

ICS 27.140

P 59

备案号: J631—2007

DL**中华人民共和国电力行业标准****P****DL/T 5356 — 2006**

水电水利工程粗粒土试验规程**Code for coarse-grained soil tests for hydropower
and water conservancy engineering****2006-12-17 发布****2007-05-01 实施**

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	2
3 总则	3
4 粗粒土土样和试样制备	4
5 粗粒土相对密度试验	8
6 粗粒土击实试验	14
7 粗粒土渗透变形试验	18
7.1 粗粒土垂直渗透变形试验	18
7.2 粗粒土水平渗透变形试验	23
8 粗粒土反滤试验	25
9 粗粒土固结试验	27
10 粗粒土三轴剪切试验	29
10.1 一般规定	29
10.2 仪器设备	29
10.3 试样制备与安装	30
10.4 试样饱和	31
10.5 不固结不排水剪 (UU) 试验	32
10.6 固结不排水剪 (CU 或 $\overline{CU}$) 试验	33
10.7 固结排水剪 (CD) 试验	35
11 粗粒土直接剪切试验	36
12 现场密度试验	40
12.1 灌砂法	40
12.2 灌水法	42
13 现场渗透试验	45

DL / T 5356 — 2006

14 现场渗透变形试验	48
14.1 现场垂直渗透变形试验	48
14.2 现场水平渗透变形试验	50
15 现场直接剪切试验	52
16 载荷试验	55
条文说明	59

前 言

本标准是根据《国家发展改革委办公厅关于印发 2005 年行业标准项目计划的通知》（发改办工业〔2005〕739 号）要求进行修订的。

SD 128—1984《土工试验规程》（第一分册）、SD 128—1986《土工试验规程》（第二分册）、SD 128—1987《土工试验规程》（第三分册）、SDS 01—1979《土工试验规程》（下册）（部分）经本次修订后分成四个标准：DL/T 5354—2006《水电水利工程钻孔土工试验规程》、DL/T 5355—2006《水电水利工程土工试验规程》、DL/T 5356—2006《水电水利工程粗粒土试验规程》和 DL/T 5357—2006《水电水利工程岩土化学分析试验规程》，实施后代替 SD 128—1984、SD 128—1986、SD 128—1987 和 SDS 01—1979（下册）。

本标准对 SD 128—1984、SD 128—1986、SD 128—1987 修订的主要内容如下：

- 本标准由粗粒土室内试验和现场试验两部分组成。
- 原规程各试验方法按规程编号排列，修订后按章节排列，增列范围、规范性引用文件、总则。
- 将原规程密度试验和渗透试验中的现场试验部分移入本标准，分别单独成章。
- 相对密度试验增加表面振动法，与底面振动法并列。
- 将原规程中有关渗透的试验合并成一章，定名为粗粒土渗透变形试验，按方法分别编制。
- 删除粗粒土多级加荷三轴剪切试验。
- 新增加现场渗透变形试验。
- 新增加现场直接剪切试验，并将地基土对混凝土板的抗滑试验列入其中。

DL / T 5356 — 2006

——删除原规程说明书部分，按章、节顺序编写条文说明。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由电力行业水电规划设计标准化技术委员会归口并负责解释。

本标准主要起草单位：中国水电顾问集团成都勘测设计研究院。

本标准参加起草单位：中国水电顾问集团昆明勘测设计研究院、中国水电顾问集团西北勘测设计研究院。

本标准主要起草人：张伯骥、李小泉、张永全、李春林、陈梦德、郭庆国、保华富、贺如平、尹承瑶、王泽生、王建洪、马凌云、陈定贤、沈蓉。

1 范 围

本标准规定了粗粒土的室内和现场物理力学性质的试验方法。

本标准适用于水电水利工程测定地基、边坡、地下洞室及填筑料基本工程性质的室内和现场试验，以及对施工质量的控制和检验。

DL / T 5356 — 2006

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注明日期的引用文件，其随后所有的修改本（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

- DL 5013 水电水利工程钻探规程
- DL/T 5050 水电水利工程坑探规程
- DL/T 5355 水电水利工程土工试验规程

3 总 则

3.0.1 为规范水电水利工程粗粒土室内和现场试验方法，提高试验成果质量，增强试验成果的可比性，制定本标准。

3.0.2 粗粒土试验对象应具有代表性。试验内容、试验方法、技术条件等应符合水电水利工程建设勘测、设计、施工以及质量控制、检验的基本要求和特性。

3.0.3 粗粒土的分类、含水率、比重、颗粒大小分析等试验应符合 DL/T 5355 的要求。

3.0.4 粗粒土试验成果整理和试验报告、室内土工仪器通用要求、土样要求与管理应符合 DL/T 5355 附录 A、附录 B 和附录 C 的要求。

3.0.5 配合试验用的钻孔、坑、槽、平洞，除应符合试验的要求外，还应符合 DL 5013、DL/T 5050 的要求。

3.0.6 试验用水除有特殊要求外，一般试验可采用洁净水。水的比重取值为 1，密度数值取为 1g/cm^3 。

3.0.7 粗粒土试验除应符合本标准外，尚应符合国家和行业有关标准的规定。

DL/T 5356 — 2006

4 粗粒土土样和试样制备

4.0.1 本方法适用于各类粗粒土。

4.0.2 主要仪器设备应符合下列规定：

- 1 筛：孔径 100, 80, 60, 40, 20, 10, 5, 2, 0.5, 0.075mm。
- 2 磅秤：称量 500kg, 最小分度值 200g; 称量 100kg 或 50kg, 最小分度值 50g。
- 3 台秤：称量 10kg, 最小分度值 5g。
- 4 天平：称量 5000g, 最小分度值 1g; 称量 200g, 最小分度值 0.01g。

4.0.3 黏性粗粒土土样制备应按下列步骤进行：

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

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

4.0.4 无黏性粗颗粒土的土样制备：将全部土样按 4.0.3 条 1 款依次过粗筛, 分组称量, 必要时取不大于 5mm 粒组过筛, 计算各粒组含量百分数。按粒组分别存放。

4.0.5 对粗粒的岩性、形状、风化程度及细粒特性进行描述。

4.0.6 根据天然级配或人工级配或工程要求的级配进行试样配

DL/T 5356 — 2006

制，若试样中含有超过试样允许的最大粒径颗粒，对超粒径颗粒可按以下方法处理：

1 剔除法：将超粒径颗粒剔除。

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

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

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

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

4.0.8 处理超粒径颗粒的计算应符合下列要求：

1 剔除法级配应按下列公式计算：

$$P_i = \frac{P_{0i}}{100 - P_{dmax}} \times 100 \quad (4.0.8-1)$$

式中：

P_i ——剔除后某粒组含量，%；

P_{0i} ——原级配某粒组含量，%；

P_{dmax} ——超粒径颗粒含量，%。

2 等量替代法级配应按下列公式计算：

$$P_i = \frac{P_5}{P_5 - P_{dmax}} P_{0i} \quad (4.0.8-2)$$

式中：

P_i ——替代后粗粒某粒组含量，%；

P_5 ——原级配大于 5mm 粒组含量，%。

DL / T 5356 — 2006

3 相似级配法粒径和级配应按下列公式计算:

$$d_{ni} = \frac{d_{0i}}{n} \quad (4.0.8-3)$$

$$n = \frac{d_{0\max}}{d_{\max}} \quad (4.0.8-4)$$

$$P_{dn} = \frac{P_{d0}}{n} \quad (4.0.8-5)$$

式中:

d_{ni} ——原级配某粒径缩小后的粒径, mm;

n ——粒径缩小系数;

P_{dn} ——粒径缩小 n 后相应的不大于某粒径含量百分数, %;

d_{0i} ——原级配某粒径, mm;

$d_{0\max}$ ——原级配最大粒径, mm;

$d_{\max}$ ——试样允许最大粒径, mm;

P_{d0} ——原级配相应的不大于某粒径含量百分数, %。

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

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

$$m = m_1 + m_2 \quad (4.0.9-1)$$

$$m_1 = V \rho_d (1 + 0.01w_1) 0.01P_5 \quad (4.0.9-2)$$

$$m_2 = V \rho_d (1 + 0.01w_2) (1 - 0.01P_5) \quad (4.0.9-3)$$

$$m_i = \frac{P_i}{P_5} m_1 \quad (4.0.9-4)$$

式中:

m ——风干土或天然土总质量, g;

m_1 ——大于 5mm 粗粒风干土或天然土质量, g;

m_2 ——小于 5mm 细粒风干土或天然土质量, g;

DL/T 5356 — 2006

m_i ——粗粒某粒组中风干土质量, g;

V ——试样体积, cm^3 ;

ρ_d ——试样控制干密度, g/cm^3 ;

P_5 ——制样时大于 5mm 颗粒含量, %;

w_1 ——大于 5mm 颗粒风干或天然含水率, %;

w_2 ——小于 5mm 颗粒风干或天然含水率, %;

P_i ——粗粒某粒组含量, %。

2 按下列公式计算土样所需加水量:

$$m_w = \frac{m}{1 + 0.01w_0} 0.01(w - w_0) \quad (4.0.9-5)$$

$$w_0 = 0.01w_1 P_5 + w_2 (1 - 0.01P_5) \quad (4.0.9-6)$$

式中:

m_w ——土样所需加水量, g;

w_0 ——风干土或天然土总含水率, %;

w ——试样控制含水率, %。

4.0.10 粗粒土扰动样制备记录格式见表 4.0.10。

表 4.0.10 粗粒土扰动样制备记录表

工程名称 _____ 超径颗粒处理方法 _____ 试验 _____
 试样编号 _____ 计算 _____
 允许最大粒径 _____ mm 制样日期 _____ 校核 _____

控制 干密度 g/cm^3	控制 含水率 %	试样 体积 cm^3	干试样 质量 g	>5mm 粒组		≤5mm 粒组			风干试 样含水 率 %	试样 加水量 g
				干质 量 g	风干含 水率 %	干质 量 g	风干含 水率 %	取土样 质量 g		
>5mm 粒组		原级配粒组含量			试验级配粒组含量			取土样质量		

5 粗粒土相对密度试验

5.0.1 本试验方法适用于最大粒径为 60mm 且能自由排水的无黏性粗粒土，粗粒土中小于 0.075mm 的细粒含量不得大于 12%。

5.0.2 本试验采用振动台法或表面振动法测定粗粒土的最大干密度，采用倾注松填法测定粗粒土的最小干密度。

5.0.3 主要仪器设备应符合下列规定：

1 振动台和试样筒：具有隔振装置的钢制振动台，固定于混凝土基础上。振动台的负荷应能满足加重底板、加重物、试样、容器及附属设备重力的要求。振动台的频率为 40Hz~60Hz，振幅为 0mm~2mm 可调。试样筒为圆柱形金属筒，尺寸应符合表 5.0.3-1 的规定。加重底板：底板为 1.2cm 厚的钢板，直径略小于相应试样筒内径，中心应有 $\phi 15\text{mm}$ 未穿通的提吊螺孔。加重物：尺寸与试样筒配套。加重底板与加重物对试样的总压力为 14kPa。

表 5.0.3-1 振动台法试样筒基本参数

试样筒型号	内径 cm	高度 cm	容积 cm^3	允许最大粒径 mm	试样质量 kg
I	30	34	24033	60	45~60
II	20	23	7226	20	12~16

2 表面振动器和试样筒：表面振动器由振动电动机及钢制夯组成。钢制夯由连接杆、连接栓固定于振动电动机下，下有一厚 15mm 夯板。夯板直径略小于试筒内径 2mm~5mm。振动器振动频率为 45Hz~50Hz，激振力为 4.2kN~5.4kN。夯与振动电动机对试样的静压力为 14kPa。试样筒由底板、圆柱形金属筒及固定螺栓等构成，试样筒应固定在坚实基础上。表面振动器和试样筒尺寸应符合表 5.0.3-2 的规定。

表 5.0.3-2 表面振动器和试样筒基本参数

振动器主要技术指标			试样筒			允许最大 粒径 mm	试样质量 kg
质量 kg	振频 Hz	激振力 N	内径 cm	高度 cm	容积 cm ³		
28.5	47.5	5396	50.5	50	100148	60	180~240
27	47.5	4218	30.5	28.8	21042	60	40~50

3 套筒：内径应与试样筒配套，且与试样筒紧固后内壁成直线连接。

4 游标卡尺：应带测针，量程 0mm~300mm，最小分度值 0.05mm。

5 筛：孔径 60, 40, 20, 10, 5, 2, 1, 0.5, 0.25, 0.075mm。

6 磅秤：称量 50kg，最小分度值 50g。

7 台秤：称量 10kg，最小分度值 5g。

5.0.4 土样制备应符合下列要求：

1 按第 4 章要求制备土样，将土样在 105℃~110℃下烘干。筛分过程中应使弱胶结的土粒能充分剥落。

2 按试验要求的级配称取各粒组的土样，充分拌和均匀。

5.0.5 最小干密度试验应按下列步骤进行：

1 根据试样的最大粒径，选用灌注方式及试样筒。试样筒尺寸宜与最大干密度试验的试样筒一致。

2 对最大粒径小于 10mm 的烘干土，采用固定体积法。将拌匀的土样，用小铲注入试样筒，自由下落的距离为 2cm~5cm 之间，同时从外侧向中心呈螺旋线移动，使土层厚度均匀增高而不产生大小颗粒分离。当充填到高出筒顶约 25mm 时，用钢直刀沿筒口刮去余土。称筒和试样总质量。

3 对最大粒径大于 10mm 的烘干土，采用固定体积法。用小铲将土样松填于试样筒内。装填时小铲应贴近筒内土面，使铲中土样徐徐滑入筒内，直至填土高出筒顶，余土高度不应超过

DL / T 5356 — 2006

25mm。然后用钢直刀将筒面刮平。当有大颗粒露顶时，凸出筒顶的土粒体积应能近似地与筒顶平面以下的大凹隙体积相当。称筒和试样总质量。

5.0.6 振动台法最大干密度试验应按下列步骤进行：

1 采用干法试验时，先将烘干土样拌匀，装填于试样筒中，称筒和试样总质量。装填方法与最小干密度的测定相同，也可直接用已进行最小干密度试验的试样。装好样的试样筒固定在振动台上，加上套筒，把加重底板放于土面上，依次安放好加重物。将振动台调至要求的振幅和频率，振动 8min 后，卸除加重物和套筒。测记试样高度。

2 采用湿法试验时，在烘干试料中加足够量的水浸泡约半小时或用天然的湿土进行试验，用土铲装样，装满试样筒后，将试样筒固定在振动台上振动 6min。对于高含水率的土样，应随时减小振动台的振幅。吸除土表面上的积水，再依次装上套筒、加重物，振动 8min 后，依次卸除加重物和套筒。测记试样高度，称筒和试样总质量。取全样测含水率。

3 对小于 5mm 细粒含量较多的无黏性粗粒土，必要时可分别按含水率 0，2%，4%，6%，…，进行最大干密度试验，求得干密度与含水率的关系曲线。

5.0.7 表面振动法最大干密度试验应按下列步骤进行：

1 采用干法试验时，先将试样筒及底板固定在基础上，制样及装填试样方法应按 5.0.6 条 1 款步骤进行制备，放入振动器，振动 8min，取出振动器，卸除套筒，测记试样高度。称试样筒与土的质量。

2 采用湿法试验时，先将试样筒及底板固定在基础上，试样应按 5.0.6 条 2 款步骤进行制备，将试样均分为两份，分两层装填。第一层装好后，立即放入表面振动器，振动 8min 后提起振动器，吸除土表面上的积水，安装套筒，重复第一层试样装填振动步骤。振毕，按本条 1 款步骤进行并测试样全样含水率。

DL / T 5356 — 2006

3 必要时按 5.0.6 条 3 款步骤进行不同含水率下的最大干密度试验。

5.0.8 试验成果整理应符合下列要求：

1 按下列公式计算土的最小干密度、最大干密度：

$$\rho_{\text{dmin}} = \frac{m_{\text{d}}}{V_{\text{c}}} \quad (5.0.8-1)$$

$$\rho_{\text{dmax}} = \frac{m_{\text{d}}}{V_{\text{s}}} \quad (5.0.8-2)$$

$$\rho_{\text{dmax}} = \frac{m}{V_{\text{s}}(1+0.01w)} \quad (5.0.8-3)$$

$$V_{\text{s}} = V_{\text{c}} \frac{h - h_{\text{s}}}{h} \quad (5.0.8-4)$$

式中：

ρ_{dmin} ——最小干密度， g/cm^3 ；

ρ_{dmax} ——最大干密度， g/cm^3 ；

m_{d} ——烘干试样质量， g ；

V_{c} ——试样筒容积， cm^3 ；

V_{s} ——振实后的试样体积， cm^3 ；

m ——湿法试验湿试样质量， g ；

w ——振毕密实试样含水率， $\%$ ；

h ——试样筒高度， cm ；

h_{s} ——振后试样表面至试样筒顶面的平均高度， cm 。

2 按下列公式计算土的最大孔隙比和最小孔隙比：

$$e_{\text{max}} = \frac{\rho_{\text{w}} G_{\text{s}}}{\rho_{\text{dmin}}} - 1 \quad (5.0.8-5)$$

$$e_{\text{min}} = \frac{\rho_{\text{w}} G_{\text{s}}}{\rho_{\text{dmax}}} - 1 \quad (5.0.8-6)$$

式中：

DL/T 5356 — 2006

$e_{\max}$ ——最大孔隙比;

$e_{\min}$ ——最小孔隙比;

ρ_w ——水的密度, g/cm^3 ;

G_s ——土粒比重。

3 按下列公式计算土的相对密度:

$$D_r = \frac{\rho_{d\max}(\rho_{d0} - \rho_{d\min})}{\rho_{d0}(\rho_{d\max} - \rho_{d\min})} \quad (5.0.8-7)$$

$$D_r = \frac{e_{\max} - e_0}{e_{\max} - e_{\min}} \quad (5.0.8-8)$$

式中:

D_r ——相对密度;

ρ_{d0} ——天然状态或控制干密度, g/cm^3 ;

e_0 ——天然或控制孔隙比。

4 密度计算值精确至 0.01g/cm^3 , 孔隙比和相对密度计算值精确至 0.01。

5.0.9 粗粒土的最大干密度和最小干密度试验应进行两次平行试验, 两次试验密度的差值不得大于 0.03g/cm^3 , 取其算术平均值。

5.0.10 粗粒土相对密度试验的记录格式见表 5.0.10。

表 5.0.10 粗粒土相对密度试验记录表

工程名称_____	试验_____
试样编号_____	计算_____
土样说明_____	校核_____
仪器编号_____	试验日期_____

(1) 基本参数

试 样 筒				土		
高度 cm	直径 cm	面积 cm^2	体积 cm^3	干密度 g/cm^3	比重	孔隙比

DL / T 5356 — 2006

表 5.0.10 (续)

(2) 最小干密度

测定次数	试样加试样筒质量 g	试样质量 g	最小干密度 g/cm ³	平均最小干密度 g/cm ³

(3) 最大干密度

测定次数	试样加试样筒质量 g	试样质量 g	试样面至筒顶高度 cm	试样体积 cm ³	最大干密度 g/cm ³	平均最大干密度 g/cm ³	相对密度

DL/T 5356 — 2006

6 粗粒土击实试验

6.0.1 本试验适用于粒径不大于 60mm，且不能自由排水的黏性粗粒土。

6.0.2 主要仪器设备应符合下列规定：

1 大型击实仪：由击实筒、套筒、击锤、导筒等组成。其基本参数应符合表 6.0.2 的规定。

表 6.0.2 大型击实仪基本参数

击锤质量 kg	击锤底直径 cm	落高 cm	击实筒尺寸			装土层数	每层击数	单位体积功 kJ/m ³	单位面积冲量 kN·s/m ²
			直径 cm	高度 cm	体积 cm ³				
15.5	15	60	30	28.8	20357	3	44	591.6	3
35.2	15	60	30	28.8	20357	3	88	2682.9	7

2 台秤：称量 10kg，最小分度值 5g。

3 磅秤：称量 100kg，最小分度值 50g。

4 粗筛：孔径 60，40，20，10，5mm。

6.0.3 土样制备应符合下列要求：

1 按第 4 章要求制备土样，测定试验前的级配、混合含水率或分别测定粒径大于 5mm 颗粒、粒径不大于 5mm 颗粒土的含水率。

2 按试验要求的试样级配和预计的试样质量，称取每一个试样所需各粒组的土样。每个试样质量约 35kg~45kg，每组试样不应少于 5 个。

3 调制试样含水率，各试样依次相差 2% 左右，其中 1 个为预估的最优含水率，2 个大于最优含水率，2 个小于最优含水率，所需加水量按式 (4.0.9) 进行计算。若粗颗粒采用饱和面干状态

DL / T 5356 — 2006

含水率，则只需计算粒径小于 5mm 试样的加水量。

4 将各个试样分别置于不吸水的平板上，均匀施加预定水量，待拌和均匀后，装入盛土密闭器具内，充分湿润 24h。

5 当土样中大于 5mm 的粗粒含量小于 50% 或含强风化粗粒时，宜采用湿法制备。取天然含水状态的粗粒土 300kg~400kg，拌匀后分为 7 份，其中一份作测定试样含水率用，1 份备用，其余 5 份分别按本条 3 步骤调制试样含水率。当天然土含水率大于预估最优含水率时，则需依次晾至所需含水率。

6.0.4 试验应按下列步骤进行：

1 根据要求的单位体积功能按表 6.0.2 规定选择击实锤及每层击数。

2 击实仪应放在刚性基础上。安装调整好后，拧紧全部螺母，在击实筒内壁及底板涂一薄层润滑油。

3 取制备好的土样，拌和均匀，分层装填击实。装填试样时，应防止粗粒集中并控制每层的高度大致相同。每层击实后，应将其表面刨毛。击实时，应保证使击锤自由铅直下落，锤击点应均匀分布于土面上。最后一层的顶面不应超过击实筒顶面 15mm。

4 击实完成后，取下套筒，削去超高部分余土，并将表面填平。然后卸去底盘，将击实筒外壁擦净、称量。

5 将试样从击实筒内推出，并从试样中部取 2kg~5kg 代表性土样测定其含水率。

6 按本条 3~5 步骤进行不同含水率试样的击实试验。

7 必要时取湿密度最大的附近 1~2 点击后土样过筛，以求得击后土颗粒破碎率和级配。

6.0.5 试验成果整理应符合下列要求：

1 按下列公式计算各试样干密度：

$$\rho_d = \frac{\rho}{1 + 0.01w} \quad (6.0.5-1)$$

DL / T 5356 — 2006

式中:

ρ_d ——干密度, g/cm^3 ;

ρ ——湿密度, g/cm^3 ;

w ——粗粒土混合含水率, %。

2 以干密度为纵坐标, 含水率为横坐标, 绘制干密度与含水率关系曲线。曲线的峰值为要求的单位体积功能下土的最大干密度 $\rho_{d\max}$, 与其对应的含水率为最优含水率 w_{op} 。如曲线不能给出峰值点, 应进行补点试验。

3 根据各击实试样的干密度和土的比重, 计算试样的饱和含水率并在图上绘制饱和曲线。按下列公式计算试样的饱和含水率:

$$w_{\text{sat}} = \left(\frac{\rho_w}{\rho_d} - \frac{1}{G_s} \right) \times 100 \quad (6.0.5-2)$$

式中:

w_{sat} ——饱和含水率, %;

G_s ——土粒比重;

ρ_w ——水的密度, g/cm^3 。

4 干密度计算值精确至 $0.01\text{g}/\text{cm}^3$, 饱和含水率计算值精确至 0.1% 。

6.0.6 粗粒土击实试验记录格式见表 6.0.6。

表 6.0.6 粗粒土击实试验记录表

工程编号 _____

试验 _____

土样编号 _____

计算 _____

试验日期 _____

校核 _____

(1) 基本参数

击锤 质量 g	击实筒 体积 cm^3	击实筒 质量 g	每层 击数	制样 方法	土粒 比重	试验前 P_s %	试验后 P_s %

DL / T 5356 — 2006

表 6.0.6 (续)

(2) 击实试验

试样 编号	制样 加水量 g	筒加土 质量 g	湿土 质量 g	湿密度 g/cm ³	干密度 g/cm ³	含水率 %	饱和 含水率 %	最大 干密度 g/cm ³	最优 含水率 %

7 粗粒土渗透变形试验

7.1 粗粒土垂直渗透变形试验

7.1.1 本试验方法采用渗透水流从下向上，适用于粗粒类土。

7.1.2 主要仪器设备应符合下列规定：

1 垂直渗透仪：包括筒身、顶盖、底座、透水板及支架。筒身内径与试样最大颗粒粒径之比不应小于 5，试样高度不应小于试样直径。顶盖中心为一活塞套。透水板分上透水板和下透水板，上透水板兼起传递荷重作用。在下透水板之下，可设置斜透水板，斜透水板上端设有排气孔。

2 加荷设备：包括活塞杆、加荷框架、加荷杠杆和量表支架。

3 供水设备：包括供水箱、提升架、橡皮管。供水箱设置溢流堰，应能保持常水头。

4 测压管：固定在有刻度的测压板上的透明管。刻度最小分度值 1mm。筒身、测压孔和测压管用橡皮管连接。

5 温度计：量程 0℃～50℃，最小分度值 0.5℃。

6 量筒：容积 1000mL，最小分度值 10mL；容积 100mL，最小分度值 1mL。

7.1.3 仪器设备安装应符合下列规定：

1 将下进水口与供水管相连接，使仪器充水，检查仪器的各部件是否有堵塞及漏水等。检查完毕，降低供水箱，使仪器中水位与下透水板的下沿齐平。

2 取去顶盖，在下透水板上铺设滤网，沿筒身壁和滤网之间的接触缝隙涂一圈止水材料。

3 开启全部测压孔及排气孔，使之处于排气状态。

7.1.4 试样制备应符合下列要求:

- 1 按第4章的要求制备土样。
- 2 根据仪器尺寸对试样最大粒径的要求,按4.0.6条的规定确定试验级配。按控制干密度、试样体积计算试样质量。
- 3 根据确定的试验级配,称取各粒组土样,将土拌和均匀。必要时宜分层配料。
- 4 试样宜分3~5层装填,每层的级配应相同。装填分层厚度:砂类土可为2cm~3cm;砾类土可为试样最大粒径的1.5~2倍。必要时可酌加相当于试样质量1%~2%的水,拌和均匀后再进行装填。

5 将每份称好的试样均匀分层装入筒身,用击实锤击实并达到要求的高度,对于风化石渣或易击碎的土料可采用振动加密法。

7.1.5 试验应按下列步骤进行:

1 试样在仪器中采用毛细管饱和法进行饱和。调节供水箱高度,使供水箱水位略高于试样底面,再缓慢提升供水箱,每提升1cm,应稳定10min后再提升供水箱。随试样水位的上升,接通相应的测压管,待水溢出出水口为止,使试样充分浸润饱和。此时各测压管水位应与出水口水位齐平。

2 如需要对试样施加荷载时,应在试样饱和后,在试样表面安放上透水板,安装顶盖,并使活塞杆对准上透水板中心。利用加荷设备通过活塞及上透水板对试样施加荷载。加荷时应测读试样的变形,变形稳定后的试样高度即为试样实际高度。

3 根据试样中的细粒含量,初步判断试样渗透变形的破坏形式:当为管涌破坏形式,渗透初始坡降宜为0.02~0.03,递增值宜为0.05, 0.10, 0.15, 0.20, 0.30, 0.40, 0.50, 0.70, 1.00, 1.50, 2.00,以后按1.00~2.00递增,当接近临界坡降时,渗透坡降递增值应酌量减小;当为流土破坏形式时,数值可适当增大。

DL/T 5356 — 2006

4 按上述规定逐次升高水头。每次升高水头后，应使出水口水流出流 30min~60min，待水流稳定后，测记各测压管水位并用量筒测读渗水量。每级水头下测读次数不应少于 3 次，每次测读时间间隔视渗水量大小而定，宜为 10min~20min，同时测读进出口水的温度。当 3 次测读的水位及渗水量基本稳定，即可提升至下一级水头。取读数接近的 3 次平均值作为试验值。对非管涌土，时间可适当延长。

5 应观察试验过程中出现的各种现象，如出水的浑浊程度，气泡冒出，细颗粒跳动、移动或被水流带出，土体悬浮，渗流量及测压管水位的变化等，并进行详细描述。当出现临界坡降或破坏坡降前兆时，应及时调整坡降递增值。

6 当试样发生破坏或水头无法再继续增加时，即可结束试验。对于只需进行渗透系数测定的渗透试验，可在出现临界坡降后，继续施加 1~2 级水头后结束试验。

7 试验结束后，关进水口，吸取试样上余水，观察试样变化，根据需要量测试样试后高度。加有荷载的试样应及时卸荷并观测回弹情况，卸下顶盖，吸取试样上余水，卸除上透水板。放尽仪器余水，拆除试样。根据需要，测试样试后颗粒级配。

8 在进行试验的同时，宜绘制渗透坡降与渗流速度关系曲线。以渗透坡降为纵坐标，以渗流速度为横坐标，绘制在双对数坐标纸上，必要时还可绘制渗流速度与时间关系曲线。根据曲线变化，及时调整每级水头的持续时间和水头的级差。

7.1.6 试验成果整理应符合下列要求：

1 按下列公式计算试样实际干密度及孔隙率：

$$\rho_d = \frac{m_d}{Ah} \quad (7.1.6-1)$$

$$n = \left(1 - \frac{\rho_d}{\rho_w G_s} \right) \times 100 \quad (7.1.6-2)$$

DL/T 5356 — 2006

式中:

ρ_d ——干密度, g/cm^3 ;

n ——孔隙率, %;

m_d ——试样干质量, g ;

A ——试样面积, cm^2 ;

h ——试样实际高度, cm ;

ρ_w ——水的密度, g/cm^3 ;

G_s ——土粒比重。

2 按下列公式计算各级水头下的渗透坡降和渗流流速:

$$i = \frac{\Delta H}{L} \quad (7.1.6-3)$$

$$v = \frac{Q}{At} \quad (7.1.6-4)$$

式中:

i ——渗透坡降;

v ——渗透流速, cm/s ;

ΔH ——测压管水头差, cm ;

L ——与水头差 ΔH 相应的渗径长度, cm ;

Q ——在 t 时间内的渗流量, cm^3 ;

A ——试样面积, cm^2 ;

t ——渗流时间, s 。

3 按下列公式计算土的渗透系数:

$$k_T = \frac{v}{i} \quad (7.1.6-5)$$

$$k_{20} = k_T \frac{\eta_T}{\eta_{20}} \quad (7.1.6-6)$$

式中:

k_T ——水温为 $T^\circ\text{C}$ 时土的渗透系数, cm/s ;

k_{20} ——标准温度(20°C)时土的渗透系数, cm/s ;

DL/T 5356 — 2006

η_T/η_{20} ——进出口水的平均温度为 $T^\circ\text{C}$ 时水的黏滞系数比，
可查 DL/T 5355 中表 16.1.4。

4 根据渗透坡降与渗流速度关系曲线的斜率开始变化，并观察到细颗粒开始跳动或被水流带出时，认为该试样达到了临界坡降。应按下列公式计算临界坡降：

$$i_k = \frac{i_2 + i_1}{2} \quad (7.1.6-7)$$

式中：

i_k ——临界坡降；

i_2 ——开始出现管涌时的坡降；

i_1 ——开始出现管涌前一级的坡降。

5 根据渗透坡降与渗流速度关系曲线，随着水头逐步加大，细粒不断被冲走，渗透流量变大，当水头增加到试样失去抗渗强度，该坡降称为试样的破坏坡降。按下列公式计算破坏坡降：

$$i_F = \frac{i'_2 + i'_1}{2} \quad (7.1.6-8)$$

式中：

i_F ——破坏坡降；

i'_2 ——破坏时的渗透坡降；

i'_1 ——破坏前一级的渗透坡降。

6 当发生流土破坏，破坏时的渗透坡降不易测得时，则取破坏前一级的渗透坡降作为粗粒土的渗透破坏坡降。

7 干密度计算值精确至 0.01g/cm^3 ，孔隙率计算值精确至 0.1% ，渗流坡降计算值精确至 0.01 ，渗流流速和渗透系数计算值取 3 位有效数字。

7.1.7 粗粒土垂直渗透变形试验的记录格式见表 7.1.7。

DL/T 5356 — 2006

表 7.1.7 粗粒土渗透变形及反滤试验记录表

工程名称_____ 试验_____

土样编号_____ 计算_____

试验日期_____ 校核_____

(1) 基本参数

试 样						荷载 kPa	沉降量 cm	反滤层	
质量 g	面积 cm ²	高度 cm	干密度 g/cm ³	比重	孔隙率 %			层数	厚度 cm

(2) 试验

渗流方向_____ 集砂量_____g 反滤层淤堵量_____%

试验 时间 h:min	量测 时间 s	渗流 量 cm ³	供水箱 水位 cm	出水口 水位 cm	测压管读数			水温℃		试验现象 描述
					1 cm	2 cm	3 cm	进口	出口	

(3) 计算

测压管 距离 cm	测压管 水位差 cm	渗透 坡降	渗流速度 cm/s	渗透系数 cm/s	平均水温 ℃	黏滞系 数比	20℃渗透 系数 cm/s

7.2 粗粒土水平渗透变形试验

7.2.1 本试验方法适用于粗粒类土。

7.2.2 主要仪器设备应符合下列规定：

DL / T 5356 — 2006

1 水平管涌仪：由进水段、试样段、出水段、集砂器、水箱、支架组成。仪器的宽度和厚度与试样最大颗粒粒径之比不应小于5，长度不应小于宽度。

2 其他应符合 7.1.2 条 3~6 款的规定。

7.2.3 仪器设备安装应符合下列规定：

1 按 7.1.3 条 1 款规定检查仪器。检查完毕后，降低供水箱高度，使水位与仪器底部齐平。

2 取去上盖板，固定上游透水板，在透水板上铺设滤网。只进行渗透系数试验时，在下游固定透水板并铺设滤网。需进行渗透变形试验时，下游设置格栅，安好集砂器。沿透水板与仪器壁接触缝隙间装填止水材料。

7.2.4 试样制备应符合 7.1.4 条的要求。**7.2.5 试验应按下列步骤进行：**

1 试样装好后，打开排气孔，按 7.1.5 条 1 款的步骤饱和试样，同时接通相应的测压管。

2 当水位升至接近试样表面时，在试样顶部铺一层止水材料，安装上盖板。

3 继续缓慢升高供水箱，使水位升高至排气孔出水并从下游出水口溢出时为止。

4 按 7.1.5 条 3~8 款步骤进行试验。必要时，测集砂量。

7.2.6 试验成果整理应符合 7.1.6 条的要求。**7.2.7 粗粒土水平渗透变形试验的记录格式见表 7.1.7。**

8 粗粒土反滤试验

8.0.1 本试验方法适用于粗粒类土。

8.0.2 主要仪器设备应符合 7.1.2 和 7.2.2 的规定。渗透水流可从上向下或水平方向。在进行渗流从上向下试验时，下游出水口处应加设一个可升降的溢流水箱。

8.0.3 仪器设备安装应符合 7.1.3 和 7.2.3 的规定。

8.0.4 试样制备应符合下列要求：

- 1 试样制备应符合 7.1.4 的要求。
- 2 将被保护土和反滤料按控制干密度均匀分层装入仪器中，依渗流方向，反滤料应置于被保护土层的下游。测定实际的试样厚度和总厚度。被保护土和反滤料的厚度均应不小于 15cm。

- 3 在反滤料与被保护土接触面两侧应布置测压管。

8.0.5 试验应按下列步骤进行：

- 1 试样饱和应按 7.1.5 条 1 款的步骤进行。
- 2 进行渗流从上向下试验时，在试样饱和后，关闭进出水口阀门，安装顶盖。将供水管连接上进水口，开启上排气孔后充水。待水溢出上排气孔后，关闭上排气孔。开下出水口阀门，溢流水箱水面应高于被保护土与反滤层的接触面。

- 3 试验开始时，以相应于渗透坡降为 0.1~0.2 的水头作为初始水头进行试验。以后各级水头，可按 0.3, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0, …, 的坡降逐次升高。

- 4 每级水头施加 1h 后，每隔 1h 测记测压管水位、渗流量和水温一次。渗流量的测定视渗流量的大小，每次测定时间宜为 10min~20min。连续测定 2 次，取平均值。

- 5 若渗流量未随时间增大，测压管水位无变化，无细粒移动和水色变浑等迹象，即可施加下一级水头。

DL/T 5356 — 2006

6 在本级水头下,如发现细粒通过接触面进入反滤层,滤层中的测压管水头差不断增大时,则本级水头下的试验持续时间应延长到 3h~4h。4h 后若位于反滤层中的测压管水头差不再继续增大时,应继续升高水位,进行下一级水头的试验。

7 有下列情况之一者,可以结束试验:当升高水头后,流量不断变大,被保护土中的渗流坡降减小,位于滤层中的测压管水位 4h 后仍然继续增大;渗流坡降达仪器允许的最大水头压力仍未破坏。

8 试验结束后,应缓慢降低供水箱水位,防止上层细粒在停水过程中掉入下层,或通过透水板掉入下漏斗。

9 仪器中水放完后,应分层取样,进行颗粒分析。在分层取样时,记录下列现象:滤层淤填厚度、接触带变化情况、被保护土中细粒流失粒径、流失部位等。

10 资料整理宜与试验同时进行,并符合 7.1.5 条 8 款要求。

8.0.6 试验成果整理应符合下列要求:

1 按式 (7.1.6-1) 和式 (7.1.6-2) 计算被保护土和反滤料的干密度和孔隙率。

2 按式 (7.1.6-3) ~ 式 (7.1.6-6) 计算各级水头下,被保护土和反滤料的渗透坡降、渗流速度和渗透系数。

3 应在同一颗粒大小分布曲线纸上,绘制被保护土和保护土在试验前后的颗粒分析曲线,确定被保护土中带出的土粒量和滤层内的淤填量。

8.0.7 粗粒土反滤试验的记录格式见表 7.1.7。

9 粗粒土固结试验

9.0.1 本试验方法适用于粗粒类土。

9.0.2 本试验采用浮环式固结仪，并应符合下列规定：

- 1 浮环式固结容器：直径不宜小于 300mm，直径与高度之比为 2.0~2.5，高度与试样最大颗粒粒径之比不应小于 5。
- 2 加荷设备：包括千斤顶、稳压装置、压力表。
- 3 百分表：量程 0mm~50mm，最小分度值 0.01mm。
- 4 磅秤：称量 100kg，最小分度值 50g。
- 5 台秤：称量 5000g，最小分度值 5g。
- 6 饱和设备。

9.0.3 试样制备应符合下列要求：

- 1 根据仪器要求的试样最大颗粒粒径和试样体积、控制干密度、控制含水率，按第 4 章规定制备土样。取制备好的土样搅拌均匀，均分为 2~3 份。

- 2 将带套环的固结容器安放在有滤网透水板的底盘上，容器下垫以浮环垫块，分层均匀装料。黏性粗粒土宜用击实法，无黏性粗粒土宜用振动法，将试样分层压实至要求的高度。除去浮环垫块，整平表面，依次放上铺设有滤网的透水板和传压板。

9.0.4 试验应按下列步骤进行：

- 1 将装有试样的固结容器置于加荷框架中心。
- 2 试样如需饱和，将蓄水槽安装在固结仪底盘上，连接供水装置。对于无黏性粗粒土试样，宜用水头饱和；对于黏性粗粒土试样，宜在饱和设备中采用真空饱和。试验时，蓄水槽中水位应与试样表面齐平。
- 3 在传压板上安装传力柱。在传压板上的对称位置安装百分表，百分表数量应为 2 只或 4 只。

DL/T 5356 — 2006

4 施加 3kPa~5kPa 的预压力,使试样与仪器各部位之间接触良好。测读压力表和百分表的初始读数。

5 压力宜按 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200kPa 分级施加。施加的最大压力宜大于试验要求压力 100kPa~200kPa。每次试验压力分级不应少于 5 级。

6 只进行土的压缩试验时,施加压力后,每 1h 读数一次,当每 1h 各百分表读数差值均不大于 0.05mm 时,认为稳定,可施加下一级压力。

7 需要确定沉降速率时,在施加每一级压力后,按下列时间顺序测读百分表读数: 1, 4, 9, 16, 25, 36, 60min。以后每 1h 测读一次。当每 1h 各百分表读数差值均不大于 0.05mm 时,可施加下一级压力。

8 需要作回弹试验时,可在施加某级压力下固结稳定后逐级退压,直至退到要求的压力。每级退压后应测读试样的回弹量,直至稳定,稳定标准与加压时相同。不需作回弹试验时,应逐级缓慢退压至 0。

9 试验结束后,排除容器中的水,拆除仪器各部件,将试样从容器中取出,取代表性试样测定试验后的含水率。如要了解颗粒破碎情况,应对全部试样进行颗粒大小分析试验。

9.0.5 试验成果整理应符合 DL/T 5355 中 17.1.4 条的要求。

9.0.6 粗粒土固结试验的记录格式见表 9.0.6。

表 9.0.6 粗粒土固结试验记录表

工程名称			编号			试验		
土样编号			试样面积	cm ²		计算		
试验日期							校核	

试验 时间	压力表 读数 MPa	压力 kPa	百分表读数 0.01mm					总变 形量 cm	仪器 变形量 cm	试样 变形量 cm
			1	2	3	4	平均			

10 粗粒土三轴剪切试验

10.1 一般规定

10.1.1 本试验方法适用于粗粒类土。

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

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

10.2 仪器设备

10.2.1 粗粒土三轴仪应符合下列规定：

- 1 轴向加压系统：包括加压框架、压力机。
- 2 压力室：由底座、钢筒、压力室罩、传压活塞等组成。压力室应能密封，便于安装、拆卸。压力室的大小应满足试样尺寸的要求。
- 3 测力计：应按预计的最大轴向荷载选用，准确度为 1%F.S。
- 4 轴向位移计：应按试样高度选用，最小分度值为 0.01mm。
- 5 周围压力加压系统：包括压力源、压力库和稳压系统。
- 6 体变测量系统。
- 7 孔隙压力测量系统。
- 8 饱和系统。

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

DL/T 5356 — 2006

10.2.3 制样筒：应能对开。内径和高度应满足试样尺寸要求。

10.3 试样制备与安装

10.3.1 试样应符合下列要求：

- 1 应采用圆柱形试样。
- 2 应满足仪器对试样尺寸的要求。
- 3 试样直径与试样中最大颗粒粒径之比不应小于 5。试样高度与直径之比宜为 2.0~2.5。每组试验的试样不应少于 3 个。

10.3.2 试样制备与安装应符合下列要求：

- 1 根据仪器要求的试样最大颗粒粒径和试样体积、控制干密度、控制含水率，按第 4 章的要求制备土样。
- 2 将透水板安装在压力室底座上，开进水阀，使底座、透水板充水至无气泡逸出，关闭进水阀。
- 3 在底座和透水板上固定乳胶膜，安装制样筒，将乳胶膜的上端外翻套在制样筒上，并使乳胶膜顺直和制样筒内壁紧贴。
- 4 将制备好的土样搅拌均匀，按装填的层数分成相应等份。在制样筒内每装填一份土样后，应拂平表面，采用震捣或击实法使填装的土样达到要求高度，直至装完最后一层，整平试样顶面，在试样顶面放置透水板和试样顶帽，并将乳胶膜固定在顶帽上，连接顶部排水阀。
- 5 对黏性粗粒土，可直接拆去制样筒；对无黏性粗粒土，开抽气泵，从试样顶部抽气，使试样形成约 30kPa 负压后，再拆去制样筒。抽气泵应在试样安装完毕并施加周围压力后再行关闭。
- 6 拆去制样筒后，应检查乳胶膜，若有破裂处时应立即进行贴补，必要时可再加一层乳胶膜。量测试样高度和直径。
- 7 安装压力室，打开压力室排气孔，向压力室注水，当排气孔有水溢出时，关排气孔、注水阀门。
- 8 缓慢地开动压力机，使试样帽与活塞、轴向测力计接触，立即停机。需要固结的试样，应测记轴向位移计读数。

10.3.3 按下列公式计算试样直径:

$$D_0 = \frac{1}{4}(D_1 + 2D_2 + D_3) - 2t \quad (10.3.3)$$

式中:

D_0 —— 试样直径, cm;

D_1 、 D_2 、 D_3 —— 分别为量测试样的上部、中部、下部的直径, cm;

t —— 乳胶膜的厚度, cm。

10.4 试 样 饱 和

10.4.1 抽气饱和应按下列步骤进行:

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

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

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

4 计算进入试样的水量和试样饱和度。

10.4.2 水头饱和应按下列步骤进行:

1 当试样安装完成后, 开周围压力阀, 施加约 30kPa 的周围压力。

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

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

4 计算进入试样的水量和试样饱和度。

DL/T 5356 — 2006

10.4.3 二氧化碳饱和应按下列步骤进行:

- 1 当试样安装完成后,开周围压力阀,施加约 30kPa 的周围压力,测记进水量管水位读数。
- 2 开试样顶部排气阀,使二氧化碳由试样底部进入,由下而上置换试样孔隙中的空气。二氧化碳的压力宜为 2kPa~10kPa。
- 3 待水气瓶水面冒气泡约 2min~5min 后再关阀门,停止对试样充气。
- 4 开进水阀进行水头饱和,量水管水位高于试样顶面约 2m~3m。待试样顶部有水流出后,测记进水量管水位读数。继续向试样充水,至出水量管水位读数为零,关进水阀。
- 5 计算进入试样的水量和试样饱和度。

10.4.4 反压力饱和应按下列步骤进行:

- 1 当试样安装完成后,开周围压力阀,施加约 30kPa 的周围压力,测记体变管水位、孔隙压力读数。
- 2 开反压力阀,同时施加周围压力和反压力。施加过程中,始终保持周围压力比反压力大 30kPa,每级增量宜为 50kPa,每增加一级周围压力和反压力后,测记稳定后的孔隙压力、反压力、周围压力、体变管水位一次,直至孔隙压力的增量与周围压力的增量之比不小于 0.95 为止。

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

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

10.5 不固结不排水剪(UU)试验

10.5.1 试验应按下列步骤进行:

- 1 试样饱和后,关闭试样进水阀、排水阀,开周围压力阀,施加周围压力至预定压力,并在剪切过程中始终保持恒定值,测

DL/T 5356 — 2006

记轴向位移计读数。当采用非饱和试样时，在试样制备和安装完成后即可进行试验。

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

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

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

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

10.5.2 试验成果整理应符合 DL/T 5355 中 19.4.3 条的要求。

10.5.3 试验记录格式见 DL/T 5355 中表 19.1.4。

10.6 固结不排水剪（CU 或 $\overline{\text{CU}}$ ）试验

10.6.1 试样固结应按下列步骤进行：

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

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

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

4 无黏性粗粒土每隔 $0.5\text{min} \sim 1.0\text{min}$ 测记量水管、孔隙压

DL / T 5356 — 2006

力、轴向位移计读数各一次，并根据试样性质和排水量大小调整读数间隔时间。试验同时，应绘制固结排水量与时间关系曲线，当曲线下段趋于水平，即认为固结完成。

5 黏性粗粒土开始按每隔 5min~10min 测记量水管、孔隙压力、轴向位移计读数各一次，1h 后每隔 0.5h~1.0h 读数各一次，并根据试样性质、排水量大小和孔隙水压力变化随时调整读数间隔时间。试验同时，应绘制固结排水量或孔隙水压力与时间关系曲线，当固结时间超过主固结点后，即认为固结完成。

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

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

10.6.2 试验应按下列步骤进行：

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

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

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

4 试验结束后，关孔隙压力阀，先卸去轴向压力，再卸去周围压力。开压力室排气孔、排水阀，排除压力室内水后，拆卸压

DL / T 5356 — 2006

力室罩，揩干乳胶膜周围余水，去乳胶膜，拆除试样。对剪切后试样进行描述，必要时测定剪切面试样含水率和颗粒破碎情况。

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

10.6.3 试验成果整理应符合 DL/T 5355 中 19.5.4 条的要求。

10.6.4 试验记录格式见 DL/T 5355 中表 19.1.4。

10.7 固结排水剪 (CD) 试验

10.7.1 试样固结按 10.6.1 条步骤进行。

10.7.2 试验应按下列步骤进行：

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

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

3 其他按 10.6.2 条步骤进行。

10.7.3 试验成果整理应符合 DL/T 5355 中 19.6.2 条的要求。

10.7.4 粗粒土的三轴应力应变参数试验应在本试验同时进行，并应符合 DL/T 5355 中第 20 章的要求。

10.7.5 试验记录格式见 DL/T 5355 中表 19.1.4。

11 粗粒土直接剪切试验

11.0.1 本试验方法适用于粗粒类土。剪切方式应按工程需要选用快剪、固结快剪或慢剪。

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

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

2 加荷设备：配有压力表的千斤顶，需要时可配置稳压系统。

3 位移量测设备：百分表和磁性表座。百分表量程 0mm～5mm、0mm～10mm，最小分度值 0.01mm。

4 钢直尺：量程 0mm～50cm，最小分度值 1mm。

11.0.3 试样制备应符合下列要求：

1 每组试验的试样应为 4 个。

2 根据仪器要求的试样最大颗粒粒径和试样体积、控制干密度、控制含水率，按第 4 章的要求制备土样。

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

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

5 进行粗粒土与混凝土接触面试验时，应将粗粒土装填至上剪切盒下部，放上按要求制备的混凝土板，混凝土板板厚不应小

DL / T 5356 — 2006

于 10cm，面积与剪切盒面积相同，在板上填试样土至盒高。

6 试样需要饱和时，无黏性土宜用浸水饱和法，黏性土宜用抽气饱和法。

11.0.4 试验应按下列步骤进行：

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

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

3 垂直荷载应一次施加完成，并使其在整个试验过程中保持恒定值，测读压力施加前后垂直百分表读数。

4 进行固结快剪试验和慢剪试验时，应对试样进行固结。在施加垂直荷载后，每隔 1h 测记垂直变形一次，直至变形稳定。固结稳定标准为两次读数的差值不大于 0.05mm。

5 饱和试样应安装水槽，并向水槽内注水，水面的高度不应低于试样剪切面。

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

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

DL/T 5356 — 2006

度的 10%，可结束试验，并将此时的剪切荷载作为破坏值。

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

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

11.0.5 试验成果整理应符合下列要求：

1 按下列公式计算垂直压力和剪应力：

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (11.0.5-1)$$

$$\tau = \frac{Q}{A} \quad (11.0.5-2)$$

式中：

σ ——垂直压力，kPa；

τ ——剪应力，kPa；

P ——垂直总荷载，kN；

Q ——剪切总荷载，kN；

A ——试样剪切面面积， m^2 。

2 以剪应力为纵坐标，水平位移为横坐标，绘制剪应力与水平位移关系曲线。

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

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

11.0.6 粗粒土直接剪切试验的记录格式见表 11.0.6。

DL / T 5356 — 2006

表 11.0.6 粗粒土直接剪切试验记录表

工程名称 _____

试验 _____

土样编号 _____

计算 _____

试验日期 _____

校核 _____

(1) 基本参数

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

(2) 试验

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

12 现场密度试验

12.1 灌砂法

12.1.1 本试验方法适用于粒径不大于 60mm 的粗粒类土。地下水位以下，不宜采用本方法。

12.1.2 主要仪器设备应符合下列规定：

- 1 台秤：称量 10kg，最小分度值 5g。
- 2 钢直尺。
- 3 量砂筒：圆柱形钢制容器，直径和高为 20cm。
- 4 套环：套环内径应略大于试坑直径，高约 3cm。套面应平整，上下两面应平行。

12.1.3 砂的密度率定应按下列步骤进行：

- 1 试验用砂应清洗干净，粒径为 0.25mm~0.50mm，并应充分风干。
- 2 用小铲每次取约 500g 砂，沿量砂筒壁四周向中心依次灌入量砂筒内，直至灌满整个量砂筒。灌砂时，应始终保持砂的落距约为 10cm。
- 3 用钢直尺刮平砂表面，称砂质量。称量准确至 5g。
- 4 按下列公式计算砂的密度：

$$\rho_s = \frac{m_s}{V_r} \quad (12.1.3)$$

式中：

ρ_s ——砂的密度，g/cm³；

m_s ——砂的质量，g；

V_r ——量砂筒容积，cm³。

DL / T 5356 — 2006

5 砂的密度率定应进行两次平行测定,两次测定的差值不得大于 0.03g/cm^3 ,取算术平均值。

12.1.4 试验应按下列步骤进行:

1 在选定的试验部位,清除表面土层至需要测定的位置。平整土体表面,范围约为试坑直径的两倍,在中间按要求的试坑直径划出坑口轮廓线。

2 试坑直径与试样中最大颗粒粒径之比不应小于 5,深度与试坑直径之比宜为 1.2~1.4。试坑直径不宜小于 20cm。

3 在坑口安放套环,并使套环与坑口土体表面紧密接触。套环与土体间有较大缝隙时,可用土填实。当土体表面较为平整时,可不安放套环。

4 将试验用砂根据预估使用量按等质量分为若干份。当采用套环时,用小铲每次取约 500g 砂,沿套环壁周围逐渐向中心靠砂,至砂快齐平整环顶面时,边灌砂边用钢直尺向一个方向刮平砂面,直至套环内全部灌满砂,称最后一份砂的余砂质量,称量精确至 5g,计算灌入套环内砂的质量。灌砂时,应始终保持砂的落距约为 10cm。

5 取出纯净的试验用砂。在轮廓线范围内挖取试样,先垂直下挖,提取混存砂的试样后,再继续下挖,至一定深度后将坑底开挖成半球形。分别称纯砂、混存砂、纯试样的质量,称量精确至 5g。当不用套环时,可直接挖取试样并称量。

6 开挖时,应避免对抗壁土体的扰动。当土体中有明显缝隙时,可另取土填实;当坑壁中存水平状较深凹陷时,应取坑中取出未经称量的土进行填实。

7 用小铲每次取约 500g 砂,沿坑壁周围向中心分层依次灌入试坑,每层厚约为 2cm~3cm。至套环顶面时,边灌边用钢直尺沿套环顶面向一边刮平,直至套环表面全部填平,称最后一份砂的余砂质量,计算灌入试坑和套环砂的总质量。灌砂时,应始终保持砂的落距约 10cm。当不用套环时,灌砂至坑口时,边灌边

DL/T 5356 — 2006

用钢直尺沿坑口向一边刮平砂面。

8 根据需要,测试样的含水率和颗粒级配。

12.1.5 试验成果整理应符合下列要求:

1 按下列公式计算土的密度:

$$\rho = \frac{m_2 - m_1}{m_3 - m_1} \cdot \rho_s \quad (12.1.5)$$

式中:

ρ ——土的密度, g/cm^3 ;

m_1 ——灌入套环内砂的质量, g;

m_2 ——试样和套环内砂的总质量, g;

m_3 ——灌入试坑和套环内砂的总质量, g。

2 计算值精确至 0.01g/cm^3 。

12.1.6 灌砂法密度试验的记录格式见表 12.1.6。

表 12.1.6 现场密度试验记录表

工程名称 _____	试验 _____
试验位置 _____	计算 _____
试验方法 _____	校核 _____
试验日期 _____	

试坑 编号	套环内灌砂 (水)量 g	试样和砂 质量 g	试样 质量 g	套环和试 坑灌砂 (水)量 g	试验灌砂 (水)量 g	砂(水) 的密度 g/cm^3	土的 密度 g/cm^3

12.2 灌 水 法

12.2.1 本试验方法适用于各类土。

12.2.2 主要仪器设备应符合下列规定:

1 磅秤:称量 50kg 或 100kg,最小分度值 50g。

2 水平尺。

3 台秤和套环应符合 12.1.2 条 1, 4 款的规定。

12.2.3 试验应按下列步骤进行:

1 按 12.1.4 条 1~3 款平整场地, 确定试坑尺寸和安放套环。灌水法试验试坑直径不宜小于 30cm。坑口和套环顶面应用水平尺找平。

2 根据试坑大小, 选择塑料薄膜的厚度, 塑料薄膜应有良好的韧性。

3 将塑料薄膜铺设在套环底部并翻出套环, 将已知质量的每份水依次缓缓灌入套环内, 直至与套环顶面齐平, 称最后一份水余水的质量, 计算灌入套环内水的质量。灌水时用手轻按塑料薄膜, 使塑料薄膜紧贴土体表面和环壁。排净套环内水, 取出塑料薄膜。当不用套环时, 可不进行本步骤。

4 在轮廊线范围内挖取试样, 先垂直下挖, 至试坑直径深度后再将坑底开挖成半球形。开挖时, 应避免对坑壁土体的扰动; 当坑壁有较深凹陷时, 应用坑内土进行填实; 坑壁不应有较大的凸现和尖锐棱角出现。称试样质量。

5 将塑料薄膜自坑底向上铺设并翻过套环。将已知质量的每份水依次缓缓灌入试坑, 直至与套环顶面齐平, 称最后一份水余水的质量, 计算灌入试坑和套环内水的质量。

6 在灌水同时, 用手轻轻按塑料薄膜, 使塑料薄膜紧贴坑壁和套环壁, 应避免拉或扯动水下部分的塑料薄膜。

7 试验结束后, 排除坑内水, 取出塑料薄膜, 检查有无破坏。如有破坏, 宜另取塑料薄膜, 重作试验。

8 根据需要, 测试样的含水率和颗粒级配。

9 称量精确至称量设备的最小分度值。

12.2.4 试验成果整理应符合下列要求:

1 按下列公式计算土的密度:

DL / T 5356 — 2006

$$\rho = \frac{m}{m_2 - m_1} \cdot \rho_w \quad (12.2.4)$$

式中:

m ——试样质量, g;

m_1 ——灌入套环内水的质量, g;

m_2 ——灌入试坑和套环内水的质量, g;

ρ_w ——水的密度, g/cm³。

2 计算值精确至 0.01g/cm³。

12.2.5 灌水法密度试验的记录格式见表 12.1.6。

13 现场渗透试验

13.0.1 本试验采用双环试坑注水法，适用于非饱和的砂类土和细粒土。

13.0.2 主要仪器设备应符合下列规定：

- 1 内环：内径 22.6cm，高 15cm。
- 2 外环：内径 45.2cm，高 15cm。
- 3 供水瓶：容量 5000mL~10000mL，装有斜口玻璃管和橡皮塞，瓶壁应有刻度。
- 4 木支架：用于固定供水瓶。
- 5 温度计：量程 0℃~50℃，最小分度值 0.5℃。
- 6 水平尺。

13.0.3 试验应按下列步骤进行：

1 在预定部位开挖一面积不小于 1m×1.5m 的试坑，深度应达到试验土层。在坑底中心再挖一直径等于外环，深 15cm 的贮水坑，整平坑底。在开挖试坑时，应避免对土体扰动。

2 把外环放入贮水坑中，环外壁与土缝隙应用土填实，再放入内环，使内外环形成同心圆，用水平尺找平，两环上缘应在同一水平面上。放环时，应防止环将土压实或变形。

3 在土体表面均匀铺以 2cm 厚的中细砾，然后在内环及两环间隙内注入清水至满，安放支架至水平位置。将供水瓶注满水后倒置于支架上，供水瓶的斜口玻璃管分别插入内环和内外环之间的水面以下，玻璃管的斜口应调整在同一高度上，供水瓶的数量，应视土的渗透性确定。

4 记录渗水开始时间及供水瓶的水位。经过一段时间后，测读在此时间内由供水瓶渗入土中的水量，直至稳定为止。

DL/T 5356 — 2006

5 从供水瓶流出的水量达到稳定后,在 1h~2h 内测记渗入土中的水量至少 5~6 次,取其平均值。每次测记的水量与平均水量之差,不应超过 10%。量测环内水的深度及水的温度。

6 试验结束后,拆除仪器,吸出贮水坑中的水。

7 在离试坑中心 3m~4m 处,对称布置 2 个或 4 个钻孔,每个钻孔 3m~4m 深,每隔 0.2m 取土样一个,平行测定其含水率。根据含水率的变化,确定渗透水的入渗深度。

13.0.4 试验成果整理应符合下列要求:

1 按下列公式计算土的渗透系数的近似值:

$$k_T = \frac{V_w}{At} \quad (13.0.4-1)$$

式中:

k_T ——温度为 $T^\circ\text{C}$ 时的渗透系数, cm/s;

V_w ——在 t 时间内的渗入水量, cm^3 ;

A ——内环面积, cm^2 ;

t ——间隔时间, s。

2 按下列公式计算土的渗透系数较精确值:

$$k_T = \frac{V_w H_1}{At(H_1 + H_2 + H_3)} \quad (13.0.4-2)$$

式中:

H_1 ——试验时水的入渗深度, cm;

H_2 ——贮水坑中水的深度, cm;

H_3 ——相当于作用毛细管力的水柱高度,根据不同土质可按表 13.0.4 采用, cm。

3 渗透系数的温度修正应符合 DL/T 5355 中第 16 章渗透试验的要求。

DL/T 5356 — 2006

表 13.0.4 相当于作用毛细管力的水柱高度

土 的 名 称	H_3 cm
粉质黏土 (CL)	100
砂质黏土 (CL)	80
粉 土 (ML)	60
砂质粉土 (ML)	40
黏土质细砂 (SC)	20
纯 细 砂 (S)	20
中 砂 (S)	10
粗 砂 (S)	5

13.0.5 现场渗透试验的记录格式见表 13.0.5。

表 13.0.5 现场渗透试验记录表

工程名称_____ 试坑深度_____ cm 试验_____

试坑编号_____ 内环面积_____ cm² 计算_____

内环直径_____ cm 试验日期_____ 校核_____

试验 时间	时间 间隔 s	渗入 水量 cm ³	近似渗 透系数 cm/s	入渗 深度 cm	环内水 深度 cm	毛细管 高度 cm	渗透 系数 cm/s	平均渗 透系数 cm/s	水温 ℃

14 现场渗透变形试验

14.1 现场垂直渗透变形试验

14.1.1 本试验方法适用于在现场对不宜长途搬运、体积较大的黏性粗粒土原状土样进行垂直渗透变形试验。

14.1.2 主要仪器设备应符合下列规定：

1 出水仓：用钢板制成方框形，具有一定刚度，大小应符合试样制备后尺寸要求，高度不宜小于 25cm。距底部 15cm 处应设置出水口。

2 进水仓：用钢板制成方盒形，具有一定刚度，大小应符合试样制备后尺寸要求，高度不宜小于 15cm。两侧应设置进水口和排气孔。

3 测压管：量程应视试验水头确定，最小分度值 1mm。

4 供水设备：包括供水箱、提升架、管路。供水箱应设置溢流口，应能保持常水头。

5 水泵：扬程依据试验需要确定。

6 储水箱。

7 拉杆：由钢筋加工制成，两端有螺栓，长度满足试样制备后尺寸要求，具有足够拉力。

8 钢卷尺：最小分度值 1mm。

14.1.3 渗透水流垂直土层时试样制备应符合下列要求：

1 选择代表性土层，确定取样点。

2 依据土层内可能的最大颗粒粒径，预定试样尺寸。试样宜为方形，试样尺寸宜大于其最大颗粒粒径的 5 倍且不小于 30cm×30cm×30cm。

3 在取样点先挖一尺寸大于预定试样尺寸的土柱，在四侧将

DL / T 5356 — 2006

土柱修平至所要求的试样尺寸。土柱高度宜大于预定试样高度约 10cm。

4 在试样四侧底部铺设平整的垫板，距试样约 5cm 处支架模板。模板高度为预定试样高度。根据需要设置测压孔。

5 在模板和试样间浇注水泥砂浆并进行养护。水泥砂浆内宜配置钢筋。

6 待水泥砂浆达到一定强度后，拆除模板。在试样底部斜向挖除部分土体，将试样侧翻。修平试样两端并进行保护。测记试样尺寸。

14.1.4 渗透水流平行土层时试样制备应符合下列要求：

1 按 14.1.3 条 1，2 款要求确定取样点和试样尺寸。

2 按要求的渗透水流方向确定开挖轴线，先挖一土条。将土条两侧和顶面修平，宽度等于预定试样宽度，高度大于预定试样宽度 5cm，长度大于预定试样宽度约 10cm。

3 在试样两侧距试样 5cm 处支架模板，下部铺设平整垫板。模板高度大于试样宽度 10cm，长度为试样宽度，模板顶面应高于试样顶面 5cm。根据需要设置测压孔。

4 在模板与试样间及试样顶面浇注水泥砂浆，顶部与模板持平。水泥砂浆内宜配置钢筋。按要求进行养护。

5 待水泥砂浆达到一定强度后，拆除模板。将试样两端修平并进行保护。

6 在试样底部斜向挖除部分土体，将试样沿轴线方向翻转 180° 并修平至两侧水泥砂浆下 5cm，测记试样尺寸后，用水泥砂浆回填至两侧水泥砂浆高度并抹平。按要求进行养护。

14.1.5 试验应按下列步骤进行：

1 在现场靠近水源处平整一块场地作为试验场地。场地大小视试验需要确定。

2 安装抽水泵、储水箱。储水箱离试验场地面的高度依据试验所需水头确定，可放于场地旁的台地上或搭设的支架上。

DL/T 5356 — 2006

- 3 安装供水设备。连接与储水箱的管路。
 - 4 将制作的进水仓安放在试验场地上，放上透水板。
 - 5 试样抬至场地，除去试样两端的保护物后，将试样预定的进水面向下安放于进水仓上。试样四周的水泥砂浆与进水仓的接触处应铺设防渗材料。
 - 6 将出水仓安放于试样出水端上。试样四周的水泥砂浆与出水仓的接触处应铺设防渗材料。根据需要在试样出水面安放钢筋格栅。
 - 7 用拉杆将进、出水仓连接并紧固至与试样紧密接触。
 - 8 连接测压板。
 - 9 连接供水设备与进水仓管路，开进水阀缓慢进水，待排气孔有水流溢出时，关闭进水阀和排气阀。
 - 10 用滴水方式对试样进行饱和。
 - 11 按 7.1.5 条步骤进行试验。
 - 12 试验结束排尽水后取出试样，测试样中最大颗粒粒径。必要时，对试样进行颗粒大小分析试验和密度试验。
- 14.1.6 试验成果整理应符合 7.1.6 条的要求。
- 14.1.7 试验记录格式见表 7.1.7。

14.2 现场水平渗透变形试验

- 14.2.1 本试验方法适用于对具有一定黏结力的各类土在原位进行水平渗透变形试验。
- 14.2.2 主要仪器设备应符合 14.1.2 条的规定。
- 14.2.3 试样制备应符合下列要求：
- 1 选择代表性土层，确定试验点位，预留约 10cm 厚的保护层后挖去试验土层上部土体。
 - 2 按 14.1.3 条 2 款的要求预定试样尺寸。
 - 3 依据工程需要确定试验时渗透水流方向。
 - 4 顺渗透水流方向挖除试样两边大于试样长度的土体后，再

DL / T 5356 — 2006

挖除试样上部的保护层。清除试样上部和两侧的扰动土粒。

5 在试样的两侧立模，模与试样的间隙宜为 5cm。根据需要设置测压孔。在模与试样的间隙内及试样的上部浇注水泥砂浆。待水泥砂浆养护到一定强度后方可脱模。

6 沿试样两侧已浇注的水泥砂浆下部，斜向挖除试样下部土体，并及时用水泥砂浆回填。

7 挖除试样两端土体，除去扰动土颗粒后，用多孔板保护试样预定的渗流进水面，用钢筋格栅保护预定的渗流出水面。

14.2.4 试验应按下列步骤进行：

1 按 14.1.5 条 2，3 款进行场地准备和设备安装。

2 将制作的进、出水仓分别安放于试样预定进、出水面。试样四周的水泥砂浆与进、出水仓的接触处应铺设防渗材料。

3 按 14.1.5 条 7～12 款进行试验。

14.2.5 试验成果整理应符合 7.1.6 条的要求。

14.2.6 试验记录格式见表 7.1.7。

15 现场直接剪切试验

15.0.1 本试验采用应力控制的平推法，适用于粗粒类土本身、粗粒类土中的软弱接触面以及混凝土和地基土接触面的快剪试验。

15.0.2 主要仪器设备应符合下列规定：

- 1 千斤顶和压力表。
- 2 剪切盒：可采用方形或圆形，并应具有一定的强度和刚度。
- 3 位移量测设备：包括百分表、磁性表座、钢梁。
- 4 传力设备：包括传力柱、垫板。
- 5 滚轴排。
- 6 反力装置：可采用试洞、坑槽、锚拉桩、地槽锚拉、侧壁摩擦、堆载等。

15.0.3 试样制备应符合下列要求：

1 试验可在试洞、试坑或探槽中进行。同一组试样的性质应基本相同。

2 制备试样时，应避免对试样的扰动。应保持土体结构及含水率不产生显著变化。在地下水位以下制备试样，应避免水压力及渗流对试样的影响。

3 试样宜制备成方柱体或圆柱体，边长或直径与试样中最大颗粒粒径之比不宜小于 5，高与边长或直径之比约为 1/2，边长或直径不宜小于 30cm。

4 清除试样周围的浮土。将修整好的试样套上剪切盒。剪切盒与试样间的间隙应用与试样同性质的土或水泥砂浆填实。剪切盒底边应在剪切面以上，剪切缝不宜小于最大粒径的 1/4。当进行软弱接触面试验时，剪切盒底边应在软弱接触面以上。

5 在进行混凝土与地基土接触面的试样制备时，应平整场

DL/T 5356 — 2006

地,对试样表面进行描述,地基土的起伏差不宜大于最大粒径的 $1/4$ 。根据工程要求的混凝土强度等级和配合比在现场浇筑试块,并按要求进行养护。当试样粒径较小时,用较小粒径的土对地基上填实平整,也可采用预制混凝土块直接安放在地基土上。

6 需要注水饱和的试样,应在试样顶面缓慢注水进行饱和,待试样充分吸水后,应保持试样表面和地基始终处于湿润状态。饱和时间应视土的渗透性质而定,饱和时间不宜少于1d。

7 每组试验试样的数量应为4个。各试样间距,不宜小于试样边长或直径。

15.0.4 设备安装应符合下列规定:

1 在试体顶部放上垫板。当试体顶部不平整时,可用砂填平并压实,或用水泥砂浆填平。

2 按最大垂直荷载,选择反力装置,根据反力装置的安装要求,支架好垂直荷载和剪切荷载的反力装置。在试洞内进行试验时,可将试洞的顶板和侧壁作反力部位。

3 在垫板上依次安放滚轴排、垫板、千斤顶、传力柱,并与反力装置衔接。应使各部件中心与试样中心在同一轴线上。

4 在试样推力部位安放水平千斤顶,水平千斤顶轴线应平行剪切面,与剪切面距离不宜大于试样边长或直径的5%。反力部位应能承受最大剪切荷载。

5 通过钢梁上的磁性表座,在试样顶部和推力面对称部位安放垂直位移和水平位移测表,各测表不应少于2个。钢梁的支点应在影响带以外。

15.0.5 垂直荷载施加应符合下列规定:

1 垂直荷载应根据工程要求确定最大的垂直压力,宜为工程要求压力的1.2倍,施加在各试样上的荷载,宜按等差级数或等比级数分别施加。

2 对不需要固结的试样,垂直荷载一次施加完毕,测读施加荷载后的法向位移,5min后再测读一次,可施加剪切荷载。

DL/T 5356 — 2006

3 对需要固结的试样，在垂直荷载施加完毕后，每隔 1h 读数一次，当两次读数的差值不大于 0.05mm 时，可施加剪切荷载。

4 试验过程中，垂直荷载应保持恒定值。

15.0.6 试验应按下列步骤进行：

1 调整各位移测表，测读初始读数。根据沉降量，调整水平千斤顶轴线。

2 按预估最大剪切荷载分 8~10 级施加，各级荷载施加后，立即测读剪切位移和法向位移，5min 后再读一次，即施加下一级剪切荷载，当剪切位移明显增大时，可适当减少级差。峰值前施加荷载不宜少于 8 级。

3 当剪切荷载出现峰值，应记录峰值剪切荷载，继续进行剪切，直至剪切位移达到试样的边长或直径的 10% 结束试验。当剪切荷载无峰值，可将剪切位移达到试样边长或直径的 10% 时的剪切荷载作为破坏值。

4 进行试验的同时，应对试验中发生的现象进行详细描述，包括试样周围地面隆起、沉陷、裂缝开展、试样中的声响等。

5 试验结束后，拆除位移测表，卸去剪切荷载、垂直荷载及加荷设备，描述剪切面形状，量测剪切面的实际面积。根据需要测定试样试验前后的密度、含水率和颗粒级配。

15.0.7 试验成果整理和记录应符合 11.0.5 和 11.0.6 条的要求。

16 载 荷 试 验

16.0.1 本试验采用刚性承压板法，适用于各类土。

16.0.2 主要仪器设备应符合下列规定：

1 承压板：采用圆形或正方形钢质板。承压板直径或边长与土中最大颗粒粒径之比不宜小于 5，面积不宜小于 1000cm^2 。

2 千斤顶和压力表。

3 传力设备：包括传力柱、垫板。

4 反力装置：可采用锚拉桩、堆载、试洞、侧壁摩擦等。

5 沉降观测装置：包括百分表、磁性表座、钢梁。

16.0.3 试验点应符合下列要求：

1 在预定部位开挖试坑至试验点表面。试坑底面宽度应大于承压板直径或宽度的 4 倍。

2 试验点表面下承压板直径或边长 1.5~2.0 倍深度范围内的土体应均匀。

3 在开挖试坑时，应避免对土体的扰动。

4 试验可在天然状态下进行，也可在浸水条件下进行。

5 对试验点表面应进行描述。

16.0.4 反力装置应符合下列要求：

1 采用堆载法时，堆载对地面的作用点应在试验点影响范围以外。

2 采用锚拉桩时，锚拉桩钻孔应布置在试验点影响范围外的对称部位。

3 在试验洞内进行垂直或水平试验时，可利用洞顶或洞壁作为反力部位；在坑槽内进行水平试验时，可利用坑槽壁作为反力部位。

4 反力装置承受的荷载应大于设计荷载的 2 倍或预估土极

DL/T 5356 — 2006

限荷载的 1.5 倍。

5 根据反力装置的安装要求进行安装。

16.0.5 设备安装应按下列步骤进行：

1 安装承压板。安装承压板前应平整试验面，当试验面起伏较大时，可采用试坑中较细颗粒土填平，并用水平尺找平，承压板与试验面应平整接触。当进行水平向试验时，可在承压板下铺设水泥砂浆。

2 在承压板中心安放千斤顶，通过垫板、传力柱、垫板与反力装置连接。千斤顶、传力设备、反力装置中心应与承压板中心在同一轴线上。当调整反力装置时，应避免对承压板施加压力。

3 安装沉降观测装置。钢梁固定点应设在试验点影响范围以外。百分表应对称布置在承压板上，百分表数量应为 4 个。测记百分表初始读数。

16.0.6 试验点应避免冰冻、曝晒、雨淋，必要时应设置工作棚。

16.0.7 试验应按下列步骤进行：

1 荷载按等量分级施加。每级荷载增量可按预估试验土层极限荷载的 $1/8 \sim 1/10$ 施加。当不易预估其极限荷载时，可按表 16.0.7 所列增量选用。

表 16.0.7 荷 载 增 量

试 验 土 层 特 性	荷载增量 kPa
软塑状细粒类土、稍密的砂类土	15~25
可塑~硬塑状细粒类土、中密~密实的砂类土	25~100
坚硬的细粒类土、砂类土、砾类土、巨粒类土	50~200

2 试验采用一次逐级加荷法，即每施加一级荷载，立即观测沉降量，待沉降速率达到相对稳定后再施加下一级荷载。当出现较大沉降时，可适当减少荷载增量。

3 每级荷载下观测沉降的时间间隔按 10, 10, 10, 15, 15min,

DL / T 5356 — 2006

以后每隔 30min~60min 观测一次，直到间隔 1h 的沉降量不大于 0.1mm 为止。

16.0.8 当出现下列情况之一时，即可终止试验：

- 1 在本级荷载下，沉降急剧增加，承压板周边的土出现明显侧向挤出、裂缝或隆起。
- 2 在本级荷载下，持续 2h 沉降速率加速发展。
- 3 总沉降量超过承压板直径（或宽度）的 1/10。
- 4 当设备的出力达不到极限荷载时，试验最大荷载应达到设计荷载的 2 倍。

16.0.9 需要观测卸荷回弹时，每级卸荷量可为加荷增量的 2 倍，历时 1h，每隔 15min 观测一次。荷载完全卸除后继续观测 3h。

16.0.10 试验结束后，应及时拆除设备，对试验点进行切槽描述。需要时，可对试验前后土层取样并进行土的密度、含水率和颗粒大小分析试验。

16.0.11 试验成果整理应符合下列要求：

- 1 以荷载为横坐标，以沉降量为纵坐标，绘制荷载—沉降关系曲线，并在曲线上确定荷载特征值。当曲线具有明显直线段时，将直线段的终点所对应的压力定为土的比例极限值，计算直线段斜率。以试验的极限荷载定为土的极限压力值，当曲线无明显极限荷载时，可按 16.0.8 条 1~3 款确定极限压力值。

- 2 按下列公式计算土的变形模量：

$$E_0 = \bar{m}(1 - \mu^2)d \frac{\Delta p}{\Delta S} \quad (16.0.11)$$

式中：

E_0 ——土的变形模量，kPa；

$\bar{m}$ ——承压板形状系数，圆形板为 0.785，方形板为 0.886；

μ ——泊松比，碎石土取 0.15~0.27，砂土取 0.20~0.30，粉土取 0.25~0.35，黏土取 0.25~0.40；

d ——承压板的直径或边长，cm；

DL / T 5356 — 2006

 $\Delta p / \Delta S$ ——荷载—沉降关系曲线线性段的斜率, kPa/cm。

16.0.12 载荷试验的记录格式见表 16.0.12。

表 16.0.12 载 荷 试 验 记 录 表

工程名称_____			试验_____						
试验编号_____			计算_____						
试验日期_____			校核_____						
试验位置_____			试坑深度_____cm				压力表编号_____		
千斤顶编号_____			承压板面积_____cm ²				承压板直径_____cm		
试验 时间	压力表 读数 MPa	压力 kPa	沉 降 量 0.01mm					累计沉 降量 mm	试验 现象 描述
			1	2	3	4	平均		

DL / T 5356 — 2006

水电水利工程粗粒土试验规程

条 文 说 明

DL / T 5356 — 2006

目 次

1	范围	61
4	粗粒土土样和试样制备	62
5	粗粒土相对密度试验	64
6	粗粒土击实试验	67
7	粗粒土渗透变形试验	69
8	粗粒土反滤试验	72
9	粗粒土固结试验	73
10	粗粒土三轴剪切试验	74
11	粗粒土直接剪切试验	75
12	现场密度试验	76
13	现场渗透试验	77
14	现场渗透变形试验	78
15	现场直接剪切试验	79
16	载荷试验	81

1 范 围

本标准定名为《水电水利工程粗粒土试验规程》，粗粒土范围包括 DL/T 5355 第 4 章土的工程分类中的巨粒类土和粗粒类土。定名为粗粒土试验以区别传统意义的土工试验，也照顾了岩土工程界的习惯用语。

4 粗粒土土样和试样制备

4.0.6 试样级配。

试样级配是影响粗粒土工程特性的重要因素。在进行试验时，一般应按料场或土的天然级配，或模拟工程实际情况合理地选择试样级配，以使试验成果具有代表性。

目前所用的级配类型有两种，即天然级配和人工级配，统称为原级配。天然级配是根据料场或土的天然级配制备试样，进行各项物理力学性试验，并按此来确定各项指标的范围及采用值。人工级配是根据料场或实际填筑料试验所得级配成果，按统计方法整理得出的级配，随统计方法的不同有多种型式：有采用土料方量百分率级配曲线的方法统计，得出典型级配，包括上包线级配、下包线级配和加权平均级配；也有根据多组级配曲线的外包轮廓线作出级配范围线，以最细者为上包线，最粗者为下包线，各组加权平均为平均级配。外包线级配是控制料场的极端情况，多用作验证性或探索性试验的依据；加权平均级配曲线系代表料场的平均级配情况，大多以此作为进行物理力学性质试验的依据。对于级配变化较大的土料，如风化料，则不能固定在某一级配情况下试验，一般在一定范围内进行研究。此外，人工级配也包括了设计工程类比或视料场的实际情况确定的级配，属工程要求的级配。

试样级配选择是一个复杂的问题，实际选用时需以反映客观实际情况为原则，防止由于试样级配选择不当而影响试验成果的可靠性。

关于超径颗粒的处理。用原级配土料进行试验是最理想的，但由于仪器对试样的限制，不得不对土料中某些超过试样允许粒径的颗粒（即超粒径颗粒）进行处理。

DL / T 5356 — 2006

处理超径颗粒的方法，原规程提出了剔除法、等量替代法和相似级配法，本次修订增加了近年来行之有效的方法——结合法。

1 剔除法。剔除法是将超粒径颗粒剔除，剩余部分作为整体，再分别计算各粒组含量。这样将使小于 5mm 颗粒含量相对增加，改变了原级配土的性质。因此，除超粒径含量极小外，一般不采用此法。

2 等量替代法。等量替代法是以试样允许的最大粒径以下且大于 5mm 的粗粒按比例等量替代超粒径颗粒，等量替代后的级配虽保持了粗、细料含量不变，但改变了粗料的级配、不均匀系数及曲率系数。超粒径含量较小时也可用最大一级粒径粒组等量替代超径粒。

3 相似级配法。相似级配法系将原级配的土料根据确定的允许最大粒径按几何相似的原则等比例将原土样粒径缩小，使级配曲线向右平移，仍保持与原级配曲线相似，故 C_u 和 C_c 可保持不变，但不大于 5mm 颗粒含量有所增加。因此，本法只是几何尺寸相似，不能全面地模拟原样的性状。采用相似级配法需注意颗粒级配曲线平移后，不应使其中的细粒含量增加到影响原级配试样力学性质的程度。一般来讲，不大于 5mm 颗粒的含量增加后不宜大于 15%。研究成果表明：不大于 5mm 颗粒的含量如果增大到 30% 左右，将使粗粒土达到最大密实度，强度偏大而透水性减小。

4 结合法。结合法是用相似级配法以较适宜的比例缩小粒径，控制不大于 5mm 颗粒含量增加到不超过试验要求的含量，超径颗粒含量再用等量替代法处理。资料表明：该法所得的最大干密度与现场碾压试验相接近，强度指标也介于相似级配和等量替代级配所得指标之间。

综上所述，无论哪一种处理超粒径颗粒的方法都有局限性，需根据工程实际和经验选择使用。

5 粗粒土相对密度试验

5.0.1 本试验适用于测定无黏性粗粒土的最大与最小干密度，规定细粒（ $<0.075\text{mm}$ ）含量不超过 12%，其目的是要求土样能自由排水，颗粒之间不致因细粒土含量过多而产生黏聚力。

粗粒土的力学性质与其孔隙比有密切关系，但不同的粗粒土，即使孔隙比相同，性质也不尽相同，孔隙比不能表示紧密程度。相对密度则可以表示粗粒土的紧密程度，表示天然状态或填筑密度介于最密实与最松散之间的某种状态。相对密度相当于黏性土的压实度，常用来作为坝体设计和施工控制的标准。

5.0.2 振动台法系原标准规定的测定粗粒土最大干密度的唯一方法。本次修订规程新增列表面振动法与之并列，该法已为英国、瑞典等国家标准采用；国内于 20 世纪 80 年代开始进行了系列研究，并应用于许多工程实际，说明该法已趋于成熟，有条件列入本标准正式使用。振动台法与表面振动压实法均是采用振动方法测定土的最大干密度的。前者是整个土样同时受到垂直方向的振动作用，而后者是振动作用自土体表面垂直向下传递。研究结果表明：这两种方法对无黏聚性自由排水粗粒土最大干密度试验的测定结果基本一致，但表面振动法更接近于现场振动碾压的实际状况。因此，试验室可根据试验设备拥有情况进行选择。

5.0.3 试样筒尺寸随土粒最大粒径而异，且应满足公认的 $1/5$ 径径比与径高比的要求（颗粒最大粒径与容器直径或高度之比）。

对于含大于 60mm 颗粒的巨粒土，因受试筒允许最大粒径的限制，可以采用模型级配系列延伸法、三点近似法、渐近线辅助法等确定原级配最大干密度。各法均有优缺点。试验室可根据对模型及级配的要求而选择合适的处理方法。

试验发现，随着附加荷重的增加，压实干密度也增大。当附

DL/T 5356 — 2006

加压力从 7kPa 增至 13.8kPa 时, 干密度显著增加, 此后再增加附加荷重至 21kPa 时, 干密度则无显著增加。因此, 本规程规定表面静压力取 14.0kPa。

5.0.5 最小干密度的试验方法在一般文献中缺少详细说明, 只提及用人工松填灌注法进行, 并指出为了降低系统误差, 需进行平行试验。另外, 为了保证试样结构相似和消除相对密度指标的系统误差, 容器尺寸与最大干密度试验保持一致。

对粒径小于 60mm 的粗粒材料, 最小干密度的测定均采用固定体积法进行。试验证明: 当细粒含量较多时, 含水率的少量增加对最小密度的测定结果影响较大。因此, 在最小密度的测定中, 只能用烘干料或充分风干料进行试验。

5.0.6 目前国内外无论采用干法或是采用湿法进行最大干密度试验, 均采用变体积法。对有些试样, 用振动法测得的研究成果表明: 当含水率相当于饱和度为 0.8 时, 含少量细粒 (小于 0.075mm) 的粗粒土能得到最好的振动密实; 同时, 当含水率为零时, 与最优含水率时所得的干密度极相近。因此, 本规程同时推荐采用湿法与干法测定粗粒土的最大干密度, 并提出必要时可进行不同含水率下最大干密度的测定。

关于振动加速度和振动时间的选择。试验表明: 当振动频率为 25Hz~30Hz 时, 有一个最优振幅为 0.5mm, 相应的振动加速度为 $1.81g$ ($g=9.81\text{m/s}^2$); 当频率为 47.5Hz~50Hz 时, 有一个最优振幅为 0.30mm, 相应的加速度为 $2.73g$ 。可见, 为得到较大的干密度, 采用振动频率 47.5Hz~50Hz, 最优振幅 0.25mm, 相应的最优加速度为 $2.5g$ 。当振动加速度超过一定值 (如 $3.63g$) 时, 试样颗粒会产生分离现象, 这表明加速度不可太大。试验研究还表明: 振动干密度随振动时间的延长而增大, 但增至 8min 左右, 干密度基本趋于稳定值。故本规程振动历时规定为 8min。

关于湿试验的装样及起振, 原规程定为“从装土开始至刚装满土为止, 应振动 6min”。这样边装样边振动操作不易掌握, 本

DL / T 5356 — 2006

次修订改为“装满试样筒后振动 6min”，以便于操作。

5.0.7 表面振动压实法，国外都采用人工扶持。为了简化仪器设备，便于操作，底板应固定在坚实的基础上，以免因振动引起试样筒及底板在基础上的跳动而消减激振力。

表面振动压实方法的比较试验成果表明，振动器的振动频率、附加荷载基底压力及试验振动时间与振动台法基本一致。

关于装填层数问题。比较试验表明，干法振一层及二层装样成果基本相同。湿法则二层比一层大，故干法用一层装样，湿法分二层装样。

6 粗粒土击实试验

6.0.2 击实试验的两项控制标准为单位体积功能和单位面积冲量，原规程已采用了与国外通用的普氏击实标准和修正普氏标准等效的击实标准，本规程仍采用原标准，仅容器高度稍作调整，计算时重力加速度 g 用 9.81m/s^2 。单位体积击实功能和单位面积冲量分别为 591.6kJ/m^3 及 $3\text{kN} \cdot \text{s/m}^2$ 和 2682.9kJ/m^3 及 $7\text{kN} \cdot \text{s/m}^2$ 。采用何种标准，试验时应根据工程设计的规定选用。

6.0.3 关于制样起始含水率问题。为使试样级配一致并易于控制含水率，粗粒土试样制备时，往往将试样晾干，分散后分级过筛，再从新配制，以风干含水率为起始含水率，按 $2\% \sim 3\%$ 级差计算加水量，重新加水拌和湿润一昼夜后进行击实，此法试验工作量小，各试验点的相关规律性好，但却忽视了施工实际和土质本身的天然特性。对黏性粗粒土（含强风化、中风化的），无论粗粒或细粒，特别是细粒为红土类时，一般有失水不可逆的特性，试样风干后再重新加水，往往形成内干外湿，使最优含水率降低 $2\% \sim 10\%$ ，最大干密度有不同程度的提高，若用此最优含水率选择土料场，将会导致错误的判断。因而本规程中提出对于粗粒含量低于 50% ，且失水不可逆的粗粒土或含强风化土粒的粗粒土宜用天然含水率湿法制样，即在料场取有代表性的土样，保持天然含水率，装入密封袋内。试验前需将全部试样充分拌均，取出作试前级配及击实所需的试样，分别晾干或加水至要求含水率，并存放一昼夜，再进行击实。研究成果还表明：击实制样起始含水率不仅影响击实成果，同时还影响其力学性、渗透等项指标。若不考虑制样方法的影响，也将会对土料的性能作出错误的判断。

关于试样含水率的调制和测定，是依粗粒土混合含水率还是细粒土含水率本规程未作具体规定。通常，粗粒土中粗颗粒为强

DL/T 5356 — 2006

风化软岩，遇水易软化，与细粒土黏结较紧密者，以测混合含水率控制为宜；若粗颗粒较为坚硬，可采用饱和面干含水率，并以细粒含水率控制加水量，只测击后细粒土含水率，再按公式计算粗粒土混合含水率。

6.0.4 关于粗粒含量及粗粒破碎率的测定。在击实冲力的作用下，粗料粒组的级配将随之改变。用干筛法和水冲洗过筛法测定粗粒土试验前后级配，亦可得出不同的试验成果，这对风化严重的粗粒料来说，影响尤为显著。试验研究成果表明：对软岩风化料或类似的强风化粗粒土的粗粒含量测定，用干筛法将有部分土团被误认为粗粒；用水冲洗法可能有部分极松软颗粒崩解；经压实后，又有相当一部分粗粒被破碎。故对此类土料的粗粒含量如何测定，尚需探索。但从其与工程性质密切关系看，以击后洗筛成果为宜，而对一般在试验过程中级配变化不大的弱风化或中风化粗粒土，干筛与洗筛两种方法所测结果相差较小。

关于余土超高问题：余土超高是击实试验中普遍存在的问题，超高过多，将使击实后试样的密度偏小。而粗粒土中含有较多的大于 5mm 的粗颗粒，若超高限制过小，则操作难以控制。本标准规定，击实余土超高不宜大于 15mm。

6.0.5 原规程列有对于超径土的校正公式，此方法只适用于剔除法制样，本次修订予以删除。

7 粗粒土渗透变形试验

7.1.1、7.2.1 粗粒土的渗透变形试验,原规程分为四个试验项目:“粗粒土渗透试验”、“无黏性土扰动试样从下向上渗透变形试验”、“无黏性土扰动试样水平管涌试验”及“原状土渗透变形试验”,由于粗粒原状土制样和运输难度大,不宜在室内进行,已将原规程中的“原状土渗透变形试验”列入现场试验中,仍保留原规程中的“粗粒土渗透试验”、“无黏性土扰动试样从下向上渗透变形试验”及“无黏性土扰动试样水平管涌试验”三个试验项目,并将这三章合并为一章。删除“粗粒土渗透试验”中的变水头法。

垂直渗透试验渗透水流方向可采用从下向上或从上向下。从下向上试验简单,便于观测,是广泛采用的方法。本次修订推荐采用从下向上。需要进行从上向下试验时,可参照本标准进行。

7.1.2、7.2.2 本规程所列仪器的形式及尺寸是根据国内现有仪器设备情况而定。垂直渗透变形仪及水平管涌仪分进水段、试样段和出水段。

加荷设备。加荷的目的在于使试验更好地符合运行时的受力状态。目前,加荷设备大都采用杠杆式,也可采用其他方式加荷。

测压管的布置以能测得试样上、下游总坡降、层间接触面渗流坡降及利于排除试样中的滞留空气为原则。

7.1.4、7.2.4 关于边壁影响的处理问题。试样装入仪器内,不可能与仪器边壁很好地结合,容易形成边壁通道,使渗流集中。因此,管涌往往首先从边壁孔隙内发生。这样测得的管涌临界坡降就会偏小,使得试验成果失真。其处理方法目前均处在摸索阶段,如用黏土或橡皮泥充填在试样和边壁之间。这些处理方法均是在

DL / T 5356 — 2006

试验分层装入仪器时，同时逐层进行的。

7.1.5 关于试验坡降增值。为了缩短试验时间，原规程将渗流坡降的递增值，采用逐级加大的方法，即随着试验的不断进行，将其相邻两级的坡降差额，类似于等比级数逐步加大。其目的是既节省了试验时间，又不会增大相对误差。但应按既要取得试样临发生变形前的坡降值，又要能准确找到变形时的临界坡降的原则，本次修订作了修改，试验时视具体情况掌握。对于非管涌土，递增值可大些；对于管涌土，递增值宜小些。在临界状态以后至破坏坡降这一段，由于历时较长，递增值可大些。

试验中对管涌的鉴别，国内外缺乏一个明确标准，可按经验及下列几种情况进行：

- 1 试验人员从仪器周壁及试样表面，直接用肉眼观察。
- 2 在双对数纸上，以渗流坡降 (i) 为纵坐标，渗透速度 (v) 为横坐标，绘制 $i-v$ 关系曲线。若试验期间温度变化不大，坡降较小，则根据达西定律，即管涌发生以前， $i-v$ 关系曲线应为直线；管涌开始后，一般来说，该直线段将发生明显转折。
- 3 供水水箱水位升高，而上游测压管水位并不相应升高，甚至下降，流量加大，说明试样内部结构已起变化。
- 4 试样表面有 2/3 的面积出现细粒跳动，或泉眼翻滚，形成破坏。

上面所列举的几条标准，立足点并不一致，有的是说明管涌的临界坡降，有的则是说明管涌的破坏坡降。对管涌而言，其变形有一个发展过程。在 $i-v$ 关系曲线上表现为：当第一个阶段接近终了时，直线段发生转折，到达管涌临界坡降。管涌过程进入第二个阶段，这时 $i-v$ 直线与横轴成某一角度继续上升。在经历一个过程后，到达第三个阶段，此时 $i-v$ 关系曲线的纵坐标 i 值随 v 的增大而减小，此转折点所对应的坡降值为破坏坡降。综上所述，对管涌的鉴定，应以 $i-v$ 曲线为主，并结合目测。在鉴别管涌颗粒的跳动时，要把那些由于气泡冲动的颗粒及水箱

DL / T 5356 — 2006

上升时，由于水流惯性力冲动的那些暂时跳动很快又停下来的颗粒跳动区别开来。但是也有些颗粒跳动一段时间后，由于该处水力条件的改变而停下，而此时别处又出现跳动，这种情况应是管涌。

8 粗粒土反滤试验

8.0.1 保护渗流出口处不发生破坏，可以有效地防止渗透变形的发生和发展，反滤层是防止流土和管涌的重要措施。试验的目的是在土与砂、砾或排水设施之间，验证适宜级配的砂砾料组合层，使之既能防止细土流失，又能畅通排水，保证建筑物有效使用和安全。本次修订将原规程的反滤料试验名称改为反滤试验。

8.0.2 反滤试验渗流方向应根据实际工况及要求选择从上向下或水平向，直接使用垂直或水平渗变仪。采用从下向上反滤试验，将会引起较多技术问题，本次修订不予推荐。近年来，为适应高土石坝建设的需要，试验仪器有了不少改进。例如：为提高试验渗流坡降，供水装置采用了自控内囊式高压供水箱；仪器筒身为进水段、试样段及出水段的组装式结构，便于制样、装卸和承受高水头压力等。

8.0.4 试验前后各层的土料均应进行颗粒分析，在同一颗粒分析坐标纸上绘制被保护层和保护层试验前后颗粒分析曲线，根据试验曲线，确定被保护土层中的带出土量，从而判断及验证所给定的滤层土料是否能满足反滤要求。

8.0.5 关于反滤试验结束的规定，原规程 3.11.3 条规定“被保护土为黏性土、渗透坡降大于 50~100 时，被保护土为无黏性土、渗流坡降大于 10 时，被保护土仍未破坏”，该项规定已不能适应高土石坝建设的要求。故本次修订为“达仪器允许的最大水头仍未破坏”。

9 粗粒土固结试验

9.0.2 本规程对粗粒土固结试验仪器要求的试样尺寸不作具体规定，仅要求试样最小直径不宜小于 300mm，固结容器直径与高度之比为 2~2.5，高度 (h) 与试样最大颗粒粒径 ($d_{\max}$) 之比不宜小于 5，这样基本满足一般粗粒土的要求。

粗粒土固结仪需进行定期率定，率定方法可参照细粒土固结仪率定方法。国内大多试验室采用千斤顶的油压表读数进行加压，当千斤顶精度较差时，采用测力计较为适宜。

9.0.3 由于黏性粗粒土原状土样的采取、包装、运输及试样的制备过程中很难保持原状粗粒土的工程特性，故本次修订删减了原状土样的试样制备。需要进行原状土试验时，可参照本标准。

9.0.4 对无黏性粗粒土一般只作压缩试验，原规程没有相关条文，本次修订为只进行压缩试验时，采用变形稳定控制，并简化试验程序。采用相隔 1h 每一个百分表变形均小于 0.05mm 的稳定标准，是根据试验的经验制定，对于各类粗粒土均能达到试验精度要求，原规程只有时间控制，本次修订增加了变形稳定标准。

粗粒土固结试验在加压后，大多出现不均匀沉陷。本次修订将百分表布置在对称位置上，试样直径为 300mm 时布置 2 只，试样直径大于 500mm 时布置 4 只。

9.0.5 因粗粒土的试验成果整理与细粒土固结试验的试验成果整理相同，本次修订不再具体列入。成果计算表采用标准固结试验记录表。

10 粗粒土三轴剪切试验

10.1.1 黏性粗粒土与无黏性粗粒土，除了按土性不同、剪切速率不同区别对待外，剪切试验的步骤基本是相同的，在本次修订中予以合并。

10.2.1 随着工程建设的发展，粗粒土、巨粒土（超径粗粒土）的广泛应用，国内外结合工程需要，相继研制出许多适合粗粒土的大型三轴剪切仪，最大的试样尺寸直径为 1200mm，高度为 2500mm。据不完全统计，我国使用直径为 150mm~700mm 的三轴仪有 50 余台，应用较多的三轴仪直径为 300mm，高度为 600mm~750mm，故在种类繁多，规格、型式不尽相同的情况下，本试验中除了指明仪器几大系统之外，根据实践经验，规定三轴仪的尺寸应符合试样直径不小于最大颗粒粒径的 5 倍、高径比为 2~2.5。本次修订没有对试样尺寸作规定，试验中依据土样最大粒径建置或选用仪器，或者依据仪器尺寸确定试样的最大粒径。

10.6.1 对于黏性粗粒土，为缩短固结时间，可以在试样周围贴滤纸条，也有在试样周围设置土工布条，或在试样中心设置砂柱或土工布条的方式。只要通过验证，能缩短固结排水时间，同时对强度无明显影响，均可采用。

本次修订，对于无黏性粗粒土和黏性粗粒土分别采用排水量和主固结时间控制试样固结，是简单而实用的方法，试验易于操作，对试验成果的影响可不予考虑。

11 粗粒土直接剪切试验

11.0.3 试样制备选用以下方法:

1 击实法。对黏性粗粒土采用与室内击实试验相同的功能分3~5层及层缝交错法将试料击实至控制密度。

2 振捣法。对无黏性粗颗粒土采用机械振捣到控制密度。

11.0.4 施加给每个试样的垂直压力为最大垂直压力的等分值或等比级数值。这有利于试验成果的整理。最大垂直压力一般为工程压力的1.2倍,取整数值。

粗粒土直剪试验中现行破坏标准采用极限强度标准和剪切位移标准。本规程首先采用极限强度标准,若在剪切试验中没有明显的峰值,本规程确定可用水平位移达到试样直径的10%作为确定破坏值的标准。

11.0.5 计算垂直压力时,垂直总荷载包括千斤顶出力与剪切面以上的试样重力、千斤顶及以下的设备压力之和。计算剪应力时,总荷载应为千斤顶出力与滚轴排摩阻力之差。千斤顶和滚轴排摩阻力的率定方法可参照有关规定。

12 现场密度试验

12.1 灌砂法

12.1.1 灌砂法除在水平土层试验外，还可在倾斜土层中试验，如土体中的软弱夹带和岩体中的软弱夹层。由于试验用砂一般在室内制备，试坑过大将加重搬运工作量，本标准规定粒径不宜大于 60mm。

12.1.2 由于水电水利工程的特点，试验地点高程不一，因此，要求在满足试验精度的前提下，试验设备应简单轻便，不易损坏。本次修订删除灌砂法密度测定仪。

12.1.3 试验用砂密度测定，一般先在室内进行，试验用砂制备后，可在室内按 5kg 或 10kg 分别包装，方便现场试验使用。

12.1.3 原标准制定后的实践表明，采用漏斗方法繁琐，本标准规定砂的落距控制在 10cm 比原标准要求更高，同时操作也更趋简单合理。

现场密度试验，在工程前期阶段，一般要求与密度—含水率—颗粒分析联合测定。而在质量检验时，一般只要求测密度。本次修订，不要求必须进行含水率试验，在计算时删除干密度计算公式。

12.2 灌水法

12.2.1 与灌砂法相比，灌水法更简单，适用粒径范围更广，在取水方便的条件下，可以首先考虑采用灌水法。

12.2.2 采用塑料薄膜使试验更简单方便，本次修订删除囊式体积仪。

12.2.3 采用等质量进行灌水，使操作更简单合理。

13 现场渗透试验

13.0.1 现场试坑注水法是作为渗透试验中的一种方法，本次修订单列一章。试坑注水法试验成果是非饱和土渗透系数的近似解，已为施工部门所采用，并作为一种试验方法列入有关规范。此方法适用于地下水位较深并在毛细管力影响范围以上进行，使用时应予以注意。

14 现场渗透变形试验

14.1.1、14.2.1 粗粒土取原状样在技术上存在一定困难，在长途搬运过程中要使试样不受扰动，特别是无黏性粗粒土按现在试验室的条件尚无可靠的方法。原规程将粗粒土分为黏性粗粒土、有胶结性粗粒土和稍具胶结的无凝聚性粗粒土三类，分别制定试验方法。本次修订分为现场垂直渗透变形试验和现场水平渗透变形试验，并作为正式标准列入。

14.1.2、14.2.2 本次修订进、出水仓按预制形式列入，便于安装。但粗粒土的试样尺寸难以准确预定，因此制作宜在试样制备完成后，根据实际试样尺寸进行。在有经验时，也可采用现场浇注制成。

14.1.3、14.1.4、14.2.3 试样保护层本次修订推荐一般水泥砂浆，也可在水泥砂浆中掺入膨胀剂。

14.2.4 对于黏性粗粒土可作短途搬运，为便于试验，也可搬于方便的试验场地进行试验。

15 现场直接剪切试验

15.0.1 现场粗粒土直接剪切试验，应根据工程地质条件、工程荷载特点、可能发生的剪切破坏模式、剪切面的位置及方向、剪切面的应力条件，选择相应的试验方法。本规程推荐平推法。

根据水电水利工程多年的经验积累，本次修订将粗粒土直接剪切试验作为新增试验项目列入，原规程中的地基土对混凝土板的抗滑试验作为一种试验形式并列，并对试验内容作了较大修改。

15.0.2 反力装置视设备条件和现场条件确定。在试洞中进行试验时，利用洞顶和侧壁作为反力部位；在坑（槽）中进行试验时，剪切载荷尽可能利用槽壁或边坡；露天试验时，垂直荷载视设备条件，可以采用锚拉桩、地槽锚拉及堆载形式，垂直荷载较小时，可利用载重汽车、推土机等作为压重。注意水平荷载满足试验要求。

15.0.3 保持土样的原状结构不被扰动是非常重要的，这是现场粗粒土直接剪切试验的主要优点。

试样一般采用方柱体，其尺寸可根据土的不均匀程度及最大粒径确定。一般采用的面积为 2500cm^2 和 5000cm^2 两种。

15.0.4 法向加载系统是由若干部件叠置而成的，安装和试验时的安全要给予足够的重视。安装完毕用千斤顶稍加压力，使整个系统接触，从而增加法向加载系统的整体稳定性。

从受力条件考虑，对直剪试验应力要求满足在剪切面上应力均匀分布。平推法试验，最佳受力条件是推力中心线通过剪切面，但这在制备试体和安装时均较困难。推力中心线与剪切面的间距过大，在施加推力时受力面上会产生过大的力矩。试验实践表明：本条规定对推力轴线与剪切面距离所作的限制，在安装技术上是可行的，也能满足试验的受力条件。

DL/T 5356 — 2006

测量支架的支点应在试体受力的影响范围以外，一般宜放置在1.5倍试体边长以外。

15.0.6 本标准采用快剪方法，剪切载荷分级施加，以时间控制。一个试体的最大剪切荷载值，可根据经验预估。在施加剪切载荷过程中，当剪切位移明显增大时，宜适当减小剪切载荷级差，增加分级数，这样可以提高破坏值的精度。

对试验过程中所发生的各种现象进行详细记录，这些资料有助于对试验成果和破坏机理进行分析。

16 载 荷 试 验

16.0.1 载荷试验是在保持地基土的天然状态下，在一定面积的承压板上，向地基土逐级施加荷载，观测浅层地基土变形特性的一项试验。试验所反映的是承压板以下约 1.5~2.0 倍承压板宽的深度内土层的应力—应变—时间的综合性状。大量的工程实践及国内外经验表明，载荷试验是评价地基容许承载力和预估建筑物沉降的一个重要试验方法。原标准为试行标准，本次修订作为正式标准列入。

16.0.2 载荷试验设备种类繁多，本标准所列仅为基本要求，可视设备条件和经验选用。

16.0.7 从整理分析荷载—沉降关系曲线所需要的精度考虑，一般情况下，一个试验有 8~10 级，便能较好地反映曲线特征，同时也可有 4~5 点在线性变形段内。因此，本规程建议按预估极限荷载的 1/8~1/10 作为荷载增量的原则是合适的。

关于第一级荷载量，本规程不考虑挖除试坑土的自重压力，其理由同室内压缩试验的荷载不考虑土自重压力一样。土自重的影响会反映在荷载—沉降关系曲线上。

关于稳定标准，现有的一些规程，在规定相对稳定标准的同时，还提出了在不同土层中的观测时间的附加规定。就是说，即使在本级荷载下，沉降已达相对稳定标准，但未到规定的时间也不能施加下一级荷载，这与相对稳定标准是矛盾的。基于上述情况，本规程对每级荷载必须观测的时间不作规定。

16.0.8 浅层平板载荷试验是在模拟浅层基础的荷载作用下进行的。实践和研究表明：土的性状、荷载特性、基础宽度和埋深等因素对地基的破坏形态有影响。不同的土类，具有不同的剪切破坏特征。地基的破坏类型可归纳为整体剪切破坏、贯入剪切破坏、

DL / T 5356 — 2006

局部剪切破坏三种，但在试验中准确判断，有时比较困难。本标准所列终止试验的前三种情况，只能认为适用于一般情况。对于特殊土层，应根据经验分析判断。

16.0.11 荷载—沉降关系曲线的校正问题。在载荷试验中，由于各种因素的影响，使线性段延长线偏离坐标原点，曲线是否校正，主要看对变形模量、比例界限压力和极限压力的影响程度。从比例界限压力和极限压力来看，校正与否影响不大；对于变形模量，本标准所列的公式中，取线性段的斜率为计算依据，校正与否对变形模量的计算影响也是不大的。因此，本标准中没有明确规定对曲线必须进行校正。

确定比例界限压力及极限压力的方法：在本标准中，除对曲线具有明显直线段及转折点的曲线可直接用转折点确定比例界限压力外，对其他形状的曲线未作规定。在确定极限压力时，一般宜距承压板边缘 0.7 倍板宽以外所出现的破坏迹象作为判断的依据较为可靠。
