附件1

云南省岩土试验操作规程

征求意见稿

云南省住房和城乡建设厅勘察设计处

云南省勘察设计质量协会

2018年12月 昆明

**前 言**

本规程根据云南省住房和城乡建设厅下发的《关于印发云南省2017年工程建设地方标准制订修订计划的通知》（云建标[2017]230号）文件要求，由云南省勘察设计协会工程勘察与岩土分会组织云南省相关勘察设计、科研院所共同编写而成。

本规程在编写过程中，以“[创新](https://baike.baidu.com/item/%E5%88%9B%E6%96%B0/6047)、[协调](https://baike.baidu.com/item/%E5%8D%8F%E8%B0%83/1051733)、[绿色](https://baike.baidu.com/item/%E7%BB%BF%E8%89%B2/449467)、[开放](https://baike.baidu.com/item/%E5%BC%80%E6%94%BE/9048600)、[共享](https://baike.baidu.com/item/%E5%85%B1%E4%BA%AB/3456161)”五大发展理念为引领，全面落实高质量发展的要求，编制组经调查研究、总结经验、进行相关专题研究，并在全省范围内广泛征求意见，经多次讨论修改后，审查报批定稿。

本规程共分为30章和4个附表，主要技术内容包括：1总则；2术语及符号；3土的工程分类；4现场取样；5室内试样制备和饱和；6含水率试验；7密度试验；8比重试验；9颗粒分析试验；10界限含水率试验；11击实试验；12渗透试验；13固结试验；14直接剪切试验；15无侧限抗压强度试验；16三轴压缩试验；17自由膨胀率试验；18膨胀力试验；19膨胀率试验；20收缩试验；21相对密度试验；22承载比试验；23回弹模量试验；24天然坡角试验；25静止侧压力系数试验；26有机质试验；27土（水）中离子的测定；28岩石物理力学性质试验；29岩土试验成果整理；30样品的验收与管理。

本规程新增的主要内容有：1.对现行国家标准《土工试验方法标准》中的具体试验操作步骤进行了明确规定；2.明确了试验过程中的重点及注意事项；3.现场取样的具体方法和步骤；4.不同干密度下CBR的求取方法；5.天然坡角试验的具体方法和步骤；6.静止侧压力系数试验的具体方法和步骤；7.烧灼减量法测试有机质含量的具体方法和步骤；8.对岩土试验成果格式进行了统一规定；9.试验室对样品管理的要求。

本规程由云南省住房和城乡建设厅负责管理，云南省勘察设计协会工程勘察与岩土分会负责具体解释工作。在执行过程中，如有意见或建议请函件联系工程勘察与岩土分会勘察测试及土工试验专业委员会（地址：昆明市羊仙坡路4号；邮编：650033；电子邮箱：1136185944@qq.com），以供今后修订时参考。

**目 录**

1 总则‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

2 术语及符号‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

2.1 术语‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

2.2 符号‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

3 土的工程分类‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

4 现场取样‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

5 室内试样制备和饱和‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

5.1 土试样制备‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

5.2 土试样饱和‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

5.3 岩石试件制备及饱和‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

6 含水率试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

6.1 烘干法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

6.2 酒精燃烧法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

7 密度试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

7.1 环刀法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

7.2 蜡封法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

7.3 灌水法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

7.4 灌砂法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

8 比重试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

8.1 比重瓶法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

8.2 浮称法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

8.3 虹吸筒法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

9 颗粒分析试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

9.1 筛析法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

9.2 密度计法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

10 界限含水率试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

10.1 液、塑限联合测定法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

10.2 圆锥仪法液限试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

10.3 滚搓法塑限试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

11 击实试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

12 渗透试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

12.1 常水头渗透试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

12.2 变水头渗透试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

13 固结试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

13.1 标准固结试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

13.2 应变控制加荷固结试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

14 直接剪切试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

14.1 快剪试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

14.2 固结快剪试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

14.3 慢剪试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

15 无侧限抗压强度试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

16 三轴压缩试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

16.1 不固结不排水剪（UU）‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

16.2 固结不排水剪（CU）‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

16.3 固结排水剪（CD）‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

17 自由膨胀率试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

18 膨胀力试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

19 膨胀率试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

19.1 无荷载膨胀率试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

19.2 有荷载膨胀率试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

20 收缩试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

21 相对密度试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

22 承载比试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

23 回弹模量试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

23.1 杠杆压力仪法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

23.2 强度仪法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

24 天然坡角试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

25 静止侧压力系数试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

26 有机质试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

26.1 重铬酸钾容量法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

26.2 烧灼减量法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

27 土（水）中离子的测定‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

27.1 浸出液制取‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

27.2 易溶盐总量测定‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

27.3 酸碱度（pH）试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

27.4 碱度的测定‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

27.5 氯离子的测定‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

27.6 钙镁离子的测定‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

27.7 硫酸根离子的测定——EDTA二钠盐滴定法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

27.8 硫酸根离子的测定——比浊法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

27.9 游离二氧化碳‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

27.10 侵蚀性二氧化碳‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

27.11 溶蚀碳酸钙容量‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

27.12 酸度——酸碱指示剂滴定法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

27.13 酸度——电位滴定法‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

27.14 铵离子的测定‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

27.15 悬浮物、溶解固体、总固体的测定‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

28 岩石物理力学性质试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

28.1 岩石的简易鉴定‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

28.2 含水率试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

28.3 块体密度试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

28.4 颗粒密度试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

28.5 吸水性试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

28.6 膨胀性试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

28.7 耐崩解性试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

28.8 岩石单轴抗压强度试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

28.9 点荷载强度试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

28.10 抗剪断强度试验‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

28.11 岩块声波速度测试‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

29 岩土试验成果整理‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

29.1 数据分析‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

29.2 试验报告的编写和审核‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

30 样品的验收与管理‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

附表1 水的动力黏滞系数、黏滞系数比、温度校正值‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

附表2 土粒比重校正表‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

附表3 悬液温度校正表‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

附表4 岩（土）试验报告内容格式‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

本规程用词说明‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

引用标准名录‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥‥

**1 总则**

1.0.1 本规程适用于云南省工程行业的岩土试验。

1.0.2 为进一步规范和统一云南省工程勘察行业岩土试验方法，进一步明确试验操作流程，确保岩土试验质量，为工程设计和施工提供可靠的依据，制定本规程。

1.0.3 岩土试验资料的整理应尽量采用统一格式，以便使用和对照。

1.0.4 岩土试验所采用的仪器、设备应按现行国家标准《土工仪器的基本参数及通用技术条件》采用，并定期按现行有关规程进行检定和校准。

1.0.5 岩土试验方法除应遵循本规程要求外，有特殊要求的尚应符合国家和行业现行有效标准的规定。

**2 术语及符号**

2.1 术语

2.1.1 试验 test

按照规定的程序为给定的试样测试一种或多种特性的技术操作。

2.1.2 土试样 soil specimen

用于试验的具有代表性的土样。

2.1.3 饱和土 saturation

孔隙体积完全被水充满的土样。

2.1.4 含水率 water content

土中水的质量与固体土颗粒质量的比值，以百分率表示。

2.1.5 密度 density

单位体积岩（土）的质量。

2.1.6 比重 specific gravity of soil particle

土颗粒的质量与4℃时同体积蒸馏水的质量比值。

2.1.7 孔隙比 void ratio

土的孔隙体积与固体颗粒体积的比值，以小数计。

2.1.8 孔隙率 porosity

土的孔隙体积与土总体积的比值。

2.1.9 饱和度 saturation

土体孔隙中水的体积与孔隙体积之比，常用百分数表示。

2.1.10 级配 gradation

土料按颗粒粗细的不同，将粒径相似、工程性质相近的颗粒划分为若干个粒组，土中各粒组的相对含量，即为土的颗粒级配。它是以不均匀系数和曲率系数来评价构成土的颗粒粒径分布曲线形态的一种概念。

2.1.11 界限含水率 limit moisture content

黏性土从一种状态变到另一种状态的含水率分界点。由可塑状态过渡到流动状态的界限含水率称为液限；由可塑状态过渡到半固体状态的界限含水率称为塑限。

2.1.12 渗透系数 coefficient of permeability

反映土的透水性的比例系数，即土中水渗流呈层流状态时，其渗透速度与水力梯度的一次方成正比关系。

2.1.13 固结 consolidation

在外荷载作用下，土体孔隙中水、气逐渐排出，体体积逐渐减小的过程。

2.1.14 压缩系数 coefficient of compressibility

土体在侧限条件下孔隙比减小量与有效压力增量的比值，即固结试验所得的孔隙比与压力关系曲线中某一压力区段的割线斜率，以绝对值表示。

2.1.15 压缩指数 compression index

土体在侧限条件下孔隙比减小量与有效压力常用对数值增量的比值，即固结试验所得的孔隙比与压力对数关系曲线中某一压力段直线的斜率。

2.1.16 压缩模量 constrained modulus

土体在侧限条件下的竖向应力增量与相应的竖向应变增量的比值。

2.1.17 体积压缩系数 coefficient of volume compression

土体在侧限条件下体积应变与竖向应力增量的比值，即在单位压力增量作用下土体单位体积的变化。

2.1.18 固结系数 coefficient of consolidation

表示土体固结速度的一个特性指标，数值越大表明土体的固结速度越快。固结系数的大小取与土体在某一压力范围内的渗透系数、孔隙比及压缩系数密切相关。

2.1.19 前期固结压力 pre-consolidation pressure

土体在地质历史上所曾经承受过的上覆土层自重压力或其他作用力，并在该作用力下已固结稳定的最大压力。

2.1.20 抗剪强度 shear strength

岩（土）体在外力作用下在剪切单位面积上所能承受的最大剪应力称为岩（土）的抗剪强度，是由颗粒间的内摩擦力以及由胶结物和水膜的分子引力所产生的黏聚力共同组成。一般以内摩擦角和黏聚力表示，称为抗剪强度指标或抗剪强度参数。

2.1.21 无侧限抗压强度 unconfined compression strength

土体在无侧限条件下，抵抗轴向压力的极限强度。

2.1.22 灵敏度 sensitivity

反映土的性质受结构扰动影响的程度，灵敏度越大，结构扰动影响越明显。土的室内灵敏度指原状土的无侧限抗压强度与重塑土的无侧限抗压强度之比。

2.1.23 膨胀土 expansive soil

土中黏粒成分主要由亲水性矿物组成，同时具有显著的吸水膨胀和失水收缩可逆变形特性的黏性土。

2.1.24 自由膨胀率 free expansion rate

指人工制备的烘干松散土样在水中膨胀稳定后，其体积增加值与原体积之比的百分率。它说明土粒在无结构力影响下的膨胀特性，主要受土中粘粒含量和矿物成分支配。粘粒含量愈高，矿物亲水性愈强，自由膨胀率愈大。

2.1.25 膨胀力 swelling force

体积不发生变化时，土样浸水膨胀时所产生的最大内应力。

2.1.26 膨胀率 expansion rate

在侧限条件下，土样浸水膨胀稳定后高度增量与原高度之比的百分率。

2.1.27 承载比（CBR） California Bearing Ratio

采用标准尺寸的贯入杆贯入试样中2.5mm时，所需的荷载强度与相同贯入量时标准荷载强度的比值。

2.1.28 回弹模量 modulus of resilience

土体在荷载作用下产生的应力与其相对应的回弹应变的比值。

2.1.29 静止侧压力系数 static lateral pressure coefficient

在不允许有侧向变形的条件下，土体在轴向压力作用下产生的侧压力增量与轴向压力增量的比值。

2.1.30 酸度 acidity

中和水样中所含酸性物质需用碱的量。采用甲基橙作指示剂（pH=4.3为终点）测得的酸度称为强酸酸度，采用酚酞作指示剂（pH=8.4为终点）测得的酸度称为总酸度。

2.1.31 碱度 alkalinity

水样中能与强酸发生中和反应的碱性物质总量。当[滴定](https://baike.so.com/doc/6038462-6251470.html)酚酞[指示剂](https://baike.so.com/doc/5332313-5567679.html)无色时，此时总碱度为滴定混合指示剂测得的碱度；当[滴定](https://baike.so.com/doc/6038462-6251470.html)酚酞[指示剂](https://baike.so.com/doc/5332313-5567679.html)显示红色，此时总碱度为滴定酚酞[指示剂](https://baike.so.com/doc/5332313-5567679.html)和滴定混合指示剂测得的碱度。

2.1.32 游离二氧化碳 free carbon dioxide

水中游离二氧化碳包括已处于平衡状态的二氧化碳和具有分解碱性物质能力的侵蚀性二氧化碳。

2.1.33 侵蚀性二氧化碳 corrosive carbon dioxide

溶解于水中的二氧化碳超过平衡量并能与碳酸钙起反应的部分。

2.1.34 悬浮物 suspended substance

水样过滤后残留在滤纸（滤膜）上，并经105℃(180℃) 烘烤至恒重的固体物质。

2.1.35 溶解性固体 dissolved solids

水样过滤后的蒸发残渣的质量。

2.1.36 总固体 total solids

水样不过滤的蒸发残渣的质量。等于悬浮物和溶解性固体之和。

2.1.37 岩石 rock

在各种地质作用下，按一定方式结合而成的矿物集合体，它是构成地壳及地幔的主要物质。

2.1.38 软化系数 water absorption under saturated

岩石试件单轴饱和抗压强度与干燥状态下的单轴抗压强度之比，以小数表示。

2.1.39 单轴抗压强度 uniaxial compressive strength

岩石试件抵抗单轴压力时保持自身不被破坏的极限应力。

2.2 符号

2.2.1 土工试验

——变水头管的断面积

——压缩系数

——面积

——破坏时孔隙水压力系数

——初始孔隙水压力系数

——黏聚力

——测力计率定系数

——不均匀系数

——曲率系数

——压缩指数

——回弹指数

——固结系数

——承载比

——试样颗粒粒径

——有效粒径

——界限粒径

——限制粒径

——承载板直径

——砂土相对密度

——孔隙比

——最大孔隙比

——最小孔隙比

——回弹模量

——压缩模量

——重力加速度

——土粒比重

——高度

——塑性指数

——液性指数

——试样数量

——T℃时渗透系数

——20℃时渗透系数

——静止侧压力系数

——距离

——质量

——体积压缩系数

——压力

——前期固结压力

——膨胀力

——土试样无侧限抗压强度

——灵敏度

——时间

——孔隙水压力

——体积

——含水率

——液限

——塑限

——最优含水率

——百分比

——自由膨胀率

——应变

——动力黏滞系数

——竖向收缩系数

——泊松比

——密度

——最大干密度

——最小干密度

——大主应力

——小主应力

——剪应力

——内摩擦角

——变形量

2.2.2 土（水）化学分析

——土中离子质量摩尔浓度

——溶液浓度

——质量

——风干土质量

——干土质量

——易溶盐总量

——有机质含量/烧灼减量

——风干含水率

——吸取水样的体积

——制取浸出液所加蒸馏水体积

——吸取浸出液的体积

——溶液体积

2.2.3 岩石试验

——试件截面积

——试件的直径

——等价岩芯直径

——岩石动弹性模量

——轴向荷载

——岩石动刚性模量或动剪切模量

——试件高度

——岩石点荷载强度

——岩石二次循环耐崩解性指数

——岩石动体积模量

——距离

——质量

——膨胀压力

——岩石单轴压强度

——岩石饱和状态下的单轴抗压强度

——岩石干燥状态下的单轴抗压强度

——纵波波速

——横波波速

——岩石的含水率

——自由膨胀率

——岩石的软化系数

——岩石动拉梅系数

——岩体泊松比

——岩石动泊松比

——岩石试样的天然密度

——干密度

——岩石颗粒密度

——正应力

——剪应力

——吸水率

**3 土的工程分类**

3.0.1 土的分类依据

1 土中有机质含量。

2 土颗粒组成及其特征。

3 土的塑性指标：液限（）、塑限（）和塑性指数（）。

3.0.2 按《岩土程勘察规范》（GB 50021-2001，2009年版）对土进行分类。

1 粒径大于2mm的颗粒质量超过总质量50%的土，应定名为碎石土（见表3.0.2-1）。

表3.0.2-1 碎石土分类

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 土的名称 | 颗粒形状 | 颗粒级配 |
| 漂 石 | 圆形及亚圆形为主 | 粒径大于200mm的颗粒质量超过总质量50% |
| 块 石 | 棱角形及次棱角为主 |
| 卵 石 | 圆形及亚圆形为主 | 粒径大于20mm的颗粒质量超过总质量50% |
| 碎 石 | 棱角形及次棱角为主 |
| 圆 砾 | 圆形及亚圆形为主 | 粒径大于2mm的颗粒质量超过总质量50% |
| 角 砾 | 棱角形及次棱角为主 |

注：定名时，应根据颗粒级配由大到小以最先符合者确定。

2 粒径大于2mm的颗粒质量不超过总质量的50%，粒径大于0.075mm的颗粒质量超过总质量50%的土，应定名为砂土（见表3.0.2-2）。

表3.0.2-2 砂土分类

|  |  |
| --- | --- |
| 土的名称 | 颗粒级配 |
| 砾 砂 | 粒径大于2mm的颗粒质量占总质量25%～50% |
| 粗 砂 | 粒径大于0.5mm的颗粒质量占总质量50% |
| 中 砂 | 粒径大于0.25mm的颗粒质量占总质量50% |
| 细 砂 | 粒径大于0.075mm的颗粒质量占总质量85% |
| 粉 砂 | 粒径大于0.075mm的颗粒质量占总质量50% |

注：定名时，应根据颗粒级配由大到小以最先符合者确定。

3 粒径大于0.075mm的颗粒质量不超过总质量的50%，且塑性指数 小于等于10的土，应定名为粉土。

4 塑性指数大于10的土应定名为黏性土。根据塑性指数分为粉质黏土和黏土。当10＜≤17，应定名为粉质黏土；当＞17，应定名为黏土。

5 有机质含量＜5%为无机土，有机质含量≥5%为有机土。有机土进一步细分为：5%≤≤10% 应定名为有机质土；10%＜≤60% 应定名为泥炭质土；＞60% 应定名为泥炭。

6 由细粒土和粗粒土混杂且缺乏中间粒径的土称为混合土。当黏性土和粉土中粒径大于2mm的粗粒土质量超过总质量的25%时，应定名为细粒混合土；在碎石土中，粒径小于0.075mm的细粒土质量大于总质量的25%时，应定名为粗粒混合土。此时应增加细粒土的液限、塑限试验，并根据塑性指数按表3.0.2-3及3.0.2-4进一步定名。

表3.0.2-3 细粒混合土定名

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 细粒土主定名 | 大于2mm的粗粒特征 | 最终定名 |
| 粉 土 | 卵(碎)石占主导  圆(角)砾占主导 | 含卵(碎)石粉土、含圆(角)砾粉土 |
| 粉质黏土 | 含卵(碎)石粉质黏土、含圆(角)砾粉质黏土 |
| 黏 土 | 含卵(碎)石黏土、含圆(角)砾黏土 |

表3.0.2-4 粗粒混合土定名

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 粗粒土主定名 | 细粒土的塑性指数 | 最终定名 |
| 卵(碎)石 | ＞17 | 含黏土卵(碎)石 |
| 10＜≤17 | 含粉质黏土卵(碎)石 |
| ≤10 | 含粉土卵(碎)石 |
| 圆(角)砾 | ＞17 | 含黏土圆(角)砾 |
| 10＜≤17 | 含粉质黏土圆(角)砾 |
| ≤10 | 含粉土圆(角)砾 |
| 砾 砂 | ＞10 | 含黏性土砾砂 |

7 液限（）为76g圆锥仪入土深度10mm时的含水率。

3.0.3 按《土工试验规程》（SL237-1999）对土进行分类。

1 根据土中有机质含量划分为有机土和无机土。有机土按本规程第3.0.2条第5款进行细分。无机土按巨粒土、粗粒土和细粒土进行定名。

2 土的粒组按表3.0.3-1中的土颗粒粒径范围划分。

表3.0.3-1 粒组划分

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 粒组统称 | 粒组划分 | | 粒径范围(mm) |
| 巨粒组 | 漂(块)石组 | | ＞200 |
| 卵(碎)石组 | | 200≥＞60 |
| 粗粒组 | 砾粒组 | 粗砾 | 60≥＞20 |
| 中砾 | 20≥＞5 |
| 细砾 | 5≥＞2 |
| 砂粒组 | 粗砂 | 2≥＞0.5 |
| 中砂 | 0.5≥＞0.25 |
| 细砂 | 0.25≥＞0.075 |
| 细粒组 | 粉粒组 | | 0.075≥ ＞0.005 |
| 黏粒组 | | ＜0.005 |

3 巨粒组质量大于总质量50%的土称为巨粒类土，其定名详见表3.0.3-2。

表3.0.3-2 巨粒土分类

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 土类 | 粒组含量 | | 土的定名 |
| 巨粒土 | 巨粒含量  75～100% | 漂(块)石含量＞50% | 漂(块)石 |
| 漂(块)石含量≤50% | 卵(碎)石 |
| 混合巨粒土 | 巨粒含量  50～75% | 漂(块)石含量＞50% | 混合土漂(块)石 |
| 漂(块)石含量≤50% | 混合土卵(碎)石 |
| 巨粒混合土 | 巨粒含量  15～50% | 漂(块)石含量＞卵(碎)石含量 | 漂(块)石混合土 |
| 漂(块)石含量＜卵(碎)石含量 | 卵(碎)石混合土 |

注：当巨粒组质量小于总质量的15%时，扣除巨粒后按粗粒土或细粒土的规定定名。

4 粗粒组质量大于总质量50%的土称为粗粒类土。粗粒类土中砾粒组质量大于总质量50%时称为砾类土，其定名详见表3.0.3-3；粗粒类土中砾粒质量小于或等于总质量50%的土称为砂类土，其定名详见表3.0.3-4

表3.0.3-3 砾类土分类

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 土类 | 粒组含量 | | 土的定名 |
| 砾 | 细粒含量＜5% | 级配：≥5，=1～3 | 级配良好砾 |
| 级配：不同时满足上述要求 | 级配不良砾 |
| 含细粒土砾 | 细粒含量5～15% | | 含细粒土砾 |
| 细粒土质砾 | 15%＜细粒含量≤50% | 细粒为黏土 | 黏土质砾 |
| 细粒为粉土 | 粉土质砾 |

注：表中“细粒土质砾”的细粒土为黏土或粉土，应按塑性图中的位置确定。

表3.0.3-4 砂类土分类

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 土类 | 粒组含量 | | 土的定名 |
| 砂 | 细粒含量＜5% | 级配：≥5，=1～3 | 级配良好砂 |
| 级配：不同时满足上述要求 | 级配不良砂 |
| 含细粒土砂 | 细粒含量5～15% | | 含细粒土砂 |
| 细粒土质砂 | 15%＜细粒含量≤50% | 细粒为黏土 | 黏土质砂 |
| 细粒为粉土 | 粉土质砂 |

注：表中“细粒土质砂”的细粒土为黏土或粉土，应按塑性图中的位置确定。

5 细粒组质量大于或等于总质量50%的土称为细粒类土。细粒类土中粗粒组质量小于总质量25%的土称为细粒土；粗粒组质量为总质量25～50%的土称为含粗粒的细粒土。

1）液限（）为76g圆锥仪入土深度17mm时的含水率。

2）细粒土应根据塑性图（详见下图3.0.3）分类。塑性图中以液限（）为横坐标，塑性指数（）为纵坐标，图中有A、B两个界限。

A线方程为：=0.73（-20）。A线上方为黏土，A线下方为粉土。

B线方程为：=50。≥50为高液限，＜50为低液限。



图3.0.3 塑性图

3）按表3.0.3-5对细粒土进行定名。

表3.0.3-5 细粒土分类

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 土的塑性指标在塑性图中的位置 | | 土的定名 |
| 塑性指数 | 液限 |
| ≥0.73（-20）和≥10 | ≥50 | 高液限黏土 |
| ＜50 | 低液限黏土 |
| ＜0.73（-20）和＜10 | ≥50 | 高液限粉土 |
| ＜50 | 低液限粉土 |

4）含粗粒的细粒土应先按表3.0.3-5确定细粒土名称。当粗粒中砾粒占优势时，称为含砾细粒土；当粗粒中砂粒占优势时，称为含砂细粒土。

**4 现场取样**

4.0.1 本方法适用于现场土层采取Ⅰ级原状试样。可采用环刀法取样或探槽（井）内刻取块体法取样两种。

4.0.2 环刀法取样

1 在现场预定的取样部位，开挖探槽（井）至预定取样深度附近。

2 小心挖除表层浮土，并平整土面。

3 将环刀刃口向下，并依次放置护环、木质垫块，施加一定的压力，匀速下压至环刀全部进入土体。

4 取下木质垫块、护环，以环刀为中心，在其周围约5cm处，用切土刀垂直切割土体；在土面下约5cm处水平切割土体，将带有环刀的土体小心放入塑料袋内，排出空气，用塑料胶带立即封好，并做好标识。

5 重复本条第3～4款步骤，取足所需的环刀数量。

6 取好的样品应放置于阴凉处，避免暴晒、雨淋，以保证天然含水率不发生变化；运输过程中应避免震动，以尽可能减小土样的扰动。

4.0.3 刻取块体法取样

1 在现场预定的取样部位，开挖探槽（井）至预定取样深度附近。

2 小心挖除表层浮土，并平整土面。

3 划定长、宽、高均为20cm的范围，以切土刀或其他刀具对土体进行垂直、水平向的分割。

4 将刻取好的块体样，立即用塑料薄膜小心包裹、用塑料胶带密封并做好标识。

5 取好的样品应放置于阴凉处，避免暴晒、雨淋，以保证天然含水率不发生变化；运输过程中应避免震动，以尽可能减小土样的扰动。

**5 室内试样制备和饱和**

5.1 土试样制备

5.1.1 常规试验土样的制备

1 原状土样制备

1）将土样筒按标明的上下方向放置，小心开启包装皮，取出放正，整平两端。用切土刀将土样削成稍大于环刀直径的土柱，无特殊要求时，切土方向与天然层理垂直。

2）切土环刀内壁涂一薄层凡士林，刃口向下放在土样上，将环刀垂直下压，边压边削，至土样露出环刀为止。先削去上端余土，并修平上端面；用钢丝弓从环刀上端面下约2.5cm处水平切取土样，将环刀上端面平整放至玻璃板，平整环刀下端面，擦净环刀外壁，称环刀和土总质量。

3）切取试验所需试件后，剩余的原状土样用塑料膜包好置于保湿器内，以备补做试验用。同时从余土中取代表性试样测定含水率、比重、颗粒分析、界限含水率等各项试验。

4）切削试样时，应对土样的层次、气味、颜色、夹杂物、裂隙和均匀性进行描述，对低塑性和高灵敏度的软土，制样时尽可能减少扰动。

5）如遇软弱土（黏性土目测其液性指数（）大于0.6、饱和粉土、饱和砂土）时，为减少对试样的扰动程度，可先将土样切分成6～7段（每段土柱的高度不应小于环刀高度的1.5倍），再行切取环刀。

2 扰动土试样制备

1）将土样从样筒或包装袋中取出，对土样颜色、土类、气味、夹杂物及均匀程度进行描述，并将土样切成碎块，拌和均匀，取代表性土样进行含水率测定。

2）将块状扰动土放在橡皮板上用木槌碾散或粉碎机粉碎，但切勿压碎颗粒；如含水率较大不能碾散时，应风干至可碾散时为止。

3）根据试验所需土样数量，将碾散后的土样过筛。液限、塑限、缩限等物理性试验，需过0.5mm筛；常规水理及力学试验土样，需过2mm筛；击实试验土样的最大粒径必需满足击实试验采用不同击实筒试验时的土样中最大颗粒粒径的要求。按规定过标准筛后，取出足够数量的代表性试样，分装在容器内，标以标签，以备各项试验之用。含有多量粗砂及少量细粒土（泥砂或黏土）的松散土样，应加以水浸润松散后，用四分法取出代表性试样。

4）配制含水率时，取过2mm筛的足够试验用的风干土1kg～5kg，计算所需加水量；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，装入容器内盖紧，浸润一昼夜备用（砂土的浸润时间可酌量缩短）。

5）测定浸润土样不同位置的含水率（至少两个以上），要求差值满足含水率测定的允许平行差值。

6）采用击样法制取扰动土样：根据所要求的干密度及含水率、环刀容积等计算出所需湿土重量，分三次倒入装有环刀的击样器内，击实到所需密度。

7）采用压样法制取扰动土样：根据环刀容积和要求干密度所需质量的湿土倒入装有环刀的压样器内，以静压力通过活塞将土样压紧到所需要的密度。

5.1.2 三轴压缩试验（含无侧限抗压强度试验）土样的制备

1 原状样的制备

1）对于较软的土样，先用钢丝锯或切土刀切取一稍大于规定尺寸的土柱，放在切土盘的上、下圆盘之间，用钢丝锯或削土刀紧靠侧板，由上往下细心切削，边切削边转动圆盘，直至土样的直径被削成规定的直径为止。然后按试样高度的要求，削平上下两端。

2）对于较硬的土样，先用削土刀或钢丝锯切取一稍大于规定尺寸的土柱，上、下两端削平，按试样要求的层次方向，放在切土架上，用切土器切削。先在切土器刀口内壁涂上一薄层油，将切土器的刀口对准土样顶面，边削土边压切土器，直至切削到比要求的试样高度约高2cm为止，然后拆开切土器，将试样取出，按要求的高度将两端削平。

3）试样的两端面应平整，互相平行，与侧面垂直，上下均匀。在切样过程中，若试样表面因遇砾石而成孔洞，允许用切削下的余土补样。

4）对于直径大于10cm的土样，可用分土器切成三个土柱，再按照上述方法切取直径为39.1mm的试样。

2 扰动土试样制备

1）根据预定的干密度和含水率，按本规程第5.1.1条第2款中第2）～5）步骤规定的方法备样后，在击样器内分层击实，粉质土宜为3～5层，黏质土宜为5～8层，各层土样数量相等，各层接触面应刨毛。击完最后一层，将击样器内的试样两端整平，取出试样称量，对制备好的试样应测量其直径和高度。

2）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。将砂料填入对开圆膜内，分三层按预定干密度击实。当制备饱和试样时，在对开圆膜内注入蒸馏水至1/3高度，将煮沸的砂料分三层填入，达到预定高度。放上不透水板、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。

5.2 土试样饱和

5.2.1 根据土样的透水性能，可选择浸水饱和、毛细管饱和、抽气饱和、水头饱和、反压力饱和等方法。

5.2.2 砂类土可采用浸水饱和法。

5.2.3 较易透水的粉土及部分黏性土，渗透系数大于cm/s时，宜采用毛细管饱和或浸水饱和。

5.2.4 不易透水的黏性土，渗透系数小于等于cm/s时，宜采用抽气饱和。

5.2.5 毛细管饱和法宜选用框式饱和器，试样上、下两放置滤纸和透水石，装入饱和器内，并旋紧螺母；将饱和器放入水箱内，注入清水，水面不宜将试样淹没，浸水时间不少于两昼夜。

5.2.6 抽气饱和法宜选用叠式或框式饱和器和真空饱和装置。在饱和器下夹板的中间，依次放置透水石、滤纸、带有试样的环刀、滤纸、透水石，如此顺序重复，由下向上重叠到拉杆高度，上好夹板，拧紧拉杆上端的螺母，将各环刀在夹板中夹紧。将饱和器放入真空缸内，启动抽气机开始抽气，真空表读数宜接近当地一个大气压力值（抽气时间对于粉质土不低于0.5h，对于黏质土不低于1h，对于密实的黏质土不低于2h），然后徐徐注入清水，待饱和器完全被水淹没即停止抽气，并释放汽缸的真空。试样在水下静置时间大于10h，使试样充分饱和。

5.2.7 水头饱和法常用于三轴试验中的试样饱和。将试样装于压力室内，施加20kPa周围压力。水头高出试样顶部1m，使蒸馏水从底部进入试样，从试样顶部溢出，直至流入水量和流出水量相等为止。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。

5.2.8 反压力饱和法常用于三轴试验中的试样饱和。试样装入压力室内，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，先对试样施加20kPa的周围压力，开孔隙水压力阀，待孔隙水压力变化稳定，测记读数，关孔隙水压力阀。反压力应分级施加，同时分级施加周围压力，以尽可能减少对试样的扰动。周围压力和反压力的每级增量宜为30kPa，开体变管阀和反压力阀，同时施加周围压力和反压力，缓慢打开孔隙水压力阀，检查孔隙水压力增量，待孔隙水压力稳定后，测记孔隙水压力和体变管读数，再施加下一级周围压力和反压力，至达到预定的压力值后，计算每级周围压力引起的孔隙水压力增量，当孔隙水压力增量与周围压力增量之比大于0.98时，认为试样饱和。

5.3 岩石试件制备及饱和

5.3.1 试件加工要求

1 标准试件为圆柱形，可用钻孔岩芯或试坑、探槽中采取岩块加工制成。

2 制备试件时应采用纯净水作冷却液。

3 对于遇水崩解、溶解和干缩湿胀的岩石，应采用干法制备试件。

4 圆柱体直径或方柱体边长宜为48mm～54mm。

5 含大颗粒岩石的试件直径或边长应大于最大颗粒尺寸的10倍。

6 试件高度与直径或边长之比宜为2.0～2.5。

7 同一含水状态下每组试件数量不应少于3个。

5.3.2 试件加工精度应符合下列规定

1 试件高度、直径或边长的允许偏差为±0.3mm。

2 试件两端面的不平整度允许偏差为±0.05mm。

3 端面应垂直于试件轴线，允许偏差为±0.25°。

4 方柱体或立方体试件相邻两面应互相垂直，允许偏差为±0.25°。

5.3.3 试件的制备应根据工程需要可选择天然状态、烘干状态或饱和状态，并应符合下列规定：

1 天然状态应在试样拆除密封后立即制备试件，并测定其天然含水率。

2 烘干状态对于不含矿物结晶水的岩石，应在105℃～110℃的恒温下烘干24h。对于含有矿物结晶水的岩石，应降低烘干温度，可在40±5℃恒温下烘24h～48h。再将岩石试件从烘箱中取出，放入干燥器内冷却至室温，称试件质量，然后重复烘干冷却步骤，直到相邻两次称量之差不超过后一次称量的0.1%。

3 当采用自由吸水法测定岩石吸水率时，应将试件放入水槽，先注水至试件高度的1/4处，以后每隔2h分别注水至试件高度的1/2和3/4处，6h后全部浸没试件。试件全部浸入在水中自由吸水48h后，取出试件拭干表面水分并称重。

4 采用煮沸法饱和试件时，煮沸容器内的水面应始终高于试件，煮沸时间不得少于6h。经煮沸的试件应放置在原容器中冷却至室温，取出试件拭干表面水分并称重。

5 当采用真空抽气法饱和试件时，饱和试件的容器内的水面应高于试件，真空压力表读数宜为当地一个大气压力值，直至无气泡逸出为止，抽气时间不得少于4h。经真空抽气的试件应放置在原容器中，在大气压下静置4h，取出试件拭干表面水分并称重。

**6 含水率试验**

6.1 烘干法

6.1.1 本方法适用于测定所有土的含水率试验。

6.1.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 烘箱：电热烘箱（温度能保持105℃～110℃）。

2 电子天平：称量200g～500g，最小分度值0.01g。

3 其他：干燥器，称量盒。

6.1.3 试验步骤及注意事项：

1 取代表性试样（或用环刀中的试样）不低于30g～50g（有机土、砂类土不低于50g），放入称量盒内，立即盖好盒盖，称量湿土质量，准确至0.01g。

2 揭开盒盖，将称量盒放入烘箱进行烘烤至恒量。对于有机土，应控制烘箱温度为65℃～70℃，烘干时间不低于24h；对于其他土类，应控制烘箱温度为105℃～110℃，烘干时间对黏性土、粉土不得少于8h，对砂土不得少于6h。

3 将称量盒从烘箱中取出，盖好盒盖放入干燥器内冷却至室温，称干土质量，准确至0.01g。

6.1.4 含水率应按下式进行计算：

式中： ——含水率（%），准确到小数点后一位；

——湿土质量（g）；

——干土质量（g）。

6.2 酒精燃烧法

6.2.1 本方法适用于快速测定细粒土（有机土除外）的含水率。

6.2.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 电子天平：称量200g～500g，最小分度值0.01g。

2 酒精：工业用酒精，纯度95%。

3 其他：干燥器、称量盒、调土刀等。

6.2.3 试验步骤及注意事项：

1 取代表性试样（黏性土5g～10g，砂类土15g～20g），放入称量盒内，立即盖好盒盖，称量湿土质量，准确至0.01g。

2 用滴管将酒精注入放有试样的称量盒中，直至淹没盒中试样为止。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打。

3 点燃盒中酒精，燃至火焰熄灭。

4 将试样冷却数分钟后，重复本条2～3款步骤2～3次。

5 将称量盒盖好盒盖放入干燥器内冷却至室温，称干土质量，准确至0.01g。

6.2.4 含水率应按本规程第6.1.4条进行计算。

**7 密度试验**

7.1 环刀法

7.1.1 本方法适用于细粒土。

7.1.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 环刀：不锈钢环刀，其内径分为61.8mm和79.8mm两种，高度20mm，渗透试验用环刀内径为61.8mm，高度40mm。

2 电子天平：称量200g～500g，最小分度值0.01g。

3 其他：切土刀、钢丝锯、凡士林、压环等。

7.1.3 试验步骤及注意事项：

1 按本规程第5.1.1条的步骤进行制样。

2 擦净环刀外壁，置于天平上，称量环刀与试样总质量，准确至0.01g。

3 所有环刀样均应称量并及时记录。

7.1.4 试样的湿密度应按下式进行计算：

式中： ——湿密度（g/cm3），准确到0.01 g/cm3；

——湿土质量（g）；

——环刀体积（cm3）。

试样的干密度按下式计算：

式中： ——干密度（g/cm3），准确到0.01 g/cm3；

——湿密度（g/cm3）；

——含水率（%）。

7.2 蜡封法

7.2.1 本试验方法适用于易破裂土和状态不规则的坚硬土。

7.2.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 电子天平：称量200g～500g，最小分度值0.01g。

2 架盘天平：称量200g～500g，最小分度值0.1g。

3 固体石蜡：应测量石蜡的密度。

4 砂浴或电炉：应能调节温度。

5 蜡锅：铝制或铁制容器，用于盛放蜡液。

6 烧杯：容量不低于5L。

7 其他：温度计、钢丝弓、切土刀、细线、针等。

7.2.3 试验步骤及注意事项：

1 将固体石蜡放入蜡锅内，置于砂浴或电炉上加热至所有固体石蜡熔化，保证蜡锅内蜡液高度不低于试样长轴方向的3/4，且蜡液温度不低于石蜡熔点，待用。

2 切取代表性试样不少于3块，每块样品目测其体积不低于50cm3，清除表面浮土及尖锐棱角，系上细线，用电子天平分别称量试样质量，精确至0.01g。

3 持线将试样徐徐浸入刚过熔点的蜡液中，使试件表面覆盖薄层石蜡，提出后应立即检查试样表面蜡膜，若存在气泡时需用热针刺破气泡，再用石蜡液填充补平，冷却后用电子天平称蜡封试样质量，精确至0.01g。

4 将蜡封试样置于架盘天平一端，使其浸没在盛有蒸馏水的烧杯中，保证蜡封试样不能接触烧杯壁，称量蜡封试样的水中质量，准确至0.1g，并测定蒸馏水的温度。

5 取出试样，擦干蜡面上的水分，电子天平称量蜡封试样质量。当浸水后试样质量增加应另取试样重做试验。

7.2.4 试样的湿密度应按下式进行计算：

式中： ——湿密度（g/cm3），准确到0.01 g/cm3；

——试样质量（g）；

——蜡封试样质量（g）；

——蜡封试样在水中的质量（g）；

——水在T℃时的密度（g/cm3）；

——石蜡的密度（g/cm3）。

试样的干密度应按本规程第7.1.4条进行计算。

7.3 灌水法

7.3.1 本试验方法适用于现场测定粗粒土密度。

7.3.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 储水筒：直径均匀，并附有刻度及出水管。

2 台秤：称量50kg，最小分度值10g。

3 天平：称量500g，最小分度值0.1g。

4 薄膜：塑料薄膜。

5 其他：铁铲、铁镐、水准仪、铝盒、烘箱等。

7.3.3 试验步骤及注意事项：

1 根据试样最大粒径确定试坑尺寸，详见表7.3.3

表7.3.3 试坑尺寸选取表

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 试样最大粒径（mm） | 试坑直径（mm） | 试坑深度（mm） |
| 5～20 | 150 | 200 |
| 40 | 200 | 250 |
| 60 | 250 | 300 |

2 将选定试验处的试坑地面整平，除去表面松散的土层。

3 按确定的试坑直径划出坑口轮廓线，在轮廓线内下挖至要求深度，使坑壁圆滑、坑底平整，边挖边将坑内的试样装入盛土容器内，称试样质量，准确到10g，并取代表性试样进行含水率测定。

4 试坑挖好后，放上相应尺寸的套环，用水准尺找平，将大于试坑容积的塑料膜袋平铺于坑内，翻过套环压住薄膜四周。

5 记录储水筒内初始高度，拧开储水筒出水开关，将水缓慢注入塑料薄膜袋中。当袋内水面接近套环边缘时，将水流调小，直至袋内水面与套环边缘齐平时关闭出水管，持续3min～5min，记录储水筒内水位高度。当袋内出现水面下降时，应另取塑料薄膜袋重做试验。

7.3.4 试样的湿密度应按下式进行计算：

式中： ——湿密度（g/cm3），准确到0.01 g/cm3；

——取自坑内的试样质量（g）；

——试坑体积（cm3）；

——储水筒内初始水位高度（cm）；

——储水筒内注水终了时水位高度（cm）；

——储水筒断面积（cm2）；

——套环体积（cm3）。

试样的干密度应按本规程第7.1.4条进行计算。

7.4 灌砂法

7.4.1 本试验方法适用于现场测定粗粒土密度。

7.4.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 密度测定器：由容砂瓶、灌砂漏斗和底盘组成。灌砂漏斗高135mm、直径165mm，尾部有孔径为13mm的圆柱形阀门；容砂瓶容积为4L，容砂瓶与灌砂漏斗之间用螺纹接头连接；底盘承托灌砂漏斗和容砂瓶。

2 台秤：称量50kg，最小分度值10g。

3 天平：称量10kg，最小分度值5g；称量500g，最小分度值0.1g。

4 标准砂：应事先测定标准砂密度，标准砂粒径宜选用0.25mm～0.50mm，其密度宜选用（1.47～1.61）g/cm3。用量约20kg～40kg。

5 其他：铁铲、铁镐、水准仪、铝盒、温度计、烘箱等。

7.4.3 试验步骤及注意事项：

1 按照本规程第7.3.3条1～3款进行。

2 向容砂瓶内注满砂，关阀门，称容砂瓶、漏斗和砂的总质量，准确到10g。

3 将密度测定器倒置（容砂瓶向上）于挖好的坑口上，打开阀门，使砂注入试坑。在注砂过程中不应震动。当注砂满试坑时关闭阀门，称容砂瓶、漏斗和余砂的总质量，准确至10g，计算注满试坑所用的标准砂质量。

4 标准砂密度测定：

1）组装容砂瓶与灌砂漏斗，螺纹联接处应旋紧，称其质量。

2）将密度器竖立，灌砂漏斗口向上，关阀门，向灌砂漏斗中注满标准砂，打开阀门使灌砂漏斗内标准砂漏入容砂瓶内，继续向漏斗内注砂漏入瓶内，当砂停止流动时迅速关闭阀门，倒掉漏斗内多余的砂，称容砂瓶、灌砂漏斗和标准砂的总质量，准确至5g。试验中应避免震动。

3）倒出容砂瓶内的标准砂，通过漏斗向容砂瓶内注水至水面高出阀门，关阀门，倒掉漏斗中多余的水，称容砂瓶、漏斗和水的总质量，准确到5g，并测定水温，准确到0.5℃。重复三次，取平均值。

4）标准砂的密度按下式进行计算：

式中： ——标准砂的密度（g/cm3），准确到0.01 g/cm3；

——容砂瓶、漏斗和标准砂的总质量（g）；

——容砂瓶和漏斗的质量（g）；

——容砂瓶的容积（mL）；

——容砂瓶、漏斗和水的总质量（g）；

——水在T℃时的密度（g/cm3）；

7.4.4 试样的湿密度应按下式进行计算：

式中： ——湿密度（g/cm3），准确到0.01 g/cm3；

——取自坑内的试样质量（g）；

——注满试坑所用标准砂的质量（g）；

——标准砂的密度（g/cm3）。

试样的干密度应按本规程第7.1.4条进行计算。

**8 比重试验**

8.1 比重瓶法

8.1.1 本试验方法适用于粒径小于5mm的土颗粒比重试验。

8.1.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 比重瓶：容积100mL或50mL，使用前应进行校准。

2 恒温水槽：准确度应为±1℃。

3 真空抽气设备。

4 砂浴：能调节温度。

5 电子天平：称量200g，最小分度值0.001g。

6 温度计：刻度0～50℃，最小分度值为0.5℃。

7 其他：烘箱、蒸馏水（或中性液体，如煤油）、筛、漏斗、温度计等。

8.1.3 试验步骤及注意事项：

1 称取烘干并碾散的土试样10g～15g（比重瓶容积为50mL时，取试样10g；比重瓶容积为100mL时，取试样15g），用漏斗装入烘干后的比重瓶内，称取瓶土总质量，准确至0.01g。

2 向比重瓶内注入蒸馏水（或中性液体）至比重瓶的一半位置，摇晃比重瓶，使土、水混合，采用砂浴煮沸法或真空抽气法排出空气。

3 将蒸馏水（或抽气后的中性液体）注入比重瓶中，放入恒温水槽中到瓶内液体温度稳定、且瓶内上部悬液澄清，塞紧瓶塞，多余的液体从瓶塞毛细管中溢出。取出比重瓶、擦干瓶壁，称量瓶、水、土总质量，准确至0.001g，并测量恒温水槽的水温。

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各试验温度下的瓶水总质量。

5 注意事项：

1）采用煮沸法排出空气时，煮沸时间自悬液沸腾起对砂土不应少于30min，对黏性土、粉土不得少于1h。煮沸过程中，应随时调节砂浴温度或向瓶内加入少量蒸馏水，以保证瓶内液体不溅出。

2）对于含有可溶盐、有机质和亲水胶体的试样，应采用中性液体（如煤油）代替蒸馏水，并应采用真空抽气法排出空气。

3）采用真空抽气法排出空气时，应将蒸馏水（中性液体）一同置于抽气筒中排出空气。为确保抽气过程中比重瓶内悬液不溅出，宜缓慢打开抽气阀门，直至真空表读数接近当地一个大气压力值，抽气时间不得少于1h。

6 比重瓶在使用前应进行校准，校准应按下列步骤进行：

1）将比重瓶清洗干净、烘干，置于干燥器内至冷却后称量，准确至0.001g。

2）将煮沸冷却或采用真空抽气后的蒸馏水注入比重瓶内，放入恒温水槽中，直至瓶内液体温度稳定，塞紧瓶塞，多余的液体从瓶塞毛细管中溢出，擦干瓶壁，称量瓶、水总质量，准确至0.001g。

3）调节恒温水槽内的温度，测定不同温度下的瓶、水总质量。每个温度下应进行两次平行测定，两次测定的差值不应大于0.002g。不同温度序列可采用5℃、10℃、15℃、20℃、25℃、30℃、35℃等。

4）绘制不同温度下的瓶水总质量关系曲线待用。

5）比重瓶的校准应每年进行一次，宜在当地温度最低时节进行。

6）新的比重瓶应进行校准后方可使用。

7）更换不同比重的中性液体时，需要重新校准比重瓶。

8）水的比重可查相关物理手册，中性液体的比重应实际测定。

7 煤油的比重测定步骤及注意事项：

1）将已称量的比重瓶，装满经真空抽气的煤油，放入恒温水槽内，待瓶内温度稳定后，塞紧瓶塞，使多余的液体从瓶塞毛细管中溢出。取出比重瓶、擦干瓶壁，称量瓶、煤油总质量，准确至0.001g，并测量恒温水槽的水温。

2）调节恒温水槽内的温度，测定不同温度下的瓶、煤油总质量。每个温度下应进行两次平行测定，两次测定的差值不应大于0.002g。不同温度序列可采用5℃、10℃、15℃、20℃、25℃、30℃、35℃等。

3）用同一比重瓶装满经真空抽气的蒸馏水，重复本条第1）～2）条款操作，称量瓶和蒸馏水的总质量，准确至0.001g。

4）煤油的比重应按下式进行计算：

式中： ——T℃时煤油比重，无纲量，准确到0.01；

——比重瓶的质量（g）；

——T℃时比重瓶、煤油总质量（g）；

——T℃时比重瓶、水总质量（g）；

——T℃时蒸馏水的比重。

8.1.4 土粒的比重应按下式进行计算：

式中： ——土粒比重，无纲量，准确到0.01；

——干土质量（g）；

——比重瓶、水总质量（g）；

——比重瓶、水、试样总质量（g）；

——T℃时蒸馏水或中性液体的比重。

8.2 浮称法

8.2.1 本试验方法适用于粒径大于或等于5mm的土颗粒比重试验，且其中粒径大于20mm的土质量应小于总土质量的10%。

8.2.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 铁丝筐：孔径小于5mm，边长为10cm～15cm，高为10cm～20cm。

2 盛水容器：尺寸应大于铁丝筐。

3 天平：称量2000g，最小分度值0.5g。

4 其他：烘箱、温度计、筛等。

8.2.3 试验步骤及注意事项：

1 称取代表性试样500g～1000g，冲洗至颗粒表面无尘土和其他污物。

2 将试样浸在水中一昼夜取出，放入铁丝筐，缓缓浸入水中，并在水中摇晃，至无气泡逸出时为止。

3 称取铁丝筐和试样在水中的总质量，准确至0.5g。

4 取出试样烘干、并称取烘干试样质量，准确至0.5g。

5 称取铁丝筐在水中质量，准确至0.5g；并立即测量容器内水的温度，准确至0.5℃。

8.2.4 土粒的比重应按下式进行计算：

式中： ——土粒比重，无纲量，准确到0.01；

——干土质量（g）；

——铁丝框和试样在水中的质量（g）；

——铁丝框在水中的质量（g）；

——T℃时蒸馏水的比重。

8.3 虹吸筒法

8.3.1 本试验方法适用于粒径大于或等于5mm的各类土，且其中粒径大于20mm土的含量应大于或等于总土质量的10%。

8.3.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 虹吸筒装置：由虹吸筒和虹吸管组成。

2 天平：称量1000g，最小分度值0.1g。

3 量筒：容积应大于500mL。

4 其他：烘箱、温度计等。

8.3.3 试验步骤及注意事项：

1 取代表性试样500g～1000g，冲洗至颗粒表面无尘土和其他污物。

2 将试样浸在水中一昼夜取出晾干，对大颗粒试样宜用干毛巾擦干表面，称取试样质量，准确至0.1g。

3 将清水注入虹吸筒，至管口有水溢出时停止注水。待管口不再有水流出后，关闭管夹，将试样缓缓放入虹吸筒中，边放边搅拌，至无气泡逸出时为止，搅动时勿使水溅出筒外。

4 称取量筒质量，准确至0.1g，待用。

5 待虹吸筒中水面平稳后，打开管夹，让试样排开的水通过虹吸筒流入量筒中。

6 称取量筒与水质量后，测定量筒内水的温度，准确至0.5℃。

7 取出虹吸筒内试样，烘干后称取试样质量，准确至0.1g。

8.3.4 土粒的比重应按下式进行计算：

式中： ——土粒比重，无纲量，准确到0.01；

——干土质量（g）；

——量筒与水总质量（g）；

——量筒质量（g）；

——晾干试样的质量（g）；

——T℃时蒸馏水的比重。

**9 颗粒分析试验**

9.1 筛析法

9.1.1 本试验方法适用于粒径小于、等于60mm，大于0.075mm的土。

9.1.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 标准筛：孔径依次为60mm、40mm、20mm、10mm、5mm、2mm、1mm、0.5mm、0.25mm、0.075mm。根据土的性质及工程需要可酌情增减筛径，但至少应包括20mm、2mm、0.5mm、0.25mm、0.075mm。

2 天平：称量5000g，最小分度值0.5g；称量1000g，最小分度值0.1g；称量200g～500g，最小分度值0.01g。

3 其他：烘箱、研钵、瓷盘、毛刷、木槌等。

9.1.3 试验步骤及注意事项：

1 将全部试样烘干，称取总质量，准确至0.1g。

2 将全部试样用木槌充分碾散，过0.075mm筛，分别称取筛上、筛下的土试样质量，当试样质量大于500g时，应准确至0.1g；当试样质量小于500g时，应准确至0.01g。

3 将筛上（>0.075mm）土试样装入瓷盘中并用清水浸泡约0.5h～1h，过0.075mm筛时用清水冲洗至筛下为清水，将筛上全部颗粒装入瓷盘、烘干、称量总重，并计算筛上、筛下的百分含量。当筛下质量小于总质量的10%时，可不进行密度计法试验；当筛下质量大于10%时，应另做密度计分析。

4 将烘干样依次过不同孔径的筛，并称取各级筛上试样质量，当试样质量大于500g时，应准确至0.1g；当试样质量小于500g时，应准确至0.01g。

5 目测试样中粗粒主要成份为软质岩石（如泥岩或较硬岩的全～强风化碎块）时，可不进行浸泡及清水冲洗，但应仔细碾散，以保证粗颗粒的完整。

9.1.4 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比，应按下式进行计算：

式中： ——小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比（%）；

——小于某粒径的试样质量（g）；

——试样总质量（g）。

不均匀系数和曲率系数按下式进行计算：

式中： ——不均匀系数；

——曲率系数；

——有效粒径，小于该粒径的土含量占总质量的10%；

——界限粒径，小于该粒径的土含量占总质量的30%；

——限制粒径，小于该粒径的土含量占总质量的60%。

9.2 密度计法

9.2.1 本试验方法适用于粒径小于0.075mm的细粒土。

9.2.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 密度计：

1）甲种密度计：刻度为-5°～50°，最小分度值0.5°。

2）乙种密度计：刻度为0.995～1.020，最小分度值0.0002。

2 量筒：内径约60mm、容积为1000mL，全容量刻线高度约31cm～37cm，刻度0～1000mL，准确至10mL。

3 洗筛：孔径为0.075mm。

4 洗筛漏斗：上口直径大于洗筛直径，下口直径略小于量筒内径。

5 电子天平：称量200g，最小分度值0.01g。

6 温度计：测量范围0～50℃，分度值为0.5℃。

7 搅拌器：轮径50mm，孔径3mm，杆长约450mm，带螺旋叶。

8 煮沸设备：可调节温度砂浴、电炉等。

9 分散剂：浓度为4%的六偏磷酸钠溶液，也可使用用其他分散剂。

10 其他：秒表、锥形烧瓶（容积300mL～500mL）、烧杯、研钵、漏斗等。

9.2.3 试验步骤及注意事项：

1 称取一定质量的风干（或烘干）样（对于砂土约45g，粉土约35g，黏性土约30g），用漏斗倒入锥形烧瓶中，注入蒸馏水约200mL，浸泡过夜，置于煮沸设备上煮沸，煮沸时间不低于30min。

2 将煮沸冷却后的悬液移入烧杯中，用带橡皮头的研杵研磨碾散，加适量蒸馏水搅拌，静置1min，过0.075mm筛用洗筛漏斗将悬液灌入量筒中，重复研磨、洗筛至烧杯中悬液澄清（保证最后灌入量筒中的溶液不超过1000mL），将0.075mm筛上颗粒洗入蒸发皿中。

3 将蒸发皿中颗粒烘干，过0.075mm筛，将筛下土倒入量筒中；将筛上土颗粒按本规程第9.1.3条第4款步骤过筛，并记录质量。

4 在量筒中加入分散剂10mL，再注入蒸馏水至1000mL。

5 用搅拌器在量筒内沿整个悬液深度上下搅拌1min，往返约30次，搅拌过程中勿使悬液溅出筒外。

6 取出搅拌器，同时开动秒表，将密度计放入悬液中，分别测记1.5min、25min、60min、120min时的密度计读数（可根据需要酌情适当增减测记读数时间，但不应少于4次）。每次读数均应在预定时间前10s～20s将密度计小心放入悬液且接近读数的深度，密度计浮泡应保持在量筒中部位置，不得贴近筒壁。

7 密度计读数均以弯液面上缘为准。甲种密度计应准确至0.5，乙种密度计应准确至0.0002。每次读数完毕，应立即取出密度计放入盛有蒸馏水的量筒中，并测定相应的悬液温度，准确至0.5℃。

8 注意事项：

1）当试样中易溶盐含量大于0.5%时，应洗盐。易溶盐含量的检测方法可采用电导法或目测法。

2）一般应首选采用六偏磷酸钠作为分散剂，也可采用偏磷酸钠、焦磷酸钠或25%氨水作为分散剂。

3）放入或取出密度计时，应小心轻放，不得扰动悬液。

4）读数时间1.5min、25min、60min、150min大致所对应的颗粒粒径为0.05mm、0.01mm、0.005mm、0.002mm附近，以便绘制出较为合理的颗粒分析曲线。若不能按上述时间读数时，必需严格记录读数时间。

5）悬液温度对土颗粒的沉降有着较大影响，故密度计读数时所对应的温度应严格测定。

6）若需测定<0.002mm的百分含量时，密度计读数需要延长至24h（1440min）。

9.2.4 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比，应按下列步骤进行。

1 某一时刻颗粒粒按下式进行计算：

式中： ——试样颗粒粒径（mm）；

——水的动力黏滞系数（kPa·s×10-6），查附表1；

——土粒比重，无纲量；

——T℃时水的比重；

——4℃时蒸馏水的密度（g/cm3）；

——重力加速度（cm/s2）；

——某一时间内的土粒沉降距离（cm）；

——沉降时间（s）。

2 小于某粒径的试样质量占试样总质量的百分比按下式进行计算：

1）甲种密度计

式中： ——小于某粒径的试样质量百分比（%）；

——试样干质量（g）；

——土粒比重校正值，查附表2；

——甲种密度计读数；

——悬液温度校正值，查附表3；

——弯月面校正值；

——分散剂校正值。

2）乙种密度计

式中： ——小于某粒径的试样质量百分比（%）；

——悬液体积（=1000mL）；

——试样干质量（g）；

——土粒比重校正值，查附表2；

——乙种密度计读数；

——悬液温度校正值，查附表3；

——弯月面校正值；

——分散剂校正值；

——20℃时蒸馏水的密度（=0.998232g/cm3）。

**10 界限含水率试验**

10.1 液、塑限联合测定法

10.1.1 本试验方法适用于粒径小于0.5mm以及有机质含量不大于试样总质量5%的土。

10.1.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 液塑限联合测定仪：包括带标尺的圆锥仪、电磁铁、显示屏、控制开关和试样杯等。圆锥质量为76g，锥角为30°；试样杯内径为40mm，高度为30mm。

2 电子天平：称量200g，最小分度值0.01g。

3 其他：烘箱、干燥器、铝盒、调土刀，筛（孔径0.5mm）、凡士林等。

10.1.3 试验步骤及注意事项：

1 本试验宜采用天然含水率试样。当土样不均匀时，采用风干试样。当试样中含有粒径大于0.5mm的土粒和杂物时，应过0.5mm的筛。

2 取代表性土样约250g～300g，将试样放在盛土皿中，加入蒸馏水，将土样调成均匀膏状，浸润过夜。

3 将制备的试样充分调拌均匀，密实地填入试样杯中，应使空气逸出；对较干的试样应充分揉搓；高出试样杯的余土用刮土刀刮平。

4 将试样杯放在联合测定仪的升降座上，在圆锥上抹一薄层凡士林，接通电源，使电磁铁吸住圆锥。

5 调节零点，将屏幕上的标尺调在零位，调整升降座、使圆锥尖接触试样表面，指示灯亮时圆锥在自重作用下沉入试样，经5s后测读圆锥下沉的深度（显示在屏幕上），取出试样杯，挖去锥尖入土处的凡士林，取锥体附近的试样不少于10g左右，放入称量盒内，测定其含水率。

6 将全部试样再加水或吹干并调匀，重复本条第3～5款的步骤分别测定第二点、第三点试样的圆锥下沉深度及相应含水率；液塑限联合测定不应少于3点，分别对应的圆锥入土深度宜为3mm～4mm，7mm～9mm，15mm～17mm。

7 以含水率为横坐标、圆锥入土深度为纵坐标，在双对数纸上绘制关系曲线，应为一直线，从直线上查得入锥深度17mm、10mm、2mm所对应的含水率分别为17mm液限、10mm液限和2mm塑限，以百分数表示，准确至0.1%。

8 注意事项：

1）当3点不在一条直线上时，应以高含水率点与另外两点分别连成两条直线，分别求得2mm所对应的含水率，当两个2mm所对应的含水率差值小于2%时，取其平均值与高含水率点连成直线；当两个2mm所对应的含水率差值大于等于2%时，重新进行试验。

2）根据《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2001）第3.3.5条规定，塑性指数由10mm液限计算而得。

10.1.4 土的液限、塑限的计算应按本规程第6.1.4条要求进行，土的塑性指数、液性指数按下列公式进行计算：

式中： ——塑性指数；

——液限（%）；

——塑限（%）；

——液性指数，计算至0.01；

——天然含水率（%）。

10.2 圆锥仪法液限试验

10.2.1 本试验方法适用于粒径小于0.5mm的土。

10.2.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 锥式液限仪：带标尺（分别为17mm、10mm、2mm）的圆锥仪，其圆锥质量为76g，锥角为30°。

2 电子天平：称量200g，最小分度值0.01g。

3 其他：烘箱、干燥器、铝盒、调土刀，筛（孔径0.5mm）、凡士林等。

10.2.3 试验步骤及注意事项：

1 试样的制备应按本规程第10.1.3条第1～2款的步骤进行。

2 将制备的试样充分调拌均匀，密实地填入试样杯中，应使空气逸出。对较干的试样应充分揉搓。高出试样杯的余土用刮土刀刮平。

3 圆锥仪锥尖部分涂上凡士林，以拇指和食指执锥柄，使锥尖与试样面接触，并保持锥体垂直，松开手指使锥体自由下落，在其在自重作用下沉入土中。

4 圆锥仪锥尖进入土体5s后，视线与锥体平行，观察锥体入土深度；锥体17mm标尺刚好与土面重合即为17mm液限，锥体10mm标尺刚好与土面重合即为10mm液限；若土面与锥体标尺不重合，应再加水或吹干并调匀，重复本条第2～3款的步骤。

5 取测得的合格试样，挖去沾有凡士林的部分，取不少于10g的试样放入铝盒测定其含水率。

10.2.4 土的液限的计算应按本规程第6.1.4条要求进行。

10.3 滚搓法塑限试验

10.3.1 本试验方法适用于粒径小于0.5mm的土。

10.3.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 毛玻璃板：尺寸宜为200mm×300mm。

2 游标卡尺：分度值为0.02mm。也可采用缝隙3mm的模板或米格纸替代。

3 电子天平：称量200g，分度值0.01g。

4 其他：烘箱、干燥器、干毛巾、铝盒等。

10.3.3 试验步骤及注意事项：

1 试样的制备应按本规程第10.1.3条第1～2款的步骤进行。为在试验前使试样含水率接近塑限，可在手中揉捏至不黏手为止或放在空气中稍微晾干。

2 取接近塑限含水率的试样一小块，用手捏成椭圆形，放在毛玻璃板上用手掌滚搓，滚搓时手掌的压力要均匀地施加在土条上，不得使土条在毛玻璃板上无压力滚动。

3 当土条直径搓成3mm时产生裂纹，并开始断裂，表示试样达到塑限含水率。当土条直径搓成3mm时不产生裂纹，表示试样的含水率高于塑限，则将其重新捏成一团，再进行滚搓；若土条直径大于3mm时开始断裂，则表示试样的含水率低于塑限，应重新取样进行试样。

4 取直径为3mm且有裂纹的土条3～5g，放入称量盒内，盖紧盒盖，测定含水率。

5 滚搓法塑限试验每组试验的试样应为两个，两个试样试验的差值，高液限土不得大于2%，低液限土不得大于1%。

6 试验过程中土条不得出现空心现象，土条长度不宜大于手掌宽度。

10.3.4 土的塑限计算应按本规程第6.1.4条要求进行。

**11 击实试验**

11.0.1 本试验分为轻型击实和重型击实两种。轻型击实试验适用于粒径小于5mm的黏性土，重型击实适用于粒径不大于20mm的土。采用三层击实时，最大粒径不大于40mm。

11.0.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 击实仪的击实筒和击锤尺寸应符合表11.0.2的规定。

表11.0.2 击实仪主要部件规格表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验  方法 | 击实功  (kJ/m3) | 锤底  直径（mm） | 锤质量  （kg） | 落距  （mm） | 击实筒 | | | 护筒  高度  （mm） |
| 内径（mm） | 筒高（mm） | 容积（cm³） |
| 轻型 | 592.2 | 51 | 2.5 | 305 | 102 | 116 | 947.4 | 50 |
| 重型 | 2684.9 | 51 | 4.5 | 457 | 152 | 116 | 2103.9 | 50 |

2 击实仪的击锤应配导筒，击锤与导筒间应有足够的间隙使锤自由下落；电动操作的击锤必须有控制落距的跟踪装置和锤击点按一定角度（轻型53.5°，重型45°）均匀分布的装置（重型击实仪中心点每圈要加一击）。

3 电子天平：称量200g，最小分度值0.01g。

4 台秤：称量10kg，最小分度值5g。

5 标准筛：孔径40mm、20mm和5mm。

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

7 其他：烘箱，喷水设备，碾土设备，盛土器，修土刀和保湿设备等。

11.0.3 试验步骤及注意事项：

1 试样制备分为干法和湿法两种：

1）干法制备：用四分法取代表性风干土样（轻型约20kg，重型约为50kg），风干碾碎，轻型试验过5mm的筛，重型试验过20mm或40mm的筛，将筛下土样拌匀，并测定土样的风干含水率。根据土的塑限预估最优含水率，按依次相差约2%的含水率制备不少于5个试样（其中有2个含水率大于塑限，2个含水率小于塑限，1个接近塑限）。

2）湿法制备：按四分法取天然含水状态的代表性土样20～50kg，并测定土样的天然含水率。根据土的塑限预估最优含水率，按本条1款的原则选择至少5个不同含水率的土样，分别将天然含水率的土样晾干或加水至要求的含水率进行制备。

2 将击实仪平稳置于刚性基础上，联结好击实筒与底座，安装好护筒，击实筒内壁和底板涂一薄层润滑油。称取一定量试样倒入击实筒，分层击实，轻型击实试样为2kg～5kg，分3层，每层25击；重型击实试样为4kg～10kg，分5层，每层56击；若分3层，每层94击。每层试样高度宜相等，两层交界处的土面应刨毛。击实完成后，超出击实筒顶的试样高度应小于6mm。

3 卸下护筒，用直刮刀修平击实筒顶部的试样，拆除底板，试样底部若超出筒外，也应修平，擦净筒外壁，称筒与试样的总质量，准确至1g，并计算试样的湿密度，准确至0.01g/cm3。

4 用推土器将试样从击实筒中推出，取2个代表性试样测定含水率，称量准确至0.01g，2个含水率的差值应不大于1%。

5 按本条第2～4款步骤对不同含水率的土样依次进行击实。

6 注意事项：

1）击实试验一般不重复使用土样。

2）轻型击实试验一般适用于低坝、水库、铁路路基填土等一般机械施工工程；重型击实试验一般适用于高坝、机场跑道、地基强夯、高等级公路填土等重型机械施工工程。

11.0.4 击实试验成果按以下步骤进行：

1 试样的干密度按下式计算：

式中： ——干密度（g/cm3），准确到0.01 g/cm3；

——湿密度（g/cm3）；

——含水率（%）。

2 在直角坐标纸上以含水率为横坐标、干密度为纵坐标，绘制干密度和含水率的关系曲线（如下图11.0.4所示），并取曲线上峰值点的干密度为击实样的最大干密度，相对应的含水率为最优含水率。



图11.0.4 干密度与含水率关系曲线

3 轻型击实试验中，当试样中粒径大于5mm的土质量小于或等于试样总质量的30%时，应对最大干密度和最优含水率进行校正。

1）最大干密度应按下式进行校正：

式中： ——校正后最大干密度（g/cm3），准确到0.01 g/cm3；

——曲线上查得的最大干密度（g/cm3）；

——粒径大于5mm土的质量百分数（%）；

——温度4℃时水的密度（g/cm3）；

——粒径大于5mm时土粒的饱和面干比重（饱和面干比重指当土粒

呈饱和面干状态时的土粒总质量与相当于土粒总体积的蒸馏水

4℃时质量的比值）。

2）最优含水率应按下式进行校正：

式中： ——校正后最优含水率（%）；

——曲线上查得的最优含水率（%）；

——粒径大于5mm土的质量百分数（%）；

——粒径大于5mm土粒的吸着含水率（%）。

**12 渗透试验**

12.1 常水头渗透试验

12.1.1 本试验方法适用于粗粒土。

12.1.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 常水头渗透仪装置：由金属封底圆筒、金属孔板、滤网、测压管和供水瓶等组成。金属圆筒内径为10cm、高度40cm。当使用其他尺寸的圆筒时，圆筒内径应大于试样最大粒径的10倍。

2 其他：木锤、秒表、天平等。

12.1.3 试验步骤及注意事项：

1 将仪器装好，接通调节管和供水管，使水流到仪器底部，水位略高于金属孔板，关止水夹。

2 取代表性土样3kg～4kg，称量。将其分层装入仪器，每层厚2cm～3cm，用木锤轻轻击实到一定厚度，以控制孔隙比。如土样含黏粒比较多，应在金属孔板上加铺约2cm厚的粗砂作为缓冲层，以防细粒被水冲走。

3 每层试样装好后，慢慢开启止水夹，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。

4 分层装入试样、饱和，至高出测压孔3cm～4cm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1cm～2cm砾石作缓冲层，放水，至水面高出砾石层2cm左右时，关闭止水夹。

5 将供水管和调节管分开，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。

6 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，需挤压测压管上的橡皮管，或用吸球在测压管上部将集气吸出，调至水位齐平为止。

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

8 测压管水位稳定后，测记水位，计算水位差。

9 开动秒表，同时用量筒接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。

10 测记进水和出水处水温，取其平均值。

11 降低调节管管口至试样中部及下部1/3高度处，重复本条第7～10款步骤重复测定渗出水量和水温，当不同水力坡降下测定的数据接近时，结束试验。

12.1.4 常水头渗透系数应按下式计算：

式中： ——水温为T℃时试样的渗透系数（cm/s）；

——时间t内的渗出水量（cm3）；

——两侧压管中心间的距离（cm）；

——试样的断面积（cm2）；

——平均水位差（cm）；

——时间（s）；

——标准温度（20℃）时试样的渗透系数（cm/s）；

——T℃时水的动力黏系数（kPa·s×10-6）；

——20℃时水的动力黏系数（kPa·s×10-6）；

——黏滞系数比，可查附表1。

12.2 变水头渗透试验

12.2.1 本试验方法适用于细粒土。

12.2.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 渗透容器：由环刀、透水石、套环、上盖和下盖组成。渗透环刀内径61.8mm、高度40mm；透水石的渗透系数应大于cm/s。

2 变水头装置：由渗透容器、变水头管、供水瓶、进水管等组成。变水头管的内径应均匀，管径不大于1cm，管外壁应有最小分度为1.0mm的刻度，长度一般为2m左右。

3 其他：秒表、温度计等。.

12.2.3 试验步骤及注意事项：

1 试样的制备应按本规程第5.1.1条第1款要求进行，并按本规程第6章、第7章的要求测定含水率及密度。

2 打开供水装置，使变水头管内充水，关闭供水装置。

3 缓缓打开渗透容器底部阀门，使变水头管内水缓慢进入渗透容器底部，当渗透容器底部全部充满水且无气泡逸出时，关闭渗透容器底部阀门。

4 渗透容器底部放透水石及密封圈。将带有试样的渗透环刀装入套环，上、下两端应放置滤纸。将套环平稳安放在渗透容器底座上，环刀上端面依次放入透水石、密封圈及上盖，用螺母旋紧。

5 向变水头管注水，使水升至预定高度，水头高度根据试样结构的疏松程度确定，一般不应大于2m，待水位稳定后切断水源，缓缓打开渗透容器底部阀门使水通过试样。当出水管有水溢出时，关闭进水阀门，准备进行试验。

6 放置50mL量筒于出水管下方，记录变水头管的起始水头高度，打开进水阀门的同时开启秒表，经历一定的时间后，关闭进水阀门，暂停秒表，记录本次试验终了水头高度、经历时间，并测定水温，准确至0.2℃。

7 调节变水头管水头高度，重复本条第6款步骤5～6次，当不同开始水头测定的渗透系数在允许差值范围内时，结束试验。

8 注意事项：

1）在进行本试验前，试样应预饱和。对于黏性土应采用抽气饱和法进行饱和，对于粉土及砂类土，可在渗透仪上采用水头饱和法进行饱和。

2）试验用水一般应采用蒸馏水，也可采用纯净水代替。

3）前应对渗透装置的所有管路进行检查。

4）试验时可用50mL量筒内所容纳的水量对变水管高度进行复核。

12.2.4 变水头渗透系数应按下式计算：

式中： ——水温为T℃时试样的渗透系数（cm/s）；

——ln和log的变换因数；

——变水头管的断面积（cm2）；

——渗径，即试样高度（cm）；

——试样的断面积（cm2）；

——分别为测读水头的起始和终了时间（s）；

——分别为起始和终了水头（cm）；

——标准温度（20℃）时试样的渗透系数（s）；

——T℃时水的动力黏系数（kPa·s×10-6）；

——20℃时水的动力黏系数（kPa·s×10-6）；

——黏滞系数比，可查附表1。

**13 固结试验**

13.1 标准固结试验

13.1.1 本试验方法适用于饱和黏土，当只进行压缩时，可用于非饱和土。

13.1.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 固结容器：由环刀、护环、透水石、水槽、加压上盖等组成。环刀应有一定的刚度，分为内径61.8mm和79.8mm两种、高度均为20mm，内壁应保持较高的光洁度。透水石渗透系数应大于试样的渗透系数。

2 加压设备：应能垂直地在瞬间施加压力，且没有冲击力，压力准确度应符合现行国定标准《土工程仪器基本参数及通用技术条件》（GB/T15406）的规定。目前常用的有杠杆式、磅秤式、气压式或其他形式。

3 变形测量设备：量程10mm，最小分度值0.01mm的百分表或准确度为全量程0.2%的位移传感器。

4 其他：秒表、滤纸等。

13.1.3 试验步骤及注意事项：

1 试样的制备应按本规程第5.1.1条第1款要求进行，并按本规程第6章、第7章的要求测定含水率及密度。

2 在固结容器内，依次放置护环、透水石和滤纸，护环内放入带试样的环刀（刃口向下），放上导环并与环刀接触，试样上依次放置滤纸、透水石及加压上盖。

3 将容器置于加压框架正中，使传压板与加压框架中心对准，安装百分表或位移传感器。

4 施加1kPa～2kPa的接触压力使试样与仪器各部件间接触，将百分表或传感器调整至零位或测记初始读数。

5 撤除接触压力，施加预定的首次荷重，应立即开启秒表记时，宜按15s、30s、1min、2min15s、4min、6min15s、9min、12min15s、16min、20min15s、25min、30min15s、36min、49min、64min、90min、120min、150min、180min、4h、5h、6h、23h、24h至稳定为止。按此步骤逐级加压至试验结束。仅需测定压缩系数时，各级压力下变形稳定标准为0.01mm/h；当进行标准固结试验、测定沉降速率、测定固结系数时，宜以24h作为稳定标准。

6 试验结束后，卸除所有荷重，拆卸百分表或位移传感器、依次取下加压上盖、透水石、导环、带有试样的环刀、护环等。

7 注意事项：

1）滤纸和透水石的湿度应接近试样的湿度。

2）对于饱和试样，应在施加完第一级荷重后立即向水槽内注水至浸没试样，并保持水位至试验结束。对于非饱和试样，宜用湿棉纱围住传压板四周。

3）应根据试样的软硬程度选取首级压力大小，可选用12.5kPa、25 kPa或50kPa；并根据试样的状态及工程要求控制荷重率在0.25～1.0之间。

4）当需确定土的前期固结压力并测定回弹时，应以加荷—卸荷—再加荷来评价其压缩特性，荷重序列宜为12.5kPa、25kPa、50kPa、100kPa、200kPa、300kPa、400kPa、800kPa、400kPa、200kPa、100kPa、200kPa、400kPa、800kPa、1200kPa、1600kPa、2000kPa、3200kPa，应保证施加的压力测得的e～logP曲线下段能出现直线段。

5）一般情况下，仅需评价土的压缩特性时，荷重序列宜采用50kPa、100kPa、200kPa、300kPa、400kPa。

6）当不需测定沉降速率、固结系数时，施加预定的荷重，1h后测记百分表或传感器读数，至该级荷载下变形量不大于0.01mm/h时，可施加下级荷载。

7）仅需评价土的压缩特性时，可采用快速固结，施加荷重1h后测记百分表或传感器读数，立即施加下级荷重；按此步骤逐级加压至最后一级荷重，应测定1h的固结变形量及固结稳定的变形量，并逐级校正各级荷重下的固结变形量。

13.1.4 固结试验成果应按下列步骤进行：

1 试样的初始孔隙比应按下式计算：

式中： ——试样的初始孔隙比，无纲量；

——土粒比重，无纲量；

——试样的湿密度（g/cm3）；

——试样的含水率（%）。

2 各级压力下试样固结稳定后的孔隙比应按下式计算：

式中： ——各级压力下试样固结稳定后的孔隙比，无纲量；

——试样的初始孔隙比，无纲量；

*——*各级压力下试样固结稳定后的累计变形量（等于该级压力下的固结稳定

读数减去仪器变形量），（mm）；

——试样高度，一般为20（mm）。

3 以压力为横坐标、孔隙比为纵坐标，绘制孔隙比与压力的关系曲线（如下图13.1.4-1所示）。若存在异常点时，应复核异常点的计算是否有误，无误时应对该异常点进行修正。



图13.1.4-1 孔隙比e与压力P关系曲线

4 某一压力范围内的压缩系数、压缩模量、体积压缩系数应按下式计算：

式中： ——某一压力范围内的压缩系数（MPa-1）；

——某一压力范围内的压缩模量（MPa）；

——某一压力范围内的体积压缩系数（MPa-1）；

——下限压力下的孔隙比，无纲量；

——上限压力下的孔隙比，无纲量；

——下限压力（MPa）；

——上限压力（MPa）；

——试样的初始孔隙比，无纲量。

5 前期固结压力、压缩指数、回弹指数的确定应按下列步骤进行：

1）以压力的对数为横坐标、孔隙比为纵坐标，绘制孔隙比与压力的对数关系曲线（如下图13.1.4-2所示），纵坐标0.1个单位长度与横坐标1个对数周期长度的比值宜取0.4～0.8。若存在异常点时，应复核异常点的计算是否有误，无误时应对该异常点进行修正。在e～logP曲线上找出最小曲率半径点O，过O点做水平线OA、切线OB及∠AOB的角平分线OD，OD线与e～logP曲线下半段直线的延长线交于点E，E点所对应的压力值即为该试样的前期固结压力。



图13.1.4-2 e～logP曲线求取Pc示意图

2）压缩指数、回弹指数应按下式计算：

式中： ——压缩指数，无纲量；

——回弹指数，无纲量；

——下限压力下的孔隙比，无纲量；

——上限压力下的孔隙比，无纲量；

——下限压力（MPa）；

——上限压力（MPa）。

6 固结系数应按下列方法确定：

1）固结系数的确定方法有多种，常用的有时间平方根法、时间对数法、时间对数坡度法等，在应用时宜先采用时间平方根法，若不能确定出开始的直线段时，则用时间对数法。

2）时间平方根法：对某一级压力，以试样的变形为纵坐标，时间的平方根为横坐标，绘制变形与时间平方根的关系曲线（如下图13.1.4-3所示），延长曲线开始段的直线与纵坐标的交点为理论零点，过点做另一直线（其横坐标为前一直线横坐标的1.15倍），求取该直线与变形～时间平方根关系曲线交点，交点的横坐标所对应的时间即为试样固结度达到90%时所需的时间，该级压力下的固结系数按下式计算：

式中： ——固结系数（cm2/s）；

——试样在某级压力下的最大排水距离，等于该级压力下试样初始

和终了高度的平均值之半（cm）；

——试样在某级压力下固结度达到90%时所需的时间（min）。



图13.1.4-3 变形与时间平方根的关系曲线

3）时间对数法：对某一级压力，以试样的变形为纵坐标，时间的对数为横坐标，绘制变形与时间对数关系曲线（如下图13.1.4-4所示），在关系曲线的开始段，任选一时间，查得相对就看变形值，再取时间=/4，查得相对应的变形值，则（-）即为；另取时间按上述方法依次求得、、等，取其平均值为理论零点，延长曲线中部的直线段和通过曲线尾部数点切线的交点即为理论终，取与的平均值即为，即=（+0）/2，所对应的时间即为试样在该级压力下固结度达到50%所需的时间，该级压力下的固结系数按下式计算：

式中： ——固结系数（cm2/s）；

——试样在某级压力下的最大排水距离，等于该级压力下试样初始

和终了高度的平均值之半（cm）；

——试样在某级压力下固结度达到50%时所需的时间（min）。



图13.1.4-4 变形与时间对数关系曲线

13.2 应变控制加荷固结试验

13.2.1 本试验方法适用于饱和的细粒土。

13.2.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 固结容器：由刚性底座、环刀、护环、透水石、水槽、加压上盖等组成。刚性底座底部连接孔隙水压力装置，可测孔隙水压力。环刀应有一定的刚度，分为内径61.8mm和79.8mm两种、高度均为20mm，内壁应保持较高的光洁度。透水石渗透系数应大于试样的渗透系数。

2 加压设备：应能反馈、伺服跟踪连续加荷。轴向测力计（负荷传感器，量程 0～10kN）量测误差应小于、等于1%。可选用螺旋杆式、液压式或气压式加压设备。

3 孔隙水压力测量设备：压力传感器，量程：0～1MPa，准确度应小于等于全量程的0.5%；其体积因数应小于1.5×10-5cm3/kPa。

4 变形测量设备：位移传感器，量程0～10mm，准确度为全量程的0.2%。

5 采集系统和控制系统：压力和变形范围应满足试验要求。

6 其他：秒表、滤纸等。

13.2.3 试验步骤及注意事项：

1 试样的制备应按本规程第5.1.1条第1款要求进行，并按本规程第6章、第7章的要求测定含水率及密度。

2 将固结容器底部孔隙水压力阀门打开充无气水，排除底部及管路中滞留的气泡，将装有试样的环刀装入护环，依次将透水石、薄型滤纸、护环置于容器底座上，关孔隙水压力阀，在试样顶部放薄型滤纸、透水石、套上上盖，用螺丝拧紧，使上盖、护环和底座密封，然后放上加压上盖，将整个容器移入轴向加荷设备正中，调平，装上位移传感器。对试样施加1kPa的预荷载，使仪器上、下各部件接触，调整孔隙水压力传感器和位移传感至零位或初始读数。

3 选择适宜的应变速率，其标准是使试验时的任何时间内试样底部产生的孔隙水压力为同时施加轴向荷重的3%～20%，应变速率可按表13.2.3选择估算值。

表13.2.3 应变速率估算值表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 液限(%) | 应变速率（%/min） | 液限(%) | 应变速率（%/min） |
| 0～40 | 0.04 | 80～100 | 0.001 |
| 40～60 | 0.01 | 100～120 | 0.0004 |
| 60～80 | 0.004 | 120～140 | 0.0001 |
| 备注：液限为17mm液限。 | | | |

4 接通控制、采集系统和加荷设备的电源，预热30min。待装样完毕，采集初始读数，在所选的应变速率下，对试样施加轴向压力，仪器按试验要求自动加荷，定时采集数据或打印，数据采集时间间隔，在历时前10min每隔1min，随后1h内每隔5min，1h后每隔15min采集一次轴向荷载、孔隙水压力和变形值。

5 连续加荷至预期荷载为止。当轴向压力施加完毕后，在轴向压力不变的条件下，使孔隙水压力消散。

6 要求测定回弹或退荷特征时，试样在同样的应变速率下退荷，退荷时关闭孔隙水压力阀，按本条第4款规定的时间间隔记录轴向压力和变形值。

7 试验结束，关电源，拆除仪器，取出试样，称试样质量，测定试验后的含水率。

13.2.4 固结试验成果应按下列步骤进行：

1 试样初始孔比按本规程第13.1.4条第1款公式进行计算。

2 试样任意时刻的孔隙比按本规程第13.1.4条第2款公式进行计算。

3 任意时刻施加于试样的有效压力应按下式计算：

式中： ——任意时刻时施加于试样的有效压力（kPa）；

——任意时刻时施加于试样的总压力（kPa）；

——任意时刻试样底部的孔隙压力（kPa）。

4 某一压力范围内的压缩系数应按下式计算：

式中： ——某一压力范围内的压缩系数（MPa-1）；

——下限压力下的孔隙比，无纲量；

——上限压力下的孔隙比，无纲量；

——施加于试样的下限有效压力（MPa）；

——施加于试样的上限有效压力（MPa）。

5 某一压力范围内的压缩指数、回弹指数应按下式计算：

式中： ——压缩指数，无纲量；

——回弹指数，无纲量；

——下限压力下的孔隙比，无纲量；

——上限压力下的孔隙比，无纲量；

——施加于试样的下限有效压力（MPa）；

——施加于试样的上限有效压力（MPa）。

6 任意时刻试样的固结系数应按下式计算：

式中： ——固结系数（cm2/s）；

——时段内施加于试样的有效压力增量（kPa）；

——两次计数之间的历时（s）；

——试样在t时刻的高度（mm）；

——两次读数之间底部孔隙水压力的平均值（kPa）。

7 某一压力范围内试样的体积压缩系数应按下式计算：

式中： ——某一压力范围内的体积压缩系数（MPa-1）；

——有效压力增量作用下试样孔隙比的变化；

——时段内施加于试样的有效压力增量（kPa）；

——试样的初始孔隙比，无纲量。

**14 直接剪切试验**

14.1 快剪试验

14.1.1 本试验方法适用于黏性土、粉土及砂类土。

14.1.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 应变控制式直剪仪：由剪切盒、垂直加压设备、剪切传动装置、测力计、位移量测系统组成。

2 环刀：内径61.8mm，高度20mm 。

3 位移量测设备：量程为10mm，分度值0.01mm的百分表；或准确度为全量程0.2%的传感器。

14.1.3 试验步骤及注意事项：

1 试样的制备应按本规程第5.1.1条第1款要求进行，并按本规程第6章、第7章的要求测定含水率及密度。

2 对准剪切容器上下盒，插入固定销，在下盒内放透水石和硬塑料薄膜，将装有试样的环刀刃口向上，对准剪切盒口，在试样顶面放硬塑料薄膜和透水石，然后将试样徐徐推入剪切盒内，移去环刀。

3 转动手轮，使上盒前端钢珠刚好与测力计接触，调整测力计读数为零，顺次加上加压盖板，加压框架，锁紧螺丝。

4 根据工程实际情况和土的软硬程度施加各级垂直压力，调节杠杆至水平。

5 施加垂直压力后，拔去固定销，以0.8mm/min的速率进行剪切，使试样在3min～5min内剪损。如测力计的读数达到稳定或有显著后退，表示试样已剪损，应继续剪切至剪切位移为4mm时停机；当剪切过程中测力计读数无峰值时，应剪切至剪切位移为6mm时停机。

6 剪切结束，吸去盒内积水，退去剪切力和垂直压力，移动加压框架，取出试样。

7 注意事项：

1）剪切时垂直荷重一般为100kPa、200kPa、300kPa、400kPa。剪切试验进行前应目测试样的软硬程度，如试样较软时，估计难以承受最大荷重时，可酌情调整荷重序列为50kPa、100kPa、150kPa、200kPa，如设备允许的条件下，荷重序列也可为25kPa、50kPa、75kPa、100kPa。

2）在剪切试验进行前，应尽可能调节加压框处于垂直状态，剪切盒、测力计应处于一条直线上，并处于水平状态。

3）透水板和滤纸的湿度接近试样的湿度。

14.1.4 直剪试验成果应按下列步骤进行计算：

1 各级压力下剪应力应按下式计算：

式中： ——某一压力下试样所受的剪应力（kPa）；

——测力计率定系数（N/0.01mm）；

——测力计百分表计数（0.01mm）；

——试样的面积，一般为30（cm2）；

——N与kPa的换算系数。

2 以剪切位移为横坐标、剪应力为纵坐标，绘制剪应力与剪切位移关系曲线，取曲线上剪应力峰值为抗剪强度，无峰值时取剪切位移4mm时所对应的剪应力为抗剪强度。

3 以垂直压力为横坐标、抗剪强度为纵坐标，绘制抗剪强度与垂直压力关系曲线（应为一直线，若离散性较大时，可对异常值进行舍弃），直线的倾角为内摩擦角，直线在纵坐标轴上的截距为黏聚力。

4 当不绘制抗剪强度与垂直压力关系曲线时，内摩擦角及黏聚力应按下式计算：

式中： ——内摩擦角（°），准确至0.1°；

——黏聚力（kPa）；

——垂直压力（kPa）；

——抗剪强度（kPa）；

——每组试样数量。

计算叶应进行样本相关性检查，一般相关系数≥0.97时，可直接采用；若相关系数＜0.97时，应对异常值进行舍弃，并重新计算内摩擦角、黏聚力及相关系数。

14.2 固结快剪试验

14.2.1 本试验方法适用于黏性土、粉土及砂类土。

14.2.2 主要仪器设备应与本规程第14.1.2条相同。

14.2.3 试验步骤及注意事项：

1 试样的制备应按本规程第5.1.1条第1款要求进行，并按本规程第6章、第7章的要求测定含水率及密度。

2 试样在进行剪切前应进行预固结，预固结可在固结仪上进行（具体操作参照固结试验），也可在专门的固结预压仪上进行。

3 黏性土的固结稳定时间不低于12h，粉土及砂类土固结时间不低于4h。

4 按本规程第14.1.3条第2～6款步骤进行。但试样上下两面应放置滤纸。

14.2.4 直剪试验成果应按本规程第14.1.4条的步骤进行。

14.3 慢剪试验

14.3.1 本试验方法适用于黏性土、粉土及砂类土。

14.3.2 主要仪器设备应与本规程第14.1.2条相同。

14.3.3 试验步骤及注意事项：

1 试样的制备应按本规程第5.1.1条第1款要求进行，并按本规程第6章、第7章的要求测定含水率及密度。

2 试样的固结同本规程第14.2.3条第2～3款要求。

3 按本规程第14.1.3条第2～6款步骤进行。但试样上下两面应放置滤纸，且剪切速率应控制为小于0.02mm/min。

14.3.4 直剪试验成果应按本规程第14.1.4条的步骤进行。

**15 无侧限抗压强度试验**

15.0.1 本试验方法适用于饱和黏性土。

15.0.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 应变式无侧限压缩仪：由测力计、加压框架、升降装置等组成。

2 轴向位移计：量程10mm，分度值 0.01mm 的百分表或全量程准确度达到0.2%的位移传感器。

3 电子天平：称量 200g，最小分度值 0.01g。

4 其他：切土器、切土盘、对开模、钢丝弓、平口刀等。

15.0.3 试验步骤及注意事项：

1 试样要求：本试验采用的试样最小直径φ35mm，最大直径φ101mm，试样高度宜为试样直径的2.0～2.5倍。一般情况下采用试样直径39.1mm、高度80mm。

2 试样制备按本规程第5.1.2条第1款的步骤进行。

3 将试样两端抹一薄层凡士林，竖直放置于下传压板正中，转动手轮，使底座缓慢上升，试样上端面与上传压板正中位置刚好接触，必要时小心移动样品，使上端面与上传压板尽量贴合，将测力计读数调整为零。

4 轴向应变速度宜为每分钟应变1%～3%，转动手轮，使升降设备上升进行试验，轴向应变小于3%时，每隔0.5%应变（或0.4mm）读数一次；轴向应变等于大于3%时，每隔1%应变（或0.8mm）读数一次。试验宜在8min～10min内完成。

5 当测力计读数出现峰值时，继续进行3%～5%的应变后停止试验；当读数无峰值时，应进行到应变达20%为止。

6 试验结束，取下试样，描述试样破坏状况及破坏后形状，测量破坏面倾角

7 当需要测定灵敏度时，应立即将破坏后的试样除去涂有凡士林的表面。加少许余土，包于塑料薄膜内用手搓捏，破坏其结构，重塑成圆柱形，放入重塑筒内，用金属垫板，将试样挤成与原状试样尺寸、密度相等的试样，并按本条第3～6款的步骤进行重塑样的无侧限抗压强度试验。

8 注意事项：

1）制备好试样应立即进行试验，不能长期存放，环境干燥时应在试样表面涂抹薄层凡士林。

2）重塑试样时，应尽量保证加入余土量与去除表土量相等。

3）需测定灵敏度时的重塑样无侧限抗压强度应立即进行。

4）应根据试样的软硬程度选用不同规格的测力计。

5）本试验也可采用应变控制式三轴仪进行。

15.0.4 无侧限抗压强度试验成果应按下列步骤进行：

1 试样的轴向应变应按下式计算：

式中： ——轴向应变（%）；

——剪切过程中试样高度的变化量（mm）；

——试样初始高度，一般为80（mm）。

2 试样面积的校正应按下式计算：

式中： ——试样的校正断面积（cm2）；

——试样的初始断面积（cm2）；

——轴向应变（%）。

3 试样所受轴向应力应按下式计算：

式中： ——试样所受的轴向应力（kPa）；

——测力计率定系数（N/0.01mm）；

——测力计百分表计数（0.01mm）；

——试样的校正断面积（cm2）；

——N与kPa的换算系数。

4 以轴向应变为横坐标、轴向应力为纵坐标，绘制轴向应力与轴向应变关系曲线，取曲线上最大轴向应力作为无侧限抗压强度；当曲线上峰值不明显，取轴向应变15%时所对应的轴向应力作为无侧限抗压强度。

5 灵敏度应按下式计算：

式中： ——灵敏度，无纲量；

——原状试样的无侧限抗压强度（kPa）；

——重塑试样的无侧限抗压强度（kPa）。

**16 三轴压缩试验**

16.1 不固结不排水剪（UU）

16.1.1 本试验方法适用于细粒土和粒径小于20mm的粗粒土。

16.1.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 应变控制式三轴仪：由压力室、轴向加压设备、周围压力系统、反压力系统、孔隙水压力量测系统、轴向变形和体积变化量测系统、测力计等组成。

2 附属设备：击样器、饱和器、切土器、分样器、切土盘、承膜筒和对开圆模等。

3 天平：量程200g，最小分度值0.01g；量程1000g，最小分度值0.1g。

4 橡皮膜：具有弹性的乳胶膜，对于直径为39.1mm和61.8mm的试样，厚度以0.1～0.2mm为宜；对于直径101mm的试样，厚度以0.2～0.3mm为宜。橡皮膜应完好无损。

5 其他：百分表、铝板、透水板、钢丝弓、平口刀等。

16.1.3 试验步骤及注意事项：

1 试样制备：

1）本试验需3～4个试样，用于在不同周围压力下进行试验。

2）试样高度与直径之比宜为2.0～2.5，通常情况下取试样直径39.1mm，试样高度80mm。对于有裂隙、软弱面或构造面的试样直径宜大于60mm。

3）原状样的制备按本规程第5.1.2条第1款的步骤进行。

4）扰动土试样制备按本规程第5.1.2条第2款的步骤进行。

2 在压力室底座上依次放置不透水板、试样、不透水板及试样帽。

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

4 装上压力室罩。安装时应将活塞提升，以防碰撞试样，压力室罩安放后，将活塞对准试样帽中心，并均匀的旋紧螺丝，再将轴向测力计对准活塞。

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

6 旋转手轮，同时转动活塞，当轴向测力计有微读数时表示活塞已与试样帽接触。

7 关孔隙压力阀，开周围压力阀，施加所需要的周围压力，将轴向测力计和轴向位移计的读数调整到零位。

8 启动电机开始剪切。剪切速率宜为每分钟应变0.5%～1.0%，试样每产生0.3%～0.4%的轴向应变（或0.2mm变形值）时，应测记一次测力计计数和轴向变形值；当轴向应变大于3%时，试样每产生0.7%～0.8%的轴向应变（或0.5mm变形值）时，应测记一次测力计计数和轴向变形值。当测力计读数出现峰值时，剪切应继续进行至轴向应变的15%～20%。

9 试验结束后，先关闭周围压力阀，关闭马达，拨开离合器。转动手轮，然后打开排气孔，排除压力室内的水，拆除试样。

10 注意事项：

1）橡皮膜应在使用前做仔细检查，保证其完好无损。检查方法为：扎紧橡皮膜的一端，向膜内充满水，再扎紧另外一端，对膜施加一定压力，无水挤出或在水中无气泡逸出。

2）仪器在使用前应对所有管路进行检查，保证管路畅通且无气泡。

16.1.4 试验成果应按下列步骤进行：

1 试样的轴向应变应按下式计算：

式中： ——轴向应变（%）；

——剪切过程中试样高度的变化量（mm）；

——试样初始高度，一般为80（mm）。

2 试样面积的校正应按下式计算：

式中： ——试样的校正断面积（cm2）；

——试样的初始断面积，一般为12.01（cm2）；

——轴向应变（%）。

3 主应力差应按下式计算：

式中： ——主应力差（kPa）；

——大总主应力（kPa）；

——小总主应力（kPa）；

——测力计率定系数（N/0.01mm）；

——测力计百分表计数（0.01mm）；

——试样的校正断面积（cm2）；

——N与kPa的换算系数。

4 以轴向应变为横坐标、主应力差为纵坐标，绘制主应力差与轴向应变关系曲线，取曲线上主应力差的峰值作为破坏点；无峰值时取轴向应变15%时所对应的主应力差作为破坏点。

5 破坏点的法向应力、剪应力应按下式计算：

式中： ——法向应力（kPa）；

——剪应力（kPa）；

——破坏时的大主应力（kPa）；

——小总主应力（kPa）。

6 以法向应力为横坐标、剪应力为纵坐标，在横坐标轴以破坏时的法向应力为圆心，以破坏时的剪应力为半径，绘制破损应力圆，并绘制不同周围压力下破损应力圆的包络线，包络线的倾角即为试样的内摩擦角，包络线在纵坐标上的截距即为土样的黏聚力。

7 当不绘制抗剪强度与垂直压力关系曲线时，内摩擦角及黏聚力应按下式计算：

式中： ——内摩擦角（°），准确至0.1°；

——黏聚力（kPa）；

——法向应力（kPa）；

——剪应力（kPa）；

——每组试样数量。

计算时应进行样本相关性检查，一般相关系数≥0.97时，可直接采用；若相关系数＜0.97时，应对异常值进行舍弃，并重新计算内摩擦角、黏聚力及相关系数。

16.2 固结不排水剪（CU）

16.2.1 本试验方法适用于细粒土和粒径小于20mm的粗粒土。

16.2.2 主要仪器设备应与本规程第16.1.2条相同。

16.2.3 试验步骤及注意事项：

1 试验制备按本规程第16.1.3条第1款的步骤进行。

2 试样饱和可选用抽气饱和、水头饱和、反压力饱和等方法。分别按本规程第5.2.6条、第5.2.7条及第5.2.8条的步骤进行。

3 开孔隙压力阀及排水阀，使压力室底座充水排气，并关阀。压力室底座上依次放上透水板、滤纸、试样及试样帽。试样周围贴浸润的滤纸条，套上橡皮膜，将橡皮膜下端与底座扎紧。

4 安装压力室罩，充水，关排水阀，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，调整排水管高度，使管内水面与试样高度的中心齐平，测记排水管水面读数。

5 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。

6 旋转手轮，同时转动活塞，当轴向测力计有微读数时表示活塞已与试样帽接触。将轴向测力计和轴向位移计的读数调整到零位。

7 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。

8 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。

9.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15s、1min、2min、4min、6min、9min、12min、16min、20min、25min、35min、45min、60min、90min、2h、4h、10h、23h、24h，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。固结稳定的标准是最后1h变形量不超过0.01mm。固结完后，关排水阀，测记排水管读数和孔隙水压力读数。

10 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的高度变化。将轴向测力计和轴向位移计的读数调整到零位。

11 启动电机开始剪切。剪切速率宜为每分钟应变0.05%～0.1%，粉土宜为每分钟应变0.1%～0.5%。试样每产生0.3%～0.4%的轴向应变（或0.2mm变形值）时，应测记一次测力计计数、轴向变形值和孔隙水压力；当轴向应变大于3%时，试样每产生0.7%～0.8%的轴向应变（或0.5mm变形值）时，应测记一次测力计读数、轴向变形值和孔隙水压力。当测力计读数出现峰值时，剪切应继续进行至轴向应变的15%～20%。

12 试验结束后，先关闭周围压力阀，关闭马达，拨开离合器。转动手轮，然后打开排气孔，排除受压室内的水，拆除试样。

16.2.4 试验成果应按下列步骤进行：

1 试样固结后的高度、面积应按下式计算：

式中： ——试样固结后的高度（cm）；

——试样初始高度，一般为8（cm）；

——试样固结后的断面积（cm2）；

——试样的初始断面积，一般为12.01（cm2）；

——试样固结后与固结前的体积变化量（cm3）；

——试样的初始体积，一般为96.08（cm3）。

2 试样的轴向应变应按下式计算：

式中： ——轴向应变（%）；

——剪切过程中试样高度的变化量（mm）；

——试样固结后的高度（cm）。

3 试样面积的校正应按下式计算：

式中： ——试样的校正断面积（cm2）；

——试样固结后的断面积（cm2）；

——轴向应变（%）。

4 主应力差按本规程第16.1.4条第3款公式进行计算。

5 有效主应力比应按下式计算：

式中： ——有效大主应力（kPa）；

——有效小主应力（kPa）；

——大总主应力（kPa）；

——小总主应力（kPa）；

——孔隙水压力（kPa）。

6 孔隙水压力系数应按下式计算：

式中： ——初始孔隙水压力系数；

——破坏时孔隙水压力系数；

——施加周围压力时产生的孔隙水压力（kPa）；

——大总主应力（kPa）；

——小总主应力（kPa）；

——试样破坏时主应力差产生的孔隙水压力（kPa）。

7 主应力差与轴向变形关系曲线按本规程第16.1.4条第4款的步骤绘制。

8 以轴向应变为横坐标、有效应力比为纵坐标，绘制有效应力比与轴向应变曲线。

9 以轴向应变为横坐标、孔隙水压力为纵坐标，绘制孔隙水压力与轴向应变曲线。

10 总应力法计算内摩擦角及黏聚力按本规程第16.1.4条第5～7款步骤进行。

11 有效应力法计算有效内摩擦角及有效黏聚力应按下列步骤进行：

1）破坏点的法向应力、剪应力应按下式计算：

式中： ——有效法向应力（kPa）；

——有效剪应力（kPa）；

——有效应力条件下的破坏时的大主应力（kPa）；

——有效应力条件下的小总主应力（kPa）。

2）以有效应力条件下的法向应力为横坐标、剪应力为纵坐标，在横坐标轴以破坏时的法向应力为圆心，以破坏时的剪应力为半径，绘制破损应力圆，并绘制不同周围压力下破损应力圆的包络线，包络线的倾角即为试样的有效内摩擦角，包络线在纵坐标上的截距即为土样的有效黏聚力。

3）当不绘制抗剪强度与垂直压力关系曲线时，有效内摩擦角及黏聚力可按下式进行计算：

式中： ——有效内摩擦角（°），准确至0.1°；

——有效黏聚力（kPa）；

——有效法向应力（kPa）；

——有效剪应力（kPa）；

——每组试样数量。

计算时应进行样本相关性检查，一般相关系数≥0.97时，可直接采用；若相关系数＜0.97时，应对异常值进行舍弃，并重新计算内摩擦角、黏聚力及相关系数。

16.3 固结排水剪（CD）

16.3.1 本试验方法适用于细粒土和粒径小于20mm的粗粒土。

16.3.2 主要仪器设备应与本规程第16.1.2条相同。

16.3.3 试验步骤及注意事项：

1 试验制备按本规程第16.1.3条第1款的步骤进行。

2 试样饱和按本规程第16.2.3条第2款的步骤进行。

3 试样的安装、固结、剪切、拆除按本规程第16.3.2条第3～14款进行。但在剪切过程中应打开排水阀，且剪切速率采用每分钟应变0.003%～0.012%。

16.3.4 试验成果应按下列步骤进行：

1 试样固结后的高度、面积应按本规程第16.2.4条第1款步骤进行计算。

2 剪切时试样面积的校正应按下式计算：

式中： ——试样的校正断面积（cm2）；

——试样固结后的体积（cm3）；

——剪切过程中试样的体积变化量（cm3）；

——试样固结后的高度（cm）；

——剪切过程中试样的高度变化量（cm）。

3 主应力差应按本规程第16.1.4条第3款进行计算。

4 有效应力比及孔隙水压力系数应按本规程第16.2.4条第5～6款步骤进行。

5 主应力差与轴向应变关系按本规程第16.1.4条第4款步骤进行绘制。

6 以轴向应变为横坐标、体积应变为纵坐标，绘制全应变与轴向应变关系曲线。

7 破损应力圆、有效内摩擦角及有效黏聚力应按本规程第16.2.4条第11款的步骤进行。

**17 自由膨胀率试验**

17.0.1 本试验方法适用于黏性土。

17.0.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 玻璃量筒：容积为50mL。最小刻度为1mL。

2 量土杯：塑料或金属制成，内径为20mm，高度31.83mm，容积为10mL。

3 无颈漏斗：上口直径50mm～60mm，下口直径4～5mm。

4 搅拌器：由直杆和带孔圆板组成，圆板应略小于量筒直径。

5 电子天平：称量200g，最小分度值0.01g。

6 其他：漏斗支架、0.5mm标准筛、刮土刀、干燥器等。

17.0.3 试验步骤及注意事项：

1 用四分法取代表性风干土样，碾细后全部过0.5mm筛，将筛下土样混合均匀，在105℃～110℃温度下烘至恒量。取出放入干燥器内冷却至室温。

2 将无颈漏斗放在支架上，漏斗下口对准量土杯中心并保持距离10mm。

3 从干燥器内取出土样， 用取土匙取适量试样倒入漏斗中，倒土时取土匙应与漏斗壁接触，并尽量靠近漏斗底部，边倒边用细铁丝轻轻搅动。待量土杯装满土样并开始溢出时，停止向漏斗倒土，移开漏斗，刮去杯口多余土，称量土杯中试样质量。将量土杯中试样倒入匙内，再次倒入漏斗中，并落入量土杯。刮去多余土，称量土杯中试样的质量。本步骤应进行两次平行测定，两次测定的差值不得大于0.1g。

4 向50mL的量筒内注入20mL～30mL蒸馏水，并加入5mL浓度为5%的分析纯氯化钠（）溶液。

5 将备好的试样徐徐倒入量筒内，用搅拌器上下搅拌溶液各10次，用蒸馏水冲洗搅拌器和量筒壁至悬液达50mL。

6 待悬液澄清后，每隔2h测读1次土面高度（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。直至2次读数差值不超过0.2mL，膨胀稳定。

7 注意事项：

1）国内生产的量筒，刻度不够准确，对计算结果影响颇大，试验前量筒必须进行刻度校正。

2）试样过筛孔径大小和碾细程度，直接影响干土松散堆积时的密度，碾得越细，孔径越小，10mL容积的土越轻，自由膨胀率就越小。所以操作时，应少研磨，勤过筛。

17.0.4 自由膨胀率应按下式计算：

式中： ——自由膨胀率（%），准确至1%；

——试样在水中膨胀稳定后经量筒容积校正后的体积（mL）；

——试样初始体积，10（mL）。

**18 膨胀力试验**

18.0.1 本试验方法适用于原状土和击实后的黏性土，采用加荷平衡法。

18.0.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 杠杆式固结仪：由固结容器、加荷设备等组成，杠杆比一般为1:10或1:12。

2 环刀：应具有一定的刚度，内壁应保持较高的光洁度，直径为61.8mm和79.8mm两种，高度为20mm。

3 变形测量设备：量程为10mm，最小分度值0.01mm的百分表或准确度为全量程0.2%的位移传感器。

4 其他：电子天平、刮土刀、钢丝锯、烘箱、秒表、铝盒、透水石等。

18.0.3 试验步骤及注意事项：

1 试样的制备按本规程第5.1.1条第1款要求的步骤进行。

2 在固结容器内，依次放置护环、透水石和滤纸，护环内放入带试样的环刀（刃口向下），放上导环并与环刀接触，试样上依次放置滤纸、透水石及加压上盖。

3 将容器置于加压框架正中，使传压板与加压框架中心对准，安装百分表。施加1kPa～2kPa的接触压力使试样与仪器各部件间接触，将百分表或传感器调整至零位。

4 自下而上向容器注入蒸馏水，并始终保持水面高出试样顶面。

5 当百分表指针顺时针转动时，表明土体开始膨胀，立即施加适当的平衡荷重，使百分表指针回到初读数；当百分表逆时针转动时，表明平衡荷重已大于土体膨胀力，应适当减小平衡荷重，使百分表指针回到初读数。

6 当土样在某级荷载下间隔2h或更长时间不再膨胀时，则土样在该级荷载下达到稳定，允许膨胀量不应大于0.01mm。

7 试验结束后，吸去容器内水，卸除荷重并记录总荷重，取出土样，称土样质量，并测定含水率。

8 注意事项：

1）试验前应保证所使用的透水石处于干燥状态。

2）开始试验后30min～1h内，土体膨胀力较大，应随时观察百分表的变化并及时调整平衡荷重的大小。

3）为尽可能保证试验精度，宜用铁砂制成不同单体的平衡荷重，加荷时应小心避免产生冲击力。

4）试验前百分表不宜调整为最大或最小量程。

18.0.4 膨胀力应按下式计算：

式中： ——膨胀力（kPa），准确至小数点后一位；

——平衡荷重（kg）；

——重力加速度，9.81（N/kg）；

——杠杆比，一般为10或12；

——试样面积，一般为30（cm2）。

**19 膨胀率试验**

19.1 无荷载膨胀率试验

19.1.1 本试验方法适用于原状土和击实后的黏性土在无荷载有侧限条件下的膨胀率。

19.1.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 杠杆式固结仪：由固结容器、加荷设备等组成，杠杆比一般为1:10或1:12。

2 环刀：应具有一定的刚度，内壁应保持较高的光洁度，直径为61.8mm和79.8mm两种，高度为20mm。

3 变形测量设备：量程为10mm，最小分度值0.01mm的百分表或准确度为全量程0.2%的位移传感器。

4 其他：电子天平、刮土刀、钢丝锯、烘箱、秒表、铝盒、透水石等。

19.1.3 试验步骤及注意事项：

1 试样的制备按本规程第5.1.1条第1款要求的步骤进行。

2 在固结容器内，依次放置护环、透水石和滤纸，护环内放入带试样的环刀（刃口向下），放上导环并与环刀接触，试样上依次放置滤纸、透水石及加压上盖。

3 将容器置于加压框架正中，使传压板与加压框架中心对准，安装百分表。施加1kPa～2kPa的接触压力使试样与仪器各部件间接触，将百分表或传感器调整至零位。

4 自下而上向容器注入蒸馏水，并始终保持水面高出试样顶面5mm。

5 每隔2h测计一次百分表读数，直至两次计数差值不超过0.01mm时，膨胀稳定。

7 试验结束后，吸去容器内的水，卸除荷重，取出土样，称土样质量，并测定含水率。

19.1.4 任一时刻膨胀率应按下式计算：

式中： ——时间为t时的无荷载膨胀率（%），准确至小数点后一位；

——时间为t时的百分表读数（mm）；

——百分表初始读数（mm）；

——试样初始高度，一般为20（mm）。

19.2 有荷载膨胀率试验

19.2.1 本试验方法适用于原状土和击实后的黏性土在特定荷载且有侧限条件下的膨胀率。

19.2.2 主要仪器设备与本规程第19.1.2条相同。

19.2.3 试验步骤及注意事项：

1 试样的制备按本规程第5.1.1条第1款要求的步骤进行。

2 在固结容器内，依次放置护环、透水石和滤纸，护环内放入带试样的环刀（刃口向下），放上导环并与环刀接触，试样上依次放置滤纸、透水石及加压上盖。

3 将容器置于加压框架正中，使传压板与加压框架中心对准，安装百分表。施加1kPa～2kPa的接触压力使试样与仪器各部件间接触，将百分表或传感器调整至零位。

4 分级或一次性连续施加所要求的荷载（一般指上覆土质量或上覆土加建筑物附加荷载），直至变形稳定（稳定标准为每小时变形不超过0.01mm），测记百分表读数。

5 自下而上向容器注入蒸馏水，并始终保持水面高出试样顶面5mm。

6 浸水后每隔2h测记百分表读数一次，当两次读数差值不超过0.01mm时膨胀稳定。

7 工程需要时，可在膨胀稳定后，将所加荷重分3～4级逐次卸荷到零，并测定各级荷载下的膨胀稳定值。

8 试验结束后，吸去容器内水，取出土样，称土样质量，并测定含水率。

19.2.4 某级荷载下的膨胀率应按下式计算：

式中： ——某级荷载下的膨胀率（%），准确至小数点后一位；

——某级荷载下膨胀稳定后的百分表读数（mm）；

——某级荷载下仪器变形量，取负号（mm）；

——百分表初始读数（mm）；

——试样初始高度，一般为20（mm）。

**20 收缩试验**

20.0.1 本试验方法适用于原状土和击实后的黏性土。

20.0.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 收缩仪：多孔板上孔的面积应占整板面积的50%以上。

2 环刀：内径为61.8mm，高度为20mm。

3 变形测量设备：量程为10mm，最小分度值0.01mm的百分表。

4 其他：电子天平、刮土刀、钢丝锯、烘箱、铝盒、透水石等。

20.0.3 试验步骤及注意事项：

1 试样的制备按本规程第5.1.1条第1款要求的步骤进行。

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

3 装好百分表，记下初始读数。

4 在室温不高于30℃条件下进行收缩试验（要防止温湿差过大）。根据室内温度及收缩速度，宜每隔1h～4h测记百分表读数，并称整套装置和试样质量，准确至0.1g。称量时应轻拿轻放，并保持百分表不变。应取得不少于6个数据。

5 试验结束后，取出试样，在105℃～110℃温度下烘干，称干土质量，准确至0.1g。

6 注意事项：当试样在收缩过程中出现开裂、翘曲等现象时，应进行描述，但纵向开裂不影响垂直线缩变形的测定，试验仍可进行。

20.0.4 收缩系数应按下列公式计算：

式中： ——竖向收缩系数，准确至小数点后两位；

——收缩曲线上两点线缩率之差（%）；

——与线缩率差值相对应的两点含水率之差（%）；

——某时刻试样的含水率（%）；

——某时刻的百分表读数（mm）；

——百分表初始读数（mm）；

——试样初始高度，一般为20（mm）；

——某时刻试样的质量（g）；

——试验结束后，试样烘干后的质量（g）。

**21 相对密度试验**

21.0.1 本试验方法适用于各类砂土。最小干密度试验宜采用漏斗法和量筒法；最大干密度采用振动锤击法。

21.0.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 量筒：容积500mL或1000mL。

2 长颈漏斗：颈管的内径为1.2cm，颈口应磨平。

3 砂面拂平器：十字形金属平面焊接在铜杆下端。

4 锥形塞：直径为1.5cm的圆锥体焊接在铁杆上。

5 天平：称量1000g，最小分度值1g；称量500g，最小分度值0.5g。

6 金属容器：容积1000mL，内径为10cm；高度为12.7cm，附护筒。

7 击锤：锤质量1.25kg，锤直径5cm，落高15cm。

8 振动叉。

21.0.3 试验步骤及注意事项：

1 应按本规程第6章、7章、8章的要求进行试样含水率、密度、比重，以求得试样的天然孔隙比和天然干密度。

2 最小干密度试验应按下列步骤进行：

1）将锥形塞杆自长颈漏斗下口穿入，并向上提起，使锥底堵住漏斗管口，一并放入1000mL的量筒内，使其下端与量筒底接触。

2）称取烘干后的代表性试样700g，均匀缓慢倒入漏斗中，将漏斗和锥形塞杆同时提高，移动塞杆使锥体略移开管口，管口应经常保持高出砂面约20mm，使试样缓慢且均匀分布落入量筒中。

3）待试样全部进入量筒后，取出漏斗和锥形塞，用砂面拂平器将砂面拂平，测记试样体积，估读至5mL。

4）用手掌堵住量筒口，将量筒倒转并缓慢地转回到原来位置，重复数次，测记试样体积，估读至5mL。

5）取上述两种方法测得的较大读数值作为最大体积值。

3 最大干密度试验应按下列步骤进行：

1）取烘干后的代表性试样约2000g，均匀分成三份。

2）取第一份试样倒入金属圆筒内，用击锤以每分钟30～60击的速度锤击试样表面使试样密实，同时用振动叉以每分钟150～200次的频率敲打圆筒侧壁，直至试样体积不变。

3）第二、三份试样重复上款的步骤。第三次加试样时应安装护筒。

4）取下护筒，用平口刀刮去顶面多余试样，称量容器内试样质量。

4 注意事项：

1）最小干密度试验时倒转量筒需缓慢进行。

2）最大干密度试验时，击锤要提到规定的高度并自由、垂直落下，锤击时应均匀分布，边击边移动锤座。

21.0.4 试验成果的整理应按下列步骤进行：

1 最小干密度、最大孔隙比按下式计算：

式中： ——试样的最小干密度（g/cm3），准确至0.01；

——试样的最大孔隙比，计算至0.001；

——试样干土质量（g）；

——试验中测得的最大体积读数（mL）；

——T℃时水的密度（g/cm3）；

——试样的比重。

2 最大干密度、最小孔隙比按下式计算：

式中： ——试样的最大干密度（g/cm3），准确至0.01；

——试样的最小孔隙比，计算至0.001；

——试样干土质量（g）；

——金属圆筒的体积（mL）；

——T℃时水的密度（g/cm3）；

——试样的比重。

3 砂土的相对密度应按下式计算：

式中： ——砂土相对密度，计算至0.01；

——试样的最大孔隙比，计算至0.001；

——试样的最小孔隙比，计算至0.001；

——试样的天然孔隙比，计算至0.001；

——试样的最大干密度（g/cm3），准确至0.01；

——试样的最小干密度（g/cm3），准确至0.01；

——试样的天然干密度（g/cm3），准确至0.01。

**22 承载比试验**

22.0.1 承载比（CBR）是路基和路面材料的强度指标，是柔性路面设计的主要参数之一。本试验适用于在规定的试样筒内制样后，对扰动土进行试验。试样的最大粒径一般不大于20mm，当采用3层击实制样时，最大粒径不超过40mm。

22.0.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 击锤和导筒：锤底直径51mm，锤质量4.5kg，落距457mm；且应符合本规程第11.0.2条第1款的要求。

2 试样筒：内径152 mm，高度166 mm的金属圆筒，护筒高度50mm；筒内垫块直径为151mm，高50mm。

3 标准筛：孔径分别为5mm、20mm和40mm。

4 贯入仪：包含贯入杆（杆的端面直径为50mm，长度约100mm）、加压和测力设备（测力计量程不小于50kN）、变形量测装置（最小分度值为0.01mm）。也可用路面材料强度仪或其他荷载装置。

5 膨胀量测定装置：由支架和百分表组成。

6 多孔底板、带调节杆的多孔顶板：板上孔径宜小于2mm。

7 荷载块：直径为150mm，中心孔眼直径为52mm，每块质量1.25kg，共4块，并沿直径分为两个半圆块。

8 水槽：浸泡试样用，槽内水面应高出试样顶面25mm。

9 其他：台秤、脱模器等。

22.0.3 试验步骤及注意事项：

1 试样的制备应满足下列要求：

1）取代表性风干样约15份备用，每份约6kg。

2）取风干样5～6份，按本规程第11.0.3条第1～5款的要求进行重型击实试验，按本规程第11.0.4条计算出试样的最大干密度和最优含水率。

3）试件数量的确定：根据试验委托所要求的干密度进行试件的制备，每个干密度状态下需制备3个试件。若需要制备三种干密度时，应制备9个试件，试件的干密度可控制在最大干密度的95%～100%。

4）按最优含水率备样，进行重型击实，击实完成后试件超高应小于6mm。

5）用平口刀沿试筒顶修平试件，细心填补表面不平整处，称量试件总质量。

2 浸水膨胀试验应按下列步骤进行：

1）在多孔底板上依次放入滤纸、试件，用拉杆将试件与多孔底板固定，在试件表面依次放置滤纸、带调节杆的多孔顶板、4块荷载板。

2）将整个装置放入无水的水槽内，安装膨胀量测定装置，读取百分表初始读数。

3）向水槽内缓慢注水，使水自由进入试件的底部和顶部，注水后槽内水面应保持高出试件顶面以上约25mm，通常浸泡4昼夜。

4）浸泡4昼夜后读取百分表读数，拆除膨胀量测定装置，静置15min后，拆除荷载块、多孔顶板、滤纸及多孔底板，取出试件并称取试件浸水后总质量。

3 贯入试验应按下列步骤进行：

1）将浸水后的试件置于贯入仪的升降台上，调节升降台的高度。对准、整平并使贯入杆与试件顶面刚好接触，在试样顶面放置4块荷载块。

2）施加45N的荷载，调节测力计和变形量测装置的百分表至零位。

3）启动电机，施加轴向压力，使贯入杆以（1～1.25）mm/min的速度压入试件，读取测力计百分表在指定整数（如20、40、60等）时的贯入量，使贯入量在2.5mm时的计数不少于5个。当总贯入量达到10mm～12.5mm时，结束试验。

4 注意事项：

1）本试验应当进行3个平行试验，3个试样的干密度差值应当小于0.03g/cm3。

2）当3个试验结果的变异系数小于12%时，取3个结果的平均值；当3个试验结果的变异系数大于12%时，剔除偏离较大的值，取其余2个结果的平均值。

3）以单位压力为横坐标，贯入量为横坐标，绘制单位压力与贯入量关系曲线。如曲线起始段不为直线，应将异常点舍弃后，连一直线于纵坐标轴的交点，即为修正后的原点，并以此修正各点的贯入量。

4）当需要制备三种不同干密度的试样时，应全部以最优含水率制备所用试样，击实时均分三层击实，三种干密度所对应的每层击数分别为30次、50次和98次。

22.0.4 承载比应按下式计算：

1 贯入量为2.5mm时

式中： ——修正后贯入量为2.5mm时的承载比（%）；

——修正后贯入量为2.5mm时的压力（kPa）；

——贯入量为2.5mm时所对应的标准压力（kPa）。

2 贯入量为5mm时

式中： ——修正后贯入量为5.0mm时的承载比（%）；

——修正后贯入量为5.0mm时的压力（kPa）；

——贯入量为5.0mm时所对应的标准压力（kPa）。

3 当贯入量为5mm时的承载比大于贯入量为2.5mm时的承载比时，试验应重新进行。若数次试验结果仍然相同，则采用贯入量为5mm时的承载比。

4 若需提供不同压实度状态下的承载比时，应按下列步骤进行：

1）根据三种干密度条件下的承载比，以承载比为横坐标、以相对应的干密度为横坐标，绘制干密度与承载比关系曲线（见下图22.0.4）。



图22.0.4 不同干密度下CBR的求取方法简图

2）根据委托单位要求的压实度，计算出相对应的干密度。

3）从图22.0.4上根据干密度查出相对应的承载比。

**23 回弹模量试验**

23.1 杠杆压力仪法

23.1.1 本试验方法适用于不同含水率和不同密度的细粒土。

23.1.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 杠杆压力仪：最大压力1500N，试验前应按说明书的要求进行校准。

2 承圧板：直径为50mm，高度为80mm。

3 试样筒：内径为152mm、高度为170mm的金属圆筒；套环高度50mm；筒内垫块直径为151mm，高度为50mm。

4 量表支杆及表夹：支杆长200mm，直径10mm，一端带有长5mm与试样筒螺丝孔联接的螺丝杆；表夹可用钢材也可用硬塑料制成。

5 千分表：量程5.0mm，2只。

6 秒表：最小分度值0.1s。

23.1.3 试验步骤及注意事项：

1 试件的制备应按下列要求进行：

1）根据试验委托要求选择轻型或重型击实法。取代表性风干样约6～8份备用，轻型击实每份约3kg，重型击实每份约6kg。

2）取风干样5～6份，按本规程第11.0.3条第1～5款的要求进行击实试验，按本规程第11.0.4条计算出试样的最大干密度和最优含水率。

3）按最优含水率备样，并用同样的击实方法进行击实，击实完成后试件超高应小于6mm。

4）用平口刀沿试筒顶修平试件，细心填补表面不平整处，称量试件总质量。

2 将装有试样的试筒底面放在杠杆压力仪的底盘上，将承圧板放在试件中央位置并与杠杆压力仪的加压球座对正。将千分表和表夹安装在支杆上，千分表测头安放在承压板两侧的支架上。

3 在杠杆仪的加载架上施加砝码，用预定的最大压力进行预压。含水率大于塑限的土压力为50kPa～100kPa；含水率小于塑限的土压力为100kPa～200kPa。预压1～2次，每次预压1min。预压后调整承压板位置，并将千分表调到接近满量程的零位。

4 将预定最大压力分成4～6级进行加压。每级加载时间为1min，记录千分表读数，同时卸压，卸压1min时，再次记录千分表读数，同时施加下一级压力。如此逐级进行加载卸载，并记录千分表读数，直至最后一级压力。为使试验曲线开始部分比较准确，第一、二级荷载可用分成两小级进行加压和卸压。试验的最大压力也可略大于预定压力。

5 注意事项：

1）本试验需要进行3次平行测试，每次试验结果与三次回弹模量的平均均值之差不应超过5%。

2）加压（卸压）时的变形量取左、右两块千分表读数的算术平均值。

3）某级压力下的回弹变形为加压与卸压时的变形量之差。

4）以单位压力为横坐标，回弹变形为纵坐标，绘制单位压力与回弹变形曲线，曲线应通过坐标原点。当曲线不通过坐标原点时，应以初始直线段与纵坐标的交点作为原点，修正各级压力下的回弹变形量。

5）取单位压力与回弹变形曲线上的直线段进行回弹模量的计算。

23.1.4 回弹模量应按下式计算：

式中： ——回弹模量（kPa）；

——常数，取3.1415926；

——承载板上单位压力（kPa）；

——承载板直径（mm）；

——回弹变形量（mm）；

——土的泊松比，取0.35。

23.2 强度仪法

23.2.1 本试验方法适用于不同含水率和不同密度的细粒土及其加固土。

23.2.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 路面材料强度仪：要求与本规程第22.0.2条第4款的贯入仪相同。

2 承压板：要求与本规程第23.1.2条第2款的承压板相同。

3 试样筒：要求与本规程第23.1.2条第3款的试样筒相同。

4 量表支杆及表夹：支杆长200mm，直径10mm，一端带有长5mm与试样筒螺丝孔联接的螺丝杆；表夹可用钢材也可用硬塑料制成。

5 千分表：量程5.0mm，2只。

6 秒表：最小分度值0.1s。

23.2.3 试验步骤及注意事项：

1 试件的制备按本规程第23.1.3条第1款步骤进行。

2 将装有试样的试筒底面放在强度仪的底盘上；将千分表支杆拧在试筒两侧的螺丝孔上，将承压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压板两侧的支架上。

3 转动手柄，用预定的最大压力进行预压。含水率大于塑限的土压力为50kPa～100kPa；含水率小于塑限的土压力为100kPa～200kPa。预压1～2次，每次预压1min。预压后调正承压板位置，并将千分表调到接近满量程的零位。

4 将预定最大压力分成4～6份，作为每级加载的压力。每级加载时间为1min，记录千分表读数，同时卸压，卸压1min时，再次记录千分表读数，同时施加下一级压力。如此逐级进行加载卸载，并记录千分表读数，直至最后一级压力。为使试验曲线开始部分比较准确，第一、二级荷载可用分成两小级进行加压和卸压。试验的最大压力也可略大于预定压力。

5 注意事项：

1）为便于操作，每级压力须提前折算成测力计的百分表读数。

2）其余注意事项应符合本规程第23.1.3条第5款要求。

23.2.4 回弹模量计算按本规程第23.1.4条步骤进行。

**24 天然坡角试验**

24.0.1 本试验方法适用于粒径小于5mm粗粒土。

24.0.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 天然坡角仪：主要包括圆盘和制动器。圆盘直径为100mm时适用于粒径小于2mm的粗粒土；圆盘直径为200mm时适用于粒径小于5mm的粗粒土。

2 水盆：直径约24cm，高度不小于10cm。

3 其他：瓷盘、勺等。

24.0.3 试验步骤及注意事项：

1 当采用圆盘直径为100mm的坡角仪时，应取烘干样约4000g备用；当采用圆盘直径为200mm的坡角仪时，应取烘干样约1000g备用。将试样均分为两份。

2 调平天然坡角仪底座，转动制动器，使圆盘落在底盘中，用勺沿刻度杆四周均匀倾倒试样，勺距试样顶面10mm左右，直至圆盘外缘完全被试样盖满为止。

3 缓慢转动制动器，使圆盘平稳缓慢上升，直至完全离开底盘中的试样为止。此时试样在圆盘中呈锥形，测记试样锥顶与刻度杆接触处的读数，即为天然坡角，应准确至1°。

4 当测定水下状态的天然坡角时，应在升起的圆盘下放置水盆，将圆盘缓慢沉入水中，当呈锥形的试样全部淹没于水中后，停止下降，使试样充分饱和，待试样中无气泡逸出时，缓慢平稳升起圆盘，至试样锥形顶与水面齐平时，测记试样锥顶与刻度杆接触处的读数，即为水下状态时的天然坡角，准确至1°。

5 本试验必须进行平行测试，其平行差值不大于2°时，结束试验。

24.0.4 取两次平行试验的算术平均值作为天然坡角试验的结果。

**25 静止侧压力系数试验**

25.0.1 本试验方法适用于各类黏性土、粉土及砂类土。

25.0.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 侧压力仪容器：主要包括顶盖、圆环和底座。圆环上有进水孔阀、排气孔阀和侧向压力量测孔阀。

2 轴向加压设备：杠杆压力仪，最大荷重6kN。

3 压力量测装置：量测范围0～600kPa，可采用应变控制式三轴仪的孔隙水压力量测系统或电测装置，其压力传感器应达到0.2级。

4 环刀：内径61.8mm，高度40mm。

5 乳胶膜：内径61.8mm，长度约60mm。

6 变形测量装置：量程为10mm，最小分度值0.01mm的百分表或准确度为全量程0.2%的位移传感器。

7 其他：校正样块、硅脂、推样器、饱和器等。

25.0.3 试验步骤及注意事项：

1 本试验所用试样高度为40mm，外径为61.8mm，试样的制备应按本规程第5.1.1条第1款的步骤进行。

2 试验前应按照本规程第5.2节的要求饱和试样。

3 向侧压力容器底座充水，依次放置经预先饱和的透水石、湿滤纸，打开进水孔阀，用调压筒抽出受压室中的部分水，使乳胶膜内凹。关闭进水孔阀。

4 用推样器将试样从环刀中推出，在试样周围粘贴7～9条宽约6mm湿润的滤纸条，放入侧压力容器内的滤纸上并平整接触。打开进水孔阀，用调压筒将抽出的水压回受压室，使受压室的乳胶膜与试样紧密接触，关闭进水孔阀。

5 试样上依次放置湿润的滤纸、饱和的透水石、加压顶盖。将容器置于压力仪加压框正中，安装变形测量装置，施加1kPa～2kPa接触压力，调节百分表指针至较大量程零点或使位移传感器置零；打开侧向压力量测孔阀，记录侧向压力起始读数。

6 轴向压力序列宜为25kPa、50kPa、100kPa、200kPa、300kPa、400kPa。打开排水孔阀，施加第一级轴向压力，每隔1h测记垂直变形和侧向压力一次，直到该级压力下垂直变形稳定为止（垂直变形稳定标准为变形量不大于0.01mm/h），记录该级轴向压力下的侧向压力。依次类推，逐级施加轴向压力至预定的最大轴向压力，直至最后一级轴向压力下试样变形稳定，结束试验。

7 依次关闭侧向压力孔阀、关闭排水孔阀，卸除轴向压力，用调压筒抽出受压室部分水，关闭进水孔阀，拆除加压顶盖、透水石等，取出试样。

8 注意事项：

1）试验前应对侧压力仪容器进行管路及密封性检查。

2）对于难以制样的砂土，应按要求的干密度和试样体积，称取所需质量的干砂，加水煮沸后冷却待用。在容器底座上放置饱和透水石和湿润滤纸，将饱和砂土全部装入容器内，并整平表面，依次放置湿润滤纸、饱和透水石及加压盖板等，完成试样的安装。

3）排水稳定后的轴向压力即为有效轴向压力，垂直变形稳定后的侧向压力即为有效侧向压力。

25.0.4 静止侧压力系数应按下式计算：

式中： ——静止侧压力系数；

——某级轴向压力下的静止侧压力系数；

——轴向压力分级数；

——有效侧向压力（kPa）；

——有效轴向压力（kPa）。

**26 有机质试验**

26.1 重铬酸钾容量法

26.1.1 本试验方法适用于有机质含量不大于15%的土。

26.1.2 主要仪器设备及试剂应符合下列要求：

1 分析天平：称量200g，最小分度值0.0001g。

2 油浴锅：内盛植物油或甘油，配有插试管的铁丝笼。

3 温度计：0～200℃，分度值0.5℃。

4 加热设备：电热干燥箱、电炉。

5 其他设备：试管、锥形瓶、滴定管、小漏斗、洗瓶、玻璃棒、容量瓶、干燥器、0.15mm的分析筛等。

6 重铬酸钾标准溶液（=0.075mol/L）：称取预先在温度105℃～110℃下烘干研细的分析纯重铬酸钾44.1231g，溶于800mL蒸馏水中，在不断搅拌下，再缓缓加入分析纯硫酸（浓度为95～98% 的）1000mL，冷却后移入2000mL容量瓶中，以蒸馏水定容。

7 硫酸亚铁标准溶液（=0.2mol/L）

1）溶液配制：称取分析纯硫酸亚铁（）56.0000g（或分析纯硫酸亚铁铵（（）80.0000g），溶于蒸馏水中，加（1:3）硫酸溶液80.00mL，以蒸馏水稀释至1000mL，贮存于棕色瓶中。

2）溶液标定：准确量取重铬酸钾标准溶液10mL三份，分别注入250mL锥形瓶中，加蒸馏水50mL，加邻啡罗啉指示剂3～5滴，用硫酸亚铁标准溶液进行滴定，溶液由黄色经绿色变至橙色为终点。硫酸亚铁标准溶液的浓度应按下式计算，结果应精确至0.0001mol/L。

式中：  ——硫酸亚铁标准溶液的浓度（mol/L）；

——重铬酸钾标准溶液的浓度（mol/L）；

——重铬酸钾标准溶液的体积（mL）；

 ——滴定消耗硫酸亚铁标准溶液的体积（mL）。

8 邻啡罗啉指示剂：称取邻啡罗啉1.487g和硫酸亚铁0.695g，溶于100mL蒸馏水中，贮存于棕色瓶中。

26.1.3 试验步骤及注意事项：

1 取代表性试样5g～10g，用瓷研钵研碎，全部通过孔径0.15mm的分析筛，放入真空干燥箱内，将温度控制在65℃～70℃烘至恒量，置于干燥器内冷却后备用。

2 称取试样0.1000g～0.5000g，置于25mL干燥试管底部，加入硫酸银约0.1000g，取重铬酸钾标准溶液10mL，注入管内并摇匀。

3 将试管插入铁丝笼中，放入温度控制范围为170℃～180℃的油浴锅中，试管内的液面应低于油面，自试管内试液开始沸腾起计时，煮沸5min，取下稍冷，擦去试管外面的油污，将试管内的试液倾入250mL锥形瓶中，用蒸馏水分数次洗净试管内壁，洗液一并倒入锥形瓶中，并控制试液的总体积约为60mL。

4 加入邻啡罗啉指示剂3滴～5滴，用硫酸亚铁标准溶液滴定至溶液由黄色经绿色突变至橙色为终点，测记滴定消耗硫酸亚铁标准溶液的体积。滴定前，当溶液呈绿色时，表示重铬酸钾标准溶液加入量不足，应取样重做。

5 用纯砂代替试样应按本条第2～4款的步骤进行空白测定。

6 注意事项：重铬酸钾测得的有机质含量偏低，操作中应严格控制煮沸时间。

26.1.4 有机质含量应按下式计算：

式中： ——有机质含量（%），准确至0.1%；

——硫酸亚铁标准溶液的浓度(mol/L)；

——滴定空白消耗硫酸亚铁标准溶液的体积（mL）；

 ——滴定消耗硫酸亚铁标准溶液的体积（mL）；

——碳的原子量，12；

——干土质量（g）；

——有机碳换算成有机质的因数。

26.2 烧灼减量法

26.2.1 本试验方法适用于有机质含量大于或等于15%的土。

26.2.2 主要仪器设备及试剂应符合下列要求：

1 高温炉：应能控制温度在550℃。

2 分析天平：称量200g，最小分度值0.0001g。天平应按相关规程进行检定。

3 真空干燥箱：控制温度允许范围为65℃～70℃。

4 瓷坩埚：容积20mL。

26.2.3 试验步骤及注意事项：

1 试样制备：取天然含水量状态下代表性土样，除去粗的树皮草根，在温度65℃～70℃下烘干，将烘干土样放在橡皮板上用木槌碾散，用四分法选取代表性试样，将试样通过孔径1.0mm的筛。取筛下代表性试样约20g，放入真空干燥箱内，烘至恒量，置于干燥器内冷却后备用。

2 称取试样3.000g～5.000g，放入瓷坩埚中，置于高温炉内，在温度550℃下烧灼至恒量后，置于干燥器内，冷却至室温，称其质量，准确至0.001g。

3 本试验应进行平行测定，其平行差值不得大于0.5%，取其算术平均值。

4 注意事项：

1）坩埚在使用前应洗净，在550℃温度下烘干，置于干燥器内冷却至室温备用。

2）称量过程应越快越好，以避免试样吸湿。

3）称量时不能用手直接拿取坩埚，可戴干净的手套拿取或用坩埚钳夹取。

4）灼烧温度达到800℃～950℃时，灼烧减量中包括了有机质、结合水和挥发性盐类，从而使测定结果偏高。故本规程建议灼烧温度采用550℃。

26.2.4 烧灼减量应按下式计算，结果应精确至0.1%。

式中： ——烧灼减量（%）；

——在温度65℃～70℃烘干后坩埚加土的质量（g）；

 ——在温度550℃烧灼后坩埚加土的质量（g）；

 ——坩埚质量（g）。

**27 土（水）中离子的测定**

27.1 浸出液制取

27.1.1 本试验主要适用于土的腐蚀性分析评价，适用于各类土。

27.1.2 主要仪器设备及试剂应符合下列要求：

1 过滤设备：包括真空泵、平底瓷漏斗、抽滤瓶。

2 离心机：转速为1000r/min。

3 分析天平:称量200g，最小分度值0.01g。

4 分析筛：孔径2mm。

5 电动振荡器。

6 其他设备：广口瓶、容量瓶等。

27.1.3 试验步骤及注意事项：

1 称取过2mm筛下风干试样50g～100g（视土中含盐量和分析项目而定），准确至0.01g，置于广口瓶中，按土水比1:5加入蒸馏水摇匀，置于振荡器上振荡3min后，抽气过滤。另取试样3g～5g，测定风干含水率。

2 抽气过滤时，将滤纸用蒸馏水浸湿后，贴在漏斗底部，漏斗装在抽滤瓶上，联通真空泵抽气，抽滤时，先将振荡后的土悬液摇匀，慢慢倾入漏斗中，使土粒在漏斗底上铺成薄层，填塞滤纸孔隙，防止细粒土通过，抽气过滤时，漏斗用表面皿盖好，防止水汽蒸发，当发现滤液混浊时须反复过滤，直至澄清为止。若反复过滤仍然混浊，应用离心机分离，所得的透明滤液即为土的浸出液，贮于细口瓶中，供分析用。

3 注意事项：

1）当采用人工振荡时，振荡3min静置12h后再过滤。

2）当滤液有颜色时，可用活性碳吸附脱色。

27.2 易溶盐总量测定

27.2.1 本试验适用于各类土的浸出液，采用蒸干法。

27.2.2 主要仪器设备及试剂应符合下列要求：

1 分析天平：称量200g，最小分度值0.0001g。

2 烘箱、干燥器。

3 水浴锅、蒸发皿、表面皿、移液管等。

4 双氧水溶液（浓度为15%）。

5 碳酸钠溶液（浓度2%）：称取2.0g无水碳酸钠,溶于少量蒸馏水中，稀释至100mL。

27.2.3 试验步骤及注意事项：

1 用移液管吸取浸出液50mL～100mL，注入已经在105℃～110℃烘至恒量的蒸发皿中，盖上表面皿，放在水浴锅上蒸干，当蒸干残渣中呈现黄褐色时，应加入浓度为15%的双氧水1mL～2mL，继续在水浴锅上蒸干，反复处理至黄褐色消失。

2 将蒸发皿放入烘箱，在105℃～110℃温度下烘4h～8h，取出后放入干燥器中冷却，称蒸发皿加试样的总质量，再烘干2h～4h, 冷却后称蒸发皿和试样的总质量，反复进行至两次质量差值不大于0.0001g。

3 当浸出液蒸干残渣中含有大量结晶水时，将使测得的易溶盐含量偏高，遇此情况可用两个蒸发皿，一个加浸出液50mL，另一个加蒸馏水（空白）然后各加等量2%的碳酸钠溶液，搅拌均匀后，按本条1～2款的步骤进行，烘干温度改为180℃。

27.2.4 易溶盐总量按下式计算：

1 未经2%碳酸钠溶液处理的

式中： ——易溶盐总量（%）；

——蒸发皿加烘干残渣质量（g）；

——蒸发皿质量（g）；

——制取浸出液所加蒸溜水体积（mL）；

——吸取浸出液体积（mL）；

——风干土质量（g）；

——风干土含水率（%）。

2 经2%碳酸钠溶液处理的

式中： ——蒸发皿加NaCO3 加试样蒸干后的质量（g）；

——蒸发皿加NaCO3 蒸干后的质量（g）；

其余符号含义同上。

27.3 酸碱度（pH）试验

27.3.1 本试验适用于所有水试样及各类土的浸出液。采用电位法测定，测定精度不应小于0.02pH。

27.3.2 主要仪器设备及试剂应符合下列要求：

1 酸度计：精度为0.01pH。

2 pH复合电极。

3 分析筛：孔径2mm。

4 电子天平：称量200g，最小分度值0.01g。

5 其它设备：烘箱、容量瓶、烧杯、定性滤纸等。

6 邻苯二甲酸氢钾标准缓冲溶液（温度25℃、pH=4.01）：称取105℃烘干2h的邻苯二甲酸氢钾（）10.21g，置于250mL烧杯中，加少量无二氧化碳水溶解，移入1000mL容量瓶中，定容。

7 磷酸盐标准缓冲溶液（温度25℃、pH=6.87）：称取在温度130℃烘干2h、在干燥容器中冷却的磷酸二氢钾（）3.39g和磷酸氢二钠（）3.530g，置于250mL烧杯中，用无二氧化碳水溶解，移入1000mL容量瓶中，定容。

8 四硼酸钠标准缓冲溶液（温度25℃、pH=9.18）：称取四硼酸钠（）3.80g，置于250mL烧瓶中，用无二氧化碳水溶解后移入1000mL容量瓶中定容，贮存于聚乙烯瓶中。

9 饱和氯化钾溶液（）：向适量蒸馏水中加入氯化钾，边加边搅拌，直至氯化钾不再溶解为止。

27.3.3 试验步骤及注意事项：

1 土浸出液的制备：称取过2mm筛下的风干试样10g，置于100mL烧瓶中，加蒸馏水（土水比为1:5）振荡3min，静置30min。

2 将仪器温度补偿键调节至与浸出液温度相同的刻度处，按仪器说明书用标准缓冲溶液进行校正。

3 将pH复合电极插入2/3杯的土悬液中进行测定，记录pH值，准确至0.01。

4 关闭电源，用蒸馏水洗净电极，并用滤纸吸干或将电极浸泡于蒸馏水中。

5 注意事项：

1）pH复合电极有保质期，应当在保质期内使用。国产的一般保质期为：自生产日期起一年。

2）酸度计在使用前，应当使用标准缓冲溶液进行标定。

3）测定pH值时，应保证复合电极球部被液体浸没，并与杯底有一定距离。

4）标准缓冲溶液应定期更换，保质期一般为三个月。

27.4 碱度的测定

27.4.1 本试验适用于所有水试样及各类土的浸出液。采用酸碱指示剂滴定法。碱度包括总碱度、碳酸盐碱度和重碳酸盐碱度。

27.4.2 主要仪器设备及试剂应符合下列要求：

1 酸式滴定管：25mL或50mL，最小分度值0.1mL。

2 分析天平：称量200g，最小分度值0.0001g。

3 其他：移液管、容量瓶、锥形瓶、烘箱等。

4 盐酸标准溶液(0.025mol/L)配制与及标定：

1）碳酸钠基准溶液（=0.025mol/L）：称取经温度180℃烘至恒重并在干燥器中冷却的无水碳酸钠（）1.3249g，置于烧杯中，用无二氧化碳水溶解，移入500mL容量瓶中，定容。贮存于聚乙烯瓶中。

2）甲基橙指示剂（浓度为0.05%）：称取甲基橙0.05g，置于烧杯中，用少量蒸馏水溶解并稀释至100mL，贮存于棕色瓶中。

3）盐酸标准溶液(浓度为0.025mol/L)：量取盐酸2.1mL，注入1000mL容量瓶中，用无二氧化碳水定容。

4）盐酸标准溶液(浓度为0.025mol/L)的标定：取碳酸钠基准溶液20.00mL，注入250mL锥形瓶中，加入无二氧化碳水80mL，加入甲基橙指示剂2滴，用0.025mol/L盐酸标准溶液滴定至溶液由黄色刚变成桔红色为终点，记录消耗盐酸标准溶液的体积（mL）。 盐酸标准溶液的浓度应按下式计算：

式中： ——盐酸标准溶液的标定浓度（mol/L）；

——碳酸钠基准溶液的浓度（mol/L）；

——量取碳酸钠基准溶液的体积（mL）；

——滴定消耗盐酸标准溶液的体积（mL）。

5 甲基红-溴甲酚绿混合指示剂（MR-BCG指示剂）：称取甲基红0.020g和溴甲酚绿0.100g，置于150mL烧杯中，加入乙醇70mL溶解后，用蒸馏水稀释至100mL，贮存于棕色瓶中。

6 酚酞指示剂（浓度为0.5%）：称取0.5g酚酞，注入乙醇（95%的）50mL，溶解后用蒸馏水稀释至100mL。

27.4.3 试验步骤及注意事项：

1 取50mL浸出液置于250mL锥形瓶中，加入4滴酚酞指示剂，摇匀。当溶液呈粉红色时，用盐酸标准溶液滴定至刚刚褪至无色，记录盐酸标准溶液用量。若加酚酞指示剂后溶液无色，则直接加甲基红-溴甲酚绿混合指示剂，用盐酸标准溶液滴定。

2 向滴定酚酞碱度后的试样中加入3滴甲基红-溴甲酚绿混合指示剂，摇匀，继续用盐酸标准溶液滴定至试样由淡绿色变为红色，记录盐酸标准溶液用量。

3 注意事项：碳酸根和重碳酸根离子的测定应在浸出液过滤后立即进行，以免因浸出液吸附空气中的二氧化碳或浸出液中二氧化碳的释放，而产生测定结果失真。

27.4.4 总碱度、碳酸盐碱度和重碳酸盐碱度的计算应符合下列规定：

碱性化合物在浸出液中所产生的碱度，有五种情形。以酚酞作指示剂时所消耗盐酸标准溶液的量为（mL），以甲基红-溴甲酚绿作指示剂时所消耗盐酸标准溶液的量为（mL）。氢氧化物、碳酸盐和重碳酸盐碱度应按下式计算：

1 当=0时，有存在，无和，计算公式为：

1）土：

2）水：

式中： ——土中氢氧根离子质量摩尔浓度（mmol/kg）；

——土中氢氧根离子含量（mg/kg）；

——水中氢氧根离子质量浓度（mg/L）；

——以酚酞为指示剂时消耗盐酸的体积（mL）；

——盐酸标准溶液浓度（mol/L）；

——制取浸出液所加蒸馏水体积（mL）；

——吸取浸出液的体积（mL）；

——干土质量（g）；

——吸取水样的体积（mL）；

——氢氧根离子的摩尔质量（g/mol）。

2 当＞时，有和存在，无，计算公式为：

1）土：

2）水：

式中： ——土中碳酸根离子质量摩尔浓度（mmol/kg）；

——土中碳酸根离子含量（mg/kg）；

——滴入甲酚绿混合指示剂时消耗的盐酸体积（mL）；

——碳酸根的摩尔质量的一半（g/mol）；

其余符号含义同上。

3 当=时，有存在，无和，计算公式为：

1）土：

2）水：

式中：所有符号含义同上。

4 当＜时，有和存在，无，计算公式为：

1）土：

2）水：

式中： ——土中重碳酸根离子质量摩尔浓度（mmol/kg）；

——土中碳酸根离子含量（mg/kg）；

——水中碳酸根离子质量浓度（mg/L）；

——重碳酸根的摩尔质量（g/mol）；

其余符号含义同上。

5 当=0时，有存在，无和，计算公式为：

1）土：

2）水：

式中：所有符号含义同上。

27.5 氯离子的测定

27.5.1 本试验适用于所有水试样及各类土的浸出液，采用硝酸银滴定法。

27.5.2 主要仪器设备及试剂应符合下列要求：

1 滴定管：棕色，25mL。

2 锥形瓶：容积250mL。

3 分析天平：称量200g，最小分度值0.0001g。

4 氯化钠基准溶液（=0.0250mol/L）：称取经温度500℃～600℃灼烧2h并在干燥器中冷却的氯化钠（）1.4610g，置于250mL烧杯中，用蒸馏水溶解，移入1000mL容量瓶中，定容。

5 硝酸银标准溶液（=0.0250mol/L）配制与标定：

1）配制：称取优级纯硝酸银4.2500g，置于烧杯中，用蒸馏水溶解，并移入1000mL容量瓶中，定容，置于棕色瓶中贮存。

2）标定：量取氯化钠基准溶液20mL，注入250mL锥形瓶中，加蒸馏水至50mL，加入铬酸钾指示剂0.5mL。用硝酸银标准溶液滴定至砖红色沉淀刚出现为终点，记录消耗硝酸银标准溶液的体积（mL）。同时做空白试验。

3）硝酸银标准溶液的浓度应按下式进行计算：

式中： ——硝酸银标准溶液的标定浓度（mol/L）；

——氯化钠基准溶液的浓度（mol/L）；

——量取氯化钠基准溶液的体积数（mL）；

——滴定消耗硝酸银标准溶液的体积数（mL）；

——空白消耗硝酸银标准溶液的体积数（mL）。

6 铬酸钾指示剂（浓度为10%（m/V））： 称取铬酸钾（）10g，置于200mL烧杯中，加入蒸馏水80mL，滴加硝酸银标准溶液至有红色沉淀形成，摇匀，静置12h，过滤，用蒸馏水将滤液稀释至100mL。

27.5.3 试验步骤及注意事项：

1 量取浸出液25mL，注入250mL锥形瓶中，加入铬酸钾指示剂0.5mL，用硝酸银标准溶液滴定至砖红色沉淀刚刚出现为终点。同时做空白试验。记录试样和空白消耗硝酸银标准溶液的体积。

2 注意事项：由于有微量的铬酸钾与硝酸银反应指示终点，故须进行空白试验，以减去消耗铬酸钾的硝酸银用量。

27.5.4 氯离子含量应按下式进行计算：

1 土：

2 水：

式中： ——土中氯离子质量摩尔浓度（mmol/kg）；

——土中氯离子含量（mg/kg）；

——水中氯离子质量浓度（mg/L）；

——浸出液消耗硝酸银标准溶液的体积（mL）；

——空白消耗硝酸银标准溶液的体积（mL）；

——硝酸银标准溶液的浓度（mg/L）；

——制取浸出液所加蒸馏水体积（mL）；

——吸取浸出液的体积（mL）；

——干土质量（g）；

——吸取水样的体积（mL）；

——氯离子的摩尔质量（g/mol）。

27.6 钙、镁离子的测定

27.6.1 本试验适用于所有水试样及各类土的浸出液。本试验采用二钠盐滴定法。

27.6.2 主要仪器设备及试剂应符合下列要求：

1 酸式滴定管：25mL或50mL，最小分度值0.1mL。

2 分析天平：称量200g，最小分度值0.0001g。

3 其他：移液管、容量瓶、锥形瓶、烘箱等。

4 锌基准溶液（浓度为0.0250mol/L）：称取优级纯金属锌粒（）0.8173g,置于200mL烧杯中，加入（1+1）盐酸溶液20mL，在低温电热板上加热溶解，移入500mL容量瓶中，用蒸馏水定容。

5 铬黑T指示剂：称取铬黑T 0.5g，氯化钠100g，置于研钵中研成细末，贮存于棕色瓶中。

6 氨缓冲溶液（pH为10）：称取氯化铵16.9g，镁二钠1.25g，置于500mL烧杯中，加入浓度为（25%～28%）的氨水143mL，用蒸馏水溶解并稀释至250mL。

7 二钠盐标准溶液（=0.0250mol/L)配制及标定：

1）二钠盐标准溶液（=0.0250mol/L)配制：称取乙二胺四乙酸二钠（）9.306g，置于200mL烧杯中，用蒸馏水溶解，移入1000mL容量瓶中，定容。

2）二钠盐标准溶液（=0.0250mol/L)的标定：量取锌基准溶液20.00mL，注入250mL锥形瓶中，加蒸馏水至100mL，以pH试纸为指示，用（1+1）氨水中和至中性，加入氨缓冲溶液10mL，铬黑T指示剂适量，用二钠盐标准溶液滴定至溶液由酒红色变为纯蓝色为终点，记录消耗二钠盐标准溶液的体积。

3）二钠盐标准溶液的浓度应按下式计算：

式中： ——二钠盐标准溶液的标定浓度（mol/L）；

——锌基准溶液的浓度（mol/L）；

——量取锌基准溶液的体积（mL）；

——消耗二钠盐标准溶液的体积（mL）。

8 酸性铬蓝K-萘酚绿B固体指示剂（K-B指示剂）：称取酸性铬蓝（K）0.1g，萘酚绿（B）0.2g，氯化钾20g，置于研钵中研成细粉，贮存于棕色瓶中。

9 氢氧化钠溶液（浓度为4%（m/V））：称取氢氧化钠（）4g，置于250mL烧杯中，用无二氧化碳水溶解并稀释至100mL。

27.6.3 试验步骤及注意事项：

1 量取浸出液25mL，注入250mL锥形瓶中，加入氨缓冲溶液4mL，摇匀。加入K-B指示剂适量，摇匀。用二钠盐标准溶液滴定至溶液由酒红色转变成纯蓝色为终点。记录消耗二钠盐标准溶液的体积（mL）。

2 量取浸出液25mL注入250mL锥形瓶中，加入4%氢氧化钠溶液3mL，摇匀。加入K-B指示剂适量，摇匀。用二钠盐标准溶液滴定至溶液由酒红色转变成纯蓝色为终点。记录消耗二钠盐标准溶液的体积（mL）。

3 注意事项：

1）在钙镁离子测定中，测定钙离子时，溶液的pH值须大于12，使水中产生氢氧化镁沉淀，以免影响钙离子的滴定。

2）加入氢氧化钠使镁离子产生沉淀后，应立即滴定，以免溶液吸收空气中的二氧化碳而产生碳酸钙沉淀。

3）在pH=10的条件下，用标准溶液滴定钙离子与镁离子的合量，减去钙离子的含量，从而求得镁离子含量。

27.6.4 钙离子、镁离子含量应按下列公式计算：

1 土：

2 水：

式中： ——土中钙离子质量摩尔浓度（mmol/kg）；

——土中钙离子含量（mg/kg）；

——土中镁离子质量摩尔浓度（mmol/kg）；

——土中镁离子含量（mg/kg）；

——水中钙离子质量浓度（mg/L）；

——水中镁离子质量浓度（mg/L）；

——二钠盐标准溶液的标定浓度（mol/L）；

——制取浸出液所加蒸馏水体积（mL）；

——滴定钙镁消耗标准溶液的体积（mL）；

——滴定钙消耗标准溶液的体积（mL）；

——吸取浸出液的体积（mL）；

——干土质量（g）；

——吸取水样的体积（mL）；

——钙离子的摩尔质量（g/mol）；

——镁离子的摩尔质量（g/mol）。

27.7 硫酸根离子的测定——二钠盐滴定法

27.7.1 本试验适用于硫酸根离子含量大于50mg/L的所有水试样及各类土的浸出液。

27.7.2 主要仪器设备及试剂应符合下列要求：

1 酸式滴定管：25mL或50mL，最小分度值0.1mL。

2 分析天平：称量200g，最小分度值0.0001g。

3 其他：移液管、容量瓶、锥形瓶、烘箱等。

4 锌基准溶液（浓度为0.025 mol/L）：应符合本规程27.6.2条4款规定。

5 二钠盐标准溶液（=0.025 mol/L)：应符合本规程27.6.2条7款规定。

6 钡镁混合标准溶液的配制及标定：

1）制备：称取氯化钡（）2.5g和氯化镁（）2.0g溶于蒸馏水中，稀释至1000mL。

2）标定：吸取10mL钡镁混合标准溶液，加水至50mL，加入氨盐缓冲溶液3mL，调节pH至9.5～10.5，加适量铬黑T指示剂，用二钠盐标准溶液滴定至溶液由酒红色变为蓝色为终点，记录消耗二钠盐的体积，钡镁混合标准溶液的浓度应按下式进行计算：

式中： ——钡镁混合标准溶液的浓度（mol/L）；

——标准溶液的浓度（mol/L）；

——消耗标准溶液的体积（mL）；

——取钡镁混合标准溶液的体积（mL）。

7 铬黑T指示剂：应符合本规程27.6.2条5款规定。

8 氨盐缓冲溶液（pH为10）：应符合本规程27.6.2条6款规定。

9 刚果红试纸。

10 氯化钡溶液（浓度为5%）：称取氯化钡（）5.0g溶于适量蒸馏水中并稀释至100mL。

11 (1+1)盐酸：量取1份浓度为（36～38%）的盐酸与1份蒸馏水混合。

27.7.3 试验步骤及注意事项：

1 硫酸根含量估测：取5mL浸出液于试管中，加入（1+1）盐酸2滴，再加入浓度为5%的氯化钡溶液5滴，摇匀，根据表27.7.3确定硫酸根测定方法及钡镁混合标准溶液的剂量。

表27.7.3 硫酸根测定方法及钡镁混合标准溶液剂量表

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 加氯化钡后溶液浑浊程度 | 硫酸根含量  （mg/L） | 测定方法 | 取浸出液量（mL） | 钡镁混合标准溶液（mL） |
| 数分钟后微浑浊 | <10 | 比浊法 | — | — |
| 立即呈微浑浊 | 25～50 | 比浊法 | — | — |
| 立即浑浊 | 50～100 | EDTA法 | 25 | 4～5 |
| 立即沉淀 | 100～200 | EDTA法 | 25 | 8 |
| 大量白色沉淀 | >200 | EDTA法 | 10 | 10～12 |

2 按上表取适量浸出液于250mL锥形瓶中，加入一小块刚果红试纸，加1滴～2滴（1+1）盐酸至刚果红试纸变蓝，加热煮沸数分钟。

3 取下锥形瓶，在热溶液中按上表加入钡镁混合液，不断摇动，继续加热至微沸，取下锥形瓶静置2h。

4 于试样中加入5mL氨盐缓冲溶液及适量铬黑T指示剂，再加入浓度为95%的乙醇溶液5mL，摇匀，用标准溶液滴定至溶液由酒红色变为蓝色为终点，记录消耗的标准溶液的体积（mL）。

5 另取一锥形瓶加入适量蒸馏水，加入一小块刚果红试纸，加1滴～2滴（1+1）盐酸至刚果红试纸变蓝，加热煮沸数分钟。准确加入与本条第3款等量的钡镁混合液，加入5mL氨盐缓冲溶液及适量铬黑T指示剂，再加入浓度为95%的乙醇溶液5mL，摇匀，用标准溶液滴定至溶液由酒红色变为蓝色为终点，记录消耗的标准溶液的体积（mL）。

6 取相同体积的浸出液按本规程第27.6.3条第1款步骤，测定同体积的浸出液中钙镁消耗的标准溶液的体积（mL）。

7 注意事项：采用标准溶液滴定过量的钡离子，以铬黑T为指示剂时，由于钡离子指示剂阴离子络合不稳定，终点不明显。需加入镁离子使滴定终点清晰，故沉淀硫酸根时采用钡镁混合剂。

27.7.4 硫酸根离子含量应按下式进行计算：

1 土：

2 水：

式中： ——土中硫酸根离子质量摩尔浓度（mmol/kg）；

——土中硫酸根离子含量（mg/kg）；

——水中硫酸根离子质量浓度（mg/L）；

——二钠盐标准溶液的标定浓度（mol/L）；

——钡镁混合标准溶液的浓度（mol/L）；

——加入钡镁混合标准溶液的体积数（mL）；

——制取浸出液所加蒸馏水体积（mL）；

——滴定浸出液及钡镁混合液消耗标准溶液的体积数（mL）；

——滴定同体积钡镁混合溶液（空白)时消耗标准溶液的体积

数（mL）；

——滴定同体积浸出液钙镁时消耗标准溶液的体积数（mL）；

——吸取浸出液的体积（mL）；

——干土质量（g）；

——吸取水样的体积（mL）；

——硫酸根离子的摩尔质量（g/mol）。

27.8 硫酸根离子的测定——比浊法

27.8.1 本试验适用于硫酸根离子含量小于50mg/L的所有水试样及各类土的浸出液。

27.8.2 主要仪器设备及试剂应符合下列要求：

1 分光光度计：波长350～720nm。

2 比色管：10mL、25mL，具塞。

3 分析天平：称量200g，最小分度值0.0001g。

4 硫酸根离子标准溶液（浓度为1mg/mL）：称取1.4790g已在温度130℃烘干的无水硫酸钠，加少量蒸馏水溶解，移入1000mL容量瓶中稀释，定容。

5 硫酸根离子工作溶液(浓度为0.1mg/mL)：取硫酸盐标准溶液（浓度为1mg/mL）10mL，稀释至100mL。

6 条件试剂：称取氯化钠75g ，置于500mL烧杯中，用蒸馏水300mL溶解后，加入盐酸（浓度为36～38%的）30mL、甘油50mL和95%乙醇100mL，并充分摇动、混匀。

7 氯化钡粉末：将氯化钡晶粒置于研钵中，研成细粉。

27.8.3 试验步骤及注意事项：

1 在一组100mL容量瓶中，分别加入硫酸盐工作溶液（浓度为0.1mg/mL）0.0mL、5mL、10mL、20mL、30mL、40mL、50mL，稀释至100mL，制成硫酸根含量分别为（0.0、0.5、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0）mg/100mL的标准系列。各加入条件试剂5mL，氯化钡粉末1g，摇匀，放置5min后，移入10mm比色皿中，于波长420nm处，以试剂空白为参比，测定吸光度。以吸光度为纵坐标，硫酸盐含量为横坐标，绘制校准曲线。

2 量取浸出液100mL，按本条第1款步骤测定浸出液吸光度。

3 注意事项：

1）比浊法中，产生硫酸钡沉淀时的颗粒大小与沉淀时温度的高低、静置时间的长短等条件有关，故在制作标准曲线时应尽可能与测试时的条件保持一致，以减小误差。

2）比色皿长时间使用后，会有少量硫酸钡附着于比色皿壁上，可采用加有几滴氨水的溶液（浓度为0.1mon/L）浸泡擦洗。

27.8.4 硫酸根离子含量浓度应按下式进行计算：

1 土：

2 水：

式中： ——土中硫酸根离子含量（mg/kg）；

——水中硫酸根离子质量浓度（mg/L）；

——从校准曲线上查得的硫酸根离子的含量（mg）；

——制取浸出液所加蒸馏水体积（mL）；

——吸取浸出液的体积（mL）；

——干土质量（g）；

——吸取水样的体积（mL）。

27.9 游离二氧化碳

27.9.1 本试验采用酸碱指示剂滴定法，适用于无色、无浊度的天然水和轻度污染水。

27.9.2 主要仪器设备及试剂应符合下列要求：

1 碱式滴定管：25mL。

2 比色管或容量瓶：容积为100mL，比色管应具磨口塞，容量瓶应选用标线至瓶塞间的空隙体积约10mL。

3 分析天平：称量200g，最小分度值0.0001g。

4 氢氧化钠标准溶液（=0.0250mol/L）的配制及标定：

1）配制：称取氢氧化钠50g，置于200mL烧杯中，加入蒸馏水60mL搅拌至完全溶解，冷却后贮存于聚乙烯瓶中，静置3～4天，制成饱和氢氧化钠溶液。量取上部澄清液1.5mL，注入1000mL容量瓶中，用刚煮沸并冷却的无二氧化碳水定容，贮存于聚乙烯瓶中。

2）标定：称取经温度105℃～110℃烘干2h并于干燥器中冷却后的固体邻苯二甲酸氢钾（）0.1000g，置于250mL锥形瓶中，用无二氧化碳水80mL溶解，加入酚酞指示剂4滴，用氢氧化钠标准溶液滴定至溶液呈淡红色为终点，记录消耗氢氧化钠标准溶液的体积。氢氧化钠标准溶液的浓度应按下式计算：

式中： ——氢氧化钠标准溶液的标定浓度（mol/L）；

——称取邻苯二甲酸氢钾的质量（g）；

——滴定消耗氢氧化钠标准溶液的体积（mL）。

——邻苯二甲酸氢钾的摩尔质量（g/ mol）

5 酚酞指示剂（浓度为0.5%）：称取酚酞0.5g，置于250mL烧杯中，注入乙醇（浓度为95%）50mL，溶解后用蒸馏水稀释至100mL。

6 pH=8.3终点标准颜色：称取无水碳酸氢钠（）0.1g，置于250mL烧杯中，用蒸馏水80mL溶解，用酸度计指示，调节溶液pH值为8.3，移入100mL容量瓶中用蒸馏水定容，加入酚酞指示剂0.20mL，加塞，颠倒混匀，临用时配制。

7 酒石酸钾钠溶液（浓度为50%（m/V））：称取酒石酸钾钠（）50g，置于250mL烧杯中，用蒸馏水溶解并稀释至100mL。加入酚酞指示剂3滴，用0.1mol/L的溶液滴定至pH=8.3终点标准颜色为止。

27.9.3 试验步骤及注意事项：

1 用虹吸管吸取水样100mL至容量瓶中，加入酚酞指示剂4滴，缓缓颠倒混匀，立即用氢氧化钠标准溶液滴定，临近终点时，每滴1滴氢氧化钠溶液，应将容量瓶颠倒震荡数次，滴定至试样颜色与pH=8.3终点标准颜色相一致的稳定红色，3min不消失为终点。当水样加入酚酞指示剂后，颜色与pH=8.3终点标准颜色相同或更深的红色时，表示水试样中无游离二氧化碳。

2 注意事项：

1）游离二氧化碳在水中极不稳定，采样后应立即测定，避免与空气接触时间过多，产生误差。

2）在滴定过程中如出现浑浊，表明水中含有、或含、太多， 因反应均消耗碱将使测定结果偏高。这时应另取水样，事先加入酒石酸钾钠溶液（浓度为50%）1mL，再加酚酞按操作步骤滴定。

3）酚酞乙醇液析出沉淀物，应重新配制。

4）水中含有大量有机酸或其他弱酸，pH值小于4 时，本法不适用。

27.9.4 游离二氧化碳质量浓度应按下式进行计算：

式中： ——游离二氧化碳质量浓度（mg/L）；

——氢氧化钠标准溶液的浓度（mol/L）；

——试样消耗氢氧化钠标准溶液的体积（mL）；

——取水体积（mL）；

——二氧化碳的摩尔质量（g/mol）。

27.10 侵蚀性二氧化碳

27.10.1 本试验采用盖耶尔法。

27.10.2 主要仪器设备及试剂应符合下列要求：

1 采样瓶：可用医用生理盐水瓶或密封玻璃瓶，容积250mL。

2 振荡机：振荡100次/min。

3 盐酸标准溶液（=0.0250mol/L）配制与及标定应按本规程第27.4.2条第4款步骤进行。

4 甲基橙指示剂（浓度为0.05%）：称取甲基橙0.05g，置于150mL烧杯中，用少量蒸馏水溶解并稀释至100mL，贮存于棕色瓶中。

5 甲基红-溴甲酚绿混合指示剂（MR-BCG指示剂）：称取甲基红20mg和溴甲酚绿100mg，置于150mL烧杯中，加入乙醇70mL溶解后，用蒸馏水稀释至100mL，贮存于棕色瓶中。

27.10.3 试验步骤及注意事项：

1 将已加碳酸钙粉末的水样瓶置于振荡机上，连续振荡1h，或人工颠倒摇动水样瓶，每天4～6次，连续2天，静置澄清。

2 量取澄清水样25.0mL，注入250mL锥形瓶中。加入甲基红-溴甲酚绿指示剂3滴，用盐酸标准溶液滴定水样由绿色变为红色，强力振荡后试样不褪色，必要时加热煮沸，记录水样消耗盐酸标准溶液的体积。当溶液颜色减弱或恢复绿色，再继续滴定至红色为终点。

3 量取未加碳酸钙粉的水样25.0mL，注入250mL锥形瓶中，按本条第2款的步骤进行，记录水样消耗盐酸标准溶液的体积。

27.10.4 侵蚀性二氧化碳质量浓度应按下式进行计算：

式中： ——侵蚀性二氧化碳质量浓度（mg/L）；

——盐酸标准溶液浓度（mol/L）；

——加碳酸钙粉水样消耗盐酸标准溶液的体积（mL）；

——未加碳酸钙粉水样消耗盐酸标准溶液的体积（mL）；

——取水样体积（mL）；

——二氧化碳的摩尔质量的一半（g/mol）。

27.11 溶蚀碳酸钙容量

在中华人民共和国行业标准《水质分析规程》（YS 5226-2016）中提出，对于PH值小于或等于4的水样，采用盖耶尔法测侵蚀性二氧化碳，是不妥当的。这些侵蚀性二氧化碳是酸腐蚀碳酸钙而产生的，其反应式如下：

酸腐蚀碳酸钙后产生大量二氧化碳，这些二氧化碳在密闭的情况下溶于水中，进一步侵蚀碳酸钙，其反应式如下：

反应的由来是酸对碳酸钙的腐蚀，而非水中原有的侵蚀性二氧化碳对碳酸钙的腐蚀。采用盖耶尔——滴定法来测，称为溶蚀碳酸钙容量。用溶蚀碳酸钙表述该水样腐蚀碳酸钙的能力。本规范把这一方法列入，供大家参考。

27.11.1 本试验采用盖耶尔——滴定法，适用于pH小于等于4.0或矿化度不大于50mg/L的天然水。

27.11.2 主要仪器设备及试剂应符合下列要求：

1 采样瓶：可用医用生理盐水瓶或密封玻璃瓶，容积250mL。

2 振荡机：振荡100次/min。

3 锌基准溶液（浓度为0.0250mol/L）的配制及标定按本规程第27.6.2条第4款步骤进行。

4 铬黑T指示剂：称取铬黑T0.5g，氯化钠100g，置于玛瑙研钵中研成细末，贮存于棕色瓶中。

5 铵缓冲溶液（pH为10）：应符合本规程第27.6.2条第6款的要求。

4 EDTA二钠盐标准溶液（=0.0250mol/L）配制及标定按本规程第27.6.2条第7款步骤进行。

5 酸性铬蓝K-萘酚绿B固体指示剂（K-B指示剂）：应符合本规程第27.6.2条第8款的要求。

6 氢氧化钠溶液（浓度为4%（m/V））：应符合本规程第27.6.2条第9款的要求。

27.11.3 试验步骤及注意事项：

1 当水样中游离二氧化碳含量大于30mg/L时，应将已加碳酸钙粉末的水样瓶置于振荡机上，连续振荡6h，或人工颠倒摇动水样瓶，每天4～6次，连续6天，静置澄清。

2 量取已加碳酸钙粉水样25.0mL，注入250mL锥形瓶中，用无二氧化碳水稀释至100mL。

3 加入浓度为4%的氢氧化钠溶液4mL，摇匀。加入K-B指示剂适量，摇匀。用二钠盐标准溶液滴定至溶液由红色转变成纯蓝色为终点。记录试样消耗二钠盐标准溶液的体积。

4 量取未加碳酸钙粉的水样25.0mL，注入250mL锥形瓶中，用无二氧化碳水稀释至100mL（当水样pH小于等于4.0时，应滴加4%氢氧化钠溶液，用pH试纸指示，中和至pH约为7～8），加入4%氢氧化钠溶液4mL，摇匀。加入K-B指示剂适量，摇匀。用二钠盐标准溶液滴定至溶液由红色变成纯蓝色为终点。记录试样消耗二钠盐标准溶液的体积。

27.11.4 溶蚀碳酸钙含量应按下式进行计算：

式中： ——溶蚀碳酸钙容量（mg/L）；

——二钠盐标准溶液的浓度（mol/L）；

——加碳酸钙粉水样消耗二钠盐标准溶液的体积（mL）；

——未加碳酸钙粉水样消耗二钠盐标准溶液的体积（mL）；

——取水样体积（mL）；

——碳酸钙摩尔质量的一半（g/mol）。

27.12 酸度——酸碱指示剂滴定法

27.12.1 本试验采用酸碱指示剂滴定法，适用于无色、无浊度的天然水和轻度污染水。

27.12.2 主要仪器设备及试剂应符合下列要求：

1 碱式滴定管：25mL，50mL。

2 锥形瓶：150mL，250mL。

3 无二氧化碳水：将蒸馏水或去离子水煮沸5min以上（水多时），或使水量蒸发10%以上（水少时），加盖放冷即可。

4 甲基橙指示剂（浓度为0.05%）：应符合本规程第27.4.2条第4款第2）项的规定。

5 氢氧化钠标准溶液（=0.0250mol/L）：应符合本规程第27.9.2条第4款的规定。

6 酚酞指示剂（浓度为0.5%）：应符合本规程第27.9.2条第5款的规定。

7 硫代硫酸钠溶液（浓度为2%）：称取硫代硫酸钠2g，置于烧杯中，用少量无二氧化碳水溶解，并稀释至100mL，贮存于棕色瓶中。

27.12.3 试验步骤及注意事项：

1 测定强酸酸度：取50mL水样置于锥形瓶中，加入2滴甲基橙指示剂，若溶液显橘黄色时，则无强酸酸度存在，若显橘红色时，则用氢氧化钠标准溶液滴定至试样由橘红色变为橘黄色，记录滴定至终点时消耗氢氧化钠标准溶液的体积。

2 测定总酸度：取水样50mL置于锥形瓶中，加入2滴酚酞指示剂，用氢氧化钠标准溶液滴定至水样由无色变为粉红色；当水样中含有少量二价铁、三价铁、锰、铝等离子时，向试样中加入3滴～5滴酚酞，加热煮沸3min后，趁热滴至粉红色。记录滴定至终点时消耗氢氧化钠标准溶液的体积。

27.12.4 强酸酸度和总酸度应按下式进行计算：

式中： ——强酸酸度（以计，mg/L）；

——总酸度（以计，mg/L）；

——氢氧化钠标准溶液浓度（mol/L）；

——用甲基橙作指示剂时消耗氢氧化钠标准溶液的体积（mL）；

——用酚酞作指示剂时消耗氢氧化钠标准溶液的体积（mL）；

——水样体积（mL）；

——碳酸钙摩尔质量的一半（g/mol）。

27.13 酸度——电位滴定法

27.13.1 本试验采用电位滴定法，适用于生活污水、工业废水或滴定终点难以辨别。

27.13.2 主要仪器设备及试剂应符合下列要求：

1 pH计、电位滴定仪或离子活度计：精度0.01pH，具有温度补偿功能。

2 玻璃电极。

3 甘汞电极。

4 磁力搅拌器：具聚乙稀或聚四氟乙烯包裹的搅拌子。

5 碱式滴定管：25mL。

6 烧杯：100mL。

7 氢氧化钠标准溶液（=0.0250mol/L）：应符合本规程第27.9.2条第4款的规定。

8 无二氧化碳水：应符合本规程第27.12.2条第3款的规定。

9 过氧化氢溶液（浓度为30%）：采用持证的30%过氧化氢溶液。

27.13.3 试验步骤及注意事项：

1 滴定曲线法：

1）测定前用pH标准缓冲溶液进行仪器校准。

2）取50mL水样置于100mL烧杯中，将烧杯置于电磁搅拌器上，插入电极，慢速连续搅拌。用氢氧化钠标准溶液以每次0.5mL或更少的量滴加入水样中，待pH读数稳定后，记录所加滴定剂的量和相对应的pH值。重复上述操作，最后滴定至pH达到9以上为止。以氢氧化钠标准溶液为横坐标，pH值为纵坐标，绘制电位滴定曲线图。从曲线上查出突变点pH值所对应的氢氧化钠标准溶液的量。

2 直接滴定法：

1）甲基橙酸度：取50mL水样置于100mL烧杯中，将烧杯置于电磁搅拌器上，插入电极，慢速连续搅拌，用氢氧化钠标准溶液滴定，滴定至pH=3.7稳定为止。记录氢氧化钠标准溶液用量。

2）酚酞酸度：在滴定至pH=3.7的水样中，加入5滴30%过氧化氢溶液，加热煮沸2min～4min，冷却至室温，用氢氧化钠标准溶液滴定，滴定至pH=8.3稳定为止。记录氢氧化钠标准溶液用量。

3 注意事项：

1）当水样中含有铁、铝、锰等易氧化或易水解的金属离子时，加入酚酞溶液后，先煮沸2min，趁热滴定至稳定的淡红色。

2）含有大量亚铁盐的酸性矿山排水，在滴定PH=8.3时，会产生大量深绿色沉淀，使滴定终点难以观察。此类水在滴定前应加入过氧化氢煮沸2min～4min，使亚铁氧化成稳定的三价铁。

3）当水样中有游离氯存在时，加入0.05mL硫代硫酸钠溶液去除。

4）若水样中有颜色，可用已去除二氧化碳的蒸馏水稀释后测定。

27.13.4 甲基橙酸度和酚酞酸度按本规程第27.12.4条公式计算。

27.14 铵离子的测定

27.14.1 本试验采用纳氏试剂分光光度法，适用于水样中铵含量不大于2mg/L，取样25mL的最低检出浓度应为0.02mg/L的天然水和污染水。

27.14.2 主要仪器设备及试剂应符合下列要求：

1 分光光度计：波长范围应为400 nm～760nm。

2 比色管：容积为25mL，具塞。

3 附有定氮球、500mL凯氏烧瓶、直行冷凝管和导管的定氮全玻璃蒸馏器。

4 电炉：功率为1000W。

5 容量瓶：200mL。

6 磷酸盐缓冲溶液（PH=7.4）：称取磷酸二氢钾（）1.43g和磷酸氢二钾（）6.88g，置于200mL烧杯中，用去离子水溶解并稀释至100mL。

7 硼酸溶液（浓度为2%（m/V））：称取硼酸（）2g，置于200mL烧杯中，用去离子水溶解并稀释至100mL。

8 硫酸锌溶液（浓度为10％（m/V））：称取硫酸锌（）10g，置于200mL烧杯中，用去离子水溶解并稀释至100mL。

9 氢氧化钠溶液（浓度为25％（m/V））：称取氢氧化钠（）25g，置于200mL烧杯中，用去离子水溶解并稀释至100mL。

10 纳氏试剂可选择下列两种方法中之一配制：

1）称取碘化汞（）1.0g和溴化钾（）5.0g置于200mL烧杯中，用去离子水25mL溶解，再加入氢氧化钾（）2.5g，用去离子水稀释至100mL，混匀。放置暗处，待上层溶液澄清无色后使用，用聚乙烯瓶密塞避光贮存。

2）称取氢氧化钠（）16.0g，置于200mL烧杯中，用去离子水50mL溶解，冷却至室温；称取碘化汞（）10.0g、碘化钾（）7.0g，置于100 mL烧杯中，用20mL去离子水溶解，将此溶液边搅拌边徐徐注入上述氢氧化钠溶液中，用去离子水稀释至100mL，用聚乙烯瓶密塞避光贮存。

11 酒石酸钾钠溶液（浓度为50％（m/V））：称取酒石酸钾钠（）50g，置于200mL烧杯中，用去离子水溶解，微沸5min，冷却，用去离子水稀释至100mL。

12 铵标准贮备溶液（，1.00mg/mL）：称取经温度100℃烘干2h并在干燥器中冷却的氯化铵（）0.7414g，置于100mL烧杯中，用去离子水溶解，移入250mL容量瓶中，定容。

13 铵标准工作溶液（，0.01mg/mL）：量取5.00mL铵标准贮备溶液，注入500mL容量瓶中，用去离子水定容，临用时配制，此溶液中1mL中含10µg铵离子。

27.14.3 试验步骤及注意事项：

1 在一组25mL比色管中，分别加入铵标准工作溶液0.00mL、0.10mL、0.50mL、1.00mL、2.00mL、3.00mL、5.00mL，用去离子水稀释至标线。此标准系列溶液铵的质量分别为0.00µg、1.00µg、5.00µg、10.0µg、20.0µg、30.0µg、50.0µg。

2 量取水样25.0mL，注入另一25mL比色管中。

3 向标准系列和水样试管中各加入酒石酸钾钠0.50mL，混匀，再加入纳氏试剂0.50mL，混匀后放置10min。

4 在波长420nm处，以空白为参比，用20mm比色皿，测量并记录吸光度。

5 以标准系列的铵的质量（µg）为横坐标、相应的吸光度为纵坐标，绘制校准曲线。

6 水样中含有脂肪族胺类、芳香族胺类、氯胺或污染水，可用蒸馏法测定：量取水样200mL注入凯氏烧瓶中，用1％氢氧化钠或1％盐酸溶液调节pH至7.4，加入磷酸盐缓冲溶液10mL，加入数粒沸腾石。用加有硼酸溶液20mL的200mL容量瓶为吸收瓶，连接定氮球和冷凝管，冷凝管下端插入吸收瓶液面下，加热蒸馏至馏出液150mL左右，停止蒸馏，用去离子水定容至200mL。用1％氢氧化钠溶液中和水样中的硼酸。量取馏出液按本条第2～5款的步骤测定铵离子。

7 注意事项：

1）本测定的全部试剂和操作都应采用无氨的去离子水。

2）配制纳氏试剂时勿使碘化钾过剩，静置后有沉淀，应去除。纳氏试剂的贮存期为1～2个月。

3）水中钙离子能与磷酸盐缓冲溶液作用，生成磷酸钙沉淀，影响缓冲能力，此时应补加磷酸盐缓冲溶液。

4）pH值太低氨蒸不出来，碱性太高，部分蛋白质分解析出氨，导致结果偏高。故维持pH=7.4为宜。

27.14.4 铵离子含量应按下式进行计算：

式中： ——铵离子含量（mg/L）；

——从校准曲线上查得试样中铵的质量（µg）；

——量取水样的体积。

采用蒸馏法时铵离子含量应按下式计算：

式中： ——铵离子含量（mg/L）；

——从校准曲线上查得试样中铵的质量（µg）；

——量取试样的体积；

——馏出液总体积（mL）；

——测定时取出的馏出液体积（mL）。

27.15 悬浮物、溶解固体、总固体的测定

27.15.1 本试验采用质量法，适用于天然水和污染水。

27.15.2 主要仪器设备及试剂应符合下列要求：

1 分析天平：称量200g，最小分度值0.0001g。

2 抽滤瓶、真空泵及附件应符合密闭要求。

3 玻璃砂芯过滤坩埚：25～30 mL。

4 瓷质或铂质蒸发皿：容积为100mL。

27.15.3 试验步骤及注意事项：

1 悬浮物的测定：

1）将玻璃砂芯过滤坩埚置于抽滤瓶上，放上内径相同的滤纸，用水洗3～5次，抽干后，将坩埚和滤纸经温度105℃±2℃烘干1h，于干燥器中冷却,称量至恒量。

2）量取振荡均匀的水样50mL～1000mL，分数次注入玻璃砂芯过滤坩埚中进行抽气过滤。滤完后，将坩埚和悬浮物置于烘箱中，经温度105℃烘2h，于干燥器中冷却，称量至恒量。

2 溶解性固体的测定：吸取经玻璃砂芯过滤坩锅抽滤后的水样100 mL，注入已烘至恒量的蒸发皿中，置于水浴锅上蒸发至干，将含有残渣的蒸发皿置于 105℃烘箱内烘干2h，于干燥器中冷却称量至恒重。

3 总固体的测定：量取未经过滤的水样适量按本规程第27.15.3条第2款进行试验，记录蒸发皿与总固体的质量。

4 注意事项：

1）水样中悬浮物颗粒很微小时，用0.45µm的滤膜及与之匹配的滤膜过滤装置代替滤纸。

2）水中含有大量钙、镁的氯化物、硫酸盐等时，蒸干后会形成含有结晶水的化合物，在105℃烘烤时，难以去除结晶水，必须在180℃烘烤，空蒸发皿也必须在180℃烘烤。测定结果应注明180℃烘干残渣。

3）含大量铁、铝离子的酸性水，应使之成为硫酸盐的形式称重。在蒸发过程中，水样含盐量不超过1克时，可加2mL（1+2）硫酸，置于水浴锅上蒸干后，于360℃～380℃灼烧1h～2h,冷却并称量至恒重，测定结果应注明硫酸盐溶解性固体。

4）碱性大的水样应采用铂质蒸发皿。

27.15.4 悬浮物、溶解性固体、总固体应按下式进行计算：

1 悬浮物：

式中： ——水样中悬浮物的质量浓度（mg/L）；

——滤纸和坩埚的质量（g）；

——悬浮物、滤纸和坩埚的质量（g）；

——取水的体积（mL）。

2 溶解性固体：

式中： ——水样中溶解性固体的质量浓度（mg/L）；

——蒸发皿的质量（g）；

——溶解性固体和蒸发皿的质量（g）；

——取水的体积（mL）。

3 总固体：

式中： ——水样中总固体的质量浓度（mg/L）；

——蒸发皿的质量（g）；

——总固体和蒸发皿的质量（g）；

——取水的体积（mL）。

**28 岩石物理力学性质试验**

28.1 岩石的简易鉴定

28.1.1 本试验方法借助常规工具和试剂做简单试验，通过肉眼观察，鉴定岩石特征，其目的在于初步确定岩石的名称或类别。

28.1.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 铁锤。

2 硬度计或其他检验硬度用的工具。

3 放大镜或显微镜。

4 稀盐酸：浓度10%。

28.1.3 试验步骤及注意事项：

1 用铁锤敲击岩石试样，使之出现新鲜断面。

2 借助放大镜或显微镜仔细观察新鲜断面的岩石结构和构造，重点观察节理、裂隙、结晶程度、矿物颗粒大小、胶结物等特征，并做文字描述。

3 用硬度计或其他检验硬度的工具在新鲜断面上进行划痕试验，以确定岩石的硬度。硬度对比的标准从软到硬依次为：①滑石；②石膏；③方解石；④萤石；⑤磷灰石；⑥正长石；⑦石英；⑧黄玉；⑨刚石；⑩金刚石。

4 在新鲜面上滴几滴稀盐酸，观察滴盐酸的岩石部位表面变化，有无泡沫产生。

5 分析岩石的矿物组成和结构，确定岩石名称和类别。

28.2 含水率试验

28.2.1 本试验适用于所有岩石，采用烘干法。

28.2.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 烘箱：能使温度控制在105℃～110℃范围。

2 电子天平：称量500g，最小分度值0.01g。

3 其他：干燥器等。

28.2.3 试验步骤及注意事项：

1 试件最小尺寸应大于组成岩石最大矿物颗粒直径的10倍，每个试件的质量宜为40g～200g，每组试验试件数量应为5个。

2 称烘干前试样的质量。

3 将试样置于烘箱内。对于不含结晶水的岩石，应在105℃～110℃恒温下烘至恒量，烘干时间一般为24h。对于含结晶水的岩石，应在40℃±5℃恒温下烘至恒量，烘干时间一般为24h～48h。

4 将试件从烘箱中取出，放入干燥器内冷却至室温，称烘干后的试样质量。

5 称量精度应精确至0.01g。

28.2.4 岩石含水率按下式计算：

式中： ——岩石的含水率（%）；

——烘干前的试件质量（g）；

——烘干后的试件质量（g）。

28.3 块体密度试验

28.3.1 本试验适用于所有岩石，可采用量积法和蜡封法测试，并应符合下列规定：

1 量积法适用于能制备成规则试件的各类岩石；蜡封法适用于不能用量积法进行试验的岩石。

2 块体密度根据岩石含水状态可分为干密度、饱和密度和天然密度。

28.3.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 切石机、钻石机、磨石机等岩石试件加工设备。

2 天平。

3 石蜡及熔蜡设备。

4 水中称量装置。

5 游标卡尺。

28.3.3 试验步骤及注意事项：

1 量积法应按下列步骤进行：

1）量测试件的直径和边长：用游标卡尺量测试件两端和中间三个断面上相互垂直的两个方向的直径或边长，按平均值计算截面积。

2）量测试件的高度：用游标卡尺量测试件断面周边对称的四个点（圆柱体试件为互相垂直的直径与圆周交点处；立方体试件为边长的中点）和中心点的五个高度，计算高度平均值。

3）称量试件质量。

4）长度量测应准确至0.02mm，称量应准确至0.01g。

2 蜡封法应按下列步骤进行：

1）测天然密度时，应取代表性岩石制备试件并称量；测干密度时，将试件放入烘箱，按本规程第28.2.3条第3款烘至恒量，取出试件置于干燥器内冷却至室温后，称量干试件质量。

2）将石蜡装在干净铁盆中加热熔化，至稍高于熔点，待用。

3）通过滚涂或刷涂的方法使岩石试件表面涂上一层厚度1mm左右的石蜡层。当试件上蜡膜有气泡存在时，应用热针刺穿并用蜡液补平，冷却后准确称出蜡封试件的质量。

4）将涂有蜡的试件系于天平上，称出其在水中的质量。

5）擦干试件表面的水分，在空气中重新称取蜡封试件的质量。当浸水后蜡封试件的质量大于浸水前的质量时，应重做试验。

28.3.4 试验成果的整理应按下列要求进行：

1 采用量积法时，岩石块体密度应按下式计算：

式中： ——岩石试样的天然密度（g/cm3），准确到0.01；

——试件天然质量（g）；

——试件截面积（cm2）；

——试件高度（cm）。

2 采用蜡封法时，岩石块体密度应按下式计算：

式中： ——岩石试样的天然密度（g/cm3），准确到0.01；

——试件天然质量（g）；

——蜡封试件质量（g）；

——蜡封试件在水中的质量（g）；

——水在T℃时的密度（g/cm3）；

——石腊的密度（g/cm3）。

3 试件的干密度应按下式计算：

式中： ——干密度（g/cm3），准确到0.01；

——岩石试样的天然密度（g/cm3），准确到0.01；

——含水率（%）。

28.4 颗粒密度试验

28.4.1 本试验方法采用比重瓶法，适用于各类岩石。

28.4.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 粉碎机、瓷研钵或玛瑙研钵、磁铁块。

2 孔径为 0.25mm的筛。

3 比重瓶：容积100ml或50ml。

4 天平：称量200g，最小分度值0.001g。

5 烘箱：能使温度控制在105℃～110℃范围。

6 抽气设备：抽气机、水银压力机、真空干燥器等。

7 恒温水槽：准确至±1℃。

8 煮沸水槽。

9 其他：蒸馏水（或中性液体，如煤油）、漏斗、温度计等。

28.4.3 试验步骤及注意事项：

1 应先将岩石粉碎成岩粉，使之全部通过0.25mm筛，并用磁铁块吸去铁屑。

2 将岩粉置于烘箱内，按28.2.3条第3款要求烘干，于干燥器内冷却至室温。

3 称取岩粉10g～15g（比重瓶容积为50mL时，取试样10g; 比重瓶容积为100mL时，取试样15g），用漏斗装入烘干后的比重瓶内，称取瓶土总质量，准确至0.001g。

4 按本规程第8.1.3条第2～5款要求操作，称量瓶水土的总重量，并记录水槽温度。

5 注意事项应符合本规程第8.1.3条第5款要求。

28.4.4 岩石颗粒密度应按下式进行计算：

式中： ——岩石颗粒密度，无纲量，准确到0.01；

——烘干岩粉质量（g）；

——比重瓶、试液总质量（g）；

——比重瓶、试液、岩粉总质量（g）；

——T℃时蒸馏水或中性液体的比重。

28.5 吸水性试验

28.5.1 岩石的吸水性试验包括吸水率试验和饱和吸水率试验，并应符合下列要求：

1 岩石的吸水性试验适用于遇水不崩解、不溶解或不干缩湿胀的岩石。

2 岩石吸水率试验采用自由浸水法测定。

3 岩石饱和吸水率试验应在岩石吸水率测定后进行。采用煮沸法或真空抽气法强制饱和后测定。

28.5.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 切石机、钻石机、磨石机等岩石试件加工设备。

2 天平：称量500g，最小分度值0.01g。

3 烘箱：能使温度控制在105℃～110℃范围。

4 抽气设备：抽气机、水银压力机、真空干燥器等。

5 煮沸水槽。

28.5.3 试验步骤及注意事项：

1 将试件置于烘箱内，按本规程第28.2.3第3款要求烘干至恒量，于干燥器内冷却至室温后称量，准确至0.01g。

2 岩石吸水率试验应采用自由浸水法测定。自由浸水法应按本规程第5.3.3条第3款要求进行，拭干试件表面水分，称量试件重量，准确至0.01g。

3 岩石饱和吸水率试验应采用煮沸法或真空抽气法强制饱和试件，且应符合本规程第5.3.3条第4～5款要求进行，拭干试件表面水分，称量试件重量，准确至0.01g。

28.5.4 岩石的吸水率、饱和吸水率应分别按下式计算：

式中： ——岩石的吸水率（%）；

——岩石的饱和吸水率（%）；

——试件自由浸水48h后的质量（g）；

——试件煮沸法饱和（真空抽气饱和）后的质量（g）；

——烘干后的试件质量（g）。

28.6 膨胀性试验

28.6.1 岩石膨胀性试验包括岩石自由膨胀率试验、岩石侧向约束膨胀率试验和岩石体积不变条件下的膨胀压力试验。岩石膨胀性试验应符合下列要求：

1 遇水不易崩解的岩石可采用岩石自由膨胀率试验，遇水易崩解的岩石不应采用岩石自由膨胀率试验。

2 各类岩石均可采用岩石侧向约束膨胀率试验和岩石体积不变条件下的膨胀压力试验。

28.6.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 切石机、磨石机、钻石机等。

2 测量平台。

3 自由膨胀率试验仪。

4 侧向约束膨胀率试验仪。

5 膨胀压力试验仪。

6 干湿温度计。

28.6.3 试验步骤及注意事项：

1 自由膨胀率试验应按下列步骤进行：

1）试件应采用干法加工。试件直径或边长宜为48mm～65mm，试件高度宜等于直径或边长。试件加工精度应符合本规程第5.3.2条要求，每组试验试件数量应为3个。

2）将试件放入自由膨胀率试验仪内，在试件上下分别放置透水版，顶部放置一块金属板。

3）在试件上部和四侧对称的中心部位分别安装千分表。四侧千分表与试件接触处，宜安置一块薄铜片。

4）读记千分表读数，每隔10min读记1次，直至3次读数不变。

5）缓慢地向盛水容器内注入蒸馏水，直至淹没上部透水板，并立即读数。

6）在第1h内，每隔10min测读变形1次，以后每隔1h测读变形1次，直至3次读数差不大于0.001mm为止。浸水后试验时间不得小于48h。

7）试验过程中，应保持水位不变，水温变化不得大于2℃。

8）试验过程中及试验结束后，应详细描述试件的崩解、掉块、表面泥化或软化等现象。

2 侧向约束膨胀率试验应按下列步骤进行：

1）试件的制备应符合本规程28.6.3条第1款第1）项的要求，试件高度不应小于20mm或不应大于组成岩石最大矿物颗粒直径的10倍。

2）将试件放入内壁涂有凡士林的金属套环内，在试件上下分别放置薄型滤纸和透水板。

3）顶部放上固定金属荷载块并安装垂直千分表。金属荷载块的质量应能对试件产生5kPa的持续压力。

4）试验及稳定标准应符合本规程第28.6.3条第1款中第4）～7）项的要求。

5）试验结束后，应描述试件表面的泥化和软化现象。

3 岩石体积不变条件下的膨胀压力试验：

1）试件的制备应符合本规程28.6.3条第2款中第1）项的要求。

2）将试件放入内壁涂有凡士林的金属套环内，在试件上下分别放置薄型滤纸和金属透水板。

3）安装加压系统及量测试件变形的千分表。

4）应使仪器各部位和试件在同一轴线上，不应出现偏心荷载。

5）对试件施加产生0.01MPa压力的荷载，记录千分表读数，每间隔10min读数1次，直至3次读数不变。

6） 缓慢地向盛水容器内注入蒸馏水，直至淹没上部透水板。观测千分表的变化。当变形量大于0.001mm时，调节所施加的荷载，应保持试件高度在整个试验过程始终不变。

7）开始时每间隔10min读数1次，连续3次读数差小于0.001mm，改为每1h读数1次。当每1h读数连续3次读数差小于0.001mm时，可认为稳定并记录试验荷载。浸水后总试验时间不得少于48h。

8）试验过程中，应保持水位不变。水温变化不得大于2℃。

9）试验结束后，应描述试件表面的泥化和软化现象。

28.6.4 岩石自由膨胀率、侧向约束膨胀率和体积不变条件下的膨胀压力应分别按下式计算：

式中： ——岩石轴向自由膨胀率（%）；

——岩石径向自由膨胀率（%）；

——岩石侧向约束膨胀率（%）；

——岩石体积不变条件下的膨胀压力（MPa）；

——试件轴向变形值（mm）；

——试件轴向高度的平均值（mm）；

——试件径向变形的平均值（mm）；

——试件径向直径（边长）的平均值（mm）；

——试件侧向约束条件下的轴向变形值（mm）；

——轴向荷载（N）；

——试件截面积（mm2）。

28.7 耐崩解性试验

28.7.1 本试验主要适用于质地疏松岩石、风化岩石、黏土类岩石。

28.7.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 天平：称量5000g，最小分度值0.01g。

2 烘箱：能使温度控制在105℃～110℃范围。

3 耐崩解性试验仪：由动力装置、圆柱形筛筒和水槽组成。

4 其他：温度计、干燥器等。

28.7.3 试验步骤及注意事项：

1 将试样装入耐崩解试验仪的圆柱形筛筒内，在105℃～110℃的温度下烘至恒量后，在干燥器内冷却至室温称量。

2 将装有试样的圆柱形筛筒放在水槽内，向水槽内注入蒸馏水，使水位在转动轴下约20mm。圆柱形筛筒以20r/min的转数转动10min后，将圆柱形筛筒和残留试样在105℃～110℃的温度下烘至恒量，在干燥器内冷却至室温称量，称量应准确至0.01g。

3 重复本条第2款操作，求得第二次循环后的圆柱形筛筒和残留试件质量。根据需要可进行5次甚至更多次循环试验。

4 试验结束后，应对残留试样、水的颜色和水中沉淀物进行描述。根据需要，可对水中沉淀物进行颗粒分析、界限含水量测定和黏土矿物分析。

5 试验过程中，水温应保持在20℃±2℃。

28.7.4 岩石二次循环耐崩解性指数应按下式计算：

式中： ——岩石二次循环耐崩解性指数（%）；

——残留试件烘干质量（g）；

——原试件烘干质量（g）。

28.8 岩石单轴抗压强度试验

28.8.1 本试验主要适用于测定能制备成规则试件的各类岩石的单轴抗压强度。

28.8.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 压力试验机或万能材料试验机。

2 钻石机、锯石机、磨石机等岩石试件加工设备。

3 其他：烘箱、干燥器、游标卡尺、角尺及水槽等。

28.8.3 试验步骤及注意事项：

1 试件的制备应符合本规程第5.3节的要求。

2 岩石的含水状态可根据需要选择天然、烘干、饱和或是其他含水状态，每种含水状态试验时试件的数量应为3个。

3 用游标卡尺量取试件尺寸（精确至0.1mm）。应分别测量圆柱体试件顶面和底面两个相互正交的直径，并以各自的算术平均值分别计算顶面和底面的面积，取顶面和底面面积的算术平均值作为计算抗压强度所用的截面积。

4 按岩石强度性质，选定合适的压力机。调整球形座，使刚性垫块与试验机上下承压板均匀接触，受力对中。

5 以每秒0.5MPa～1.0MPa的速率加载直至试件破坏，记录破坏荷载及加载过程中出现的现象，对破坏后的试件进行描述。

6 注意事项：

1）当需要提供岩石软化系数时，同一抗压试验应保证有足够的数量（一般不低于3个），方能保证软化系数的可靠性。

2）单轴抗压强度试验结果应同时列出每个试件的试验值及同组岩石单轴抗压强度的平均值；有显著层理的岩石，应分别报告垂直与平行层理方向的试件强度的平均值。

3）当无条件加工成圆柱体时，允许采用方柱体试件，但应在成果中予以说明。方柱体试件制备要求应符合本规程第5.3节的要求。

4）测量方柱体试件尺寸时，应在顶面和底面上各量测两相邻边边长并计算截面面积，以顶面和底面面积的算术平均值作为计算抗压强度所用的截面积。

28.8.4 岩石单轴抗压强度和软化系数应按下式计算：

式中： ——岩石单轴压强度（MPa）；

——岩石的软化系数，计算至0.01；

——轴向破坏荷载（N）；

——试件截面积（mm2）；

——岩石饱和状态下的单轴抗压强度（MPa）；

——岩石干燥状态下的单轴抗压强度（MPa）。

当试件无法制成本规程第5.3节要求的高径比时，应对按下式对抗压强度进行换算：

式中： ——尺寸修正后的标准高径比（2:1）试件单轴压强度（MPa）；

——任意高径比条件下试件的单轴抗压强度（MPa）；

——试件直径（mm）；

——试件高度（mm）。

28.9 点荷载强度试验

28.9.1 本试验适用于除极软岩以外的各类岩石。

28.9.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 点荷载试验仪：包括加载系统、荷载测量系统、标距测量部分。

2 游标卡尺。

28.9.3 试验步骤及注意事项：

1 试样可用钻孔岩芯，或从岩石露头、勘探坑槽、平洞、巷道中采取的岩块。试样在采取和制备过程中，应避免产生人为裂隙。试件制备应符合以下规定：

1）作径向试验的岩心试件，长度与直径之比应大于1.0；作轴向试验的岩心试件，长度与直径之比宜为0.3～1.0。

2）方块体或不规则块体试件，其尺寸宜为50mm±35mm，两加载点间距与加载处平均宽度之比宜为0.3～1.0。

3）试样的含水状态可根据需要选择天然含水状态、烘干状态、饱和状态或其他含水状态。

4）试件数量应视试验性质、含水状态、岩石均质程度而定。同一含水状态和同一加载方向下，岩心试件每组试验试件数量宜为5～10个；方块和不规则块体试件每组试验试件数量宜为15～20个；如果岩石是各向异性的（如层理、片理明显的沉积岩和变质岩），还应再分为平行和垂直层理加荷的两个亚组，每组试件不少于15个。

2 检查试验仪上、下两个加荷锥头是否准确对中，并利用框架立柱上的标尺读出两锥头间的零位移值。

3 测量试样的长（L）、宽（b）、高（h）尺寸。对不规则试样，应通过试样的中点测量试样尺寸。

4 径向试验时，应将岩心试件放入球端圆锥之间，应使上下锥端与试件直径两端紧密接触。量测加载点间距，加载点距试件自由端的最小距离不应小于加载两点间距的0.5。

5 轴向试验时，应将岩心试件放入球端圆锥之间，加载方向应垂直试件两端面，使上下锥端连线通过岩心试件中截面的圆心处并应与试件紧密接触。应量测加载点间距及通过两加载点最小截面的宽度或平均宽度，加载点距试件自由端的距离不应小于加载点间距的0.5。

6 应稳定的施加荷载，使试件在10s～60s内破坏，应记录破坏荷载。

7 试验结束后应描述试件的破坏形态。破坏面贯穿整个试件并通过两加载点为有效试验。

28.9.4 岩石点荷载强度试验成果整理应符合下列要求：

1 等价岩芯直径应分别按下式计算：

1）径向试验时

式中： ——等价岩芯直径（mm）；

——加载点间距（mm）；

——上下锥端贯入后试件破坏瞬间的加载点间距（mm）。

2）轴向试验、方块体或不规则体试验时

式中： ——等价岩芯直径（mm）；

——通过两加载点最小截面的宽度或平均宽度（mm）；

——加载点间距（mm）；

——上下锥端贯入后试件破坏瞬间的加载点间距（mm）；

——常数，取3.1415926。

2 未经修正的岩石点荷载强度应按下式计算：

式中： ——未经修正的岩石点荷载强度（MPa）；

——破坏时的荷载（N）；

——等价岩芯直径（mm）。

3 当等价岩芯直径不等于50mm，且试验数据较少时，应按下式进行修正：

式中： ——等价岩芯直径为50mm时的岩石点荷载强度指数（MPa）；

——未经修正的岩石点荷载强度（MPa）；

——等价岩芯直径（mm）；

——修正指数，可取0.40～0.45，或根据同类岩石经验值确定。

4 岩石点荷载强度指数与饱和单轴抗压强度的换算按下式进行：

式中： ——岩石饱和状态下的单轴抗压强度（MPa）；

——等价岩芯直径为50mm时的岩石点荷载强度指数（MPa）。

28.10 抗剪断强度试验

28.10.1 本试验适用于可制备成规则立方体试件的各类岩石。抗剪断强度是试件的某一特定面与水平面夹角（即放置角度）α时，平行于此特定面的切向分力作用所产生的最大剪应力。

28.10.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 钻石机、切石机、磨石机等。

2 测量平台。

3 压力试验机或万能材料试验机及角模剪断装置。

28.10.3 试验步骤及注意事项：

1 将岩石加工成立方体试件，边长应为48mm～54mm，试件加工精度应符合本规程5.3.2条的要求。

2 按岩石的性质，选择合适的压力机。

3 将装好试件的角模剪断装置调整到需要的α角度，平置于承压板中心，调整球形座，使角模剪断装置两端面与上下承压板密合接触。

4 开动压力机，以每秒0.5MPa～1.0MPa的加荷速率进行加荷，直至破坏。

5 加荷过程中应时刻观察试件变化情况，一旦出现裂缝应及时记录压力值并描述试件破坏情况。

6 调整角模剪断装置α角度，装好试样，重复本条第3～5款操作，并记录试件破坏压力值及破坏情况。

7 注意事项：

1）每组岩石立方体试件的数量应不少于9个。可根据需要，选择天然含水状态、烘干状态、饱和状态或其他含水状态进行试验。

2）角模剪断装置α角通常选用45、50、55、60、65五种角度中的三种，每种角度至少有3个试件的试验数据。

28.10.4 抗剪断强度试验成果整理应按下列步骤进行：

1 根据下列公式计算试件所受的正应力和剪应力：

式中： ——试件抗剪断面上的平均正应力（MPa）；

——试件抗剪断面上的平均剪应力（MPa）；

——试件破坏时的荷载（MPa）；

——试件剪断面积（mm2）；

——抗剪夹具的角度（剪应力与竖直方向）（度）。

2 以正应力为横坐标、剪应力为纵坐标，绘制岩石抗剪断强度曲线（应为一直线，若离散性较大时，可对异常值进行舍弃），直线的倾角为内摩擦角，直线在纵坐标轴上的截距为黏聚力。

3 当不绘制岩石抗剪断强度曲线时，内摩擦角及黏聚力应按下式进行计算：

式中： ——内摩擦角（°），准确至0.1°；

——黏聚力（kPa）；

——试件抗剪断面上的平均正应力（MPa）；

——试件抗剪断面上的平均剪应力（MPa）；

——每组试样数量。

28.11 岩块声波速度测试

28.11.1 能制成规则试件的岩石均可采用岩块声波速度测试。

28.11.2 主要仪器设备应符合下列要求：

1 钻石机、锯石机、磨石机、车床等。

2 测量平台。

3 岩石超声波参数测定仪。

4 纵、横波换能器。

5 测试架。

28.11.3 试验步骤及注意事项：

1 测试纵波速度时，耦合剂可采用凡士林或黄油；测试横波波速时，耦合剂可采用铝箔、铜箔或水杨酸苯脂。

2 对非受力状态下的直透法测试,应将试件置于测试架上，换能器应置于试件轴线的两端，并应量测两换能器中心距离。应对换能器施加约0.05MPa的压力，测读纵波或横波在试件中传播时间，精确至0.1μs。受力状态下的测试，宜与单轴压缩变形试验同时进行。

3 需要采用平透法测试时，应将一个发射换能器和两个（或两个以上）接收换能器置于试件的同一侧的一条直线上，应量测发射换能器中心至每一接收换能器中心的距离，并应测读纵波或横波在试件中传播时间，精确至0.1μs。

4 直透法测试结束后，应测定声波在不同长度的标准有机玻璃棒中的传播时间，应绘制时距曲线，以确定仪器系统的零延时。也可将发射、接收换能器对接测读零延时。

5 注意事项：

1）发射换能器的发射频率应符合下式要求：

式中： ——发射换能器发射频率（Hz）；

——岩石纵波速度（m/s）；

——试件的直径（m）。

2）使用切变振动模式的横波换能器时，收、发换能器的振动方向应一致。

28.11.4 岩块声波速度测试成果整理应按下列步骤进行：

1 岩石纵波速度、横波速度应按下列公式计算：

式中： ——纵波波速（m/s）；

——横波波速（m/s）；

——发射、接收换能器中心间的距离（m）；

——直透法纵波的传播时间（s）；

——直透法横波的传播时间（s）；

——仪器系统的零延时（s）；

——平透法发射换能器至第一（二）个接收换能器两中心间距离（m）；

——平透法发射换能器至第一个接收换能器纵（横）波的传播时间（s）；

——平透法发射换能器至第二个接收换能器纵（横）波的传播时间（s）。

2 岩石各种动弹性参数应按下列公式计算：

式中： ——岩石动弹性模量（MPa）；

——岩石动泊松比；

——岩石动刚性模量或动剪切模量（MPa）；

——岩石动拉梅系数（MPa）；

——岩石动体积模量（MPa）；

——岩石试样的天然密度（g/cm3）；

——岩体泊松比；

——纵波波速（m/s）；

——横波波速（m/s）。

**29 岩土试验成果整理**

29.1 数据分析

29.1.1 为使试验资料可靠和适用，应进行正确的数据分析和整理。整理时对试验资料中明显不合理的数据，应通过研究、分析原因（试样是否具有代表性、试验过程中是否出现异常情况等）或在有条件时，进行一定的补充试验后，可决定对可疑数据的取舍或改正。

29.1.2 舍弃试验数据时，应根据误差分析或概率的概念，按三倍标准差作为舍弃标准，即在资料分析中应该舍弃不在范围值以内的测定值，然后重新计算整理。

29.1.3 核查试验数据的合理性时，除考虑试验数据离散范围的大小外，尚可参考同类地区相同条件下土性指标的历史成果，或考虑具体试验条件下土性指标之间的相互关系。

29.1.4 试验数据分析整理时，应首先根据所研究的土体在地貌特征、地质年代、成因类型以及成分和结构构造上的差别，结合试验测得的颗粒级配、密度和含水率等指标的变化规律，将其划分为若干个性质相近的土层或土区；然后对不同的土体单元再分原状土样和扰动土样以及不同试验条件，汇集所有试验成果。

29.1.5 岩土试验测得的土性指标，可按其在工程设计中的实际作用分为一般特性指标和主要计算指标。前者如土的天然密度、天然含水率、土粒比重、颗粒组成、液限、塑限、有机质等，系指作为对土分类定名和阐明其物理化学特性的土性指标，后者如土的黏聚力、内摩擦角、压缩系数、压缩模量、渗透系数等，系指在设计计算中直接用以确定土体的强度、变形和稳定性等力学性的土性指标。

29.1.6 对一般特性指标的成果整理，通常可采用多次测定值的算术平均值，并计算出相应的标准差和变异系数，以反映实际测定值对算术平均值的变化程度，从而判别其采用算术平均值时的可靠性。

1 算术平均值应按下式计算：

式中： ——算术平均值；

——实际测定值；

——指标测定的总次数。

2 标准差按下式计算：

3 变异系数按下式计算，并按表29.1.6评价其变异性：

表29.1.6 变异性评价表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 变异系数 | cV＜0.1 | 0.1≤cV＜0.2 | 0.2≤cV＜0.3 | 0.3≤cV＜0.4 | cV≥0.4 |
| 变异性 | 很小 | 小 | 中等 | 大 | 很大 |

29.1.7 对于主要计算指标的成果整理，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，仍可按一般特性指标的方法确定其设计计算值，即采用算术平均值。但通常由于试验的数据较少，考虑到测定误差、土体本身不均匀性和施工质量的影响等，为安全考虑，对初步设计和次要建筑物宜采用标准差平均值，即对算术平均值加（或减）一个标准差的绝对值。

29.1.8 对不同应力条件下测得的某种指标（如抗剪强度等）应经过综合整理求取。在有些情况下，尚需求出不同土体单元综合使用时的计算指标。这种综合性的土性指标，一般采用图解法或最小二乘方分析法确定。

1 图解法：将不同应力条件下测得的指标值（如抗剪强度）求得算术平均值，然后以不同应力为横坐、标指标平均值为纵坐标作图，并求得关系曲线，确定其参数。

2 最小二乘方分析法：根据各测定值同关系曲线的偏差的平方和为最小的原理求取参数值。

3 当设计计算几个土体单元土性参数的综合值时，可按土体单元在设计计算中的实际影响，采用加权平均值。

29.2 试验报告的汇总和审核

29.2.1 基本要求

1 试验报告所依据的试验数据，应进行整理、检查、分析，确定无误后方可应用。

2 试验报告中一律采用国家颁布的法定计量单位。

3 试验报告所需提供的数据，一般应包括根据不同建筑物的设计施工的具体要求所拟试验的全部土性指标数据，一般以表格形式出具。

4 如有必要时，应对试验情况进行简要说明。

29.2.2 试验报告格式可按附表4参考使用，报告中至少应包含但不限于以下内容：

1 项目基本信息：如项目编号、项目名称、委托单位、提出报告日期等。

2 试样的基本信息：野外取样编号、取样深度、室内编号等。

3 试样的物理特性指标：如饱和度、天然孔隙比、比重、密度、含水率、液限、塑限、塑性指数、液性指数等。

4 试样的固结特性指标：不同压力下的孔隙比、各级压力下的压缩系数、压缩模量、固结系数、标准固结试验中的前期固结压力、压缩指数、回弹指数等。

5 试样的抗剪强度指标：试验方法、黏聚力、内摩擦角等。

6 试样的颗粒分析成果：不同粒组的百分含量、不均匀系数、曲率系数等。

7 试样的其他指标：渗透系数、液塑比、含水比、灵敏度、无侧限抗压强度、膨胀特性指标、有机质等。

8 土（水）中各离子浓度。

9 岩石物理性、抗压强度、抗剪强度、膨胀性等指标。

10 试验单位名称、联系电话、试验汇总人、审核人、批准人等。

29.2.3 试验报告主要审查以下方面

1 对照委托任务书，检查试验项目是否齐全。

2 检查各试验项目是否按照试验方法标准进行。

3 检查土的定名是否与相关规范相符。

4 综合分析检查各指标之间的关系是否合理。

5 对需要进行数理统计分析的试验报告应检查选用的统计方法是否合适，结果是否正确。

29.2.4 试验报告审批程序

1 由试验人员填写成果汇总表。

2 经校核人员校核汇总表中的数据。

3 由试验负责人编写试验报告。

4 由技术负责人签字并盖章发送。

**30 样品的验收与管理**

30.0.1 岩（土）样送达试验单位，必须附送样单或试验委托书或其他有关资料。送样单应有原始记录和编号，内容应包括工程名称、试坑或钻孔编号、取土深度、取样日期等。如原状土应有地下水位高程、土样现场鉴别和描述及定义、取土方法等。试验委托书应包括工程名称、工程项目、试验目的、试验项目、试验方法及要求等。

30.0.2 试验单位接到土样后，应按试验委托书验收。验收中需查明土样数量是否有误、编号是否相符、所送土样是否满足试验项目和试验方法的要求。必要时可抽验土样质量，验收后登记、编号。登记内容应包括：工程名称、委托单位、送样日期、土样室内编号和野外编号、取土地点和取土深度、试验项目的要求以及要求提出成果的日期等。

30.0.3 土样送交试验单位验收、登记后，即将土样按顺序妥善存放，应将原状土样和保持天然含水率的扰动土样置于阴凉的地方，尽量防止扰动和水分蒸发。

30.0.4 土样从取样之日起至开始试验的时间不应超过三周

30.0.5 土样经过试验之后，余土应贮存于适当容器内，并标记工程名称及室内土样编号，妥善保管，以备审核试验成果之用。一般保存到试验报告提出三个月以后，委托单位对试验报告未提出任何疑义时，方可处理。

30.0.6 处理试验余土时要考虑余土对环境的污染、卫生等要求。

**附表1 水的动力黏滞系数、黏滞系数比、温度校正值**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 温度  T  (℃) | 动力黏滞系数  *η*  (kPa·s×10-6) |  | 温度校正 值  TP | 温度  T  (℃) | 动力黏滞系数  *η*  (kPa·s×10-6) |  | 温度校正 值  TP |
| 5.0 | 1.516 | 1.501 | 1.17 | 17.5 | 1.074 | 1.066 | 1.66 |
| 5.5 | 1.498 | 1.478 | 1.19 | 18.0 | 1.061 | 1.050 | 1.68 |
| 6.0 | 1.470 | 1.455 | 1.21 | 18.5 | 1.048 | 1.038 | 1.70 |
| 6.5 | 1.449 | 1.435 | 1.23 | 19.0 | 1.035 | 1.025 | 1.72 |
| 7.0 | 1.428 | 1.414 | 1.25 | 19.5 | 1.022 | 1.012 | 1.74 |
| 7.5 | 1.407 | 1.393 | 1.27 | 20.0 | 1.010 | 1.000 | 1.76 |
| 8.0 | 1.387 | 1.373 | 1.28 | 20.5 | 0.998 | 0.988 | 1.78 |
| 8.5 | 1.367 | 1.353 | 1.30 | 21.0 | 0.986 | 0.976 | 1.80 |
| 9.0 | 1.347 | 1.334 | 1.32 | 21.5 | 0.974 | 0.964 | 1.83 |
| 9.5 | 1.328 | 1.315 | 1.34 | 22.0 | 0.968 | 0.958 | 1.85 |
| 10.0 | 1.310 | 1.297 | 1.36 | 22.5 | 0.952 | 0.943 | 1.87 |
| 10.5 | 1.292 | 1.279 | 1.38 | 23.0 | 0.941 | 0.932 | 1.89 |
| 11.0 | 1.274 | 1.261 | 1.40 | 24.0 | 0.919 | 0.910 | 1.94 |
| 11.5 | 1.256 | 1.243 | 1.42 | 25.0 | 0.899 | 0.890 | 1.98 |
| 12.0 | 1.239 | 1.227 | 1.44 | 26.0 | 0.879 | 0.870 | 2.03 |
| 12.5 | 1.223 | 1.211 | 1.46 | 27.0 | 0.859 | 0.850 | 2.07 |
| 13.0 | 1.206 | 1.194 | 1.48 | 28.0 | 0.841 | 0.833 | 2.12 |
| 13.5 | 1.188 | 1.176 | 1.50 | 29.0 | 0.823 | 0.815 | 2.16 |
| 14.0 | 1.175 | 1.168 | 1.52 | 30.0 | 0.806 | 0.798 | 2.21 |
| 14.5 | 1.160 | 1.148 | 1.54 | 31.0 | 0.789 | 0.781 | 2.25 |
| 15.0 | 1.144 | 1.133 | 1.56 | 32.0 | 0.773 | 0.765 | 2.30 |
| 15.5 | 1.130 | 1.119 | 1.58 | 33.0 | 0.757 | 0.750 | 2.34 |
| 16.0 | 1.115 | 1.104 | 1.60 | 34.0 | 0.742 | 0.735 | 2.39 |
| 16.5 | 1.101 | 1.090 | 1.62 | 35.0 | 0.727 | 0.720 | 2.43 |
| 17.0 | 1.088 | 1.077 | 1.64 |  |  |  |  |

**附表2 土粒比重校正表**

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

**附表3 悬液温度校正表**

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

**附表4 岩（土）试验报告内容格式**

附表4-1 土工试验成果总表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 土样编号  № | 钻孔编号  № | 取土深度  -- | 土的物理性质 | | | | | 界限含水率 | | | |
| 饱和度 | 孔隙比 | 土粒比重 | 湿密度 | 含水率 | 液限 | 塑限 | 塑性指数 | 液性指数 |
| -- | -- | m | % | -- | -- | g/cm3 | % | % | % | % | -- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

续上表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 固结孔隙比 | | | | | 压缩系数 | | | | |
| 固结荷重50  kPa | 固结荷重100  kPa | 固结荷重200  kPa | 固结荷重300  kPa | 固结荷重400  kPa | 0～  50  kPa | 50～  100  kPa | 100～  200  kPa | 200～  300  kPa | 300～  400  kPa |
| -- | -- | -- | -- | -- | MPa-1 | MPa-1 | MPa-1 | MPa-1 | MPa-1 |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

续上表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 压缩模量 | | | | | 剪切试验 | | | | |
| 0～  50  kPa | 50～  100  kPa | 100～  200  kPa | 200～  300  kPa | 300～  400  kPa | 试验  方法 | 黏聚力 | 内摩  擦角 | 有效  黏聚力 | 有效内摩擦角 |
| MPa | MPa | MPa | MPa | MPa | -- | kPa | ° | kPa | ° |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

续上表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 颗粒组成 | | | | | | | | | 不均匀系数 | 曲率系数 |
| >  20 | 20  ～  2 | 2  ～  0.5 | 0.5  ～  0.25 | 0.25  ～  0.075 | 0.075  ～  0.05 | 0.05  ～  0.01 | 0.01  ～  0.005 | <  0.005 |
| % | % | % | % | % | % | % | % | % | -- | -- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

续上表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 有机质含量 | 渗透系数 | | 膨胀性试验 | | | | 无侧限抗压强度 | | 灵敏度 | 土样分类与定名 |
| 垂直 | 水平 | 自由膨胀率 | 50kPa下膨胀率 | 膨胀力 | 收缩系数 | 原状 | 扰动 |
| % | cm/s | cm/s | % | % | kPa | -- | kPa | kPa | -- | -- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

附表4-2 岩石试验成果总表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验室编号 | | | |  | | |  | | |  | | |
| 野外编号 | | | |  | | |  | | |  | | |
| 取样深度（m） | | | |  | | |  | | |  | | |
| 岩样地质年代或名称 | | | |  | | |  | | |  | | |
| 物  理  性  试  验 | 比重 | | |  | | |  | | |  | | |
| 湿密度（g/cm3） | | |  | | |  | | |  | | |
| 干密度（g/cm3） | | |  | | |  | | |  | | |
| 吸水率（%） | | |  | | |  | | |  | | |
| 孔隙率（%） | | |  | | |  | | |  | | |
| 力  学  性  质  试  验 | 软化系数 | | |  | | |  | | |  | | |
| 抗压强度  （MPa） | | 天然 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 干燥 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 饱和 |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| 纵波波速（m/s） | | |  | | |  | | |  | | |
| 横波波速（m/s） | | |  | | |  | | |  | | |
| 抗  剪  断  强  度 | 黏聚力  （MPa） | 天然 |  | | |  | | |  | | |
| 干燥 |  | | |  | | |  | | |
| 饱和 |  | | |  | | |  | | |
| 内摩擦角  （MPa） | 天然 |  | | |  | | |  | | |
| 干燥 |  | | |  | | |  | | |
| 饱和 |  | | |  | | |  | | |
| 备注 | | | |  | | | | | | | | |

附表4-3 岩石点荷载试验成果总表

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 试验室编号 |  |  |  |  |  |
| 野外编号 |  |  |  |  |  |
| 取样深度（m） |  |  |  |  |  |
| 岩样地质年代或名称 |  |  |  |  |  |
| 测点序号 | 修正后点荷载强度（MPa） | | | | |
| 1 |  |  |  |  |  |
| 2 |  |  |  |  |  |
| 3 |  |  |  |  |  |
| 4 |  |  |  |  |  |
| 5 |  |  |  |  |  |
| 6 |  |  |  |  |  |
| 7 |  |  |  |  |  |
| 8 |  |  |  |  |  |
| 9 |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
| 平均值（MPa） |  |  |  |  |  |
| 折算后抗压强度（MPa） |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |

附表4-4 水质分析报告

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 室内分析编号 | |  | | 水 源 类 型 | |  | | |
| 野外取样编号 | |  | | 气 味 | |  | | |
| 取样深度 (m) | |  | | 颜 色 | |  | | |
| 取 样 日 期 | |  | | 透明度(CM) | |  | | |
| 分 析 日 期 | |  | | 气 温 (℃) | |  | 水温 (℃) |  |
| 分 析 结 果 | | | | | | | | |
| 水中主要离子 | | | mmol/L | | mg/L | | pH |  |
| 阴  离  子 |  | |  | |  | | 水温 (℃) |  |
|  | |  | |  | | 室温 (℃) |  |
|  | |  | |  | |  | |
|  | |  | |  | |
|  | |  | |  | |  | mg/L |
|  | |  | |  | | 游 离 |  |
|  | |  | |  | | 侵蚀性 |  |
| 合量（） | |  | |  | |  | |
| 阳  离  子 |  | |  | |  | |
|  | |  | |  | |  | mmol/L |
|  | |  | |  | | 总 硬 度 |  |
|  | |  | |  | | 暂时硬度 |  |
|  | |  | |  | | 永久硬度 |  |
| 合量（∑） | |  | |  | | 总 碱 度 |  |
| 备注 | | |  | | | | | |

**本规程用词说明**

1 为了便于在执行本规程条文时区别对待，对于要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3) 表示允许稍有选择，在条件允许时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4) 表示有选择，在一定的条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

**引用标准名录**

1 中华人民共和国国家标准，《岩土工程勘察规范》（GB 50021-2001，2009年版）

2 中华人民共和国国家标准，《土工试验方法标准》(GB/T 50123-1999，2008年6月确认继续有效)

3 中华人民共和国国家标准，《土的工程分类标准》（GB/T 50145-2007）

4 中华人民共和国国家标准，《工程岩体试验方法标准》（GB/T 50266-2013）

5 中华人民共和国能源行业标准，《水电工程地质勘察水质分析规程》（NB/T 35052-2015代替DL/T 5194-2004）

6 中华人民共和国行业标准，《土工试验规程》（SL237-1999）

7 中华人民共和国行业标准，《公路工程岩石试验规程》（JTG E41-2005）

8 中华人民共和国行业标准，《公路土工试验规程》（JTG E40-2007）

9 中华人民共和国地质矿产行业标准，《地下水水质检验方法》（DZ/T 0046-93）

10 中华人民共和国行业标准，《水质分析规程》（YS/T 5226-2016）