

JTJ-051-93) 公路土工试验规程目录

目录.....	
前言.....	
1 总则.....	
2 土的工程分类 (M0101-93)	
2.1 一般规定	
2.2 巨粒土分类	
2.3 粗粒土分类	
2.4 细粒土分类	
2.5 特殊土分类	
2.6 土的简易鉴别、分类和描述	
3 土样的采集、运输和保管 (T0101-93)	
4 土样和试样制备 (T0102-93)	
5 含水量试验.....	
5.1 烘干法(T0103-93)	
5.2 酒精燃烧法(T0104-93)	
5.3 比重法(T0105-93)	
5.4 碳化钙气压法(T0106-93)	
6 密度试验.....	
6.1 环刀法(T0107-93)	
6.2 电动取土器法(T0108-93)	
6.3 蜡封法(T0109-93)	
6.4 灌水法(T0110-93)	
6.5 灌砂法(T0111-93)	
7 比重试验.....	
7.1 比重瓶法(T0112-93)	
7.2 浮称法(T0113-93)	
7.3 虹吸筒法(T0114-93)	
8 颗粒分析试验.....	
8.1 筛分法(T0115-93)	
8.2 比重计法(T0116-93)	
8.3 移液管法(T0117-93)	
9 界限含水量试验.....	
9.1 液限塑限联合测定法(T0118-93)	
9.2 滚搓法塑限试验(T0119-93)	
9.3 缩限试验(T0120-93)	
10 收缩试验(T0121-93)	
11 天然稠度试验(T0122-93)	
12 砂的相对密实度试验(T0123-93)	
13 膨胀试验.....	
13.1 自由膨胀率试验(T0124-93)	
13.2 无荷载膨胀量试验(T0125-93)	
13.3 有荷载膨胀量试验(T0126-93)	
13.4 膨胀力试验(T0127-93)	
14 毛细管水上升高度试验(T0128-93).....	
15 渗透试验.....	
15.1 常水头渗透试验(T0129-93)	
15.2 变水头渗透试验(T0130-93)	
16 击实试验(T0131-93)	
17 粗粒土和巨粒土最大干密度试验.....	
17.1 振动台法(T0132-93)	

17.2	表面振动压实仪法(T0133-93)	
18	承载比(CBR)试验 (T0134-93)	.....
19	回弹模量试验	.....
19.1	承载板法(T0135-93)	
19.2	强度仪法(T0136-93)	
20	固结试验	.....
20.1	单轴固结仪法(T0137-93)	
20.2	快速试验法(T0138-93)	
21	黄土湿陷试验(T0139-93)	.....
22	直接剪切试验	.....
22.1	粘质土的慢剪试验(T0140-93)	
22.2	粘质土的固结快剪试验(T0141-93)	
22.3	粘质土的快剪试验(T0142-93)	
22.4	砂类土的直剪试验(T0143-93)	
23	三轴压缩试验	.....
23.1	不固结不排水试验(T0144-93)	
23.2	固结不排水试验(T0145-93)	
23.3	固结排水试验(T0146-93)	
24	粗粒土大三轴剪切试验(T0147-93)	.....
25	无侧限抗压强度试验(T0148-93)	.....
26	酸碱度试验(T0149-93)	.....
27	烧减量试验(T0150-93)	.....
28	有机质含量试验(T0151-93)	.....
29	易溶盐试验	.....
29.1	待测液的制备(T0152-93)	
29.2	易溶盐总量的测定(质量法) (T0153-93)	
29.3	碳酸根及碳酸氢根的测定(T0154-93)	
29.4	氯根的测定--硝酸银滴定法(T0155-93)	
29.5	氯根的测定--硝酸汞滴定法 (T0156-93)	
29.6	钙和镁离子的测定--EDTA 配位滴定法 (T0157-93)	
29.7	硫酸根的测定--质量法 (T0158-93)	
29.8	硫酸根的测定--EDTA 间接配位滴定法 (T0159-93)	
29.9	钠和钾离子的测定--火焰光度法 (T0160-93)	
30	中溶盐石膏试验 (盐酸浸提硫酸钡质量法)(T0161-93 )	.....
31	难溶盐碳酸钙试验 (气量法)(T0162-93 )	.....
32	阳离子交换量试验	.....
32.1	EDTA--铵盐快速法 (T0163-93)	
32.2	草酸铵--氯化铵法 (T0164-93)	
33	矿物成分试验	.....
33.1	硅的测定 (T0165-93)	
33.2	倍半氧化物(R_2O_3)总量的测定 (T0166-93)	
33.3	铁和铝的测定 (T0167-93)	
33.4	钙和镁的测定 (T0168-93)	
	附录 A 试验成果的分析整理方法	.....
	附录 B 土类的名称和代号	.....
	附录 C 各项试验结果的允许差	.....
	附录 D 二氧化碳密度表(ug/ml)	.....
	附加说明	.....
	公路土工试验规程条文说明	
	修订说明	.....
1	总则	.....
2	土的工程分类	.....

2.1	一般规定	.....
2.2	巨粒土分类	.....
2.3	粗粒土分类	.....
2.4	细粒土分类	.....
2.5	特殊土分类	.....
2.6	土的简易鉴别分类和描述	.....
3	土样的采集、运输和保管	.....
4	土样和试样制备	.....
5	含水量试验	.....
5.1	烘干法	.....
5.2	酒精燃烧法	.....
5.3	比重法	.....
5.4	碳化钙气压法	.....
6	密度试验	.....
6.1	环刀法	.....
6.2	电动取土器法	.....
6.3	蜡封法	.....
6.4	灌水法	.....
6.5	灌砂法	.....
7	比重试验	.....
7.1	比重瓶法	.....
7.2	浮称法	.....
7.3	虹吸筒法	.....
8	颗粒分析试验	.....
8.1	筛分法	.....
8.2	比重计法	.....
8.3	移液管法	.....
9	界限含水量试验	.....
9.1	液限塑限联合测定法	.....
9.2	滚搓法塑限试验	.....
9.3	缩限试验	.....
10	收缩试验	.....
11	天然稠度试验	.....
12	砂的相对密实度试验	.....
13	膨胀试验	.....
13.1	自由膨胀率试验	.....
13.2	无荷载膨胀量试验	.....
13.3	有荷载膨胀量试验	.....
13.4	膨胀力试验	.....
14	毛细管水上升高度试验	.....
15	渗透试验	.....
15.1	常水头渗透试验	.....
15.2	变水头渗透试验	.....
16	击实试验	.....
17	粗粒土和巨粒土最大干密度试验	.....
17.1	振动台法	.....
17.2	表面振动压实仪法	.....
18	承载比(CBR)试验	.....
19	回弹模理试验	.....
19.1	承载板法	.....
19.2	强度仪法	.....
20	固结试验	.....

20.1	单轴固结仪法.....
20.2	快速试验法.....
21	黄土湿陷试验.....
22	直接剪切试验.....
22.1	粘质土的慢剪试验.....
22.2	粘质土的固结快剪试验.....
22.3	粘质土的快剪试验.....
22.4	砂类土的直剪试验.....
23	三轴压缩试验.....
23.1	不固结不排水试验.....
23.2	固结不排水试验.....
23.3	固结排水试验.....
24	粗粒土大三轴剪切试验.....
25	无侧限抗压强度试验.....
26	酸碱试验.....
27	烧失量试验.....
28	有机质试验.....
29	易溶盐试验.....
29.1	待测液的制备.....
29.2	易溶盐总量的测定(质量法).....
29.3	碳酸根及碳酸氢根的测定.....
29.4	氯根的测定--硝酸根滴定法.....
29.5	氯根的测定--硝酸汞滴定法.....
29.6	钙和镁离子的测定--EDTA 配位滴定法.....
29.7	硫酸根的测定--质量法.....
29.8	硫酸根的测定--EDTA 间接配位滴定法.....
29.9	钠、钾离子的测定--火焰光度法.....
30	中溶盐石膏试验(盐酸浸提硫酸钡质量法).....
31	难溶盐碳酸钙试验.....
32	阳离子交换量试验.....
32.1	EDTA-铵盐快速法.....
32.2	草酸铵-氯化铵法.....
33	矿物成分试验.....)
33.1	硅的测定.....
33.2	倍半氧化物(R_2O_3)总量的测定.....
33.3	铁和铝的测定.....
33.4	钙和镁的测定.....

前 言

本规程是为了测定土的基本工程性质，统一试验方法，并为公路工程设计和施工提供可行的计算指标和参数制定。内容包括总则、土的工程分类及土样和试样制备、含水量、密度、颗粒分析等 68 个试验，适用于公路各类工程的土基土、路基土、填筑土及其它路用土的基本工程性质试验。

本规程可供公路科研、设计、施工单位及有关土木工程单位使用，也可供大专院校公路、桥梁专业及土木工程专业师生学习参考。

第 1 章

1 总则

1.0.1 为测定土的基本工程性质,统一试验方法,并为公路工程设计和施工提供可靠的计算指标和参数,特制订本规程.

1.0.2 本规程适用适用于公路种类工程的地基土,路基土、填筑土及其它路用土的基本工程性质试验。

1.0.3 为各项工程的设计施工提供符合实际情况的各种土性指标,应编制合理的试验方案,采集代表性的试样,测算准确的数据和进行正确的资料分析整理。

1.0.4 土工试验资料的分析整理,应通过对样本(试验测得的数据)的研究来估计总体(土体单元)的特征及其变化的规律性,使土工试验的成果为工程设计施工提供准确可行的土性指标。试验成果的分析整理方法应按附录 A 进行。

1.0.5 与要规程相差及引用的标准为:《土工试验方法标准 GBJ123 - 88》和《土的分类标准 GBJ145 - 90》。

第 2 章

2 土的工程分类(M010-93)

2.1 一般规定

2.1.1 土的工程分类(简称'分类')适用于公路工程用土的鉴别、定名和描述,以便对土的性状作定性评价。

2.1.2 应以土的下列特征作为土分类依据:

2.1.2.1 土颗粒组成特征。

2.1.2.2 土的塑性指标:液限(w_L)、塑限(w_p)和塑性指数(I_p)。

2.1.2.3 土中有机质存在情况

2.1.3 本'本分类'应按筛分法(T0115-93)确定各粒组的含量;按液限塑联合测定法(T0118-93)确定液限和塑限;按本规程 2.4.8 判别有机质存在情况。

2.1.4 土的颗粒应根据图 2.1.4 所列粒组范围划分粒组。

巨粒组		粗粒组						细粒组	
漂石(块石)	卵石(小块石)	砾(角砾)			砂			粉粒	粘粒
		粗	中	细	粗	中	细		

2.1.5 本'分类'将土分成巨粒土、粗粒土、细粒土和特殊土,分类总体系见图 2.1.5。

欠表

2.1.6 土颗粒组成性就以土的级配指标的不均匀系数(C_u)和曲率系数(C_c)表示:

不均匀系数?反映粒径曲线上的土粒分布范围,按下式计算:

$$C_u = d_{60}/d_{10} \quad (2.1.6-1)$$

曲率系数 C_c 反映粒径分布曲线上的土粒分布形状,按下式计算:

$$C_c = (d_{30})^2/d_{10} \cdot d_{60} \quad (2.1.6-2)$$

式中: d_{10} 、 d_{30} 和 d_{60} 分别为土的粒径分布线上对应通过率 10%、30%、60%的粒径(mm)。

2.1.7 细粒土应根据塑性图分类。土的塑性图是以液限(w_L)为横坐标、塑性指数(I_p)为纵坐标构成的。

2.1.8 土的成分、级配、液限和特殊土等基本代号应按下列规定构成:

2.1.8.1 土的成分代号

漂石 B

块石 Ba

卵石 Cb

小块石 Cba

砾 G

角砾 Ga

砂 S

粉土 M

粘土 C

细粒土(C 和 M 合称) F

(混合)(组、细粒土的合称) SI

有机质土 O

2.1.8.2 土的级配代号

级配良好 W

级配不良 P

2.1.8.3 土液限高低代号

高液限 H

低液限 L

2.1.8.4 特殊土代号

黄土 Y

膨胀土 E

红粘土 R

盐渍土 St

2.1.9 土类名称可用一个基本代号表示。

当由两个基本代号构成时,第一个代号表示土的主成分,第二个代号表示副成分(土的液限或土的级配)。

当由三个基本代号构成时,第一个代号表示土的主成分,第二个代号表示液限的高低(或级配的好坏),第三个代号表示土中所含次要成分。

土类的名称和代号见附录 B。

2.2 巨粒土分类

2.2.1 试样中巨粒组质量多于总质量 50%的土称巨粒土，分类体系见图 2.2.1。

图 2.2.1 巨粒土分类体系

欠图

注：

1、巨粒土分类体系中的漂石换成块石，B 按换成 Ba，即构成相应的块石分类体系。

2、巨粒土分类体系中的卵石换成小块石，Cb 换成 Cba，即构成相应的小块石分类体系。

2.2.1.1 巨粒组质量多于总质量 75%的土称漂(卵)石。

2.2.1.2 巨粒组质量为总质量 75%-50%的土称漂(卵)石夹土。

2.2.2 巨粒组质量为总质量 50%-15%的土称漂(卵)石质土。

2.2.3 巨粒组质量少于总质量 15%的土，可扣除巨粒，按粗粒土或细粒土的相应规定分类定名。

2.2.4 漂(卵)石按下列规定定名：

2.2.4.1 漂石粒组质量多于总质量 50%的土称漂石，记为 B。

2.2.4.2 漂石粒组质量少于或等于总质量 50%的土称卵石，记为 Cb。

2.2.5 漂(卵)石夹土按下列规定定名：

2.2.5.1 漂石粒组质量多于总质量 50%的土称漂石夹土，记为 BS1。

2.2.5.2 漂石粒组质量少于或等于总质量 50%的土称卵石夹土，记为 CbS1。

2.2.6 漂(卵)石质土应按下列规定定名：

2.2.6.1 漂石粒多于卵石粒的土称漂石质土，记为 SIB。

2.2.6.2 漂石粒少于或等于卵石粒的土称卵石质土，记为 SICb。

2.2.6.3 如有必要，可按漂(卵)石质土中的砾、砂、细粒土含量定名。

2.3 粗粒土分类

2.3.1 试样中粗粒组质量多于总质量 50%的土称粗粒土。

2.3.2 粗粒土中砾粒组质量多于总质量 50%的土称砾类土，砾类土应根据其中细粒含量和类别以及粗粒组的级配进行分类，分类体系见图 2.3.2。

2.3.2.1 砾类土中细粒组质量少于总质量 5%的土称砾，按下列级配指标定名：

(1)当 $Cu \geq 5$ ， $Cc = 1-3$ 时，称级配良好砾，记为 GW。

(2)不同时满足 2.3.2.1(1)条件时，称级配不良砾，记为 GP。

2.3.2.2 砾类土中细粒组质量为总质量 5%--15%的土称含细粒土砾，记为 GF。

2.3.2.3 砾类土中细粒组质量大于总质量的 15%，并小于或等于总质量的 50%时，按细粒土在塑性图中的位置定名。

欠图

图 2.3.2 砾类土分类体系

砾类土分类体系中的砾石换成角砾，G 换成 Ga，即构成相应的角砾土分类体系。

(1)当细粒土位于塑性图 A 线以下时，称粉土质砾，记为 GM。

(2)当细粒土位于塑性图 A 线以上时，称粘土质砾，记为 GC。

2.3.3 粗粒土中砾粒组质量少于或等于总质量 50%的土称砂类土，砂类土应根据其中细粒含量和类别以及粗粒组的级配进行分类，分类体系见图 2.3.3。

2.3.3.1 砂类土中细粒组质量少于总质量 5%的土称砂，按下列级配指标定名：

(1)当 $Cu \geq 5$ ， $Cc = 1-3$ 时，称级配良好砂，记为 SW。

(2)不同时满足本规程 2.3.3.1(1)条件时，称级配不良砂，记为 SP。

欠图

图 2.3.3 砂类土分类体系

需要时，砂可进一步细分为粗砂、中砂和细砂：

粗砂 粒径大于 0.5mm 颗粒多于总质量 50%；

中砂 粒径大于 0.25mm 颗粒多于总质量 50%；

细砂 粒径大于 0.074mm 颗粒多于总质量 75%。

2.3.3.2 砂类土中细粒组质量为总质量 5%--15%的土称含细粒土砂，记为 SF。

2.3.3.3 砂类土中细粒组质量大于总质量的 15%并小于或等于总质量的 50%时，按细粒土在塑性图的位置定名：

(1)当细粒土位于塑性图 A 线以下时，称粉土质砂，记为 SM。

(2)当细粒土位于塑性图 A 线以上时，称粘土质砂，记为 SC。

2.4 细粒土分类

2.4.1 试样中细粒组质量多于总质量 50%的土称细粒土，分类体系见图 2.4.1。

2.4.2 细粒土应按下列规定划分为细粒土、含粗粒的细粒土和有机质土。

欠图

图 2.4.1 细粒土分类体系

2.4.2.1 细粒土中粗粒组质量少于总质量 25%的土称细粒土。

2.4.2.2 细粒土中粗粒组质量为总质量 25%--50%的土称含粗粒的细粒土。

2.4.2.3 含有机质的细粒土称有机质土。

2.4.3 细粒土应按塑性图分类。本‘分类’的塑性图(见图 2.4.3)采用下列液限分区：

低液限 $L < 50$

高液限 $L > 50$

欠图

2.4.3 塑性图

2.4.4 细粒土应按其在塑性图 2.4.3 中的位置确定土名称：

2.4.4.1 当细粒土位于塑性图 A 线以上时，按下列规定定名：

在 B 线以右，称高液限粘土，记为 CH；

在 B 线以左， $I_p=10$ 线上，称低液限粘土，记为 CL。

2.4.4.2 当细粒土位于 A 线以下时，按下列规定定名：

在 B 线以右，称高液限粉土，记为 MH；

在 B 线以左， $I_p=10$ 线以下，称低液限粉土，记为 ML。

2.4.5 分类遇搭界情况时，应从工程安全角度考虑，按下列规定定名：

2.4.5.1 土中粗、细粒组质量相同时，定名为细粒土。

2.4.5.2 土正好位于塑性图 A 线上，定名为粘土。

2.4.5.3 土正好位于塑性图 B 线上，当其在 A 线以上时，定名为高液限粘土，当其在 A 线以下时，定名为高液限粉土。

2.4.6 本‘分类’确定的是土的学名和代号，必要时，允许附列通俗名称或当地习惯名称。

2.4.7 含粗粒的细粒土应先按本规程 2.4.4 的规定确定细粒土部分的名称，再按以下规定最终定名：

2.4.7.1 当粗粒组中砾粒组占优势时，称含砾细粒土，应在细粒土代号后缀以代号“S”。

2.4.8 土中有机质包括未安全分解的动植物残骸和完全分解的无定型物质。后者多呈黑色、青黑色或暗色；有臭味；有弹性和海绵感。借目测，手摸及嗅感判别。

当不能判定时，可采用下列方法，将试样在 105--110 摄氏度的烘箱中烘烤。若烘烤 24h 后试样的液限小于烘烤前的四分之一，该试样为有机质土，当需要测有机质含量时，按有机质含量试验(T0151-93)进行。

2.4.9 有机质土应根据图 2.4.3 按下列规定定名：

2.4.9.1 位于塑性图 A 线以上：

在 B 线以右，称有机质高液限粘土，记为 CHO；

在 B 线以左， $I_p=10$ 线以上，称低液限粘土，记为 CL。

2.4.4.2 当细粒土位于 A 线以下时，按下列规定定名：

在 B 线以右，称高液限粉土，记为 MH；

在 B 线以左， $I_p=10$ 线以下，称低液限粉土，记为 ML。

2.4.5 分类遇搭界情况时，应从工程安全角度考虑，按下列规定定名：

2.4.5.1 土中粗、细粒组质量相同时，定名为细粒土。

2.4.5.2 土正好位于塑性图 A 线上，定名为粘土。

2.4.5.3 土正好仅次于塑性图 B 线上，当其在 A 线以上时，定名为高液限粘土，当其在 A 线以下时，定名为高液限粉土。

2.4.6 本‘分类’确定的是土的学名和代号，必要时，允许附列通俗名称或当地习惯名称。

2.4.7 含粗粒的细粒土应先按本规程 2.4.4 的规定确定细粒土部分的名称，再按以下规定最终定名：

2.4.7.1 当粗粒组中砾粒组占优势时，称含砾细粒土，应在细粒土代号后缀以代号“G”。

2.4.7.2 当粗粒中砂粒组占优势时，称含砂细粒土，应在细粒土代号后缀以代号“S”。

2.4.8 土中有机质包括未完全分解的动植物残骸和完全分解的无定型物质，后者多呈黑色或暗色；有臭味；有弹性和海绵感，借目测、手摸及嗅感判别。

当不能判定时，可采用下列方法，将试样在 105--110 摄氏度的烘箱中烘烤。若烘烤 24h 后试样的液限小于烘烤前的四分之一，该试样为有机质土，当需要测有机质含量时，按有机质含量试验(T0151-93)进行。

2.4.9 有机质土应根据图 2.4.3 按下列规定定名：

在 B 线以右，称有机质高液限粘土，记为 CHO；

在 B 线以左， $I_p=10$ 线以上，称有机质低液限粘土，记为 CLO。

2.4.9.1 位于塑性图 A 线以上：

在 B 线以右，称有机质高液限粘土，记为 CHO；

在 B 线以左， $I_p=10$ 线以上，称有机质低液限粘土，记为 CLO。

2.4.9.2 位于塑性图 A 以下：

在 B 线以右，称有机质高液限粉土，记为 MHO；

在 B 线以左， $I_p=10$ 线以下，称有机质低液限粉土，记为 MLO。

2.5 特殊土分类

2.5.1 本‘分类’给出黄土、膨胀土和红粘土在塑性图中的位置及其学名，以及盐渍土的含盐量标准。

2.5.2 黄土、膨胀和红粘土按图 2.5.2 定名。

2.5.2.1 黄土：低液限粘土(CLY)，分布范围，大部分在 A 线以上， $I_L < 40\%$ 。

2.5.2.2 膨胀土：高液限粘土(CHE)，分布范围：大部分在 A 线以上， $I_L > 50\%$ 。

2.5.2.3 红粘土：高液限粉土(MHR)，分布范围：大部分在 A 线以下， $I_L > 55\%$ 。

欠图

图 2.5.2 特殊土塑性图

2.5.3 盐渍土按表 2.5.3 规定划分。

名称	被利用的土层中平均总盐量(以质量%计)	
	氯化物和硫酸盐氯化物	氯化物硫酸盐和硫酸盐
弱盐渍土	0.3--1.0	0.3--0.5
中盐渍土	1--5	0.5--2
强盐渍土	5--8	2--5
过盐渍土	>8	>5

注：表中所指含盐种类名称的定性区分标准为：

氯化物 $Cl^-/SO_4^{2-} > 2$

硫酸盐氯化物 $Cl^-/SO_4^{2-} = 2--1$

氯化物硫酸盐 $Cl^-/SO_4^{2-} = 1--0.3$

硫酸盐 $Cl^-/SO_4^{2-} < 0.3$

2.6 土的简易鉴别、分类和描述

2.6.1 土的简易鉴别方法用目测法代替筛分法确定土粒组成及其特征：用于强度、手捻、韧性和摇震反应等定性方法代替液限仪测定细粒土的塑性。

2.6.2 确定土粒组含量时，可将研散的风干试样摊成一薄层，凭目测估计土中巨、粗、细粒级所占的比例。再按本规程 2.2 至 2.4 的有关规定确定其为巨粒土，粗粒土和细粒土。

2.6.3 干强度试验：将一小块土捏成土团，风干后用手指捏碎、扳断及捻碎，根据用力大小区分为：

2.6.3.1 很难或用力才能捏碎或扳断者为干强度高。

2.6.3.2 稍用力即可捏碎或扳断者为干强度中等。

2.6.3.3 易于摔碎和捻成粉末者为干强度低。

2.6.4 手捻试验：将稍湿或硬塑的小土块在手中揉捏，然后用拇指和食指将土捻成片状，根据手感和土片光滑度可分为：

2.6.4.1 手感滑腻，无砂，捻面光滑者为塑性高。

2.6.4.2 稍有滑腻感，有砂粒，捻面粗糙者为塑性低。

2.6.4.3 稍有粘性，砂感强，捻面粗糙者为塑性低。

2.6.5 搓条试验：将含水量略大于塑限的湿土块在手中揉捏均匀，然后在手掌中搓成直径为 3mm 的土条，揉成土团，根据两次搓条的可能性可区分为：

2.6.5.1 能搓成小于 1 毫米土条者为塑性高。

2.6.5.2 能搓成 1--3 厘米土条而不断者为塑性中等。

2.6.5.3 能搓成直径大于 3 毫米的土块在手中揉捏均匀，然后在手掌中搓成直径为 3 毫米的土条，再揉成土团，根据再次搓条的可能性可区分为：

2.6.6.1 能揉成土团，再成条，捏而不碎者为韧性高。

2.6.6.2 可再成团，捏而不易碎者为韧性中等。

2.6.6.3 勉强或不能揉成团，稍捏或不捏即碎者为韧性低。

2.6.7 摇震反应试验：将软塑至流动的小土块，捏成土球，放在手掌上反复摇晃，并以另一手掌击此手掌，土中自由水渗出，球面呈现光泽，用二手指捏土球，放松后水又被吸入，光泽消失，根据上述渗水和吸水反应快慢可区分为：

2.6.7.1 立即渗水和吸水者为反应快。

2.6.7.2 渗水和吸水中等者为反应中等。

2.6.7.3 渗水吸水慢及不渗不吸者为无反应。

2.6.8 巨粒土和粗粒土可根据本规程 2.6.2 的目估结果，按本规程 2.2 和 2.3 中有关规定进行分类定名。

2.6.9 细粒土可根据本规程 2.6.3 至 2.6.7 的试验结果，按表 2.6.9 进行分类定名。

细粒土简易分类 表 2.6.9

半固态时的干强度	硬塑-可塑态时的手捻感和光滑度	土在可塑态时		软塑--流塑态时的摇震反应	土类代号
		可搓成最小直径(m)	韧性		
低--中	灰黑色，粉粒为主，稍粘，捻面粗糙	3	低	快--中	MLO
中	砂粒稍多，有粘性，捻面较粗糙，无光泽	2--3	低--中	快--中	ML
中--高	有砂粒，稍有滑腻感，捻面稍有光泽，灰黑色者为 CLO	1--2	中	无--很慢	CL CLO
中	粉粒较多，有滑腻感，捻面较光滑	1--2	中	无--慢	MH
中--高	灰黑色，无砂，滑腻感强，捻面光滑	<1	中--高	无--慢	MHO

高--很高	无砂感，滑腻感强，捻面有光泽，灰黑色者为 CLO	<1	高	无	CH CHO
-------	--------------------------	----	---	---	-----------

2.6.10 在现场采样和试验开启试样时，应按下列内容描述土的状态。

2.6.10.1 巨粒土和粗粒土，通俗名称及当地名称；土粒最大粒径；漂石粒、卵石粒、砾粒、砂粒组的含量，土颗粒形状：圆、次圆、棱角或次棱角；土颗粒的矿物成分；土的着色和有机质；细粒土：粘土或粉土；土的代号和名称。

2.6.10.2 细粒土 通俗名称及当地名称；土颗粒的最大粒径；漂石粒、卵石粒、砾粒、砂粒组的含量；潮湿时土的及有机质；土的温度：干、湿、很湿或饱和；土的状态：流动、软塑、可塑或硬塑；土的塑性：高、中或低；土的代号和名称。

2.6.11 根据土的不同用途分别描述下列名称：

2.6.11.1 当用任填料时，不同土类的分布层次范围。

2.6.11.2 当用作地基时，土的分布层次及范围、结构性的密度。

第 3 章

3 土样的采集、运输和保管(T0101-93)

3.0.1 土样要求

3.0.1.1 采取原状土或扰动土视工程对象而定，凡属桥梁、涵洞、隧道、挡土墙、房屋建筑物的天然地基以及挖方边坡、渠道等，应采取原状土样；如为填土路基、堤坝、取土坑(场)或只要求土的分类试验者，可采取扰动土样。

3.0.1.2 土样可在试坑、平洞、竖井、天然地面及钻孔中采取。取原状土样时，必须保持土样的原状结构及天然含水量，并使土样不受扰动。用钻机取土时，土样的直径不得小于 10 厘米，并使用专门的薄壁取土器；在试坑中或天然地面下挖取原状土时，可用有上、下盖的铁壁取土筒，打开下盖，扣在欲取的土层上，边挖筒周围土，边压土筒至筒内装满土样，然后挖断筒底土层(或左、右摆动即断)，取出土筒，翻转削平筒内土样，若周围有空隙，可用原土填满，盖好下盖，密封取土筒，采取扰动土时，应先清除表层土，然后分层用四分法取样，对于盐渍土，一般应分别 0--0.05m,0.05--0.25 m,0.25--0.50m,0.50--0.75m,0.75--1.0m 垂直深度处，分层取样，同时，应测记采样季节、时间和气温。

3.0.1.3 土样数量按表 3.0.1-1 规定采取。

3.0.1.4 取土记录和编号；无论采用什么方法取样，均应用“取样记录簿”记录并扯下其一半作为标签，贴在取土筒上(原状土)或折叠后放入取土袋内。“取样记录簿”(格式见表 3.0.1-2)宜用韧质纸并必须用铅笔填写各项记录。对取样方法、扰动或原状、取样方向以及取土过程中出现的现象等，应记入取样说明栏内。

各试验取样数量表 表 3.0.1-1

试验项目	土样类别	土样状态	最大颗粒直径(mm)	土样质量或体积	备注
含水量	砂类土	扰动		30--50 克	在现场以铝盒取样时，必须现场称铝盒及湿土质量
	细粒土	扰动		30--50 克	
密度	砂类土	原状		10cm*10cm*10cm	
	细粒土	原状		或 10cm*20cm	
比重	细粒土	扰动		50 克	取土量视最大颗粒直径大小而异，可参照比重和颗粒大小分析试验操作规程的规定
	砂类土	扰动		50 克	
	砂砾	扰动	>5	2--10 千克	
颗粒分析	砂砾	扰动	>2	0.5--7kg	
	砂类土	扰动	<2	200--500g	
	细粒土	扰动		100--400g	
相对密实度	砂类土	原状		10cm*10cm*10cm	
	砂类土	扰动	>5	2kg	
液限塑限	砂类土	扰动		500g	
	细粒土	扰动		500g	
膨胀收缩	粘质土	扰动		500g	
	粘质土	原状		10cm*10cm*10cm	
稠度	细粒土	原状		500g	或扰动土，但必须操持天然含水量
毛细管水上升高度	砂类土	扰动		5kg	
	细粒土	扰动		5kg	
击实	细粒土	扰动		3kg	指试筒容积 997 立方厘米，干法，土重复使用
	砂类土	扰动		3kg	
渗透	砂类土	扰动		4--5kg	
	细粒土	扰动		2kg	
	细粒土	原状		10cm*10cm*10cm	
固结	粘质土	原状		10cm*10cm*10cm	
	粘质土	扰动		1kg	

黄土湿陷	粉质土	原状		20cm*20cm*20cm 10cm*20cm	
三轴压缩	粘质土	原状		20cm*20cm*20cm 10cm*20cm	
	粘质土	扰动		5kg	
	砂类土	扰动		5kg	
直接剪切	粘质土	原状		10cm*10cm*10cm	
	粘质土	扰动		1.5--3kg	
	砂类土	扰动		3kg	
无侧限抗压	粘质土	原状		10cm*10cm*15cm 或 10cm*20cm	
化学性质	细粒土 砂类土	扰动		1kg	

封面) 表 3.0.1-2

工程名称-----

路线里程(或地点)-----

取样记录簿

第--本 共填--页

记录开始日期--年--月--日

记录完毕日期--年--月--日

取样单位----

扉页) 目 录

内页) 第--页 第--页

路线里程或地点----- 工程名称-----

试坑号--取样深度----- 路线里程或地点-----

土样号--取土袋号----- 试坑号--取样深度-----

土样名----- 土样号--取土袋号-----

用途----- 土样名-----

要求试验项目或取样说明 用途-----

----- 要求试验项目或取样说明

取样者----日期-----

取样者----日期-----

3.0.2 土样包装和运输

3.0.2.1 原状土或需要保持天然含水量的扰动土，在取样之后，应立即密封取土筒，即先用胶布贴封取土上的所有缝隙，在两端盖上用红油漆写明“上、下”字样，以示土样层位。在筒壁贴上“取样记录簿”中扯下的标签，然后用纱布包裹，再浇注融蜡，以防水分散失。

3.0.2.2 密封后的原状土在装箱之前应放于阴凉处，不需保持天然含水量的扰动土，最好风干稍加粉碎后装入袋中。

3.0.2.3 土样装箱时，应与“取样记录簿”对照清点，无误后再装入，并在记录簿存根上注明装入箱号，对原状土应按上、下部位将筒立放，木箱中筒间空隙宜以稻(麦)草或软物填满，以免在运输过程中受震、受冻。木箱上应编号并写明“小心轻放”“切勿倒置”“上”“下”等字样。对已取好的扰动土样的土袋，在对照清点后可以装入麻袋内，扎紧袋口，麻袋上写明编号并拴上标签(如同行李签)，签上注明麻袋号数、麻袋内共装的土袋数和土袋号。

3.0.2.4 盐渍土的扰动土样宜用塑料袋装，为防取记录标签在袋内湿烂，可用另一小塑料袋袋标签，再放入土袋中：或将标签折叠后放在盛土的塑料袋口，并将塑料袋折叠收口，用橡皮圈绕扎袋口标签以下，再将放标签的袋口向下折叠，然后再以未绕完的橡皮圈绕完的橡皮圈绕扎系紧，每一盐渍土剖面所取的5个塑料袋土，可以合装于一个稍大的布袋内。同样在装入布袋前要与记录簿存根清点对照，并将布袋号补记在原始记录簿中。

3.0.3 土样的接受与管理

3.0.3.1 土样运到试验单位，应主动附送“试验委托书”(如表 3.0.3)，委托书内各栏根据“取样记录簿”的存根填写清楚，若还有其它试验要求，可在委托书内注明。

土样试验委托书 表 3.0.3

兹送上土样--个，请按所附委托书要求项目 --路--段

予以试验为荷。 共--页，第--页

此致

试 验 室 199--年--月--日

土样编号	试验室编号	土 样 名 称 (野外鉴别)	取样地点或 里程桩号	孔(坑)号	取样深度		试 验 目 的	项 目										备 注
					自 m	至 m												
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	...	30	31	32		

主管 主管工程师审核 委托单位及联系人

1、需做之项目可自行在空白栏内填写；

2、备注栏内需填写需要资料时间及寄送地点和土样试验后处理方法。

3.0.3.2 试验单位在接到土样之后，即按照“试验委托书”清点土样，核对编号并检查所送土样是否满足试验项目的需要等。同时，每清点一个土样，即在委托书中的试验室编号栏内进行统一编号，并将此编号记入原标签上，以免与其它工程所送土样编号相重而发生错误。

3.0.3.3 土样清点验收后，即根据“试验委托书”登记于“土样收发登记簿”内，并交土样交负责试验人员妥善保存，按要求逐项进行试验。土样试验完毕，将余土仍装入原装内，待试验结果发出，并在委托单位收到报告书一个月后，仍无人查询，即可将土样处理。若有疑问，尚可用余土复试。试验结果报告书发出时，即在原来“土样收发登记簿”内注明发出日期。

第 4 章

4 土样和试样制备(T0102-93)

4.0.1 扰动土样的制备程序

4.0.1.1 将扰动土样进行土样描述,如颜色、土类、气味及夹杂物等,如有需要,将扰动土样充分拌匀,取代表性土样进行含水量测定。

4.0.1.2 将块状扰动土放在橡皮板上用木碾或粉碎机碾散,但切勿压碎颗粒,如含水量较大不能碾散时,应风干至可碾散时为止。

4.0.1.3 根据试验所需土样数量,将碾散后的土样过筛,物理性试验如液限、塑限、缩限等试验,而过 0.5mm 筛,水理及力学试验土样,需过 2 毫米筛;击实试验土样,需过 5 毫米筛。按规定过筛后,取出够数量的代表性试样,然后分别装入容器内,标以标签。标签上应注明工程名称、土样编号、过筛孔径、用途、制备日期和人员等,以备各项试验之用,若含有多量粗砂少量细粒土(泥砂或粘土)的松散土样,应加水润湿松散后,用四分法取出代表性试验,若系净砂,则可用匀土以代表性试样。

4.0.1.4 为配制一定含水量的试样,取过 2 毫米筛的足够试验用的风干土 1--5 千克,按 4.0.2.2 步骤计算所需的加水量,然后将所取土样平铺于不吸水的盘内,用喷雾设备喷洒预计的加水量,并充分拌和,然后装入容器内盖紧,润湿一昼夜备用(砂类土浸润时间可酌量缩短)。

4.0.1.5 测定湿润土样不同位置的含水量(至少二个以上),要求差值不大于 $\pm 1\%$ 。

4.0.1.6 对不同土层的土样制备混合试样时,应根据各土层厚度,按比例计算相应质量配合,然后按本规程 4.0.1.1--4.0.1.4 步骤进行扰动土的制备工序。

4.0.2 扰动土样制备的计算

4.0.2.1 按下式计算干土质量:

$$m_s = m / (1 + 0.01 h)$$

式中: m_s --干土质量,克;

m --风干土质量(或天然土质量),克;

m_h --风干含水量(或天然含水量),%。

4.0.2.2 按下式计算制备土样所需加水量:

$$m_w = m / (1 + 0.01 h) * 0.01$$

式中: m_w --土样所需加水量,克;

m --风干含水量时的土样质量,克;

h --风干含水量,%;

--土样所要求的含水量,%。

4.0.2.3 按下式计算制备扰动土样所需总土质量:

$$m = (1 + 0.01 h) \rho_d V$$

式中: m --制备土样所需总土质量,克;

ρ_d --制备土样所要求的干密度,克/立方厘米;

V --计算出击实土样或压模土样体积,立方厘米;

h --风干含水量,%。

4.0.2.4 按下式计算制备扰动土样应增加的水量:

$$m_w = 0.01 (h - h_d) \rho_d V$$

式中: m_w --制备扰动土样应增加的水量,立方厘米;

其余符号同前

4.0.3 砾石土样的制备程序

4.0.3.1 无凝聚性的松散砂土、砂砾及砾石等按本规程 4.0.1.3 制备土样,然后取具有代表性足够试验用的土样作颗粒分析作用,其余过 5 毫米筛,筛上筛下土样分别贮存,供作比重及最大、最小孔隙比等试验用,取一部分过 2 毫米筛的土样备力学性质之用。

4.0.3.2 如砂砾土有部分粘土粘附在砾石上,可用毛刷仔细刷捏碎过筛,或先用水浸泡,然后用 2 毫米筛将浸泡过的土样在筛上冲洗,取筛上及筛下具有代表性试样作颗粒分析用。

4.0.3.3 将过筛土样或冲洗下来的土浆风干至碾散为止,再按本规程 4.0.1.1 至 4.0.1.4 步骤操作。

4.0.4 扰动土样试件的制备程序。

根据工程要求,将扰动土制备成所需的试件进行水理、物理力学等试验之用。

根据试件高度要求分别选用击实法和压样法,高度小的采用单层击实法,高度大的采用压样法。

4.0.5 击实法

4.0.5.1 根据工程要求,选用相应的夯击功进行击实。

4.0.5.2 按试件所要求的干质量、含水量,按本规程 4.0.1 和 4.0.3 制备湿土样,并称制备好的湿土样质量,准确至 0.01g。

4.0.5.3 将试验用的切土环刀内壁涂一薄层凡士林,刃口向下,放在试件上,用切土刀将试件削成略大于环刀直径的土柱。然后将环刀垂直向下压,边压边削,至土样伸出环刀为止,削平环刀两端,擦净环刀外壁,称环土合质量,准确至 0.1g,并测定环刀两端所削下土样的含水量。

4.0.5.4 试件制备应尽量迅速,以免水分蒸发。

4.0.5.5 试件制备的数量视试验需要而定,一般应多制备 1--2 组备用,同一组试件或平行试件的密度,含水量与制备标

准之差值，分别在 ± 0.1 /立方厘米或 2% 范围之内。

4.0.6 压样法

4.0.6.1 按本规程 4.0.5.2 的规定，将湿土倒入压模内，拂平土样表面，以静压力将土压至一定高度，用推土器将土样推出。

4.0.6.2 按 4.0.5.3 至 4.0.5.5 的规定进行操作。

4.0.7 原状土试件制备程序

按土样上下层次小心开启原状土包装皮，将土样取出放正，整平两端。在环刀壁涂一薄层凡士林，刀口向下，放在土样上，无特殊要求时，切土方向与天然层次垂直。

按本规程 4.0.5.3 的操作步骤切取试件，试件与环刀要密合，否则应重取。

切削过程中，应细心观察并记录试件的层次、气味、颜色，有无杂质，土质是否均匀，有无裂缝等。

如连续切取数个试件，应注意使含水量不发生变化。

视试件本身及工程要求，决定试件是否进行饱和，如不立即进行试验或饱和时，则将试验暂存于保温器内。

切取试件后，剩余的原状土样用蜡纸包好置于保温器内，以备补作试验之用。切削的余土作物理性试验。平行试验或同一组试件密度差值 $> \pm 0.1$ g/立方厘米，含水量差值 $> 2\%$ 。

4.0.8 试件饱和

土的孔隙逐渐被水填充的过程称为饱和。孔隙被水充满时的土，称为饱和土。

根据土的性质，决定饱和方法：

砂类土：可直接在仪器内浸水饱和。

较易透水的粘性土：即渗透系数大于 10^{-4} cm/s 时，采用毛细管饱和法较为方便。

不易透水的粘性土：即渗透系数小于 10^{-4} cm/s 时，采用真空饱和法。如土的结构性较弱，抽气可能发生扰动，不宜采用。

4.0.9 毛细管饱和法

毛细管饱和法需要仪器设备如下：

4.0.9.1 饱和器：见图 4.0.9。

4.0.9.2 水箱：带盖。

4.0.9.3 天平：感量 0.1g。

毛细管饱和法操作步骤如下：

4.0.9.4 在重叠式饱和器下正中放置稍大于环刀直径的透水石和滤纸，将装有试件的环刀放在滤纸上，试件上面再放一张滤纸和一块透水石，这样顺序重复，由下向上重叠至适当高度，将饱和器上板放在最上部透水石上，旋紧拉杆上端的螺丝，将各个环刀在上下板间夹紧。

欠图

4.0.9.5 如用并列式饱和器时，则将透水石放置于下板各圆孔上，并顺序放置滤纸、装试件的环刀、滤纸、上部透水石及上板，旋紧拉杆上端的螺丝，将各个环刀在上下板间夹紧。

4.0.9.6 将装好试件的饱和器，放入水箱中(重叠式和框架式饱和器放倒，并列式则平放)注清水入箱，水面不宜将试件淹没(重叠式和框架式饱和器)或超过试件顶面(并列式饱和器)，以便土中气体得以排出。

4.0.9.7 关上箱盖，防止水分蒸发，静置数日，借土的毛细管作用，使试件饱和，一般约需 3d。

4.0.9.8 取出饱和器，松开螺丝，取出环刀，擦干外壁，吸去表面积水，取下试件上下滤纸，称环土合质量，准确至 0.1g，并计算饱和度。

4.0.9.9 如饱和度 $< 95\%$ 时，将环刀装入饱和器，浸入水内，重新延长饱和时间。

4.0.10 真空饱和法

真空饱和法装置如图 4.0.10 所示，需要仪器设备如下：

欠图

图 4.0.10 真空饱和法装置

1-排气管；2-二通阀；3-橡皮塞；4-真空缸；5-饱和器；6-管夹；7-引水管；8-水缸

4.0.10.1 饱和器：尺寸形式同前。

4.0.10.2 真空缸：金属或玻璃制。

4.0.10.3 抽气机。

4.0.10.4 真空测压表。

4.0.10.5 其它：天平、硬橡皮管、橡皮塞、管夹、二路活塞、水缸、凡士林等。

真空饱和法操作步骤如下：

4.0.10.6 按本规程 4.0.9.1 至 4.0.9.2 步骤试件装入饱和器。

4.0.10.7 将装好试件的饱和器放入真空缸内，盖口涂一薄层凡士林，以防漏气。

4.0.10.8 关管夹，开阀门(见图 4.0.10)，开动抽气机，抽除缸内及土中气体，当真空压力表达到一个负大气压力值后，稍微开启管夹，使清水同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。

4.0.10.9 待饱和器代全淹没水中后，即停止抽气，将引水管自水缸中提出，令空气进入真空缸内，静待一定时间，借大气压力，使试件饱和。

4.0.10.10 取出试件，称质量，准确至 0.1g，计算饱和度。

4.0.11 化学试验的土样制备

把土样平铺在搪瓷盘、木板或厚纸上，摊成薄层，放于室内阴凉通风处风干，不时翻拌，并将大块土捏散，促使均匀风干。风干场所力求干燥清洁，并要防止酸碱蒸汽的侵蚀和尘埃落入。

风干土样用木棍压碎，仔细检查砂砾，过 2 毫米孔径的筛，筛出土块重新压碎，使全部通过为止。过筛后的土样经四分

法缩减至 200 克左右,放在瓷研钵中研细,使其全部通过 1 毫米的筛子,取其中 3/4(用二次四分法,每次取一半)供一般化学试验之用,其余 1/4 重又研细,使全部通过 0.5mm 筛子,由四分法分出 1/2,置于 105--110 摄氏度烘箱中烘至恒温,贮于干燥器中,供碳酸盐等分析之用。

剩余 1/2,压成扁平薄层,划成许多小方格,用角匙按分格规律均匀挑取样品 10 克左右,放入玛瑙列研钵中仔细研碎,使其全部通过 0.1mm 筛子,最后也在 105--110 摄氏度烘箱中烘 8h,放在干燥器内,供矿质成分分析之用。

4.0.12 结果整理

4.0.12.1 按下式计算饱和度:

$$Sr = \frac{(\rho - \rho_d)Gs}{e \rho_d}$$

或

$$Sr = \frac{Gs}{e}$$

式中: Sr--饱和度, %;

ρ --饱和后的密度,克/立方厘米;

ρ_d --土的干密度,克/立方厘米;

e--土的孔隙比;

Gs--土粒比重;

ρ --饱和后的含水量, %。

4.0.12.2 本试验记录格式如表 4.0.12。

扰动土试件制备记录表 4.0.12

工程名称---

计算者---

制备者----

校核者---

土样编号	制备日期	制备标准			所需土质量及增加水量的计算					试件制备					备注		
		干密度 (g/cm ³)	含水量 (%)	计算的或 试筒或模 容模积 V(cm ³)	干土质量 ms(%)	含水量 h(%)	湿土质量 m(g)	增加水 量 m _w (mL)	所需土 质量(g)	制备方法	环刀质量 (g)	环刀加土 量(g)	湿土质量 (g)	密度(g/cm ³)		含水量 (g)	干密度 (g/cm ³)
		1.70	16	81	137.8	5	144.6	15.2	159.8	击样	40	198.7	158.7	1.96	15.4	1.70	应变剪切试验用
										击样		199.5	158.7	1.97	15.0	1.71	应变剪切试验用
										击样		199.0	159.5	1.96	15.9	1.69	应变剪切试验用
		1.70	16	100	170	5	178.4	18.7	197.1	击样	50	248.0	198.0	1.98	16.5	1.7	压缩试验用
		天然 1.65	天然 15	100	-	-	-	-	189.7	击样	50	239.3	188.3	1.89	14.8	1.65	压缩试验用天然含水量土样

第 5 章

5 含水量试验

5.1 烘干法(T0103-93)

5.1.1 定义和适用范围

5.1.1.1 土的含水量是在 105--110 摄氏度下烘至恒量时所失去的水分质量和达恒量后干土质量的比值，以百分数表示，本法是测定含水量的标准方法。

5.1.1.2 本试验方法适用于粘质土、粉质土、砂类土和有机质土类。

5.1.2 仪器设备

5.1.2.1 烘箱：可采用电热烘箱或温度能保持 105--110 摄氏度的其它能源烘箱，也可用红外线烘箱。

5.1.2.2 天平：感量 0.01g。

5.1.2.3 其它：露天煤矿器、称量盒(为简化计算手续，可将盒质量定期(3--6 个月)调整为恒质量值)等。

5.1.3 试验步骤

5.1.3.1 取具有代表性试样，细粒土 15--30 克，砂类土、有机土为 50 克，放入称量盒内，立即盖好盒盖，称质量。称量时，可在天平一端放上与该称量盒等质量的砝码，移动天平游码，平衡后称量结果即为湿土质量。

5.1.3.2 揭开盒盖，将试样和盒放入烘箱内，在温度 105--110 摄氏度恒温下烘干。烘干时间对细粒土不得少于 8h，对砂类土不得少于 6h。对含有机质超过 5%的土，应将温度控制在 65--70 摄氏度的恒温下烘干。

5.1.3.3 将烘干后的试样和盒取出，放入干燥器内冷却(一般只需 0.5--1h 即可)，冷却后盖好盒盖，称质量，准确至 0.01g。

5.1.4 结果整理

5.1.4.1 按下式计算含水量：

$$w = (m - m_s) / m_s \times 100$$

式中：w--含水量，%；

m--湿土质量，克；

m_s--干土质量，克；

计算至 0.1%。

5.1.4.2 本试验记录格式如表 5.1.4。

工程编号 试验者

土样说明 计算者

试验日期 校核者

盒号		1	2	3	4
盒质量	(g)	(1)	20	20	20
盒+湿土质量	(g)	(2)	38.87	40.54	40.65
盒+干土质量	(g)	(3)	35.45	36.76	36.16
水分质量	(g)	(4)=(2)-(3)	3.42	3.78	4.49
干土质量	(g)	(5)=(3)-(1)	15.45	16.76	16.16
含水量	(%)	(6)=(4)/(5)	22.1	22.6	27.8
平均含水量	(%)	(7)	22.4		28.1

5.1.5 精密度和允许差

本试验须进行二次平行测定，取其算术平均值，允许平行差值应符合如表 5.1.5 规定。

含水量测定的允许平行差值 表 5.1.5

含水量试验记录(烘干法) 表 5.1.4

含水量(%)	允许平行差值(%)
5 以下	0.3
40 以下	≤1
40 以上	≤2

5.1.6 报告

5.1.6.1 土的鉴别分类和代号

5.1.6.2 土的含水量

5.2 酒精燃烧法(TO104-93)

5.2.1 目的和适用范围

本试验方法适用于快速简易测定细粒土(含有机质的除外)的含水量。

5.2.2 仪器设备

5.2.2.1 称量盒(定期调整为恒质量)。

5.2.2.2 天平：感量 0.01g。

5.2.2.3 酒精：纯度 95%。

5.2.2.4 滴管、火柴、调土刀等。

5.2.3 试验步骤

5.2.3.1 取代表性试样(粘质土 5--10 克，砂类土 20--30 克)，放入称量盒内，称湿土质量。

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

5.2.3.3 点燃盒中酒精，燃至火焰熄灭。

5.2.3.4 将试样冷却数分钟，按本试验 5.2.3.3 至 5.2.3.4 方法重新燃烧两次。

5.2.3.5 待第三次火焰熄灭后，盖好盒盖，立即称干土质量，准确至 0.01g。

其余同 T0103。

5.3 比重法(T0105-93)

5.3.1 目的和适用范围

本试验方法仅适用于砂类土。

5.3.2 仪器设备

5.3.2.1 玻璃瓶：容积 500 毫升以上。

5.3.2.2 天平：称量 1000 克，感量 0.5 克。

5.3.2.3 其它：漏斗、小勺、吸水球、玻璃片、土样盘及玻璃棒等。

5.3.3 试验步骤

5.3.3.1 取代表性砂类土试样 200--300 克，放入土样盘内。

5.3.3.2 向玻璃瓶中注入清水至 1/3 左右，然后用漏斗将土样盘中的试样倒入瓶中，并用玻璃棒搅拌 1--2min，直到所含气体完全排出为止。

5.3.3.3 向瓶中加入清水至全部充满，静置 1min 后用吸水球吸去泡沫，再加清水使其充满，盖上玻璃片，擦干瓶外壁，称质量。

5.3.3.4 倒去瓶中混合液，洗净，再向瓶中加入清水至全部充满，盖上玻璃片，擦干瓶外壁，称质量，准确至 0.5g。

5.3.4 结果整理

5.3.4.1 按下式计算含水量：

$$= [m(G_s-1)/G_s(m_1-m_2)-1]*100$$

式中：--砂类土的含水量，%；

m--湿土质量，克；

m₁--瓶、水、土、玻璃片合质量，克；

m₂--瓶、水、玻璃片合质量，克；

G_s--砂类土的比重。

计算至 0.1%。

5.3.4.2 本试验记录格式如表 5.3.4。

含水量试验记录(比重法)表 5.3.4

土样编号	瓶号	湿土质量(g)	瓶、水、土、玻璃片合质量(g)	瓶、水、玻璃片合质量(g)	土样比重	含水量(%)	平均值(%)	备注

其余同(T0103-93)。

5.4 碳化钙气压法(T0106-93)

5.4.1 目的和适用范围

本试验方法适用于路基土和稳定土含水量的快速简易测定。

5.4.2 仪器设备

5.4.2.1 碳化钙气压含水量测定仪，其基本结构如图 5.4.2 所示，由主体罐、紧固螺钉、弓形紧固架、罐盖、垫圈、过滤器和指示表(表盘)组成。含水量指示表系与烘干法对比经标定试验由压力表转换而得，即表盘刻度是按含水量百分比刻制的，便于直接读出含水量值。仪器分大小两种型号，HKC-200 型主要用于粒径小于 40 毫米 砾含水量的测定，试样取 200 克，含水量测定范围 0--12%(最大 14.3%)；用比例法取 100 克试样，含水量测定范围 0--27%。HKC-30 型主要用于路基土和稳定土含水量的测定，试样取 30 克，含水量测定范围 0--31%；用比例法取 15 克试样，含水量测定范围 0--90%。

欠图

5.4.2.2 仪器箱：存放仪器和附件，便于随身携带。

5.4.2.3 天平：称量 200 克，感量 0.1g 的特种天平，并配有料盘，用作试样称量。

5.4.2.4 手动摇晃架；用于 HKC-200 型。

5.4.2.5 粉碎球：加速土粒粉碎(球表面要求镀银处理)。

5.4.2.6 毛刷：用于清扫仪器。

5.4.2.7 小勺：用于计量吸水剂(碳化钙)。

5.4.3 吸水剂

吸水剂为纯度 80.66%的碳化钙，粒度 3 毫米以下，发气量为 1 千克碳化钙产生 300L 乙炔气。

当 HKC-200 型的试样质量为 200 克和含水量为 12%时，需吸水剂质量约 48 克，6 平勺(每平勺为 8 克)。

当 HKC-30 型的试样质量为 30 克和含水量为 31%时，需吸水剂质量约 16 克，2 平勺。

5.4.4 试验步骤

5.4.4.1 备料

对于粗颗粒较多的砂砾材料，用四分法取样，尽可能使试样具有代表性。一些原状的粘质土，在水分较少的情况下，发硬结块，须预先进行碾磨。试验前应了解材料中含水量的大概范围，在材料含水量较大、又无把握确定含水量大概范围的情况下，宜先试用比例法，防止过大的含水量超过仪器所规定的测量范围。

5.4.4.2 清扫仪器

必须使盖口干净，橡皮圈、罐盖内无上次测定留下的残渣。

5.4.4.3 称取试样

取有代表性的试样，对 HKC-200 型，称取试样 200 克，对 HKC-30 型，称取试样 30 克，夏天在野外操作时，称样时间要短，往往因气温和光照的影响，大大超过试样多称 1--2 克的误差。

5.4.4.4 放入试样

把称好的试样倒入罐内。为防止试样倒在外面，应处备一个装料漏斗，同时将两个粉碎球放入主体罐内。

5.4.4.5 放吸水剂

将定量吸水剂放入仪器盖中，HKC-200 型放 6 平勺，HKC-30 型放入 2 平勺。

5.4.4.6 关闭仪器

为了不让试样和吸洗涤剂仪器关闭之前混合，应使仪器接近水平状态，再横向加盖，然后拧紧螺栓。

5.4.4.7 混合(或放在手摇晃架上操作)

双手握住仪器(表向下，仪器倾斜 45 度)摇动，使试样与粉碎球沿罐的侧壁转动，砂砾一般约 20 次，粘质土视塑性指数的不同，应适当增加次数，有的需 100 多次。然后再使表盘向上，盖往下来回翻动数次，使吸水剂落入盖中，与盖周壁内所粘水分发生反应。翻动数次后，看表中指针所指的含水量范围，再使表盘向下，静放 0.5--1min，若指针不再转动，即可读数。若指针还未稳定，再重复上述内容进行第二次，第三次混合，直至表针稳定为止，一般砂砾 1、2 次即可，粘质土约需 3 次，用手摇动手摇晃架，址至表针稳定为止。

5.4.4.8 读数

读数时，表针必须稳定，并使眼睛水平对着表盘，指针向上，指针位置不统一，或眼睛向表盘一侧读数，会影响测试精度，记录试样质量和表盘读数。

5.4.4.9 使罐盖背向操作者，缓慢地释放气压。倒空主体罐，检查材料块状。如试样未完全粉碎，应以新试样重作试验，用瓶刷刷净主体罐内腔，和小刷刷净称盘，用绒布擦净两个粉碎球表面上的残留物。

5.4.4.10 当材料含水量有可能超出仪器测试时，在初测中应采用比例法，对 HKC-200 型，称取试样 100 克；对 HKC-30 型，称取试样 15 克，按照上述步骤测定试样的含水量，再按图 5.4.4 将刻度盘读数(含水量指示值)换算为实际含水量，例如，示值为 12%的含水量，实际含水量为 27.3%。

5.4.5 记录

本试验记录格式如表 5.4.5。

含水量试验记录(碳化钙气压法) 表 5.4.5

工程编号--- 取土深度 仪器编号 试验方法

试验者 计算者 校核者 试验日期

试样编号	仪器型号	吸水剂质量(g)	试样质量(g)	表盘读数	含水量(%)	备注

欠图。

图 5.4.4 HKC-200 型和 HKC-30 型刻度盘读数与实际含水量(按比例法)的换算曲线

第 6 章

6 密度试验

6.1 环刀法(T0107-93)

6.1.1 目的和适用范围

本试验方法适用于细粒土。

6.1.2 仪器设备

6.1.2.1 环刀:内径 6--8cm,高 2--3cm,壁厚 1.5--2mm。

6.1.2.2 天平:感量 0.1g。

6.1.2.3 其它:修土刀、钢丝锯、凡士林等。

6.1.3 试验步骤

6.1.3.1 按工程需要取原状土或制备所需状态的扰动土样,整平两端,环刀内壁涂一薄层凡士林,刀口向下放在土样上。

6.1.3.2 用修土刀或钢丝锯将土样上部削成略大于环刀直径的土柱,然后将环刀垂直下压,边压边削,至土样伸出环刀上部为止,削去两端余土,使与环刀口面齐平,并用剩余土样测定含水量。

6.1.3.3 擦净环刀外壁,称环刀与土合质量 m_1 ,准确至 0.1g。

6.1.4 结果整理

6.1.4.1 按下列公式计算湿密度及干密度:

$$\rho = m_1 - m_2 / V$$

式中: ρ --湿密度,克/立方厘米。

m_1 --环刀与土合质量,克;

m_2 --环刀质量,克;

V--环刀体积,立方厘米;

ρ_d --干密度,克/立方厘米;

w--含水量,%。

6.1.4.2 本试验记录格式如表 6.1.4。

密度试验记录(环刀法)表 6.1.4

土样编号				1		2		3	
环刀号				1	2	3	4	5	6
环刀容积	立方厘米	(1)		100	100	100	100	100	100
环刀质量	克	(2)							
土+环刀质量	克	(3)							
土样质量	克	(4)	(3)-(2)	178.6	181.4	193.6	194.8	205.8	207.2
湿密度	克/立方厘米	(5)	(4)/(1)	1.79	1.81	1.94	1.95	2.06	2.07
含水量	%	(6)		13.5	14.2	18.2	19.4	20.5	21.2
干密度	克/立方厘米	(7)	(5)/1+0.01*(6)	1.58	1.58	1.64	1.63	1.71	1.71
平均干密度	克/立方厘米	(8)		1.58		1.64		1.71	

6.1.5 精密度和允许差

本试验须进行二次平行测定,取其算术平均值,其平行差值不得大于 0.03 克/立方厘米。

6.1.6 报告

6.1.6.1 土的鉴别分类和状态描述。

6.1.6.2 土的含水量 (%)。

6.1.6.3 土的湿密度 (克/立方厘米)。

6.1.6.4 土的干密度 ρ_d (克/立方厘米)。

6.2 电动取土器法(T0108-93)

6.2.1 目的和适用范围

本试验方法适用于无机结合料稳定细粒土和硬塑土密度的快速测定。

6.2.2 仪器设备

6.2.2.1 电动取土器由底座、行走轮、立柱、齿轮箱、升降机构、取芯头等组成,如图 6.2.2 所示。

欠图

图 6.2.2 电动取土器

(1)底座：由底座平台、定位销(15)、行走轮(14)组成。平台是整个仪器支撑基础，定位销供操作时仪器定位用；行走轮供换点取芯时仪器近距离移动用，当定位时四只轮子可扳起离开地表。

(2)立柱：立柱由立柱(1)与立柱套(11)组成，装在底座平台上，作为升降机构、取芯机构、动力和传动机构的支架。

(3)升降机构：由升降手轮(9)、锁紧手柄(8)组成，供调整取芯机构高低用，松开锁紧手柄，转动升降手轮，取芯机构即可升降，到所需位置时拧紧手柄定位。

(4)取芯机构：由取芯头(10)、升降轴(2)组成，取芯头为金属圆筒，下口对称焊接两个合金钢切削刀头，上端面焊有平盖，其上焊螺母，靠螺旋接于升降轴上，取芯头有三种规格，即 50mm*50mm、70mm*70mm、100mm*100mm，取芯头为可换式，另配有相应的芯套筒、扳手、铅盒等。

(5)动力和舍去机构：主要由直流电机(4)、调速器(12)、齿轮箱组成。另配电瓶和充电器。当电机工作时，通过齿轮箱的齿轮将动力传给取芯机构，升降轴旋转，取芯头进入旋切工作状态。

(6)电动取土器主要技术参数为：

工作电压 DC24V(36A.h)；

转速 50--70r/min，无级调速；

整机质量约 35 千克。

6.2.2.2 天平：称量 1000 克，感量 1 克(用于取芯头内径为 10 厘米样品的称量)；称量 1000 克，感量 0.1g(用于取芯头内径小于 7 厘米样品的称量)。

6.2.2.3 其它：修土刀、钢丝锯及测定含水量的设备等。

6.2.3 试验步骤

6.2.3.1 装上所需规格的取芯头。在施工现场，取芯前，选择一块平整的路段，将上只行走轮打起，四根定位销钉采用人工加压的方法，压入路基层中，松开锁紧手柄，旋动升降手轮，使芯头刚好与土层接触，锁紧手柄。

6.2.3.2 将电瓶与调速器接通，调速器的输出端接入取芯机电源插口。指示灯亮，显示电路已通；启动开关，电动机工作，带动取芯机构转动。根据土层含水量调节转速，操作升降手柄，上提芯机构，停机。移开机器，由于取芯头圆筒外表有几条螺旋状突起，切下的土屑排在筒外顺螺纹上旋抛出地表，因此，将取芯套筒套在切削好的土芯立柱上，摇动即可取出样品。

6.2.3.3 取出样品，立即按取芯套筒长度用手刀或钢丝锯修平两端，制成所需规格上芯，如氩进行其它试验项目，装入铅盒，送实验室备用。

6.2.3.4 用天平称量土芯带套筒质量，从土芯中心部分取试样测定含水量。

6.2.4 结果整理

对于所需规格的土芯按下列公式计算湿密度及干密度

$$\rho = (m_1 - m_2) / V$$

$$\rho_d = \rho / (1 + 0.01w)$$

式中： ρ --湿密度，克/立方厘米；

m_1 --取芯套筒与土质量，克；

m_2 --取芯套筒质量，克；

V --取芯套筒容积，立方厘米；

ρ_d --干密度，克/立方厘米；

w --含水量，%。

其余同(T0107-93)环刀法。

第7章

7 比重试验

7.1 比重瓶法(T0112-93)

7.1.1 目的和适用范围

7.1.1.1 土的比重是土在 105--110 摄氏度下烘至恒量时的质量与同体积 4 摄氏度蒸馏水质量的比值。

7.1.1.2 本试验的目的是测定土的颗粒比重，它是土的物理性基本指标之一。

7.1.1.3 本试验法适用于粒径小于 5 毫米的土。

7.1.2 仪器设备

7.1.2.1 比重瓶：容量 100(或 50)毫升。

7.1.2.2 天平：称量 200 克，感量 0.001g。

7.1.2.3 恒温水槽：灵敏度 ± 1 摄氏度。

7.1.2.4 砂浴。

7.1.2.5 真空抽气设备。

7.1.2.6 温度计：刻度为 0--50 摄氏度，分度值为 0.5 摄氏度。

7.1.2.7 其它：如烘箱、蒸馏水、中性液体(如煤油)、孔径 2 毫米及 5 毫米筛、漏斗、滴管等。

7.1.3 比重瓶校正

7.1.3.1 将比重瓶洗净、烘干，称比重瓶质量，准确至 0.001g。

7.1.3.2 将煮沸经冷却的纯水注入比重瓶。对长颈比重瓶注水至刻度处，对短颈比重瓶应注满纯水，塞紧瓶塞，多余水分自瓶塞毛细管中溢出。调节恒温水槽至 5 摄氏度或 10 摄氏度，然后将比重瓶放入恒温水槽内，直至瓶内水温稳定。取出比重瓶，擦干外壁，称瓶、水总质量，准确至 0.001g。

7.1.3.3 以 5 摄氏度级差，调节恒温水槽的水温，逐级测定不同温度下的比重瓶、水总质量，至达到本地区最高自然气温为止。每个温度时均应进行两次平行测定，两次测定的差值不得大于 0.002g，取两次测值的平均值，绘制温度与瓶、水总质量的关系曲线。

7.1.4 试验步骤

7.1.4.1 将比重瓶烘干，将 15 克烘干土装入 100 毫升比重瓶内(若用 50 毫升比重瓶，装烘干约 12 克)，称量。

7.1.4.2 为排除土中空气，将已装有干土的比重瓶，注蒸馏水至瓶的一半处，摇动比重瓶，并将瓶在砂浴中煮沸，煮沸时间自悬液沸腾时算起，砂及低液限粘土应不少于 30min，高液限粘土应不少于 1h，使土粒分散，注意沸腾后调节砂浴温度，不使土液，溢出瓶外。

7.1.4.3 如系长颈比重瓶，用滴管调整液面恰至刻度(以弯液面上缘为准)，擦干瓶外及瓶内壁刻度以上部分的水，称瓶、水、土总质量。如系短颈比重瓶，将纯水注满，使多余水分自瓶塞毛细管中溢出，将瓶外水分擦干后，称瓶、水土总质量，称量后立即测出瓶内水的温度，准确至 0.5 摄氏度。

7.1.4.4 根据测得的温度，从已绘制的温度与瓶、水总质量关系曲线中查得瓶水总质量，如比重体积事先未经温度校正，则立即倾去悬液，洗净比重瓶，注入事先煮沸过且与试验时同温度的蒸馏水至同一刻度处，短颈比重瓶则注水至满，按本试验 7.1.4.3 步骤调整液面后，将瓶外水分擦干，称瓶、水总质量。

7.1.4.5 如系砂土，煮沸时砂易跳出，允许用真空抽气法代替煮沸法排除土中空气，其余步骤与本规程 7.1.4.3 至 7.1.4.4 相同。

7.1.4.6 对含有一定量的可溶盐、不亲性胶体或有机质的土，必须用中性液体(如煤油)测定，并用真空抽气法排除土中气体。真空压力表读数宜为 100kPa，抽气时间 1--2h(直至悬液内无气泡为止)，其余步骤同本规程 7.1.4.3 至 7.1.4.4。

7.1.4.7 本试验称量应准确至 0.001g。

7.1.5 结果整理

7.1.5.1 用蒸馏水测定时，按下式计算比重：

$$G_s = \frac{m_s}{m_1 + m_s - m_2} \cdot G_{wt}$$

式中： G_s --土的比重；

m_s --干土质量，克；

m_1 --瓶、水总质量，克；

m_2 --瓶、水、土总质量，克；

G_{wt} --t 摄氏度时蒸馏水的比重(水的比重可查物理手册)，准确至 0.001。

7.1.5.2 用中性液体测定时，按下式计算比重：

$$G_s = \frac{m_s}{m_1 + m_s - m_2} \cdot G_{kt}$$

式中： m_1 --瓶、中性液体总质量，克；

m_2 --瓶、土、中性液体总质量，克；

G_{kt} --t 摄氏度时中性液体比重(应实测)，准确至 0.001。

7.1.5.3 本试验记录格式如表 7.1.5。

7.1.6 精密度和允许差

本试验必须进行二次平行测定，取其算术平均值，以两位小数表示，其平行差值不得大于 0.02。

7.1.7 报告

7.1.7.1 土的鉴别分类和代号。

7.1.7.2 土的比重 G_s 值。

比重试验记录(比重瓶法)

工程名称 试验方法 试验日期

试验者 计算者 校核者

试验编号	比重瓶号	温度	液体比重	比重瓶质量(克)	瓶干土总质量(克)	干土质量(克)	瓶、液总质量(克)	瓶、液、土总质量(克)	与干土同体积的液体质量(克)	比重	平均值	备注
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)		
						(4)-(3)			(5)+(6)-(7)	(5)/(8)*(2)		
	1	15.2	0.999	34.886	49.831	14.945	134.714	144.225	5.434	2.746	2.75	
	2	15.2	0.999	34.287	49.227	14.940	134.696	144.191	5.445	2.741		

7.2 浮称法(T0113-93)

7.2.1 目的和适用范围

本试验方法适用于粒径大于、等于 5 毫米的土，且其中粒径为 20 毫米的土质量应小于总质量的 10%。

7.2.2 仪器设备

7.2.2.1 静水力学天平(或物理天平)射钉测量 2000 克以上，感量 1/1000，应附有孔径小于 5 毫米的金属网篮，其直径为 10-15 厘米，高为 10-20 厘米，适合网篮深入的盛水容器(如图 7.2.2)。

7.2.2.2 其它：烘箱、温度计、孔径 5 毫米及 20 毫米筛等。

7.2.3 试验步骤

7.2.3.1 取代表性试样 500--1000 克。彻底冲洗试样，直至颗粒表面无尘土和其它污物。

欠图

7.2.3.2 将试样浸在水中一昼夜取出，立即放入金属网篮，缓缓沉没于水中，并在水中摇晃，至无气泡逸出时为止。

7.2.3.3 称金属网篮和试样在水中的总质量。

7.2.3.4 取出试样烘干，称量。

7.2.3.5 称金属网篮在水中质量，并立即测量容器内水的温度，准确至 0.5 摄氏度。

7.2.4 结果整理

7.2.4.1 按下式计算土粒比重：

$$G_s = \frac{m_s}{m_s - (m_2 - m_1)} * G_{wt}$$

式中：m1 --金属网篮在水中质量，克；

m2 --试样和金属网篮在水中总质量，克；

其余符号同前。

计算至 0.001。

7.2.4.2 本试验记录格式如表 7.2.4。

比重试验记录(浮称法)

工程名称 试验日期

试验者 计算者 校核者

野外编号	室内编号	温度	水的比重	烘干土质量(克)	金属网篮加试样在水中质量(克)	金属网篮在水中质量(克)	试样在水中质量(克)	比重	平均值
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
							(4)-(5)	(3)*(2)/(3)-(6)	
	1	15.5	0.999	989.5	717.8	100	617.8	2.659	2.66
		15.5	0.999	989.5	717.7	100	617.7	2.658	
	2	15.0	0.999	989.5	718.5	100	618.5	2.664	2.67
		15.0	0.999	989.5	718.5	100	618.7	2.665	

7.2.4.3 按下式计算土料平均比重：

$$G_s = 1 / [P_1 / G_{s1} + P_2 / G_{s2}]$$

式中：G_{s1}--大于 5 毫米土粒的比重；

G_{s2}--小于 5 毫米土粒的比重；

P₁--大于 5 毫米土粒占总质量的百分数，%；

P₂--小于 5 毫米土粒总质量的百分数，%。

计算至 0.01。

7.2.5 精密度和允许差同 7.1.6.

7.3 虹吸筒法(T0114-93)

7.3.1 目的和适用范围

本试验适用于粒径大于、等于 5 毫米的土，且其中粒径为 20 毫米土的含量大于、等于总土质量的 10%。

7.3.2 仪器设备

7.3.2.1 虹吸筒：见图 7.3.2。

欠图

7.3.2.2 台秤：称量 10 千克，感量 1 克。

7.3.2.3 量筒：容积大于 2000 毫升。

7.3.2.4 其它：烘箱、温度计、孔径 5 毫米及 20 毫米的筛等。

7.3.3 试验步骤

7.3.3.1 取代表性试样 1000--7000 克。将试样彻底冲洗，直至颗粒表面无尘土和其它污物。

7.3.3.2 再将试样浸在水中一昼夜取出，晾干(或用布擦干)，称量。

7.3.3.3 注清水入虹吸筒，至管口有水溢出时停止注水。等管不再有水流出后，关闭管夹，将试样缓缓放入筒中，边放边搅，至无气泡逸出时为止，搅动时勿使水溅出筒外，称量筒质量。

7.3.3.4 待虹吸筒中水面平静后，开管夹，让试样排开的水通过虹吸管流入筒中。

7.3.3.5 称量筒与水质量后，测量筒内水的温度，准确至 0.5 摄氏度。

7.3.3.6 取出划吸筒内试样，烘干，称量。

7.3.3.7 本试验称量准确至 1 克。

7.3.4 结果整理

7.3.4.1 按下式计算比重：

$$G_s = \frac{m_s}{(m_1 - m_0) - (m - m_s)} \cdot G_{wt}$$

式中：m--晾干试样质量，克；

m₁--量筒加水总质量，克；

m₀--量筒的质量，克；

其余符号同前。

计算至 0.01。

7.3.4.2 计算平均比重与(T0113-93)浮称法相同。

7.3.4.3 本试验记录格式如表 7.3.4

比重试验记录(虹吸筒法)表 7.3.4

工程名称 试验日期

试验者 计算者 校核者

野外编号	室内编号	温度	水的比重	烘干土质量	晾干土质量	量筒质量	量筒加排开水质量	排开水质量	吸着水质量	比重	平均值
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	
								(6)-(5)	(4)-(3)	(3)*(2)/(7)-(8)	
	1	15.5	0.999	1979.0	2000	272.4	1040.0	767.6	21.0	2.647	2.65
		15.5	0.999	1979.0	2010	272.4	1049.4	777.0	31.0	2.649	
	2	15.5	0.999	1978.5	2000	272.4	1039.0	766.6	21.5	2.652	2.65
		15.5	0.999	1970.0	2000	272.4	1045.0	772.0	30.5	2.651	

其余同(T0112-93)比重瓶法。

7.3.5 精密度和允许差同规程 7.1.6。

第 8 章

8 颗粒分析试验

8.1 筛分法(T0115-93)

8.1.1 目的和适用范围

本试验法适用于分析粒径大于 0.074mm 的土。

8.1.2 仪器设备

8.1.2.1 标准筛：粗筛(圆孔)：孔径为 60 毫米、40 毫米、20 毫米、10 毫米、5 毫米、2 毫米；细筛：孔径为 2 毫米、0.5 毫米、0.25 毫米、0.074。

8.1.2.2 天平：称量 5000 克，感量 5 克。

称量 1000 克，感量 1 克。

称量 200 克，感量 0.2 克。

8.1.2.3 摇筛机。

8.1.2.4 其它：烘箱、筛刷、烧杯、木碾、研钵及杵等。

8.1.3 试样

从风干、松散的土样中，用四分法按照下列规定取出具有代表性的试样：

8.1.3.1 小于 2 毫米颗粒的 $\pm 100\text{--}300$ 克。

8.1.3.2 最大粒径小于 10 毫米的土 300--900 克。

8.1.3.3 最大粒径小于 20 毫米的土 1000--2000 克。

8.1.3.4 最大粒径小于 40 毫米的土 2000--4000 克。

8.1.3.5 最大粒径大于 40 毫米的土 4000 克以上。

8.1.4 试验步骤

8.1.4.1 对于无凝聚性的土

(1)按规定称取试样，将试样分批过 2 毫米筛。

(2)将大于 2 毫米的试样从大到小的次序，通过大于 2 毫米的各级粗筛，将留在筛上的土分别称量。

(3)2 毫米筛下的土如数量过多，可用四分法缩分至 100--800 克。将试样从大到小的次序通过小于 2 毫米的各级细筛，可用摇筛机进行震摇。震摇时间一般为 10--15min。

(4)由最大孔径的筛开始，顺序将各筛取下，在白纸上用手轻叩摇晃，至每分钟筛下数量不大于该级筛余质量的 1% 为止。漏下的土粒应全部放入下一级筛内，并将留在各筛上的土样用软毛刷刷净，分别称量。

(5)筛后各级筛上和筛底土总质量与筛前试样质量之差，不应大于 1%。

(6)如 2 毫米筛下的土不超过试样总质量的 10%，可省略经筛分析，如 2 毫米筛上的土不超过试样总质量的 10%，可省略粗筛分析。

8.1.4.2 对于含有粘土粒的砂砾土

(1)将土样放橡皮板上，用木碾将粘结的土团充分碾散，拌匀、烘干、称量。如土样过多时，用四分法称取代表性土样。

(2)将试样置于盛有清水的差盆中，浸泡并搅拌，使粗细颗粒分散。

(3)将浸润后的混合液过 2 毫米筛，边冲边洗过筛，直至筛上仅留大于 2 毫米以上的土粒为止。然后，将筛上洗净的砂砾风干称量，按以上方法进行粗筛分析。

(4)通过 2 毫米筛下的混合液存放在盆中，待稍沉淀，将上部悬液过 0.074mm 洗筛，用带橡皮头的玻璃棒研磨盆内浆液，再加清水，搅拌、研磨、静置、过筛，反复进行，直至盆内悬液澄清。最后，将全部土粒倒在 0.074mm 筛上，用水冲洗，直到筛上仅留大于 0.074 净砂为止。

(5)将大于 0.074mm 的净砂烘干称量，并进行细筛分析。

(6)将大于 2mm 颗粒及 2--0.074mm 的颗粒质量从原称量的总质量中减去，即为小于 0.074mm 颗粒质量。

(7)如果小于 0.074 颗粒质量超过总土质量的 10%，有必要时，将这部分土烘干、取样，另做比重计或移液管分析。

8.1.5 结果整理

8.1.5.1 按下式计算小于某粒径颗粒质量百分数：

$$X=A/B*100$$

式中：X--小于某粒径颗粒的质量百分数，%；

A--小于某粒径的颗粒质量，克；

B--试样的总质量，克。

8.1.5.2 当小于 2 毫米的颗粒如用四分法缩分取样时，试样中小于某粒径的颗粒质量占总土质量的百分数：

$$X=a/b*p*100$$

式中：a--通过 2 毫米筛的试样中小于某粒长的颗粒质量，克；

b--通过 2 毫米筛的土样中所取试样的质量，克；

p--粒径小于 2 毫米的颗粒质量百分数。

8.1.5.3 在半对数坐标纸上，以小于某粒径的颗粒质量百分数为纵人体地，以粒径(毫米)为横坐标，绘制颗粒大小级配曲线，求出各且的颗粒质量百分数，以整数(%)表示。

8.1.5.4 必要时按下式计算不均匀系数：

$$Cu=d60/d10$$

式中：Cu--不均匀系数；

d60--限制粒径，即土中小于该粒径的颗粒质量为 60%的粒径，mm；
d10--有效粒径，即土中小于该粒径的颗粒质量为 10%的粒径，mm。

8.1.5.5 本试验记录格式如表 8.1.5。

8.1.6 报告

8.1.6.1 土的鉴别分类和代号。

8.1.6.2 颗粒级配曲线。

8.1.6.3 不均匀系数 C_u 。

颗粒分析试验记录(筛分法) 表 8.1.5

工程名称 试验者

土样编号 计算者

土样说明 试验日期 校核者

筛前总土质量=3000 克 小于 2 毫米取试样质量=810 克								
小于 2 毫米土质量=81								
小于 2 毫米土占总土质量=27%								
粗筛分析				细筛分析				
孔径(mm)	累积留筛土质量(g)	小于该孔径的土质量(g)	小于该孔径土质量百分比(%)	孔径(mm)	累积留筛土质量(g)	小于该孔径的土质量(g)	小于该孔径质量百分比(%)	占总土质量百分比(%)
				2	2190	810	100	27.0
60				1	2410	590	72.8	19.7
40	0	3000	100	0.5	2740	260	32.1	8.7
20	350	2650	88.3	0.25	2920	80	9.9	2.7
10	920	2080	69.3	0.074	2980	20	2.5	0.7
5	1600	1400	46.7					
2	2190	810	27.0					

8.2 比重计法(T0116-93)

8.2.1 目的和适用范围

本试验方法适用于分析粒径小于 0.074mm 的土。

8.2.2 仪器设备

8.2.2.1 比重计

(1)甲种比重计：刻度单位以摄氏 20 度时每 1000 毫升悬液内所含土质量的克数表示，刻度为-5--50，最小分度值为 0.5。

(2)乙种比重计：刻度单位以摄氏 20 度时悬液的比重表示，刻度为 0.995--1.020，最小分度值为 0.0002。

8.2.2.2 量筒：容积为 1000 毫升，内径为 60 毫米，高度为 350 ± 10 毫米，刻度为 0--1000 毫升。

8.2.2.3 细筛：孔径为 2 毫米、0.5 毫米、0.25 毫米；

洗筛：孔径为 0.074 毫米。

8.2.2.4 天平：称量 100 克，感量 0.1 克。

称量 100 克，感量 0.01 克。

8.2.2.5 温度计：测量范围 0--50 摄氏度，精度 0.5 摄氏度。

8.2.2.6 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。

8.2.2.7 煮沸设备：电热板或电砂浴。

8.2.2.8 搅拌器：底板直径 50 毫米，孔径约 3 毫米。

8.2.2.9 其它：离心机、烘箱、三角烧瓶(500 毫升)、烧杯(400 毫升)、阵发性皿、研钵、木碾、称量铝盒、秒表等。

8.2.3 试剂

浓度 25%氨水、氢氧化钠(NaOH)、草酸钠($\text{Na}_2\text{C}_2\text{O}_4$)、六偏磷酸钠 [$(\text{NaPO}_3)_6$]、焦磷酸钠($\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)等，如须进行洗盐手续，应有 10%盐酸、5%氯化钡、10%硝酸、5%硝酸银及 6%双氧水等。

8.2.4 试样

比重计分析土样应采用风干土。土样充分碾散，通过 2 毫米筛(土样风干可在烘箱内以不超过 50 摄氏度温度鼓风干燥)。求出土样的风干含水量，并按下式计算试样干质量为 30 克时所需的风干土质量，准确至 0.01 克。

$$m = m_s(1 + 0.01 \quad)$$

式中：m--风干土质量，克；

m_s --比重计分析所需干土质量，克；

--风干土的含水量，%。

8.2.5 比重计校正

比重计的校正应符合下列规定。

8.2.5.1 比重计刻度校正与土粒沉降距离校正。

8.2.5.2 温度校正，比重计是 20 摄氏度时刻制的，当悬液温度不等于 20 摄氏度时，应进行校正，校正值查表 8.2.5-1。

温度校正表 8.2.5.1

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

8.2.5.3 土粒比重校正 比重计刻度应以土粒比重 2.65 为准，当试样的土粒比重不等于 2.65 时，应进行土粒比重校正。校正查表 8.2.5-2。

土粒比重校正表 8.2.5-2

土粒比重	比重校正值	
	甲种比重计(CG)	乙种比重计(CG)
2.50	1.038	1.666
2.52	1.032	1.658
2.54	1.027	1.649
2.56	1.022	1.641
2.58	1.017	1.632
2.60	1.012	1.625
2.62	1.007	1.617
2.64	1.002	1.609
2.66	0.998	1.603
2.68	0.993	1.595
2.70	0.989	1.588
2.72	0.985	1.581
2.74	0.981	1.575
2.76	0.977	1.568
2.78	0.973	1.562
2.80	0.969	1.556
2.82	0.965	1.549
2.84	0.961	1.543

2.86	0.958	1.538
2.88	0.954	1.532

8.2.5.4 分散剂校正 比重计刻度系以纯水为准，当悬液中加入分散剂时，比重增大，故须加以校正。注纯水入量筒，然后加分散剂，使量筒溶液达 1000 毫升。用搅拌在量筒内沿整个深度上下搅拌均匀，恒温至 20 摄氏度，然后将比重计放入溶液中，测记比重计读数。此时比重计读数与 20 摄氏度时纯水中读数之差，即为分散剂校正值。

8.2.6 土样分散处理

土样的分散处理，采用分散剂。对于使用各种分散剂均不能分散的土样(如盐渍土等)，须进行洗盐。

对于一般易分散的土，用 25% 氨水作为分散剂，其用量为：30 克土样中加氨水 1 毫升。

对于用氨水不能分散的土样，可根据土样的 pH 值，分别采用下列分散剂：

8.2.6.1 酸性土(pH<6.5)，30 克土样加 0.5mol/L 氢氧化钠 20mL。溶液配制方法：称取 20gNaOH(化学纯)，加蒸馏水溶解后，定容至 1000 毫升，摇匀。

8.2.6.2 中性土(pH=6.5--7.5),30 克土样加 0.25mol/L 草酸钠 18 毫升。溶液配制方法：称取 33.5gNa₂C₂O₄(化学纯)，加蒸馏水溶解后，定容至 1000 毫升，摇匀。

8.2.6.3 碱性土(pH>7.5),30 克土样加 0.083mol/L 六偏磷酸钠 15 毫升。溶液配制方法：称取 51 克(NaPO₃)₆(化学纯)，加蒸馏水溶解后，定容至 1000 毫升，摇匀。

8.2.6.4 若土的 pH 大于 8，用六偏磷酸钠分散效果不好或不能分散时，则 30 克土样加 0.125mol/L 焦磷酸钠 14 克。溶液配制方法：称取 55.8g，加蒸馏水溶解后，定容至 1000 毫升。摇匀。

对于强分散剂(如焦磷酸钠)仍不能分散的土，可用阳离子交换树脂(粒径大于 2 毫米的)100 克放入土样中一起浸泡，不断摇荡约 2h，再过 2 毫米筛，将阳离子交换树脂分开，然后加入 0.083mol/L 六偏磷酸 15 毫升。

对于可能含有水溶盐，采用以上方法均不能分散的土样，要进行水溶盐检验。其方法是：取均匀试样约 3 克，放入烧杯内，注入 4--6 毫升蒸馏水，用带橡皮头的玻璃棒研散，再加 25 毫升蒸馏水，煮沸 5--10min，经漏斗注入 30 毫升的试管中，塞住管口，放在试管架上静置一昼夜，若发现管中悬液有凝聚现象(在沉淀物上部松散絮状)，则说明试样中含有足以使悬液中土粒成团下降的水溶盐，要进行洗盐。

8.2.7 洗盐(过滤法)

8.2.7.1 将分散用的试样放入调土皿内，注入少量蒸馏水，拌和均匀，将滤纸微湿后紧贴于漏斗上，然后将调土皿中土浆迅速倒入漏斗中，并注入热水冲洗过滤。附于皿上的土粒要全部洗入漏斗。若发现滤液漫漫，须重新过滤。

8.2.7.2 应经常使漏斗内的液面保持高出土面约 5 毫米。每次加水后，须用表面皿盖住。

8.2.7.3 为了检查水溶盐是否已洗干净，可用两个试管各取刚滤下的滤液 3--5 毫升，一管中加入数滴 10% 盐酸及 5% 氯化钡，另一管加入数滴 10% 硝酸及 5% 硝酸盐，若发现任一管中有沉淀时，说明土中的水溶盐仍未洗净，应继续清洗，直到检查时试管中不再发现白色沉淀时为止。将漏斗上的土样细心洗下，风干取样。

8.2.8 试验步骤

8.2.8.1 将稳当了的风干土样倒入三角烧瓶中，注入蒸馏水 200 毫升，浸泡一夜。按前述规定加入分散剂。

8.2.8.2 将三角烧瓶稍加摇荡后，放在电热器上煮沸 40min(若用氨水分散时，要用冷凝管装置，若用阳离子交换树脂时，则不须煮沸)。

8.2.8.3 将煮沸冷却 悬液倒入烧杯中，静置 1min，把上部悬液通过 0.074mm 筛，注入 1000 毫升量筒中，把杯中沉土用带橡皮头的玻璃棒细心研磨。加水入杯中，搅拌后静置 1min，再将上部悬液通过 0.074mm 筛，倒入量筒。反复进行，直至静置 1min 后，上部悬液澄清为止。最后将全部土粒倒入筛内，用水冲洗至仅存大于 0.074mm 净砂为止。注意量筒内的悬液总量不要超过 100 毫升。

8.2.8.4 将留在筛上的砂粒洗入皿中，风干称量，并计算各粒组颗粒质量占总土质量的百分数。

8.2.8.5 向量筒中注入蒸馏水，使悬液恰为 1000 毫升(如用氨水作分散剂时，这里应再加入 25% 氨水 0.5mL，其数量包括在 1000 毫升内)。

8.2.8.6 用搅拌器在量筒内沿整个悬液深度上下搅拌 1min，往返各约 30 次，使悬液均匀分布。

8.2.8.7 取出搅拌器，同时开支秒表，测记 0.5、1、5、15、30、60、120、240 及 1440min 的比重计读数，每次读数前 10--20s 将比重计小心放入量筒至约接近估计读数的深度。读数以后，取出比重计(0.5 及 1min 读数除外)，小心放入盛有清水的量筒中，每次读数后均须测记悬液温度，准确至 0.5 摄氏度。

8.2.8.8 如一次作一批土样(20 个)，可先做完每个量筒的 0.5min 及 1min 读数，再按以上步骤将每个土样悬液重新依次搅拌一次。然后分别测记各规定时间的读数。同时在每次读数后测记悬液的温度。

8.2.8.9 比重计数均以弯液面上缘为准。甲种比重计应准确至 1，估读至 0.1；乙种比重计应准确至 0.001，估读至 0.0001。为方便读数，采用间读法，即 0.001 读作 1，而 0.0001 读作 0.1。这样既便于读数，又便于计算。

8.2.9 结果整理

8.2.9.1 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比按下列公式计算：

(1)甲种比重计

$$X=100/ms*CG(Rm+mt-GD)$$

式中：X--小于某粒径的土质量百分数，%；

ms--试样质量(干土质量)，克；

CG--比重校正值，查表 8.2.8-2，

$$CG= S/(S- W20)*(2.65- W20)/2.65$$

S--土粒密度，克/立方厘米；

W20--20 摄氏度时水的密度，克/立方厘米；

mt--温度校正,查表 8.2.8-1;

GD--分散剂校正;

Rm--甲种比重计读数。

(2)乙种比重计

$$X=100V/ms*CG [(Rm -1)+mt -CD] W20$$

式中:V--悬液体积(=1000 毫升);

CG --比重校正,查表 8.2.5-2,

mt --温度校正,查表 8.2.8-1;

CD--分散剂校正;

Rm --乙种比重计读数;

其余符号同前。

8.2.9.2 土粒直径按下列公式计算,也可按图 8.2.9-1 确定。

欠公式

式中:d--土粒直径,毫米;

--水的动力粘滞系数,10⁻⁶kPa.s;

W4--摄氏度时水的密度,克/立方厘米;

Gs--土粒比重;

GWT--温度 T 摄氏度时水的比重;

某一时间 t 内的土粒沉降距离,厘米;

重力加速度(981)厘米/平方秒;

沉降时间,秒。

为了简化计算,公式(8.2.9-3)可写成:

欠公式

式中:粒径计算系数??,与悬液温度和土粒比重有关,其值见图 8.2.9-2。

欠图

8.2.9.3 以小于某粒径的颗粒百分数为纵坐标,以粒径(毫米)为横坐标,在半对数纸上,绘制粒径分配曲线(图 8.2.9-3)。

求出各粒组的颗粒质量百分数,以整数表示。

如系与筛分法联合分析,应将两段曲线绘成一平滑曲线。

8.2.9.4 本试验记录格式如表 8.2.9。

颗粒分析试验记录(甲种比重计)表 8.2.9

工程名称 土粒比重 2.74 试验者

土样编号 比重计校正 0.981 计算者

土样说明 比重计号甲 4 校核者

烘干土质量 试验日期

下沉时间 (秒)	悬液温度 T (摄氏度)	比重计读 数 R	温度较正 值(mt)	分散剂校 正值 CD	Rm=R+mt +CD	RH=Rm+C G	土粒落距 L(厘米)	粒径 d(毫 米)	小于某粒 径的土质 量百分数 (%)
1	17.5	31.7	-0.7	-1.3	29.7	29.14	12.2	0.048	97.1
5	17.5	30.6	-0.7	-1.3	28.6	28.06	12.5	0.022	95.3
30	18.0	25.7	-0.5	-1.3	23.9	23.46	13.2	0.009	79.7
120	18.5	19.8	-0.4	-1.3	18.1	18.1	14.2	0.0047	59.2
1440	18.1	6.6	-0.5	-1.3	4.8	4.8	16.8	0.015	15.7

8.3 移液管法(T0117-93)

8.3.1 目的和适用范围

本试验方法适用于粒径小于 0.074mm 的土。

8.3.2 仪器设备

8.3.2.1 分析天平:感量 0.001g。

8.3.2.2 移液管:为土的颗粒分析特制的 25 毫升移液管,管端侧面开有四个小孔(见图 8.3.2)。

欠图

8.3.2 移液管(单位:毫米)

8.3.2.3 恒温水槽:高度应高于量筒。

8.3.2.4 1000 毫升量筒、50 毫升小烧杯(高型)等,其它与比重计分析相同。

8.3.3 试验步骤

8.3.3.1 取代表性试样,粘质土为 10--15 克,砂类土为 20 克,按比重法 8.2.8.1 至 8.2.8.5 制取悬液。

8.3.3.2 将盛土样悬液的量筒放入恒温水槽,使悬液恒温至适当温度。试验中悬液温度变化不得大于 ± 0.5 摄氏度。按式(8.3.3)计算粒径小于 0.05mm、0.01mm、0.005mm、0.002mm 和其它所需粒径下沉一定深度所需的静置时间。

$$t=L/2/9*10^{-4}*g*r^2*(s-WT)/$$

式中：t--某粒径土粒下沉一定深度所需的静置时间，秒；
g--重力加速度，981 厘米/平方秒；
r--土粒半径(d/2)，厘米(原以毫米表示的粒径在这里须化为厘米)；
s--土粒密度，克/立方厘米；
WT--T 摄氏时水的密度，克/立方厘米；
--纯水的动力粘滞系数， 10^{-6} kPa.s；
L--移液管浸入悬液深度，10 厘米。

8.3.3.3 准备好 50 毫升小烧杯，称量，准确至 0.001g。

8.3.3.4 准备好移液管，活塞(1)应放在关闭位置上，旋转活塞(2)应放在与移液管及吸球相通的位置上。

8.3.3.5 用搅拌器将悬液上下搅拌各约 30 次，时间为 1min，使悬液分布均匀。停止搅拌，立即开动秒表。

8.3.3.6 根据各粒径的静置时间提前约 10 秒，将移液管放入悬液中，浸入深度为 10 厘米，靠连接自来水管所产生的负压或用吸球来吸取悬液。

8.3.3.7 吸入悬液，至略多于 25 毫升，旋转活塞(2)180 度，使与放液管相通，再将多余悬液从放液口放出。

8.3.3.8 将移液管下口放入已称量的小烧杯中，再旋转活塞(2)180 度，使与移液管相通，同时用吸球将悬液(25 毫升)全部注入小烧杯内，在移液管上口预先倒入蒸馏水，此时开活塞(1)，使水流入移液管中，再将这部分水连同管内剩余颗粒冲入小烧杯内。

8.3.3.9 将烧杯内悬液浓缩至半干，放入烘箱内在 105--110 摄氏度温度下烘至恒。称量小烧杯连同土的质量，准确至 0.001g。

8.3.4 结果整理

8.3.4.1 土中小于某粒径的颗粒含量百分数按下式计算：

$$X=A*1000/25*B*100(\%)$$

或

$$X=C/B*100(\%),C=A*1000/25$$

式中：X--小于某粒径的颗粒含量百分数；

A--25 毫升悬液中小于某粒径的颗粒烘干质量，克；

B--试样总质量，克；

C--1000 毫升悬液中小于某粒径的颗粒总质量，克。

8.3.4.2 本试验记录格式如表 8.3.4。

颗粒分析试验(移液管法)表 8.3.4

工程名称 >0.074mm 颗粒含量(%) 试验者

土样编号 <0.074mm 颗粒含量(%) 计算者

土样说明 试验日期 校核者

烘干土质量 9.8g 取样深度 10 厘米 土粒比重 2.65

粒径(毫米)	杯号	杯+土质量(克)	杯质量(克)	吸管内土质量(克)	1000 毫升量筒内土质量(克)	小于某粒径土质量百分数(%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5) (3)-(4)	(6) 9.8/100*(7)	(7)
<0.05		30.0324	29.7874	0.2450	9.80	100
<0.01		20.3034	20.1686	0.1348	5.39	55
<0.005		22.0665	21.9538	0.1127	4.51	46
<0.001		23.2475	23.1642	0.0833	3.33	34

第 9 章

9 界限含水量试验

9.1 液限塑限联合测定法(T0118-93)

9.1.1 目的和适用范围

9.1.1.1 本试验的是联合测定土的液限和塑限，为划分土类、计算天然稠度、塑性指数，供公路工程设计和施工使用。

9.1.1.2 本试验适用于粒径不大于 0.5mm、有机质含量不大于试样总质量 5% 的土。

9.1.2 仪器设备

9.1.2.1 LP-100 型液限塑限联合测定仪；锥质量为 100 克，锥角为 30 摄氏度，读数显示形式宜采用光电式、游标式、百分表式。

9.1.2.2 盛土杯：直径 5 厘米，深度 4--5 厘米。

9.1.2.3 天平：称量 200 克，感量 0.01g。

9.1.2.4 其它：筛(孔径 0.5mm)、调土刀、调土皿、称量盒、研钵(附带橡皮头研杵或橡皮板、木棒)干燥器、吸管、凡士林等。

9.1.3 试验步骤

9.1.3.1 取有代表性的天然含水量或风干土样进行试验，如土中含大于 0.5mm 的土粒或杂物时，应将风干土样用带橡皮头的研杵研碎或用木棒在橡皮板上压碎，过 0.5mm 的筛。

取 0.5mm 筛下的代表性土样 200 克，分开放入三个盛土皿中，加不同数量的蒸馏水，土样的含水量分别控制在液限(a 点)、略大于塑限(c 点)和二者的中间状态(b 点)。用调土刀调匀，盖上湿布，放置 18h 以上。测定 a 点的锥入深度应为 20(±0.2)毫米。测定 c 点的锥入深应控制在 5 毫米以下。对于砂类土，测定 c 的锥入深度可大于 5 毫米。

9.1.3.2 将制备的土样充分搅拌均匀，分层装入盛土杯，用力压密，使空气逸出。对于较干的土样，应先充分搓揉，用调土刀反复压实，试杯装满后，刮成与杯边齐平。

9.1.3.3 当用游标式或百分表式液限塑限联合测定仪试验时，调平仪器，提起锥杆(此时游标或百分表读数为零以)，锥头上涂少许凡士林。

9.1.3.4 将装好土样的试放在联合测定仪的升降座上，转动升降旋钮，待锥尖与土样表面刚好接触时停止升降，扭动锥下降旋钮，同时开动秒表，经 5 秒时，松开旋钮，锥体停止下落，此时游标读数即为锥入深度 h 。

9.1.3.5 改变锥尖与接触位置(锥尖两次锥入位置距离不小于 1 厘米)，重复 9.1.3.3 和 9.1.3.4 步骤，得锥入深度 h_2 、 h_1 、 h_3 允许误差为 0.5mm，否则，应重作，取 h_1 、 h_2 平均值作为该点的锥入深度 h 。

9.1.3.6 去掉锥尖入土处的凡士林，取 10 克以上的土样两个，分别装入称量盒内，称质量(准确至 0.01g)，测定其含水量 w_1 、 w_2 (计算至 0.1%)。计算含水量平均值 w 。

9.1.3.7 重复本规程 9.1.3.2 至 9.1.3.6 步骤，对其它两个含水量土样进行试验，测其锥入深度和含水量。

9.1.3.8 用光电式或数码式液限塑限联合测定仪测定时，接通电源，调平机身，打开开关，提上锥体(此时刻度或数码显示应为零)。将装好土样的试杯放在升降座上，转动升降旋钮，试杯徐徐上升，土样表面和锥尖刚好接触，指示灯亮，停止转动旋钮，锥体立刻自行下沉，5 秒时，自动停止下落，读数窗上或数码管显示锥入深度。试验完毕，按动复位按钮，锥体复位，读数显示为零。

9.1.4 结果整理

9.1.4.1 在二级双对数坐标纸上，以含水量 w 为横坐标，锥入深度 h 为纵坐标，点绘 a、b、c 三点含水量的 $h-w$ 图，连此三点，应呈一条直线。如三点不在一直线上，要通过 a 点与 b、c 两点连成两条直线，根据液限(a 点含水量在 h_p-w_L 图查得 h_p)，以此 h_p 再在 $h-w$ 图上的 ab 及 ac 两直线上求出相应的两个含水量，当两个含水量的差值小于 2% 时，以该两点含水量的平均值与 a 点连成一直线。当两个含水量的差值大于 2% 时，应重做试验。

9.1.4.2 在 $h-w$ 图上，查得纵坐标入土深度 $h=20$ 毫升所对应的横坐标的含水量 w ，即为该土样的液限 w_L 。

9.1.4.3 根据本规程 9.1.4.2 求出的液限，通过液限 w_L 与塑限时入土深度 h_p 的关系曲线(见图 9.1.4-2)，查得 h_p ，再由图 9.1.4-1 求出入土深度为 h_p 时所对应的含水量，即为该土样的塑限 w_p 。查 w_L-h_p 关系图时，须先通过简易鉴别法及筛分法(见 M0101-93 及 T0115-93)氢砂类土与细粒土区别开来，再按这两种土分别采用相应的 w_L-h_p 关系曲线；对于细粒土，用双曲线确定 h_p 值；对于砂类土，则用多项式曲线确定 h_p 值。

欠图

液限塑限联合试验记录 表 9.1.4

工程名称 试验者

土样编号 计算者

取土深度 校核者

土样制备 试验日期

试验次数		1	2	3	
试验目的					
入土深度(毫米)	h1	4.68	9.81	19.88	双曲线法 w_p w_L 27.2 14.0 搓条法 26.2 15.0 液限 $w_L=41.2$
	h2	4.73	9.79	19.12	
	1/2(h1+h2)	4.71	9.80	20	
含水量(%)	盒号				

盒质量(克)	20		
盒+湿土质量(克)	25.86	27.49	30.62
盒+干土质量(克)	24.51	25.52	27.53
水分质量(克)	1.35	1.97	3.09
干土质量(克)	4.51	5.52	7.53
含水量(%)	29.9	35.7	41.04

9.1.5 报告

9.1.5.1 土的鉴别分类和代号。

9.1.5.2 土的液限 L_p 、塑限 P_p 和塑性指数 I_p 。

9.2 滚搓法塑限试验(T0119-93)

9.2.1 目的和适用范围

本试验的目的是按滚搓法测定土的塑限，适用于粒径小于 0.5mm 的土。

9.2.2 仪器设备

9.2.2.1 毛玻璃板：尺寸宜为 200 毫米*300 毫米。

9.2.2.2 天平：感量 0.01g。

9.2.2.3 其它：烘箱、干燥器、称量盒、调土皿、直径 3 毫米的铁丝等。

9.2.3 试验步骤

9.2.3.1 按本规程 9.1.3.1 制备试样，一般取土样约 50 克备用，为在试验前使试样的含水量接近塑限，可将试样在手中捏揉至不粘手为止，或放在空气中稍为晾干。

9.2.3.2 取含水量接近塑限的试样一小块、先用手搓成椭圆形，然后再用手掌在毛玻璃板上轻轻搓滚时须以手掌均匀施压力于土条上，不得将土条在玻璃板上进行无压力的滚动，土条长度不宜超过手掌宽度，并在滚搓时不应从手掌下任一边脱出。土条在任何情况下不允许产生中空现象。

9.2.3.3 继续搓滚土条，直至土条直径达 3 毫米时，产生裂缝并开始断裂为止。若土条搓成 3 毫米时仍未产生裂缝及断裂，表示这时试样的含水量高于塑限，则将其重新捏成一团，重新搓滚；如土条直径大于 3 毫米时即行断裂，表示试样含水量小于塑限，应弃去，重新取土加适量水调匀后再搓，直至合格。若土条在任何含水量下始终搓不到 3 毫米即开始断裂，则认为该土无塑性。

9.2.3.4 收集约 3-5 克合格的断裂土条，放入称量盒内，随即盖紧盒盖，测定其含水量。

9.2.4 结果整理

9.2.4.1 按下式计算塑限：

$$P_p = (m_1/m_2 - 1) * 100$$

式中， P_p —塑限，%；

m_1 —湿土质量，克；

m_2 —干土质量，克。

计算至 0.1%。

9.2.4.2 本试验记录格式同(T0103-92)烘干法含水量试验(烘干法)记录。

9.2.5 精密度和允许差

本试验须进行两次平等测定，取其算术平均值，以整数(%)表示，其允许差值为：高液限土 $\leq 2\%$ ，低液限土 $\leq 1\%$ 。

9.2.6 报告

9.2.6.1 土的鉴别分类和代号

9.2.6.2 土的塑限值。

9.3 缩限试验(T0120-93)

9.3.1 目的和适用范围

土的缩限是扰动的粘质土在饱状态下，因干燥收缩至体积不变时的含水量。本试验适用于粒径小于 0.5mm 和有机质含量不超过 5% 的土。

9.3.2 仪器设备

9.3.2.1 收缩皿(或环刀)：直径 4.5--5cm，高 2--3 厘米。

9.3.2.2 天平：感量 0.01g。

9.3.2.3 电热恒温烘箱或其它含水量测定装置。

9.3.2.4 蜡、烧杯、细线、针。

9.3.2.5 1/50 毫米卡尺。

9.3.2.6 其它:制备含水量大于液限的土样所需的仪器。

9.3.3 试验步骤

9.3.3.1 制备土样：取具有代表性的土样，制备成含水量大于液限。

9.3.3.2 在收缩皿内涂一薄层凡士林，将土样分层装入皿内，每次装入后将皿底拍击试验台，直至气泡驱尽为止。

9.3.3.3 土样装满后，用刀或直尺刮去多余土样，立即称收缩皿加湿土质量。

9.3.3.4 将盛满土样的收缩皿放在通风处风干，待土样颜色变淡后，放入烘箱中烘至恒量，然后放在干燥器中冷却。

9.3.3.5 称收缩皿和干土总质量，准确至 0.01g。

9.3.3.6 用蜡封法测定试验体积。

9.3.4 结果整理

9.3.4.1 缩限:含水达液限的土在 105--110 摄氏度水分继续蒸发至体积不变时的含水量,叫做缩限,用下式计算。

$$s_w = \frac{-(V_1 - V_2)}{m_s \rho_w} * 100$$

式中: s_w --缩限, %;

--试验前试样含水量, %;

V_1 --湿试件体积(即收缩皿容积), 立方厘米;

V_2 --干试件体积, 立方厘米;

m_s --干试件质量, 克;

ρ_w --水的密度, 等于 1 克/立方厘米。

计算至 0.1%。

9.3.4.2 收缩指数:液限与缩限之差称收缩指数,按下式计算。

$$I_s = L - s_w$$

式中: I_s --收缩指数;

L --土的液限, %。

计算至 0.1%。

9.3.4.3 本试验记录格式如表 9.3.4 所示。

9.3.5 精密度和允许差

本试验需进行二次平行测定,取其算术平均值,精确至 0.1%。平行差值,高液限不得大于 2%,低液限土不得大于 1%。

扰动土收缩试验记录 表 9.3.4

工程名称 试验者

土样编号 计算者

土样说明 校核者

土样制备说明 试验日期

室内编号			I		II	
收缩皿编号			1	2	3	4
液限 L	(%)		49		60	
皿+湿土质量 m_1	克		116.4	117.2	118.6	119.4
皿+干土质量 m_2	克		98.0	98.8	97.5	98.3
皿的质量 m_3	克		62	63	62	62.5
含水量	(%)	$(m_1 - m_2) / (m_2 - m_3) * 100$	51.1	51.4	59.4	58.9
皿的容积 V_1	立方厘米		38.2	38.5	37.6	38.0
干土体积 V_2	立方厘米		23.4	23.6	20.2	20.6
缩限平均值 s_w	(%)	$-(V_1 - V_2) / (m_2 - m_3) * \rho_w * 100$	10.0	9.8	10.4	10.3
			9.9		10.4	
收缩指数 I_s		$L - s_w$	39.1		49.6	

9.3.6 报告

9.3.6.1 土的鉴别分类和代号。

9.3.6.2 土的缩限 s_w 和收缩指数 I_s 。

第 10 章

10 收缩试验(T0121-93)

10.0.1 目的和适用范围

本试验方法适用于原状土的击实粘质土。

10.0.2 仪器设备

10.0.2.1 收缩仪：如图 10.0.2 所示。多孔板直径约 70 毫米，厚约 4 毫米，孔的总面积应大于整个板面的 50%以上；测板直径 10 毫米，厚约 4 毫米。

10.0.2.2 环刀：直径 61.8mm，高 20 毫米。

10.0.2.3 卡尺：0.05mm*12.5mm；百分表，最小分度值 0.01mm。

10.0.2.4 其它：推土块、凡士林、干燥缸和蜡封工具等。

10.0.3 试样

按本规程 4.0.6、4.0.7、和 4.0.8 步骤制备试样，将试样推出环刀(当试样不紧密时，采用风干脱环法)，置于多孔板上，称试样和多孔板的质量，准确至 0.1g。

10.0.4 试验步骤

10.0.4.1 装好百分表，记下初读数。

10.0.4.2 在室温不高于 30 摄氏度条件下进行收缩试验，根据试样温度及收缩速度，宜每隔 1--4h 测记百分表读数，并称整套装置和试样质量，准确至 0.1g。两天后，每隔 6--24h 测记百分表读数，并称质量，至两次百分表读数不变，在收缩曲线的 I 阶段内应取不得少于 4 个数据。

10.0.4.3 试验结束，取出试样，并在 105--110 摄氏度下烘干，称干土质量，准确至 0.1g。

10.0.4.4 按本规程蜡封法(T0109-93)测定烘干试样体积。

10.0.5 结果整理

10.0.5.1 按下式计算起始和收缩过程的含水量。

$$=(m_t/m_s-1)*100$$

式中： m_t --起始或某时刻的含水量，%；

m_t --某时刻称得的试样质量，克；

m_s --干土质量，克。

10.0.5.2 按下式计算线缩率：

$$e_{sL}=(R_t-R_0)/H_0*100$$

式中： e_{sL} --线缩率，%；

H_0 --试样原高度，毫米；

R_0 --百分表初读数，毫米；

R_t --收缩过程中某时刻百分表读数，毫米。

10.0.5.3 体缩率按下式计算

$$e_s=(V_0-V_1)/V_0*100$$

式中： e_s --体缩率，%；

V_0 --试样原体积(环刀容积)，立方厘米；

V_1 --试样烘干后的体积，立方厘米。

10.0.5.4 以线收缩率为纵坐标，含水量为横坐标，绘制关系曲线，如图 10.0.5。如 I 和 II 阶段的转折点明显，则与其相应的横坐标值即为原状土的缩限 w_s 。否则，延长 I、II 阶段的直线段，两者交点相应的横坐标值即为原状土的近似缩根。

10.0.5.5 本试验记录格式如表 10.0.5。

原状土收缩试验记录 表 10.0.5

工程名称 试验者

土样编号 计算者

仪器编号 校核者

土样说明 试验日期

日期 d.h	百分表读数 (1/100)	单向收缩 率(毫米)	线缩率(%)	试样质量(克)	水质量(克)	含水	试验前后状态
14.15	0	0	0	120.12	31.12	35.0	试样原高度=20 毫米 试样面积=30 平方厘米 试验前含水量=35% 试验前干密度=1.48 克/立方厘米 试验后干土质量=89 克 试验后试样尺寸： 高度=1.71cm
15.8	19.3	0.19	0.95	118.3	29.3	32.9	
16.0	50.0	0.50	2.50	113.7	24.7	27.7	
16.8	63.0	0.63	3.15	112.2	23.2	26.1	

16.0	94.5	0.95	1.75	109.3	22.3	22.8	
17.8	97.6	0.98	4.90	108.7	1937	22.1	
18.0	110.8	1.11	5.55	107.1	18.1	20.3	
18.8	116.6	1.17	5.85	106.6	17.4	19.5	
19.8	124.8	1.25	6.25	105.3	16.3	18.2	
21.8	129.8	1.30	6.50	104.6	15.6	17.6	
23.8	134.0	1.34	6.70	104.0	15.0	16.9	
25.8	139.0	1.39	6.95	103.4	14.4	16.2	
27.8	142.0	1.42	7.10	402.7	14.1	15.8	
29.8	146.0	1.46	7.30	102.4	13.4	15.0	
31.8	155.0	1.55	7.75	101.1	12.1	13.6	
2.8	163.0	1.63	8.15	99.7	10.7	12.0	
4.8	168.0	1.68	8.40	97.9	8.9	10.0	
6.8	168.1	1.68	8.40	95.7	6.7	7.5	
8.8	168.1	1.68	8.40	94.8	5.8	6.5	
体缩(%)		24.6	收缩系数		0.37	缩限(%)	12.3

图 10.0.5 含水量与线缩率的关系曲线

10.0.6 报告

10.0.6.1 土的鉴别分类和代号。

10.0.6.2 土的体缩率 e_s (%)。

10.0.6.3 土的线缩 e_{sL} (%)。

10.0.6.4 土的缩限 s (%)。

第 11 章

11 天然稠度试验(T0122-93)

11.0.1 目的和适用范围

11.0.1.1 土的液限与天然含水量之差和塑性指数之比，称为土的天然稠度。

11.0.1.2 本试验采用直接法和间接法，直接法是按烘干法(T0103-93)测定原状土的天然含水量，用稠度公式计算土的天然稠度。间接法是用 LP-100 型液限塑限联合测定仪测定天然结构土体的锥入深度，并用联合测定结果确定土的天然稠度。

11.0.2 仪器设备

11.0.2.1 LP-100 型液限塑限联合测定仪。

11.0.2.2 环刀：直径 5--6 厘米，高 3--4 厘米。

11.0.2.3 其它：削土刀、钢丝锯、凡士林、含水量试验设备等。

11.0.3 试验步骤

11.0.3.1 按含水量试验中烘干法(T0103-93)的试验步骤测定原状土的天然含水量。

11.0.3.2 切削具有天然含水量，土质均匀的试件 1 块，其长度、宽度(或直径)不小于 5 厘米、厚度不小于 3 厘米。整平上下面。对于软粘土，若能用环刀切入土体时，将切入环刀后的土体整平上下面。

11.0.3.3 将制备好试件 LP-100 型液限塑限联合测定仪的升降座上，按液限塑限联合测定法(T0118-93)按本规程 9.1.3.3 至 9.1.3.8 步骤测定其锥入深度，填入记录表内。

11.0.3.4 改变锥尖在试件表面的位置 3--5 处(锥尖之间的距离不小于 1 厘米)，测其锥入深度，并记入记录表内。

11.0.4 结果整理

11.0.4.1 由联合测定，已知土的液限 w_L 和塑性指数 I_p ，由含水量试验，已知土的天然含水量 w_c ，将这些数据代入下式，即可计算该土的天然稠度 c_c ：

$$c_c = \frac{w_L - w_c}{I_p}$$

11.0.4.2 土体的含水量 w 和锥入深度 h 为曲线关系，可用下式表示：

$$\lg h = a + b \lg w$$

$$\lg h = a + b \lg (w_L - I_p c_c)$$

在联合测定法中， w_L 、 I_p 、 h_p 和 I_p 均为已知，测得锥入深度 h 后，由公式(11.0.4-3)或查该式绘制的诺谟图，即可求得稠度 c_c 。

11.0.4.3 由测得的多个锥入深度中取占多数的值。或对允许误差范围内的数值求其平均值，作为计算锥入深度，根据联合测定时该土样的塑限入土深度 h_p ，由图 11.0.4 查得相应的稠度值 c_c 。

11.0.4.4 本试验记录格式如表 11.0.4。

11.0.5 报告

11.0.5.1 土的鉴别分类和代号

11.0.5.2 土的天然稠度 c_c 值。

欠图

天然稠度试验记录表 11.0.4

工程编号 试验者

土样编号 计算者

取土深度 校核者

土样制备说明 试验日期

试验次数	锥入深度 h(mm)					最后所取读数 h(mm)	塑限锥入深度 h_p (mm)	稠度 c_c	土的状态描述	备注
	1	2	3	4	5					
	12.5	12.3	12.5	12.5	12.7	12.5	3	0.36	极软塑	按图 11.0.4

第 12 章

12 砂的相对密实度试验(T1023-93)

12.0.1 目的和适用范围

12.0.1.1 相对密度是砂紧密程度的指标，等于其最大孔隙比与天然孔隙比之差和最大孔隙比与最小孔隙比之差的比值。

12.0.1.2 本试验的目的是求无凝聚性土的最大与最小孔隙比，用于计算相对密度，了解该土在自然状态或经压实松紧情况和土粒结构的稳定性。

12.0.1.3 本规程适用于颗粒直径小于 5 毫米的土，且粒径 2--5 毫米的试样质量不大于试样总质量的 15%。

12.0.2 仪器设备

12.0.2.1 量筒：容积 500 立方厘米及 1000 立方厘米两种，后者内径应大于 6 厘米。

12.0.2.2 长颈漏斗：颈管内径约为 1.2cm，颈口磨平(见图 12.0.2-1)。

12.0.2.3 锥形塞：直径约 1.5cm 的圆锥体镶于铁杆上(见图 12.0.2-1)。

12.0.2.4 砂面拂平器(见图 12.0.2-1)。

12.0.2.5 电动最小孔隙比仪，如无此种仪器，可用下列 12.0.2.6 至 12.0.2.8 设备。

12.0.2.6 金属容器，有以下两种：

(1)容积 250 立方厘米，内径 5 厘米，高度 12.7cm。

(2)容积 1000 立方厘米，内径 10 厘米，高度 12.7 厘米。

12.0.2.7 振动仪(见图 12.0.2-2)。

12.0.2.8 击锤：锤重 1.25 千克，高度 150 毫米，锤座直径 50 毫米(见图 12.0.2-3)。

欠图

12.0.2.9 台秤：感量 1 克。

12.0.3 试验步骤

12.0.3.1 最大孔隙比的测定

(1)取代表性试样约 1.5kg，充分风干(或烘干)，用手搓揉或用圆木棍在橡皮板上碾散，并拌和均匀。

(2)将锥形塞杆自漏斗下口穿入，并向上提起，使锥体堵住漏斗管口，一并放入体积 1000 立方厘米量筒中，使其下端与量筒底相接。

(3)称取试样 700 克，准确至 1 克，均匀倒入漏斗中，将漏斗与塞提高，移动塞杆使锥体略离开管口，管口应经常保持高出砂面约 1--2 厘米，使试样缓缓且均匀分布地落入量筒中。

(4)试样全部落入量筒后取出漏斗与锥开塞，用砂面拂平器将砂面拂平，勿使量筒振动，然后测读砂样体积，估读至 5 立方厘米。

(5)以手掌或橡皮塞堵住量筒口，将量筒倒转，缓慢地转动量筒内的试样，并回到原来位置，如此重复几次，记下体积的最大值，估读至 5 立方厘米。

(6)取上述两种方法测得的大体积值，计算最大孔隙比。

12.0.3.2 最小孔隙比的测定

(1)取代表性试样约 4 千克，按本规程 12.0.3.1 步骤处理。

(2)分三次倒入容器进行振击，先取上述试样 600--800 克(其数量应使振击后的体积略大于容器容积的 1/3)倒入 1000 立方厘米容器内，用振动仪以各 150--200 次/min 的速度敲打容器两侧，并在同一时间内，用击锤于试样表面锤击 30--60 次/min，直至砂样体积不变为止(一般约 5--10min)。敲打时要用足够的力量使试样处于振动状态；振击时，粗砂可用较少击数，细砂应用较多击数。

(3)如用电动最小孔隙比试验仪时，当试样同上法装入容器后，开动电机，进行振击试验。

(4)按本 12.0.3.8 步骤进行后二次加土的振动和锤击，第三次加土时应先在容器口安装套环。

(5)最后一次振毕，取下环，用修土刀齐容器顶部削去多余试样，称量，准确至 1 克，计算其最小孔隙比。

12.0.4 结果整理

12.0.4.1 按下列式子计算最小与最大干密度：

$$d_{\min} = m/V_{\max}$$

$$d_{\max} = m/V_{\min}$$

式中： d_{\min} --最小干密度，克/立方厘米；

d_{\max} --最大干密度，克/立方厘米；

m --试样质量，克；

V_{\max} --试样最大体积，立方厘米；

V_{\min} --试样最小体积，立方厘米；

计算至 0.01 克/立方厘米。

12.0.4.2 按下列公式计算最大与最小孔隙比：

$$e_{\max} = wGs/d_{\min} - 1$$

$$e_{\min} = wGs/d_{\max} - 1$$

式中： e_{\max} --最大孔隙比；

e_{\min} --最小孔隙比；

G_s --土粒比重；

其余符号同前。

计算至 0.01。

12.0.4.3 按下列公式计算相对密实度：

$$D_r = (e_{max} - e_0) / (e_{max} - e_{min})$$

$$D_r = (d - d_{min}) * d_{max} / (d_{max} - d_{min}) * d$$

式中：D_r--相对密实度；

e₀--天然孔隙比或填土的相应孔隙比；

d--天然上密度或填土的相应干密度，克/立方厘米；

其余符号同前。

计算至 0.01。

12.0.4.4 本试验记录格式如表 12.0.4。

12.0.5 精密度和允许差

最小与最大干密度，均须进行两次平行测定，取其算术平均值，其平行差值不得超过 0.03 克/立方厘米。

12.0.6 报告

12.0.6.1 砂类土的鉴别分类和代号。

12.0.6.2 砂的相对密实度 D_r 值。

相对密实度试验记录 表 12.0.4

工程名称 试验者

土样编号 计算者

试验日期 校核者

试验项目				最大孔隙比		最小孔隙比		备注
试验方法				漏斗法		振击法		
试样+容器质量	(g)	(1)				2162	2165	
容器质量	(g)	(2)				1750		
试样质量	(g)	(3)	(1)-(2)	400	420	412	415	
试样体积	(立方厘米)	(4)		335	350	250		
干密度	(克/立方厘米)	(5)	(3)/(4)	1.20	1.20	1.65	1.66	
平均干密度	(克/立方厘米)	(6)		1.20		1.66		
比重	G _s	(7)		2.65				
孔隙比	(e)	(8)		1.21		0.59		
天然干密度	(克/立方厘米)	(9)		1.30				
天然孔隙比	e ₀	(10)		1.04				
相对密实度	D _r	(11)		0.27				

第 13 章

13 膨胀试验

13.1 自由膨胀率试验(T0124-93)

13.1.1 目的和适用范围

13.1.1.1 自由膨胀率为松散的烘干土粒在水中和空气中分别自由堆积的体积之差与在空气中自由堆积的体积之比，以百分数表示，用以判定无结构力的松散土粒在水中的膨胀特性。

13.1.1.2 本试验法适宜用于膨胀土。

13.1.2 仪器设备

13.1.2.1 玻璃量筒：容积 50 毫升，最小刻度 1 毫升。

13.1.1.2 量土杯：容积 10 毫升，内径 20 毫米，高度 31.8mm。

13.1.1.3 无颈漏斗：上口直径 50--60 毫米，下口直径 4--5 毫米。

13.1.1.4 搅拌器：由直杆和带孔圆盘构成(图 13.1.2)。

13.1.1.5 天平：称量 200 克，感量 0.01g。

13.1.1.6 其它：烘箱、平口刀、支架、干燥器、0.5mm 筛等。

13.1.3 试剂

5%纯氯化钠溶液

13.1.4 试验步骤

13.1.4.1 取代表性风干土样碾碎，使其全部通过 0.5mm 筛。混合均匀后，取约 50 克放入盛土盒内，移入烘箱，在 105--110 摄氏度温度下烘至恒量，取出，放在干燥器内冷却至室温。

13.1.4.2 将无颈漏斗装在支架上，漏斗下口对正量土杯中心。并保持别距杯口 10 毫米距离，如图 13.1.4 所示。

欠图

13.1.4.3 从干燥器内取出土样，用匙将土样倒入量土杯中，盛满后沿杯口刮平土面，再将量土杯中土样倒入匙中，把量土杯漏斗，用细玻璃棒或铁丝轻轻搅动漏斗中土样，使其全部漏下，然后移开漏斗，用平口刀垂直于杯口轻轻刮去多余土样(严防震动)，称记杯中土质量。

13.1.4.4 按本规程 13.1.4.3 规定，称取第二个试样，进行平行测定，两次质量差值不得大于 0.1g。

13.1.4.5 将量筒置于试验台上，注入蒸馏水 30 毫升，并加入 5 毫升 5%的分析纯氯化钠溶液，然后将量土杯中的土样倒入量筒内。

13.1.4.6 用搅拌器搅拌量筒内悬液，搅拌器应上至液面下至底，搅拌 10 次(时间约 10 秒)，取出搅拌器，将搅拌器上附着的土粒冲洗入量筒，并冲洗量筒内壁，使量筒内液面约至 50 毫升刻度处。

13.1.4.7 量筒中土样沉积后约每隔 5h，记录一次试样体积，体积估读至 0.1mL。读数时要求视线与土面在同一平面上，如土面倾斜，取高低面读数的平均值。当两次读数差值不大于 0.2mL 时，即认为膨胀稳定。用此稳定读数计算自由膨胀率。

13.1.5 结果整理

13.1.5.1 按下式计算土样的自由膨胀率：

$$F_s = (V - V_0) / V_0 * 100$$

式中：F_s--自由膨胀率，%，计算至 1%；

V--土样在量筒中膨胀稳定后的体积，毫升；

V₀--量土杯容积，毫升，即干土自由堆积体积。

13.1.5.2 本试验记录格式如表 13.1.5。

自由膨胀率试验记录 表 13.1.5

工程名称 试验者

土样说明：过 0.5mm 筛 计算者

量筒型号：50 立方厘米 校核者

量土容积：10 立方厘米 试验日期

土样编号	干土质量(克)	量筒编号	不同时间(h)体积读数(立方厘米)					自由膨胀率(%)	
			2	4	6	8	10	F _s	平均值
1	9.64	1	16.2	16.5	16.7	16.8	16.8	68	69
	9.65	2	16.4	16.6	16.8	16.9	16.9	69	
2	9.70	3	18.0	18.3	18.5	18.7	18.7	87	88

13.1.6 精密度和允许差

本试验应作两次平行测定，取其算术平均值，其平行差值应为：

F_s≥60%时不大于 8%；

$F_s < 60\%$ 时不大于 5%。

13.1.7 报告

13.1.7.1 土的鉴别分类和代号。

13.1.7.2 土的自由膨胀率 F_s 值(%)。

13.2 无荷载膨胀量试验(T0125-93)

13.2.1 目的和适用范围

13.2.1.1 本试验用于测定试样在无荷载有侧限条件下，浸水后在高度方向上的单向膨胀与原高度的比值，这一比值称膨胀量，以百分数表示。

13.2.1.2 试验适用于测定原状土和击实土样的无荷载膨胀量，供评价粘质土膨胀势能时参考。

13.2.2 仪器设备

13.2.2.1 膨胀仪：见图 13.2.2，其环刀内径 58 毫米，高 35 毫米，顶土块高 15 毫米。

13.2.2.2 固结仪。

13.2.2.3 百分表：量程 10 毫米，分度值 0.01mm。

13.2.2.4 天平：称量 200 克，感量 0.01g。

13.2.2.5 其它烘箱、干燥器、磁钵(附橡皮研杵)、修土刀、秒表、表面皿等。

13.2.3 试验步骤

13.2.3.1 按工程需要取原状土或制备成所需状态的扰动土样，整平其两端；在环刀内壁涂一薄层凡士林，刃口向下，放在土样上。用修土刀将土样修成略大于环刀直径的土柱，将环刀垂直下压，边压边修，直至土样进入环刀内的厚度超过 1 厘米时为止。

13.2.3.2 齐环刀刃口将土样修平，用顶土块从刃口端顶入，齐环刀钝口将顶出的余土修去，制成厚度适为 2 厘米的试样。取出顶土块，擦净环刀外壁，称环、土总质量，准确至 0.01g。

13.2.3.3 在底座中置湿润的透水石 1 块，将环刀钝口端旋在底座上，使底面与透水石顶面接触，然后一并放到水盆中。

13.2.3.4 将有孔活塞板放在试样顶面上，对准活塞中心，将百分表装好，并记录百分表读数。

13.2.3.5 注纯水入盆，盆内水面须经常保持约与试样底面高度齐平。

13.2.3.6 记下开始注水时间，按 5、10、20、30min，1、2、3、24h 及以后每隔 24h 测记百分表读数，直至试样不再膨胀为止。

13.2.3.7 移去百分表将试样从环刀内推出，放入表面皿中，称皿土合质量，准确至 0.01g。

13.2.3.8 将试样入烘箱，烘至恒量，取出，放出干燥器内，待冷却后称量，准确至 0.01g。

欠图

13.2.4 结果整理

13.2.4.1 按下式计算任一时间的膨胀量：

$$V_H = H/20 \times 100$$

$$H = R_t - R_0$$

式中： V_H --时间 t 时土的膨胀量，%；

H --时间 t 时试样膨胀的增量，毫米；

R_t --时间 t 时百分读数，毫米；

R_0 --试验开始时百分表读数，毫米；

13.2.4.2 按下式计算试验前的含水量 w 及孔隙比 e_0 ：

$$w = (m - m_s) / m_s \times 100$$

$$e_0 = \frac{w}{d_s - 1}$$

式中： m --试验前湿土质量，克；

m_s --干土质量，克；

d_s --土粒密度，克/立方厘米，数值上等于土粒比重；

d_0 --试验前试样干密度，克/立方厘米。

13.2.4.3 按下式计算膨胀稳定后的含水量 w_H 及孔隙比 e_H ：

$$w_H = (m_H - m_s) / m_s \times 100$$

$$e_H = \frac{w_H}{d_H - 1}$$

式中： m_H --膨胀稳定后湿土质量，克；

d_H --膨胀稳定后干密度，克/立方厘米；

13.2.4.4 如有需要，可以时间为横坐标，膨胀量为纵坐标，绘制膨胀量与经过时间的关系曲线。

13.2.4.5 本试验记录格式如表 13.2.4 表 13.2.4

工程编号 试验者

土样编号 计算者

土样说明 校核者

土样体积： $V_1 = 53$ 立方厘米 试验日期

膨胀含水量测定

环刀编号				10
------	--	--	--	----

环刀+干土质量	(g)	(2)		161.2
环刀质量	(g)	(3)		56.3
湿土质量	(g)	(4)	(1)-(3)	125.1
干土质量	(g)	(5)	(2)-(3)	104.9
水的质量	(g)	(6)		20.2
含水量	(%)	(7)	(6)/(5)*100	19.3
土体积	(立方厘米)	(8)	$V_1(1+V_H)$	60
密度	(克/立方厘米)	(9)	(4)/(8)	2.09
干密度	(克/立方厘米)	(10)	(5)/(8)	1.75
土粒比重		(11)		2.72

测定时间			经过时间			百分表读数 R(厘米)	膨胀量 V_H $(R_t-R_0)/20*100$ (%)
(d)	(h)	(min)	(d)	(h)	(min)		
15	8	30				0	
	9				30	0.10	0.5
	10			1	30	0.40	2.0
	12			3	30	0.50	2.5
	18			9	30	1.00	5.0
16	8			23	30	1.60	8.0
18	15		3	6	30	1.90	9.5
19	8		3	23	30	2.2	11.0
	18		4	9	30	2.4	12.0
20	8		4	23	30	2.5	12.5
22	8		6	23	30	2.6	13.0
23	8		7	23	30	2.6	13.0

13.2.5 报告

13.2.5.1 土的鉴别分类和代号。

13.2.5.2 土的无荷载膨胀量 V_H 值(%)。

13.3 有荷载膨胀量试验(T0126-93)

13.3.1 目的和适用范围

13.3.1.1 为了模拟覆盖压力或某一特定荷载条件，可按实际荷载大小作有荷载有侧限的膨胀量试验，或做不同荷载下的膨胀量试验。

13.3.1.2 本试验适用于测定太土或击实粘质土在特定荷载下的膨胀量，或测定荷载与膨胀的关系曲线。

13.3.2 仪器设备

13.3.2.1 主要仪器为固结仪。备一个等直径的环刀接环，接高 10 毫米。其它设备及试样制备、透水石处理等，皆与(T0125-93)无荷载膨胀量试验相同。

13.3.2.2 试验前，固结仪应在不同压力下进行变形校正。以膨胀仪容器代替压缩容器时，也应事先作好联合变形校正，并检查仪器的平衡状况和注水通路。

13.3.3 试验步骤

13.3.3.1 试样放入容器后，放上透水石和盖板，安上百分表，施加 1kPa 的压力，使仪器各部分接触。百分表短针对准 3 或 4 的整数，长针对零，记下初读数。

13.3.3.2 一次或分级连续施加所要求的荷载。等每小时变形不超过 0.01mm 时，即认为变形稳定，随向容器注入蒸馏水，

并始终保持水面超过土顶面约 5 毫米，使试样自下而上浸水。

13.3.3.3 浸水后每隔 2h 测记百分表读数一次，至两次差值不超过 0.01mm 时为止。

13.3.3.4 放水，解除荷载，取出试样，擦干环壁及其它浮水，称量，烘干，计算膨胀后含水量和孔隙比。

13.3.3.5 需要时，可在膨胀稳定后，按砝码的具体情况，分 3--4 个等级，逐次退荷到零，并测定各级荷载下的膨胀稳定值。

13.3.4 结果整理

13.3.4.1 按下式计算膨胀量：

$$V_{HP}=(R_t+R_p-R_0)/H_t*100$$

式中： V_{HP} --P(kPa)荷载下的膨胀量，%；

H_t --压缩稳定后试样高度，毫米；

R_t --膨胀稳定后百分表读数，毫米；

R_p --P 荷载下仪器变形量，毫米；

R_0 --试样加荷前百分表读数，毫米。

13.3.4.2 本试验记录格式与(T0125-93)无荷载膨胀量试验相同。

13.3.5 报告

13.3.5.1 土的鉴别分类和代号。

13.3.5.2 土的有荷载膨胀量 V_{HP} 值(%)。

13.4 膨胀力试验(T0127-93)

13.4.1 目的和适用范围

13.4.1.1 膨胀力是土体在吸水膨胀时所产生的内应力。本试验用于测定试样在体积不变时由于膨胀所产生的最大内应力。

13.4.1.2 本试验适用于原状土和击实土试样，采用加荷平衡法。

13.4.2 仪器设备

仪器设备与(T0141-93)单轴固结仪相同，附杠杆式加压设备，为了加荷方便准确，宜用铁砂和盛砂桶代替砝码和吊盘。

13.4.3 试验步骤

13.4.3.1 按(T0136-93)单轴固结试验有关步骤制样，装样。调整杠杆平衡系统，使之水平，施加 1kPa 的预压力，使试样与仪器各部接触，发好百分表，调节指针位置，记下初读数，随后自下而上地向容器注入蒸馏水，并始终保持水面足够低，而不致使试样受到太大的上浮力。

13.4.3.2 当百分表指针顺时针转动时，说明土体开始膨胀，立即往盛砂桶加适量铁砂，使百分表指针仍回到初读数。加铁砂要避免冲击力。

13.4.3.3 及时称余砂重(铁砂总重-余砂重=平衡荷重)。当平衡荷重足以产生仪器变形时，在加下一级平衡荷重时，百分表指针应反方向转动以扣除与该级平衡荷重相应的仪器变形量。

13.4.3.4 当测试时间过长需要中断试验时，可用杠杆上下的固定螺旋或磅称上的制动栓，在维持百分表指针不变的情况下，将其固定，以保证中断期间试样不发生膨胀变形。

13.4.3.5 维持某级平衡荷重达 2h 或更长而得到恒定试样高度时，则试样在该级平衡荷重下达到稳定。

13.4.3.6 试验结束后，吸去容器内水，卸除荷重，取出试样，称试样质量，并测定含水量。

13.4.4 结果整理

13.4.4.1 膨胀力按下式计算：

$$P_e=W*m/A$$

式中： P_e --膨胀力，kPa；

W--总平衡荷重，N；

A--试样面积，平方厘米；

m--加压设备的杠杆比。

13.4.4.2 本试验记录格式如表 13.4.4。

13.4.5 报告

13.4.5.1 土的鉴别分类和代号

13.4.5.2 土的膨胀力 P_e 值(kPa)。

膨胀力试验记录 表 13.4.4

工程名称 试验者

土样编号 计算者

仪器编号 校核者

土样说明 击实土样 试验日期

日期(d h min)	荷重(铁砂总重 50N)			仪器变形量(mm)	试验前后状态
	余砂重(N)	平衡荷重(N)	压力(kPa)		
4 8 (浸水)					
10	48.2	1.8	7	0.01	试样面积=30 立方厘米
16	46.0	4.0	16	0.03	环+湿土质量=172 克
26	40.5	9.5	38	0.04	环+试验后湿土质量=175.8 克
50	35.7	14.7	57	0.06	环+干土质量=159 克
10 14	33.1	16.9	68	0.07	环的质量=57 克
58	31.1	18.9	76	0.08	起始含水量=12.8%
11 44	30.2	19.8	80	0.09	试验后含水量=16.2%
12 36	29.7	20.3	82	0.09	干密度=1.7 克/立方厘米
14 42	29.5	20.5	82	0.09	比重=2.72
16 42	29.5	20.5	82	0.09	孔隙比=0.6

第 14 章

14 毛细管水上升高度试验(T0128-93)

14.0.1 目的和适用范围

14.0.1.1 土的毛细管水上升高度是水在土孔隙中因毛细管作用而上升的最大高度。

14.0.1.2 本试验的目的是测定土的毛细管水上升高度和速度，用于估计地下水位升高时路基被浸湿的可能性和浸湿的程度。

14.0.1.3 结合道路工程的特点，本规程采用直接观测法，本试验适用于确定对道路发生危害的路基土的强烈毛细管水上升高度，即在含水量与上升高度的关系曲线上，取含水量等于塑限时下部高度为强烈毛细管水上升高度。

14.0.2 仪器设备

14.0.2.1 毛细管试验仪：包括试验架、有机玻璃试验管、有机玻璃盛水筒、特制挂簧及挂绳等。

有机玻璃管内径 4.0~4.5cm、壁厚 3 毫米左右，每 10 厘米开一直径 10 毫米小洞，洞口配有能拧紧的有机玻璃小盖，下端和有机玻璃底座用丝扣相接，距零点 1 厘米处开一排气小孔，管顶有可以通气的铝盖，底座上配有橡皮垫圈和钢丝网，若两根管相接，还有联结接口和螺栓，用特制弹簧保证盛水下降时水面高度始终保持不变，如图 14.0.2。

14.0.2.2 其它：天平(感量 0.01g)、烘箱、漏斗、捣棒等。

14.0.3 试验步骤

14.0.3.1 装好毛细管试验仪，将底座的垫圈和铜丝网垫好，然后有机玻璃管拧紧，同时将管上排气孔和小孔全部拧上盖，对于毛细水上升高度较大的土，如需要两根或两根以上的管时，应先准备好接口、螺栓，以便随时拼接。

欠图

图 14.0.2 毛细管试验仪

1-挂绳 2-特制弹簧 3-盛水筒 4-塑料管 5-铝盖 6-有机玻璃土样管 7-接口 8-M10 毫米小洞及螺盖

9-底座(详见(1)) 10-试验架 11-铜丝网 12-多孔圆铜板 13-排气孔 14-橡胶垫圈

14.0.3.2 取具有代表性的风干土样 5 千克左右(每个管需土 2.0~2.5kg 左右)，借漏斗分数次装入有机玻璃管中，并用捣棒不断振捣，使其密实度均匀。当装满一根管后，若需要继续拼接时，用胶布将两管包好，外用接口接上，拧紧固定螺栓，继续将土样装入，同时边用捣棒振捣，直至装满为止。顶端盖上铝盖。

14.0.3.3 将有机玻璃管放入装好的试验架上，固定管身，使其垂直。

14.0.3.4 将盛水筒装满水，盖上盖子，拧上弹簧，接上塑料管，挂上挂绳。

14.0.3.5 用水平尺控制盛水筒水面比有机玻璃管零点高出 0.5~1.0cm，然后固定挂绳于挂钩上，这时筒内水面高度将始终保持不变。

14.0.3.6 接通塑料管和有机玻璃管底部的接口，然后开启排气小孔，使空气排出，直到孔内有水流出时，拧紧螺帽。

14.0.3.7 从小孔有水排出时计起，经 30.60min，以后每隔数小时，根据管中土的颜色，测记该时的毛细管水上升高度，直至土干稳定为止。

14.0.3.8 若需要了解强烈毛细管水上升高度，可将筒壁小洞盖打开，依次用小勺取出土样，测其含水量。

14.0.4 结果整理

14.0.4.1 在半对数纸上，以毛细管水上升高度 h 为纵坐标，以时间 t 为横坐标，绘制毛细管水上升高度 h 与时间 t 的关系曲线，如图 14.0.4-1。

绘制时，应根据实测值的散点分布，确定 $h-t$ 关系的数学模型，一般可按下式表达：

欠公式

式中： n, m 为试验常数，用最小二乘法求得。

14.0.4.2 另绘制毛细管水上升高度 h 与含水量 w 的关系曲线，如图 14.0.4-2。在横坐标上找出含水量等于该土塑限之点，从该点引垂线，交曲线于 A 点，再由 A 点引引线，交纵坐标于 B 点，B 点的纵坐标即代表该土的强烈毛细管水上升高度 h_c 。

14.0.4.3 本试验记录格式如表 14.0.4。

欠图

图 14.0.4-1 毛细管水上升高度与时间的关系曲线

欠图

图 14.0.4-2 毛细管水上升高度与含水量的关系曲线

强烈毛细管水上升高度试验记录 表 14.0.4

工程名称 试验者

土样说明 计算者

土样说明 校核者

仪器编号 试验日期

毛细管水上升高度	(cm)	20	40	60	80	100	120	140	160
含水量	(%)	34.3	33.2	30.7	27.0	26.2	24.8	23.2	21.0

14.0.5 报告

14.0.5.1 土的鉴别分类和代号。

14.0.5.2 土的强烈毛细管水上升高度 h_c (厘米)。

第 15 章

15 渗透试验

15.1 常水头渗透试验(T0129-93)

15.1.1 目的和适用范围

15.1.1.1 本试验方法适用于砂类土和含水量砾石的无凝聚性土。

15.1.1.2 试验用水应采用实际作用于土的天然水。如有困难,允许用蒸馏水或一般经过滤的清水,但试验前必须用抽气法或煮沸法脱气。试验时水温宜高于试验室温度 3--4 摄氏度。

15.1.2 仪器设备

15.1.2.1 常水头渗透仪(70 型渗透仪):如图 15.1.2,其中有封底圆筒高 40 厘米,内径 10 厘米,与筒边连接处有铜丝布;玻璃测压管内径为 0.6cm,用橡皮管与测压孔相连。

15.1.2.2 其它:木锤、秒表、天平等。

15.1.3 试验步骤

15.1.3.1 按图 15.1.2 将仪器装好,接通调节管

,用木锤轻轻击实到一定厚度,以控制孔隙比。如土样含粘粒比较多,应在金属孔板上加铺约 2 厘米厚的粗砂作为缓冲层,以防细粒被水冲走。

15.1.3.4 每层试样装好后,慢慢开止水夹,水由筒底向上渗入,使试样逐渐饱和。水面不得高出试样顶面。当水与试样顶面齐平时,关闭止水夹。饱和时水流不可太急,以免冲动试样。

15.1.3.5 如此分层装入试样、饱和,至高出测压孔 3--4 厘米为止,量出试样顶面至筒顶高度,计算试样高度,称剩余土质量,准确至 0.1g,计算装入试样总质量。在试样上面铺 1--2 厘米砾石作缓冲层,放水,至水面高出砾石层 2 厘米左右时,关闭止水夹。

15.1.3.6 将供水管和调节管分开,将供水管置入圆筒内,开启止水夹,使水由圆筒上部注入,至水面与溢水孔齐平为止。

15.1.3.7 静置数分钟,检查各测压管水位是否与溢水孔齐平,如不齐平,说明仪器有集气或漏气,需挤测压管上的橡皮管,或用吸球在测压管上部将集气吸出,调至水位齐平止。

15.1.3.8 调节管的管口位置,水即渗过试样,经调节管流出。此时调节止水夹,使进入筒内的水量多于渗出水,溢水孔始终有余水流出,以保持筒中水面不变。

15.1.3.9 测压管水位稳定后,测记水位,计算水位差。

15.1.3.10 开动秒表,同时用量筒摘取一定时间的渗透水量,并重复一次,接水时,调节管出水口不浸入水中。

15.1.3.11 测记进水和出水处水温,取其平均值。

15.1.3.12 降低调节管管口至试样中部及下部 1/3 高度处,改变水力坡降 H/L,重复 15.1.3.8 至 15.1.3.11 步骤进行测定。

15.1.4 结果整理

15.1.4.1 按下式计算干密度及孔隙比:

$$d = ms / Ah$$

$$e = G_s / d - 1$$

式中:ms=m/1+h,试样干质量,克;

m--风干试样总质量,克;

h--风干含水量,%;

d--干密度,克/立方厘米;

A--试样断面积,平方厘米;

h--试样高度,厘米;

e--试样孔隙比;

G_s--土粒比重。

15.1.4.2 按下式计算渗透系数:

$$KT = QL / AHt$$

式中:KT--水温 T 摄氏度时试样渗透系数,厘米/秒;

Q--时间 t 内的渗透水量,立方厘米;

L--两测压孔中心之间的试样高度(等于测压孔中心间距:L=100 厘米);

H--平均水位差,H=(H₁+H₂)/2,厘米;

t--时间,秒。

15.1.4.3 标准温度下的渗透系数按下式计算:

$$K_{20} = KT * T / 20$$

式中:K₂₀--标准水温(20 摄氏度)时试样的渗透系数,厘米/秒;

T--T 摄氏度时水的动力粘滞系数,kPa·s;

20--20 摄氏度水的动力粘滞系数,kPa·s;

T/20--粘滞系数比,见表 15.1.4-1。

水的动力粘滞系数、粘滞系数比 T/20 表 15.1.4-1

温度	动力粘滞系数 (10 ⁻⁶)kPa.s	T/ 20	温度	动力粘滞系数 (10 ⁻⁶)kPa.s	T/ 20
5.0	1.516	1.501	15.5	1.130	1.119
5.5	1.493	1.478	16.0	1.115	1.104
6.0	1.470	1.455	16.5	1.101	1.090
6.5	1.449	1.435	17.0	1.088	1.077
7.0	1.428	1.414	17.5	1.074	1.066
7.5	1.407	1.393	18.0	1.061	1.050
8.0	1.387	1.373	18.5	1.048	1.038
8.5	1.367	1.353	19.0	1.035	1.025
9.0	1.347	1.334	19.5	1.022	1.012
9.5	1.328	1.315	20.0	1.010	1.000
10.0	1.310	1.297	20.5	0.998	0.988
10.5	1.292	1.279	21.0	0.986	0.976
11.0	1.274	1.261	21.5	0.974	0.964
11.5	1.256	1.243	22.5	0.963	0.953
12.0	1.239	1.227	23.0	0.952	0.943
12.5	1.223	1.211	24.0	0.941	0.932
13.0	1.190	1.194	25.0	0.919	0.910
13.5	1.175	1.178	26.0	0.899	0.890
14.0	1.160	1.163	27.0	0.879	0.870
14.5	1.144	1.148	28.0	0.859	0.850
15.0	1.144	1.133	28.0	0.841	0.833

15.1.4.4 根据需要，可在半对数坐标纸上绘制以孔隙比为纵坐标，渗透系数为横坐标的 e-k 关系曲线。

15.1.4.5 本试验记录格式如表 15.1.4-2。

常水头渗透试验记录

工程名称 仪器编号 试样高度 h=30cm 试验者

土样编号 压孔间距 L=10cm 试样干质量 ms=3200g 计算者

土样说明 试样断面积 A=78.5 平方厘米 土粒比重 Gs=2.65 校核者

孔隙比 e=0.95 试验日期

试验次数	经过时间 (s)	测压管水位(厘米)			水位差			水力坡降	渗透水量 (cm ³)	渗透系数(cm/s)	平均水温	校正系数 T/20	水温 20 摄氏度时渗透系数(m/s)	平均渗透系数 K20
		1 管	2 管	3 管	H1	H2	平均 H							
	t							J	Q	KT	T			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)
					(3)-(4)	(4)-(5)	[(6)+(7)]/2	(8)/(10)		(10)/A (9)(2)			(11)*(13)	(14)/n
1	518	45.0	43.0	41.0	2.0	2.0	2.0	0.20	110	0.0135	13.5	1.176	0.0159	
2	520	45.0	43.0	41.0	2.0	2.0	2.0	0.20	111	0.0135	13.5	1.176	0.0159	
3	200	43.8	39.4	35.0	4.4	4.4	4.4	0.44	92	0.0135	13.5	1.176	0.0159	
4	20	43.6	39.2	34.8	4.4	4.4	4.4	0.44	93	0.0135	13.5	1.176	0.0159	
5	125	44.3	36.5	28.7	7.8	7.8	7.8	0.78	105	0.0137	13.5	1.176	0.0161	
6	125	44.3	36.5	28.7	7.8	7.8	7.8	0.78	105	0.0137	13.5	1.176	0.0161	0.016

15.1.5 精密度和允许差

一个试样多次测定时，应在所测结果中取 3--4 允许差值符合规定的测值，求平均值，作该试样在某孔隙比 e 时的渗透系数，允许差值不大于 2*10⁻ⁿ。

15.1.6 报告

15.1.6.1 土的鉴别分类和代号。

15.1.6.2 土的渗透系数 K^{20} (厘米/秒)。

15.2 变水头渗透试验(T0130-93)

15.2.1 目的和适用范围

本试验方法适用于粘质土。本试验采用的蒸馏水，应在试验前用抽气法或煮沸法进行脱气。试验时的水温，宜高于室温 3--4 摄氏度。

15.2.2 仪器设备

欠图

1-上盖 2-透水石 3-橡皮圈 4-环刀 5-盛土筒 6-橡皮圈 7-透水石 8-排气孔 9-下盖 10-固定螺杆 11-出水孔 9-下盖 10-固定螺杆 11-出水孔 12-试样 13-进水孔

15.2.2.1 渗透容器：见图 15.2.2-1。

15.2.2.2 变水头装置(南 55 型渗透仪)：变水头管内径均匀，且不大于 1 厘米，管外应有精度 1 毫米的刻度，如图 15.2.2-2。

15.2.2.3 负压装置，或用抽气机，如图 15.2.2-3。

欠图

1-接水源 2-供水瓶(容积 5000 毫升) 3-温度计 4-滤水器 5-测压管 6-渗透容器 7-真空压力表 8-量筒(容积 50 毫升) 9-负压控制阀 10-接负压装置(或抽气机) 11-接渗透容器 12-贮水瓶(容积 1000--5000 毫升) 13-螺旋止水阀 4-溢水瓶

15.2.2.4 其它：切土器、温度计、削土刀、秒表、钢丝锯、凡士林。

15.2.3 试验步骤

15.2.3.1 根据需要，用环刀垂直或平行于土样层面切取原状土样，或制备成给定密度的扰动土样，并进行充水饱和，切取土样时，应尽量避免结构扰动，严禁用修土刀反复擦抹试样表面，以免表面的孔隙堵塞或受压缩，影响试验结果。

15.2.3.2 将环刀外壁涂一薄层凡士林，推入护环内，刮除撤出的多余凡士林。

15.2.3.3 放入浸润的透水石及滤纸，盖上下盖，拧紧固定螺杆。

15.2.3.4 把装好试样的容器的进水孔与变水头装置连通，开水夹，使水头管内充水，视水头管水面是否与贮水瓶水面齐平。同时将容器侧立，排气孔向上，并把排气孔上止水环打开。然后开水夹，至排气孔中水不带气泡时为止，关闭排气孔止水夹，平放好容器。

15.2.3.5 在不大于 200 厘米高水头作用下，静置某一时间，待容器出水孔有水溢出后，开始测定。

15.2.3.6 关闭负压控制阀，将容器出水孔与负压装置接通，关闭止水夹，开启螺旋止水阀，贮水瓶中水流入溢水瓶，贮水瓶上部产生负压。当负压作用和水头平衡时，水流停止，溢水盆无水溢出，否则应检修。

15.2.3.7 打开止水夹，使负压装置和容器接通，试样因受负压作用开始渗流。若溢水盆水流增量多于量筒中水流增量，说明装置有漏气现象，应重新检查，如试样和环刀内壁不密合，则试样应重新制作。

15.2.3.8 经检查不漏气后，开动秒表，测记开始至终了时间内量筒内水面读数，准确至 0.1 立方厘米，量测贮水瓶至溢水盆间水位并，准确至 1 厘米；同时测记滤水器开始与弱了时水温，准确至 0.5 摄氏度，取平均值。

15.2.3.9 改变溢水盆高程，变更水力坡降，按本规程 15.2.3.8 步骤继续测定。

15.2.3.10 如用抽气机产生负压，则调整负压控制阀，产生一定的负压(通过真空压力表读出)，按本规程 15.2.3.8 测记量筒内水面读数和开始及终了时滤水器内水温，调整负压控制阀，改变负压，重复测记一次。

15.2.4 结果整理

15.2.4.1 按本规程 15.2.4-2 计算试验孔隙比，按下式计算试样渗透系数：

$$KT=Q/AJt$$

式中：KT--某一孔隙比，水温为 T 摄氏度时试样的渗透系数，厘米/秒；

Q--时间 t 内的渗透水量，立方厘米；

A--试样断面积(等于正当刀内径面积)，平方厘米；

J--水力坡降，按下式计算：

$$J=[(h_1+h_2)/2+H]/h_i \quad (\text{负压装置})$$

$$J=[1/2(h_1+h_2)+13.6N]/h_i \quad (\text{抽气机装置})$$

其中：

h_1 、 h_2 、N 如图 15.2.2-2 所示；

H--贮水瓶至溢水瓶间水位差，厘米；

试样高度，厘米；

测定时间，秒。

15.2.4.2 K_{20} 和某一孔隙比时平均渗透系数的计算、e-K 关系曲线的绘制以及报告内容均与(T0129-93)相同。

15.2.4.3 本试验记录格式如表 15.2.4。

变水头渗透试验记录

工程名称 仪器编号 土粒比重 $G_s=2.71$ 试验者

土样编号 试样断面积 $A=32.2\text{cm}^2$ 孔隙比 $e=0.85$ 计算者

土样说明 粉性土(原状) 试样高度 $h_i=4\text{cm}$ 试验日期 校核者

历时	开始水头 h_1	终了水头 h_2	负压水头 H(或 13.6N)	渗透水量 Q	水力坡降	平均水温 T	水温 T 摄氏度时渗透系数 KT	校正系数 T/20	水温 20 摄氏度时渗透系数 K_{20}	平均渗透系数 K_{20}

开始 t1 (d、h、 min)	终了 t2 (d、h、 min)	历时(s)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm ³)		摄氏度	(10 ⁻⁶ cm/ s)		(10 ⁻⁶ cm/ s)	(10 ⁻⁶ cm/ s)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
		(2)-(1)					$[(h1+h2)/2+(6)]/hi$				(10)*(11)	(12)/n
25 8 3 0	25 8 4 0	600	240	232	200	18	109.0	11.0	8.55	1.261	10.78	
25 8 4 0	25 8 5 5	900	232	225	200	26	107.1	11.5	8.38	1.243	10.42	
25 9 4 0	25 9 1 6	960	225	219	200	28	105.5	11.5	8.59	1.243	10.68	10.63

第 16 章

16 击实试验(T0131-93)

16.0.1 目的和适用范围

本试验分轻型击实和重型击实。小试筒适用一径不大于 25 毫米的土，大试筒适用于粒径不大于 38 毫米的土。

16.0.2 仪器设备

16.0.2.1 标准击实仪(见图 16.0.2-1)和图 16.0.2-2)。轻、重型试验方法和设备的主要参数应符合表 16.0.2 的规定。

击实试验方法种类 表 16.0.2

试验方法	类别	锤底直径(cm)	锤质量(kg)	落高(cm)	试筒尺寸			层数	每层击数	击实功(kJ/m ³)	最大粒径(mm)
					内径(cm)	高(cm)	容积(cm ³)				
轻型 I 法	I.1	5	2.5	30	10	12.7	997	3	27	598.2	25
	I.2	5	2.5	30	15.2	12	2177	3	59	598.2	38
重型 II	II.1	5	4.5	45	10	12.7	997	5	27	2687.0	25

16.0.2.2 烘箱及干燥器。

16.0.2.3 天平：感量 0.01g。

16.0.2.4 台秤：称量 10 千克，感量 5 克。

16.0.2.5 圆孔筛：孔径 38 毫米、25 毫米、19 毫米和 5 毫米各 1 个。

16.0.2.6 拌和工具：400 毫米*600 毫米、深 70 毫米的金属盘、土铲。

欠图

16.0.2.7 其它：喷水设备、碾土器、盛土盘、量筒、推土器、铝盒、修土刀、平直尺等。

试料用量 表 16.0.3

使用方法	类别	试筒内径(cm)	最大粒径(mm)	试料用量(kg)
干土法试样重复使用	a	10	5	3
		10	25	4.5
		15.2	38	6.5
干土法，试样不重复使用	b	10	至 25	至少 5 个试样，每个 3 个
		15.2	至 38	至少 5 个试样，每个 6
湿土法，试样不重复使用	c	10	至 25	至少 5 个试样，每个 3

16.0.3 试样

本试验可分别采用不同的方法准备试样，各方法可按表 16.0.3 准备试料。

16.0.3.1 干土法(土重复使用)将具有代表性的风干或在 50 摄氏度温度下烘干的土样放在橡皮板上，用圆木棍碾散，然后过不同孔径的筛(视粒径大小而定)。对于小试筒，按四分分取筛下的土约 3 千克；对于大试筒，同样按四分法取样约 6.5kg。

估计土样风干或天然含水量，如风干含水量低于开始含水量太多时，可将土样铺于一不吸水的盘上，用喷水设备均匀地喷洒适当量的水，并充分拌，闷料一夜备用。

16.0.3.2 干土法(土不重复使用)按四分法至少准备 5 个试样，分别加入不同水分(按 2--3%含水量递增)，拌匀后闷料一夜备用。

16.0.3.3 湿土法(土不重复使用)，对于高含水量土，可省略过筛步骤，用于捡除大于 38 毫米的粗石子即可，保持天然含水量的第一个土样，可立即用于击实试验，其余几个试样，将土分成小土块，分别风干，使含水量按 2%--3%递减。

16.0.4 试验步骤

16.0.4.1 根据工程要求，按表 16.0.1-1 规定选择轻型或重型试验方法，根据土的性质(含易击碎风化石数量多少，含水量高低)，按表 16.0.1-2 规定选用干土法(土重复或不重复使用)或湿土法。

16.0.4.2 将击实筒放在坚硬的地面上，取制备好的土样分 3--5 次倒入筒内。小筒按三层法时，每次约 800--900 克(其量应使击实后的试样等于或略高于筒高的 1/3)；按五层法时，每次约 400--500 克(其量应使击实后的土样等于或略高于筒高的 1/5)。对于大试筒，先将垫块放入筒内底板上，按五层法时，每层需试样约 900 克(细粒土)--1100 克(粗粒土)；按三层法时，每层需试样 1700 克左右。整平表面，并稍加压紧，然后按规定的击数进行第一层土的击实，击实时击锤应自由垂直落下，锤迹必须均匀分布于土样面，第一层击实完后，将试样层面“拉毛”，然后再装入套筒，重复上述方法进行其余各层土的击实。小试筒击实后，试样不应高出筒顶面 5 毫米，大试筒击实后，试样不应高出筒顶面 6 毫米。

16.0.4.3 用修土刀沿套筒内壁削刮，使试样与套筒脱离后，扭动并取下套筒，齐筒顶细心削平试样，拆除底板，擦净筒外壁，称量，准确至 1 克。

16.0.4.4 用推土器推出筒内试样，从试样中心处取样测其含水量，计算至 0.1%。测定含水量用试样的数量按 16.0.4 规定取样(取出有代表性的土样)。两个试样含水量的精度应符合本规程 5.1.5 的规定。

测定含水量用试样的数量 表 16.0.4

最大粒径(毫米)	试样质量(克)	个数
<5	15--20	2
约 5	约 50	1
约 19	约 250	1
约 38	约 500	1

16.0.4.5 对于干土法(土重复使用)，将试样搓散，然后按本规程 16.0.3 方法进行洒水，拌和，但不需闷料，每次约增加 2%--3%的含水量，其中有两个大于和两个小于最佳含水量，所需加水量按下式计算：

$$m_w = m_i / (1 + 0.01 w_1) * 0.01 (w - w_1)$$

式中： m_w --所需的加水量，克；

m_i --含水量 w_1 时土样的质量，克；

w_1 --土样原有含水量，%。

w --要求达到的含水量，%。

按上述步骤进行其它含水量试样的击实试验。

对于干土法(土不重复使用)和湿土法，按第 16.0.3 条所和备各个试样，分别按上述步骤进行击实试验。

16.0.5 结果整理

16.0.5.1 按下式计算击实后各点的干密度：

$$d = \rho / (1 + 0.01 w)$$

式中： d --干密度，克/立方厘米；

ρ --湿密度，克/立方厘米；

w --含水量，%。

16.0.5.2 以干密度为纵坐标，含水量为横坐标，绘制干密度与含水量的关系曲线(图 16.0.5)，曲线上峰值点的纵、横坐标分别为最大干密度和最佳含水量，如曲线不能绘出明显的峰值点，应进行补点或重做。

16.0.5.3 按下式计算空气体积等于零的等值线，并将这根线绘在含水量与干密度的关系图上，以资比较(图 16.0.5)。

$$d = (1 - 0.01 V_a) / (1/G_s + w/100)$$

式中： d --试样的干密度，克/立方厘米；

V_a --空气体积，%；

G_s --试样比重，对于粗粒土，则为土中粗细颗粒的混合比重；

w --试样的含水量，%。

16.0.5.4 当试样中有大于 38 毫米颗粒时，应先取出大于 38 毫米颗粒，并求得其百分率 P，把小于 38 毫米部分作击实试验，按下面公式分别对试验所得的最大干密度和最佳含水量进行校正(适用于大于 38 毫米颗粒的含量小于 30%时)。

欠图

最大干密度按下式校正：

$$d_m = 1 / [(1 - 0.01p) / d_m + 0.01p / G_s]$$

式中： d_m --校正后最大干密度，克/立方厘米；

d_m --用粒径小于 38 毫米的土样试验所得的最大干密度，克/立方厘米；

P--试样中粒径大于 38 毫米颗粒的百分数，%；

G_s --粒径大于 38 毫米颗粒的毛体积比重，计算至 0.01。

最佳含水量按下式校正：

$$w_0 = w_0(1 - 0.01P) + 0.01p^2$$

击实试验记录

土样编号	筒号	筒容积	997 立方厘米	落距	45 厘米			
土样来源	筒容积	997 立方厘米	每层击数	27				
试验日期	击锤质量	4.5 千克	大于 5 毫米颗粒含量					
干密度	试验次数	1	2	3	4	5		
	筒加土质量	(g) 2907.6	2981.8	3130.9	3215.8	3191.1		
	筒质量	(g) 1103	1103	1103	1103	1103		
	湿土质量	(g) 1804.6	1878.8	2027.9	2112.8	2088.1		
	湿密度	(g/cm ³) 1.81	1.88	2.03	2.12	2.09		
	干密度	(g/cm ³) 1.67	1.71	1.8	1.83	1.76		
含水量	盒号							

盒+湿土质量	(g)	33.45	33.27	35.60	35.44	32.88	33.13	33.13	34.09	36.96	38.31
盒+干土质量	(g)	32.45	32.26	34.16	34.02	31.40	31.64	31.36	32.15	24.28	35.36
盒质量	(g)	20	20	20	20	20	20	20	20	20	20
水质量	(g)	1.0	1.01	1.44	1.42	1.48	1.49	1.77	1.94	2.68	2.95
干土质量	(g)	12.45	12.26	14.16	14.02	11.40	11.64	11.36	12.15	14.28	15.36
含水量	(%)	8.0	8.2	10.3	10.1	13.0	12.8	15.6	16.0	18.8	19.5
含水量	(%)	8.1		10.2		13.0		15.8		19.0	
最佳含水量=15.8%				最大干密度=1.83g/cm ³							

式中: w_0 --校正后的最佳含水量, %;

w_0 --用粒径小于 38 毫米的土样试验所得的最佳含水量, %;

P--同前;

w_2 --粒径大于 38 毫米颗粒的吸水量, %。

16.0.5.5 本试验记录格式如表 16.0.5。

16.0.6 报告

16.0.6.1 土的鉴别分类和代号。

16.0.6.2 土的最佳含水量 w_0 (%)。

16.0.6.3 土的最大干密度 ρ_{dmax} (克/立方厘米)。

第 17 章

17 粗粒土和巨粒土最大干密度试验

17.1 振动台法(T0132-93)

17.1.1 目的和适用范围

17.1.1.1 本试验规定采用振动台法测定无粘性自由排水粗粒土和巨粒土(包括堆石料)的最大干密度。

17.1.1.2 本试验方法适用于通过 0.074 毫米标准筛的干颗粒质量百分数不大于 15% 的无粘性自由排水粗粒土的巨粒土。

17.1.1.3 对于最大颗粒尺寸大于 60 毫米的巨粒土, 因受试筒允许最大粒径的限制, 宜按 17.1.1.3 规定处理。

17.1.2 仪器设备

17.1.2.1 振动台(如图 17.1.2 所示): 固定于混凝土基础上; 振动台面尺寸至少 550 毫米*550 毫米, 且具有足够刚度。振动台最大负荷应满足试筒、套筒、试样、加重底板及加重块等质量的要求, 不宜小于 200 千克; 其频率 0--60 赫兹可调, 双振幅 0--2 毫米可调。

17.1.2.2 试筒: 圆柱形金属筒, 按表 17.1.2 规定选用。试筒容积宜用灌水法每年标定一次。

17.1.2.3 套筒: 内径宜与试筒(表 17.1.2)配套一致, 且与试筒紧密固定后内壁成直线连接。

17.1.2.4 加重底板: 底板为 12 毫米厚的钢板, 其直径略小于相应试筒内径, 中心应有 15 毫米未穿通的提吊螺孔。

17.1.2.5 加重块: 对于相应采用的试筒, 加重块及其加重底板在试样表面产生的静压力应为 13.8kPa。

欠图

图 17.1.2 振动台法试验装置

试样质量及仪器尺寸 表 17.1.2

土粒最大尺寸(m m)	试样质量(kg)	试筒尺寸		套筒高度(mm)	装料工具
		容积(cm ³)	内径(mm)		
60	34	14200	280	250	小铲或大勺
40	34	14200	280	250	小铲或大勺
20	11	2830	152	305	小铲或大勺
10	11	2830	152	305	25 毫米漏斗

17.1.2.6 百分表及表架: 百分表量程至少 50 毫米以上, 分度值为 0.025 毫米。表架支杆应能插入试筒导向瓦套孔中, 并使百分表表头杆中心线与试筒中心或内壁面平行。

17.1.2.7 台称: 应具有称测定试筒及试样总质量的量程, 且达到所测定土质量 0.1% 的精度。所用台称, 对于 ≥ 280 毫米试筒, 量程至少 50 千克, 感量 6 克, 对于 152 毫米试筒, (有量程至少 30 千克, 感量 2 克。

17.1.2.8 起吊机: 起重量至少 180 千克。

17.1.2.9 标准筛: 60 毫米、40 毫米、20 毫米、10 毫米、5 毫米、0.074 毫米。

17.1.2.10 其它工具: 如加重底板提手、烘箱、金属盘、小铲、大勺及漏斗、橡皮锤、秒表、直钢尺、试筒布套等。

17.1.3 试样

17.1.3.1 采集代表性试料, 妥善贮存备用。

17.1.3.2 采用标准筛分法(T0115-93)测定各粒组的颗粒百分数。

17.1.3.3 对于粒径大于 60 毫米的巨粒土, 因受试筒允许最大粒径的限制, 应按相似级配法制备缩小粒径的系列模型试料, 相似级配法粒径及级配按以下公式及图 17.1.3 计算。

欠图

图 17.1.3 原型料与模型料级配关系

相似级配模型试料粒径:

$$d = D / M_r$$

式中: D--原型试料级配某粒径, 毫米;

d--原型试料级配某粒径缩小后的粒径, 即模型试料相应粒径, 毫米;

M_r --粒径缩小倍数, 通常称为相似级配模比。

$$M_r = D_{\max} / d_{\max}$$

式中: D_{\max} --原型试料级配最大粒径, 毫米;

d_{\max} --试样允许或设定的最大粒径, 即 60 毫米, 40 毫米, 20 毫米, 10 毫米等。

相似级配模型试料级配组成与原型级配组成相同, 即:

$$P_{Mr}=P_p$$

式中： P_{Mr} --原型试料粒径缩小 M_r 倍后(即为模型试料)相应的小于某粒径 d 含量百分数，%；

P_p --原型试料级配小于某粒径 D 的含量百分数，%。

17.1.3.4 如果采用干土法进行试验，则需将试样在烘箱内烘至恒量，并用烘干法测定现场试料含水量，烘干后，应完全剥去弱胶结物，以免增大颗粒的自然尺寸。

17.1.4 试验步骤

17.1.4.1 干土法

(1)充分拌匀烘干试样，即使其颗粒分离程度尽可能小，然后大致分成三份，测定并记录试筒质量。

(2)用小铲或漏斗将任一份试样徐徐装填入试筒，并注意使颗粒分离程度最小(装填量宜使振毕实后的试样等于或略低于筒高的 $1/3$)；抹平试样表面，然后可用橡皮锤或类似物敲击几次试筒壁，使试料下沉。

(3)放置合适的加重底板于试料表面上，轻轻转动几下，使加重底板与试样表面密合一致，卸下加重底板把手。

(4)将试筒固定于振动台面上，装上套筒，并与试筒紧密固定。将合适的加重块置于加重底板上，其上部尽量不与套筒内壁接触。

(5)设定振动台在振动频率 50 赫兹下的垂直振动双振幅为 0.5mm；或在振动频率 60 赫兹下的垂直振动双按双振幅为 0.35 毫米。振动试筒及试样等，在 50 赫兹下振动 10min，在 60 赫兹下振动 8min。振毕卸去加重块及加重底板。

(6)按本规程 17.1.4.1 条(2)至(5)步骤进行第二层、第三层试料振动压实。但第三层振毕加重底板不再立即卸去。

(7)卸去套筒，然后检查加重底板是否与试样表面密合一致，即按压加重底板边缘，看其是否翘起，若翘起则宜在试验报告中注明。

(8)将百分表架支杆插入每个试筒导向瓦套孔中，刷净试筒顶沿面上及加重底板上仅次于试筒导向瓦两侧测量位置所积落的细粒土，并尽量避免将这些细粒土刷进试筒内，然后分别测读并记录试筒导向瓦每侧试筒顶沿面(中心线处)各三个百分表读数，共 12 个读数(其平均值即为百分表初始读数 R_i)；再从加重底板上测读并记录出相应读数(其平均值即初始读数即为终了百分表读数 R_f)。

(9)卸去加重底板，并从振动台面上卸下试筒，在此过程中，尽可能避免加重底板上及试筒沿面上落积的细粒土进入试筒里。如这些细粒土质量超过试样总质量的 0.2%，应测定其质量并注明于试验报告中。

(10)在合适的台称上测定并记录试筒及试样总质量，扣除空试筒质量即为试样质量，或仔细地将试筒里试样全部倒入已知质量的盘中称量。计算最大干密度 d_{max} 。

(11)重复本规程 17.1.4.1 条(1)至(10)步骤，直至获得一致的最大干密度值(最好在 2%内)。如果发现产生过分的颗粒破碎或者是有棱角的石渣、堆石料或风化软弱岩试料，则宜尽量制备够数量代表性试样，以避免单个试样重复使用。

17.1.4.2 湿土法

(1)按湿法试验时，可对烘干试料加足量水，或用现场湿土料进行。拌匀试料颗粒级配及含水量(使颗粒分离程度尽可能小)，然后大致分成三份。如果向干料中加水，则需最小饱和时间约 $1/2h$ ；加水量宜加到足够份量，即在拌和盘中无自由水滞积，且在振密过程中基本保持饱和状态。

注：对于估算向烘干试料中的加水量，起初可尝试每 4.5kg 试料约加 1000 毫升的水量，或按下式估算：

$$M_w = M_s \left(\frac{w}{d_r} - 1 \right) / G_s$$

式中： M_w --加水量，克；

d_r --由起初振密结果所估算的干密度，千克/立方米；

M_s --试样质量，克；

w --水的密度，1000 千克/立方米；

G_s --土粒比重。

(2)装试筒于振动台上，起动振动台，用小铲或勺将任一份湿料徐徐装填入试筒(装填料宜使振毕试样等于或略低于筒高的 $1/3$)。每次添加试料后，宜察看试样表面是否滞积有少量自由水。若无，可用海棉蘸水挤入、小器皿注入或其它工具加入足量水。在此过程中，振动台的振幅或振动频率或这两者须随时调节，以阻止试样颗粒过分沸动或松散，大致振动 2--3min 后，宜用尽可能不带走土粒的办法暖试样表面的所有自由水。

(3)按本规程 17.1.4.1 条(3)(4)步骤装上加重底板、套筒及加重块。

(4)振动试筒及试样等，按本规程 17.1.4.1 条(5)步骤进行振动。振毕，卸去加重块及加重底板。吸去试样表面所有自由水。

(5)按本规程 17.1.4.1 条(3)至(5)步骤进行第二层、第三层试料的振动压实。但第三层振毕加重底板不再立即卸去。

(6)卸下套筒，吸去加重底板上及边缘的所有自由水，按本规程 17.1.4.1 条(8)步骤读并记录百分读数。

(7)按本规程 17.1.4.1 条(9)步骤卸下加重底板及试筒,然后测定并记录试筒与试样的总质量。为测定试样的含水量,仔细地将试筒中全部湿试样倒入已知质量的盘中,并将粘附于试筒内壁及筒的所有颗粒冲洗于盘中,然后在烘箱中将试样烘至恒量,测定并记录其烘干质量。

17.1.5 结果整理

17.1.5.1 对于干土法,最大干密度按下式计算:

$$d_{\max} = M_d / V$$

式中: d_{\max} --最大干密度,千克/立方米;

M_d --干试样质量,千克;

V --振比密实试样体积,立方米;

$$V = [V_c - A_c (H/10)] * 10^{-6}$$

V_c --标定的试筒体积,立方厘米;

A_c --标定的试筒横断面积,平方厘米;

$$H = (R_i - R_f) + T_p (\text{顺时针读数百分表})$$

$$= (R_f - R_i) + T_p (\text{逆时针读数百分表})$$

R_i --初始百分表读数,0.01mm;

R_f --振毕后加重底板上相对位置百分表终读数的均值,0.01mm。

T_p --加重底板厚度,毫米。

注:本标准以千克/立方米作为 d_{\max} 的标准单位,而克/立方厘米为认可的习用单位。

17.1.5.2 对于湿土法,最大干密度按下式计算:

$$d_{\max} = M_m / V(1 + 0.01 w)$$

式中: M_m --振毕密实湿试样质量,千克;

w --振毕密实试样含水量, %。

17.1.5.3 巨粒土原型料最大干密度应按以下方法确定:

(1)作图法 延长图 17.1.5 中最大干密度 d_{\max} 与相似级配模比 M_r 的关系直线至 $M_r=1$ 处,即读得原型试料的 D_{\max} 值。

(2)计算法 对几组系列试验结果用曲线拟合法可整理出下式:

欠图

$$d_{\max} = a + b \ln M_r$$

式中 a 、 b 为试验常数。

由于 $M_r=1$ 时, $d_{\max} = D_{\max}$, 所以 $a = D_{\max}$

$$\text{即 } d_{\max} = D_{\max} + b \ln M_r$$

令 $M_r=1$ 时,即得原型试料 D_{\max} 值。

17.1.5.4 计算干土法所测定的最大干密度试验结果的平均值作为试验报告的最大干密度值,当湿土法结果比干土法高时,采用湿土法试验结果的平均值。

17.1.5.5 压实指标计算

如果已测定最小干密度 d_{\min} (采用测定 d_{\max} 的试筒及装料工具以干土样松填法试验测定,或采用 T0123-93),且已知土料的沉积或填筑干密度 d ,则相对密实度 D_r 可按式(12.0.4-6)计算。

如果粒径大于 60 毫米的巨粒土难以测定其最小干密度,但当已知土料的沉积或填筑干密度 d 时,则压实度 K 可按下式计算:

$$K = d / D_{\max} * 100$$

17.1.5.6 本试验记录格式如表 17.1.5-1。

17.1.6 精密度及允许差

最大干密度试验结果精度要求如表 17.1.5-2 所列。

最大干密度试验记录 表 17.1.5-1

试料编号:CR21 试料来源:XBKD 试料最大粒径:60 毫米

相似级模比:1.33 振动频率:50 赫兹 全振幅:0.5mm

振动历时:3*10min 试验日期

试验方法			干土法	
平行测定次数			1	2
试样+试筒质量		(kg)	42.700	42.850
试筒质量		(kg)	12.800	12.800
试样质量	干土法 M_d	(kg)	29.900	30.051
	湿土法 M_m	(kg)		
试筒容积 V_c		(cm^3)	14200	14200
试筒横断面积 A_c		(cm^2)	615.75	615.75
百分表初读数 R_i		(mm)	42.275	46.350
百分表终读数 R_f		(mm)	33.250	36.405
试样表面至试筒顶面距离 $H = R_i - R_f + T_p$		(mm)	21.025	21.945
试样体积 $V = [V_c - A_c (H/10)] \times 10^{-6}$		(m^3)	0.0129054	0.0128488
试样干密度	干土法 M_d/V	(kg/m^3)	2316.9	2338.7
	湿土法 $M_m/[V(1+0.01 \text{ **})]$	(kg/m^3)		
最大干密度(即平均值) d_{max}		(kg/m^3)	2327.8	
任意两个试验值的偏差范围(以平均值百分数表示)		(%)	0.94	
标准差, S		(kg/m^3)	11.4	
* T_p =加重底板厚度, 12mm			试验异常情况	

最大干密度试验结果精度 表 17.1.5-2

试料	标准差 S(kg/m^3)	两个试验结果的允许范围(以平均值百分数表示), %
粒径<5 毫米	± 13	2.7
粒径 5--60 毫米	± 22	4.1

17.1.7 报告

17.1.7.1 试料来源, 外观描述。

17.1.7.2 试筒尺寸及方法。

17.1.7.3 最大干密度 d_{max} (千克/立方米), 取三位有效数字。

17.1.7.4 任何反常现象, 如试料损失、分离、加重底板过分倾斜等。

17.2 表面振动压实仪法(T0133-93)

17.2.1 目的和适用范围

同(T0132-93)第 17.1.1 条。

17.2.2 仪器设备

17.2.2.1 振动电机: 见图 17.2.2, 功率 0.75--1kW, 振动频率 45--50 赫兹或 50 赫兹, 激振力 2.5--4.2kN。

17.2.2.2 钢制夯: 可牢固于振动电机上, 且有一厚 15 毫米夯板, 夯板直径应略小于试筒内径 2--5 毫米左右, 夯与振动电机总重在试样表面产生 13.8kPa 静压力。

17.2.2.3 试筒: 同(T0132-93)。但固定试筒的底板须固定于混凝土基础上或至少质量为 450 克混凝土块上。

17.2.2.4 套筒: 内径应与试筒配套, 高度为 170--250 毫米; 与试筒固定后内壁须成直线连接。

17.2.2.5 台称、电动葫芦、标准筛同(T0132-93)。

欠图

17.2.2.6 直钢条: 宜用尺寸为 350 毫米*25 毫米*3 毫米(长*宽*厚)。

17.2.2.7 深度仪或钢尺: 量测精度要求至 0.5mm。

17.2.2.8 大铁盘: 其尺寸宜用 600 毫米*500 毫米*80 毫米(长*宽*高)。

17.2.2.9 其它: 同(T0132-93)。

17.2.3 试验步骤

17.2.3.1 干土法

(1)按(T0132-93)中 17.1.4.1 条(1)制备试样。

(2)按本规程 17.1.4.1 条(2)装填试样。

(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 6min。吊起振动器。

(5)按本规程 17.2.3.1 条(2)至(4)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，测定振毕试样高度，读数宜从四个均布试样表面至少距筒壁 15 毫米的位置上测得并精确至 0.5mm，记录并计算试样高度 H_0 。

(7)卸下试筒，测定并记录试筒与试样质量，扣除试筒质量即为试样质量。计算最大干密度 d_{max} 。

(8)重复本规程 17.2.3.1 条(1)至(7)步骤，直至获得一致的最大密度。但须制备足够的代表性试料，不得重复振动压实单个试样。

17.2.3.2 湿土法

(1)按(T0132-93)中 17.1.4.2 条(1)制备试样。

(2)将试筒固定于底板上，用小铲或大勺将任一份湿料徐徐填入试筒(装填量宜使振毕试样等于或略低于筒高的 1/3)。

(3)放下振动器，振动 6min。吊起振动器，吸去试样表面自由水。

(4)按本规程 17.2.3.2 条(2)(3)进行第二层、第三层试样振动压实。

(5)卸下试筒再按本规程 17.1.4.2 条(6)步骤进行。

(6)测定振毕试样含水量后。计算最大干密度 d_{max} 。

(7)同本规程 17.2.3.1 条(8)。

17.2.4 结果整理

17.2.4.1 对于干土法，最大干密度 d_{max} (千克/立方米)按下式计算：

$$d_{max}=M_d/V$$

式中： M_d --干试样质量，千克；

V --振毕密实试样体积，立方米；

$$V=A_c(H/10)*10^{-6}$$

A --标定的试筒横断面积，平方米；

H --振比密实试样高度，毫米。

17.2.4.2 对于湿土法，最大干密度按下式计算

$$d_{max}=M_m/V(1+0.01 \quad)$$

式中： M_m --振毕密实湿试样质量，千克；

--振比密实湿试样含水量，%。

其余参照(T0132-93)。

第 18 章

18 承载比(CBR)试验(T0134-93)

18.0.1 目的和适用范围

18.0.1.1 本试验方法只适用于在规定的试筒内制件后，对各种土和路面基层、底基层材料进行承载比试验。

18.0.1.2 试样的最大粒径宜控制在 25 毫米以内，最大不得超过 38 毫米。

18.0.2 仪器设备

18.0.2.1 圆孔筛：孔径 38 毫米、25 毫米、20 毫米及 5 毫米筛各 1 个。

18.0.2.2 试筒：内径 152 毫米、高 170 毫米的金属圆筒；套环，高 50 毫米；筒内垫块，直径 151 毫米、高 50 毫米，夯击底板，同击实仪。试筒的型式和主要尺寸如图 18.0.2-1 所示，也可用(T0131-93)击实试验的大击实筒。

18.0.2.3 夯锤和导管：夯锤的底面直径 50 毫米，总质量 4.5 千克。夯锤在导管内的部行程为 450 毫米，夯锤的形式和尺寸与重型击实试验法所用的相同。

18.0.2.4 贯入杆：端面直径 50 毫米、长约 100 毫米的金属柱。

18.0.2.5 路面材料强度仪或其它载荷装置：能量不小于 50kN，能调节贯入速度至每分钟贯入 1 毫米，可采用测力计式，如图 18.0.2-2 所示。

18.0.2.6 百分表：3 个。

18.0.2.7 试件顶面上的多孔板(测试件吸水时的膨胀量)，如图 18.0.2-3 所示。

18.0.2.8 多孔底板(试件放上后浸泡水中)。

欠图三幅

18.0.2.9 测膨胀量时支承百分表的架子，如图 18.0.2-4 所示。

18.0.2.10 荷载板：直径 150 毫米，中心孔眼直径 52 毫米，每块质量 1.25 千克，共 4 块，并沿直径分为两个半圆块，如图 18.0.2-5 所示。

18.0.2.11 水槽：浸泡试件用，槽内水面应高出试件顶面 25 毫米。

18.0.2.12 其它：台称，感量为试件用量的 0.1%；拌和盘；直尺；滤纸；脱模器等与击实试验相同。

欠图两幅。

18.0.3 试样

将具有代表性的风干试料(必要时可在 50 摄氏度烘箱内烘干)用木碾捣碎,但应尽量注意不使土或粒料的单个颗粒破碎。土团均应捣碎至通过 5 毫米的筛孔。

采取有代表性的试料 50 千克，用 38 毫米筛筛除大于 38 毫米的颗粒，并记录超尺寸颗粒的百分数，将已过筛的试料按四分法取出约 25 千克。再用四分法将取出的试料分成 4 份。每份质量 6 千克，供击实试验和制试件之用。

在预定做击实试验的前一天，取有代表性的试料测定其风干含水量，测定含水量用的试样数量可参照(T0131-93)击实试验中表 16.0.4 采取。

18.0.4 试验步骤

18.0.4.1 称试筒本身质量(m_1)，将试筒固定在底板上，将垫块放入筒内，并在垫块上放一张滤纸，安上套环。

18.0.4.2 将 1 份试料，按(T0131-93)表 16.0.1-1 中 II-2 规定的层数和每层击数，求试料的最大干密度和最佳含水量。

欠图

18.0.4.3 将其余 3 份试料，按最佳含水量制备 3 个试件，将一份试料平铺于金属盘内，按事先计算得的该份试料应加的水量(参照(T0131-93)中公式(16.0.4))均匀地喷洒在试料上。

用小铲将试料充分拌到均匀状态，然后装入密闭容器或塑料袋内浸润备用。

浸润时间：重粘土不得少于 24h，轻粘土可缩短到 12h，砂土可缩短到 1h，天然砂砾可缩短到 2h 左右。

制每个试件时，都要取样测定试料的含水量。

注：需要时，可制备三种干密度试件。如每种干密度试件制 3 个，则共制 9 个试件。每层击数分别为 30、50 和 98 次，使试件的干密度从低于 95%到等于 100%的最大干密度，这样，9 个试件共需试料约 55 千克。

18.0.4.4 将试筒放在坚硬的地面上，取备好的试样分 3--5 次倒入筒内(视最大粒径而定)。按五层法时，每层需试样约 900 克(细粘土)--1100 克(粗粘土)；按三层法时，每层需试样 1700 克左右，(其量应使击实后的试样高出 1/3 筒高 1--2 毫米)。整平表面，并稍加压紧，然后按规定的击数进行第一层试样的击实，击实时锤应自由垂直落下，锤迹必须均匀分布于试样面上，第一层击实完后，将试样层面“拉毛”，然后再装入套筒，重复上述方法进行其余每层试样的击实，大试筒击实后，试样不宜高出筒高 10 毫米。

18.0.4.5 卸下套环，用直刮刀沿试筒顶修平击实的试件，表面不平整处用细料修补。取出垫块，称试筒和试件的质量(m_2)。

18.0.4.6 泡水测膨胀量的步骤如下：

(1)在试件制成后，取下试件顶面的破残滤纸，放一张好滤纸，并在上安装附有调节杆的多孔板，在多孔板上加 4 块荷载板。

(2)将试筒与多孔板一起放入槽内(先不放水)，并用拉杆将模具拉紧，安装百分表，并读取初读数。

(3)向水槽内放水，使水自由进到试件的顶部和底部。在泡水期间，槽内水面应保持在试件顶面以上大约 25 毫米，通常试件要泡水 4 昼夜。

(4)泡水终了时，读取试件上百分表的终读数，并用下式计算膨胀量：

膨胀量=泡水后试件高度变化/原试件高(=120 毫米)*100 (18.0.4)

(5)从水槽中取出试件，倒出试件顶面的水，静置 15min，让其排水，然后卸去附加荷载和多孔板、底板和滤纸，并称量(m_3)，以计算试件的温度和密度的变化。

18.0.4.7 贯入试验

(1)将泡水试验终了的试件放到路面材料强度试验仪的升降台上，调整偏球座，使贯入杆与试件顶面全面接触，在贯入杆周围放置 4 块荷载板。

(2)先在贯入杆上施加 45N 荷载，然后将测力和测变形的百分表的指针都调整至零点。

(3)中荷使贯入杆以 1--1.25mm/min 的速度压入试件，记录测力计内百分表某些整读数(如 20、40、60)时的贯入量，并注意使贯入量为 250×10^{-2} 毫米时，能有 5 个以上的读数。因此，测力计内的第一个读数应是贯入量 30×10^{-2} 毫米左右。

18.0.5 结果整理

18.0.5.1 以单位压力(p)为横坐标，贯入量(L)为纵坐标，绘制 P--L 关系曲线，如图 18.0.5 所示。图上曲线 L 是合适的。曲线 2 开始段是凹曲线，需要进行修正，修正时，在变曲率点引一切线，与纵坐标交于 O 点，O 即为修正后的原点。

欠图

18.0.5.2 一般采用贯入量为 2.5 厘米时的单位压力与标准压力之比作为材料的承载比(CBR)，即

$CBR = \frac{p}{7000} \times 100$ (18.0.5-1)

式中：CBR--承载比，%；

p--单位压力, kPa。

同时计算贯入量为 5 毫米时的承载比:

$$CBR=p/10500*100 \quad (18.0.5-2)$$

如贯入量为 5 毫米时的承载比大于 2.5 毫米时的承载比, 则试验要重作。如结果仍然如此, 则采用 5 毫米时的承载比。

18.0.5.3 试件的湿密度用下式计算:

$$\rho_w=(m_2-m_1)/2177$$

式中: ρ_w --试件的湿密度, 克/立方厘米;

m_2 --试筒的试件的合质量, 克;

m_1 --试筒的质量, 克;

2177--试筒的容积, 立方厘米。

18.0.5.4 试件的干密度用下式计算:

$$\rho_d=\rho_w/1+0.01$$

式中: ρ_d --试件的干密度, 克/立方厘米;

w --试件的含水量。

18.0.5.5 泡水后试件的吸水量按下式计算:

$$m_a=m_3-m_2$$

式中: m_a --泡水后试件的吸水量, 克;

m_3 --泡水后试筒和试件的合质量, 克;

m_2 --试筒和试件的合质量, 克。

18.0.5.6 本试验记录格式如表 18.0.5-1 和 18.0.5-2。

18.0.6 精度要求

如根据 3 个平行试验结果计算得的承载比变异系数 C_V 大于 12%, 则掉一个偏离大的值, 取其余 2 个结果的平均值, 如 C_V 小于 12%, 则 3 个平行试验结果计算的干密度偏差小于 0.03 克/立方厘米, 则取 3 个结果的平均值, 如 3 个试验结果计算的干密度偏差超过 0.03 克/立方厘米, 则去掉一个偏离大的值, 取其 2 个结果的平均值。

18.0.7 报告

18.0.7.1 材料的颗粒组成, 最佳含水量(%)和最大干密度(克/立方厘米)。

18.0.7.2 材料的承载比(%), 承载比小于 100, 准确到 5%; 承载比大于 100, 准确到 10%。

18.0.7.3 材料的膨胀量(%)。

贯入试验记录 表 18.0.5-1

土样编号 试验者

最大干密度 1.69 克/立方厘米 计算者

最佳含水量 18% 校核者

每层击数 27 试验日期

试件编号

量力环校正系数 $C=239.8N/0.01mm$, 贯入杆面积 $A=19.635$ 平方厘米。

$P=C*R/A$

$L=2.5mm$ 时 $p=611kPa$ $CBR=p/7000*100=8.7\%$

$L=5mm$ 时, $p=690kPa$ $CBR=p/10500*100=6.6\%$

荷载测力计百分表读数 R	单位压力 P(kPa)	百分表读数(0.01mm)	贯入量 L(mm)
0.9	110	60.5	0.61
1.8	220	106.5	1.07
2.9	354	151	1.51
4.0	489	194	1.94
1.8	586	240.5	2.41
5.1	623	286	2.86
5.4	660	335	3.34
5.6	684	383	3.83
5.6	684	488	4.88

膨胀量试验记录 表 18.0.5-2

膨胀量	试验次数			1	2	3
	筒号	(1)				
	泡水前试件(原试件)高度(毫米)	(2)		120	120	120
	泡水后试件高度(毫米)	(3)		128.6	136.5	133

	膨胀量平均值(%)		10.58			
密度	筒质量 m_1 (g)	(5)		6660	4640	5390
	筒+试件质量 m_2 (g)	(6)		10900	8937	9790
	筒体积(cm^3)	(7)		2177	2177	2177
	湿密度 (g/cm^3)	(8)	$[(6)-(5)]/(7)$	1.948	1.974	2.021
	含水量 (%)	(9)		16.93	18.06	26.01
	干密度 ρ_d (g/cm^3)	(10)	$(8)/1+0.01$	1.666	1.672	1.604
	干密度平均值(g/cm^3)			1.647		
吸水量	泡水后筒+试件合质量 m_3 (g)	(11)		11530	9537	10390
	吸水量 a (g)	(12)	$(11)-(6)$	630	600	600

第 19 章

19 回弹模量试验

19.1 承载板法(T0135-93)

19.1.1 目的和适用范围

本试验适用于不同湿度和密度的细粒土。

19.1.2 仪器设备

19.1.2.1 杠杆压力仪:最大压力 1500N, 如图 19.1.2-1 所示:

欠图

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

19.1.2.2 承载板:直径 50 毫米,高 80 毫米,如图 19.1.2-2 所示。

欠图

19.1.2.3 试筒:内径 152 毫米、高 170 毫米的金属圆筒;套环,高 50 毫米;筒内垫块,直径 151 毫米,高 50 毫米;夯击底板与击实仪相同。

19.1.2.4 量表:千分表两块。

19.1.2.5 秒表一只。

19.1.3 试样

按击实试验(T0131-93)方法制备试样,根据工程要求选择轻型或重型法,视最大粒径用小筒或大筒进行击实试验,得出最佳含水量和最大干密度,然后按最佳含水量用上述试筒击实制备试件。

19.1.4 试验步骤

19.1.4.1 安装试样:将试件和试筒的底面放在杠杆压力仪的底盘上,将承载板放在试件中央(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,将表的测头安放在承载板的表架上。

19.1.4.2 预压:在杠杆仪的加载架上施加砝码,用预定的最大单位压力 p 进行预压。含水量大于塑限的土, $p=50\text{--}100\text{kPa}$,含水量小于塑限的土, $p=100\text{--}200\text{kPa}$ 。预压进行 1--2 次,每次预压 1min。预压后调正承载板位置,并将千分表调到接近满量程的位置,准备试验。

19.1.4.3 测定回弹量:将预定最大单位压力分成 4--6 份,作为每级加载的压力。每级加载时间为 1min 时,记录千分表读数,同时卸载,让试件恢复变形,卸载 1min 时,再次记录千分表读数,同时施加下一级荷载。如此逐级进行加载卸载,并记录千分表读数,直至最后一级荷载。为使试验曲线开始部分比较准确,第一、二级荷载可用每份的一半,试验的最大压力也可略大于预定压力。

19.1.5 结果整理

19.1.5.1 计算每级荷载下的回弹变形 L :

$L = \text{加载读数} - \text{卸载读数}$ (19.1.5-1)

19.1.5.2 以单位压力 p 为横坐标(向右),回弹变形 L 为纵坐标(向下),绘制 $p\text{--}L$ 曲线,如图 19.1.5。

19.1.5.3 按下式计算每级荷载下的回弹模量:

$$E = \frac{pD}{4L(L - \mu^2)}$$

式中: E --回弹模量, kPa;

p --承载板上的单位压力, kPa;

D --承载板直径, 厘米;

L --相应于单位压力的回弹变形, 厘米;

μ --土的泊松比,取 0.35。

19.1.5.4 每个试样的回弹模量由 $p\text{--}L$ 曲线上直线段的数值确定。

欠图

19.1.5.5 对于较软的土,如果 $p\text{--}L$ 曲线不通过原点,允许用初始直线段与纵坐标轴的交点当作原点,修正各级荷载下的回弹变形和回弹模量。

19.1.5.6 精密度和允许差

土的回弹量由三个平行试验的平均值确定,每个平行试验结果与均值回弹模量相差不应不超过 5%。

19.1.7 报告

19.1.7.1 土的鉴别分类和代号。

19.1.7.2 试验方法。

19.1.7.3 土的回弹模量 E 值(kPa)。

回弹模量试验记录(杠杆压力仪法)

工程名称:试验工程 压力计

土样编号:No.2 试验者

土样说明:粘质土 计算者

试验方法:杠杆仪法 试验日期

加载	单位压力	砝码重量 N 或压力	量表读数(0.1mm)	回弹变形(0.1mm)	回弹模量
----	------	------------	-------------	-------------	------

			左	右	平均	左	右	平均			
1	25	5	8.91	9.04	8.98	9.48	9.62	9.55	0.57	0.38	22670
2	50	10	8.15	8.29	8.22	9.08	9.25	9.17	0.95	0.76	22670
3	100	20	6.50	6.72	6.61	8.27	8.40	8.34	1.73	1.54	22375
4	150	30	4.96	5.11	5.04	7.39	7.64	7.52	2.48	2.29	22571

19.2 强度仪法(T0136-93)

19.2.1 目的和适用范围

本试验适用不同湿度、密度的细粒土及其加固土。

19.2.2 仪器设备

19.2.2.1 路面材料强度仪:同 CBR 试验(T0134-93), 如图 19.2.2-1。

注:为使读数时不挡视线,可将贯入杆上的量表支架用螺丝孔与贯入杆相联,做 CBR 试验时将支架拧上,进行本试验时将支架取下。

19.2.2.2 试筒:内径 152 毫米,高 170 毫米的金属圆筒,套环,高 50 毫米;筒内垫块,直径 151 毫米,高 50 毫米,夯击底板同击实仪。试筒的形式和尺寸与击实试验相同,仅在与夯击底板的立柱联接的缺口板上多一个内径 5 毫米、深 5 毫米的螺丝孔,用来安装千分表支架,如图 19.2.2-1。

欠图

1-千分表支杆 2-表夹 3-千分表 4-承载板 5-贯入杆 6-土样 7-试筒

19.2.2.3 承载板:直径 50 毫米、高 80 毫米的用钢板制成的空心圆柱体,两侧带有量表支架,如图 19.2.2-2。

19.2.2.4 量表支杆及表夹:支杆长 200 毫米,直径 10 毫米,一端带有长 5 毫米的试筒上螺丝孔联接的螺丝杆,如图 19.2.2-3。表夹的各部尺寸如图 19.2.2-4。表夹可用钢制,也可用硬塑料制成。

19.2.2.5 其余同本规程 19.1.2。

19.2.3 试样

用上述带螺丝孔的试筒击实制备试件,制备方法与本规程 19.1.3 相同。

19.2.4 试验步骤

19.2.4.1 安装试样:将试件和试筒的底面放在强度仪的升降台上;将千分表支杆拧在试筒两侧的螺丝孔上,将承载板放在试件表面中央位置,并与强度仪的贯入杆对正;将千分表和表夹安装在支杆上,并将千分表测头安放在承载板两侧的支架上。

欠图

19.2.4.2 预压:摇动摇把,用预定的试验最大单位压力进行预压。预压方法同 19.1.4.2。

19.2.4.3 测定回弹模量:将预定的最大压力分为 4--6 份,作为每级加载的压力。由每级压力计计算测力计百分表读数,按照百分表读数逐级加载。加载卸载按本规程 19.2.4.3 步骤进行。如果试样较硬,预定的 p 值可能偏小,此时可不受 p 值的限制,增加加载级数,至需要的压力为止。

19.2.5 结果整理

19.2.5.1 同本规程 19.1.5.1。p--?曲线的绘制同本规程 19.1.5.2,本试验的 p--L 曲线如图 19.2.5。

19.2.5.2 回弹模量计算公式同本规程 19.1.5.3,式中 μ 值,对于具有一定龄期的加固土取 0.25--0.30。

19.2.5.3 试验记录格式如表 19.2.5。

其余同(T0135-93)。

回弹模量试验记录 表 19.2.5

(强度仪法)

工程名称:试验工程 压力计:500 千克量力环

土样编号:No.8 试验者

土样说明:粘质土 计算者

试验方法:强度仪法 试验日期

加载级数	单位压力(kPa)	砝码重量 N 或压力计读数(0.01mm)	量表读数(0.1mm)						回弹变形(0.1mm)		回弹模量(kPa)
			加载			卸载			读数值	修正值	
			左	右	平均	左	右	平均			
1	80	6.56	7.19	7.03	7.11	7.38	7.22	7.30	0.19		145090
2	160	13.12	6.68	6.56	6.62	7.07	6.95	7.01	0.39		141370
3	240	19.67	6.24	6.08	6.16	6.78	6.62	6.70	0.54		153151
4	320	26.23	5.73	5.63	5.68	6.49	6.37	6.43	0.75		147025
5	400	32.79	5.26	5.14	5.20	6.16	6.06	6.11	0.91		151468
6	480	39.34	4.74	4.60	4.67	5.88	5.76	5.82	1.15		143828

第 20 章

20 固结试验

20.1 单轴固结仪法(T0135-93)

20.1.1 目的和适用范围

20.1.1.1 本试验的目的是测定土的单位沉降量, 压缩系数、压缩模量、压缩指数、回弹指数、固结系数以及原状土的先期固结压力等。

20.1.1.2 本试验方法适用于饱和的粘质土, 当只进行压缩时, 允许用非饱和土。

20.1.2 仪器设备

20.1.2.1 固结仪: 见图 20.1.2, 试样面积 50 平方厘米, 高 2 厘米。

20.1.2.2 环刀: 直径为 61.8 毫米和 79.8 毫米, 高度为 20 毫米。环刀应具有一定的刚度, 内壁应保持较高的光洁度, 宜涂一薄层硅脂或聚四氟乙烯。

20.1.2.3 透水石: 由氧化铝或不受土腐蚀的金属材料组成, 其透水系数应大于试样的渗透系数。用固定式容器时, 顶部透水石直径小环刀内径 0.2--0.5 毫米, 当用浮环式容器时, 上下部透水石直径相等。

20.1.2.4 变形量测设备: 量程 10 毫米, 最小分度为 0.01 毫米的百分表或零级位移传感器。

20.1.2.5 其它: 天平、秒表、烘箱、钢丝锯、刮土刀、铝盒等。

20.1.3 试样

20.1.3.1 根据工程需要切取原状土样或制备所需温度密度的扰动土样, 切取原状土样时, 应使试样在试验时的受压情况与天然土层受荷方向一致。

20.1.3.2 用钢丝锯将土样修成略大于环刀直径的土柱。然后用手轻轻将环刀垂直下压, 边压边修, 直至环刀装满土样为止, 再用刮刀修平两端, 同时注意刮平试样时, 不得用刮刀往复涂沫土面。在切削过程中, 应细心观察试样并记录其层次、颜色和有无杂质等。

20.1.3.3 擦净环刀外壁, 称环刀与土总质量, 准确至 0.1, 并取环刀两面修下的土样测定含水量, 试样需要饱和时, 应进行抽气饱和。

20.1.4 试验步骤

20.1.4.1 在切好土样的环刀外壁涂一薄层凡士林, 然后将刀口向下放入护环内。

20.1.4.2 将底板放入容器内, 底板上放透水石, 借助提环螺丝将土样环刀及护环放入容器中, 土样上面覆透水石, 然后放下加压环和传压活塞, 使各部密切接触, 保持平稳。

20.1.4.3 将压缩容器置于加压框架正中, 密合传压活塞及横梁, 预加 1kPa 压力, 使固结仪各部分紧密接触, 装好百分表, 并调整读数至零。

20.1.4.4 去掉预压荷载, 立即中第一级荷载。中砝码时应避免冲击和摇晃, 在加上砝码的同时, 立即开动秒表。

荷载等级一般规定为 50kPa、100kPa、300kPa、和 400kPa。有时可以根据土的软硬程度。第一级荷载可考虑用 25kPa。

20.1.4.5 如系饱和试样, 则在施加第一级荷载后, 立即向容器中注水至满, 如系非饱和试样, 须以湿棉纱围住上下透水水面四周, 避免水分蒸发。

20.1.4.6 如需确定原状土的先期固结压力时, 荷载率宜小于 1, 可采用 0.5 或 0.25 倍, 最后一级荷载应大于 1000kPa, 使 e - $lg p$ 曲线下端出现直线段。

20.1.4.7 如须测定沉降速率、固结系数等指标, 一般按 15 秒、1min、2min15s、4min、6min15s、9min、12min15s、16min、20min15s、25min、30min15s、36min、49min、64min、100min、200min、400min、23h、24h, 至稳定为止。

当不而测定沉降速度时, 则施加每级压力后 24h, 测记试样高度变化作为稳定标准, 当试样渗透系数大于 10^{-5} 厘米/秒时, 允许以主固结完成作为相对稳定标准。按此步骤逐级加压至试验结束。

注: 测定沉降速率仅适用饱和土。

20.1.4.8 试验结束后拆除仪器, 小心取出完整土样, 称其质量, 并测定其终结含水量(如不需测定试验后的饱和度, 则不必测定终结含水量), 并将仪器洗干净。

20.1.5 结果整理

20.1.5.1 按下式计算试验开始时的孔隙比:

$$e_0 = \frac{V_s(1+0.01 w_0)}{V_0} - 1$$

20.1.5.2 按下式计算单位沉降量:

$$S_i = \frac{h_i}{h_0} * 1000 \text{mm/m}$$

20.1.5.3 按下式计算各级荷载下变形稳定后的孔隙比 e_i :

$$e_i = e_0 - (1 + e_0) * S_i / 1000$$

20.1.5.4 按下式计算某一荷载范围的压缩系数 a :

$$a = \frac{e_i - e_{i+1}}{P_{i+1} - P_i} = \frac{(S_{i+1} - S_i)(1 + e_0) / 1000}{(P_{i+1} - P_i) \text{kPa}^{-1}}$$

20.1.5.5 按下式计算某一荷载范围内的压缩模量 E_s 和体积压缩系数 a_v :

$$E_s = \frac{(P_{i+1} - P_i) / (S_{i+1} - S_i) / 1000}{[(1 + e_i) / (1 + e_0) \text{kPa}]}$$

$$a_v = 1 / E_s = a / (1 + e_i)$$

上列各式中:

e_0 --试验开始时试样的孔隙比;

ρ_s --土粒密度(数值上等于土粒比重), 克/立方厘米;

w_0 --试验开始时试样的含水量, 克/立方厘米;

ρ_0 -- 试验开始时试样的密度, 克/立方厘米;

S_i -- 某一级荷载下的沉降量;

h_i -- 某一级荷载下的总变形量, 等于该荷载下百分表读数(即试样和仪器的变形量减去该荷载下的仪器变形量, 毫米);

h_0 -- 试样起始时的高度, 毫米;

e_i -- 某一荷载正压缩稳定后的孔隙比;

P_i -- 某一荷载值, kPa。

20.1.5.6 以单位沉降量 S_i 或孔隙比 e 为纵坐标, 以压力 p 为横坐标, 作单位沉降量或孔隙比与压力的关系曲线如图 20.1.5-1 所示:

欠图

20.1.5.7 按下式计算压缩指数 C_c 及回弹指数 C_s 。

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

20.1.5.8 按下述方法求固结系数 C_v 。

(1) 求某一压力下固结度为 90% 的时间 t_{90} 。

欠图

以百分表读数 d (mm) 为纵坐标, 时间平方根 t 为横坐标, 作 $d-t$ 曲线, 如图 20.1.5-2, 延长 $d-t$ 曲线开始段的直线, 交纵坐标轴于 d_s (理论零点)。过 d_s 作另一一直线, 令其纵坐标为前一直线横坐标的 1.15 倍。则后一直线 $d-t$ 曲线交点所对应的时间平方即为固结度达 90% 所需的时间 t_{90} , C_v 按下式计算:

$$C_v = 0.848h^2 / t_{90} \text{ cm}^2/\text{s}$$

$$h = (h_1 + h_2) / 4$$

式中:

即等于某一荷载下试样初始与终了高度的平均值之半。

(2) 求某一荷载下固结度为 68% 的 t_{68} 。

以百分表读数 d (厘米) 为纵坐标, 以时间的常用对数 $\lg t$ (min) 为横坐标, 在半对数纸上作 $d-\lg t$ 曲线, 如图 20.1.5-3 所示。在曲线开始部分选择任意时间 t_1 , 查到相应的百分表读数 d_1 又在 $t_2 = t_1/4$ 处查得另一相应的百分表读数 d_2 , $2d_2 - d_1$ 之值为 d_{s1} 。如此另在曲线开始部分以同法求得 d_{s2}, d_{s3}, d_{s4} 等, 取其平均值, 得理论零点 d_s , 通过 d_s 作一水平线, 然后向上延长曲线中的直线段, 两直线交点的横坐标乘以 10 即得 t_{68} , 则:

$$C_v = 0.380h^2 / t_{68} \text{ cm}^2/\text{s}$$

欠图

(3) 求某一荷载下固结度为 50% 的 t_{50} 。

同上法求得理论零点 d_s 后, 延长 $d-\lg t$ 曲线的中部直线段和通过曲线尾部数点作一切线的交点即为理论终点为 d_{100} , 则 $d_{50} = (d_0 + d_{100}) / 2$

20.1.5.9 按下述方法确定原状土的先期固结压力 P_c 。

作 $e-\lg p$ 曲线(图 20.1.5-4), 在曲线上首先找出最小曲率半径 R_{min0} 点, 通过 O 点作水平线 OA、切线 OB 及 AOB 的分角线 OD, OD 与曲线的直线 C 的延长线交于 E 点, 则对应 E 点的压力值即先期固结压力 P_c 。

欠图

20.1.5.10 本试验记录格式如表 20.1.5-1--20.1.5-3。

20.1.6 报告

20.1.6.1 土的鉴别分类和代号。

20.1.6.2 土的压缩系数 a (mPa^{-1})。

20.1.6.3 土的压缩模量 E (MPa)。

20.1.6.4 土的压缩指数 C_c 。

20.1.6.5 土的回弹指数 C_s 。

20.1.6.7 土的固结系数 C_v (cm^2/s)

20.1.6.8 原状土的先期固结压力 P_c (kPa)。

固结试验记录(一) 表 20.1.5-1

工程编号 试验者

土样编号 计算者

取土深度 校核者

土样说明 试验日期

含水试验

试样情况		盒号	盒+湿土质量(g)	盒+干土质量(g)	盒质量(g)	水质量(g)	干土质量(g)	含水量(%)
			(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
			(1)	(2)	(3)	(1)-(2)	(2)-(3)	(4)/(5)*100
试验前	饱和前							
			22.17	17.94	7.0	4.23	10.94	38.6 平均
	饱和后(或饱和土)		17.50	14.61	7.0	2.89	7.61	38.038

试验后		127.8	102.6	16.2	25.2	86.4	29.0
-----	--	-------	-------	------	------	------	------

密度试验

试样情况		环刀+土质量(g)	环刀质量(g)	土质量(g)	试样体积(cm ³)	密度(g/cm ³)
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
		(1)	(2)	(1)-(2)	(4)	(3)/(4)
试验前	饱和前					
	饱和后(或饱和土)	166.3	46.5	119.8	64.4	1.86
试验后		158.1	46.5	111.6	57.0	1.96

孔隙比及饱和度计算 G_s=2.75

试样情况		试验前	试验后
含水量	(%)	38.3	29.0
密度	(g/cm ³)	1.86	1.96
孔隙比		1.04	0.80
饱和度		100	100

固结试验记录(二) 表 20.1.5-2

工程编号 试验者

土样编号 试验日期

仪器编号 土样说明

经过时间(min)	压力(kPa)							
	50		100		200		400	
	时间	读数	时间	读数	时间	读数	时间	读数
0	10:20			0.964		1.358		2.355
0.25		0	10:20	1.104	10:20	1.445	10:20	2.355
1		0.410		1.014		1.522		2.405
2.25		0.510		1.062		1.590		2.423
4		0.602		1.107		1.644		2.438
6.25		0.749		1.140		1.688		2.450
9		0.800		1.168		1.722		2.460
12.25		0.834		1.192		1.748		2.470
16		0.854		1.208		1.766		2.480
20.25		0.869		1.228		1.782		2.488
25		0.897		1.232		1.792		2.495
30.25		0.886		1.240		1.806		2.500
36		0.891		1.247		1.813		2.508
42.25		0.896		1.253		1.820		2.515
60		0.906		1.258		1.836		2.530
23h	11:20	0.962		1.331		1.945		2.636
24h		0.966		1.355		1.948		2.640
总变形量(mm)		0.040		1.358		1.948		2.640
仪器变形量(m m)		0.040		1.358		0.062		0.074
试样总变形量		0.926		0.050		1.886		2.564

固结试验记录(三)

工程编号 土样编号 试验日期

试验者 计算者 校核者

试样原始高度 $h_0=20\text{mm}$ $C_v=0.848h^2/t_{90}$ $C_v=0.197h^2/t_{50}$ $C_v=0.380h^2/t_{68}$ 试验前孔隙比 $e_0=1.04$											
加荷时间 (h)	压力 (kPa)	试样总变形量 (mm)	压缩后试样高度 (mm)	单位沉降量 (mm/m)	孔隙比	平均试样高度 (mm)	单位沉降量差 (mm/m)	压缩模量 (MPa)	压缩系数 (MPa^{-1})	排水距离 (cm)	固结系数 $10^{-3}(\text{cm}^2/\text{s})$
		h_i	$h = \frac{h_i}{h_0} \times 1000$	$s_i = \frac{h_i}{h_0} \times 1000$	$e_i = e_0 - s_i(1 + e_0)/1000$	$h = (h_1 + h_2)/2$	$s_2 - s_1$	E_s	a	$h = (h_1 + h_2)/4$	C_v
0	0	0	20.000	0	1.04						
24	50	0.926	19.074	46.3	0.95	19.537	46.3	1.03	1.80	0.977	2.18
24	100	1.308	18.692	65.4	0.91	18.883	19.1	2.45	0.80	0.944	2.02
24	200	1.886	18.114	94.3	0.85	18.403	28.9	3.14	0.60	0.920	1.90
24	400	2.564	17.436	128.2	0.78	17.775	33.9	5.15	0.35	0.896	1.62
24	800	3.330	16.670	166.5	0.70	17.053	38.3	8.70	0.20	0.889	1.61

20.2 快速试验法(T0138-93)

20.2.1 目的和适用范围

本试验采用快速方法确定饱和粘质土的各项土性指标。

20.2.2 仪器设备

本试验所需仪器设备同单轴固结仪法(T0137-93)。

20.2.3 试验步骤

本方法的试验步骤与单轴固结仪法相同。但各级荷载下的压缩时间规定为 1h，最后一级荷载下加读到稳定沉降时的读数。

20.2.4 结果整理

20.2.4.1 按下式计算各级荷载下试样校正后的总变形量：

$$h_i = (h_i)_t - (h_n)T / (h_n)t = K(h_i)_t$$

式中： h_i —某一荷载下校正后的总变形量，厘米；

$(h_i)_t$ —同一荷载下压缩 1h 的总变形量减去该荷载下的仪器变形量，厘米；

$(h_n)_t$ —最后一级荷载下压缩 1h 的总变形量减去该荷载下的仪器变形量，厘米；

$(h_n)T$ —最后一级荷载下达到稳定标准的总变形量减去该荷载下仪器变形量，厘米。

$K = (h_n)T / (h_n)t$ 为大于 1 的校正系数。

20.2.4.2 本试验记录表(一)、(二)与单轴固结仪中固结试验记录表(一)、(二)相同，表三格式 20.2.4。

其余同(T0137-93)。

快速法固结试验记录 表 20.2.4

工程编号 试验者

土样编号 计算者

试验日期 校核者

试样原始高度 $h_0=20\text{mm}$ $K=(h_n)T/(h_n)t=1.031$

加荷时间(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)	单位沉降量(mm/m)	备注
	p	$(h_i)t$	$h_i=K(h_i)t$	$h=h_0-h_i$	$S_i=h_i/h*100$	
1	50	1.20	1.24	18.76	0.062	
1	100	1.98	2.04	17.96	0.102	
1	200	2.76	2.85	17.15	0.142	
1	400	3.53	3.64	16.36	0.182	
1	800	4.24	4.37	15.63	0.219	
稳定	800	4.37				

第 21 章

21 黄土湿陷试验(T0139-93)

21.0.1 目的和适用范围

本试验的目的是测定黄土(黄土类土)的大孔隙比和相对下沉系数。

本试验采用单线法。

21.0.2 仪器设备

本试验主要仪器设备与(T0137-93)单轴固结仪相同。

21.0.3 试样

为判定黄土(黄土类土)的下沉性质,应切取三个原状土样。切土时应使土样受荷方向与天然土层受荷方向一致,并记录和描述土样的层次、颜色和有无杂质等。各试样间的密度差值不得大于 0.03 克/立方厘米,并测定试样含水量。

21.0.4 试验步骤

21.0.4.1 将一个切好的原状土样的环刀外壁涂一薄层凡士林,然后将刀口向下放入护环内。

21.0.4.2 将底盘放入容器内,底盘上放透水石,借助提环螺丝将护环放入容器中,土样上面覆透水石,然后放下加压导环和传压活塞,使各部密切接触,保持平衡。

21.0.4.3 将加压容器置于加压框架正中,密合传压活塞及横梁,预加 1kPa 的压力,使固结仪各部密切接触,装好百分表,并调整读数至零。

21.0.4.4 去掉预加荷载,立即加上第一级荷载 50kPa,在加上砝码的同时开动秒表,按下述时间读百分表读数:10min、20min、30min,以后每 1h 读数一次,直至达到稳定沉降为止。然后加第二级荷载,沉降稳定的标准是每小时变形量不超过 0.01mm。

21.0.4.5 第二级荷载为 100kPa,以后顺次为 150kPa、200kPa。荷载加上后,按本规程 21.0.4.4 规定的时间记录百分表读数至稳定沉降为止。

21.0.4.6 在 200kPa 压力下,达到稳定沉降后,自试样顶面加水,按本规程 21.0.4.4 规定的时间间隔记录百分表读数至再度达稳定沉降。然后继续按 50kPa 的加压间隔加压力至 400kPa。

21.0.4.7 记读最后一级荷载上达到假定沉降后的百分表读数,拆除仪器,取下试样,测定其含水量和干密度。

21.0.4.8 如须测定大孔隙比与压力的关系,从同一土切取的另外两个性质相同土样,测定其密度和含水量,并按上述步骤安装仪器和进行试验。但第一个试样在整个过程应保持其天然含水量,为此,需用湿棉花覆盖在传压活塞周围。第二个试样在 50kPa 压力达到稳定沉降后,自试样顶面加水。

21.0.4.9 为求实际压力下的大孔隙比及相对下沉系数,可按本规程 21.0.4.5 至 21.0.4.7 步骤进行试验,并在中荷至计算压力下浸水,求其在该荷载下的大孔隙比及相对下沉系数,或在不同荷载进行试验,求大孔隙比及相对下沉系数的实际最大值。

21.0.4.10 试验完毕,放掉容器的积水,拆除仪器,取出土样。在试验中心处取土测定其含水量。

21.0.5 结果整理

21.0.5.1 按下式计算试样的孔隙比:

$$e = h/h_s - 1$$

$$h_s = h_0 / (1 + e_0)$$

式中:h--试样高度,毫米;

h_s --试样土粒体积高度,毫米;

h_0 --试验开始时试样的高度,毫米;

e_0 --试验开始时试样的孔隙比。

欠图

21.0.5.2 按下式计算大孔隙比(见图 21.0.5):

$$e_m = e_p - e_p'$$

式中: e_m --大孔隙比;

e_p --pkPa 压力时浸水前试样的稳定孔隙比;

e_p' --pkPa 压力时浸水后试样的稳定孔隙比;

21.0.5.3 按下式计算相对下沉系数:

$$i_m = e_m / (1 + e_0)$$

式中: i_m --相对下沉系数;

e_0 --试验开始时孔隙比。

21.0.5.4 本试验记录格式如表 21.0.5。

黄土湿陷试验记录表 21.0.5

工程编号 试验者

取土深度 计算者

土样编号 校核者

土样描述 试验日期

试样原始高度 $h_0=20$ 毫米

试样原始孔隙比 $e_0=1.114$

试样土粒体积高度 $h_s=h_0/(1+e_0)=9.461$ 。

	50		100		150		200		浸水(在 200kPa 下)	
	时间	读数	时间	读数	时间	读数	时间	读数	时间	读数
	9 : 30	0.000	11 : 00	0.250	13 : 00	0.408	15 : 30	0.570	18 : 00	0.766
	9 : 40	0.223	11 : 10	0.378	13 : 10	0.527	15 : 40	0.700	18 : 10	2.030
	9 : 50	0.240	11 : 20	0.389	13 : 20	0.541	15 : 50	0.720	18 : 20	2.070
	10 : 00	0.242	11 : 30	0.391	13 : 30	0.549	16 : 00	0.730	18 : 30	2.090
	10 : 30	0.247	12 : 00	0.400	14 : 00	0.558	16 : 30	0.749	19 : 00	2.118
	11 : 00	0.250	12 : 30	0.405	14 : 30	0.563	17 : 00	0.756	19 : 30	2.135
			13 : 00	0.408	15 : 00	0.568	17 : 30	0.761	20 : 00	2.143
					15 : 30	0.570	18 : 00	0.766	20 : 30	2.150
									21 : 00	2.157
									23 : 00	2.160
总变形量	0.250		0.408		0.570		0.766		2.160	
仪器变形量	0.021		0.029		0.034		0.037		0.037	
试样变形量	0.229		0.279		0.536		0.729		2.123	
试样高度(h)	19.771		19.621		19.464		19.271		17.877	
孔隙比(e)	1.090		1.074		1.057		1.037		0.89	
大孔隙比(e_m)	$e_m = e_p - e \quad p = 1.037 - 0.89 = 0.147$									
相对下沉系数(i_m)	$i_m = e_m / (1 + e_0) = 0.147 / (1 + 1.114) = 0.07$									

第 22 章

22 直接剪切试验

22.1 粘质土的慢剪试验(T0140-93)

22.1.1 目的和适用范围

本试验方法适用于测定粘质土的抗剪强度指标。

22.1.2 仪器设备

22.1.2.1 应变控制式直剪仪：由剪切盒、垂直加荷设备、剪切传动装置、测力计和位移量测系统组成，如图 22.1.2 所示：
欠图

图 22.1.2 应变控制式直剪仪示意图

1-推动座；2-垂直位移百分表；3-垂直加载框架；4-活塞；5-试样；6-剪切盒；7-测力计；8-测力百分表

22.1.2.2 环刀：内径 61.8mm,高 20 毫米。

22.1.2.3 位移量测设备：百分表或传感器，百分表量程为 10 毫米，分度值为 0.01mm，传感器的精度应为零级

22.1.3 试样

原状土试样按本规程(T0102-93)中 3.0.6 步骤制备，每组试样不得小于 4 个。扰动土试样按本规程 3.0.1 步骤制备，当试样需饱和时，按本规程 3.0.7 步骤进行。

22.1.4 试验步骤

22.1.4.1 对准剪切容器上下盒，插入固定销，在下盒内放透水石和滤纸，将带有试样的环刀刃向上，对准剪盒口，在试样上放滤纸和透水石，将试样小心地推入剪切盒口。

22.1.4.2 移动传动装置，使上盒前端钢珠刚好与测力计接触，依次加上传压板，加压框架，安装垂直位移量测装置，测记初始读数。

22.1.4.3 根据工程实际和土的软硬程度施加各级垂直压力，然后向盒内注水；当试样为饱和试样时，应在中压板周围包以湿棉花。

22.1.4.4 施加垂直压力，每 1h 测记垂直变形一次，试样大结稳定时的垂直变形值时为：粘质土垂直变形每 1h 不大于 0.05mm。并每隔一定时间测记测力计百分表读数，直至剪损。

22.1.4.5 拨去固定销，以小于 0.02 厘米/min 的速度进行剪切，并每隔一定时间测记测力计百分表读数，直至剪损。

22.1.4.6 试样剪损时间可按下式估算：

$$t_f = 50t_{50}$$

式中： t_f --达到剪损所经历的时间，min；

t_{50} --固结度达到 50%所需的时间，min；

22.1.4.7 当测力计百分表读数不变或后退时，继续剪切至剪切位移为 4 毫米时停止，记下破坏值。当剪切过程中测力计百分表无峰值时，剪切至剪切位移达 6 毫米时停止。

22.1.4.8 剪切结束，吸去盒内吸水，退掉剪切力和垂直压力，移动压力框架，取出试样，测定其含水量。

22.1.5 结果整理

22.1.5.1 剪切位移按下式计算

$$L = 20n - R$$

式中： L --剪切位移，0.01mm；

n --手轮转数；

R --百分表读数。

22.1.5.2 剪应力按下式计算：

$$\tau = CR$$

式中： τ --剪应力，kPa；

C --测力计校正系数，kPa/0.01mm。

22.1.5.3 以垂直压力 P 为横坐标，抗剪强度 s 为纵坐标，将每一试样的最大抗剪强度点绘在坐标纸上，并连成一直线。此直线倾角为摩擦角 φ ，纵坐标上的截距为凝聚力 C ，如图 22.1.5-1 所示。

欠图

图 22.1.5-1 抗剪强度与垂直压力的关系曲线

22.1.5.4 以剪应力 C 为纵坐标，剪切位移 L 为横坐标，绘制 $\tau - L$ 的关系曲线，如图 22.1.5-2。

22.1.5.5 记录格式见本规程 22.1.5 粘质土的固结快剪试验。

22.1.6 报告

欠图

图 22.1.5-2 剪应力 τ 与剪切位移 L 的关系曲线

22.1.6.1 土的鉴别分类和代号。

22.1.6.2 土的抗剪强度 C 、 φ 值。

22.2 粘质土的固结快剪试验(T0141-93)

22.2.1 目的和适用范围

本试验适用于渗透系数小于 10^{-6} 厘米/秒的粘质土。

22.2.2 仪器设备

粘质土固结快剪试验所用的主要仪器设备与本规程 22.1.2 相同。

22.2.3 试样

试样制备与本规程 22.1.3 相同。

22.2.4 试验步骤

22.2.4.1 试样安装和固结按本规程 22.2.4.1 至 22.2.4.4 步骤进行。

22.2.4.2 固结快剪试验的剪切速度 0.8min/min，其余步骤按本规程 22.2.4.5 至 22.2.4.8 进行。

22.2.5 结果整理

22.2.5.1 固结快剪试验的计算和绘图与本规程 22.2.5.1 至 22.2.5.4 相同。

22.2.5.2 本试验记录格式如表 22.2.5-1 和 22.2.5-2。

22.2.6 报告

固结快剪试验的内容与本规程 22.1.6 相同。

22.3 粘质土的快剪试验(T0142-93)

22.3.1 目的和适用范围

本试验适用于渗透系数小于 10^{-6} 厘米/秒的粘质土。

22.3.2 仪器设备

与本规程 22.1.2 相同。

22.3.3 试样

试样制备与本规程 22.1.3 相同。

22.3.4 试验步骤

22.3.4.1 试样安装与本规程 22.1.4.1 至 22.1.4.3 相同。

22.3.4.2 施加垂直压力，拔出固定销立即开动秒表，以 0.8min/min 的剪切速度进行，并按本规程 22.1.4.7 至 22.1.4.8 步骤进行剪切。

其余与(T0140-93)相同。

22.4 砂类土的直剪试验(T0143-93)

22.4.1 目的和适用范围

本试验适用于砂类土

22.4.2 仪器设备

直接剪切试验记录(一) 表 22.2.5-1

工程名称-----试验者-----

土样编号-----校核者-----

土粒比重 $G_s=2.70$ 试验日期-----

试验编号				1			2			3			4			5		
				起始	饱和后	剪后	起始	饱和后	剪后	起始	饱和后	剪后	起始	饱和后	剪后	起始	饱和后	剪后
湿密度	(g/cm ³)	(1)	(1)	1.76	1.93	1.94	1.75	1.93	1.94	1.75	1.94	1.94	1.74	1.94	1.95	1.75	1.94	1.95
含水量	(%)	(2)	(2)	16.4	27.7	28.8	16.4	27.8	28.8	16.4	27.7	28.8	16.4	27.7	28.7	16.4	27.7	28.8
干密度 ρ_d	(g/cm ³)	(3)	(1)/[1+(2)/100]	1.51	1.51	1.51	1.50	1.51	1.51	1.50	1.52	1.51	1.49	1.52	1.52	1.50	1.52	1.52
孔隙比 e		(4)	10Gs/(3)-1	0.79	0.379	0.79	0.80	0.79	0.79	0.80	0.78	0.79	0.81	0.78	0.78	0.80	0.78	0.78
饱和度 S_r	(%)	(5)	Gs(2)/4	56.0	94.37	98.4	55.4	95.0	98.4	55.3	95.8	98.4	54.6	95.8	99.3	55.3	95.8	99.6
试样描述 本试样系用过 2mm 筛的土				注：1、试样系用抽气饱和； 2、饱和后的饱和度：														

直接剪切试验记录(二)

工程名称----试验者----

土样编号----校核者----

试验方法：固结快剪 试验日期----

试样编号-----仪器编号----- 手轮转速 6r/min-----垂直压力 300kPa----- 测力计校正系数 c=6.21kPa/0.01mm-----					剪切前固结时间 23h-----剪切历时 4min50s----- 剪切前压缩量 0.853mm-----抗剪强度 152kPa-----				
手轮转数	测力计百分表读数 (0.01mm)	剪切位移 (mm)	剪应力(kPa)	垂直位移 (0.01mm)	手轮转数	测力计百分表读数 (0.01mm)	剪切位移 (mm)	剪应力(kPa)	垂直位移 (0.01mm)
(1)	(2)	(3)=(1)*20 -(2)	(4)=(2)*C		(1)	(2)	(3)=(1)*20 -(2)	(4)=(2)*C	
1	1.6	18.4	10		16	21.2	298.8	131	
2	9.0	31.0	56		17	21.8	318.2	135	
3	11.0	49.0	68		18	21.8	338.2	135	
4	12.5	67.5	78		19	22.2	357.8	138	
5	14.0	86.0	87		20	22.8	377.2	142	
6	14.5	105.5	90		21	23.0	397.0	143	
7	15.3	124.7	95		22	23.3	416.7	145	
8	16.6	143.4	103		23	23.6	436.4	147	
9	17.0	163.0	105		24	24.0	456.0	149	
10	17.6	182.4	109		25	24.5	475.5	152	
11	18.3	201.7	114		26	24.5	495.5	152	
12	19.0	221.0	118		27	24.5	515.5	152	
13	19.7	240.3	122		28	24.8	535.2	154	
14	20.0	260.0	124		29	24.8	555.2	154	
15	20.8	279.2	129						

砂类土直剪试验所用的主要仪器与本规程 22.1.2 相同。

22.4.3 试样

22.4.3.1 取过 2 毫米筛的风干砂 120 克，并按本规程(T0102-93)中 4.0.1 步骤制备砂样。

22.4.3.2 根据预定的试样干密度称取每个试样的风干砂质量，准确至 0.1g，每个试样的质量按下式计算：

$$m = V \cdot \rho_d$$

式中：V--试样体积，立方厘米；

ρ_d --规定的干密度，克/立方厘米；

m--每一试件的需风干砂的质量，克。

22.4.4 试验步骤

22.4.4.1 对准剪切容器上下盒，插入固定销，放入透水石。

22.4.4.2 将试样倒入剪切容器内，放上硬木块，用手轻轻敲打，使试样达到预定干密度，取出硬木板，拂平砂面。

22.4.4.3 试样剪切按本规程 22.2.3.2 进行。

22.4.4.4 试验结束后，顺次卸除垂直压力，加压框架、钢珠、传压板，清除试样，并擦洗干净，以备下次应用。

欠图

22.4.5 砂类土的计算按本规程 22.1.5.1 和 22.1.5.2 进行。

22.4.5.2 如欲求砂类土在每一干密度下的抗剪强度，则以抗剪强度为纵坐标，垂直压力为横坐标，绘制在一定干密度下的抗剪强度与垂直压力的关系曲线，如图 22.4.5-1。

22.4.5.3 如欲求砂类土在某一垂直压力下的抗剪强度，则以干密度为横坐标，抗剪强度为纵坐标，绘制一定垂直压力抗剪强度与干密度的关系曲线，如图 22.4.5-2。

其余与(T0140-93)相同。

欠图

图 22.4.5-2 抗剪强度与干密度的关系曲线。

第 23 章

23 三轴压缩试验

23.1 不固结不排水试验(T0144-93)

23.1.1 目的和适用范围

23.1.1.1 不固结不排水(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均不允许试验排水。

23.1.1.2 本试验适用于测定粘质土和砂类土的总抗剪强度参数 C_u 、 σ_u 。

23.1.2 仪器设备

23.1.2.1 三轴压缩仪：应变控制式(图 23.1.2-1)由周围压力系统，反压力系统、孔隙水压力测量系统和主机组成。

23.1.2.2 附属设备：包括击实器、饱和器、土工器、分样器、切土盘、承膜筒和对开圆膜，应符合下列各图要求：

(1)击实器(图 23.1.2-2)和饱和器(图 23.1.2-3)。

(2)切土器(图 23.1.2-4)、切土器(图 23.1.2-5)和原状土分样器(图 23.1.2-6)。

(3)承膜筒(图 23.1.2-7)及对开圆膜(图 23.1.2-8)。

23.1.2.3 百分表：称量 200 克，感量 0.01 克，称量 1000 克，感量 0.1g。

23.1.2.4 天平：称量 200 克，感量 0.01g；称量 1000 克，感量 0.1g。

23.1.2.5 橡皮膜：应具有弹性，厚度应小于橡皮膜直径的 1/100，不得有漏气孔。

23.1.3 仪器检查

23.1.3.1 周围压力的测量精度为全量程的 1%，测读分值为 5kPa。

欠图

23.1.3.2 孔隙水压力系统内的气泡应完全排除，系统内的气泡可用纯水或施加压力使气泡溶于水，并从试样座溢出，测量系统的体积因数应小于 1.5×10^{-5} 立方厘米/kPa。

23.1.3.3 管路应畅通，活塞应能滑动，各连接处应无漏气。

23.1.3.4 橡胶膜在使用前应仔细检查，方法是在膜内充气，扎紧两端，然后在水下检查有无漏气。

23.1.4 试样制备

23.1.4.1 本试验需 3--4 个试样，分别在不同周围压力下进行试验。

23.1.4.2 试样尺寸，最小直径为 35 毫米，最大直径为 101 毫米，试样高度宜为试样直径的 2--2.5 倍，试样的最大粒径应符合表 23.1.4 规定。对于有裂缝、软弱面和构造面的试样，试样直径宜大于 60 毫米。

试样的土粒最大粒径 表 23.1.4

试样尺寸(mm)	允许最大粒径(mm)
<100	试样直径的 1/10
>=100	试样直径的 1/5

欠图

试样的土粒最大粒径 表 23.1.4

23.1.4.3 原状土试样的制备：根据土样的软硬程度，分别用切土盘和切土器按 23.1.4.2 规定切成圆柱形试样，试样两端应平整，并垂直于试样轴，当试样侧面或端部有小石子或凹坑时，允许用削下的余土修整，试样切削时应避免扰动，并取余土测定试样的含水量。

23.1.4.4 扰动试样制备：根据预定的干密度和含水量，按本规程(T0102-93)中 4.0.1 规定备样后，在击实器内分层击实。粉质土宜为 3--5 层，粘质土宜为 5--8 层，各层土样数量相等，各层接触面应刨毛。

欠图

23.1.4.5 对于砂类土，应先在压力室底座上依次放上不透水板、橡皮膜和对开圆膜。将砂料填入对于圆膜内，分三层按预定干密度击实。当制备饱和试样时，在对开圆膜内注入纯水至 1/3 高度，将煮沸的砂料分三层土填入，达到预定高度，放出不透水板、试样帽、扎紧橡皮膜。对试样内部施加 5kPa 负压力，使试样能站立，拆除对开膜。

23.1.4.6 对制备好的试样，量测其直径和高度，试样的平均直径按下式计算：

$$D_0 = (D_1 + 2D_2 + D_3) / 4$$

式中： D_1 、 D_2 、 D_3 分别为上、中、下部位的直径。

23.1.5 试样饱和

23.1.5.1 抽气饱和：按本规程(T0102-93)中 4.0.9 规定进行。

欠图

23.1.5.2 水头饱和：将试样装于压力室内，施加 20kPa 周围压力，水头高出试样顶部 1 米，使纯水从底部进入试样，从试样顶部溢出，直至流入水量和溢出水量相等为止。当需要提高试样的饱和度时，宜在水头饱和前，从底部将二氧化碳气体通入试样，置换孔隙中的空气，再进行水头饱和。

23.1.5.3 反压力饱和：试样要求完全饱和时，应对试样施加反压力。反压力系统与周围压力相同，但应用双层体变管代替排水量管。试样装好后，调节孔隙水压力等于大气压力，关闭孔隙水压力阀、反压力阀、体变管阀，测记体变管读数。开周围压力阀，对试样施加 10--50kPa 的周围压力，开孔隙压力阀，同时施加周围压力和反压力 30kPa，检查孔隙水压力增量，待孔隙水压力再施加下一级周围压力和反压力。每施加一级压力都测定孔隙水压力。当孔隙水压力增量与周围

压力增量之比 $\sigma_1/\sigma_3 > 0.98$ 时, 认为试样达到饱和。

23.1.6 试验步骤

23.1.6.1 在压力室底座上依次放上不透水板, 试样及试样帽, 将橡皮膜套在试样外, 并将橡皮膜两端与底座入试样帽分别扎紧。

23.1.6.2 装上压力室罩, 向压力室内注满纯水, 关排气阀, 压力室内不应有残留气泡。并将活塞对准测力计和试样顶部。

23.1.6.3 关排水阀, 开周围压力阀, 施加周围压力, 周围压力值应与工程实际荷载相适应, 最大一级周围压力应与最大实际荷载大致相等。

23.1.6.4 转动手轮, 使试样帽与活塞及测力计接触, 装上变形百分表, 将测力计和变形百分表读数调至零位。

23.1.7 试样剪切

23.1.7.1 剪切应变速率宜为每分钟 0.5%--1%。

23.1.7.2 开动马达, 接上离合器, 开始剪切。试样每产生 0.3%--0.4% 的轴向应变, 测记一次测力计读数和轴向应变。当同向应变大于 3% 时, 每隔 0.7%--0.8% 的应变值测记一次读数。

23.1.7.3 当测力计读数出现峰值时, 剪切应继续进行至超过 5% 的轴向应变为止, 当测力计读数无峰值时, 剪切应进行至轴向应变为 15%--20%。

23.1.7.4 试验结束后, 先关闭周围压力阀, 关闭马达, 拨开离合器。倒转手轮, 然后打开排气孔, 排除受压室内的水, 拆除试样, 描述试样破坏形状, 称试样质量, 并测定含水量。

23.1.8 结果整理

23.1.8.1 轴向应变按下式计算:

$$\epsilon_1 = h_i/h_0$$

式中: ϵ_1 --轴向应变值, %;

h_i --剪切过程中的高度变化, 毫米;

h_0 --试样起始高度, 毫米。

23.1.8.2 试样面积的校正按下式计算:

$$A_a = A_0/(1 - \epsilon_1)$$

式中: A_a --试样的校正断面积, 平方厘米;

A_0 --试样的初始断面积, 平方厘米。

23.1.8.3 主应力差按下式计算:

$$\sigma_1 - \sigma_3 = CR/A_a * 10$$

式中: σ_1 --大主应力, kPa;

σ_3 --小主应力, kPa;

C--测力计校正系数, N/0.01mm;

R--测力计读数, 0.01mm。

欠图

23.1.8 不固结不排水剪强度包线

23.1.8.4 轴向应变与主应力差的关系曲线应在直角坐标纸上绘制。

以 $(\sigma_1 - \sigma_3)$ 的峰值为破坏点, 无峰值时, 取 15% 轴向应变时的主应力差值作为破坏点, 以法向应力为横坐标, 剪应力为纵坐标, 在横坐标上以 $(\sigma_1 + \sigma_3)/2$ 为圆心, $(\sigma_1 - \sigma_3)/2$ 为半径 (f 注脚表示破坏), 在 $\sigma - \tau$ 应力平面图上绘制破坏应力圆, 并绘制不同周围压力下破坏应力圆的包线。求出不排水强度参数 (23.1.8)。

23.1.8.5 记录格式见 (T0145-93)。

23.1.9 报告

23.1.9.1 土类 (粘质土或少类土)。

23.1.9.2 总抗剪强度参数:

凝聚力 C_u (kPa);

内摩擦角 ϕ_u (度)。

23.2 固结不排水试验 (T0145-93)

23.2.1 目的和适用范围

23.2.1.1 固结不排水 (CU 或 CU) 试验是使试样先在某一周围压力作用下排水固结, 然后在保持不排水的情况下, 增加轴向压力直至破坏。

23.2.1.2 本试验适用于测定粘质土和砂类土的总抗剪强度参数 C_{cu} 、 ϕ_{cu} 或有效抗剪强度参数 C' 、 ϕ' 和孔隙压力系数。

23.2.2 仪器设备

固结不排水试验所用的主要仪器设备, 应符合本规程 23.1.2 规定。

23.2.3 试验前仪器检查以及试样制备、试样饱和应按 (T0142-93) 不固结不排水试验的有关要求进行。

23.2.4 试样安装

23.2.4.1 开孔隙水压力和排水阀, 对孔隙水压力系统及压力室底座充水排气后, 关孔隙水压力阀和排水阀。压力室底座上依次放上透水板、滤纸、试样及试样帽。试样周围帖浸湿的滤纸条, 套上橡皮膜, 将橡皮膜下端与底座扎紧, 降低排水管, 使管内水面位于试样中心以下 20--40 厘米, 吸除余水, 关排水阀, 需要测定应力应变时, 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, 膜中间应留直径为 1 厘米的圆孔排水。23.2.4.2 安装压力室罩, 充水。提高排水管, 使管内水面与试样高度的中心齐平, 测记排水面读数。

23.2.4.3 开孔隙水压力阀, 使孔隙水压力值等于大气压力, 关闭孔隙水压力阀。按本规程 23.1.6 规定施加周围压力。调

整轴向压力、轴向应变和孔隙水压力为零点，并记下体积变化量管的读数。当需施加反压力时，按本规程 23.1.5.3 步骤施加。

23.2.5 试样排水固结

23.2.5.1 开孔隙水压力阀，测定孔隙水压力，开排水阀。当需要测定排水过程时，按本规程(T0135-93)中 20.1.4.7 规定测记排水管水面及孔隙水压力值，直至孔隙水压力消散 95%以上，固结完成后，关排水阀，测记排水管读数和孔隙水压力读数。

23.2.5.2 微调压力机升降台，使活塞与试样接触，此时轴向变形百分表的变化值为试样固结时高度变化。

23.2.6 试样剪切

23.2.6.1 将轴向测力计、轴向变形百分表和孔隙水压力读数均调整至零。

23.2.6.2 选择剪切应变速率，进行剪切。粘质土每分钟应变为 0.05%--0.1%;粉质土每分钟应变 0.1%--0.5%。

23.2.6.3 轴向压力，孔隙水压力和轴向变形，按本规程 23.1.7.2 和 23.1.7.3 测记。

23.2.6.4 试验结束，关电动机和各阀门，开排气阀，排除压力室内的水，拆除试样，描述试样破坏形状。称试样质量，并测定含水量。

23.2.7 结果整理

23.2.7.1 试样固结的高度按下式计算；

$$h_c = h_0(1 - V/V_0)^{1/3}$$

式中： h_c --试样固结后的高度，厘米；

V --试样固结后与固结前的体积变化，立方厘米。

23.2.7.2 试样固结后的面积按下式计算：

$$A_c = A_0(1 - V/V_0)^{2/3}$$

式中： A_c --试样固结后的断面积，平方厘米。

23.2.7.3 剪切时试样的校正面积按正式计算：

$$A_c = A_c / (1 - \mu)$$

23.2.7.4 主应力差按本规程 23.1.8.3 计算。

(1)有效大主应力：

$$\sigma_1 = \sigma_1 - u$$

式中： σ_1 --有较大主应力，kPa；

u --孔隙水压力，kPa；

(2)有效小主应力：

$$\sigma_3 = \sigma_3 - u$$

(3)有效主应力比：

$$\sigma_1 / \sigma_3 = 1 + (\sigma_1 - \sigma_3) / \sigma_3$$

23.2.7.6 孔隙水压力系数按下列公式计算。

(1)初始孔隙水压力系数：

$$B = u_0 / \sigma_3$$

式中： B --初始孔隙水压力系数；

u_0 --初始周围压力产生的孔隙水压力，kPa。

(2)破坏时孔隙水压力系数：

$$A_r = u_r / B(\sigma_1 - \sigma_3) f$$

式中： A_r --破坏时的孔隙水压力系数；

u_r --试样破坏时，主应力差产生的孔隙水压力，kPa。

23.2.7.7 轴向应变与主应力差的关系曲线按图 23.2.7-1 绘制。

欠图

23.2.7.8 轴向应变与有效主应力比的关系曲线按图 23.2.7-2 绘制。

23.2.7.9 轴向应变与孔隙水压力的关系曲线按图 23.2.7-3 绘制。

23.2.7.10 有效应力路径曲线按图 23.2.7-4 绘制，并计算有效摩擦角和有效凝聚力。

欠图

有效摩擦角按下式计算：

$$\alpha = \sin^{-1} \tan a$$

欠图

式中： α --有效摩擦角；

a --应力路径图上破坏点连线的倾角。

有效凝聚力按下式计算：

$$C = d / \cos \alpha$$

式中： C --有效凝聚力，kPa；

d --应力路径图上破坏点连续在纵坐标轴上的截距，kPa。

23.2.7.11 破坏应力圆、摩擦角和凝聚力按本规程 23.2.8.4 绘制和确定。有效摩擦角和有效凝聚力，应以(($\sigma_1 + \sigma_3$)/2)为圆心，(($\sigma_1 - \sigma_3$)/2)为半径绘制有效破坏圆和圆确定(图 23.2.7-5)。

欠图

23.2.7.12 记录格式如表 23.2.7 所示。

三轴压缩试验记录(一) 表 23.2.7-1

工程名称-----土样编号-----土样说明

试验方法 CU-----试验者-----试验日期

试样状态记录				周围压力(kPa)	350
	起始的	固结后	剪切后		
直径 D(cm)	3.91			反压力 u_0 (kPa)	
高度 hL(cm)	8.00	7.96	6.80		
面积 A(cm ²)	12.00	11.76		周围压力下的孔隙水压力 μ	
体积 V(cm ³)	96.00	93.60		孔隙水压力系数 $B = \mu / \sigma_3$	
质量 m(g)	188.54	192.50	193.21	破损应变 ϵ_f (%)	6.9
密度 (g/cm ³)	1.96	2.06		破损主应力差($\sigma_1 - \sigma_3$)(kPa)	101
干密度 ρ_d (g/cm ³)	1.60			破损大主应力 σ_{1f}	201
试样含水量记录					
	起始的		剪切后		
盒号				破损孔隙水压力系数 $B_f = \mu_f / \sigma_{1f}$	0.53
盒质量(g)	10	10		相应有效大应力 σ_1	148
盒+湿土质量(g)	21.86	22.43		相应有效小应力 σ_3	47
湿土质量(g)	11.86	12.43	193.21	最大有效主应力比 $[\sigma_1 / \sigma_3]_{max}$	3.15
盒+干土质量(g)	19.63	20.12		破损点选值准则 $[\sigma_1 / \sigma_3]_{max}$	
干土质量(g)	9.63	10.12	153.90	孔隙水压力系数 $A_f = \mu_f / B(\sigma_1 - \sigma_3) f$	
水质量(g)	2.23	2.31	39.31	试样破损情况描述呈鼓状	

三轴压缩试验记录(二)

反压力和固结过程

土样编号-----试验者-----校核者-----

固结周围压力 100kPa---计算者---试验日期-----

加反压力过程	说明	固结过程
--------	----	------

时间 (min)	周围压力 p_3	反压力 p_0	孔隙水压力 p	孔隙水压力增量 μ	试验体积变化		时间 (min)	排水量管		孔隙水压力		体积变化管	
					读数(cm ³)	体变量(cm ³)		读数	排水量	读数(kPa)	压力值(kPa)	读数(cm ³)	体变量(cm ³)
20:30	30	10	17	17	25.8	0.2	检查未达饱和	0.1		328	78	27.7	0
20:50	60	40	38	21	26.0	0		0.5		328	78	27.2	0.5
21:20	90	70	67	29	26.9	+0.9		1		328	78	27.05	0.65
7:38	120	100	93	26	27.0	+1.0		5		328	75	26.8	0.9
8:08	150	130	122	29	27.2	+1.2		9		325	72	26.7	1.0
8:58	180	160	152	30	27.3	+1.3		16		322	67	26.6	1.1
9:58	210	160						25		317	61	26.5	1.2
10:08			181	29			检查未检查饱和	36		311	56	26.4	1.3
10:8	210	190	185		27.4	+1.4		64		306	49	26.2	1.5
12:08	240	220	215	30	27.5	+1.5		105		299	39	26.0	1.7
14:08	270	220						144		289	30	25.9	1.8
14:18			244	29				220		281	22	25.7	2.0
15:08	270	250	250		27.7	+1.7		300		272	13	25.55	2.15
17:30	300	250						420		263	6	25.4	2.30

注：1、体变(-)号表示排水，(+)号表示吸水。
2、本试验因加反压力，故固结时不用排水量管。

三轴压缩试验记录(三)

土样编号-----试验方法 CU-----周围压力 100kPa-----试验者-----
 计算者-----校核者-----试验日期-----固结下沉量 $h=0.04\text{cm}$
 测力计校正系数 $C=7.455\text{N}/0.01\text{mm}$ -----剪切速率 $0.08\text{mm}/\text{min}$ -----
 固结后高度 $h_c=7.96\text{cm}$ -----固结后面积 $A_c=11.76\text{cm}^2$

轴向变形 读数(0.01 mm)	轴向应变 $\epsilon = h_i/h_c$	试样校正 后面积 A $a=A_c/(1-\epsilon)$ (cm ²)	测力计百 分表读数 R (0.01m m)	主应力差($\sigma_1 - \sigma_3$)= $RC/Aa*100$	大主应力 $\sigma_1 = (\sigma_1 - \sigma_3) + \sigma_3$	孔隙水压力		有效大 主应力 σ_1	有效小 主应力 σ_3	有效主应 力比 σ_1/σ_3
						读数	压力值			
0	0	11.76	0	0		255	5		94	1.06
20	1.25	11.79	0.7	6	106	256	6	100	64	1.78
60	0.75	11.85	0.9	50	150	286	36	114	53	2.36
100	1.25	11.91	8.0	72	172	297	37	125	47	2.75
170	2.14	12.02	11.6	82	182	303	53	129	44	2.94
210	2.64	12.08	13.8	85	185	306	56	129	45	3.09
300	3.77	12.22	14.9	90	190	307	57	133	43	3.14
350	4.40	12.30	15.3	92	192	308	57	135	42	3.26
420	5.27	12.41	15.9	95	195	308	58	137	42	3.28
500	6.28	12.55	16.5	98	198	308	58	138	42	3.40
550	6.91	12.63	17.1	101	201	308	58	143	42	3.39
600	7.55	12.72	17.9	105	205	306	56	149	44	3.36
700	8.80	12.89	18.4	106	206	305	55	151	45	3.28
850	10.65	13.16	19.9	112	212	301	51	161	49	3.26

1000	12.57	13.45	21.3	118	218	298	48	170	52	3.26
1160	14.59	13.77	22.2	120	220	296	46	174	54	3.22
1250	15.70	13.95	23.0	123	223	294	44	179	56	3.20

23.2.8 报告

23.2.8.1 土类(粘质土，砂类土)。

23.2.8.2 总抗剪强度参数 C_{cu} ， c_u 。

23.2.8.3 有效抗剪强度参数 C ， ϕ 。

23.2.8.4 孔隙水压力系数 A_r 。

23.3 固结排水试验(T0146-93)

23.3.1 目的和适用范围

23.3.1.1 固结排水试验是使试样先在某一周围压力作用下排水固结，然后在允许试样充分排水的情况下增加轴向压力直至破坏。

23.3.1.2 本试验适用于测定粘质土和砂类土的抗剪强度参数 C_d 、 ϕ_d 。

23.3.2 仪器设备

固结排水试验所用的主要仪器设备应符合本规程 23.1.2 规定。

23.3.3 试验前仪器检查、试样制备和饱和，应按(T0142-93)不固结不排水试验的相应规定进行。

23.3.4 试样的安装、固结和剪切，应按(T0145-93)固结不排水试验的相应规定进行。但在剪切过程中应打开排水阀，剪切速率采用每分钟变 0.003%--0.012%。

23.3.5 结果整理

23.3.5.1 试样固结后的高度和面积应按(T0145-93)固结不排水试验的相应公式计算。

23.3.5.2 剪切时试样的校正面积按下式计算：

$$A_d = (V_c - V_i) / (h_c - h_i)$$

式中： V_i --剪切过程中试样的体积变化，立方厘米；

h_i --剪切过程中试样的高度变化，厘米。

23.3.5.3 主应力差按 23.1.8 计算

23.3.5.4 有效主应力比和孔隙水压力系数按(T0145-93)固结不排水试验的相应公式计算。

23.3.5.5 轴向应变与主应力差的关系曲线，以及轴向应变与主应力比的关系曲线应近按(T0145-93)固结不排水试验的相应规定绘制。

23.3.5.6 破损应力圆、摩擦角和凝聚力按(T0144-93)中 23.1.8 绘制和确定(图 23.3.5)。

欠图

23.3.5.7 记录格式同(T0145-93)表 23.2.7。

23.3.6 报告

23.3.6.1 土类(粘质土，砂类土)。

23.3.6.2 抗剪强度参数 C_d 、 ϕ_d 。

第 24 章

24 粗粒土大三轴剪切试验(T0147-93)

24.0.1 目的和适用范围

24.0.1.1 本试验适用于测定最大粒径为 60 毫米粗粒土的抗剪强度参数。

24.0.1.2 根据路面基层的受和状态和使用条件,本试验采用试样在不饱水、不固结和不排水情况下测定抗剪强度参数。

24.0.1.3 试件尺寸为 30 厘米*60 厘米和 30 厘米*75 厘米两种规格。

24.0.2 仪器设备

24.0.2.1 三轴剪切试验仪(见图 24.0.1-2)包括:

欠图

图 24.0.2-1 三轴剪力仪控制系统

1-空压机 2-电接点压力表 3-水罐 4-定值器 5-蓄能器 6-标准压力表 7-油封管 8-体变管 9-压力室 10-试件 11-放水口

(1)试验主机:由主机架、油缸、压力室移动滑车组成。仪器轴向最大允许使用荷载为 50KN。

(2)操作控制屏:由侧压力(或称周围压力)恒定系统、体变量测装置、电器控制元件等组成。

(3)液压站:由液压油箱、液压泵和无级调速系统组成。

(4)空气压缩机。

24.0.2.2 附属设备包括:

(1)压力室起吊装置(电动葫芦)。

(2)标准测力计(量程主 10t、30t 各一套)。

(3)轴向应变测量装置(表架和量程为 5 厘米的百分表)。

(4)对开成型筒(图 24.0.2-2)及承膜筒。

(5)击实设备。

(6)磅秤:称量 100 千克,感量 50 克。

(7)托盘秤:称量 5 千克,感量 1 克。

(8)托盘天平:称量 100 克,感量 0.1g。

(9)烘箱、瓷盘(盆)、铝盒各若干。

(10)橡皮膜若干。

(11)扭力扳手和活动扳手等工具。

(12)圆孔筛(孔径按试验要求确定)。

24.0.3 仪器检查

24.0.3.1 检查轴向中压系统及侧压力恒压系统等运行是否正常。

24.0.3.2 检查体变测量系统运行是否正常。

24.0.3.3 检查压力室的密封性、传压活塞在套圈内滑动是否正常。管路、接头、阀门等是否畅通,不漏气。

24.0.3.4 检查橡皮膜是否完好。

24.0.3.5 标定无级调速阀上的刻度与油缸上升速度的关系。

24.0.3.6 检查蓄能器水位标高,其标高不应高于蓄能器高度的 1/3,亦不得低于水面指示管。水罐高的 3/4。

24.0.3.7 测力计使用超过半年或温差过大时,应重新标定。

24.0.3.8 安装测力计时,应根据试件最大破坏荷载,选用适当量程。

24.0.4 试样

24.0.4.1 试样准备

(1)取样进行筛分,筛的孔径按试验材料类型不同分别选用。经筛分的试料分组称量,堆放备用;并计算通过各级筛孔的质量百分数,如果需要准确控制试样的级配组成时,对含粘土的粒料材料,粘着的细粒土不易分散,可将粗料中的各级粒料用水洗过筛烘干备用。对不含粘土的粒料材料,则将全部试料依次过筛备用。

(2)根据工程需要,从粗骨料(粒径大于 5 毫米)和细料(粒径小于 0.5mm)中分别取代表性试样进行石料磨耗和液限、塑限粒料材料的天然含水量。

(4)对超过仪器允许粒径的颗粒含量的处理,可采用下述方法:

若超过粒径颗粒含量小于 5%时,可采用剔除法,即把超径颗粒剔除。

若超过粒径颗粒含量大于 5%时,则采用等质量代换法处理,方法是按仪器允许的全部粗料(从粒径为 5 毫米至最大粒径之间的粗料)按比例等质量代换超径颗粒含量。新的级配组成可按下式计算:

$$p_i = (100 - p_m) / (p_m - p_s) (p_{oi} - p_s) + p_{oi}$$

式中: p_i —代换后某粒径的粒料通过百分数, %;

p_s —原级配中粒径为 5 毫米的粒料通过百分数, %;

p_m —原级配中粒径为 60 毫米的粒料通过百分数, %;

p_{oi} —原级配中某粒径粒料的通过百分数, %。

(5)分级确定粒径为 0.5--60mm 的某级粒料的饱和吸水量(a_s),即将粒径为 0.5--60mm 的某级粒料(质量为 m_s)浸泡至吸水饱和,再把表面揩干,然后称湿质量(m)。某级粒料的饱和吸水量为:

$$a_s(\%) = (m - m_s) / m_s * 100$$

24.0.4.2 试件制备

(1)试件尺寸:试件直径为 30 厘米,高度 60 厘米;若试件压缩量较大时,试件高度可采用 75 厘米。

(2)根据试件体积和密度要求,计算每个试件需要材料的干质量。为防止试样粗细颗粒分离,要求试件密实度均匀一致,试样应分层装填(一般分6层)。按材料组成要求分层计算所需的试料,分层配料。粒径小于0.5mm的细粒另置。大于0.5mm的各级粒料可放一堆。

(3)计算试件每层装填试料的需要加水量:

$$m_w = (d - i) m_s$$

式中: m_w --试件需要的加水量, 千克;

d --细粒的设计含水量, %;

i --细粒的天然含水量, %;

d_1 、 i_1 --0.5--60mm 粒料中某级粒料的设计含水量和天然含水量, %;

m_s --细料的干质量, 千克;

m_i --0.5--60mm 粒料中某级粒料的干质量, 千克;

n --0.5--60mm 粒料按相邻筛孔孔径划分的级数。

(4)把水加到粒径大于0.5毫米的试料中,充分拌和,然后掺入细粒继续拌和,直至拌匀为止。

(5)将拌好的试料放入盘(盆)内,用塑料薄膜盖严,待用,为避免差错,应任意抽查复称其中一份,每份试料质量应为试件总湿质量的1/6。

(6)在压力室试样底座上加盖板,扎好橡皮膜,安装成型筒,将橡皮膜外翻套在成型筒上,让橡皮膜顺直,使之与成型筒壁紧贴。

(7)逐层装入试料,每装一层,先用细钢钎捣实,再用击实法使试料达到要求的密实度(用高度控制其密实度)。然后将表面刨松,再装第二层。依此类推,直至最后一层。

(8)整平试件顶面,加上盖板和试件帽,卸除对开成型筒,脱去橡皮膜,用钢尺量测试件的实际高度。测量误差不得大于 ± 2 毫米,再套上完好的橡皮膜,并将两头扎紧。

(9)制件结束后,扫清底盘。

(10)安装压力室,用扭力扳手旋紧和底盘连接的螺栓,然后往压力室内加满水,旋紧把水孔螺帽,置压力室于剪切试验机座上,静置24h,使试件水分充分渗润。

24.0.5 试验步骤

24.0.5.1 合上电源开关,接通电源。总电源指示灯亮,指示电源接通。

24.0.5.2 将钮子开关扳向油缸上升位置,按油缸起动按钮,逆时针旋转无级调速阀,压力室在油缸推动下快速上升。当与测力计下端接近时,顺时针旋动调速阀,使油缸缓慢上升,直到测力计百分表指针微动即关机。调整测力计百分表指针为零。

24.0.5.3 将电接点压力表调至高于所需周围压力200kPa左右,定值器旋至截止位置(反时针),其余阀门处于关闭状态。按空压机按钮,压力上升到调定压力后,自动停止。此时打开标准侧压力表开关SK₅,缓缓调整定值器至所需侧压力为止(侧压力分别采用100kPa、150kPa、200kPa、250kPa)。稳定后,记录体变管读数。

24.0.5.4 逆时针旋开加压截止阀KS₃,压力便自动加入压力室,可见体变管内油液面下降(表示试件压缩)。与此同时,逆时针旋开油封开关。

24.0.5.5 待侧压力稳定后(即体变管液面不动),此时记录测力计百分表读数,重新调整测力计百分表为零,并记录体变管读数。

24.0.5.6 按下油缸起动按钮,然后旋动(逆时针方向)无级调速阀到规定位置,使剪切速率为1.5mm/min。此时试件开始剪切。

24.0.5.7 剪切开始阶段,试件每产生1毫米的垂直变形,测记轴向压力和垂直变形,体变各一次,当应力-应变曲线接近峰值时,应适当加密读数。一般应按每产生0.5mm的垂直变形记录一次读数,当轴向测力计百分表数读不再上升或有明显减小时,表明已出现峰值,继续测读1-2次读数,即可停机,若没有出现峰值,则当相邻两级的应力差小于5kPa时,即可关机。

24.0.5.8 当采用一个试件作四级侧压力的剪切试验时,侧压力由小到大,分级进行,在第一级侧压力作用下,施加轴向压力进行剪切,当轴向测力计百分表不再上升或相信两级应力差小于5帕时关机,立刻施加第二级侧压力,稳定10min后,再施加轴力差小于5帕时关机。如此继续进行第三、第四级侧压力作用下的剪切试验,直至试件剪损为止。

24.0.5.9 试验进行中,若因试件剪胀,体变管内油液面向上推至顶点时,应将内管水排除,才能继续剪切。排除内管水时,首先关闭SK₃,后再开SK₁,让内管水经SK₁阀排出,当内管水面达到所需的位置,再关阀SK₁。待压力稳定后,再旋开SK₃,继续剪切(注意:排水时,应停止剪切,并使试件悬停于原处。)

24.0.5.10 试验进行中,若体积压缩很大,致使体变管内管油液面下降至底部。此时应先关闭SK₃,后旋开SK₄。水罐内压力大于周围压力,罐内水自动加入体变管内,将外管之水压回蓄能器。此时恒压系统压力升高,然后将放水阀SK₂适当旋开放气,补水到所需位置,先关闭SK₄,后关闭SK₂,待恒压系统压力平衡稳定后,再旋开SK₃,继续剪切。(注意:在补水时,应停止剪切,并使试件悬停于原处。)

24.0.5.11 剪切试验结束后,关闭侧压力阀SK₃及油封阀。把钮子开关扳向油缸下降位置,按下油缸起动按钮,使油缸迅速下降,打开排气阀放气。打开压力室加水孔和排水孔螺帽,排除压力室内的水。卸除压力室与底座的连接螺栓,吊起压力室,揩干试件周围的余水。脱去橡皮膜,描述试件的破坏情况,卸下试件,从中部取样,测定含水量,必要时,结合含水量试验,取烘干后试样进行颗粒分析,以了解颗粒的剪损情况。

24.0.6 结果整理

24.0.6.1 计算试件的最大主应力 σ_1 和应变 ϵ_1

(1)计算轴向荷载P:

$$P = CR \quad (24.0.6-1)$$

式中：P--轴向荷载，N；
C--测力计校正系数，10N/0.01mm；
R--测力计百分表读数，0.01mm。

(2)计算轴向应变 ϵ_1 ：

$$\epsilon_1 = h/h_0$$

式中：h--试件的轴向变形，厘米；

h_0 --试件的初始高度，厘米；

(3)计算试件剪切过程中的体积变化 V ：

$$V = V_1 + V_2$$

式中： V_1 --从体变管测读的体积变化量(压缩为负、膨胀为正)，立方厘米；

V_2 --柱塞在剪切过程中伸入压力室而引起的体积变化量(为负值)，立方厘米，

$$V_2 = d^2/4 * h = 44.2 h \text{ (其中柱塞直径 } d=7.5\text{cm)}。$$

(4)校正后的试件截面积 A_a ：

$$A_a = (V_0 + V)/(h_0 - h)$$

式中： V_0 --试件的初始体积，立方厘米。

(5)应力差：

$$\sigma_1 - \sigma_3 = P/A_a$$

(6)最大主应力 σ_1 ：

$$\sigma_1 = P/A_a + \sigma_3$$

24.0.6.2 计算抗剪强度 C 、 ϕ 值

(1)确定试件剪切破坏极限值 σ_{1max} 。

(2) C 、 ϕ 值可分别采用作图法或计算法求解。

作图法

以主应力 σ 为横坐标，剪应力 τ 为纵坐标，在横坐标上，以 $(\sigma_{1max} + \sigma_3)/2$ 点为圆心，以 $(\sigma_{1max} - \sigma_3)/2$ 为半径，画莫尔圆。再作这几个莫尔圆的包线。包线的倾角即为摩擦角 ϕ ，包线与纵坐标的截距即主凝聚力 C ，如图 24.0.6 所示。

计算法

$$\phi = \arcsin(m-1)/(m+1)$$

$$C = b/2 - m$$

注：相关系数要求达到 0.99 以上。

式中：

$$m = [(\sigma_3 - \sigma_{1max}) - 1/n(\sigma_3)(\sigma_{1max})] / [2\sigma_3 - 1/n(\sigma_3)^2]$$

n --试件的个数或侧压力的级数；

σ_{1max} --各级侧压力作用时，最大主应力极限值的平均值；

σ_3 --四级侧压力的平均值。

24.0.6.3 本试验记录格式如表 24.0.6 所示：

欠图

24.0.6 应力变曲线和莫尔包线

a)莫尔包线；b)应力应变曲线

粗粒土大三轴试验记录(一) 表 24.0.6-1

工程名称 试验者

土样编号 计算者

土样说明 校核者

试验日期

试件编号		试验时试件状态	
材料配比	粗骨料 70% 细骨料 20%	质量(kg)	93.3
成型条件	分层击实	高度 h_0 (cm)	59.9
细粒设计相对含水量(w/L)	0.5	直径 d(cm)	30
加荷速度(mm/min)	1.5	面积 A_a (cm^2)	706.86
侧压力(kPa)	50--100--150--200	体积 V_0 (cm^3)	42 340.82
测力计标定系数 C(10N/0.01mm)	1109048	干密度 ρ_d (cm^3)	2.2

粗粒土大三轴试验记录(二)

轴向荷载	轴向应变	试件体积变化	校正后面积	应力差	主应力
------	------	--------	-------	-----	-----

测力计百分读数	轴向荷载	百分表读数	应变	体变管读数(cm ³)	体变管读数差(cm ³)	柱塞进入压力室体积(cm ³)	体变V	(cm ²)	(10 ² kPa)	(10 ² kPa)
格=0.01mm	10N	格=0.01mm								
R(格)	P=CR	h	h/h ₀	V	$V_1 = V_1 - V_{10}$	$V_2 = 44.2 * h$	cm ²	$A_Q = (V_0 + V) / (h_0 - h)$	$i_1 - i_2 = P / A_a$	i_1
0		0		-300						
$i_3 = 100kPa$		-4=0		-660						
106	1261.9 1	100	0.0017	-690	-390	-4.42	-394.42	701.44	1.80	2.80
168	2000.0 0	200	0.0033	-680	-380	-8.84	-388.84	702.71	2.85	3.85
211	2511.9 1	300	0.0050	-650	-350	-13.26	-363.26	704.32	3.57	4.57
239	2845.2 6	400	0.0067	-605	-305	-17.68	-322.68	706.19	4.03	5.03
259	3083.3 4	500	0.0083	-560	-260	-22.10	-282.10	708.06	4.35	5.35
274	3261.9 2	600	0.0100	-515	-215	-26.52	-241.52	709.94	4.59	5.59
285	3392.8 7	700	0.0117	-460	-160	-30.94	-190.94	711.99	4.77	5.77
294	3500.0 1	800	0.0134	-410	-110	-35.36	-145.36	713.97	4.90	5.90
301	3583.3 5	900	0.0150	-360	-60	-39.78	-99.78	715.95	5.01	6.01
304	3619.0 6	1000	0.0167	-310	-10	-44.20	-54.20	717.94	5.04	6.04
$i_3 = 150kPa$		895								
304	3619.0 6	1015	0.0169	-555	-255	-44.86	-399.86	713.95	5.07	6.57

第 25 章

25 无侧限抗压强度试验(T0148-93)

25.0.1 目的和适用范围

25.0.1.1 无侧限抗压强度是试件在无侧向压力的条件下，抵抗轴向压力的极限强度。

25.0.1.2 本试验适用于测定饱和软粘土的无侧限抗压强度及灵敏度。

25.0.2 仪器设备

25.0.2.1 应变控制式允许膨胀压缩仪：如图 25.0.2-1，包括测力计、加压框架及升降螺杆，根据土的软硬程度，选用不同量程的测力计。

25.0.2.2 切土盘：见(T0144-93)不固结不排水试验图 25.0.2-4。

25.0.2.3 重塑筒：筒身可拆为两半，内径 4 厘米，高 10 厘米，如图 25.0.2-2。

25.0.2.4 百分表：量程 10 毫米，分度值 0.01 毫米。

25.0.2.5 其它：天平(感量 0.1g)、秒表、卡尺、直尺、削土刀、钢丝锯、塑料布、金属垫板、凡士林等。

25.0.3 试样

25.0.3.1 将原状土样按天然层次放在桌上，用削刀或钢丝锯削成稍大于试件直径的土柱，放入切土盘的上下盘之间，再用削土刀或钢丝锯沿侧面自上而下细心切削。同时边转动圆盘，直至达到要求的直径为止。取出试件，按要求的高度削平两端。端面要平整，且与侧面垂直，上下均匀。如试件表面因有砾石或其它杂物而空洞时，允许用土填补。

25.0.3.2 试件直径和高度应与重塑筒直径和高度相同，一般直径为 40 毫米，高为 10 厘米。试件直径与高度之比应大于 2，按软土的软硬程度采用 2.0--2.5。

25.0.4 试验步骤

25.0.4.1 将切削好的试件立即称量，准确至 0.1g。同时取切削下的余土测定含水量。用卡尺测量其高度及上、中、下各部位直径，按下式计算其平均直径 D_0 ：

$$D_0=(D_1+2D_2+D_3)/4$$

式中： D_0 --试件平均直径，厘米；

D_1 、 D_2 、 D_3 --试件上、中、下各部位的直径，厘米。

25.0.4.2 在试件端抹一薄层凡士林，如为防止水分蒸发，试件侧面也可抹一层薄凡士林。

25.0.4.3 将制备好的试件放在允许膨胀压缩仪下加压板上，转动手轮，使其与上加压板刚好接触，调测力计百分表读数为零点。

25.0.4.4 以轴向应变 1%--3%/min 的速度转动手轮(6--12r/min)，使试验在 8--20min 内完成。

25.0.4.5 应变在 3% 以前，每 0.5% 应变记读百分表读数一次，应变达 3% 以后，每 1% 应变记读百分表读数一次。

25.0.4.6 当百分表达到峰值或读数达到稳定，再继续剪 3%--5% 应变值即可停止试验。如读数无稳定值，则轴向应变达 20% 的即可停止试验。

25.0.4.7 试验结束后，迅速反转手轮，取下试件，描述破坏情况。

25.0.4.8 若需测定灵敏度，则将破坏的后的试件去掉表面凡士林，再加少许土，包以塑料布，用手捏搓，破坏其结构，重塑力与重塑前尺寸相等，然后立即重复本规程 25.0.4.3 至 25.0.4.7 步骤进行试验。

25.0.5 结果整理

25.0.5.1 按下式计算轴向应变：

$$\epsilon_1 = h/h_0$$

$$h = n \cdot L - R$$

式中： ϵ_1 --轴向应变，%；

h_0 --试件起始高度，厘米；

h --轴向变形，厘米；

n --手轮转数；

L --手轮每转一转，下加压板上升高度，0.01mm；

R --百分表读数，0.01mm。

25.0.5.2 按下式计算试件平均断面积：

$$A_a = A_0 / (1 - \epsilon_1)$$

式中： A_a --校正后试件的断面积，厘米²；

A_0 --试件起始面积，平方厘米。

25.0.5.3 应变控制式允许膨胀压缩仪上试件所受轴向应力按下式计算：

$$\sigma = 10CR / A_a$$

式中： σ --轴向压力，kPa；

C --测力计校正系数，N/0.01mm；

R --百分表读数，0.01mm；

A_a --校正后试件的断面积，平方厘米。

25.0.5.4 以轴向应力为纵坐标，轴向应变为横坐标，绘制应力-应变曲线(图 25.0.5)。以最大轴向应力作为无侧限抗压强度。若最大轴向应力不明显，取轴向应变 15% 处的应力作为该试件的无侧限抗压强度 q_u 。

欠图

图 25.0.5 轴向应力与应变的关系曲线

1、原状试件；2、重塑试件

25.0.5.5 按下式计算灵敏度 St ：

$$St = q_u / q_{u0}$$

式中： q_u --原状试件的无侧限抗压强度，kPa；

q_{u0} --重塑试件的无侧限抗压强度，kPa。

25.0.5.6 本试验记录格式如表 25.0.5。

25.0.6 报告

25.0.6.1 土的鉴别分类和代号。

25.0.6.2 土的无侧限抗压强度 q_u (kPa)。

25.0.6.3 土的灵敏度 St_0 。

无侧限抗压强度试验记录 表 25.0.5

工程名称 试验者

土样编号 计算者

取土深度 校核者

土样说明 试验日期

试验前试件高度 h_0 -----cm 试验前试件直径 D_0 -----cm 试验试件面积 A_0 -----cm ² 试件质量 m -----g 试件密度 -----g/cm ³ 测力计校正系数 C -----N/0.01mm 无侧限抗压强度 q_u -----kPa q_{u0} -----kPa 试件破坏时：							
测力计百分表读数 R(0.01mm)	下压板上升高度 L(cm)	轴向变形 h (%)	轴向应变 ϵ_1 (%)	校正后面积 A a(cm ²)	轴向荷载 P(N)	轴向应力 (kPa)	备注
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	
		(2)-(1)	(3)/ h_0	$A_0/[1-(4)]$	(1)*C	(6) (5)	

第 26 章

26 酸碱度试验(T0149-93)

26.0.1 目的和适用范围

本方法适用于各类土。

26.0.2 仪器设备

26.0.2.1 酸度计：应附玻璃电极、甘汞电极或复合电极，以及电磁搅拌器等。

26.0.2.2 电动振荡器。

26.0.2.3 天平：称量 100 克，感量 0.01g。

26.0.3 试剂

26.0.3.1 pH4.01 标准缓冲溶液，称 10.21 克经 105--110 摄氏度烘干的苯二甲酸氢钾($\text{KHC}_8\text{H}_4\text{O}_4$ 分析纯)溶于水后下容至 1 L。

26.0.3.2 pH9.18 标准缓冲溶液 3.8g 硼砂($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 分析纯)溶于无 CO_2 的冷水中，定容至 1L。此溶液的 pH 值易于变化。所以应贮存于密闭的塑料瓶中(宜保存使用 2 个月)。

26.0.3.4 饱和氯化钾(KCL)溶液：向少量纯水中加入 KCL，边加入边搅拌，直至不继续溶解为止。

26.0.4 试验步骤

26.0.4.1 酸度计的校正：在测定土样前应按照所用仪器的使用说明书校正酸度计。

26.0.4.2 土悬液的制备：称取通过 1 毫米筛的风干土样 10 克，放入具塞的广口瓶中，加水 50 毫升(土水比为 1 : 5)。在振荡器上振荡 3min。静置 30min。

26.0.4.3 土悬液 pH 值的测定：将 25--30 毫升的土悬液盛于 50 毫升烧杯中，将该烧杯移至电磁搅拌器上。再向该烧杯中加一只搅拌子。然后将已校正完毕的玻璃电极、甘汞电极(或复合电极)插入杯中，开动电磁搅拌器搅拌 2min，从酸度计的表盘(或数字显示器)上直接测定 pH 值，准确至 0.01pH。测记土悬液温度。进行温度补偿操作。

26.0.4.4 测定完毕，应关闭酸度计和电磁搅拌器的电源，用水冲洗电极，并用滤纸吸干电极上沾附的水。若一批试验完后第二天仍继续测定的话，可将玻璃电极部分浸泡在纯水中。

26.0.5 精密度和允许差

酸碱度试验结果精度应符合附录 C 的规定。

26.0.6 报告

26.0.6.1 土的鉴别分类和代号。

26.0.6.2 土的 pH 值。

第 27 章

27 烧失量试验(T0150-93)

27.0.1 目的和适用范围

本方法适用于各类土。

27.0.2 仪器设备

27.0.2.1 高温炉：自动控制温达 1300 摄氏度。

27.0.2.2 分析天平：称量 100 克。

27.0.2.3 瓷坩埚、干燥器、坩埚钳等。

27.0.3 试验步骤

27.0.3.1 先将空坩埚放入已升温至 950 摄氏度的高温炉中灼烧 0.5h，取出稍冷(0.5--1min)，放入干燥器中冷却 0.5h，称量。

27.0.3.2 称取通过 1 毫米筛孔的烘干土(在 100--105 摄氏度烘干 8h)1--2 克(称准到 0.0001g)，放入已灼烧至恒量的坩埚放入未升温的高温炉内，斜盖上坩埚盖。放入干燥器内，冷却 0.5h 后称量，重复灼烧量，至前后两次质量相差小于 0.5mg，即为恒量。至少一次平行试验。

27.0.4 结果整理

27.0.4.1 烧失量按下式计算：

$$\text{烧失量}(\%) = [m - (m_2 - m_1)] / m * 100$$

式中：m--烘干土样质量，克；

m₁--空坩埚质量，克；

m₂--灼烧后土样+坩埚质量，克。

27.0.4.2 烧失量试验记录格式如表 27.0.4。

烧失量试验记录 表 27.0.4

工程编号 试验计算者

土样编号 校核者

土样说明 试验日期

灼烧温度(摄氏度)		
试验次数	1	2
土样质量 m(g)	1.790	2.103
燃烧残渣+坩埚质量 m ₂ (g)	21.602	20.395
空坩埚质量 m ₁ (g)	19.876	18.366
烧失量(%)	3.536	3.537
平均烧失量(%)	3.5365	

27.0.5 精密度和允许差

烧失量试验结果精度应符合附录 C 的规定。

27.0.6 报告

27.0.6.1 土的鉴别分类和代号。

27.0.6.2 土的烧失量(%)。

第 28 章

28 有机质含量试验(T0151-93)

28.0.1 目的和适用范围

本试验目的在于了解土中有机质的含量。本测定方法适用于有机质含量不超过 15% 的土，测定方法采用重铬酸钾容量法--油浴加热法。

28.0.2 仪器设备

28.0.2.1 分析天平：称量 200 克。

28.0.2.2 电炉：附自动控温调节器。

28.0.2.3 油浴锅：应带铁丝笼。

28.0.2.4 温度计：0--250 摄氏度，精度 1 摄氏度。

28.0.3 试剂

28.0.3.1 0.0750mol/L $1/6K_2Cr_2O_7-H_2SO_4$ 溶液：用分析天平称取经 105--110 摄氏度烘干并研细的重铬酸钾 44.1231g，溶于 800 毫升蒸馏水中(必要时可加热)，缓缓加入浓硫酸 1000 毫升，边加入边搅拌，冷却至室温用水定容至 2L。

28.0.3.2 0.2mol/L 硫酸亚铁(或硫酸亚铁铵)溶液：称取硫酸亚铁($FeSO_4 \cdot 7H_2O$ 分析纯)56 克或硫酸亚铁铵($(NH_4)_2SO_4 \cdot FSO_4 \cdot 6H_2O$)80 克，溶于蒸馏水中，加 15 毫升浓硫酸(密度 1.84g/mL 化学纯)。然后蒸馏水稀释至 1L，密封贮于棕色瓶中。

28.0.3.3 邻菲咯啉指示剂：称取邻菲咯啉($C_{12}H_8N_2 \cdot H_2O$)1.485 克，硫酸亚铁($FeSO_4 \cdot 7H_2O$)0.695 克，溶于 100 毫升蒸馏水中，此时试剂与 Fe^{2+} 形成棕色络合物，即 $[Fe(C_{12}H_8N_2)_3]^{2+}$ 。贮于棕色滴瓶中。

28.0.3.4 石蜡(固体)或植物 2 千克。

28.0.3.5 浓硫酸(H_2SO_4)，(密度 1.84g/mL)化学纯

28.0.3.6 灼烧过的浮石粉或土样：取浮石或矿质土约 200 克，磨细并通过 0.25mm 筛，分散装入数个瓷蒸发皿中，在 700--800 摄氏度的高温炉内灼烧 1--2h，把有机质完全烧尽后备用。

28.0.4 硫酸亚铁(或硫酸亚铁铵)溶液的标定：准确吸取 $K_2Cr_2O_7$ 标准溶液 3 份，每份 20 毫升分别注入 150 毫升锥形瓶中，用蒸馏水稀释至 60 毫升左右，滴入邻菲咯啉指示剂 3--5 滴，用硫酸亚铁(或硫酸亚铁铵)溶液进行滴定，使锥形瓶中的溶液由橙黄经蓝绿色突变至橙红色为止。按用量计算硫酸亚铁(或硫酸亚铁铵)溶液的深度。准确至 0.0001mol/L，取 3 份计算结果的算术平均值即为硫酸亚铁(或硫酸亚铁铵)溶液的标准浓度。

28.0.5 试验步骤

28.0.5.1 用分析天平准确称取通过 100 目筛的风干土样 0.1000--0.5000 克，放入一干燥的硬质试管中，用滴定管准确加入 0.0750mol/L $1/6K_2Cr_2O_7$ 标准溶液 10 毫升(在加入 3 毫升时摇动试管使土样分散)，并在试管口插入一小玻璃漏斗，以冷凝蒸出之水汽。

28.0.5.2 将 8--10 个已装入土样和标准溶液的试管插入铁丝笼中(每笼中均有 1--2 个空白试管)，然后将铁丝笼放入温度为 185--190 摄氏度的石蜡油浴锅中，试管内的兴衰成败应低于油面。要求放入扣油浴锅内油温下降至 170--180 摄氏度，以后应注意控制电炉，使油温维持在 170--180 摄氏度，待试管内试液沸腾时开始计时，煮沸 5min，取出试管稍冷，并擦净试管外部油渍。

28.0.5.3 将试管内试样倾入 250 毫升锥形瓶中，用水洗净试管内部及小玻璃漏斗，使锥形瓶中的溶液总体积达 60--70 毫升，然后加入邻菲咯啉指示剂 3--5 滴，摇匀，用硫酸亚铁(或硫酸亚铁铵)标准溶液滴定，溶液由橙黄色经蓝绿色突变为橙红色时即为终点，记下硫酸亚铁(或硫酸亚铁铵)标准溶液的用量，精确至 0.01mL。

28.0.5.4 空白标定：即用灼烧土代替土样，其它操作均匀与土样试验相同，记录硫酸亚铁用量。

28.0.6 结果整理

28.0.6.1 有机质含量按下式计算

有机质(%)

$$=C_{FeSO_4}(V_{FeSO_4}-V_{FeSO_4}) \cdot 0.003 \cdot 1.724 \cdot 1.1 / m_s \cdot 100$$

式中： C_{FeSO_4} --硫酸亚铁标准溶液的浓度，mol/L；

V_{FeSO_4} --空白标定时用去的硫酸亚铁标准溶液的量，毫升；

V_{FeSO_4} --测定土样时所用去的硫酸亚铁标准溶液的量，毫升；

m_s --土样质量(将风干土换算为烘干土)，克；

0.003-- $1/4$ 碳原子的摩尔质量，g/mmol；

1.724--有机碳换算成有机质的系数；

1.1--氧化校正系数。

28.0.6.2 本试验记录格式如表 28.0.6。

28.0.7 精密度和允许差

有机质含量试验结果精度应符合附录 C 的规定。

28.0.8 报告

28.0.8.1 有机质土代号

28.0.8.2 土的有机质含量(%)。

有机含量试验记录 表 28.0.6

工程编号 试验计算者

土样编号 校核者
 土样说明 试验日期

硫酸亚铁标准液浓度：0.1434			
试验次数		1	2
土样质量 $m_s(g)$		0.3992	0.4016
空白标定消耗硫酸亚铁标准液的量(mL) V_{FeSO_4}	滴定前读数	0.00	0.00
	滴定后读数	24.87	24.87
	滴定消耗	24.87	24.87
滴定土样消耗标准液的量(mL) V_{FeSO_4}	滴定前读数	0.00	0.00
	滴定后读数	19.20	19.20
	滴定消耗	19.20	19.20
有机质(%)		1.16	1.15

- 注：1、如滴定消耗硫酸亚铁标准液小于 10 毫升，应适当减少土样量，重做。
 2、如用邻苯氨基苯钾酸为指示剂滴定时，瓶内溶液不宜超过 60--70 毫升，滴定前溶液呈棕红色，终点为暗绿色，(或灰蓝绿色)。
 3、本法氧化有机质程度平均约 90%，故应乘以 1.1 才为土的有机质含量。

第 29 章

29 易溶盐试验

29.1 待测液的制备(T0152-93)

29.1.1 目的和适用范围

本方法适用于各类土。

29.1.2 仪器设备

29.1.2.1 过滤设备：包括真空泵、平底瓷漏斗、抽滤瓶。

29.1.2.2 离心机：转速为 4000r/min。

29.1.2.3 天平：称量 200 克，感量 0.01g。

29.1.2.4 广口塑料瓶：1000 毫升。

29.1.2.5 往复式电动振荡机。

29.1.3 制备步骤

29.1.3.1 称取通过 1 毫米筛孔的烘干土样 50--100 克(视土中含盐量和分析项目而定)，精确至 0.01g，放入干燥的 1000 毫升广口塑料瓶中(或 1000 毫升三角瓶内)。按土水比例 1：5 加入不含二氧化碳的蒸馏水(即把蒸馏水煮沸 10min，迅速冷却)，盖好瓶塞，在振荡机上(或用手剧烈振荡)3min，立即进行过滤。

29.1.3.2 采用抽气过滤时，滤前须将滤纸剪成与平底瓷漏底部同样大小，并平放在漏斗底上，先加少量蒸馏水抽滤，抽滤时要将土悬浊液摇匀后倾入漏斗，使土粒在漏斗底上铺成薄层，填塞滤纸孔隙，以阻止细土粒通过，在往漏斗内倾入土悬浊液前须先行打开抽气设备，轻微抽气，可避免滤纸浮起，以致滤液浑浊。漏斗上要盖一表皿，以防水汽蒸发。如发现滤液浑浊，须反复过滤至澄清为止。

29.1.3.3 当发现抽滤方式不能达到滤液澄清时，应用离心机分离，所得的透明滤液，即为水溶性盐的浸出液。

29.1.3.4 水溶性盐的浸出液，不能久放。pH、 CO_3^{2-} 、 HCO_3^- 离子等项测定，应立即进行，其他离子的测定最好都能在当天做完。

29.2 易溶盐总量的测定(质量法)(T0153-93)

29.2.1 目的和适用范围

本试验适用于各类土。

29.2.2 仪器设备

29.2.2.1 分析天平：称量 200 克，感量 0.0001g；

29.2.2.2 水浴锅：瓷蒸发皿；干燥器。

29.2.3 试剂

29.2.3.1 15%的 H_2O_2 。

29.2.3.2 2%的 Na_2CO_3 溶液：2 克无水 Na_2CO_3 溶于少量水中，稀释至 100 毫升。

29.2.4 试验步骤

29.2.4.1 用移液管吸取浸出液 50 毫升或 1000 毫升(视易溶盐含量多少而定)，注入已经在 105--110 摄氏度烘至恒量(前后二次质量之差不大于 1 毫克)的瓷蒸发皿中，盖上表皿，架空放在沸糖水浴上蒸干(若吸取溶液太多时，可分次蒸干)。蒸干后残渣如呈现黄褐色时(有机质所致)，应加入 15% H_2O_2 1--3 毫升，继续在水浴锅上蒸干，反复处理至黄褐色消失。

29.2.4.2 将蒸发皿放入 105--110 摄氏度的烘箱中烘干 4--8h，取出后放入干燥器中冷却 0.5h，称量。再重复烘干 2--4h，冷却 0.5h，用分析天平称量，反复进行至前后两次质量差值不大于 0.0001g。

29.2.5 结果整理

29.2.5.1 全盐量按下式计算：

$$\text{全盐量}(\%) = (m_2 - m_1) / m_s \times 100$$

式中： m_2 --蒸发皿加蒸干残渣质量，克；

m_1 --蒸发皿质量，克；

m_s --相当于 50 毫升或 100 毫升浸出液的干土质量，克。

29.2.5.2 易溶盐总量试验记录格式如表 29.2.5。

29.2.6 精密度和允许差

全盐量试验结果精度应符合附录 C 的规定。

29.2.7 报告

29.2.7.1 土的鉴别分类和代号。

29.2.7.2 土的全盐量(%)。

易溶盐总量试验记录表 29.2.5

工程编号 试验计算者

土样编号 校核者

土样说明 试验日期

吸取浸出液体积 V(mL)	50	
试验次数	1	2
残渣+蒸发皿的质量(g)	57.3974	57.4828

蒸发皿的质量(g)	57.3850	57.4700
残渣的质量	0.0124	0.0128
全盐量(%)	0.124	0.128
全盐量平均值(%)	0.126	

注：(1)残渣中如果 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 或 $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 的含量较高时，105--110 摄氏度不能除尽这些水合物中所含的结晶水，在称量时较难达到“恒量”，遇此情况应在 180 摄氏度烘干。但潮湿盐土含 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 和 $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 的量较高，这类化合物极易吸湿、水解，即使在 180 摄氏度干燥，也不能得到满意结果，遇到这样土样，可在浸出液中先加入 10mL 2% Na_2CO_3 溶液，蒸干时即生成 NaCl 、 Na_2SO_4 、 CaCO_3 、 MgCO_3 等沉淀，再在 180 摄氏度烘干 2h，即可达到“恒量”，加入的 Na_2CO_3 量应从盐分总量中减去。

(2)由于盐分(特别是镁盐)在空气中容易吸水，故在相同的时间和条件下冷却称量。

29.3 碳酸根及碳酸氢根的测定(T0154-93)

29.3.1 目的和适用范围

本方法适用于各类土。

29.3.2 仪器设备

29.3.2.1 酸式滴定管：刻度 0.1mL。

29.3.2.2 移液管(大肚型)：25 毫升。

29.3.2.3 三角瓶：150 毫升或 200 毫升。

29.3.2.4 分析天平：称量 200 克，感量 0.0001g。

29.3.2.5 量筒、容量瓶、电热干燥箱等。

29.3.3 试剂

29.3.3.1 0.1mol/L $1/2\text{H}_2\text{SO}_4$ 标准溶液：量取浓硫酸(密度 1.84g/mL)3mL，加入到 1000 毫升去除 CO_2 的蒸馏水中，然后稀释定容至 5000 毫升，按本规程 29.3.4 标定。

29.3.3.2 0.1% 甲基橙指示剂：0.1g 甲基橙溶于 100 毫升，蒸馏水中。

29.3.3.3 0.5% 酚酞指示剂：0.5 克酚酞溶于 50 毫升 95% 酒精中，再加 50 毫升蒸馏水。

29.3.4 硫酸标准溶液的标定

称取在 160--108 摄氏度下烘 2--4h 的无水 Na_2CO_3 3 份，每份约 0.1g 精确至 0.0001g，分别放入 3 个三角瓶中，注入 25 毫升煮沸至出二氧化碳的蒸馏水使其溶解，加入甲基橙指示剂 2 滴，用配制好的硫酸标准溶液滴定至溶液由黄色突变为橙色为止。记下硫酸标准的用量(毫升)。硫酸标准溶液的准确浓度应按式(29.3.4)计算，精确至 0.0001mol/L。取三个计算结果的算术平均值作为硫酸标准溶液的确切浓度。

$$C=m/V \cdot 0.053$$

式中：C-- $1/2\text{H}_2\text{SO}_4$ 溶液的浓度，mol/L；

m--无水碳酸钠的质量，克；

V--溶液的用量，毫升；

0.053-- $1/2\text{Na}_2\text{CO}_3$ 的摩尔质量，g/mmol。

29.3.5 试验步骤

29.3.5.1 用移液管吸取浸出液 25 毫升，注入三角瓶中，滴加 0.5% 酚酞指示剂 2--3 滴，如液不显红色，表示无 CO_3^{2-} 存在。如试液显红色时，则表示有 CO_3^{2-} 存在，即以 H_2SO_4 标准溶液滴定，随滴随摇，至红色刚一消失即为终点，记录消耗 H_2SO_4 标准溶液的体积，精确至 0.01mL(V_1)。

29.3.5.2 在上述试液中再加入 0.1% 甲基橙指示剂 1--2 滴，继续用 H_2SO_4 标准溶液滴定至试液由黄色突变为橙红色为止，读取第二次滴定消耗的 H_2SO_4 标准溶液的体积，精确至 0.01mL。

29.3.5.3 滴定后的试液，可供测定 Cl 用。

29.3.6 结果整理

29.3.6.1 碳酸根和碳酸氢根含量按下列各式计算：

$$\text{CO}_3^{2-}(\text{mmol}/2\text{CO}_3^{2-}/\text{kg})=2V_1 \cdot c/m \cdot 1000$$

$$\text{CO}_3^{2-}(\%)=\text{CO}_3^{2-}(\text{mmol}/2\text{CO}_3^{2-}/\text{kg}) \cdot 0.0300 \cdot 10^{-1}$$

$$\text{HCO}_3^{-}(\text{mmol}/\text{HCO}_3^{-}/\text{kg})=(V_2-V_1) \cdot c/m \cdot 1000$$

$$\text{HCO}_3^{-}(\%)=\text{HCO}_3^{-}(\text{mmol}/\text{HCO}_3^{-}/\text{kg}) \cdot 0.0610 \cdot 10^{-1}$$

式中： V_1 --滴定 CO_3^{2-} 时消耗标准液体积，毫升；

V_2 --滴定 HCO_3^{-} 时消耗 H_2SO_4 标准液体积，毫升；

c-- $1/2\text{H}_2\text{SO}_4$ 标准溶液的浓度，mol/L；

m--相当于分析时所取不浸出液体积的干土质量，克；

0.0300-- $1/2\text{CO}_3^{2-}$ 摩尔质量，g/mmol；

0.0610-- HCO_3^{-} 的摩尔质量，g/mmol。

29.3.6.2 碳酸根与碳酸氢根试验记录格式如表 29.3.6。

碳酸根和碳酸氢根试验记录 表 29.3.6

工程编号 试验计算者

土样编号 校核者

土样说明 试验日期

吸取浸出液的体积, (mL)	25	
吸取浸出液体积相当的干土质量, (g)		
H ₂ SO ₄ 标准液的浓度(mol/L)	0.01024	
试验次数	1	2
滴定 CO ₃ ²⁻ 时消耗 H ₂ SO ₄ 标准液体积(mL)	0.74	0.72
滴定 HCO ₃ ⁻ 时消耗 H ₂ SO ₄ 标准液体积(mL)	8.12	8.10
CO ₃ ²⁻ (%)	0.018	0.0174
CO ₃ ²⁻ (%)平均值	0.0177	
HCO ₃ ⁻ (%)	0.166	0.166
HCO ₃ ⁻ (%)平均值	0.166	

29.3.7 精密度和允许差

碳酸根及碳酸氢根测定结果的精度应符合附录 C 的规定。

29.3.8 报告

29.3.8.1 土的鉴别分类和代号。

29.3.8.2 土的碳酸根含量(%)。

29.3.8.3 土的碳酸氢根含量(%)。

29.4 氯根的测定--硝酸根滴定法(T0155-93)

29.4.1 目的和适用范围

本方法适用于各类土。

29.4.2 仪器设备

酸式滴定管(25 毫升)。

29.4.3 试剂

29.4.3.1 5% 铬酸钾(K₂CrO₄)5 克溶于少量蒸馏水中,逐滴加入 1mol/L 硝酸根 AgNO₃ 溶液至砖红色沉淀不消失为止,放置一夜后过滤,滤液稀释对 100 毫升,贮在棕色瓶中备用。

29.4.3.2 0.02mol/L 硝酸根标准溶液:准确称取经 105--110 摄氏度烘干 30min 的分析纯 AgNO₃3.397 克,用蒸馏水溶解,倒入 1L 容量瓶中,用蒸馏水定容,贮于棕色细口瓶中。

29.4.3.3 0.02mol/L 碳酸氢钠(NaHCO₃)溶液:称取 1.7 克 NaHCO₃,溶于纯水中,稀释至 1L。

29.4.4 试验步骤

29.4.4.1 在滴定碳酸根和碳酸氢根以后的溶液中继续滴定 Cl⁻。首先在此溶液中滴入 0.02mol/LNaHCO₃ 溶液几滴,使溶液恢复黄色(PH 为 7),然后再加入 5% 铬酸钾指示剂 0.5mL,用硝酸根标准溶液滴定至浑浊液由黄绿色突变成砖红色,即为滴定终点。(可用标定硝酸根溶液浓度时的终点颜色作为标准进行比较)。记录所用硝酸银的毫升数(V)。

29.4.4.2 如果不利用测定 CO₃²⁻、HCO₃⁻的溶液时,可用移液管另取两份新的土样浸出液,每份 25 毫升,放入三角瓶中,加入甲基橙指示剂,逐滴加入 0.02mol/L 碳酸氢钠(NaHCO₃)溶液至试液变为纯黄色,控制 PH 为 7,再加入 5%K₂CrO₄ 指示剂 5--6 滴。用硝酸银标准溶液滴定,直至生成砖红色沉淀,记录 AgNO₃ 标准溶液用量,若浸出液中 Cl⁻含量很高,可减少浸出液用量,另取 1 份进行测定。

29.4.5 结果整理

29.4.5.1 氯根含量按上式计算:

$$Cl^-(mmol/kg)=V*c/m*1000$$

$$Cl^-(\%)=Cl^-(mmol/kg)*0.0355*10^{-1}$$

式中:c--硝酸银标准溶液的浓度, mol/L;

V--滴定用硝酸银溶液体积, 毫升;

m--相当于分析时所取浸出液体积的干土质量, 克;

0.0355--氯根的摩尔质量, g/mmol。

29.4.5.2 氯根试验记录格式如表 29.4.5

氯根试验记录 表 29.4.5

工程编号 试验计算者

土样编号 校核者

土样说明 试验日期

吸取浸出液的体积 V(mL)	25	
与吸取浸出液相当的土样质量(g)		
AgNO ₃ 标准液的浓度(mol/L)	0.01804	
试验次数	1	2
滴定试样消耗 AgNO ₃ 标准液的量(mL)	0.88	0.90
Cl ⁻ (%)	0.011	0.012

Cl ⁻ 平均值(%)	0.012
------------------------	-------

注：(1)K₂CrO₄ 指示剂的浓度对滴定结果有影响，溶液中 CrO₄²⁻ 离子浓度过大，会使终点提前出现，使滴定结果偏低；反之，CrO₄²⁻ 浓度太低，则终点推迟出现而使结果偏高。一般应每 5 毫升溶液加 K₂CrO₄ 指示剂 1 滴。

(2)滴定过程中生成的 AgCl 沉淀容易吸附 Cl⁻，使溶液中的 Cl⁻ 浓度降低，以致未到等当点时即过早产生砖红色 Ag₂CrO₄ 沉淀，故滴定时须不断剧烈摇动，使被吸附的 Cl⁻ 释放出来。

29.4.6 精密度和允许差

氯根测定结果的精度应符合附录 C 的规定。

29.4.7 报告

29.4.7.1 试验方法

29.4.7.2 土的鉴别分类和代号

29.4.7.3 土的氯根含量(%)。

29.5 氯根的测定--硝酸汞滴定法(T0156-93)

29.5.1 目的和适用范围

本方法适用于各类土

29.5.2 仪器设备

29.5.2.1 酸式滴定管(50 毫升)、三角瓶(150 毫升)、试剂瓶、量筒。

29.5.2.2 移液管(大肚型)25 毫升、容量瓶 1L。

29.5.2.3 天平：称量 200 克，感量 0.0001g。

29.5.3 试剂

29.5.3.1 混合指示剂：0.5g 二苯偶氮碳酰肼与 0.05g 溴酚兰及 0.12g 二甲苯蓝 FF 混合，溶于 100 毫升 95%的酒精中，保存于棕色试剂瓶中。

29.5.3.2 0.025mol/L 硝酸汞标准溶液：称取 8.34g 分析纯硝酸汞 [Hg(NO₃)₂·1/2H₂O]，溶于 100 毫升加有 1--1.5 毫升浓硝酸的蒸馏水中，最后加水定容至 1000 毫升，充分摇匀。其标准浓度用 0.025mol/L 氯化钠标准溶液标定(标定方法与滴定待测液相同)。

29.5.3.3 0.05mol/L 硝酸溶液：量取 3.2mL 浓硝酸(比重 1.42)，稀释至 1000 毫升，摇匀，备用。

29.5.4 试验步骤

29.5.4.1 吸取待测定液 25 毫升于 150 毫升三角瓶中。

29.5.4.2 加混合指示剂 10 滴，并用 0.05mol/LHNO₃ 溶液调至溶液呈蓝绿色。即用 Hg(NO₃)₂ 标准溶液滴定至突变为紫色即为终点，记下消耗之体积(毫升)。

29.5.5 结果整理

29.5.5.1 氯根含量按下式计算：

$$Cl^-(mmol/kg)=V*c/m*1000$$

$$Cl^-(\%)=Cl^-(mmol/kg)*0.0355*10^{-1}$$

式中：c--1/2Hg(NO₃)₂ 溶液的浓度，mol/L；

V--滴定用硝酸汞溶液体积，毫升；

m--相当于分析时所取浸出液体积的干土质量，克；

0.0355--Cl⁻的摩尔质量，g/mmol。

29.5.5.2 试验记录参照 29.4.5 进行。

注：(1)在滴定过程中，必须控制溶液的 PH 在 3--3.5 范围内，PH 高于此范围有负误差，PH 低于此范围有正误差。

(2)如果待测液有颜色，则对终点有干扰，可用稀硝酸酸化后的活性炭吸附脱色，过滤后滴定；也可直接用硝酸酸化待测液后，再加微热，使有机质絮固脱色，过滤后滴定；或者蒸干待测液，用过氧化氢去除有机质，再溶解后进行滴定。

(3)加入指示剂过量时也会使结果偏低。

29.5.6 报告

29.5.6.1 试验方法

29.5.6.2 土的鉴别分类和代号。

29.5.6.3 土的氯根含量(%)。

29.6 钙和镁离子的测定--EDTA 配位滴定法(T0157-93)

29.6.1 目的和适用范围

本方法适用于各类土。

29.6.2 仪器设备

29.6.2.1 移液管(大肚型)25 毫升。

29.6.2.2 三角瓶：150 毫升。

29.6.2.3 滴定管：(酸式)25 毫升，或 50 毫升，准确至 0.1mL。

29.6.2.4 试剂瓶。

29.6.3 试剂

29.6.3.1 0.01mol/LEDTA 标准溶液，配制与浓度标定参见本规程 29.8.3.6 和 29.8.4。

29.6.3.2 氨缓冲溶液：配制见 29.8.3.2。

29.6.3.3 K-B 指示剂、铬黑 T 指示剂，均参见本规程 29.8.3.4 与 29.8.3.5。

29.6.3.4 钙指示剂：0.5g 钙指示剂 [2-羟基(2-羟基-4 磺酸-1-萘偶氮基)-3-萘甲酸，C₂₁H₁₄O₇N₂S] 与 50gNaCl(需经烘焙)研细混匀，贮于棕色瓶中，放在干燥器中保存。

29.6.3.5 2mol/LNaOH 溶液：8.0NaOH 溶于 100 毫升无二氧化碳水中。

29.6.4 试验步骤

29.6.4.1 Ca²⁺+Mg²⁺含量的测定：用移液管吸取土样浸出液 25 毫升于 150 毫升三角瓶中，加 pH10 缓冲溶液 2 毫升，摇匀后加 K-B 指示剂约 0.1g，用 EDTA 标准溶液滴定至溶液由酒红色突变为纯蓝色为终点。记录 EDTA 溶液的用量(V₂)(毫升)，精确至 0.01mL。

29.6.4.2 Ca²⁺的测定：用 25 毫升多液管另吸取土样浸出液 25 毫升于三角瓶中，加 1：1HCl1 滴，充分摇动，煮沸 1min 超出二氧化碳，冷却后，加 2mol/NaOH2mL,摇匀，放置 1--2min,使溶液 PH 值达 12 以上，加入钙指示剂约 0.1g,即以 EDTA 标准溶液滴定，接近终点时须逐滴加入，充分摇动，直至溶液由红色突变为纯蓝色。记录 EDTA 溶液的用量 V₂(mL)，精确至 0.01mL。

29.6.5 结果整理

29.6.5.1 钙和镁离子含量按下列各式计算：

$$Ca^{2+}(\text{mmol}/2Ca^{2+}/\text{kg})=c*V_1*2/m*1000$$

$$Ca^{2+}(\%)=Ca^{2+}(\text{mmol}/2Ca^{2+}/\text{kg})*0.0200*10^{-1}$$

$$Mg^{2+}(\text{mmol}/2Mg^{2+}/\text{kg})=c*(V_2-V_1)*2/m*1000$$

$$Mg^{2+}(\%)=Mg^{2+}(\text{mmol}/2Mg^{2+}/\text{kg})*0.0122*10^{-1}$$

式中：c--EDTA 标准溶液的浓度，mol/L;

m--相当于分析时所取浸出液体体积的干土质量，克；

0.0200--1/2 钙离子的摩尔质量，g/mmol;

0.0122--1/2 镁离子的摩尔质量，g/mmol;

注：1)土的提取液中，如含有 Fe³⁺、Al³⁺、Mn²⁺、Ti⁴⁺及其他重金属离子时，会影响滴定终点，可在酸性溶液中加入 1 比 2 的三乙醇胺 2 毫升，以消除其影响。

2)测定 Ca²⁺或 Ca²⁺+Mg²⁺时，都必须严格控制溶液的 PH，所以在加入 NaOH 或 PH10 缓冲溶液后，应再用精密 PH 试纸检验，确认 PH 合格后再加入指示剂进行滴定，否则终点会不明显。

29.6.5.2 钙、镁离子试验记录格式如表 29.6.5。

钙、镁离子试验记录 表 29.6.5

工程编号 试验者

土样编号 校核者

土样说明 试验日期

吸取提取液的体积 V(mL)	25	
C _{EDTA} (mol/L)	0.01020	
试验次数	1	2
滴定 Ca ²⁺ 时所有 EDTA 的量(mL)V ₁	4.18	4.20
滴定 Ca ²⁺ Mg ²⁺ 时所有 EDTA 的量(mL)V ₂	5.40	5.42
Ca ²⁺ (mmol/2Ca ²⁺ /kg)	0.0853	0.0857
Ca ²⁺ (mmol/2Ca ²⁺ /kg)平均值	0.0855	
Ca ²⁺ (%)	0.0342	0.0342
Ca ²⁺ (%)的平均值	0.0342	
Mg ²⁺ (mmol/2Mg ²⁺ /kg)	0.249	0.249
Mg ²⁺ (mmol/2Mg ²⁺ /kg)平均值	0.249	
Mg ²⁺ (%)	0.0061	0.0061
Mg ²⁺ (%)的平均值	0.0061	

29.6.6 精密度和允许差

钙离子和镁离子测定结果的精度应符合附录 C 的规定。

29.6.7 报告

29.6.7.1 土的鉴别分类和代号。

29.6.7.2 土的钙离子含量(%)。

29.6.7.3 土的镁离子含量(%)。

29.7 硫酸根的测定--质量法(T0158-93)

29.7.1 目的和适用范围

本方法适用于各类土。

29.7.2 仪器设备

29.7.2.1 高温电炉:温度可自控，最高炉温 1100 摄氏度。

29.7.2.2 瓷坩埚：30 毫升。

29.7.2.3 坩埚钳：长柄的。

29.7.2.4 水浴锅、烧杯、紧密滤纸、漏斗。

29.7.2.5 移液管(大肚型)、量筒、试剂瓶等。

29.7.2.6 漏斗架。

29.7.2.7 表面皿、玻璃支架、玻璃棒。

29.7.3 试剂

29.7.3.1 1比3盐酸：1份浓盐酸加3份蒸馏水混合。

29.7.3.2 10%氯化钡水溶液：称取 BaCl₂·2H₂O 溶于水后，再加水稀释至 100 毫升。

29.7.3.3 1%硝酸银溶液：1gAgNO₃溶于 100 毫升蒸馏水中，如有杂质应过滤，滤液要透明。

29.7.4 试验步骤

29.7.4.1 吸取 50--100 毫升水浸提液于 150 毫升热蒸馏水洗涤，在水浴上蒸干。用 1 比 3 盐酸溶液 5 毫升处理残渣，再蒸干，并在 100--105 摄氏度烘干 1h。

29.7.4.2 用 2 毫升 1 比 3 盐酸和 10--30 热蒸馏水洗涤，用致密滤纸过滤，除去二氧化硅，再用热水洗至无氯离子反应(硝酸根检验无浑浊)为止。

29.7.4.3 滤出液在烧杯中蒸发至 30--40 毫升，在不断搅动中途趁热滴加 10%氯化钡至沉淀完全。在上部清液再滴加几滴氯化钡，直至无更多沉淀生成时，再加 2--4 毫升氯化钡，在水浴上继续加热 15--30min，取上烧杯静置 2h。

29.7.4.4 用紧密无灰滤纸过滤，烧杯中的沉淀用热水洗 2--3 次后转入滤纸，再洗至氯离子反应为止，但沉淀也不宜过多洗涤。

29.7.4.5 将滤纸包移入已灼烧称恒量的坩埚中，小心烤干，灰化至灰白色。

29.7.4.6 在 600 摄氏度高温电炉中灼烧 15--20min，然后在干燥器中冷却 30min 后称量，再将坩埚灼烧至 15--20min，称至恒量(两次称量之差小于 0.0005g)。

29.7.4.7 用相同试剂和滤纸同样处理，作空白试验，测得空白质量。

29.7.5 结果整理

29.7.5.1 硫酸根含量按下式计算：

$$SO_4^{2-}(\%) = (m_1 - m_2) \cdot 0.4116 / m \cdot 100$$

$$SO_4^{2-}(\text{mmol}/2SO_4^{2-}/\text{kg}) = SO_4^{2-}(\%) / 0.0480 \cdot 10$$

式中：m₁--硫酸钡的质量，克；

m₂--空白标定的质量，克；

m--相当于分析时所取浸出液体积的干土质量，克；

0.4116--硫酸钡换算为硫酸根(SO₄²⁻)的系数；

0.0480--1/2 硫酸钡的摩尔质量，g/mmol。

29.7.5.2 硫酸根试验记录格式如表 29.7.5。

硫酸根试验记录(质量法)表 29.7.5

工程编号 试验计算者

土样编号 校核者

土样说明 试验日期

吸取提取液的体积(mL)	50	
试验次数	1	2
(坩埚+沉淀)质量(g)	18.3535	19.0046
空坩埚质量(g)	18.3512	19.0022
沉淀质量(g)	0.0023	0.0024
空白试验结果：(g)	0.0004	0.0004
SO ₄ ²⁻ (%)	0.0078	0.0082
SO ₄ ²⁻ (%)平均值	0.0080	
SO ₄ ²⁻ (mmol/2SO ₄ ²⁻ /kg)	0.081	0.085
SO ₄ ²⁻ (mmol/2SO ₄ ²⁻ /kg)平均值	0.083	

注:1)本方法适用于含硫酸根量较高的土样，含量低者应采用其它方法。

2)硫酸钡沉淀应在微酸性溶液中进行，一方面可以防止某些阴离子如碳酸根、碳酸氢根、磷酸根和氢氧根等与钡离子发生共沉淀现象，另一方面硫酸钡沉淀在微酸性溶液中能使结晶颗粒增大，更便于过滤和洗涤，沉淀溶液的酸度不能太高，因硫酸钡沉淀的溶解度随酸度的增大而增大，最好控制在 0.05mol/L 左右。

3)硫酸钡沉淀同滤纸灰化时，应保证空气的充分供应，否则沉淀易被滤纸烧成炭所还原 BaSO₄。当发生这种现象时，沉淀呈灰色成黑色，这可在冷却后沉淀中加入 2--3 滴浓硫酸，然后小心加热至二氧化硫白烟不再发生为止，再在 600 摄氏度的温度下灼烧至恒量，炉温不能过高，否则硫酸钡开始分解。

29.7.6 精密度和允许差

硫酸根测定结果的精度应符合附录 C 的规定。

29.7.7 报告

29.7.7.1 试验方法。

29.7.7.2 土的鉴别分类和代号。

29.7.7.3 土的硫酸根含量(%)。

29.8 硫酸根的测定--EDTA 间接配位滴定法(T0159-93)

29.8.1 目的和适用范围

本方法适用于各类土。

29.8.2 仪器设备

29.8.2.1 分析天平：称量 200 克，感量 0.0001 克。

29.8.2.2 酸式滴定管：50 毫升，准确至 0.1mL。

29.8.2.3 三角瓶：150 毫升或 200 毫升。

29.8.2.4 移液管：(大肚型)25 毫升，50 毫升。

29.8.3 试剂

29.8.3.1 钡镁混合剂：2.44gBaCl₂·2H₂O(化学纯)和 2.04gMgCl₂·6H₂O(化学纯)溶于水，稀释至 1L，此溶液中 Ba²⁺和 Mg²⁺的浓度各为 0.01mol/L，每毫升约可沉淀 SO₄²⁻1mg。

29.8.3.2 pH10 的氨缓冲液：67.5gNH₄Cl(化学纯，比重 0.9 含 NH₃25%)570 毫升，用水稀释至 1L，贮于塑料瓶中，并注意防止吸收空气中的二氧化碳。

29.8.3.3 1 比 4HCl 溶液：1 份浓 HCl(化学纯)与 4 份水混合。

29.8.3.4 K-B 指示剂：0.5g 酸性铬蓝 K 和 0.1g 萘酚绿 B，与 100 克、105 摄氏度烘过的 NaCl-同研细磨匀，越细越好，贮于棕色瓶中。

29.8.3.5 铬黑 T 指示剂：0.5g 铬黑 T 与 100 克烘干的 NaCl(三级)共研至及细，贮于棕色瓶中。

29.8.3.6 0.001mol/L EDTA 标准溶液：先将乙二胺四乙酸二钠(Na₂EDTA,Na₂H₂C₁₀H₁₂O₈N₂·2H₂O,相对分子质量 372.1 分析纯)在 80 摄氏度干燥约 2h，保存于干燥器中，将 3.72gNa₂EDTA，溶于 1L 水中，充分摇动，贮于塑料试剂瓶中。EDTA 二钠盐在水中溶解缓慢，在配制溶液时须常摇动促溶，最好放置过夜备用。

29.8.4 EDTA 溶液的标定按下述方法进行。

29.8.4.1 用分析天平称取经 110 摄氏度干燥的 CaCO₃(优级纯或一级)约 0.4g，称准对 0.0001g,放在 400 毫升烧杯内，用少量蒸馏水润湿，慢慢加入 1 比 1 的盐酸约 10 毫升，盖上表皿，小心的加热促溶，并驱尽二氧化碳，冷却后定量地转移入 500 毫升容量瓶中用蒸馏水定容。

29.8.4.2 用移液管吸取本规程 29.8.4.1 的溶液 25 毫升于 250 毫升三角瓶中，加 20 毫升 pH10 的氨缓冲液和少许 K-B 指示剂(或铬黑 T 指示剂)，用配好的 EDTA 溶液滴定至溶液由酒红色变为蓝绿色为终点，同时做空白试验，按下式计算 EDTA 溶液的浓度(mol/L)取三次标定结果的平均值。

$C_{EDTA} = m / 0.1001 * (V - V_0)$

式中：0.1001--CaCO₃的摩尔质量，g/mmol；

m--每份滴定所用折氧化钙的质量，克；

V--标定时所用 EDTA 溶液的体积，毫升；

V₀--空白标定所用的 EDTA 溶液的体积，毫升；

29.8.5 试验步骤

29.8.5.1 用移液管吸取 25 毫升水比 1 比 5 的土样浸出液于 150 毫升三角瓶中，加 1 比 4HCl5 滴，加热至沸，趁热用移液管缓缓地准确加入过量 25--100%的钡镁混合液(约 5--20 毫升)。注：继续微沸 5min，然后放置 2h 以上。29.8.5.2 加 P H10 缓冲液 5 毫升，加铬黑 T 指示剂少许或 K-B 指示剂约 0.1 克，摇匀，用 EDTA 标准溶液滴定由酒红色变成纯蓝色，如终点前颜色太浅，可补加一些指示剂，记录 EDTA 标准溶液的消耗体积 V₁(毫升)。

29.8.5.3 空白标定：取 25 毫升水，加入 1 比 4HCl15 滴，钡镁混合液 5 毫升或 10 毫升(注意，其用量应与上述待测液相同)，PH10 缓冲液 5 毫升和铬黑 T 指示剂少许或 K-B 指示剂约 0.1g，摇匀后用 EDTA 标准溶液滴定由酒红色变为纯蓝色，记录 EDTA 溶液的用量 V₂(毫升)。

29.8.5.4 土样浸出液中钙镁总量的测定：(如：Ca²⁺、Mg²⁺已知，可免去此步)；吸以与 29.8.5.1 相同体积的土样浸出液(25 毫升)，放在 150 毫升三角瓶中，加 1 比 1HCl2 滴，摇匀，加热至沸 1min，除去二氧化碳冷却。加 PH10 缓冲液 3.5m L，加 K-B 指示为终点，记录消耗 EDTA 溶液的体积 V₃(毫升)。

29.8.6 结果整理

29.8.6.1 硫酸根含量按下式计算：

$SO_4^{2-}(\text{mmol}/2SO_4^{2-}/\text{kg}) = 2c(V_2 + V_3 - V_1) / m * 1000$

$SO_4^{2-}(\%) = SO_4^{2-}(\text{mmol}/2SO_4^{2-}/\text{kg}) * 0.0480 * 10^{-1}$

式中：c--EDTA 标准液的浓度，mol/L；

m--相当于分析时所取浸出液体积的干土质量，克；

0.0480--1/2 硫酸根的摩尔质量，g/mmol。

注：由于土中 SO₄²⁻含量变化比较大，有些土中 SO₄²⁻含量很高，可用下式判断所加沉淀剂 BaCl₂ 是否足量：V₂+V₃-V₁=0 表明土中无 SO₄²⁻ V₂+V₃-V₁<0 则表明操作有误，如果 V₂+V₃-V₁=AmL,AmL+A*25%<=所加 BaCl₂ 的体积数，表明加入的沉淀剂足量；若 AmL+A*25%>所加 BaCl₂ 体积数，表示所加沉淀剂不够，应重新少取待测液，或多加沉淀剂重新测 SO₄²⁻。

29.8.6.2 硫酸根记录格式如表 29.8.6。

硫酸根试验记录(EDTA 间接配位滴定法) 表 29.8.6

工程编号 试验计算者

土样编号 校核者

土样说明 试验日期

吸取浸出液的体积 V(mL)	25	
EDTA 二钠盐溶液的浓度(mol/L)	0.01020	
试验次数	1	2
V ₁ 待测液经沉淀后剩余钡镁合剂所消耗 EDTA 的量(mL)	6.70	6.72
V ₂ 钡镁合剂(空白标定)所消耗 EDTA 液的量(mL)	5.20	5.20
V ₃ 同体积待测液中原有 Ca ²⁺ 、Mg ²⁺ 所消耗 EDTA 液的量(mL)	5.50	5.50
SO ₄ ²⁻ (mmol/2SO ₄ ²⁺ /kg)	0.816	0.812
SO ₄ ²⁻ (mmol/2SO ₄ ²⁻ /kg)平均值	0.814	
SO ₄ ²⁻ (%)	0.078	0.078
SO ₄ ²⁻ (%)的平均值	0.078	

29.8.7 报告

29.8.7.1 试验方法

29.8.7.2 土的鉴别分类和代号。

29.8.7.3 土的硫酸根含量(%)。

29.9 钠、钾离子的测定-火焰光度法(T0160-93)

29.9.1 目的和适用范围

本方法适用各类土。

29.9.2 仪器设备

29.9.2.1 火焰光度计。

29.9.2.2 分析天平：称量 200 克，感量 200 克，感量 0.0001g。

29.9.2.3 容量瓶、试剂瓶、移液管。

29.9.3 试剂

29.9.3.1 0.1mol/L 硫酸铝溶液：称取 34.2gAl₂(SO₄)₃ 溶于水，稀释至 1000 毫升。

29.9.3.2 钾(K⁺)标准溶液：精确称取经 105--110 摄氏度烘干的分析纯 KCl0.1907g，在少量纯水中溶解，转入 1000 毫升容量瓶中定容，贮于塑料瓶中，此溶液含 K⁺0.1mg/mL,以此为母液可稀释配制成所需浓度的标准系列。

29.9.4 仪器分析法标准曲线的测绘按下列步骤进行：

分别取浓度适宜的钠、钾溶液标准系列。按测定试样相同条件，在火焰光度计上测出各深度的读数，宜测 5--7 点，以读数为纵坐标，钠、钾浓度为横坐标，在直角坐标上绘制关系曲线，并注明试验条件。

29.9.5 试验步骤

用移液管吸取一定量的土浸出液，放在火焰光度计上，按仪器说明书的要求进行操作。当 Na⁺、K⁺含量超过仪器容许范围时，宜稀释后再操作。测 Na⁺时用钠滤光片，测 K⁺时用钾滤光片，记下仪器读数，注明试验条件，分别查钠、钾标准曲线，分别计算含量。

29.9.6 结果整理

29.9.6.1 钠、钾离子含量按下列各式计算：

$$Na^+(mmolNa^+/kg)=(C_{Na} \cdot 25/V)/m \cdot 1.0/23$$

$$Na^+(\%)=Na^+(mmolNa^+/kg) \cdot 0.023 \cdot 10^{-1}$$

$$K^+(mmolK^+/kg)=(C_K \cdot 25/V)/m \cdot 1.0/39.1$$

$$K^+(\%)=K^+(mmolK^+/kg) \cdot 0.0391 \cdot 10^{-1}$$

式中：C_{Na}--待测液中钠离子浓度，ppm；

C_K--待测液中钾离子浓度，ppm；

V--吸取土样浸出液的体积，毫升；

m--相当于分析时所取浸出液体积的干土质量，克；

1.0--由 ppm 换算成千克的系数；

23--钠离子的摩尔质量，g/mol；

39.1--钾离子的摩尔质量，g/mol。

29.9.6.2 钠、钾离子试验记录格式如表 29.9.6。

29.9.7 精密度和允许差

钠和钾离子测定结果的精度应符合附录 C 的规定。

29.9.8 报告

29.9.8.1 土的鉴别分类和代号。

29.9.8.2 土的钠离子含量(%)。

29.9.8.3 土的钾离子含量(%)。

钠、钾离子试验记录(火焰光度法) 表 29.9.6

工程编号 试验计算者

土样编号 校核者

土样说明 试验日期

吸取滤液体积 V		
试验序号	1	2
由标准曲线查出 Na ⁺ 量(ppm)		
Na ⁺ (%)		
Na ⁺ %的平均值		
Na ⁺ (mmolNa ⁺ /kg)		
平均值		
由标准曲线查出 K ⁺ 量(ppm)		
K ⁺ (%)		
K ⁺ (%)的平均值		
K ⁺ (mmolK ⁺ /kg)		
平均值		

第 30 章

30 中溶盐石膏试验(盐酸浸提硫酸钡质量法)(T0161-93)

30.0.1 目的和适用范围

本方法适用于含石膏较多(>1%)的土类。

30.0.2 仪器设备

30.0.2.1 分析天平：称量 200 克，感量 0.0001g。

30.0.2.2 离心机(4000r/min):80 毫升离心管。

30.0.2.3 高温电炉、瓷坩埚。

30.0.2.4 移液管、容量瓶、烧杯。

30.0.3 试剂

30.0.3.1 70%乙醇：700 毫升无水乙醇用水稀释至 1000 毫升。

30.0.3.2 1mol/LHCl:83.3mL 浓 HCl 用水稀释至 1L。

30.0.3.3 10%BaCl₂ 溶液(W/V)：称取 10gBaCl₂·2H₂O 用水溶成 100 毫升。

30.0.3.4 1 比 1NH₃ 水：1 份浓 NH₃ 水+1 份水。

30.0.3.5 1 比 1HCl:1 份浓 HCl+1 份水。

30.0.3.6 1%(W/V)甲基橙指示剂溶于 100 毫升水中。

30.0.4 试验步骤

30.0.4.1 洗去盐分:在 1%感量天平上称取通过 0.25mm 的风干土样 1--10 克(约含石膏 0.1--0.8g)于离心管中,加 50 毫升 70%乙醇,在 2500--3000r/min 离心机中,倾去洗液,反复洗涤直至无 SO₄²⁻反应为止。

30.0.4.2 用 1mol/LHCl 浸提:给脱盐后的土样中加 1mol/LHCl 约 30 毫升搅动、离心、将清液倾入 100 毫升容量瓶中,反复三次,最后用水定容。

30.0.4.3 沉淀 BaSO₄：吸取清液 30 毫升,于 250 毫升烧杯中,加甲基橙指示剂 2--3 滴,用 1 比 1 氯水中和至黄色,然后加 1 毫升 1 比 1HCl 加热至沸,按本规程第 29.7.4 进行。

30.0.5 结果整理

30.0.5.1 石膏含量按下式计算

$$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}(\%) = (m_1 - m_0) \cdot 0.738 \cdot 2 / m_s \cdot 100(1 + H)$$

式中：m₀--空坩埚质量,克；

m₁--坩埚+BaSO₄ 换算成 CaSO₄·2H₂O 的系数。

2--分取系数(100 毫升/500 毫升)；

H--以烘干基的土样吸湿水分。

0.738--将 BaSO₄ 换算成 CaSO₄·2H₂O 的系数(CaSO₄·2H₂O/BaSO₄)

30.0.5.2 本试验记录格式如表 30.0.5。

中溶盐试验记录(质量法) 表 30.0.5

工程名称 试验计算者

土样编号 校核者

土样说明 试验日期

风干土样量(g)		
土样吸湿水分(H)		
吸取待测液的体积(mL)		
试验次数	1	2
空坩埚的质量 m ₀ (g)		
(空坩埚+BaSO ₄)的质量 m ₁ (g)		
CaSO ₄ ·2H ₂ O(%)		
平均值		

30.0.6 精密度和允许差

中溶盐石膏试验结果精度应符合附录 C 的规定。

30.0.7 报告

30.0.7.1 土的鉴别分类和代号。

30.0.7.2 土中石膏含量(%)。

第 31 章

31 难溶盐碳酸钙试验(气量法)(T0162-93)

31.0.1 目的和适用范围

本方法适用于各类土。

31.0.2 仪器设备

31.0.2.1 气量法测量装置(二氧化碳约测计示意图见图 31.0.2)。

31.0.2.2 天平：称量 200 克，感量 0.01g。

31.0.2.3 气压计。

31.0.2.4 温度计。

31.0.3 试剂

31.0.3.1 1 比 3HCl:1 份 HCl 和 3 份水混合。

31.0.3.2 0.1% 甲基红指示剂。

31.0.4 试验步骤

31.0.4.1 安装好二氧化碳测量计(如图 31.0.2 所示)，将加有微量盐酸和数滴甲基红指示剂的红色水溶液注入量管中。

31.0.4.2 称取 0.5mm 筛，经 105--110 摄氏度烘干的试样 1--5 克，精确至 0.01g，放入广口瓶中，再将盛有 1 比 3HCl 溶液的瓷坩埚放入广口瓶塞中，塞紧瓶塞，打开阀门上下移动管(3)，使管(3)和(4)三个管的水面齐平。

31.0.4.3 将管(3)继续下移，当管(4)的右边管内水面下降很快时，表示接头处漏气，应仔细检查各接头并用石蜡溶液密封至不漏气。三管水面齐平后，关闭阀门，记下管(4)右边管辖管内的起始水位读数。

31.0.4.4 手持长柄长夹子夹住广口瓶，使坩埚中的盐酸倾出与瓶中的土样充分反应，当管(4)右边管内水面受至二氧化碳压力时，再移动管(3)，使三管水面齐平。记下管(4)右边管内水面最终的水位读数。最终读数与起始与起始读数之差即为产生的二氧化碳体积，同时记录试验时的温度和气压。

31.0.4.5 重复本规程 31.0.4.1 至 31.0.4.4 的操作，进行空白试验。并从试样产生的二氧化碳体积中减去空白试验值。

31.0.5.1 碳酸钙含量按下式计算：

$$\text{CaCO}_3(\%) = V * \frac{2.272}{(m_s * 10^6)} * 100$$

式中： m_s --烘干土的质量，克；

V --二氧化碳的体积，毫升。

--在试验的温度和气压下二氧化碳的密度， μg 毫升，从附录 D 查出；

2.722--由二氧化碳换算在碳化钙的系数。

10^6 --微克与克的换算系数。

31.0.5.2 碳酸盐试验记录格式如表 31.0.5。

31.0.6 精密度和允许差

碳酸钙试验结果精度应符合附录 C 的规定。

31.0.7 报告

31.0.7.1 土的鉴别分类和代号。

31.0.7.2 土的碳酸钙含量(%)。

碳酸盐试验记录(气量法) 表 31.0.5

工程名称 试验计算者

土样编号 校核者

土样说明 试验日期

试验时的大气压力(Pa)		
试验时的温度(摄氏度)		
试验次数	1	2
土样质量 m_s (g)		
CO ₂ 的体积(mL)		
CaCO ₃ (%)		
平均值(%)		

第 32 章

32 阳离子交换量试验

32.1 EDTA-铵盐快速法(T0163-93)

32.1.1 目的和适用范围

EDTA-铵盐法既适用中性、酸性土，又适用于石灰性土样。

32.1.2 仪器设备

32.1.2.1 电动离心机(转速 3000--4000r/min)。

32.1.2.2 离心管：100 毫升。

32.1.2.3 带橡皮头玻璃棒

32.1.2.4 天平：称量 200 克，感量 0.001g。

32.1.2.5 凯氏蒸馏瓶。

32.1.2.6 滴定管、三角瓶等。

32.1.3 试剂

32.1.3.1 0.005mol/L EDTA(乙二胺四乙酸)与 1mol/L 醋酸铵(NH_4OAc)混合液：称取化学纯醋酸铵 77.09g 及 EDTA1.641g，加水溶解后一起洗入 1000 毫升容量瓶中，再加蒸馏水中至 900 毫升左右，以 1:1 的氢氧化铵或稀醋酸调至 PH7(适用于中性、酸性土)或 8.5(适用于石灰性土)，然后用水定容。

32.1.3.2 95%酒精：工业用，应无铵离子反应。

32.1.3.3 2%硼酸溶液：称取 20 克硼酸用热蒸馏水(约 60 摄氏度)溶解，冷却后稀释至 1000 毫升，最后用稀盐酸或稀氢氧化钠调节 PH 至 4.5(定氮混合指示剂显淡红色)。

32.1.3.4 氧化镁(固体)：在高温电炉中经 500--600 摄氏度灼烧 0.5h，使氧化镁中可能存在的碳酸镁化成氧化镁，提高其利用率，同时防止蒸馏时大量气泡发生。

32.1.3.5 0.1%溴百里酚蓝指示剂：称取 0.1g 溴百里酚蓝溶于 100 毫升无水酒精中(PH6.2--7.6，颜色黄--蓝)。

32.1.3.6 0.05mol/L 盐酸标准溶液：取浓盐酸 4.17mL,用水稀释至 1000 毫升，用硼砂标准溶液标定(可参见 29.3.4)。

32.1.3.7 K-B 指示剂：称取 0.5g 酸性铬蓝 K 与 1 克萘酚绿 B 加 50 克分析纯硫酸钾，在玛瑙研钵中充分研磨混合，贮于棕色小瓶中防潮备用。

32.1.3.8 定氮混合指示剂：分别称取 0.1g 甲基红和 0.5g 溴甲酚绿指示剂，放入玛瑙研钵中，并用 100 毫升 95%酒精研磨溶解。此溶液应用稀盐酸或稀氢氧化钠调节 PH 到 4.5。

32.1.3.9 纳氏试剂(定性检查用)：称氢氧化钾 134 克，溶于 460 毫升蒸馏水中，为第一溶液，称取碘化钾 20 克，溶于 50 毫升蒸馏水中，加碘化汞使溶液至饱和状态(大约 32 克)，为第二溶液。然后将两溶液混合而成。

32.1.3.10 PH10 缓冲液：称氯化铵 33.75 克溶于水中，加比重 0.9 的近水 285 毫升，最后稀释至 500 毫升。

32.1.3.11 液状石蜡或固体石蜡。

32.1.4 试验步骤

32.1.4.1 称取通过 60 号筛的风干样品 1 克(精确到 0.01g)。有机质少的土样可称 2--5 克，将其小心放入 100 毫升离心管中。

32.1.4.2 沿管壁加入少量 EDTA-醋酸铵液，用橡皮头玻璃棒充分搅拌，使样品与交换剂混合，直到整个样品成均匀的泥浆状态，再加交换剂使总体积达 80 毫升左右，再搅拌 1--2min，然后洗净橡皮头玻璃棒。

32.1.4.3 将离心管在粗天平上成对平衡，对称放入离心机中离心 3--5min，转速 3000r/min 左右，弃去离心管中的清液。酸性及中性土测定盐基组成时，则将清液收集在 100 毫升容量瓶中，用提取剂定容至刻度，作为交换性盐基待测液，具体测定方法详见有关资料。

32.1.4.4 将载土的离心管管口向下用自来水冲洗外部，然后再用不含铵离子的 95%酒精如前搅拌样品，洗去过量的醋酸铵，洗至无铵离子反应为止。

附：检查铵离子方法：滴少量离心液于白瓷板上，加 1 滴纳氏试剂，无黄色产生即可，并用酒精作空白对照。

32.1.4.5 最后用自来水冲洗管外壁后，在管内放入少量自来水，以橡皮头玻璃棒搅成糊状，并洗入 150 毫升凯氏瓶中，洗入体积控制在 80--100 毫升左右，其中加 2 毫升液状石蜡(或 2 克固体石蜡)、1 克左右氧化镁，然后在氮仪上进行蒸馏，蒸馏方法同土壤全氮的测定。

32.1.4.6 以装有 2%硼酸溶液 25 毫升和 3 滴混合指示剂的三角瓶来接收馏出液，若没有蒸气蒸馏设备，可改为直接加热凯氏瓶苞，但在空白试验时，凯氏瓶内另加入玻璃珠 30--50 粒，加热时电炉上须加石棉网，以减少凯氏瓶内溶液的剧烈跳动。

32.1.4.7 接收液用 0.05mol/L 盐酸标准溶液滴定至微红色为终点，记录消耗盐酸标准溶液的体积(毫升)。

32.1.4.8 与上述试验同步做空白试验，即取未经交换剂提取土样，同样蒸馏滴定，记录滴定消耗盐酸标准溶液的体积(毫升)。

32.1.5 结果整理

32.1.5.1 阳离子交换量按下式计算

阳离子交换量(mmol/kg)= $C*(V-V_0)/m*1000$

式中：C--盐酸标准溶液的浓度，mol/L；

V--滴定待测液所用消耗酸量，毫升；

V_0 --空白试验时消耗盐酸量，毫升；

m--试验的用的土样质量，克。

32.1.5.2 本试验记录格式如表 32.1.5。

阳离子交换量试验记录(EDTA-铵盐快速法) 表 32.1.5

工程名称 试验计算者

土样编号 校核者

土样说明 试验日期

盐酸标准液的浓度(mol/L)			
试验次数		1	2
试验土样的质量 m(g)			
空白试验	滴定消耗 HCl 标准液的量(mL)		
	平均值 V_0 (mL)		
土样试验时消耗 HCl 标准溶液的体积 V(mL)			
阳离子交换量(m mol/kg)			

32.1.6 精密度和允许差

阳离子交换量试验结果的精度应符合附录 C 的规定。

32.1.7 报告

32.1.7.1 试验方法。

32.1.7.2 BG 土的鉴别分类和代号。

32.1.7.3 土的阳离子交换量(mmol/kg)。

32.2 草酸铵-氯化铵法(T0164-93)

32.2.1 目的和适用范围

本试验适用有机质含量在 5% 以下的石灰性土及中度盐渍化的土(须预先用 95% 酒精洗去盐分)。

32.2.2 仪器设备

32.2.2.1 天平

32.2.2.2 滴定管、三角瓶、移液管、漏斗、吸耳球。

32.2.2.3 振荡器。

32.2.3 试剂

32.2.3.1 草酸铵-氯化铵交换剂:称取 3.55g 分析纯草酸铵及 1.34g 分析纯氯化铵,共溶于蒸馏水中,稀释至 1000 毫升,PH 为 7.0 左右。

32.2.3.2 0.05mol/L NaOH 标准溶液:称取 2.0g 固体 NaOH(分析纯)溶于除去二氧化碳的冷水中,定容至 1000 毫升,贮于塑料瓶中,精确浓度用基准草酸标定。

32.2.3.3 0.05mol/LHCl 标准溶液:量取 4.1mL 浓 HCl 稀释至 1000 毫升。准确浓度以 0.05mol/L 标准 NaOH 溶液标定。

32.2.3.4 甲醛溶液:取市售溶液(37%)的上层澄清液,临用前加入甲基红指示剂:1 克酚酞溶于 100 毫升 80% 的酒精溶液中。

32.2.4 0.05mol/LNaOH 溶液浓度的标定步骤

32.2.4.1 称取基准结晶草酸 0.2000g 左右 $m_{H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O}$, 共称取三份。

32.2.4.2 将每份草酸溶于 50 毫升热水中,冷却后滴入 1% 酚酞指示剂 1--2 滴。

32.2.4.3 以待标定浓度的 NaOH 溶液滴定至粉红色,记录所消耗 NaOH 溶液的体积(mL)。

32.2.4.4 浓度计算按下式进行,取三次结果的算术平均值。

$$C_{NaOH} = \frac{m_{H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O}}{(126.07/2000) \cdot V_{NaOH}}$$

式中: $m_{H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O}$ --称取草酸的质量,克;

V_{NaOH} --滴定所消耗 NaOH 溶液的体积,毫升;

126.07/2000-- $1/2H_2C_2O_4 \cdot 2H_2O$ 的摩尔质量, kg/mol。

32.2.5 试验步骤

32.2.5.1 称取通过孔径为 0.5mm 筛的烘干土样 2 克,放入 200 毫升三角瓶中,用移液管加入草酸铵-氯化铵交换剂 25.0mL,振荡 2min,放置 1min,再振荡 2min(巨振荡器上连续振荡 10min)。用干滤纸过滤,在振荡及过滤的过程中,三角瓶和漏斗瓶须加盖,以防氨的逸出而影响测定结果。

32.2.5.2 吸取 10 毫升滤液,用 0.05mol/L(或 0.1mol/L)盐酸中和滤液至甲基红变红时,再加过量的酸(0.05mol/L HCl10mL 左右),煮沸 1--2min,除尽二氧化碳,冷却后用 0.05mol/LNaOH 溶液中和过量的酸,至溶液成橙黄色为止。

32.2.5.3 然后加入中和好的 37% 甲醛溶液 3 毫升及 1% 酚酞指示剂 2 滴,用 0.05mol/LNaOH 标准溶液下至明显的酚酞红色后,继续多加 1--2 毫升,即用 0.05mol/L 盐酸标准溶液回滴至黄色后,再用 NaOH 标准溶液继续滴定至微红色为终点,记录消耗的 NaOH 标准溶液和盐酸标准溶液的体积(毫升),精确至 0.01mL。

32.2.5.4 另用原交换剂 10 毫升,按上述方法经过驱除二氧化碳中和、滴定等手续,标定铵离子的含量。由标定和测定两者净消耗 NaOH 的体积之差。

32.2.6 结果整理

阳离子交换量按下式计算:

阳离子交换量(mmol/kg)=(V₀-V)C/m_s*100

式中：V₀--标定时净用 NaOH 标准液的量，毫升；

V--测定土样时净用 NaOH 标准液的量，毫升；

C--NaOH 标准液的浓度，mol/L；

m_s--与吸取滤液相应的干土重，克。

注：(1)甲醛溶液与空气接触时，易被氧化成甲酸。因此，宜在临用时中和较为可靠，甲醛有毒，切勿用嘴直接吸取。

(2)操作要严格，因为本法是根据交换剂的铵浓度与浸提液的铵浓度之差计算的交换量，由两大值之差所得的小值，其误差容易变大，同时土浸出液的 PH 值常在 8 以上，容易导致氨的损失。但实验证明，只要严格按照操作规程进行，完全能够获得满意的结果。

(3)土样浸提液经过滤后，如果不清，必须再行过滤。

本试验记录格式如表 32.2.6。

阳离子交换量试验记录(草酸铵-氯化铵法)表 32.2.6

工程名称 试验计算者

土样编号 校核者

土样说明 试验日期

盐酸标准液的浓度 C _{HCl} (mol/L)			
氢氧化钠标准液的浓度 C _{NaOH} (mol/L)			
试验次数		1	2
土样质量(g)			
空白标定试验	C _{HCl} 的用量(mL)		
	C _{NaOH} 的用量(mL)		
	C _{NaOH} 的净用量(mL)		
	平均消耗 C _{NaOH} 的用量(mL)		
土样	C _{HCl} 的用量(mL)		
	C _{NaOH} 的用量(mL)		
	C _{NaOH} 的净用量(mL)		
校正空白标定后 C _{NaOH} 的净用量(mL)			
阳离子交换量(mmol/kg)			

32.2.7 报告

32.2.7.1 试验方法

32.2.7.2 土的鉴别分类和代号

32.2.7.3 土的阳离子交换量(mmol/kg)。

第 33 章

33 矿物成分试验

33.1 硅的测定(T0165-93)

33.1.1 目的和适用范围

本试验适用种类土。如遇盐渍土时，在进行矿物成分测定前，应先用酒精将盐分淋洗除后，再烘干测定。

33.1.2 仪器设备

33.1.2.1 高温电炉(或称马福炉)。

33.1.2.2 铂坩埚、瓷坩埚(1000 毫升)。

33.1.2.3 附有铂头的长柄坩埚钳。

33.1.2.4 分析天平，感量 0.0001g。

33.1.2.5 烧杯、表皿、容量瓶等玻璃仪器。

33.1.2.6 水浴锅。

33.1.2.7 滤纸(快速、无灰)。

33.1.3 试剂

33.1.3.1 无水碳酸钠:分析纯试剂须在 120 摄氏度烘干磨细。

33.1.3.2 1%动物胶溶液:0.5 克动物胶溶于 50 毫升沸水，加热并搅动至全部溶解。

33.1.3.3 1 比 5 盐酸溶液:1 份浓盐酸用 5 份水稀释。

33.1.3.4 浓盐酸:分析纯，比重 1.19。

33.1.3.5 1%的硝酸银溶液:1 克硝酸银溶于 1000 毫升蒸馏水，贮于棕色瓶中。

33.1.4 试验步骤

33.1.4.1 于铂坩埚内预先加入约 2.5 克的无水碳酸钠，用分析天平精确称入通过 0.1mm 筛孔的烘干土样 0.5000g。用细的圆头玻璃棒仔细搅拌均匀，在试验台面上轻轻敲击，使坩埚中物质坚实后，再往坩埚内铺上一层碳酸钠(约 0.5g)，加上铂坩埚盖。

33.1.4.2 置此铂坩于底部已铺有石棉丝(已燃烧过)的大瓷坩埚内，然后用长柄坩埚钳住坩埚，送入已升温至 950 摄氏度的高温炉门口，合上炉门，先热 2min；打开炉门，将坩埚移入炉中央，继续灼烧 6--8min 取出坩埚，立即用附铂头钳子夹起铂坩埚，将其下部浸入冷水，上下移动几次，使熔融物凝固而脱离坩埚壁。

33.1.4.3 待完全冷却后，用少量沸水浸取熔块，倾入 200 毫升烧杯内，继续以热水洗净坩埚，最后用 1 比 5HCL 洗涤 3 次，每次用量不宜太多。溅到盖上的溶融物也须以热水及 1 比 5HCL 洗入杯内。最好总的洗液体积不要超过 25 毫升。

33.1.4.4 将杯子加盖表皿，从杯口逐滴滴入 1 比 1HCL，并时时摇动杯子，使其充分作用，待不再发生气泡后，停止加酸，并用蒸馏水吹洗杯壁及表面。移烧杯于电炉土，煮沸片刻(注意:勿使溅出)，然后加入 1 倍其体积的浓盐酸(过量一点)搅拌均匀。

33.1.4.5 将杯移入 70 摄氏度的热水浴内，温热几分钟。使杯内外温度一致后，用移液管缓缓滴入热的新配制的动物胶溶液 10 毫升，随滴随加搅拌。加动物胶须继续搅拌 4min，并继续保温 15min。

33.1.4.6 取出烧杯，稍冷，过滤于快速无灰滤纸上。先以 1 比 5 热盐酸洗涤 3 次，再认热水洗涤至 CL⁻反应为止(用硝酸银溶液检验)，但洗涤次数不宜过多(一般 6--8 次)。接滤液及洗涤液于 250 毫升容量瓶中，冷却后加水至刻度，此为 A 溶液，供下列各试验之用。

33.1.4.7 沉淀放入已经烧至恒量的瓷坩埚中，经烘干、灰化、灼烧(900--950 摄氏度 0.5h)，称量，并重复灼烧至恒量为止(前后两次称量之差不超过 0.3mg 即可)。同时必须按本规程 33.1.4.1 至 33.1.4.7 步骤做空白试验，以减去空白质量，得二氧化硅实量。

33.1.5 结果整理

33.1.5.1 二氧化硅含量按下式计算：

$$S_iO_2(\%) = [m_2 - m_1 - m_0] / m * 100$$

式中： m_2 --灼烧后坩埚加二氧化硅质量，克；

m_1 --空坩埚质量，克；

m_0 --空白质量，克；

m --烘干土样质量，克。

33.1.5.2 本试验记录格式如表 33.1.5。

二氧化硅含量试验记录 表 33.1.5

工程名称 试验计算者

土样编号 校核者

土样说明 试验日期

试验次数	1	2	3
烘干土样质量 $m(g)$			
坩埚+沉淀质量 (m_2)(g)	第一次称量		
	第二次称量		
空坩埚质量 $m_1(g)$			

空白试验 S_iO_2 质量 $m_0(g)$			
沉淀质量 $m_2-m_1(g)$			
$S_iO_2(\%)=[m_2-m_1-m_0]/m*100$			
$S_iO_2(\%)$ 平均值			

33.1.6 报告

33.1.6.1 土的鉴别分类和代号

33.1.6.2 土中二氧化硅含量(%)。

33.2 倍半氧化物(R_2O_3)总量的测定(T0166-93)

33.2.1 目的和适用范围

本测定采用质量法，适用于各类土。

33.2.2 仪器设备

33.2.2.1 高温电炉。

33.2.2.2 分析天平。

33.2.2.3 铂坩埚及铂金包头的坩埚钳。

33.2.2.4 水浴锅及调压变压器。

33.2.2.5 普通电炉。

33.2.2.6 通风橱

33.2.2.7 烧杯等玻璃仪器。

33.2.3 试剂

33.2.3.1 2%硝酸铵溶液：称固体硝酸铵(分析纯)20克溶于蒸馏水中，然后稀释至1000毫升，以硝酸和氢氧化铵调至PH7。

33.2.3.2 硝酸银溶液：称硝酸银(化学纯)1.7g溶于蒸馏水中，然后定容至100毫升，贮于棕色瓶中。

33.2.3.3 1比1氢氧化铵：1份浓氢氧化铵(分析纯)加1份蒸馏水。

33.2.3.4 1比1HCL溶液；浓硝酸；浓盐酸。

33.2.3.5 0.1%甲基红指示剂：溶解0.1g甲基红于100毫升99%酒精中。

33.2.4 试验步骤

33.2.4.1 吸取A溶液100毫升，放入300毫升烧杯内，加盖表皿后往电炉上加热至沸，滴加浓硝酸3滴，继续煮沸10min。从电炉上取下烧杯，缓缓地逐滴加入氨水，边滴边搅拌，至有沉淀出现而搅动又溶液时，加入甲基红指示剂2滴，此时溶液呈红色，继续滴加氨水至有大量沉淀出现，并且溶液由红色变主黄色后，再多加2滴，重新煮沸0.5h，移至温处，静置片刻。

33.2.4.2 待溶液澄清，即趁热过滤于快速定量滤纸上，过滤时不使漏斗内溶液流尽，而必须连续倾入，直至杯内溶液全部倾完为止。以热至近沸的中性硝酸铵溶液洗涤烧杯及滤纸3次。

33.2.4.3 取上漏斗，斜放于原沉淀之烧杯内，用蒸馏水流将沉淀吹洗入烧杯内(注意：勿使损失)。加入浓HCL5毫升，加热沸腾，使沉淀溶解，再如前用氨水重新沉淀，过滤于原来的滤纸上，并以热的中性硝酸铵溶液洗涤6-8次，将前后两次滤液及洗承接500毫升容量瓶中，加水定容后为B溶液，供钙、镁测定之用。

33.2.4.4 沉淀及滤纸移入已经恒量的瓷坩埚中，烘干、灰化，并在950摄氏度的高温炉中灼烧0.5h。在浓 H_2SO_4 干燥器中冷却，称量，并重复灼烧至前后两次质量之差不超过0.0005g为止。

33.2.5 结果整理

33.2.5.1 倍半氧化物总量按下式计算：

$$R_2O_3(\%)=(m_2-m_1)m*t_s*100$$

式中： m_2 --瓷坩埚+ R_2O_3 的质量，克；

m_1 --瓷坩埚的质量，克；

m --烘干土样的质量，克；

t_s --分取倍数

t_s =待测液(A)总体积(毫升)/吸取待测液的体积，毫升。

33.2.5.2 本试验记录格式如表 33.2.5。

33.2.6 精密度和允许差

倍半氧化物总量测定结果的精度应符合附录C的规定。

33.2.7 报告

33.2.7.1 土的鉴别分类和代号

33.2.7.2 土中倍半氧化物总量(%)。

倍半氧化物总量试验记录 表 33.2.5

工程名称 试验计算者

土样编号 校核者

土样说明 试验日期

试验次数	1	2	3
烘干土样质量 $m(g)$			

坩埚+沉淀质量(m ₂)(g)	第一次称量			
	第二次称量			
空坩埚质量 m ₁ (g)				
沉淀质量 m ₂ -m ₁ (g)				
R ₂ O ₃ (%)=(m ₂ -m ₁)/m*t _s *100				
R ₂ O ₃ (%)平均值				

33.3 铁、铝的测定(T0167-93)

33.3.1 目的和适用范围

铁与铝的测定采用 EDTA 连续滴法，它适用于各类土。

33.3.2 仪器设备

33.3.2.1 酸式滴定管:50 毫升，精确至 0.1mL。

33.3.2.2 移液管(大肚型)50 毫升。

33.3.2.3 烧杯，20 毫升。

33.3.2.4 调温电炉。

33.3.3 试剂

33.3.3.1 10%磺基水杨酸钠溶液:称取 10 克固体磺基水杨酸钠先溶于 90 毫升蒸馏水中，再加入 3 毫升 20%氢氧化钠溶液。

33.3.3.2 二甲酚橙干燥指示剂：0.5g 固体二甲酚橙与 50 克干燥氯化钠研磨均匀，贮于试剂瓶中。

33.3.3.3 醋酸铵-醋酸缓冲溶液：60 克结晶醋酸铵与 5 毫升冰醋酸混合，以蒸馏水稀释至 100 毫升。

33.3.3.4 0.01mol/L 醋酸锌标准溶液：称取 2.2g 醋酸锌溶于 1L 蒸馏水中，如溶液水解变成胶状，可滴入几滴醋酸(30%)充分摇匀，直至清亮为止。

33.3.3.5 0.01mol/L EDTA 二钠盐标准溶液：见本规程 29.8.3.6 和 29.8.4。

33.3.4 试验步骤

33.3.4.1 用 50 毫升移液管吸取 A 液 50 毫升，放入 200 毫升烧杯中，加入浓硝酸 0.5mL 后加热并煮沸 5min，放冷后，加入磺基水杨酸钠溶液 2 毫升。慢慢滴入 20%氢氧化钠溶液，边加边搅，至溶液呈现葡萄酒红色(如含铁量多，即成暗红色)。此时溶液时的 PH 即为 2.5 左右，加热至 45--55 摄氏度，即用 EDTA 二钠盐标准溶液滴定至亮黄色。当滴定近终点时，一字要放慢滴定速度，每滴一滴后都要充分搅动，待溶液颜色稳定后，再滴加第二滴。

33.3.4.2 于滴定完毕的溶液中再继续放入 EDTA 二钠盐标准溶液 25mL,投入刚果红试纸一片，若变为蓝色或紫色，则须滴入 1 比 1 氨水至试纸略显红色。然后加入醋酸铵-醋酸缓冲溶液 8 毫升，并煮沸 3min，放冷至 60 摄氏度，再加入二甲酚橙粉末指示剂少许，使溶液显橙黄色，即以醋酸锌标准溶液滴定至红色为终点。

33.3.4.3 同时必须做空白标定试验，即从滴定管放出 25 毫升 EDTA 二钠盐标准溶液于烧杯中，加入 25 毫升蒸馏水，用 1 比 1 氨水调 PH 为 4--5 之间，仍以刚果红试纸检验，再加入缓冲液，煮沸，冷至 60 摄氏度滴定。

33.3.5 结果整理

33.3.5.1 铁、铝氧化物含量按下式计算：

$$Fe_2O_3(\%)=(c \cdot V \cdot 0.07985) / m \cdot 50 / 250 \cdot 100$$

$$Al_2O_3(\%)=[c(V_2-V_1) \cdot (25/V_2) \cdot 0.05098] / m \cdot 50 / 250 \cdot 100$$

式中：c--EDTA 二钠盐标准溶液的浓度，mol/L；

V--第一次滴定消耗 EDTA 二钠盐标准液的体积，毫升；

V₂--空白标定试验时滴定消耗醋酸锌标准液的体积，毫升；

V₁--第二次滴消耗醋酸锌标准液的体积，毫升；

25/V₂--EDTA 二钠盐消耗醋酸锌标准液的体积，毫升；

m--烘干土样的质量，克；

50/250--试验时分取 A 液的体积/A 液总体积；

0.07985--Fe₂O₃ 的摩尔质量，g/mmol；

0.05098--Al₂O₃ 的摩尔质量，g/mmol；

33.3.5.2 本试验记录格式如表 33.3.5。

33.3.6 报告

33.3.6.1 土的鉴别分类和代号。

33.3.6.2 土中铁氧化物含量(%)。

33.3.6.3 土中铝氧化物含量(%)。

铁、铝试验记录

工程名称 试验计算者

土样编号 校核者

土样说明 试验日期

EDTA 二钠盐标准溶液浓度(mol/L)			
试验次数	1	2	3
土样质量 m(g)			

滴定铁消耗 EDTA 二钠盐 标准液的体积 V(mL)			
滴定铝消耗 ZnAc ₂ 标准液的体积 V ₁ (mL)			
滴定 EDTA 二钠盐消耗 ZnAc ₂ 标准液的体积 V ₂ (mL)			
$Fe_2O_3(\%) = (C \cdot V \cdot 0.07985) / 1.5m \cdot 100$			
Fe ₂ O ₃ 平均值(%)			
$Al_2O_3(\%) = [C(V_2 - V_1) \cdot 25 / V_2 \cdot 0.05098] \cdot 100 / (1 / 5m)$			
Al ₂ O ₃ 平均值(%)			

33.4 钙、镁测定(T0168-93)

33.4.1 目的和适用范围

本试验方法适用各类土。

33.4.2 仪器设备

33.4.2.1 酸式滴定管，50 毫升，准确至 0.01mL。

33.4.2.2 移液管(大肚型)，50 毫升或 100 毫升。

33.4.2.3 烧杯，150 毫升、200 毫升。

33.4.2.4 试剂瓶、量筒等。

33.4.3 试剂

33.4.3.1 20%氢氧化钠溶液

33.4.3.2 20%三乙醇胺溶液：20 毫升三乙醇胺溶于 80 毫升水中。

33.4.3.3 5%盐酸羟胺溶液：5 克盐酸羟胺溶于 100 毫升水中。

33.4.3.4 0.01mol/L EDTA 二钠盐标准溶液：参见本规程 29.8.3.6 及 29.8.4。

33.4.3.5 钙红指示剂：参见本规程 29.6.3.4。

33.4.3.6 K-B 指示剂：参见本规程 29.6.3.3。

33.4.3.7 PH 试纸：1--14。

33.4.4 试验步骤

33.4.4.1 用移液管吸取 B 溶液 100 毫升两份，分别放入 150 毫升烧杯中，加入三乙醇胺溶液各 1mL,充分搅匀，放置数分钟。

33.4.4.2 取其一一份测定钙。用 20%NaOH 溶液调节待测溶液的 PH 至 13--13.5(约 6--8 毫升，用 PH 试验检验。)加入外红指示剂少许(约 0.1g)若 PH 及指示剂均合乎要求，此时溶液呈红色，立即用 0.01mol/L EDTA 二钠盐标准溶液滴定，当溶液由红色突变成纯蓝色时，即为滴定终点。

33.4.4.3 另取 1 份测定钙、镁总量。加入浓氨水调节待测液的 PH 为 10(用 PH 试纸检验)，加入 K-B 混合指示剂约 0.2 克，即以 0.01mol/L EDTA 二钠盐标准溶液滴定，当溶液由玫瑰色突变成纯蓝色时即为滴定终点。

33.4.5 结果整理

第 34 章

附录 A 试验成果的分析整理方法

在试验成果的分析整理时，必须坚持理论与实际统一的原则。以现场和工程的具体条件为依据，以测试所得的实际成果为基础，以数理统计分析为手段，以土力学的基本理论为指导，区别不同条件，针对不同要求，采取不同方法。

土工试验测得的土性指标，可按其在工程设计中的实际作用区分为一般特性指标和主要计算指标，前者如土的天然密度、天然含水量、颗粒比重、颗粒组成、液限、塑限、有机质、水溶盐等，系指作为对土分类定名和阐明其物理化学特性的土性指标，后者如土的凝聚力、内摩擦角、压缩系数、回弹模量或承载比、渗透系数等，系指在设计计算中直接用以确实土体对于强度、变形和强度稳定性的土性指标。

对于一般特性指标的成果整理，通常可采用多次测定值 x_i 的算术平均值 \bar{x} ，并计算相应的标准差 S 与变异系数 C_v ，或绝对误差 m_x 与精度指标 P_x ，以反映实际测定值对于算术平均值的变化程度，从而判别其采用算术平均值的可靠性。算术平均值、变异系数、绝对误差和精度指标按下列各式确定：

$$\bar{x} = \frac{\sum x_i}{N} \quad \text{欠公式}$$

$$C_v = \pm S/\bar{x} * 100\%$$

$$P_x = \pm m_x/\bar{x} * 100\%$$

式中：指标各测定值的总和；

N --指标测定的总次数。

对于试验成果中那些明显不合理的数据，应通过仔细调查研究，分析原因，或有条件时，进行一定的补充试验，以便决定对可疑数据的联欢会或改正。当最后舍弃试验数据时，应根据误差分析的概念，按 3 倍标准差(即 $\pm 3S$)作为舍弃标准，即在资料分析中，应该舍弃那些在 $\bar{x} \pm 3S$ 范围以外的测定值，然后再重新计算整理。

对于主要计算指标，在进行成果整理时，如果测定的组数较多，此时指标的最佳值接近于诸测值的算术平均值，仍可按上述对于一般特性指示的方法确实其设计计算值，即采用算术平均值。但通常由于试验的数据较少，考虑到测定误差的影响，土体本身不均匀的影响，施工质量的影响以及构造物的规模和设计阶段，为安全计，除对于初步设计和次要的构造物可采用算术平均值作为计算指标外，一般均应区别不同指标在设计计算中的不得影响，采用一个略大于(或低于)算术平均值的数值，作为计算指标。其高于(或低于)算术平均值的幅度，应视测定次数的多少、土对算术平均值加(或减)一个标准差的绝对值，如 $\bar{x} \pm S$ ；或采用保证率平均值加(或减)一个按要求的保证率 a 所确定的保证值，如 $\bar{x} \pm t_a \cdot S/N$ 。

N 式中 S 为标准差， N 为测定次数， t_a 可按要求的保证率 a 和自由度($N-1$)由 t 分布表查得， t_a/N 值见表 A1。在上述取值法中，建议优先考虑保证率平均值，大平均值(或小平均值)和标准平均值，因其较为方便，可直接使用于一般构造物的初步设计，例如，抗剪强度取小值平均值，压缩变形取大值平均值，渗透系数在计算渗量时取大值平均值，计算渗透变形时取小值平均值等。

t_a/N

$N \backslash a$	0.10	0.05	0.025
2	2.177	4.465	8.986
3	1.089	1.686	2.484
4	0.819	1.177	1.591
5	0.388	0.953	1.242
6	0.603	0.823	1.050
7	0.544	0.743	0.925
8	0.500	0.670	0.836
9	0.466	0.620	0.769
10	0.437	0.580	0.715
11	0.414	0.546	0.672
12	0.393	0.518	0.635
13	0.376	0.494	0.604
14	0.361	0.473	0.577
15	0.347	0.455	0.554
16	0.355	0.438	0.533
17	0.324	0.423	0.614
18	0.314	0.410	0.497
19	0.310	0.398	0.482
20	0.297	0.387	0.468
21	0.289	0.376	0.455
22	0.282	0.367	0.443

23	0.275	0.358	0.432
24	0.269	0.350	0.422
25	0.264	0.342	0.413
26	0.258	0.335	0.404
27	0.253	0.328	0.396
28	0.248	0.322	0.388
29	0.244	0.316	0.380
30	0.239	0.310	0.373

土工试验中,有些计算指标(如内摩擦角、凝聚力 c 和压缩系数 a 等)需要由不同垂直压力下测得的某中指标(如抗剪强度和孔隙比等)经过综合整理求取,在有些情况下,尚需求出不同土体单元综合使用时的计算指标。这种综合性的土性指标,一般可按图解法或最小二乘分析法确定。

G_s 或 G 、 w 和 e 为基本指标,由这 3 个指标可求出任一其它指标。根据 2--3 个指标,可求算另一指标。土工常用指标的换算见表 A2,计算公式中的含水量值均以小数计。

根据送样者提出的要求,说明采用的试验方法和仪器,通过数据分析,提出推荐的数据。对于试验成果中的土的基本物理、力学、化学性质指标可根据需要汇列总表,以便了解各个试样之间的差别和分析各项指标之间的相互联系,提出使用的试验报告,必须经过审核手续,建立必要的责任制度。

欠表 284--285

第 35 章

附录 B 土类的名称和代号

名称 代号

漂石 B

块石 B_n

卵石 C_b

小块石 C_{ba}

漂石夹土 BSI

卵石夹土 CbSI

漂石质土 SIB

卵石质土 SIC_b

级配良好砾 GW

级配不良砾 GP

细粒质砾 GF

粉土质砾 GM

粘土质砾 GC

级配良好砂 SW

级配不良砂 SP

粉土质砂 SM

粘土质砂 SC

高液限粉土 MH

低液限粉土 ML

含砾高液限粉土 MHG

含砾低液限粉土 MLG

含砂高液限粉土 MHS

含砂低液限粉土 MLS

高液限粘土 CH

低液限粘土 CL

含砾高液限粘土 CHG

含砾低液限粘土 CLG

含砂高液限粘土 CHS

含砂低液限粘土 CLS

有机质高液限粘土 CHO

有机质低液限粘土 CLO

有机质高液限粉土 MHO

有机质低液限粉土 MLO

黄土(低液限粘土) CLY

膨胀土(高液限粘土) CHE

红土(高液限粉土) MHR

盐渍土 St

第 36 章

附录 C 各项试验结果的允许差

1、全盐量(质量法)两次测定的允许偏差

全盐量范围(%)	允许相对偏差(%)
<0.05	15--20
0.05--0.2	10--15
0.2--0.5	5--10
>0.5	<5

2、易溶盐各离子的允许偏差

各离子含量的范围 m(mol/kg)								相对偏差
CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	Cl ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ²⁺	K ⁺	%
<2.5	<5.0	<2.5	<5.0	<2.5	<2.5	<5.0	<5.0	10--15
2.5--5.0	5.0--10	2.5--5.0	5.0--10	2.5--5.0	2.5--5.0	5.0--10	5.0--10	5--10
5.0--25	10--50	5.0--25	10--50	5.0--25	5.0--25	10--50	10--50	3--10
>25	>50	>25	>50	>25	>25	>50	>50	<3

3、有机质测定的允许偏差

测定值(%)	绝对偏差(%)	相对偏差(%)
10--5	<0.3	3--4
5--1	<0.2	4--5
1--0.1	<0.05	5--6
0.1--0.05	<0.004	6--7
0.05--0.01	<0.006	7--9
<0.10	<0.008	9--15

4、阳离子交换量测定结果允许偏差

测定值 m (mol/kg)	绝对偏差 m(mol/kg)	相对偏差(%)
300--200	<10	3--4
200--100	<8.0	4--5
100--50	<5.0	5--6
50--10	<3.0	6--9
<10	<1.0	9--15

5、碳酸钙测定允许偏差

碳酸钙(%)	绝对偏差(%)	相对偏差(%)
20--10	<1	5--7
10--5	<0.8	7--11
5--1	<0.6	11--17
<1	<0.2	17--25

6、矿质全量分析及烧失量测定结果允许偏差

测定值(%)	绝对偏差(%)	相对偏差(%)
>50	<0.9	1.0--1.5
50--30	<0.7	1.5--2.0
30--10	<0.5	2.0--3.0
10--5	<0.3	3.0--4.0

5--1	<0.2	4.0--5.0
1--0.1	<0.05	5.0--6.0
0.1--0.05	<0.006	6.0--8.0
0.05--0.01	<0.004	8.0--10.0
0.01--0.005	<0.001	10.0--12.0
0.005--0.001	<0.0006	12--15.0
<0.001	<0.00015	15.0--20.0

7、PH 的测定结果允许偏差

两次称样平行测定结果允许差为 0.1PH。

8、中溶盐石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)测定结果的允许偏差

容量法允许绝对误差为 0.05%

质量法允许绝对误差为 0.2%

第 37 章

附录 D 二氧化碳密度表($\mu\text{g/mL}$)(气压*133.322)

气压(Pa) 温度(摄氏度)	742	744.5	747	749	751	753.5	756	760	758	762.5	765	767	769	711	774
28	1778	1784	1791	1797	1804	1810	1817	1829	1820	1833	1837	1842	1847	1852	1856
27	1784	1790	1797	1803	1810	1816	1823	1834	1823	1839	1843	1848	1853	1858	1863
26	1991	1797	1803	1809	1816	1822	1829	1840	1835	1845	1840	1845	1859	1864	1869
25	1797	1803	1810	1816	1823	1829	1836	1847	1842	1852	1856	1861	1866	1871	1876
24	1803	1809	1816	1822	1829	1837	1842	1853	1848	1858	1862	1867	1872	1877	1882
23	1809	1815	1822	1828	1835	1841	1848	1859	1854	1864	1868	1873	1878	1883	1888
22	1815	1821	1828	1834	1841	1847	1854	1865	1860	1870	1875	1880	1885	1890	1895
21	1822	1828	1835	1841	1848	1854	1860	1872	1867	1877	1882	1887	1892	1897	1902
20	1828	1834	1841	1847	1854	1860	1867	1878	1873	1883	1888	1893	1898	1903	1908
19	1834	1840	1847	1853	1860	1866	1873	1884	1879	1889	1894	1899	1904	1909	1914
18	1840	1846	1853	1859	1866	1872	1879	1890	1885	1895	1900	1905	1910	1915	1920
17	1846	1853	1860	1866	1873	1879	1885	1897	1892	1902	1907	1912	1917	1922	1927
16	1853	1860	1866	1873	1879	1886	1892	1903	1898	1908	1913	1918	1923	1928	1933
15	1869	1866	1872	1879	1886	1892	1898	1910	1905	1915	1920	1925	1930	1935	1940
14	1855	1875	1878	1885	1892	1899	1905	1917	1912	1922	1927	1932	1937	1942	1947
13	1872	1878	1885	1892	1899	1906	1912	1924	1919	1929	1934	1939	1944	1949	1954
12	1878	1885	1892	1899	1906	1912	1919	1930	1925	1935	1940	1945	1950	1955	1960
11	1885	1892	1899	1906	1913	1919	1925	1937	1932	1942	1947	1952	1957	1962	1967
10	1892	1899	1906	1913	1920	1926	1932	1944	1939	1949	1954	1959	1964	1969	1974

附加说明

本规程主编单位、参加单位和主要起草人名单

主编单位：交通部公路科学研究所

参加单位：交通部第二公路勘察设计院

湖南省交通科学研究所

主要起草人：饶鸿雁 杨世基 刘书套 冯冠庆 郝传毅

公路土工试验规程条文说明

修订说明

根据交通部工程司下达修订《公路土工试验规程 JTJ051-85》(以下简称《85 规程》)的任务，交通部公路科学研究所和参加单位在 1990 至 1992 的三年时间内，遵照 1989 年 10 月在西安召开的《85 规程》座谈会纪要精神，以两个现行国家标准《土工试验方法标准 GBJ123-88》和《土的分类标准 GBJ145-90》为基础，对《85 规程》进行了修订，又参考 1988 年实施的国家标准《森林土壤分析方法》，对化学性质试验也进行了修订，这次修订的主要内容为：

一、土分类：遵照国家标准《GBJ145-90》，对《85 规程》中的公路土分类进行了较大的修改。

二、含水量：取消了炒干法。

三、密度试验：以灌水法取代水袋法；以灌砂筒和标定罐取代由漏斗、漏斗架、防风筒和套环组成的灌砂法密度试验仪，以电动取土器法取代手工取土器法。

- 四、比重试验：取消了比重瓶的计算校正法；增列了浮称法和虹吸筒法。
- 五、颗粒分析试验：增加了甲种比重计法。
- 六、收缩试验：增列了原状土收缩试验
- 七、膨胀试验：增加了有荷载膨胀量试验和膨胀力试验。
- 八、增列了对粗粒土和巨粒土的最大干密度试验。
- 九、回弹模量试验：增列了强度仪法；取消了抗压法。
- 十、直接剪切试验：增列了粘质土的慢剪试验。
- 十一、取消了十字板剪切试验和无凝聚性土天然坡角试验。
- 十二、酸碱度试验：删去了比色法。
- 十三、易溶盐试验:修订了硫酸根测定的质量法和 EDTA 间接配位滴定法；增列了钠、钾离子的火焰光度法；删去了钠、钾离子总量的计算。
- 十四、中溶盐试验：删去了容量法；增列了质量法。
- 十五、难溶盐试验：删去了容量法。
- 十六、阳离子交换量试验:删去了“酸性土交换性盐基组成的测定”和“石灰性土代换性钙的测定”。
- 十七、矿物成分试验:删去了氧化钛、五氧化二磷及氧化钠、氧化钾的计算。
- 十八、增列了各项化学性质试验结果的允许差表(附录 C)和二氧化碳密度表(附录 D)。

为便于有关设计、施工、科研、教学等单位人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《公路土工试验规程》编制组根据建设部《工程建设技术标准编写暂行办法》(91 年建标技字第 32 号文)的统一要求，按《公路土工试验规程》的章、节、条顺序，编制《公路土工试验规程条文说明》，供国内公路部门和单位参考。在使用中如发现本条文说明有欠妥之处，请将意见直接函寄北京北三环中路 48 号交通部公路科学研究所(邮政编码 100088)。

第 38 章

1 总则

1.0.1 本规程包括 29 个测定土的基本工程性质的试验项目。修订本规程的目的是使公路系统的试验室在进行土工试验时有一个统一的试验准则,使所有的试验及试验结果具有一致性和可比性。

1.0.3 至 1.0.4 共性技术要求系指土的物理、水理、力学和化学性质试验中带共性的要求或标准,内容涉及土性指标的选择、成果整理、指标换算和试验报告等,是参考其他部门经验并结合公路工程特点制订的。

1.0.5 本规程中土的工程分类系以国家标准《土的分类标准 GBJ145-90》为基础进行编制的,各项基本试验遵照《土工试验方法标准 GBJ123-88》对《公路土工试验规程 JTJ051-85》(以下简称《85 规程》)进行了修订。

2 土的工程分类

2.1 一般规定

2.1.1 本分类以《土的分类标准 GBJ145-90》为基础,系为公路岩土工程进行分类而编制,属专门分类标准,内容包括对土类进行鉴别,确定其名称和代号,并给以必要的描述。由此可使公路工程用土的名称统一,并对土的工程性质具有定性的了解。

2.1.2 土的工程分类是土工试验方法的内容之一,故分类试验就遵照本规程有关试验项目中规定的方法和要求进行。

2.1.3 本分类将土分为巨粒土、粗粒土、细粒土和特殊土,可以满足一般的工程需要。由于土分类系按扰动试样进行,因此,土的天然状态如密度的松紧,含水状态的干、湿,结构状态的成层或异性,历史应力为正常固结或超固结等,分类中均未考虑,也不可能考虑。为此,象软土、冻土等都没有列入本标准。土的地质成因对土的性质有一定影响,但目前还没有反映这种因素的定量指标,而且属于同一成因的土类,其性质也会千差万别,所以绝大多数分类都不按成因划分土类,填土实际上是一种无确实概念的材料,可以是本标准所包括的各种土类,也可以是建筑房渣或工业弃料,遇到这种情况,建议在试样描述中详细记录说明。盐渍土是我国西北地区分布广泛的土类,本标准将其并入特殊土,但以含盐量作为划分依据。

2.1.4 粗粒土的性质主要决定于土颗粒的粒径分布和特征,而细粒土的性质却主要取决于土粒和水相互作用的状态,即决定于土的塑性,土中有机质对土的工程性质也有影响,土颗粒的分布特征可用筛分法也可用筛分法确定,土的塑性指标易于借常规试验测定。这些特征和指标也可在现场凭目测和触感的经验方法估计,根据这些性和指标判别土类,即能反映土的主要物理力学性质,操作也方便。

2.1.5 粒组划分界限系反映土的某些性质改变的粒径值,如具有分子运动、毛细管水上升、亲水性、渗透性等。本分类采用的粒范围主要是根据国外标准并结合实际应用而规定的。关于粘粒与粉粒的交界粒径,目前世界多数国家已采用 0.002mm 作为标准。《GBJ145-90》采用 0.005mm 作为粘粒上限。但鉴于我国公路部门在过去多采用 0.002mm 作为粘粒上限。又鉴于活动性指标 a 计算公式 $a=I_p/C$ 中的 C 系小于 0.002mm 的颗粒含量,根据一千多个土样试验结果的回归分析,发现活动性指数 a 与粘粒($<0.002\text{mm}$)含量 C 呈 $a=aC^{-1}$ 的曲线关系。因此,用 0.002mm 作为粘粒上限,更能反映土的活性。

2.1.6 粗粒土的可压实性、强度、压缩性和渗透性等均与土的级配有关。 C_u 和 C_c 两指标是国际通用指标。

2.1.7 塑性图是美、英、日、德等国长期用于细粒土分类标准国际上称它为卡氏(Casarande)塑性图。图中的液限是由国外广泛应用的卡氏碟式仪测定的,为照顾到我国实际情况《GBJ F45-90》采用了两个液限标准 L 和 L_{10} , L 与碟式仪液限时液限采用碟式仪或相当于 76 克锥入土深度 10 毫米时的液限。在一个国家同时出现两个液限标准,不能算是标准,耐用容易千万混乱。在公路系统,宜采用 100 克锥液限标准。为了不使分类过细,仍如《GBJ 145-90》一样,塑性图只采用 A、B 两条线,A 线上有机土分别用 CHO 和 CLO 表示。

2.1.8 本分类采用的各种代号和国外采用的相同,只是几种特殊土的代号系本标准所规定,以免与其它代号相混。国际上对漂石与块石、卵石与小块石、砾石与角砾均用同一代号表示,不易区分,建议用棱角形“angular”的第一个字母“a”作为 B、Cb 和 G 的脚标加以区分,即块石为 B_a , 小块石为 Cb_a , 角砾 G_a 。

2.2 巨粒土分类

2.2.1 与国外分类相比,巨粒土分类体系是我国分类标准的特色之一。本分类将含巨粒的土分为三档:

土中巨粒组质量超过总质量 50%的土称巨粒土,这里巨粒在土中起骨架作用,部分起充填作用,笼统称为漂(卵)石质土。土中巨粒组质量少于总质量 15%时,巨粒体积将不足试样总体积 10%,可视为散布在土内的零星颗粒,对土的总体性状不致有明显影响,故可舍去不计,扣除巨粒后土样按粗粒土或细粒土的相应规定分类定名。

2.2.2 至 2.2.6 土中巨粒组质量多于试样总质量 75%时,它们在土中所占体积已超过三分之二,形成了骨架,对土的性状起主宰作用,这类土应称(纯)巨粒土。

巨粒组为总质量的 75%--50%,巨粒虽起主要作用,但土料的影响也不可忽视,为简化起见,定名为漂(卵)石夹土。

漂石质量多于总质量 50%的土称漂石,这里漂石含量以试样总质量计,是为了与我国一些专门标准中的累积含量的概念取得一致。

漂石质量少于总质量 50%的土称卵石,从土的力学性质来看,此种土可能被“降级”使用,因为此时漂石粒质量可能比卵石粒的还要多。

漂(卵)石夹土的划分也基于上述考虑。

漂(卵)石质土是根据习惯概念分类定名。

2.3 粗粒土分类

2.3.2 砾类土按其中含细粒的多少可分为三档。当细粒组含量少于 5%时,细粒对砾类土性质无甚影响,应认为是(纯)砾。此时级配对土的性质有明显影响,应予考虑,本分类采用的两个级配指标和界限系根据我国长期工程经验,并参考国外主要标准确定的。

2.3.3 砂类土的分类定名和砾石土一一对应，是符合一般习惯推理的。

2.4 细粒土分类

2.4.1 经粒土可分成以下几种情况：

一、土内粗粒组含量少于总质量的 25% 时，粗粒零星散布，对土的性质影响不大，故称(纯)细粒土。

二、土内粗粒组含量为总质量的 25%--50% 时，粗粒已能起部分骨架作用，对土的性质有相当影响，理应在定名时予以反映。

三、有机质成分对土的物理力学性质有不同程度的影响，分类时应予以反映。

新老土名对照表 表 2.4.2

老土组	老土名	颗粒组成(按质量%计)		塑性指数 I_p	液限(%) w_L	新土名	土名代号	砂粒含量	
		砂粒(2--0.074mm)	粘粒(<0.002mm)						
砂土	砂土	>80	0--3			砂 含细粒土砂	S F		
砂性土	粉质砂土	50--80	0--3			细粒土 质砂	粉土质砂	SM	
	粗亚砂土	>50 粗砂 多于细砂	3--10						
	细亚砂土	>50 细砂 多于粗砂	3--10						
粉性土	粉质亚砂土	20--50	0--10	>2	<50	粉质土	含砂低液限粉土	MLS	
	粉土	<20	0--10	>2	<50		低液限粉土	ML	
	粉质轻亚粘土	<45	10--20	>10	<50		含砂低液限粉土	MLS	>25
	粉质重亚粘土	<40	10--20	>18	<50		低液限粘土	CL	
粘性土	轻亚粘土	>45	20--30	>10	<50	粘质土	粘土质砂	SC	>50
	重亚粘土	>40	10--20	>18	<50		含砂低液限粘土	CLS	>25

2.4.2 根据本标准的土分类体系可将《85 规程》>50 原新老土名对照表修改如表 2.4.2。鉴于老土名系按颗粒组成机械地划分，不同于新的分类体系，要完全套用新土名和代号是有困难的，因此，只能作大致的对照。从表 2.4.2 可以看出，一个老土名可能出现两个新土名，表明老分类法的不合理性。

2.4.3 利用塑性图进行细粒土分类的依据见本规程 2.1.7 说明，图中土类界限是按广泛应用的标准和我国以往长期采用的按塑性指数 I_p 分类的标准确定的。图 2.4.3 中 $I_p=10$ 和 $I_p=6$ 两条横虚线之间的区域系过渡区，可能由低液限粉土 ML 过渡为低液限粘土 CL。

2.4.4 分类指标有时正好仅次于划分界限上，此时应该从工程安全角度出发，确定土名称。

2.4.5 土中有机质成分可能是未完全分解的动植物残骸，也可能是经过完全分解而失去原成分性质的深色无定形物质，通常可由外观识别，目前对有机质含量缺少公认测试方法，故各国的同类标准都按经验判别，用土烧后液限降低来判别，用土烧后液限降低来判别，就是经验方法之一。

欠图

图 2.4.9 有机质土在塑性图上的分布(根据杨可铭，1981)

2.4.9 根据我国各地 4000 余组有机质土的塑性指数 I_p 和液限 w_L (76 克锥液限标准) 回归分析，得它们在塑性图上的分布如图 2.4.9，其中沿海和内陆总和河漫滩相的有机质土位于 A 线以上有机质土的烧失量一般为 5%--10%，A 线以下的则均在 15% 以上，而且距 A 线愈远，烧失量愈大。1993 年，美国 ASTM 修订土分类标准时，也发现 A 线以上有机质土存在，英国 BSCS-1981 同样承认了这个事实。我国杨可铭早在 1981 年就提出了这样的研究成果，A 线以上的有机质仍按细粒土分类，只是在土类代号后缀以有机质代号“0”。

2.5 特殊土分类

2.5.1 特殊土在塑性图上的分布位置是根据我国大量实测资料统计后得到的，国外尚未发现过类似的成果，由于不同特殊土的成因，矿物成分、结构与一般土有别，因此，它们在塑性图上各占据范围是理所当然的，黄土在粒度上粉粒含量高，其中低液限区。膨胀土是高分散性的粘土，其矿物成分中亲水的蒙脱以上，红粘土的粘粒含量一般为 50%--70%，属粘土；但由于它指数偏低而落于 A 线之下，并且发现，凡是落在 A 线以上的红粘土，其矿物成分中总是混入了一定量的蒙脱石和蛭石等亲水物质，这样的红粘土与 A 线以下的有明显区别，而且有强烈的强烈的膨胀性，如果它们位于膨胀土范围内，应当视为膨胀土。

盐渍土根据被利用的土层中平均总盐量可分为四档。盐渍土(salty soil)的代号 S 和砂(sand)的代号相重复，故以代号 St 表示。

2.6 土的简易鉴别、分类和描述

2.6.1 至 2.6.7 简易鉴别分类主要是为现场勘察制订的，也可供试验室开启试样时初步判别土类，本标准的简易鉴别分类

方法是根据国内外广泛应用的方法，结合多年实践经验确定的。

种简易鉴别的具体方法是根据我国工程勘察多年实践经验规定的，对每一种鉴别结果均以三个档次表示，由此可以对土类进行较可靠的评价。

2.6.8 至 2.6.9 细粒土的简易鉴别分类方法是根据 8 种规程与手册以及国外 6 种权威性的规程与标准，结合北京市院多年为的工程勘察经验提出的。

2.6.10 单独的土分类名称和代号不能反映其原位状态和某些特殊状态。要条例内容为描述土性状的最基本内容，以便为土的利用提供更准确的依据。

2.6.11 土的描述是工程中利用土或评价土的重要依据，故描述的重点应密切结合工程需要。例如，用土作填料时，其天然含水量，有机质含量，粗细粒的搭配情况，如土用作建筑物地基，稠度状态和结构等，都与地基承载力，渗透性关系密切。

3 土样的采集、运输和保管

3.0.1 至 3.0.3 土样的采集、运输和保管，是完成土工试验极其重要的环节。如果送到试验室的土样不符合要求，没有代表性，那么，任何精密的仪器和审慎的操作都将毫无意义。故本规程根据公路专业的特点和不同的工程性质，分别规定出采样的土体状态、取样方法、土样数量及“取样记录”。并对包装、运输与管理给出具体规定。每项试验所需土样的多少和土样的工程分类、土样状态及土的最大粒径有关，应参照表 3.0.1 采取，扰动土按质量计，原状土按体积计。

工程(或委托)单位，将土样送到试验室的同时，必须附送‘委托试验书’，以便试验室核对验收，从而保证试样的品质，进行有效试验。

第 39 章

4 土样和试样制备

4.0.1 至 4.0.6 本规程要求统一土样和试样的制备程序和方法,以提高试验资料的可比性。

本规程适用于扰动土样的预备程序、扰动或原状土样的制备程序。扰动土样的制备,包括风雨、碾散、过筛、匀土、分样和贮存等预备程序以及制备试样程序。扰动土样的制备,视实际情况,分别按击实试验规程中标准击实方法制样,对中小型填方工程可按击样法或压样法进行。

原状土的开土、土样描述及试样制备强调了对土样质量的鉴别,为保证试验结果的可靠性,质量不符合要求的原状土样不能做力学性质试验。

4.0.7 至 4.0.9 根据土样的渗透性采用浸水(毛细管)饱和法和真空饱和法,一般渗透系数大于 10^{-4} cm/s,采用浸水饱和;小于 10^{-4} cm/s 采用真空饱和。渗透系数可以预估,不一定实测,浸水饱和,费时很多,可考虑使用高水头或钠压的方法,减少饱和时间,二氧化碳和反压力饱是目前较好的饱和方法,但需要一定的仪器设备,故本规程没有列入,在三轴压缩试验中,列有反压力饱和及二氧化碳饱和。

5 含水量试验

5.1 烘干法

5.1.1 含水量是土的基本物理指标之一,它反映土的状态,它的变化将使土的一系列力学性质随之而异;它又是计算土的干密度孔隙比、饱和度等指标的依据,是检测土工构筑物施工质量的重要指标。

含水量试验以烘干法为室内的标准方法,精度高,应用广。

5.1.2 烘干法一般采用能控制恒温的电热烘箱。

5.1.3 鉴于目前国内外一些主要土工试验标准多数以 105--110 摄氏度为标准,故本试验规定烘干温度为 105--110 摄氏度。试样烘至恒量所需的时间与土类及取土数量有关,本试验规定土量为 15--30 克,对砂类土宜烘 6--8h,粘质土宜烘 8--10h,砂类土、砾类土因持水性差,颗粒大小相差悬殊,水分变化大,所以试样应多取一些,本规程规定取 50 克,对有机质含量超过 5% 的土,因土质不均匀,采用烘干法时,除注明有机质含量外,亦应取 50 克。

有机质土在 105--110 摄氏度温度下经长时间烘干后,有机质特别是腐植酸会在烘干过程中逐渐分解而不断损失,使测得的含水量比实际的含水量大,土中有机质含量越高,误差越大。故本规程对有机质含量超过 5% 的土,规定在 65--70 摄氏度的恒温下进行烘干。

5.2 酒精燃烧法

5.2.1 在试样中加入酒精,利用酒精在土上燃烧,使土中水分蒸发,将土样烘干,是快速简易测定有较准确的方法之一,适用于在没有烘箱或土样较少的条件下,对细粒土进行含水量测定。

5.2.2 酒精纯度要求达 95%。

5.2.3 取代表性试样时,砂类土数量应多于粘质土。

5.3 比重法

5.3.1 通过本法试验,测定湿土体积,估计土粒比重,间接计算土的含水量,由于试验时没有考虑温度的影响,所得结果准确度较差。土内气体能否充分排出,直接影响试验结果的精度,故比重法仅适用于砂类土。

5.3.2 本试验需用的主要设备为容积 500 毫升以上的玻璃瓶。

5.3.3 土样倒入未盛满水的玻璃瓶中后,用玻璃棒充分搅拌悬液,使空气完全排出,因土内气体能否充分排出会直接影响试验结果的精度。

5.4 碳化钙气压法

5.4.1 至 5.4.2 用碳化钙气压法测定土的含水量,属简单快速测定法,早在 1967 年,美国各州公路和运输工作者协会(AASHTO)就已列入正式规程,1974 年进行了修订。仪器分大小两种型号,大号装试样约 26 克(3 勺),适用于低含水量(5%)的情况;小号装试样约 6 克,适用于含水量较高(20%)的情况,如按比例法使用一半试样,则含水量的测定范围可以相应地提高,美国的快速含水量测定仪只适用于细粒土,大号仪器所用试样要求无颗粒留在 5 毫米筛上,而小号仪器则不允许含任何大于 0.074mm(20 号筛)的颗粒。

待测定水的材料于仪器罐体内与吸水剂接触,在罐体密封状态下,吸水剂与材料中的水分发生化学反应,产生乙炔气体,其化学方程为:



从化学方程中可以看出,乙炔(C_2H_2)的数量根据材料水分的数量而定。乙炔气体所产生的压力,与材料中的水分质量成正比。压力使指针转动,通过与烘箱标定,由压力表盘转换为含水量百分数表盘,直接读出含水量。气压法工作原理如图 5.4.2 所示。

交通部公路科学研究所与北京科学仪器厂合作,研制成 HKC-200 型和 HKC-30 型含水量快速测定,HKC-200 型用于 <12%;用比例法取 100 克试样,含水量测定范围增至 0--27%。HKC-30 型用于路基土和一些稳定土(如石灰、水泥、粉煤灰等稳定土)含水量的测定,含水量测定范围 0--31%,用比例法取 15 克土样,则含水量测定范围为 0--90%。

与美国的类似仪器相比,HKC-200 型和 HKC-30 型两种仪器的特点在于:不仅适于细粒土,还适用于含粗颗粒的砂砾料,即适用范围扩大至路面材料;试样用量增多,大号仪器增至约 8 倍,小号仪器增至约 5 倍,从而能提高试验精度;含水量的测定范围也大大提高,因此,我们生产的仪器更适合于我国道路工程的实际情况,更便于实用。

欠图

乙炔是易燃易爆气体,根据有关乙炔规范,最大爆炸压力约为工作压力的 7--10 倍。根据仪器的操作使用要求,确定工

作压力为 0--250 帕，工作最大压力为 300 帕，设计压力为 4000 帕。

在仪器的研制过程中，我们选用了各种规格的砂芯过滤板、蚕丝、化纤、绵纶棕丝、不锈钢材料的筛。在试验中，发现网孔目直径与土颗粒尺寸接近时，仪器失去作用，仪器本身必须允许一部分土的微粒通过滤网进入表接头内，试验结果表明，仪器过滤网采用多层不锈钢网比较合适。

在仪器试制中，采用钢球作为粉碎球，以便粉碎被测材料。为避免钢球在碰撞中产生火花，对钢球表面进行镀银处理。每台仪器配有一小勺，用来计量吸水剂，一平勺吸水剂约 8 克。设 1 克水需吸水剂为 x g，则根据乙炔与水作用的化学方程可得：

$$64:x=36:1$$

$$x=1.78(g)$$

HKC-200 型的试样质量 200 克，含水量测定范围 0--12%，当含水量为 12% 时，共计水量 21.43g。需吸水剂质量： $21.43 \times 1.78 / 0.806 = 15.7(g)$ (约 2 勺)

对 HKC-200 型，按比例法取样 100 克，当吸水剂用量仍维持 47.3g 时，则含水量的测定范围将由 0--12% 增至 0--27%，算法如下：

$$\text{含水量}(\%) = \text{水质量} / \text{干土质量} \times 100 = \text{水质量} / (\text{湿土质量} - \text{水质量}) \times 100 = 21.43 / (100 - 21.43) = 27.3\%$$

对 HKC-30 型，按比例法取样 15 克，当吸水剂用量仍维持 15.7g 时，则含水量的测定范围将由 0--31% 增至 0--90%，其算法同上，即

$$\text{含水量}(\%) = (7.1 / 15 - 7.1) \times 100 = 90\%$$

国内仪器对比试验结果 表 5.4.2

材料	仪器	含水量(%)					
		1	2	3	4	5	6
砂	HKC-200 型	5.79	5.84	5.98	6.23	6.13	6.18
	国外仪器	6.4	6.35	6.4	6.25	6.1	6.0
	烘箱	6.47	6.06	5.61	6.31	6.06	6.13
红粘土	HKC-30 型	28.6	28.8	28.7	28.6	28.8	28.6
	国外仪器	-	28.5	25	27.8	28.8	27.2

我们对仪器用不同土类进行了大量的比较试验，包括稳定性试验(指重复性和平行试验)、可靠性试验(准确性试验、人为因素的影响、温度影响)和国内外同类仪器的对比试验等，证明仪器的稳定性较好，测试精度较高，性能可靠，能达到使用要求，可以推广使用，现仅列出国内外同类仪器对比试验结果，如表 5.4.2 所示。由于国外小型仪器所用试样只有 6 克，故平行偏差偏大，根据对比试验结果，国内外仪器测定结果基本一致，而我们的选型 HKC-30 型在实际使用中更优于国内外同类产品。

5.4.3 国外的吸水剂是专利产品，价格昂贵，不能依靠国外进口。从 1980 年起，我们对国内有关产品取样试用，大多数效果不佳，其中江苏吴县石灰氮厂生产的 I 型电石粉，可以满足试验要求。

5.4.4 在试样含水量较大而又无把握确定含水量的大概范围的情况下，宜先试用比例法，防止过大的含水量超过仪器的测量范围，操作时应予注意。

6 密度试验

6.1.1 密度是土的基本物理性指标之一，用它可以换算土的干密度、孔隙比、孔隙率、饱和度等指标，无论在室内试验野外勘察以及施工质量控制中，均须测定密度。

环刀法只能用于测定不含砾石颗粒的细粒土的密度。不刀法操作简便而准确，在室内和野外普遍采用。

6.1.2 在室内作密度试验，考虑到与剪切、固结等项试验所用环刀相配合，规定室内环刀容积 60--150 立方厘米。施工现场检查填土压实密度时，由于每层土压实度上下均匀，为提高试验结果的精度，可增大环刀容积，一般采用的环刀容积 200--500 立方厘米。

环刀高度与直径之比，对试验结果是有影响的，根据钻探机具、取土器的筒高和直径的大小，确定室内试验使用的环刀直径为 6--8 厘米，高 2--3 厘米；野外采用的环刀规格尚不统一，径高比一般以 1--1.5 为宜。

环刀壁越厚，压入时土样扰动程度也越大，所以环刀壁越薄越好。但环刀压入土中时，须承受相当的压力，壁过薄，环刀容易破损和变形，因此，建议一般壁厚用 1.5--2mm。

6.1.3 根据工程实际需要，采取原状土或制备所需状态的扰动土。

6.2 电动取土器法

6.2.1 至 6.2.2 《85 规程》密度试验中的取土器法采用由环刀、环盖、定向筒和锤击系统(导杆、落锤、手柄)组成的取土器。按土质干湿和紧密程度的不同，采用直接压入法、落锤打入法或手锤打入法将环刀压入或打入土中，若土质坚硬不能压入时，用落锤将环刀打入土中；若用落锤打入仍有困难时，须另换地方用手锤再行锤击，用落锤和手锤打入法取土样，不但操作费劲，而且由于振动力大，对路基土的原状结构颇有扰动，从而影响试验精度。因此，国内有关土工试验规程均未列入手动取土器法。

江苏沐阳县公路仪器厂研制的 HTJ 型灰土取芯机采用电瓶供电，驱动直流电机，使取芯头转动，并配备有调速器，根据路基土的湿度调节该机转速，便可获得最佳效果。取芯头有 50*50 毫米、70*70 毫米、100*100 毫米三种规格，可根据需要选用。需 14 秒。用该机所取的试件，因不扰动路基的原状结构，故能反映其真实情况，这是手动取土器法所不能比拟的。

这种取芯机因系电动，最适宜于石灰土基层的取样，对于较干的硬塑土地，用灰土取芯机取样，也是非常方便、适用的。为扩大该机的使用范围，将灰土取芯机更名为“电动取土器”，用它取代手动取土器。

6.2.3 由于取芯头圆筒外表有几条螺旋状突起，切下的土梢排在筒外顺螺纹上旋抛出地表，因此，将取芯套筒套在切削好的土芯立柱上，摇动即可取出样品，无须象手动取土器法那样，要用镐将环刀及土样挖出。

6.3 蜡封法

6.3.1 不能用环刀切削的坚硬易碎、含有粗粒、形状不规则的土，可用蜡封法测定密度。

6.3.3 蜡封试样在水中的质量，系指试样在水中的重力与浮力之差，蜡封试样的质量和蜡封试样在纯水中的质量之差，与纯水在 TC 时的密度的比值，即为蜡封试样的体积，当再减去试样上蜡的体积之后，即得风干土样的体积。

密度试验中使用的石蜡，选用 55 号石蜡为宜，其密度以实测为准。如无条件实测，可采用其密度的近似值 0.92 克/立方厘米，进行计算。测定石蜡的密度，应根据‘阿基米德原理’，采用静水力学天平称量法或采用 500--1000 毫升广口瓶比重法进行。

封蜡时，为避免易碎裂土的扰动和蜡封试样的内气泡的产生，本规程采用一次徐徐浸蜡方法。

6.4 灌水法

6.4.1 本试验方法适用于现场测定粗粒土和巨粒土特别是后者的密度，从而可为粗粒土和巨粒土最大密度试验(振动台法和表面振动器法)提供施工现场检验密实度的手段。

6.4.2 《GBJ 123-88》灌水法密度试验的仪器设备中没有座板，不便对塑料薄膜进行操作。为此，本试验参考日本《道路公团试验方法》中灌水法密度试验(KODAN 107-1985)，增加了带环套的座板。

以往规程中使用的橡皮囊，尚无定型产品，故本试验规定采用聚氯乙烯塑料薄膜。

日本灌水法密度试验中的给水装置采用水槽，按称量法确实座板部分和试坑的容积。《GBJ12-88》规定最大粒径最高为 60 毫米、偏小，而日本灌水法密度试验记录中试样最大粒径达 600 毫米，试坑容积达 1.6 立方米，偏大，从实用角度出发，本试验规定试样最大粒径 200 毫米，一般情况下，可以满足现场检验巨粒土密实度的要求。

6.4.4 日本灌水法密度试验分开测定细料与石料的含水量，这样更符合实际，故本试验采用了这种方法。日本对细粒料与石块的划分以 75 毫米为界，本试验将分界粒径改为 60 毫米，因日本以 75 毫米作为砾粒的上限，而我国以 60 毫米作为粗粒土和巨粒土的分界粒径。

6.5 灌砂法

6.5.1 灌砂法一般在野外应用。灌砂法是利用均匀颗粒的砂，由一定高度下落到一规定容积的筒或洞内，按其单位重不变的原理来测量试洞的容积。

参考水电部《土工试验规程 SDS01-79》，《85 规程》把灌砂法密度试验列入附录。该试验使用的主要设备是灌砂法密度试验仪，包括漏斗、漏斗架、防风筒和套环。鉴于公路部门不常使用这种仪器，而使用最多的是灌砂筒和标定罐，因此，

这次修订时，改为用灌砂筒来测定土的密度。

6.5.2 至 6.5.5 这种新的灌砂筒是根据英国标准 BS137 和 BS1924 设计制作的，其特点是，将过去所用的灌砂法密度测定仪的几个分开部件(如漏斗、漏斗架、防风筒、套环和量砂容器)合成一个整体。使用时，贮砂筒内量砂，处于筒的封闭条件下，完全不受风的影响，因此，其测量精度高，准确性好。例如，用粒径 0.25--0.50mm 的量砂，在直径 150 毫米、高 170 毫米的标定罐(容积 3038 立方厘米)内标定量砂的密度，共标定 10 次。另外，确定填满灌砂筒下部圆锥体需要的量砂质量，也测定 10 次，这两种试验的结果如表 6.5.2 所示。

灌砂筒的试验精度 表 6.5.2

试验项目	变化范围	平均值	标准差	变异系数(%)
填满圆锥体的砂(kg)	0.611--0.617	0.615	0.0020	0.3
填满标定罐的砂(kg)	3.879--3.889	3.884	0.0032	0.08
量砂密度(克/立方厘米)	1.277--1.280	1.278	0.001	0.08

从表列资料可以看出，所得量砂密度的精度很高，变异系数仅 0.08%。

用灌砂法测量试洞的容积时，其准确度和精度受下列几个因素的影响：

- 1、标定罐的深度对砂的密度有影响。标定罐的深度减 2.5cm，砂的密度约降低 1%。因此，标定罐的深度应与试洞的深度一致。
- 2、贮砂筒中砂面的高度对砂的密度有影响，贮砂筒中砂面的高度降低 5 厘米，砂的密度约降低 1%。因此，现场测量时，贮砂筒中的砂面高度应与标定少的密度时贮砂筒中的砂面高度一致。
- 3、砂的颗粒组成对试验的重现性有影响。使用的砂应清洁干燥，否则，砂的密度会有明显变化。

用不同粒径的砂标定漏斗的体积和砂的密度时的重现性列在表 6.5.3 中。从表中所列资料可以看出，使用粒径 0.3--0.6mm 砂的重现性最好，标定的精度达到 0.001kg。

用不同粒径的砂标定时的重现性 表 6.5.3

砂的粒径(mm)	与平均值的最大偏差(%)	
	在锥形漏斗中	在标定罐中
0.6--1.2	0.4	0.3
0.3--0.6	0.2	0.1
0.15--0.3	0.6	0.2

第 40 章

7 比重试验

7.1 比重瓶法

7.1.1 土粒比重是土的基本物理性指标之一，是计算孔隙比和评价土类的主要指标。

关于比重的定义，以往国内《土工试验规程》和常见教科书上一般将比重定义为：土粒在温度 100--105 摄氏度，烘至恒重时的重量与同体积 4 摄氏度时蒸馏水重量的比值，近年来，国外某些书刊中给出这样的定义：给定体积材料的质量(或密度)与等体积水的质量(或密度)的比值。

各类科技词典中，多取物理学的定义来解释比重这个词，即物理的重量与其体积的比值，《现代科学技术词典》将材料的比重定义为：材料的密度和其标准材料密度之比，这一定义更具有科学性和一般性，实际上，国外书刊上已直接用材料比重来定义土的比重了，鉴于以上情况，并考虑到我国法定计量单位中有关“比重”概念给土工试验一些基本公式和计算造成不便的现实，我们仍沿袭使用“比重”这个无量纲名词，作为土工试验中的专用名词来对待。但它有明确的定义：土粒比重是土粒在温度 105--110 摄氏度下烘至恒量时的质量与同体积 4 摄氏度时纯水质量的比值，这样既照顾了习惯用法，又有明确的科学定义，符合法定计量的有关规定。

本试验适用于粒径小于 5 毫米的土。

颗粒小于 5 毫米的土用比重瓶法测定，根据土的分散程度、矿物成分、水溶盐和有机质的含量又分别规定用纯水和中性液体测定。排气方法也根据介质的不同分别采用煮沸法和真空抽气法。

7.1.2 目前各单位多用 100 毫升的比重瓶，也有采用 50 毫升的。比较试验表明，瓶的大小对比重结果影响不大，但因 100 毫升的比重瓶可以多取些试样，使试样的代表性和试验的精度提高，所以本规程建议采用 100 毫升的比重瓶，但也允许采用 50 毫升的比重瓶。

7.1.3 比重瓶校正一般有两种方法：称量校正法和计算校正法。前一种方法精度比较高，后一种方法引入某些假设，便一般认为对比重影响不大。本试验以称量校正法为准。

7.1.4 关于试样状态，规定用烘干土，但考虑到烘焙对土中胶粒有机质的影响尚未一致意见，所以这次规定一般应用烘干试样，也可用风干或天然湿度试样，有机质含量一般规定小于 5% 时，可以用纯水测定。

从资料上看，易溶盐含量小于 0.5% 时，用纯水和中性液体测得的比重几乎无差异。含盐量大于 0.5% 时，比重值可差 1% 以上，因此规定含盐量大于 0.5% 时，用中性液体测定。

排气方法，规程中仍选用煮沸法为主。如需用中性液体时，则采用真空抽气法。

粗、细粒土混合料比重的测定，本规程规定分别测定粗、细粒土的比重，然后取加权平均值。

7.2 浮称法

颗粒大于 5 毫米的砾石、碎石等粗粒，颗粒本身有孔隙存在。孔隙又分封闭的与开敞的两部分，浸水时开敞部分为水所填充，封闭部分水不能浸入，因此，粗粒比重的种类通常以视比重、干比重、饱和面干比重四种方法表示。

规程中采用视比重，这样比较方便，因为一般指的孔隙，实际上是指被水充填的孔隙。

浮称法所测结果较为稳定。但大于 20 毫米粗粒较多时，采用本方法将增加试验设备，室内使用不便。因此，规定粒径大于 5 毫米的试样中 20 毫米颗粒小于 10% 时用浮称法。

7.3 虹吸筒法

由于对粗颗粒的实体积测试不准，所以虹吸筒法测得的结果不稳定，测得的比重值一般偏小。一般只在粒径大于 5 毫米的试样中 20 毫米的颗粒大于 10% 时，才用虹吸筒法。

本试验方法测得的比重与浮称法相同，也为土粒的视比重，若要测定饱和面干比重，亦采用虹吸筒法，具体操作参考有关手册。

8 颗粒分析试验

8.1 筛分析

8.1.1 当大于 0.074mm 的颗粒超过试样总质量的 15% 时，应先进行筛分试验，经过洗筛，再用比重计或移液管法进行试验。

8.1.2 在选用分析筛的孔径时，可根据试样颗粒的粗、细情况灵活选用。

8.1.3 对于砾类土等颗粒较大的土样，按其最大颗粒决定试样数量，这样比较直观，易于掌握，又可得到比较有代表性的数据。

用风干土样进行筛分试验，按四分法取代表性试样，数量随粒径大小而异，粒径愈大，数量愈多。

8.1.4 对于无凝聚性的土样，可采用干筛法，对于含有部分粘土的砾类土，必须用水筛法，以保证颗粒充分分散。

8.2 比重计法

8.2.1 比重计法适用于粒径小于 0.074mm 的细粒土。

8.2.2 国内已有上海市计量技术咨询开发服务中心监制的 TM-85 型比重计生产。该比重计精度符合国际标准，无需进行刻度、有效沉降距离和弯液面的校正。

8.2.3 本规程选用的试剂供作分散处理和洗盐之用，其中六偏磷酸钠和焦磷酸钠属强分散剂。

8.2.4 比重计分析用的土样采用风干土，试样质量为 30 克，即悬液浓度为 3%。

8.2.5 TM-85 型比重计虽免去刻度等项繁复的校正，但余下的温度、土粒比重和分散剂的校正，仍需按规定进行。

8.2.6 根据我们分散剂和分散方法的试验研究结果，特对分散剂和分散方法作如下规定：

在进行土的分散之前，用煮沸后的蒸馏水，按 1 比 5 的土水比浸泡土样，摇振 3min，澄清约半小时后，用酸度计或 PH 试纸测定土样悬液的 PH 值。按照酸性土(PH<6.5)，中性土(pH=6.5--7.5)、碱性土(pH>7.5)分别选用分散剂。这样，就可避免采用一种分散剂所带来的偏差。

对酸性土(30克土样),加0.5mol/L氢氧化钠20毫升;
 对中性土(30克土样),加0.25mol/L草酸钠18毫升;
 对碱性土(30克土样),加0.083mol/L六偏磷酸钠15毫升。
 若土的pH值大于8,六偏磷酸钠分散效果不好或不好分散时,另用30克土样加0.125mol/L焦磷酸钠14毫升进行分散。
 加入以上分散剂稍加振荡,煮沸40min,即可分散。

对于用强分散剂(如焦磷酸钠)仍不能分散的土样,可用阳对酯(粒径大于2毫米)100克投入浸泡的土样中,不断搅拌,使之进行交换,历时约2h,观察其不起泡时为止,说明此时离子交换基本完成,再过2毫米筛,将阳离子树脂与土样悬液分开,然后在土样悬液中加入0.083mol/L六偏磷酸钠15毫升。不煮沸即可分散。交换后的树脂,加盐酸处理,使这恢复后,仍能继续使用。

8.2.7 本规程规定对易溶盐含量超过总量0.5%的土样须进行洗直,采用过滤法。

洗盐的检验方法,本规程采用目测法,如本规程8.2.7.3之规定,此外尚可采用“电导法”,其具体操作方法,详见有关的试验规程,电导法效率高,操作方便、准确。它的原理是根据电导率在低浓度溶液范围内,与悬液中溶盐成正比关系。由于电导率因盐性不同其值也不一,故对不同地区不同盐性的土类,应作标准样试验。

当对含有易溶盐超过0.5%的土进行比重计或移液管法颗粒分析时,若不洗盐,将对试验结果产生显著的影响,如表8.2.7所示。

盐渍土洗盐与不洗盐的比较(按比重计法)表8.2.7

省区	土样号	含盐量(%)	粉粒含量(%)0.05--0.005mm		粘粒含量(%)<0.005mm	
			洗盐前	洗盐后	洗盐前	洗盐后
新疆	146	5.26	22.33	6.0	9.08	18.61
	147	14.66	17.23	13.10	40.04	41.17
甘肃	133	2.1	62.20	47.50	1.50	14.00
	142	2.19	54.50	43.50	0.50	14.00
	143	1.11	24.99	22.47	17.99	21.34
	149	5.13	20.79	7.21	5.25	16.52

8.2.8 本规程所规定的试验步骤适用于甲、乙两种比重计。

8.2.9 土粒直径计算公式,在‘历史’的文献中,多采用以下两式表达:

$$d = [18000 / (G_s - G_{wT}) w_4 g] * (L/t)$$

$$\text{或 } d = [18000 \mu / (G_s - G_{wT}) w_4] * (L/t)$$

以上两式中的“”,其计量单位系力学单位制的导出单位,分别为(10⁻²g/cm.s)、μ(10⁻²g/cm.s)、μ(10⁻⁵g.s/cm²)两者的换算关系为 μ = μ * g(重力加速度981cm/s²)、μ = μ / g。

1956年6月25日,国务院发布《关于统一计量制度命令》后,实施公(米)制,确定动力粘滞系数的单位为泊(P)。用于水的动力粘滞系数单位为泊(1*10⁻²)。这样量纲虽变,但量值仍为10⁻²,故在计算土粒直径时,尚可沿用(8.2.9-1)、(8.2.9-2)公式。

至1984年4月27日,国务院发布了《关于在我国统一实行法定计量单位的命令》后,于1991年1月,公制自然废止。同时,国家规定动力粘滞系数为具有专门名词的单位,Pa.s;用于水动力粘滞系数值改为10⁻⁶kPa.s。

鉴于(8.2.9-1)式,物理意义明确,在使用法定计量单位,又相应对其系数修正后,本规程规定用(8.2.9-3)为土粒直径计算公式,即:

$$d = 1800 * 10^4 / (G_s - G_{wT}) w_4 g] * (L/t)$$

式中 民公制单位 的换算关系为:

$$1 \text{ 泊(P)} = 10^{-1} \text{ Pa.s};$$

$$10^{-2} \text{ 泊} = 10^{-3} \text{ Pa.s};$$

$$10^{-3} \text{ Pa.s} = 10^{-6} \text{ kPa.s};$$

随着 的单位值的改变,以10⁻²泊为单位缩小到万分之一(10⁻⁴),因而与其相乘的另一个因子(系数为:1800)也相应扩大到1万倍(10⁴),使计量单位变换前后,式中的乘积不变。

8.3 移液管法

8.3.1 本试验方法适用于粒径小而比重大的土。

8.3.2 移液管法采用英国土工试验标准(BSI377-75)中25毫升移液管。鉴于这不能保证吸取同一深度处的悬液,因此,我们将移液管端部略为放大,侧面加开上个小孔,即能保证悬液不致流失,又可吸取近似同一深度处平面的悬液。

为自动控制悬液温度,我们设计并加工了一种恒温水槽,材料用锌皮和铝板,作成椭圆形,壁分内外两层,中填保温性能好上1000毫或量筒,槽底装有电热加温管,一般用一个1500--2500W的电热管即可,并用导电表和电子继电器控制恒温,恒温水槽内最好盛蒸馏水,以免发生水垢。

8.3.3 温度越高,悬液静置时间越短。我们曾在不再温度(40--60摄氏度)下,用移液管法和比重计法进行了比较试验,结果表明,误差不大,但为保险起见,采用50摄氏度是没有问题的,一般情况下,可采用40摄氏度,这样可缩短试验时间。

由于移液管法是直接吸取悬液烘干、称量的,免去了比重计的一些校正,所测出的粘粒含量较准确。从粘粒含量的对比结果来看,比重计法与移液管法的试验结果接近。

如无恒温水槽，则在室温变化不大的情况下(在测定时间内，室温变化小于 0.5 摄氏度)，也可采用室温法。方法是吸取液深度从的一半，作为吸取悬液的时间，100 毫升或 2000 毫升量管均可采用。

9 界限含水量试验

9.1 液限塑限联合测定法

9.1.1 测定土的液限和塑限最通用的方法分别为碟式仪法和滚搓法，目前，碟式仪仍然有两种划刀，一种是 ASTM 划刀(简称 A 刀)，另一种是卡氏划刀(简称 C 刀)。试验结果表明，用 A 刀测得的液限值比用 C 刀测得的液限值约低 10%，另外，碟式仪底座的硬度也影响试验结果，用滚搓法测定粘质土的塑限时，如果掌握土条的断裂标准不一致，则将产生较大的人为误差。对于砂类土，划沟和搓条均感困难，因此，各国的趋势是采用锥式仪来测定土的液限。

1950 年以来，我国一直采用瓦氏 76 克平衡锥来测定土的液限，相应的入土深度 $h_L=10$ 毫米。用不同基座材料的碟式仪测得液限时土的抗剪强度如表 9.1.1-1 所示，按 76 克锥标准测得土(从低塑性到高塑性)液限时的抗剪强度如如 9.1.1-2 所示，显然高出表 9.1.1-1 中数值许多。

液限时土的抗剪强度 表 9.1.1-1

硬橡皮	2.5	Seed 等人(1964)
胶木	2--3	Casagrande(1958)
	1.1--2.3	Norman(1958)
	1.3--2.4	Youssef 等人
	0.5--4	Karlsson(1977)
英国标准橡皮	0.8--1.6	Norman(1985)
	0.7--1.45	Speopton 和 Northey(1952)

76 克锥液限时几种土的抗剪强度试验结果 表 9.1.1-2

土名	76 克锥的液限 L_L	剪切时土样含水量	抗剪强度(kPa)
红粘土	58.0	60.0	5.4
青海砂类土	23.0	22.9	4.7
内蒙本砂类土	22.5	21.4	5.2
北京粉质土	31.0	30.7	4.9

根据 1000 多个土样的液限试验，发现按 76 克锥和卡氏碟式仪测得的结果相差很大，两者之间的关系可表示如下：

$$L_L = 6.5 + 0.66 L_C$$

($r=0.96, n=1106$)

式中： L_L --76 克锥求得的液限，%；

L_C --碟式仪求得的液限，%。

我国水电部在修订液限塑限联合测定的过程中，曾组织全国 13 个单位对各地 16 种土(从低液限到高液限)用 FG-II 型光电式液限仪进行了第二次液限塑限对比试验，其中不同标准时的不排水抗剪强度如表 9.1.1-3 所示。

不同标准下的液限强度(不排水抗剪强度，kPa)。 表 9.1.1-3

液限标准	76g 锥 $h_L=17\text{mm}$	76g 锥 $h_L=10\text{mm}$	ASTM 碟式仪平均液限	100g 锥 $h_L=20\text{mm}$
平均值	1.9	5.3	1.9	1.9
范围值	1.3--2.7	3.1--7.1	0.7--3.7	1.2--2.6

从表 9.1.1-3 的试验结果可以看出，76 克锥以入土深度 17 毫米作为液限和 100 克锥以入土深度 20 毫米作为液限时的抗剪强度与美国 ASTM D423 碟式仪液限时的强度一致，说明 76 克锥 17 毫米和 100 克锥 20 毫米的液限入土深度均可以达到与 ASTM D 423 碟式仪等效的目的。影响圆锥入土深度的因素可归结为土质、物理状态(湿度和密度状态)和结构三大方面，对于扰动土，排除了结构状态的影响，塑限时入土深度与含水量关系不稳定的原因就在于湿密状态和土质的影响。

压密理论告诉我们，最佳含水量约等于或略大于塑限，此时土的状态不财符合土力学中关于可塑性的定义。在这种状态下，圆锥和土体将产生剪切和压密的综合作用。为消除试样密度对圆锥入土深度的影响，测定塑限时，必须首先控制试样的密实程度，以 K_2 表示密实度系数，定义为试样任意含水量下土体干密度 ρ_d 与饱水时干密度 ρ_{dsat} 之比：

$$K_2 = \frac{\rho_d}{\rho_{dsat}}$$

$$\rho_{dsat} = G_s / (1 + G_s)$$

式中： ρ_d --土的干密度，克/立方厘米；

--含水量，以小数计；

G_s --土粒比重。

根据研究，当 $K_2=0.95-1.0$ 时，各类细粒土的入土深度与含水量呈线性关系，这就是控制试验密实度对入土深度影响的标准。

土的性质对塑限时入土深度有显著影响,一般地讲,对砂类土的影响较大,而对粉质土和粘质土的影响则较小。哈尔滨建筑工程学院曾对三种土按锥质量 475 克正应力计算,在不同含水量和密度下进行了 500 余组剪切试验,整理出的剪应力 τ 与入土深度 h 的关系曲线(图 9.1.1-1)。

可以看出,粉质土和粘质土的两条曲线几乎重合,而与砂类土的曲线有较大差别,试验结果如下:

欠图

粉质土和粘质土 $\tau=90\text{--}130\text{kPa}$

(可搓成条的)砂类土 $\tau=50\text{kPa}$

剪切试验结果提供了考虑土质差异的塑限入土深度的依据。相应于滚搓法塑限值的 100 克锥塑限入土深度 h_p 与液限 w_L 之间的关系曲线如图 9.1.1-2 所示。从图 9.1.1-2 可以看出,液限 $w_L > 35$ 的点比较集中, h_p 值基本上在 2--3 毫米范围内波动;而 $w_L < 35$ 的点则相当分散, h_p 值基本上在 2--3 毫米范围内波动;而 $w_L < 35$ 的点则相当分散, h_p 值变化颇大。低塑性粘土和砂类土属于或共存于 $w_L < 35$ 这个范围内。

因此,对不同土类,必须采用变数 h_p 值。

9.1.2 液限塑限联合测定仪有数码式、光电式、游标式和百分表式四种,本规程并列这四种仪器,可根据具体情况选用。

欠图

9.1.3 试样制备好坏对液限塑限联合测定的精度具有头等重要意义。制备试样应均匀、密实。一般制备三个试样。一个要求含水量接近液限(入土深度 $20 \pm 0.2\text{mm}$),一个要求含水量接近塑限,一个居中,否则,就不容易控制曲线的走向。对于联合测定精度最有影响的是靠近塑限的那个试样,可以先将试样充分搓揉,再将土块紧密地压入容器,刮平,待测,当含水量等于塑限时,对土的断面上无孔隙存在。为便于操作,根据实际经验含水量可略放宽,以入土深度不大于 4--5 毫米为限。

调整联合测定仪,使锥尖与土表面接触,按钮使锥自动落下,关于放锥时间,1979 年水电部颁发的《土工试验规程》规定为 15 秒,而英国 BS1377-75 则规定为 5 秒,我们在试验中发现,粘质土锥深随时间变化不甚明显,对低塑性土,在 5--30 秒之间锥深随时间的增长有加大的趋势,其对应的液限塑限值随之减小,交通部第一公路勘察设计院曾对 10 个低塑性土试样以不同放锥时间(5 秒、15 秒、30 秒)进行了对比试验,发现不同时间的液限塑限差值不大,不致影响土的定名,因此放锥时间为 5 秒是可行的,对于土面变形的误差可不校正,统一计入读数内。采用度盘或游标后,读数可读到 0.01cm。

9.1.4 从附图 9.1.1-2 可以看出,在低塑性范围内($w_L < 35$),如用两条曲线计算 h_p 值,则基本上可概括图中点子的分布,一条是下部的双曲线,纵坐标以液限 $w_L = 20$ 为原点,因 $w_L < 20$ 时,点子很少;另一条是上部的多项式曲线,曲线左端到 $w_L = 24$ 为止,因在该点以左,点子也很少。

首先需要测定 $w_L = 20$ 毫米时土的液限 w_L ,然后分别按砂类土和细粒土的公式计算相应的 h_p 值,于是,塑限值可直接从 $\log h\text{-}\log w$ 图上读出。

在 $h\text{-}w$ 双对数坐标纸上,当 a、b、c 三点不在同一直线上时,《GBJ123-88》规定按固定 h_p 值($h_p = 2$ 毫米)确定 ab、ac 两直线交点处的两个含水量,本规程 9.1.4 规定按变数 h_p 值确定 ab、ac 两直线交点处的二个含水量;显然,后者更为合理,因为 h_p 值随土质而异。

9.2 滚搓法塑限试验

9.2.1 塑限试验长期以来采用滚搓法,该法虽存在许多缺点,如标准不易掌握,人为因素较大,但由于试验人员已在实践中积累了许多经验,国际上也有很多国家采用此法,故本规程仍将滚搓法列入,作为校核试验。

9.2.2 关于滚搓工具,有的单位认为毛橡皮板同样能得出满意的结果,在无毛玻璃板的情况下,也允许用毛橡皮板。

9.2.3 国内外在测定塑限的规定中,搓条方法不尽相同,土条断裂时的直径多数采用 3 毫米,我国历次规程均采用 3 毫米,故仍沿用 3 毫米,关于滚搓速度,各国均无具体要求,美国 ASTM D 424 规定搓滚速度每分钟 80--90 次,英国 BS 1377 规定,手指的压力必须使滚搓 5--10 个往返后,土条直径由 6 毫米减至 3 毫米,高塑性粘土则允许往返 10--15 次。这种规定太细、太死、不易掌握,也无必要,故仍维持原有规定。对于某些仪液限砂类土,始终搓不到 3 毫米,可认为塑性极低或无塑性,可按极细砂处理。

9.3 缩限试验

9.3.1 本节内容是用试验方法求得土的缩限含水量,具体缩率和线缩率的测求方法见收缩试验(T0121-93)。

9.3.2 缩限试验所用收缩皿,其直径最好大于高度,以便于蒸发干透,也可用液限试验杯代替。但环刀是不适宜的,因它不便振动排气,不便挤压,同时环刀与玻璃杯之间容易跑水流土。

9.3.3 分层装填试样时,要注意不断挤压拍击,以充分排气,否则,不符合体积收缩等于水分减少的基本假定,而使计算结果失真,本规程要求收缩皿底和皿壁要平滑弯曲,为的是易于装土排气,改用蜡封法代替水银排开法测定体积,在于防止污染。