

ICS93.160

P13

**SL**

中华人民共和国水利行业标准

**SL31—2003**

替代 **SL25—92**

---

# 水利水电工程钻孔压水试验规程

**Code of water pressure test in borehole for water  
resources and hydropower engineering**

**2003-08-29** 发布

**2003-10-01** 实施

---

中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部

关于批准发布《水利水电工程钻孔压水  
试验规程》**SL31—2003** 的通知

水国科[2003]370 号

部直属各单位，各省、自治区、直辖市水利（水务）厅（局），各计划单列市水利（水务）局，新疆生产建设兵团水利局：

经审查，批准《水利水电工程钻孔压水试验规程》为水利行业标准，并予发布。标准编号为 **SL 31—2003**，代替原《水利水电工程钻孔压水试验规程》**SL 25—92**。

本标准自 **2003 年 10 月 1 日** 起实施。

标准文本由中国水利水电出版社出版发行。

二〇〇三年八月二十九日

## 前 言

根据水利部水利水电规划设计管理局（水总局科 [2001] 1 号文件和《水利技术标准编写规定》SL 1—2002，对《水利水电工程钻孔压水试验规程》SL25—92 进行修订。

《水利水电工程钻孔压水试验规程》SL 31—2003 共 6 章 12 节 58 条和 4 个附录，主要技术内容有：

——规定了钻孔压水试验的目的、适用范围；

——对压水试验的有关技术问题（试验方法、试段长度、压力阶段和压力值）和试验设备作了具体规定；

——规定了试验程序和资料整理方法。

对 SL 25—92 修改的内容，包括以下几个方面：

——前引部分增加前言；

——增加了术语和符号；

——在“基本规定”中，对试验方法、试验长度、试段压力规定作了修改；

——在“试验设备”中，取消自流供水法，量测设备增加压力传感器；

——在“现场试验”中，取消活塞抽吸洗孔法；

——在“试验资料整理”中，增加判别  $P-Q$  曲线中各相应点关系的流量差标准，增加当 C 型或 D 型  $P-Q$  曲线出现较多时的分析和说明要求；

——增加规程用词说明；

——取消了附加说明；

——其他结构性和文字性修改。

本规程为全文推荐。

本规程所替代规程的历次版本为：

——SL 25—92

本规程批准部门：中华人民共和国水利部

本规程主持机构：水利部水利水电规划设计总院

本规程解释单位：水利部水利水电规划设计总院

本规程主编单位：水利部东北勘测设计研究院

本规程出版、发行单位：中国水利水电出版社

本规程主要起草人：王行本 鞠占斌 李绍基

冯 宏 卢丽莎 张晓明

本规程审查会议技术负责人：李广诚

本规程体例格式审查人：牟广承

# 目 次

1	总则	(7)
2	术语和符号	(8)
2.1	术语	(8)
2.2	符号	(8)
3	基本规定	(10)
3.1	试验方法与试段长度	(10)
3.2	压力阶段与压力值	(10)
3.3	试验钻孔	(11)
3.4	试验用水与试验人员	(11)
4	试验设备	(12)
4.1	止水栓塞	(12)
4.2	供水设备	(12)
4.3	量测设备	(12)
5	现场试验	(13)
5.1	试验程序	(13)
5.2	洗孔	(13)
5.3	试段隔离	(13)
5.4	水位观测	(13)
5.5	压力和流量观测	(14)
6	试验资料整理	(15)
附录 A	管路压力损失测定	(17)
附录 B	混凝土塞位灌制法	(19)
附录 C	用压水试验成果计算岩体渗透系数	(20)
附录 D	钻孔压水试验记录格式	(21)

标准用词说明 ..... (25)

# 1 总 则

**1.0.1** 钻孔压水试验的主要任务是测定岩体的透水性,为评价岩体的渗透特性和设计渗控措施提供基本资料。

**1.0.2** 本规程适用于水利水电工程地质勘察中的常规性压水试验工作。

**1.0.3** 钻孔压水试验除应符合本规程外,尚应符合国家现行的有关标准的规定。

## 2 术语和符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 钻孔压水试验 **water pressure test in borehole**

用栓塞将钻孔隔离出一定长度的孔段，并向该孔段压水，根据压力与流量的关系确定岩体渗透特性的一种原位渗透试验。

#### 2.1.2 试验长度 **length of test section**

栓塞底部至孔底或两栓塞之间，试验时水可以进入岩体的孔段长度。

#### 2.1.3 试段压力 **testing pressure**

作用在试段炮的实际平均压力。

#### 2.1.4 管路压力损失 **pressure loss of tube**

水流经工作管路因水力摩阻而损失的压力值。

#### 2.1.5 栓塞 **packer**

将钻孔隔离出单独孔段的试验设备。

#### 2.1.6 透水率 **absorption rate**

表达试段岩体透水性的指标。

#### 2.1.7 吕荣(Lu) **lugeon unit**

透水率的单位，当试段压力为 1MPa 时每米试段的压入水流量(L/min)。

### 2.2 符号

$L$ ——试段长度 (m)；

$P$ ——试段压力 (MPa)；

$P_p$ ——压力计指示压力 (MPa)；

$P_s$ ——管路压力损失 (MPa)；

$L_p$ ——工作管长度 (m)；

$d$ ——工作管内径 (m)；



$v$ ——管内流速 (m/s);  
 $g$ ——重力加速度,  $g = 9.8 \text{ m/s}^2$ ;  
 $q$ ——透水率 (Lu);  
 $Q$ ——压入流量 (L/min);  
 $K$ ——岩体渗透系数 (m/d);  
 $H$ ——试验水头 (m);  
 $r_0$ ——钻孔半径 (m)。

## 3 基本规定

### 3.1 试验方法与试段长度

**3.1.1** 钻孔压水试验应随钻孔的加深自上而下地用单栓塞分段隔离进行。岩石完整、孔壁稳定的孔段，或有必要单独进行试验的孔段，可采用双栓塞分段进行。

**3.1.2** 试段长度宜为 5m。

含断层破碎带、裂隙密集带、岩溶洞穴等的孔段，应根据具体情况确定试段长度。

相邻试段应互相衔接，可少量重叠，但不能漏段。残留岩芯可计入试段长度之内。

### 3.2 压力阶段与压力值

**3.2.1** 压水试验应按三级压力、五个阶段〔即  $P_1 - P_2 - P_3 - P_4 (= P_2) - P_5 (= P_1)$ ,  $P_1 < P_2 < P_3$ 〕进行。 $P_1$ 、 $P_2$ 、 $P_3$  三级压力宜分别为 0.3 MPa、0.6 MPa 和 1MPa。

**3.2.2** 当试段埋深较浅时，宜适当降低试段压力。

**3.2.3** 试段压力的确定应遵守下列规定：

1 当用安设在与试段连通的测压管上的压力计测压时，试段压力按式(3.2.3-1)计算：

$$P = P_p + P_z \quad (3.2.3-1)$$

式中  $P$ ——试段压力(MPa)；

$P_p$ ——压力计指示压力(MPa)；

$P_z$ ——压力计中心至压力计算零线的水柱压力(MPa)。

2 当用安设在进水管上的压力计测压时，试段压力按式(3.2.3-2)计算：

$$P = P_p + P_z - P_s \quad (3.2.3-2)$$

式中  $P_s$ ——管路压力损失(MPa)；

其余符号同式(3.2.3-1)。

**3.2.4** 压力计算零线的确定应遵守下列规定：

1 当地下水位在试段以下时，压力计算零线为通过试段中点的水平线；

2 当地下水位在试段以内时，压力计算零线为通过地下水位以上试段中点的水平线；

3 当地下水位在试段以上时，压力计算零线为地下水位线。

**3.2.5** 管路压力损失的确定应遵守下列规定：

1 当工作管内径一致，且内壁粗糙度变化不大时，管路压力损失可用式(3.2.5)计算：

$$P_s = \lambda \frac{L_p}{d} v \frac{2}{2g} \quad (3.2.5)$$

式中  $\lambda$ ——摩阻系数， $\lambda = 2 \times 10^{-4} \text{MPa/m} \sim 4 \times 10^{-4} \text{MPa/m}$ ；

$L_p$ ——工作管长度(m)；

$d$ ——工作管内径(m)；

$v$ ——管内流速(m/s)；

$g$ ——重力加速度， $g = 9.8 \text{m/s}^2$ 。

2 当工作管内径不一致时，管路压力损失应根据实测资料确定。实测方法按本规程附录 A 执行。

### 3.3 试 验 钻 孔

**3.3.1** 压水试验钻孔的孔径宜为 59mm~150mm。

**3.3.2** 压水试验钻孔宜采用金刚石或合金钻进，不应使用泥浆等护壁材料钻进。在碳酸盐类地层钻进时，应选用合适的冲洗液。

试验钻孔的套管脚必须止水。

**3.3.3** 在同一地点布置两个以上钻孔（孔距 10m 以内）时，应先完成拟做压水试验的钻孔。

### 3.4 试验用水与试验人员

**3.4.1** 试验用水应保持清洁，当水源的泥沙含量较多时，应采取沉淀措施。

**3.4.2** 钻孔压水试验人员应经过专门培训，持证上岗。

## 4 试 验 设 备

### 4.1 止 水 栓 塞

4.1.1 止水栓塞应符合下列要求：

- 1 栓塞长度不小于 8 倍钻孔直径；
- 2 止水可靠、操作方便。

4.1.2 宜采用水压式或气压式栓塞。

### 4.2 供 水 设 备

4.2.1 试验用的水泵应符合下列要求：

- 1 工作可靠,压力稳定,出水均匀；
- 2 在 1MPa 压力下,流量能保持 100L/min。

水泵出口应安装容积大于 5L 的稳定空气室。

4.2.2 吸水龙头外应有 1 层~2 层孔径小于 2mm 的过滤网。吸水龙头至水池底部的距离不小于 0.3m。供水调节阀门应灵活可靠,不漏水,且不宜与钻进共用。

### 4.3 量 测 设 备

4.3.1 测量压力的压力表和压力传感器应符合下列要求：

- 1 压力表应反应灵敏,卸压后指针回零,量测范围应控制在极限压力值的 1/3~3/4；
- 2 压力传感器的压力范围应大于试验压力。

4.3.2 流量计应能在 1.5MPa 压力下正常工作,量测范围应与水泵的出力相匹配,并能测定正向和反向流量。

4.3.3 宜使用能测量压力和流量的自动记录仪进行压水试验。

4.3.4 水位计应灵敏可靠,不受孔壁附着水或孔内滴水的影响。

水位计的导线应经常检测。

4.3.5 试验用的仪表应专门保管,不应与钻进共用,并定期进行检定。

## 5 现场试验

### 5.1 试验程序

**5.1.1** 现场试验工作应包括洗孔、下置栓塞隔离试验、水位测量、仪表安装、压力和流量观测等步骤

**5.1.2** 试验开始时,应对各种设备、仪表的性能和工作状态进行检查,发现问题立即处理。

### 5.2 洗 孔

**5.2.1** 洗孔应采用压水法,洗孔时钻具应下到孔底,流量应达到水泵的最大出力。

**5.2.2** 洗孔应至孔口回水清洁,肉眼观察无岩粉时方可结束。

当孔口无回水时,洗孔时间不得少于 15min。

### 5.3 试 段 隔 离

**5.3.1** 下栓塞前应对压水试验工作管进行检查,不得有破裂、弯曲、堵塞等现象。接头处应采取严格的止水措施。

**5.3.2** 采用气压式或水压式栓塞时,充气(水)压力应比最大试段压力  $P_3$  大 0.2MPa~0.3MPa,在试验过程中充气(水)压力应保持不变。

**5.3.3** 栓塞应安设在岩石较完整的部位,定位应准确。

**5.3.4** 当栓塞隔离无效时,应分析原因,采取移动栓塞、更换栓塞或灌制混凝土塞位等措施。移动栓塞时只能向上移,其范围不应超过上一次试验的塞位。灌制混凝土塞位的方法按本规程附录 B 执行。

### 5.4 水 位 观 测

**5.4.1** 下栓塞前应首先观测 1 次孔内水位,试段隔离后,再观测

工作管内水位。

**5.4.2** 工作管内水位观测应每隔 **5min** 进行 1 次。当水位下降速度连续 2 次均小于 **5cm/min** 时, 观测工作即可结束, 用最后的观测结果确定压力计算零线。

**5.4.3** 在工作管内水位观测过程中如发现承压水时, 应观测承压水位。当承压水位高出管口时, 应进行压力和涌水量观测。

## 5.5 压力和流量观测

**5.5.1** 在向试段送水前, 应打开排气阀, 待排气阀连续出水后, 再将其关闭。

**5.5.2** 流量观测前应调整调节阀, 使试段压力达到预定值并保持稳定。

**5.5.3** 流量观测工作应每隔 **1min~2min** 进行 1 次。当流量无持续增大趋势, 且 5 次流量读数中最大值与最小值之差小于最终值的 **10%**, 或最大值与最小值之差小于 **10min** 时, 本阶段试验即可结束, 取最终值作为计算值。

**5.5.4** 将试段压力调整到新的预定值, 重复上述试验过程, 直到完成该试段的试验。

**5.5.5** 在降压阶段, 如出现水由岩体向孔内回流现象, 应记录回流情况, 待回流停止, 流量达到本规程 **5.5.3** 规定的标准后方可结束本阶段试验。

**5.5.6** 在试验过程中, 对附近受影响的露头、井、硐、孔、泉等应进行观测。

**5.5.7** 在压水试验结束前, 应检查原始记录是否齐全、正确, 发现问题必须及时纠正。

## 6 试验资料整理


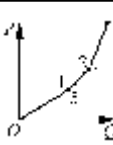
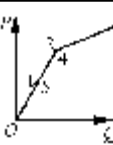
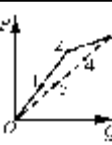
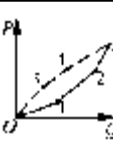
**6.0.1** 试验资料整理应包括校核原始记录,绘制  $P-Q$  曲线,确定  $P-Q$  曲线类型和计算试段透水率等。

**6.0.2** 绘制  $P-Q$  曲线时,应采用统一比例尺,即纵坐标 ( $P$  轴)  $1\text{mm}$  代表  $0.01\text{MPa}$ ,横坐标 ( $Q$  轴)  $1\text{mm}$  代表  $1\text{L min}$ 。

曲线图上各点应标明序号,并依次用直线相连,升压阶段用实线,降压阶段用虚线。

**6.0.3** 试段的  $P-Q$  曲线类型应根据升压阶段  $P-Q$  曲线的形状以及降压阶段  $P-Q$  曲线与升压阶段  $P-Q$  曲线之间的关系确定。 $P-Q$  曲线类型划分及曲线特点见表 6.0.3。

表 6.0.3  $P-Q$  曲线类型及曲线特点表

类型名称	A(层流)型	B(紊流)型	C(扩张)型	D(冲蚀)型	E(充填)型
$P-Q$ 曲线					
曲线特点	升压曲线为通过原点的直线,降压曲线与升压曲线基本重合	升压曲线凸向 $Q$ 轴,降压曲线与升压曲线基本重合	升压曲线凸向 $P$ 轴,降压曲线与升压曲线基本重合	升压曲线凸向 $P$ 轴,降压曲线与升压曲线不重合,呈顺时针环状	升压曲线凸向 $Q$ 轴,降压曲线与升压曲线不重合,呈逆时针环状

**6.0.4** 当  $P-Q$  曲线中第 4 点与第 2 点、第 5 点与第 1 点的流量值绝对差不大于  $1\text{L min}$  或相对差不大于  $5\%$  时,可认为基本重合。

**6.0.5** 试段透水率采用第三阶段的压力值 ( $P_3$ ) 和流量值 ( $Q_3$ ) 按式(6.0.4)计算:

$$q = \frac{Q_3}{LP_3} \quad (6.0.4)$$

式中  $q$ ——试段的透水率(Lu);  
 $L$ ——试段长度(m);  
 $Q_3$ ——第三阶段的计算流量(L min);  
 $P_3$ ——第三阶段的试段压力(MPa)。

试段透水率取两位有效数字。

**6.0.6** 每个试段的试验成果,应采用试段透水率和  $P-Q$  曲线的类型代号(加括号)表示,如 0.23(A)、12(B)、8.5(D)等。

**6.0.7** 当某一工程或某一地段的压水试验成果中,出现较多的试段  $P-Q$  曲线为 C 型或 D 型时,应结合该工程或该地段的地质资料和钻孔岩心情况进行分析,并在工程地质报告中加以说明。

**6.0.8** 当需要根据压水试验成果计算岩体渗透系数时,可按本规程附录 C 的公式计算。

**6.0.9** 压水试验记录宜采用统一的格式,按本规程附录 D 执行。



## 附录 A 管路压力损失测定

**A.0.1** 当使用钻杆作为单管柱栓塞的工作管,且钻杆内径与接头内径不一致时,应实测管路压力损失。

**A.0.2** 测定压力损失所用的钻杆和接头应与实际使用的规格一致。

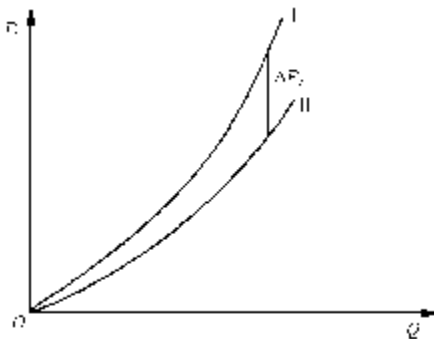
**A.0.3** 测试管路为两套,每套管路总长度不少于 40m,第一套与第二套的长度相差不大于 0.2m,但接头数相差 3 副以上。

**A.0.4** 管路应平置于地面,末端高于首端,两端安装压力表,末端安装流量计,流量计后的出水口应抬高 1m~2m,实测两端压力表的高差。

**A.0.5** 将不同流量的水输入管路,流量范围 10L/min~100 L/min,测点不少于 15 个,管路两端的压力差即为该流量下的管路压力损失。

**A.0.6** 每套管路的实测工作应进行 2 次,取其平均值。

**A.0.7** 绘制两套管路的压力损失与流量关系曲线,量得各流量值相应的压力损失差  $\Delta P_s$  (图 A)。



图A 压力损失与流量关系曲线

**A.0.8** 各种流量下每副接头的压力损失用式(A)计算:

$$P_{sj} = \frac{\Delta P_s}{n} \quad (\text{A})$$

式中  $P_{sj}$ ——某流量下每副接头的压力损失(MPa);  
 $\Delta P_s$ ——该流量下两套管路的压力损失差(MPa);  
 $n$ ——两套管路接头数之差。

**A.0.9** 从各种流量下的管路压力损失中减去接头的压力损失,计算出各种流量下每米钻杆的压力损失值。

**A.0.10** 编制出各种流量下每米钻杆及每副接头的压力损失图或表。

## 附录 B 混凝土塞位灌制法

**B.0.1** 当岩石风化破碎, 栓塞止水困难时, 可采用灌制混凝土塞位法进行压水试验。

**B.0.2** 用较大孔径(其直径比下部拟进行压水试验的孔段直径至少大 20mm)钻入风化破碎岩石内 2m 以上。

**B.0.3** 向孔底注入水泥砂浆, 高度不小于 2m。必要时并将护壁套管插至孔底。

**B.0.4** 待凝足够时间后, 钻开混凝土及下部孔段, 将栓塞置于混凝土段或套管内进行压水试验。

**B.0.5** 如待试孔段已钻开, 则在扩孔灌注混凝土之前, 应首先用中粗砂将待试孔段填实。钻开混凝土后, 清除试段内填砂, 进行压水试验。

## 附录 C 用压水试验成果计算岩体渗透系数

**C.0.1** 当试段位于地下水位以下,透水性较小( $q < 10Lu$ )、 $P-Q$ 曲线为A(层流)型时,可按式(C)计算岩体渗透系数:

$$K = \frac{Q}{2\pi HL} \ln \frac{L}{r_0} \quad (\text{C})$$

式中  $K$ ——岩体渗透系数(m/d);

$Q$ ——压入流量( $\text{m}^3/\text{d}$ );

$H$ ——试验水头(m);

$L$ ——试段长度(m);

$r_0$ ——钻孔半径(m)。

**C.0.2** 当试段位于地下水位以下,透水性较小, $P-Q$ 曲线为B(紊流)型时,可用第一阶段的压力 $P_1$ (换算成水头值,以m计)和流量 $Q_1$ 代入式(C)近似地计算渗透系数。

**C.0.3** 当透水性较大时,宜采用其他水文地质试验方法测定岩体渗透系数。

## 附录 D 钻孔压水试验记录格式

**D.0.1** 当 D.0.1-1、表 D.0.1-2 每个钻孔一页,表 D.0.1-1 为钻孔压水试验记录册封面格式,表 D.0.1-2 为钻孔压水试验成果表格式。表 D.0.1-3、表 D.0.1-4 为每个试段一页,表 D.0.1-3 为试段安装记录及  $P-Q$  曲线格式,表 D.0.1-4 为试验记录格式。

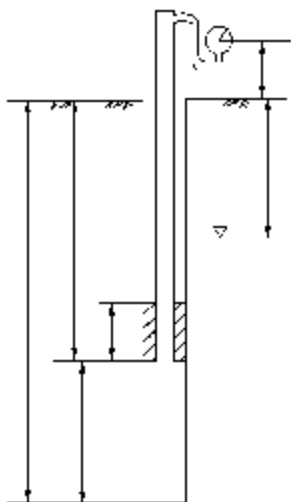
**D.0.2** 钻孔结束后,应将上述记录表格装订成册并存档。

表 D.0.1-1 钻孔压水试验记录册封面格式

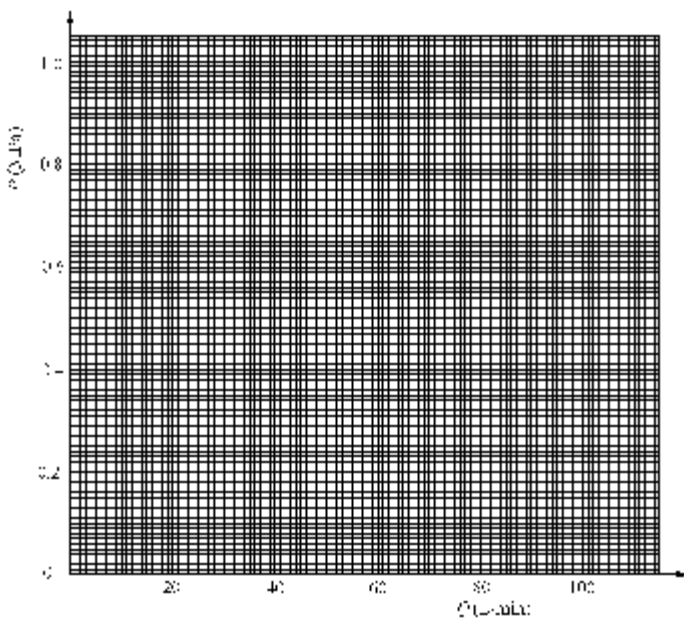
_____流域_____工程_____阶段	
钻孔压水试验记录	
钻孔编号	
钻孔位置	
坐 标:	X Y
地面高程	
施工机组	
地质值班员	
技术负责人	
试验日期:	年 月 日至 年 月 日
勘测设计研究院 第 勘测队	



表 D.0.1-3 \_\_\_\_\_号孔\_\_\_\_\_ 试段安装记录



洗孔情况	
试段描述	
栓塞类型	
工作管记录	
止水效果	
曲线类型	
透水率计算	



P-Q 曲线图





## 标准用词说明

执行本规程时，标准用词应遵守下表规定。

标准用词说明

标准用词	在特殊情况下的等效表述	要求严格程度
应	有必要、要求、要、只有……才允许	要 求
不应	不允许、不许可、不要	
宜	推荐、建议	推 荐
不宜	不推荐、不建议	
可	允许、许可、准许	允 许
不必	不需要、不要求	