

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。

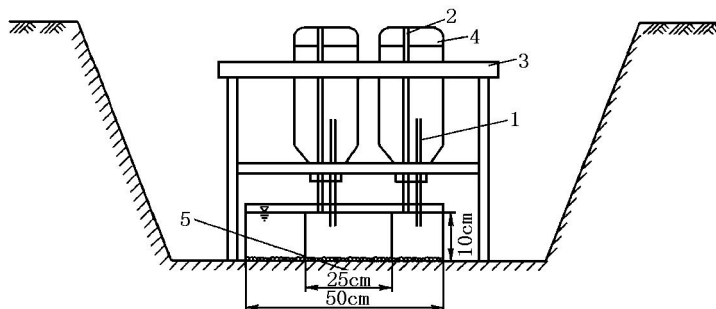


图4.2.3 双环注水法安装示意图

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)。

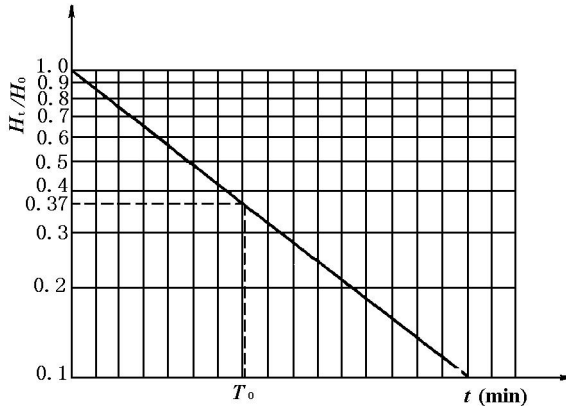
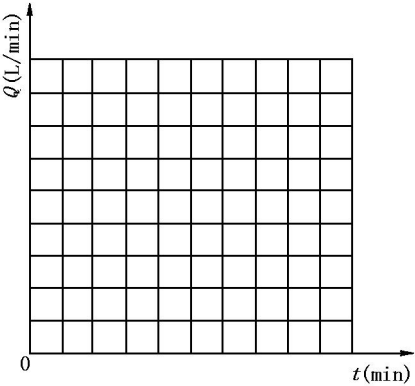


图6.3.2 $\ln(H_t/H_0) - t$ 曲线

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

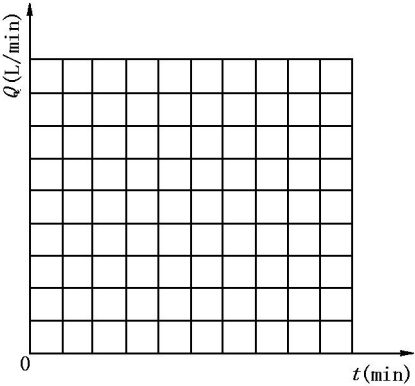
审查：

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

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

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—1 钻孔常水头注水试验记录表

[illegible]

审查:

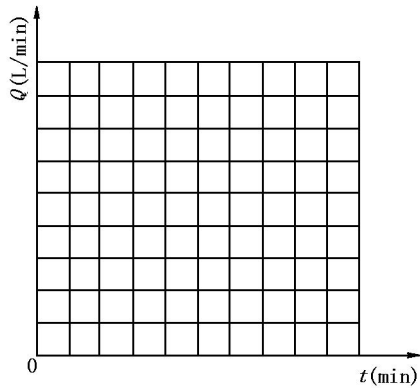
校核：

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：

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

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:

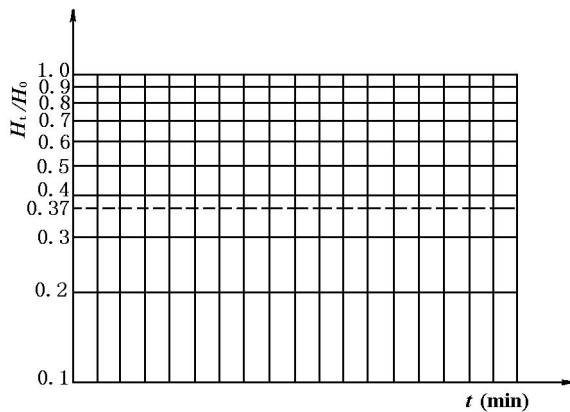
校核：

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

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

$$(2) \quad K = \frac{0.0523 r^2}{A T_0}$$

4. 试验土层的基本情况描述和需要说明的问题

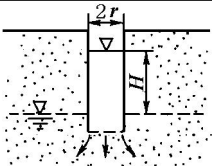
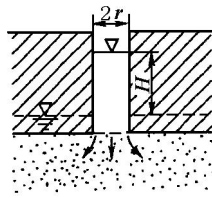
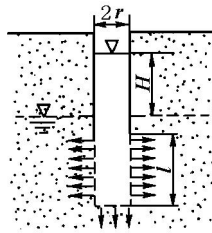
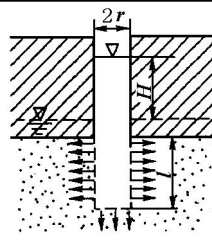
审查：

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	