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，$g = 9.8\ \mathrm{m/s^2}$；

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0.3MPa、0.6MPa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：

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

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：

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

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：

$$P_s = \lambda \frac{L_p}{d} v \frac{^2}{2g} \tag{3.2.5}$$

式中 λ——摩阻系数，$\lambda = 2\times10^{-4}$MPa/m～4×10^{-4}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 1L/min 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

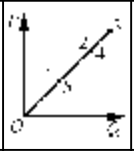
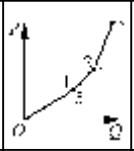
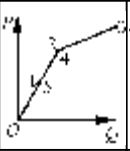
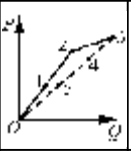
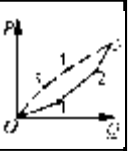
6.0.1 试验资料整理应包括校核原始记录，绘制 $P-Q$ 曲线，确定 $P-Q$ 曲线类型和计算试段透水率等。

6.0.2 绘制 $P-Q$ 曲线时，应采用统一比例尺，即纵坐标（P 轴）1mm 代表 0.01 MPa，横坐标（Q 轴）1mm 代表 1L/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 1L/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：

$$q = \frac{Q_3}{LP_3} \tag{6.0.4}$$

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。

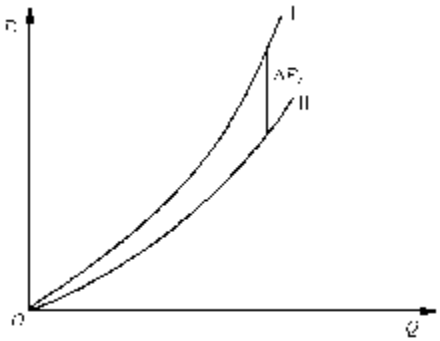
A.0.3　测试管路为两套，每套管路总长度不少于 40m，第一套与第二套的长度相差不大于 0.2m，但接头数相差 3 副以上。

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～100L/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 ΔP_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：

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

式中 P_{sj}——某流量下每副接头的压力损失(MPa)；

ΔP_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（$q<10$Lu）、$P-Q$ 曲线为 A（层流）型时，可按式（C）计算岩体渗透系数：

$$K=\frac{Q}{2\pi HL}\ln\frac{L}{r_0} \tag{C}$$

式中　K——岩体渗透系数(m/d)；

Q——压入流量(m^3/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：$\begin{matrix}X\\Y\end{matrix}$

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

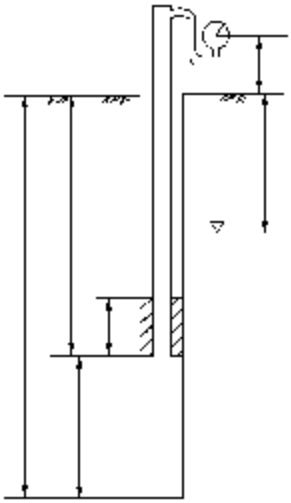
勘测设计研究院　　第　　勘测队

表 D.0.1—2　钻孔压水试验成果表

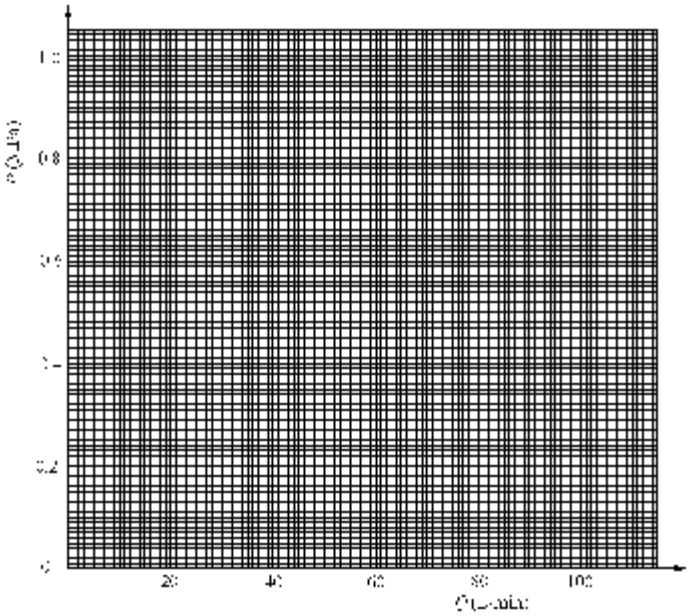
试验日期	试验段						$P-Q$ 曲线类型	试段透水率 q (Lu)
	编号	深度(m)		试段长度(m)	高程(m)			
		起	止		起	止		
试验情况综合说明：								

地质值班员：　　技术负责人：

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

表 D.0.1—4 _____号钻孔压水试验记录表

试段编号　　自　　m至　　m　　段长　　m　　水柱压力　　MPa

压力阶段	时间(min)			压力(MPa)			流量(L/min)	
	时	分	间隔时间	压力表压力	压力损失	总压力	水表读数	流量

压力阶段	时间(min)			压力(MPa)			流量(L/min)	
	时	分	间隔时间	压力表压力	压力损失	总压力	水表读数	流量

水位观测记录表

时间		测点至水位深度（m）	测点高出地面（m）	地面至水位深度（m）	备注
时	分				
					下塞前
					下塞后

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	