

辽宁省地方标准

十、注水试验规程

Specification for injection test

DB21/T1564. 10 – 2007

主编单位：辽宁有色勘察研究院

批准部门：辽宁省建设厅

施行日期：2008年01月12日

2007 沈阳

1 总 则

1.0.1 为了统一测定包气带松散岩土渗透性的试验方法，提高试验成果的质量，为工程设计和施工提供可靠的参数，特制订本规程。

1.0.2 注水试验方法可用于评价岩土渗透性，分为试坑法（包括单环注水法和双环自流注水法）、钻孔法（包括钻孔降水头法和钻孔常水头法）。试坑法一般在地下水位埋深大于 5m 时较为适宜；钻孔降水头法，适用于地下水位上、下各类土层；钻孔常水头法，适用于地下水位以下强渗透土层。

1.0.3 岩土渗透性注水试验，除应符合本规程外，尚应符合有关现行国家标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术语

2.1.1 渗透系数

反映岩土渗透性能的指标，物理意义为当水力坡度为 1 时的地下水流速。

2.1.2 单环注水试验

通过高 20cm、直径 30 ~ 50cm 的铁环进行的注水试验。适用于测定毛细管作用不大的砂土层。

2.1.3 双环自流注水试验

通过直径分别为 25cm 和 50cm、高为 20cm 的两个铁环进行的注水试验。双环法适用于粘性土和粉土层。

2.1.4 缓冲层

试坑底铺一定厚度的小砾石层。

2.1.5 钻孔降水头注水试验

钻孔中水头随时间逐渐消散的注水试验。采用滞后时间和渗

透方式，按达西定律确定试验土层的水平向、垂直向和平均有效的渗透系数。适用于地下水位上、下各类土层。

2.1.6 钻孔常水头注水试验

钻孔中水头固定的注水试验。适用于地下水位以下强渗透性土层。

2.1.7 滞后时间

钻孔中注满水后，出现初始水头并以初始流量进行渗透，随时间水头 H 逐渐消散，当水头 H 消散为零时所需的时间。

2.2 符号

Q — 稳定流量

k — 渗透系数

F — 渗透面积

t 、 t_1 、 t_2 — 观测时间

F_0 — 内环面积

Z 、 Z_1 、 Z_2 — 水头高或水位深度

H_a — 试验土中的毛细压力

S — 渗透深度

H — 水头高度

H_0 — 初始水头高度

H_1 、 H_2 — 分别为观测时间 t_1 、 t_2 时的水头高度

A — 注水管内径截面积

q_0 — 初始流量

T — 滞后时间

q — 稳定流量

H_c — 固定水头高度

l — 注入水量

k_h — 水平向渗透系数

k_v — 垂直向渗透系数

k_m — 平均有效渗透系数

D —注水管内径
 L —试验段或试验土柱长度
 K_v —套管内土柱滤料垂直渗透系数
 m —传导比
 η —垂直向传导比
 S_r —试验土层最终饱和度
 n —试验土层孔隙度
 F_c —试验段与注水管的形状系数

3 仪器设备

3.1 试坑注水试验设备

3.1.1 单环注水法的试验设备主要有高 20cm、直径 30 ~ 50cm 的铁环 1 个,流量水桶 2 个以及量杯、胶皮管和计时钟表等。

3.1.2 双环自流注水法的试验设备主要有直径分别为 25cm 和 50cm、高为 20cm 的铁环各 1 个, 流量瓶(容量为 5L, 并带有刻度的玻璃瓶) 2 个及放置流量瓶的支架、计时钟表等。

3.2 钻孔注水试验设备

3.2.1 钻孔降水头注水试验的主要设备有钻机、机具、套管 ($\Phi 108 \sim 146\text{mm}$)、计时钟表、水位计和加重布卷尺等。

3.2.2 钻孔常水头注水试验的主要设备有钻机、机具、套管 ($\Phi 108 \sim 146\text{mm}$)、计时钟表, 水表或流量箱。

4 操作方法

4.1 单环注水法

4.1.1 试验准备工作

1 在拟定的试验位置上, 挖一个方形或圆形试坑至预定深

度，在坑的底部再挖一个注水试坑，深度 15 ~ 20cm 时，坑底应修平，并确保土层的原状结构；

2 放入铁环，使其与试坑底紧密接触，在其外部用粘土填实，确保四周不漏水；

3 在坑底铺厚度为 2 ~ 3cm 的小砾石作为缓冲层；

4 将流量桶水平放置在注水试坑边，接上胶管，将钳夹夹于胶管下部，然后向流量桶注满清水。

4.1.2 操作方法

1 松开钳夹，向试坑内注水，待坑内水头高度达到 10cm 时，试验即正式开始，记录时间和流入桶内的水量；

2 试验时必须保持 10cm 水头，其波动幅度不得大于 ± 0.5 cm；

3 试验开始后，按 5min、10min、15min、20min、30min 的时间间隔测记渗水量，以后每隔 30min 测记 1 次，直至试验终止，记录格式应符合附录 A 的规定；

4 每次观测流量 Q 的精度应读到 0.1L；

5 试验过程中，随时绘制流量 Q 与时间 t 的关系曲线，当每隔 30min 观测 1 次的流量与最后 2h 内平均流量之差不大于 10% 时，即可视为稳定，结束试验。

4.2 双环自流注水法

4.2.1 流量瓶的安装：将瓶中装满清水，用带两个孔的胶塞塞住，孔中插入 2 根细玻璃管（管端切成斜口），短的供水用，长的进气用（图 4.2.1）。

4.2.2 试验准备工作：

1 在拟定的试验位置上，挖一试验坑至预定深度；

2 将两个铁环，按同心圆压入坑底，深约 5 ~ 8cm，并确保试验土层的原状结构；

3 在内环及内、外环之间铺上 2 ~ 3cm 的小砾石，作为缓冲层；

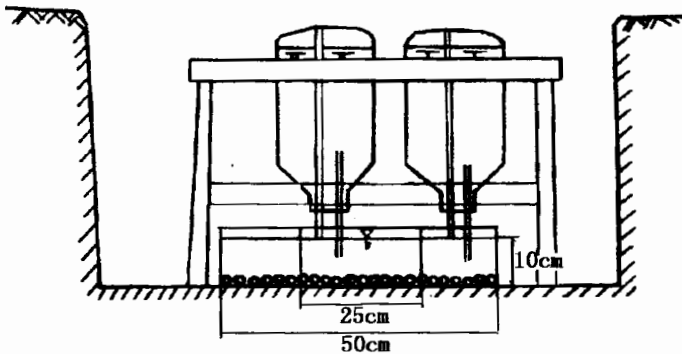


图 4.2.1 双环注水试验设备安装及工作示意图

4 水头高度保持 10cm，安装瓶架；

5 在距试坑约 3~4m 处打一个比坑底深 3~4m 的钻孔，并每 20cm 取扰动试样一件，测定天然含水量。

4.2.3 试验方法

1 向内环及内、外环之间同时注入 10cm 的水头，然后放上流量瓶，使其自动供水。开始自动供水后，当保持 10cm 的常水头时，试验正式开始。

试验时将两个流量瓶分别倒放在内环及内、外环之间的水面上，其中通气的细玻璃管口离试坑底 10cm，使它刚好沉入水面之下；给水玻璃管插入水面以下 2~3cm，注入的水量则由瓶上的刻度读得。

2 在整个试验过程中必须使内环和内、外环之间的水头高度保持一致。

3 试验正式开始以后，按 5min、10min、15min、20min、30min 的时间间隔测记渗水量，以后每隔 30min 测记 1 次，直至试验终止，记录格式应符合附录 B 的规定。

4 试验过程中，应随时绘制流量 Q 与时间 t 的关系曲线。当符合 4.1.2 中 5 条时，即可视为稳定，再延续 4h 试验即可结

束。

5 试验结束后，立即掏出环内积水，在试坑中心打一个深 3~4m 的钻孔，并每隔 20cm 取扰动土试样一件，测定试验后土的含水量。

4.3 钻孔降水头注水试验

4.3.1 试验准备工作

1 注水试验应采取有效的止水措施，确保套管下部与孔壁之间不漏水，以保证所得渗透系数的准确性。止水方法一般有栓塞止水法、粘土止水法及气囊止水法等，有成功经验时也可采取其他方法止水。

2 用钻机钻孔，按预定深度下套管，如遇地下水时应采用清水钻进，孔底沉淀物不得大于 5cm。为防止试验土层被扰动，应在孔底填 15cm 厚的砾石垫层。

4.3.2 试验方法

1 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面，试验正式开始，记录注水时间和水头高度。

2 管中水头下降值的观测时间，按 30s 间隔测 5min，1min 间隔测 10min。然后按水头下降速度决定，一般可按 5~10min 间隔进行。总观测时间不少于 1h，对于较强的透水土层，观测时间间隔和总观测时间可适当缩短。记录格式应符合附录 D 的规定。

3 试验过程中，随时在半对数纸上绘制水头比 ($\frac{H}{H_0}$) 与时间 (t) 的关系图。当观测点在图上有明显的线性关系时，说明试验正确；如不呈线性关系，说明试验有误，应重新注水并进行观测。

4 当试验土层为弱透水层，观测点有 10 个以上皆在直线上时，可采用将该直线外延与 $\frac{H}{H_0} = 0.37$ 横线相交的办法来确定滞

后时间，不必观测很长时间，即可停止试验。

4.4 钻孔常水头注水试验

4.4.1 试验准备工作与钻孔降水头注水试验 4.3.1 相同。

4.4.2 试验方法

1 用带水表的注水管或流量箱连续向套管内注入清水，使管中水位高于地下水位一定高度或至管口保持固定，测出高出地下水位的固定水头 H_c ，并记录时间和水表（或流量箱）读数，正式开始试验。

2 试验时必须保持固定水头 H_c 不变，其波动幅度不得大于 1.0cm。

3 先按 1min 间隔测 5min，再按 5min 间隔测到 30min，以后每隔 30min 测 1 次，直到最后两个 h 平均流量之差不大于 10% 时，视为流量稳定，终止观测。记录格式应符合附录 D 的规定。试验过程随时绘制流量 q 与时间 t 的关系曲线。

5 资料整理

5.1 试坑注水试验

5.1.1 单环注水法资料整理

1 检查原始记录，并绘制 $Q=f(t)$ 曲线图。

2 根据试验结果，按下式 (5.1.1) 计算渗透系数：

$$k = \frac{Q}{F} \quad (5.1.1)$$

式中： k —渗透系数 (cm/min)；

Q —稳定流量 (cm³/min)；

F —渗透面积，即试坑的底面积 (cm²)。

3 除计算渗透系数 k 外，尚应绘制注水试验综合成果表。

5.1.2 双环自流注水法资料整理

- 1 检查原始记录，并绘制 $Q=f(t)$ 曲线图。
- 2 根据试验结果，按式 (5.1.2) 计算渗透系数 k ：

$$k = \frac{QS}{F_0(Z + S + H_a)} \quad (5.1.2)$$

式中： F_0 —内环面积（当 $D=25\text{cm}$ 时， $F=491\text{cm}^2$ ）；

Z —水头高度（ $Z=10\text{cm}$ ）；

H_a —试验土中的毛细压力值，它大约等于毛细上升最大高度的 50%，其值按表 5.1.2 选用；

S —从试坑底算起的渗入深度，可通过试验前后两个钻孔土的含水量变化对比确定。

毛细压力值

表 5.1.2

土的名称	毛细压力值(m)	土的名称	毛细压力值(m)
粘土	1.00	细砂	0.20
粉质粘土	0.80	中砂	0.10
粉土	0.40 ~ 0.60	粗砂	0.05
粉砂	0.30	—	—

5.2 钻孔注水试验

5.2.1 钻孔降水头注水试验资料整理

1 确定滞后时间。滞后时间 T 是指孔中注满水后，出现初始水头 H_0 并以初始流量 q_0 进行渗透，随时间水头 H 逐渐消散，当水头 H 消散为零时所需的时间。

滞后时间的确定，可用 $\frac{H}{H_0} = 0.37$ 时所对应的的时间，也可用图解法和算法确定。

(1) 图解法。在 $\ln\left(\frac{H}{H_0}\right) \sim t$ 关系图上，最佳拟合直线与 $\frac{H}{H_0} = 0.37$ 横线相交点所对应的的时间即为滞后时间 T （图 5.2.1）。

(2) 算法。按式 (5.2.1-1) 计算滞后时间 T ：

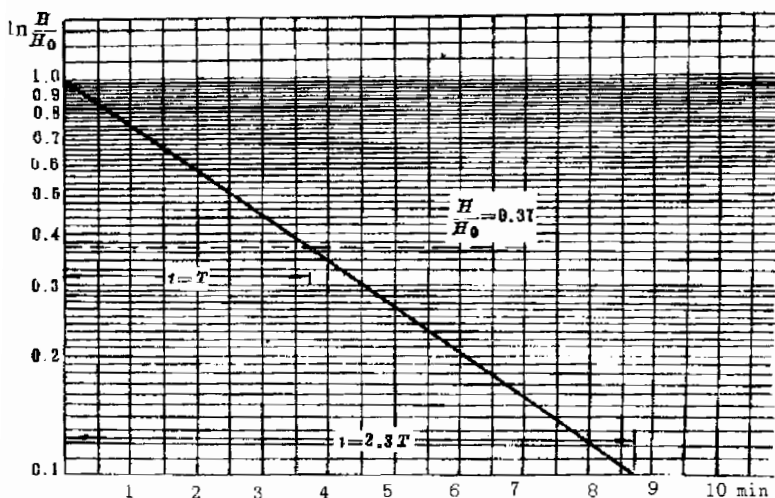


图 5.2.1 滞后时间 T 的图解

$$T = \frac{t_2 - t_1}{\ln\left(\frac{H_1}{H_2}\right)} \quad (5.2.1 - 1)$$

式中： H_1 、 H_2 分别为观测时间 t_1 、 t_2 时的水头高度 (cm)。

2 计算渗透系数。钻孔降水头试验渗透系数按式 (5.2.1-2) 计算：

$$k = \frac{A}{F_c T} \quad (\text{cm/min}) \quad (5.2.1 - 2)$$

式中： A —注水管内径截面积 (cm^2)；

F_c —试验段与注水管的形状系数 (cm)，其值按附录 C 选用；

T —滞后时间 (min)。

根据试验段的渗水方式和钻孔装置条件确定的水平渗透系数 k_h 、垂直向渗透系数 k_v 和平均有效渗透系数 k_m ，其计算公式按附录 C 选用。

3 当地下水位较深，需测定非饱和土层的渗透系数时，亦

可用钻孔降水头试验方法，但试验土层应与孔底齐平。渗透系数计算公式按附录 E 选用。

5.2.2 钻孔常水头注水试验资料整理

- 1 绘制流量 q 与时间 t 的关系曲线。
- 2 根据稳定流量 q ，按式 (5.2.2) 计算渗透系数：

$$k = \frac{q}{F_c \times H_c} \quad (5.2.2)$$

式中： k —渗透系数 (cm/min)；

q —稳定流量 (cm³/min)；

H_c —固定水头高度，自地下水位起算 (cm)；

F_c —试验段与注水管的形状系数，按附录 C 求得。

不同试验条件下的渗透系数公式可从式 (5.2.2) 导出，按附录 C 中常水头分别计算水平向渗透系数 K_h 、垂直向渗透系数 K_v 和平均有效渗透系数 K_m 。

试验装置与水位降深 h 值的相关关系如图 5.2.2 所示。

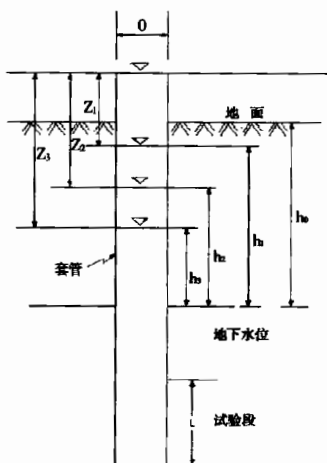
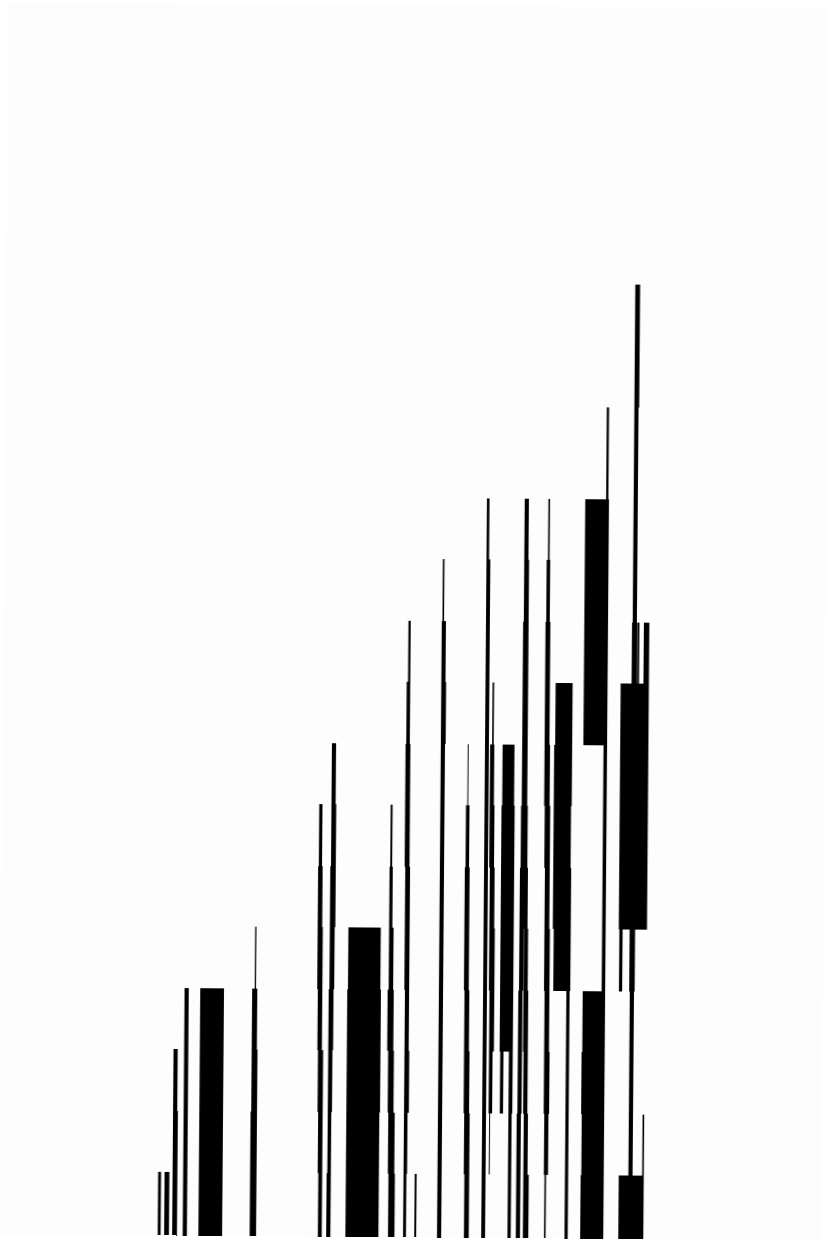


图 5.2.2 试验装置与水位降深的关系



附录 C 钻孔注水试验应用条件的计算公式

试验土层为饱和砂土、粉土及砾石层

表 C. 1. 1

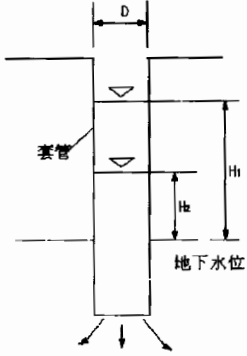
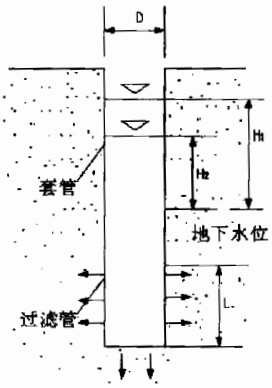
条 件		示意图		
下套管钻孔, 试验土层与孔底平				
计算公式	$F_c = \frac{11}{4}D$	$k_m = \frac{\pi D}{11T}$	$k_m = \frac{4q}{11D \cdot H_c}$	

表 C. 1. 2

条 件	示意图			
下套管钻孔, 试验段不下管 或下过滤管				
				形状系数 F_c
计算公式	$F_c = \frac{11}{4}D$	$k_m = \frac{\pi D}{11T}$	$k_m = \frac{4q}{11D \cdot H_c}$	

续表

条 件		示意图	
计算公式	形状系数 F_c	降水头 k	常水头 k
	$F_c = \frac{2\pi L}{\ln(\frac{2mL}{D})}$	$k_h = \frac{D^2 \ln(\frac{2mL}{D})}{8LT}$ $(\frac{mL}{D} > 4)$	$k_h = \frac{qln(\frac{2mL}{D})}{2\pi LH_c}$ $(\frac{mL}{D} > 4)$
	$F_c = \frac{2\pi L}{\ln(\frac{2L}{D})}$ $(k_h = k_v)$	$k_h = \frac{D^2 \ln(\frac{2L}{D})}{8LT}$ $(\frac{L}{D} > 4)$	$k_h = \frac{qln(\frac{2L}{D})}{2\pi LH_c}$ $(\frac{L}{D} > 4)$

表 C. 1.3

条 件		示意图	
下套管钻孔, 但管内有 L 高土柱(滤料)			
计算公式	形状系数 F_c	降水头 k	常水头 k
	$F_c = \frac{11D}{4}$	$k_m = \frac{\pi D}{11T}$	$k_m = \frac{4q}{11D \cdot H_c}$

试验土层为饱和砂土、粉土及砾石层

表 C. 2. 1

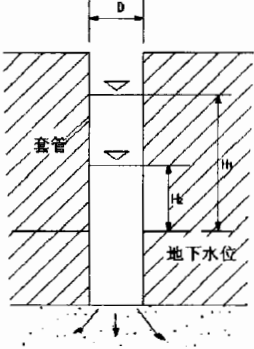
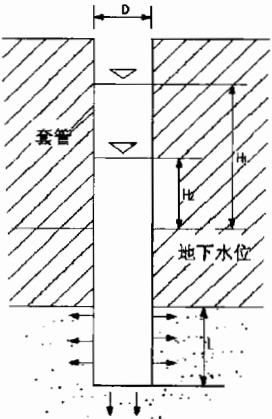
条 件		示意图	
下套管钻孔,孔底与含水层 顶板平			
计算公式	$F_c = 2D$	$k_m = \frac{q}{2DH_c}$	$k_m = \frac{\pi D}{8T}$

表 C. 2. 2

条 件		示意图	
下套管钻孔,试验段不下管 或下过滤管			

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/897060115100010006>