

ICS 编号

CCS 编号

团 体 标 准

T/CHES XXX—20XX

水利水电工程钻孔微水试验规程

**Specification for drilling micro water test of water
conservancy and hydropower projects**

（征求意见稿）

请将你们发现的有关专利的内容和支持性文件随意见一并返回

20XX-XX-XX 发布

20XX-XX-XX 实施

中国水利学会 发 布

前 言

本标准按照《工程建设标准编写规定》（建标〔2008〕182号）的规定起草。

本标准共6章、2个附录，主要技术内容有：总则、术语和符号、基本规定、试验设备、现场试验、试验资料整编。

本标准批准部门：中国水利学会

本标准主持机构：中国水利学会

本标准解释单位：

本标准主编单位：长江三峡勘测研究院有限公司（武汉）

本标准参编单位：黄河勘测规划设计研究院有限公司

河海大学

长江科学院

新疆水利水电勘测设计研究院有限公司

新疆兵团勘测设计院集团股份有限公司

中水北方勘测设计有限责任公司

三峡大学

中水珠江规划勘测设计有限公司

广东省水利电力勘测设计研究院有限公司

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：

本标准技术内容审查人：

本标准体例格式审查人：

本规程由中国水利学会负责管理，长江三峡勘测研究院有限公司（武汉）负责具体技术内容的解释，在执行过程中，如有意见和建议，请及时反馈给中国水利学会（通信地址：北京市西城区白广路二条16号中国水利学会；邮政编码：100053；电话：010-63204693；电子邮箱：slxhttbz2020@163.com），以供今后修订时参考。

目 次

1 总则 1

2 术语和符号 2

 2.1 术语 2

 2.2 符号 3

3 基本规定 4

4 仪器设备 5

5 现场试验 6

 5.1 现场准备 6

 5.2 仪器设备安装 6

 5.3 试验操作 7

6 试验资料整编 8

 6.1 试验资料整理 8

 6.2 渗透性参数计算 8

 6.3 试验报告编制 8

附录A 振荡式水头激发设备结构 9

附录B 微水试验记录表格 10

附录C 微水试验参数计算 12

本规程用词说明 30

引用标准名录 31

条文说明 32

1 总则

1.0.1 为在钻孔中获得岩土体渗透性参数，统一水利水电工程钻孔微水试验方法、内容，规范试验程序，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于水利水电工程岩土体渗透性试验。

1.0.3 水利水电工程钻孔微水试验，除应符合本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 微水试验 slug test

通过孔内瞬间微小水量的增加或减少而引起水位随时间的变化规律确定岩土体渗透性参数的一种原位渗透试验。

2.1.2 完整井 fully penetrating well

贯穿整个含水层，在全部含水层厚度上都安装有过滤器，并能全面进水。

2.1.3 非完整井 partial penetrating well

没有贯穿整个含水层，只有孔底和含水层的部分厚度上能进水。

2.1.4 振荡器 oscillator

激发孔内水头或水位产生瞬时变化的固体器件。

2.1.5 激发水头 excitation water head

通过不同的激发方式引起孔内水位瞬时变化的最大水头变化值。

2.1.6 弹性贮水系数 storativity coefficient

表示在面积为1个单位、厚度为含水层全厚度的含水层柱体中，当水头改变一个单位时弹性贮存或释放的水量。

2.1.7 导水系数 transmissibility coefficient

表示水力坡度等于1时，通过这个含水层厚度上的单宽流量，是含水层全部厚度导水能力的一个参数。

2.1.8 渗透系数 permeability coefficient

表征含水层透水能力的参数，指当水力坡度为1时地下水在介质中的渗透速度。

2.1.9 过滤器 screen assembly

设置于试验孔中进出水段部位，用于护壁、滤水和防止涌砂的装置。

2.2 符号

b ——含水层厚度；

b' ——初始水位距潜水含水层底板距离；

K ——渗透系数；

L_e ——有效静态水柱长度；

L_w ——初始水位距钻孔孔底距离；

r_c ——孔内水位升降段的套管半径；

r_w ——过滤器半径；

$\hat{t}$ ——选取匹配点对应的标准曲线无量纲时间；

T ——导水系数；

ω_t ——瞬时抽（注）水后， t 时刻孔内水位变化值；

ω_0 ——瞬时抽（注）水后，初始时刻的孔内水位变化值；

ω' ——标准曲线中无量纲的水位变化量；

ω ——实测曲线中无量纲的水位变化量；

a ——无量纲储水系数；

β ——无量纲惯性参数；

ζ ——阻尼系数。

3 基本规定

3.0.1 钻孔微水试验宜用于地下水位以下的岩土体。

3.0.2 钻孔微水试验前，应根据试验地段的地质结构和水文地质条件，进行钻孔的微水试验设计，明确试段选择和要求、钻孔水头变化激发方式。

3.0.3 钻孔微水试验水头变化激发方式可分为振荡器式、气压式、注水式或抽水式，激发方式的选择宜符合下列规定：

- 1 强透水性岩土体宜使用气压式。
- 2 地下水位埋深较浅的中～微透水性岩土体宜使用振荡器式、注水式或抽水式。
- 3 地下水位埋深较深的中～微透水性岩土体宜使用注水式。

3.0.4 试验孔宜采用清水钻进造孔，并应符合SL/T 291的有关规定。

3.0.5 对垂直方向透水性变化较大的含水层，应分段进行试验。每个试段的长度不宜小于0.5m。

3.0.6 对于非完整井，试验段应与过滤器设置的位置相对应。试验孔的结构在垂向上可变径，试验段不应跨变径段。

3.0.7 试验激发水头宜按岩土体渗透性强弱控制在0.5m～2.0m。测量精度应控制在最大水位变化量的1%以内。试验过程中不应将水位降到钻孔试验段过滤器上端以下。

3.0.8 使用振荡器式、注水式或抽水式激发时，整个激发过程时间应控制在5s以内。

4 仪器设备

4.0.1 试验仪器设备包括水头激发设备、过滤器、止水栓塞、传感器、数据采集器等。

4.0.2 水头激发设备配置应符合下列规定：

- 1 注水式水头激发应配备量筒或水泵。
- 2 抽水式水头激发应配备水泵。
- 3 气压式水头激发设备应包括空气压缩机和孔口密闭转换接头。
- 4 振荡式水头激发器结构宜符合附录 A 的要求。

4.0.3 过滤器（花管）宜包括骨架过滤器、包网或缠丝过滤器，并应符合下列规定：

- 1 过滤器长度应根据试验含水层厚度和试验段长度确定。
- 2 过滤器选型与相关技术指标应符合SL 320的规定。

4.0.4 止水栓塞应符合下列规定：

- 1 栓塞宜采用水压式或气压式。
- 2 栓塞长度不宜小于8倍钻孔直径。
- 3 栓塞应止水可靠、操作方便。

4.0.5 传感器应由压力传感器、温度传感器组成，并应符合下列规定：

- 1 压力传感器量程范围为0m~10m水柱，量测精度为1mm。
- 2 温度传感器测温范围为-55℃~125℃，量测精度为0.5℃。

4.0.6 数据采集器应由存储、传输和显示等模块组成。

5 现场试验

5.1 现场准备

- 5.1.1 试验前应进行钻孔清洗，达到水清砂净无沉淀。
- 5.1.2 试验前应检查仪器设备完备情况，并对相关设备进行调试，确保设备正常运行。
- 5.1.3 试验前应测量并记录试验钻孔及邻近孔（井）的位置、初始水位、初始大气压力、水温等基本信息。
- 5.1.4 根据试验类型准备相应的微水试验记录表格。记录表格应符合本规程附录A的有关规定。

5.2 仪器设备安装

- 5.2.1 过滤器安装应符合下列规定：
 - 1 过滤器安装应按照试段设置的要求进行，完整井过滤器应包含整个含水层，非完整井过滤器应安装在试验段位置，长度不宜少于20m，同时记录过滤器实际安装深度。
 - 2 包网或缠丝过滤器安装中应保持其平整和完好。
 - 3 过滤器与孔壁之间应分批投入清洗干净的砾料，砾料粒径应略大于网眼直径。
 - 4 填砾过滤器的砾石应清洗干净、分批填入，每次填入高度不宜大于0.8m，套管靴内保留的高度不宜小于0.2m，填充的最终高度应高出过滤器工作部分的顶端0.5m。
- 5.2.2 试验段上端和下端止水栓塞应安设在岩石较完整的部位，当孔壁岩土体较破碎时，宜采用气压式或水压式栓塞，栓塞定位应准确。
- 5.2.3 气压式微水试验仪器设备安装应符合下列规定：
 - 1 在井内套管上应安装密封井盖。
 - 2 应检验密封井盖上压力表的读数是否稳定。
- 5.2.4 振荡器式微水试验仪器设备安装应符合下列规定：
 - 1 振荡器式水头激发设备直径宜为孔径的0.5~0.8倍。
 - 2 振荡器宜为流线型器身，孔口应设置导线轮及闭锁装置。
 - 3 压力传感器应紧贴孔壁设置。
- 5.2.5 注水式微水试验仪器设备安装应符合下列规定：
 - 1 宜采用漏斗形注水器，注水口应有快速启闭阀门控制。
 - 2 压力传感器应紧贴孔壁设置。
- 5.2.6 抽水式微水试验仪器设备安装应符合下列规定：
 - 1 在水泵和抽水管之间宜设置止回阀。
 - 2 水泵进水口位于振荡最低水位以下。
- 5.2.7 微水试验的压力传感器在试验期间应保持在钻孔振荡最低水位以下。

5.2.8 水泵、空气压缩机、振荡器及其控制系统安装需满足安全用电要求。

5.3 试验操作

5.3.1 气压式微水试验的试验操作步骤应符合下列规定：

- 1 关闭放气阀，打开充气阀，接通气压泵电源，向钻孔内充气。
- 2 观察压力表读数和屏幕上显示，待压力表读数或屏幕显示水头曲线相对稳定后迅速打开放气阀。
- 3 待水位恢复到初始水位，宜延时1min~2min结束试验。

5.3.2 注水式微水试验的试验操作步骤应符合下列规定：

- 1 打开注水阀门迅速向钻孔中注水，当注水量等于设计注水量时，关闭阀门停止注水，并移除注水器。
- 2 观测压力传感器数据和地下水位历时曲线的变化情况，待水位恢复到初始水位，宜延时1min~2min结束试验。

5.3.3 抽水式微水试验的试验操作步骤应符合下列规定：

- 1 试验前，应进行试抽，确定设计降深及抽水量。
- 2 当抽水量等于设计抽水量时，停止抽水。
- 3 观测压力传感器数据和地下水位历时曲线的变化情况，待水位恢复到初始水位，宜延时1min~2min结束试验。

5.3.4 振荡器式微水试验的试验操作步骤应符合下列规定：

- 1 试验前，应将振荡器固定于孔内水面以下，试验时快速的将振荡器从钻孔中提出。
- 2 观测压力传感器数据和地下水位历时曲线的变化情况，待水位恢复到初始水位，快速将振荡棒拉离水面，待水位再次恢复到初始水位，宜延时1min~2min结束试验。

6 试验资料整编

6.1 试验资料整理

- 6.1.1 试验现场记录格式宜符合附录B的规定，资料应准确无误，记录、校对应及时。
- 6.1.2 现场试验数据应分类整理，并应符合SL567的相关规定。

6.2 渗透性参数计算

- 6.2.1 渗透性参数计算应在资料整理的基础上进行。
- 6.2.2 渗透试验参数计算应符合本规程附录C的规定。
- 6.2.3 渗透性参数取值应根据不同方法计算成果并结合试验段地质条件综合分析确定。

6.3 试验报告编制

- 6.3.1 试验报告应包括文字说明和图表两部分。

- 6.3.2 文字说明宜包含以下内容：

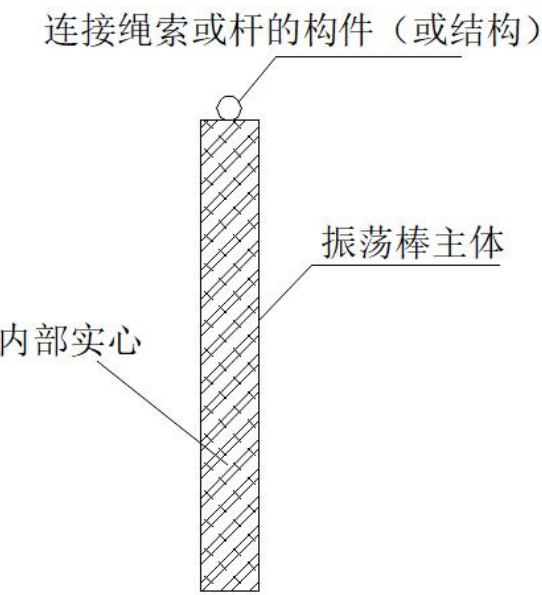
- 1 概述
- 2 试验地段的地质条件。
- 3 试验钻孔结构和试验激发方法。
- 4 试验过程与存在问题。
- 5 试验成果分析与评价。
- 6 结论与建议。

- 6.3.3 图表宜包括以下内容：

- 1 试验场地平面图。
- 2 试验钻孔结构图。
- 3 水位时间关系曲线图。
- 4 $\omega' \sim \lg t$ 无量纲的水位变化量与时间对数的实测曲线。
- 5 基本数据和计算成果表。

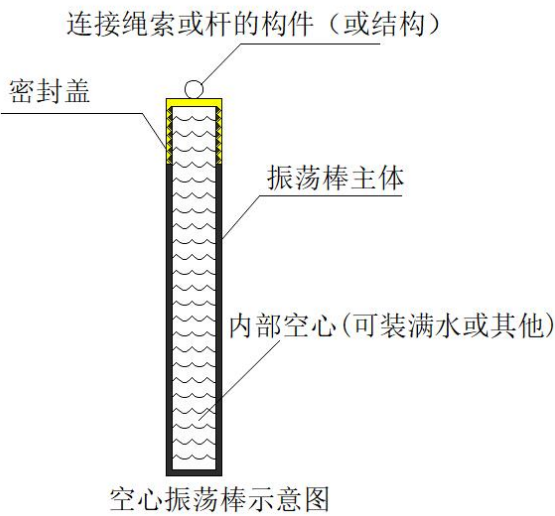
附录A 振荡式水头激发设备结构

- A.0.1 振荡式水头激发设备宜采用长圆柱体，直径宜为井孔直径的0.5~0.8倍，井孔直径大于200mm时可小于0.5倍，长度应依据设计激发水头高度、激发设备重量等进行换算，并留存适当余量。
- A.0.2 振荡式水头激发设备顶部结构应有连接绳索或杆的构件。
- A.0.3 激发设备采用实心柱体时，材质比重应大于1，其结构宜符合图A.0.3的规定。



图A. 0. 3 实心振动式水头激发设备结构示意图

- A.0.4 激发设备采用空心柱体时，注满水或其他重物后的综合重力应大于浮力，其结构宜符合图A.0.4的规定。



图A. 0. 4 空心振动式水头激发设备结构示意图

附录B 微水试验记录表格.

B.0.1 气压式微水试验数据记录表宜符合表B.0.1的规定。

表B.0.1 气压式微水试验数据记录表

孔号： 孔口高程： 孔位：
试段： 试段埋深： 气压泵功率：
孔底与初始水位间距离（m）： 含水层顶与初始水位间距离（m）：
探头底部距孔口距离（m）： 水温（℃）：

试段 编号	初始水 位埋深 (m)	采样频 率(Hz)	钻孔内 压力 (MPa)	气压泵 压力 (MPa)	激发 水头 (m)	加压 时间 (s)	花管 半径 (m)	套管 半径 (m)	花管 长度 (m)	备注

记录： 校核： 时间： 年 月 日

B.0.2 注水或抽水式微水试验数据记录表宜符合表B.0.2的规定。

表B.0.2 注水或抽水式微水试验数据记录表

孔号： 孔口高程： 孔位：
试段： 试段埋深： 水泵功率：
孔底与初始水位间距离（m）： 含水层顶与初始水位间距离（m）：
探头底部距孔口距离（m）： 水温（℃）：

试段 编号	初始水 位埋深 (m)	采样 频率 (Hz)	注水/抽 水流量 (mL/s)	激发 水头 (m)	激发 时间 (s)	花管 半径 (m)	套管 半径 (m)	花管 长度 (m)	备注

记录： 校核： 时间： 年 月 日

B.0.3 振荡式微水试验数据记录表宜符合表B.0.3的规定。

表B.0.3 振荡式微水试验数据记录表

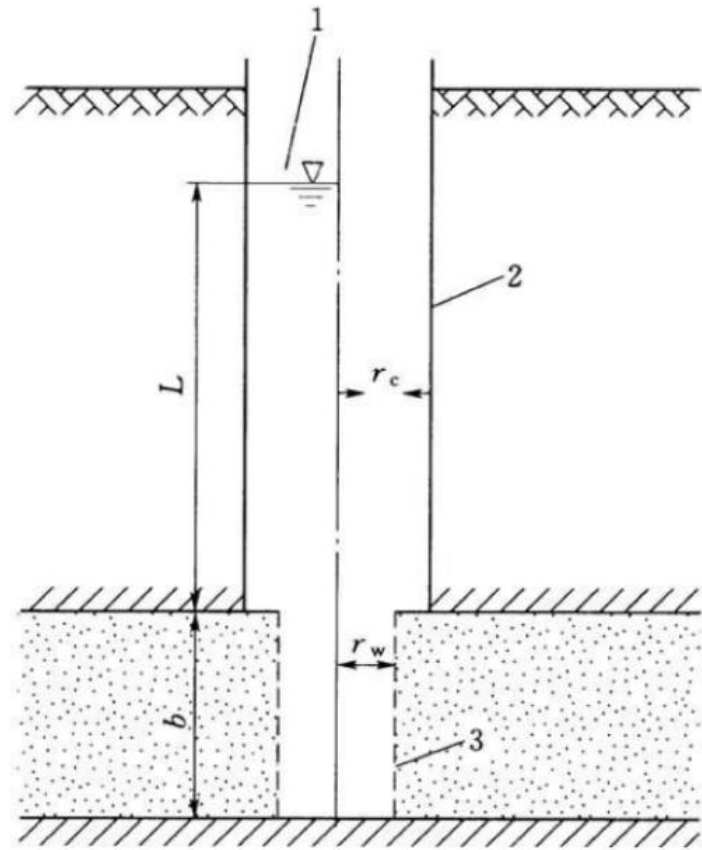
孔号： 孔口高程： 孔位：
试段： 试段埋深：
孔底与初始水位间距离（m）： 含水层顶与初始水位间距离（m）：
探头底部距孔口距离（m）： 水温（℃）：

试段 编号	初始水 位埋深 (m)	采样 频率 (Hz)	振荡器 体积 (m³)	振荡器 质量 (kg)	激发 水头 (m)	激发 时间 (s)	花管 半径 (m)	套管 半径 (m)	花管 长度 (m)	备注

记录： 校核： 时间： 年 月 日

附录C 微水试验参数计算

C.0.1 承压含水层或贮水系数较小、渗透性较大的潜水含水层的渗透性参数可采用Kipp几何模型（图C.0.1-1）计算。渗透性参数计算应按下列步骤进行：



图C. 0. 1-1 Kipp几何模型

1 初始水位；2 套管；3 过滤器

- 1 应根据表B.0.1-1～表B.0.1-10的数据，在半对数纸上绘制 $w' \sim \lg \hat{t}$ 标准曲线（图B.0.1-2）。
- 2 应在与标准曲线相同模数的半对数纸上绘制同比例的 $w \sim \lg t$ 实测曲线。
- 3 拟合实测曲线与标准曲线。
- 4 对应标准曲线记录相应的 ζ 、 a 值，在标准曲线上选取任一匹配点，记录相应的 w' ， $\hat{t}$ 值；对应实测曲线记录时间 t 和水位变化值 w 。
- 5 弹性贮水系数应按下式计算：

$$S = r_c^2 / (2r_w^2 \alpha) \tag{C.0.1-1}$$

式中：S——弹性贮水系数（m）；
 r_c ——钻孔水位升降段的套管半径（m）；
 r_w ——过滤器半径（m）；

a——无量纲储水系数。

6 有效静态水柱长度应按式计算，计算所得的有效水柱长度与由系统几何特性所得的有效长度应吻合，相差不应超过20%：

$$L_e = (\hat{t}/t)^2 g \quad (C.0.1-2)$$

式中：L_e——有效静态水柱长度（m）；

t——选取匹配点对应的实测曲线记录时间（s）；

$\hat{t}$ ——选取匹配点对应的实测曲线记录时间；

g——重力加速度（m/s²）。

7 无量纲惯性参数应按式计算：

$$\beta = [(\alpha \ln \beta) / 8 \xi]^2 \quad (C.0.1-3)$$

式中：β——无量纲惯性参数；

ξ——阻尼系数。

8 导水系数和渗透系数应按式计算：

$$T = [(\beta g) / L_e]^{1/2} r_w^2 S \quad (C.0.1-4)$$

$$K = T / b \quad (C.0.1-5)$$

式中：T——导水系数（m²/s）；

K——渗透系数（m/s）；

b——含水层厚度（m）。

表C. 0. 1-1 $\zeta = 0.1$; $\alpha = 9988.1$ 微水试验标准曲线数值

$\hat{t}$	w'	$\hat{t}$	w'
0.0316228	-0.9994880	3.1622780	0.7100277
0.0363662	-0.9993280	3.6366190	0.6204110
0.0395285	-0.9992086	3.9528470	0.4871206
0.0426908	-0.9990793	4.2690750	0.3138511
0.0474342	-0.9988666	4.7434160	0.0221868
0.0537587	-0.9985483	5.3758720	-0.3226809
0.0632456	-0.9979965	6.3245550	-0.5191564
0.0711513	-0.9974688	7.1151250	-0.3413663
0.0790569	-0.9968794	7.9056940	0.0000345
0.0869626	-0.9962284	8.6962640	0.2889492
0.0948683	-0.9955161	9.4868330	0.3712172
0.1106797	-0.9939077	11.0679700	-0.0175825
0.1264911	-0.9920552	12.6491100	-0.2697976
0.1423025	-0.9899599	14.2302500	0.0210926
0.1581139	-0.9876230	15.8113900	0.1919487
0.1739253	-0.9850456	17.3925300	-0.0245533
0.1897367	-0.9822293	18.9736700	-0.1392019
0.2213594	-0.9758851	22.1359400	0.0982621
0.2529822	-0.9686026	25.2982200	-0.0712917
0.2846050	-0.9603946	28.4605000	0.0497607
0.3162278	-0.9512748	31.6227800	-0.0362603
0.3636619	-0.9359183	36.3661900	-0.0099974
0.3952847	-0.9259452	39.5284700	0.0072009
0.4269075	-0.9084819	47.4341600	0.0058930
0.4743416	-0.8947298	53.7587200	0.0027371
0.5375872	-0.8632514	63.2455500	-0.0012546
0.6324555	-0.8135785	71.1512500	0.0002961
0.7115125	-0.7673017	79.0569400	-0.0000576
0.7905694	-0.7169702	86.9626400	-0.0002991
0.8696264	-0.6629659	94.8683300	-0.0001835
0.9486833	-0.6056883	110.6797000	-0.0001427
1.1067970	-0.4829810	126.4911000	-0.0001250
1.2649110	-0.3522848	142.3025000	-0.0001116
1.4230250	-0.2171309	158.1139000	-0.0001002
1.5811390	-0.0810520	173.9253000	-0.0000911
1.7392530	0.0597477	189.7367000	-0.0000835
1.8973670	0.1802728	221.3594000	-0.0000715
2.2135940	0.4066508	252.9822000	-0.0000626
2.5298220	0.5647406	284.6050000	-0.0000556
2.8460500	0.6811030		

表CB. 0. 1-2 $\zeta=0.2$; $\alpha=19976$ 微水试验标准曲线数值

$\hat{t}$	w'	$\hat{t}$	w'
0. 0316228	-0. 9994902	3. 1622780	0. 4939368
0. 0363662	-0. 9993263	3. 6366190	0. 4349301
0. 0395285	-0. 9992107	3. 9528470	0. 3465758
0. 0426908	-0. 9990815	4. 2690750	0. 2343067
0. 0474342	-0. 9988695	4. 7434160	0. 0516035
0. 0537587	-0. 9985520	5. 3758720	-0. 1543438
0. 0632456	-0. 9980024	6. 3245550	-0. 2671865
0. 0711513	-0. 9974810	7. 1151250	-0. 1818502
0. 0790569	-0. 9968908	7. 9056940	-0. 0260065
0. 0869626	-0. 9962437	8. 6962640	0. 0976436
0. 0948683	-0. 9955360	9. 4868330	0. 1324266
0. 1106797	-0. 9939399	11. 0679700	0. 0038717
0. 1264911	-0. 9921040	12. 6491100	-0. 0730436
0. 1423025	-0. 9900304	14. 2302500	-0. 0036238
0. 1581139	-0. 9877207	15. 8113900	0. 0343077
0. 1739253	-0. 9851770	17. 3925300	-0. 0023975
0. 1897367	-0. 9824014	18. 9736700	-0. 0205130
0. 2213594	-0. 9761622	22. 1359400	0. 0081874
0. 2529822	-0. 9690205	25. 2982200	-0. 0062591
0. 2846050	-0. 9609942	28. 4605000	0. 0014029
0. 3162278	-0. 9521021	31. 6227800	-0. 0023312
0. 3636619	-0. 9371834	36. 3661900	-0. 0010312
0. 3952847	-0. 9262139	39. 5284700	-0. 0007348
0. 4269075	-0. 9105352	42. 6907500	-0. 0008051
0. 4743416	-0. 8975464	47. 4341600	-0. 0006352
0. 5375872	-0. 8673412	53. 7587200	-0. 0005871
0. 6324555	-0. 8201831	63. 2455500	-0. 0005088
0. 7115125	-0. 7766091	71. 1512500	-0. 0004500
0. 7905694	-0. 7295735	79. 0569400	-0. 0004047
0. 8696264	-0. 6794859	86. 9626400	-0. 0003676
0. 9486833	-0. 6267637	94. 8683300	-0. 0003366
1. 1067970	-0. 5151022	110. 6797000	-0. 0002881
1. 2649110	-0. 3979593	126. 4911000	-0. 0002518
1. 4230250	-0. 2786373	142. 3025000	-0. 0002236
1. 5811390	-0. 1602887	158. 1139000	-0. 0002011
1. 7392530	-0. 0386037	173. 9253000	-0. 0001828
1. 8973670	0. 0620478	189. 7367000	-0. 0001675
2. 2135940	0. 2492937	221. 3594000	-0. 0001434
2. 5298220	0. 3742380	252. 9822000	-0. 0001254
2. 8460500	0. 4694111	284. 6050000	-0. 0001114

表C.0.1-3 $\zeta=0.5$; $\alpha=49940$ 微水试验标准曲线数值

$\hat{t}$	w'	$\hat{t}$	w'
0.0316228	-0.9994990	3.6366190	0.1012577
0.0363662	-0.9993397	3.9528470	0.0882034
0.0395287	-0.9992213	4.2690750	0.0676211
0.0426908	-0.9990932	4.7434160	0.0321753
0.0474342	-0.9988829	5.3758720	-0.0083375
0.0537587	-0.9985688	6.3245550	-0.0364754
0.0632456	-0.9975079	7.1151250	-0.0347609
0.0711513	-0.9969310	7.9056940	-0.0237358
0.0790569	-0.9969310	8.6962640	-0.0133871
0.0869626	-0.9962956	9.4868330	-0.0076810
0.0948683	-0.9956020	11.0679700	-0.0067373
0.1106797	-0.9940425	12.6491100	-0.0078797
0.1264911	-0.9922559	14.2302500	-0.0069282
0.1423025	-0.9902461	15.8113900	-0.0057706
0.1581139	-0.9880166	17.3925300	-0.0051544
0.1739253	-0.9855713	18.9736700	-0.0047403
0.1897367	-0.9829139	22.1359400	-0.0039915
0.2213594	-0.9769780	25.2982200	-0.0034473
0.2529822	-0.9702398	28.4605000	-0.0030330
0.2846050	-0.9627300	31.6227800	-0.0027070
0.3162278	-0.9544800	36.3661900	-0.0023307
0.3636619	-0.9407848	39.5284700	-0.0021328
0.3952847	-0.9321798	42.6907500	-0.0019664
0.4743416	-0.9053980	47.4341600	-0.0017590
0.5375872	-0.8786102	53.7587200	-0.0015426
0.6324555	-0.8380771	63.2455500	-0.0013021
0.7115125	-0.8014756	71.1512500	-0.0011523
0.7905694	-0.7627801	79.0569400	-0.0010334
0.8696264	-0.7224138	86.9626400	-0.0009366
0.9486833	-0.6807796	94.8683300	-0.0008565
1.1067970	-0.5952065	110.6797000	-0.0007313
1.2649110	-0.5088214	126.4911000	-0.0006380
1.4230250	-0.4239899	142.3025000	-0.0005658
1.5811390	-0.3426759	158.1139000	-0.0005083
1.7392530	-0.2592066	173.9253000	-0.0004614
1.8973670	-0.1964942	189.7367000	-0.0004198
2.2135940	-0.0784390	221.3594000	-0.0003613
2.5298220	-0.0048741	252.9822000	-0.0003157
2.8460500	0.0650168	284.6050000	-0.0002803
3.1622780	0.0949209		

表C. 0. 1-4 $\zeta=0.7$; $\alpha=69917$ 微水试验标准曲线数值

$\hat{t}$	w'	$\hat{t}$	w'
0. 0316228	-0. 9995070	3. 6366190	-0. 0335466
0. 0363662	-0. 9993420	3. 9528470	-0. 0251592
0. 0395287	-0. 9992401	4. 2690750	-0. 0219888
0. 0426908	-0. 9991031	4. 7434160	-0. 0224633
0. 0474342	-0. 9988941	5. 3758720	-0. 0259789
0. 0537587	-0. 9985822	6. 3245550	-0. 0284103
0. 0632456	-0. 9980437	7. 1151250	-0. 0267037
0. 0711513	-0. 9975307	7. 9056940	-0. 0234349
0. 0790569	-0. 9969310	8. 6962640	-0. 0201256
0. 0869626	-0. 9962956	9. 4868330	-0. 0174314
0. 0948683	-0. 9956020	11. 0679700	-0. 0138969
0. 1106797	-0. 9940425	12. 6491100	-0. 0117142
0. 1264911	-0. 9922559	14. 2302500	-0. 0101100
0. 1423025	-0. 9902461	15. 8113900	-0. 0088652
0. 1581139	-0. 9880166	17. 3925300	-0. 0078860
0. 1739253	-0. 9855713	18. 9736700	-0. 0071000
0. 1897367	-0. 9829139	22. 1359400	-0. 0059164
0. 2213594	-0. 9769780	25. 2982200	-0. 0050685
0. 2529822	-0. 9702398	28. 4605000	-0. 0044320
0. 2846050	-0. 9638311	31. 6227800	-0. 0039369
0. 3162278	-0. 9559768	36. 3661900	-0. 0033713
0. 3636619	-0. 9430270	39. 5284700	-0. 0030764
0. 3952847	-0. 9350272	42. 6907500	-0. 0028288
0. 5375872	-0. 8853626	47. 4341600	-0. 0025239
0. 6324555	-0. 8485776	53. 7587200	-0. 0022067
0. 7115125	-0. 8158209	63. 2455500	-0. 0018564
0. 7905694	-0. 7816147	71. 1512500	-0. 0016395
0. 8696264	-0. 7463554	79. 0569400	-0. 0014679
0. 9486833	-0. 7104052	86. 9626400	-0. 0013287
1. 1067970	-0. 6377118	94. 8683300	-0. 0012137
1. 2649110	-0. 5657711	110. 6797000	-0. 0010345
1. 4230250	-0. 4963320	126. 4911000	-0. 0009014
1. 5811390	-0. 4307045	142. 3025000	-0. 0007986
1. 7392530	-0. 3625714	158. 1139000	-0. 0007168
1. 8973670	-0. 3142473	173. 9253000	-0. 0006502
2. 2135940	-0. 2201264	189. 7367000	-0. 0005950
2. 5298220	-0. 1617035	221. 3594000	-0. 0005085
2. 8460500	-0. 0968489	252. 9822000	-0. 0004440
3. 1622780	-0. 0621304	284. 6050000	-0. 0003939

表C.0.1-5 $\zeta=1.0$; $\alpha=99881$ 微水试验标准曲线数值

$\hat{t}$	w'	$\hat{t}$	w'
0.0316228	-0.9995190	3.6366190	-0.1781301
0.0363662	-0.9993614	3.9528470	-0.1558584
0.0395287	-0.9992445	4.2690750	-0.1371938
0.0426908	-0.9991182	4.7434160	-0.1151268
0.0474342	-0.9989111	5.3758720	-0.0931193
0.0537587	-0.9986024	6.3245550	-0.0702290
0.0632456	-0.9980706	7.1151250	-0.0570098
0.0711513	-0.9975651	7.9056940	-0.0472406
0.0790569	-0.9970039	8.6962640	-0.0398682
0.0869626	-0.9963876	9.4868330	-0.0342002
0.0948683	-0.9957171	11.0679700	-0.0262392
0.1106797	-0.9942169	12.6491100	-0.0210572
0.1264911	-0.9925094	14.2302500	-0.0174922
0.1423025	-0.9906011	15.8113900	-0.0149222
0.1581139	-0.9884982	17.3925300	-0.0129959
0.1739253	-0.9862069	18.9736700	-0.0115044
0.1897367	-0.9837333	22.1359400	-0.0093529
0.2213594	-0.9781635	25.2982200	-0.0078791
0.2529822	-0.9721364	28.4605000	-0.0068071
0.2846050	-0.9653980	31.6227800	-0.0059923
0.3162278	-0.9580927	36.3661900	-0.0050806
0.3636619	-0.9461653	39.5284700	-0.0046129
0.3952847	-0.9389866	42.6907500	-0.0042241
0.4269075	-0.9247502	47.4341600	-0.0037499
0.5375872	-0.8944811	53.7587200	-0.0032618
0.6324555	-0.8624921	63.2455500	-0.0027289
0.7115125	-0.8345350	71.1512500	-0.0024018
0.7905694	-0.8058093	79.0569400	-0.0021447
0.8696264	-0.7766480	86.9626400	-0.0019373
0.9486833	-0.7473366	94.8683300	-0.0017675
1.1067970	-0.6891964	110.6797000	-0.0015015
1.2649110	-0.6328903	126.4911000	-0.0013057
1.4230250	-0.5794237	142.3025000	-0.0011529
1.5811390	-0.5294147	158.1139000	-0.0010355
1.7392530	-0.4759465	173.9253000	-0.0009383
1.8973670	-0.4408436	189.7367000	-0.0008579
2.2135940	-0.3675417	221.3594000	-0.0007323
2.5298220	-0.3213633	252.9822000	-0.0006387
2.8460500	-0.2602688	284.6050000	-0.0005663
3.1622780	-0.2219805		

表C. 0. 1-6 $\zeta=1.5$; $\alpha=149821$ 微水试验标准曲线数值

$\hat{t}$	w'	$\hat{t}$	w'
0. 0316228	-0. 9995363	3. 6366190	-0. 3398395
0. 0363662	-0. 9993806	3. 9528470	-0. 3113242
0. 0395287	-0. 9992652	4. 2690750	-0. 2857245
0. 0426908	-0. 9991407	4. 7434160	-0. 2520498
0. 0474342	-0. 9989368	5. 3758720	-0. 2144593
0. 0537587	-0. 9986336	6. 3245550	-0. 1702739
0. 0632456	-0. 9981127	7. 1151250	-0. 1419167
0. 0711513	-0. 9976193	7. 9056940	-0. 1193325
0. 0790569	-0. 9970732	8. 6962640	-0. 1012090
0. 0869626	-0. 9964754	9. 4868330	-0. 0865608
0. 0948683	-0. 9958272	11. 0679700	-0. 0648749
0. 1106797	-0. 9943835	12. 6491100	-0. 0501425
0. 1264911	-0. 9927509	14. 2302500	-0. 0398783
0. 1423025	-0. 9909379	15. 8113900	-0. 0325499
0. 1581139	-0. 9889526	17. 3925300	-0. 0271915
0. 1739253	-0. 9868033	18. 9736700	-0. 0231824
0. 1897367	-0. 9844978	22. 1359400	-0. 0177218
0. 2213594	-0. 9794484	25. 2982200	-0. 0142700
0. 2529822	-0. 9738631	28. 4605000	-0. 0119318
0. 2846050	-0. 9677964	31. 6227800	-0. 0102553
0. 3162278	-0. 9612998	36. 3661900	-0. 0084791
0. 3636619	-0. 9508522	39. 5284700	-0. 0076061
0. 3952847	-0. 9448418	42. 6907500	-0. 0068984
0. 4269075	-0. 9319204	47. 4341600	-0. 0060562
0. 5375872	-0. 9073899	53. 7587200	-0. 0052108
0. 6324555	-0. 8816423	63. 2455500	-0. 0043105
0. 7115125	-0. 8597084	71. 1512500	-0. 0037688
0. 7905694	-0. 8376400	79. 0569400	-0. 0033483
0. 8696264	-0. 8156531	86. 9626400	-0. 0030123
0. 9486833	-0. 7939129	94. 8683300	-0. 0027397
1. 1067970	-0. 7516347	110. 6797000	-0. 0023155
1. 2649110	-0. 7114323	126. 4911000	-0. 0020061
1. 4230250	-0. 6735824	142. 3025000	-0. 0017697
1. 5811390	-0. 6381472	158. 1139000	-0. 0015831
1. 7392530	-0. 6050646	173. 9253000	-0. 0014321
1. 8973670	-0. 5742069	189. 7367000	-0. 0013073
2. 2135940	-0. 5185081	221. 3594000	-0. 0011134
2. 5298220	-0. 4831462	252. 9822000	-0. 0009695
2. 8460500	-0. 4270546	284. 6050000	-0. 0008585
3. 1622780	-0. 3890578		

表C.0.1-7 $\zeta=2.0$; $\alpha=199761$ 微水试验标准曲线数值

$\hat{t}$	w'	$\hat{t}$	w'
0.0316228	-0.9995504	3.1622780	-0.4954981
0.0363662	-0.9993964	3.9528470	-0.4198530
0.0395287	-0.9992824	4.2690750	-0.3936005
0.0426908	-0.9991596	4.7434160	-0.3578603
0.0474342	-0.9989589	5.3758720	-0.3161236
0.0537587	-0.9986610	6.3245550	-0.2640067
0.0632456	-0.9981509	7.1151250	-0.2283612
0.0711513	-0.9976692	7.9056940	-0.1984082
0.0790569	-0.9971377	8.6962640	-0.1731322
0.0869626	-0.9965578	9.4868330	-0.1517201
0.0948683	-0.9959308	11.0679700	-0.1179834
0.1106797	-0.9945412	12.6491100	-0.0932710
0.1264911	-0.9929793	14.2302500	-0.0749361
0.1423025	-0.9912556	15.8113900	-0.0611644
0.1581139	-0.9893797	17.3925300	-0.0506946
0.1739253	-0.9873613	18.9736700	-0.0426395
0.1897367	-0.9852094	22.1359400	-0.0314278
0.2213594	-0.9805395	25.2982200	-0.0243153
0.2529822	-0.9754347	28.4605000	-0.0195916
0.2846050	-0.9699542	31.6227800	-0.0163146
0.3162278	-0.9641512	36.3661900	-0.0130016
0.3636619	-0.9549461	39.5284700	-0.0114492
0.3952847	-0.9498965	42.6907500	-0.0102321
0.4269075	-0.9380387	47.4341600	-0.0088334
0.5375872	-0.9179758	53.7587200	-0.0074804
0.6324555	-0.8968434	63.2455500	-0.0060936
0.7115125	-0.8791796	71.1512500	-0.0052825
0.7905694	-0.8616598	79.0569400	-0.0046637
0.8696264	-0.8444851	86.9626400	-0.0041755
0.9486833	-0.8274940	94.8683300	-0.0037803
1.1067970	-0.7948821	110.6797000	-0.0031791
1.2649110	-0.7639855	126.4911000	-0.0027432
1.4230250	-0.7347865	142.3025000	-0.0024125
1.5811390	-0.7071872	158.1139000	-0.0021530
1.7392530	-0.6738222	173.9253000	-0.0019439
1.8973670	-0.6562890	189.7367000	-0.0017718
2.2135940	-0.6103452	221.3594000	-0.0014687
2.5298220	-0.5819047	252.9822000	-0.0013085
2.8460500	-0.5304684	284.6050000	-0.0011571

表C.0.1-8 $\zeta=3.0$; $\alpha=299642$ 微水试验标准曲线数值

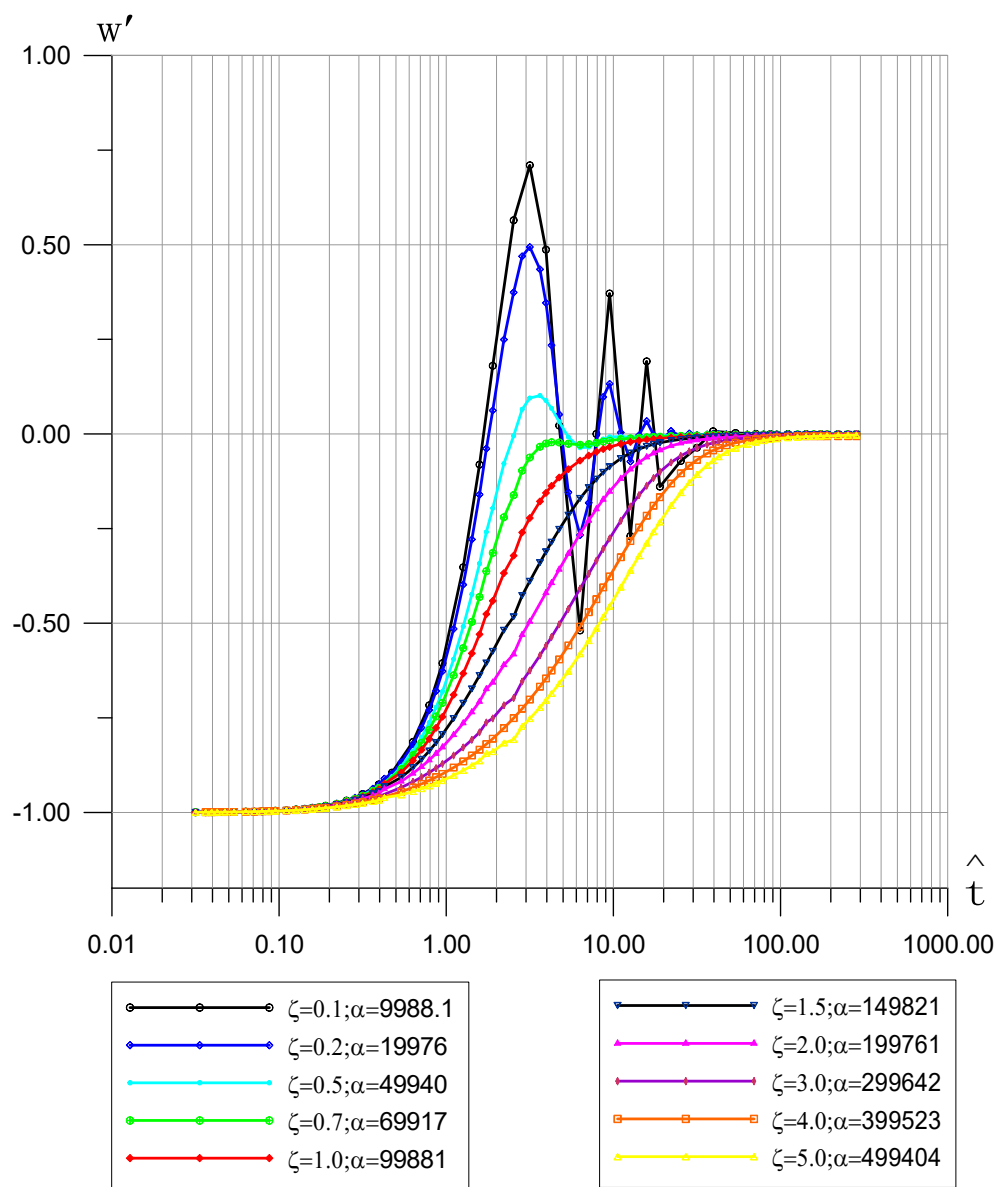
$\hat{t}$	w'	$\hat{t}$	w'
0.0316228	-0.9995713	3.1622780	-0.6252020
0.0363662	-0.9994208	3.6366190	-0.5849806
0.0395287	-0.9992801	3.9528470	-0.5599474
0.0426908	-0.9991903	4.2690750	-0.5362293
0.0474342	-0.9989957	4.7434160	-0.5029083
0.0537587	-0.9987081	5.3758720	-0.4623004
0.0632456	-0.9982186	6.3245550	-0.4085330
0.0711513	-0.9977595	7.1151250	-0.3693645
0.0790569	-0.9972559	7.9056940	-0.3345921
0.0869626	-0.9967096	8.6962640	-0.3036493
0.0948683	-0.9961227	9.4868330	-0.2760565
0.1106797	-0.9948334	11.0679700	-0.2293403
0.1264911	-0.9934017	12.6491100	-0.1918026
0.1423025	-0.9918402	14.2302500	-0.1614586
0.1581139	-0.9901608	15.8113900	-0.1367944
0.1739253	-0.9883746	17.3925300	-0.1166434
0.1897367	-0.9864919	18.9736700	-0.1000984
0.2213594	-0.9824744	22.1359400	-0.0751356
0.2529822	-0.9781767	25.2982200	-0.0578340
0.2846050	-0.9736570	28.4605000	-0.0456193
0.3162278	-0.9689648	31.6227800	-0.0368358
0.3636619	-0.9616917	36.3661900	-0.0278316
0.3952847	-0.9580948	39.5284700	-0.0236555
0.5375872	-0.9340335	42.6907500	-0.0204524
0.6324555	-0.9189910	47.4341600	-0.0169026
0.7115125	-0.9066885	53.7587200	-0.0136693
0.7905694	-0.8946509	63.2455500	-0.0106130
0.8696264	-0.8828959	71.1512500	-0.0089592
0.9486833	-0.8714239	79.0569400	-0.0077622
1.1067970	-0.8492890	86.9626400	-0.0068544
1.2649110	-0.8281398	94.8683300	-0.0061409
1.4230250	-0.8078648	110.6797000	-0.0050883
1.5811390	-0.7883699	126.4911000	-0.0043468
1.7392530	-0.7623399	142.3025000	-0.0037952
1.8973670	-0.7514388	158.1139000	-0.0033684
2.2135940	-0.7169161	173.9253000	-0.0030282
2.5298220	-0.6978197	189.7367000	-0.0027505
2.8460500	-0.6540089	221.3594000	-0.0023243

表C.0.1-9 $\zeta=4.0$; $\alpha=399523$ 微水试验标准曲线数值

$\hat{t}$	w'	$\hat{t}$	w'
0.0363662	-0.9994397	3.9528470	-0.6459305
0.0395287	-0.9993315	4.2690750	-0.6252068
0.0426908	-0.9992153	4.7434160	-0.5956538
0.0474342	-0.9990266	5.3758720	-0.5588830
0.0537587	-0.9987391	6.3245550	-0.5087715
0.0632456	-0.9982789	7.1151250	-0.4711058
0.0711513	-0.9978410	7.9056940	-0.4367299
0.0790569	-0.9973634	8.6962640	-0.4053004
0.0869626	-0.9968485	9.4868330	-0.3765203
0.0948683	-0.9962983	11.0679700	-0.3259029
0.1106797	-0.9951003	12.6491100	-0.2831426
0.1264911	-0.9937850	14.2302500	-0.2468765
0.1423025	-0.9923664	15.8113900	-0.2160073
0.1581139	-0.9908572	17.3925300	-0.1896467
0.1739253	-0.9892689	18.9736700	-0.1670685
0.1897367	-0.9876121	22.1359400	-0.1309732
0.2213594	-0.9841292	25.2982200	-0.1040662
0.2529822	-0.9804724	28.4605000	-0.0838062
0.2846050	-0.9766928	31.6227800	-0.0684017
0.3162278	-0.9728306	36.3661900	-0.0517069
0.3636619	-0.9669495	39.5284700	-0.0436080
0.3952847	-0.9630034	42.6907500	-0.0372390
0.5375872	-0.9453851	47.4341600	-0.0300442
0.6324555	-0.9339662	53.7587200	-0.0234323
0.7115125	-0.9246968	63.2455500	-0.0172775
0.7905694	-0.9156473	71.1512500	-0.0140791
0.8696264	-0.9068039	79.0569400	-0.0118652
0.9486833	-0.8981501	86.9626400	-0.0102580
1.1067970	-0.8813505	94.8683300	-0.0090427
1.2649110	-0.8651446	110.6797000	-0.0073280
1.4230250	-0.8494578	126.4911000	-0.0061726
1.5811390	-0.8342370	142.3025000	-0.0061726
1.7392530	-0.8194373	158.1139000	-0.0061726
1.8973670	-0.8050439	173.9253000	-0.0061726
2.2135940	-0.7773380	189.7367000	-0.0061726
2.5298220	-0.7509616	221.3594000	-0.0061726
2.8460500	-0.7257946	252.9822000	-0.0061726
3.1622780	-0.7016959	284.6050000	-0.0061726
3.6366190	-0.6675513		

表C. 0. 1-10 $\zeta=5$; $\alpha=499404$ 微水试验标准曲线数值

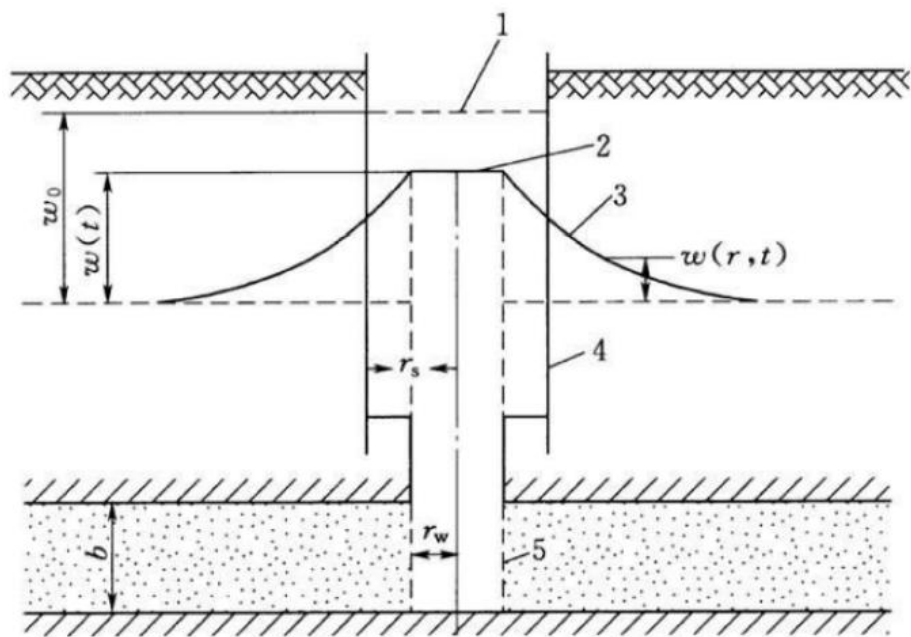
$\hat{t}$	w'	$\hat{t}$	w'
0. 0316228	-0. 9995993	3. 6366190	-0. 7227334
0. 0363662	-0. 9994555	3. 9528470	-0. 7039170
0. 0395287	-0. 9993500	4. 2690750	-0. 6857313
0. 0426908	-0. 9992370	4. 7434160	-0. 6595645
0. 0474342	-0. 9990540	5. 3758720	-0. 6266026
0. 0537587	-0. 9987858	6. 3245550	-0. 5809008
0. 0632456	-0. 9983344	7. 1151250	-0. 5458994
0. 0711513	-0. 9979164	7. 9056940	-0. 5134182
0. 0790569	-0. 9974631	8. 6962640	-0. 4832304
0. 0869626	-0. 9969772	9. 4868330	-0. 4551380
0. 0948683	-0. 9964608	11. 0679700	-0. 4045587
0. 1106797	-0. 9953459	12. 6491100	-0. 3604938
0. 1264911	-0. 9941348	14. 2302500	-0. 3219817
0. 1423025	-0. 9928421	15. 8113900	-0. 2882303
0. 1581139	-0. 9914807	17. 3925300	-0. 2585794
0. 1739253	-0. 9900617	18. 9736700	-0. 2324735
0. 1897367	-0. 9885951	22. 1359400	-0. 1890850
0. 2213594	-0. 9855521	25. 2982200	-0. 1550702
0. 2529822	-0. 9824077	28. 4605000	-0. 1282238
0. 2846050	-0. 9792032	31. 6227800	-0. 1069007
0. 3162278	-0. 9759688	36. 3661900	-0. 0826443
0. 3636619	-0. 9711069	39. 5284700	-0. 0703363
0. 3952847	-0. 9678791	42. 6907500	-0. 0603551
0. 4269075	-0. 9607577	47. 4341600	-0. 0487112
0. 5375872	-0. 9536742	53. 7587200	-0. 0376251
0. 6324555	-0. 9445502	63. 2455500	-0. 0269885
0. 7115125	-0. 9371475	71. 1512500	-0. 0213978
0. 7905694	-0. 9299074	79. 0569400	-0. 0175581
0. 8696264	-0. 9228118	86. 9626400	-0. 0148229
0. 9486833	-0. 9158457	94. 8683300	-0. 0128077
1. 1067970	-0. 9022552	110. 6797000	-0. 0100703
1. 2649110	-0. 8890648	126. 4911000	-0. 0083160
1. 4230250	-0. 8762274	142. 3025000	-0. 0070963
1. 5811390	-0. 8637098	158. 1139000	-0. 0061968
1. 7392530	-0. 8442461	173. 9253000	-0. 0055040
1. 8973670	-0. 8395387	189. 7367000	-0. 0049529
2. 2135940	-0. 8164029	221. 3594000	-0. 0041294
2. 5298220	-0. 8075058	252. 9822000	-0. 0035424
2. 8460500	-0. 7728430	284. 6050000	-0. 0031021
3. 1622780	-0. 7522230		



图C. 0. 1-2 无量纲 $w' \sim \hat{t}$ 关系曲线图

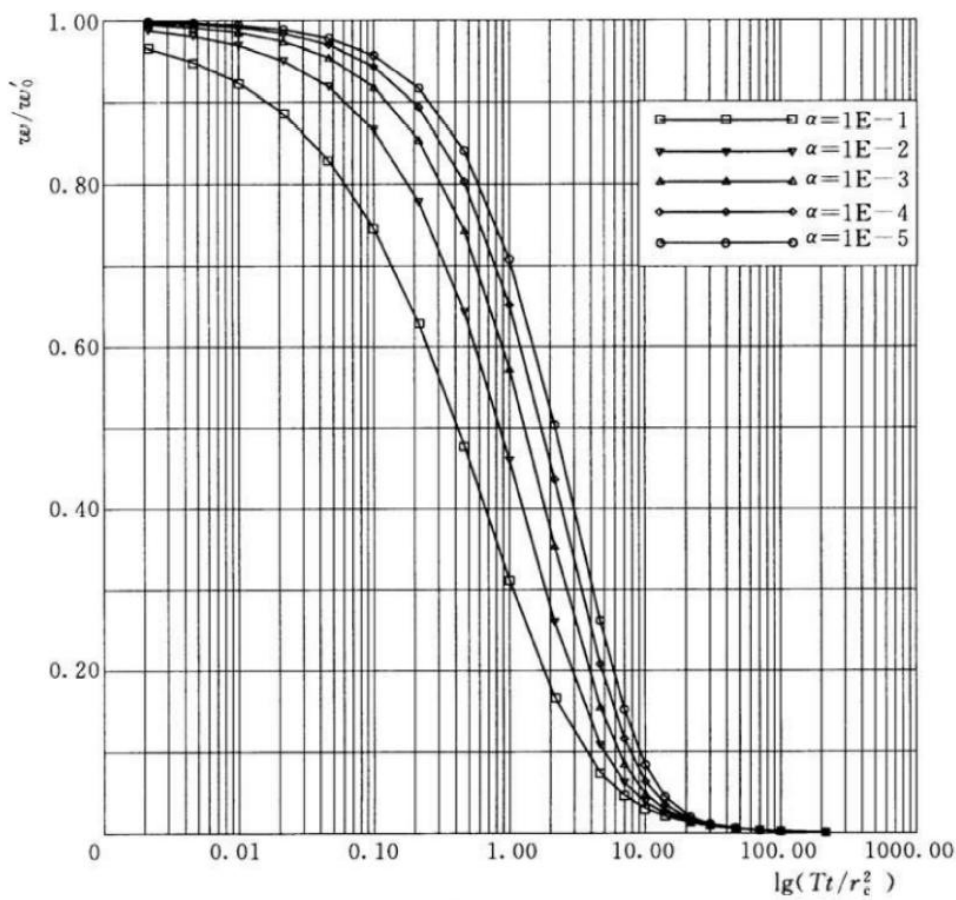
C.0.2 承压含水层、渗透系数中等以下完整井的渗透性参数可采用Cooper几何模型（图C.0.2-1）计算。渗透性参数计算应按下列步骤进行：

- 1 应按表B.0.2的规定在半对数纸上做 $\omega / \omega'_0 - \lg (Tt / r_c^2)$ 标准曲线（图C.0.2-2）， $Tt / r_c^2 = \beta$ 取对数坐标。



图C. 0. 2-1 Cooper几何模型

- 1 注水后即刻钻孔中水位；2 t时刻钻孔中水位；
3 t时刻含水层中的水头；4 套管；5 过滤器



图C. 0. 2-2 $w / w_0' - \lg (Tt / r_c^2)$ 标准曲线

- 2 求出 ω / ω_0 的比值，应在与标准曲线相同模的半对数坐标绘出 $\omega / \omega_0 - t$ 实测曲线。
- 3 将实测曲线和标准曲线进行拟合，应选择任一个匹配点，使得此点在标准曲线上，记录该点对应实测曲线的时间 t 。
- 4 根据承压含水层中微水试验，渗透性参数应按下列公式计算：

$$T = \frac{\beta r_c^2}{t} \quad (\text{C. 0. 2-1})$$

$$K = T / b \quad (\text{C. 0. 2-2})$$

$$S = \frac{\alpha r_c^2}{r_w^2} \quad (\text{C. 0. 2-3})$$

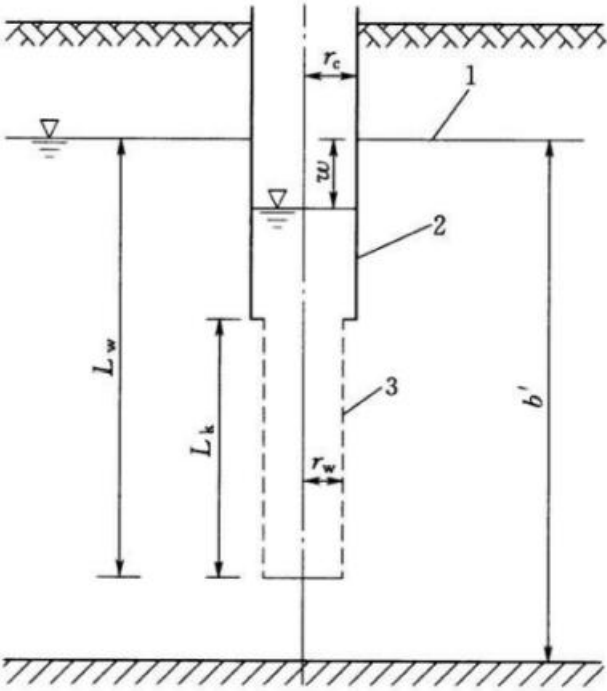
表C. 0. 2 $\omega / \omega_0' - \lg(Tt / r_c^2)$ 对应 α 关系

T_t / r_c^2	ω / ω_0'				
	$\alpha=1.0 \times 10^{-1}$	$\alpha=1.0 \times 10^{-2}$	$\alpha=1.0 \times 10^{-3}$	$\alpha=1.0 \times 10^{-4}$	$\alpha=1.0 \times 10^{-5}$
0.00100	0.997100	0.992000	0.996900	0.998500	0.999200
0.00215	0.965800	0.987600	0.994900	0.997400	0.998500
0.00464	0.949000	0.980700	0.991400	0.995400	0.997000
0.01000	0.923800	0.969300	0.985300	0.991500	0.994200
0.02150	0.886000	0.950500	0.974400	0.984100	0.988800
0.04640	0.829300	0.918700	0.954500	0.970100	0.978100
0.10000	0.746000	0.865500	0.918300	0.943400	0.957200
0.21500	0.628900	0.778200	0.853800	0.893500	0.916700
0.46400	0.478200	0.643600	0.743600	0.803100	0.841000
1.00000	0.311700	0.459800	0.572900	0.652000	0.708000
2.15000	0.166500	0.259700	0.354300	0.436400	0.503800
4.64000	0.074150	0.108600	0.155400	0.208200	0.262000
7.00000	0.046250	0.062040	0.085190	0.116100	0.152100
10.00000	0.030650	0.037800	0.048210	0.063550	0.083780
14.00000	0.020920	0.022414	0.028440	0.034920	0.044260

C.0.2 (续)

T_t / r_c^2	ω / ω_0'				
	$\alpha=1.0 \times 10^{-1}$	$\alpha=1.0 \times 10^{-2}$	$\alpha=1.0 \times 10^{-3}$	$\alpha=1.0 \times 10^{-4}$	$\alpha=1.0 \times 10^{-5}$
21.50000	0.012970	0.014140	0.015450	0.017230	0.019990
30.00000	0.009070	0.009615	0.010160	0.010830	0.011690
46.40000	0.005711	0.005919	0.006111	0.006319	0.006554
70.00000	0.003722	0.003809	0.003884	0.003962	0.004046
100.00000	0.002577	0.002618	0.002653	0.002688	0.002725
215.00000	0.001179	0.001187	0.001194	0.001201	0.001208

C.0.3 潜水含水层中微水试验参数可采用Bouwer and Rice几何模型（图C.0.3-1）计算。渗透性参数计算应按下列步骤进行：



图C.0.3-1 Bouwer and Rice几何模型
1 初始水位；2 套管；3 过滤器

- 1 应在半对数坐标纸上绘出 $\lg w \sim t$ 曲线
- 2 用一条直线拟合该曲线的直线部分，并应延长该直线至 $t=0$.
- 3 $\ln \frac{R_e}{r_w}$ 可按下列规定计算：
 - 1) 当 $b' \neq L_w$ 且 $\ln[(b' - L_w) / r_w] < 6$ 时，可按下式计算：

$$\ln \frac{R_e}{r_w} = \left\{ \frac{1.1}{\ln(L_w / r_w)} + \frac{A + B \ln[(b' - L_w) / r_w]}{b / r_w} \right\}^{-1} \quad (\text{C.0.3-1})$$

式中： R_e ——影响半径(m)；

L_w ——初始水位距钻孔孔底距离(m)；

b' ——初始水位距潜水含水层底板距离(m)；

A、B——无量纲参数(图B.0.3-2)。

2) 当 $b' \neq L_w$ 且 $\ln[(b' - L_w) / r_w] \geq 6$ 时，可按下列式计算：

$$\ln \frac{R_e}{r_w} = \left[\frac{1.1}{\ln(L_w / r_w)} + \frac{A + 6B}{b / r_w} \right]^{-1} \quad (\text{C.0.3-2})$$

3) 当 $b' \neq L_w$ 时，可按下列式计算：

$$\ln \frac{R_e}{r_w} = \left[\frac{1.1}{\ln(L_w / r_w)} + \frac{C}{b / r_w} \right]^{-1} \quad (\text{C.0.3-3})$$

式中： C——无量纲参数(图C.0.3-2)。

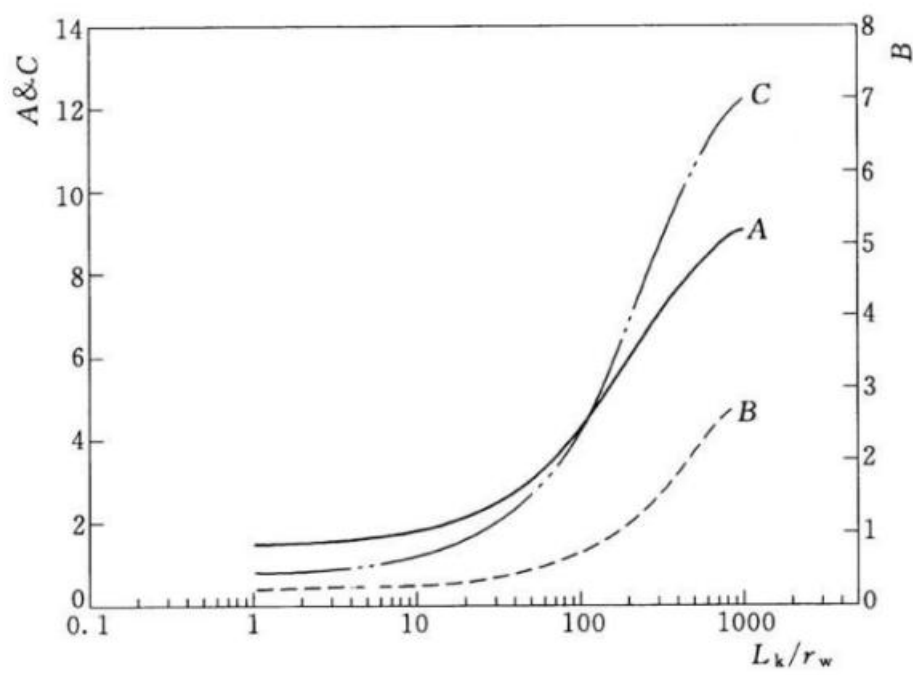
4) 在直线上找一点，记下 w_0 、 w 和 t 的值，含水层的水文地质参数应按下列公式计算：

$$K = \frac{r_c^2 \ln(R_e / r_w)}{2b} \frac{1}{t} \ln \frac{\omega_0}{\omega_t} \quad (\text{C.0.3-4})$$

$$T = \frac{b' r_c^2 \ln(R_e / r_w)}{2b} \frac{1}{t} \ln \frac{\omega_0}{\omega_t} \quad (\text{C.0.3-4})$$

式中： w_0 ——瞬时抽(注)水后，即刻的钻孔中水位(m)；

w_t ——瞬时抽(注)水后， t 时刻的钻孔中水位(m)。



图C. 0. 3-2 无量纲参数A、B、C与 L_k/r_w 关系

本规程用词说明

1 为了便于在执行本标准条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的；

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的；

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的；

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”。

4) 表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

水利水电工程钻探规程 SL/T 291

水利水电工程钻孔抽水试验规程 SL320

水利水电工程地质勘察资料整编规程 SL567

中国水利学会团体标准
水利水电工程钻孔微水试验规程

T/CHES XXX—20XX

条文说明

目次

1 总则 34

3 基本规定 35

4 仪器设备 37

5 现场试验 38

 5.1 现场准备 38

 5.2 仪器设备安装 38

 5.3 试验操作 39

6 试验资料整编 40

 6.2 渗透性参数计算 40

1 总则

1.0.1 《水电水利工程钻孔抽水试验规程》DL/T 5213-2005第7.6节包含了振荡式渗透试验（微水试验）内容。由于微水试验的原理、设备、计算方法等与常规抽水试验不同，因为本规程在总结国内水利水电工程钻孔微水试验的经验基础上，参考《水电工程钻孔振荡式渗透试验规程》NB/T 35117-2018的相关内容编制而成。

本次制定水利水电工程钻孔微水试验规程旨在统一水利水电工程钻孔微水试验工作程序、工作内容，明确技术要求和方法，提高成果质量，填补水利行业微水试验技术标准的空白。

3 基本规定

3.0.1 研究表明，微水试验方法适用范围较广。适用于含水层渗透系数K的变化范围为 $1.0 \times 10^{-6} \text{cm/s} \sim 2.6 \times 10^{-1} \text{cm/s}$ 。微水试验仅适用于确定钻孔附近小范围含水层的水文地质性质，尤以阻尼系数 ζ 介于0.2到5.0之间的系统最为合适。要求小范围含水层能代表相对应地层的水文地质性质，因此特别适用于均质、各向同性的含水层。

微水试验与传统抽水或注水水文地质试验相比具有以下优势：①在深厚覆盖层由于受到水泵扬程的限制，不能进行常规抽水试验。②地层适应性强，强～微透水地层都能使用该方法。③所需仪器设备较少且试验用时较少，一般试验时间为10min～30min。④采用自动记录仪记录水位变化，测量精度比传统抽水或注水试验高。

3.0.3 微水试验的原理：将钻孔内的水体及其相邻含水层一定范围内的水体视为一个系统，采取某种激发方式使系统失去平衡，水体开始振荡。测量和分析这个振荡过程，就是微水试验研究的内容。

震荡器式微水试验原理：快速将一定体积的震荡器放入钻孔水面以下或待井水位恢复后快速提出水面，从而产生机械冲击以激发震荡试验。该激发方式优点：能够使用较少的试验仪器快速地激发水头。缺点：由于震荡器体积有限，在渗透系数较大的地层水头激发高度不够，不能取得有代表性的试验数据。

气压式微水试验原理：当井内空气压力增加，水位将下降直到水压“上升”与气压“下降”压力相等时为止。一旦水位稳定后，快速打开释放阀门，瞬间释放了井内空气压力。从而在没有水花飞溅的情况下，水位恢复至原位。优点：当正确使用本方法时，相对于其他激发方式而言，可以得到最高质量的数据，而且可测量其他激发方式不能测试的极高K值的地层。缺点：需要较多设备激发水头，而且对设备的密封要求较高。在低渗透性地层中，加压阶段耗时通常为激发测试耗时的2倍，而且需要进行渗漏测试。

注水式微水试验原理：运用一定试验手段瞬时将一定量水体注入钻孔中以激发震荡试验。该激发方式优点：能够使用少的试验仪器快速地激发水头。缺点：容易产生水花飞溅，不能得到较高质量的试验数据。

抽水式微水试验原理：在保证水泵在试验过程中始终处于钻孔水面以下的前提下，短时间内抽取一定量水体以激发震荡试验。该激发方式优点：能够使用较少的试验仪器快速地激发水头，而且能得到较高质量的试验数据。缺点：当地下水位埋深较大时，无法有效地从钻孔中抽取一定量的水来激发试验。

3.0.7 试验激发水头一般按岩土体渗透性强弱控制在0.5m~2.0m，微水试验计算模型是根据瞬时水头变化模型计算，试验时间一般控制在1min左右，水头过低激发水位很快就恢复，水头过高，水位恢复时间过长，不符合参数计算模型，根据试验模型和工程经验，激发水头一般控制在0.5~2.0m可以满足要求，渗透系数小时可以选择低值，渗透系数大时，可以选择高值。

微水试验过程中如果将水位降到钻孔试验段过滤器上端以下，含水层中就会出现非饱和带，不满足该方法的设定条件。

4 仪器设备

4.0.1 通过在钻孔中激发水头变化，实时测量水头随时间的变化过程，利用地下水动力学原理，计算得到含水层的渗透系数。微水试验测试系统的主要特点包括下列内容：

（1）注水式微水试验通过向钻孔中瞬时注入一定体积的水来开展试验，注水操作可采用量筒和水泵进行，在条件适宜的情况下宜采用量筒进行。使用量筒可以通过控制注水量来调节钻孔中激发水头的高度。

（2）测试数据记录主机取样频率宜达到 1Hz、2Hz、5Hz、10Hz，以满足低渗透性地层(1.0×10^{-6} cm/s)和高渗透性地层(2.6×10^{-1} cm/s)的测量需要。

（3）实现现场测试、现场处理数据、相应软件计算得到渗透系数。将获取测试数据的软件(数据采集软件)安装在笔记本电脑上，可在现场完成测试、记录和处理数据。

（4）传感器系统除了压力传感器外，可集成温度传感器，实现一机多用的目的，电缆线宜采用耐拉电缆。

（5）充足的后备电源在不方便取得 AC220V 的情况下仍能完成试验。

（6）仪器体积小、重量轻(15kg)，便于携带。测试仪器可以存于手提箱。

（7）在一个采样周期内传感器高精度测量钻孔内水位变化、水温等参数，水位测量精度至少为 1 mm。

（8）测量数据可通过 U 盘读写和删除。

4.0.2 气压激发系统主要由气泵、各种转接口、压力表及钻孔口密封装置等组成。在正常情况下气泵选择的基本要求是气泵压力在 6kg~8kg，储气量尽量的大。转接口根据测量要求以及进出气管道的相关参数设置，压力表根据现场试验所需压力的大小选择。

4.0.3 传感器系统采用了高性能的硅压阻式压力充油芯体作压力敏感核心，接入专用集成电路将传感器毫伏信号转换成标准电压、电流或频率信号，并可以直接与计算机接口卡、控制仪表、智能仪表或 PLC 等相连，是扩散硅精密机械加工、温度补偿、模拟信号处理技术的结晶。主体工艺材料先进，密封固化与外部完全隔离，能满足防潮、防水、防爆、防腐、防尘等恶劣工况要求。

5 现场试验

5.1 现场准备

5.1.1 为减少岩粉堵塞，影响试验成果精度，进行微水试验前应对试验钻孔进行洗孔，反复冲洗至满足规程要求。钻进时严禁使用泥浆、植物胶等护壁材料。

5.1.2 本条规定了应根据现场条件与试验内容对试验仪器进行检查与调试，防止试验数据失真，影响试验工作的顺利进行。

5.1.3 本条规定了试验前应记录的场地初始信息，并分类整理，必要时可进行多次量测以保证数据的精确性。记录格式应满足本规程第 6.1 条规定。

5.1.4 对于振荡器式、注水式或抽水式微水试验，试验前应根据钻孔直径计算相关水头激发装置规格并进行测试，测试结果宜满足本规程第 3.0.7 和 3.0.8 的规定。

5.1.5 为满足本规程第 3.0.7 和 3.0.8 条试验激发水头和过程时间的要求，试验前应根据钻孔直径对振荡器式、注水式或抽水式微水试验的设备尺寸及抽水能力进行计算，并进行现场测试，以保证试验成果的有效性。

5.1.6 本条规定了微水试验的记录表格形式，要求数据记录完整详细，避免遗漏。

5.2 仪器设备安装

5.2.1 本条规定了钻孔过滤器的安装要求，应根据地层特征选择相应的过滤器类型。

5.2.2 止水栓塞的安设位置应准确，对于不同岩体介质应依据钻孔资料确定相对完整的试验段位置。目前国内常用的止水栓塞类型主要有顶压式、气压式和水压式等，顶压式栓塞优点是使用简便，缺点是栓塞长度较短，孔壁岩体较破碎时止水效果差，而气压式和水压式栓塞与孔壁结合紧密，止水效果良好，本规程建议采用。

5.2.3 气压式的微水试验要求密封性好，若有漏气产生，可能对试验产生一定的影响，从而影响试验结果的准确性。若压力表的读数不稳定，则必须重新进行设备安装与检测。

5.2.4 为减少水的阻力与冲击振荡影响，振荡器式微水试验仪器制作应符合

本条规定。一般情况下钻孔直径较小，为了避免相互干扰，压力传感器的布置应尽量贴近管壁，必要时采用有效的保护装置布设。

5.2.5 本条规定是为了满足短时间内向钻孔内注水，并形成有效激发水头的要求，而对于压力传感器的要求同 5.2.4 节。

5.2.6 抽水式微水试验在关闭水泵的同时，管内回水易导致试验水位发生不均匀振荡，影响试验结果，因此本规程建议在水泵处设置必要的止回措施。

5.2.7 为保证压力传感器的正常工作以及减少扰动影响，试验准备阶段应计算最低振荡水位，并设置压力传感器始终位于最低振荡水位以下不小于 1m 的位置。

5.3 试验操作

5.3.1 本条强调了气压式微水试验水头激发高度以及气压表读数稳定的要求，以及结束试验的标准。

5.3.2 本条强调了注水式微水试验水头激发高度、激发时间以及设备操作的要求，以及结束试验的标准。

5.3.3 本条强调了抽水式微水试验水头激发高度、激发时间以及设备操作的要求，以及结束试验的标准。

5.3.4 本条强调了振荡器式微水试验水头激发高度、激发时间以及设备操作的要求，以及结束试验的标准。

6 试验资料整编

6.2 渗透性参数计算

6.3.1 基本原理

(1) 假设:

- a) 承压含水层等厚, 含水层顶、底板隔水;
- b) 含水层均质、各向同性;
- c) 柱坐标系的原点取为含水层顶面与井孔轴线的交点;
- d) 试验井为完整井;
- e) 井孔100%有效, 即表面因素 f 及其无量纲形式 σ 均为0。

(2) 振荡式微水试验过程中, 假设:

- a) 通过同一井断面的平均速度近似不变;
- b) 水头的摩擦损耗忽略不计;
- c) 整个含水层系统的水流为均匀流;
- d) 井孔中水流由径向流变为垂直流时, 速度变化所引起的动量变化忽略不计。

(3) 柱坐标系下含水层中水流运动方程

水流运动方程见式(1):

$$\frac{S}{T} \frac{dh}{dt} = \frac{1}{r} \frac{d}{dr} \left(r \frac{dh}{dr} \right) \dots\dots\dots (1)$$

初始条件为 $t = 0$ 时, $h = h_0$;

边界条件是 $r \rightarrow \infty$, $h \rightarrow h_0$ 。

考虑表面因子的花管边界条件方程见式(2)

$$h_s = \left(h - f \frac{\partial h}{\partial r} \right) \bigg|_{r=r_s} \dots\dots\dots (2)$$

式中:

f ——表面因子;

h_s ——钻孔内套管与花管交界处的水头。

根据水量平衡原理, 由振荡引起的井筒内流量变化等于井壁周边含水层的径向流量见式(3):

$$\pi r_c^2 \frac{dw}{dt} = 2\pi r_s T \frac{dh}{dr} \bigg|_{r=r_s} \dots\dots\dots (3)$$

对应的初始条件为: $t = 0$, $w = w_0$ 。

根据能量守恒原理, Bird等得到, 见式(4):

$$\frac{d}{dt} \int_{-b}^0 \pi r_s^2 \rho v dz = (-\rho v_2^2 + p_1 - p_2 - \rho g b) \pi r_s^2 \dots\dots\dots (4)$$

动量的积分项由该区间的质量守恒方程确定见式(A. 4):

$$\frac{dM}{dt} = 0 = \left[-\rho v_2 + \frac{2\rho b q}{r_s} \right] \pi r_s^2 \dots\dots\dots (5)$$

式中:

M ——该区域的总体质量,

q ——花管中单位面积上的流量。

该区域内的从 z 到 $z + \Delta z$ 微分单元体质量平衡微分方程, 式(6):

$$\frac{dm}{dt} = 0 = \left[\rho v_z - \rho v_{z+\Delta z} + \frac{\rho 2\Delta z q}{r_s} \right] \pi r_s^2 \dots\dots\dots (6)$$

Δz 趋近于零时, 得到 $v(z)$ 的微分方程, 式(7):

$$\frac{dv}{dz} = \frac{2q}{r_s} \dots\dots\dots (7)$$

积分并代入边界条件, 式(8):

$$z = -b, \quad v = 0 \dots\dots\dots (8)$$

得到式(9):

$$v(z) = \left(\frac{2q}{r_s} \right) (b + z) \dots\dots\dots (9)$$

联立(4)、(5)和(9)得到, 式(10):

$$\frac{d(\rho v_2 b/2)}{dt} = -\rho v_2^2 + p_1 - p_2 - \rho g b \dots\dots\dots (10)$$

以井水位变化量 w 表达的井水运动微分方程式(11):

$$\frac{d^2 w}{dt^2} + \left(\frac{g}{L_e} \right) w = \frac{(h_s - h_0)}{L_e} g \dots\dots\dots (11)$$

式中:

b ——初始含水层厚度。

对应:

$$t = 0, w = w_0 \dots\dots\dots (12)$$

$$dw/dt = w_0^* \dots\dots\dots (13)$$

$$h_s = L = h_0 \dots\dots\dots (14)$$

Kipp引入无量纲的参变量，将上述方程转换为无量纲形式，结合式(1)、(2)和(3)用拉普拉斯变换解方程。最后用拉普拉斯逆变换法则转换方程的解。

无量纲的水位变化量：

$$w' = -w/w_0 \dots\dots\dots (15)$$

无量纲时间：

$$t' = (tT)/(r_s^2 S) \dots\dots\dots (16)$$

和

$$\hat{t} = t'/\beta^{1/2} \dots\dots\dots (17)$$

无量纲贮水系数：

$$\alpha = (r_c^2)/(2r_s^2 S) \dots\dots\dots (18)$$

无量纲惯性系数：

$$\beta = (L_e/g)(T/(r_s^2 S))^2 \dots\dots\dots (19)$$

无量纲表面因子：

$$\sigma = f/r_s \dots\dots\dots (20)$$

无量纲频率系数：

$$\omega = \frac{\left[-\alpha^2\left(\sigma + \frac{1}{4}\ln\beta\right)^2 + 4\beta\right]^{1/2}}{2\beta} \dots\dots\dots (21)$$

无量纲衰减系数：

$$\gamma = \frac{\alpha\left(\sigma + \frac{1}{4}\ln\beta\right)}{2\beta} \dots\dots\dots (22)$$

无量纲阻尼系数：

$$\zeta = \frac{\alpha\left(\sigma + \frac{1}{4}\ln\beta\right)}{2\beta^{1/2}} \dots\dots\dots (23)$$

无量纲阻尼系数 ζ 小于1时，系统欠阻尼； ζ 大于1时，系统是过阻尼反应。 ζ 等于1时，系统为临界阻尼，此时惯性效应最为重要。

ζ 大于5时，惯性的影响可忽略，宜采用狭义微水试验的基本原理进行参数计算。

ζ 小于0.2时，van der Kamp的近似解是有效的。

介于欠阻尼和过阻尼反应的区域，在使用本方法进行测试时，适用Kipp的解法，这时 ζ 介于0.2~5.0之间。