样体积

$$V_{\mathrm{s}}=V_{\mathrm{c}}-(R_{\mathrm{i}}-R_{\mathrm{t}})\cdot A \qquad (11.3.5\text{—}3)$$

式中　V_{c}——试样筒的容积（cm^3）；

V_{s}——试样体积（cm^3）；

国家铁路局信息公开 测试专用

R_t——振动后加压盖板上百分表的读数（cm）；

R_i——起始读数（cm）；

A——试样筒断面积（cm^2）。

2 相对密度 D_r

$$D_r=\frac{\rho_{dmax}(\rho_d-\rho_{dmin})}{\rho_d(\rho_{dmax}-\rho_{dmin})} \qquad (11.3.5\text{—}4)$$

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

3 压实度

$$K=\frac{\rho_d}{\rho_{dmax}} \qquad (11.3.5\text{—}6)$$

式中 K——压实度，计算至 0.001。

4 密度指数

$$I_D=\frac{\rho_d-\rho_{dmin}}{\rho_{dmax}-\rho_{dmin}}\times 100 \qquad (11.3.5\text{—}7)$$

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 砾石类相对密度试验记录

试样编号		试样说明			
试验方法	干法（ ）		湿法（ ）		
试 验 项 目		最大孔隙比 e_{max}	最小干密度 ρ_{dmin}	最小孔隙比 e_{min}	最大干密度 ρ_{dmax}
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)					

国家铁路局信息公开 测试专用

续表 11.3.6

试样编号		试样说明			
试验方法	干法（　　）		湿法（　　）		
试 验 项 目		最大孔隙比 e_{max}	最小干密度 ρ_{dmin}	最小孔隙比 e_{min}	最大干密度 ρ_{dmax}
颗粒密度（g/cm³）					
孔隙比					
天然(给定)干密度(g/cm³)					
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

国家铁路局信息公开
浏览专用

12　天然坡角试验

12.0.1　本试验可用于测定砂类土在充分风干状态和水下状态的天然坡角。

12.0.2　本试验采用圆盘提升法，适用于最大粒径小于 5 mm 的无黏性砂类土。

12.0.3　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　天然坡角测定仪：如图 12.0.3 所示。圆盘直径 100 mm，适用于粒径小于 2 mm 的砂类土；圆盘直径 200 mm，适用于粒径小于 5 mm 的砂类土。

2　其他：勺、水槽等。

国家铁路局信息公开
试读专用

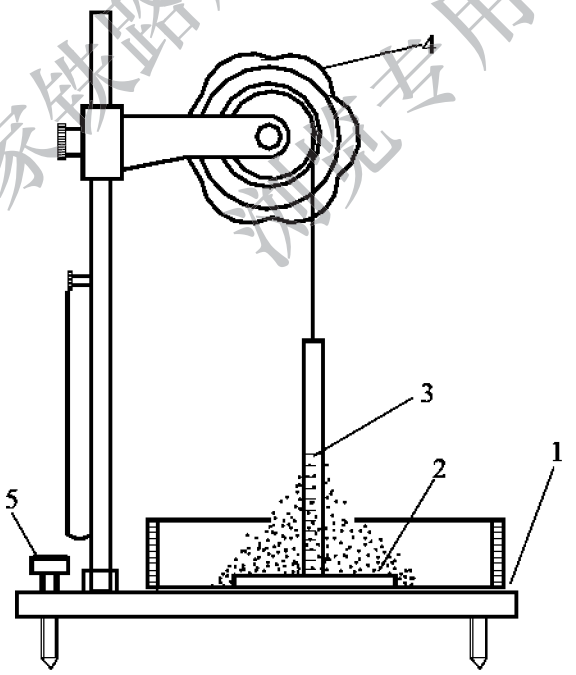


图 12.0.3　天然坡角测定仪

1—底盘；2—圆盘；3—铁杆；

4—制动器；5—水平螺丝

12.0.4 试验操作应符合下列规定：

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 10 mm 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 徐徐转动制动器，使圆盘由水中升起。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。

12.0.5 记录格式应符合表 12.0.5 的要求。

表 12.0.5 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

国家铁路局信息公开 测试专用

13　毛细管水上升高度试验

13.1　一 般 规 定

13.1.1　本试验可用于测定土的毛细管水上升高度或毛细管水强烈上升高度。

13.1.2　本试验根据不同的土类，可采用下列方法：

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　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

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 10 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 2 000 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 3.2.2 条的规定。从制备好的试样中取 1 500 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

国家铁路局信息公开
测试专用

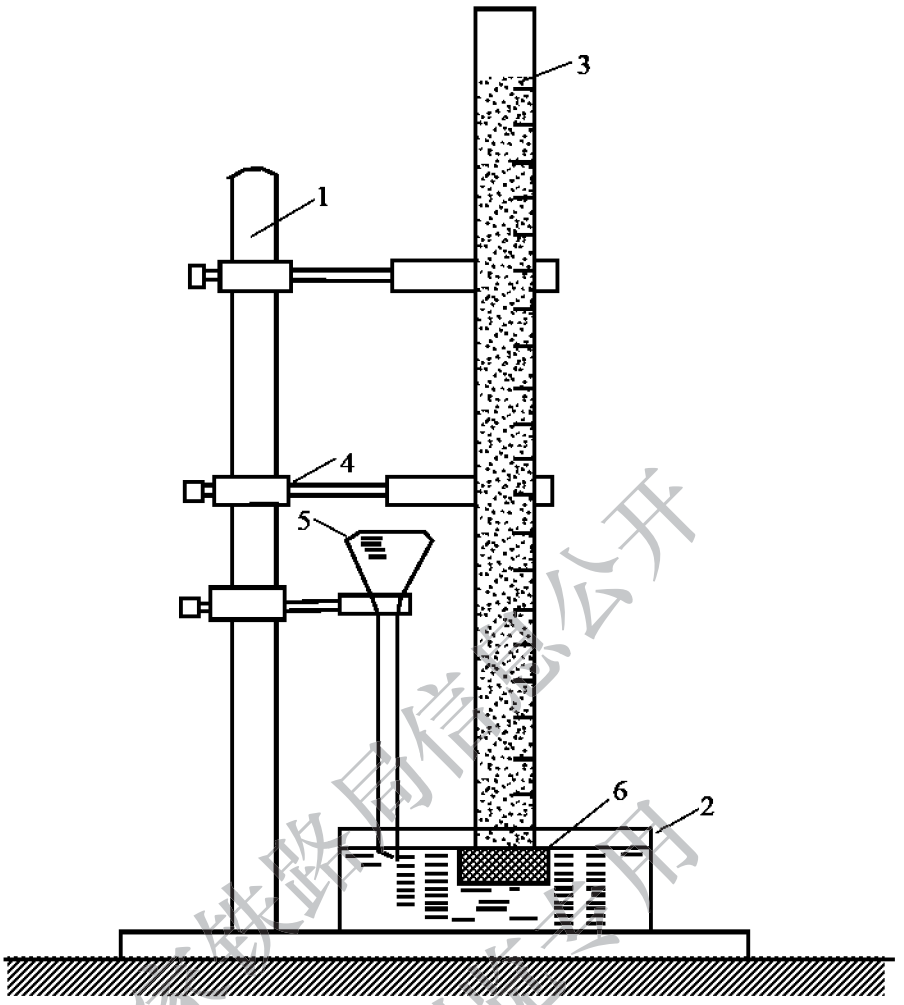


图 13.2.1　直接观测法装置

1—支架；2—盛水器；3—玻璃管；

4—管夹；5—锥形瓶；6—金属网布

盛水器口，用两个管夹将玻璃管固定在支架上。

3　往盛水器中注水，使水面与玻璃管上的零刻度齐平。为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 min、10 min、20 min、30 min、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（H_K）。

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/cm³ 试样孔隙比＝____

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

13.3 土样管法

13.3.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 土样管毛细管仪如图 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。

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 2 000 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 试验操作应符合下列规定：

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内，并逐次用捣棒捣实，使其均匀，达到所需的孔隙比，直至试样高度达 8 cm 为止。原状试样应选用有刃口的金属筒，削取试样高约 8 cm，推入玻璃筒中，使距筒端约 2 cm。四周间隙用蜡密封，玻璃筒下口用铺有筛布的橡皮塞塞紧。

土中含有较多黏土颗粒时，应在筛布上铺约 1 cm 厚的粗砂

国家铁路局信息公开 浏览专用

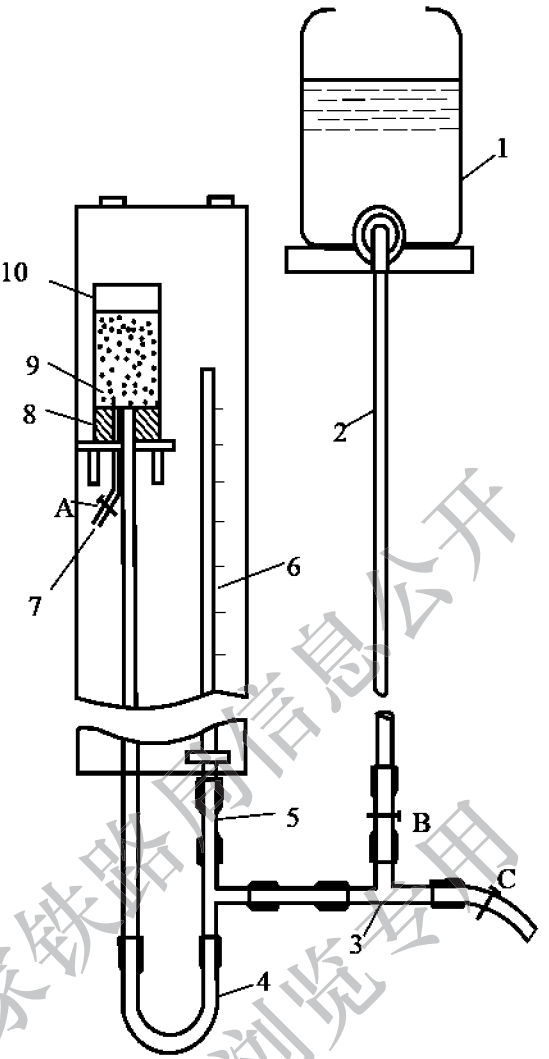


图 13.3.1　土样管毛管仪

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

缓冲层，此时直尺零点应与缓冲层顶面齐平。

2　开启管夹 A、B，使水缓缓地经测压管上升至试样下部。排尽管内空气至排气管流出的水中无气泡时，关闭管夹 A、B。

3　间断地缓慢开启或关闭管夹 B，使水面由下而上饱和试样。试样顶面见水时，关闭管夹 B。

4　缓缓打开管夹 C，使测压管右边的水面逐渐下降，管内

国家铁路局信息公开浏览专用

水面停止下降或开始上升时，记下此时测压管中水面读数（准确至 0.5 cm），即为毛细管水上升高度（H_K）。

5 重复本条第 2～4 款步骤，进行两次以上测定，取其两次相接近结果的算术平均值。

13.3.3 记录格式应符合表 13.3.3 的要求。

表 13.3.3 土样管法毛细管水上升高度试验记录

试验日期						
试样编号						
试样的质量(g)						
试样体积(cm^3)						
试样密度(g/cm^3)						
含水率(%)						
干密度(g/cm^3)						
颗粒密度(g/cm^3)						
孔隙比						
仪器编号						
毛细管水上升高度(cm)						
平均值(cm)						

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

国家铁路局信息公开浏览专用

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 试验操作应符合下列规定：

1 在试坑壁按间距 15～20 cm 自上而下采取土样，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，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

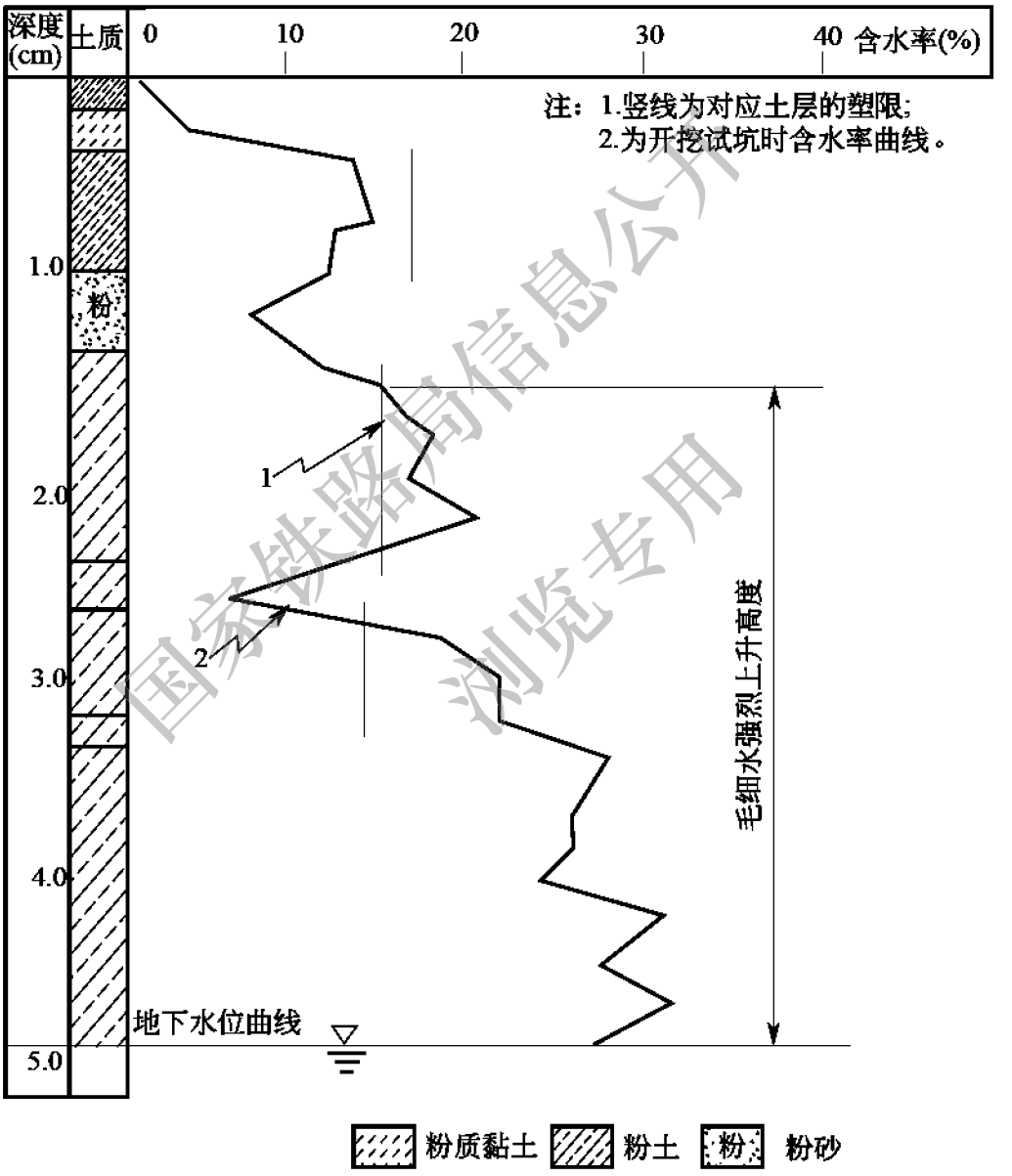


图 13.4.3 塑限与含水率曲线交会法
确定毛细管水强烈上升高度示意图

国家铁路局信息公开
浏览专用

顶点，此点到地下水位的距离为毛细管水强烈上升高度（H_C），如图 13.4.3 所示。

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 塑限与含水率试验记录

试样编号	盒号	湿试样质量(g)	干试样质量(g)	含水率(%)	塑限(%)
		(1)	(2)	(3)=$\left[\frac{(1)}{(2)}-1\right]\times100$	(4)

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

国家铁路局信息公开
浏览专用

14 渗 透 试 验

14.1 一 般 规 定

14.1.1 本试验可用于测定土的渗透系数 k。

14.1.2 本试验应根据不同的土类，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。

14.1.3 本试验用水应采用纯水或洁净天然水，试验前应用抽气法或煮沸法进行脱气。试验时水温宜高于室温 3 ℃～4 ℃。

14.2 常 水 头 法

14.2.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 常水头渗透仪装置：如图 14.2.1 所示，封底金属圆筒内径为 10 cm，高 40 cm。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 5 000 g，分度值 1.0 g。

3 量筒：容积 500 mL。

4 温度计：分度值 0.5 ℃。

5 其他附属设备：秒表、木锤、橡皮管、支架等。

14.2.2 试验操作应符合下列规定：

1 按图 14.2.1 装好仪器，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，

国家铁路局信息公开 浏览专用

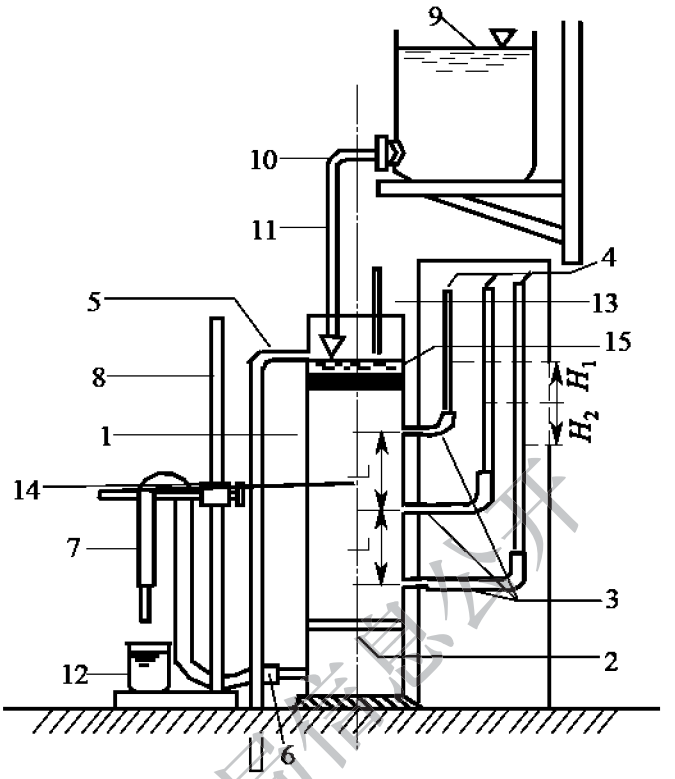


图 14.2.1　常水头渗透仪装置

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5 000 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

国家铁路局信息公开
浏览专用

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。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，由圆筒底部向上渗入水，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。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，应继续使水位缓缓上升至溢水孔有水溢出。

4 试样装好后，量测试样顶面至圆筒上口的高度，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。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。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，改变水力坡降后，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

$$\rho_d=\frac{m_d}{A\cdot h} \qquad (14.2.3\text{—}1)$$

$$e=\frac{\rho_s}{\rho_d}-1 \qquad (14.2.3\text{—}2)$$

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}

$$k_T=\frac{Q\cdot L}{A\cdot H\cdot t} \qquad (14.2.3\text{—}3)$$

$$k_{20}=k_T\frac{\eta_T}{\eta_{20}} \qquad (14.2.3\text{—}4)$$

式中 k_T——水温 T ℃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 s 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)，可按 $H=(H_1+H_2)/2$ 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)；

t——时间(s)；

A——试样面积(cm^2)；

k_{20}——标准温度(20 ℃)时试样的渗透系数(cm/s)；

η_T——T ℃时水的动力黏度(10^{-6} kPa·s)；

η_{20}——20 ℃时水的动力黏度(10^{-6} kPa·s)。

动力黏度比 η_T/η_{20} 与温度关系，可按表 14.2.3 确定；不同温度时水的动力黏度，如表 7.3.4—3 所示。

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(℃)	$\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$
5.0	1.501	10.0	1.297	15.0	1.133	20.0	1.000	27.0	0.850
5.5	1.478	10.5	1.279	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

国家铁路局信息公开 测试专用

续表 14.2.3

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（℃）	$\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$
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		

3 进行不同孔隙比下的渗透系数试验时，可在半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-lgk_{20} 关系曲线，如图 14.2.3 所示。

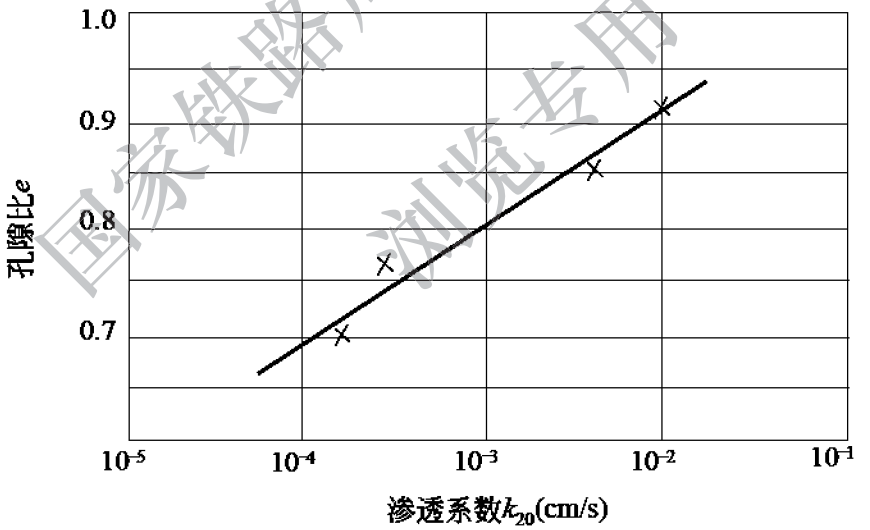


图 14.2.3 孔隙比与渗透系数关系曲线

14.2.4 在测得的渗透系数结果中应取 3～4 个允许差值小于 2.0×10^{-n}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。

14.2.5 记录格式应符合表 14.2.5 的要求。

国家铁路局信息公开 浏览专用

表 14.2.5　常水头渗透试验记录

试样编号：_____　　试样高度：_____ cm　　试样质量：_____ g

仪器编号：_____　　土粒密度：_____ g/cm³　　孔隙比：_____

试样面积(A)：_____ cm²　　试样密度：_____ g/cm³　　测压孔间距：_____ cm

试验次数	经过时间 t (s)	测压管水位(cm)			水位差(cm)			水力坡降 J	渗透水量 Q (cm³)	渗透系数 k_T (cm/s)	平均水温 (℃)	校正系数 η_T/η_{20}	水温 20 ℃渗透系数 k_{20} (cm/s)	平均渗透系数 k_{20} (cm/s)	备注
		Ⅰ管	Ⅱ管	Ⅲ管	H_1	H_2	平均 H								
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	
					(2)−(3)	(3)−(4)	$\frac{(5)+(6)}{2}$	0.1×(7)		$\frac{(9)}{A\times(8)\times(1)}$			10×(12)	$\frac{\Sigma(13)}{n}$	

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

国家铁路局信息公开
浏览专用

14.3 变 水 头 法

14.3.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

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 所示。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。

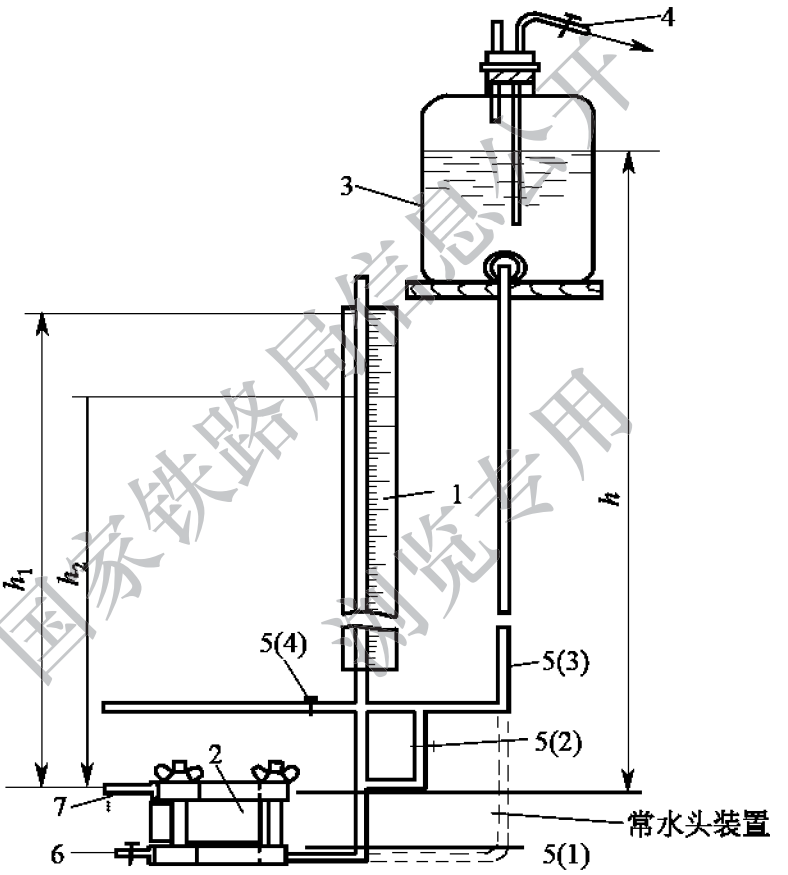


图 14.3.1 变水头渗透装置

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

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。

国家铁路局信息中心 浏览专用

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 试验操作应符合下列规定：

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 容器套环内壁涂抹一薄层凡士林，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。

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 5（4），使供水瓶注满水。然后关闭管夹 5（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，不宜大于 2.0 m）作用下，静置一段时间，待上出水管口有水溢出时开始测定。

6 水头管充水至需要高度后，关闭管夹 5（2）。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，测记终了水头 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

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

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)：____ cm^2

开始时间 t_1 (d h min)	终了时间 t_2 (d h min)	经过时间 t (s)	开始水头 H_1 (cm)	终了水头 H_2 (cm)	$2.3\frac{aL}{At}$	$\lg\frac{H_1}{H_2}$	水温 T ℃时的渗透系数 k_T (cm/s)	水温 (℃)	校正系数 $\frac{\eta_T}{\eta_{20}}$	渗透系数 k_{20} (cm/s)	平均渗透系数 k_{20} (cm/s)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)
		(2)−(1)			$2.3\frac{aL}{A\times(3)}$	$\lg\frac{(4)}{(5)}$	(6)×(7)			(8)×(10)	$\frac{\sum(11)}{n}$

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

国家铁路局信息公开
浏览专用

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——分别为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。

国家铁路局信息公开
浏览专用

15 固结试验

15.1 一般规定

15.1.1 本试验可用于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，计算土的压缩系数 a_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。

15.1.2 本试验宜采用标准固结试验，适用于饱和的黏性土。只进行压缩试验时，允许用于非饱和土。

15.1.3 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。

15.1.4 沉降计算要求精度不高、主要为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。

国家铁路局信息公开 浏览专用

15.2 标准固结试验

15.2.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

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

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

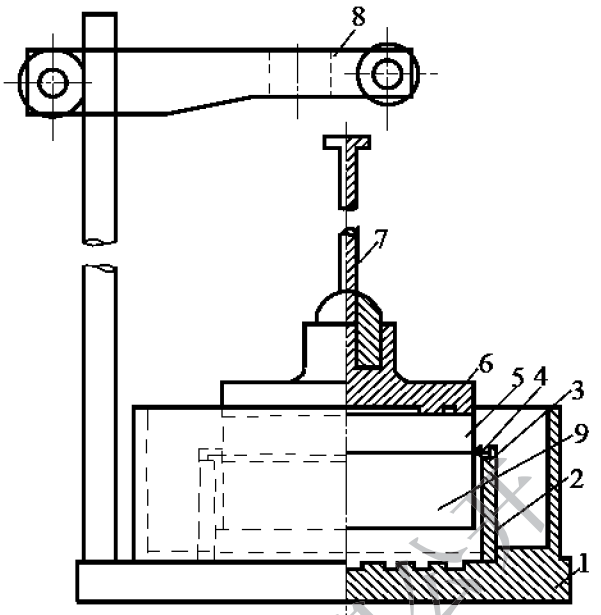


图 15.2.1　固结容器示意图

1—水槽；2—护环；3—环刀；4—导环；5—透水板；
6—加压上盖；7—位移计导杆；8—位移计架；9—试样

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、电热干燥箱、秒表等。

15.2.2　试验操作应符合下列规定：

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 3.4 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　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，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

国家铁路局信息公开 试读专用

试样为饱和土时，上、下透水板应事先浸水饱和；当试样为非饱和土时，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 kPa、25 kPa 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 kPa、25 kPa、50 kPa、100 kPa、200 kPa、400 kPa、800 kPa、1 600 kPa、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 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 min 15 s、4 min、6 min 15 s、9 min、12 min 15 s、16 min、20 min 15 s、25 min、30 min 15 s、36 min、42 min 15 s、49 min、64 min、100 min、200 min、400 min 及 23 h、24 h 直至稳定为止。

9 不需测定沉降速率时，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：黏土每小时试样的变形量不大于 0.005 mm，粉土和粉质黏土每小时试样的变形量不大于 0.01 mm。

10 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

国家铁路局信息公开 浏览专用

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

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

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

$$S_i=\frac{\sum\Delta h_i}{h_0}\times 1\,000 \qquad (15.2.3\text{—}2)$$

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

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

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

$$a_v=\frac{e_i-e_{i+1}}{p_{i+1}-p_i} \qquad (15.2.3\text{—}4)$$

式中 a_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）；

国家铁路局信息公开浏览专用

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

$$E_s=\frac{1+e_i}{a_v} \qquad (15.2.3\text{—}5)$$

$$m_v=\frac{1}{E_s}=\frac{a_v}{1+e_i} \qquad (15.2.3\text{—}6)$$

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

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

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，如图 15.2.3—1 所示。

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，如图 15.2.3—2 所示。

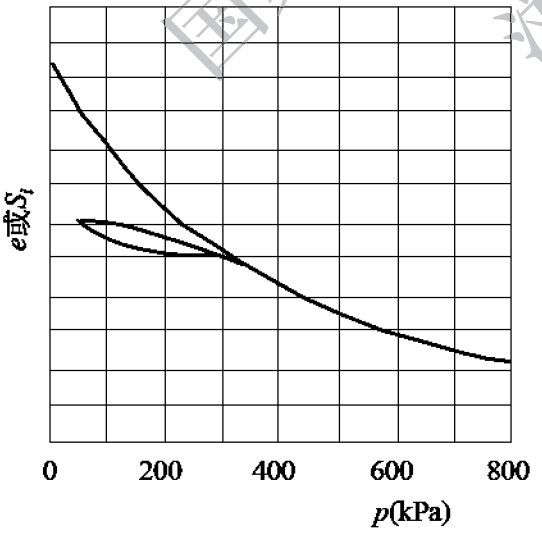


图 15.2.3—1 $e(S_i)$-p 关系曲线

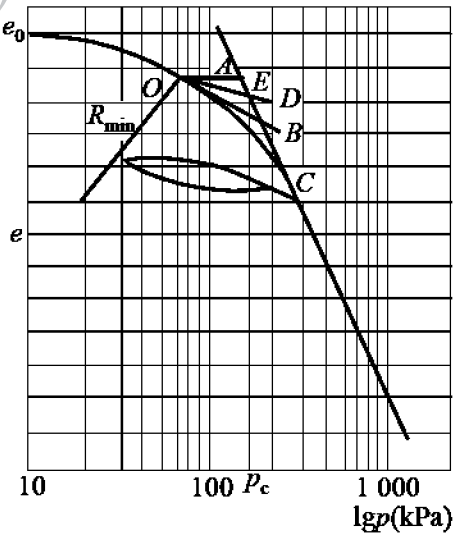


图 15.2.3—2 e-lg$p$ 曲线求 p_c 示意图

国家铁路信息公开 浏览专用

9 原状土的先期固结压力 p_c 的确定方法如图 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∠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，如图 15.2.3—3 所示。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：

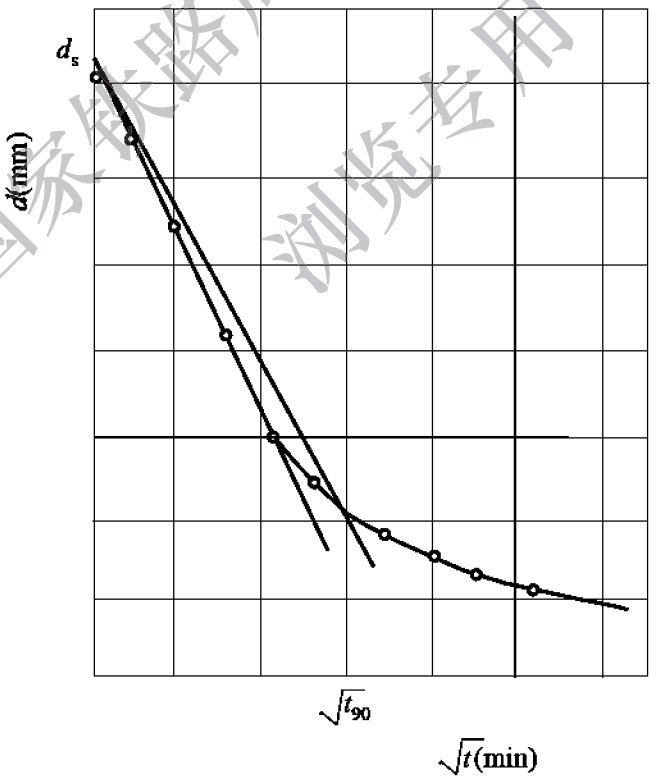


图 15.2.3—3　时间平方根法求 t_{90}

国家铁路局信息公开 浏览专用

$$C_v=\frac{0.848(\bar{h})^2}{t_{90}} \qquad (15.2.3\text{—}8)$$

式中 C_v——固结系数（cm^2/s），计算至 0.01 cm^2/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的 1/2（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（mm）为纵坐标，时间对数 lg$t$（min）为横坐标，绘制 d-lg$t$ 曲线，如图 15.2.3—4 所示。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

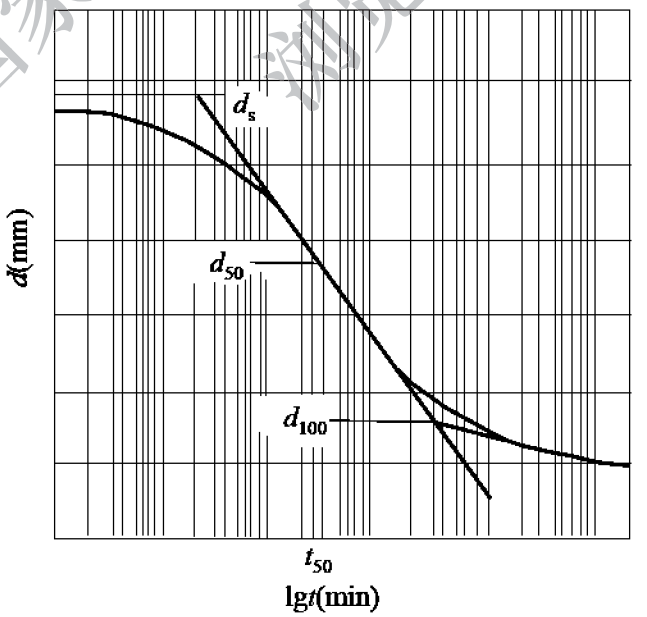


图 15.2.3—4 时间对数法求 t_{50}

国家铁路局信息公开浏览专用

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：

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

式中 t_{50}——固结度达50%所需的时间（s）。

15.2.4 记录格式应符合表15.2.4—1～表15.2.4—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：_____ cm^2 颗粒密度：_____ g/cm^3 初始孔隙比：____ 试验前试样高度：_____ cm 试验前饱和度：____% 试验后饱和度：____%							
试样密度	环刀号	环刀加湿试样的质量 (g)	环刀质量 (g)	湿试样质量 (g)	环刀容积 (cm^3)	密度 (g/cm^3)	平均密度 (g/cm^3)
试验前							
试验后							

试样含水率	盒号	湿试样质量 (g)	干试样质量 (g)	含水率 (%)	平均值 (%)
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 (mm)	日期	百分表读数 (mm)	期	百分表读数 (mm)	期	百分表读数 (mm)
0								
6 s								

国家铁路局信息公开 浏览专用

续表 15.2.4—2

压力（kPa） 经过时间	p=		p=		p=		p=	
	日期	百分表读数（mm）	日期	百分表读数（mm）	期	百分表读数（mm）	期	百分表读数（mm）
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

国家铁路局信息公开浏览专用

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：_____

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

加压历时	压力 p_i	试样总变形量 $\sum\Delta h_i$	压缩后的试样高度 $h_i=h_0-\sum\Delta h_i$	孔隙比 $e_i=\frac{h_i(1+e_0)}{h_0}-1$	压缩系数 $a_v=\frac{e_i-e_{i+1}}{p_{i+1}-p_i}$	压缩模量 $E_s=\frac{1+e_i}{a_v}$	排水距离 $\bar{h}=\frac{h_i+h_{i+1}}{4}$	固结系数 C_v
	(kPa)	(mm)	(mm)	(1)	(MPa^{-1})	(MPa)	(cm)	(cm^2/s)

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

国家铁路局信息公开
浏览专用

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 加压等级一般为 12.5 kPa、25 kPa、50 kPa、100 kPa、200 kPa、400 kPa、800 kPa、1 600 kPa、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 kPa 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 加压要求：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

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

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

国家铁路局信息公开 浏览专用

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

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：

$$\Delta e_{i12}=\frac{\Delta e_L}{C_{cL}}\times C_{ci12} \qquad (15.3.4\text{—}1)$$

$$e_i=e_{i12}-\Delta e_{i12} \qquad (15.3.4\text{—}2)$$

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，应根据（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_{cL}——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：

$$K=\frac{\Delta h_{L24}}{\Delta h_{L12}} \qquad (15.3.5\text{—}1)$$

$$\Delta h_i=K\times\Delta h_{i12} \qquad (15.3.5\text{—}2)$$

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）；

Δh_{i12}——第 i 级压力下固结 12 h 的试样总变形量。

修正后孔隙比：

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

国家铁路局信息公开 试读专用

15.3.6 以修正后孔隙比 e 为纵坐标，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与本规程第 15.2.3 条第 9 款相同。

15.3.7 压缩指数的计算应按本规程第 15.2.3 条第 6 款进行。

15.3.8 记录格式应符合表 15.3.8 的要求。

表 15.3.8 12 h 快速固结试验记录

试样编号：_____ 仪器编号：_____

试样初始高度：____ mm	试样面积：____ cm^2	试样初始孔隙比：____
试样初始密度：____ g/cm^3	颗粒密度：____ g/cm^3	试样初始含水率：____%

压力（kPa）	12 h 试件和仪器变形量（mm）	仪器变形量（mm）	试样 12 h 变形量 Δh_{i12}（mm）	修正后变形量 Δh_{i24}（mm）	12 h 固结后试样高度 h_{i12}（mm）	试样 12 h 孔隙比 e_{i12}	修正后孔隙比 e_i
修正方法							

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

国家铁路局信息公开 浏览专用

15.4 1 h 快速压缩试验

15.4.1 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 15.2.1 条的要求。

15.4.2 试验操作应符合下列规定：

1 试样的切取及装入容器，应按本规程第 15.2.2 条第 1～3 款的规定进行。加荷等级一般为 50 kPa、100 kPa、200 kPa、300 kPa、400 kPa、600 kPa。

2 加压后测记 1 h 时的试样高度变化，并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

准为黏土每小时试样的变形量不大于 0.005 mm，粉土和粉质黏土每小时试样的变形量不大于 0.01 mm。

3 试验结束后应按本规程第 15.2.2 条第 11 款拆除仪器。

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

$$\sum \Delta h_i = (h_i)_t \frac{(h_n)_T}{(h_n)_t} = K(h_i)_t \qquad (15.4.3\text{—}1)$$

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

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

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 a_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。

国家住房和城乡建设部信息公开浏览专用

表 15.4.5　1 h 快速压缩试验记录

试样编号：_____　　仪器号：_____

试样初始高度：____ mm　试样初始密度：____ g/cm³　试样初始含水率：____% 颗粒密度：____ g/cm³　$K=(h_n)_T/(h_n)_t=$_____							
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							
稳定							

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

国家铁路局信息公开
浏览专用

16　直接剪切试验

16.1　一 般 规 定

16.1.1　本试验可用于测定土的抗剪强度参数：黏聚力 c 和内摩擦角 φ。

16.1.2　本试验分为快剪、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 c、φ，及最大粒径小于 2 mm 砂类土的 φ。渗透系数 $k>10^{-6}$ cm/s 的土不宜作快剪试验。

16.2　快 剪 试 验

16.2.1　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

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 所示。直剪仪和测力计应按本规程附录 D 进行校正和率定。

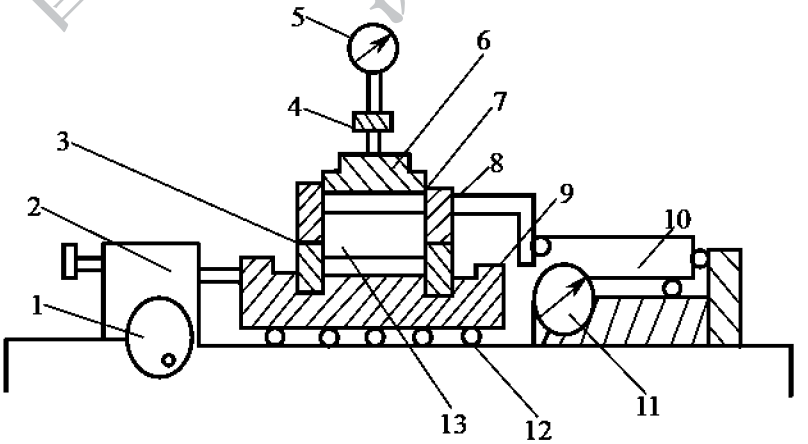


图 16.2.1　应变控制式直剪仪

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

国家铁路局信息公开 试读专用

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 试验操作应符合下列规定：

1 原状土试样制备应按本规程第 3.4 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；试样需要进行饱和时，应按本规程第 3.5 节的规定进行。

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确定，宜按 25 kPa、50 kPa、100 kPa、200 kPa 或 100 kPa、200 kPa、300 kPa、400 kPa 施加压力。

5 立即拔去固定销，将测力计调零后，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。测力计的读数不变或出现后退时，表示试样已被剪损，一般应剪切至剪切变形达 4 mm 为止。测力计读数随剪切变形继续加大时，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。

国家铁路局信息公开 浏览专用

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：

$$\tau=(CR/A_0)\times 10 \qquad (16.2.3\text{—}1)$$

$$\Delta L=\Delta L'\cdot n-R \qquad (16.2.3\text{—}2)$$

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（cm^2）；

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（0.01 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，如图 16.2.3—1 所示。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，如图 16.2.3—1 所示中曲线上的箭头所示。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。

3 以抗剪强度 s 为纵坐标，垂直压力 p 为横坐标，绘制 s-p

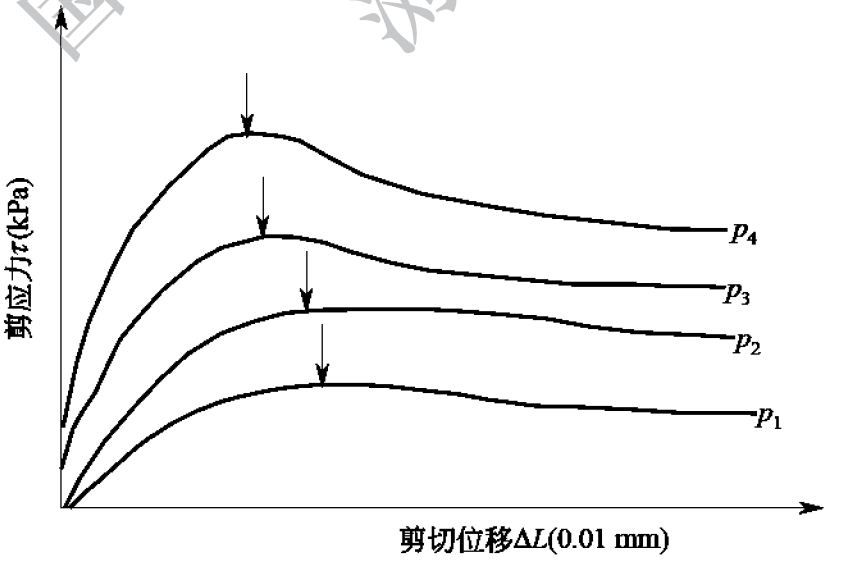


图 16.2.3—1 剪应力与剪切位移关系曲线

国家铁路局信息公开 浏览专用

关系曲线，如图 16.2.3—2 所示。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±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。

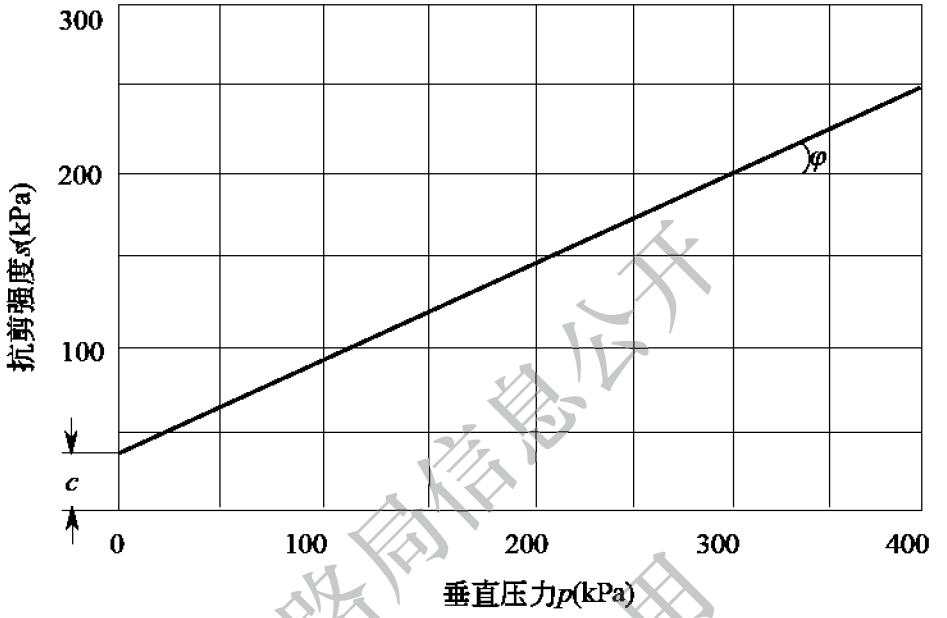


图 16.2.3—2　抗剪强度与垂直压力关系曲线

4　不绘制抗剪强度与垂直压力关系曲线时，内摩擦角及黏聚力应按下式计算：

$$\varphi=\arctan\left[\frac{1}{\Delta}(n\sum p\tau-\sum p\sum\tau)\right] \qquad (16.2.3\text{—}3)$$

$$c=\frac{\sum\tau}{n}-\frac{\sum p}{n}\tan\varphi \qquad (16.2.3\text{—}4)$$

$$\Delta=n\sum p^2-(\sum p)^2 \qquad (16.2.3\text{—}5)$$

式中　φ——内摩擦角（°），计算至 0.1°；

c——黏聚力（kPa），计算至 1 kPa；

p——垂直压力（kPa）；

n——每组试样数。

16.2.4　记录格式应符合表 16.2.4 的要求。

国家铁路局信息公开
浏览专用

表 16.2.4　直接剪切试验记录

试样编号：_____　　土颗粒密度 ρ_s＝_____　试验方法：_____						
环刀号	试样状态	含水率(w)(%)	湿密度 ρ (g/cm³)	干密度 ρ_d (g/cm³)	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＝____ N/0.01 mm 剪切速率：____ mm/min　　剪切历时：____ min　　试样面积 A_0＝____ cm² 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

国家铁路局信息公开浏览专用

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　试验操作应符合下列规定：

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，试样上下两面应放透水板，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。黏土试样每小时变形量不大于 0.005 mm，粉质黏土、粉土和砂类土试

样每小时变形量不大于 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 4～6 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 试验操作应符合下列规定：

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：

$$t_f = 50t_{50} \tag{16.4.2}$$

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 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。

国家铁路局信息公开 浏览专用

17　排水反复直接剪切试验

17.0.1　本试验可用于测定土的残余强度参数：c_r 和 φ_r。

17.0.2　本试验适用于黏性土和泥化夹层。

17.0.3　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

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 17.0.3 所示。直剪仪和测力计应按本规程附录 D 进行校正和率定。

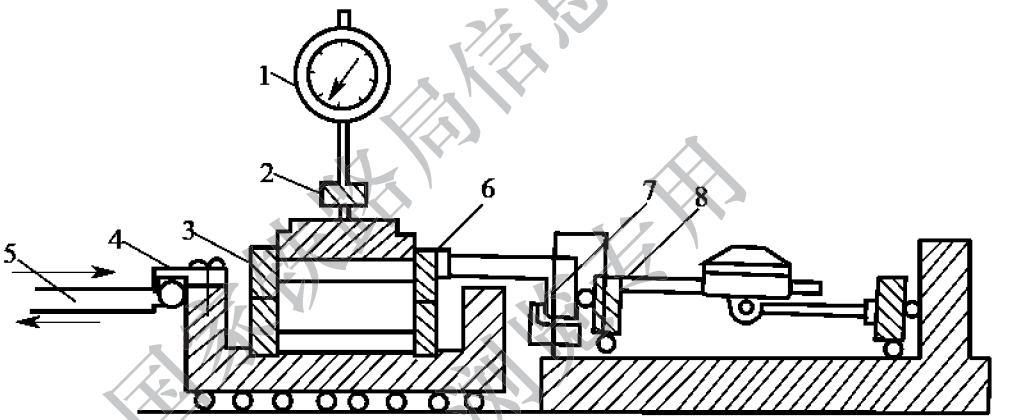


图 17.0.3　反复直剪仪示意图

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。

17.0.4　试样制备应符合下列规定：

1　有软弱面的原状土样，应先分清软弱面的天然滑动方向，

国家铁路局信息公开 仅供使用

整平土样的两端，使顶面与软弱面平行，并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 3.4 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，使其形成一个破裂面（试样坚硬时，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 泥化夹层或滑坡层面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，应尽量排除试样内的空气，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。

17.0.5 试验操作应符合下列规定：

1 对直剪仪进行详细检查。对准上、下剪切盒，插入固定销，顺次放上透水板、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，并安装垂直变形位移计。

2 每组试验不少于 4 个试样，在 4 种不同垂直压力下进行剪切。根据工程实际和土的软硬程度施加各级垂直压力，对松软试样的垂直压力应分级施加，以防试样被挤出。施加压力后向盒内注水，当试样为非饱和试样时应在剪切盒周围包以湿棉花。

3 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

国家铁路局信息公开 浏览专用

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，试验不得中断。

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。粉土、粉质黏土一般需剪切 5～6 次，总剪切量达 40～50 mm；黏土需剪切 3～4 次，总剪切位移量达 30～40 mm。

9 剪切结束后，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。

17.0.6 试验结果应按下式计算及制图：

1 残余强度

$$\tau_r = \frac{C \cdot R}{A_0} \times 10 \qquad (17.0.6)$$

式中 τ_r——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（cm^2）；

10——单位换算因数。

2 绘制剪应力与剪切位移关系曲线，如图 17.0.6—1 所示。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，如图 17.0.6—2 所示。

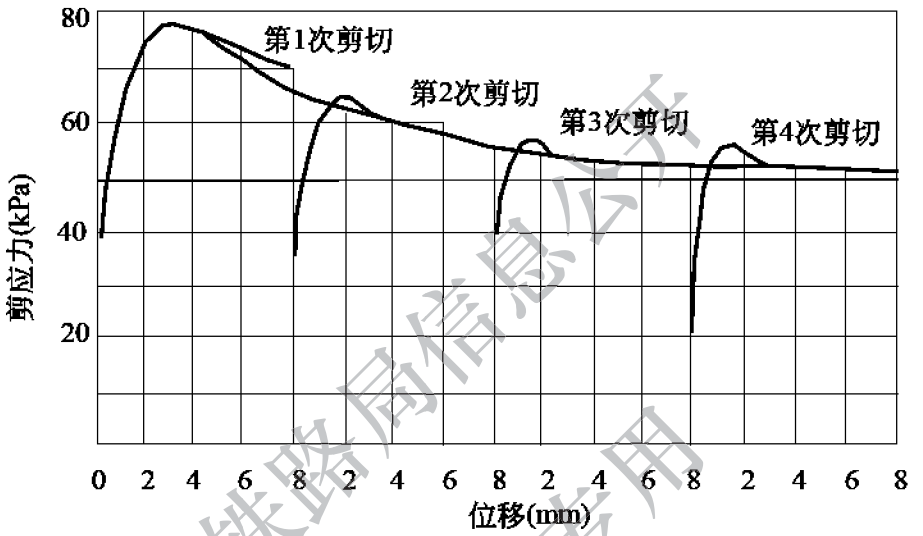


图 17.0.6—1 剪应力与剪切位移曲线

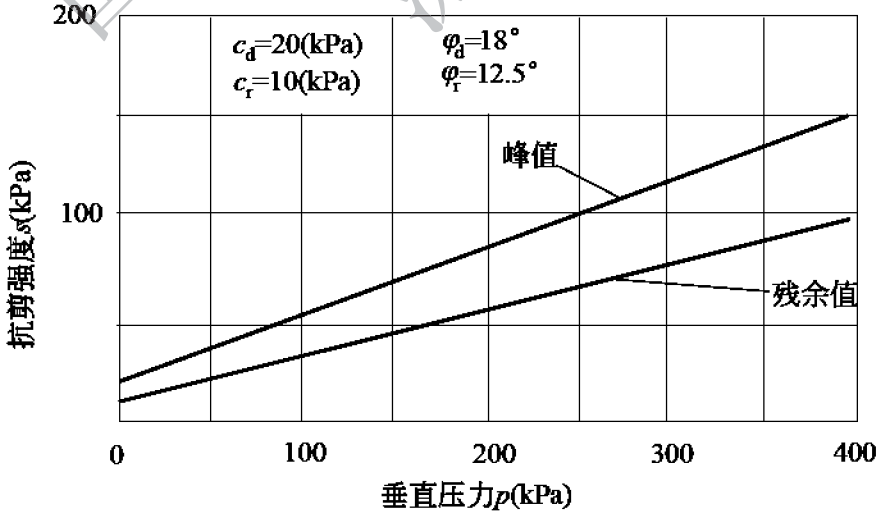


图 17.0.6—2 抗剪强度与垂直压力关系曲线

国家铁路局信息公开浏览专用

17.0.7 记录格式应符合表 17.0.7 的要求。

表 17.0.7 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
	试样面积：_____ cm^2
剪切速率：_____ mm/min	剪切次数：_____
垂直压力：_____ kPa	抗剪强度：_____ kPa

剪切位移	垂直位移计读数	测力计读数	剪应力
(0.01 mm)	(0.01 mm)	(0.01 mm)	(kPa)
30 60 100 130 160 200 230 260 300 350 400 ⋮ 800			
备 注	“+”为剪胀，“−”为剪缩		

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

国家铁路局信息公开 浏览专用

18 三轴压缩试验

18.1 一 般 规 定

18.1.1 本试验可用于测定土的总抗剪强度参数和有效抗剪强度参数。

18.1.2 本试验方法适用于黏性土、粉土和砂类土。

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$\overline{\text{CU}}$）试验是试样先在某一周围压力作用下排水固结，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，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 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 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

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。

国家铁路局信息公开 浏览专用

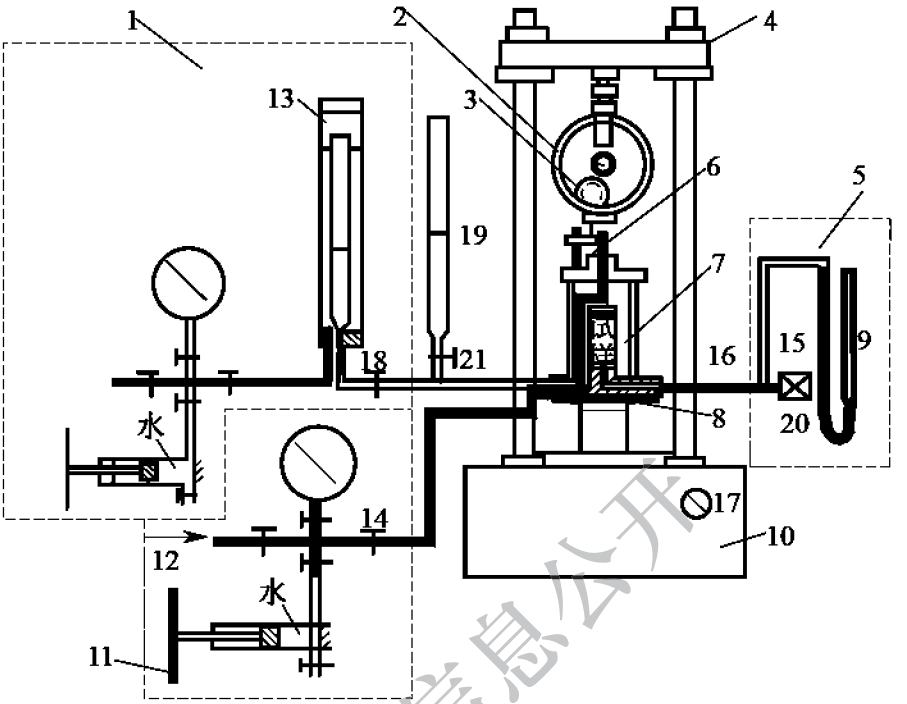


图 18.2.1—1　三轴仪组成示意图

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

国家铁路局信息公开
仅供参阅

2　附属设备

1）击实筒：如图 18.2.1—2 所示。

2）饱和器：如图 18.2.1—3 所示。

3）切土盘：如图 18.2.1—4 所示。

4）切土器和切土架：如图 18.2.1—5 所示。

5）原状土分样器：如图 18.2.1—6 所示。

6）承膜筒安装示意图：如图 18.2.1—7 所示。

7）制备砂样圆模：如图 18.2.1—8 所示。

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。

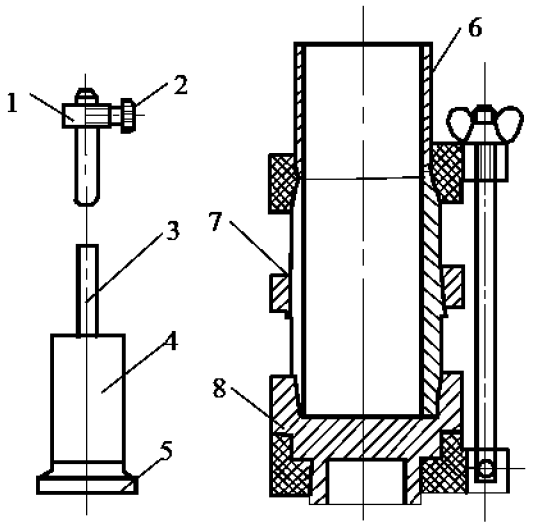


图 18.2.1—2　击实筒

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

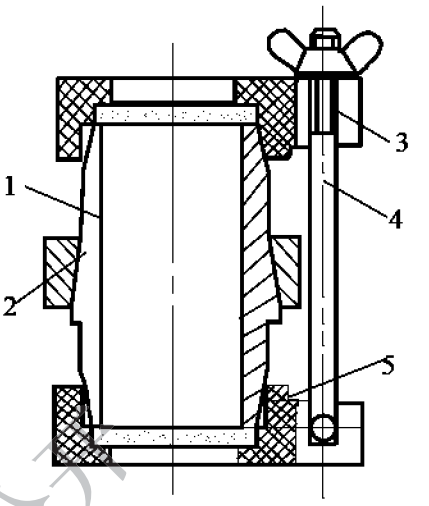


图 18.2.1—3　饱和器

1—土样筒；2—紧箍；3—夹板；4—拉杆；5—透水板

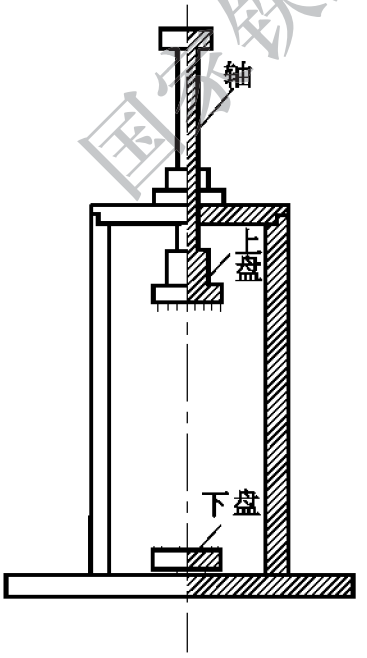


图 18.2.1—4　切土盘

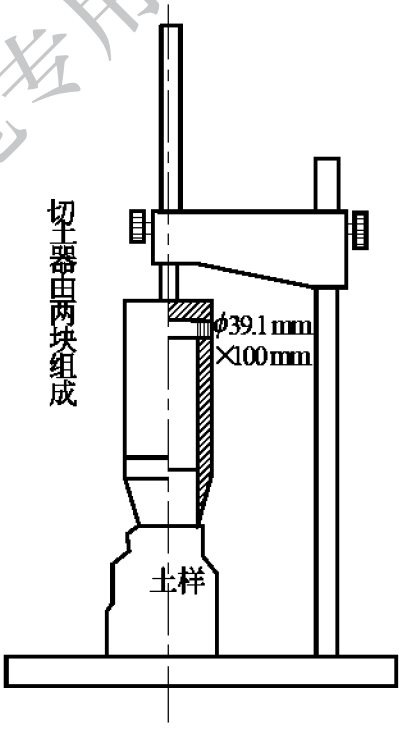


图 18.2.1—5　切土器和切土架

国家铁路局信息公开
浏览专用

4 量表：量程 30 mm，分度值 0.01 mm。

5 橡皮膜：直径 39.1 mm 和直径 61.8 mm 的试样，橡皮膜厚度宜为 0.1～0.2 mm；直径 101 mm 的试样，橡皮膜厚度宜为 0.2～0.3 mm。

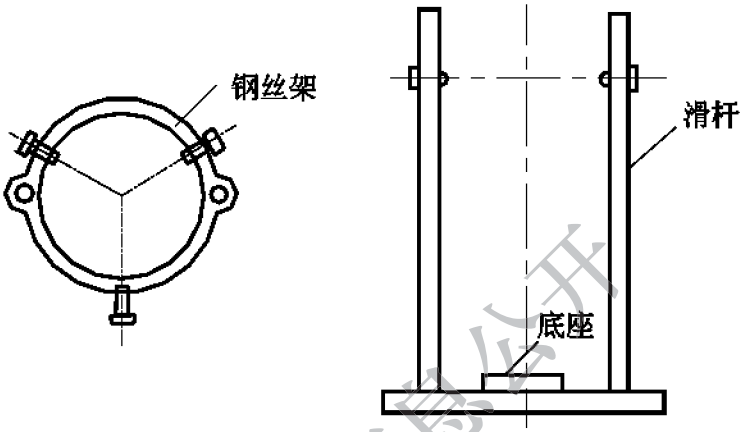


图 18.2.1—6 原状土分样器

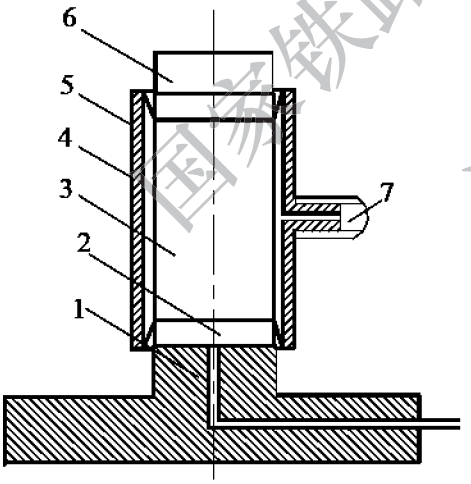


图 18.2.1—7 承膜筒安装示意图

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

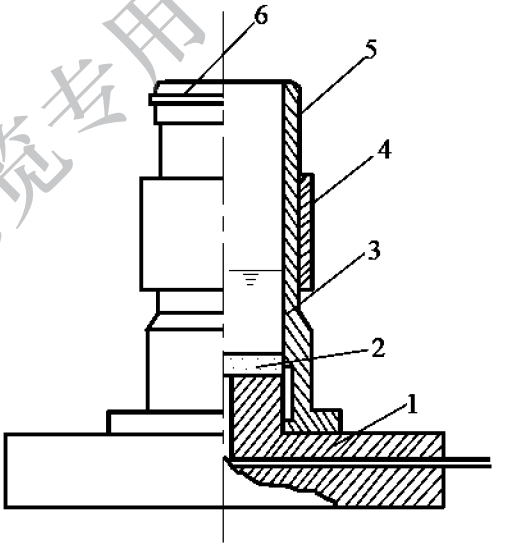


图 18.2.1—8 制备砂样圆模

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

国家铁路局信息公开
浏览专用

18.2.2 试验时仪器应符合下列规定：

1 周围压力控制系统和反压力控制系统的仪表误差应小于全量程的±1%，传感器误差应小于全量程的±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，反复几次使气泡完全冲出为止。整个系统的体积变化系数应小于 1.5×10^{-5} cm^3/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。

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
$\overline{CU}$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为：试样直径小于100 mm时，应

国家铁路局信息公开 浏览专用

为直径的1/10；试样直径大于或等于100 mm时，应为直径的1/5。

3 有裂隙、软弱面或构造面的试样，直径宜采用61.8 mm或101 mm。

18.3.2 原状土试样制备应符合下列规定：

1 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（如图18.2.1—4所示），用钢丝锯或切土刀紧靠侧板，由上往下切削，边切削边转动圆盘，直至土样被削成规定的直径。再按试样高度的要求，削平上下两端。直径大于10 cm的土样，可先用分样器（如图18.2.1—6所示）切成3个土柱，再按上述方法切取直径为39.1 mm的试样。

2 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，再按试样上下层次，放在切土架（如图18.2.1—5所示）上进行切削。切削前应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，至切削到比要求的试样高度高出约2 cm。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，试样表面遇到砾石而形成孔洞时，可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：

$$D_0=\frac{D_1+2D_2+D_3}{4} \tag{18.3.2}$$

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土膏法，试样制备应符合下列规定：

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，称制备好的土膏并将其填入橡皮膜内，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。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，按本规程式（18.3.2）计算试样的平均直径。

18.3.4 砂类土试样制备应符合下列规定：

1 根据试验要求的试样干密度和试样体积称取所需风干砂样质量，分为三等分，在水中煮沸，冷却后待用。

2 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，并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，使橡皮膜贴紧对开模的内壁，如图18.2.1—8所示。注脱气水至对开膜高度的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。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

国家铁路局信息公开浏览专用

板、试样帽，翻起橡皮膜，扎紧试样帽。

3 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，使试样能竖立起来。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 试样饱和应符合下列规定：

1 抽气饱和：将装有试样的饱和器置于真空缸中进行抽气，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，同时提高试样底部量管的水面和降低连接试样顶部固结排水管的水面，使两管水面差在 1 m 左右，打开孔隙压力阀、量管阀和排水管阀，让水自下而上通过试样，至同一时间间隔内量管流出的水量与固结排水管内的水量相等。

3 反压力饱和：试样需完全饱和时，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），但应采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，再开启孔隙压力阀，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，以减少对试样的扰动。在施加反压力过程中，始终保持周围压力比反压力大 18 kPa。反压力和周围压力的每级增量：软黏土取 30 kPa，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。

18.4 不固结不排水剪试验

18.4.1 试验操作应符合下列规定：

1 试样安装

1）对压力室底座充水，底座上放置不透水板，再依次放上试样、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，快注满水时，应降低进水速度，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，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 kPa、200 kPa、300 kPa、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，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%，按此调整变速箱排挡。

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。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。遇到试样特别脆硬或软弱时，应加密或减少测记次数。

4）读数出现峰值时，应继续剪切至轴向应变超过3%。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，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

$$\varepsilon_1=\frac{\Delta h_i}{h_0}\times 100 \qquad (18.4.2\text{—}1)$$

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

$$A_a=\frac{A_0}{1-0.01\varepsilon_1} \qquad (18.4.2\text{—}2)$$

式中 A_a——试样剪切时的面积（cm^2），计算至0.01 cm^2；

A_0——试样初始面积（cm^2）。

3 主应力差

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

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（N/0.01 mm）；

R——测力计读数（0.01 mm）；

国家铁路局信息公开浏览专用

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（如图 18.4.2—1 所示）。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。

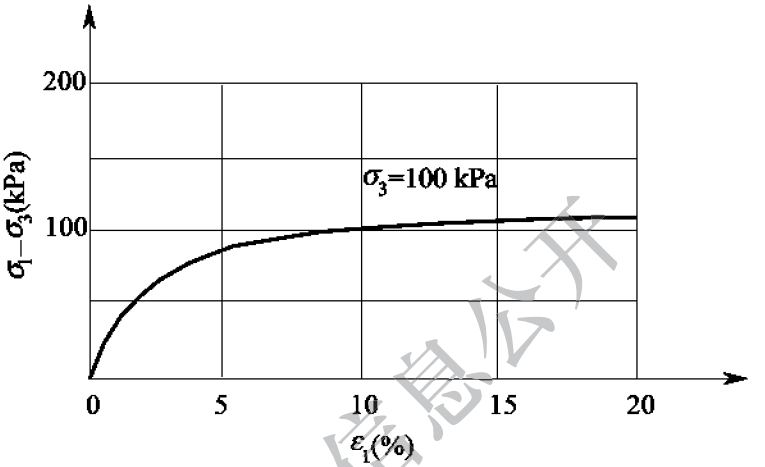


图 18.4.2—1 主应力差与轴向应变关系曲线

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（如图 18.4.2—2 所示）。

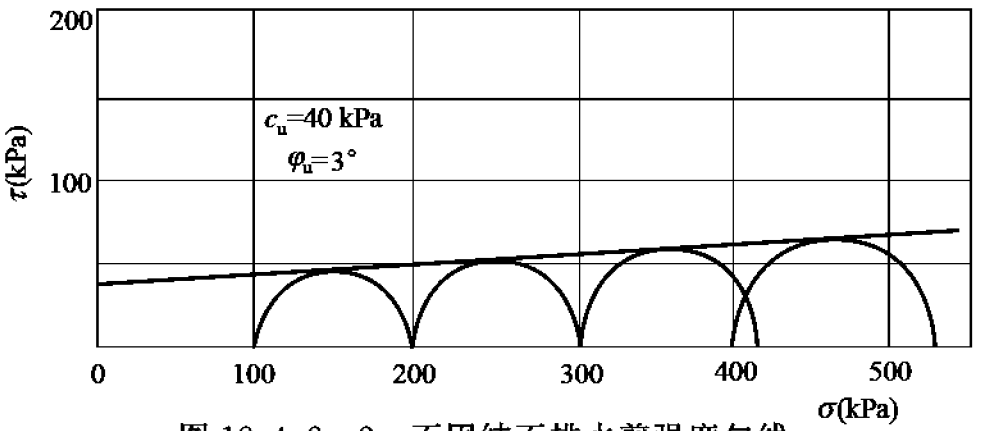


图 18.4.2—2 不固结不排水剪强度包线

国家铁路局信息公开
试读专用

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(0.01 mm)	轴向应变(%)	剪切时的试样面积(cm^2)	主应力差(kPa)
(1)	(2)	$(3)=\frac{(1)}{h_0}\times 100$	$(4)=\frac{A_0}{1-0.01\times(3)}$	$(5)=\frac{(2)\times C\times 10}{(4)}$

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

18.5 固结不排水剪试验

18.5.1 试验操作应符合下列规定：

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，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

国家铁路局信息公开浏览专用

膜之间的多余水分，关闭排水阀。

3）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（采用零位指示器时，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_0。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 min、0.25 min、1 min、4 min、9 min……测记排水管水面及孔隙压力计读数。零位指示器水银面应保持在原来位置，排水管的水面位置应在试样的中心处。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) 所示。

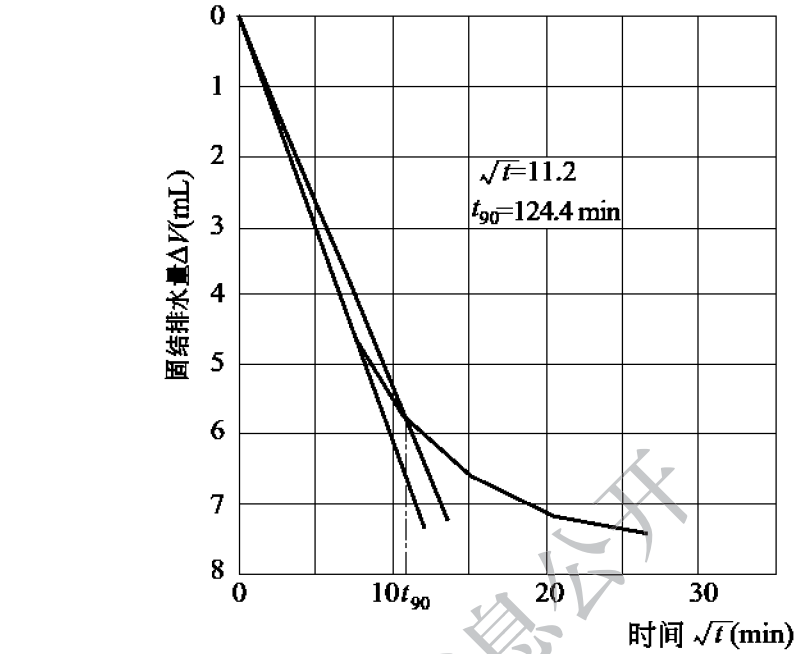
4）开启体变管阀，使试样排水固结。完成固结后，关闭排水管阀或体变管阀，记下读数。转动细调手轮使试样与活塞刚好接触，测力计读数开始微动时，记录轴向位移计读数，此时固结下沉为 Δh，计算此时的试样高 h_c。

5）将测力计、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。

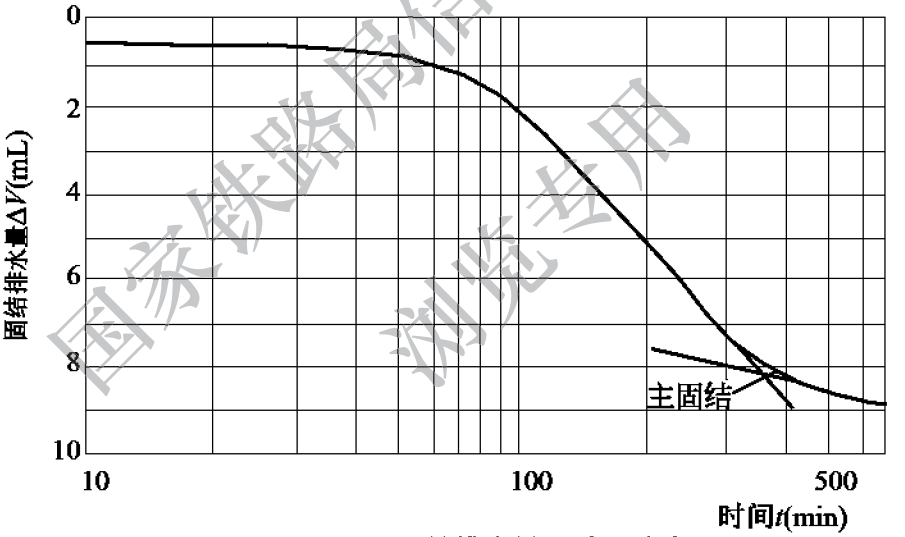
3 试样剪切

1）CU 试验的试样剪切应按本规程第 18.4.1 条第 2 款

国家铁路局信息公开 浏览专用



(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

图 18.5.1　排水量与排水时间的关系曲线

的规定进行。

2）$\overline{\text{CU}}$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%。

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。

国家铁路局信息公开
浏览专用

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

按实测固结下沉 $$h_c=h_0-\Delta h_c \tag{18.5.2—1}$$

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

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

按实测固结下沉 $$A_c=\frac{V_0-\Delta V}{h_c} \tag{18.5.2—3}$$

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

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

$$A_a=\frac{A_c}{1-0.01\varepsilon_1} \tag{18.5.2—5}$$

$$\varepsilon_1=\frac{\Delta h_i}{h_c}\times 100 \tag{18.5.2—6}$$

4 主应力差应按本规程式（18.4.2—3）计算。

5 有效主应力比

国家铁路局信息公开 浏览专用

$$\frac{\sigma_1'}{\sigma_3'}=\frac{\sigma_1-u}{\sigma_3-u} \qquad (18.5.2\text{—}7)$$

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

$$B=\frac{u_1}{\sigma_3} \qquad (18.5.2\text{—}8)$$

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

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

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（如图 18.5.2—1 所示）。

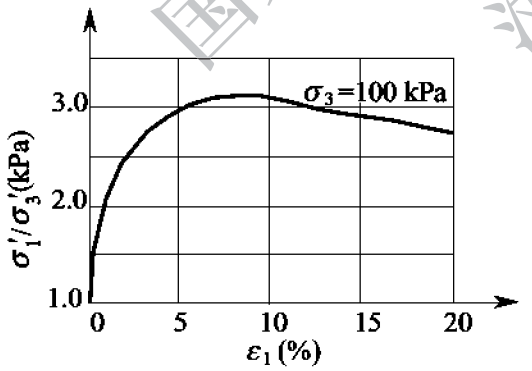


图 18.5.2—1 有效主应力比与轴向应变关系曲线

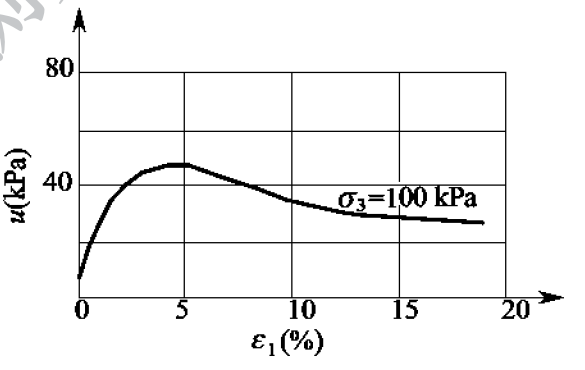


图 18.5.2—2 孔隙压力与轴向应变关系曲线

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（如图 18.5.2—2 所示）。

国家铁路局信息公开 浏览专用

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（如图 18.5.2—3 所示），并按下列公式计算有效内摩擦角和有效黏聚力：

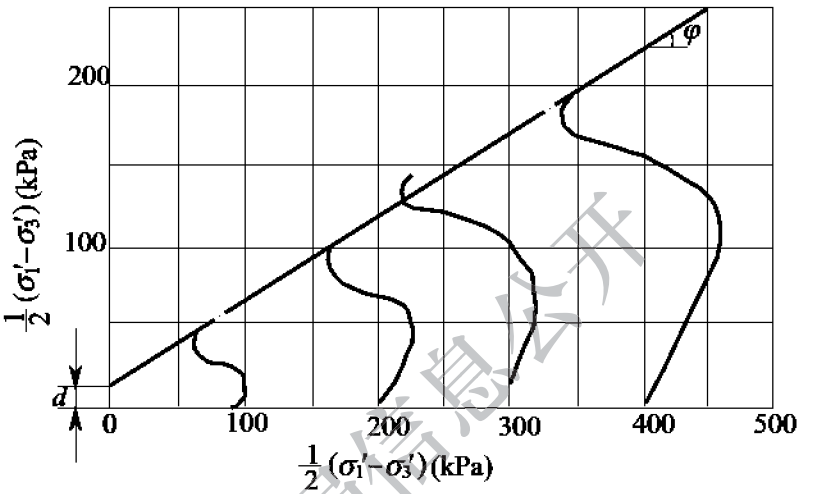


图 18.5.2—3 应力路径曲线（正常固结黏土）

有效内摩擦角

$$\varphi'=\sin^{-1}(\tan\varphi) \qquad (18.5.2\text{—}10)$$

有效黏聚力

$$c'=\frac{d}{\cos\varphi'} \qquad (18.5.2\text{—}11)$$

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'——有效黏聚力；

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 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

国家铁路局信息公开 浏览专用

$\frac{1}{2}(\sigma'_{1f}-\sigma'_{3f})$ 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（如图 18.5.2—4 中的虚线所示）。

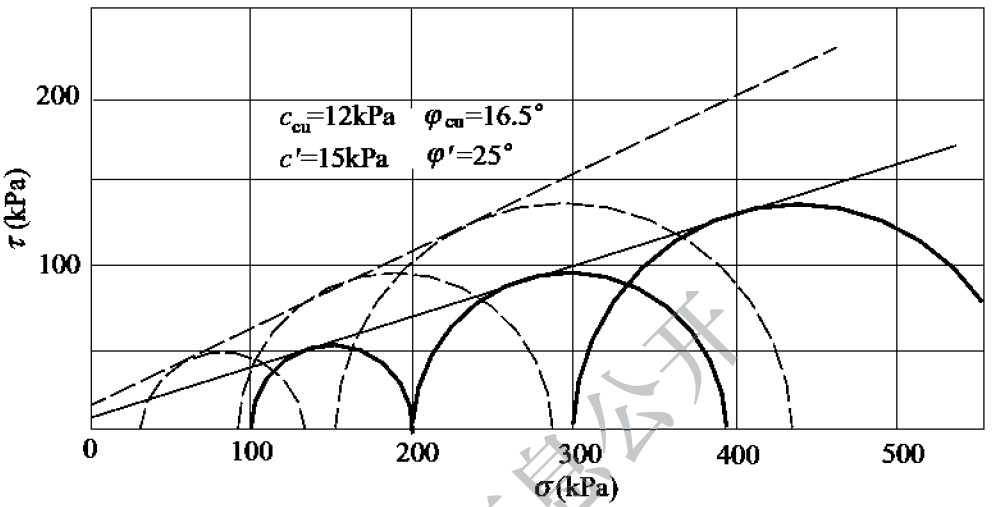


图 18.5.2—4　固结不排水剪强度包线

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

18.6　固结排水剪试验

18.6.1　试验操作应符合下列规定：

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关闭状态。

2）剪切速率应采用每分钟应变 0.003%～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 项和第 4 项规定进行。测读轴向变形时，应同时测体变

国家铁路局信息公开
浏览专用

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/cm³) 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								固结过程								
时间 (min)	周围压力 σ^3 (kPa)	反压力 σ_b (kPa)	孔隙压力 u (kPa)	孔隙压力增量 Δu (kPa)	试样体积变化		说明（检验结果）	时间 (min)	量管		孔隙压力		体变管		说明
					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

国家铁路局信息公开
免费查阅

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：_____(cm^2)　　试样固结后体积 V_c：_____(cm^3)

周围压力 σ_3：_____(kPa)　　剪切速率：_____(mm/min)　　测力计率定系数 C：_____(N/0.01 mm)

轴向变形读数 Δh (0.01 mm)	轴向应变 $\varepsilon_1=\frac{\Delta h_i}{h_c}$ (%)	试样校正面积 $A_a=\frac{A_c}{1-\varepsilon_1}$ (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

国家铁路局信息公开
浏览专用

管读数或排水管水位。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项和第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 试样固结后的高度、面积应按本规程式（18.5.2—1）、（18.5.2—2）、（18.5.2—3）、（18.5.2—4）进行计算。

2 剪切时的试样面积校正值

$$A_a=\frac{V_c-\Delta V_i}{h_c-\Delta h_i} \tag{18.6.2}$$

$$V_c=A_c h_c$$

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）、（18.5.2—8）、（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 有效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（如图18.6.2所示）。

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。

国家铁路局信息公开 仅供查用

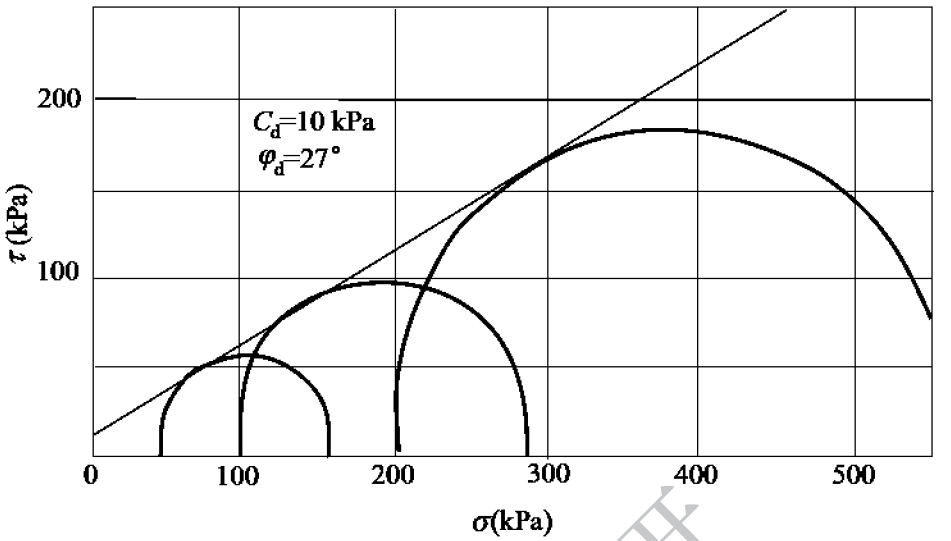


图 18.6.2　固结排水剪强度包线

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符合下列规定：

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。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，将测力计读数调整至零位，然后转动手轮使试样帽与测力计重新接触，测力计读数微动时，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。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

国家铁路局信息公开
浏览专用

试验的主应力差与轴向应变关系曲线（如图 18.7.2 所示）。

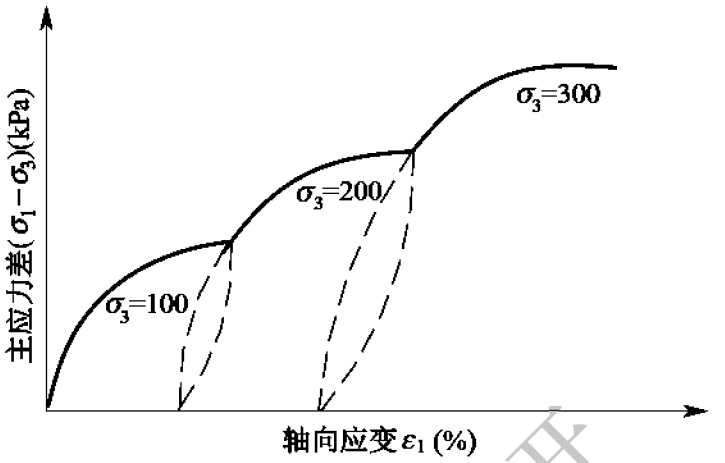


图 18.7.2　不固结不排水剪的应力与应变关系曲线

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或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。

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，应以前一级剪切终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（如图 18.7.3—1 所示）及一个试样固结不排水剪强度包线（如图 18.7.3—2 所示）。

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

国家铁路局信息公开
浏览专用

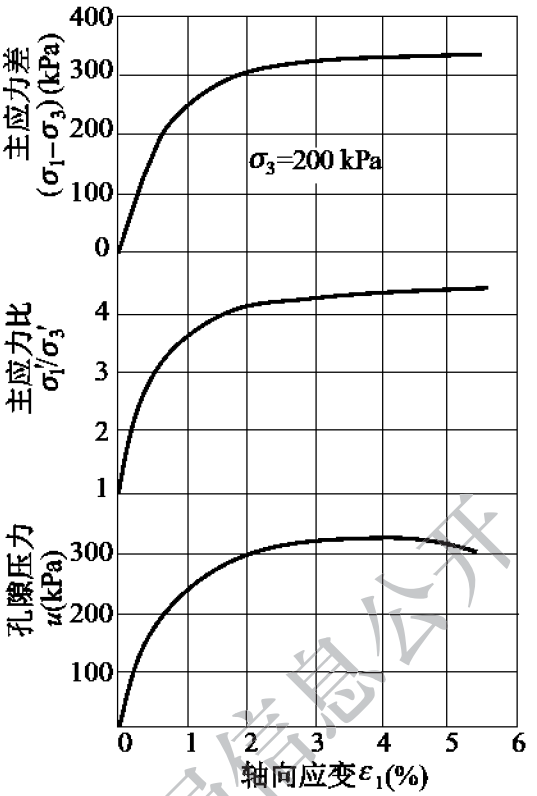


图 18.7.3—1　固结不排水剪应力与应变曲线

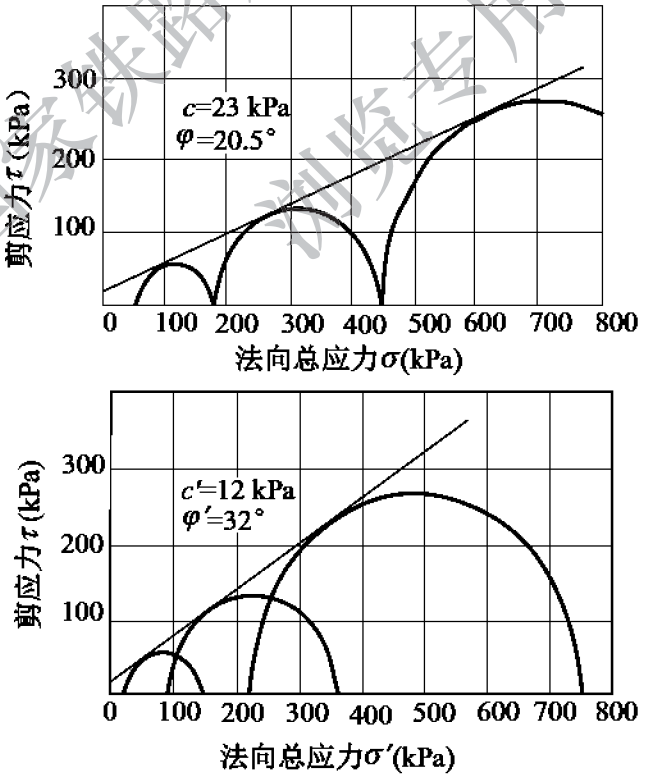


图 18.7.3—2　一个试样固结不排水剪强度包线

国家铁路局信息公开
浏览专用

19　无侧限抗压强度试验

19.0.1　本试验可用于测定无侧限抗压强度 q_u 和灵敏度 S_t。

19.0.2　本试验适用于在自重作用下不发生变形的饱和软黏土。

19.0.3　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　应变控制式无侧限压缩仪（如图 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 D 进行标定。

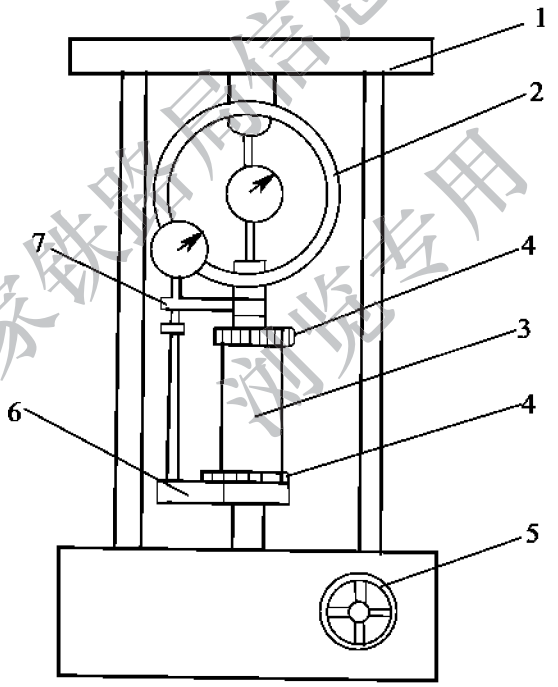


图 19.0.3　应变控制式无侧限压缩仪

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 0.2%F.S 的位移传感器。

国家铁路局信息公开 浏览专用

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 试验操作应符合下列规定：

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

2 将已制备的试样置于下传压板上，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（5～15 r/min）转动转轮，整个试验应在 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。读数无稳定值时，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 需测定灵敏度时，应刮掉已破坏试样表面上的凡士林，再加入少量切削下来的余土，包以塑料布，用手搓捏，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

$$\varepsilon_1=\frac{\Delta h}{h_0}\times 100 \qquad (19.0.5\text{—}1)$$

式中 ε_1——轴向应变（%）；

Δh——轴向变形（mm）；

h_0——试样的初始高度（mm）。

国家铁路局信息公开浏览专用

2 较正后的试样的面积

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

式中 A_a——校正后面积（cm^2）；

A_0——试样初始面积（cm^2）。

3 试样所受的轴向应力

$$\sigma=\frac{C\cdot R}{A_a}\times 10 \qquad (19.0.5\text{—}3)$$

式中 σ——轴向应力（kPa）；

C——测力计率定系数（N/0.01 mm）；

R——测力计读数（0.01 mm）；

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，如图 19.0.5 所示，曲线上最大轴向应力值为 q_u。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。

5 灵敏度

$$S_t=\frac{q_u}{q_u'} \qquad (19.0.5\text{—}4)$$

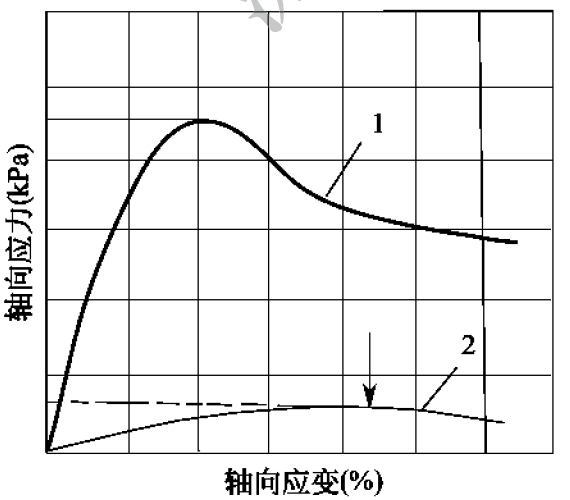


图 19.0.5 轴向应力与轴向应变关系曲线

1—原状试样；2—重塑试样

国家铁路局信息公开 浏览专用

式中　S_t——灵敏度；

q_u——原状试样的无侧限抗压强度（kPa）；

q_u'——重塑试样的无侧限抗压强度（kPa）。

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 ΔL＝____ 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 ρ＝____ g/cm^3	灵敏度 S_t＝____	

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
	(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

国家铁路局信息公开浏览专用

20　静止侧压力系数试验

20.0.1　本试验可用于测定侧向有效应力和轴向有效应力，计算土的静止侧压力系数。

20.0.2　本试验适用于饱和的黏性土和砂类土。

20.0.3　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　侧压力仪，如图 20.0.3 所示。

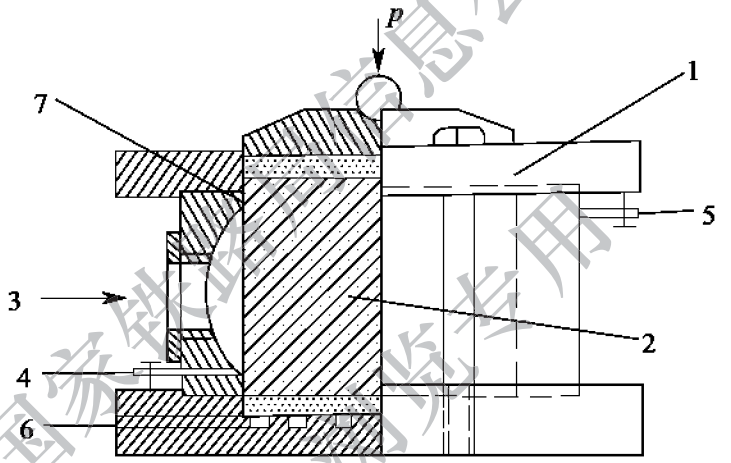


图 20.0.3　侧压力仪 K_0 试验装置示意图

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

2　轴向加压设备：杠杆式或磅秤式，最大负荷 5 kN。

3　侧向压力量测设备：包括压力传感器（准确度为 0.5% F.S），测量装置或三轴压缩仪的测压板。

4　环刀：内径 61.8 mm，高度 40 mm。

5　百分表：量程 10 mm，分度值 0.01 mm。

6　乳胶膜：内径 61.8 mm，长约 60 mm。

7　其他：校正样块（内径 61.8 mm，高度 100 mm）、饱和

国家能源局信息公开浏览专用

器、推样器、硅脂等。

20.0.4 试验操作应符合下列规定：

1 试验前，侧压力仪容器的安装与检查应按下列步骤进行：

1）将乳胶膜置于圆环内，上下两端翻起，压在有密封圈的顶盖和底座之间，拧紧拉杆固定乳胶膜，形成圆弧形密封压力室。侧向压力量测孔接侧向压力量测装置，并向管路中充水。

2）打开排气孔阀，从进水孔注入脱气水，排气孔溢出的水不含气泡时，关闭进水孔阀。

3）将校正样块慢慢放入容器内，从排气孔排出受压室多余的水，使乳胶膜平整并紧贴校正样块，关排气孔阀。用侧向压力量测系统逐级施加压力，直至压力达500 kPa，经8 h压力表的读数变化不超过±1%。打开进水孔阀，用调压筒抽出受压室中的部分水，取出校正样块，再将水压回受压室，关闭进水孔阀。

2 黏性土试样分原状土和扰动土两类，试样制备应分别按本规程第3.4节和第3.2节规定进行；砂类土试验根据要求的干密度和试样体积称取所需的风干砂样，准确至0.1 g，将砂样装入容器中，拂平表面，放上一块硬木块，用手轻轻敲打，使试样达到要求的干密度，然后取下硬木块。采用饱和砂样时，应将干砂放入水中煮沸，冷却后填入容器。试样填好后，放上透水板、传压板，将容器置于加压框架正中。试样尺寸：直径61.8 mm，高度40～60 mm。

3 黏性土试样将带有环刀的试样装入框式饱和器内，按本规程第3.5节的规定进行饱和，饱和度要求达到95%以上。

4 将黏性土试样推出环刀，贴上滤纸条，套上橡皮膜并涂薄层硅脂，放入侧压仪容器内（安装试样前，打开进水阀，用调压筒抽出密闭受压室中的部分水，使橡皮膜凹进，试样推进容器后，再将抽出的水压回受压室，使试样与橡皮膜紧密接触，关闭进水阀），砂性土试样直接制样于容器中。放上透水板、护水圈、

国家铁路局标准公开浏览专用

传压板、钢珠。将容器置于加压框架正中，施加 1 kPa 的预压力。安装轴向位移计，并调至零位。

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

6 施加轴向压力，压力等级宜按 25 kPa、50 kPa、100 kPa、200 kPa、400 kPa。施加每级轴向压力后，每半小时测记侧压力仪表读数和轴向应变，直至变形稳定。试样变形稳定标准为每小时变形不大于 0.01 mm。变形稳定后，再加下一级轴向压力。

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

20.0.5 试验结果应按下列公式计算及制图：

1 静止侧压力系数按下式计算

$$K_0=\sigma_3'/\sigma_1' \tag{20.0.5}$$

式中 K_0——静止侧压力系数，计算至 0.01；

σ_3'——密封受压室的水压力即侧向有效应力（kPa）；

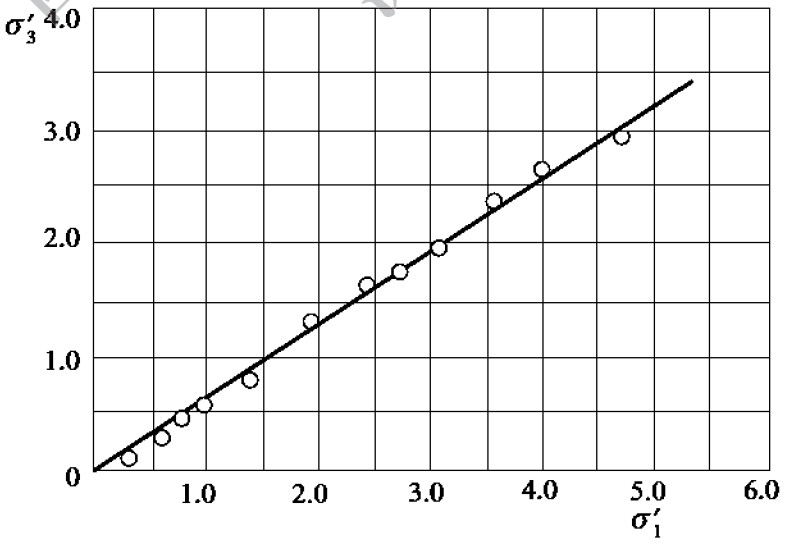


图 20.0.5 σ_1'-σ_3' 关系曲线（10^2 kPa）

国家铁路局信息公开 试读专用

σ_1'——轴向压力（kPa）。

2 以有效轴向压力为横坐标，有效侧向压力为纵坐标，绘制 σ_1'-σ_3' 关系曲线，如图 20.0.5 所示，其斜率为静止侧压力系数。

20.0.6 记录格式应符合表 20.0.6 的要求。

表 20.0.6 静止侧压力系数试验记录表

工程名称：_____ 试验编号：_____

压力等级 （kPa）	经过时间 t （h）	轴向变形 Δh （0.01 mm）	轴向压力 σ_1' （kPa）	侧向压力 σ_3' （kPa）

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

国家铁路局信息公开 浏览专用

21　弹性模量试验

21.0.1　本试验可用于测定土的弹性变形，计算土的弹性模量。

21.0.2　本试验适用于饱和的黏性土和砂类土。

21.0.3　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　应力控制式三轴仪：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。如图 21.0.3 所示。

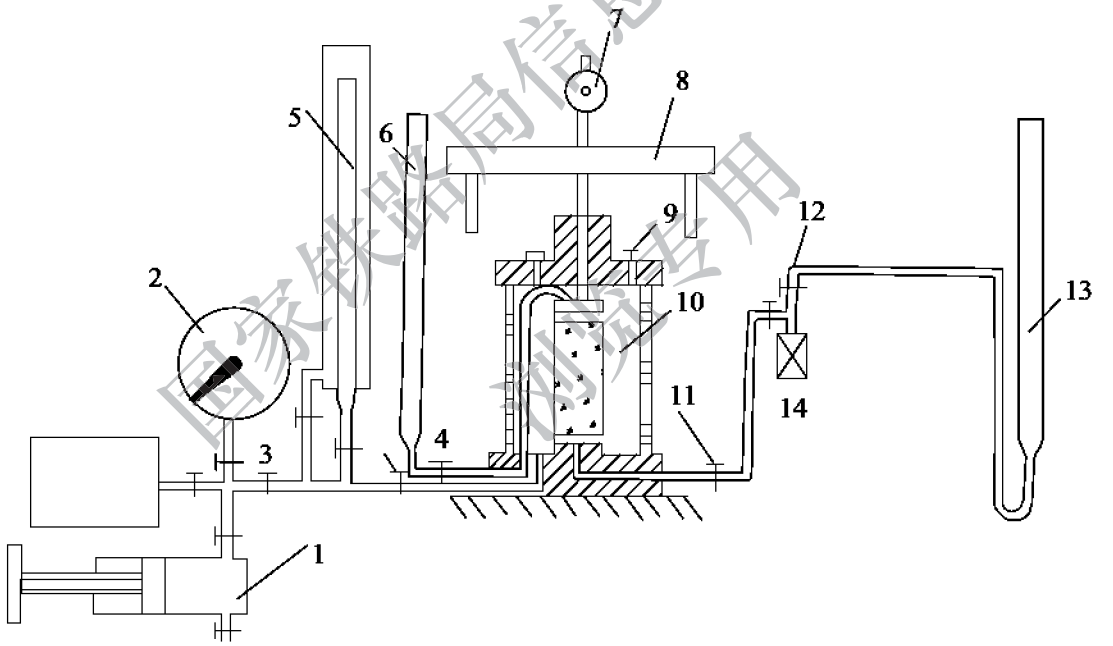


图 21.0.3　应力控制式三轴仪装置

1—调压筒；2—周围压力表；3—周围压力阀；4—排水阀；5—体变管；6—排水管；7—轴向位移计；8—轴向加压设备；9—排气孔；10—压力室；11—孔隙压力阀；12—量管阀；13—量管；14—孔压传感器

2　附属设备：应符合本规程第 18.2.1 条第 2 款的规定。

3　天平：称量 200 g，分度值 0.01 g；称量 1 000 g，分度

国家铁路局信息公开
测试专用

值 0.1 g。

4 千分表或位移传感器：量程 20 mm，分度值 0.001 mm。

21.0.4 试验操作应符合下列规定：

1 原状土试样制备按本规程第 18.3.2 条的规定进行；扰动土试样制备按本规程第 18.3.3 条的规定进行；砂类土试样制备和安装按本规程第 18.3.4 条的规定进行。

2 试样饱和按本规程第 18.3.5 条的规定进行。

3 试样安装和固结按本规程第 18.4.1 条的规定进行。

4 分别估算试样在天然应力状态下的轴向压力和周围压力。将周围压力调至所需反压力值，开周围压力阀和体变管阀，施加反压力。开孔隙压力阀，测记体变管读数（即排水量读数）和孔隙压力表读数，关孔隙压力阀。打开上、下排水量管阀，调整排水量管的水位使其与试样中心高度齐平，测记量管水位起始读数，准确至 0.1 mL。开周围压力阀，施加预定的周围压力，固结 2 h 后，分次缓慢的施加预定的轴向压力，在 K_0 条件下使试样固结，排水量应等于轴向变形量与试样初始面积的乘积，直至孔隙压力消散到接近施加的反压力，有效侧向压力与有效轴向压力之比应等于 K_0 值。

5 关闭排水阀和孔隙压力排水阀，将轴向位移计调整到零位。分级施加轴向压力，每级压力按预计的试样破坏主应力差的 1/10～1/12 施加。

6 施加第 1 级压力，同时开动秒表，测记加压后 1 min 时位移计的读数。每隔 1 min 施加 1 级压力，测记位移计读数 1 次，施加到第 4 级压力为止。

7 在测记第 4 级压力施加后 1 min 位移计读数的同时，逐级卸压。每隔 1 min 卸去一级，并测记卸压后 1 min 的位移计读数，直至施加的轴向压力全部卸去。

8 测记最后一级压力卸去后 1 min 位移计读数时，按本规程 21.0.4 第 6～7 款的规定重复加荷、卸荷 4～5 遍后，继续加

国家铁路局标准公开浏览专用

压。测记每级压力施加后 1 min 位移计读数，直至破坏为止。

9 关闭周围压力阀，卸去轴向压力，拆除试样，称试样质量并测定试验后含水率。

21.0.5 试验结果应按下列公式计算及制图：

1 绘制加压、卸压与轴向变形关系曲线，如图 21.0.5 所示。将最后一个滞回圈的两端点连成直线，其斜率为土的弹性模量。

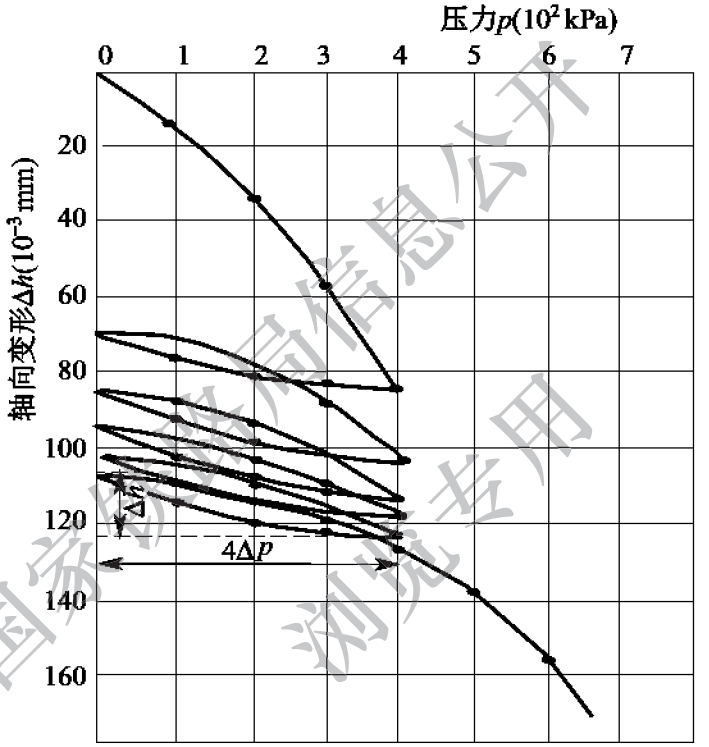


图 21.0.5 加压、卸压与轴向变形关系曲线

2 计算试样弹性模量

$$E=\frac{\frac{\sum\Delta p}{A_0}}{\frac{\sum\Delta h}{h_c}}\times 10 \qquad (21.0.5)$$

式中 E——试样的弹性模量（kPa）；

Δp——每级轴向荷载（N）；

$\sum\Delta h$——相应于总压力下的弹性变形（mm）；

国家物资局信息公开浏览专用

A_0——试样初始面积（cm^2）；

h_c——试样固结后高度（mm）；

10——单位换算系数。

21.0.6 记录格式应符合表 21.0.6 的要求。

表 21.0.6 弹性模量试验记录表

工程名称：_____ 试验编号：_____

固结轴向压力：_____ kPa 侧向压力：_____ kPa

荷重级编号	荷载增量（N）	加荷压缩量（加荷后 1 min 时千分表读数）	卸荷压缩量（卸荷后 1 min 时千分表读数）
1			
2			
3			
4			
5			
6			

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

国家铁路局信息公开浏览专用

22　动三轴试验

22.1　一 般 规 定

22.1.1　本试验可用于测定饱和土在动应力作用下的应力、应变和孔隙水压力的变化过程，确定其在动力作用下的破坏强度（包括液化）、应变大于10^{-4}时的动弹性模量和阻尼比等动力特性指标。

22.1.2　本试验适用于饱和砂土、粉土和黏性土，宜在固结不排水条件下进行试验。

22.2　仪 器 设 备

22.2.1　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　动三轴仪：分常规控制式和微机自动控制式两种。其组成包括主机、动力控制系统、静力控制系统和量测系统。

1）主机：包括压力室和动力加荷装置，如图 22.2.1—1所示。

2）静力控制系统：用于施加侧向压力、轴向压力、反压力，包括空压机、储气罐、调压阀、放气阀、压力表和管路等。

3）动力控制系统：包括交流稳压电源、超低频信号发生器、超低频峰值电压表、电源、功率放大器、超低频双线示波器等，或采用振动控制器和测量放大器。激振波型不失真，拉压两半周幅值和持时应基本相等，相差应小于±10%。

4）量测系统：用于量测轴向应力、轴向位移及孔隙水压力，由传感器、动态电阻应变仪、数据采集处理装置

国家铁路局信息公开
浏览专用

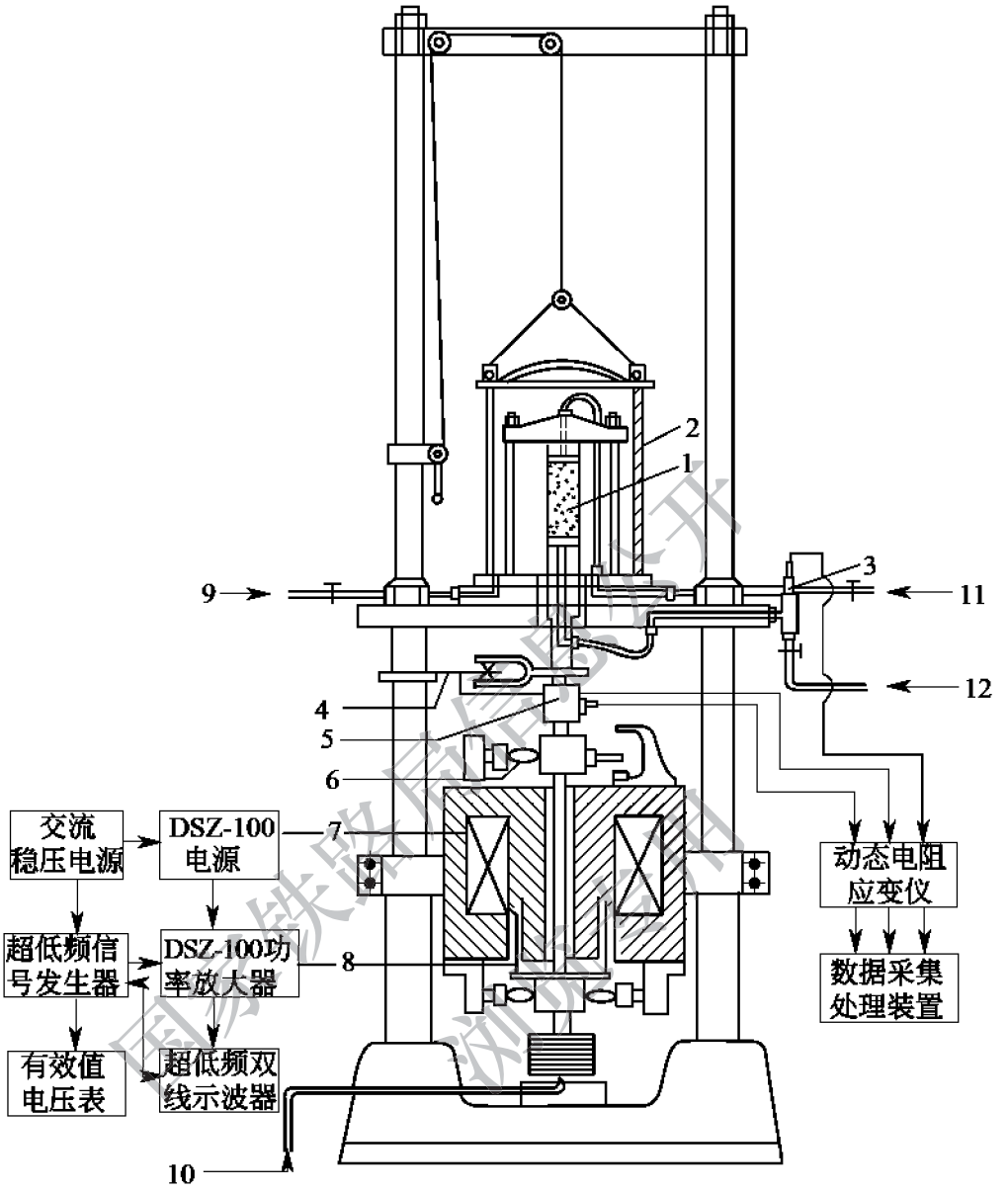


图 22.2.1—1　电磁式振动三轴仪示意图

1—试样；2—压力室；3—孔隙压力传感器；4—变形传感器；5—拉压力传感器；6—导轮；7—励磁线圈（定圈）；8—激振线圈（动圈）；9—接侧压力稳压罐系统；10—接垂直压力稳压罐系统；11—接反压力饱和及排水系统；12—接静孔隙压力测量系统

等组成。采用微机控制和数据采集系统时，应编制控制、数据采集和处理程序、绘图和汇总试验成果程序和打印程序。整个系统的各部分均应有良好的频率响

应、性能稳定，不应超过允许误差范围。

2 附属设备：

1）试样装置示意如图 22.2.1—2 所示。

2）其他应符合本规程第 18.2.1 条的规定。

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

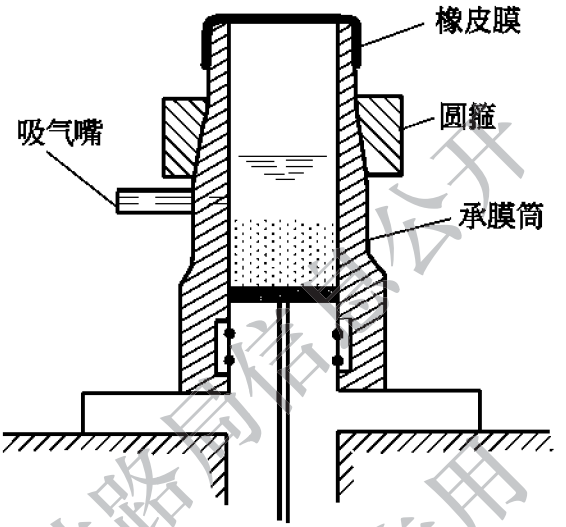


图 22.2.1—2 试样装置示意图

22.3 试样制备、饱和、安装及固结

22.3.1 试样制备应符合下列规定：

1 试样直径为 39.1 mm 和 50 mm，高度宜为试样直径的 2～2.5 倍。

2 原状土样的试样制备按本规程第 18.3.2 条的规定进行。

3 扰动土样的试样制备按本规程第 18.3.3 条的规定进行。

4 砂土试样制备按本规程第 18.3.4 条的规定进行。填土宜模拟现场状态用密度控制，天然地基宜用原状试样。

22.3.2 试样饱和应符合下列规定：

1 抽气饱和按本规程第 18.3.5 条第 1 款的规定进行。

2 水头饱和按本规程第 18.3.5 条第 2 款的规定进行。

国家铁路局信息公开 仅供浏览专用

3　反压力饱和按本规程第 18.3.5 条第 3 款的规定进行。

22.3.3　试样安装应符合下列规定：

1　打开供水阀，使试样底座充水排气，溢出的水不含气泡时，按本规程第 18.5.1 条第 1～3 款的规定安装试样。

2　砂样安装在试样制备过程中完成。

22.3.4　试样固结应符合下列规定：

1　等向固结。先对试样施加 20 kPa 的侧压力，然后逐级施加均等的侧向压力和轴向压力，直到侧向压力和轴向压力相等并达到预定压力。

2　不等向固结。应在等向固结变形稳定后，逐级增加轴向压力直到预定的轴向压力，加压时试样不应产生过大的变形。

3　试样反压力按本规程第 22.3.2 条第 3 款的规定施加。

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

5　固结完成后关闭排水阀，并计算振前干密度。

22.4　动强度（液化）试验

22.4.1　试验操作应符合下列要求：

1　开启动力控制系统和量测系统仪器、采集控制程序的电源。将信号发生器的“波形选择”、“时间周期”（频率）旋钮旋到所需的位置，对振动频率无特殊要求时，宜采用 1 Hz。

2　根据预估的动应力，选择动态应变仪中的应力、变形和孔隙水压力工作按钮，使动态应变仪、数据采集装置等处于工作状态。

3　微机自动采集和控制程序动三轴，应根据程序提示设置动应力、变形、孔隙水压力、振动频率、振次等参数，选择试验类型、波型等。

国家铁路局信息公开浏览专用

4 各项初始参数设置完毕后对试样施加预估的动应力，记录或采集动应力、动应变和动孔隙水压力的时程曲线。

5 等向固结的试样，孔隙压力等于侧向压力时，再振 10～20 周停机；不等向固结的试样应变达 10%时，再振 10～20 周停机，测记振后的排水量和轴向变形量。

6 关闭仪器电源，卸除压力，拆除试样，描述试样破坏形状，称试样质量。

7 同一密度的试样宜选择 1～3 个固结比。同一固结比下，应选择 1～3 个不同的侧向压力。每一侧向压力下用 3～4 个试样，选择不同的振动破坏周次（10 周，20～30 周和 100 周左右）按第 22.4.1 条第 1～6 款的规定进行试验；利用数据处理程序，计算机进行数据处理、绘图、汇总结果并存盘、打印。

22.4.2 试验结果应按下列公式计算及制图：

1 试样在静应力状态的指标应按下列公式计算：

1）固结应力比

$$K_c=\frac{\sigma'_{1c}}{\sigma'_{3c}}=\frac{\sigma_{1c}-u_0}{\sigma_{3c}-u_0} \tag{22.4.2—1}$$

式中 K_c——固结应力比；

σ'_{1c}——有效轴向固结应力（kPa）；

σ'_{3c}——有效侧向固结应力（kPa）；

σ_{1c}——轴向固结应力（kPa）；

σ_{3c}——侧向固结应力（kPa）；

u_0——初始孔隙水压力（kPa）。

2）初始剪应力比

$$\alpha=\frac{\tau_0}{\sigma'_0} \tag{22.4.2—2}$$

$$\tau_0=\frac{(K_c-1)\sigma'_{3c}}{2}=\frac{1}{2}(\sigma_{1c}-\sigma_{3c})$$

$$\sigma'_0=\frac{(K_c+1)\sigma'_{3c}}{2}=\frac{1}{2}(\sigma_{1c}+\sigma_{3c})-u_0$$

国家铁路局标准公开浏览专用

式中 α——初始剪应力比；

τ_0——振前试样 45°面上的剪应力(kPa)；

σ_0'——振前试样 45°面上的有效法向应力(kPa)；

其余符号见本规程式(22.4.2—1)。

2 动应力和动应变应按下列公式计算：

1)动应力

$$\sigma_d=\frac{p}{A_c}\times 10 \qquad (22.4.2\text{—}3)$$

式中 σ_d——动应力（取初始值）(kPa)；

p——动荷载（N)；

A_c——试样固结后面积（cm^2)；

10——单位换算系数。

2）动应变

$$\varepsilon_d=\frac{\Delta h_d}{h_c}\times 100 \qquad (22.4.2\text{—}4)$$

式中 ε_d——动应变（%)；

Δh_d——动变形（cm)；

h_c——固结后试样高度（cm)。

3 动剪应力、总剪应力和液化应力比应按下列公式计算

1）动剪应力

$$\tau_d=\frac{1}{2}\sigma_d \qquad (22.4.2\text{—}5)$$

式中 τ_d——动剪应力（kPa)；

其余符号见本规程式（22.4.2—3)。

2）总剪应力

$$\tau_{sd}=\frac{\sigma_{1c}-\sigma_{3c}+\sigma_d}{2}=\tau_0+\tau_d \qquad (22.4.2\text{—}6)$$

式中 τ_{sd}——总剪应力（kPa)；

国家铁路局信息公开浏览专用

其余符号见本规程式（22.4.2—1）、式（22.4.2—5）。

3）液化应力比

$$\frac{\tau_d}{\sigma_0'}=\frac{\sigma_d}{2\sigma_0'} \qquad (22.4.2—7)$$

式中符号见本规程式（22.4.2—2）和式（22.4.2—5）。

4 以动剪应力为纵坐标，破坏振次为对数横坐标，绘制不同固结比时不同侧压力下的动剪应力与振次关系曲线，如图22.4.2—1所示。

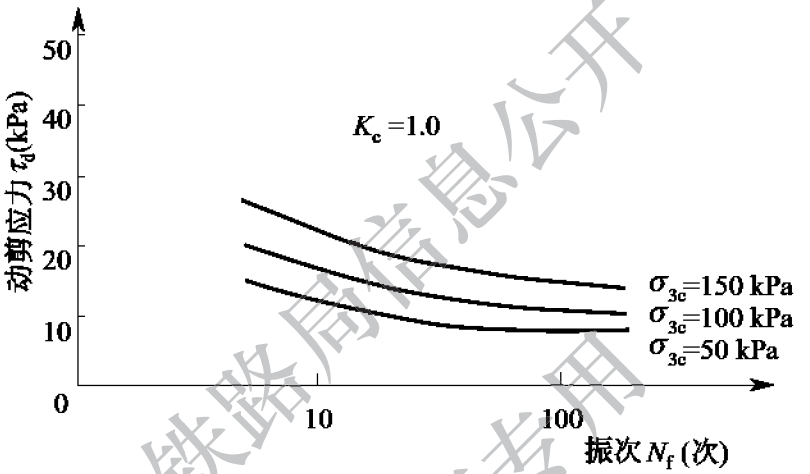


图 22.4.2—1 动剪应力与振次关系曲线

5 以振动破坏时试样45°面上的总剪应力（$\tau_0+\tau_d$）为纵坐标，振前试样45°面上的有效法向应力为横坐标，绘制给定振次下，不同初始剪应力比时的总剪应力与有效法向应力关系曲线，如图22.4.2—2所示。

6 以液化应力比为纵坐标，破坏振次为对数横坐标，绘制不同固结应力比时的液化应力比与振次关系曲线，如图22.4.2—3所示。

7 以动孔隙水压力比为纵坐标，破坏振次为对数横坐标，绘制动孔隙水压力比与振次关系曲线，如图22.4.2—4所示。

22.4.3 记录格式应符合表22.4.3的要求。

国家铁路局信息公开
浏览专用

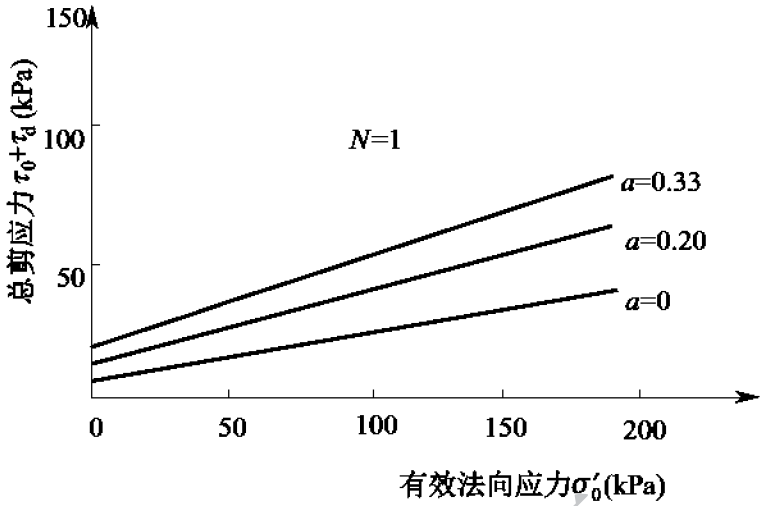


图 22.4.2—2　总剪应力与有效法向应力关系曲线

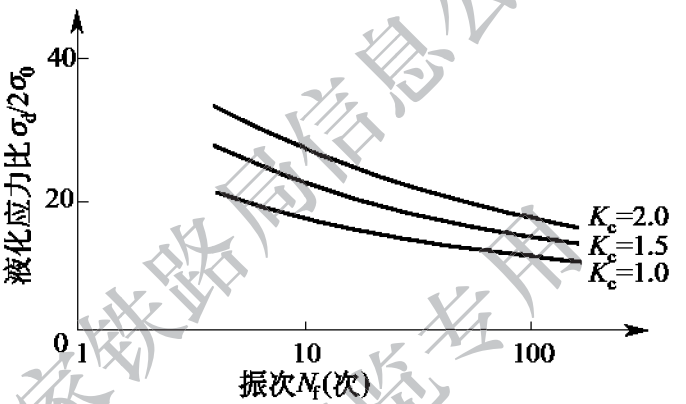


图 22.4.2—3　液化应力比与振次关系曲线

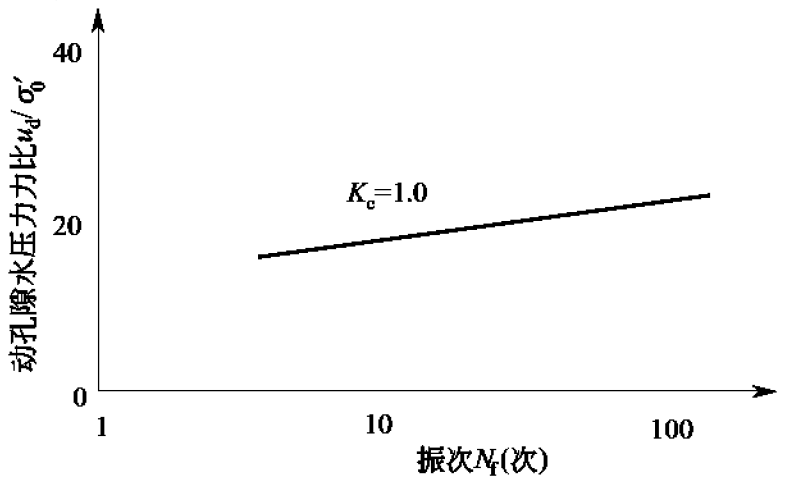


图 22.4.2—4　动孔隙水压力比与振次关系曲线

国家铁路局信息公开
浏览专用

表 22.4.3　动三轴试验记录表（动强度与液化试验）

工程名称：_____　　试验编号：_____

固结前	固结后	固结条件	试验及破坏条件
试样直径 d：_____(mm)	试样直径 d_c：_____(mm)	固结应力比 K_c：_____	振动频率：_____(Hz)
试样高度 h：_____(mm)	试样高度 h_c：_____(mm)	轴向固结应力 σ_{1c}：_____(kPa)	给定破坏振数：_____(次)
试样面积 A：_____(cm^2)	试样面积 A_c：_____(cm^2)	侧向固结应力 σ_{3c}：_____(kPa)	均压时孔压破坏标准：_____(kPa)
试样体积 V：_____(cm^3)	试样体积 V_c：_____(cm^3)	固结排水量 ΔV：_____(ml)	均压时应变破坏标准：_____(%)
试样干密度 ρ_d：_____(g/cm^3)	试样干密度 ρ_{dc}：_____(g/cm^3)	固结变形量 Δh：_____(mm)	偏压时应变破坏标准：_____(%)

振次（次）	动应变		动应力			动孔隙水压力	
	动变形 Δh_d (cm)	动应变 ϵ_d (%)	动荷载 P (N)	动应力 σ_d (kPa)	液化应力比 $\frac{\sigma_d}{2\sigma_0'}$	动孔压 u_d (kPa)	动孔压比 u_d/σ_3'
(1)	(2)	(3)=$\frac{(2)}{h_c}\times 100$	(4)	(5)=$\frac{(4)}{A_c}\times 10$	(6)=$\frac{(5)}{2\sigma_0'}$	(7)	(8)=$\frac{(7)}{\sigma_{3c}'}$

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

国家铁路局信息公开
浏览专用

22.5 动弹性模量和阻尼比试验

22.5.1 试验操作应符合下列要求：

1 仪器的调试按本规程第 22.4.1 条第 1～3 款的规定进行。

2 选择动力大小，在不排水条件下对试样施加动应力，测记动应力、动应变和动孔隙水压力，同时记录并绘制动应力和动应变滞回圈，直到预定振次时停机，拆样。

3 同一干密度的试样，在同一固结应力比下，应在 1 至 3 个不同的侧压力下试验，每一侧压力宜用 5～6 个试样，改变 5～6 级动力，按本规程第 22.5.1 条第 1～2 款的规定进行试验。

22.5.2 试验结果应按下列公式计算及制图：

1 动弹性模量 E_d

$$E_d=\frac{\sigma_d}{\varepsilon_d} \tag{22.5.2—1}$$

式中 σ_d——动应力（kPa）；

ε_d——动应变（%）。

2 阻尼比 λ_d

$$\lambda_d=\frac{1}{4\pi}\frac{A}{A_s} \tag{22.5.2—2}$$

式中 A——滞回圈 $ABCDA$ 的面积（cm^2），如图 22.5.2—1 所示；

A_s——三角形 OAE 的面积（cm^2）。

3 以阻尼比为纵坐标，动应变为对数横坐标，绘制不同固结应力的阻尼比与动应变关系曲线，如图 22.5.2—2 所示。

国家铁路局信息公开浏览专用

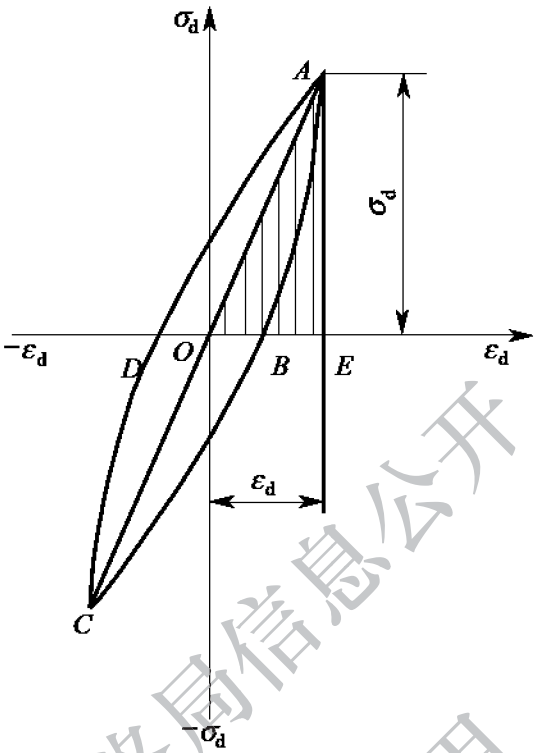


图 22.5.2—1　应力应变滞回圈

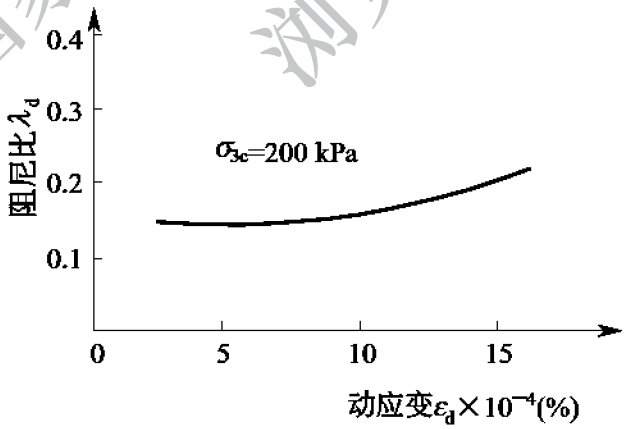


图 22.5.2—2　阻尼比与动应变关系曲线

22.5.3　记录格式应符合表 22.5.3 的要求：

国家铁路局信息公开浏览专用

表 22.5.3　动三轴试验记录表（动弹模量与阻尼比试验）

工程名称：_____　　试验编号：_____

固结前	固结后	固结条件
试样直径 d：_____(mm)	试样直径 d_c：_____(mm)	固结应力比 K_c：_____
试样高度 h：_____(mm)	试样高度 h_c：_____(mm)	轴向固结应力 σ_{1c}：_____(kPa)
试样面积 A：_____(cm^2)	试样面积 A_c：_____(cm^2)	侧向固结应力 σ_{3c}：_____(kPa)
试样体积 V：_____(cm^3)	试样体积 V_c：_____(cm^3)	固结排水量 ΔV：_____(mL)
试样干密度 ρ_d：_____(g/cm^3)	试样干密度 ρ_{dc}：_____(g/cm^3)	固结变形量 Δh：_____(mm)

输出电压(mV)	动应力			动应变			动孔隙水压力		动模量		阻尼比		
	衰减挡	动荷载 p (N)	动应力 σ_d (kPa)	衰减挡	动变形 Δh_d (cm)	动应变 ε_d (%)	衰减挡	动孔压 u_d (kPa)	动模量 E_d (MPa)	$1/E_d$ (MPa^{-1})	滞回圈面积 A (cm^2)	三角形面积 A_s (cm^2)	阻尼比 λ_d
	(1)	(2)	(3)=$\frac{(2)}{A_c}\times 10$	(4)	(5)	(6)=$\frac{(5)}{h_c}\times 100$	(7)	(8)	(9)=$\frac{(3)}{(6)}$	(10)=$\frac{1}{(9)}$	(11)	(12)	(13)=$\frac{1}{4\pi}\times\frac{(11)}{(12)}$

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

国家铁路局信息公开
测完去用

23 共振柱试验

23.1 一 般 规 定

23.1.1 本试验可用于测定试样在周期荷载作用下，小应变（10^{-6}～10^{-4}）时的动剪切模量和阻尼比、动弹性模量和阻尼比。

23.1.2 本试验采用自由振动法和稳态强迫振动法，其中自由振动法为常用方法。激振方式为旋转振动和纵向振动。

23.1.3 本试验适用于饱和砂土、粉土和黏性土。

23.1.4 本试验应制备3个以上性质相同的试样，并在不同周围压力下进行试验。周围压力应根据工程实际确定，宜采用50 kPa、100 kPa、200 kPa、300 kPa、400 kPa。

23.2 仪 器 设 备

23.2.1 共振柱按对试样的约束条件可分为一端固定一端自由和一端固定一端用弹簧和阻尼器支撑两类。

1 压力室：内部置放激振器、加速度计及试样。压力室底座和试样上压盖板具有辐射状的凸条。如图23.2.1所示。

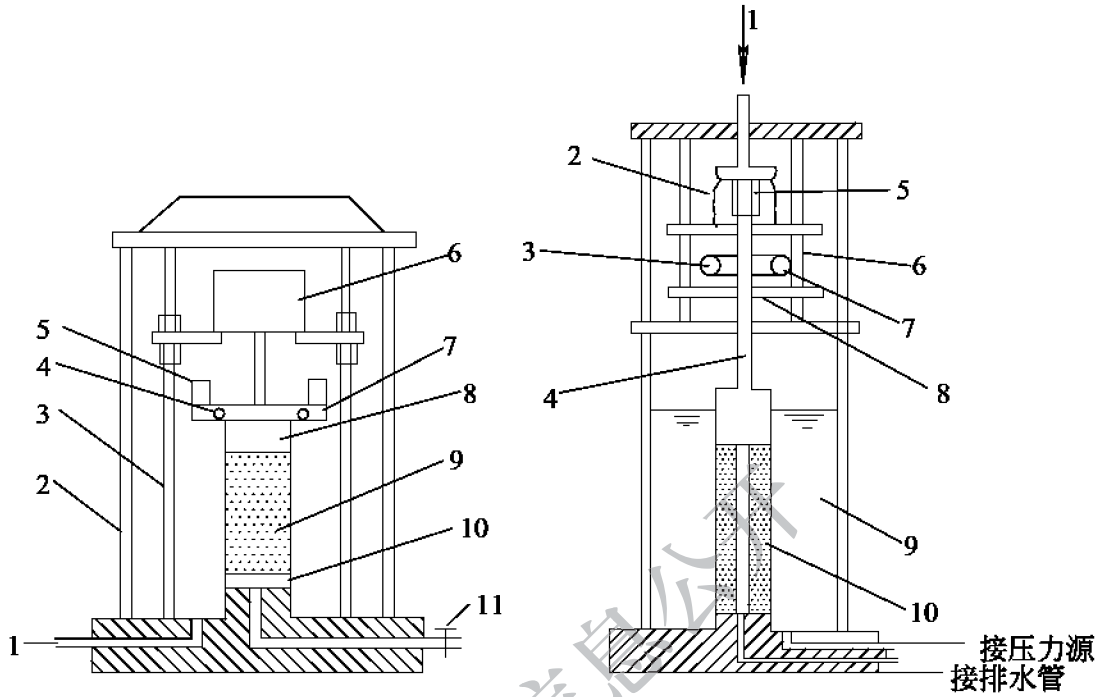
2 静力控制系统：应符合本规程第22.2.1条第1款第2项的规定。

3 激振器控制系统：包括信号发生器、功率发生器、D/A转换器和微型计算机。

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

23.2.2 附属设备应符合本规程18.2.1的规定。

国家铁路局信息公开
浏览专用



(a) 各向等压共振柱

1—接周围压力系统；2—压力室外罩；3—支架；4—加速度计；5—扭转激振器；6—轴向激振器；7—驱动板；8—上压盖；9—试样；10—透水板；11—接排水管

(b) 轴向和侧向不等压共振柱示意图

1—轴向压力；2—弹簧；3—激振器；4—旋转轴；5—压力传感器；6—导向杆；7—加速度计；8—上下活动框架；9—水；10—试样

图 23.2.1　共振柱主机示意图

国家铁路局信息公开浏览专用

23.3　试样制备、饱和、安装及固结

23.3.1　试样制备应符合下列规定：

1　本试验采用的试样直径为 50 mm，试样高度为直径的 2 倍。

2　原状土样的试样制备按本规程第 18.3.2 条的规定进行。

3　扰动土样的试样制备按本规程第 18.3.3 条的规定进行。

4　砂土试样制备按本规程第 18.3.4 条的规定进行。填土宜模拟现场状态用密度控制，天然地基宜用原状试样。

23.3.2　试样饱和应符合下列规定：

1　抽气饱和按本规程第 18.3.5 条第 1 款的规定进行。

2　水头饱和按本规程第 18.3.5 条第 2 款的规定进行。

3　反压力饱和按本规程第 18.3.5 条第 3 款的规定进行。

23.3.3　试样安装和固结应符合下列规定：

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

2　将试样放在底座上，并压入凸条中。在其周围贴 7～9 条宽 6 mm 的湿滤纸条。用承膜筒。用对开圆模夹紧试样，乳胶膜的上端翻出模外。

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

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

5　用引线将加力线圈与功率放大器相连，并将加速度计与电荷放大器相连。

6　拆除对开圆模，装上压力室外罩，转动调压阀，施加周围压力，当试样发生倾斜或线圈与磁极相触时，需退出压力，取下压力室罩，调节驱动板或重新装样；打开排水阀，直至固结稳定（稳定标准按本规程第 22.3.4 条第 4 款的规定执行）；关闭排水阀。

23.4　自由振动法

23.4.1　开启电荷放大器电源，预热。开启计算机系统电源。

23.4.2　将试验程序输入计算机，开启功率放大器电源预热 5 min，在计算机控制下进行试验。计算机指令 D/A 转换器控制

驱动系统，对试样施加瞬时扭矩后立即卸除，使试样自由振动。在振动过程中，加速度计的信号经过电荷放大器和 A/D 转换器输入到计算机处理。非计算机采集数据时，需用光线示波器或 x-y 函数记录仪记录振幅衰减曲线。

23.4.3 每一级激振力振动试验后，逐次增大激振力，继续进行试验得到在试样应变幅值增大后测试的剪切模量和阻尼比。一般应变幅值增大到 10^{-4} 为止。计算机采集数据时，试验结果由打印机打出某一固结压力下，每一激振力时的剪应变、剪切模量和阻尼比。

23.4.4 每一级固结压力试验后，增大试样的侧向压力和轴向压力。排水固结后，按本规程第 23.4.1～第 23.4.3 条的规定进行试验。

23.4.5 关闭仪器电源，卸除压力，取下压力室外罩，拆除试样。需要时，测定试样含水率。

23.5 稳态强迫振动法

23.5.1 开启信号发生器、示波器、电荷放大器和频率计电源并预热。

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

23.5.3 将信号发生器输出调至给定值，由低频逐渐增大，连续改变激振频率，直至系统发生共振，由示波器屏幕上显示的图形找出共振点，读出最大电压值。频率计读数即为共振频率。测记共振频率和相应的电压值，由电压值确定动应变或动剪应变。

23.5.4 每测量一次共振频率和加速度计的电压输出后，加大信号发生器的输出，改变频率找出共振点，测记共振频率和相应的电压值。进行阻尼比测定时，当激振频率达到系统共振频率后，继续增大频率，测记每一激振频率和相应的振幅电压值。如此继续，测记 7 组至 10 组数据，关闭仪器电源。

国家铁路局信息公开浏览专用

23.5.5 绘制振幅与频率关系曲线，如图 23.5.5 所示。

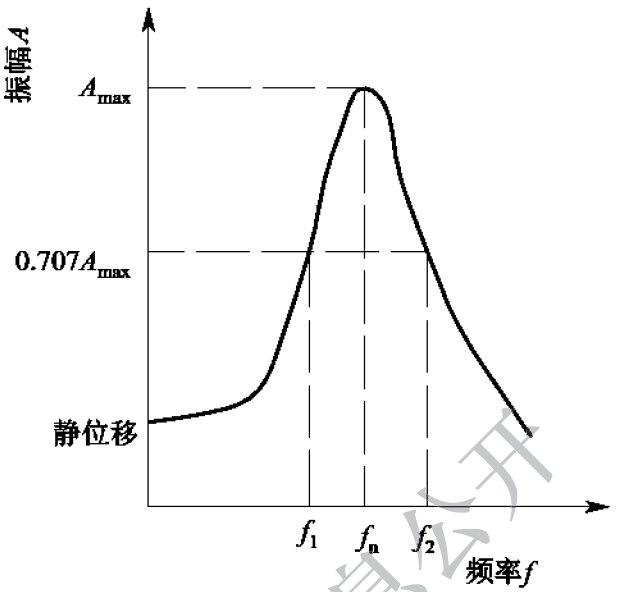


图 23.5.5 稳态振动振幅与频率关系曲线

23.5.6 退去压力，取下压力室罩，拆除试样。需要时，测定试样的含水率。

23.6 试验结果计算、制图和记录

23.6.1 按下式计算扭转共振时的动剪切模量：

1 无弹簧支承

$$G_d=\left(\frac{2\pi f_n h_c}{\beta_s}\right)^2\rho_0 \qquad (23.6.1\text{—}1)$$

式中 G_d——动剪切模量（kPa）；

f_n——试验时实测的共振频率（Hz）；

h_c——试样固结后的高度（cm）；

ρ_0——试样密度（g/cm^3）；

β_s——量频率因数（$\beta_s \cdot \tan\beta_s = I_0/I_t$），查 β_s 与 I_0/I_t 曲线图 23.6.1；

I_0——试样的质量惯性矩$\left(I_0=\frac{md^2}{8}\right)$（$kg \cdot m^2$）；

国家铁路局信息公开 浏览专用

I_t——试样顶端附加物的质量惯性矩（kg·m²）；

d——试样直径（cm）；

m——试样质量（g）。

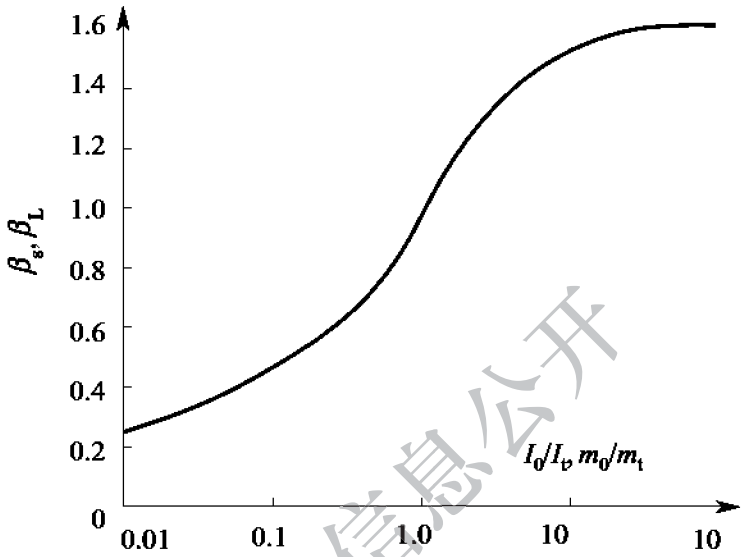


图 23.6.1　β_s 与 I_0/I_t、β_L 与 m_0/m_t 关系曲线

2　有弹簧支承

$$G_d = 4\pi^2 \rho_0 h_c^2 I (f_n^2 - f_0^2)/I_0 \qquad (23.6.1\text{—}2)$$

式中　f_0——无试样时转动各部分扭振的共振频率（Hz）；

f_n——试验时实测的共振频率（Hz）；

其余符号见式（23.6.1—1）。

23.6.2　按下式计算轴向共振时的动弹性模量：

$$E_d = \left(\frac{2\pi f_n h_c}{\beta_L}\right)\rho_0 \qquad (23.6.2)$$

式中　β_L——量频率因数（$\beta_c \tan\beta_L = \frac{m_0}{m_t}$），查 β_L 与 m_0/m_t 曲线（如图 23.6.1 所示）；

m_t——试样顶端附加物的质量（g）；

m_0——试样质量（g）；

其余符号见本规程式（23.6.1—1）。

23.6.3　按下列公式计算土的阻尼比：

国家铁路局信息公开 测试专用

1 无弹簧支承

1）自由振动

$$\lambda=\frac{1}{2\pi}\times\frac{1}{N}\ln\frac{A_1}{A_{N+1}} \qquad (23.6.3\text{—}1)$$

式中 λ——阻尼比；

N——计算所取的振动次数；

A_1——停止激振后第 1 周振动的振幅（mm）；

A_{N+1}——停止激振后第 $N+1$ 周振动的振幅（mm）。

2）稳态强迫振动法

$$\lambda=\frac{1}{2}\cdot\frac{f_2-f_1}{f_n} \qquad (23.6.3\text{—}2)$$

式中 f_1、f_2——分别为振幅与频率关系曲线上 0.707 倍最大振幅值所对应的频率（Hz）（如图 23.4.5 所示）；

f_n——最大振幅值所对应的频率（Hz）。

2 有弹簧支承

1）自由振动

$$\lambda=[\delta(1+S)-\delta_0 S]/2\pi \qquad (23.6.3\text{—}3)$$

$$S=\left(\frac{I_t}{I_0}\right)\left(\frac{f_0\beta_B}{f_n}\right)$$

式中 δ、δ_0——有试样和无试样时仪器转动部分扭振时的对数衰减率；

S——能量比；

其余符号见本规程式（23.6.1—1）。

2）稳态强迫振动法

$$\lambda=\frac{1}{2}\frac{A}{RT} \qquad (23.6.3\text{—}4)$$

$$A=\frac{1}{4\pi^2 I_\theta f_n^2}\left[\frac{k_t C_R}{\theta_R}-2\pi k_d f_n\right] \qquad (23.6.3\text{—}5)$$

国家铁路局信息公开浏览专用

$$T=\frac{I_t}{I_\theta}\left(1-\frac{f_0^2}{f_n^2}\right)^2 \qquad (23.6.3\text{—}6)$$

式中　T——振动体系系数；

f_0、f_n——无试样和有试样时实测的共振频率（Hz）；

R——与 T 有关的数值，查图 23.6.3；

k_t——仪器常数（扭矩与电流标定系数）（$\frac{kg \cdot m^3}{A \cdot s}$）；

C_R——振动系统共振时通过激振器线圈的电流（A）；

k_d——仪器的阻尼系数$\left(\frac{kg \cdot m^2}{s}\right)$；

θ_R——振动系统共振时试样振幅（mm）；

I_θ——试样的转动惯量（$kg \cdot m^2$）；

I_t——试样顶部附加物质量惯性矩（$kg \cdot m^2$）。

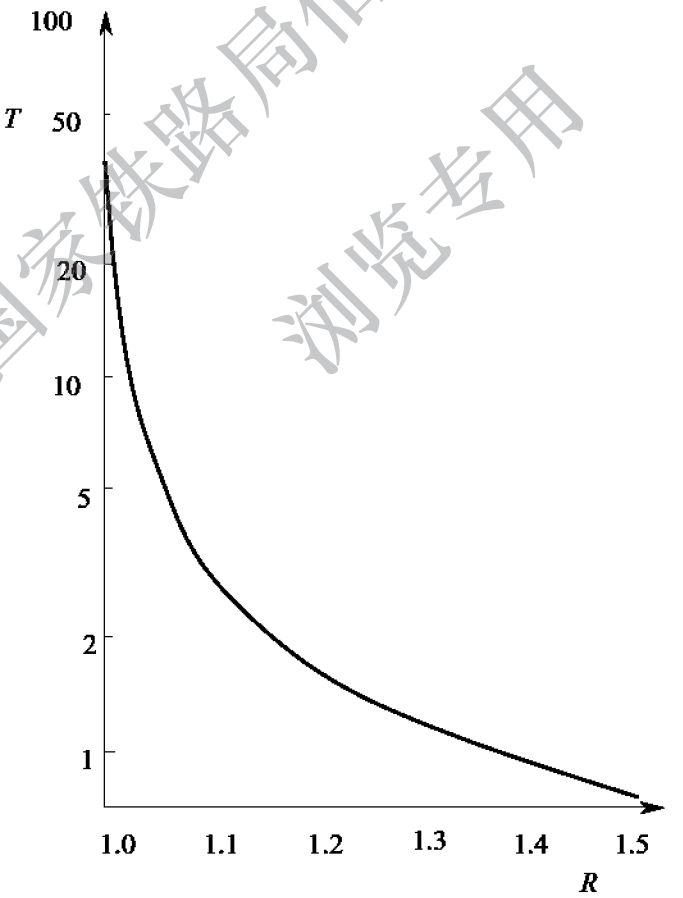


图 23.6.3　共振时测阻尼比的 T-R 曲线

国家铁路局信息公开
浏览专用

23.6.4 试样的应变按下列公式计算：

1 动剪应变

$$\gamma=\frac{Ad_c}{3d_1h_c}\times 100 \qquad (23.6.4\text{—}1)$$

式中 γ——动剪应变（%）；

A——安装加速度计处的动位移［$A=U/(\beta\omega^2)$］（cm）；

U——加速度计经放大后的电压值（mV）；

β——标定系数［mV/（981cm·s^{-2}）］；

ω——共振圆频率（$\omega=2\pi f_n$）（rad/s）；

d_1——加速度计到试样轴线的距离（cm）；

d_c——试样固结后的直径（cm）；

h_c——试样固结后的高度（cm）。

2 动轴向应变

$$\varepsilon_d=\frac{\Delta h_d}{h_c}\times 100 \qquad (23.6.4\text{—}2)$$

式中 Δh_d——动轴向变形，［$=U/(\beta\omega^2)$］（cm）；

其余符号见本规程式（23.6.4—1）。

23.6.5 以动剪切模量为纵坐标，动剪应变为横坐标，在半对数坐标上绘制不同周围压力下动剪切模量与动剪应变关系曲线，如图 23.6.5 所示。

23.6.6 以动剪切模量比为纵坐标，动剪应变为横坐标，在半对数坐标上绘制周围压力下动剪切模量比与动剪应变关系的归一化曲线，如图 23.6.6 所示。

23.6.7 以最大动剪切模量为纵坐标，周围压力为横坐标，在双对数坐标上绘制关系曲线，如图 23.6.7 所示，该直线具有以下形式：

$$G_{dmax}=Kp_a\left(\frac{\sigma_3}{p_a}\right)^n \qquad (23.6.7)$$

式中 K——当 $\sigma_3/p_a=1$ 时的 G_{dmax} 值；

国家铁路局信息公开 浏览专用

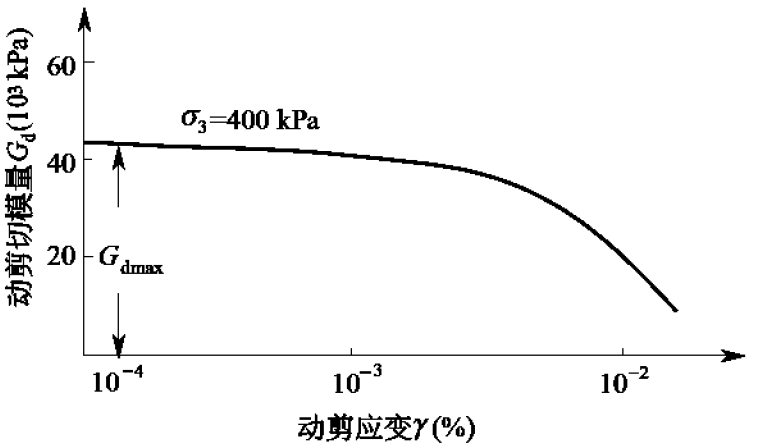


图 23.6.5　动剪切模量与动剪应变关系曲线

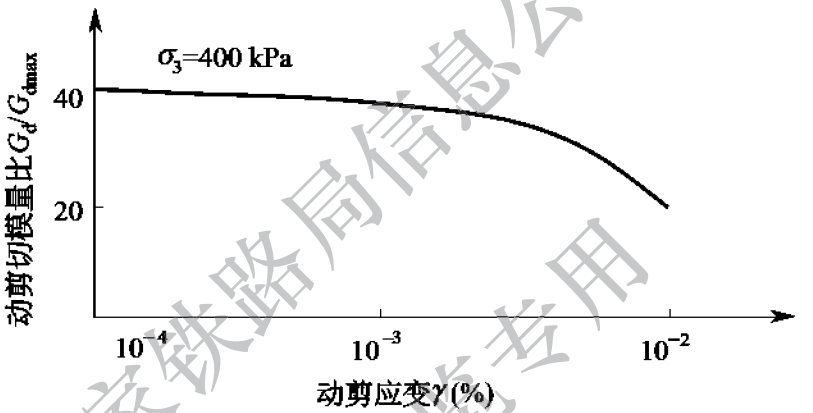


图 23.6.6　动剪切模量比与动剪应变关系曲线

n——直线斜率。

23.6.8　以阻尼比为纵坐标，动剪应变（或轴向动应变）为横坐标，在半对数坐标上绘制关系曲线，如图 23.6.8 所示。

23.6.9　以动弹性模量为纵坐标，轴向动应变为横坐标，在半对数坐标上绘制关系曲线，如图 23.6.9 所示。

23.6.10　记录格式应符合表 23.6.10—1 和表 23.6.10—2 的要求：

国家铁路局信息公开 试读专用

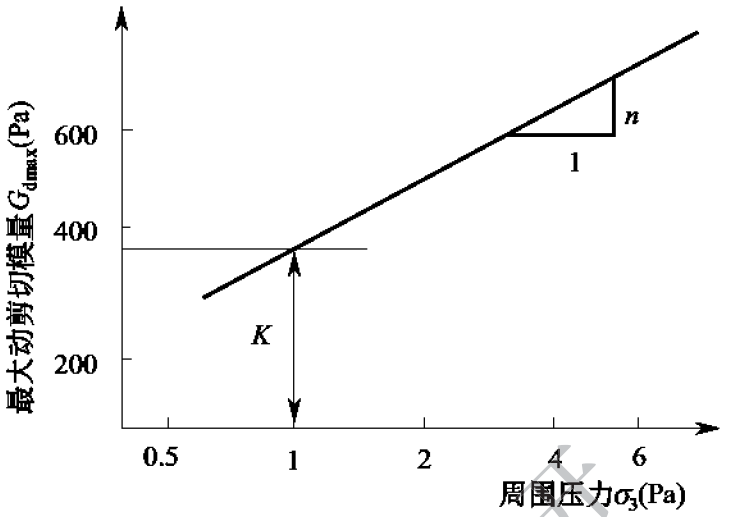


图 23.6.7　最大动剪切模量与周围压力关系曲线

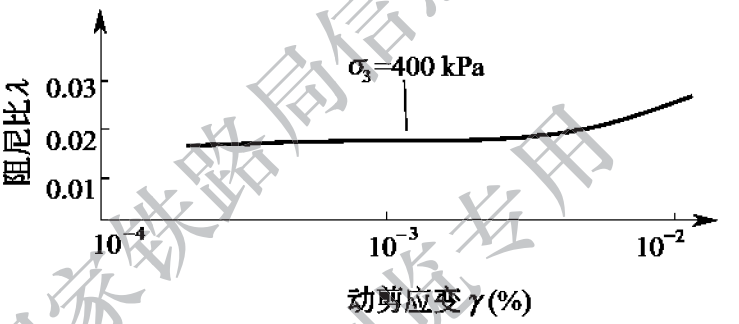


图 23.6.8　阻尼比与动剪应变（或动应变）关系曲线

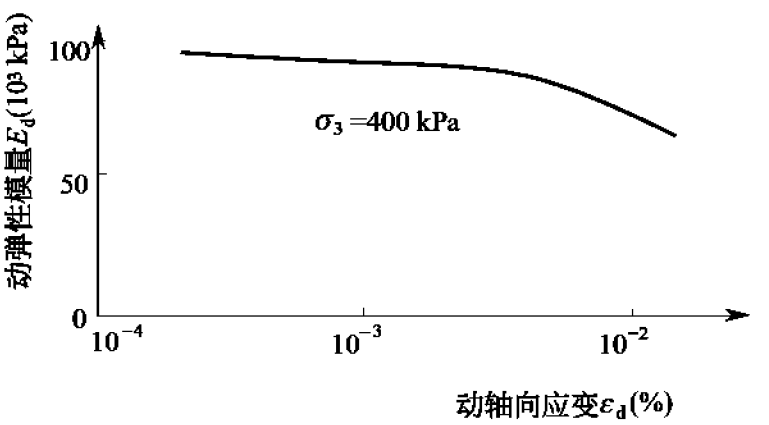


图 23.6.9　动弹性模量和动应变关系

国家铁路局信息公开
训练专用

表 23.6.10—1　共振柱试验记表（稳态强迫振动法）

工程名称：_____　　试验编号：_____

试样物性	固结前	固结后	计算参数	
试样直径(cm)			转动惯量	试验 I_{01}：_____
试样高度(cm)				试样顶端附加物 I_{t1}：_____
试样体积(cm^3)			试样顶端附加物质量 m_t：_____	
试样质量(g)			频率系数	β_s：_____
试样含水率(%)				β_l：_____
试样干密度(g/cm^3)			加速度计标定系数 β_i：_____[mV/(981 cm·s^{-2})]	
			加速度计到试样轴线距离 d_1：_____(cm)	

轴向共振		扭转共振	
测定次数		测定次数	
共振频率(Hz)		共振频率(Hz)	
最大电压值(mV)		最大电压值(mV)	
共振圆频率(rad/s)		共振圆频率(rad/s)	
轴向动变形(cm)		动位移(cm)	
动应变×10^{-4}(%)		动剪应变(%)	
动弹模量(kPa)		动剪切模量(kPa)	
		阻尼比 λ	

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

国家铁路局信息公开 浏览专用

表 23.6.10—2　共振柱试验记表（自由振动法）

工程名称：_____　　试验编号：_____

试样物性	固结前	固结后
试样直径(cm)		
试样高度(cm)		
试样体积(cm^3)		
试样质量(g)		
试样含水率(%)		
试样干密度(g/cm^3)		

周围压力 σ_3 (kPa)	输出电压 U (mV)	转动惯量 I_t ($kg \cdot cm^2$)	标定系数 β [$mV/(cm \cdot s^{-2})$]	自由周期(s)					自振振幅(mm)					动剪切模量 G (kPa)	动剪应变 γ (%)	阻尼比 λ
				T_1	T_2	T_3	T_4	平均	A_1	A_2	A_3	A_4	平均			

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

国家铁路局信息公开
浏览专用

24 击实试验

24.0.1 本试验可用于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，确定试样的最大干密度和最优含水率。

24.0.2 本试验分轻型击实和重型击实。应根据工程要求和试样最大粒径按表24.0.2选用，其中Q1、Q2、Z1、Z2、Z3分别称轻1、轻2、重1、重2、重3。

表24.0.2 击实试验标准技术参数

试验类型	标准技术参数										
	编号	击实仪规格							试验条件			
		击锤			击实筒			护筒				
		质量(kg)	锤底直径(mm)	落距(mm)	内径(mm)	筒高(mm)	容积(cm^3)	高度(mm)	击实功(kJ/m^3)	层数	每层击数	最大粒径(mm)
轻型	Q1	2.5	51	305	102	116	947.4	50	592	3	25	5
	Q2	2.5	51	305	152	116	2 103.9	50	597	3	56	20
重型	Z1	4.5	51	457	102	116	947.4	50	2 659	5	25	5
	Z2	4.5	51	457	152	116	2 103.9	50	2 682	5	56	20
	Z3	4.5	51	457	152	116	2 103.9	50	2 701	3	94	40

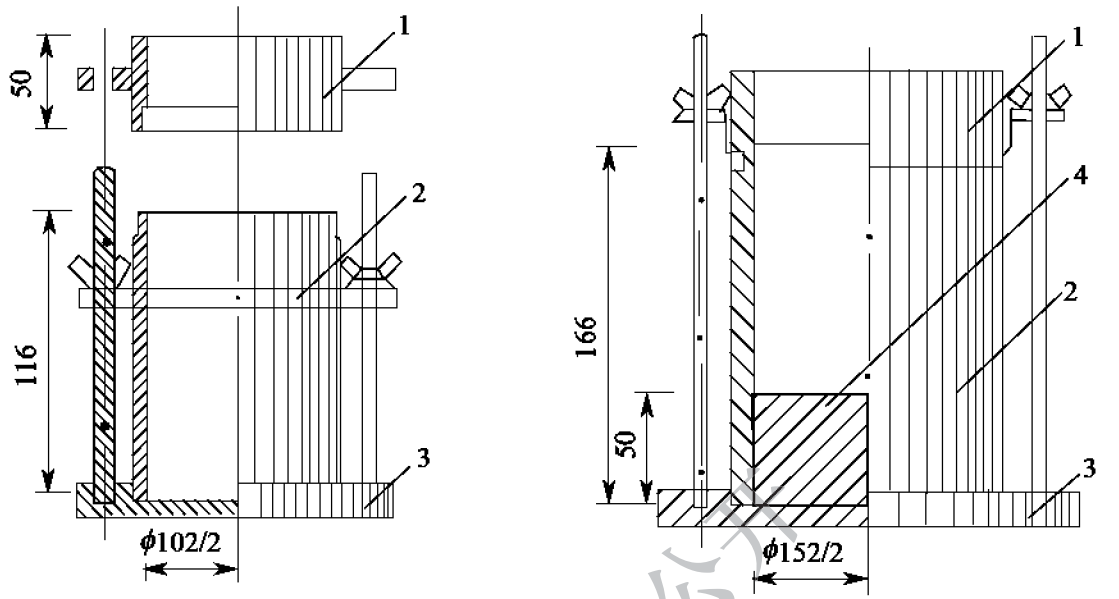
24.0.3 试样中超粒径颗粒质量占总质量的5%～30%时，其最大干密度和最优含水率应进行校正。

24.0.4 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 击实筒：钢制圆柱形筒，尺寸应符合表24.0.2规定。该筒配有钢护筒、底板和垫块，如图24.0.4—1所示。

2 击锤：击锤可采用机械操作或人工操作。机械操作的击

国家铁路局信息公开 浏览专用



(a) 小击实筒　　(b) 大击实筒

图 24.0.4—1　击实筒（单位：mm）

1—护筒；2—击实筒；3—底板；4—垫块

锤应配备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。人工操作的击锤应配备导筒，锤与导筒之间要有相应的间隙，锤能自由下落，并设有排气孔，如图 24.0.4—2 所示。

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　分析筛：孔径为 40 mm、20 mm、5 mm。

7　其他设备：碾土设备、喷水设备、切土刀、称量盒、土铲、烘箱等。

24.0.5　试样制备分干土法和湿土法，制备方法应符合下列规定：

1　干土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。风干或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。试样用量，小击实筒最少 20 kg，大击实筒最少 50 kg。

国家铁路局信息公开 试读本

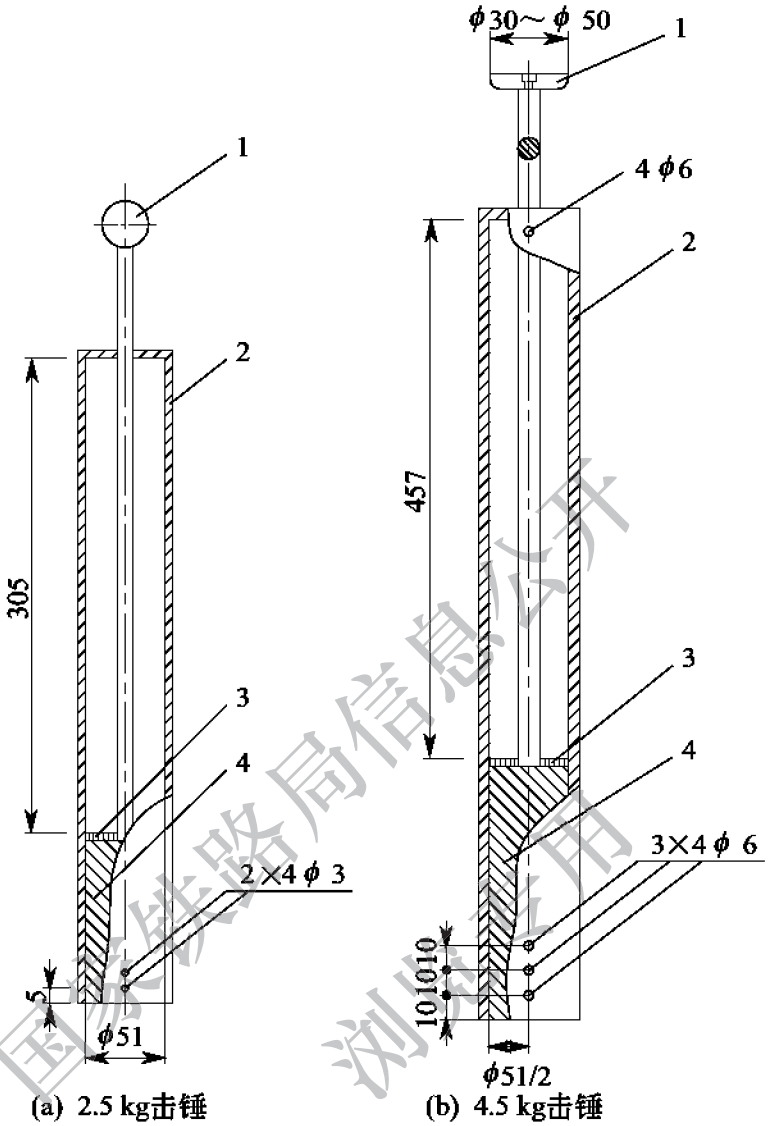


图 24.0.4—2　击锤与导筒（单位：mm）

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%的含水率制备至少 5 个试样，其中 2 个含水率大于塑限、2 个小于塑限、1 个接近塑限。加水量可按下式计算：

$$m'_{\mathrm{w}}=\frac{m_0}{1+w_0}(w'-w_0) \tag{24.0.5}$$

国家铁路局信息公开
测试专用

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不得小于 12 h。

2 湿土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。

24.0.6 试验操作应符合下列规定：

1 称取并记录击实筒质量。

2 将击实仪放在坚实的地面上，安装好击实筒及护筒（大击实筒内还要放入垫块），击实筒内壁涂少许润滑油。每个试样应根据选用的试验类型，按表 24.0.2 的规定分层击实。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。击实时应保持导筒垂直平稳，击锤应以均匀速度作用到整个试样上，在沿击实筒周围锤击一遍后，中间再加一击。层数和每层击数应符合表 24.0.2 的规定。

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，试样底面超出筒外时，也应修平，擦净击实筒的外壁，称击实筒和试样的总质量，准确至 5 g。

4 用推土器将试样从击实筒中推出，在试样中心选取 2 个代表性试样按本规程第 4.2 节烘干法测定含水率。

5 按以上步骤进行不同含水率试样的击实，试样不应重复

国家铁路局信息公开 浏览专用

使用。

24.0.7 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

$$\rho=\frac{m_2-m_1}{V} \tag{24.0.7—1}$$

式中 ρ——击实后试样的湿密度（g/cm³），计算至0.01 g/cm³；

m_2——击实后击实筒和湿试样质量（g）；

m_1——击实筒质量（g）；

V——击实筒容积（cm³）。

2 击实后试样的干密度

$$\rho_d=\frac{\rho}{1+0.01w} \tag{24.0.7—2}$$

式中 ρ_d——击实后试样的干密度（g/cm³），计算至0.01 g/cm³；

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，如图24.0.7所示。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。曲线不能绘出

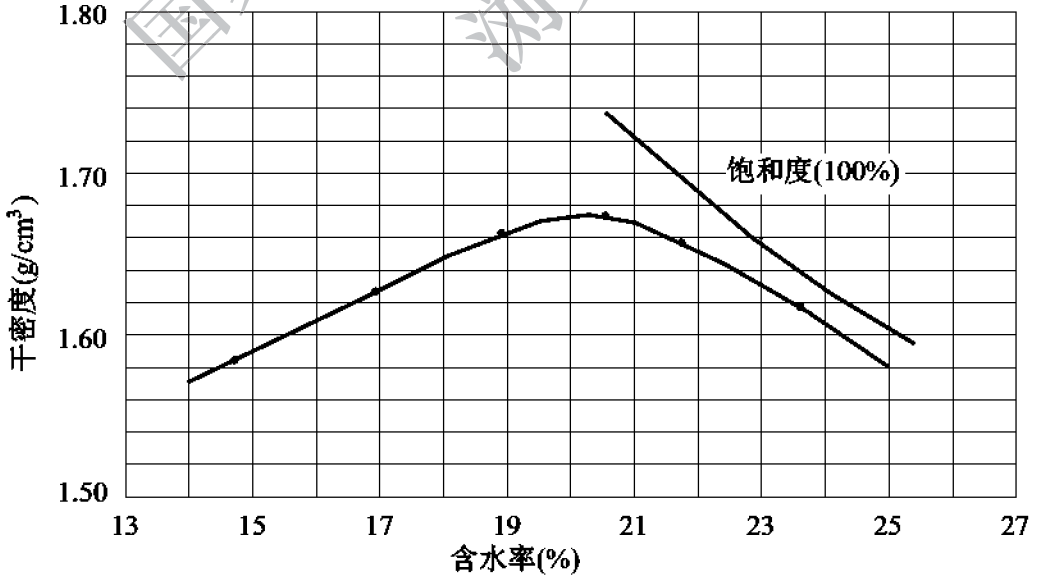


图24.0.7 干密度-含水率关系曲线

国家铁路局信息公开 浏览专用

正确的峰值点时，应进行补点。

4 最大干密度和最优含水率需校正时，应按以下公式进行校正：

1）校正后试样的最大干密度

$$\rho'_{dmax}=\frac{1}{\frac{1-P_s}{\rho_{dmax}}+\frac{P_s}{\rho_a}} \qquad (24.0.7\text{—}3)$$

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

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 的颗粒含量的质量百分数；

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

$$w'_{opt}=w_{opt}(1-P_s)+P_s w_x \qquad (24.0.7\text{—}4)$$

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

$$w_{sat}=\left(\frac{\rho_w}{\rho_d}-\frac{\rho_w}{\rho_s}\right)\times 100 \qquad (24.0.7\text{—}5)$$

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）。

国家铁路局信息公开 浏览专用

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，如图 24.0.7 所示。

7 压实系数

$$K=\frac{\rho_d}{\rho_{dmax}} \qquad (24.0.7\text{—}6)$$

式中 K——压实系数，计算至 0.001；

ρ_d——试样的干密度（g/cm^3）；

ρ_{dmax}——最大干密度（g/cm^3）。

24.0.8 记录格式应符合表 24.0.8 的要求。

表 24.0.8 击实试验记录

试样编号：_____ 取样地点：_____

试验方法：_____ 土的分类：_____

土的密度(g/cm^3)：_____ 风干试样含水率(%)：_____

击实层数：_____ 每层击数：_____

试样制备方法：_____ 估计最优含水率(%)：_____

试验序号			1		2		3		4		5	
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)/(5)]×100										
	含水率平均值(%)	(7)										
干密度	筒和试样总质量(g)	(8)										
	筒质量(g)	(9)										
	湿试样质量(g)	(10)=(8)−(9)										
	筒容积(cm^3)	(11)										
	湿密度(g/cm^3)	(12)=(10)/(11)										
	干密度（g/cm^3）	(13)=(12)/[1+0.01×(7)]										

国家铁路局信息公开浏览专用

续表 24.0.8

最大干密度 ρ_{dmax}（g/cm³）：_____　　最优含水率 w_{opt}（%）：_____ 饱和度 S_r（%）：_____
大于 5 mm、20 mm 或 40 mm 颗粒含量（%）：_____ 校正后最大干密度 ρ'_{dmax}（g/cm³）：_____ 校正后最优含水率 w'_{opt}（%）：_____
干密度 ρ_d-含水率 w 关系曲线：

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

国家铁路局信息公开
浏览专用

25　承载比试验

25.0.1　本试验可用于测定试样在标准尺寸贯入杆贯入试件的贯入量与荷载强度的关系，计算承载比。

25.0.2　本试验适用于对在规定击实筒内制备的试件进行承载比试验。试样的最大粒径应符合本规程表 24.0.2 中重型击实（Z2、Z3）试验条件的规定。

25.0.3　本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

1　击实筒：内径 152 mm，高 166 mm 的金属圆筒（含 50 mm 高的筒内垫块），护筒高 50 mm；筒内垫块直径 151 mm，高 50 mm。击实筒型式和主要尺寸如图 24.0.4—1(b) 所示。

2　击锤和导筒：锤底直径 51 mm，锤质量 4.5 kg，落距 457 mm，如图 24.0.4—2(b) 所示，且符合本规程第 24.0.4 条第 2 款的规定。

3　分析筛：孔径为 40 mm、20 mm、5 mm。

4　膨胀量测定装置：由三脚架和位移计组成，如图 25.0.3—1 所示。

5　带调节杆的多孔板，板上孔径宜小于 2 mm，如图 25.0.3—2 所示。

6　贯入仪：由加压和测力设备、贯入杆及位移计组成，如图 25.0.3—3 所示。

1）加压和测力设备：测力计量程不小于 50 kN，最小贯入速度应能调节至 1 mm/min。

2）贯入杆：杆的端面直径 50 mm，长约 100 mm，杆上应配有安装位移计的夹孔。

3）位移计 2 只；最小分度值为 0.01 mm 的百分表或准

国家铁路局信息公开 浏览专用

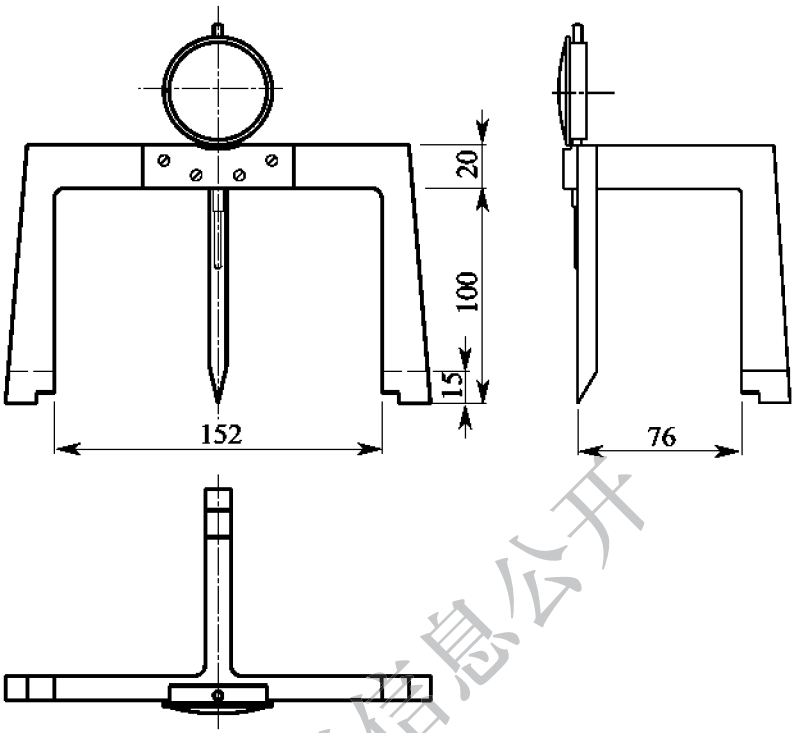


图 25.0.3—1　膨胀量测定装置（单位：mm）

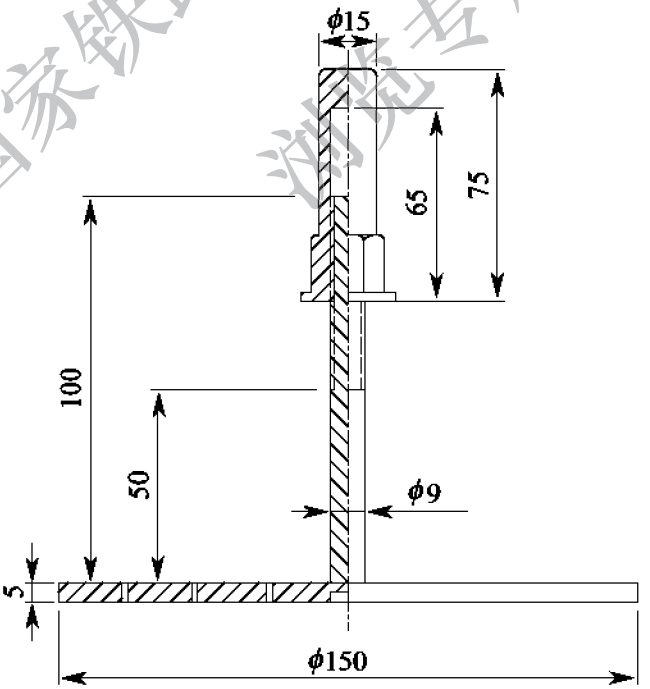


图 25.0.3—2　带调节杆的多孔板（单位：mm）

国家铁路局信息公开
浏览专用

确度为 0.2%F.S 的位移传感器。

7 荷载块：直径 150 mm，中心孔直径 52 mm，并沿直径分为两个半圆块，如图 25.0.3—4 所示，每块质量 1.25 kg，共 4 块。

8 水槽：浸泡试样用，槽内水面应高出试件顶面 25 mm。

9 其他：台秤、脱模器、滤纸等。

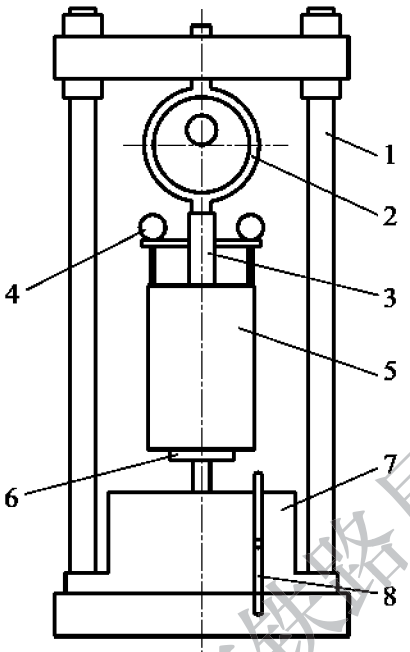


图 25.0.3—3 贯入仪

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

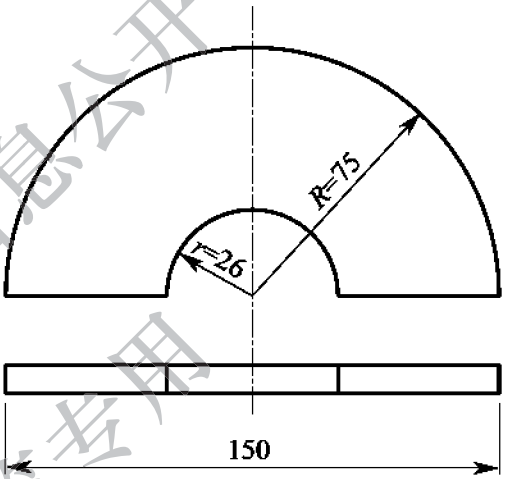


图 25.0.3—4 荷载块（单位：mm）

25.0.4 试样制备应符合下列规定：

1 取代表性试样测定风干含水率，按本规程第 24.0.5 条规定的步骤进行备样。试样需过 20 mm 或 40 mm 筛，筛除大于 20 mm 或 40 mm 的颗粒，并记录超径颗粒的百分比，按需要制备数份试样，每份试样质量约 6 kg。

2 试样制备应按本规程第 24.0.6 条规定的步骤进行重型击实试验，测定试样的最大干密度和最优含水率。再按最优含水率制备 3 个试样，进行重型击实试验（击实筒内放垫块）；需要制

国家铁路局信息公开 浏览专用

备 3 种干密度试样时，应制备 9 个试样，试样的干密度可控制在最大干密度的 95%～100%。击实完成后试样超高应小于 6 mm。

3 卸下护筒，用修土刀或直刮刀沿击实筒顶修平试样，表面不平整处，应小心用细料填补，取出垫块，称击实筒和试样总质量。

25.0.5 浸水膨胀应符合下列规定：

1 将一层滤纸铺于试样表面，放上多孔底板，并用拉杆将击实筒与多孔底板固定。倒转击实筒，在试样另一表面铺一层滤纸，并放上带调节杆的多孔顶板，再放上 4 块荷载块。

2 将整个装置放入水槽内（先不放水），安装好膨胀率测定装置，并读取位移计初始读数。向水槽内注水，使水自由进入试样的底部和顶部，注水后水槽内水面应保持高出试样顶面 25 mm，如图 25.0.5 所示。浸泡四昼夜。

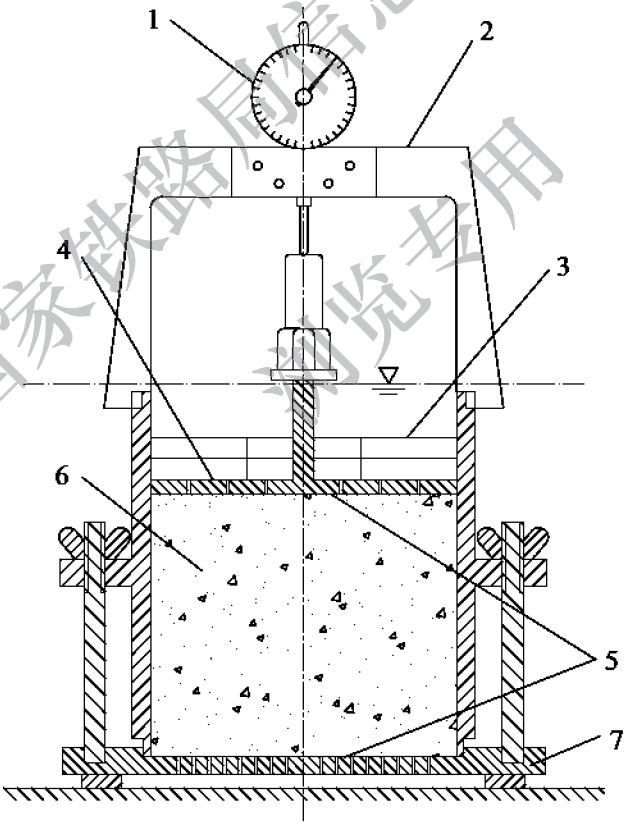


图 25.0.5 浸水膨胀装置

1—位移计；2—膨胀率测定装置；3—荷载块；4—多孔顶板；5—滤纸；6—试样；7—多孔底板

国家铁路局信息公开 浏览专用

3 量测浸水后试样的高度变化，并按式（25.0.5—1）计算膨胀率：

$$V_{HP}=\frac{\Delta h_w}{h_0}\times 100 \qquad (25.0.5\text{—}1)$$

式中 V_{HP}——浸水后试样的膨胀率（%），计算至0.1%；

Δh_w——试样浸水后的高度变化（mm）；

h_0——浸水前试样高度（h_0=116 mm）。

4 卸下膨胀率测定装置，从水槽中取出击实筒，吸去试样顶面的水，静置15 min后卸下荷载块、多孔顶板和多孔底板，取下滤纸，称试样及击实筒的总质量，计算试样的吸水量及密度变化。

5 试样的湿密度应按下式计算：

$$\rho=\frac{m_2-m_1}{V} \qquad (25.0.5\text{—}2)$$

式中 ρ——试样的湿密度（g/cm³），计算至0.01 g/cm³；

m_2——击实筒和试件的质量（g）；

m_1——击实筒的质量（g）；

V——击实筒的容积（cm³）。

6 试样的干密度应按下式计算：

$$\rho_d=\frac{\rho}{1+0.01w} \qquad (25.0.5\text{—}3)$$

式中 ρ_d——试样的干密度（g/cm³），计算至0.01g/cm³；

w——试样的含水率（%）。

7 浸水后试样的吸水量应按下式计算：

$$w_a=m_3-m_2 \qquad (25.0.5\text{—}4)$$

式中 w_a——浸水后试样的吸水量（g）；

m_3——浸水后击实筒和试件的质量（g）；

国家铁路局信息公开 浏览专用

m_2——击实筒和试件的质量（g）。

25.0.6 贯入试验应符合下列规定：

1 将浸水后的试样放在贯入仪的升降台上，调整升降台的高度，使贯入杆与试样顶面刚好接触，试样顶面放上 4 块荷载块，在贯入杆上施加 45 N 的荷载，将测力计和变形量测设备的位移计调至零位。

2 启动电动机或摇动贯入仪摇把，施加轴向压力，使贯入杆以 1～1.25 mm/min 的速度压入试样，记录测力计读数和对应的贯入量，贯入量达到 2.5 mm 时的读数不应少于 5 组；试验至贯入量为 10～12.5 mm 时终止。试验加载过程中，位移计读数随荷载增大而减小时，应重新进行试验。

3 本试验应进行 3 个试样的平行试验。变异系数不大于 12%，且试样间的干密度之差不大于 0.03 g/cm³ 时，试验结果取 3 个结果的平均值。3 个试样试验结果的变异系数大于 12%，或试样间的干密度之差大于 0.03 g/cm³ 时，去掉一个偏离大的值，试验结果取其余 2 个结果的平均值。

4 以荷载强度为横坐标，贯入量为纵坐标，绘制荷载强度与贯入量关系曲线，如图 25.0.6 所示。曲线的开始段呈凹形时，应对曲线进行修正，如图 25.0.6 中所示的曲线 2，通过变曲率点引一切线与纵坐标相交于 O' 点，O' 点即为修正后的原点。

25.0.7 承载比应按下式计算：

1 贯入量为 2.5 mm 时

$$CBR_{2.5}=\frac{p}{7\ 000}\times 100 \qquad (25.0.7\text{—}1)$$

式中 $CBR_{2.5}$——贯入量 2.5 mm 时的承载比（%），计算至 0.1%；

p——贯入量 2.5 mm 时的荷载强度（kPa）；

7 000——贯入量 2.5 mm 时所对应的标准荷载强度

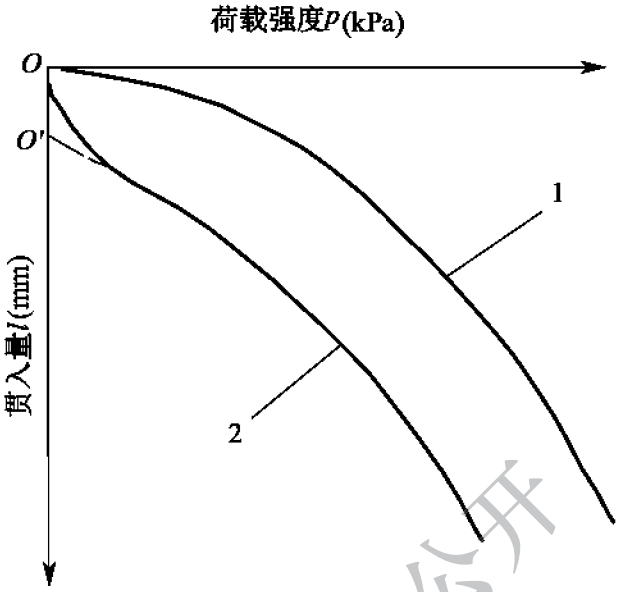


图 25.0.6　荷载强度与贯入量关系曲线

（kPa）。

2　贯入量为 5.0 mm 时

$$CBR_{5.0}=\frac{p}{10\ 500}\times 100 \qquad (25.0.7\text{—}2)$$

式中　$CBR_{5.0}$——贯入量 5.0 mm 时的承载比（%），计算至 0.1%；

p——贯入量 5.0 mm 时的荷载强度（kPa）；

10 500——贯入量 5.0 mm 时所对应的标准荷载强度（kPa）。

25.0.8　宜采用贯入量 2.5 mm 时的承载比。贯入量为 5.0 mm 时的承载比大于贯入量 2.5 mm 时的承载比时，应重新进行试验。如试验结果仍然相同，则采用贯入量为 5.0 mm 时的承载比。

25.0.9　承载比试验记录格式应符合表 25.0.9—1、表 25.0.9—2 的要求。

国家铁路局信息公开
浏览专用

表 25.0.9—1　承载比试验记录（一）

试样编号：_____　　取样地点：_____

试验条件	测力环率定系数 C(kN/mm)	贯入杆面积 A (mm²)	击实层数	每层击数	最大干密度 ρ_{dmax}(g/cm³)	最优含水率 w_{opt}(%)

试验序号			1		2		3	
含水率	盒加湿土质量(g)	(1)						
	盒加干土质量(g)	(2)						
	盒质量 (g)	(3)						
	含水率(%)	$(4)=\frac{(1)-(2)}{(2)-(3)}\times 100$						
	含水率平均值 (%)	(5)						
密度	筒加试样质量 (g)	(6)						
	筒质量 (g)	(7)						
	湿密度 (g/cm³)	(8)						
	干密度 (g/cm³)	$(9)=\frac{(8)}{1+0.01\times(5)}$						
	干密度平均值(g/cm³)	(10)						
膨胀率	浸水前试样高度(mm)	(11)						
	浸水后试样高度(mm)	(12)						
	膨胀率(%)	$(13)=\frac{(12)-(11)}{(11)}\times 100$						
	膨胀率平均值(%)	(14)						
吸水	浸水后筒加试样质量(g)	(15)						
	吸水量(g)	(16)=(15)−(6)						
	吸水量平均值 (g)	(17)						

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

国家铁路局信息公开浏览专用

表 25.0.9—2　承载比试验记录（二）

试样编号：_____　　取样地点：_____

试验序号：_____					试验序号：_____					试验序号：_____				
贯入量(mm)			测力计读数(N)	荷载强度(kPa)	贯入量(mm)			测力计读数(N)	荷载强度(kPa)	贯入量(mm)			测力计读数(N)	荷载强度(kPa)
左	右	平均			左	右	平均			左	右	平均		
$CBR_{2.5}$＝_____(%)					$CBR_{2.5}$＝_____(%)					$CBR_{2.5}$＝_____(%)				
$CBR_{5.0}$＝_____(%)					$CBR_{5.0}$＝_____(%)					$CBR_{5.0}$＝_____(%)				
CBR＝_____(%)					CBR＝_____(%)					CBR＝_____(%)				
平均 CBR＝_____(%)														
荷载强度 p-贯入量 l 关系曲线：														

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

国家铁路局信息公开浏览专用

26　回弹模量试验

26.1　一 般 规 定

26.1.1　本试验可用于测定土的回弹变形量，确定土的回弹模量值。

26.1.2　本试验方法适用于不同含水率和不同密度的细粒土。

26.1.3　本试验可采用强度仪法和杠杆压力仪法。杠杆压力仪法适用于含水率较大、硬度较小的试样。

26.2　强 度 仪 法

26.2.1　本试验所用的仪器设备应符合下列规定：

1　强度仪：由加压和测力设备、贯入杆及千分表（2 只）组成。如图 25.0.3—3 所示。

2　击实筒：内径 152 mm，高 166 mm 的金属圆筒（含 50 mm 高的筒内垫块），护筒高 50 mm；筒内垫块直径 151 mm，高50 mm。击实筒型式和主要尺寸如图 24.0.4—1（b）所示。与夯击底板立柱连接的缺口板上应有两个内径 5 mm、深 5 mm 的螺丝孔，用来安装千分表支架，如图 26.2.1—1 所示。

3　承载块：直径 50 mm，高 80 mm，如图 26.2.1—2 所示。

4　千分表支杆及表夹：千分表支杆长 200 mm，直径 10 mm，一端带有长 5 mm 的螺丝杆与击实筒上螺丝孔连接。

5　秒表：最小分度值 0.1 s。

26.2.2　试验操作应符合下列规定：

1　试件制备：根据工程要求选择轻型或重型击实法击实，按本规程第 24.0.5 条的规定制备试样，按本规程第 24.0.6 条的

国家铁路局信息公开 浏览专用

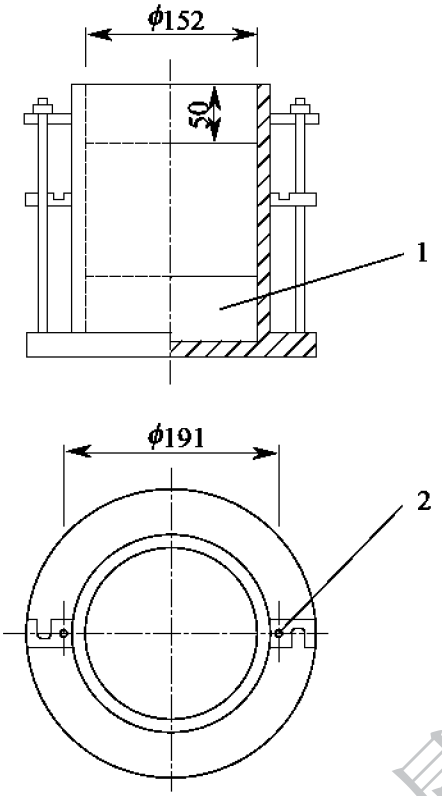


图 26.2.1—1　击实筒

1—垫块；2—ϕ5 螺丝孔

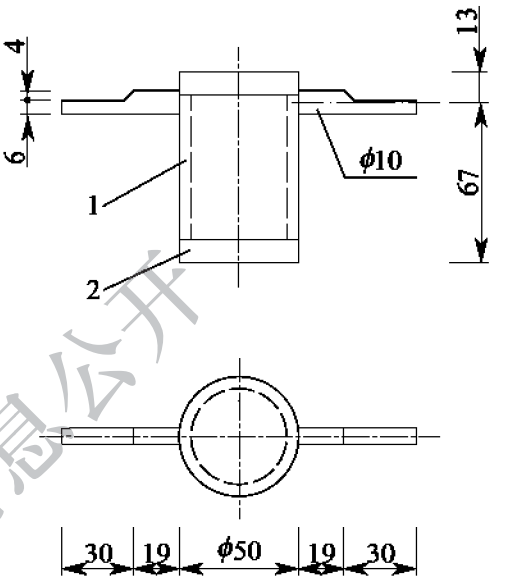


图 26.2.1—2　承载块（单位：mm）

1—厚 5 mm 钢板；2—厚 10 mm 钢板

规定进行击实试验，得出最优含水率和最大干密度，然后按最优含水率备样，用相应的击实方法击实制备试件。

2　安装试件：将装有试件的击实筒放在强度仪的升降台上，千分表支杆拧在击实筒两侧，承载块放在试件表面中心位置，并与强度仪的贯入杆对正；将千分表和表夹安装在支杆上，千分表测头安放在承载块两侧的支架上。

3　预压荷载：摇动摇把或启动电动机，用预定的最大荷载进行预压。含水率大于塑限的试样，最大荷载为 50～100 kPa；含水率小于塑限的试样，最大荷载为 100～200 kPa。预压进行 1～2 次，每次预压 1 min。预压后调整承载块位置，并将千分表调到零位。

4　测定回弹变形：将预定最大荷载分为 4～6 级进行加载，

国家铁路局信息公开
测试专用

每级荷载的保持时间为 1 min，记录千分表读数并卸载，卸载 1 min 后，记录千分表读数，并施加下一级荷载。如此逐级进行加载和卸载，记录千分表读数，直至最后一级荷载。第一级荷载可分成两小级进行加载和卸载，试验中的最大荷载可略大于预定的最大荷载。试样较硬，预定荷载偏小时，可不受预定荷载的限制，应增加加载级数至需要的荷载。

5 回弹模量由 3 次平行测定的平均值确定。每次回弹模量的试验结果与均值之差大于 5%时，应重新进行试验。

26.2.3 试验结果制图及计算应符合下列要求：

1 以荷载强度 p 为横坐标，回弹变形 l 为纵坐标，绘制 p-l 曲线，如图 26.2.3 所示。

每级荷载下的回弹变形 l ＝加载时千分表读数－卸载时千分表读数

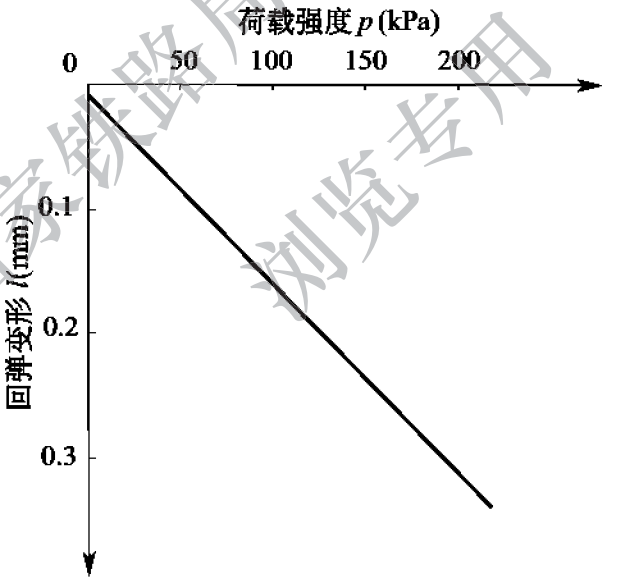


图 26.2.3 荷载强度 p-回弹变形 l 关系曲线

2 计算试样的回弹模量：取 p-l 曲线的直线段，按式(26.2.3)计算试样的回弹模量。对较软的土，如果 p-l 曲线不通过原点，可用初始直线段与纵坐标的交点作为原点，修正各级荷载下的回弹变形。

国家铁路局信息公开浏览专用

$$E_e=\frac{\pi pD}{4l}(1-\mu^2) \qquad (26.2.3)$$

式中 E_e——回弹模量（kPa）；

p——承载块上的荷载强度（kPa）；

D——承载块直径（mm）；

l——相应于该级荷载的回弹变形（mm）；

μ——细粒土的泊松比，一般取 0.35。

26.2.4 试验记录表格式应符合表 26.2.4 的要求。

表 26.2.4 回弹模量试验记录

试样编号：_____ 取样地点：_____

试验条件		测力环率定系数 C(kN/mm)		承载块面积 A(mm²)		土样类别		泊松比 μ	最大干密度 ρ_{dmax}(g/cm³)		最优含水量 w_{opt}(%)
加载级次	荷载强度(kPa)	砝码重量或测力计读数(N)	千分表读数(mm)						回弹变形(mm)		回弹模量(kPa)
			加载			卸载					
			左	右	平均	左	右	平均	读数值	修正值	
荷载强度 p-回弹变形 l 曲线：											
回弹模量确定值 E_e=_____ kPa											

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

国家铁路局信息公开 浏览专用

26.3 杠杆压力仪法

26.3.1 本试验所用的主要仪器设备应符合下列规定：

1 杠杆压力仪：最大压力 1 500 N，如图 26.3.1 所示。

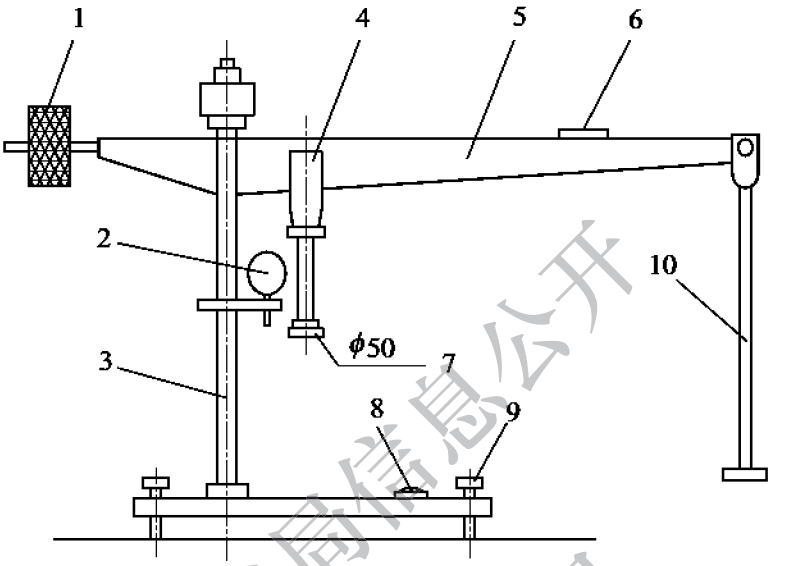


图 26.3.1 杠杆压力仪

1—调平砝码；2—千分表；3—立柱；4—加载杆；
5—水平杠杆；6—水准泡；7—加载球座；8—底座水准泡；
9—调平脚螺丝；10—加载架

国家铁路局信息公开
浏览专用

2 击实筒：内径 152 mm，高 166 mm 的金属圆筒（含 50 mm 高的筒内垫块），护筒高 50 mm；筒内垫块直径 151 mm，高 50 mm。击实筒型式和主要尺寸如图 24.0.4—1(b) 所示。

3 承载块：应符合第 26.2.1 条第 3 款的规定。

4 千分表 2 只，量程 2 mm。

5 秒表：最小分度值 0.1 s。

26.3.2 试验操作应符合下列规定：

1 制备试件：按第 26.2.2 条第 1 款的规定制备试样。

2 安装试件：将装有试件的击实筒放在杠杆压力仪的底盘

上，承载块放在试件中心位置，并与杠杆压力仪的加压球座对正；将千分表固定在立柱上，并将千分表的测头安放在承载块的支架上。

3 预压荷载：在杠杆压力仪的加载架上施加砝码，用预定的最大荷载进行预压。预压方法按第 26.2.2 条第 3 款的步骤进行。

4 测定回弹变形：将预定最大荷载分为 4～6 级进行加载，每级荷载的保持时间为 1 min，记录千分表读数并卸载，卸载 1 min 后，记录千分表读数，并施加下一级荷载。如此逐级进行加载和卸载，记录千分表读数，直至最后一级荷载。第一级荷载可分成两小级进行加载和卸载，试验中的最大荷载可略大于预定的最大荷载。

5 回弹模量由 3 次平行测定的平均值确定；每次回弹模量的试验结果与均值之差大于 5%时，应重新进行试验。

26.3.3 试验结果制图及计算应按第 26.2.3 条的规定进行。

26.3.4 试验记录表格式应符合表 26.2.4 的要求。

国家铁路局信息公开
浏览专用

27　粗粒土最大干密度试验

27.0.1　本试验可用于测定粗粒土的最大干密度，计算粗粒土的压实系数。

27.0.2　本试验适用于最大颗粒粒径小于 75 mm、通过 0.075 mm 筛的颗粒质量不大于 15%的无黏性自由排水的粗粒土，最大颗粒粒径不小于 75 mm 的巨粒土宜按第 27.0.5、27.0.6 条的规定进行校正。

27.0.3　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　振动器：包括振动电机和钢制夯，如图 27.0.3 所示。电机功率 0.75～2.2 kW，振动频率 30～50 Hz，激振力 10～80 kN。钢制夯应固定于振动电机上，并配有一厚 15～40 mm 的夯板。夯板直径应小于试筒内径 2～5 mm。钢制夯与振动电机总重在试样表面产生 18 kPa 以上的静压力。

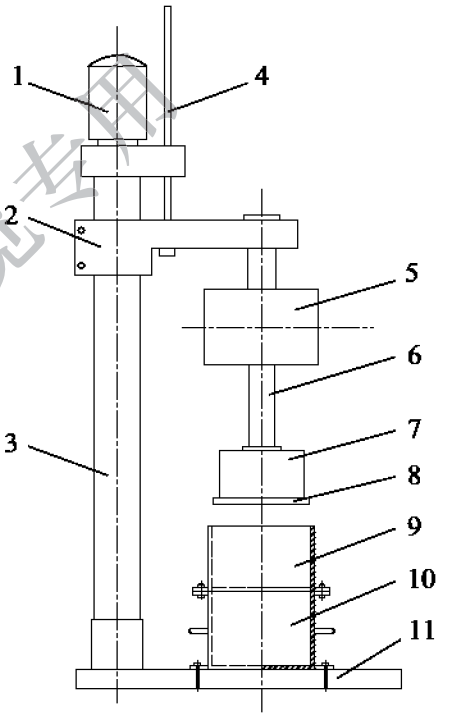


图 27.0.3　表面振动压实试验装置

1—电机；2—横架；3—立柱；4—螺杆；5—振动电机；6—连接杆；7—钢制夯；8—夯板；9—套筒；10—试筒；11—底板

2　试筒：如表 27.0.3 所示。试筒的底板应固定于混凝土基础上或质量大于 450 kg 的混凝土垫块上。试筒容积宜用灌水法每年标定一次。

3　套筒：内径应与试筒配套，高度为 170～250 mm，与试筒固定后内壁须成直线连接。

国家铁路局信息公开 浏览专用

表 27.0.3　试样质量、最大粒径及试筒尺寸

试样最大粒径(mm)	试样质量(kg)	试筒尺寸		装料工具
		容积(cm^3)	内径(mm)	
＜75	35～40	14 200	280	小铲或大勺
60	35～40	14 200	280	小铲或大勺
40	35～40	14 200	280	小铲或大勺
20	7～10	2 830	152	小铲或大勺
10	7～10	2 830	152	ϕ25 mm 漏斗
5	7～10	2 830	152	ϕ3 mm 漏斗

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

5　分析筛：孔径为 75 mm、60 mm、40 mm、20 mm、10 mm、5 mm、2 mm、0.075 mm。

6　直钢条：尺寸宜为 350 mm×25 mm ×3 mm（长×宽×厚）。

7　深度仪或钢尺：量测精度要求至 0.5 mm。

8　大铁盘：尺寸宜为 600 mm×500 mm×80 mm（长×宽×高）。

9　其他：烘箱、小铲、大勺及漏斗、橡皮锤、秒表、试筒布套等。

27.0.4　本试验应采用干土法，试验操作应符合下列规定：

1　充分拌匀烘干试样，分成三份，测定并记录空试筒质量。

2　用小铲或漏斗将一份试样徐徐装填入试筒，装填量宜使密实后的试样顶面等于或略低于筒高的 1/3，并注意使颗粒分离程度最小，抹平试样表面。可用橡皮锤或类似物敲击几次试筒壁，使试样下沉。

3　将试筒固定于底板上，装上套筒，并与试筒紧密固定。

4　放下振动器，振动 6 min 后，吊起振动器。

5　按本条第 2～4 款进行第二层、第三层试样振动压实。

6　卸去套筒。将直钢条放于试筒直径位置上，测定振毕试样

国家铁路局信息公开 浏览专用

高度。试样高度宜从四个均布于试样表面至少距筒壁 15 mm 的位置上测得，精确至 0.5 mm，记录并计算试样高度的平均值。

7 卸下试筒，测定并记录试筒与试样质量，计算最大干密度 ρ_{dmax}。

27.0.5 对于粒径不小于 75 mm 的巨粒土，应按相似级配法制备缩小粒径的系列模型试样。相似级配法粒径及级配按下式及图 27.0.5 计算。

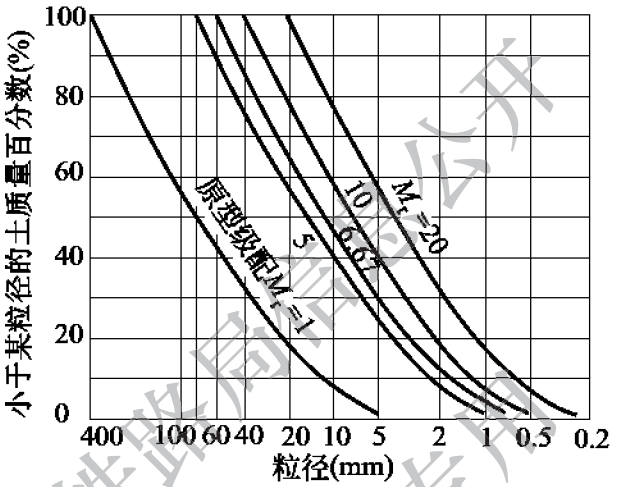


图 27.0.5 原型试样与模型试样级配关系

相似级配模型试样粒径：

$$d=\frac{D}{M_r} \tag{27.0.5—1}$$

式中 D——原型试样级配某粒径（mm）；

d——原型试样级配某粒径缩小后的粒径，即模型试样相应粒径（mm）；

M_r——粒径缩小倍数，通常称为相似级配模比。

$$M_r=\frac{D_{max}}{d_{max}} \tag{27.0.5—2}$$

式中 D_{max}——原型试样级配最大粒径（mm）；

d_{max}——试样允许或设定的最大粒径，即 75 mm、60 mm、40 mm、20 mm、10 mm 等。

国家铁路局信息公开 浏览专用

相似级配模型试样级配组成与原型级配组成相同，即

$$P_{M_r}=P_P \tag{27.0.5—3}$$

式中 P_{M_r}——原型试样粒径缩小 M_r 倍后（即为模型试样）相应的小于某粒径 d 含量百分数（%）；

P_P——原型试样级配小于某粒径 D 的含量百分数（%）。

27.0.6 试验结果整理应符合下列规定：

1 最大干密度应按下式计算

$$\rho_{dmax}=\frac{m_d}{V} \tag{27.0.6—1}$$

式中 ρ_{dmax}——最大干密度（g/cm³），计算至 0.01 g/cm³；

m_d——干试样质量（g）；

V——振毕密实试样体积（cm³），按式(27.0.6—2）计算。

$$V=V_c-A_cH_0 \tag{27.0.6—2}$$

V_c——标定的试筒容积（cm³）；

A_c——标定的试筒横断面面积（cm²）；

H_0——振毕密实试样表面至试筒顶面距离（cm）。

2 最大粒径不小于 75 mm 的巨粒土，原型试样最大干密度应按以下方法计算：

1）作图法

延长图 27.0.6 中最大干密度 ρ_{dmax} 与相似级配模比 M_r 关系直线至 $M_r=1$ 处，即读得原型试样的 ρ_{Dmax} 值。

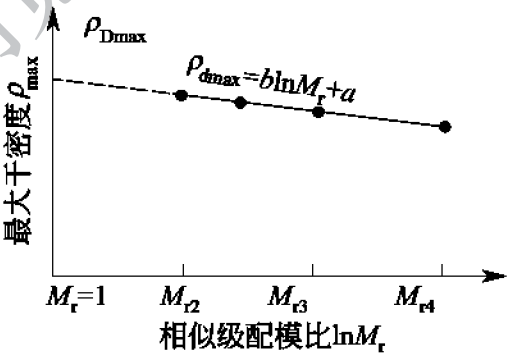


图 27.0.6 最大干密度 ρ_{dmax} 与相似级配模比 M_r 关系

2）计算法

对几组系列试验结果用曲线拟合法整理出下式：

$$\rho_{dmax}=a+b\ln M_r \tag{27.0.6—3}$$

式中 a、b——试验常数；

国家铁路局信息公开 浏览专用

ρ_{dmax}——粒径缩小 M_r 倍后模型试样的最大干密度。

$M_r=1$ 时，$\rho_{dmax}=\rho_{Dmax}$，$a=\rho_{Dmax}$，即

$$\rho_{dmax}=\rho_{Dmax}+\ln M_r \qquad (27.0.6\text{—}4)$$

式中 ρ_{Dmax}——原型试样的最大干密度。

3 最大干密度由 2 次平行试验的平均值确定。试样的最大粒径小于 75 mm、2 次试验结果之差大于平均值的 4%，或试样的最大粒径小于 5 mm、2 次试验结果之差大于平均值的 3%时，应重新进行试验。

4 压实系数应按下式计算：

$$K=\frac{\rho_d}{\rho_{dmax}} \qquad (27.0.6\text{—}5)$$

式中 K——压实系数，计算至 0.001；

ρ_d——试样的干密度（g/cm^3）；

ρ_{dmax}——最大干密度（g/cm^3）。

27.0.7 试验记录格式应符合表 27.0.7 的要求。

表 27.0.7 最大干密度试验记录

试样编号：_____ 取样地点：_____

试样最大粒径：_____ 相似级配模比：_____ 试验方法(干或湿土法)：_____ 振动频率：_____ 激振力：_____ 振动历时(三层)：_____			
试验次数		1	2
试样和试筒总质量(g)	(1)		
试筒质量(g)	(2)		
干试样质量(g)	(3)		
试筒容积(cm^3)	(4)		
试筒横断面面积(cm^2)	(5)		
振毕密实试样表面至试筒顶面距离(cm)	(6)		

国家铁路局信息公开 浏览专用

续表 27.0.7

试验次数		1	2
试样体积(cm^3)	(7)＝(4)－(5)×(6)		
试样干密度(g/cm^3)	(8)＝(3)/(7)		
最大干密度(试样干密度平均值)(g/cm^3)	(9)		
两次试验值之差(以平均值百分比数表示)(%)	(10)		
附注：			

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

国家铁路局信息公开
浏览专用

28　粗粒土直接剪切试验

28.0.1　本试验可用于测定粗粒土的黏聚力和内摩擦角。

28.0.2　本试验方法适用于最大粒径为 75 mm 的粗粒土。剪切方式应按工程需要选用快剪、固结快剪或慢剪。

28.0.3　本试验采用应力控制式直接剪切仪，由剪切盒、传压板、滚轴排、垂直加压框架和水平加荷支座等组成（如图 28.0.3 所示），并应符合下列规定：

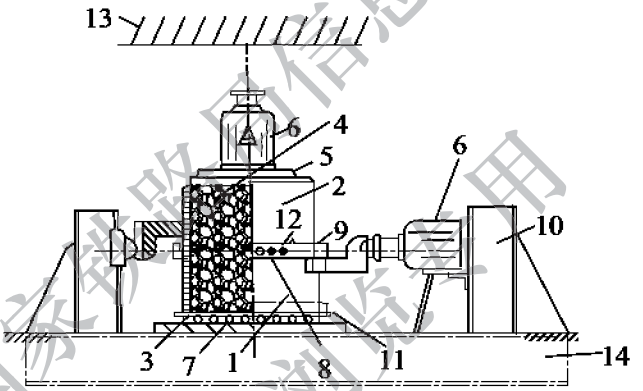


图 28.0.3　粗粒土大型直剪仪示意图

1—下剪切盒；2—上剪切盒；3—透水板；4—试样；5—传压板；6—千斤顶；7—滚轴排；8—开缝装置；9—水槽；10—水平加荷支座；11—进水孔；12—固定销；13—上反力横梁；14—下反力横梁

1　剪切盒：由上、下剪切盒及开缝装置组成。剪切盒为圆柱形或方柱形，直径或边长与高度之比不应小于 1，直径或边长与试样中最大粒粒径之比不应小于 5，直径或边长不宜小于 30 cm。

2　加荷设备：配有压力表的千斤顶，需要时可配置稳压系统。

3　位移量测设备：百分表和磁性表座，百分表量程 0～

国家铁路局信息公开浏览专用

5 mm、0～10 mm，最小分度值 0.01 mm。

4 钢直尺：量程 0～50 cm，最小分度值 1 mm。

28.0.4 试样制备应符合下列规定：

1 每组试验的试样应为 4 个。

2 根据仪器要求的试样最大颗粒粒径和试样体积、控制干密度、控制含水率，按本规程第 3.3 节的要求制备试样。

3 在下剪切盒上安放开缝装置，将上剪切盒放上，用固定销定位。剪切缝缝宽为试样中最大颗粒粒径的 1/3～1/4。

4 在剪切盒底部，快剪应放上不透水板，固结快剪和慢剪应放上有滤网的透水板。将制备好的土样搅拌后均匀分为 3～5 份，分层装入剪切盒内，每一层土样应击实或振实至所要求的高度。对于黏性粗粒土，每层表面应刨毛后再装下一层。剪切面应避开装填层面，并位于装填层中部。

5 进行粗粒土与混凝土接触面试验时，应将粗粒土装填至上剪切盒下部，放上按要求制备的混凝土板，混凝土板板厚不应小于 10 cm，面积与剪切盒面积相同，在板上填试样土至盒高。

6 试样需要饱和时，无黏性土宜采用浸水饱和法，黏性土宜采用抽气饱和法。

28.0.5 试验应符合下列规定：

1 将装填试样的剪力盒移入剪切仪内，并置于滚轴排上。在试样顶部依次放上不透水板或透水板、传压板、垂直千斤顶和传力柱，各部件中心应处于同一轴线上，需要时安装稳压装置。启动垂直千斤顶，使各部件接触，在传压板的对称部位，安放量测垂直位移百分表，百分表的数量不应少于 2 个。

2 试样上施加的最大垂直荷载不应小于工程要求的压力。施加在各试样上的垂直荷载宜按等差级数或等比级数分别施加。

3 垂直荷载应一次施加完成，试验过程中应保持恒定值，测读压力施加前后垂直百分表读数。

4 进行固结快剪试验和慢剪试验时，应对试样进行固结。

国家铁路局标准公开浏览专用

施加垂直荷载后，每隔 1 h 测记一次垂直变形，直至变形稳定。固结稳定标准为两次读数的差值不大于 0.05 mm。

5 饱和试样应安装水槽，并向水槽内注水，水面的高度不应低于试样剪切面。

6 安装水平千斤顶和水平位移百分表，水平千斤顶与预定剪切面应位于同一轴线上。启动水平千斤顶，使各部件紧密接触。调整垂直位移百分表，拔出固定销，拆除开缝环，测记各测表读数，施加剪切荷载。

7 快剪试验应在垂直荷载施加完成后立即进行剪切，固结快剪应在固结完成后进行剪切。剪切荷载应按预估最大剪切荷载的 10%分级施加，每 30 s 施加一级，并测读水平位移和垂直位移百分表一次。水平位移较大时，可适当加密分级；剪切荷载出现峰值或剪切荷载不再增加而水平位移急剧增加时，可结束试验；若无上述两种情况出现，水平位移达试样直径或长度的 10%时，可结束试验，并将此时的剪切荷载作为破坏值。

8 慢剪试验应在固结完成后进行剪切，剪应力分级同快剪试验。每施加一级剪应力，应立即测读各位移百分表一次，以后每隔 1 min 测读一次，当两次读数的水平位移差不大于 0.01 mm 时，施加下一级剪应力。结束试验的标准同快剪试验。

9 试验结束后，拆除位移测表，吸去水槽内水，卸去水平荷载、垂直荷载及加荷设备。根据需要，对剪切面进行描述，并取剪切面附近的试样，测定其含水率和颗粒级配。

28.0.6 试验结果应按下式计算及制图：

1 按下列公式计算垂直压力和剪应力

$$\sigma=\frac{P}{A} \tag{28.0.6—1}$$

$$\tau=\frac{Q}{A} \tag{28.0.6—2}$$

式中 σ——垂直压力（kPa）；

τ——剪应力（kPa）；

P——垂直总荷载（kN）；

Q——剪切总荷载（kN）；

A——试样剪切面面积（m^2）。

2 以剪应力为纵坐标，水平位移为横坐标，参照本规程图16.2.3—1绘制剪应力与水平位移关系曲线。

3 取剪应力与水平位移关系曲线上峰值或稳定值作为抗剪强度。无明显峰值时，取水平位移达到试样直径或长度10%处的剪应力作为抗剪强度。

4 以抗剪强度为纵坐标，垂直压力为横坐标，参照本规程图16.2.3—2绘制抗剪强度与垂直压力的关系曲线。直线与横坐标的夹角为粗粒土的内摩擦角，直线在纵坐标轴上的截距为粗粒土的黏聚力。

28.0.7 记录格式应符合表28.0.7的要求。

表28.0.7 粗粒土直接剪切试验记录表

工程名称：_____ 土样编号：_____ 试验日期：_____

(1) 基本参数

试验方法	仪器编号	剪切盒面积（cm^2）	控制干密度（g/cm^3）	控制含水率（%）	开缝宽度（cm）	千斤顶编号		压力表编号	
						垂直	水平	垂直	水平

(2)试验

垂直压力表读数（MPa）	垂直压力（kPa）	水平压力表读数（MPa）	剪应力（kPa）	水平位移0.01 mm				垂直位移0.01 mm			
				位移计读数			累计	位移计读数			累计
				1	2	平均		1	2	平均	

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

国家铁路局信息公开 浏览专用

29 粗粒土三轴压缩试验

29.1 一 般 规 定

29.1.1 本试验可用于测定粗粒土的总抗剪强度参数和有效抗剪强度参数。

29.1.2 本试验适用于最大粒径为 75 mm 的粗粒土。

29.1.3 本试验应根据土样性质、工程要求、设计计算方法，分别采用不固结不排水剪（UU）试验、固结不排水剪（CU）试验、固结不排水剪测孔隙压力（$\overline{\text{CU}}$）试验、固结排水剪（CD）试验。

29.1.4 试验应在不同的周围压力下进行，周围压力宜按等比级数施加，采用的最大周围压力宜根据工程实际荷载确定。UU 试验可采用非饱和试样。

国家铁路局信息公开
仅供查阅

29.2 仪 器 设 备

29.2.1 粗粒土三轴仪（如图 29.2.1 所示）应符合下列规定：

1 轴向加压系统：包括加压框架、压力机。

2 压力室：由底座、钢筒、压力室罩、传压活塞等组成。压力室应能密封，便于安装、拆卸。压力室的大小应满足试样尺寸的要求。

3 测力计：应按预计的最大轴向荷载选用，准确度为 1% F.S。

4 轴向位移计：应按试样高度选用，最小分度值为 0.01 mm。

5 周围压力加压系统：包括压力源、压力库和稳压系统。

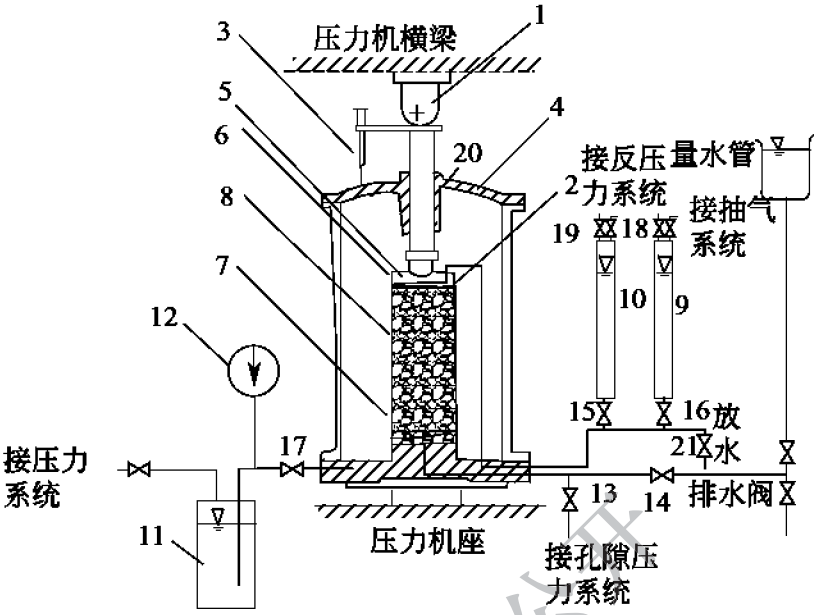


图 29.2.1　粗粒土大型三轴仪示意图

1—测力计；2—试样；3—轴向位移计；4—压力室罩；5—顶帽；6—上透水板；7—下透水板；8—橡皮膜；9—量水管；10—体变管；11—压力库；12—压力表；13—孔隙压力阀；14—进水管阀；15—排水阀；16—量水管阀；17—周围压力阀；18—反压力阀；19—通气阀；20—排气阀；21—排气（水）阀

6　体变测量系统。

7　孔隙压力测量系统。

8　饱和系统。

29.2.2　乳胶膜：应采用具有弹性的乳胶膜，厚度均匀，无气泡、无砂眼、不漏气。乳胶膜的厚度应按试样直径的大小选用，宜为 1～3 mm。

29.2.3　制样筒应能对开，内径和高度应满足试样尺寸要求。

29.3　试样制备和安装

29.3.1　试样应符合下列要求：

1　应采用圆柱形试样。

2　应满足仪器对试样尺寸的要求。

3　试样直径与试样中最大颗粒粒径之比不应小于 5，试样

国家铁路局信息公开 浏览专用

高度与直径之比宜为 2.0～2.5，每组试验的试样不应少于 3 个。

29.3.2 试样制备与安装应符合下列要求：

1 根据仪器要求的试样最大颗粒粒径和试样体积、控制干密度、控制含水率，按本规程第 3.3 节的要求制备土样。

2 将透水板安装在压力室底座上，开进水阀，使底座、透水板充水至无气泡逸出，关闭进水阀。

3 在底座和透水板上固定乳胶膜，安装制样筒，将乳胶膜的上端外翻套在制样筒上，并使乳胶膜顺直和制样筒内壁紧贴。

4 将制备好的土样搅拌均匀，按装填的层数分成相应等份。制样筒内每装填一份土样后，应拂平表面，采用震捣或击实法使填装的土样达到要求高度，直至装完最后一层，整平试样顶面，在试样顶面放置透水板和试样顶帽，并将乳胶膜固定在顶帽上，连接顶部排水阀。

5 黏性粗粒土可直接拆去制样筒；无黏性粗粒土，先开启抽气泵，从试样顶部抽气，使试样形成约 30 kPa 负压后，再拆去制样筒。抽气泵应在试样安装完毕并施加周围压力后再行关闭。

6 拆去制样筒后，应检查乳胶膜，有破裂处时应立即进行贴补，必要时可再加一层乳胶膜。量测试样高度和直径。

7 安装压力室，打开压力室排气孔，向压力室注水，排气孔有水溢出时，关闭排气孔、注水阀门。

8 缓慢地开动压力机，使试样帽与活塞、轴向测力计接触，立即停机。需要固结的试样，应测记轴向位移计读数。

29.3.3 按下式计算试样直径：

$$D_0=\frac{1}{4}(D_1+2D_2+D_3)-2t \tag{29.3.3}$$

式中 D_0——试样直径（cm）；

D_1、D_2、D_3——分别为量测试样的上部、中部、下部的直径（cm）；

t——乳胶膜的厚度（cm）。

国家铁路局信息公开浏览专用

29.4 试 样 饱 和

29.4.1 抽气饱和应符合下列规定：

1 试样安装完成后，开周围压力阀，施加约 30 kPa 的周围压力，测记进水量管水位读数。

2 开抽气泵从试样顶部抽气，在试样内形成负压，开启进水量管阀门，水在负压作用下从下而上地进入试样孔隙。

3 试样顶部出水后，关闭抽气泵，将进水量管水位抬高，持续约 20 min，测记进水量管水位读数。继续向试样充水至出水量管水位读数为零，关闭进水阀。

4 计算进入试样的水量和试样饱和度。

29.4.2 水头饱和应符合下列规定：

1 试样安装完成后，开启周围压力阀，施加约 30 kPa 的周围压力。

2 将与试样底部连接的量水管逐渐提高至高于试样顶面约 2～3 m，测记进水量管水位读数。开启进水量管阀门、试样顶部排气阀门，在水位差的作用下试样顶部排气，水由试样底部进入试样。

3 试样顶部出水后，测记进水量管水位读数。继续向试样充水至出水量管水位读数为零，关闭进水阀。

4 计算进入试样的水量和试样饱和度。

29.4.3 二氧化碳饱和应符合下列规定：

1 试样安装完成后，开启周围压力阀，施加约 30 kPa 的周围压力，测记进水量管水位读数。

2 开启试样顶部排气阀，使二氧化碳由试样底部进入，由下而上置换试样孔隙中的空气。二氧化碳的压力宜为 2～10 kPa。

3 待水气瓶水面冒气泡约 2～5 min 后关闭阀门，停止对试样充气。

国家铁路局信息公开浏览专用

4　开启进水阀进行水头饱和，量水管水位高于试样顶面约2～3 m。试样顶部有水流出后，测记进水量管水位读数。继续向试样充水至出水量管水位读数为零，关闭进水阀。

5　计算进入试样的水量和试样饱和度。

29.4.4　反压力饱和应符合下列规定：

1　试样安装完成后，开启周围压力阀，施加约30 kPa的周围压力，测记体变管水位、孔隙压力读数。

2　开启反压力阀，同时施加周围压力和反压力。施压过程中保持周围压力比反压力大30 kPa，每级增量宜为50 kPa，每增加一级周围压力和反压力，测记稳定后的孔隙压力、反压力、周围压力、体变管水位一次，至孔隙压力的增量与周围压力的增量之比不小于0.95。

29.4.5　饱和度不小于95%或孔隙压力系数不小于0.95时，视为试样饱和。

29.4.6　无黏性粗粒土宜采用抽气饱和或水头饱和，达不到饱和要求时，应采用二氧化碳饱和；黏性粗粒土宜采用抽气饱和，达不到饱和要求时，应采用反压力饱和。

29.5　不固结不排水剪试验

29.5.1　试验操作应符合下列规定：

1　试样饱和后，关闭试样进水阀、排水阀、开启周围压力阀，施加周围压力至预定压力，剪切过程中应始终保持恒定值，测记轴向位移计读数。采用非饱和试样时，在试样制备和安装完成后即可进行试验。

2　无黏性粗粒土以每分钟轴向应变为0.5%～1.0%的速度施加轴向压力；黏性粗粒土以每分钟轴向应变为0.05%～0.5%的速率施加轴向压力。试样每产生0.1%～0.4%的轴向应变时，测记一次测力计、轴向位移计读数，也可根据试样变形情况或试验要求调整读数次数。

国家铁路局信息公开
试读专用

3 测力计出现峰值时，应剪切至轴向应变再增加 3%～5% 为止；测力计无峰值出现时，应剪切至轴向应变达到 15%～20%为止。

4 试验结束后，先卸去轴向压力，再卸去周围压力。开启压力室排气孔、排水阀，排除压力室内的水后，拆卸压力室罩，吸去乳胶膜周围余水，脱去乳胶膜，拆除试样。对剪切后试样进行描述，必要时测定剪切面试样含水率及颗粒破碎情况。

5 其余试样的试验，应分别在各自不同的周围压力下，按本条第 1～4 款步骤进行。

29.5.2 试验成果整理应符合本规程第 18.4.2 条的规定。

29.5.3 记录格式应符合本规程表 18.4.3 的要求。

29.6 固结不排水剪试验

29.6.1 试样固结应符合下列规定：

1 试样饱和后，将量水管水位置于试样中部，并始终满足饱和度要求。测记量水管水位、孔隙压力计、轴向位移计读数。

2 开启孔隙压力阀、周围压力阀，施加周围压力至预定值。测记孔隙压力稳定后的读数。该孔隙压力值即周围压力作用下的孔隙压力值。

3 开启排水阀，试样进行排水固结，并在固结过程中保持周围压力值不变，量水管水位所置高度不变。

4 无黏性粗粒土每隔 0.5～1.0 min 测记量水管、孔隙压力、轴向位移计读数各一次，并根据试样性质和排水量大小调整读数间隔时间。试验时应绘制固结排水量与时间关系曲线，曲线下段趋于水平时，可视为固结完成。

5 黏性粗粒土开始按每隔 5～10 min 测记量水管、孔隙压力、轴向位移计读数各一次，1 h 后每隔 0.5～1.0 h 读数各一次，并根据试样性质、排水量大小和孔隙水压力变化随时调整读数间隔时间。试验时应绘制固结排水量或孔隙水压力与时间关系

国家铁路局信息公开 浏览专用

曲线，固结时间超过主固结点时，可视为固结完成。

6 试样采用反压力饱和时，饱和后仍保持反压力不变，关闭反压力阀，增大周围压力，使周围压力与反压力差值为预定周围压力。测记稳定后体变管水位、孔隙压力、轴向位移计读数。开启反压力阀，按本条第5款步骤通过体变管进行排水固结。固结过程中应保持周围压力和反压力不变。

7 固结完成后，关闭排水阀，测记量水管或体变管水位和孔隙压力读数。开启压力机，活塞再次与试样接触时，关闭压力机，测轴向位移计读数，计算固结下沉量。

29.6.2 试验操作应按下列规定：

1 固结完成后，关闭量水管或体变管阀，开启孔隙压力阀及轴向压力机，施加轴向压力进行剪切。CU剪时可不测孔隙压力。

2 无黏性粗粒土以每分钟轴向应变0.5%～1.0%的速率施加轴向压力；黏性粗粒土以每分钟轴向应变0.05%～0.1%的速率施加轴向压力。试样每产生0.1%～0.4%轴向应变时，测记一次测力计、轴向位移计、孔隙压力计读数，也可根据试样变形情况或试验要求调整读数次数。

3 测力计出现峰值时，应剪切至轴向应变再增加3%～5%为止；测力计无峰值出现时，应剪切至轴向应变达到15%～20%为止。

4 试验结束后，关闭孔隙压力阀，先卸去轴向压力，再卸去周围压力。开启压力室排气孔、排水阀，排除压力室内水后，拆卸压力室罩，吸去乳胶膜周围余水，脱去乳胶膜，拆除试样。对剪切后试样进行描述，必要时测定剪切面试样含水率和颗粒破碎情况。

5 其余试样的试验，应分别在各自不同的周围压力下，按本条第1～4款步骤进行。

29.6.3 试验成果整理应符合本规程第18.5.2条的规定。

国家铁路局信息公开 浏览专用

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

29.7 固结排水剪试验

29.7.1 试样固结按本规程第 29.6.1 条步骤进行。

29.7.2 试验操作应符合下列规定：

1 试样固结后，关闭孔隙压力阀，开启试样两端量水管阀或体变管阀，开启轴向压力机，施加轴向压力进行剪切。测记测力计、轴向位移计、量水管或体变管水位读数。

2 无黏性粗粒土以每分钟轴向应变为 0.1%～0.5%的速率施加轴向压力，黏性粗粒土以每分钟轴向应变为 0.003%～0.012%的速率施加轴向压力。

3 其他按本规程第 29.6.2 条步骤进行。

29.7.3 试验成果整理应符合本规程第 18.6.2 条的规定。

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

国家铁路局信息公开
浏览专用

30 级配碎石试验

30.1 一 般 规 定

30.1.1 本试验用于测定级配碎石或级配砂砾石的性能指标。

30.1.2 本试验适用于铁路基床表层用级配碎石、过渡段用级配碎石以及普通铁路用级配砂砾石。

30.1.3 级配碎石和级配砂砾石取样方法与数量应符合下列规定：

1 级配碎石或级配砂砾石场取样时，应在成品出料口或传送带上有间隔地接取4个子样；运料车上取样时，装车少于三辆，从每一个车辆中取一个子样；装车多于三辆，从任意三辆中各取一个子样；取样时应从车辆的四角及中央处提取，晾干。将子样拌和均匀，用四分法取其中两份备用，样品数量应满足试验项目所需。

2 每个单项指标检验项目，每组样品取样数量应满足表30.1.3的规定。做多项指标检验时，应在确保样品经一项指标试验后不影响其他试验结果的前提下，用同组样品进行多项指标试验。洛杉矶磨耗率和硫酸钠浸泡损失率试样可选取有代表性的母岩加工制样。

30.1.4 基床表层级配碎石应采用方孔筛筛分，过渡段级配碎石及基床表层级配砂砾石应采用圆孔筛筛分。筛分试验采用水洗湿筛分析法或干筛法，对干筛法有疑问时，应以水洗湿筛分析法为准。

国家铁路局信息公开
试验专用

表 30.1.3　各试验项目所需试样的最少取样数量

试验项目 / 取样数量 / 样品种类	筛分试验(kg)	黏土团及其他杂质含量(kg)	质软、易破碎颗粒(kg)	针状、片状碎石含量(kg)	洛杉矶磨耗率试验(kg)	硫酸钠浸泡损失率试验(kg)	带破碎面的颗粒含量试验(kg)	颗粒密度(kg)	最大干密度试验(kg)	液塑限(kg)	含水率(kg)
基床表层级配碎石	10	80	—	—	10～16 mm、16～20 mm 各 15	20～25 mm、25～40 mm 各 8	130	16	50	5	5
级配砂砾石	10	80	—	50	—	—	—	16	50	—	5
过渡段级配碎石	10	—	50	50	—	—	—	16	50	—	5

国家铁路局信息公开 浏览专用

30.1.5 级配碎石和级配砂砾石中粒径小于0.075 mm颗粒分析试验应按本规程第7章的规定进行。

30.1.6 级配碎石和级配砂砾石中粒径小于0.5 mm颗粒的界限含水率试验应按本规程第8章的规定进行。

30.1.7 级配碎石和级配砂砾石的含水率试验应按本规程第4章的规定进行，颗粒密度试验应按本规程第6章的规定进行，最大干密度试验应按本规程第27章或24章的规定进行。

30.2 筛分试验

30.2.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 分析筛

1）基床表层级配碎石筛：方孔筛孔边长为45 mm、31.5 mm、22.4 mm、7.1 mm、1.7 mm、0.5 mm、0.1 mm、0.075 mm。

2）基床表层级配砂砾石筛：圆孔筛孔径为60 mm、50 mm、40 mm、30 mm、20 mm、10 mm、5 mm、2 mm、0.5 mm、0.075 mm。

3）过渡段级配碎石筛：圆孔筛孔径为50 mm、40 mm、30 mm、25 mm、20 mm、10 mm、5 mm、2.5 mm、0.5 mm、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 电热干燥箱：应能控制温度为105 ℃～110 ℃。

5 其他设备：瓷盘、研钵、带橡皮头的杵、钢丝刷等。

30.2.2 本试验的取样数量应符合表30.2.2的规定。

表30.2.2 筛分试验取样数量

试样最大粒径(mm)	取样数量(g)	试样最大粒径(mm)	取样数量(g)
<2	100～300	20～40	2 000～4 000
2～5	300～1 000	40～60	4 000以上
5～20	1 000～2 000		

国家铁路局信息公开 试读专用

30.2.3 试验操作应符合下列规定：

1 水洗湿筛分析法（标准法）

1）根据试样颗粒大小，用四分对角线法按表30.2.2中规定的取样数量，取代表性风干试样。称量小于500 g时，应准确至0.1 g；称量大于500 g时，应准确至1 g。

2）将试样放在橡皮板上，用木碾充分碾散混合料中含有的黏结颗粒团，然后将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。

3）根据试样的种类，将容器中的试样悬液通过1.7 mm（基床表层级配碎石）或2 mm（基床表层级配砂砾石）或2.5 mm（过渡段级配碎石）筛，边翻动、边冲洗、边过筛，直到筛上仅留大于1.7 mm、2 mm或2.5 mm的颗粒。取筛上的试样风干后称量，准确至0.1 g。

4）根据试样种类分别取过1.7 mm或2 mm或2.5 mm筛上的风干试样倒入依次叠好的粗筛最上层筛中，进行筛析。按由上而下的顺序将各筛取下，于瓷盘上用手拍叩摇晃，检查各筛，直至筛净为止，筛下的试样应收集放入下一级筛内，最后称各级筛上及底盘内试样的质量，准确至0.1 g。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%。

5）根据试样种类分别取过1.7 mm、2 mm、2.5 mm筛下的悬液，用带橡皮头的研杵研磨，并通过0.075 mm筛，筛上剩下颗粒反复加清水研磨过筛，直至悬液澄清，将筛上的试样烘干称量，准确至0.1 g。将烘干后的筛上试样倒入依次叠好的细筛最上层筛中，细筛宜置于筛析机上震筛，震

国家铁路局信息公开
浏览专用

筛时间为10～15 min。最后称各级筛上及底盘内试样的质量，应准确至0.1 g。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 干筛分析法（快速法）

1）根据试样颗粒大小，用四分对角线法按表30.2.2中规定的取样数量，取代表性风干试样。称量小于500 g时，应准确至0.1 g；称量大于500 g时，应准确至1 g。

2）根据试样的种类，将试样过1.7 mm（基床表层级配碎石）或2 mm（基床表层级配砂砾石）或2.5 mm（过渡段级配碎石）筛，称筛上或筛下的试样质量。

3）根据试样种类分别取过1.7 mm或2 mm或2.5 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，筛下的试样应收集放入下一级筛内，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%。

30.2.4 试验结果计算及制图应符合下列要求：

按本规程第7.2.4条的规定进行计算和绘制颗粒大小分布曲线图。颗粒大小分布曲线图的横坐标应标明方孔筛孔边长或圆孔筛孔径。

30.2.5 记录格式应符合表30.2.5的要求。

国家铁路信息公开浏览专用

表 30.2.5　筛分试验记录

试验编号：_____　　试样类别：_____

风干试样质量：_____ g；　小于 0.075 mm 的试样占总试样质量百分数＝_____%					
1.7 mm(或 2.0 mm 或 2.5 mm)筛上试样质量＝_____ g 小于 1.7 mm(或 2.0 mm 或 2.5 mm)的试样占试样质量百分数＝_____%					
1.7 mm(或 2.0 mm 或 2.5 mm)筛下试样质量＝_____ g 细筛分析时所取试样质量＝_____ g					
d_{85}＝_____　d_{60}＝_____　d_{30}＝_____　d_{15}＝_____　d_{10}＝_____ $C_u=d_{60}/d_{10}$＝_____　$C_c=d_{30}^2/(d_{10}\cdot d_{60})$＝_____					
筛号	筛孔尺寸(mm)	累计留筛试样质量(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

国家铁路局信息公开
浏览专用

30.3　黏土团及其他杂质含量试验

30.3.1　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　台秤：称量不小于 30 kg，分度值 10 g。

2　电热干燥箱：应能控制温度为 105 ℃～110 ℃。

3　其他设备：浅盘、容器、铁锹或铁叉，竹筐或尼龙袋、塑料布等。

30.3.2　试验操作应符合下列规定：

1　按表 30.1.3 规定取试样，将试样装入浅盘，在温度为 105 ℃～110 ℃的电热干燥箱中烘干至恒重，取出冷却至室温。

2 将试样拌和均匀，用四分对角线法取两份备用，每份约20 kg。

3 将称好的试样薄层摊铺在塑料布上，用手拣出黏土团及其他杂质，并称量剩余试样的质量。直接判断困难时，将可疑的颗粒拣出，放在容器内用水浸泡一昼夜，用手能捏碎其颗粒时，视为黏土团或杂质，将清除黏土团及其他杂质后的试样在温度为105 ℃～110 ℃的电热干燥箱中烘干至恒重，取出冷却至室温。

4 只测黏土团含量时，用手拣出黏土团，并称量剩余试样的质量。直接判断困难时，将可疑的颗粒拣出，放在容器内用水浸泡一昼夜，用手能捏碎其颗粒时，视为黏土团，将清除黏土团后的试样在温度为105 ℃～110 ℃的电热干燥箱中烘干至恒重，取出冷却至室温。

30.3.3 试验结果应按下式计算：

$$W_{nq}=\frac{m_0-m_1}{m_0}\times 100 \qquad (30.3.3\text{—}1)$$

$$W_n=\frac{m_0-m_2}{m_0}\times 100 \qquad (30.3.3\text{—}2)$$

式中 W_{nq}——黏土团及其他杂质含量（%），计算至0.1%；

W_n——黏土团含量（%），计算至0.1%；

m_0——试样质量（g）；

m_1——清除黏土团及其他杂质含量后的级配碎石质量（g）；

m_2——清除黏土团含量后的级配碎石质量（g）。

30.3.4 本试验应进行两次平行试验。两次试验结果之差小于平均值的20%时，试验结果取两次结果的平均值；两次试验结果之差不小于平均值的20%时，应追加一次试验，试验结果取三次结果的平均值。

30.3.5 记录格式应符合表30.3.5的要求。

国家铁路局信息公开 试读专用

表 30.3.5　黏土团及其他杂质含量试验记录

试验编号：_____　　试样类别：_____

试验序号	试验前试样质量 m_0(g)	清除黏土团及其他杂质含量后的试样质量 m_1(g)	黏土团＋其他杂质含量 W_{nq}(%) $W_{nq}=[(m_0-m_1)/m_0]\times100$	
			单值	平均值

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

30.4　质软、易破碎颗粒含量试验

30.4.1　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　天平：称量 5 kg，分度值 1 g。

2　分析筛：孔径为 20 mm、10 mm、5 mm。

3　杠杆压力仪：最大压力 1 500 N，配 150 N、250 N、340 N 荷载专用砝码，如本规程图 26.3.1 所示。

4　其他：浅盘、毛刷等。

30.4.2　试验操作应符合下列规定：

1　称取风干试样 2～3 kg，过筛分成 5～10 mm、10～20 mm、20 mm 以上各 1 份。

2　分别将各级试样的单个颗粒大面朝下稳定平放在杠杆压力仪平台中心，并在颗粒的上、下两面分别垫上约 3 mm 厚的胶皮，按颗粒大小（5～10 mm、10～20 mm、20 mm 以上）分别施以 0.15 kN、0.25 kN、0.34 kN 的荷载。

3　加压后破裂的颗粒即为软弱颗粒，将其弃掉，称出未破裂颗粒的质量。

30.4.3　试验结果应按下式计算：

$$W_{qs}=\frac{m_0-m_1}{m_0}\times100 \tag{30.4.3}$$

国家铁路局信息公开 浏览专用

式中　W_{qs}——质软、易破碎颗粒含量（%），计算至0.1%；

m_0——试验前各粒级颗粒总质量（g）；

m_1——试验后各粒级完好颗粒总质量（g）。

30.4.4　本试验应进行两次平行试验。两次试验结果之差小于平均值的20%时，试验结果取两次结果的平均值；两次试验结果之差不小于平均值的20%时，应追加一次试验，试验结果取三次结果的平均值。

30.4.5　记录格式应符合表30.4.5的要求。

表30.4.5　质软、易破碎颗粒含量试验记录

试验编号：_____　　试样类别：_____

风干试样质量：_____								
试验序号	试验前各粒级颗粒总质量 m_0(g)			试验后各粒级完好颗粒总质量 m_1(g)			质软、易破碎颗粒含量 W_{qs}(%) $W_{qs}=[(m_0-m_1)/m_0]\times100$	
	5～10 mm	10～20 mm	20 mm以上	5～10 mm	10～20 mm	20 mm以上	单个值	平均值

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

30.5　针状、片状颗粒含量试验

30.5.1　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　分析筛：孔径5 mm。

2　游标卡尺：分度值不大于0.1 mm。

3　天平：称量10 kg，分度值1 g。

30.5.2　试验操作应符合下列规定：

1　按表30.1.3规定取风干试样，用5 mm圆孔筛将试样过筛，取筛上部分作为本试验试样，称取试样的质量不少于1 kg，

国家铁路局信息公开浏览专用

且不少于 100 颗。

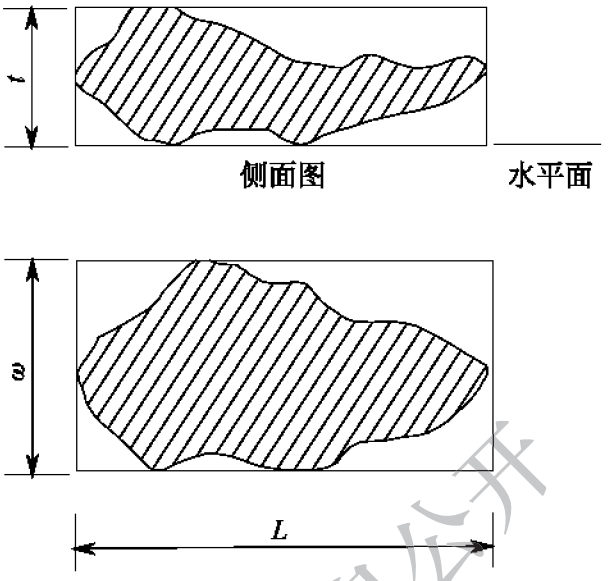


图 30.5.2　针片状颗粒稳定状态

2　将试样平摊于桌面上，首先用目测挑出接近立方体的颗粒，剩下可能属于针状（细长）和片状（扁平）的颗粒。

3　按图 30.5.2 所示的方法将欲测量的颗粒放在桌面上成一稳定的状态，图中颗粒平面方向的最大长度为 L，侧面厚度的最大尺寸为 t，颗粒最大宽度为 ω（$t<\omega<L$），用卡尺逐颗测量石料的 L 及 t，将 $L/t\geqslant 3$ 的颗粒（即最大长度方向与最大厚度方向的尺寸之比大于 3 的颗粒）分别挑出作为针片状颗粒。称取针片状颗粒的质量，准确至 1 g。

30.5.3　试验结果应按下式计算：

$$W_{qe}=\frac{m_1}{m_0}\times 100 \tag{30.5.3}$$

式中　W_{qe}——针片状颗粒含量（%），计算至 0.1%；

m_0——试样的质量（g）；

m_1——针片状颗粒的质量（g）。

30.5.4　本试验应进行两次平行试验。两次试验结果之差小于平均值的 20%时，试验结果取两次结果的平均值；两次试验结果之差不小于平均值的 20%时，应追加一次试验，试验结果取三

次结果的平均值。

30.5.5 记录格式应符合表 30.5.5 的要求。

表 30.5.5 针、片状颗粒含量试验记录

试验编号：_____ 试样类别：_____

试验序号	试样质量 m_0(g)	针片状颗粒质量 m_1(g)	针片状颗粒含量 W_{qe}(%) $W_{qe}=(m_1/m_0)\times100$	
			单值	平均值

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

30.6 洛杉矶磨耗率试验

30.6.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 洛杉矶磨耗机：结构尺寸如图 30.6.1 所示。其转速为 31～33 r/min。

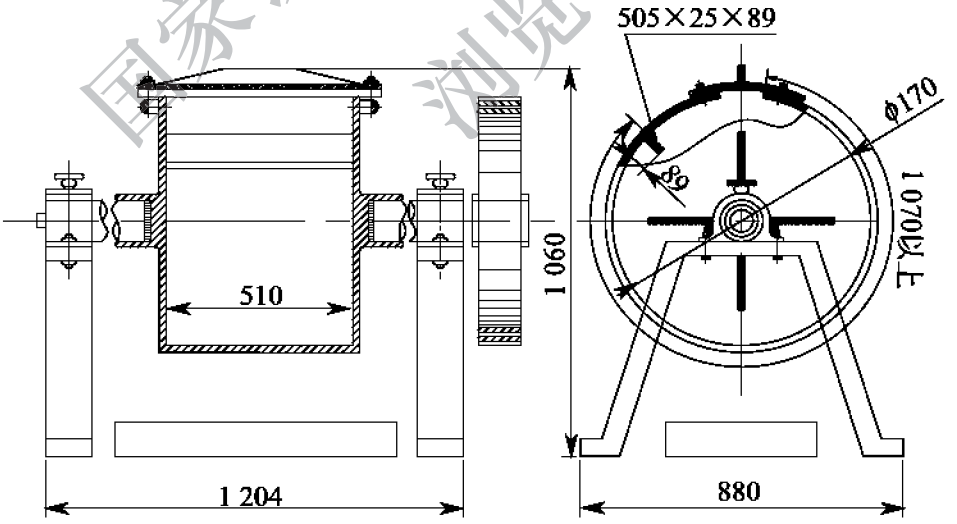


图 30.6.1 洛杉矶磨耗机（单位：mm）

2 钢球：直径 46.0～47.6 mm，质量为 390～445 g。钢球的数量为 8 个，总质量为（3 330±20)g。

国家铁路局信息公开浏览专用

3 分析筛：方孔筛孔边长为 40 mm、25 mm、20 mm、16 mm、10 mm、1.7 mm。

4 电热干燥箱：应能控制温度为 105 ℃～110 ℃。

5 台秤：称量 10 kg，分度值 5 g。

6 其他设备：游标卡尺、破碎机、手锤等。

30.6.2 试验操作应符合下列规定：

1 按表 30.1.3 规定取试样，用游标卡尺检查试样，针状和片状颗粒的质量百分比应不大于 10%。将试样洗净、在温度为 105 ℃～110 ℃的电热干燥箱中烘干至恒重，取出冷却至室温，冷却后分别称取 10～16 mm 和 16～20 mm 粒级试样各（2 500±10）g 组成一份试样，共制备三份。

2 将一份试样装入洛杉矶磨耗机滚筒内，装入钢球、盖好筒盖，开启电机，使圆筒旋转。

3 圆筒旋转达到规定的次数（级配碎石 500 r）停机，取出钢球，倒出试样。用边长 1.7 mm 的筛筛分，将大于 1.7 mm 的试样用水洗净后置于温度为 105 ℃～110 ℃的电热干燥箱中烘干至恒重，取出冷却至室温，冷却后再次筛除 1.7 mm 以下的粉粒，称出试样磨耗后粒径大于 1.7 mm 颗粒的质量。

4 按以上步骤进行其余两份试样的试验。

30.6.3 试验结果应按下式计算：

$$A_{LAA}=\frac{m_0-m_1}{m_0}\times 100 \tag{30.6.3}$$

式中 A_{LAA}——洛杉矶磨耗率（%），计算至 0.1%；

m_0——试样磨耗前质量（g）；

m_1——试样磨耗后粒径大于 1.7 mm 颗粒的质量（g）。

30.6.4 三份试样中任何两份试样磨耗率之差不应大于 2%，否则应重新取样试验。三份试样的磨耗率平均值为粒径大于 1.7 mm 颗粒的洛杉矶磨耗率。

30.6.5 记录格式应符合表 30.6.5 的要求。

表 30.6.5　洛杉矶磨耗率试验记录

试验编号：_____　　试样类别：_____

试验序号	试样磨耗前质量 m_0(g)	试样磨耗后粒径大于 1.7 mm 颗粒的质量 m_1(g)	洛杉矶磨耗率 A_{LAA}(%) $A_{LAA}=[(m_0-m_1)/m_0]\times100$	
			单个值	平均值

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

30.7　硫酸钠溶液浸泡损失率试验

30.7.1　本试验所采用的仪器设备及试剂应符合下列规定：

1　电热干燥箱：应能控制温度为 105 ℃～110 ℃。

2　天平：称量不小于 2 kg，分度值 1 g。

3　游标卡尺：分度值不大于 0.1 mm。

4　分析筛：方孔筛孔边长为 40 mm、25 mm、20 mm、16 mm。

5　容器：搪瓷盆或瓷盆，容积不小于 50 L。

6　金属网篮：不锈钢丝编制成边长为 16 mm 的网篮。

7　密度计、温度计、不锈钢夹子及搪瓷盘。

8　无水硫酸钠或十水硫酸钠，蒸馏水。

30.7.2　试样制备：先用 20 mm、25 mm 和 40 mm 的方孔筛，筛选粒径 20～25 mm 和 25～40 mm 的两组试样，两组试样逐颗检查剔除肉眼可见的裂纹颗粒，再用游标卡尺剔除针、片状颗粒，取粒径 20～25 mm 的 500 g、粒径 25～40 mm 的 1 000 g，共计1 500 g试样备用。洗净试样，在温度为 105 ℃～110 ℃的电热干燥箱中烘干至恒重，取出冷却至室温。

30.7.3　硫酸钠溶液的配制：取一定数量的蒸馏水（取决于试样

国家铁路局信息公开 浏览专用

及容器的大小），加温至 30 ℃～50 ℃，每升蒸馏水加入 300～500 g 无水硫酸钠（Na_2SO_4）或 700～1 000 g 的十水硫酸钠（$Na_2SO_4 \cdot 10H_2O$），用玻璃棒搅拌，使其充分溶解至饱和（多余的结晶硫酸钠析出）。然后冷却至 20 ℃～30 ℃。在此温度下静置两昼夜，其密度控制在 1.15～1.17 g/cm^3 范围内。

30.7.4 试验操作应符合下列规定：

1 称取干燥试样质量，记录试样颗粒总数。

2 将两组试样拌和均匀，装入金属网篮内，并将其浸入配制好的溶液内。溶液的体积应不小于试样体积的 5 倍，温度应保持在 25 ℃～35 ℃，试样顶面应位于溶液液面 3 cm 以下，网篮底距容器底 2 cm 以上。

3 试样在硫酸钠溶液中浸泡 20 h 后，从溶液中提出网篮，放入温度为 105 ℃～110 ℃的电热干燥箱中烘 4 h，至此完成了第一次循环试验。

4 待试样冷却至 25 ℃～35 ℃后，再浸泡硫酸钠溶液中，开始第二次循环试验。从第二次循环试验开始，浸泡时间和烘干时间均为 4 h。如此重复上述过程 5 次。

5 完成第 5 次循环试验后，将试样置于温度 25 ℃～35 ℃的清水中洗净硫酸钠，并按下法检验：取洗试样的水数毫升，滴入少量氯化钡（$BaCl_2$）溶液，如无白色沉淀，即视为硫酸钠已被洗净。

6 将洗净硫酸钠的试样放入温度为 105 ℃～110 ℃的电热干燥箱烘至恒重。取出试样冷却至室温后，用筛孔边长为 16 mm 的方孔筛筛分，称取试样试验后质量（筛上的颗粒质量），并记录试样颗粒总数和作外观检查，描述颗粒的裂缝、开裂、剥落、掉边、掉角等情况，以作为分析其结果时的补充依据。

30.7.5 试验结果应按下式计算：

$$A_L = \frac{m_0 - m_1}{m_0} \times 100 \tag{30.7.5}$$

式中　A_L——级配碎石硫酸钠溶液浸泡损失率（%），计算至0.1%；

m_0——试样试验前质量（g）；

m_1——试样试验后的质量（g）。

30.7.6　本试验应进行两次平行试验。两次试验结果之差小于平均值的20%时，试验结果取两次结果的平均值；两次试验结果之差不小于平均值的20%时，应追加一次试验，试验结果取三次结果的平均值。

30.7.7　记录格式应符合表30.7.7的要求。

表30.7.7　硫酸钠溶液浸泡损失率试验记录

试验编号：_____　　试样类别：_____

循环次数	试验前		试验后		损失率 A_L(%) $A_L=[(m_0-m_1)/m_0]\times100$	
	颗粒数	试样质量 m_0(g)	颗粒数	试样质量 m_1(g)	单个值	平均值
试验后试样颗粒外观描述：						

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

30.8　粗颗粒中带破碎面的颗粒含量试验

30.8.1　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　台秤：称量50 kg，分度值50 g。

2　分析筛：边长为45 mm、31.5 mm、22.4 mm。

3　游标卡尺：分度值不大于0.1 mm。

30.8.2　试验操作应符合下列规定：

1　称取风干试样约40 kg，用45 mm、31.5 mm和22.4 mm的方孔筛筛分，舍去22.4 mm以下和45 mm以上的颗粒，

国家铁路局信息公开 浏览专用

分别称取 22.4 mm 和 31.5 mm 方孔筛筛上的试样质量 $m_{22.4}$ 和 $m_{31.5}$。

2 按下列条件之一判别、检出带破碎面的颗粒，并分别称取其质量 $m_{b22.4}$ 和 $m_{b31.5}$：

1）破碎表面粗糙、周边棱角分明，单个破碎面的最大尺寸（或多个破碎面的最大尺寸之和）分别不小于 22.4 mm 和 31.5 mm 的颗粒；

2）凹形破碎面周边棱角清晰，最大尺寸分别不小于 22.4 mm 和 31.5 mm 的颗粒；

3）两破碎面（单个破碎面的最大尺寸，粒径 22.4 mm 颗粒时应为 9～11 mm，粒径 31.5 mm 颗粒时应为 12～15 mm）之间的平均距离分别小于 22.4 mm、31.5 mm 的 0.6 倍（13.44 mm 和 18.9 mm）的颗粒。

30.8.3 试验结果应按下式计算：

$$W_p = \frac{m_{b22.4} + m_{b31.5}}{m_{22.4} + m_{31.5}} \times 100 \qquad (30.8.3)$$

式中 W_p——带有破碎面的颗粒所占的质量百分率（%），计算至 0.1%；

$m_{b22.4}$——留在 22.4 mm 方孔筛上有破碎面颗粒的质量（kg），计算至 0.1 kg；

$m_{b31.5}$——留在 31.5 mm 方孔筛上有破碎面颗粒的质量（kg），计算至 0.1 kg；

$m_{22.4}$——留在 22.4 mm 方孔筛上试样的质量（kg），计算至 0.1 kg；

$m_{31.5}$——留在 31.5 mm 方孔筛上试样的质量（kg），计算至 0.1kg。

30.8.4 本试验应进行两次平行试验。两次试验结果之差小于平均值的 20%时，试验结果取两次结果的平均值；两次试验结果

国家铁路局信息公开 浏览专用

之差不小于平均值的20%时，应追加一次试验，试验结果取三次结果的平均值。

30.8.5 记录格式应符合表30.8.5的要求。

表30.8.5 粗颗粒中带破碎面的颗粒含量试验记录

试验编号：_____ 试样类别：_____

试验序号	留在22.4 mm方孔筛上试样的质量 $m_{22.4}$（kg）	留在31.5 mm方孔筛上试样的质量 $m_{31.5}$（kg）	留在22.4 mm方孔筛上有破碎面颗粒的质量 $m_{b22.4}$（kg）	留在31.5 mm方孔筛上有破碎面颗粒的质量 $m_{b31.5}$（kg）	带有破碎面颗粒含量 W_p（%） $W_p=[(m_{b22.4}+m_{b31.5})/(m_{22.4}+m_{31.5})]\times100$	
					单值	平均值

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

国家铁路局信息公开 浏览专用

31 化学改良土试验

31.1 一 般 规 定

31.1.1 本试验可用于测定化学改良土的最大干密度和最优含水率、无侧限抗压强度及水泥或石灰剂量。

31.1.2 本试验适用于土最大粒径小于 15 mm 的化学改良土的击实、无侧限抗压强度和水泥或石灰的剂量试验。

31.1.3 本试验取样方法应符合下列规定：

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得带有样品，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：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。

31.1.4 含水率测定称取试样时，细粒土约 50 g，准确至 0.01 g；粗粒土约 500 g，准确至 0.2 g。再按本规程第 4.2 节进行测定；现场快速测定可按本规程第 4.4 节进行。

31.1.5 本试验不得重复使用试样。

31.1.6 按预定干密度制成的做无侧限抗压强度的试件，宜采用径高比为 1∶1的圆柱体，根据需要也可采用径高比为 1∶1.5 或

1∶2的试件。

31.1.7 水泥剂量应在水泥终凝之前测定；石灰剂量应在路拌后尽快测定，否则需采用相应龄期的EDTA二钠标准溶液消耗量标准曲线确定。

31.2 重型击实试验

31.2.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 击实仪：尺寸规格应符合本规程表24.0.2的规定。

2 天平、台称、标准筛等应符合本规程第24.0.4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、电热干燥箱。

31.2.2 试料准备应符合下列要求：

1 按第31.1.3条的规定取风干试样，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，细粒土不少于30 kg，粗粒土不少于35 kg。

2 试样过15 mm、5 mm筛，记录大于15 mm、5 mm的颗粒含量及占总质量的百分率。试料全部通过5 mm筛的细粒土，按表24.0.2选用Z1法击实；否则按表24.0.2选用Z2法击实。

3 击实试验前一天，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。

31.2.3 试验操作应符合下列规定：

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。

2 每份试样按预定的不同含水率，依次相差1%～2%，其

国家铁路局信息公开浏览专用

中至少有两份小于最优含水率和两份大于最优含水率。最优含水率可参照土的塑限进行估计：

1）各份试样含水率控制：对粗粒土在最优含水率附近取相差1%，其余2%；对细粒土取相差2%，对黏土取3%。

2）最优含水率的估计，细粒土一般最优含水率较土的塑限小3%～10%（砂性土接近3%，黏性土为6%～10%）。天然砂砾土、级配集料最优含水率与集料中细粒土含量和塑性指数有关，细粒土少的，I_P 为零的未筛分砂砾土的最优含水率接近5%；细粒土偏多，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大1%～3%。

3 将每份风干试样分别平铺于金属盘内，按式(31.2.3)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均匀。试料为石灰改良土、石灰粉煤灰综合改良土、水泥石灰综合改良土和水泥粉煤灰综合改良土时，可将石灰、粉煤灰和试样一起拌匀，然后装入密封器或塑料袋中浸润备用。水泥应在土样浸润后拌入，但水泥的加水量在计算时应予计入。

$$m_w=\left(\frac{m_0}{1+0.01w_0}+\frac{m_c}{1+0.01w_c}\right)\times 0.01w'-\left(\frac{m_0\times 0.01w_0}{1+0.01w_0}+\frac{m_c\times 0.01w_c}{1+0.01w_c}\right) \tag{31.2.3}$$

式中 m_w——单一外掺料时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（%）。

国家建筑信息公开 浏览专用

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，含土很少的未筛分砂砾和砂约 2 h。

5 化学改良土应根据设计要求和施工工艺确定延迟时间 H。在浸润后的试料中加入所需外掺料，拌和料应用湿布覆盖，在延时（$H-1$）h 内，每半小时用小铲或其他拌和工具充分搅拌，之后在 1 h 内完成击实试验全过程。

6 将击实仪平稳放置于刚性基础上，击实筒与底座应联接良好，装好护筒，击实筒内壁均匀涂上薄层润滑油，取制备好的试样（分五层击实，Z1 法每层土约 0.9 kg，Z2 法每层土约 1.1 kg)倒入击实筒内（其量应略高于筒高的 1/5），平整表面，稍加压实后，按表 24.0.2 规定击数进行第 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，并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，称量筒和试样的总质量，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，按第 31.1.4 条的规定测定含水率。

31.2.4 试验结果应按下列公式计算和绘图：

1 化学改良土密度和干密度

$$\rho_g=\frac{m_2-m_1}{V} \qquad (31.2.4\text{—}1)$$

$$\rho_{dg}=\frac{\rho_g}{1+0.01w_g} \qquad (31.2.4\text{—}2)$$

式中 ρ_g——化学改良土的密度（g/cm³），计算至 0.01 g/cm³；

ρ_{dg}——化学改良土的干密度（g/cm³），计算至0.01 g/cm³；

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（cm³）；

w_g——化学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 g/cm³；$w_{g,opt}$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%。当曲线不能绘出正确的峰值点时，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含量小于5%的可不进行校正，超尺寸颗粒的含量为5%～30%时，应按下列公式校正。

$$\rho'_{g,dmax}=\rho_{g,dmax}(1-0.01P)+0.9\times 0.01P\rho_a \quad (31.2.4\text{—}3)$$

$$w'_{g,opt}=w_{g,opt}(1-0.01P)+0.01Pw_x \quad (31.2.4\text{—}4)$$

式中 $\rho'_{g,dmax}$——校正后最大干密度g/cm³，计算至0.01 g/cm³；

$w'_{g,opt}$——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/cm³）；

$w_{g,opt}$——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/cm³）；

w_x——超尺寸颗粒的吸着含水率（%）。

其中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。

31.2.5 本试验应进行平行试验，允许平行差值应符合表31.2.5的规定。取算术平均值。平行测定的差值大于允许差值时，应重新进行试验。

国家铁路局信息公开 浏览专用

表 31.2.5　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
化学改良细粒土	不应超过 0.05 g/cm³	$w_{g,opt}$＜10%不应超过 0.5%
化学改良粗粒土	不应超过 0.08 g/cm³	$w_{g,opt}$＞10%不应超过 1.0%

31.2.6　记录格式应符合表 31.2.6 的要求。

表 31.2.6　化学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/cm³)												
	干密度(g/cm³)												
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/cm³)：_____												最优含水率(%)：_____	
超尺寸颗粒的校正	$\rho'_{g,dmax}$_____＝g/cm³											$w'_{g,opt}$＝_____%	

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

国家铁路局信息公开浏览专用

31.3 无侧限抗压强度试验

31.3.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 分析筛：孔径为 5 mm、10 mm、15 mm。

2 试模的尺寸（直径×高）：细粒土 50 mm×50 mm、粗粒土 100 mm×100 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 24.0.2 条表 24.0.2 中 Z2 和第 24.0.4 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：不大于 200 kN。

10 天平：称量 200 g，分度值 0.01 g。

11 案称：称量 10 kg，分度值 5 g。

12 其他设备：量筒、拌和工具、漏斗、电热干燥箱、称量盒。

31.3.2 试料准备应符合下列规定：

1 按第 31.1.3 条取具有代表性的风干试料，必要时，可在 50 ℃电热干燥箱内烘干，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 5 mm 颗粒；粗粒土应除去大于 15 mm 颗粒）备用。试料数量：细粒土 1.1～1.3 kg，粗粒土 16～17 kg。试验前一天，按第 31.1.4 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 31.2 节击实试验确定。

31.3.3 试件应符合下列要求：

1 同一化学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。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。

国家铁路局信息公开 浏览专用

2 根据试模尺寸，每个试件所需干试料质量：ϕ50 mm×50 mm试件约需180～210 g；ϕ100 mm×100 mm试件约需1 700～1 900 g。所需风干试料的质量由下式计算。

$$m_g = m_{dg}(1+0.01w_g) \tag{31.3.3}$$

式中 m_g——风干化学改良土试料质量（g）；

w_g——化学改良土试料的风干含水率（%）；

m_{dg}——化学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 cm×60 cm×7 cm）内，按式(31.2.3）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、石灰粉煤灰综合改良土和水泥石灰综合改良土等，可先将石灰、粉煤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，含土很少的未筛分砂砾或砂约2 h。

4 化学改良土应根据设计要求和施工工艺确定延迟时间H。在浸润后的试料中加入所需外掺料，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。拌和料应用湿布覆盖，在延时（$H-1$）h内，每半小时用小铲或其他拌和工具充分搅拌，并在1 h内完成试件制备全过程。水泥或石灰的剂量按干土质量的百分率计。

31.3.4 试件制备宜采用静力压实法或锤击法，制备方法应符合下列规定：

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。

$$m_{sg} = \rho_{dg}V(1+0.01w_{sg}) \tag{31.3.4}$$

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（%）；

国家铁路局信息公开 浏览专用

ρ_{dg}——化学改良土试件的干密度（g/cm³）；

V——试模的容积（cm³）。

1）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，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，ϕ50 mm×50 mm 试件准确至 1 g；ϕ100 mm×100 mm 试件准确至 2 g；最后用游标卡尺量试件高度，准确至 0.1 mm。

2）ϕ50 mm×50 mm 试件可以将试料一次倒入试模中，上下压柱各露出试模外约 2 cm。

3）用水泥改良具有黏结性的材料制成的试件可以立即脱模，用水泥改良无黏结性材料制成试件宜过数小时后再脱模。

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，保护锤面和压柱顶面不受损伤。

31.3.5 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，养生时试件应采用塑料薄膜包复。

2 养生时间视需要而定（宜为 7 d、14 d、28 d 等）。养生期间的温度应控制在（20±2)℃，相对湿度控制在 95%。

3 养生期的最后一天，将试件再次称量。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。养

生期间试件质量的损失：ϕ50 mm×50 mm 试件不得超过 1 g；ϕ100 mm×100 mm 试件不得超过 4 g。试件质量损失超过此规定的，应作废。

31.3.6 试验操作应符合下列规定：

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。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 31.1.4 条规定测定其含水率。

31.3.7 试验结果应按下式计算：

$$q_u = \frac{P}{A} \tag{31.3.7}$$

式中 q_u——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（mm^2）。

31.3.8 本试验允许相对标准偏差应符合下列规定：

1 无测限抗压强度相对标准偏差

$$CV = (S/\bar{q}_u) \times 100$$

$$\bar{q}_u = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} q_u \tag{31.3.8}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(q_u - \bar{q}_u)^2}$$

式中 CV——相对标准偏差（%）；

$\bar{q}_u$——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。

国家铁路局信息公开 仅供浏览专用

2　允许相对标准偏差 CV：ϕ50 mm×50 mm 试件不得大于 10%，ϕ100 mm×100 mm 试件不得大于 15%。相对标准偏差大于允许差值时，应重新进行试验。

31.3.9　记录格式应符合表 31.3.9 的要求。

表 31.3.9　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 q_u(MPa)												
试件破坏后含水率 w(%)												
无侧限抗压强度试验结果	平均强度 $\bar{q}_u$(MPa)		标准偏差 S(MPa)		相对标准偏差 CV(%)							
附注：												

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

国家铁路局信息公开浏览专用

31.4 水泥或石灰的剂量测定（EDTA 滴定法）

31.4.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 分析筛：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 100 g，分度值 0.1 g；称量 500 g，分度值 0.5 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 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。

31.4.2 试剂配制应符合下列规定：

1 0.1mol/L，c(EDTA) 标准溶液：准确称取乙二胺四乙酸二钠（$C_{10}H_{14}N_2O_8Na_2 2H_2O$）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。

国家铁路局信息公开 试验专用

4　钙指示剂：称取钙指示剂（$C_{21}H_{13}O_7N_2SNa$）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。

31.4.3　标准曲线绘制应符合下列规定：

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　混合料组成的计算

1）干混合试料的质量＝湿混合料质量/(1＋混合料最优含水率)

2）干土的质量＝干混合料质量/(1＋石灰或水泥剂量)

3）干石灰（或水泥）质量＝干混合料质量－干土质量

4）风干土质量＝干土质量×(1＋风干土含水率)

5）风干石灰的质量＝干石灰质量×(1＋风干石灰含水率)

6）应加水的质量＝湿混合料质量－风干土质量－风干石灰质量

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，每份混合料为 300 g。

1）试样 1，准备水泥或石灰剂量为 0% 的混合料试样两份，每份 300 g，分别放入 2 个搪瓷杯中，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。

国家铁路局信息公开 浏览专用

3）试样3、4、5，各准备水泥或石灰剂量分别为4%、6%、8%的混合料试样各两份，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，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，记录所需时间，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。将上部清液移至300 mL烧杯中，盖上表面皿待测。

混合料是细粒土时，每份混合料的质量由300 g减为100 g，加入10% NH_4Cl 的溶液由600 mL减为200 mL。另外绘制的水泥或石灰剂量为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%NaOH（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，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，如图31.4.3所示。

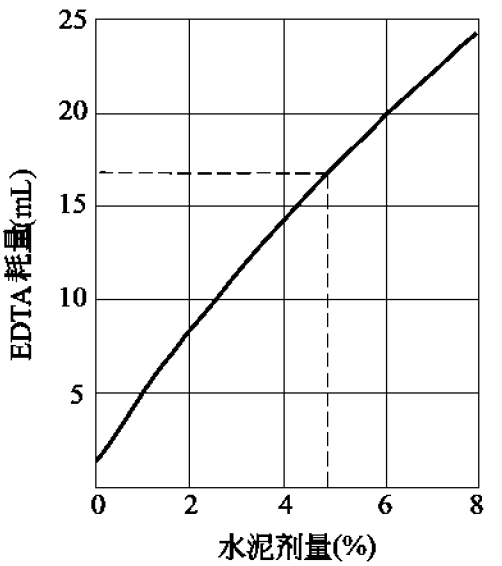


图31.4.3 标准曲线

31.4.4 试验操作应符合下列规

国家铁路局信息公开
测试专用

定：

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 31.4.3 条第 4～5 款操作，测得 EDTA 标准溶液用量。

2 利用图 31.4.3 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（%）。

31.4.5 记录格式应符合表 31.4.5 的要求。

表 31.4.5 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

国家铁路局信息公开
浏览专用

32 地基系数试验

32.0.1 本试验可用于测定土体在荷载作用下，下沉量基准值所对应的荷载强度与下沉量基准值的比值。本试验规定下沉量基准值为 1.25 mm。

32.0.2 本试验适用于各类土和土石混合填料，其最大粒径不宜大于承载板直径的 1/4，测试有效深度约为承载板直径的 1.5 倍。根据填料的最大粒径可以采用直径 300 mm、400 mm 或 600 mm的承载板，采用直径 300 mm、400 mm 及 600 mm 的承载板试验时，地基系数分别以 K_{30}、K_{40}及 K_{60}表示，并按下式换算：$K_{30}=1.3K_{40}$，$K_{30}=1.8K_{60}$。

32.0.3 试验场地及环境条件应符合下列规定：

1 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，试验应置于其影响以下进行。

2 试验应避免在测试面过湿或干燥的情况下进行，宜在压实后 4 h 内检测。

3 测试面应平整无坑洞。

4 试验时测试面应远离震源。

5 雨天或风力大于 6 级的天气不得进行试验。

32.0.4 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定，荷载及沉降测量宜采用数据自动采集、数字显示的仪器。

1 承载板：承载板为圆形钢板，其直径分为 300 mm、400 mm和 600 mm。承载板直径偏差不应大于 0.5 mm，厚度偏差不应大于 0.2 mm。承载板表面粗糙度不应大于 6.3 μm。

1）直径为 300 mm 的承载板，板厚为 25 mm，承载板上应带有水准泡。

2）直径 400 mm 的承载板，可由以下装置组成：直径 400 mm、厚度为 15 mm 的承载板，定位装置和直径 300 mm 的承载板；如图 32.0.4—1 所示。

3）直径 600 mm 的承载板，可由以下装置组成：直径 600 mm、厚度为 20 mm 的承载板，6 块等间距排列的宽 20 mm、高 60 mm 的加固肋板（顶面平整并平行于承载板板面），3 个定位装置，直径 300 mm 的承载板；如图 32.0.4—2 所示。

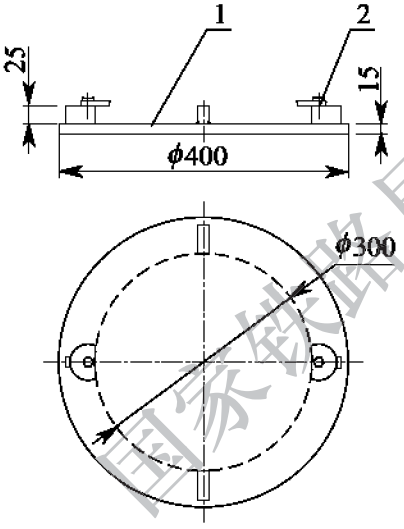


图 32.0.4—1　直径 400 mm 的承载板
1—ϕ400 mm 钢板；2—定位装置

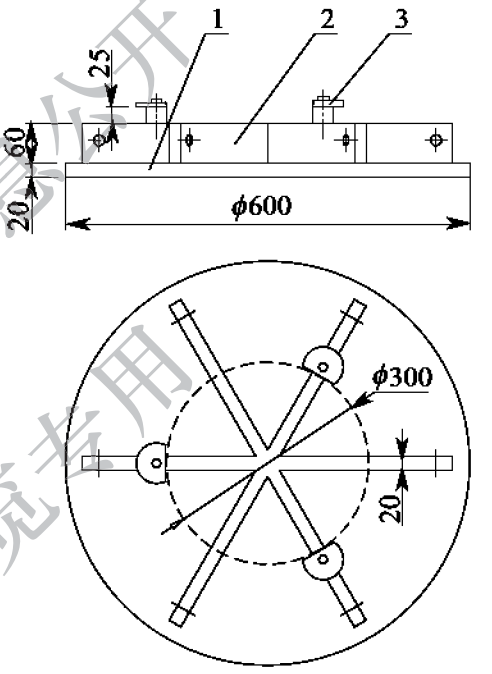


图 32.0.4—2　直径 600 mm 的承载板
1—ϕ600 mm 钢板；2—肋板；3—定位装置

2　加载装置：

1）千斤顶与手动液压泵，通过高压油软管连接，液压系统不得渗漏油。千斤顶顶端应设置球铰，并配有可调节丝杆和加长杆件。直径 300 mm、400 mm 和 600 mm 承载板选用的千斤顶最大承载力应分别不小于 50 kN、65 kN 和 100 kN。

2）高压油软管长度不应小于 1.8 m，两端应装有自动开

国家铁路局信息公开
浏览专用

闭阀门的快速接头。

3）手动液压泵上应装有一个可调节减压阀，并可准确地对承载板实施分级加、卸载。

4）荷载量测装置宜采用误差不大于1%的测力计、力传感器或精度不低于0.4级的防震压力表。

3 反力装置的承载能力应大于最大试验荷载10 kN以上。

4 下沉量测量装置由测桥和下沉量测表组成。下沉量测表可采用百分表或位移传感器，并应配有可调式固定支架；下沉量测表最大误差不应大于0.04 mm，分辨力不应低于0.01 mm，量程不应小于10 mm。

1）采用2～3只下沉量测表测量承载板下沉量的地基系数测试仪（如图32.0.4—3所示），其测桥可由长度大于3 m的支承梁和支撑座组成，用于安装测表固定支架或作为下沉量测表量测基准面，支承梁应具有足够的刚度。下沉量测表应沿承载板周边等分布置，并且应与承载板中心保持等距离。

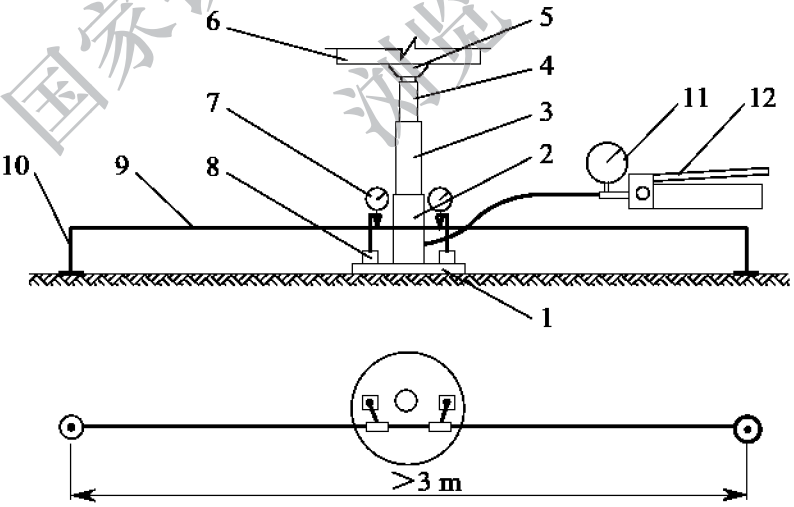


图32.0.4—3 配2只下沉量测表的地基系数测试仪

1—承载板；2—千斤顶；3—加长杆件；4—调节丝杆；5—球铰座；6—反力装置；7—下沉量测表；8—测表固定支架；9—支撑梁；10—支撑座；11—压力表；12—手动液压泵

国家铁路局信息公开 试读专用

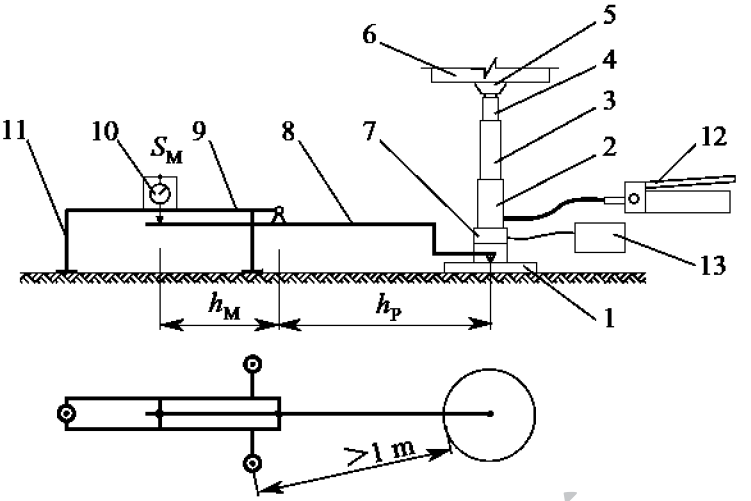


图 32.0.4—4　杠杆式单点测量下沉量的地基系数测试仪

1—承载板；2—千斤顶；3—加长杆件；4—调节丝杆；5—球铰座；6—反力装置；7—力传感器；8—测量臂；9—支撑架；10—下沉量测表；11—支撑座；12—手动液压泵；13—数据采集装置

2）采用中心单点测量承载板下沉量的地基系数测试仪，测桥的测量臂可采用杠杆式（如图 32.0.4—4 所示），测量臂应有足够的刚度。杠杆式测量臂杠杆比 $h_P:h_M$ 可在1∶1至2∶1范围内选择，选定后不得改变。测桥支撑座与承载板外缘的距离应不小于 1 m。

5　其他：铁锹、钢板尺、毛刷、圬工泥刀、刮铲、水准仪、铅垂、褶尺、干燥中砂、石膏、油、遮阳挡风设施等。

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

32.0.6　试验操作应符合下列规定：

1　场地测试面应进行平整，用毛刷扫去松土。并将测试面做成水平。

2　安置地基系数测试仪：

1）将承载板放置于测试面上，承载板应与地面完全接触，必要时可铺设一层厚 2～3 mm 的干燥砂或石膏腻子，同时利用承载板上水准泡或水准仪来调整承载

国家铁路局信息公开浏览专用

板水平。采用石膏腻子做垫层时，应在承载板底面上抹一层油膜，然后将承载板安放在石膏层上，左右转动承载板并轻轻击打顶面，使其与地面完全接触，被挤出的石膏应在凝固前清除，直至石膏凝固以后方可进行测试。

2）将反力装置承载部分安置于承载板上方，并加以制动。反力装置的支撑点与承载板外缘的距离不得小于1 m。

3）将千斤顶放置于反力装置下面的承载板上，利用加长杆和调节丝杆，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，测桥支撑座与承载板外缘、反力装置支承点的距离不应小于1 m。采用2～3只下沉量测表测量时，测表应沿承载板周边等分布置，并与承载板中心保持等距离。

3 加载试验：

1）预加荷载，30 s后卸除荷载，然后等待30 s后，将下沉量测表调至零位或读取测表读数作为下沉量的起始读数。直径为300 mm、400 mm和600 mm的承载板预加荷载分别为0.04 MPa、0.03 MPa和0.02 MPa。

2）以0.04 MPa的增量，逐级加载。每增加一级荷载，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，每级荷载的稳定时间不得少于3 min。试验中施加了比原定荷载值高的荷载时，应保持该荷载，并在试验记录单中记录该荷载和该荷载下的下沉量读数。

3）达到下列条件之一时，试验即可终止：

国家铁路局信息公开 浏览专用

① 总下沉量超过规定的基准值（1.25 mm），且加载级数至少 5 级；

② 荷载强度大于设计标准对应荷载值的 1.3 倍，且加载级数至少 5 级；

③ 荷载强度达到地基屈服点。

4 试验过程中出现承载板严重倾斜、承载板过度下沉及试验数据异常等情况时，应查明原因，另选点进行试验，并在试验记录表中注明。

32.0.7 荷载强度与下沉量关系曲线及试验结果计算应符合下列规定：

1 根据试验结果绘出荷载强度与下沉量关系曲线，如图 32.0.7—1 所示。宜采用计算机或编制软件程序按二次方程拟合，绘制荷载强度与下沉量关系曲线。采用手工描绘曲线时，应使曲线圆滑，且尽量接近各点。

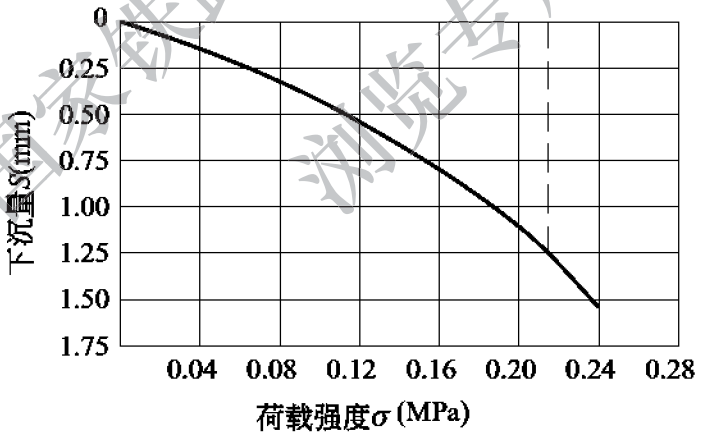


图 32.0.7—1 荷载强度 σ 与下沉量 S 关系曲线

2 曲线的开始段呈凹形或不经过坐标原点时，应按下列规定进行修正：

1）采用计算机或编制软件程序绘制荷载强度与下沉量关系曲线时，曲线与纵坐标交点为修正后的原点，如图

国家铁路局信息公开 浏览专用

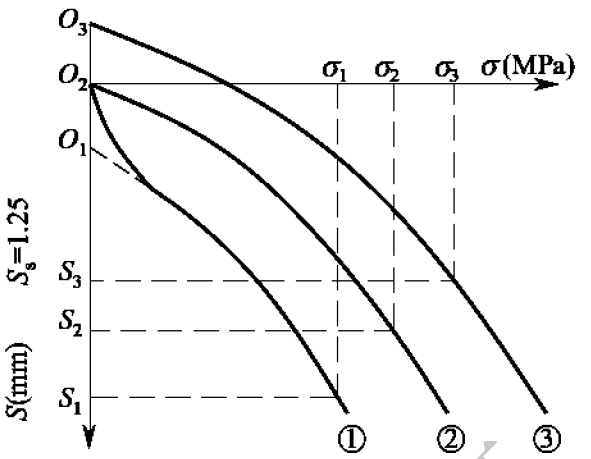


图 32.0.7—2 曲线修正示意

32.0.7—2 所示。

2）手工描绘荷载强度与下沉量关系曲线时，采用作图法修正，如图 32.0.7—2 所示。试验结果曲线初始部分呈凹形时，应在曲线变曲率点引一切线与纵坐标相交于 O_1 点，O_1 点即为修正后的原点。

3 从荷载强度与下沉量关系曲线中得出下沉量基准值（1.25 mm）对应的荷载强度，并按下式计算地基系数：

$$K_s=\sigma_s/S_s \tag{32.0.7}$$

式中 K_s——由圆形承载板测得的地基系数（MPa/m），计算至 1 MPa/m；直径 300 mm、400 mm 及 600 mm 的承载板测得的地基系数分别以 K_{30}、K_{40} 及 K_{60} 表示。

σ_s——荷载强度 σ 与下沉量 S 关系曲线中下沉量基准值对应的荷载强度（MPa）；

S_s——下沉量基准值（1.25×10^{-3} m）。

32.0.8 记录格式应符合表 32.0.8 的要求。

国家铁路局信息公开 试读专用

表 32.0.8　地基系数试验记录

试验编号：_____　　工程名称：_____

检测里程：_____　　检测部位：_____

填层厚度：_____　　检测标高：_____

填料类型：_____　　填料最大粒径：_____

仪器型号：_____　　承载板直径：_____

加载顺序	荷载强度 σ(MPa)	油压表读数 P(MPa)	下沉量(百分表读数)(mm)				承载板中心下沉量 S(mm)
			表 1	表 2	表 3	平均值 S	
预压							
复位							
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							
9							
10							

荷载强度 σ-下沉量 S 关系曲线：

下沉量基准值 1.25 mm 对应的荷载强度 σ_s：_____ MPa

地基系数 K_s：_____ MPa/m

附注：

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

国家铁路局信息公开浏览专用

33　二次变形模量试验

33.0.1　本试验可用于测定第二次加载承载板下应力和与之相对应的承载板中心沉降量，计算变形模量 E_{v1}、E_{v2}及 E_{v2}/E_{v1}值。

33.0.2　本试验应采用直径 300 mm 承载板，适用于粒径不大于承载板直径 1/4 的各类土和土石混合填料，测试有效深度约为承载板直径的 1.5 倍。

33.0.3　试验场地及环境条件应符合本规程第 32.0.3 条的规定。

33.0.4　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　承载板：承载板为圆形钢板，其直径应为（300±0.5)mm，厚度应为（25±0.2)mm，承载板上应带有水准泡，承载板表面粗糙度不应大于 6.3 μm。

2　加载装置：

1）千斤顶与手动液压泵通过高压油软管连接，液压系统不得渗漏油。千斤顶顶端应设置球铰，并配有可调节丝杆和加长杆件，千斤顶的最大承载力应不小于 50 kN。

2）高压油软管长度不应小于 1.8 m，两端应装有自动开闭阀门的快速接头。

3）手动液压泵上应装有可调节减压阀，可准确地对承载板进行分级加、卸载。

4）千斤顶两边应固定，确保不倾斜，千斤顶活塞的行程不应小于 150 mm。试验过程中，千斤顶高度不应超过 600 mm。

3　反力装置：反力装置的承载能力应大于最大试验荷载 10 kN以上。

4　荷载测量装置的测表量程应达到最大试验荷载的 1.25

国家铁路局标准公开
测试专用

倍，最大误差应不大于1%，显示值应能保证承载板上的荷载强度有效位至少达到0.001 MPa。

5 沉降测量装置：

1）沉降测量装置应由测桥和测表组成，承载板沉降应采用中心单点测量方式测量。

2）测桥的测量臂可采用杠杆式（如图33.0.4—1所示）或垂直抽拉式（如图33.0.4—2所示）。测量臂应有足够的刚度。

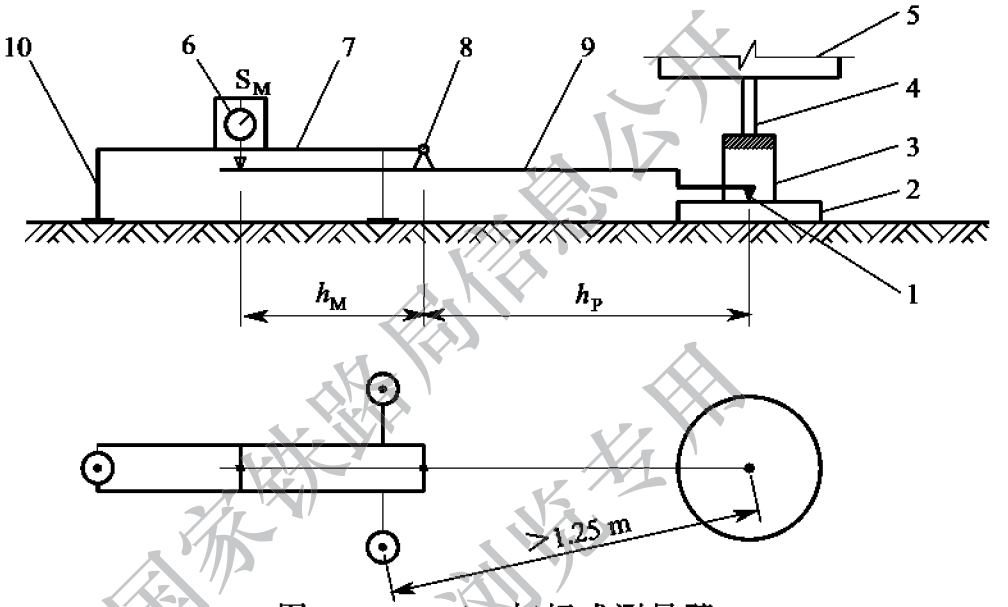


图33.0.4—1 杠杆式测量臂

1—触点；2—承载板；3—千斤顶；4—加长杆件；5—反力装置；6—沉降测表；7—支撑架；8—杠杆支点；9—测量臂；10—支撑座

3）承载板中心至测桥支撑座的距离应大于1.25 m。杠杆式测量臂杠杆比h_P:h_M可在1:1至2:1范围内选择，选定后不得改变。

4）沉降测表最大误差不应大于0.04 mm，分辨力应达到0.01 mm，量程不应小于10 mm。

6 其他：铁锹、钢板尺、毛刷、刮铲、水准仪、铅锤、褶尺、干燥中砂、石膏粉、油、遮阳挡风设施等。

33.0.5 试验仪器标定应符合下列规定：

国家铁路局信息公开 试读专用

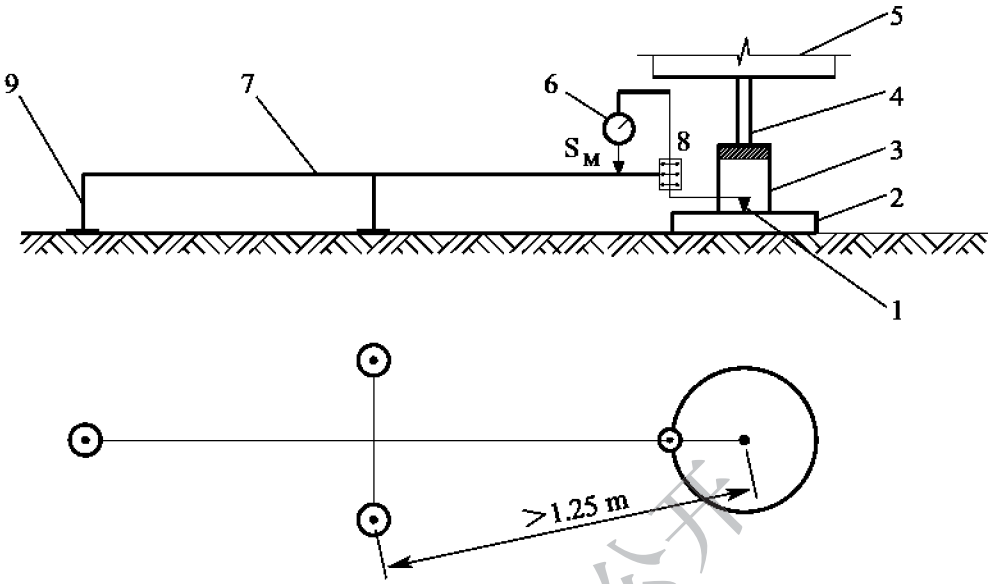


图 33.0.4—2　垂直抽拉式测量臂

1—触点；2—承载板；3—千斤顶；4—加长杆件；5—反力装置；6—沉降测表；7—支撑架；8—垂直支架；9—支撑座

1　传感器、测表应按国家有关规定进行检定。

2　二次变形模量测试仪必须每年检定一次。

33.0.6　试验操作应符合下列规定：

1　按本规程第 32.0.6 条第 1 款进行场地平整。

2　按本规程第 32.0.6 条第 2 款的规定安置仪器。安置测桥时应将沉降测量装置的触点自由地放入承载板上测量孔的中心位置，沉降测表应与测试面垂直。承载板外缘与反力装置支撑点的距离不得小于 0.75 m，测桥支撑座与反力装置支撑点的距离不得小于 1.25 m。试验过程中测桥和反力装置不得晃动。沉降测量装置应有遮阳挡风设施。

3　预加 0.01 MPa 荷载约 30 s 后，卸除荷载，将沉降测表读数调零。

4　加载与卸载应符合下列要求：

1）试验第一次加载应至少分 6 级，并以相等的荷载增量（0.08 MPa）逐级加载，达到最大荷载为 0.5 MPa 或

沉降量达到 5 mm 后再进行卸载。当沉降量达到 5 mm 且该级荷载小于0.5 MPa时，该级荷载视为最大荷载。

2）卸载时，应按最大荷载的 50%、25%和 0 三级进行。

3）卸载后，按照第一次加载的操作步骤，并保持与第一次加载时各级相同的荷载进行第二次加载，直至第一次所加最大荷载的倒数第二级。

4）每级加载或卸载过程应在 1 min 内完成。

5）加载或卸载时，每级荷载的保持时间应为 2 min，荷载应保持恒定。

6）试验中施加了比预定荷载大的荷载时，应保持该荷载，并将其记录在试验记录表中，加以注明。

7）试验过程中出现承载板严重倾斜，以至承载板水准泡上的气泡不能与圆圈标志重合或承载板过度下沉及量测数据出现异常等情况时，应查明原因，另选点进行试验，并在试验记录表中注明。

33.0.7 承载板中心沉降量 S 应按下式计算：

$$S=S_{\mathrm{M}}\frac{h_{\mathrm{P}}}{h_{\mathrm{M}}} \tag{33.0.7}$$

式中 S——承载板中心沉降量（mm）；

S_{M}——沉降测表读数（mm）；

$h_{\mathrm{P}}/h_{\mathrm{M}}$——杠杆比。

33.0.8 根据试验结果绘制应力-沉降曲线，如图 33.0.8 所示。应力-沉降曲线应采用二次方程曲线拟合，不得绘制成折线或其他形式曲线，曲线上应用箭头标明受力方向。

33.0.9 结果计算应符合下列规定：

1 第一次加载和第二次加载所得到的应力-沉降曲线，可用下式表达：

$$S=a_0+a_1\cdot\sigma+a_2\cdot\sigma^2 \tag{33.0.9—1}$$

式中 σ——承载板下应力（MPa）；

国家铁路局标准 公开 试行 专用

S——承载板中心沉降量（mm）；

a_0——常数项（mm）；

a_1——一次项系数（mm/MPa）；

a_2——二次项系数（mm/MPa^2）。

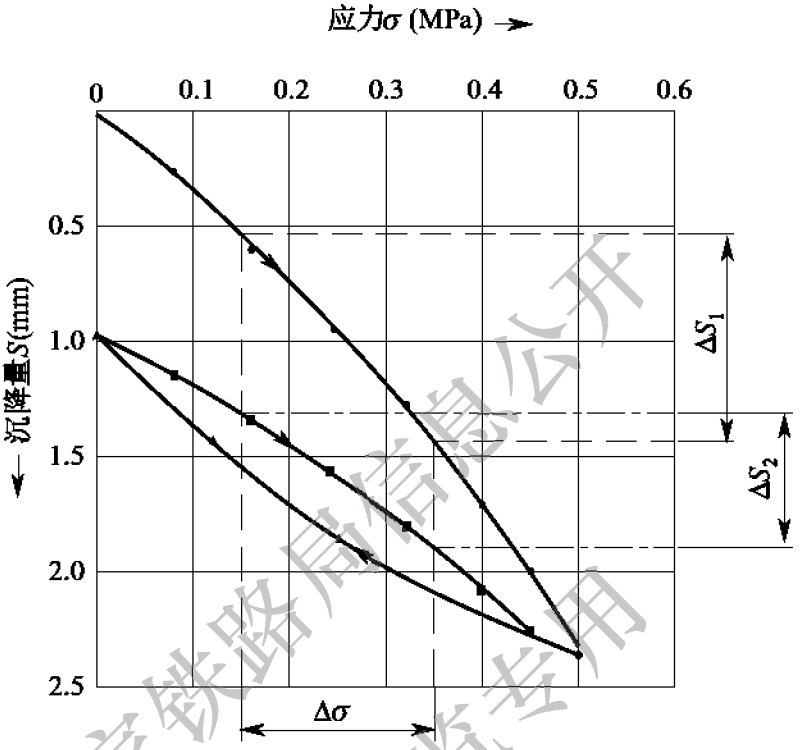


图 33.0.8　应力-沉降曲线

2　应力-沉降曲线方程的系数是将测试值按最小二乘法计算得到的，用于计算系数的方程式为：

$$a_0 \cdot n + a_1 \sum_{i=1}^{n} \sigma_i + a_2 \sum_{i=1}^{n} \sigma_i^2 = \sum_{i=1}^{n} S_i \qquad (33.0.9\text{—}2)$$

$$a_0 \sum_{i=1}^{n} \sigma_i + a_1 \sum_{i=1}^{n} \sigma_i^2 + a_2 \sum_{i=1}^{n} \sigma_i^3 = \sum_{i=1}^{n} S_i \cdot \sigma_i \qquad (33.0.9\text{—}3)$$

$$a_0 \sum_{i=1}^{n} \sigma_i^2 + a_1 \sum_{i=1}^{n} \sigma_i^3 + a_2 \sum_{i=1}^{n} \sigma_i^4 = \sum_{i=1}^{n} S_i \cdot \sigma_i^2 \qquad (33.0.9\text{—}4)$$

式中　σ_1，S_1；σ_2，S_2；…；σ_n，S_n——分别为每级荷载的应力和相应的承载板中心沉降量测试值。

国家铁路局信息公开 浏览专用

3 变形模量是通过应力-沉降曲线在 $0.3\sigma_{1max}$ 和 $0.7\sigma_{1max}$ 之间割线的斜率确定的，变形模量应按下式计算：

$$E_{vi}=1.5r\frac{1}{a_1+a_2\sigma_{1max}} \qquad (33.0.9\text{—}5)$$

式中 E_{vi}——变形模量（MPa）；

r——承载板半径（mm）；

σ_{1max}——第一次加载最大应力（MPa）；

a_1——一次项系数（mm/MPa）；

a_2——二次项系数（mm/MPa^2）。

33.0.10 记录格式应符合表 33.0.10 的要求。

表 33.0.10 二次变形模量 E_{v2} 试验记录

试验编号：_____ 工程名称：_____

检测里程：_____ 检测部位：_____

填层厚度：_____ 检测标高：_____

填料类型：_____ 填料最大粒径：_____

仪器型号：_____ 杠杆比 h_p/h_M：_____

加载顺序		荷载 F(kN)	应力 σ(MPa)	沉降测表读数 S_M(mm)	承载板中心沉降量 S(mm)
预压					
复位					
第一次加载	1				
	2				
	3				
	4				
	5				
	6				
	7				
卸载	8				
	9				
	10				

国家铁路局信息公开 浏览专用

续表 33.0.10

加载顺序		荷载 F(kN)	应力 σ(MPa)	沉降测表读数 S_M(mm)	承载板中心沉降量 S(mm)
第二次加载	11				
	12				
	13				
	14				
	15				
	16				

应力 σ-沉降量 S 关系曲线：	指标	第一次加载	第二次加载
	σ_{max}(MPa)		
	a_0(mm)		
	a_1(mm/MPa)		
	a_2(mm/MPa^2)		
	$E_{vi}=1.5r\dfrac{1}{a_1+a_2\sigma_{1max}}$(MPa)		
	E_{v2}/E_{v1}		

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

国家铁路局信息公开浏览专用

34　动态变形模量试验

34.0.1　本试验可用于测定土体在落锤冲击荷载作用下的沉陷值，计算土体的动态变形模量 E_{vd}。

34.0.2　本试验适用于粒径不大于承载板直径 1/4 的各类土和土石混合填料，测试有效深度约为承载板直径的 1.5 倍。

34.0.3　试验场地及环境条件应符合下列规定：

1　测试面宜水平，其倾斜度不大于 5°。

2　测试面应平整无坑洞。

3　试验时测试面应远离震源。

34.0.4　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　动态变形模量测试仪由加载装置、承载板、沉陷测定仪三部分组成，如图 34.0.4 所示。

2　加载装置：加载装置主要由落锤、挂（脱）钩装置、导向杆、阻尼装置构成。

1）落锤重：10 kg。

2）最大冲击力：(7 070±70.7)N。

3）冲击持续时间：(18±2)ms。

4）导向杆应平直、光洁。

3　承载板：承载板为圆形钢板，并安装有测振传感器。承载板直径应为 (300±0.5)mm，厚度应为 (20±0.2)mm，承载板表面粗糙度不应大于 6.3 μm，测振传感器必须牢固密贴地安装在承载板的中心位置。

4　沉陷测定仪：沉陷测定仪主要由数据采集装置、显示器和打印机构成。

1）沉陷测试范围：(0.1～2.0)mm±0.04 mm。

国家铁路局信息公开　浏览专用

2）动态变形模量测试范围：10 MPa≤E_{vd}≤225 MPa。

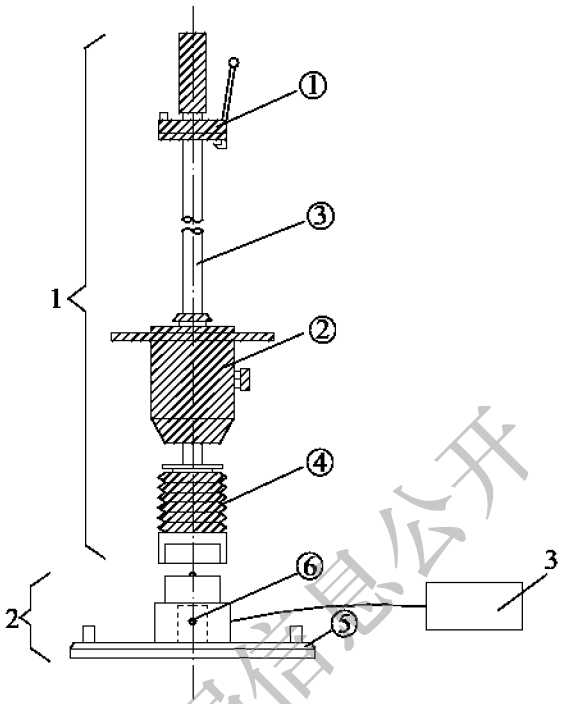


图 34.0.4　动态变形模量测试仪

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

34.0.5　试验仪器的检定和落距的检查应符合下列规定：

1　试验仪器必须每年检定一次。

2　仪器在每次试验前应检查仪器标明的落距。

34.0.6　试验操作应符合下列规定：

1　场地测试面应平整，用毛刷扫去松土。测试面宜做成水平，其倾斜度不大于5°，必要时可用少量干燥砂补平。

2　将承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。

3　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。

4　正式测试时按本条第3款的操作方法进行三次冲击测试，

国家铁路局信息公开
试读专用

作为正式测试记录。测试时应避免荷载板的移动和跳跃。

34.0.7 试验结果应按下式计算：

$$E_{vd}=1.5r\sigma/s \qquad (34.0.7\text{—}1)$$

式中 E_{vd}——动态变形模量（MPa），计算至0.1 MPa；

r——圆形刚性承载板半径（mm），即 $r=150$ mm；

σ——承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——承载板沉陷值（mm）；

试验结果可采用式(34.0.7—2)简化公式计算：

$$E_{vd}=22.5/s \qquad (34.0.7\text{—}2)$$

34.0.8 记录格式应符合表34.0.8的要求。

表34.0.8 动态变形模量试验记录

试验编号：_____ 工程名称：_____

检测里程：_____ 检测部位：_____

填层厚度：_____ 检测标高：_____

填料类型：_____ 填料最大粒径：_____

仪器型号：_____

冲击顺序	沉陷值 s_i(mm)	平均沉陷值 s(mm)	动态变形模量 $E_{vd}=22.5/s$(MPa)	备注

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

国家铁路局信息公开浏览专用

35 黄土湿陷性试验

35.1 一 般 规 定

35.1.1 本试验可用于测定黄土变形和压力的关系，计算黄土的湿陷系数、自重湿陷系数、溶滤变形系数和湿陷起始压力。

35.1.2 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。

35.1.3 本试验的变形稳定标准为0.01 mm/h。

35.2 湿陷系数的测定

35.2.1 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。

35.2.2 试验操作应符合下列规定：

1 切土时，试样的加荷方向应与土层受压方向一致。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款步骤进行。浸水水质应采用纯水，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，应立即卸除预压力，按每级加荷时间间隔1 h分级加荷至试样的规定压力，0～200 kPa压力以内，每级增量宜为50 kPa；大于200 kPa压力，每级增量宜为100 kPa。

4 加压等级一般为50 kPa、100 kPa、150 kPa、200 kPa，最后一级压力应按取土深度而定。从基底（如基底标高不确定时，自地面下1.5 m）算起至10 m深度以内，压力为200 kPa；

国家铁路局信息公开 浏览专用

10 m 以下至非湿陷性土层顶面，应用其上覆土层的饱和自重压力（当大于 300 kPa 时，仍应用 300 kPa）；基底压力大于 300 kPa 时，宜按实际压力确定；压缩性较高的新近堆积黄土，基底下 5 m 以内的土层应用 100～150 kPa 压力，5～10 m 和 10 m 以下至非湿陷性黄土层顶面，应分别用 200 kPa 和上覆土的饱和自重压力。

5 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。

6 拆卸仪器及试样应符合本规程第 15.2.2 条第 11 款的规定。

35.2.3 试验结果应按下式计算：

$$\delta_s=\frac{h_p-h'_p}{h_0} \tag{35.2.3}$$

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）。

35.2.4 记录格式应符合表 35.2.4 的要求。

35.3 自重湿陷系数的测定

35.3.1 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 35.2.1 条规定。

35.3.2 试验操作应符合下列规定：

1 试样制备及安装应按本规程第 35.2.2 条第 1 款至第 2 款步骤进行。

2 土的饱和自重压力按下式计算确定。

国家铁路局信息公开 浏览专用

表 35.2.4　黄土湿陷性试验记录

试样编号：_____　　试样初始高度：_____ mm　试样含水率：_____

仪器号：_____　试验方法：_____　试样密度：_____　颗粒密度：_____

压力(kPa) / 变形(mm)									浸水湿陷		浸水溶滤	
	时间(h)	读数(mm)	时间(h)	读数(mm)	时间(h)	读数(mm)	时间(h)	读数(mm)	时间(h)	读数(mm)	时间(h)	读数(mm)
总变形量												
仪器变形量												
试样变形量												
试样高度												
	自重湿陷系数 $\delta_{zs}=\frac{h_z-h'_z}{h_0}$				湿陷变形系数 $\delta_s=\frac{h_p-h'_p}{h_0}$				溶滤变形系数 $\delta_{wt}=\frac{h'_p-h_s}{h_0}$			

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

$$P_z=g_n\sum_{i=1}^{n}\rho_{sri}H_i \tag{35.3.2—1}$$

$$\rho_{sri}=\frac{\rho_{oi}}{1+0.01w_{oi}}\left(1-\frac{0.85}{\rho_{si}}\rho_{w4}\right)+0.85\rho_{w4} \tag{35.3.2—2}$$

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（=9.81 m/s²）；

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/cm³）；

国家铁路局信息公开 浏览专用

ρ_{oi}——第 i 层土的密度（g/cm³）；

w_{oi}——第 i 层土的含水率（%）；

ρ_{si}——第 i 层土的颗粒密度（g/cm³）；

ρ_{w4}——4 ℃时水的密度（g/cm³）。

3 将试样保持在天然湿度下，施加土的饱和自重压力。饱和自重压力小于 50 kPa 时，可一次施加；大于 50 kPa 时，应按每级加荷时间间隔 1 h 分级加荷。加至试样上覆土的饱和自重压力下沉稳定后，试样浸水饱和，附加下沉稳定，试验终止。

4 拆卸仪器及试样应符合本规程第 15.2.2 条第 11 款的规定。

35.3.3 试验结果应按下式计算：

$$\delta_{zs}=\frac{h_z-h'_z}{h_0} \tag{35.3.3}$$

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）。

35.3.4 记录格式应符合本规程表 35.2.4 的要求。

35.4 溶滤变形系数的测定

35.4.1 本试验采用的仪器设备应符合本规程 35.2.1 条规定。

35.4.2 试验操作应符合下列规定：

1 试验按本规程 35.2.2 条第 1 款至第 6 款的步骤进行后继续用水渗透，每隔 2 h 测记一次变形读数，24 h 后每天测记 1～3 次，直至变形稳定。

2 测记试样溶滤变形稳定读数后，按本标准第 15.2.2 条第 11 款的步骤拆卸仪器及试样。

国家铁路局信息公开 浏览专用

35.4.3 试验结果应按下式计算：

$$\delta_{wt}=\frac{h'_p-h_s}{h_0} \tag{35.4.3}$$

式中 δ_{wt}——溶滤变形系数，计算至0.001；

h'_p——在某级压力下，试样浸水湿陷变形稳定后的高度（mm）；

h_s——某级压力下，长期渗透而引起的溶滤变形稳定后的试样高度（mm）。

35.4.4 记录格式应符合表35.2.4的要求。

35.5 湿陷起始压力的测定

35.5.1 本试验应采用的仪器设备应符合本规程第35.2.1条规定。

35.5.2 单线法试验应符合下列规定：

1 0～150 kPa压力以内，每级增量应为25～50 kPa；大于150 kPa压力每级增量应为50～100 kPa。

2 单线法压缩试验不应少于5个环刀试样，均在天然湿度下分级加荷，分别加至不同的规定压力，下沉稳定后，各试样浸水饱和，附加下沉稳定，试验终止。

35.5.3 双线法试验应按下列步骤进行：

1 取2个环刀试样，分别对其施加相同的第一级压力，下沉稳定后应将2个环刀试验的百分表读数调整一致，调整时并应考虑各仪器变形量的差值。

2 将上述环刀试样中的一个试样保持在天然湿度下分级加荷，下沉稳定后继续加荷，加至最后一级压力，下沉稳定后，试样浸水饱和，附加下沉稳定，试验终止。

3 将上述环刀试样中的另一个试样浸水饱和，附加下沉稳定后，在浸水饱和状态下分级加荷，下沉稳定后继续加荷，加至最后一级压力，下沉稳定，试验终止。

国家铁路局信息公开
试读专用

4 天然湿度的试样，在最后一级压力下浸水饱和，附加下沉稳定后的高度与浸水饱和试样在最后一级压力下的下沉稳定后的高度不一致，且相对差值不大于20%时，应以前者的结果为准，并对浸水饱和试样的试验结果进行修正；相对差值大于20%时，应重新试验。

35.5.4 试验结果应按下式计算及制图：

1 各级压力下的湿陷系数

$$\delta_{sp}=\frac{h_{pn}-h_{pw}}{h_0} \tag{35.5.4}$$

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，如图35.5.4所示。湿陷系数为0.015所对应的压力即为湿陷起始压力。

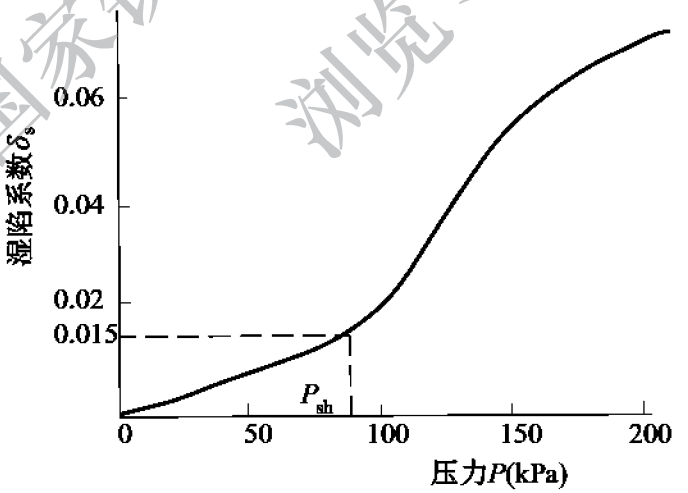


图35.5.4 湿陷系数与压力关系曲线

35.5.5 记录格式应符合表35.5.5的要求。

国家铁路局信息公开 浏览专用

表 35.5.5　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(h)	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

国家铁路局信息公开浏览专用

36 自由膨胀率试验

36.0.1 本试验可用于测定土在无结构情况下的自由膨胀特性，用于对膨胀土的初判。

36.0.2 本试验适用于粒径小于0.5mm的土。

36.0.3 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

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。

36.0.4 试验操作应符合下列规定：

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36.0.4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10 mm距离，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。

国家铁路局信息公开 浏览专用

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，可视为膨胀稳定。若土面倾斜，读数可取中值。

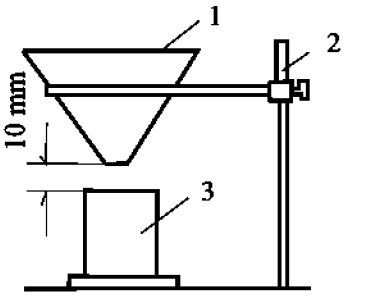


图 36.0.4 漏斗和量土杯位置

1—漏斗；2—支架；3—量土杯

36.0.5 试验结果应按下式计算：

$$F_s=\frac{V_1-V_0}{V_0}\times 100 \qquad (36.0.5)$$

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）。

36.0.6 本试验应进行平行测定，允许平行差值：$F_s<60\%$ 时为 5%；$F_s\geqslant 60\%$ 时为 8%。取其算术平均值。平行测定的差值大于允许差值时，应重新进行试验。

36.0.7 试验记录格式应符合表 36.0.7 的要求。

表 36.0.7 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
					2	4	6	8	10			
	(g)	(mL)		(mL)	(mL)					(mL)	(%)	(%)

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

国家铁路局信息公开 浏览专用

37 膨胀率试验

37.1 一 般 规 定

37.1.1 本试验可用于测定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。

37.1.2 本试验可分为无荷载膨胀率试验和有荷载膨胀率试验。

37.1.3 本试验适用于测定原状土和扰动土击实试样的膨胀率。

37.2 无荷载膨胀率试验

37.2.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 膨胀仪：如图 37.2.1 所示；也可用固结仪，如本规程图 15.2.1 所示。

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。

37.2.2 试验操作应符合下列规定：

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。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。

国家铁路局信息公开 浏览专用

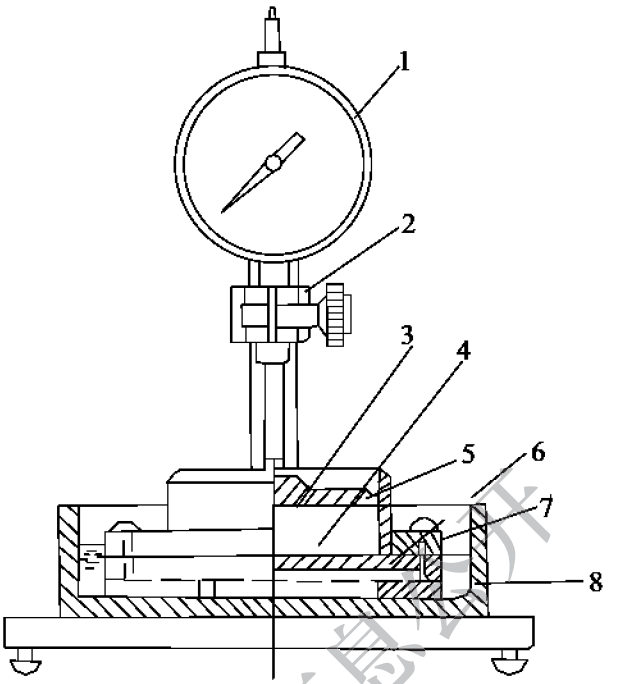


图 37.2.1 膨胀仪示意图

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

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。

4 试验完毕后，吸去容器中的水。从环刀内推出试样，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。

37.2.3 试验结果应按下式计算：

$$V_H=\frac{R_t-R_0}{H_0}\times 100 \qquad (37.2.3)$$

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——试样原始高度（mm）。

37.2.4 记录格式应符合表 37.2.4 的要求。

国家铁路局信息公开
测试专用

表 37.2.4　膨胀率试验记录

试样编号：_____　　仪器号：_____

土颗粒密度 ρ_s：_____(g/cm³)　　压力(kPa)：_____　　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(cm³)	(7)=V_0		(7)=$V_0(1+V_H)$	
	密度(g/cm³)	(8)=(6)/(7)		(8)=(6)/(7)	
干密度(g/cm³)		(9)=(8)/[1+0.01×(3)]		(9)=(8)/[1+0.01×(3)]	
孔隙比		(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

国家铁路局信息公开浏览专用

37.3　有荷载膨胀率试验

37.3.1　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　固结仪：如本规程图 15.2.1 所示，另备一个与环刀内径相同的接环，高 10 mm。试验前，应对固结仪在不同压力下进行仪器变形校正。

2　其他与本规程第 37.2.1 条第 2 款至第 4 款相同。

37.3.2　试验操作应符合下列规定：

1　在环刀内壁涂一薄层凡士林，按本规程第 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。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，安装好百分表，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。要求的压力大于或等于 150 kPa 时，每级增量应为 50 kPa；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。施加最后一级压力后，每小时变形小于 0.01 mm 即可视为变形已稳定。

4　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。

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。

37.3.3　试验结果应按下式计算：

$$V_{HP}=\frac{R_t+R_p+R_0}{H_0}\times 100 \qquad (37.3.3)$$

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）。

37.3.4　记录格式应符合表 37.3.4 的要求。

国家铁路局信息公开浏览专用

表 37.3.4　膨胀率试验记录（不同压力下）

试样编号：_____　　试样初始高度：_____(mm)　干试样质量：_____(g) 环刀号：_____　　试验前湿土质量：_____(g)　试验前含水量：_____(%) 仪器号：_____　　试验后湿土质量：_____(g)　试验后含水量：_____(%) 百分表起始读数：_____(mm)										
阶段	压缩	膨胀	压缩	膨胀	压缩	膨胀	压缩	膨胀	压缩	膨胀
压力(kPa)										
读数时间 (d h min)	百分表读数 (mm)	百分表读数 (mm)	百分表读数 (mm)	百分表读数 (mm)	百分表读数 (mm)	百分表读数 (mm)	百分表读数 (mm)	百分表读数 (mm)	百分表读数 (mm)	百分表读数 (mm)
仪器压缩变形量(mm)										
膨胀量 (mm)										
膨胀率 (%)										

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

国家铁路局信息公开浏览专用

38 膨胀力试验

38.1 一 般 规 定

38.1.1 本试验可用于测定试样在体积不变的条件下，浸水膨胀后所产生的内应力。

38.1.2 本试验根据工程要求，分别采用加荷平衡法、不同压力下膨胀率与膨胀力联合测定法。

38.1.3 本试验适用于原状试样和击实试样的膨胀力测定。

38.1.4 本试验采用的仪器设备应符合本规程第 15.2.1 条的要求。

38.2 加荷平衡法

38.2.1 本试验操作应符合下列规定：

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 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 施加下一级平衡荷载时，百分表指针不仅应回到原位，还应逆时钟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时，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

国家铁路局信息公开
浏览专用

定试验后的含水率、密度，计算孔隙比。

38.2.2 试验结果应按下式计算：

$$P_P=\frac{W\cdot r}{A}\times 10 \tag{38.2.2}$$

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。

38.2.3 记录格式应符合表38.2.3的要求。

表38.2.3 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		(10)=[ρ_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

国家铁路局信息公开 浏览专用

38.3 不同压力下膨胀率与膨胀力联合测定法

38.3.1 本方法的操作步骤及计算应按本规程第 37.3 节的规定进行，一般应测定五个不同压力下的试验数据。

38.3.2 在直角坐标纸上，以各级压力下的膨胀率为纵坐标，压力为横坐标，绘制膨胀率与压力关系曲线，该曲线与横坐标交点的压力即为试样的膨胀力 P_p，如图 38.3.2 所示。

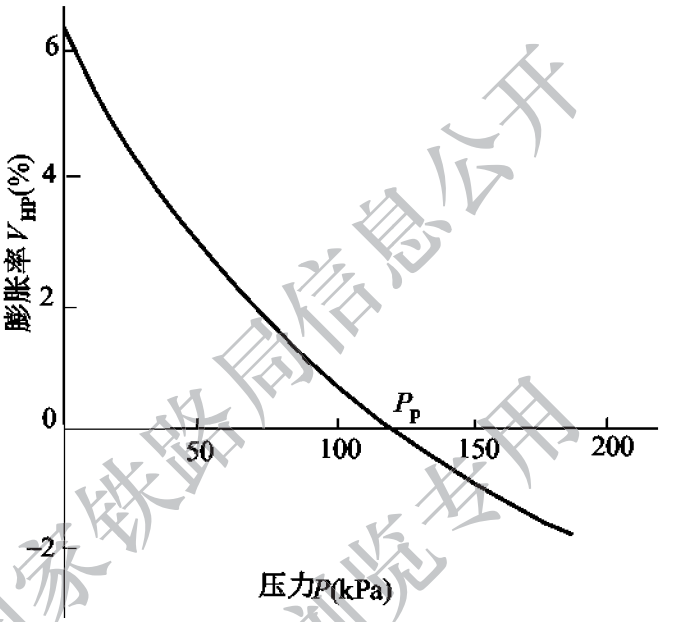


图 38.3.2 膨胀率与压力关系曲线

38.3.3 记录格式应符合表 37.3.4 的规定。

国家铁路局信息公开 浏览专用

39 收 缩 试 验

39.0.1 本试验可用于测定土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。

39.0.2 本试验适用于原状土和击实黏性土。

39.0.3 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 收缩仪：如图 39.0.3 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：电热干燥箱、制样器具及蜡封工具等。

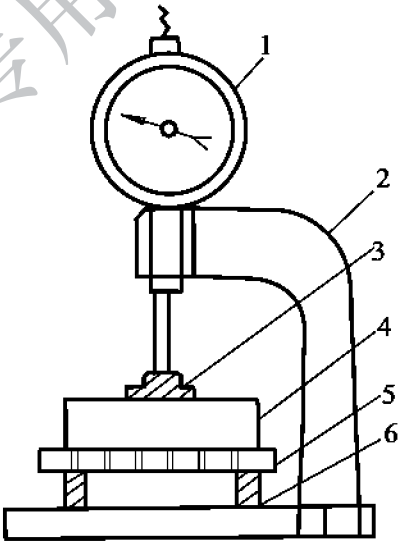


图 39.0.3 收缩仪

1—百分表；2—支架；3—测板；4—试样；5—多孔板；6—垫块

39.0.4 试验操作应符合下列规定：

1 收缩试验的原状土试样应按本规程第 3.4.1 条和第 3.4.2 条的规定进行制备，击实土试样按第 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，在室温（25±5)℃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

国家铁路局信息公开 测试专用

应保持百分表读数不变。在图 39.0.5 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 ℃～110 ℃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。

39.0.5 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

$$w_i=\left(\frac{m_i}{m_d}-1\right)\times 100 \qquad (39.0.5\text{—}1)$$

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

$$e_{si}=\frac{R_t-R_0}{H_0}\times 100 \qquad (39.0.5\text{—}2)$$

式中 e_{si}——试样在某时刻的线缩率（%）；

R_t——某时刻的百分表读数（mm）；

R_0——百分表初始读数（mm）；

H_0——试样初始高度（mm）。

3 体缩率

$$e_v=\frac{V_0-V_d}{V_0}\times 100 \qquad (39.0.5\text{—}3)$$

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

$$C_s=\frac{\Delta e_{si}}{\Delta w} \qquad (39.0.5\text{—}4)$$

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（%）；

国家铁路局信息公开 浏览专用

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 39.0.5 所示。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。

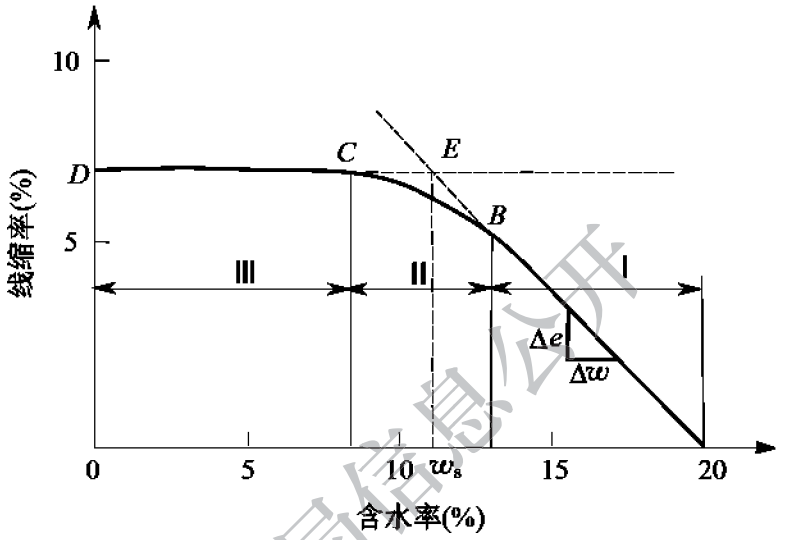


图 39.0.5 线缩率与含水率关系曲线

39.0.6 记录格式应符合表 39.0.6 的要求。

表 39.0.6 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)	(%)	
体缩(%)：_____ 收缩系数：_____ 缩限(%)：_____									

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

国家铁路局信息公开 浏览专用

40 冻土总含水率试验

40.1 一 般 规 定

40.1.1 本试验可用于测定冻土中所含冰和未冻水的总质量与干土质量之比。

40.1.2 本试验的标准方法应为烘干法；现场或需要快速测定含水率时，层（网）状冰构造的黏性土或砂类土冻土，可采用联合测定法。

40.2 烘 干 法

40.2.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 天平：称量 5 000 g，分度值 0.1 g。

2 其余仪器设备应符合本规程第 4.2.1 条的要求。

40.2.2 试验操作应符合下列规定：

1 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，每个试样的质量不得少于 50 g。

2 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

国家铁路局信息公开 浏览专用

第 4.2 节进行。

40.2.3 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可按本规程第 4.2.3 条公式。

2 层（网）状冰构造冻土总含水率，应按下式计算：

$$w_A=\left[\frac{m_1}{m_2}(1+0.01w_n)-1\right]\times 100 \qquad (40.2.3)$$

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（%）。

40.2.4 试验允许差应符合下列规定：

冻土的总含水率应进行平行测定。整体状冰构造冻土的总含水率平行差值应符合表 40.2.4 的规定；层（网）状冰构造冻土的含水率平行差值不应大于 1%。平行测定的差值大于允许差值时，应重新进行试验。

表 40.2.4 整体状冰构造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

40.2.5 整体状冰构造冻土的总含水率记录格式同本规程表 4.2.5。层（网）状冰构造的冻土总含水率记录格式应符合表 40.2.5 的要求。

40.3 联合测定法

40.3.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 排液筒：如图 40.3.1 所示。

2 台秤：称量 10 kg，分度值 1 g。

国家铁路局信息公开 浏览专用

表 40.2.5　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(%)
			盒号	湿试样质量	干试样质量	含水率	平均值	$w_A=\left[\frac{m_1}{m_2}(1+0.01w_n)-1\right]\times 100$
	m_1	m_2		m_a	m_d	w_n	w_n	
	(g)	(g)		(g)	(g)	(%)	(%)	

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

3　量筒：容积 1 000 mL，分度值 10 mL。

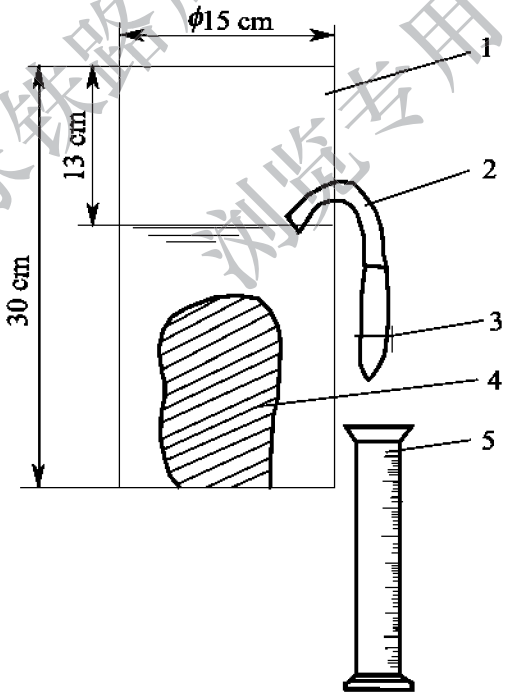


图 40.3.1　排液筒装置示意图

1—排液筒；2—虹吸管；3—止水夹；

4—冻土试样；5—量筒

国家铁路局信息公开
浏览专用

40.3.2 试验操作应符合下列规定：

1 取约 1 000～1 500 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，称排液筒、水和土颗粒的总质量。

5 试验过程中，排液筒在台秤上的位置不得移动，并保持水面平稳，在加水、排水和放入冻土试样时水面不得发生上下剧烈晃动。

6 本试验称量应准确至 1 g。

40.3.3 试验结果应按下列公式计算：

1 冻土密度

$$\rho_{\mathrm{f}}=\frac{m}{m+m_1-m_2}\cdot\rho_{\mathrm{w}} \qquad (40.3.3\text{—}1)$$

式中 ρ_{f}——冻土密度（$\mathrm{g/cm^3}$），计算至 0.01 $\mathrm{g/cm^3}$；

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（$\mathrm{g/cm^3}$）。

2 冻土总含水率

$$w_{\mathrm{A}}=\left[\frac{m\left(\frac{\rho_{\mathrm{s}}}{\rho_{\mathrm{w}}}-1\right)}{(m_3-m_1)\frac{\rho_{\mathrm{s}}}{\rho_{\mathrm{w}}}}-1\right]\times 100 \qquad (40.3.3\text{—}2)$$

式中 w_{A}——冻土总含水率（%），计算至 0.1%；

国家铁路局信息公开浏览专用

m_3——筒、水和土颗粒的总质量（g）；

ρ_s——土颗粒密度（g/cm³），可实测也可采用经验值。

40.3.4 记录格式应符合表40.3.4的要求。

表40.3.4 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_f	w_A
	(g)	(g)	(g)	(g)	(g/cm³)	(cm³)	(g/cm³)	(%)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
						$\frac{(1)+(2)-(3)}{\rho_w}$	$\frac{(1)}{(6)}$	$\left\{\frac{(1)\times[(5)-1]}{[(4)-(2)]\times(5)}-1\right\}\times100$

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

国家铁路局信息公开浏览专用

41 冻土密度试验

41.1 一 般 规 定

41.1.1 本试验可用于测定冻土的单位体积质量。

41.1.2 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 ℃的黏性土和砂类土。

41.1.3 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。试验过程中，冻土表面不得发生融化。

国家铁路局信息公开 浏览专用

41.2 液体称量法

41.2.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 天平：称量 1 000 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 ℃～＋20 ℃，分度值为 0.1 ℃。

4 量筒：容积 1 000 mL。

5 盛液筒：容积 1 000～2 000mL。

6 广口保温瓶：容积约 9 000 mL。

7 试验用液体：负温煤油或 0 ℃水。

41.2.2 试验操作应符合下列规定：

1 切取冻土试样 300～1 000 g，系于细线上称其质量，准

确至 0.1 g。

2 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 ℃。

3 采用浮称天平时（如图 41.2.2 所示），可将试样吊在天平一端，使试样全部浸没在煤油中，液面宜超过试样顶面 2 cm，称试样在煤油中的质量，准确至 0.1 g；采用电子天平或上皿天平时，可将盛液筒放在天平的称量盘上，再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 0.1 g。

4 取出试样，削去表层有煤油的部分，并按本规程第 40.2.2 条的规定测定冻土含水率。

5 采用 0 ℃水时，应快速测定，试样表面不得发生融化。

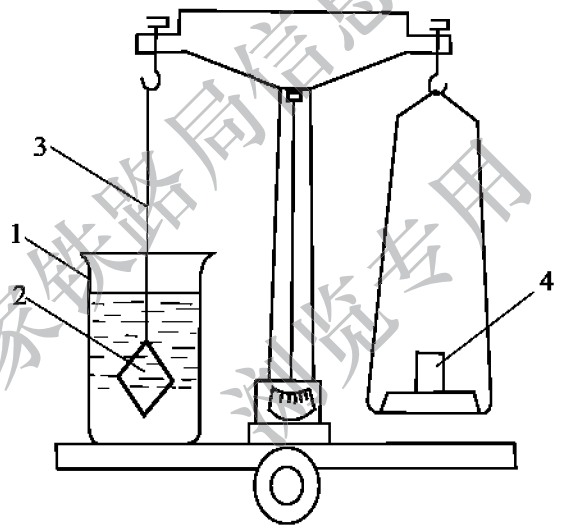


图 41.2.2 浮称天平

1—盛液筒；2—试样；3—细线；4—砝码

41.2.3 试验结果应按下列公式计算：

1 冻土密度

$$\rho_f = \frac{m}{V} \tag{41.2.3—1}$$

2 冻土试样体积

采用浮称天平

国家铁路局信息公开 浏览专用

$$V=\frac{m-m_1}{\rho_{mT}} \qquad (41.2.3\text{—}2)$$

采用电子天平

$$V=\frac{m_2}{\rho_{mT}} \qquad (41.2.3\text{—}3)$$

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），可由实测煤油密度与温度关系曲线查得；或由附录 B.0.4 计算。

41.2.4 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。

41.2.5 记录格式应符合表 41.2.5 的要求；表 41.2.5 是用浮称天平测定的记录表，采用电子天平测定时，表中（4）、（5）两栏应按式(41.2.3—3）数据填写。

表 41.2.5 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

国家铁路局信息公开浏览专用

41.3 联合测定法

41.3.1 本试验应按本规程第 40.3 节联合测定法的规定进行。

41.4 充 砂 法

41.4.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 金属容器：容积 1 000～2 000 mL。

2 漏斗：上口直径为 150 mm，下口直径为 15 mm，高度为 100 mL。

3 天平：称量 5 000 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。

41.4.2 试验操作应符合下列规定：

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。漏斗中砂面下降时，应不断进行补充，使砂面始终保持与漏斗上缘齐平，并控制量砂下落速度不变，灌砂时不得敲击或振动容器。容器充满砂后，移开漏斗，用直尺刮平砂面，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：

$$\rho_n=\frac{m_2-m_1}{V_c} \tag{41.4.2}$$

式中 ρ_n——量砂密度（g/cm³），计算至 0.001 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，量砂密度差值小于

0.02 g/cm³时，取算术平均值为量砂密度。平行测定的差值大于允许差值时，应重新进行试验。

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。

41.4.3 试验结果应按下列公式计算：

$$\rho_f = \frac{m}{V} \tag{41.4.3—1}$$

$$V = V_c - \frac{m_3 - m_1 - m}{\rho_n} \tag{41.4.3—2}$$

式中 m_3——容器、试样和量砂的总质量（g）。

41.4.4 记录格式应符合表41.4.4的要求。

表41.4.4 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)	容器、试样和量砂的总质量(g)	量砂质量(g)	量砂密度(g/cm³)	容器容积(cm³)	试样体积(cm³)	冻土密度(g/cm³)	平均密度(g/cm³)	量砂密度		
										量砂质量(g)	容器容积(cm³)	量砂密度(g/cm³)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(A)	(B)	(C)
				(4)−(2)−(3)			$(7)-\frac{(5)}{(6)}$	$\frac{(3)}{(8)}$			$\frac{(A)}{(B)}$	

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

国家铁路局信息公开浏览专用

41.5 环 刀 法

41.5.1 本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 天平：称量 1 000 g，分度值 0.1 g。

2 环刀：容积应大于或等于 500 cm^3。

3 其他：切土器、钢丝锯等。

41.5.2 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。

国家铁路局信息公开
浏览专用

42　冻结温度试验

42.0.1　本试验可用于测定土体的冻结温度。

42.0.2　本试验适用于黏性土和砂类土。

42.0.3　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　冻结温度试验装置，如图 42.0.3 所示。由零温瓶、低温瓶、热电偶、数字电压表、试样杯、塑料管组成。

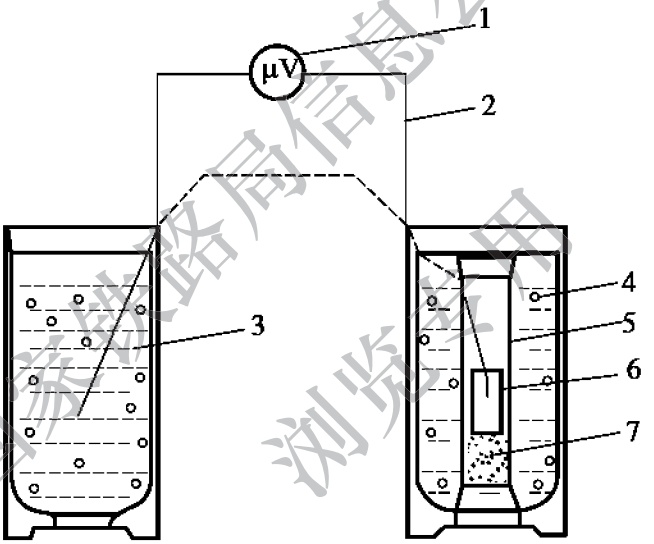


图 42.0.3　冻结温度试验装置

1—数字电压表；2—热电偶；3—零温瓶；
4—低温瓶；5—塑料管；6—试样杯；7—干砂

1）零温瓶：容积 3.57 L，内盛冰水混合物［其温度应为（0±0.1)℃］。

2）低温瓶：容积 3.57 L，内盛低融冰晶混合物，其温度宜为－7.6 ℃。

3）热电偶：铜和康铜热电偶，其线径宜用 0.2 mm。

4）数字电压表：量程 2 mV，分度值为 1 μV。

国家铁路局信息公开
浏览专用

5）试样杯：黄铜制成，直径 3.5 cm，高 5 cm，带有杯盖。

6）塑料管：硬质聚氯乙烯管（直径 5 cm，长 25 cm，管底应密封）

2 其他：用于配制低融冰晶混合物的氯化钠、氯化钙，切土刀等。

42.0.4 试验操作应符合下列规定：

1 试样制备

1）原状土土样应按自然沉积方向放置，将内壁涂一薄层凡士林的试样杯杯口向下放在土样上，垂直下压并用切土刀沿杯外壁切削土样边压边削至土样高出试样杯，用钢丝锯整平杯口，擦净外壁，盖上杯盖，并取余土测定含水率。

2）扰动冻土，称取风干土样 200 g，平铺于搪瓷盘内，按所需的加水量将纯水均匀喷洒在土样上，充分拌匀后装入盛土器内盖紧，润湿 24 h（砂质土的润湿时间可酌减）；将制配好的土样装入试样杯中，装实装满，盖上杯盖。

2 将热电偶测温端插入试样中心，杯盖周侧用硝基漆密封。

3 零温瓶内装入用纯水制成的冰块，冰块直径应小于 2 cm，再倒入纯水，使水面与冰块面相平，然后插入热电偶零温端。

4 低温瓶内装入用浓度 2 mol/L 氯化钠等溶液制成的盐冰块，其直径应小于 2 cm，再倒入相同浓度的氯化物溶液，使之与冰块面相平。

5 将封好底且内装 5 cm 高干砂的塑料管插入低温瓶内，再把试样杯放入塑料管内，塑料管口和低温瓶口分别用橡皮塞和瓶盖密封。

6 将热电偶测定端与数字电压表相连，每分钟测量一次热电势，电势值突然减小并连续 3 次稳定在某一数值（相应的温度即为冻结温度）时，试验结束。

国家铁路局信息公开浏览专用

42.0.5 试验结果应按下列公式计算及绘图：

1 冻结温度

$$T=V/K \tag{42.0.5}$$

式中 T——冻结温度（℃）；

V——热电势跳跃后的电压稳定值（μV）；

K——热电偶的标定系数（μV/℃）。

2 以温度为纵坐标，时间为横坐标，绘制土的冻结过程曲线，如图 42.0.5 所示。

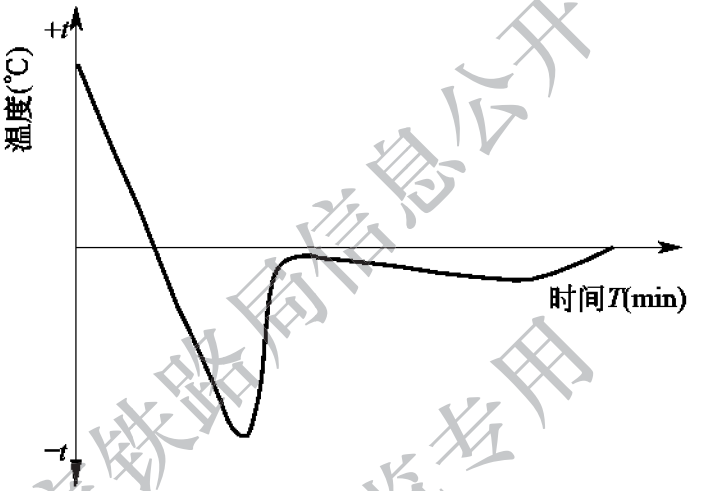


图 42.0.5 土的冻结过程曲线

42.0.6 记录格式应符合表 42.0.6 的要求。

表 42.0.6 冻结温度试验记录表

工程名称：_____ 试坑（钻孔）号：_____

试样编号				
热电偶编号：_____			热电偶系数(K)：_____μV/℃	
序号	历时 (min)	电压表示值 (μV)	实际温度 (℃)	备注
	(1)	(2)	(3)=(2)/K	

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

国家铁路局信息公开 浏览专用

43 未冻含水率试验

43.0.1 本试验可用于通过测定试样在不同含水率状态时的冻结温度，依据未冻含水率与负温为指数函数的规律，推算未冻含水率。

43.0.2 本试验适用于黏性土和砂类土。

43.0.3 本试验采用的仪器设备应符合本规程第42.0.3条规定。

43.0.4 试验操作应符合下列规定：

1 按本规程第42.0.4条第1款关于扰动冻土试样制备的步骤，制备3个试样。其中1个试样按所需的加水量制备，另2个试样应分别采用试样的液限和塑限作为初始含水率。

2 将制备好的试样，按本规程第42.0.4条第2款～6款的步骤进行试验，分别测定冻结温度。

43.0.5 试验结果应按下式计算及绘图：

1 未冻含水率

$$w_h = A T_f^{-B} \tag{43.0.5—1}$$

$$A = w_L T_f^B \tag{43.0.5—2}$$

$$B = \frac{\ln w_L - \ln w_p}{\ln T_p - \ln T_L} \tag{43.0.5—3}$$

式中 w_h——未冻含水率（%）；

w_P——塑限（%）；

w_L——液限（%）；

A、B——与土的性质有关的常数；

T_f——温度绝对值（℃）；

T_P——塑限时的冻结温度绝对值（℃）；

T_L——液限时的冻结温度绝对值（℃）。

国家图书馆官网公开浏览专用

2　以未冻含水率为纵坐标，温度为横坐标，在双对数纸上绘制关系曲线（如图 43.0.5 所示），从曲线上查得需测试样的冻结温度相对应的含水率，即为未冻含水率。

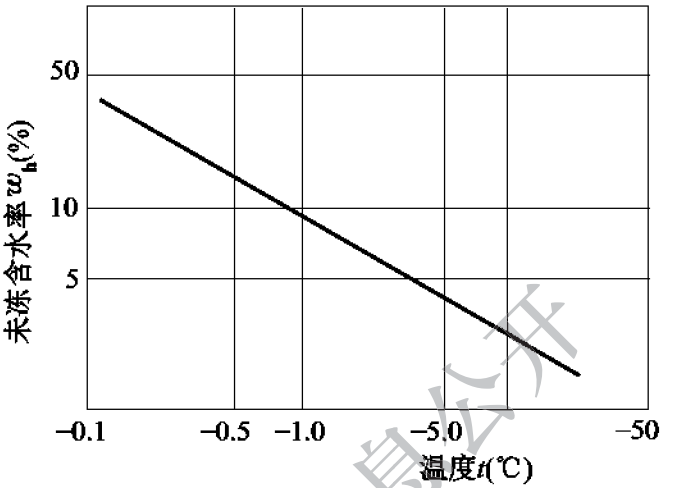


图 43.0.5　未冻含水率与温度关系

43.0.6　未冻含水率试验应进行平行测定，平行测定允许差值应符合：0～－3 ℃范围内，不大于 2%；低于－3 ℃不大于 1%。平行测定的差值大于允许差值时，应重新进行试验。

43.0.7　记录格式应符合表 43.0.7 的要求。

表 43.0.7　未冻含水率试验记录表

工程名称：_____　　试坑（钻孔）号：_____

试样编号						
热电偶编号：_____　　热电偶系数(K)：_____ μV/℃						
序号	历时 (min)	电压表示值 (μV)	实际温度 (℃)	B	A	未冻含水率 w_h(%)
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
				(2)/K		

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

国家铁路局信息公开
测试专用

44　冻土导热系数试验

44.0.1　本试验可用于测定冻土的导热系数。

44.0.2　本试验适用于扰动的黏性土和砂类土。本规程采用稳态比较法。

44.0.3　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　导热系数试验装置由恒温系统、测温系统和试样盒组成，如图 44.0.3 所示。

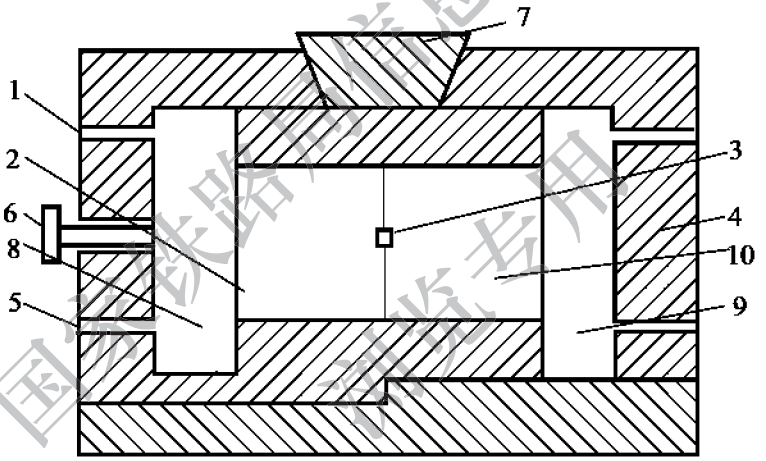


图 44.0.3　导热系数试验装置示意图

1—冷浴循环液出口；2—试样盒；3—热电偶测温端；4—保温材料；5—冷浴循环液进口；6—夹紧螺杆；7—保温盒；8——10 ℃恒温箱；9——25 ℃恒温箱；10—石蜡盒

2　恒温系统由两个尺寸为 50×20×50（$L\times B\times H$）（cm）的恒温箱和两台低温循环冷浴组成。恒温箱与试样盒接触面应采用 5 mm 厚的平整铜板。两个恒温箱分别提供两个不同的负温环境（－10 ℃和－25 ℃），恒温准确度应为±0.1 ℃。

3　测温系统由热电偶、零温瓶、量程为 2 mV 及分度值 1 μV的数字电压表组成。

国家铁路局信息公开 测试专用

4 试样盒两只，其外形尺寸均为 25 cm×25 cm×25 cm（$L\times B\times H$），盒面两侧为厚 5 mm 的平整铜板，试样盒的两侧、底面和上端盒盖应采用尺寸为 25 cm×25 cm，厚 3 mm 的胶木板。

44.0.4 试验操作应符合下列规定：

1 将风干试样平铺在搪瓷盘内，按所需的含水率和土样制备要求制备土样。

2 将制备好的土样按要求的密度装入一个试样盒，盖上盒盖。装土时，将两支热电偶的测温端放置在试样两侧铜板内壁的中心位置。

3 另一个试样盒装入石蜡，作为标准试样。装石蜡时，按照本条 2 款的要求安放两支热电偶。

4 将分别装好石蜡和试样的试样盒按图 44.0.3 所示安装好，驱动夹紧螺杆使试样盒和恒温箱的各铜板面接触紧密。

5 接通测温系统。

6 开动两个低温循环冷浴，分别设定冷浴循环液温度为－10 ℃和－25 ℃。

7 冷浴循环液达到要求温度后再运行 8 h 后，开始测温。每隔 10 min 测定一次标准试样和冻土试样两侧壁面的温度，并记录。连续 3 次测得的各点温度差值小于 0.1 ℃时，试验结束。

8 取出冻土试样，测定其含水率和密度。

44.0.5 试验结果应按下列公式计算：

$$\lambda=\frac{\lambda_0\Delta\theta_0}{\Delta\theta} \tag{44.0.5}$$

式中 λ——冻土导热系数[W/(m·K)]；计算至 0.001；

λ_0——石蜡的导热系数，取 0.279 W/(m·K)；

$\Delta\theta_0$——石蜡样品盒两壁面温差（℃）；

$\Delta\theta$——待测样品盒两壁面温差（℃）。

国家铁路局信息公开浏览专用

44.0.6 记录格式应符合表 44.0.6 的要求。

表 44.0.6 未冻含水率试验记录表

工程名称：_____ 试坑（钻孔）号：_____

试样编号					
试样含水率：____% 试样密度：____ g/cm³ 石蜡导热系数 λ_0=0.279 W/(m·K)					
序号	时间 (min)	石蜡样温差 (℃)	试样温差 (℃)	导热系数 [W/(m·K)]	备注
	(1)	(2)	(3)	(4)	
				λ_0·(2)/(3)	

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

国家铁路局信息公开
浏览专用

45 冻胀率试验

45.0.1 本试验可用于测定土冻结过程的冻胀率。

45.0.2 本试验方法适用于原状、扰动黏性土和砂类土。

45.0.3 冻胀率试验装置由试样盒、恒温箱、温度控制系统、温度监测系统、补水系统、变形监测系统和加压系统组成，仪器设备应符合下列规定：

1 试样盒由外径 12 cm、壁厚为 1 cm、高 10 cm 的有机玻璃筒和与之配套的顶、底板组成，如图 45.0.3 所示。有机玻璃筒周侧每隔 1 cm 设热敏电阻温度计插入孔。顶底板的结构能提供恒温液的循环和外界水源补给通道，并使板面温度均匀。

2 恒温箱的容积不小于 0.8 m^3，内设冷液循环管路和加热器（功率为 500 W），通过热敏电阻温度计与温度控制仪相连，使试验期间箱温保持在（1±0.5）℃。

3 温度控制系统由低温循环浴和温度控制仪组成，提供试验所需的顶、底板温度。

4 温度监测系统由热敏电阻温度计、数据采集仪和电子计算机组成，监测试验过程中土样、顶、底板温度和箱温变化。

5 补水系统由恒定水位的供水装置（如图 45.0.3 所示）通过塑料管与顶板相连，水位应低于顶板与土样接触面 1 cm，试验过程中定时记录水位以确定补水量。

6 变形监测系统可为百分表或位移传感器（量程 30 mm，最小分度值 0.01 mm）。

7 加压系统由液压油源和加压装置（或加压框架和砝码）

国家铁路局信息公开 浏览专用

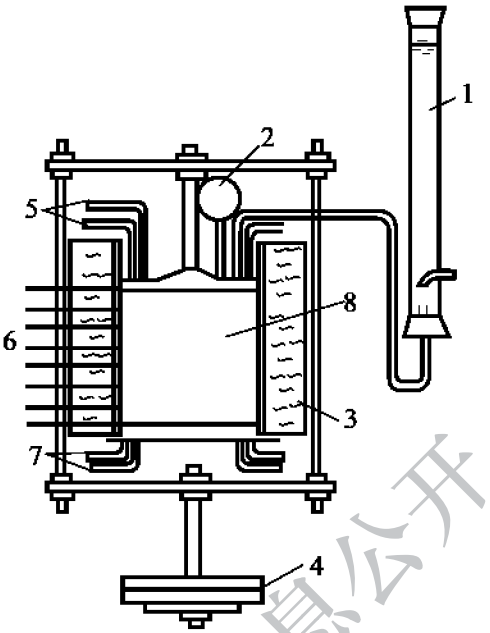


图　45.0.3

1—供水装置；2—位移计；3—保温材料；
4—加压装置；5—正温循环液进出口；6—热敏电阻测温点；
7—负温循环液进出口；8—试样盒

组成。

45.0.4　试验操作应符合下列规定：

1　试样制备

1）原状土土样应按自然沉积方向放置，剥去蜡封和胶条，开启土样筒取出土样。用土样切削器将原状土样削成直径为 10 cm，高为 5 cm 的试样，称量确定密度并取余土测定初始含水率。

2）扰动土样，称取风干土样 700 g，加纯水搅拌成稀泥浆，装入内径为 10 cm 的有机玻璃筒内，加压固结，直至达到所需初始含水率后，将土样从有机玻璃筒中推出，并将土样高度切削到 5 cm。

2　有机玻璃试样盒内壁涂上一薄层凡士林，放在底板上并

国家铁路局信息公开浏览专用

放一张薄型滤纸，将试样从顶部装入盒内，让其自由滑落在底板上。

3 在试样顶面放上一张薄型滤纸，然后放上顶板，试样与顶、底板应接触紧密。

4 将盛有试样的试样盒放入恒温箱内，试样周侧、顶、底板内插入热敏电阻温度计，试样周侧包裹 5 cm 厚的泡沫塑料保温。连接顶、底板冷液循环管路，根据需要连接底板补水管路，供水并排除底板内气泡，调节供水装置水位。安装百分表或位移传感器。

5 开启恒温箱、试样盒、顶、底板冷浴，设定恒温箱冷浴温度为－15 ℃，箱内气温为 1 ℃，顶、底板冷浴温度为 1 ℃。

6 试样恒温 6 h，并检测温度和变形。试样初始温度均匀达到 1 ℃以后，开始试验。

7 底板温度调节到－15 ℃并持续 0.5 h，让试样迅速从底面冻结，然后将底板温度调节到－2 ℃。黏质土以 0.3 ℃/h、砂质土以 0.2 ℃/h 的速度下降。保持箱温和顶板温度均为 1 ℃，记录初始水位。每隔 1 h 记录水位、温度和变形量各一次，试验持续 72 h。

8 试验结束后，迅速从试样盒中取出土样，测量试样高度并测定冻结深度。

45.0.5 冻胀率应按下式计算：

$$\eta=\frac{\Delta h}{H_f} \tag{45.0.5}$$

式中 η——冻胀率（%）；

Δh——试验期间总冻胀量（mm）；

H_f——冻结深度（不包含冻胀量）（mm）。

45.0.6 记录格式应符合表 45.0.6 的要求。

国家铁路局信息公开 浏览专用

表 45.0.6　冻胀率试验记录表

工程名称：_____　　试坑（钻孔）号：_____

试样编号								
试样含水率：_____%　　试样密度：_____ g/cm³　　土样结构：_____								
序号	时间（h）	测温数字电压表读数（mV）					变形量（mm）	备注
		1	2	3	4	5		

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

国家铁路局信息公开
浏览专用

46　冻土融化压缩试验

46.1　一 般 规 定

46.1.1　本试验可用于测定冻土的融化下沉系数和融化压缩系数。

46.1.2　本试验分为室内冻土融化压缩试验和现场原位冻土融化压缩试验。

46.1.3　室内冻土融化压缩试验适用于冻结黏性土和粒径小于2 mm的冻结砂类土，宜在负温环境下进行。严禁在切样和装样过程中使试样表面发生融化，试验过程中试样应满足自上而下单向融化。

46.1.4　现场原位冻土融化压缩试验适用于除漂石以外的各类冻土。试验应在现场试坑内进行，试坑深度应不小于季节融化深度，非衔接的多年冻土应等于或超过多年冻土层的上限深度。

国家铁路局信息公开
测试专用

46.2　室内冻土融化压缩试验

46.2.1　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1 融化压缩仪，如图46.2.1所示：加热传压板应采用导热性能好的金属材料制成；试样环应采用有机玻璃或其他导热性低的非金属材料制成，其尺寸宜为内径79.8 mm、高40.0 mm；保温外套可用聚苯乙烯或聚氨酯泡沫塑料。

2　恒温供水设备。

3　加荷和变形测量设备应符合本规程第15.2.1条第2款和第3款的规定。

4　原状冻土钻样器：钻样器宜由钻架和钻具两部分组成，

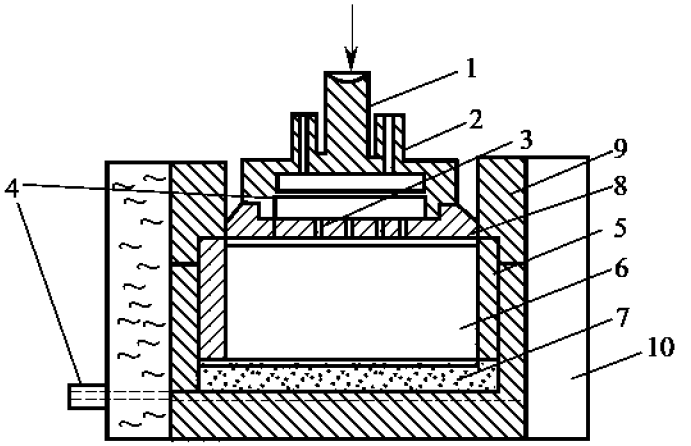


图 46.2.1　融化压缩仪

1—加热传压板；2—热循环水进出口；3—透水板；4—上下排水孔；5—试样环；6—试样；7—透水板；8—滤纸；9—导环；10—保温外套

钻具开口内径为 79.8 mm。钻样时将试样环套入钻具内，环外壁与钻具内壁应吻合平滑。

5　加荷设备应按本规程附录 E 进行校正。

46.2.2　试验操作应符合下列规定：

1　用原状冻土钻样器钻取冻土试样，其高度应大于试样环高度。从钻样剩余的冻土中取样测定含水率。钻样时应保持试样的层面与原状土一致，且不得上下倒置。

2　冻土试样应与试样环内壁紧密接触。刮平上下面，试样表面不得发生融化。测定冻土试样的密度。

3　在融化压缩容器内先放透水板，其上放一张湿润滤纸。将装有试样的试样环放在滤纸上，套上护环。在试样上铺滤纸和透水板，再放上加热传压板，然后装上保温外套。将融化压缩容器置于加压框架正中，安装百分表或位移传感器。

4　施加 1 kPa 的压力。调平加压杠杆。调整百分表或位移传感器到零位。

5　用胶管连接加热传感板的热水循环水的进出口与事先装有温度为 40 ℃～50 ℃的恒温水槽，打开开关，开动恒温器，保

国家铁路局信息公开
测绘专用

持水温。

6 试样开始融沉时即开动秒表，分别记录 1 min、2 min、5 min、10 min、30 min、60 min 时的变形量。以后每 2 h 观测记录一次，直至变形量在 2 h 内小于 0.05 mm，测记最后一次变形量。

7 融沉稳定后，停止热水循环，开始加荷进行压缩试验。加荷等级视实际工程需要确定，宜取 50 kPa、100 kPa、200 kPa、400 kPa、800 kPa，最后一级载荷应比土层的计算压力大 100～200 kPa。

8 施加每级载荷后 24 h 为稳定标准，并测记相应的压缩量，直至施加最后一级荷载压缩稳定。

9 试验结束后，迅速拆卸仪器各部件，取出试样，测定含水率。

46.2.3 试验结果应按下列公式计算及制图：

1 融化下沉系数

$$\delta=\frac{\Delta h_0}{h_0}\times 100 \qquad (46.2.3\text{—}1)$$

式中 δ——冻土融化下沉系数（%），计算至 0.01；

Δh_0——冻土融化下沉量（mm）；

h_0——冻土试样初始高度（mm）。

2 各级压力下稳定后的单位沉降量应按本规程第 15.2.3 条第 2 款进行计算。

3 某一压力范围内的融化压缩系数

$$\alpha=\frac{S_{i+1}-S_i}{p_{i+1}-p_i} \qquad (46.2.3\text{—}2)$$

式中 α——融化压缩系数（MPa^{-1}）；

p_i——第 i 级压力值（MPa）。

4 以单位沉降量 S 为纵坐标，压力 p 为横坐标，绘制单位沉降量与压力的关系曲线，如图 46.2.3 所示。

国家铁路局信息公开 浏览专用

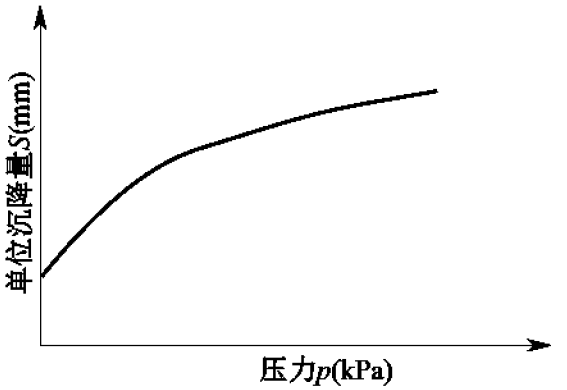


图 46.2.3　单位沉降量与压力关系曲线

46.2.4　记录格式应符合表 46.2.4 的要求。

表 46.2.4　室内融化压缩试验记录表

工程名称：_____　　试坑（钻孔）号：_____

试样编号					
试样初始高度 h_0：____　试样初始孔隙比 e_0：____　冻土融化下沉量 Δh_0：____ 融化下沉稳定后试样高度 h：__　融化下沉稳定后试样孔隙比 e：__　融化下沉系数 δ：__					
加压历时	压力 p_i	压力作用下试样总变形量 $\sum\Delta h_i$	压缩后的试样高度 $h_i=h_0-\sum\Delta h_i$	单位沉降量 $S_i=\dfrac{\sum\Delta h_i}{h_0}\times 1\,000$	融化压缩系数 α (MPa^{-1})
	(kPa)	(mm)	(mm)	(mm/m)	

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

46.3　现场冻土融化压缩试验

46.3.1　本试验所采用的仪器设备应符合下列规定：

1　内热式传压板。传压板可取圆形或方形，中空式平板；应有足够刚度，承受上部载荷时不发生变形，面积宜不小于 5 000 cm^2。

2　加热系统：传压板加热可用电热或水（汽）热，加热应

国家能源局信息公开浏览专用

均匀，加热温度不应超过 90 ℃。传压板周围应形成一定的融化圈，其宽度宜等于或大于传压板直径的 0.3 倍。

3 加荷系统：加荷方式可采用千斤顶或重物。冻土的总含水率超过液限时，加荷装置的重量应等于或小于传压板底面高程处的原始上覆压力。

4 沉降测量系统：沉降测量可采用大量程百分表或位移传感器。测量准确度应为 0.1 mm。

5 温度测量系统：温度测量系统可由热电偶和数字电压表组成，测量准确度应为 0.1 ℃。

46.3.2 试验操作应符合下列规定：

1 开挖试坑，平整试坑底面，试坑底面积不应小于 2 m×2 m，必要时应进行坑壁保护。

2 在传压板的边侧钻孔，孔径 3～5 cm，孔深宜为 50 cm。将五只热电偶测温端自下而上每隔 10 cm 逐个放入孔内，并用黏土填实钻孔。

3 坑底面铺砂找平。铺砂厚度应不大于 2 cm，将传压板放置在坑底中央砂面上。

4 安装加荷装置，加荷点应处于传压板中心部位。

5 在传压板周边等距安装 3 个百分表或位移传感器。

6 进行安全和安装可靠性检查后，向传压板施加等于该处上部原始土层压力（不小于 50 kPa），直至传压板沉降稳定，调整百分表或位移计至零读数，做好记录。

7 接通加热、测温系统，使传压板下和周围冻土缓慢均匀融化。每隔 1 h 测记一次土温和位移。

8 融化深度达到 25～30 cm 时，停止加热；用钢钎探测一次融化深度，并继续测记土温和位移。融化深度接近 40 cm（0.5 倍传压板直径）时，每 15 min 测记一次融化深度。0 ℃温度达到 40 cm 时测记位移量，并用钢钎测记一次融化深度。

9 停止加热后，依靠余热不能使传压板下的冻土继续融化

国家铁路局信息公开
浏览专用

达到0.5倍传压板直径的深度时，应继续补加热。

10 经上述步骤达到融沉稳定后，逐级加荷进行压缩试验。加荷等级视实际工程需要确定，黏性土宜取50 kPa，砂性土宜取75 kPa，含巨粒土宜取100 kPa，最后一级荷载应比土层的计算压力大100～200 kPa。

11 施加一级载荷后，每10 min、20 min、30 min、60 min测记一次位移示值，以后每1 h测记一次，直至传压板沉降稳定后再加下一级载荷。沉降量可取3个位移计读数的平均值，沉降稳定标准对黏性土宜取0.05 mm/h，砂和含巨粒土宜取0.1 mm/h。

12 试验结束后，拆除加荷装置，清除垫砂和10 cm厚表层土，取2～3个融化压实土样作含水率、密度及其他必要的试验。最后应挖除其余融化压实土测量融化圈。

46.3.3 试验结果应按下列公式计算及制图：

1 融化下沉系数

$$\delta=\frac{s_0}{h_0} \tag{46.3.3—1}$$

式中 s_0——冻土融化下沉（$p\approx0$）阶段的沉降量（cm）；

h_0——融化深度（cm）。

2 融化压缩系数

$$a=\frac{\Delta S}{\Delta p}K \tag{46.3.3—2}$$

式中 Δp——压力增量值（MPa）；

ΔS——相应于某一压力范围（Δp）的单位沉降量，各级压力下稳定后的单位沉降量应按本规程第15.2.3条第2款进行计算；

K——系数：黏土为1.0，粉质黏土为1.2，砂为1.3，巨粒土为1.35。

3 以单位沉降量为纵坐标，压力为横坐标，绘制单位沉降

国家铁路局信息公开浏览专用

量与压力的关系曲线，如图 46.2.3 所示。

46.3.4 记录格式应符合表 46.3.4 的要求。

表 46.3.4 现场融化压缩试验记录表

工程名称：_____ 试坑（钻孔）号：_____

土类：_____ 试坑深度：_____			冻土总含水率：_____	冻土密度：_____	
荷载	历时		变形(mm)		备注
	读数时间	累计(min)	量表读数	变形量	

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

国家铁路局信息公开
浏览专用

附录 A　铁路工程常用土工试验方法适用条件

项目分类	试验方法或试验内容	勘察设计阶段	施工阶段	适用条件
含水率试验	烘干法	☆	☆	各类土
	碳化钙减量法	○	○	各类土
	酒精燃烧法	△	△	不含有机质的砂类土、粉土和黏性土
	核子射线法	—	△	细粒土和粗粒土(现场测定)
密度试验	环刀法	☆	☆	粉土和黏性土
	蜡封法	△	△	难以切削并易破碎的土
	灌砂法	×	☆	最大粒径小于 75 mm 的土
	灌水法	×	○	最大粒径小于 200 mm 的土
	气囊法	×	○	最大粒径小于 40 mm 的土
	核子射线法	—	△	细粒土和粗粒土(现场测定)
颗粒密度试验	量瓶法	☆	☆	最大粒径小于 5 mm 的土
	浮称法	☆	☆	粒径大于 5 mm 的土,其中大于 20 mm 的颗粒含量少于 10%
	虹吸筒法	☆	☆	粒径大于 5 mm 的土,其中大于 20 mm 的颗粒含量大于等于 10%
颗粒分析试验	筛析法	☆	☆	粒径大于 0.075 mm,小于 200 mm 的土
	密度计法	☆	☆	粒径小于 0.075 mm 的土
	移液管法	○	○	粒径小于 0.075 mm 的土
界限含水率试验	液、塑限联合测定法	☆	☆	最大粒径小于 0.5 mm 的土
	碟式仪液限试验	○	○	最大粒径小于 0.5 mm 的土
	搓条法塑限试验	○	○	最大粒径小于 0.5 mm 的土
	收缩皿法缩限试验	☆	☆	最大粒径小于 0.5 mm 的土
湿化试验	湿化试验	☆	—	黏性土或扰动土制备的击实样
最大分子吸水率试验	离心含水当量法	☆	—	最大粒径小于 0.5 mm 的土

国家铁路局信息公开浏览专用

续附录 A

项目分类	试验方法或试验内容	勘察设计阶段	施工阶段	适用条件
相对密度试验	砂的相对密度试验	☆	☆	最大粒径小于 5 mm；且粒径 2～5 mm 颗粒含量不大于 15%、小于 0.075 mm 的颗粒含量不大于 12%
	砾石类的相对密度试验	☆	—	最大粒径小于 60 mm，其中小于 0.075 mm 的颗粒含量不得大于 12%
天然坡角试验	圆盘提升法	☆	—	最大粒径小于 5 mm 的无黏性砂类土
毛细管水上升高度试验	直接观测法	☆	—	中砂、粗砂
	土样管法	☆	—	细砂、粉土
	塑限与含水率曲线交会法	☆	—	黏性土
渗透试验	常水头法	☆	—	砂土及含少量砾石的无黏聚性土
	变水头法	☆	—	粉土和黏性土
固结试验	标准固结	☆	—	饱和的黏性土，只进行压缩试验时，允许用于非饱和土
	12 h 快速固结	○	—	一般黏性土
	1 h 快速固结	△	—	渗透性较大的非饱和土
直接剪切试验	快剪试验	☆	—	黏性土和粉土、最大粒径小于 2 mm的砂类土
	固结快剪试验	☆	—	黏性土和粉土、最大粒径小于 2 mm的砂类土
	慢剪试验	☆	—	黏性土和粉土、最大粒径小于 2 mm的砂类土
排水反复直接剪切试验	排水反复直接剪切试验	☆	—	黏性土和泥化夹层
三轴压缩试验	不固结不排水剪试验	☆	—	黏性土、粉土和砂类土
	固结不排水剪试验	☆	—	黏性土、粉土和砂类土
	固结排水剪试验	☆	—	黏性土、粉土和砂类土
	一个试样多级加荷试验	△	—	一般黏性土和粉土

国家铁路局信息公开 浏览专用

续附录 A

项目分类	试验方法或试验内容	勘察设计阶段	施工阶段	适用条件
无侧限抗压强度试验	无侧限抗压强度试验	☆	—	在自重作用下不发生变形的饱和软黏土
静止侧压力系数试验	侧压力仪法	☆	—	饱和的黏性土和砂类土
弹性模量试验	弹性模量试验	☆	—	饱和的黏性土和砂类土
动三轴试验	动强度(液化)试验	☆	—	饱和的粉土、黏性土和砂类土
	动弹性模量和阻尼比试验	☆	—	饱和的粉土、黏性土和砂类土
共振柱试验	自由振动法	☆	—	饱和的粉土、黏性土和砂类土
	稳态强迫振动法	○	—	饱和的粉土、黏性土和砂类土
击实试验	击实试验	☆	☆	轻型击实适用于最大粒径小于5 mm、20 mm的土，重型击实适用于最大粒径小于5 mm、20 mm及40 mm的土
承载比试验	承载比试验	☆	—	最大粒径小于20 mm、40 mm的土
回弹模量试验	强度仪法	☆	—	细粒土
	杠杆压力仪法	△	—	含水率较大、硬度较小的细粒土
粗粒土最大干密度试验	表面振动压实法	☆	☆	最大粒径小于75 mm，其中小于0.075 mm颗粒含量不大于15%的无黏性自由排水的粗粒土
粗粒土直接剪切试验	直接剪切试验	☆	—	最大粒径小于75 mm的粗粒土
粗粒土三轴压缩试验	不固结不排水剪试验	☆	—	最大粒径小于75 mm的粗粒土
	固结不排水剪试验	☆	—	最大粒径小于75 mm的粗粒土
	固结排水剪试验	☆	—	最大粒径小于75 mm的粗粒土

国家铁路局信息公开 浏览专用

续附录 A

项目分类	试验方法或试验内容	勘察设计阶段	施工阶段	适用条件
级配碎石试验	筛分试验	☆	☆	基床表层用级配碎石、级配砂砾石、过渡段用级配碎石
	黏土团及其他杂质含量试验	☆	☆	基床表层用级配碎石、级配砂砾石
	质软、易破碎颗粒含量试验	☆	☆	过渡段用级配碎石
	针状、片状颗粒含量试验	☆	☆	过渡段用级配碎石、级配砂砾石
	洛杉矶磨耗率试验	☆	☆	基床表层用级配碎石
	硫酸钠溶液浸泡损失率试验	☆	☆	基床表层用级配碎石
	粗颗粒中带破碎面的颗粒含量试验	☆	☆	基床表层用级配碎石
化学改良土试验	重型击实试验	☆	☆	最大粒径小于 15 mm 的化学改良土
	无侧限抗压强度试验	☆	☆	最大粒径小于 15 mm 的化学改良土
	水泥或石灰的剂量测定	☆	☆	最大粒径小于 15 mm 的化学改良土
地基系数试验	地基系数试验	—	☆	各类土和土石混合料，其最大粒径不宜大于承载板直径的 1/4
二次变形模量试验	二次变形模量试验	—	☆	各类土和土石混合料，其最大粒径不宜大于承载板直径的 1/4
动态变形模量试验	动态变形模量试验	—	☆	各类土和土石混合料，其最大粒径不宜大于承载板直径的 1/4
黄土湿陷性试验	湿陷系数的测定	☆	—	砂质黄土、黏质黄土
	自重湿陷系数的测定	☆	—	砂质黄土、黏质黄土
	溶滤变形系数的测定	☆	—	砂质黄土、黏质黄土
	湿陷起始压力的测定	☆	—	砂质黄土、黏质黄土

国家铁路局信息公开 浏览专用

续附录 A

项目分类	试验方法或试验内容	勘察设计阶段	施工阶段	适用条件
自由膨胀率试验	自由膨胀率	☆	—	最大粒径小于 0.5 mm 的土
膨胀率试验	无荷载膨胀率试验	☆	—	黏性土或扰动土制备的击实样
	有荷载膨胀率试验	☆	—	黏性土或扰动土制备的击实样
膨胀力	加荷平衡法	☆	—	黏性土或扰动土制备的击实样
	不同压力下膨胀率与膨胀力联合测定法	○	—	黏性土或扰动土制备的击实样
收缩试验	收缩试验	☆	—	黏性土或扰动土制备的击实样
冻土总含水率	烘干法	☆	—	各类冻土
	联合测定法	△	—	层(网)状冰构造的黏性土或砂类土
冻土密度试验	液体称量法	☆	—	表面无显著孔隙的冻土
	联合测定法	☆	—	层(网)状冰构造的黏性土或砂类土
	充砂法	☆	—	表面有显著孔隙的冻土
	环刀法	☆	—	土温高于－3 ℃的黏性土和砂类土
冻结温度试验	热电偶测温法	☆	—	黏性土和砂类土
未冻含水率试验	热电偶测温法	☆	—	黏性土和砂类土
冻土导热系数试验	稳态比较法	☆	—	黏性土和砂类土
冻胀率试验	冻胀率试验	☆	—	黏性土和砂类土
冻土融化压缩试验	室内冻土融化压缩试验	☆	—	冻结黏性土和粒径小于 2 mm 的冻结砂类土
	现场冻土融化压缩试验	☆	—	除漂石外各类冻土

注：☆—优先选用；○—适用；△—有条件适用；×—不适用；— ——般不做。

国家铁路局信息公开
浏览专用

附录 B　量瓶校正与煤油密度的测定

B.0.1　量瓶称量校正法

1　量瓶称量校正所采用的仪器设备应符合下列规定：

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：准确度±0.5 ℃；

4）温度计：刻度范围 0～50 ℃，分度值 0.5 ℃；

5）其他：滴管、干燥器、电热干燥箱等。

2　量瓶称量校正应符合下列规定：

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。长颈量瓶达到刻度处，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 ℃级差调节，逐级测定不同温度下的量瓶和水的总质量。

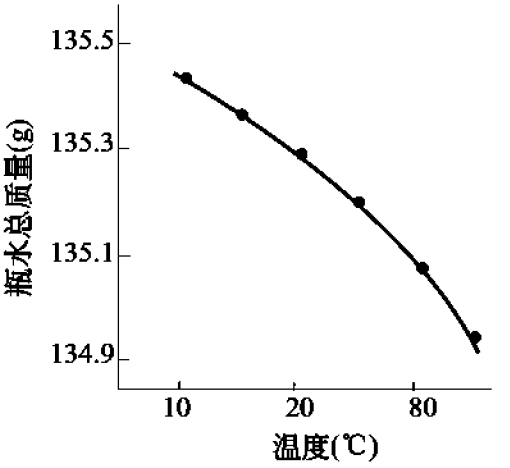


图 B.0.1　温度与量瓶和水的总质量关系曲线

3　在直角坐标纸上，以温

国家铁路局信息公开 测试专用

度为横坐标，量瓶和水的总质量为纵坐标，绘制温度与量瓶和水的总质量关系曲线，如图 B.0.1 所示。

4 量瓶称量校正记录应符合表 B.0.1 的要求。

表 B.0.1 量瓶称量校正法记录

瓶号：_____		量瓶质量：_____(g)
温度(℃)	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

B.0.2 量瓶计算校正法

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 B.0.1 条第 1 款的要求。

2 量瓶计算校正法应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：

$$m_i = m_0 + (m_1 - m_0)\frac{\rho_{wi}}{\rho_{w1}} + [1 + \varepsilon_v(T_i - T_1)] \quad (B.0.2)$$

式中 m_i——T_i℃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（2.4×10^{-5} ℃$^{-1}$）。

4 温度与量瓶和水的总质量关系曲线按本附录 B.0.1 条第 3 款规定进行绘制。

5 量瓶计算较正法的记录格式应符合表 B.0.2 的要求。

B.0.3 量瓶和煤油总质量的校正，只将纯水换为经过真空抽气

国家煤田信息公开 测试专用

的煤油，具体方法步骤与B.0.1条相同。也可采用本附录B.0.2条计算法，但应将式(B.0.2)中水的密度改为煤油密度。

表B.0.2　量瓶计算校正法记录表

瓶号：_____	T_1＝_____℃	ρ_{w1}＝_____ g/cm³							
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_i							
$1+\varepsilon_v(T_i-T_1)$	(3)	$1+\varepsilon_v\times$(2)							
T_i℃时的水密度 ρ_{wi}(g/cm³)	(4)								
ρ_{wi}/ρ_{w1}	(5)	$\frac{(4)}{\rho_{w1}}$							
$(m_1-m_0)\times\rho_{wi}/\rho_{w1}\times[1+\varepsilon_v(T_i-T_1)]$(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							

B.0.4　煤油密度测定

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 ℃）。

2　用同一量瓶装满经真空抽气的纯水，控制同一温度（T ℃），重复本条第1款步骤操作，称量瓶和纯水的总质量，准确至0.001g。

3　煤油密度应按下式计算：

$$\rho_m=\frac{m_{pv}-m_p}{m_{pw}-m_p}\cdot\rho_{wT} \qquad \text{(B.0.4—1)}$$

式中　ρ_m——T ℃时煤油密度（g/cm³），计算至0.001 g/cm³；

m_{pv}——T ℃时量瓶和煤油的总质量（g）；

m_{pw}——T ℃时量瓶和纯水的总质量（g）；

m_p——量瓶的质量（g）；

ρ_{wT}——T ℃时纯水的密度，查本规程表7.3.4—3。

国家铁路局信息公开
浏览专用

4 煤油密度应进行平行测定，平行测定的差值不得大于0.002 g/cm³，取算术平均值。

5 由实测得 T ℃时煤油密度 ρ_m，按下列公式计算任意温度时的煤油密度：

$$\rho_{mi}=\rho_m[1+\beta(T-T_i)] \qquad \text{(B.0.4—2)}$$

式中 ρ_{mi}——T_i℃时的煤油密度（g/cm³），计算至0.001 g/cm³；

β——煤油密度的平均温度补正系数（℃$^{-1}$），由表B.0.4查得；

T——实测煤油密度时的温度（℃）；

T_i——任意温度（℃）。

表B.0.4 煤油密度的平均温度补正系数

T ℃时 ρ_m(g/cm³)	β(℃$^{-1}$)	T ℃时 ρ_m(g/cm³)	β(℃$^{-1}$)
0.770 0～0.779 9	8.05×10^{-4}	0.810 0～0.819 9	7.52×10^{-4}
0.780 0～0.789 9	7.92×10^{-4}	0.820 0～0.829 9	7.38×10^{-4}
0.790 0～0.799 9	7.78×10^{-4}	0.830 0～0.839 9	7.25×10^{-4}
0.800 0～0.809 9	7.65×10^{-4}		

国家铁路局信息公开浏览专用

附录C　密度计校正

C.0.1　密度计校正包括下列内容：

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，使用前应进行校正。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，故应校正。

C.0.2　土粒沉降距离校正

1　仪器设备

1）密度计：甲种（刻度为－5～50，最小分度值为1.0或0.5）；乙种（20 ℃/20 ℃刻度为0.995～1.20，最小分度值为0.001或0.000 2）。

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±1）mm。

4）恒温水槽：精确为±1 ℃。

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 ℃，测定量筒内水面

国家铁路局信息公开浏览专用

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 1 L 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（如图 C.0.2 所示）

$$L=L_1+\left(L_0-\frac{V_b}{2A}\right) \tag{C.0.2}$$

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（cm^3）；

A——1 L 量筒的截面积（cm^2）。

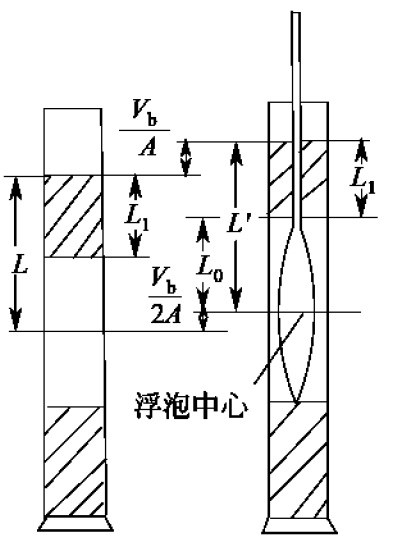


图 C.0.2 土粒沉降距离校正

4 土粒沉降距离校正计算表，应符合表 C.0.2—1 或表 C.0.2—2 的要求。

C.0.3 刻度及弯液面校正

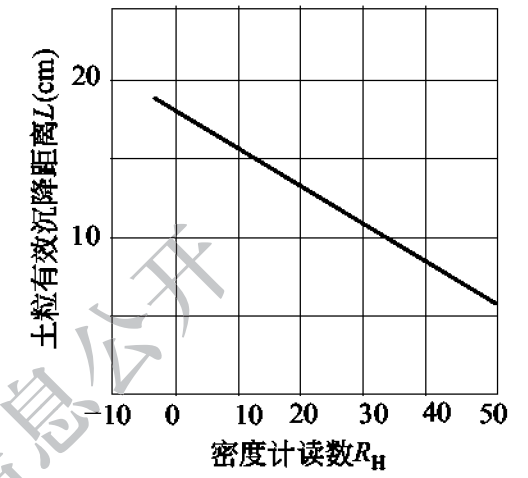
1 仪器设备

1）量瓶：容积 100 mL。

国家铁路局标准公开 测试专用

表 C.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 量筒截面积(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	

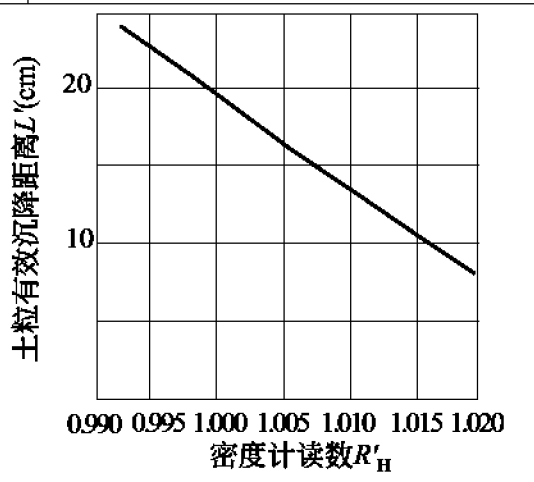


密度计读数 R_H-土粒沉降距离 L 关系图

校正　　计算　　复核　　校正日期

表 C.0.2—2　土粒沉降距离校正计算表

密度计编号：乙 1				1 L 量筒编号：9 号
密度计浮泡体积(V_b)：60.0 cm^3				1 L 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				1 L 量筒截面积(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')：−0.000 4
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	0.994 6	
1.000	11.651	19.582	0.999 6	
1.005	8.759	16.690	1.004 6	
1.010	5.863	13.794	1.009 6	
1.015	2.910	10.841	1.014 6	
1.020	0	7.931	1.019 6	



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

国家铁路局信息公开
测试专用

2）烧杯：容量 1 000 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 C.0.2。

2 校正步骤

1）于 1 L 烧杯中加纯水 700 mL，按表 C.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 C.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 C.0.3 第（6）栏中。

表 C.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_2SO_4		甲 1	乙 1	甲 1	乙 1	甲 1	乙 1
(g/L)		(g/mL)	(g)	(mL)	(℃)	(g/L)		(g/L)		(g/L)	
(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

国家铁路局作废公开 测绘专用

续表 C.0.3

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	
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	1.0125	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 0.000 1 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 0.000 1 g。

3 标准溶液的密度按下式计算：

$$\rho=\frac{m_v}{m_w}\rho_w \qquad \text{(C.0.3—1)}$$

式中 ρ——实测标准溶液的密度（g/cm³），计算至 0.000 1 g/cm³；

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/cm³）。

两次平行测定的偏差应不大于 0.000 2 g/cm³，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 $R_{甲}$ 按下式计算：

国家铁路局信息公开浏览专用

$$R_{甲}=\frac{(\rho/\rho_w-1)\times 1\,000}{0.624\,413}=(\rho/\rho_w)\times 1\,601.504\,1e^{\theta} \qquad (C.0.3\text{—}2)$$

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 C.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，如图 C.0.3—1、图 C.0.3—2 所示。

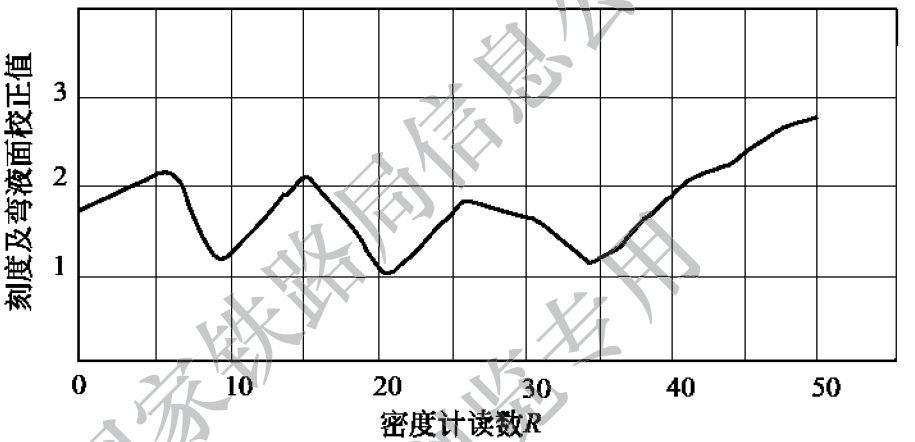


图 C.0.3—1 甲种密度计刻度及弯液面校正曲线

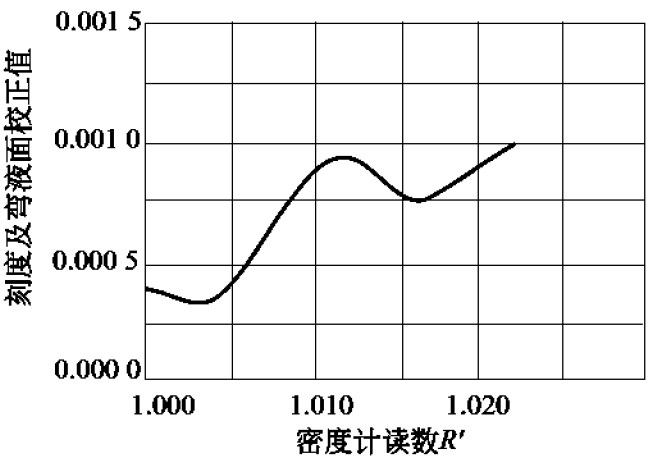


图 C.0.3—2 乙种密度计刻度及弯液面校正曲线

国家铁路局信息公开 培训专用

7　密度计刻度准确度能满足甲种为 0.5，乙种为 0.000 2 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。如图 C.0.3—3 所示。

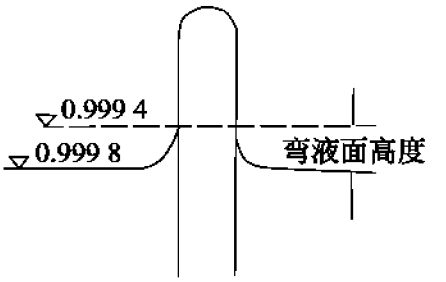


图 C.0.3—3　弯液面校正图

C.0.4　分散剂校正

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 C.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　分散剂校正计算

$$C_D = R_{D20} - R_{H20} \qquad (C.0.4)$$

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。

国家铁路局信息公开
浏览专用

附录 D　直剪仪校正及测力计率定

D.0.1　直剪仪校正

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　所有滑动部分应经常擦油，保持灵活。

6　所用砝码应定期校正质量，准确至 0.1%。

D.0.2　测力计率定

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，绘制以荷重为纵坐标、百分表读数为

国家铁路局信息公开
浏览专用

横坐标、将各实测点连成通过坐标原点的直线，如图 D.0.2 所示。

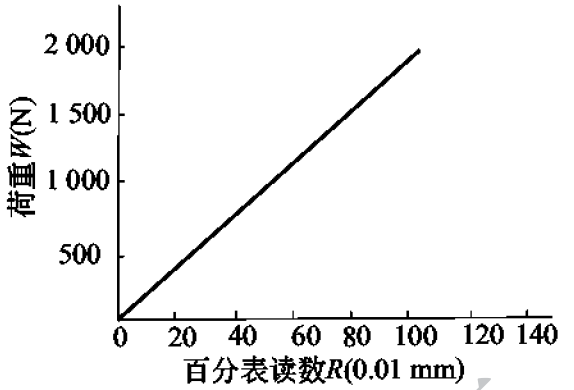


图 D.0.2　荷重与百分表读数关系曲线

7　测力计率定系数应按下式计算：

$$C=\frac{W}{R} \tag{D.0.2}$$

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）。

国家铁路局信息公开
浏览专用

附录 E　固结仪的变形量校正

E.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，应进行固结仪的变形校正。

E.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。

E.0.3　固结仪加压设备的检查和调整

1　杠杆加压座必须稳固，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。

E.0.4　固结仪变形量校正

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 kPa、50 kPa、100 kPa、200 kPa、400 kPa、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。

国家铁路局信息公开 浏览专用

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 E.0.4 所示。

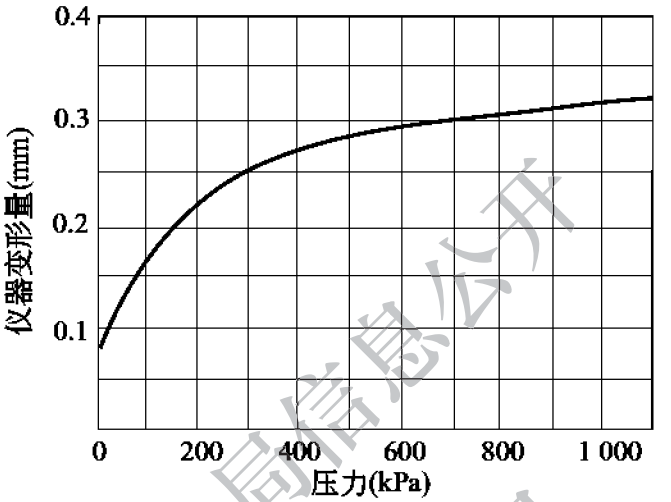


图 E.0.4 仪器变形量与压力关系曲线

国家铁路局信息公开
浏览专用

附录 F　地基系数测试仪校验

F.0.1　采用压力表的地基系数测试仪在使用中应定期进行校验，以消除由于仪器自身系统变化所引起的测量误差。通过校验测定出标准荷载强度与地基系数测试仪压力表读数之间的相关关系，建立回归方程，并整理绘制成图表，以作为地基系数试验的计算基础。

F.0.2　地基系数测试仪配置的压力表或力传感器、百分表或位移传感器应定期进行计量检定。采用杠杆式单点测量方式测量下沉量的地基系数测试仪，还应对下沉量测量装置（包括百分表或位移传感器、杠杆式测量装置）进行系统检定。

F.0.3　地基系数测试仪校验的技术条件，应符合下列规定：

1　用于校验的压力支架或压力机的承载能力应大于最大试验荷载的 1.4 倍。

2　用于校验的压力机或标准测力仪的精度、量程，应不低于被校验地基系数测试仪的精度、量程。

F.0.4　地基系数测试仪的荷载校验可按以下步骤进行：

1　将地基系数测试仪的千斤顶安放于压力支架或压力机上，在千斤顶上放置标准测力仪（用压力机校验时，如果压力机测

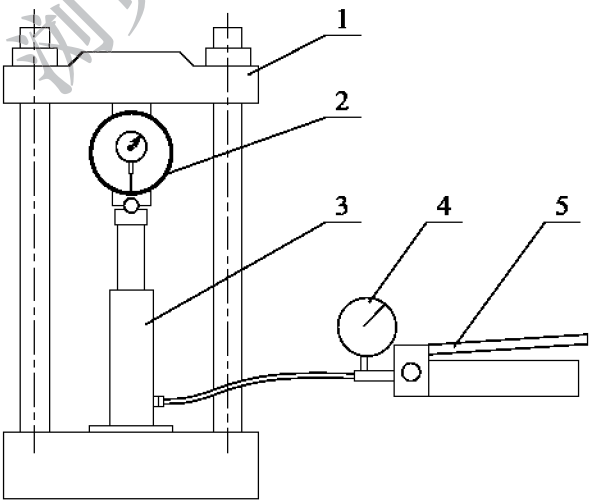


图 F.0.4—1　地基系数测试仪校验示意
1—压力支架；2—标准测力仪（或压力机测力仪）；3—千斤顶；4—地基系数测试仪压力表；5—手动液压泵

国家铁路局标准公开浏览专用

力仪的精度、量程满足校验要求，可不用标准测力仪），如图F.0.4—1所示。通过地基系数测试仪的手动液压泵对千斤顶进行逐级加载，直至荷载达到地基系数试验的最大试验荷载为止。重复进行三次，取其算术平均值；按表F.0.4记录数据并计算校验结果。

表F.0.4　荷载校验记录

地基系数测试仪生产厂家：_____　　记录编号：_____

地基系数测试仪规格型号：_____　　地基系数测试仪编号：_____

压力表生产厂家：_____　　压力表规格型号：_____

压力表编号：_____　　校验日期：_____

加载级次	标准测力仪读数 F(kN)				标准荷载强度 σ_0 (MPa)	压力表读数 P(MPa)			
	1	2	3	平均值		1	2	3	平均值
1	0	0	0	0	0	0.000	0.000	0.000	0.000
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
回归方程：$P=a\sigma_0+b$									
附注：									

校验员_____　　计算_____　　核验员_____

国家铁路局信息公开
浏览专用

2　绘制压力表与标准荷载强度关系图（如图 F.0.4—2 所示），对地基系数测试仪的压力表读数与标准荷载强度的关系进行率定，得出压力表读数与标准荷载强度的关系式：

$$P=a\sigma_0+b \tag{F.0.4}$$

式中　P——压力表读数（MPa）；

σ_0——标准荷载强度[σ_0＝标准测力仪读数平均值(kN)×10^{-3}/承载板面积(m^2)](MPa)；

a—— 一次项系数；

b——常数项（MPa）。

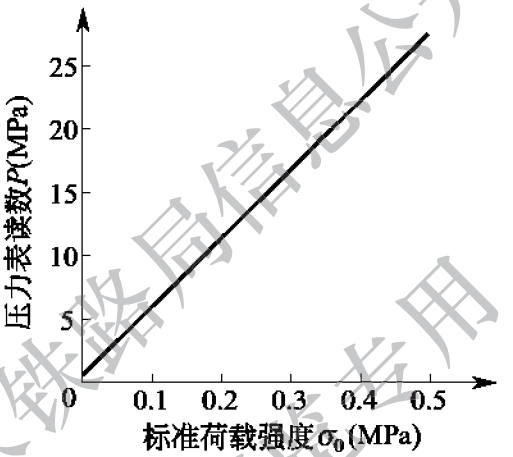


图 F.0.4—2　标准荷载强度与压力表关系曲线

国家铁路局信息公开
试读专用

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，采用“可”。

国家铁路局信息公开
浏览专用