

ICS 93.160

P 59



中华人民共和国水利行业标准

SL345—2007

水利水电工程注水试验规程

**Code of water injection test for water resources
and hydropower engineering**

2007-11-26 发布

2008-02-26 实施

中华人民共和国水利部 发布

中华人民共和国水利部
关于批准发布水利行业标准的公告

2007 年第 14 号

中华人民共和国水利部批准《轴流泵装置水力模型系列及基本参数》（SL 402—2007）等 2 项标准为水利行业标准，现予以公布。

二〇〇七年十一月二十六日

序号	标准名称	标准编号	替代标准号	发布日期	实施日期
1	轴流泵装置水力 模型系列及基本 参数	SL 402—2007		2007.11.26	2008.02.26
2	水利水电工程注 水试验规程	SL 345—2007		2007.11.26	2008.02.26

前 言

为了规范水利水电工程地质勘察中的注水试验工作，根据水利部水利水电规划设计总院文件（水总科〔2005〕623号），按照《水利技术标准编写规定》（SL 1—2002），编制本标准。

本标准共6章14节46条和2个附录，主要技术内容有：

- 制定本标准的目的及其适用范围；
- 试坑单环注水试验适用条件、试验设备、现场试验和资料整理规定；
- 试坑双环注水试验适用条件、试验设备、现场试验和资料整理规定；
- 钻孔常水头注水试验适用条件、试验设备、现场试验和资料整理规定；
- 钻孔降水头注水试验适用条件、试验设备、现场试验和资料整理规定；
- 注水试验的记录格式和形状系数取值。

本标准批准部门：中华人民共和国水利部

本标准主持机构：水利部水利水电规划设计总院

本标准解释单位：水利部水利水电规划设计总院

本标准主编单位：水利部水利水电规划设计总院

本标准参编单位：中水东北勘测设计研究有限责任公司

中水北方勘测设计研究有限责任公司

本标准出版、发行单位：中国水利水电出版社

本标准主要起草人：鞠占斌 冯宏 申林 高义军 刘金韬

李占军 任向宇 严福章 来光 陈中和

本标准审查会议技术负责人：刘志明 王行本

本标准体例格式审查人：曹阳

目 次

1	总则	6
2	术语、符号	7
2.1	术语	7
2.2	符号	7
3	试坑单环注水试验	9
3.1	适用条件及试验设备	9
3.2	现场试验	9
3.3	试验资料整理	10
4	试坑双环注水试验	11
4.1	适用条件及试验设备	11
4.2	现场试验	11
4.3	试验资料整理	13
5	钻孔常水头注水试验	14
5.1	适用条件及试验设备	14
5.2	现场试验	14
5.3	试验资料整理	15
6	钻孔降水头注水试验	16
6.1	适用条件及试验设备	16
6.2	现场试验	16
6.3	资料整理	16
附录 A	注水试验记录格式	18
附录 B	钻孔注水试验形状系数 A 取值规定	26
标准用词说明	27

1 总 则

1.0.1 为规范水利水电工程地质勘察中的注水试验工作，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于水利水电工程地质勘察中的注水试验工作。

1.0.3 本标准引用的主要标准包括：

《水利水电工程坑探规程》(SL 166)

《土工试验规程》(SL 237)

《水利水电工程钻探规程》(SL 291)

1.0.4 水利水电工程地质勘察注水试验工作除应符合本标准外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术 语

2.1.1 试坑注水试验 water injection test in pit

保持固定水头高度向试坑注水，量测渗入土层的水量，以确定土层渗透系数的一种原位试验方法。可分为单环注水试验和双环注水试验。

2.1.2 钻孔注水试验 water injection test in borehole

通过钻孔向试段注水，以确定岩土层渗透系数的原位试验方法。可分为钻孔常水头注水试验和钻孔降水头注水试验。

2.1.3 形状系数 shape factor

反映钻孔注水试验试段边界条件的参数。

2.1.4 渗入深度 infiltration depth

在试坑注水试验过程中，水流渗入坑底以下试验土层的垂直深度。

2.1.5 特征时间 (T_0) characteristic time

在钻孔降水头注水试验 $\ln(H_t/H_0)-t$ 曲线上， $H_t/H_0 = 0.37$ 即 $\ln H_0/H_t = 1$ 所对应的时间。

2.2 符 号

A ——形状系数，cm；

F ——注水试环面积， cm^2 ；

H ——试验水头，cm；

H_a ——试验土层的毛细上升高度，cm；

H_1 、 H_2 ——在时间 t_1 、 t_2 时对应的试验水头，cm；

H_t ——降水头注水试验在试验时间 t 时的试验水头，cm；

H_0 ——降水头注水试验的初始水头，cm；

K ——渗透系数， cm/s ；

K_h ——试验岩土层的水平渗透系数, cm/s ;
 K_v ——试验岩土层的垂直渗透系数, cm/s ;
 l ——钻孔注水试验试段长度, cm ;
 Q ——注入流量, L/min ;
 r ——套管内半径, cm ;
 t_1 、 t_2 ——注水试验的试验时间, min ;
 T_0 ——特征时间 (min);
 z ——从试坑底算起的渗入深度, cm 。

3 试坑单环注水试验

3.1 适用条件及试验设备

3.1.1 试坑单环注水试验适用于地下水位以上的砂土、砂卵砾石等土层。

3.1.2 单环注水试验设备见表 3.1.2。

表 3.1.2 单环注水试验设备一览表

名 称	规 格
试环	高 20cm, 直径 25~50cm
水箱	容积 1m ³
量桶	断面上下均一, 面积不大于 5000cm ² , 且有刻度清晰的水尺或玻璃管
计时钟表	秒表
供水管路及阀门	

3.2 现 场 试 验

3.2.1 试坑开挖除符合 SL 166 规定外, 还应符合下列要求:

- 1 在选定的试验位置, 挖一个圆形或方形试坑至试验层。
- 2 在试坑底部再挖一个深 15~20cm 注水试坑, 坑底应修平, 并确保试验土层的结构不被扰动。

3.2.2 试环安装应符合下列要求:

- 1 在注水试坑内放入铁环, 环外用黏土填实, 确保四周不漏水。
- 2 在环底铺 2~3cm 厚的粒径 5~10mm 的砾石或碎石作为缓冲层。

3.2.3 向环内注水, 当环内水深达到 10cm 时, 开始记录量测

时间和注入水量，按附录 A 表 A.0.1—1 进行记录。在试验过程中，应保持水深 10cm，波动幅度不应大于 0.5cm。

3.2.4 量测工作应符合下列规定：

- 1 水量量测精度应达到 0.1 L。
- 2 开始每隔 5min 量测一次，连续量测 5 次；以后每隔 20min 量测一次并至少连续量测 6 次。
- 3 当连续 2 次量测的注入流量之差不大于最后一次流量的 10% 时，试验即可结束。取最后一次注入流量作为计算值。

3.3 试 验 资 料 整 理

3.3.1 应在现场按附录 A 表 A.0.1—2 绘制注入流量与时间（ $Q-t$ ）关系曲线。

3.3.2 试验土层的渗透系数按式（3.3.2）计算：

$$K = \frac{16.67 Q}{F} \quad (3.3.2)$$

式中 K ——试验土层渗透系数，cm/s；

Q ——注入流量，L/min；

F ——试环面积，cm²。

4 试坑双环注水试验

4.1 适用条件及试验设备

4.1.1 试坑双环注水试验适用于地下水位以上的粉土层和黏性土层。

4.1.2 双环注水试验设备见表 4.1.2。

表 4.1.2 双环注水试验设备一览表

名 称	规 格
试环	高 20cm, 直径分别为 25cm 和 50cm
水箱	容积 1m ³
流量瓶	容积 5L
瓶架	
进气管、出水管	直径 1~2cm
记时钟表	秒表

4.2 现 场 试 验

4.2.1 试坑开挖除符合 SL 166 的规定外, 还应符合下列要求:

- 1 在选定的试验位置, 挖一个圆形或方形试坑至试验土层。
- 2 在试坑底部再挖一个深 15~20cm 注水试坑, 坑底应修平, 并确保试验土层的结构不被扰动。

4.2.2 试环安装应符合下列要求:

- 1 在注水试坑内放入试环, 将直径分别为 25cm 和 50cm 的两个试环按同心圆状压入坑底, 深约 5~8cm, 并确保试验土层的结构不被扰动, 试环周边不漏水。
- 2 在内环及内、外环之间环底铺上厚 2~3cm、粒径为 5~10mm 的砾石或碎石作为缓冲层。

4.2.3 应按图 4.2.3 所示安装瓶架、流量瓶、出水管和进气管。流量瓶应装满清水，用带 2 个孔的胶塞塞住，孔中分别插入长短不等的 2 根管端切成斜口的进气管和出水管。流量瓶进气管管口距坑底应为 10cm，以保持试验水头不变。

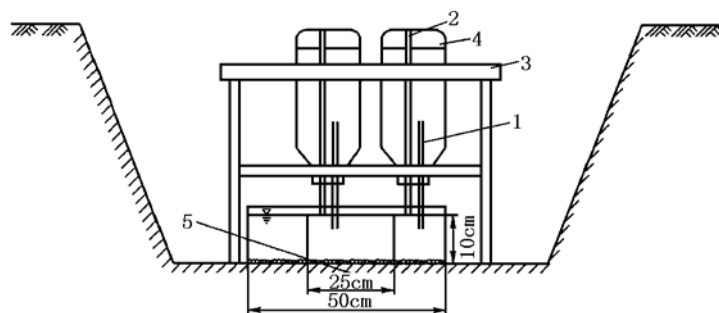


图4.2.3 双环注水法安装示意图

1—出水管；2—进气管；3—瓶架；4—流量瓶；5—试验土层

4.2.4 试验过程中，两个流量瓶应同时向内环和内、外环之间注水，水深均为 10cm。开始进行内环注入流量量测，应按附录 A 表 A.0.2—1 进行记录。

4.2.5 量测应符合下列规定：

1 注入水量由瓶上刻度读出。

2 开始每隔 5min 量测一次，连续量测 5 次；之后每隔 15min 量测一次，连续量测 2 次；以后每隔 30min 量测一次并至少量测 6 次。

3 当连续 2 次观测的注入流量之差不大于最后一次注入流量的 10% 时，试验即可结束。取最后一次注入流量作为计算值。

4.2.6 在干燥炎热条件下进行注水试验时，应同时测定蒸发量。

4.2.7 注水试验的渗入深度可采用下列方法确定：

1 试验前在距试坑 3~5m 处打一个比坑底深 3~4m 的钻孔，并每隔 20cm 取土样测定其含水量。试验结束后，应立即排出环内积水，在试坑中心打一个同样深度的钻孔，每隔 20cm 取

土样测定其含水量，与试验前资料对比，以确定注水试验的渗入深度。含水量的测定应符合 SL 237 的规定。

2 以试坑内环直径为一边向下开挖，通过对土层进行观察或测定含水量确定注水试验的渗入深度。

4.3 试验资料整理

4.3.1 应按附录 A 表 A.0.2—2 在现场绘制内环注入流量与时间($Q-t$) 关系曲线。

4.3.2 试验土层的渗透系数应按式 (4.3.2) 计算：

$$K = \frac{16.67 Qz}{F(H+z+0.5H_a)} \quad (4.3.2)$$

式中 K ——试验土层的渗透系数，cm/s；

Q ——内环的注入流量，L/min；干燥炎热条件下应扣除蒸发水量；

F ——内环的底面积，cm²；

H ——试验水头，cm； $H=10$ cm；

H_a ——试验土层的毛细上升高度，cm；可按 SL 237 进行测定或取经验值；

z ——从试坑底算起的渗入深度，cm。

5 钻孔常水头注水试验

5.1 适用条件及试验设备

5.1.1 钻孔常水头注水试验适用于渗透性比较大的壤土、粉土、砂土和砂卵砾石层，或不能进行压水试验的风化、破碎岩体、断层破碎带等透水性较强的岩体。

5.1.2 钻孔常水头试验设备见表 5.1.2。

表 5.1.2 钻孔注水试验设备一览表

设备类型	名 称
供水设备	水箱、水泵
量测设备	水表、量桶、瞬时流量计、秒表、米尺等
止水设备	栓塞、套管
水位计	电测水位计

5.2 现 场 试 验

5.2.1 注水试验钻孔造孔除应符合 SL 291 有关规定外，试段不应使用泥浆钻进。孔底沉淀物厚度不应大于 10cm。应防止试段岩土层被扰动。

5.2.2 在进行注水试验前，应进行地下水位观测，水位观测间隔为 5min，当连续 2 次观测数据变幅小于 10cm 时，水位观测即可结束，用最后一次观测值作为地下水位计算值。

5.2.3 试段止水可采用栓塞或套管脚黏土等止水方法，应保证止水可靠。

对孔壁稳定性差的试段宜采用花管护壁。

同一试段不宜跨越透水性相差悬殊的两种岩土层。对于均一岩土层，试段长度不宜大于 5m。

5.2.4 试段隔离后，应向套管内注入清水，使套管中水位高出地下水位一定高度（或至孔口）并保持固定不变，用流量计或量桶量测注入流量，应按附录 A 表 A.0.3—1 进行记录。

5.2.5 量测应符合下列规定：

1 开始每隔 5min 量测一次，连续量测 5 次；以后每隔 20min 量测一次并至少连续量测 6 次。

2 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的 10% 时，试验即可结束，取最后一次注入流量作为计算值。

5.2.6 当试段漏水量大于供水能力时，应记录最大供水量。

5.3 试验资料整理

5.3.1 应在现场按附录 A 表 A.0.3—2 绘制注入流量与时间（ $Q-t$ ）关系曲线。

5.3.2 当试段位于地下水位以下时，应采用式（5.3.2）计算试验土层的渗透系数：

$$K = \frac{16.67 Q}{AH} \quad (5.3.2)$$

式中 K ——试验岩土层的渗透系数，cm/s；

Q ——注入流量，L/min；

H ——试验水头，cm；等于试验水位与地下水位之差；

A ——形状系数，cm；按附录 B 选用。

5.3.3 当试段位于地下水位以上，且 $50 < H/r < 200$ 、 $H \leq l$ 时，可采用公式（5.3.3）计算试验岩土层的渗透系数：

$$K = \frac{7.05 Q}{lH} \lg \frac{2l}{r} \quad (5.3.3)$$

式中 r ——钻孔内半径，cm；

l ——试段长度，cm；

其余符号意义同式（5.3.2）。

6 钻孔降水头注水试验

6.1 适用条件及试验设备

6.1.1 钻孔降水头注水试验适用于地下水位以下粉土、黏性土层或渗透系数较小的岩层。

6.1.2 试验设备与钻孔常水头方法相同（见表 5.1.2）。

6.2 现场试验

6.2.1 钻孔降水头注水试验对造孔、地下水位观测和试段止水的要求，应符合 5.2.1~5.2.3 条的规定。

6.2.2 试段止水后，应向套管内注入清水，使管中水位高出地下水位一定高度或至套管顶部作为初始水头值，停止供水，应按附录 A 表 A.0.4—1 开始记录管内水位随时间变化的情况。

6.2.3 管内水位观测应符合下列规定：

1 开始间隔时间为 1min，连续观测 5 次；然后间隔为 10min，观测 3 次；后期观测间隔时间应根据水位下降速度确定，可按 30min 间隔进行。

2 应在现场按附录 A 表 A.0.4—2 采用半对数坐标纸绘制水头比与时间 $[\ln(H_t/H_0) - t]$ 关系曲线。当水头比与时间关系不呈直线时，应进行检查并重新试验。

3 当试验水头下降到初始试验水头的 0.3 倍或连续观测点达到 10 个以上时，即可结束试验。

6.3 资料整理

6.3.1 试验岩土层的渗透系数应按式（6.3.1）计算：

$$K = \frac{0.0523 r^2}{A} \frac{\ln \frac{H_1}{H_2}}{t_2 - t_1} \quad (6.3.1)$$

式中 K ——试验岩土层的渗透系数, cm/s ;

t_1 、 t_2 ——注水试验某一时刻的试验时间, min ;

H_1 、 H_2 ——在试验时间 t_1 、 t_2 时的试验水头, cm ;

r ——套管内半径, cm ;

A ——形状系数, cm ; 按附录 B 选用。

6.3.2 除按 6.3.1 方法外, 还可根据 $\ln(H_t/H_0) - t$ 关系曲线求得的注水试验特征时间 T_0 , 采用式 (6.3.2) 计算试验岩土层的渗透系数:

$$K = \frac{0.0523 r^2}{AT_0} \quad (6.3.2)$$

式中 T_0 ——注水试验的特征时间, min ; 即 $H_t/H_0 = 0.37$ 时所对应的 t 值, 可在 $\ln(H_t/H_0) - t$ 曲线上 (见图 6.2.3) 确定, H_t 为注水时间为 t 时的水头值 (cm), H_0 为注水试验的初始水头值 (cm);

其余符号意义同式 (6.3.1)。

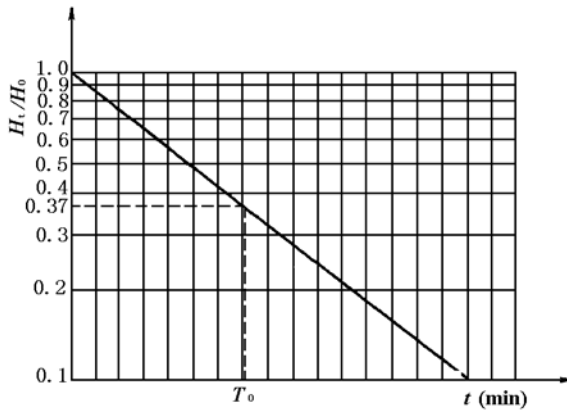


图6.3.2 $\ln(H_t/H_0) - t$ 曲线

附录 A 注水试验记录格式

A.0.1 试坑单环注水试验记录格式见表 A.0.1—1，资料整理记录格式见表 A.0.1—2。

A.0.2 试坑双环注水试验记录格式见表 A.0.2—1，资料整理记录格式见表 A.0.2—2。

A.0.3 钻孔常水头注水试验记录格式见表 A.0.3—1，资料整理记录格式见表 A.0.3—2。

A.0.4 钻孔降水头注水试验记录格式见表 A.0.4—1，资料整理记录格式见表 A.0.4—2。

表 A.0.1—1 试坑单环注水试验记录表

[illegible]

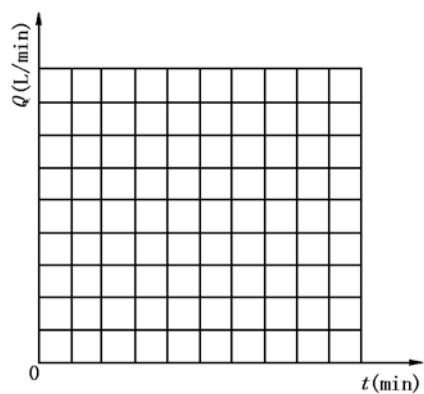
审查:

校核：

记录:

表 A.0.1—2 试坑单环注水试验资料整理记录

1. $Q-t$ 关系曲线



2. 试验土层的渗透系数

$$K = \frac{16.67 Q}{F}$$

3. 试验土层的基本情况描述和需要说明的问题

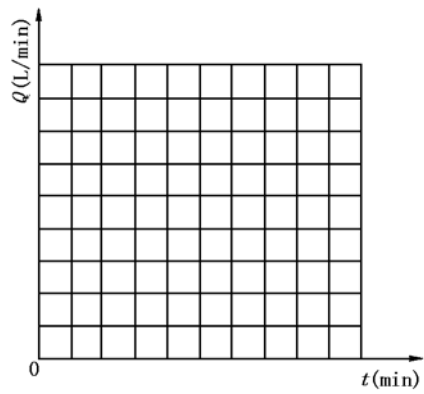
审查：

校核：

记录：

表 A.0.2—2 试坑双环注水试验资料整理记录

1. $Q-t$ 关系曲线



2. 试验土层的渗透系数

$$K = \frac{16.67 Qz}{F(H+z+0.5H_a)}$$

3. 试验土层的基本情况描述和需要说明的问题

审查：

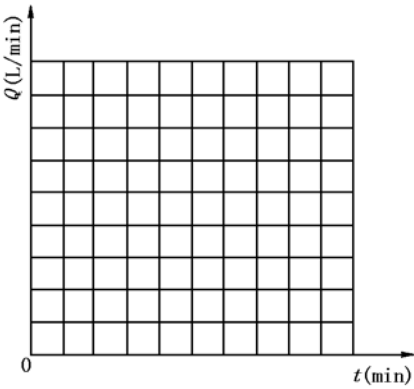
校核：

记录：

表 A.0.3—2 钻孔常水头注水试验资料整理记录

1. 试段安装示意图

2. $Q-t$ 关系曲线



3. 试验土层的渗透系数

(1) 试段位于地下水位以下：

$$K = \frac{16.67 Q}{AH}$$

(2) 试段位于地下水位以上：

$$K = \frac{7.05 Q}{lH} \lg \frac{2l}{r}$$

4. 试验土层的基本情况描述和需要说明的问题

审查：

校核：

记录：

表 A.0.4—1 钻孔降水头注水试验记录表

[illegible]

审查:

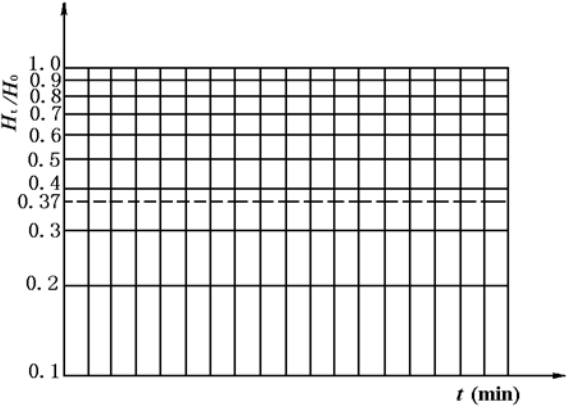
校核：

记录:

表 A.0.4—2 钻孔降水头注水试验资料整理记录

1. 试段安装示意图

2. $\ln(H_t/H_0) - t$ 关系曲线



3. 试验土层的渗透系数

(1)
$$K = \frac{0.0523 r^2}{A} \frac{\ln \frac{H_1}{H_2}}{t_2 - t_1}$$

(2)
$$K = \frac{0.0523 r^2}{A t_0}$$

4. 试验土层的基本情况描述和需要说明的问题

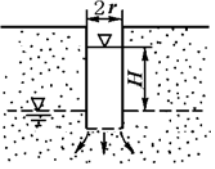
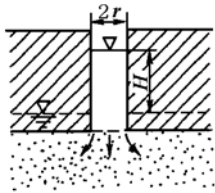
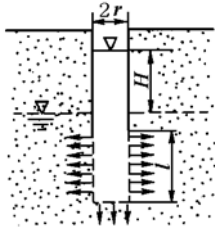
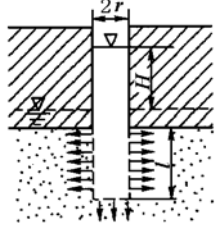
审查：

校核：

记录：

附录 B 钻孔注水试验形状系数 A 取值规定

表 B 钻孔注水试验的形状系数值

试验条件	简 图	形状系数 A	备 注
试段位于地下水位以下，钻孔套管下至孔底，孔底进水		$5.5r$	
试段位于地下水位以下，钻孔套管下至孔底，孔底进水，试验土层顶板为不透水层		$4r$	
试段位于地下水位以下，孔内不下套管或部分下套管，试验段裸露或下花管，孔壁和孔底进水		$\frac{2\pi l}{\ln \frac{ml}{r}}$	$\frac{1}{r} > 8$ $m = \sqrt{K_h/K_v}$ 式中： K_h 、 K_v 分别为 试验土层的水平、垂直 渗透系数
试段位于地下水位以下，孔内不下套管或部分下套管，试验段裸露或下花管，孔壁和孔底进水，试验土层为顶部为不透水		$\frac{2\pi l}{\ln \frac{2ml}{r}}$	$\frac{1}{r} > 8$ $m = \sqrt{K_h/K_v}$ 式中： K_h 、 K_v 分别为 试验土层的水平、垂直 渗透系数

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	

中华人民共和国水利行业标准

水利水电工程注水试验规程

SL 345—2007

条 文 说 明

目 次

1	总则	3
3	试坑单环注水试验	4
4	试坑双环注水试验	5
5	钻孔常水头注水试验	6
6	钻孔降水头注水试验	8
附录 B	钻孔注水试验形状系数 A 取值规定	11

1 总 则

1.0.1 注水试验是用人工抬高水头，向试坑或钻孔内注入清水，测定岩土体渗透性的一种原位试验方法。它适用于不能进行抽水试验和压水试验，取原状样进行室内试验又比较困难的松散岩土体。根据试验方法和适用岩土层条件不同，注水试验分为试坑注水试验和钻孔注水试验两大类。试坑注水试验又分为单环注水试验和双环注水试验。钻孔注水试验又分为常水头注水试验和降水头注水试验。

目前水利水电行业内没有注水试验的技术标准，各勘察单位在水利水电工程地质勘察过程中，需要做注水试验时，自行引用其他行业标准或自定标准。由于使用的技术标准不统一，造成试验成果的可比性差，不利于成果的使用和技术交流。制定本标准的目的是完善水利水电工程地质勘察中的原位试验手段，规范水利水电工程注水试验方法和资料分析及整理，使利用注水试验进行岩土体渗透性参数的试验方法和操作程序在行业内统一标准，有利于这一原位试验手段的应用。

1.0.2 注水试验作为原位测定岩土体渗透性的一种试验方法，与压水试验和抽水试验互为补充，适用范围为水利水电工程地质勘察中的岩土层渗透性测定工作。

3 试坑单环注水试验

3.1.1 本条规定了单环注水试验适用于砂土和砂卵砾石等土层，渗流为三维流，它测得的是土层的综合渗透系数。对毛细力较大的黏性土，使用单环注水试验，测得的渗透系数误差较大。

3.2.1 试坑开挖应执行《水利水电工程坑探规程》(SL 166)的有关规定，特别是试验土层埋藏较深时，要保证试坑开挖和试验过程中人员的安全。

3.2.3 本条规定了试验水头和水头的波动幅度值，既考虑注水试验所能达到的精度，又考虑现场操作的可能。

3.2.4 本条规定了注水试验注入流量观测的要求。

对注水试验流量观测时间，主要从两方面考虑：一是试验的基本时间，计算表明，对于渗透系数大于 1m/d 的试验土层，在基本试验时间内完成试验是可以满足要求的；二是试验虽然没有达到流量完全稳定，但是注入流量与时间的 $Q-t$ 曲线达到缓变段，也就是流量变幅所产生的误差不影响试验成果的使用。

3.3.1 规定应在现场绘制 $Q-t$ 曲线，主要是了解注水试验注入流量随时间的变化情况，保证试验结束时，注入流量已达到基本稳定。

3.3.2 式 (3.3.2) 中的系数，是为了便于计算，把流量单位由 L/min 换算成 cm^3/s 得来的。

4 试坑双环注水试验

4.1.1 本条规定了试坑双环注水试验适用于毛细力较大的黏性土层，在内、外环之间和内环同时注水，内、外环之间为三维流，内环近似为平行流，求得的渗透系数基本上反映了土层的垂直渗透性。

4.2.1 试坑开挖应符合 SL 166 的要求，特别是试坑比较深时，要确保人员安全。

4.2.2 双环注水试验的目的是通过内、外环间注水，使内环水流为平行流。因此内、外环应按同心圆状安装。

4.2.3 本条规定了双环注水试验安装的具体要求。

4.2.4 外环注水的作用是保证内环水流渗流基本为平行流，与计算试验土层的渗透系数无关，因此不必观测外环注入水流。

4.2.5 黏性土层渗透系数小，加上毛细作用的影响，为了保证水流渗入一定深度，试验所需时间较长，本条规定了试验的基本时间，在此时间内，流量未达到规定的标准，应继续进行试验。

4.2.6 在干燥、炎热的条件下，水面蒸发量较大。不计入蒸发损失，可能对试验成果产生误差，因此作出本条规定。

4.2.7 计算岩土层的渗透系数需要注水试验的渗入深度，规程列出了两种常用的确定方法。钻孔法比较费时费力，适用于渗透比较深的情况。挖坑法相对简单，适用于渗入深度较浅的情况。

4.3.1 规定 $Q-t$ 曲线在现场绘制，主要是了解注水试验注入流量随时间的变化情况，保证试验结束时，注入流量已达到基本稳定。

4.3.2 式 (4.3.2) 中的系数，是为了便于计算，把流量单位由 L/min 换算成 cm^3/s 得来的。

5 钻孔常水头注水试验

5.1.1 本条规定了常水头注水试验的适用条件是渗透性比较大的岩土层，目前在坝基、堤防、输水渠道、病险库勘察等工程中应用较广。

5.2.1 试验钻孔除满足《水利水电工程钻探规程》(SL 291)的规定外，本条规定不准使用泥浆钻进。这是因为使用泥浆钻进，在孔壁形成泥皮影响土层的渗透性，所以进行注水试验的钻孔，应采用清水钻进。孔底沉淀物厚度超过允许值，影响试段长度，应进行清孔。

5.2.2 进行地下水位观测的目的是确定注水试验水头的计算零点。地下水位观测的稳定标准，主要是考虑试验所能达到精度确定的。参照压水试验标准，考虑到注水试验水头较低，因此采用水位变幅 $2\text{cm}/\text{min}$ 的标准，较压水试验水位变幅 $5\text{cm}/\text{min}$ 的稳定标准要求高。

5.2.3 本条列出目前试段止水的常用两种方法。一般在土层中，采用套管脚黏土止水是比较可靠的。在基岩中常用栓塞止水，其中气压、水压栓塞的止水效果优于顶压式栓塞。

对孔壁稳定性差的试段，要求及时下入护壁花管以避免塌孔。

5.2.4 一般情况下，控制水位至孔口，操作较孔内观测水位方便。

5.2.5 关于钻孔注水试验的试验时间，主要从两方面考虑：对于地下水位以下试段，土层不存在饱和过程，试验时间相对较短；对于地下水位以上试段，在试验过程中，存在土层饱和问题，试验时间相对要长一些。据一些单位钻孔注水试验时间统计，大部分试验在 1h 内完成。为了留有余地，积累资料，本次规程规定观测的基本时间控制在 2h ，是可以满足大多数试段试

验要求的。

5.2.6 当试段漏水量大于供水能力时，无法测得试验水头和计算渗透系数。但是通过记录注入的最大流量，对了解岩土体的渗透性是有参考价值的。

5.3.1 同 4.3.1。

5.3.3 对于地下水位以上土层进行注水收验，由于受土层毛细力影响，渗流并不符合达西定律，如果按达西定律确定的公式进行计算，求得的渗透系数将存在一定的误差。

《水利水电工程地质》和《工程地质手册》都推荐采用纳斯别尔格公式计算干燥岩土层的渗透系数，条件是试验段高出地下水位较多，介质均匀，且 $50 < H/r < 200$ ，孔中水柱高度 $h \leq l$ 时，可按式 (1) 计算渗透系数：

$$K = \frac{0.432 Q}{h^2} \lg \frac{2h}{r} \quad (1)$$

式中 K ——岩土体的渗透系数， cm/s ；

Q ——稳定注水量， cm^3/s ；

h ——试验水头， cm ；

r ——钻孔或过滤器半径， cm 。

上述公式，目前在水利水电系统应用较广，积累了一定的经验，采用此公式计算的渗透系数误差在 10% 以内，可满足注水试验的精度要求。公式中的系数，是在原有系数的基础上，为了便于计算，把流量单位由 L/min 换算成 cm^3/s 得来的。

6 钻孔降水头注水试验

6.1.1 对于渗透系数比较小的岩土层，采用常水头注水试验，试验时间较长，采用降水头注水试验可以缩短试验时间。

6.2.3 本条规定了三方面内容。

1 开始时，水位下降幅度较快，因此要求观测间隔较短，随着时间的延续，水位下降幅度减缓，观测时间间隔可相应延长。

2 理论上，水头下降比的对数值与时间应为直线关系，通过现场绘制 $\ln(H_i/H_0)-t$ 曲线，可以现场判断试验数据的可靠性，如果试验数据不符合直线关系，应找出产生原因，如止水可靠性检查，水位观测误差等。

3 为保证试验成果的准确性，要求试验必须达到一定的观测时间和取得足够的观测数据。对渗透性比较大的土层，可以用试验水头降低值控制；对渗透性较小的土层，为了减少试验时间，可以用观测次数控制。

6.3.2 式（6.3.2-2）是式（6.3.2-1）在 $\ln(H_0/H_i)=1$ 或者 $H_i/H_0=0.37$ 和 $T_0=t_2-t_1$ 时的特定条件下的简化形式。

为了保证根据 $\ln(H_i/H_0)-t$ 曲线求得的 T_0 的准确性，要求试验结束时间必须满足 6.2.4 条的规定。降水头注水试验的形状系数和常水头注水试验相同。

对于在包气带内进行的钻孔降水头注水试验，与包气带的饱和度和孔隙度有关，目前水利水电工程勘察中缺少资料进行对比，可采用饱和带注水试验公式和中国有色金属工业协会颁布的行业标准《注水试验规程》（YS 5214—2000）及美国双栓塞注水试验推荐的公式计算渗透系数，为下次规程修订积累资料。

YS 5214—2000 考虑了包气带的饱和度和孔隙度，试验安装如图 1 所示，采用式（2）计算渗透系数：

$$K = \frac{r \ln \frac{H_1}{H_2}}{4 t_2 \left[\frac{3(H_1 - H_2)}{4 S_r n r} + 1 \right]^{1/3} - t_1} \quad (2)$$

式中 K ——试验土层的平均有效渗透系数, cm/min;

r ——注水管内半径, cm;

t_1 、 t_2 ——观测时间, min;

H_1 ——当 $t = t_1$ 时的管内水柱高度 (从孔底算起), cm;

H_2 ——当 $t = t_2$ 时的管内水柱高度 (从孔底算起), cm;

S_r ——试验土层的最终饱和度;

n ——试验土层的孔隙度。

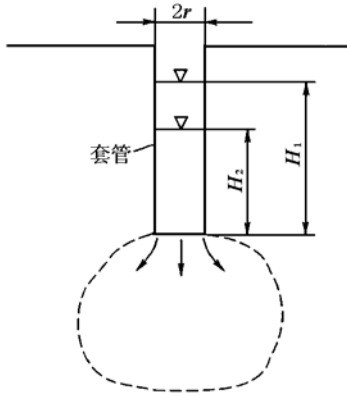


图1 试验安装示意图

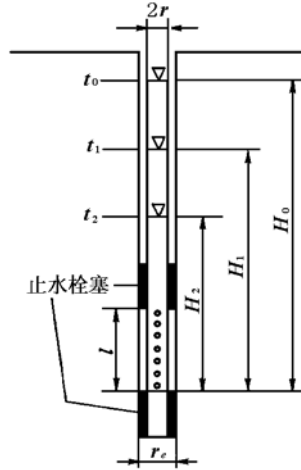


图2 试验安装示意图

美国《地下水手册》推荐采用双栓塞隔离试段, 试验安装如图2所示, 试段的渗透系数采用修正的 Jarvis 公式计算渗透系数:

$$K = \frac{r_1^2}{2 l \Delta t} \left(\frac{\text{arsh} \frac{l}{r_e}}{2} \ln \frac{2 H_1 - l}{2 H_2 - l} - \ln \frac{2 H_1 H_2 - l H_2}{2 H_1 H_2 - l H_1} \right) \quad (3)$$

式中 K ——时段的平均渗透系数, cm/min;

l ——试段的长度，**cm**；
 r_1 ——工作管内半径，**cm**；
 r_e ——时段的有效半径，**cm**；
 Δt ——时间间隔（ $t_1 - t_0$ ， $t_2 - t_1$ ），**min**；
 H ——试段底部到工作管中水面的水柱高度（在测量时间
 t_0 、 t_1 、 t_2 时分别为 H_0 、 H_1 、 H_2 ），**cm**。

附录 B 钻孔注水试验形状系数 A 取值规定

(1) 本附录所列形状系数常见于国内外有关规范和文献中，实际上不同学者推导的公式均有一定的差异，考虑到对渗透系数计算的影响不大，故未作修改。

(2) 沉积层中常出现微层理现象，如砂层中的粉土或黏土薄层，这些薄层的存在会导致显著的渗透性各向异性。在勘察过程中应注意对此现象的调查，并据此估算水平渗透系数与垂直渗透系数比值的差异。

(3) 第三、第四个图中形状系数考虑了渗透性各向异性，按此计算所得为水平渗透系数；第一个图、第二个图中的形状系数未考虑渗透性的各向异性，计算所得为平均渗透系数。