

# DB34

安 徽 省 地 方 标 准

DB 34/T 1928—2013

## 水利水电工程水泥土截渗墙试验测试规程

Code for test and measurement of cement-soil cut-off wall in water  
conservancy and hydroelectric engineering

2013 - 08 - 28 发布

2013 - 09 - 28 实施

安 徽 省 水 利 厅  
安徽省质量技术监督局

发 布

## 目 次

前言 .....	II
1 范围 .....	1
2 规范性引用文件 .....	1
3 术语和符号 .....	1
3.1 术语 .....	1
3.2 符号 .....	1
4 水泥土试样制备 .....	2
4.1 水泥土室内试样制备 .....	2
4.2 水泥土截渗墙体试样加工制备 .....	3
4.3 水泥土试样养护 .....	4
5 水泥土物理性质试验 .....	4
5.1 水泥土含水率试验 .....	4
5.2 水泥土饱和吸水率试验 .....	5
5.3 水泥土密度试验 .....	5
5.4 水泥土拌和物表观密度试验 .....	6
6 水泥土力学性质试验 .....	7
6.1 水泥土单轴抗压强度试验 .....	7
6.2 水泥土单轴压缩变形试验 .....	9
6.3 水泥土三轴压缩试验 .....	11
7 水泥土截渗墙渗透性测试 .....	14
7.1 水泥土室内渗透试验 .....	14
7.2 水泥土截渗墙围井渗透试验 .....	15
7.3 水泥土截渗墙钻孔注水试验 .....	17
8 水泥土截渗墙厚度及均匀性测试 .....	20
8.1 水泥土截渗墙最小厚度测试 .....	20
8.2 探地雷达法测试水泥土截渗墙均匀性 .....	20
8.3 高密度电法测试水泥土截渗墙均匀性 .....	21
附录 A（规范性附录） 水泥土配合比设计 .....	24
附录 B（资料性附录） 试验数据记录表及绘图 .....	28

## 前 言

本标准按照 GB/T 1.1-2009 给出的规则起草。

本标准由安徽省水利厅提出并归口。

本标准主持机构：安徽省水利厅基本建设处。

本标准主要起草单位：安徽省水利部淮河水利委员会水利科学研究院。

本标准参与起草单位：水利部水利工程建设质量与安全监督总站淮河流域分站、淮河水利委员会治淮工程建设管理局、安徽省水利工程质量监督中心站、淮河流域水工程质量检测中心、安徽省水利工程质量检测中心站、安徽省建筑工程质量监督检测站。

本标准主要起草人：宋新江、崔德密、余智囊、姬宏、彭建和、郭炜、王强、吕列民、李晶、张家柱、徐海波、钱财富、李宏、张文清、余金煌、朱士彬、樊增楠、戴新荣、周松、吴杰、李巍、郑龙奎。

# 水利水电工程水泥土截渗墙试验测试规程

## 1 范围

本标准规定了水利水电工程水泥土截渗墙的术语和定义、水泥土试样制备、水泥土物理性质试验、水泥土力学性质试验、水泥土截渗墙渗透性测试和水泥土截渗墙厚度及均匀性测试。

本标准适用于水利水电工程水泥土截渗墙的室内试验、现场测试和质量检查，其他类似工程可参照执行。

水利水电工程水泥土截渗墙试验测试工作除应符合本标准外，尚应符合国家及行业现行有关标准的规定。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

SL 237-007 界限含水率试验

SL 326 水利水电工程物探规程

SL 352 水工混凝土试验规程

## 3 术语和符号

### 3.1 术语

#### 3.1.1 水泥土截渗墙（水泥土防渗墙） cement-soil cut-off wall

由水泥与土体混合形成的地下连续防渗墙体。

#### 3.1.2 水泥掺入比 cement mixing ratio

水泥土中水泥与原土体质量比值。

#### 3.1.3 水泥土单轴抗压强度 uniaxial compressive strength of cement-soil

水泥土试样在无侧限条件下抵抗轴向压力的极限强度。

#### 3.1.4 水泥土截渗墙钻孔注水试验 borehole injection test of cement-soil cut-off wall

通过钻孔向试段注水，以确定水泥土截渗墙墙体渗透系数的原位试验方法，可分为钻孔常水头试验和钻孔降水头试验。

#### 3.1.5 水泥土截渗墙最小厚度 minimum thickness of cement-soil cut-off wall

相邻两桩搭接处的水泥土截渗墙墙体厚度。

### 3.2 符号

下列符号适用于本文件。

- $A_0$  ——试样初始截面积,  $\text{cm}^2$ ;  
 $A_a$  ——试样修正后面积,  $\text{cm}^2$ ;  
 $A_c$  ——水泥土拌和物含气量, %;  
 $b$  ——水泥土截渗墙平均厚度,  $\text{cm}$ ;  
 $d$  ——水泥土截渗墙桩体直径,  $\text{cm}$ ;  
 $E_e$  ——水泥土弹性模量,  $\text{MPa}$ ;  
 $E_{50}$  ——水泥土割线模量,  $\text{MPa}$ ;  
 $h_0$  ——试样初始高度,  $\text{cm}$ ;  $h$  ——试样轴向变形,  $\text{cm}$ ;  $k_t$  ——渗透系数,  $\text{cm/s}$ ;  
 $l_{0i}$  ——第  $i$  组相邻两桩桩心距,  $\text{mm}$ ;  
 $m_s$  ——水泥土试样抽气饱和后的质量,  $\text{g}$ ;  $P$  ——竖向荷载,  $\text{kN}$ ;  
 $P_r$  ——竖向极限荷载,  $\text{kN}$ ;  
 $Q$  ——渗透流量,  $\text{cm}^3/\text{s}$ ;  $q_u$  ——单轴抗压强度,  $\text{MPa}$ ;  $r$  ——钻孔半径,  $\text{cm}$ ;  
 $S$  ——水泥土截渗墙平均最小厚度,  $\text{mm}$ ;  $w_s$  ——水泥土饱和吸水率, %;  
 $\alpha_w$  ——水泥掺入比, %;  
 $\mu_{50}$  ——水泥土割线泊松比;  
 $\rho_h$  ——水泥土拌和物表观密度,  $\text{g}/\text{cm}^3$ 。

## 4 水泥土试样制备

### 4.1 水泥土室内试样制备

4.1.1 适用于土体颗粒粒径小于 20 mm 的各种水泥掺入比的水泥土试样制备。

4.1.2 仪器设备包括以下几种:

- a) 拌和钢板: 平面尺寸不小于 60  $\text{cm} \times 120 \text{ cm}$ , 厚 5  $\text{mm}$  左右;
- b) 台秤和天平: 称量 10  $\text{kg}$ , 感量不大于 5  $\text{g}$ ; 称量 5  $\text{kg}$ , 感量不大于 1  $\text{g}$ ; 称量 1000  $\text{g}$ , 感量不大于 0.5  $\text{g}$ ; 称量 500  $\text{g}$ , 感量不大于 0.1  $\text{g}$ ; 称量 200  $\text{g}$ , 感量不大于 0.01  $\text{g}$ ;
- c) 量筒: 容积 1000  $\text{ml}$ , 刻度 0~1000  $\text{ml}$ , 最小分度值为 10  $\text{ml}$ ; 容积 100  $\text{ml}$ , 刻度 0~100  $\text{ml}$ , 最小分度值为 1  $\text{ml}$ ;
- d) 试模: 圆柱体试模尺寸分别为内径 39.1  $\text{mm}$ , 高度 80  $\text{mm}$ ; 内径 61.8  $\text{mm}$ , 高度 120  $\text{mm}$ ; 内径 101  $\text{mm}$ , 高度 200  $\text{mm}$ ;
- e) 游标卡尺: 量程 150  $\text{mm}$ , 最小分度值 0.02  $\text{mm}$ ;
- f) 钢直尺: 量程 300  $\text{mm}$ , 最小分度值 1  $\text{mm}$ ;
- g) 其他: 金属捣棒、橡胶手套、拌和铲、切土刀、碎土工具、烘箱、保湿缸和喷水设备等。

4.1.3 试样成型应按以下步骤:

- a) 人工拌和
  - 1) 人工拌和应在钢板上进行, 拌和前应将钢板及拌和铲清洗干净;

- 2) 水泥土配合比设计方法详见附录 A;
  - 3) 按水泥土配合比要求, 将称量后的风干碾碎土料、水泥以及其他掺料倒在钢板上, 均匀混合, 然后再按比例加入水及外加剂 (外加剂一般先溶于水) 并搅拌直至均匀, 搅拌时间不应超过 10 min。
- b) 装模成型
- 1) 将三开金属圆柱筒试模内壁表面涂矿物油或涂不与水泥土发生反应的脱模剂;
  - 2) 称取一定量拌和后的水泥土, 分三层装入金属筒内, 每层试样高度宜相等。每层按螺旋方向从边缘向中心均匀插捣, 每层插捣 15 次, 整平表面后再装下一层料;
  - 3) 将筒内水泥土两端表面抹平放置滤纸, 竖向放置托盘中, 试样表面用湿布或塑料薄膜覆盖, 以防水分蒸发, 然后放入养护室进行标准养护。
- c) 拆模
- 1) 水泥土试样在养护室内静置 48 h, 然后拆模并编号;
  - 2) 测量试样体积和质量。
- d) 试样加工精度要求

试样两端平整度允许偏差不大于 0.05 mm; 端面与试样轴线垂直度允许偏差不大于 0.25°。

4.1.4 将拆模后水泥土试样放入盛水容器中, 水面高出试样不小于 20 mm, 并放入标准养护室。

#### 4.1.5 记录

室内水泥土试样成型记录格式如附录 B 表 B.1。

### 4.2 水泥土截渗墙体试样加工制备

4.2.1 适用于地层土颗粒粒径小于 20 mm 和试样龄期不小于 28 d 的水泥土截渗墙体试样加工制备。

4.2.2 仪器设备包括以下几种:

- a) 钻芯机;
- b) 磨平机;
- c) 切割机;
- d) 台秤和天平: 称量 5 kg, 感量不大于 1 g; 称量 1000 g, 感量不大于 0.5 g; 称量 500 g, 感量不大于 0.1 g;
- e) 游标卡尺: 量程 150 mm, 最小分度值 0.02 mm;
- f) 钢直尺: 量程 300 mm, 最小分度值 1 mm。

4.2.3 试样成型应按如下步骤

4.2.3.1 钻孔芯样加工步骤:

- a) 用钻芯机按试验要求直径钻取水泥土试样, 钻取试样的时机宜根据水泥土截渗墙取芯难易程度及芯样完整性要求确定, 钻孔直径不宜小于 108 mm。钻取试样的位置应具有代表性, 试样应采取保护措施, 避免在运输和贮存中损坏;
- b) 小心开启钻孔芯样包装, 按标明的方向放置, 检查芯样结构, 当确定芯样已破坏或不合规定时, 不应制备试样;
- c) 用切割机按试验要求高径比截取试样, 用磨平机将试样两端磨平。

4.2.3.2 水泥土块状样加工步骤:

- a) 小心开启水泥土块状样包装, 按标明的方向放置, 检查样品结构, 当确定样品已破坏或不合规定时, 不应用于制备试样;
- b) 用钻芯机按试验要求直径钻取水泥土试样;
- c) 用切割机按试验要求高径比截取试样, 用磨平机将试样两端磨平。

4.2.3.3 试样加工精度要求:

试样两端平整度允许偏差不大于 0.05 mm；端面与试样轴线垂直度允许偏差不大于 0.25°。

4.2.4 将制备的水泥土试样放入盛水容器中，水面高出试样不小于 20 mm，并放入标准养护室。

4.2.5 记录

水泥土墙体试样加工成型记录格式如附录 B 表 B.2。

4.3 水泥土试样养护

4.3.1 标准养护室温度应控制在 20℃±5℃，相对湿度 95%以上。

4.3.2 试样放入水中在养护室内进行标准养护，或按工程实际和试验要求，可将试样直接在养护室内进行标准养护，并做好标识。

4.3.3 试样养护龄期一般为 28 d，特殊情况下可根据相关要求确定。

4.3.4 记录

水泥土试样养护记录格式如附录 B 表 B.3。

5 水泥土物理性质试验

5.1 水泥土含水率试验

5.1.1 本试验采用烘干法测定水泥土含水率，适用于各种水泥掺入比的水泥土。

5.1.2 仪器设备包括以下几种：

- a) 烘箱：可采用电热烘箱或温度能保持 105℃~110℃的其他能源烘箱；
- b) 天平：称量 1000 g，感量不大于 0.1 g；称量 200 g，感量不大于 0.01 g；
- c) 其他：干燥器、具有密封盖的试样盒。

5.1.3 试验应按以下步骤：

- a) 当水泥土试样达到龄期后，取代表性试样，称取质量；
- b) 将试样在 105℃~110℃的恒温下烘样首次不小于 8h，以后每次不少于 2 h；
- c) 将试样从烘箱中取出，放入干燥器内冷却至室温，称取质量；
- d) 重复 b)、c)项步骤，直到两次称取质量之差不超过后一次称量的 0.1%；
- e) 称取质量应准确至 0.01 g~0.1 g。

5.1.4 试验成果整理及计算应按下列规定：

- a) 含水率按公式(1)计算：

$$w_0 = \frac{m_0 - m_d}{m} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

式中：

w<sub>0</sub> ——水泥土含水率，%；

m<sub>d</sub> ——水泥土试样烘干后质量，g；

m<sub>0</sub> ——水泥土试样烘干前质量，g。

- b) 计算精确至 0.1%，本试验需进行 2 次平行测定，取其算术平均值，允许偏差为 ±2.0%。

5.1.5 记录

水泥土含水率试验记录格式如附录 B 表 B.4。

## 5.2 水泥石饱和吸水率试验

5.2.1 本试验采用真空抽气法测定水泥石饱和吸水率。

5.2.2 仪器设备包括以下几种：

- a) 真空抽气设备；
- b) 天平：称量 200 g，感量不大于 0.01 g；
- c) 其他：盛水器皿、烘箱、干燥器等。

5.2.3 试验应按以下步骤：

- a) 试样成型应符合 4.1.3 或 4.2.3 的规定；
- b) 试样直径宜为 39.1 mm，高宜为 80 mm；
- c) 清除试样表面杂物，然后放入真空抽气容器内，容器内的水面应高出试样，抽气时真空压力表读数为 0.1 MPa，直至无气泡逸出为止，且抽气时间不得少于 4 h。经真空抽气的试样应放置于原容器中，在大气压力下静置 4h，取出试样拭干表面水分并称量，称量精确至 0.01 g；
- d) 试样烘干应符合 5.1.3 的规定。

5.2.4 试验成果整理及计算应按下列规定：

- a) 饱和吸水率按公式(2)计算：

$$w_s = \frac{m_s - m_d}{m_d} \times 100 \dots\dots\dots (2)$$

式中：

$w_s$ ——水泥石饱和吸水率，%；

$m_d$ ——水泥石试样烘干后的质量，g；

$m_s$ ——水泥石试样抽气饱和后的质量，g。

- b) 计算精确至 0.1%，本试验需对 3 块试样进行测定，取其算术平均值。

5.2.5 记录

水泥石饱和吸水率试验记录格式如附录 B 表 B.5。

## 5.3 水泥石密度试验

5.3.1 本试验采用量积法测定水泥石密度，适用于各种水泥掺入比的圆柱体水泥石试样。

5.3.2 仪器设备包括以下几种：

- a) 天平：称量 1000 g，感量不大于 0.5 g；称量 500 g，感量不大于 0.1 g；称量 200 g，感量不大于 0.01 g；
- b) 游标卡尺：量程 150 mm，最小分度值 0.02 mm；
- c) 钢直尺：量程 300 mm，最小分度值 1 mm。

5.3.3 试验应按以下步骤：

- a) 试样成型应符合 4.1.3 或 4.2.3 的规定；
- b) 测量试样两端和中间三个断面上相互垂直的两个方向的直径，按平均值计算截面积；
- c) 测量两端面周边上对称四点和中心点处的高度，计算高度的平均值；
- d) 试样饱和应符合 5.2.3 c) 的规定；
- e) 称取天然和饱和两种状态下的水泥石试样质量；

- f) 试样烘干应符合 5.1.3 的规定，称取烘干后的水泥土试样质量；
- g) 称量精确至 0.01 g。

5.3.4 试验成果整理及计算应按下列规定：

- a) 水泥土密度按公式(3)、公式(4)与公式(5)计算：

$$\rho = \frac{m_0}{A_0 h_0} \dots\dots\dots (3)$$

$$\rho_s = \frac{m_s}{A_0 h_0} \dots\dots\dots (4)$$

$$\rho_d = \frac{m_d}{A_0 h_0} \dots\dots\dots (5)$$

式中：

$\rho$  ——水泥土天然密度，g/cm<sup>3</sup>；

$\rho_s$  ——水泥土饱和密度，g/cm<sup>3</sup>；

$\rho_d$  ——水泥土干密度，g/cm<sup>3</sup>；

$m_0$  ——水泥土试样烘干前质量，g；

$m_s$  ——水泥土试样抽气饱和后的质量，g；

$m_d$  ——水泥土试样烘干后的质量，g；

$A_0$  ——试样初始截面积，cm<sup>2</sup>；

$h_0$  ——试样初始高度，cm。

- b) 水泥土干密度取 3 个试样的算术平均值；水泥土湿密度取 5 个试样的算术平均值；计算精确至 0.01 g/cm<sup>3</sup>。

5.3.5 记录

水泥土密度试验记录格式如附录 B 表 B.6。

5.4 水泥土拌和物表观密度试验

5.4.1 本试验测定水泥土拌合物的表观密度，适用于土颗粒粒径不大于 20 mm 的不同掺入比的水泥土。

5.4.2 仪器设备包括以下几种：

- a) 容量筒：金属制圆筒，筒壁应有足够刚度，使之不易变形。容量筒内部尺寸直径 186 mm，高度 186 mm，容积 5 L；
- b) 磅秤：称量 50 kg，感量不大于 50 g；
- c) 其他：捣棒、玻璃板（尺寸稍大于容量筒口）、钢直尺等。

## 5.4.3 试验应按以下步骤:

- a) 测定容量筒容积: 将干净的容量筒与玻璃板一起称其质量, 再将容量筒装满水, 仔细用玻璃板从筒口的一边推到另一边, 使筒内满水及玻璃板下无气泡, 擦干筒、盖的外表面, 再次称其质量。两次质量之差即为水的质量, 除以该温度下水的密度, 即得容量筒容积  $V$  (在正常情况下, 水温影响可以忽略不计, 水的密度可取为  $1000 \text{ kg/m}^3$ );
- b) 按 4.1.3 a) 的规定进行水泥石拌和;
- c) 擦净空容量筒, 称其质量  $m_1$ ;
- d) 将水泥石拌合物分 2 层装入容量筒, 分层插捣, 用捣棒从边缘至中心螺旋形插捣, 每层插捣 15 次。第一层插捣至底面, 第二层插至第一层 10 mm~20 mm 处;
- e) 沿容量筒口刮除多余的拌合物, 抹平表面, 将容量筒外部擦净, 称其质量  $m_2$ 。

## 5.4.4 试验成果整理及计算按下列规定:

- a) 水泥石表观密度按公式(6)计算:

$$h = \frac{m_2 - m_1}{1000 V} \quad \text{..... (6)}$$

式中:

$h$ ——水泥石拌和物的表观密度,  $\text{g/cm}^3$ ;

$m_1$ ——容量筒质量,  $\text{g}$ ;

$m_2$ ——水泥石拌和物及容量筒的总质量,  $\text{g}$ ;

$V$ ——容量筒的体积,  $\text{L}$ 。

- b) 水泥石拌和物含气量按公式(7)计算:

$$A_c = \frac{t_h}{t} \times 100 \quad \text{..... (7)}$$

$$t = \frac{m_p / \rho_p + m_c / \rho_c + m_w / \rho_w}{\rho_t} \quad \text{..... (8)}$$

式中:

$A_c$ ——水泥石拌和物的含气量, %;

$\rho_t$ ——水泥石拌和物理论密度,  $\text{g/cm}^3$ ;

$m_p$ 、 $m_c$ 、 $m_w$ ——拌和物中土、水泥及水的质量,  $\text{g}$ ;

$\rho_p$ 、 $\rho_w$ 、 $\rho_c$ ——土颗粒、水和水泥的密度或表观密度,  $\text{g/cm}^3$ 。

- c) 计算结果精确至  $0.01 \text{ g/cm}^3$ 。

## 5.4.5 记录

水泥石拌和物表观密度试验记录格式如附录 B 表 B.7。

## 6 水泥石力学性质试验

## 6.1 水泥石单轴抗压强度试验

6.1.1 本试验测定圆柱体水泥石试样的单轴抗压强度, 适用于土体颗粒粒径小于 20 mm 的水泥石。

6.1.2 仪器设备包括以下几种:

- a) 压力机或万能试验机;

- b) 台秤和天平：称量 5 kg，感量不大于 1 g；称量 1000 g，感量不大于 0.5 g；称量 500 g，感量不大于 0.1 g；称量 200 g，感量不大于 0.01 g；
- c) 游标卡尺：量程 150 mm，最小分度值 0.02 mm；
- d) 其他：钢直尺、真空抽气设备等。

6.1.3 试验应按以下步骤：

- a) 试样成型应符合 4.1.3 或 4.2.3 的规定；
- b) 试样养护至规定龄期，将其取出，进行真空抽气饱和，擦净表面，检查外观。当试样有严重缺陷时，应废弃；
- c) 量测试样高度及直径，称取试样质量；
- d) 将试样两端抹一薄层凡士林，在气候干燥时，试样周围亦需抹一层凡士林，防止水分蒸发；
- e) 将试样置于试验机承压板中心，上下承压板大于试样。调整球形座，使试样两端面与试验机上下压板接触均匀；
- f) 以每分钟轴向应变 0.5%~1% 的速度加荷，每隔 0.05%~0.1% 应变测读竖向荷载一次；
- g) 当竖向荷载达到峰值或读数达到稳定，应再进行 3%~5% 轴向应变值即可停止试验；
- h) 描述试样破坏形状。

6.1.4 试验成果整理及计算应按下列要求：

- a) 试样轴向应变按公式(9)计算：

$$\epsilon_1 = \frac{h}{h_0} - 100 \quad \dots\dots\dots (9)$$

式中：

- $\epsilon_1$  ——轴向应变，%；
- $h_0$  ——试样初始高度，cm；
- $h$  ——竖向变形，cm。

- b) 试样截面积按公式（10）计算：

$$A_a = \frac{A_0}{1 - 0.01 \epsilon_1} \quad \dots\dots\dots (10)$$

式中：

- $A_a$  ——试样校正后截面积，cm<sup>2</sup>；
- $A_0$  ——试样初始截面积，cm<sup>2</sup>。

- c) 水泥石轴向应力按公式(11)计算：

$$\sigma_1 = \frac{P}{A_a} \times 10 \quad \dots\dots\dots (11)$$

式中：

- $\sigma_1$  ——轴向应力，MPa；
- $P$  ——竖向荷载，kN。

- d) 水泥石单轴抗压强度按公式(12)计算：

$$q_u = \frac{P_f}{A_a} \times 10 \quad \dots\dots\dots (12)$$

式中：

- $q_u$  ——单轴抗压强度，MPa；
- $P_f$  ——竖向极限荷载，kN。

- e) 以 3 个试样测值的平均值作为水泥土单轴抗压强度试验结果，精确至 0.01 MPa。

#### 6.1.5 记录及绘图

水泥土单轴抗压强度试验记录格式如附录 B 表 B.8，以轴向应力为纵坐标，轴向应变为横坐标绘制应力-应变关系曲线，如附录 B 图 B.1。

### 6.2 水泥土单轴压缩变形试验

6.2.1 本试验测定圆柱体单轴条件下的水泥土应力及变形值，计算弹性模量、变形模量和泊松比，适用各种水泥掺入比的水泥土。

6.2.2 仪器设备包括如下几种：

- 压力机或万能试验机：可测试样侧向变形；
- 台秤和天平：称量 5 kg，感量不大于 1 g；称量 1000 g，感量不大于 0.5 g；称量 500 g，感量不大于 0.1 g；称量 200 g，感量不大于 0.01 g；
- 游标卡尺：量程 150 mm，最小分度值 0.02 mm；
- 百分表：量程 20 mm，最小分度值 0.01 mm；
- 其他：磁性测量表架、钢直尺、真空抽气设备等。

6.2.3 试验应按以下步骤：

- 试样成型应符合 4.1.3 或 4.2.3 的规定；
- 试样养护至规定龄期，将其取出，进行真空抽气饱和，擦净表面，检查外观。当试样有严重缺陷时，应废弃；
- 量测尺寸，称取质量；
- 将试样两端抹一薄层凡士林，在气候干燥时，试样周围亦需抹一层凡士林，防止水分蒸发；
- 将试样置于试验机承压板中心，上下承压板大于试样。调整球形座，使试样两端面与试验机上下压板接触均匀；
- 采用百分表测量试样变形时，将测量表安装在磁性表架上，磁性表架对称安装在试验机下承压板上，纵向测量表表头与上承压板边缘接触，测读初始读数。两对相互垂直的纵向测量表与横向测量表应分别安装在试件直径的对称位置上；
- 加载方法宜采用逐级一次连续加载法，根据需要可采用逐级一次循环法或逐级多次循环法；
- 逐级一次连续加载法，每级压力按预计的试样破坏应力值的 1/10~1/12 施加；逐级循环加载法最大循环荷载为预估极限应力的 50%，宜等分四级施加至最大循环荷载后再逐级加载直至破坏；
- 逐级一次连续加载法，加载采用时间控制，施加一级荷载后立即读数，1 min 后再读数一次，即可施加下一级荷载，直至破坏；
- 逐级循环加载法，施加第 1 级压力，同时开动秒表，测记加压后 1 min 时位移计的读数。每隔 1 min 施加一级压力，测记位移计读数 1 次，施加到第 4 级压力为止。在测记第 4 级压力施加后 1 min 位移计读数的同时，逐级卸压。每隔 1 min 卸去一级，并测记卸压后 1 min 的位移计读数，直至施加的轴向压力全部卸去。在测记最后一级压力卸去后 1 min 位移计读数时。重复加荷、卸荷 4~5 遍后，继续加压，测记每级压力施加后 1 min 位移计读数，直至破坏为止。

6.2.4 试验成果整理及计算应按下列规定：

- a) 各级轴向应力按公式(13)计算：

$$P_{1i} = \frac{P_i}{A_{ai}} \times 10 \dots\dots\dots (13)$$

式中:

$\sigma_{ti}$  ——每级轴向应力, MPa;

$P_i$  ——每级轴向荷载, kN;

$A_{ai}$  ——每级试样截面积, 按公式(10)进行面积修正,  $\text{cm}^2$ 。

b) 各级轴向和侧向应变, 按公式(14)与公式(15)计算:

$$a_i = \frac{h_i}{h_0} \times 100 \dots\dots\dots (14)$$

$$r_i = \frac{D_i}{D} \times 100 \dots\dots\dots (15)$$

式中:

$a_i$  ——各级轴向应变, %;

$r_i$  ——各级侧向应变, %;

$h_i$  ——各级轴向变形平均值, mm;

$D_i$  ——各级侧向变形平均值, mm;

$h_0$  ——试样初始高度, mm;

$D$  ——试样初始直径, mm。

c) 体应变按公式 (16) 计算:

$$v = a + 2r \dots\dots\dots (16)$$

d) 弹性模量和弹性泊松比按公式(17)和公式(18)计算:

$$E_e = \frac{nm}{a_n a_m} \dots\dots\dots (17)$$

$$e = \frac{nr m}{a_n a_m} \dots\dots\dots (18)$$

式中:

$E_e$  ——混凝土弹性模量, MPa;

$e$  ——混凝土弹性泊松比;

$m$  ——应力与轴向应变关系曲线直线段始点应力值, MPa;

$n$  ——应力与轴向应变关系曲线直线段终点应力值, MPa;

$a_m$  ——应力为  $m$  时轴向应变值, %;

$a_n$  ——应力为  $n$  时轴向应变值, %;

$r_m$  ——应力为  $m$  时侧向应变值, %;

$r_n$  ——应力为  $n$  时侧向应变值, %。

e) 割线模量及相应泊松比按公式(19)和公式(20)计算:

$$E_{50} = \frac{\sigma_{50}}{\epsilon_{a50}} \dots\dots\dots (19)$$

$$\mu_{50} = \frac{\epsilon_{r50}}{\epsilon_{a50}} \dots\dots\dots (20)$$

式中:

$E_{50}$  ——水泥土割线模量, MPa;

$\mu_{50}$  ——水泥土割线泊松比;

$\sigma_{50}$  ——相当于水泥土单轴抗压强度 50% 的应力值, MPa;

$\epsilon_{a50}$  ——应力为  $\sigma_{50}$  的轴向应变值, %;

$\epsilon_{r50}$  ——应力为  $\sigma_{50}$  的侧向应变值, %。

f) 水泥土单轴压缩试验弹性模量计算精确至 0.01 MPa, 泊松比计算精确至 0.01, 轴向应力计算精确至 0.01 MPa, 轴向应变计算精确至 0.1%。

### 6.2.5 记录及绘图

水泥土单轴压缩变形试验记录格式如附录 B 表 B.9。以轴向应力  $\sigma_1$  为纵坐标, 轴向应变  $\epsilon_a$  为横坐标绘制  $\sigma_1 - \epsilon_a$  关系曲线, 如附录 B 图 B.2。

## 6.3 水泥土三轴压缩试验

### 6.3.1 本试验测定水泥土抗剪强度。

试验需 3~5 个圆柱体试样, 分别施加不同的恒定周围压力  $\sigma_3$  (小主应力), 然后施加轴向压力差 ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ), 进行剪切直至破坏,  $\sigma_1$  为大主应力。根据摩尔库伦理论, 求得抗剪强度参数。

本试验适用于测定土体颗粒粒径小于 20 mm 的水泥土。根据排水条件的不同, 分为不固结不排水剪 (UU)、固结不排水剪 (CU 或 CU) 和固结排水剪 (CD) 三种试验类型。

### 6.3.2 仪器设备包括如下几种:

- 多功能三轴试验仪: 有应力和应变控制两种加荷方式, 应有反压力控制系统、周围压力控制系统、轴向应力控制系统、孔隙水压力量测系统等;
- 台秤和天平: 称量 5 kg, 感量不大于 1 g; 称量 1000 g, 感量不大于 0.5 g; 称量 500 g, 感量不大于 0.1 g; 称量 200 g, 感量不大于 0.01 g;
- 游标卡尺: 量程 150 mm, 最小分度值 0.02 mm;
- 橡皮膜: 应具有弹性的乳胶膜, 对直径 39.1 mm 和 61.8 mm 的试样, 厚度以 0.1 mm~0.2 mm 为宜, 对直径 101 mm 的试样, 厚度以 0.2 mm~0.3 mm 为宜;
- 其他: 金属透水板、捣棒、试模、真空抽气设备、承膜筒等。

### 6.3.3 试验应按以下步骤:

#### 6.3.3.1 试样成型应符合 4.1.3 或 4.2.3 的规定;

6.3.3.2 试样养护至规定龄期，将其取出，进行真空抽气饱和，擦净表面，检查外观。当试样有严重缺陷时，应废弃；

6.3.3.3 量测试样高度、直径，精确至 0.1 mm；称取质量，精确至 0.1 g；

6.3.3.4 试样安装与固结：

a) 不固结不排水剪切试验（UU 试验）

- 1) 对压力室底座充水，在底座上放置不透水板，并依次放置试样、不透水板及试样帽；
- 2) 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；
- 3) 装上压力室罩。安装时应先将活塞提升，以防碰撞试样，压力室罩安放后，将活塞对准试样帽中心，并均匀地旋紧螺丝，再将轴向测力计对准活塞；
- 4) 开排气孔，向压力室充水，当压力室内快注满水时，降低进水速度，水从排气孔溢出时，关闭排气孔；
- 5) 关体变管阀及孔隙压力阀，开周围压力阀，施加所需的周围压力。周围压力大小应与工程的实际荷载相适应，并尽可能使最大周围压力与水泥土截渗墙的最大实际荷载大致相等。
- 6) 旋转手轮，同时转动压力室罩活塞，当轴向测力计有微读数时表示活塞已与试样帽接触，然后将轴向测力计和轴向位移计的读数调整到零位。

b) 固结不排水剪切试验（CU 或 CU<sub>2</sub>）

- 1) 开孔隙压力阀及量管阀，使压力室底座充水排气，并关阀门。将金属透水板滑入压力室底座上。然后放上湿滤纸和试样，试样上端亦放一湿滤纸及金属透水板，在其周围贴上 7~9 条浸湿的滤纸条（宽度为试样直径的 1/5~1/6 左右），滤纸条上端与金属透水板连接；
- 2) 按 6.3.3.4 a) 之 2) 的规定将橡皮膜套在试样外。橡皮膜下端扎紧在压力室底座上；
- 3) 用软刷子或双手自下向上轻轻按抚试样，以排除试样与橡皮膜之间的气泡。也可开孔隙压力阀及量管阀，使水徐徐流入试样与橡皮膜之间，以排除夹气，然后关闭；
- 4) 开排水管阀，使水从试样帽徐徐流出以排除管路中气泡，并将试样帽置于试样顶端。排除顶端气泡，将橡皮膜扎紧在试样帽上；
- 5) 降低排水管，使其水面至试样中心高程以下 20 cm~40 cm，吸出试样与橡皮膜之间多余水分，然后关排水管阀；
- 6) 按 6.3.3.4 a) 之 3) 和 4) 的规定装上压力室罩并注满水，然后放低排水管使其水面与试样中心高度齐平，并测记其水面读数。关排水管阀；
- 7) 使量管水面位于试样中心高度处。开量管阀（若用零位指示器时用调压筒调整零位指示器的水银面于毛细管指示线），测读传感器，记下孔隙压力计起始读数，然后关量管阀；
- 8) 按 6.3.3.4 a) 之 5) 的规定施加周围压力，并调整各测力计和位移计读数；
- 9) 打开孔隙压力阀（若用零位指示器，用调压筒先将孔隙压力计读数调至接近该级周围压力大小，然后缓缓打开孔隙压力阀，并同时旋转调压筒，使毛细管内水银面保持不变），测记稳定后的孔隙压力读数，减去孔隙压力计起始读数，即为周围压力与试样的初始孔隙压力  $u$ 。如不测孔隙压力，可以不做本款要求的试验；
- 10) 如试样的饱和度达不到试验要求，应对试样施加反压力，进行反压饱和；
- 11) 如测固结过程，应开排水管阀的同时开动秒表，按 0、0.25、1、4、9 min、... 时间测记排水管水面及孔隙压力计读数。在整个试验过程中（零位指示器的水银面始终保持在原来位置），排水管水面应置于试样中心高度处。固结度至少应达到 95%；
- 12) 如不测固结过程，可同时开排水管阀和体变管阀进行排水固结。固结度至少应达到 95%；

13) 固结完成后, 关排水管阀或体变管阀, 记下体变管或排水管和孔隙压力计的读数, 然后转动细调手轮, 到测力计读数开始微动时, 表示活塞已与试样接触, 记下轴向位移计读数, 即为固结下沉量。依此算出固结后试样高度。然后将测力计、垂直位移计读数都调至零。

14) 其余几个试样按同样方法安装试样, 并在不同周围压力下排水固结。

c) 固结排水剪切试验 (CD 试验)

- 1) 试样安装按 6.3.3.4 b) 之 1)~6) 的规定进行;
- 2) 排水固结按 6.3.3.4 b) 之 9)~14) 的规定进行。

### 6.3.3.5 试样剪切

- a) 试验机的电动机启动之前应按表 1 规定将各阀门关闭或开启;
- b) 试验的剪切应变速率按表 2 规定选择;
- c) 开动电动机, 合上离合器, 进行剪切;
- d) 当出现峰值后, 再继续剪 3%~5% 轴向应变; 若测力计读数无明显减少, 则剪切至轴向应变达 15%~20%;
- e) 试验 (测孔隙压力), 测读轴向位移计时应同时测读孔隙压力计的读数; CD 试验, 测读轴向位移计时, 应同时测读体变管读数;
- f) 试验结束后关闭电动机, 关周围压力阀, 试验 (测孔隙压力) 应关闭孔隙压力阀; CD 试验, 则应关闭孔隙压力阀和体变管阀。然后拔出离合器, 倒转手轮, 开排气孔, 排去压力室内的水, 拆除压力室罩, 揩干试样周围的余水, 脱去试样外的橡皮膜, 描述破坏后形状, 称试样质量, 测定试验后含水率。对于 39.1 mm 直径的试样, 宜取整个试样烘干; 61.8 mm 和 101 mm 直径的试样允许切取剪切面附近有代表性的部分水泥土样烘干;
- g) 对其余几个试样, 在不同周围压力下以同样的剪切应变速率进行试验。

表 1 各阀门开关状态

试样方法	体变管阀	排水管阀	周围压力阀	孔隙压力阀	量管阀
UU 试验	关	关	开	关	关
$\overline{\text{CU}}$ 试验 (测孔隙水压力)	关	关	开	开	关
CU 试验	关	关	开	关	关
CD 试验	开	关	开	开	关

表 2 各试验方法剪切应变速率

试样方法	剪切应变速率 (% / min)	备注
UU 试验	0.5~1.0	
$\overline{\text{CU}}$ 试验	<0.05	剪切过程中测定试样孔隙水压力
CU 试验	0.5~1.0	
CD 试验	0.003~0.012	剪切过程中不能产生超孔隙水压力

### 6.3.4 试验成果整理及计算应按下列规定:

- a) 主应力差按公式(21)计算:

$$\frac{P}{10} \dots \dots \dots (21) \frac{A}{a}$$

式中:

$\sigma_1$  ——大主应力, MPa;

$\sigma_3$  ——小主应力, MPa;

$P$  ——竖向荷载, kN;

$A_a$  ——试样剪切时修正后的面积,  $\text{cm}^2$ 。

b) 轴向应变按公式(14)计算; 侧向应变按公式(15)计算。

c) 孔隙水压力系数  $B$  和  $A$  按公式(22)和公式(23)计算:

$$B = \frac{u}{\sigma_1 - \sigma_3} \dots \dots \dots (22)$$

$$A = \frac{u_d}{\sigma_1 - \sigma_3} \dots \dots \dots (23)$$

式中:

$u$  ——试样在周围压力作用下产生的初始孔隙水压力, MPa;  $u_d$  ——试样在主应力差作用下产生的孔隙水压力, MPa。

d) 绘制试验关系曲线

——以主应力差 ( $\sigma_1 - \sigma_3$ ) 为纵坐标, 轴向应变为横坐标, 绘制主应力差与轴向应变关系曲线,

如附录 B 图 B.3;

——以孔隙水压力  $u$  为纵坐标, 轴向应变为横坐标, 绘制孔隙水压力与轴应变关系曲线, 如附录 B 图 B.4;

——以体积应变  $v_v$  为纵坐标, 轴向应变为横坐标, 绘制体应变与轴向应变关系曲线, 如附录 B 图 B.5。

e) 绘制强度包线

以剪应力  $\tau$  为纵坐标, 法向应力  $\sigma$  为横坐标, 在横坐标上以  $\frac{1.3f}{2}$  为圆心,  $\frac{1.3f}{2}$  为半径 ( $f$  为破坏时的值), 在  $\tau$ - $\sigma$  应力平面上绘制破损应力圆及不同周围压力下的破损应力圆包线, 该包线 (直线) 的倾角为内摩擦角  $\varphi$ , 包线在纵轴上的截距为粘聚力  $c$ , 见附录 B 图 B.6。

根据试验的固结与排水条件不同可得到对应的强度参数  $c$ 、 $\varphi$  值。

6.3.5 记录及绘图

水泥土三轴压缩试验记录如附录 B 表 B.10~表 B.11、图 B.3~图 B.6。

7 水泥土截渗墙渗透性测试

7.1 水泥土室内渗透试验

7.1.1 本试验采用三轴仪测定各种水泥掺入比的水泥土渗透系数。

7.1.2 仪器设备包括如下几种:

- a) 三轴仪: 仪器符合 6.3.2 a) 的规定;
- b) 台秤和天平: 称量 5 kg, 感量不大于 1 g; 称量 1000 g, 感量不大于 0.5 g; 称量 500 g, 感量不大于 0.1 g; 称量 200 g, 感量不大于 0.01 g;

- c) 游标卡尺：量程 150 mm，最小分度值 0.02 mm；
- d) 橡皮膜：应具有弹性的乳胶膜，对直径 39.1 mm 和 61.8 mm 的试样，厚度以 0.1 mm~0.2 mm 为宜，对直径 101 mm 的试样，厚度以 0.2 mm~0.3 mm 为宜；
- e) 温度计：最小分度值 0.5℃；
- f) 秒表：分度值 s；
- g) 其他：金属透水板、捣棒、试模、真空抽气设备、承膜筒等。

#### 7.1.3 试验应按以下步骤：

- a) 试样成型应符合 4.1.3 或 4.2.3 的规定；
- b) 试样养护至规定龄期，将其取出，进行真空抽气饱和，擦净表面，检查外观。当试样有严重缺陷时，应废弃；
- c) 量测试样高度、直径，精确至 0.1 mm；称取质量，精确至 0.1 g；
- d) 试样的安装应符合 6.3.3.4 a) 之 1)~4) 的规定；
- e) 如试样的饱和度达不到试验要求，应对试样施加反压力，进行反压饱和；
- f) 关闭体变管阀、排水管阀。首先按要求施加周围压力，再施加反压力，始终保持反压力小于周围压力 50 kPa。依次开周围压力阀，反压力阀，下排水阀，测记下排水管初始读数。如果在一定时间段内读数变化较小，宜相应增大周围压力和反压力；
- g) 开动秒表，记录一定时间下排水管读数和水的温度，记录数据不宜少于 5 组。

#### 7.1.4 试验成果整理及计算应按下列规定：

- a) 水泥石渗透系数按公式(24)计算：

$$k = \frac{Q h_0}{t A_0 H} \dots\dots\dots (24)$$

式中：

$k_r$ ——水温 T℃ 时水泥石试样的渗透系数，cm/s；根据试验水温可换算成  $k_{20}$  渗透系数；

$Q$ ——单位时间内的渗透水量，cm<sup>3</sup>/s；

$h_0$ ——试样高度，cm；

$A_0$ ——试样初始截面积，cm<sup>2</sup>

$H$ ——试验水头差，cm；式中  $H = \frac{10u_0}{w}$ ；其中  $u_0$  为反压力，kPa； $w$  为水的密度，g/cm<sup>3</sup>。

- b) 取其算术平均值作为水泥石的渗透系数，计算精度为  $0.1 \times 10^{-n}$  cm/s。

#### 7.1.5 记录

水泥石室内渗透试验记录格式如附录 B 表 B.12。

### 7.2 水泥石截渗墙围井渗透试验

7.2.1 本试验是现场测定水泥石截渗墙的渗透性，确定堤坝和基坑水泥石截渗墙的渗透系数。适用于围井底部有相对隔水层或人工制备隔水层的水泥石截渗墙。

#### 7.2.2 仪器设备包括如下几种：

- a) 钢直尺：量程 100 cm，最小分度值 1 mm；
- b) 钢卷尺：量程 2500 cm，最小分度值 1 mm；
- c) 温度计：最小分度值 0.5℃；
- d) 水位计：量程 1000 cm，最小分度值 1 mm；
- e) 其他：PVC 测压管、水箱、蒸发皿、水泵、流量计、量筒、围井施工设备等。

7.2.3 试验应按以下步骤:

- a) 根据选定的施工参数和施工工艺进行水泥土截渗墙围井施工;
- b) 围井的面积不宜小于 4.5 m<sup>2</sup>;
- c) 细粒土土层中的水泥土截渗墙或悬挂式截渗墙,围井内应开挖并进行底部封闭,宜采用围井注水试验;对于围井底部有相对隔水层时,可采用井内注水,也可采用井内下滤管注水;
- d) 围井内土体为粗粒土,隔水层渗透系数应至少低于井内土层渗透系数两个数量级;
- e) 在围井内对称安置两组钢直尺,测读水位读数,精确至 1 mm。注水试验要求饱和时间大于 24 h;
- f) 常水头注水试验时,当水位下降 0.5 cm,记录时间,再注水至原水位位置,量测注入水量,至少连续测 6 组数据,当连续 2 次注入流量之差小于最后一次注入流量的 10%时,可结束试验;降水头注水试验随着水位下降至少连续测 6 组数据,当最后两组经计算渗透系数偏差小于 2.0×10<sup>-n</sup>cm/s,可结束试验;
- g) 试验过程中,观测围井外侧地下水位和水面蒸发量。

7.2.4 试验成果整理及计算应按下列规定:

- a) 常水头围井注水试验计算简图如图 1 所示,渗透系数  $k_t$  按公式(25)计算:

$$k_t = \frac{2Qb}{L(H_0^2 - H^2)} \quad (25)$$

式中:

$Q$ ——稳定渗透流量,扣除蒸发量, cm<sup>3</sup>/s;

$L_0$ ——矩形围井轴线周长, cm; 若为圆形将  $L_0 = 2\pi r$  代入,  $r$  为半径, cm;

$H$ ——围井试验水位至井底深度, cm;

$H_0$ ——地下水位至井底深度, cm; 地下水位低于等于围井底部时  $H_0 = 0$ ;

$b$ ——水泥土截渗墙平均厚度, cm。

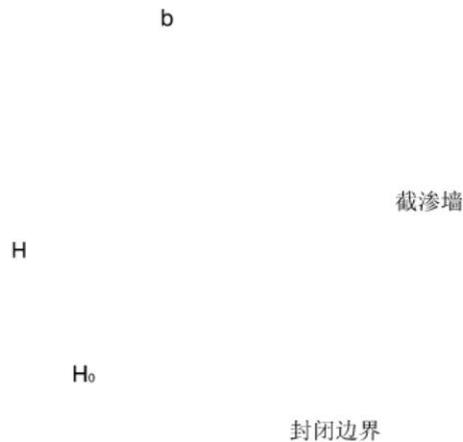


图 1 常水头围井试验计算简图

- b) 降水头围井注水试验计算简图如图 2 所示,渗透系数  $k_t$  计算式如下:

- 1) 正方形围井降水头围井试验按公式(26)计算  $k_t$  值:

当  $H_0 \leq 0$  时:

$$k_t = \frac{1}{H} \frac{1}{H} \frac{Lb}{2(t_2 - t_1)}$$

当  $H_0 > 0$  时:

$$k_t = \frac{\ln\left(\frac{H_1 - H_0}{H_2 - H_0}\right) \frac{Lb}{4H_0(t_2 - t_1)}}{\dots} \quad (26)$$

2) 矩形围井降水头围井试验按公式(27)计算  $k_t$  值:

$$\begin{aligned} \text{当 } H_0 \leq 0 \text{ 时: } & k_t = \frac{1}{\pi} \frac{1}{L L'} \frac{L L'}{2 H_0 (L L') (t_2 - t_1)} ; \\ \text{当 } H_0 > 0 \text{ 时: } & k_t \ln \frac{(H_1 - H_0)(H_2 - H_0)}{(H_1 - H_0)(H_2 - H_0) + 2 H_0 (L L') (t_2 - t_1)} \dots\dots\dots (27) \end{aligned}$$

3) 圆形围井降水头围井试验按公式(28)计算  $k_t$  值:

$$\begin{aligned} \text{当 } H_0 \leq 0 \text{ 时: } & k_t = \frac{1}{\pi} \frac{1}{H} \frac{r b}{(t_2 - t_1)} ; \\ \text{当 } H_0 > 0 \text{ 时: } & k_t \ln \frac{(H_1 - H_0)(H_2 - H_0)}{(H_1 - H_0)(H_2 - H_0) + 2 H_0 (t_2 - t_1)} \frac{r b}{\dots\dots\dots (28)} \end{aligned}$$

式中:  
 $H_1$  ——注水试验开始水位至井底深度, cm;  
 $H_2$  ——注水试验终了水位至井底深度, 扣除蒸发量, cm;  
 $t_1$  ——试验开始时间读数, s;  $t_2$  ——试验终了时间读数, s;  
 $L、L'$  ——矩形围井长边和短边, cm。

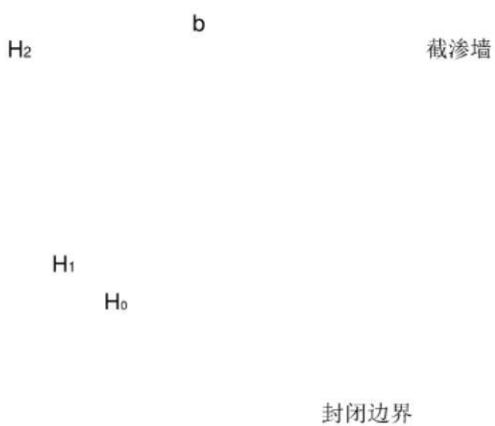


图 2 降水头围井试验计算简图

c) 取最后 2 组试验值的平均值作为水泥土截渗墙的渗透系数, 计算精确到  $0.1 \times 10^{-n} \text{cm/s}$ 。

7.2.5 记录

水泥土截渗墙围井试验记录格式如附录 B 表 B.13 和表 B.14。

7.3 水泥土截渗墙钻孔注水试验

7.3.1 本试验采用现场钻孔注水试验方法测定水泥土截渗墙的渗透性, 确定堤坝和基坑等工程的水泥土截渗墙渗透系数。

7.3.2 仪器设备包括如下几种:

- a) 钢直尺: 量程 100 cm, 最小分度值 1 mm;
- b) 钢卷尺: 量程 2500 cm, 最小分度值 1 mm;

- c) 温度计：最小分度值 0.5℃；
- d) 水位计：量程 1000 cm，最小分度值 1 mm；
- e) 其他：PVC 测压管、量筒、秒表、钻孔施工设备等。

7.3.3 试验应按以下步骤：

- a) 清除水泥石截渗墙上部覆盖层，暴露墙顶，整平试验场地，安放钻机，将钻头垂直对准墙体中心，墙体厚度方向钻孔位置允许偏差 0.5 cm，垂直度偏差不大于 0.5%；试验孔应采用金刚石钻头钻进，孔壁应平直光滑，孔内残留芯样与余渣应打捞干净，孔壁应清洗，孔口应保护；
- b) 钻孔注水试验前，观测截渗墙上、下游水位；
- c) 孔底距截渗墙底部距离宜为 0.5 m~1.0 m，钻孔最大深度不宜超过 10 m；
- d) 试段注入清水后，保持 24 h 水位稳定使之饱和；
- e) 常水头试验时，使孔口水位高出地下水位一定高度，并保持固定不变，用量筒（桶）注入流量。量测经过时间和注入流量，开始每隔 30 min 量测 1 次，连续量测 5 次；以后每隔 2 h 量测 1 次，并至少连续量测 6 次。当连续 2 次量测的注入流量之差不大于最后一次注入流量 10% 时，试验即可结束；
- f) 降水头试验时，使孔口水位高出地下水位一定高度，将孔口水位作为初始水头值。试验开始后，按 5 min、10 min、30 min、60 min、2 h、4 h.....，总观测时间不宜少于 48 h，且有效观测数据不少于 10 组。

7.3.4 试验成果整理及计算应按下列规定：

- a) 钻孔常水头注水试验计算简图如图 3 所示，渗透系数按公式(29)计算：

$$k_t = \frac{Q \ln \frac{2b}{r}}{(H^2 - H_0^2)} \dots\dots\dots (29)$$

式中：

- Q——渗透流量，cm<sup>3</sup>/s；
- b——水泥石截渗墙平均厚度，cm；
- r——钻孔半径，cm；
- H——孔口水位至孔底高度，cm；
- H<sub>0</sub>——地下水位至孔底高度，cm；地下水位低于等于试段底部时 H<sub>0</sub> = 0。

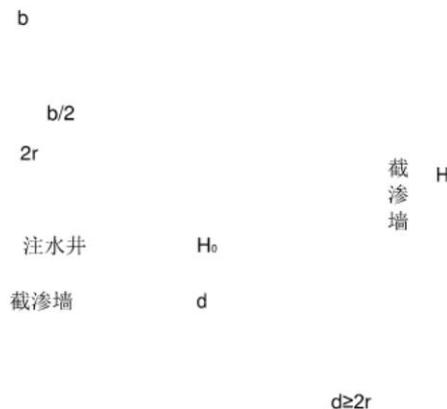


图 3 钻孔常水头注水试验计算简图

b) 钻孔降水头注水试验计算简图如图 4 所示，渗透系数应按公式(30)和公式(31)计算：

1) 墙外无水时 ( $H_0 \leq 0$ ) :

$$k_t = \frac{1}{H_2} \frac{1}{H} \frac{r^2 \ln \frac{2b}{r}}{t_2 - t_1} \dots\dots\dots (30)$$

式中：

$H_1$  ——孔口开始水位，

cm;  $H_2$  ——孔口终了水

位，cm;  $t_1$  ——开始时间，

s;  $t_2$  ——终了时间，s。

2) 墙外有地下水时 ( $H_0 > 0$ ) :

$$k = \ln \frac{(H_2 - H_0)(H_1 - H_0)}{(H_2 + H_0)(H_1 + H_0)} \frac{r \ln \frac{2b}{r}}{2H_0(t_2 - t_1)} \dots\dots\dots (31)$$

式中：

式中符号意义同公式(29)和公式(30)。

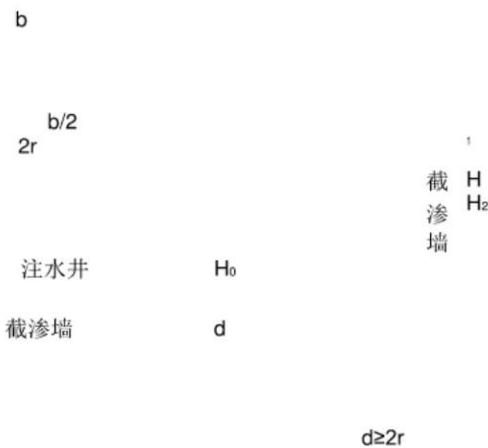


图 4 钻孔降水头注水试验计算简图

c) 取最后 2 组试验值的平均值作为水泥土截渗墙的渗透系数，计算精确到  $0.1 \times 10^{-n}$  cm/s。

7.3.5 记录及绘图

7.3.5.1 钻孔注水常水头试验记录格式如附录 B 表 B.15；以渗透流量 Q 为纵坐标，时间 t 为横坐标，绘制渗透流量与时间关系曲线。钻孔注水降水头试验记录格式如附录 B 表 B.16。

7.3.5.2 地下水位位于钻孔底部以下时，以  $\frac{1}{H_2} \frac{1}{H}$  为纵坐标，时间 t 为横坐标，绘制  $\frac{1}{H_2} \frac{1}{H}$

与时间关系曲线，如附录 B 图 B.7，当  $\frac{1}{H_2} \frac{1}{H} \sim t$  关系曲线呈线性时终止试验。

7.3.5.3 地下水位位于钻孔底部以上时，以  $\ln \frac{(H_2 - H_0)(H_1 - H_0)}{(H_2 - H_1)(H_0 - H_1)}$  为纵坐标，时间  $t$  为横坐标，绘制  $\ln \frac{(H_2 - H_0)(H_1 - H_0)}{(H_2 - H_1)(H_0 - H_1)} \sim t$  关系曲线呈线性时终止试验。

8 水泥土截渗墙厚度及均匀性测试

8.1 水泥土截渗墙最小厚度测试

8.1.1 通过开挖探坑测量水泥土截渗墙桩心距，计算确定水泥土截渗墙最小厚度。适用于单头或多头小直径深层搅拌桩成型的水泥土截渗墙。

8.1.2 仪器设备包括如下几种：

- a) 钢卷尺：量程 1000 cm，最小分度值 1 mm；
- b) 其他：铲刀、开挖设备等。

8.1.3 测试应按以下步骤：

- a) 单侧开挖探坑，沿墙体轴线方向长度宜为 3 m~6 m，暴露墙体净高宜为 2 m~3 m；
- b) 清除墙体表面土体，使墙体每根相连的桩体清晰可见；
- c) 测量并记录相邻两桩桩心距，测量精度 1 mm。

8.1.4 测试成果整理及计算应按下列规定：

- a) 任意相邻两根桩墙体最小厚度按公式(32)计算：

$$S_i = d^2 / l_i \quad \dots\dots\dots (32)$$

式中：

- $S_i$  ——第  $i$  组相邻两根桩墙体最小厚度，mm；
- $d$  ——实际桩体直径，mm；
- $l_i$  ——第  $i$  组相邻两桩桩心距，mm。

- b) 平均最小厚度按公式(33)计算：

$$S = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n S_i \quad \dots\dots\dots (33)$$

式中：

- $n$  ——总检测桩根数；
- $S$  ——平均最小厚度，mm。

c) 水泥土截渗墙最小厚度计算精确至 1 mm。

8.1.5 记录

水泥土截渗墙最小厚度测试记录格式如附录 B 表 B.17。

8.2 探地雷达法测试水泥土截渗墙均匀性

8.2.1 采用探地雷达法检测水泥土截渗墙的均匀性和质量缺陷。

8.2.2 仪器设备包括如下几种：

- a) 探地雷达：由主机和发射接收天线两部分组成。天线发射频率应根据探测目的体介质特性、深度、探测精度等综合因素选用；

- b) 卷尺：量程 100 m，最小分度值 1 cm。

### 8.2.3 测试应按以下步骤：

- a) 沿墙体轴线方向布置探地雷达测线，卷尺距墙体轴线约 1.5 m；
- b) 水泥石截渗墙测线经过的表面应相对平缓，无障碍，天线易于移动；
- c) 现场探测时应清除或避开测线附近的金属物、高压线和通讯线等设施；
- d) 天线操作人员不应佩戴含有金属成分物件，并应与工作天线保持相对固定的距离；
- e) 观测过程中应保持工作天线的平面与探测面基本平行，距离相对一致；
- f) 连接天线，打开主机，检查仪器，确定系统工作是否正常。仪器信号增益应保持信号幅值不超出监视窗口的 3/4；
- g) 连续测量时，应先进行点测与连续测量对比试验，并选定连续测量效果与点测效果相近的天线移动速率。天线的移动速度应均匀，并与仪器的扫描率相匹配；
- h) 平行于墙体轴线方向，距离墙体 1.5 m~4.0 m，布置一条 50 m~100 m 的测线，采用相同参数进行测量，测量结果作为水泥石截渗墙检测背景对比资料；
- i) 测量记录标注应与测线桩号一致。

### 8.2.4 数据处理、成果图件、资料解释及成果验证应按下列规定：

- a) 数据处理：
  - 1) 数据处理应根据现场情况和截渗墙状态，选择以下几种处理方式：水平归一化和增益调整、地形校正、频率滤波、 $f\sim k$  倾角滤波与反褶积处理等；
  - 2) 在数据处理各阶段均可选择频率滤波，消除某一频段的干扰波；
  - 3) 通过现场异常复核，筛选干扰异常；
  - 4) 应在原始图像上通过反射波波形及能量强度等特征判断、识别和筛选异常；
  - 5) 可通过数据处理对强反射波和强吸收波同相轴进行追踪，或利用异常的宽度及反射旅行时等参数，计算异常体的平面延伸范围和埋深。
- b) 成果图件及资料解释应符合下列要求：
  - 1) 水泥石截渗墙雷达成果图件应符合 SL 326 的规定；
  - 2) 图件应包括水泥石截渗墙纵雷达剖面图像、水泥石截渗墙雷达墙体成果解释剖面图；
  - 3) 雷达连续测量时可绘制墙体灰度或色谱图像，水泥石截渗墙雷达剖面图像可标注有异常的部位。雷达图像应标注测线号、桩号、深度及时间；
  - 4) 水泥石截渗墙雷达成果解释剖面图应绘制分层界线、异常中心、范围、延伸方向等。
- c) 成果及验证
  - 1) 应依据水泥石截渗墙雷达剖面图，对图像异常形态、波形特征、反射波频率、相位和连续性等特征进行判断，并确定截渗墙缺陷位置和范围；
  - 2) 对水泥石截渗墙雷达成果解释图所标注的异常区，可采取开挖探坑或钻孔取芯验证。

### 8.2.5 记录及制表

——探地雷达法探测水泥石截渗墙质量野外记录格式如附录 B 表 B.18；

——异常情况汇总表记录格式如附录 B 表 B.19。

## 8.3 高密度电法测试水泥石截渗墙均匀性

### 8.3.1 采用高密度电法检测水泥石截渗墙的均匀性和质量缺陷。

### 8.3.2 仪器设备包括以下几种：

- a) 测量主机：主要技术指标为测量电压分辨率为 0.01 mV、测量电流分辨率为 0.01 mA、最大补偿范围为  $\pm 1$  V、输入阻抗不小于 8 M $\Omega$ 、最大供电电压不小于 400 V、最大供电电流不小于 3 A；

- b) 数据采集及处理系统：包括测量参数（供电电流、电位）、采集参数(电阻率、极化率)和计算参数（视电阻率、自然电位、装置参数）等；
- c) 其他：多通道分布式电缆、多路电极转换器、电极、高压电源和低压电源等。

8.3.3 参数要求：

a) 测量装置模式

根据现场水泥土截渗墙设计施工情况，可选择对称四极（施伦贝格尔）装置、温纳电阻率装置、温纳极化率装置、β装置、微分装置等。选择测量装置视探测深度、探测精度和现场条件决定，宜选用对称四极和温纳电阻率装置，四个电极排列为A、M、N、B，其中M、N为测量电极，A、B为供电电极。

b) 装置系数

温纳电阻率装置系数  $K_w$  按公式(34)计算： $AM = MN = NB = n \times a$ ，对称等距排列，距比  $c = a/b$ ，可选测深  $b$  与电极距相同。

$$K_w = \frac{AM \cdot AN}{MN} \dots \dots \dots (34)$$

式中：

$AM$ 、 $MN$ 、 $NB$ ——电极距长度，m；

$a$ ——电极距，m；

$n$ ——层位数。

对称四极装置系数  $K_{4\rho}$  按公式(35)计算：

——  $AM = NB = n \times a$ ；

——  $MN = a$ 。

$$K_{4\rho} = \frac{AM \cdot AN}{MN} \dots \dots \dots (35)$$

8.3.4 测试应按以下步骤：

- a) 应根据装置的形式、电极排列数量、探测深度、探测精度等，确定电极距。水泥土截渗墙探测电极距宜为 1 m~2 m；
- b) 根据电极距  $a$  及需探测深度确定层位数  $n$ ；
- c) 沿水泥土截渗墙轴线方向布置测线。测线不能有地形、地物、植物、强电磁等干扰影响；
- d) 将电极打入地面，电极夹依次对应与电缆接好，保证电极与地面、电极与电缆接触良好；
- e) 在确保测试高压电源关闭情况下，电缆接入仪器，然后按正负极接通低压电源；
- f) 测量时，先开主机再接高压电源，关机则顺序相反；
- g) 电极距小或被测介质电阻率较小时，供电电压不易过高，以防仪器损坏；随着电极距增大，供电电压相应升高；
- h) 打开主机自检，电极转换器自检，对各电缆各通道逐一检查；
- i) 检查电缆连接和电极接地情况，若存在接触不良、漏电、短路等问题，应及时排除故障；
- j) 每次测试完成后，立即存储数据，记录工程名称、设置参数、记录各电极的接地电阻值、测线名称、日期；
- k) 现场应收集水泥土截渗墙上下游地下水位资料；
- l) 平行于墙体轴线方向，距离墙体 1.5 m~4.0 m，布置一条 50 m~100 m 的测线，采用相同参数进行测量，测量结果作为水泥土截渗墙检测背景对比资料；
- m) 具体操作除符合上述要求外，还应符合 SL 326 的规定和仪器操作说明书。

8.3.5 数据处理及成图应按下列规定：

- a) 记录工程名称、测线名、桩号、测量装置模式、参数设置、日期等；
- b) 记录各测点的视电阻率或视极化率；
- c) 将测量结果输入到数据处理软件进行反演运算和成图；

- d) 绘制高密度电法水泥土截渗墙纵剖面图像、成果解释剖面图；
- e) 除符合上述要求外，还应符合 SL 326 的规定。

#### 8.3.6 资料解释及探测结果应按下列规定：

- a) 应对地下水位以上剖面局部呈高阻、地下水位以下剖面局部呈现低阻进行分析和解释；
- b) 依据异常位置和范围确定墙体质量缺陷位置和范围；
- c) 提供水泥土截渗墙剖面图和综合成果解释图；
- d) 对异常部位，可采取开挖探坑或钻孔取芯验证。

#### 8.3.7 记录及制表

高密度电法探测水泥土截渗墙质量野外记录格式如附录 B 表 B.20，高密度电法探测水泥土截渗墙墙体异常情况汇总表记录格式如附录 B 表 B.21。

附录 A  
(规范性附录)  
水泥土配合比设计

A.1 水泥土配合比设计的基本原则

A.1.1 水泥土配合比设计，应根据设计、施工及地层条件要求，确保水泥土截渗墙工程质量且经济合理。

A.1.2 水泥土配合比设计要求：

- a) 根据工程设计要求、水泥土截渗墙型式、地质条件和施工机械，配制出既满足渗透和强度要求，又经济合理的水泥土，以此确定水泥和水的掺入量；
- b) 在满足渗透要求的前提下，还必须满足强度变形要求；
- c) 在满足渗透、强度变形要求下，选用合适的水泥掺入比；
- d) 在满足水泥土截渗墙搅拌均匀前提下，选用合适的水灰比；
- e) 宜选用颗粒粒径小于 20 mm 的土料。

A.1.3 水泥土配合比设计主要步骤：

- a) 根据设计要求水泥土渗透性和强度选定水泥掺入比；
- b) 根据工程地层条件和施工机具，按土壤液限含水率选择水灰比；
- c) 采用单位体积质量比法和质量比法计算水泥掺入比；
- d) 通过试验室试配和必要的现场调整，确定水泥掺入比和水灰比。

A.1.4 进行水泥土配合比设计时，应收集工程地质土层、地下水、腐蚀性、可溶盐等方面资料；并按有关标准对土料进行液塑限、颗粒大小、密度、含水率、抗剪强度等方面试验；同时对水泥、外加剂、拌和用水等进行检验。

A.1.5 进行水泥土配制设计时，明确设计要求和施工条件：

- a) 水泥土设计渗透性指标；
- b) 水泥土设计强度及其他设计指标；
- c) 现场工程地质条件，包括地下水、土层分布及土的性质；
- d) 水泥土截渗墙施工机械。

A.2 水泥土配制渗透系数和强度的确定

A.2.1 水泥土配制应首先满足渗透系数设计要求，其次满足抗压强度设计要求。水泥土试样成型和养护应符合 4.1 和 4.3 的规定，单轴抗压强度试验和渗透试验应符合 6.1 和 7.1 的规定。A.2.2 水泥土配制渗透系数按公式(A.1)计算：

$$k_0 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i, \text{ 其中 } k_{i\max} \leq k_k \dots\dots\dots (A.1)$$

式中：

- $k_0$  —— 配制水泥土的渗透系数，cm/s；
- $k_i$  —— 第 i 个水泥土试样渗透系数，cm/s；
- $k_{i\max}$  —— 水泥土渗透系数最大值，cm/s；

$k_k$  —— 设计要求的渗透系数, cm/s;

$n$  —— 试样个数。

A.2.3 水泥土配制强度 (单轴抗压试验) 按公式(A.2)计算:

$$q_{u0} \geq q_{uk} + t S_f \dots\dots\dots (A.2)$$

式中:

$q_{u0}$  —— 水泥土配制抗压强度, MPa;

$q_{uk}$  —— 水泥土设计抗压强度, MPa;

$t$  —— 保证率系数, 取 1.645;

$S_f$  —— 水泥土抗压强度标准差, MPa。

A.2.4 水泥土配制渗透系数和抗压强度统计方法:

a) 统计时, 水泥土渗透试验和抗压强度试验样本数量均不少于 6 组;

b) 水泥土渗透系数允许偏差为  $2 \times 10^{-6}$  cm/s, 若大于则剔除, 重新统计。水泥土配制的渗透系数统计值要满足公式(A.1)要求;

c) 水泥土抗压强度标准差  $S_f$  按公式(A.3)计算:

$$S_f = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (q_{ui} - q_{um})^2 \dots\dots\dots (A.3)$$

式中:

$q_{ui}$  —— 第  $i$  组试样抗压强度, MPa;

$q_{um}$  ——  $n$  组试样的抗压强度平均值, MPa。

d) 若水泥土抗压强度值与抗压强度平均值之差大于  $1.645 S_f$ , 则剔除, 重新统计。

### A.3 水泥土配合比计算

A.3.1 水泥土配合比计算应以天然土料为基准, 由不同土质和地下水条件确定加水量, 宜选择 5~7 种水泥掺入比, 配制水泥土试样, 进行室内渗透和抗压强度试验。 A.3.2 水泥掺入比计算方法:

a) 单位体积质量比

加固  $1 \text{ m}^3$  土体所需的水泥质量与土体质量之比, 水泥掺入比按公式(A.4)计算

$$w = \frac{m_c}{m} \times 100 \dots\dots\dots (A.4)$$

式中:

$w$  —— 水泥掺入比, %;

$\rho$  —— 被加固土  $1 \text{ m}^3$  的土体质量,  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;

$m_c$  —— 加固 (搅拌)  $1 \text{ m}^3$  土体所需的水泥掺入量,  $\text{kg}/\text{m}^3$ 。

b) 质量比法

掺入水泥质量与湿土质量之比, 水泥掺入比按公式(A.5)计算

$$w = \frac{m_c}{m} \times 100 \dots\dots\dots (A.5)$$

式中:

$w$  —— 水泥掺入比, %;

$m_c$  —— 水泥掺入量, kg;

$m$  —— 湿土质量, kg。

**A.3.3 加水量计算方法:**

a) 粘性土

适用于塑性指数  $Ip > 6$  的粘性土。根据 SL 237-007 中界限含水率试验方法, 取圆锥入土深度 17 mm 时对应的含水率为液限。

加固土增加的含水率  $W$  计算按公式(A.6)和公式(A.7)计算如下:

1) 地下水位以下:

$$W = w_L - w \dots\dots\dots (A.6)$$

2) 地下水位以上:

$$W > w_L - w \dots\dots\dots (A.7)$$

式中:

$w_L$  —— 加固土的液限, %;

$w$  —— 加固土的天然含水率, %。

3) 加水量  $m_w$  按公式(A.8)计算:

$$m_w = m \frac{0.01(w_L - w)}{1 - 0.01w} \dots\dots\dots (A.8)$$

式中:

$m_w$  —— 水的质量, kg。

b) 砂土

砂土加水量按水泥浆液流动性控制。

**A.3.4 水泥浆水灰比计算方法:**

水泥浆水灰比(W/C)是水和水泥的质量之比。

a) 粘性土水灰比

根据加水量和水泥掺入量, 计算水灰比。

b) 砂性土水灰比

砂性土视含水率而定, 应满足能充分搅拌且不漏浆。

**A.3.5 外加剂:**

- a) 膨润土, 增加浆液流动性;
- b) 石膏具有缓凝作用, 有利于搅拌施工, 石膏掺入量为水泥用量 2%;
- c) 木钙主要起减水作用, 以增加水泥浆液的稠度, 便于泵送, 木钙掺入量为水泥 0.2%。

**A.4 水泥石配合比的试配、调整和确定**

**A.4.1 水泥石配合比的试配及调整**

a) 水泥掺入比

根据水泥石渗透系数和抗压强度设计要求，预估一种水泥掺入比，按依次相差约 2% 选择一组水泥掺入比，其中分别有 2~3 种水泥掺入比大于和小于选定值，1 种为预估水泥石掺入比。

b) 水灰比

按计算的土、水和水泥掺入量进行混合搅拌，首先应检验水泥石的流动性，如果流动性过大或有水析出，则减少用水量；如果水泥搅拌不充分，流动性差，则增大用水量。

**A.4.2 水泥石配合比的确定**

- a) 将试配的水泥石养护至 28 d 龄期，进行室内渗透试验，确定室内试验满足设计要求渗透系数的水泥掺入比。
- b) 根据水泥石渗透试验所确定的水泥掺入比的最小值作为界限值，选取大于该界限值的所有水泥石试样进行单轴抗压强度试验。确定室内试验满足设计要求渗透系数和强度要求的水泥掺入比，并最终确定水泥石掺入比。

附 录 B  
(资料性附录)  
试验数据记录表及绘图

表 B.1 室内水泥土试样成型记录表

工程名称 \_\_\_\_\_ 风干土含水率 \_\_\_\_\_ %  
 委托单位 \_\_\_\_\_ 土料液限 \_\_\_\_\_ %  
 水泥型号 \_\_\_\_\_ 成型日期 \_\_\_\_\_  
 天然土含水率 \_\_\_\_\_ 龄 期 \_\_\_\_\_ d

试样 编 号	水泥土材料用量			水泥土拌和物 配合比		几何尺寸 mm		试样 质量 g	试样 描述	养护 方式	备 注
	风干土 g	水泥 g	水 g	水泥掺入比 %	水灰比 W/C	直径	高度				

操作者 \_\_\_\_\_ 记录者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

表 B.2 水泥土截渗墙体取样加工成型记录表

工程名称 \_\_\_\_\_ 现场取样方式 \_\_\_\_\_  
 委托单位 \_\_\_\_\_ 龄 期 \_\_\_\_\_  
 现场取样位置 \_\_\_\_\_ 成型日期 \_\_\_\_\_

试样 编 号	取样 深度 m	水泥 掺入比 %	水灰比 W/C	几何尺寸 mm		试样 质量 g	试样 描述	养护 方式	备 注
				直径	高度				

操作者 \_\_\_\_\_ 记录者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

表 B.3 水泥土试样养护和管理记录表

工程名称 \_\_\_\_\_ 室内拌和制备日期 \_\_\_\_\_  
 委托单位 \_\_\_\_\_ 水泥掺入比 \_\_\_\_\_  
 送样日期 \_\_\_\_\_ 水灰比 \_\_\_\_\_  
 现场取样位置 \_\_\_\_\_ 养护室温度 \_\_\_\_\_  
 室内加工试样日期 \_\_\_\_\_ 养护室湿度 \_\_\_\_\_

样品编号	入库日期	出库日期	试验项目	放置位置	成型方法	样品描述	备注

送样人 \_\_\_\_\_ 取样人 \_\_\_\_\_ 管理人 \_\_\_\_\_

表 B.4 水泥土含水率试验记录表（烘干法）

工程名称 \_\_\_\_\_ 水灰比 \_\_\_\_\_  
 委托单位 \_\_\_\_\_ 试样养护方法 \_\_\_\_\_  
 试样制备方法 \_\_\_\_\_ 试样龄期 \_\_\_\_\_  
 水泥掺入比 \_\_\_\_\_ % 试验日期 \_\_\_\_\_

试样编号	盒号	盒质量 g	盒加湿水 泥土质量 g	盒加干水 泥土质量 g	水分 质量 g	干水泥 土质量 g	含水率 %	平均 含水率 %	备注

试验者 \_\_\_\_\_ 计算者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

表 B.5 饱和吸水率试验记录表（真空抽气法）

工程名称 \_\_\_\_\_ 水灰比 \_\_\_\_\_  
 委托单位 \_\_\_\_\_ 试验项目 \_\_\_\_\_  
 试样说明 \_\_\_\_\_ 试样龄期 \_\_\_\_\_  
 水泥掺入比 \_\_\_\_\_ 试验日期 \_\_\_\_\_

试样编号	试样饱和后质量 g	试样烘干后质量 g	饱和吸水率 %	试样外观描述	备注

试验者 \_\_\_\_\_ 计算者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

表 B.6 水泥土密度试验记录表（量积法）

工程名称 \_\_\_\_\_ 水灰比 \_\_\_\_\_  
 委托单位 \_\_\_\_\_ 试样龄期 \_\_\_\_\_ d  
 试样制备方法 \_\_\_\_\_ 试样养护方法 \_\_\_\_\_  
 水泥掺入比 \_\_\_\_\_ % 试验日期 \_\_\_\_\_

试样 编号	几何尺寸 mm		试样质量 g			密度 g/cm <sup>3</sup>	平均密度 g/cm <sup>3</sup>	备注
	直径	高度	现场 取样	室内 制备	抽气 饱和			

试验者 \_\_\_\_\_ 计算者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

表 B.7 水泥土拌和物表观密度试验记录表

工程名称 \_\_\_\_\_ 水泥掺入比 \_\_\_\_\_  
 委托单位 \_\_\_\_\_ 水灰比 \_\_\_\_\_ d  
 土的工程分类 \_\_\_\_\_ 试验日期 \_\_\_\_\_

试样 编号	拌和物及容量 筒总质量 kg	容量筒质量 kg	容量筒容积 L	拌和物表观密度 g/cm <sup>3</sup>	拌和物含气量 %	备注

试验者 \_\_\_\_\_ 计算者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

表 B.8 水泥石单轴抗压强度试验记录表

工程名称 \_\_\_\_\_ 水灰比 \_\_\_\_\_  
 委托单位 \_\_\_\_\_ 试样龄期 \_\_\_\_\_  
 试样编号 \_\_\_\_\_ 试样状态 \_\_\_\_\_  
 水泥掺入比 \_\_\_\_\_ % 试验日期 \_\_\_\_\_

试验前试样高度	cm	试验前试样直径	cm	试样破坏情况描述	
试验前试样面积	cm <sup>2</sup>	试样饱和质量	g		
试样饱和密度	g/cm <sup>3</sup>	加荷速率	mm/min		
试验序号	轴向变形 0.01mm	轴向应变 %	校正后面积 cm <sup>2</sup>	轴向荷载 kN	轴向应力 MPa

试验者 \_\_\_\_\_ 计算者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

表 B.9 水泥石单轴压缩变形试验记录表

工程名称 \_\_\_\_\_ 水灰比 \_\_\_\_\_  
 委托单位 \_\_\_\_\_ 试样龄期 \_\_\_\_\_  
 试样编号 \_\_\_\_\_ 试样状态 \_\_\_\_\_  
 水泥掺入比 \_\_\_\_\_ % 试验日期 \_\_\_\_\_

试验前试样高度	cm	试验前试样直径	cm	试样破坏情况描述					
试验前试样面积	cm <sup>2</sup>	试样饱和质量	g						
试样饱和密度	g/cm <sup>3</sup>								
试验序号	轴向变形 0.01 mm	轴向应变 %	校正面积 cm <sup>2</sup>	侧向变形 0.01 mm			侧向应变 %	轴向荷载 kN	轴向应力 MPa
				1	2	平均值			

试验者 \_\_\_\_\_ 计算者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

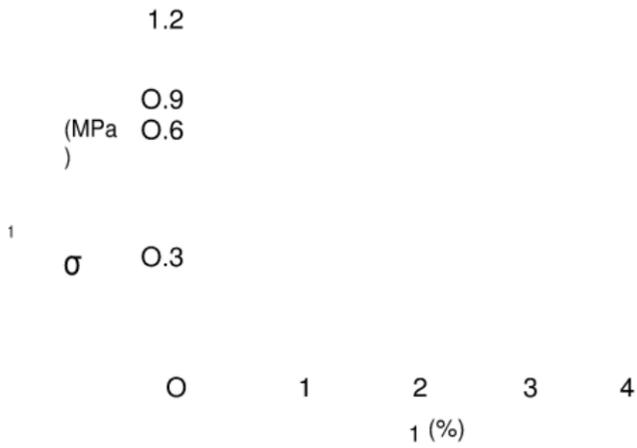


图 B.1 混凝土单轴抗压强度试验应力-应变关系曲线

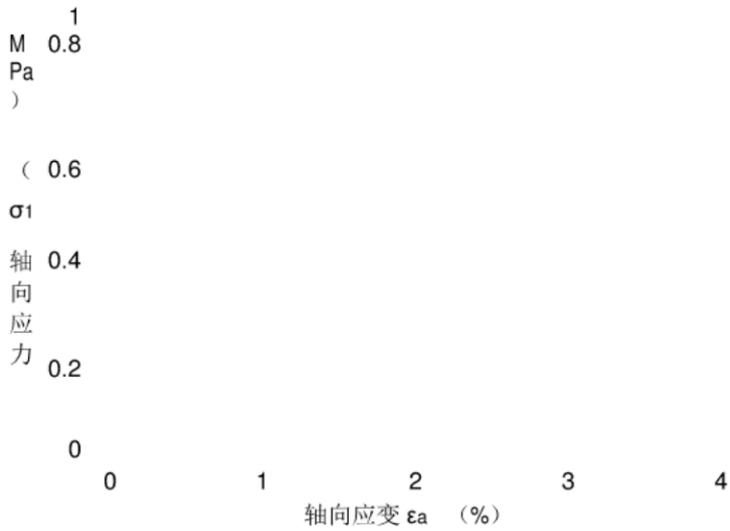


图 B.2 混凝土单轴压缩变形试验轴向应力-轴向应变关系曲线

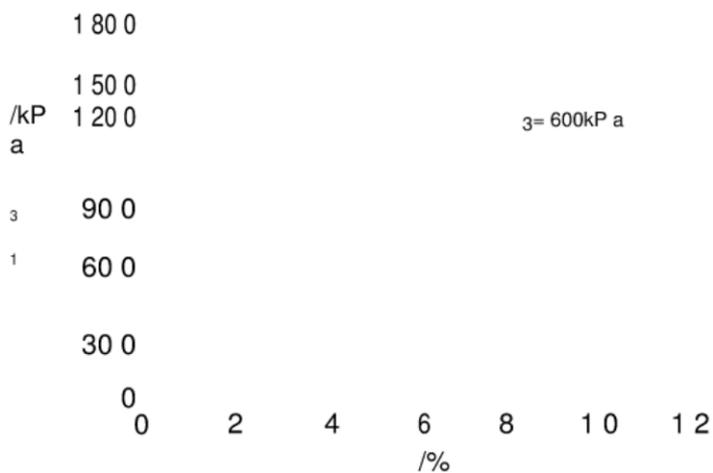


图 B.3 主应力差-轴向应变关系曲线

表  
B.10 水泥土三轴压缩试验记录表

试样编号 \_\_\_\_\_

工程名称 \_\_\_\_\_ 水灰比 \_\_\_\_\_

委托单位 \_\_\_\_\_ 养护方法 \_\_\_\_\_

试样制备方法 \_\_\_\_\_ 水泥掺入比 \_\_\_\_\_ %

试样龄期 \_\_\_\_\_ 试验日期 \_\_\_\_\_

(1) 试样状态记录表			(2) 试样反压饱和				
试样参数	初始值	固结后	周围压力 MPa	反压力 MPa	孔隙水压力 MPa	孔隙压力增量 MPa	
直径 mm							
高度 mm							
面积 cm <sup>2</sup>							
体积 cm <sup>3</sup>			(3) 试样固结排水				
质量 g							
密度 g/cm <sup>3</sup>			周围压力 MPa	孔隙水压力 MPa	经过 时间 min	量管 读数 cm <sup>3</sup>	排水量 ml
饱和密度 g/cm <sup>3</sup>							
饱和度 %							

试验者 \_\_\_\_\_ 计算者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

表  
B.11 水泥土三轴压缩试验记录表

试样编号 \_\_\_\_\_ 固结后面积 \_\_\_\_\_ cm<sup>2</sup>

周围压力 \_\_\_\_\_ MPa 剪切方式 \_\_\_\_\_

初始孔隙水压力 \_\_\_\_\_ MPa 剪切速率 \_\_\_\_\_ mm/min

固结下沉量 \_\_\_\_\_ cm 试验日期 \_\_\_\_\_

试 验 序 号	轴向变 0.01mm	轴向 应变 %	校正 面积 cm <sup>2</sup>	主应 力差 MPa	孔隙 压力 MPa	量管 读数 cm <sup>3</sup>	排 水 量 cm <sup>3</sup>	体 应 变 %	侧 应 变 %	3			备注	
										2 MPa	2 MPa	2 MPa		

注：该表可用 UU、CU、CU 和 CD 试验记录。

试验者 \_\_\_\_\_ 计算者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

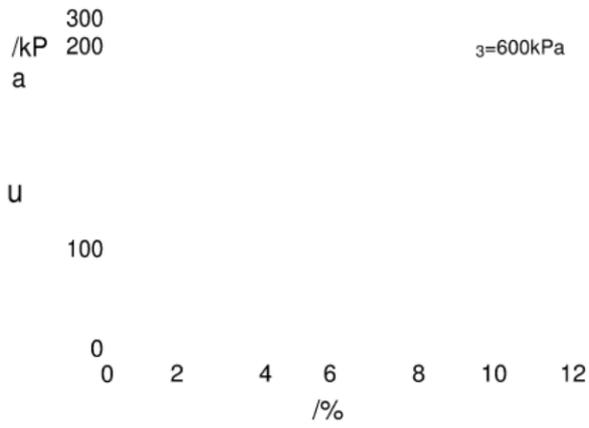


图 B.4 孔隙水压力-轴向应变关系曲线

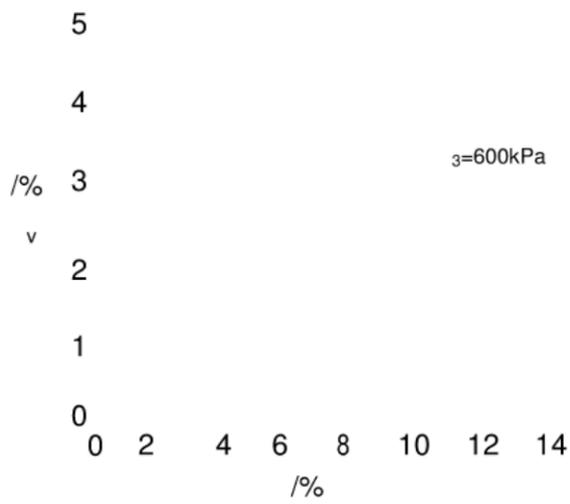


图 B.5 体积应变-轴向应变关系曲线

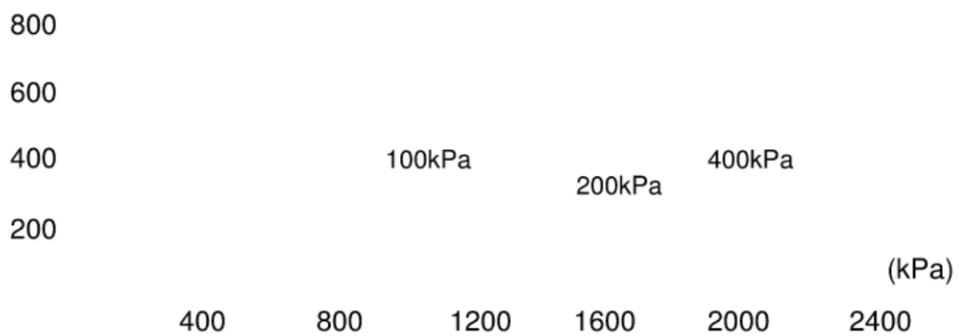


图 B.6 水泥土 CD 试验强度包线

表  
B.12 水泥土室内渗透试验记录表

试样编号 \_\_\_\_\_ 试样龄期 \_\_\_\_\_  
 工程名称 \_\_\_\_\_ 试样高度 \_\_\_\_\_ cm 水灰比 \_\_\_\_\_  
 委托单位 \_\_\_\_\_ 试样面积 \_\_\_\_\_ cm<sup>2</sup> 水泥掺入比 \_\_\_\_\_ %  
 试样制备方法 \_\_\_\_\_ 试样质量 \_\_\_\_\_ g 试验日期 \_\_\_\_\_

试验序号	试样周围压力 kPa	试样反压力 kPa	时间 s	水头差 cm	渗透水量 cm <sup>3</sup>	渗透系数 cm/s	水温 ℃	平均渗透系数 cm/s	备注

试验者 \_\_\_\_\_ 计算者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

表 B.13 水泥土截渗墙围井常水头试验记录表

工程名称 \_\_\_\_\_ 成墙施工方法 \_\_\_\_\_ 围井深度 \_\_\_\_\_ m  
 试验场地位置 \_\_\_\_\_ 设计桩径 \_\_\_\_\_ cm 注水饱和时间 \_\_\_\_\_  
 试验地层情况 \_\_\_\_\_ 围井轴线长度 \_\_\_\_\_ m 试验日期 \_\_\_\_\_  
 地下水位 \_\_\_\_\_ m 墙体平均厚度 \_\_\_\_\_ m 试验环境 \_\_\_\_\_

试验序号	试验时间					试验水位至井底深度 m	地下水至围井深度 cm <sup>3</sup>	单位时间注水量 cm <sup>3</sup> /s	蒸发量 cm <sup>3</sup> /s	水温 ℃	渗透系数 cm/s	备注
	日	时	分	秒	持续时间							

试验者 \_\_\_\_\_ 计算者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

表 B.14 水泥土截渗墙围井降水头试验记录表

工程名称 \_\_\_\_\_ 成墙施工方法 \_\_\_\_\_ 围井深度 \_\_\_\_\_ m  
 试验场地位置 \_\_\_\_\_ 设计桩径 \_\_\_\_\_ cm 注水饱和时间 \_\_\_\_\_  
 试验地层情况 \_\_\_\_\_ 围井轴线长度 \_\_\_\_\_ m 试验日期 \_\_\_\_\_  
 地下水位 \_\_\_\_\_ m 墙体平均厚度 \_\_\_\_\_ m 试验环境 \_\_\_\_\_

试验序号	试验时间					开始水位 cm	终了水位 cm	地下水位至围井底深度 cm	渗透流量 cm <sup>3</sup> /s	蒸发量 cm <sup>3</sup> /s	水温 ℃	渗透系数 cm/s	备注
	日	时	分	秒	持续时间								

试验者 \_\_\_\_\_ 计算者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

表 B.15 水泥石截渗墙钻孔常水头试验记录表

工程名称 \_\_\_\_\_ 墙体深度 \_\_\_\_\_ m 墙体平均厚度 \_\_\_\_\_ m  
 施工桩号 \_\_\_\_\_ 试段长度 \_\_\_\_\_ m 地下水位 \_\_\_\_\_ m  
 试验孔编号 \_\_\_\_\_ 水泥掺入比 \_\_\_\_\_ % 试验环境 \_\_\_\_\_  
 试验孔直径 \_\_\_\_\_ cm 水泥石龄期 \_\_\_\_\_ d 试验日期 \_\_\_\_\_

试验 序号	试验时间				试验 水位 cm	地下 水位 cm	注入 水量 cm <sup>3</sup>	单位时间注 水量 cm <sup>3</sup> /s	水温 ℃	渗透 系数 cm/s	备注
	日	时	分	持续 时间							

试验者 \_\_\_\_\_ 计算者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

表 B.16 水泥石截渗墙钻孔降水头注水试验记录表

工程名称 \_\_\_\_\_ 墙体深度 \_\_\_\_\_ m 墙体平均厚度 \_\_\_\_\_ m  
 施工桩号 \_\_\_\_\_ 试段长度 \_\_\_\_\_ m 地下水位 \_\_\_\_\_ m  
 试验孔编号 \_\_\_\_\_ 水泥掺入比 \_\_\_\_\_ % 试验环境 \_\_\_\_\_  
 试验孔直径 \_\_\_\_\_ cm 水泥石龄期 \_\_\_\_\_ d 试验日期 \_\_\_\_\_

试验 序号	试验时间				开始 水位 cm	终了 水位 cm	地下 水位 cm	渗透 流量 cm <sup>3</sup> /s	水温 ℃	渗透 系数 cm/s	备注
	日	时	分	持续 时间							

试验者 \_\_\_\_\_ 计算者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

图 B.7 钻孔降水头注水试验  $\ln \frac{H_1 - H_2}{H_1 - H_0} \sim t$  关系

图 B.8 钻孔降水头注水试验  $\ln \frac{(H_2 - H_0)(H_1 - H_0)}{(H_1 - H_2)(H_0 - H_2)} \sim t$  关系

表 B.17 水泥土截渗墙最小厚度测试记录表

工程名称 \_\_\_\_\_ 设计桩径 \_\_\_\_\_ cm 成墙施工方法 \_\_\_\_\_  
 施工桩号 \_\_\_\_\_ 探坑深度 \_\_\_\_\_ cm 水泥土龄期 \_\_\_\_\_ d  
 探坑编号 \_\_\_\_\_ 探坑长度 \_\_\_\_\_ cm 测试日期 \_\_\_\_\_  
 水泥掺入比 \_\_\_\_\_ %

测点	总桩心距 mm	相邻桩序号	桩心距 mm	墙体最小厚度 mm	平均最小厚度 mm	备注
		1-2				
		2-3				
		3-4				
		.....				

试验者 \_\_\_\_\_ 计算者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

表 B.18 探地雷达探测水泥土截渗墙现场记录表

工程名称 \_\_\_\_\_ 测面高程 \_\_\_\_\_ m  
 施工桩号 \_\_\_\_\_ 墙顶高程 \_\_\_\_\_ m  
 地下水位 \_\_\_\_\_ m 墙底高程 \_\_\_\_\_ m  
 发射天线工作频率 \_\_\_\_\_ MHz 测试日期 \_\_\_\_\_

序号	测线编号	起讫点桩号	测量长度	现场干扰情况	备注

试验者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

表 B.19 探地雷达探测墙体异常情况汇总表

工程名称 \_\_\_\_\_ 测面高程 \_\_\_\_\_ m  
 施工桩号 \_\_\_\_\_ 墙顶高程 \_\_\_\_\_ m  
 地下水位 \_\_\_\_\_ m 墙底高程 \_\_\_\_\_ m  
 发射天线工作频率 \_\_\_\_\_ MHz 测试日期 \_\_\_\_\_

施工桩号	测线编号	电磁波平均波速 m/ns	异常区域			判别类型	备注
			位置	水平方向 m	垂直方向 m		

试验者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

表 B.20 高密度电法探测水泥土截渗墙现场记录

工程名称 \_\_\_\_\_ 测面高程 \_\_\_\_\_ m  
 施工桩号 \_\_\_\_\_ 墙顶高程 \_\_\_\_\_ m  
 地下水位 \_\_\_\_\_ m 墙底高程 \_\_\_\_\_ m  
 工作电压 \_\_\_\_\_ V 测试环境 \_\_\_\_\_  
 测试日期 \_\_\_\_\_

序号	剖面 编号	起讫 桩号	装置 系数	极距 m	电极数 个	测量长度 m	各测点 情况	现场干扰 情况	备注

试验者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

表 B.21 高密度电法探测墙体异常情况汇总表

工程名称 \_\_\_\_\_ 测面高程 \_\_\_\_\_ m  
 施工桩号 \_\_\_\_\_ 墙顶高程 \_\_\_\_\_ m  
 地下水位 \_\_\_\_\_ m 墙底高程 \_\_\_\_\_ m  
 工作电压 \_\_\_\_\_ V 极距 \_\_\_\_\_  
 测试环境 \_\_\_\_\_ 测试日期 \_\_\_\_\_

施工 桩号	剖面 编号	均 值				异 常 值				异常区域			判别 类型	备注	
		$\Delta V$ M(v)	I M(A)	$\rho_s$ ( $\Omega.m$ )	$\bar{s}$ ( $\Omega.m$ )	$\Delta V$ Mv	I MA	$\rho_s$ $\Omega.m$	$\bar{s}$ $\Omega.m$	位置	水平 方向 mm	垂直 方向 m			面积 $m^2$

试验者 \_\_\_\_\_ 复核者 \_\_\_\_\_

DB34/T 1928—2013

安徽省地方标准

水利水电工程水泥土截渗墙试验测试规程

DB34/T 1928-2013

条文说明

## 目次

1 范围	42
3 术语和符号	42
4 水泥土试样制备	42
4.1 水泥土室内试样制备	42
4.2 水泥土截渗墙体试样加工制备	42
5 水泥土物理性质试验	42 5.1
水泥土含水率试验	42
5.2 水泥土饱和吸水率试验	43
5.3 水泥土密度试验	43
5.4 水泥土拌和物表观密度试验	43
6 水泥土力学性质试验	43
6.1 水泥土单轴抗压强度试验	43
6.2 水泥土单轴压缩变形试验	44
6.3 水泥土三轴压缩试验	44
7 水泥土截渗墙渗透性测试	44
7.1 水泥土室内渗透试验	44
7.2 水泥土截渗墙围井渗透试验	45
7.3 水泥土截渗墙钻孔注水试验	45
8 水泥土截渗墙厚度及均匀性测试	45
8.1 水泥土截渗墙最小厚度测试	45
8.2 探地雷达法测试水泥土截渗墙均匀性	46
8.3 高密度电法测试水泥土截渗墙均匀性	46 附
附录 A 水泥土配合比设计	46

## 1 范围

本条给出了本规程编制的宗旨，目的是实现我省水泥土截渗墙试验测试工作的标准化和规范化。编制单位在总结了国内外水泥土试验研究成果的基础上，开展了大量的试验研究工作，制定了本规程，以促进水泥土截渗墙技术的进一步推广应用。

本条规定了本规程的适用范围。主要试验测试方法包括水泥土物理力学性质试验、水泥土截渗墙渗透性测试、最小厚度测试、均匀性测试等方面内容。

## 3 术语和符号

本规程采用的术语和符号名称及其定义（或涵义），是根据下列原则确定的：

- a) 凡现行国家或水利水电行业标准已作规定者，一律加以引用，不再另行改名，也不再另行定义。
- b) 凡现行国家或水利水电行业标准尚未规定者，由本规程参照国际标准和国外先进标准给出其定义，或从水利水电工程的角度赋予其涵义，但涵义不等于术语的定义。

同时，本规程还给出了相应的英文术语，但有些英语术语在国际上尚未统一。在这种情况下，本规程采用的英语术语不一定与国外标准或指南相一致。

## 4 水泥土试样制备

### 4.1 水泥土室内试样制备

4.1.1 室内水泥土试样成型是水泥土物理、力学试验工作第一个质量环节。为保证试验成果的可靠性和试验数据的可比性，必须统一水泥土试样成型方法和操作程序。

4.1.2 本规程规定采用三开金属圆柱筒试模制备水泥土试样，高径比为 2:1。

研究成果表明：

- 1) 水泥土立方体试样上下加压板由于摩阻力约束，使破坏面穿过大主应力加载面，造成试样破坏剪应力偏大，即使在试样与加压板之间涂抹润滑剂，减少摩擦力，其作用不明显；
- 2) 棱柱体与立方体单轴抗压强度
 
$$q_u(\text{棱柱体, 高径比 } 2:1) = 0.80, \text{ 圆柱体与立方体 } \frac{q_u(\text{圆柱体, 高径比 } 2:1)}{q_u(\text{立方体})} = 0.79 \sim 0.81;$$
- 3) 由于水泥土强度较低若采用棱柱体和立方体，边角易缺损，易产生应力集中。参考混凝土圆柱体抗压强度、岩石抗压强度、土无侧限抗压强度等试验试样高径比，本规程采用水泥土试样高径比为 2:1 的圆柱体。

4.1.3 本规程要求水泥土拌和物装模时应采用人工插捣，防止水泥浆离析。

### 4.2 水泥土截渗墙体试样加工制备

墙体块状样和工程钻机所取芯样的几何尺寸不符合室内试验要求，为保证试验成果的准确性和可比性，必须统一水泥土墙体取样的成型方法。

## 5 水泥土物理性质试验

### 5.1 水泥土含水率试验

5.1.1 水泥土的含水率是试样在 105℃~110℃ 温度下烘至恒量时所失去的水的质量与水泥土干质量的比值，以百分数表示。

5.1.3 本试验采用称量控制，将试样反复烘干至称量达到恒量为止。

## 5.2 水泥石饱和吸水率试验

5.2.1 水泥石截渗墙在截渗工程中长期受到水力作用，而室内制备试样和现场取样加工的试验往往不是饱和状态。水泥石饱和吸水率是试件在强制状态下的最大吸水量与试件固体质量的比值，以百分数表示。

5.2.3 试件形态对水泥石吸水率的试验成果有影响，这和试件与水的接触面积大小有很大关系。本条规定了标准试样尺寸，保证试验成果精度。

## 5.3 水泥石密度试验

5.3.1 水泥石的密度是试样质量与试样的体积比值，其密度可分为天然密度、饱和密度和干密度。试验采用成型的水泥石标准试样，具有一定的强度，且不易变形，故水泥石密度试验采用量积法。

5.3.3 量积法可与水泥石力学试验共用一个试样，有利于建立指标之间的相互关系。

## 5.4 水泥石拌和物表观密度

5.4.1 水泥石拌和物表观密度是采用容量筒法，测定拌和物单位体积的质量。

5.4.2 由于土体颗粒粒径不大于 20 mm，故容量筒体积采用 5 L。

5.4.3 本条参照 SL 352 相关规定编写。

## 6 水泥石力学性质试验

### 6.1 水泥石单轴抗压强度试验

6.1.1 水泥石单轴抗压强度是试样在无侧限条件下承受的最大轴向应力。本试验采用直接压坏试件的方法求得水泥石单轴抗压强度，也可在进行水泥石单轴压缩变形试验的同时，测定水泥石单轴抗压强度。

6.1.3 为了确定水泥石强度试验加荷速率，编写组统计了土体、混凝土、砂浆、公路无机料和岩石等材料的强度试验加荷速率，见表 3。

表 3 不同材料强度试验加荷速率统计表

材料名称	试验项目	变形控制	应变控制	应力控制	总试验时间
土	直剪试验	0.8 mm~1.2 mm/min			3 min~5 min 完成
	三轴(UU)试验		0.5%~1.0%/min		15 min~30 min 完成
	无侧限抗压强度试验		1%~3%/min		8 min~10 min 完成
	承载比	1.0 mm~1.25 mm/min			
混凝土、砂浆	抗压强度			0.3 MPa~0.5 MPa/s	
公路无机料	抗压强度	1.0 mm/min			
岩石	三轴压缩、单轴抗压			0.5 MPa~1.0 MPa/s	

根据已收集资料，水利水电工程中水泥石单轴抗压强度介于 0.3 MPa~3.0 MPa，破坏应变介于 0.5%~2.0%，若采用表 3 中岩石、混凝土、砂浆等材料的加荷速率，历时过短，试验不便。参考土体与公路无机料强度试验，本规程加荷速率按每分钟 0.5%~1%轴向应变控制。

## 6.2 水泥土单轴压缩变形试验

6.2.1 水泥土单轴压缩变形试验是测定试样在单轴压缩条件下的轴向和横向应变值，据此计算水泥土弹性模量、割线模量和泊松比。

6.2.3 逐级一次连续加载方式在实际操作中较为繁琐，也可采用应变控制连续加载方式。‘

6.2.4 目前单轴抗压强度试验仪器，增加了一些新的测试技术，增加了位移传感器和荷载传感器，测试精度提高许多。美国 ASTM 及国际标准草案 ISO 1920-10-2010 及西欧国家，取应力 0~0.4 破坏荷载计算割线模量。本规程仍采用 0.5 破坏荷载时计算割线弹性模量。

6.2.5 从附录 B 图.2 可知，水泥土单轴试验应力~应变关系存在试样接触面和软化问题。

### a) 试样接触面问题

通过大量水泥土单轴压缩变形试验分析， $\sigma_1 \sim \varepsilon_1$  关系曲线初始应力时，应变增加很快，分析认为试样上、下两端接触面与水泥土不平整所致。对于存在这种现象的试验曲线，在资料处理时应将这部分应变剔除。

### b) 软化问题

水泥土单轴压缩变形试验  $\sigma_1 \sim \varepsilon_1$  关系曲线前期阶段是上升的，当应力达到某一峰值后曲线开始，随着应变继续增加，应力缓慢降低。在水泥土单轴压缩变形试验中普遍存在这种软化现象，所以在工程设计中应充分考虑水泥土软化问题。

## 6.3 水泥土三轴压缩试验

6.3.1 水泥土三轴压缩试验条件是侧压力相等（ $\sigma_2 = \sigma_3$ ）。根据摩尔—库仑破坏准则计算水泥土的凝聚力  $c$  和内摩擦角  $\varphi$ 。

6.3.2 试验表明，水泥土强度高于土体强度，水泥土三轴试验仪器所需的周围压力和轴向力等均大于土体三轴仪要求。

6.3.3 水泥土三轴压缩试验操作步骤参照 SL 237。

6.3.4 水泥土已有的三轴试验结果呈现如下特点：

### a) 强度特点

随着水泥增量增加， $c$ 、 $\varphi$  值增大；无围压或低围压下水泥土呈脆性破坏；随着围压增加，水泥土软化程度减弱，残余强度增加。

### b) 变形特点

低围压下，轴向破坏应变较小，试样体积存在剪胀现象；随着围压增加，轴向破坏应变增加，试样体积存在剪缩现象。

### c) 孔隙水压力

低围压下，孔隙水压力先增加后减少，试样剪胀使孔隙压力呈负值。

## 7 水泥土截渗墙渗透性测试

### 7.1 水泥土室内渗透试验

7.1.1 水泥土室内渗透试验采用三轴仪反压方法测定水泥土渗透系数，解决了试验需要较高水头差及侧壁止水问题。

7.1.3 试前要检查橡胶膜是否漏水。为增强止水效果，可在试样侧面涂抹凡士林。

试验研究表明，不同围压和反压测得水泥土渗透系数较一致，且测试精度满足要求。

例如：某工程水泥土截渗墙水泥土配制的试样水泥掺入比 12%，水灰比 1:1，试样直径 39.1 mm，高度 80 mm。采用不同围压和反压力渗透试验结果见表 4。

表 4 不同围压、反压下水泥土渗透试验结果（供参考）

试验编号	试样施加围压和反压情况 (kPa)	水头差 (cm)	试验比降	渗透水量 (cm <sup>3</sup> )	渗透时间 (s)	渗透流量 (cm <sup>3</sup> /s)	渗透系数 (cm/s)
1	$\sigma_3=50$ 、 $\sigma_v=20$	200	25.0	1.3	34500	$3.77 \times 10^{-5}$	$1.25 \times 10^{-7}$
2	$\sigma_3=70$ 、 $\sigma_v=40$	400	50.0	1.4	19400	$7.22 \times 10^{-5}$	$1.20 \times 10^{-7}$
3	$\sigma_3=100$ 、 $\sigma_v=70$	700	87.5	1.3	10500	$1.23 \times 10^{-4}$	$1.17 \times 10^{-7}$
4	$\sigma_3=200$ 、 $\sigma_v=150$	1500	187.5	1.5	5600	$2.68 \times 10^{-4}$	$1.19 \times 10^{-7}$
5	$\sigma_3=300$ 、 $\sigma_v=250$	2500	312.5	1.4	3100	$4.52 \times 10^{-4}$	$1.20 \times 10^{-7}$
6	$\sigma_3=400$ 、 $\sigma_v=350$	3500	437.5	1.5	2400	$6.25 \times 10^{-4}$	$1.19 \times 10^{-7}$

从表 4 可知，试样水头差  $H = 200$  cm，测量时间为 9 小时 35 分，当  $H = 3500$  cm 时，测量时间仅需要 40 分钟。在相同渗水量下，随着围压和反压的增加，测量时间减少。

7.1.4 试验研究表明，水泥土渗透性影响因素如下：

- 水泥掺入比越大，水泥土渗透系数越小；当水泥掺入比达到一个临界值后，渗透系数变化很小。
- 水泥土养护龄期越长，渗透系数越小。
- 水泥土搅拌均匀程度、添加剂等对水泥土渗透系数也有一定影响。

## 7.2 水泥土截渗墙围井渗透试验

7.2.1 采用现场围井试验测定水泥土截渗墙渗透性，为水泥土截渗墙设计指标、施工工艺和参数以及室内水泥土配合比提供依据。

7.2.3 围井试验底部应具备天然相对隔水层或人工隔水层，试验过程中宜采用相应设备测试现场水面蒸发量。围井面积不宜太小，否则影响试验测试结果，因此本规程规定围井试验面积不宜小于 4.5 m<sup>2</sup>。

7.2.4 将水泥土截渗墙围井视为不透水地基上直立边墙，利用哈尔内伊理论或杜布依近似公式，得出直立边墙渗透流量与出逸点高度无关的结论，推导出水泥土截渗墙围井试验常水头、不同围井形状的降水头渗透系数计算公式。

## 7.3 水泥土截渗墙钻孔注水试验

7.3.1 通过水泥土截渗墙钻孔注水试验测定水泥土截渗墙的渗透性。同时，钻孔所取芯样可用于室内试验。

7.3.3 水泥土截渗墙存在墙体倾斜，钻孔也存在垂直偏差等因素，所以钻孔过深易侧向打穿墙体，因此本规程规定钻孔注水试段长度不大于 10 m。

7.3.4 根据直立边墙渗透流量与出逸点高度无关，推导出常水头和降水头钻孔注水试验渗透系数计算公式。

7.3.5 为了检验现场钻孔注水试验资料准确性，提供现场试验终止条件，本规程给出判别方法。

## 8 水泥土截渗墙厚度及均匀性测试

### 8.1 水泥土截渗墙最小厚度测试

开挖探坑除测试水泥土截渗墙最小厚度外，还可以检查墙体完整性和均匀性，对墙体是否存在质量缺陷进行描述和评价。

## 8.2 探地雷达法测试混凝土截渗墙均匀性

8.2.1 混凝土截渗墙均匀性检测宜采用地质雷达法和高密度电法，但使用过程中不局限这两种方法，也可根据设备、人员和工程实际情况选用可控源音频大地电磁测深、弹性波垂直反射、弹性波 CT、同位素示踪和钻孔电视观察等方法。地质雷达法利用混凝土截渗墙墙体介质之间物理属性的差异，即电磁波传播与介质电性关系为探地雷达检测提供基本条件。检测浸润面以上的墙体宜选用探地雷达法。

8.2.3 现场要根据混凝土截渗墙深度，选择合适的发射天线，通常频率低，探测深度较深，频率高探测精度高。分析反射波的能量、频率、相位、连续性和电磁波衰减，确定墙体质量缺陷。根据反射波同相轴和利用速度参数确定墙体深度。

8.2.4 首先对探地雷达探测资料进行数据处理，然后对资料精确分析和解释。结合现场钻孔验证，钻孔注水试验，以及抗压强度试验和渗透试验等验证资料全面分析，评价混凝土截渗墙工程质量。

## 8.3 高密度电法测试混凝土截渗墙均匀性

8.3.1 高密度电法可对混凝土截渗墙的深度、缺陷和均匀性进行探测。高密度电法集电测深和电剖面法为一体，利用被测混凝土墙体介质之间电性差异，是高密度电法对混凝土截渗墙检测基本原理。

8.3.3 对称四极和温纳装置测点规律可知，随着电极距  $a$  和层位数  $n$  的逐渐增大，探测深度随之加大。从浅层到深层形式的测得剖面为上大下小形式，呈倒梯形。考虑到水泥截渗墙的特殊性，在极距不变情况下，可在两端增加测点，延长测线长度。总之，极距布置的形式和范围应视混凝土截渗墙工程需要综合确定。

8.3.6 采用高密度电法探测定性解释，一般采用对比法，即将实测与已有实测背景和理论模拟进行对比分析，目前较多选用视电阻率背景值，对视电阻率异常进行分析和评价。而混凝土截渗墙则不易设定背景值和理论模拟值，所以不能作对比分析。通常做法是将同一剖面上的视电阻率采取数理统计方法，确定某深度水平范围内的视电阻率基本值。然后依据视电阻率基本值对异常视电阻率进行分析判定，确定混凝土截渗墙质量缺陷。

## 附录 A

(规范性附录)

## 水泥土配合比设计

**A.1** 水泥土配合比设计中，水灰比加水量由土的性质和地下水等因素决定，且土壤颗粒大小无法选择，所以水泥土配合比与混凝土和砂浆配合比设计原则不同。本规程规定水泥土配合比设计中水泥掺入比采用单位体积质量比和质量比法计算各材料用量。

**A.2** 水泥土配制渗透系数  $k_0$  按式 (A.2-1) 计算，水泥土试样是在室内配制标准养护条件下， $k_0$  仅从试验误差角度考虑。若从多头直径深层搅拌水泥土截渗墙施工考虑，现场施工水泥土搅拌和喷浆的均匀性、养护条件等远不如室内配制的水泥土。从已有工程实测经验统计结果，现场施工墙体水泥土渗透系数与室内配制水泥土渗透系数之比为 0.25。同样施工墙体水泥土抗压强度与室内配制水泥土抗压强度之比为 0.302。所以水泥土配合比设计要充分考虑现场地质条件、施工因素，否则不能达到工程质量要求。

**A.3** 本规程规定粘性土的加水量按土料液限控制，若被加固土的液性指数接近 1.0 时，水灰比按水泥浆泵送流动性控制。

**A.4** 水泥土是水、土和水泥用机械强制搅拌形成的混合材料，影响水泥土单轴抗压强度因素很多。

a) 水泥掺入量的影响

随着水泥掺入比增加，水泥土抗压强度增加。试验研究表明，水泥掺入比对抗压强度大小影响存在临界值，即掺入比低于该值时强度减少很快，大于该值时强度增加很慢。

b) 龄期的影响

水泥土随着龄期增加，抗压强度增加。试验研究表明，水泥土龄期在 28 d 以后强度仍在增加，所以有些标准认为水泥土标准龄期为 90 d。

c) 土质和外掺剂的影响

在相同的水泥掺入比条件下，土颗粒越大，抗压强度越大。不同外加剂和外掺料对水泥土抗压强度影响不同。