

ICS 27.140

P 59

备案号: J424—2005

DL

中华人民共和国电力行业标准

P

DL/T 5213 — 2005

代替 DLJ 203 — 1981

**水电水利工程
钻孔抽水试验规程**

**Code of pumping test in borehole for hydropower
and water conservancy engineering**

2005-02-14 发布

2005-06-01 实施

中华人民共和国国家发展和改革委员会 发布

目 次

前言	III
1 范围	1
2 规范性引用文件	2
3 总则	3
4 术语和符号	4
4.1 术语	4
4.2 符号	7
5 基本规定	10
5.1 抽水试验孔选择和布置	10
5.2 抽水试验孔类型和结构	10
5.3 抽水试验降深和延续时间	11
6 试验设备	13
6.1 过滤器	13
6.2 水泵	14
6.3 空气压缩机	15
6.4 测试工具	15
7 现场试验工作	16
7.1 钻探	16
7.2 设备安装	16
7.3 洗孔、试验抽水和观测静止水位	17
7.4 稳定流抽水试验	18
7.5 非稳定流抽水试验	19
7.6 自由振荡法试验	20
8 试验资料整编	21
8.1 渗透性参数计算	21

8.2 抽水试验成果报告编制.....	22
附录 A (规范性附录) 空气压缩机抽水孔内设备 安装型式与要求	23
附录 B (资料性附录) 抽水试验观测记录表格式.....	27
附录 C (资料性附录) 自由振荡法试验.....	33
附录 D (规范性附录) 抽水试验渗透性参数计算公式表	40
附录 E (规范性附录) 稳定流抽水试验影响半径 计算公式表	65
附录 F (资料性附录) 稳定流抽水试验成果图表示例	66
条文说明	71

前 言

本标准是根据原国家经济贸易委员会《关于下达 2000 年度电力行业标准制、修订计划项目的通知》（国经贸电力 [2000] 70 号文）的要求，对 DLJ 203—1981《水利水电工程钻孔抽水试验规程》进行的修订。

本标准与 DLJ 203—1981 相比主要变化如下：

——增加了规范性引用文件、术语和符号。

——增加了空气压缩机抽水设备的孔内安装型式与要求。

——修订了包网过滤器、缠丝过滤器的网眼、缝隙尺寸和填砾过滤器的滤料规格的规定。

——增加了非稳定流抽水试验及其渗透性参数的确定方法。

——增加了通过现场非稳定流抽水试验，确定岩土体径向各向异性渗透系数主值（ K_r 、 K_z 和 K_x 、 K_y ）的计算方法。

——明确规定了稳定流和非稳定流抽水试验的延续时间。

——增加了自由振荡法试验，包括适用条件、基本规定、试验设备、试验步骤和计算方法。

——明确了抽水试验计算公式或方法尽量软件（工具）化，开发应用工具软件包。

——完善了有关条文说明。

本标准实施后，代替 DLJ 203—1981。

本标准的附录 A、附录 D、附录 E 为规范性附录。

本标准的附录 B、附录 C、附录 F 为资料性附录。

本标准由中国电力企业联合会提出。

本标准由水电规划设计标准化技术委员会归口并负责解释。

本标准主要起草单位：成都勘测设计研究院。

本标准参加起草单位：河海大学。

DL/T 5213—2005

本标准主要起草人：杨建 杜明祝 陈卫东 周志芳 徐键
杜文树 何立新 钱稳玉 王雪梅 谢北成 杨建宏 张道云
赖寒 李文纲 朴苓 张倩 蔡兵。

1 范 围

本标准规定了水电水利工程地质勘察中钻孔抽水试验的基本规定、试验设备、技术要求和计算方法。

本标准适用于水电水利工程地质勘察中进行的单孔和多孔抽水试验。竖井、试坑抽水试验可参照执行。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而构成本标准的条款。凡是注日期的引用文件，其随后所有的修改单（不包括勘误的内容）或修订版均不适用于本标准，然而，鼓励根据本标准达成协议的各方研究是否可使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件，其最新版本适用于本标准。

GB 50287 水利水电工程地质勘察规范

DL 5013 水利水电工程钻探规程

3 总 则

3.0.1 为做好钻孔抽水试验工作，保证渗透性参数测试成果质量，正确反映水电水利工程场地的水文地质条件，制定本标准。

3.0.2 水电水利工程钻孔抽水试验是一种在钻孔内进行的含水层原位渗透试验方法。主要任务是测定含水层的渗透性参数，为计算坝（闸）基、渠道、水库渗漏量和水工建筑物基坑涌水量提供依据。

3.0.3 钻孔抽水试验前，应根据试验地段的地质结构和水文地质条件，结合水工枢纽布置方案，做好钻孔抽水试验设计。其内容宜包括试验目的、抽水孔和观测孔的布置、造孔要求和钻孔结构、抽水设备的规格及数量、试验设备的安装、现场抽水试验的技术要求、试验记录与校核、渗透性参数计算公式的选择与计算，以及对成果图件的要求等。

4 术语和符号

4.1 术语

下列术语适用于本标准。

4.1.1

钻孔抽水试验 borehole pumping test

通过钻孔抽水，量测抽水孔的涌水量、水位和与抽水孔一定距离上观测孔中的水位随时间变化等数据，根据井、孔涌水的稳定流或非稳定流理论，采用涌水量与水位降深值的函数关系式来计算含水层渗透性参数的一种原位渗透试验。

4.1.2

抽水孔 pumping well

水文地质勘探中用作抽水试验的钻孔。

4.1.3

观测孔 observation well

抽水试验时，用作观测抽水孔周围地下水位随时间变化的钻孔。

4.1.4

单孔抽水试验 single well pumping test

不带观测孔只在一个抽水孔中抽水，并量测其涌水量和水位随时间变化等数据的抽水试验。

4.1.5

多孔抽水试验 multiple well pumping test

除在一个抽水孔抽水并观测其涌水量和水位随时间变化外，还根据含水层的岩性、岩相和水文地质结构或地下水流向变化情况，以抽水孔为原点，沿一定方向或不同方向、不同距离布置一

定数量的观测孔、线，在任一观测线上的一个或多个观测孔进行动水位观测的带观测孔的抽水试验。

4.1.6

稳定流抽水试验 **steady-flow pumping test**

在抽水过程中，要求涌水量与动水位同时相对稳定，并有一定相对稳定延续时间的抽水试验。

4.1.7

非稳定流抽水试验 **unsteady-flow pumping test**

在抽水过程中，保持涌水量固定而观测地下水位随时间的变化，或保持水位降深固定而观测涌水量随时间的变化的抽水试验。

4.1.8

自由振荡法试验 **free oscillation test**

简称自振法试验。通过在地下水位以下的钻孔段，采用外力激振方式，使孔中水柱和含水层中渗流系统产生阻尼振荡，测量阻尼振荡水位随时间变化的过程，从而计算出钻孔邻近含水层渗透性参数的试验。

4.1.9

完整孔 **completely penetrating well**

进水段长度贯穿整个含水层厚度的抽水孔。

4.1.10

非完整孔 **partially penetrating well**

进水段长度仅为含水层厚度一部分的抽水孔。

4.1.11

动水位 **dynamic water level**

抽水试验过程中，在抽水孔测压管和观测孔中测得的相对低于天然地下水位的动态水位。该水位在某一时段内有其相对确定的波动数值即可认定为稳定动水位。

4.1.12

降落漏斗 **depression cone**

由于抽水孔抽水而在其四周一定范围内形成的呈漏斗状的地下水位分布形态。对于承压含水层，该水位在抽水孔附近形成虚拟的承压水水头降落漏斗。

4.1.13

影响半径 influence radius

从抽水孔中心到降落漏斗周边的水平距离。它可根据抽水时各观测孔实测的水位降深值按作图法求得；也可按不同条件下的经验公式计算求得。

4.1.14

水位降深 drawdown

简称降深值。指抽水孔抽水前的天然地下水位与抽水时的动水位之差值。

4.1.15

钻孔结构 borehole structure

构成抽水孔柱状剖面技术要素的总称，主要包括孔身结构、套管、过滤管、测压管、滤料规格及止水位置等。

4.1.16

过滤器 screen assembly

设置于抽水孔或观测孔的试验含水层部位，起护壁、滤水和挡砂作用的反滤装置。

4.1.17

过滤器骨架管孔隙率 Percentage of open area of screen

骨架管的滤水孔眼的总面积与滤水管段的表面积之比值，以百分率表示。

4.1.18

没入率 inundated rate

空气压缩机气液混合器在抽水孔内动水位以下的没入深度与气液混合器中心线至排液管排出气液混合物的高度之比值，以百分率表示。

4.1.19

渗透性参数 permeability parameters

表征含水层渗透特性的各种定量指标，主要有渗透系数、导水系数、释水系数、给水度、压力传导系数等。

4.1.20

渗透系数 permeability coefficient

表征含水层透水能力的一个参数，指当水力坡度为 1 时地下水在介质中的渗透速度。

4.1.21

导水系数 transmissivity coefficient

表示含水层全部厚度导水能力的一个参数，为渗透系数与含水层厚度的乘积。

4.1.22

释水系数 storage coefficient

又称储水系数。指承压含水层中地下水位（水头）下降或上升一个单位高度时，从单位底面积和高度等于含水层厚度的柱体中弹性释放或储存的水量。

4.1.23

给水度 specific yield

潜水含水层中地下水位下降一个单位高度时，地表至潜水面的单位水平面积垂直岩土柱中所能给出的水量。

4.1.24

压力传导系数 pressure conductivity coefficient

又称导压系数。表征在弹性动态条件下承压含水层中水头传递速度的参数，为导水系数与释水系数之比值。

4.2 符 号

下列符号适用于本标准。

a ——压力传导系数（或导压系数）， m^2/d 。

- b ——抽水孔中心至补给边界或隔水边界的垂直距离，m。
- D_{10} 、 D_{50} ——填砾过滤器滤料试样筛分中，过筛砾料的颗粒，其累计质量占总质量分别为10%、50%时的最大颗粒直径，mm。
- d_{10} 、 d_{20} 、 d_{50} 、 d_{60} 、 d_{70} ——含水层砂、土试样筛分中，过筛土粒累计质量占总质量分别为10%、20%、50%、60%、70%时的最大颗粒直径，mm。
- g ——重力加速度， m/s^2 。
- H ——天然情况下潜水含水层的厚度、空气压缩机气液混合器没入动水位以下的深度，m。
- h ——承压含水层自顶板起算的承压水头高度、抽水试验进行时潜水含水层的厚度、水位恢复时潜水含水层的厚度、空气压缩机气液混合器上升的高度，m。
- \bar{h} ——潜水含水层在天然情况下的厚度 H 和抽水试验时的厚度 h 的平均值，m。
- Δh^2 ——潜水含水层在天然情况下的厚度 H 和抽水试验时的厚度 h 的二次方之差，即 $\Delta h^2 = H^2 - h^2$ ， m^2 。
- K ——含水层的渗透系数，m/d。
- l ——过滤器工作部分的长度、自振法试验时的试验段长度，m。
- M ——承压含水层的厚度，m。
- m ——自振法试验振荡波形 $\lg(W/W_0) - t$ 直线的斜率。
- P ——空气压缩机压缩空气的风压，MPa。
- ΔP ——压缩空气在供风管中的压力损失，MPa。
- Q ——抽水孔涌水量，L/s。
- R ——影响半径，m。
- r ——抽水孔过滤器半径、钻孔半径，m。
- r_1 、 r_2 ——观测孔1、2至抽水孔间的中心距离，m。

- s ——抽水孔水位降深值，m。
- s_1 、 s_2 ——观测孔 1、2 的水位降深值，m。
- T ——含水层的导水系数， m^2/d 。
- t ——时间，s。
- V ——空气压缩机抽 $1m^3$ 水需用的空气量， m^3 。
- W_0 ——自振法试验激发时产生的地下水位最大下降值，m。
- W_t ——振荡时钻孔中水位随时间的变化值，m。
- $W(u)$ ——无越流含水层非稳定流定流量抽水试验井函数。
- α ——空气压缩机抽水时气液混合器的没入率，%。
- β ——阻尼系数。
- λ ——地下水水力坡降。
- μ ——潜水含水层的给水度。
- μ^* ——承压含水层的释水系数（或储水系数）。
- ρ_w ——水的密度， t/m^3 。
- ω_w ——振荡体自振时的固有频率，Hz。

5 基本规定

5.1 抽水试验孔选择和布置

5.1.1 调查主要含水层的渗透性能及其变化规律时，可采用单孔抽水试验。在选定的水电水利枢纽工程场地上，查明主要建筑物地段含水层的渗透性和各向异性以及岩土体渗透性分级时，根据水文地质条件复杂程度，宜选用单孔或多孔抽水试验；核定坝基和强烈渗漏地段岩土体准确的渗透性参数时，宜布置一定数量的多孔抽水试验。

5.1.2 多孔抽水试验，以抽水孔为原点，宜布置1~2条观测线。1条观测线时，应垂直地下水流向布置；2条观测线时，应分别垂直和平行地下水流向布置。

对岩性岩相变化大的松散含水层和裂隙含水岩体，应布置两条观测线。一条沿岩性岩相变化大的方向或透水性强的方向布置，另一条应与前一条垂直布置。

5.1.3 每条观测线上的观测孔不宜少于3个；水文地质条件复杂或有特殊要求时，可视需要适当增加。

5.1.4 观测孔至抽水孔距离，当抽水孔为完整孔时，距抽水孔近的第1个观测孔的布置宜控制在2m~3m，并应尽量避免紊流和三维流的影响，第2个观测孔宜为含水层厚度的1~1.5倍，第3个观测孔宜为含水层厚度的2~3倍；抽水孔为非完整孔时，应根据抽水孔的结构和拟选计算公式的要求确定。最远观测孔至抽水孔的距离不宜太远，应保证最远观测孔水位达到一定降深值。

5.2 抽水试验孔类型和结构

5.2.1 均质含水层厚度小于15m时，抽水孔宜采用完整孔；厚度

大于 15m 时，抽水孔宜采用非完整孔。

5.2.2 非均质层状含水层单层厚度大于 6m 时，抽水孔可采用非完整孔进行分段抽水，过滤器宜置于单层的中部，其长度不宜大于 1/3 单层厚度，但不应小于 2m；单层厚度为 3m~6m 时，仍可采用非完整孔进行分段抽水，但过滤器安放位置及长度宜根据单层厚度及上、下岩土层的渗透性确定；单层厚度小于 3m 时，不宜进行分段抽水，但重要建筑物地基根据工程设计需要可选用综合抽水。

5.2.3 具有中、强透水性的裂隙岩体、断层破碎带和喀斯特发育带抽水试验时，应视其厚度、埋藏情况和均一性确定抽水孔的类型。当中、强透水带全部被揭穿时，抽水孔可采用完整孔；未全部被揭穿时，抽水孔应采用非完整孔。计算时应以孔内中、强透水带作为含水层厚度。

5.2.4 河床部位松散含水层抽水试验时，可采用非完整孔，抽水孔过滤器宜置于含水层的上半部，其顶端至河底的距离不应小于 2m。

5.2.5 完整孔抽水时，抽水孔过滤器长度不宜小于含水层厚度的 0.9 倍；非完整孔抽水时，过滤器长度和位置应根据拟选用的计算参数的解析式适用条件确定。

5.2.6 松散含水层抽水试验时，应在抽水孔过滤器外壁设置测压管。测压管有眼部分的长度和埋设深度，宜与过滤器相等。

5.2.7 各观测孔过滤器的长度宜与抽水孔过滤器相当，并应安置在同一含水层和同一高程上。

5.3 抽水试验降深和延续时间

5.3.1 稳定流抽水试验应进行三次降深。抽水孔降深值应以在测压管测得的为准。抽水孔相邻两次降深的差值宜相近。

5.3.2 稳定流抽水试验降深顺序，松散含水层宜从小到大，逐渐增大；基岩含水层宜从大到小。

5.3.3 抽水孔水位最小降深值，单孔抽水试验时不应小于 0.5m；多孔抽水试验时应保证最远观测孔的降深值不小于 0.1m，或各相邻观测孔的降深值之差不小于 0.2m。

5.3.4 抽水孔水位最大降深值，潜水含水层抽水时，不宜大于含水层厚度的 0.3 倍；承压含水层抽水时，不应降到含水层顶板以下。

5.3.5 稳定流抽水试验的各次降深稳定延续时间，应符合下列规定：

1 中、强透水性含水层中的单孔抽水试验，稳定延续时间不应小于 4h。

2 多孔抽水试验的稳定延续时间不应小于 8h，并应以最远观测孔的动水位波动值判定。

3 透水性弱的含水层抽水试验，应适当延长抽水稳定延续时间。

4 每次降深的稳定延续时间不宜间断，因故中断时，应适当延长抽水稳定时间。各次降深的转换应尽量连续进行。

5.3.6 非稳定流抽水试验的延续时间，应根据水位下降与时间 $[s(\Delta h^2) - \lg t]$ 关系曲线确定，并应符合下列要求：

1 $s(\Delta h^2) - \lg t$ 关系曲线呈现出有拐点时，延续时间宜延到拐点后的线段趋于水平为止；当关系曲线变陡时，延续时间宜延伸至拐点以后的线段使其水平投影在 $\lg t$ 轴上的数值不少于两个对数周期。

2 $s(\Delta h^2) - \lg t$ 关系曲线没有拐点时，延续时间宜根据试验目的确定，并宜使其水平投影在 $\lg t$ 轴上的数值不少于两个对数周期。

3 在承压含水层中抽水时，应采用 $s - \lg t$ 关系曲线；在潜水含水层中抽水时，应采用 $\Delta h^2 - \lg t$ 关系曲线。

4 当有观测孔时，应采用最远观测孔的 $s(\Delta h^2) - \lg t$ 关系曲线。

6 试 验 设 备

6.1 过 滤 器

6.1.1 抽水孔过滤器的类型，宜根据不同含水层的性质和孔壁稳定情况按表 6.1.1 选用。抽水试验的观测孔，宜采用包网过滤器。

表 6.1.1 过滤器类型选择

含水层性质及孔壁稳定情况	抽水孔过滤器类型
软岩，半坚硬不稳定岩层，构造破碎带，裂隙密集带，喀斯特强烈发育带	骨架过滤器
卵（碎）石，圆（角）砾、粗砂、中砂	包网过滤器或缠丝过滤器
细砂，粉细砂	填砾过滤器

6.1.2 包网过滤器、缠丝过滤器和填砾过滤器的骨架管孔隙率宜为 25%~35%，骨架管上应先设垫筋而后包网或缠丝。观测孔过滤器骨架管的孔隙率不宜小于 15%。

6.1.3 包网过滤器、缠丝过滤器的网眼和缝隙尺寸，宜按表 6.1.3 的规定确定。

表 6.1.3 包网过滤器、缠丝过滤器的网眼、缝隙尺寸

过滤器类型	网眼及缝隙尺寸 mm	
	颗粒均匀的含水层	颗粒不均匀的含水层
包网过滤器	(1.5~2.0) d_{50}	(2.0~2.5) d_{50}
缠丝过滤器	(1.25~1.5) d_{50}	(1.5~2.0) d_{50}

注：含水层为细砂时，过滤器的网眼及缝隙尺寸取小值，粗砂取大值。

6.1.4 填砾过滤器骨架管缠丝的缝隙尺寸和网眼可采用 D_{10} 。

6.1.5 填砾过滤器的滤料规格，宜按下列规定确定：

1 砂土类含水层土粒的不均匀系数小于 10 时，滤料规格宜按下式计算：

$$D_{50} = (6 \sim 8) d_{50} \quad (6.1.5-1)$$

2 碎石土类含水层土粒的 d_{20} 小于 2mm 时，滤料规格宜按下式计算：

$$D_{50} = (6 \sim 8) d_{20} \quad (6.1.5-2)$$

3 碎石土类含水层土粒的 d_{20} 大于或等于 2mm 时，滤料规格可直接确定为 10mm~20mm。

4 滤料的不均匀系数宜小于或等于 5。

6.1.6 填砾过滤器的滤料厚度应大于或等于 50mm。

6.1.7 抽水孔过滤器骨架管的外径，在松散含水层中，采用填砾过滤器时宜为 73mm~89mm，采用包网或缠丝过滤器时宜为 108mm~127mm，在基岩含水层中，不下过滤器时钻孔直径不宜小于 130mm；下过滤器时其骨架管外径宜为 108mm~127mm。抽水试验观测孔过滤器骨架管的内径宜大于或等于 50mm。

6.1.8 抽水孔过滤器的下端应设置管底封闭的沉淀管，其长度宜为 2m~4m。

6.1.9 抽水孔过滤器上端的工作管，在松散含水层中可不接出地面，但工作管与上部套管的间隙应采用止砂措施。

6.2 水 泵

抽水试验用的水泵类型，应根据地下水位埋深、过滤器直径和孔内可能的最大涌水量选择。地下水位较浅时，宜采用离心式水泵；地下水位较深、涌水量大时，可选用深井泵或潜水泵；地下水位较深、涌水量小时，可选用拉杆式水泵。

当过滤器直径影响抽水量增大时，可选用大于进水管口径的

水泵，但不得大于二级。

6.3 空气压缩机

含水层地下水位较深、水量很大时，抽水试验设备可选用空气压缩机。抽水试验用的空气压缩机类型，可根据作业现场条件选用柴油动力空气压缩机或电动空气压缩机。抽水孔内空气压缩机设备安装型式与要求见附录 A。

6.4 测试工具

6.4.1 观测水位宜使用电测水位计。地下水位较浅时，可采用浮标水位计；有条件时，宜采用自记水位计。观测读数应精确到 1cm。

6.4.2 涌水量的测试用具应根据涌水量大小选定。涌水量小于 1L/s 时，可采用容积法或水表；涌水量为 1L/s~30L/s 时，宜采用三角堰；涌水量大于 30L/s 时，应采用矩形堰。

采用容积法时，量桶或提筒充满水所需的时间不宜少于 15s，观测读数应精确到 1s；采用水表时，观测读数应精确到 0.0001m^3 ；采用堰箱时，观测水层厚度的读数应精确到 1mm。

6.4.3 测量气温可采用普通温度计；测量水温宜用缓变温度计。测量读数应精确到 0.5°C 。

7 现场试验工作

7.1 钻 探

7.1.1 抽水孔和观测孔的孔位，应由地质、钻探、测量人员按钻孔抽水试验设计书要求共同在现场确定。钻探完成后应测量各孔（管）口的坐标、高程。孔内所有测深、过滤器等的安装，均应从统一固定基点算起。

7.1.2 多孔抽水试验的钻探施工顺序，应先钻造抽水孔，后钻造观测孔。

7.1.3 抽水孔试验孔段的孔径，应根据含水层的性质、渗透性和过滤器的类型确定。在松散含水层中，孔径不宜小于 168mm；在基岩含水层中，孔径不宜小于 130mm。观测孔的孔径不宜小于 59mm。

7.1.4 抽水孔和观测孔的钻进方法，松散含水层钻孔应采用跟管钻进；基岩含水层钻孔应采用清水钻进。抽水试验孔段严禁使用泥浆循环钻进或植物胶护壁钻进。

7.1.5 抽水孔和观测孔钻进时，应保持孔壁铅直，取好岩芯，详细记录钻进情况。

7.1.6 抽水孔和观测孔钻进过程中，对每一含水层均应同步测定其稳定水位和水温，观测时间每间隔 30min 测量一次。连续观测四次的水位变化幅度不大于 1cm，且无持续上升或下降趋势时，才可认定为稳定，水温测定变化幅度不大于 0.5℃时，方可停止观测。

7.2 设备 安 装

7.2.1 抽水孔和观测孔安装过滤器前，应采用清水或其他有效方

法，将孔内泥质物清除干净。

7.2.2 过滤器的安装应按照钻孔抽水试验设计书的要求进行，下放过程中不得损坏过滤器。安装时应详细记录过滤器各部分的规格、长度和实际深度，并及时绘制安装结构图。过滤器和测压管等设备安装记录表格式参见附录 B 表 B.1、表 B.2 和表 B.3。

7.2.3 抽水孔的测压管应固定在过滤器的外壁上，并与过滤器一同下入孔内设计深度。

7.2.4 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。

7.2.5 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。

7.2.6 水泵抽水时，吸水龙头在各次降深中应放在同一深度。吸水龙头在承压含水层中，宜放在含水层顶板处；在潜水含水层中，宜放在最大降深动水位以下 0.5m~1m 处。

7.2.7 量水堰应放置在稳固的基础上，保持水平。试验前，应准确测定堰前水尺起始读数。

7.2.8 潜水含水层抽水时，应将抽水孔抽出的水排至无渗漏影响范围之外。

7.2.9 起拔套管时，应防止带起过滤器和测压管。套管管靴起拔高度应与过滤器顶端等齐或略高。

7.3 洗孔、试验抽水和观测静止水位

7.3.1 正式抽水试验前，抽水孔和观测孔均应进行反复清洗，达到水清砂净无沉淀。洗孔的方法可选用活塞、空气压缩机、液态 CO₂ 或焦磷酸钠。

7.3.2 正式抽水试验前应进行试验抽水，试验抽水可与洗孔结合进行。在松散含水层中的试验抽水降深宜逐渐增大，达到最大降深后的延续时间不应少于 2h。

7.3.3 应通过试验抽水全面检查动力、水泵、过滤器、测压管等试验设备的运转情况和工作效果，并实测可能达到的最大降深，发现问题应及时解决。

7.3.4 试验抽水过程中，应同步观测、记录抽水孔的涌水量和抽水孔及观测孔的动水位。观测记录表格式参见附录 B 表 B.4 和表 B.5。

7.3.5 试验抽水和正式抽水前，应同步观测抽水孔和观测孔的静止水位和校核静止水位。静止水位每 30min 观测一次，2h 内变幅不大于 1cm，且无连续上升或下降趋势时，即可认定为稳定。

7.3.6 校核静止水位时，在抽水影响范围或以外与抽水孔抽水可能有水力联系的坑孔和地表水体，应设置天然水位观测点，定时观测。当天然水位变化幅度较大，静止水位校正有困难时，可暂停试验工作。

7.3.7 试验抽水后应测量抽水孔孔深。发现孔内沉淀太多时，应分析原因并予以清除。

7.4 稳定流抽水试验

7.4.1 抽水试验过程中，应同步观测、记录抽水孔的涌水量和抽水孔及观测孔的动水位。涌水量和动水位的观测时间，宜在抽水开始后的第 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 50, 60min 各测一次，出现稳定趋势以后每隔 30min 观测一次，直至结束。观测记录表格式参见附录 B 表 B.4、表 B.5、表 B.6 和表 B.7。

7.4.2 在抽水稳定延续时间内，涌水量稳定标准应符合下列要求：

- 1 实测涌水量最大值与最小值之差应小于平均涌水量的 5%。
- 2 涌水量应无持续增大或变小的趋势。

7.4.3 在抽水稳定延续时间内，动水位稳定标准应符合下列要求：

1 采用离心泵、深井泵、潜水泵、拉杆式水泵抽水过程中，抽水孔测压管的水位波动值不应大于 3cm；同一时间内观测孔的水位波动值不应大于 1cm。

2 采用空气压缩机抽水过程中，抽水孔测压管的水位波动值不应大于 10cm。

3 动水位应无持续上升或下降的趋势。

7.4.4 试验过程中，应详细记载所发生的有关情况，随时检查各种观测记录，并现场绘制 $Q-s$ 或 $Q-\Delta h^2$ 曲线和 $s-t$ 与 $Q-t$ 曲线。当 $Q-s$ 曲线反常时，应分析和查明原因，必要时重做。

7.4.5 水温、气温应在抽水前观测一次，抽水时每次降深各观测一次。

7.4.6 水质分析用的水样应在抽水前和抽水即将结束时各取一次。

7.4.7 抽水试验结束后，应立即同步观测抽水孔和观测孔的恢复水位。恢复水位的观测时间应符合 7.5.2 的规定。

7.4.8 试验结束后，应测量孔深和复测各孔（管）高程。必要时可取沉淀样品进行颗粒分析。

7.5 非稳定流抽水试验

7.5.1 抽水试验过程中，抽水孔的涌水量应保持常量。

7.5.2 抽水试验时每个阶段（每种流量状况），涌水量和动水位的观测时间，宜在抽水开始后的第 1, 2, 3, 4, 6, 8, 10, 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 120min 各观测一次，以后可隔 30min 观测一次，直至结束。观测记录表格式参见附录 B 表 B.4、表 B.5 和表 B.8。

7.5.3 水温、气温的观测和水样的采取，应符合 7.4.5 和 7.4.6 的规定。

7.5.4 抽水结束后，观测恢复水位的时间应符合 7.5.2 的规定。

7.6 自由振荡法试验

7.6.1 在含水层地下水位埋深较大、水泵吸程不够或水量较大、水泵出力不足或水量较小、容易被抽干时，可试用自由振荡法试验。

7.6.2 自由振荡法试验方法参见附录 C。

8 试验资料整编

8.1 渗透性参数计算

8.1.1 渗透性参数计算前，应对所有的原始观测记录进行整理、校核，发现问题应及时分析研究和解决。

8.1.2 渗透性参数计算，应在分析试验地段的地质、水文地质条件的基础上，结合抽水孔结构和试验方法合理地选用公式，并应遵照下列规定：

1 稳定流完整孔、非完整孔抽水试验渗透性参数的计算公式选择与计算，应遵照附录 D.1 和 D.2 的要求。

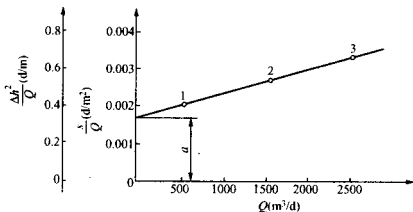
2 非稳定流完整孔抽水试验渗透性参数的计算公式选择与计算，应遵照附录 D.3 的要求。

3 对于各向异性含水层，在进行非稳定流完整孔定流量抽水试验时，应遵照附录 D.4 的规定进行渗透性参数计算。

4 计算时小数点后的有效数值应一律取三位。

8.1.3 稳定流单孔抽水试验的 $Q-s$ 或 $Q-\Delta h^2$ 关系曲线呈抛物线型时，可绘制 $s/Q-Q$ 曲线或 $\Delta h^2/Q-Q$ 曲线，当三次下降的 $s/Q-Q$ 或 $\Delta h^2/Q-Q$ 关系曲线呈直线时，可根据直线的斜率 i 和直线在纵轴上的截距 a 值（见图 8.1.3），计算井（孔）损和有效井半径。井（孔）损值 $\Delta h' = iQ^2$ ，有效井半径 $r_w = R/e^{2\pi Ta}$ 或 $r_w = R/e^{2\pi kha}$ ，将计算公式中的 Q/s [或 $Q/(H^2-h^2)$] 换成 $1/a$ ，井半径用有效井半径代替，可计算渗透系数。

8.1.4 稳定流多孔抽水试验的影响半径计算公式的确定见附录 E.1。稳定流单孔抽水试验的影响半径计算公式，可结合具体情况遵照附录 E.2 选取。

图 8.1.3 s/Q (或 $\Delta h^2/Q$)— Q 关系曲线示意图

8.2 抽水试验成果报告编制

8.2.1 抽水试验成果报告应包括文字说明和图表两部分。

8.2.2 文字说明宜包括下列内容：

- 1 试验地段的地质和水文地质条件。
- 2 抽水孔结构和试验方法。
- 3 试验情况和问题。
- 4 计算公式的选择。
- 5 成果质量的评价和确定推荐值的论据。
- 6 对下一孔(组)试验的建议。

8.2.3 图表宜包括下列内容(图表格式参见附录 F)：

- 1 试验场地平面图。
- 2 抽水孔和观测孔施工技术剖面图。
- 3 $Q-s$ 或 $Q-\Delta h^2$ 关系曲线和 $s-t$ 或 $Q-t$ 关系曲线图。
- 4 $s-\lg t$ 、 $s-\lg r$ 和 $\Delta h^2-\lg r$ 关系曲线图。
- 5 $s=f(t)$ 或 $s-\lg t/t'$ 关系曲线图。
- 6 基本数据和计算成果表。

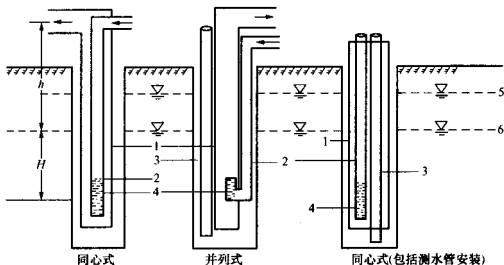
附录 A

(规范性附录)

空气压缩机抽水孔内设备安装型式与要求

A.1 用空气压缩机抽水时,孔内供气管与排液管的安装型式,应根据气液混合器的类型和抽水孔的孔径确定,并应符合下列要求:

A.1.1 使用直式气液混合器时,应采用同心式;选用钩式气液混合器时,可采用并列式(见图 A.1)。



1—排液管; 2—供气管; 3—测水管; 4—气液混合器; 5—静水位; 6—动水位

图 A.1 空气压缩机抽水孔内安装型式示意图

A.1.2 小口径钻孔抽水时,孔内设备安装型式应采用同心式,供气管安装在排液管内;大口径钻孔抽水时,孔内设备安装可选用并列式,供气管和排液管并列安装。

A.1.3 供气管下部的的气液混合器工作部分的长度应大于 1m, 底端封闭严密;混合器的喷气孔应呈上稀下密径向均匀布置,直径宜为 4mm~6mm, 喷气孔总面积宜为供气管截面积的 2~4 倍。

A.2 空气压缩机抽水时,应根据气液混合器没入动水位的深度确定没入率、空气压力和空气消耗量,并应符合下列规定:

A.2.1 气液混合器的没入率不宜小于 50%。没入率可按式 (A.1) 计算。

$$\alpha = \frac{H}{H+h} \times 100\% \quad (\text{A.1})$$

式中:

α ——没入率, %;

H ——气液混合器没入动水位以下的深度, m;

h ——气液混合器上升的高度, m。

A.2.2 空气压缩机的风压可按式 (A.2) 计算。

$$P = \rho_w H + \Delta P \quad (\text{A.2})$$

式中:

P ——压缩空气的风压, MPa;

ρ_w ——水的密度, t/m^3 ;

ΔP ——压缩空气在供风管中的压力损失, 一般取值小于 0.05MPa, 其余符号同前。

A.2.3 每抽 1m^3 水所需要向钻孔中送入的空气量可按式 (A.3) 计算。

$$V = K_0 \frac{h}{231 \lg \frac{H+10}{10}} \quad (\text{A.3})$$

$$K_0 = 2.17 + 0.016h \quad (\text{A.4})$$

式中:

V ——抽 1m^3 水所需用的空气量, m^3 ;

K_0 ——与气液上升高度有关的系数, 其余符号同前。

每抽 1m^3 水所需压缩空气量与没入率、气液混合上升高度的关系见表 A.1:

表 A.1 空气消耗量与没入率、气液混合上升高度的关系

没入率	50%					
气液上升高度 m	5	10	20	30	40	50
空气消耗量 m ³	2.78	3.37	4.55	5.77	7.03	8.35

A.3 空气压缩机抽水时，抽水孔内设备的安装应符合下列要求：

A.3.1 供气管、排液管和井管（或钻孔）的直径与孔内涌水量及空气压缩机容量均应匹配合理。孔内涌水量与排液管、供气管、井管（或钻孔）的直径的匹配关系见表 A.2。

表 A.2 涌水量与排液管、供气管、井管（或钻孔）直径配合关系

涌水量 L/s	管（孔）口外径 mm					
	并列式			同心式		
	排液管	供气管	井管 （钻孔）	排液管	供气管	井管 （钻孔）
1~2	42	12	100			
2~3	48	12~20	100	48	12	75
3~4.5	60	20~25	150	60	20	100
4.5~6				73	20	100
6~9	73	25~30	150	89	25	125
9~12	89	25~30	200	108	30	150
12~18	108	30~38	200	127	38	175

A.3.2 试验过程中，气液混合器在各次降深中均应放置在同一深度，排液管下入深度应比气液混合器深 2m~3m。

A.3.3 排液管上端应安装气液（水）分离器，如出水三通、消能桶或接水桶。

A.3.4 供气管和排液管安装结束后应下入测水管，测水管下入深

度应大于排液管。

A.3.5 排液管、供气管、测水管均应连接严密、牢固，各接口丝扣应缠棉纱、涂铅油、拧紧，在下管前应对各连接接头进行严格检查。

附 录 B

(资料性附录)

抽水试验观测记录表格式

B.1 基本技术资料记录表格式见表 B.1。

表 B.1 基本技术资料记录表

_____ 孔 _____ 段

孔口高程 m			过 滤 器	类 型		设 备	水泵名称	
孔 深 m				管架孔隙率 %			水泵型号	
孔 径 mm				孔眼直径 mm			吸水管直径 mm	
含 水 层	类 型			网型网号		吸水管深度 m		
	水位深度 m			填砾直径 mm		动 力		
	顶板深度 m			填砾厚度 mm		水位计		
	底板深度 m			填砾高度 m		流量计		
	厚 度 m	测 压 管	花管长度 m					
	止水深度 m		顶端深度 m					
	岩 性		底端深度 m					

记录者

校核者

年 月 日

B.2 抽水孔安装记录表格式见表 B.2。

表 B.2 抽水孔安装记录表

名称	直径 mm	长度 m	顶端深度 m	底段深度 m	备注
套管					
连接管					
过滤管					
沉淀管					
测压管					

记录者

校核者

年 月 日

B.3 观测孔安装记录表格式见表 B.3。

表 B.3 观测孔安装记录表

项 目	垂直地下水流向的观测孔			平行地下水流向的观测孔		
孔口高程 m						
管口高程 m						
孔 径 mm						
花管内径 mm						
花管长度 m						
花管顶深度 m						
花管底深度 m						
至抽水孔距离 m						

记录者

校核者

年 月 日

B.4 钻孔水位观测记录表格式见表 B.4。

表 B.4 水位观测记录表

_____ 孔 _____ 段 孔(管)口至地面距离 _____ m

时 间			孔(管)内 水深 m	水位或降深 m	时 间			孔(管)内 水深 m	水位或 降深 m
日	时	分			日	时	分		

记录者

校核者

年 月 日

B.5 抽水试验观测记录表格式见表 B.5。

表 B.5 抽水试验观测记录表

_____ 孔 _____ 段 天然地下水位 _____ m

时 间			孔内水位		测压管水位		涌水量		备注
日	时	分	动水位 m	降深 m	动水位 m	降深 m	堰箱读数 cm	涌水量 L/s	

记录者

校核者

年 月 日

B.6 稳定流单孔抽水试验参数计算成果表格式见表 B.6。

表 B.6 稳定流单孔抽水试验参数计算成果表

降深次序		1	2	3	计算
抽水开始时间					
抽水结束时间					
总延续时间					
稳定延续时间					
静止水位 m					
动水位 m					
降深	过滤器中 m				
	测压管中 m				
流量 L/s					
钻孔至水边垂直距离 m					
含水层厚度 m					
过滤器半径 m					
影响半径 m					
渗透系数 m/d					
平均渗透系数 m/d					

整理

计算

校核

B.7 稳定流多孔抽水试验参数计算成果表格式见表 B.7。

表 B.7 稳定流多孔抽水试验参数计算成果表

降深次序	1					2					3				
孔号	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
静止水位高程 m															
动水位高程 m															
降深 m															
流量 L/s															
含水层厚度 m															
至主孔距离 m															
渗透系数 m/d															
平均渗透系数 m/d															

整理

计算

校核

B.8 非稳定流抽水试验参数计算成果表格式见表 B.8。

表 B.8 非稳定流抽水试验参数计算成果表

降深次序	1	2	3	4	5	6
抽水开始时间						
抽水结束时间						
抽水延续时间						
流量 L/s						
动水位 m						
降深 m						

表 B.8 (续)

降深次序	1	2	3	4	5	6
含水层厚度 m						
过滤器半径 m						
选用计算方法	(配线法、直线法)					
渗透系数 m/d						
平均渗透系数 m/d						

整理

计算

校核

附 录 C
(资料性附录)
自由振荡法试验

C.1 自由振荡法试验的原理: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,向该系统施加一瞬时压力,再突然释放,系统失去平衡,水体开始振荡。测量和分析这个振荡过程,就是自振法试验研究的内容。振荡过程可用以下振荡方程来表述:

$$\frac{d^2W_t}{dt^2} + 2\beta\omega_w \frac{dW_t}{dt} + \omega_w^2 W_t = 0 \quad (\text{C.1})$$

该振荡方程有两种解:

$$\beta \geq 1 \text{ 时, } W_t = W_0 e^{-\omega_w(\beta - \sqrt{\beta^2 - 1})t} \quad (\text{C.2})$$

$$\beta < 1 \text{ 时, } W_t = W_0 e^{-\beta\omega_w t} \cos(\omega_w \sqrt{1 - \beta^2} t) \quad (\text{C.3})$$

这表明系统振荡存在着两种形式,式(C.2)为指数振荡,式(C.3)为周期性的指数振荡。相应的水位恢复也有两种方式,式(C.2)表明水位随时间的推移而趋向稳定,式(C.3)表明水位呈周期性振荡,且随时间的推移而趋向稳定。通过求解这个振荡方程建立起阻尼系数 β 与含水层的渗透系数 K 和固有频率 ω_w 的关系,即可计算含水层的渗透系数。

C.2 自振法试验应遵守下列基本规定:

C.2.1 自振法试验是在低压状态下进行的,在松散含水层中试验时钻孔可不填过滤料,但应按本标准中的相关要求选择和安装过滤器。在基岩含水层中试验时,可随钻孔加深采用单栓塞进行分段试验,也可在连续钻进到一定深度后,再用双栓塞分段进行试验。

C.2.2 试验孔应采用清水钻进。

C.2.3 试验孔的孔壁应尽量保证具有规则的圆柱体状。

C.2.4 试验时孔内水体振荡段的管径应保持一致，严禁在套管接头处试验。

C.3 自振法试验设备应符合下列要求：

C.3.1 密封器。是对钻孔孔口进行密封加压的装置。现场测试中除加压外，压力传感器及限位器都需通过密封器放入钻孔中。密封器应设置进气孔、卸压阀、电缆密封孔等。

C.3.2 压力传感器。是用来测量释放压力后钻孔中水位变化值的装置，应确保其灵敏度高，稳定性好，分辨率至少应达到 1cm，量程可选用 0.1MPa。

C.3.3 二次仪表。应确保精度高，稳定性好，二次仪表中水位和时间的采样应同步，时间精度为 1ms，应能及时记录和打印水位变化与时间关系的历时曲线。

C.3.4 气泵。为适应野外使用，容量不宜太大，宜采用气压约 0.8MPa 的小型高压气泵。

C.3.5 限位器。由自控开关和两个电磁阀组成，用以控制激发水位即 W_0 值，即当钻孔中水位下降至 W_0 值时，自控开关的进气阀自动关闭，排气阀自动打开。为确保试验的准确性，试验时应使用限位器。

C.3.6 其他设备包括过滤器、栓塞等设备及其安装，应与常规抽水、压水试验的要求相同。

C.4 自振法试验步骤应符合下列要求：

C.4.1 试验工作应包括洗孔、下置过滤器或栓塞隔离试段、水位测量、设备安装、测量等步骤。

C.4.2 在试验开始前，应对各种设备、仪器性能、工作状态进行检查，发现问题立即处理。

C.4.3 洗孔、试段隔离、静止水位测量应符合本标准 7.3 的有关规定。

C.4.4 将压力传感器通过密封器放入钻孔中地下水位以下。通过大量的试验证明，压力传感器放入地下水位以下 2m~3m 为宜，若放置得太浅，在加压过程中压力传感器易露出水面；若放置得太深，会影响压力传感器测试的分辨率。

C.4.5 将限位器的浮子部分通过密封器放入钻孔中水位以下 W_0 值处。向钻孔施压后， W_0 值宜控制在 0.5m。

C.4.6 用气泵向钻孔中充气，使地下水位下降，当水位下降至 W_0 值时，自控开关的进气阀自动关闭，排气阀自动开启。泄压后，钻孔中水位开始振荡上升，最终恢复至稳定水位。

C.4.7 试验资料的测量、记录，应从加压前开始，记录加压后水位下降，泄压后系统振荡，直至水位恢复到稳定为止的孔内压力变化的全过程。为确保测量资料的可靠性，每段试验的测量和记录宜重复 3~5 次。

C.5 试验资料整理应符合下列要求：

C.5.1 用下式计算振荡体在无阻尼状态下自振时的固有频率：

$$\omega_w = \sqrt{\frac{g}{H_0}} \quad (\text{C.4})$$

式中：

ω_w ——固有频率，Hz；

g ——重力加速度， m/s^2 ；

H_0 ——承压水头高度或潜水高出试段顶的高度，m。

ω_w 为系统的固有频率，其值只与钻孔中试段顶板以上水柱高度有关，对每段试验而言， ω_w 为一常数。

C.5.2 根据自振法试验的振荡波形，确定振荡曲线的类型，即 $\beta \geq 1$ 型或 $\beta < 1$ 型。

C.5.3 当 $\beta \geq 1$ 时，计算出 $\lg(W_t/W_0) - t$ 曲线的斜率 m 值。将式 (C.2) 线性化并化简后可知， m 为 $\lg(W_t/W_0) - t$ 直线的斜率，

m 值在理论上应为一常数, 但实测试验数据计算出的 m 值并不总是一常数, 这是因为在停止向孔内加压后, 泄压的前一段时间内, 孔内气压不可能突变为零, 此时压力传感器测得的压力值是气压与水压的叠加值。随着时间的增加, 当气压与大气压相等时, 孔内水位则按指数规律振荡, 此时段后的 m 值, 从理论上说应是一常数。大量的试验资料证明, 此时段后的 m 值, 在较小范围内变化。整理资料时应选用 m 值变化较小时间段内的数据进行计算, 得出平均的 m 值。

用下式计算振荡时介质对水由于摩擦力所产生的阻尼系数:

$$\beta = -\frac{0.215\omega_w^2 + 1.16m^2}{m\omega_w} \quad (\text{C.5})$$

式中:

β ——阻尼系数;

m —— $\lg(W_t/W_0) - t$ 直线的斜率;

W_t ——振荡时钻孔中水位随时间的变化值, m;

W_0 ——激发时产生的地下水位最大下降值, m, 其余符号同前。

阻尼系数 β 与含水层的水文地质特性密切相关, 反映水体在含水层流动时的阻尼特性, 它与含水层渗透系数成反比。

C.5.4 当 $\beta < 1$ 时, 不能用一般的代数法求解, 使用试算法通过计算机计算效果较好。上述公式 (C.3) 经变化后得:

$$\frac{W_t}{W_0} e^{\beta\omega_w t} = \cos(\omega_w \sqrt{1 - \beta^2} t) \quad (\text{C.6})$$

式中只有 β 是未知数, 由于前提条件是 $\beta < 1$, 故可通过试算法求得使等式左右两边相等时的 β 值。

C.5.5 用下式计算含水层的渗透系数:

$$K = \frac{\pi r^2 (1 - \mu) \omega_w}{2\beta l} \quad (\text{C.7})$$

式中:

K ——含水层的渗透系数, m/s;

l ——试验段长度, m;

r ——钻孔半径, m;

μ ——含水层的储水系数或给水度, 其余符号同前。

C.5.6 公式(C.7)中 μ 为储水系数或给水度。大部分基岩承压含水层的储水系数一般在 $10^{-3} \sim 10^{-5}$ 之间, 对计算结果影响不大, 在计算时可以忽略不计。第四系松散土层、喀斯特化灰岩等潜水含水层的给水度可从表C.1中查得其经验值。

表 C.1 各类岩土给水度经验值

岩土名称	给水度 μ	岩土名称	给水度 μ
卵砾石	0.35~0.30	粉砂与亚砂土	0.15~0.1
粗砂	0.30~0.25	细砂与泥质砂	0.2~0.15
中砂	0.25~0.20	粗砂及砾石砂	0.35~0.25
细砂	0.20~0.15	强喀斯特化灰岩	0.15~0.05
极细砂	0.15~0.10	弱喀斯特化灰岩	0.01~0.005
亚砂土	0.10~0.07	强裂隙化岩石	0.01~0.002
亚黏土	0.07~0.04	泥质胶结的砂岩	0.03~0.02

C.5.7 编制自振法试验成果综合图表, 格式可参见表C.2。

表 C.2 自振法试验成果综合图表示例

工程名称:

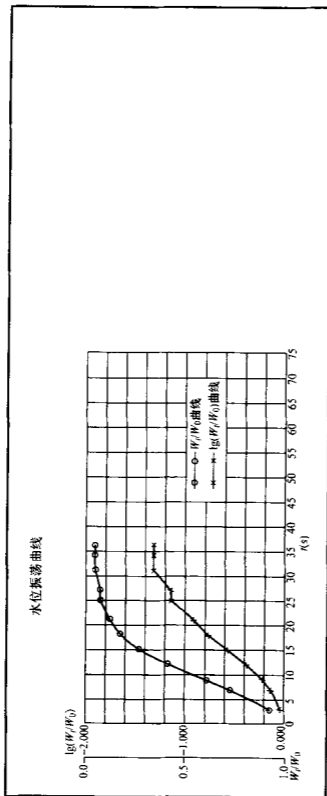
工程位置:

试验孔号:

试验段号:

钻孔柱状图						计算参数表						实测数据表					
地层年代	深度 m	高程 m	厚度 m	地质剖面 钻孔剖面	试验位置 地下水位	岩性描述	代号	参数值	单位	序号	H m	t h:m:s	$\frac{W_t}{W_0}$	$\lg \frac{W_t}{W_0}$	t s		
	17.6	1602.70	17.60	17.36 168	空 92.2.20	含块、碎、砂 卵石层:	H_0	31.49	m	1	00.41	15:37:41					
	26.27	1594.03	3.67	21.48 137	25.49 27.40	含泥卵石层: 块、卵石层:	δ	9.81	m/s ²	2	00.38	15:37:44	0.927	-0.033	3		
	46.63	1573.64	20.35	17.02 107			ω	0.558	L/s	3	00.30	15:37:48	0.732	-0.136	7		
							r	0.033	m	4	00.25	15:37:50	0.610	-0.215	9		
							m	0.036		5	00.17	15:37:53	0.415	-0.382	12		
							μ	0.35		6	00.11	15:37:56	0.268	-0.571	15		
							β	3.3328		7	00.07	15:37:59	0.171	-0.768	18		
							T	0.000184	m ² /s	8	00.05	15:38:02	0.122	-0.914	21		
							K	0.000062	m/s	9	00.03	15:38:06	0.073	-1.136	25		
								5.36	m/d	10	00.03	15:38:08	0.073	-1.136	27		
										11	00.02	15:38:12	0.049	-1.312	31		
										12	00.02	15:38:15	0.049	-1.312	34		
										13	00.02	15:38:17	0.049	-1.312	36		

表 C.2 (续)



试验人员:

计算:

制表:

校核:

年 月 日

附录 D
(规范性附录)
抽水试验渗透性参数计算公式表

D.1 稳定流完整孔抽水试验的渗透性参数宜选用下列相应公式进行计算:
D.1.1 完整孔单孔抽水试验的渗透性参数计算公式见表 D.1。

表 D.1 稳定流完整孔单孔抽水试验渗透性参数计算公式

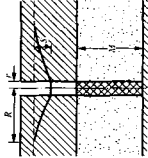
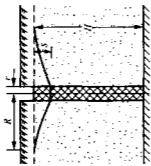
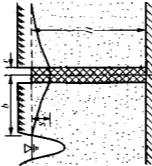
示意图	计算公式	适用条件	公式提出者
	$K = \frac{0.366Q}{Ms} \lg \frac{R}{r}$	承压水	裘布衣

表 D.1 (续)

示意图	计算公式	适用条件	公式提出者
	$K = \frac{0.732Q}{(2H - s)s} \lg \frac{R}{r}$	潜水	裘布衣
	$K = \frac{0.732Q}{(2H - s)s} \lg \frac{2b}{r}$	1. 潜水; 2. 靠近河流; 3. $b < (2 \sim 3) H$	弗尔格 伊米尔

D.1.2 完整孔多孔抽水试验的渗透性参数计算公式见表 D.2。

表 D.2 稳定流完整孔多孔抽水试验渗透性参数计算公式

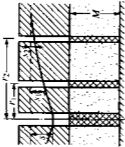
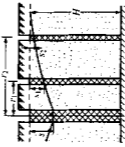
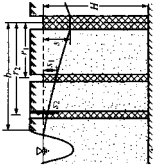
示意图	计算公式	适用条件	公式提出者
	$K = \frac{0.366Q}{M(s_1 - s_2)} \lg \frac{r_2}{r_1}$	承压水	裘布衣
	$K = \frac{0.732Q}{(2H - s_1 - s_2)(s_1 - s_2)} \lg \frac{r_2}{r_1}$ $K = \frac{0.732Q}{(2H - s)s} \lg \sqrt{\frac{4b^2 + r_1^2}{r_1^2}}$ $K = \frac{0.732Q}{(2H - s_1 - s_2)(s_1 - s_2)} \left[\frac{1}{2} \lg \frac{4b^2 + r_1^2}{4b^2 + r_2^2} + \lg \frac{r_2}{r_1} \right]$	潜水 1. 靠近河流; 2. 观测线平行岸边; 3. 观测线平行行岸边; 4. 一个观测孔	裘布衣 裘布衣弗尔格伊米尔
		潜水; 1. 靠近河流; 2. 观测线平行岸边; 3. 观测线平行行岸边; 4. 两个观测孔	裘布衣弗尔格伊米尔

表 D.2 (续)

示意图	计算公式	适用条件	公式提出者
	$K = \frac{0.732Q}{(2H - s_1)s_1} \frac{2b - r_1}{r_1}$	1. 潜水; 2. 靠近河流; 3. 观测线垂直于岸边, 观测孔位于近河一边; 4. 一个观测孔	裘布衣弗尔 格伊米尔
	$K = \frac{0.732Q}{(2H - s_1 - s_2)(s_1 - s_2)} \times \lg \frac{r_1(2b - r_1)}{r_2(2b - r_2)}$	1. 潜水; 2. 靠近河流; 3. 观测线垂直于岸边, 观测孔位于近河一边; 4. 两个观测孔	裘布衣弗尔 格伊米尔

D.2 稳定流非完整孔抽水试验的渗透性参数宜选用下列相应公式进行计算:

D.2.1 非完整孔单孔抽水试验的渗透性参数计算公式见表 D.3。

表 D.3 稳定流非完整孔单孔抽水试验渗透性参数计算公式

示意图	计算公式	适用条件	公式提出者
<p> $l < 0.3M$ $l < 0.3H$ </p>	$K = \frac{0.366Q}{Is} \lg \frac{\alpha l}{r}$ <p> $\alpha = 1.6$ 吉林斯基 $\alpha = 1.32$ 巴布什金 </p>	<ol style="list-style-type: none"> 承压水，潜水； 过滤器紧接含水层顶板或底板； $l < 0.3M$, $l < 0.3H$ 	吉林斯基 巴布什金

表 D.3 (续)

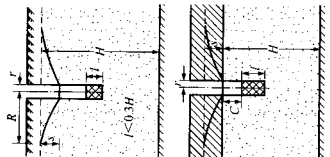
示意图	计算公式	适用条件	公式提出者
 <p style="text-align: center;">$l < 0.3H$</p>	$K = \frac{0.366Q}{ls} \lg \frac{0.66l}{r}$	<ol style="list-style-type: none"> 1. 承压水、潜水; 2. 过滤器置于含水层中部; 3. 应用于河床抽水 C 值不应小于 3m; 4. $l < 0.3M$ 或 $l < 0.3H$ 	巴布什金

表 D.3 (续)

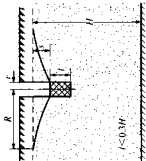
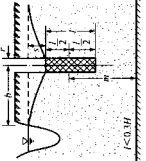
示意图	计算公式	适用条件	公式提出者
 <p style="text-align: center;">$l < 0.3H$</p>	$K = \frac{0.732Q}{s \left[\frac{l+s}{R} + \frac{l}{\lg \frac{0.66l}{r}} \right]}$	1. 潜水; 2. 非淹没式过滤器; 3. $l < 0.3H$	巴布什金
 <p style="text-align: center;">$l < 0.3H$</p>	$K = 0.732Q + \left[\frac{l+s}{\lg \frac{2b}{r}} \left(\frac{l}{\lg \frac{0.66l}{r} + 0.25 \lg \frac{b^2}{m^2 + 0.14}} \right) \right]$ <p style="text-align: center;">m 为由含水层底板到过滤器有效工作部分中点的长度</p>	1. 潜水; 2. 非淹没式过滤器; 3. 靠近河流; 4. 含水层厚度有限; 5. $b > m/2$	巴布什金

表 D.3 (续)

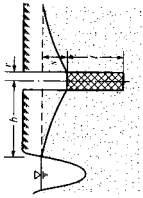

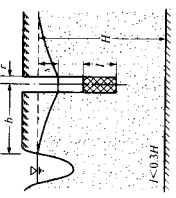
示意图	计算公式	适用条件	公式提出者
	$K = \frac{0.732Q}{s \left[\frac{l+s}{\lg \frac{r}{b}} + \frac{0.66l}{\lg \frac{r}{r}} - 0.22 \operatorname{arsh} \frac{0.44l}{b} \right]}$	1. 潜水; 2. 非淹没式过滤器; 3. 靠近河流; 4. 含水层厚度很大; 5. $b > l$	巴布什金
	$K = \frac{0.732Q}{s \left[\frac{l+s}{\lg \frac{r}{b}} + \frac{0.66l}{\lg \frac{r}{r}} - 0.11 \frac{l}{b} \right]}$	1. 潜水; 2. 非淹没式过滤器; 3. 靠近河流; 4. 含水层厚度很大; 5. $b < l$	巴布什金
	$K = \frac{0.16Q}{ls} \left(2.31 \lg \frac{0.66l}{r} - \operatorname{arsh} \frac{0.45l}{b} \right)$	1. 潜水; 2. 靠近河流; 3. 过滤器在含水层中部; 4. $l < 0.3H$	巴布什金

表 D.3 (续)

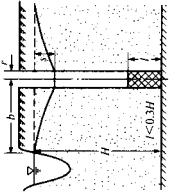
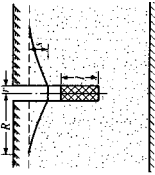
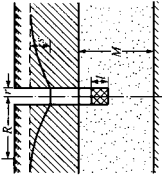

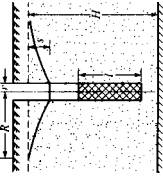
示意图	计算公式	适用条件	公式提出者
	$K = \frac{0.16Q}{ls} \left(2.3lg \frac{1.32l}{r} - \operatorname{arsh} \frac{0.9l}{b} \right)$	1. 潜水; 2. 靠近河流; 3. 过滤器在含水层底部; 4. $l < 0.3H$	巴布什金
	$K = \frac{0.366Q}{(s+l)s} \lg \frac{R}{r}$	1. 潜水; 2. 过滤器在含水层中部	斯卡巴拉诺维奇

表 D.3 (续)

示意图	计算公式	适用条件	公式提出者
	$K = \frac{Q}{2\pi sM} \left(\ln \frac{R}{r} + \frac{M-l}{l} \ln \frac{1.12M}{\pi r} \right)$	1. 承压水、潜水。用于潜水含水层时，将 M 换成 H 或 $\frac{H+h}{2}$ ； 2. $l > 0.2M$	GB50027—2001《供水水文地质勘察规范》中公式
	$K = \frac{Q}{2\pi sM} \left[\ln \frac{R}{r} + \frac{M-l}{l} \times \ln \left(1 + 0.2 \frac{M}{l} \right) \right]$	1. 承压水、潜水。用于潜水含水层时，将 M 换成 H 或 $\frac{H+h}{2}$ ； 2. $l > 0.2M$	陈济生
	$K = \frac{0.732Q}{(H+l)s} \lg \frac{R}{r}$	1. 潜水； 2. 过滤器在含水层下部	多布诺沃斯基

D.2.2 非完整孔多孔抽水试验的渗透性参数计算公式见表 D.4。

表 D.4 稳定流非完整孔多孔抽水试验渗透性参数计算公式

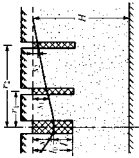
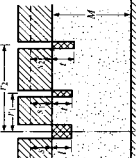

示意图	计算公式	适用条件	公式提出者
	$K = \frac{0.16Q}{I'(s_1 - s_2)} \left(\operatorname{arsh} \frac{l}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l}{r_2} \right)$ $I' = l_0 - 0.5(s_1 + s_2)$	1. 潜水; 2. 抽水孔为非淹没式过滤器; 3. $l < 0.3H$; 4. $s < 0.3h_0$; 5. $r_1 = 0.3r_2$, $r_2 \leq 0.3H$	吉林斯基
	$K = \frac{0.16Q}{I(s_1 - s_2)} \left(\operatorname{arsh} \frac{l}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l}{r_2} \right)$	1. 承压水; 2. 过滤器在含水层顶板; 3. $l < 0.3M$; 4. $r_2 \leq 0.3M$; $r_1 = 0.3r_2$; 5. $l = l$	吉林斯基
	$K = \frac{0.16Q}{I(s_1 - s_2)} \left[\operatorname{arsh} \frac{l}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l}{r_2} - \frac{l}{M} \left(\operatorname{arsh} \frac{M}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{M}{r_2} - \ln \frac{r_2}{r_1} \right) \right]$	1. 承压水; 2. $l > 0.3M$	纳斯别尔格

表 D.4 (续)

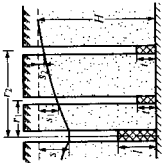
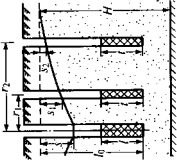
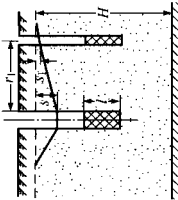
示意图	计算公式	适用条件	公式提出者
	$K = \frac{0.16Q}{l(s_1 - s_2)} \left(\operatorname{arsh} \frac{l}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l}{r_2} \right)$	1. 潜水; 2. 过滤器在含水层底部; 3. $l < 0.3H$; 4. $r_2 < 0.3H$; 5. $l \leq 0.5H$	巴布什金
	$K = \frac{0.08Q}{l'(s_1 - s_2)} \times \left[\left(\operatorname{arsh} \frac{0.4l'}{r_1} + \operatorname{arsh} \frac{1.6l'}{r_1} \right) - \left(\operatorname{arsh} \frac{0.4l'}{r_2} + \operatorname{arsh} \frac{1.6l'}{r_2} \right) \right]$ $l' = l_0 - 0.5(s_1 + s_2)$	1. 潜水; 2. 过滤器在含水层中部; 3. $l < 0.3H$; 4. $r_2 < 0.3H$; 5. $l = l_0$	吉林斯基

表 D.4 (续)

示意图	计算公式	适用条件	公式提出者
	$K = \frac{Q}{2\pi l^2 (s_1 - s_2)} \left[\left(\operatorname{arsh} \frac{l'}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l'}{r_2} \right) - \frac{l'}{H} \left(\operatorname{arsh} \frac{H}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{H}{r_2} - \ln \frac{r_2}{r_1} \right) \right]$	1. 潜水; 2. $l > 0.5H$	纳斯别尔格
	$K = \frac{0.366Q}{(2s_1 - s_2 + l)(s_1 - s_2)} \lg \frac{r_2}{r_1}$	1. 潜水; 2. 过滤器位于含水层中部	斯卡巴拉诺维奇
	$K = \frac{0.16Q}{ls_1} \left(\operatorname{arsh} \frac{l}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l}{2b \pm r_1} \right)$	1. 潜水; 2. 过滤器位于含水层中部; 3. 靠近河流; 4. 观测线垂直岸边且在远河一侧 ($2b+r_1$) 或近河一侧 ($2b-r_1$); 5. $l < 0.3H$	巴布什金

表 D.4 (续)

示意图	计算公式	适用条件	公式提出者
	$K = \frac{0.16Q}{l s_1} \left(\operatorname{arsh} \frac{l}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l}{\sqrt{4b^2 + r_1^2}} \right)$	1. 潜水; 2. 过滤器位于含水层中部; 3. 靠近河流; 4. 观测线平行岸边; 5. $l < 0.3H$	巴布什金

D.3 非稳定流抽水试验的渗透性参数宜选用下列相应公式进行计算:

D.3.1 承压含水层完整非稳定流抽水试验渗透性参数计算公式见表 D.5。

表 D.5 承压含水层完整孔非稳定流抽水试验渗透性参数计算公式

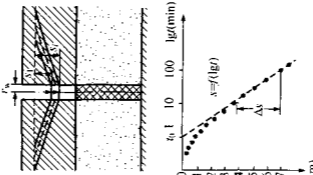
示意图	计算公式	适用条件	确定参数的工作步骤
 <p>The diagram illustrates a well in a confined aquifer. It shows the well casing, the drawdown curve, and the drawdown at different radii r_1 and r_2. The drawdown at the well is s_w. The diagram also shows a semi-log plot of drawdown s (m) versus time t (min). The plot shows a curve that becomes a straight line at later times, with a slope labeled $s=(lg)$ and a vertical intercept labeled t_0.</p>	$T = \frac{0.183Q}{i}$ $\mu' = \frac{2.25Tt_0}{r_w^2}$ $K = \frac{T}{M}$	承压水, 无越流, 平面分布为无限含水层, 单孔定流量抽水, 并且 $\frac{r_w^2}{4at} \leq 0.05$ (时间—降深直线图解法)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 根据抽水孔在抽水开始后不同时间观测到的水位降深资料绘制 $s-\lg t$ 直线; 2. 求直线的斜率 i 和直线在 $s=0$ 轴上的截距 t_0; 3. 计算 T、μ'、K

表 D.5 (续)

示意图	计算公式	适用条件	确定参数的工作步骤
<p>The diagram illustrates a well in a confined aquifer. The well has a radius r_w and is located at a distance r_i from the center of the aquifer. The drawdown s is shown as a function of time t. The plot shows a straight line with slope i, starting at time t_0. A vertical distance Δs is marked on the plot.</p>	$T = \frac{0.183Q}{i}$ $\mu^* = \frac{2.25Tr_0}{r_i^2}$ $K = \frac{T}{M}$	承压水, 无越流, 平面分布为无限含水层, 有一个观测孔, 定流量抽水, 并且 $\frac{r_i^2}{4at} \leq 0.05$ (时 间—降落直线图解法)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 根据抽水开始后不同时刻观测测孔的降落绘出 $s-t$ 图; 2. 求直线的斜率 i 和直线在 $s=0$ 轴上的截距 t_0; 3. 计算 T、μ^*、K

表 D.5 (续)

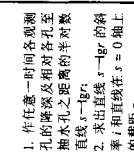
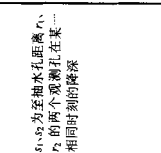
示意图	计算公式	适用条件	确定参数的工作步骤
	$T = \frac{0.366Q}{i}$ $\mu' = \frac{2.25Tt}{r_0^2}$ $K = \frac{T}{M}$	无越流, 承压完整孔, 或定流量抽水, 有两个或更多观测孔, 并且 $\frac{r^2}{4at} \leq 0.05$ 时 (距离—降深直线图解法)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 作任意一时间各观测孔的降深及相对各孔至抽水孔之距离的半对数直线 $s-1gr$; 2. 求出直线 $s-1gr$ 的斜率 i 和直线在 $s=0$ 轴上的截距 r_0; 3. 计算 T、μ'、K
			s_1, s_2 为至抽水孔距离 r_1, r_2 的两个观测孔在某相同时刻的降深

表 D.5 (续)

示意图	计算公式	适用条件	确定参数的工作步骤
	$B = 0.89r_0$ $T = \frac{0.366Q(\lg r_2 - \lg r_1)}{s_1 - s_2}$ $K = \frac{T}{M}$	<p>有越流, 无限含水层, 承压完整孔定流量抽水, 有两个观测孔, 抽水时间很长, 达到稳定状态, 并且 $\frac{r}{B} \leq 0.05$ (距离—降深直线图解法)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 根据观测孔最大水位降深资料绘出 $s - \lg r$ 直线; 2. 延长直线交于横轴得到截距 r_0; 3. 求出越流因数 B、导水系数 T、渗透系数 K

表 D.5 (续)

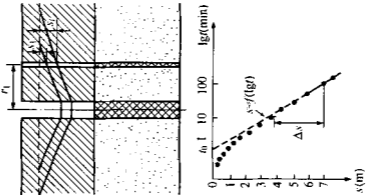
示意图	计算公式	适用条件	确定参数的工作步骤
	$K = \frac{Q}{4\pi M[s]} [W(u)]$ $\mu = \frac{4T[t]}{r^2} \left[\frac{1}{u} \right]$	无越流，承压完整孔，有一个观测孔 定流量抽水（时间—降深配线法）	<ol style="list-style-type: none"> 1. 选取同标准曲线 $W(u)$ $1/u$ 模数相同的双对数坐标纸，绘出一个观测孔 $s-t$ 关系曲线； 2. 保持两图坐标轴平行；s 平行 $W(u)$，t 平行 $1/u$ 情况下，移动 $s-t$ 曲线，直到野外测试点与图中标准曲线全部或部分重合为止； 3. 在重合曲线上任取一点，读出相应的坐标值，$[s]$，$[t]$，$[W(u)]$，$[1/u]$； 4. 将重点坐标代入公式计算出 K，μ。
	$K = \frac{Q}{4\pi M[s]} [W(u)]$ $\mu = \frac{4T[t]}{r^2} \left[\frac{1}{u} \right]$	有越流，承压完整孔，有若干个观测孔 定流量抽水（距—降深配线法）	<ol style="list-style-type: none"> 1. 将各观测孔在同一时间观测到的降深及其各孔至抽水孔距离的平方画在双对数纸上。（比例尺与标准曲线相同）； 2. 将抽水试验的 r^2-s 双对数曲线重叠在标准曲线 $W(u)-u$ 图上，保持两图坐标轴平行，使测点与标准曲线完全重合； 3. 在重合曲线上任取一点，读出相应的坐标值，$[s]$，$[r^2]$，$[W(u)]$，$[u]$； 4. 将重点坐标代入公式计算出 K，μ。

表 D.5 (续)

示意图	计算公式	适用条件	确定参数的工作步骤
	$K = \frac{Q}{4\pi M[s]} [W(u)]$ $\mu' = \left[\frac{t}{r^2} \right] \left[\frac{1}{u} \right]$	有越流, 承压完整孔, 有若干个观测孔定流量抽水 (距离—降深配线法)	<ol style="list-style-type: none"> 1. 将各观测孔在不同时间不同观测孔观测到的降深及其对应的 t/r^2 值画在双对数纸上 (比例尺与标准曲线相同); 2. 将抽水试验的 $t/r^2 - s$ 双对数曲线重叠在标准曲线 $W(u) \sim 1/u$ 图上, 保持两图坐标轴平行, 使测点与标准曲线完全重合; 3. 在重合曲线上任取一点, 读出相应的坐标值, $[s]$, $[t/r^2]$, $[W(u)]$, $[1/u]$; 4. 将重点坐标代入公式计算出 K, μ'

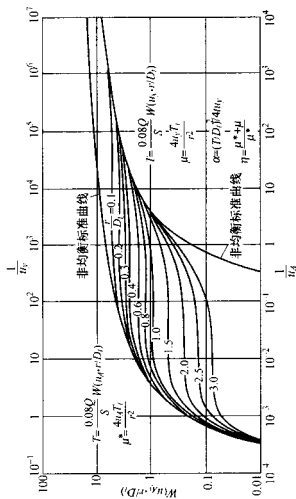
D.3.2 承压含水层完整孔非稳定抽水试验水位恢复法渗透性参数计算公式见表 D.6。

表 D.6 承压含水层完整孔非稳定流抽水试验渗透性参数计算公式

示意图	计算公式	适用条件	确定参数的工作步骤
 <p>The diagram shows a cross-section of a well in a confined aquifer. The well has a radius r_w and is screened in a layer of thickness $2\Delta s$. The distance from the well to the observation point is r_1. The drawdown at the observation point is s. Below the diagram is a semi-log plot of drawdown s (m) versus time $\lg t$ (min). The plot shows a series of data points forming a curve that starts to curve upwards at small times and then becomes a straight line at larger times. The straight-line portion is labeled $s \sim \sqrt{t}$ and the slope is indicated as Δs.</p>	$T = \frac{0.183Q}{i}$ $a = 0.44 \frac{r_1^2}{t_p} 10^{-4}$ $\mu^* = \frac{T}{a}$ $K = \frac{T}{M}$	<p>无越流承压完整孔在无限含水层中固定流量抽水, 有一个观测孔时并且 $\frac{r_1^2}{4at} \leq 0.05$ (水位恢复法)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 利用水位恢复资料绘出 $s - \lg t/t'$ ($t' = t - t_p$, 停抽前抽水的总时间) 曲线, 求得其直线段斜率 i, 由此可以计算参数 T; 2. 利用停抽时刻的降深 S_p 求出导压系数 a、储水系数 μ^* 和渗透系数 K

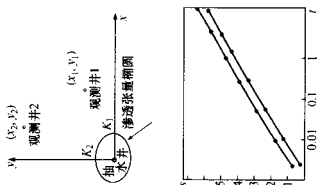
D.3.3 潜水含水层完整孔非稳定流抽水试验渗透性参数计算公式见表 D.7。
 表 D.7 潜水含水层完整孔非稳定流抽水试验渗透性参数计算公式

计算公式	适用条件	确定参数的工作步骤
(1) $T = \frac{Q}{4\pi[s]} \left[W \left(\frac{r}{u_s}, \frac{r}{D_1} \right) \right]$		
(2) $\mu' = \frac{4T[s]}{r^2} \left[\frac{1}{u_s} \right]$		
(3) $T = \frac{Q}{4\pi[s]} \left[W \left(u_s, \frac{r}{D_1} \right) \right]$	潜水含水层在平面上分布为无限, 有一个观测孔, 完整孔定流量抽水, 并且降深值相对含水层的厚度而言很小时; 当 η 值很大时 ($\eta > 100$) 才是严谨的, 当 $5 < \eta < 100$ 时, 有一定的误差, 但误差值很小(配线法)	1. 根据观测孔不同时间测得的降深值, 在双对数坐标纸上绘出 $\lg s = f(\lg t)$ 曲线 (见图 D.1, 比例尺与标准曲线相同); 2. $\lg s = f(\lg t)$ 曲线重叠在标准曲线 A 上 (图中 r/D_1 值左方曲线列, 称标准曲线 A), 保持两组坐标轴彼此平行, 求观测初期数据与标准曲线 A 的最佳重合; 3. 记下所选择的的标准曲线 A 的 r/D_1 值, 根据重合点在两图上的坐标值 $[s]$, $[1/u_s]$, $[W(1/u_s, r/D_1)]$ 和 $[t]$, 代入公式 (1) 和公式 (2), 即可确定 T 和抽水初期的瞬时储水系数 μ' 值;
(4) $\mu = \frac{4T[s]}{r^2} \left[\frac{1}{u_s} \right]$		4. 将 $\lg s = f(\lg t)$ 曲线沿水平移动, 使抽水后期数据与标准曲线 y 重叠 (r/D_1 值右方曲线列, 称标准曲线 y); 5. 根据重合点的坐标值 $[s]$, $[1/u_s]$, $[W(u_s, r/D_1)]$ 和 $[t]$, 代入公式 (3), 公式 (4), 公式 (5), 公式 (6), 即可确定导水系数 T , 延迟储水系数 (即给水度), 延迟指数倒数和 η 值
(5) $\frac{1}{\alpha} = \frac{4t}{\left(\frac{r}{D_1} \right)^2 \left(\frac{1}{u_s} \right)}$		
(6) $\eta = \frac{\mu' + \mu}{\mu'}$		

图 D.1 $\lg s = f(\lg t)$ 曲线图


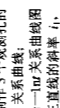
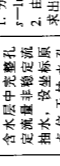
D.4 非稳定流抽水试验的渗透性参数张量计算宜选用下列相应公式：
D.4.1 轴向各向异性含水层非稳定抽水试验渗透性参数计算公式见表 D.8。

表 D.8 轴向各向异性含水层非稳定流抽水试验渗透性参数计算公式

示意图	计算公式	适用条件	确定参数的工作步骤
 <p>The diagram illustrates a well in a layered system. The well is located at the origin (0,0) with permeability K_1. A fracture with permeability K_2 is located at a distance a from the well. Two observation points are marked at (x_1, y_1) and (x_2, y_2). The graph shows the drawdown s versus time t on a log-log scale, with two parallel lines representing the flow from the well and the fracture.</p>	$K = \sqrt{K_x K_y} = \frac{1}{2} \frac{Q}{4\pi M} \left(\frac{1}{t_1} + \frac{1}{t_2} \right)$ $a = \frac{x_1^2 [t_2] - x_2^2 [t_1]}{y_2^2 [t_1] - y_1^2 [t_2]}$ $K_x = \sqrt{a} \cdot K, K_y = K / \sqrt{a}$	<p>轴向各向异性含水层中完整孔定流量非稳定流抽水, 设坐标原点位于抽水孔上, 取坐标轴方向与主渗透方向一致, 有两个与抽水孔不在同一直线上的观测孔 1 和 2, 其在全局坐标系中两点的坐标分别为 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2)。</p>	<p>确定参数的工作步骤</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 分别作观测孔 1 和 2 的 s—$\ln t$ 关系曲线图; 2. 由 s—$\ln t$ 关系曲线图求出两直线的斜率 i_1, i_2 及 $s=0$ 时的截距 $[t_1], [t_2]$; 3. 计算平均渗透性参数 K 和主渗透性参数 K_x, K_y

D.4.2 非轴向各向异性含水层非稳定流抽水试验渗透性参数计算公式见表 D.9。

表 D.9 非轴向各向异性含水层非稳定流抽水试验渗透性参数计算公式

示意图	计算公式	适用条件	确定参数的工作步骤
	$K = \sqrt{K_x K_y} \approx \frac{1}{3} \frac{Q}{4\pi M} \left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2} + \frac{1}{i_3} \right)$ $f(\theta) = [t_1]^2 (P_{y_2} P_{x_3} - P_{y_3} P_{x_2}) + [t_1][t_2] (P_{y_3} P_{x_1} - P_{y_1} P_{x_3}) + [t_1][t_3] (P_{y_1} P_{x_2} - P_{y_2} P_{x_1})$ <p>其中:</p> $P_{y_k} = (-x_k \sin \theta + y_k \cos \theta)^2$ $P_{x_k} = (x_k \cos \theta + y_k \sin \theta)^2$ $\left[\frac{(x_1 \cos \theta + y_1 \sin \theta)^2}{K_x} + \frac{(-x_1 \sin \theta + y_1 \cos \theta)^2}{K_y} \right] \mu$ $= 2.25M [t_1]$ $\left[\frac{(x_2 \cos \theta + y_2 \sin \theta)^2}{K_x} + \frac{(-x_2 \sin \theta + y_2 \cos \theta)^2}{K_y} \right] \mu$ $= 2.25M [t_2]$ $\left[\frac{(x_3 \cos \theta + y_3 \sin \theta)^2}{K_x} + \frac{(-x_3 \sin \theta + y_3 \cos \theta)^2}{K_y} \right] \mu$ $= 2.25M [t_3]$	<p>非轴向各向异性含水层中完整非稳定流抽水, 设坐标原点位于抽水孔上, 假定主渗透方向与坐标轴夹角为 θ, 有 3 个与抽水孔不在同一直线上的观测孔, 其在全局坐标系中的坐标分别为 (x_1, y_1)、(x_2, y_2) 和 (x_3, y_3)</p>	<ol style="list-style-type: none"> 1. 分别作 3 个观测孔的 $s-1nr$ 关系曲线; 2. 由 $s-1nr$ 关系曲线图求出三直线的斜率 i_1, i_2, i_3 及 $s=0$ 时的截距 $[t_1], [t_2], [t_3]$; 3. 作 $F(\theta) - \theta$ 关系曲线 (如图), 从图中找出令 $F(\theta) = [f(\theta)]^2$ 取最小值的点, 所对应的 θ 值即为主渗透方向与坐标轴夹角; 4. 解方程组求得 K_x, K_y 和 μ。
			

附录 E

(规范性附录)

稳定流抽水试验影响半径计算公式表

E.1 稳定流多孔抽水试验的影响半径的确定,当利用观测孔中的水位降深资料时,可选用表 E.1 中相应的公式进行计算:

表 E.1 稳定流多孔抽水试验影响半径计算公式

计算公式	适用条件	公式提出者	备注
$\lg R = \frac{s_1 \lg r_2 - s_2 \lg r_1}{s_1 - s_2}$	1. 承压水; 2. 两个观测孔	裘布衣	R——影响半径, m; s_1, s_2 ——观测孔水位降深, m; r_1, r_2 ——观测孔至抽水孔距离, m;
$\lg R = \frac{s_1(2H - s_1) \lg r_2 - s_2(2H - s_2) \lg r_1}{(s_1 - s_2)(2H - s_1 - s_2)}$	1. 潜水; 2. 两个观测孔	裘布衣	H——潜水含水层厚度, m

E.2 稳定流单孔抽水试验的影响半径可采用经验数据取得,也可选用表 E.2 中相应的公式进行计算:

表 E.2 稳定流单孔抽水试验影响半径计算公式

计算公式	适用条件	公式提出者	备注
$R = 10s\sqrt{K}$	1. 承压水; 2. 概略计算	吉特尔特	R——影响半径, m; K——渗透系数, m/d;
$R = 2s\sqrt{HK}$	1. 潜水; 2. 概略计算	库萨金	H——潜水含水层厚度, m;
$R = \sqrt{\frac{12t}{\mu}} \sqrt{\frac{QK}{\pi}}$	1. 潜水; 2. 完整孔	柯泽尼	s——抽水孔水位降深, m; t——时间, d;
$R = 3\sqrt{\frac{KHt}{\mu}}$	潜水	威伯	Q——抽水孔涌水量, m ³ /d;
$R = \frac{Q}{2KH\lambda}$	1. 承压水; 2. 概略计算	凯尔盖	μ ——给水度; λ ——地下水水力坡降

附录 F
(资料性附录)
稳定流单孔抽水试验成果图表示例

F.1 稳定流单孔抽水试验成果图表示例 F.1。

表 F.1 单孔抽水试验成果汇总表

工程名称

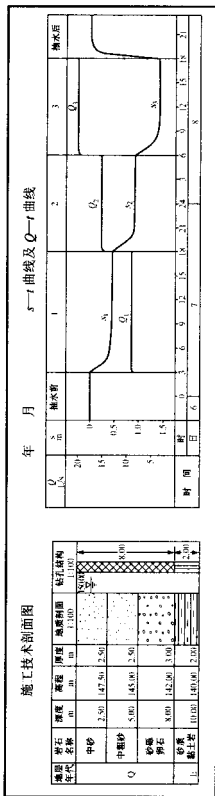


表 F.1 (续)

基本数据和计算成果表				抽水孔平面位置图	简要说明								
降深次序		1	2										
抽水开始时间	日、时、分												
抽水结束时间													
选定计算数据时间	时、分												
抽水延续时间				<p>计算公式</p> $K = \frac{0.732Q}{(2H-s)s} \lg \frac{R}{r}$	<p>基本技术资料</p> <table border="1"> <tr><td>水泵</td><td></td></tr> <tr><td>动力</td><td></td></tr> <tr><td>过滤器类型</td><td></td></tr> <tr><td>网型号</td><td></td></tr> </table>	水泵		动力		过滤器类型		网型号	
水泵													
动力													
过滤器类型													
网型号													
稳定状态													
静止水位高程	m												
动水位高程	m												
降深	s												
流量	Q												
单位涌水量	q												
含水层厚度	H												
过滤器半径	r												
影响半径	R												
渗透系数	K												
平均渗透系数	K _{sp}												

承担任务机组:

观测员:

制表:

校核:

年 月 日

F.2 稳定流多孔抽水试验成果图式见表 F.2。

表 F.2 多孔抽水试验成果汇总表

工程名称

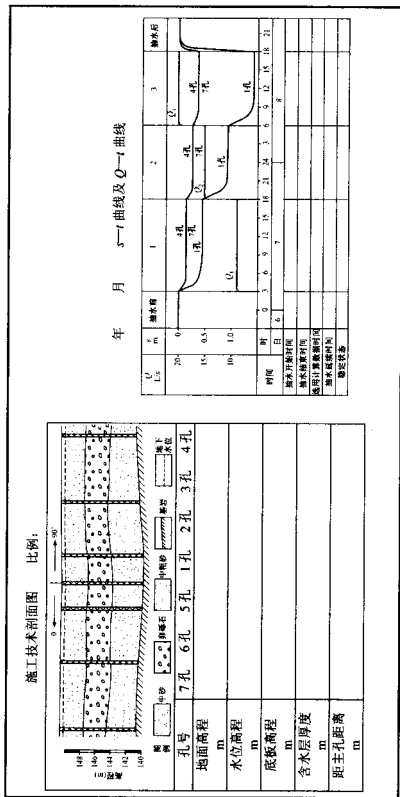


表 F.2 (续)

基本数据和计算成果表												
降深次序 孔号	1			2			3			4		
	1	3	4	1	3	4	1	3	4	1	3	4
静水位高程												
动水位高程												
降深												
流量												
单位涌水量												
含水层厚度												
含水层厚度 至主孔距离												
渗透系数												
平均渗透系数												

计算公式

$$K = \frac{0.732Q}{(2H - s_1 - s_2)(s_1 - s_2)} \lg \frac{r_1}{r_2}$$

基本技术资料

水泵
动力
过滤器类型
网型网号

s-Q 曲线

抽水孔平面位置图

试验场地钻孔布置图

承担任务组:

观测员:

制表:

校核:

年 月 日

水电水利工程钻孔抽水 试验规程

条文说明

目 录

3	总则	73
5	基本规定	74
5.1	抽水试验孔选择和布置	74
5.2	抽水试验孔类型和结构	76
5.3	抽水试验降深和延续时间	79
6	试验设备	83
6.1	过滤器	83
6.2	水泵	84
6.3	空气压缩机	85
6.4	测试工具	85
7	现场试验工作	86
7.1	钻探	86
7.2	设备安装	87
7.3	洗孔、试验抽水和观测静止水位	87
7.4	稳定流抽水试验	88
7.5	非稳定流抽水试验	88
7.6	自由振荡法试验	89
8	试验资料整编	90
8.1	渗透性参数计算	90

3 总 则

3.0.1~3.0.2 钻孔抽水试验是确定含水层渗透性参数比较有效的方法，在水电水利工程地质勘察中，它是水文地质试验的重要手段之一。制定本标准的目的，就是为了使该项试验工作有章可循，达到预期的目的和效果。

3.0.3 钻孔抽水试验设计书是抽水试验工作的指南，现场试验工作也需要结合场地的地质结构和水文地质条件，合理选择钻孔结构和配置必须的试验器材设备。因此，在抽水试验前应按设计书做好安排和准备工作，以保证现场试验有序进行和成果质量。

5 基本规定

5.1 抽水试验孔选择和布置

5.1.1 抽水试验方法应结合勘察阶段和工程特点进行选择。本条规定调查主要含水层的渗透性能及其变化规律时，可采用单孔抽水试验；在选定的水电水利枢纽场地上，查明主要建筑物地段含水层的渗透性和各向异性以及岩土体渗透性分级时，根据水文地质条件复杂程度，宜选用单孔或多孔抽水试验；核定坝基和强烈渗漏地段岩土体准确的渗透性参数时，宜布置一定数量的多孔抽水试验。这主要是由于多孔抽水试验有一排或几排观测孔，能够实测出水位降低曲线，因此它比单孔抽水试验有明显的优越性：

1 可以避免紊流、三维流的影响，也可以避免由于抽水孔过滤器口径小、吸水管直径大所产生的“雍水”的影响。

2 能避开造孔对抽水孔附近含水层扰动的影响，使成果能比较真实地反映含水层的透水性。

3 根据观测孔水位降低值计算含水层渗透性参数，无需考虑难以确定的抽水影响半径，需要时还能较准确的计算出影响半径。

实践证明，在某些工程施工期的基坑开挖过程中，根据实测的最大排水量反求的渗透性参数，与通过多孔抽水试验所确定的渗透性参数比较接近，其相对误差大多数为5%~10%左右。

本标准对单孔抽水试验与多孔抽水试验选择的规定，还考虑到本着既承认单孔抽水试验简单可行，可满足调查含水层渗透性能和变化规律的要求，又肯定多孔抽水试验的优越性的原则。随着勘察设计阶段的深入，在选定的水电水利枢纽场地上，查明或核实坝基（肩）和主要建筑物岩土体以及强烈渗漏地段准确的渗透性参数时，布置一定数量的多孔抽水试验是必要的。

5.1.2 本条规定了抽水孔与观测孔的平面位置关系、观测孔的布置与要求。多孔抽水试验，以抽水孔为中心，宜布置 1~2 条观测线。关于观测线布置的方向问题，本条规定的原则是以试验目的（主要为确定含水层渗透性参数）而提出的。譬如，一条观测线垂直地下水流向布置，可减少水力坡度对计算参数的影响，以此确定的渗透性参数较为合理。

岩性岩相变化大的松散含水层和裂隙含水岩体，由于岩性、构造等的影响而引起的渗透性在不同空间位置及不同方向上的差异，远较地下水流向对确定渗透性的影响更为突出，所以本次修订中再次对此种情况的观测线布置单独作出了规定。

5.1.3 多孔抽水试验观测孔的数量与试验方法和所采用的渗透性参数计算公式的要求有关。若做稳定流抽水试验，同一观测线上不宜少于 3 个观测孔；若做非稳定流抽水试验，利用 $s-lgr$ 关系曲线计算渗透性参数时，可布置 1~2 个观测孔，利用 $s-lgr$ 关系曲线计算渗透性参数时，宜布置 3~4 个观测孔。为了能使用同一资料采用多种方法进行计算，相互比较与论证，因此本条作了在同一观测线上的观测孔数不宜小于 3 个，水文地质条件复杂或有特殊要求时可视需要适当增加的规定。

5.1.4 观测孔至抽水孔的距离，对于抽水孔为完整孔的抽水试验，主要是根据如下三个影响因素确定的：

1 裘布衣公式：

$$K = \frac{Q}{2\pi(s_1 - s_2)M} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (\text{承压水}) \quad (1)$$

$$K = \frac{Q}{\pi(2H - s_1 - s_2)(s_1 - s_2)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (\text{潜水}) \quad (2)$$

以上公式是基于稳定流在抽水影响范围以内各个断面的流量 Q 都等于抽水孔的涌水量 Q 为依据的。实际上，“稳定”只是相对的，因此，各个断面的流量不可能完全相等，从这一观点出发，

观测孔布设距抽水孔越近越好。同时，为使各观测孔都要取得较大降深值，观测孔也以布设的与抽水孔近一些为好。

2 当含水层渗透性能良好，在进行强烈抽水时，抽水孔及其附近的一定范围内都会产生紊流，而裘布衣公式没有考虑地下水产生紊流时造成的水头损失。因此，利用现有公式计算参数的抽水试验，布设观测孔应尽量避免紊流的影响。紊流区的范围根据已有的试验研究资料证明，一般在抽水孔的 1m~3m 范围内。

3 裘布衣公式也没有考虑钻孔附近的地下水产生三维流场所造成的水头损失。根据理论研究成果，承压含水层完整孔三维流场的范围约等于含水层厚度的 1.6 倍；潜水含水层完整孔三维流场的范围，据部分专门试验资料分析，平行地下水流向方向可达含水层厚度 4 倍以上，垂直地下水流向方向约等于含水层厚度的 2 倍。

对于抽水孔为非完整孔的多孔抽水，观测孔至抽水孔的距离，主要考虑下列两个因素：一是应取决于从观测孔中测得的水位降深值是否符合参数计算公式的要求，一般当观测孔至抽水孔的距离大于承压含水层的厚度时，紊流、三维流的影响就很小，对计算精度不会有大的影响；二是三维流的影响与抽水孔抽出的水量及过滤器直径的大小有关，如抽水孔涌水量很小，过滤器直径比较大时，则第一个观测孔可以靠抽水孔更近一些。因此，本条原则性的规定了“应根据抽水试验孔的结构和拟选计算公式的要求确定”。关于最远观测孔的距离，一般要求从孔中测得的水位尽量不受含水层边界的影响且易于达到稳定，以便于资料的分析 and 采用多种方法计算渗透性参数，为此，原则规定“最远观测孔孔距不宜太大”。这样，可以保证最远观测孔中有较大的水位降深值，减少测量时的观测误差。

5.2 抽水试验孔类型和结构

5.2.1 抽水孔采用完整孔还是非完整孔，主要取决于含水层的厚

度、透水性强弱和含水层在铅直方向上的均一性。一般情况，如果含水层比较均一，而且厚度又不很大时（本条根据水电水利工程地质勘察的实际情况，厚度大、小的标准定为15m），采用完整孔抽水较适宜。理由是，求参数的完整孔公式较完善，并且对于那种无明显规律的不均一含水层，能够确定出平均渗透性参数。对于厚度较大的含水层宜采非完整孔抽水，而采用完整孔抽水则有较多困难，最主要的因素一是过长的过滤器起拔困难；二是抽水孔涌水量与过滤器长度，在一定范围内成正比关系，过滤器越长，抽水孔涌水量越大，水位可能降不下去，以致无法进行试验。

5.2.2 非均质层状含水层，在水电水利工程地质勘察中，多要求分别测定每一个单层的渗透性参数。以往有些工程为解决此问题，采用将过滤器置于哪层，计算所得渗透性参数就认为是哪层的，这显然存在一定问题。本标准再次提出的有关分段抽水的要求，可以部分地改善以往存在的问题。理由是，目前，对于非完整孔的参数计算，多采用巴布什金和吉林斯基的公式：

$$K = \frac{Q}{2\pi ls} \ln \frac{\alpha l}{r} \quad (3)$$

其中， $\alpha = 1.32$ 或 $\alpha = 0.66$ （巴布什金）； $\alpha = 1.60$ （吉林斯基）。

该公式是采用线流理论，对在无限厚的含水层中抽水时压力分布函数求解而得来的。实际上，真正的无限厚的含水层是不存在的，巴布什金和吉林斯基是把含水层厚度相当于过滤器长度3倍以上的情況视为无限厚含水层来考虑的。本条规定为求得某一层（段）的渗透性参数，可将过滤器置于单层中部其长度不大于1/3单层厚度，但也不宜小于2m等内容，即可满足巴布什金和吉林斯基公式条件。故本标准仍推荐这一公式。

关于单层（分段）抽水过滤器最小长度问题，在前述公式的推导过程中，直接得出的渗透性参数表达式为：

$$K = \frac{Q}{4\pi ls} \operatorname{arsh} \frac{l}{2r} \quad (4)$$

显而易见该式运算是不方便的，但当过滤器长度较钻孔半径大得多时（经验是 $\frac{l}{r} \geq 10$ ） $\operatorname{arsh} \frac{l}{2r} \approx \ln \frac{2l}{2r}$ ，即上式可改写成下式：

$$K = \frac{Q}{4\pi ls} \ln \frac{l}{r} \quad (5)$$

根据现行抽水试验多采用外径为 108mm~127mm 包网或缠丝过滤器的实际情况，为满足 $l/r \geq 10$ 的要求，本条作出了过滤器长度不宜小于 2m 和单层（分段）厚度（长度）小于 3m 时，不宜进行分段抽水，但重要建筑物地基根据工程设计需要选用综合抽水的规定。

5.2.3 在基岩地区具有中强透水性的裂隙岩体、断层破碎带和喀斯特发育带，采用抽水试验测定其渗透性参数是一个很复杂的问题，既有各向异性问题，又有含水层的划分和厚度的确定问题。前者可以通过多孔抽水试验了解；后者可用钻孔中揭露的含水层（带）代替含水层的厚度，这仅适用于含水层为中、低倾角的情况，倾角较大时，应视具体条件，根据势的迭加原理自行推导公式计算。

5.2.6~5.2.7 抽水孔测压管和观测孔过滤器的安装深度和长度的问题，无论是承压含水层完整孔还是潜水含水层完整孔，理论和实践均证明，在距抽水孔的一定范围内都存在着三维流场。三维流场内不同深度，水头值不同，尤其是在抽水孔附近更为突出。

抽水孔附近不同深度的水头变化与抽水孔内吸水龙头深度的关系也极其密切：

对承压含水层完整孔，当吸水龙头位于含水层顶板以上时，在过滤器壁上的 $Z/M = 0.6$ 处和含水层内的 $Z/M = 0.5$ 处（ M 为承压含水层厚度； Z 为自含水层底板起算的纵坐标）的降深（水头）

符合裘布衣公式条件。

对潜水含水层完整孔，由于潜水孔存在一个自由水面，而这个自由水面又是含水层的边界之一，因此地下水向潜水孔运动中不仅水头不断发生变化，而且还不断地改变着过水断面，情况远较承压完整孔复杂。部分专门试验资料表明，当吸水龙头位于含水层上部时，过滤器壁上不同深度水头值变化不很大；当吸水龙头位于含水层中部时，吸水龙头上、下部的水头差值则很大，经分析比较认为：上部水头值（降深）较符合裘布衣公式条件。潜水含水层中钻孔抽水三维流场的水头分布和承压含水层中的情形相反，中、上部的水头值比较接近，下部的水头值显著的低于中、上部，其相差数值还与地下水的流向密切相关。

观测孔过滤器的设置，要求置于同一含水层、同一高程，与过滤层长度相当，目的是增强试验的可比性，给分析、利用资料提供方便。

鉴于上述情况，无论是抽水孔过滤器壁上的测压管还是观测孔的过滤器，只要深入到动水位以下适当深度就可以了。但是考虑到自然界真正均质含水层很少，且室内、外的试验证明，综合管（与抽水孔过滤器等深等齐的测压管）的水头和含水层中、上部的水头基本相等，所以本标准仍规定抽水孔测压管和各观测孔过滤器的长度和深度宜与抽水孔过滤器相等。

5.3 抽水试验降深和延续时间

5.3.1 抽水试验的水位降深应根据工程特点、试验目的和要求确定。本条规定稳定流抽水试验应进行三次降深，其主要理由是：

- 1 可以获得抽水孔较符合实际的抽水试验特性曲线，以便正确选择渗透性参数的计算公式。

- 2 可以验证渗透性参数的计算是否准确，例如采用三次不同降深值计算所得的渗透性参数应基本一致。

3 可以推算孔的涌水量大小。

抽水孔测压管测得的降深值是计算渗透性参数的基本数据之一。近年来不少单位研究的结果表明，单孔抽水试验在抽水孔或测压管中测得的降深经常是包含两部分内容：一是符合二维平面流、层流条件的有效降深（裘布衣降深）；二是三维流场和紊流单一或共同作用所引起的附加降深。参数计算公式中的降深应是有效降深。实测降深是否包含附加降深，可以通过绘制 $Q-s$ 曲线或 $Q-\Delta h^2$ 曲线判断，求证这种曲线和消除附加降深的方法都要求至少进行三次降深。

5.3.2 松散含水层抽水的降低顺序一直存在两种不同意见，即“从小到大”和“从大到小”。本条规定松散含水层的抽水宜从小到大进行，主要理由为：

1 试抽最终应该是达到可能的最大降深，但并不是一开泵就使流量达到最大，而是逐渐增加，最后才达到最大降深。因此试抽时是不会产生大量涌砂的。

2 一项专门试验对比证明，抽水水位降低顺序从小到大，符合降落漏斗的发展趋势，能缩短到达相对稳定的时间，降低阶段越多越明显；相反，降落漏斗是在不断缩小中趋于稳定，所需时间较长。

3 抽水从小到大进行，最后一次是大降深，有利于恢复水位观测资料的利用。

5.3.3 对于单孔抽水试验，无论是理论上还是试验资料的对比中，都说明抽水时水位降深值越小越符合现用公式的假定条件。但是在实际试验中，存在一个测试精度的问题。目前采用的电测水位计，实际精度为 $\pm 1\text{cm}$ ，对 1m 的降深值相对误差为 2% ，本条规定单孔抽水最小降深值不应小于 0.5m ，从精度上讲，保证对于最小降深值其相对误差不大于 4% 。对于多孔抽水试验，因为计算参数是以观测孔的降深值为依据的，所以最小降深以最近观测孔来控制的 0.1m 的数字，是从现实设备条件出发考虑的最低

要求。

5.3.4 最大降深的限制，对承压含水层抽水试验而言，限制其最大降深不宜降低到含水层顶板以下，目的是尽可能不使参数计算复杂化；对潜水含水层抽水试验而言，裘布衣在推导潜水孔公式时，曾将沿流程的水头损失简化为沿流程水平投影的水头损失，并将其作为水头梯度来考虑。这就是说，在潜水孔的计算公式中存在着以正切代替正弦的前提条件，这个前提条件，在抽水孔降深不大，抽水孔附近的降落漏斗曲线的水力坡度小于或等于 0.25 的情况下，是可以得到满足的。

5.3.5 修订后的本标准分别明确了稳定流单孔抽水试验和多孔抽水试验的稳定延续时间。规定稳定延续时间的目的主要是为了使抽水孔抽出的水量与地下水对孔的补给量达到相对平衡，并保证抽水孔涌水量和降深能够达到相对稳定。因为稳定流抽水试验常用的渗透性参数计算公式，都是以稳定理论为基础推导出来的。据已有对 100 多个单孔抽水试验资料分析，不同补给条件和不同颗粒组成的含水层，抽水达到稳定所需的时间是不一样的。从对 178 个单孔 204 段的抽水资料得出：纯砂层、细砂、中细砂、中砂、中粗砂和粗砂等达到稳定所需的时间为 56min；砂卵石层为 2h07min；含泥砂砾石层为 3h42min；基岩为 2h47min。为了保证在延续时间内动水位和涌水量达到相对稳定，本条对各次降深稳定延续时间作了明确规定，对于那些透水性弱的含水层，抽水试验的稳定延续时间应作适当的延长，并规定每次降深的稳定延续时间不宜中断，故中断时应适当延长抽水稳定时间，各次降深的转换应尽量连续进行。

5.3.6 非稳定流抽水试验延续时间的长短，应根据抽水试验的目的、要求、场地的水文地质条件、抽水试验曲线的类型和所选用的参数计算公式等具体确定。为此，本条文对非稳定流抽水试验的延续时间作了原则规定。据已有资料的统计，非稳定流抽水试验延续的时间大致是：卵石层为 2h~3h，砾石层为 4h~6h，砾砂

及粗砂层为 8h~15h，中、细砂层为 10h~24h，粉砂层为 15h~32h，砂岩、粉砂岩为 32h。因此，在实际工作中，根据场地的水文地质条件确定合适的延续时间一般不得少于 1h40min。

6 试验设备

6.1 过滤器

6.1.1 本条文与原规程 DLJ 203—1981 相比内容基本一致，与 GB 50027—2001《供水水文地质勘察规范》相比则有所不同。主要区别是后者较广泛地选用了填砾过滤器，而这种过滤器无论是造孔、选滤料还是填砾过程都是很复杂、很困难的，在水电水利工程勘察中就更困难。所以，本条仅在细砂、粉细砂含水层的抽水试验中提出了可采用填砾过滤器，其他含水层中都未提及使用填砾过滤器。

6.1.2 与原规程相比本条内容未作大的修改，但与 GB 50027—2001 第 5.3.4 条相比则相差较大。原因是在水电水利工程地质勘察的抽水试验中，为避免在抽水时形成孔内外过大的水位差值（水跃值），在保证过滤器强度的前提下，应使骨架管孔隙率尽可能的大一点。据调查，有的单位使用的骨架管孔隙率达到 43%，过滤器起拔时也没有发生断开现象。故本次修订中，本条规定了骨架管的孔隙率宜为 25%~35%，与原规程不宜小于 30% 的规定接近。为保证水流畅通，故本条对骨架管又作了“应先设垫筋而后包网或缠丝”的规定。

6.1.3 与原规程相比本条内容有较大的改动，与 GB 50027—2001 规范相应条款相比则基本相同，仅在本标准中删去了其中以不均匀系数 C_u 划分颗粒均匀含水层和颗粒不均匀含水层的 $C_u \leq 2$ 和 $C_u > 2$ 的具体规定，原因是目前一般情况该值以 5 为界限。

6.1.5 原规程对填砾过滤器滤料的砾石直径规定的比较粗，范围值较大，不易操作。本次修订时采用了具有相同原则的 GB 50027—2001 规范中的相应标准，仅将其中的填砾过滤器滤料的不均匀

系数值宜“小于2或等于2”改为宜“小于或等于5”。根据水电水利工程中设置反滤层的经验，这样规定既能满足形成反滤的要求，又有利于滤料的制备和降低成本。

6.1.6 关于填砾过滤器的滤料厚度的规定，根据多年来的抽水试验实践证明是合适的。即有足够厚度的滤料，它既有利于抽水时钻孔中来水量的增加，又有利于钻探施工。

6.1.7 过滤器骨架管外径的确定，主要取决于抽水孔可能出现的较大的涌水量需要较大的抽水设备，钻探上造大孔径抽水孔的困难程度，以及填砾过滤器应保证有足够的滤料厚度等因素。例如，松散含水层中采用填砾过滤器时，抽水孔过滤器骨架管外径规定为73mm~89mm选择的比较小，主要考虑的是，填砾过滤器主要是在粉细砂含水层中采用，而粉细砂层中的抽水孔没有什么特殊情况时，一般涌水量都较小，小口径过滤器骨架管不会影响抽水设备的选择，其次是填砾过滤器需要有足够厚度的滤料，为满足填筑滤料厚度的要求，当以最小的73mm骨架管计算，此填砾过滤器的外围直径尺寸即已达173mm。显然，勘探工艺需要克服较大的困难。

6.1.8 本条为增补条文，全文引自GB 50027—2001规范第5.2.5条。多年抽水试验实践证明，过滤器下端设置的管底封闭的沉淀管长度为2m~4m是适宜的。

6.1.9 在一定条件下，过滤器上端的工作管不接出孔口（孔口以下一定深度内为护壁套管）有利于抽水试验设备的选择。但工作管与上部套管的间隙必须严密封闭，做好止砂措施。

6.2 水 泵

与原规程相比，内容基本未变。在实际工作中，一般情况下，地下水水位小于6m时宜采用离心泵；较深时可选用深井泵或潜水泵或拉杆式水泵。

6.3 空气压缩机

此次修订中，本标准增补了空气压缩机抽水的有关规定，明确了空气压缩机抽水的适用条件，给出了空气压缩机孔内设备的安装型式和方法，并补充在附录 A 中。

6.4 测试工具

6.4.2 三角堰是抽水试验中测定钻孔涌水量最常用工具。实践表明，用三角堰测定涌水量的范围大，且准确。故本次修订时将“涌水量小于 2L/s 时采用量桶，2L/s~30L/s 时采三角堰”的规定修订为“涌水量小于 1L/s 时可采用容积法或水表，涌水量为 1L/s~30L/s 时宜采用三角堰”；并对各测流工具的读数精确度作了规定。

7 现场试验工作

7.1 钻 探

7.1.2 多孔抽水试验的钻探工作，尤其是布置两排观测孔时，为防止因含水层情况与抽水设计出入较大而不得不改变试验方案或试验地点的情况发生，应先钻造抽水孔。也只有在抽水孔的结构确定之后，才能最终确定观测孔的结构。

7.1.3 抽水孔试验段的孔径确定，与含水层的地质结构和所采用过滤器类型密切相关。松散含水层中抽水，由于粗砂、砂砾石、卵（碎）石甚至漂卵石含水层进入钻孔的涌水量一般都很大，所以往往需要有较大口径进水管的抽水设备，才能保证在抽水试验中达到足够的降深；而细砂、粉细砂含水层虽然钻孔涌水量相对较小，但由于其抽水试验需要选择填砾过滤器，为满足足够填砾厚度，也需要有较大抽水孔径才能满足试验要求；同时，吸水龙头管与过滤器的环状间隙的大小，对沿填过滤器的流量分布态势有明显的影响。因此，考虑上述因素和目前水电水利工程勘探设备条件，本次修订中重申了对于松散含水层的抽水孔口径最低要求不宜小于 168mm 的规定。

7.1.4 对于抽水孔和观测孔的钻进工艺，绝大多数水电勘测单位都是采用跟管清水循环钻进的，这样才能保证准确测定含水层的渗透性参数。工程实践表明，泥浆钻进或植物胶护壁钻进会对抽水试验成果产生严重影响。对此，本条款对抽水孔和观测孔的钻探方法作了明确的规定。对在抽水试验孔段严禁使用泥浆或植物胶护壁钻进的要求，目前各勘测单位也是可以实现的。

7.2 设备 安 装

7.2.6 抽水孔中吸水龙头放置的深浅，对抽水试验的涌水量和降深的关系有较明显的影响，同时也直接影响吸水龙头上部和下部的水头分布，过去一些试验研究成果对此给予充分肯定。一般情况，随着吸水龙头的增加，其上部和下部水头差值越来越大。所以本条规定了吸水龙头在各次降深中均宜放在同一深度，而且其具体位置宜在动水以下一定深度。

7.3 洗孔、试验抽水和观测静止水位

7.3.1~7.3.3 抽水孔及观测孔在正式抽水试验前应进行反复洗孔，并进行试验抽水。试验抽水可与洗孔相结合，因为试验抽水既能检查水泵、动力等设备运转是否正常，又可确定抽水孔水位可能达到的最大降深，同时也起到洗孔的作用。本标准还对松散含水层的试验抽水提出了延续时间的要求。

关于洗孔质量鉴定，目前尚没有一个切实可行的方案，条文中提出的“水清砂净无沉淀”的要求，这需要地质、钻探人员在现场根据实际情况共同掌握确定。

7.3.5~7.3.6 抽水试验过程中主要取得的两个基本数据：一是涌水量，可以通过量水堰或量桶直接量测获得；二是降深，它需要通过所量测的动水位和天然静止水位之差而得来，因此，天然静止水位必须正确测定和获得。本条规定了试验抽水和正式抽水前对静止水位的观测时间和稳定标准。

静止水位是相对动水位而言的，实际上静止水位并不是静止的，只是在外界条件（如河水涨落、降雨等）改变较少的情况下，相对的没有变化。但是当外界条件在抽水过程中发生变化时，静止水位也必然发生相应变化，校核静止水位的要求就是这样提出来的。与原规程相比较，校核静止水位观测的原则和方法无大的改动。

7.4 稳定流抽水试验

7.4.1 稳定流抽水试验降深达到稳定以前，地下水运动是一个非稳定过程。为了在一次稳定流抽水试验中，能将资料同时应用于非稳定流计算分析，以互相比对求得可靠的计算结果。因此，本条对涌水量和动水位的观测时间作了相应规定。

7.4.2 稳定流抽水试验水位降深是在人为控制的条件下量测的。在抽水稳定延续时间内，动水位稳定标准一方面取决于量测精度的问题，另一方面要考虑水位有无持续上升或下降的趋势。二者的主要影响因素是水位量测工作和抽水孔或观测孔的水位波动情况。因此，本条文中根据不同的抽水设备对动水位的稳定标准作了不同波动值，以及动水位无持续上升或下降的规定，这样能保证资料精度且实际试验中也是可行的。

7.4.7 考虑到利用稳定流抽水试验的恢复水位资料计算渗透性参数的需要，本条文规定恢复水位的观测应按非稳定流抽水试验的观测时间间隔进行，直至水位完全恢复为止。条文中在观测一词前加了“同步”二字，目的是以保证资料对比和分析结果的精度。

7.5 非稳定流抽水试验

7.5.1 本条规定在抽水试验过程中，抽水孔的涌水量应保持常量。事实上，有的非稳定流计算公式，抽水试验的涌水量也可以不保持常量，或呈阶梯流量进行。所以，抽水孔涌水量保持常量的规定不是“必须”的，变流量的方法也是可行的。但通常总是以涌水量不变的解作为整理抽水试验资料方法的基础，这不仅使常流量的方法试验操作简便，而且还由于该方法应用广泛，资料丰富，研究的人员较多，时间较长，所以成熟度也高。本条作出的有关规定，将有利于保证成果质量。

7.5.2 对非稳定流抽水试验观测时间的要求，各部门的认识不尽

一致：一种意见要求增加 20s、40s 的观测次数，认为这是满足公式“瞬时现象”的要求；另一种意见认为，由于含水层的释放总存在“滞后现象”，即使能观测出 1min 前的数据也无意义。本条规定的观测时间，是根据尽量满足非稳定流公式“瞬时现象”的要求，又考虑到目前测试技术水平而综合确定的。本条规定抽水开始后 1min 进行观测，以便观测数据在 $s-lgt$ 曲线上达到均匀分布。

7.6 自由振荡法试验

7.6.1 自振法试验是 1985 年在瑞士洛桑召开的国际大坝会议上提出的一种测定含水层渗透系数的新方法，并获得美国、前西德的专利。在国家“八五”科技攻关期间，由成都勘测设计研究院承担的“八五”国家科技攻关项目专题之一“自振法测定岩土渗透系数”（208-02-05-07）通过了鉴定，并先后在锦屏水电站猫猫滩闸址、桐子林水电站坝址等工程区进行了自振法试验与常规抽水试验的对比试验，对比试验的相关系数 0.923。自振法试验具有设备轻便、操作简单、对钻孔结构要求较低、省工省时的特点，当常规抽水试验受某些试验条件、设备限制时，可试用自振法试验。

以下情况之一者可试用自振法试验：

- 1 在某些深厚覆盖层地区，由于钻探的需要，孔内套管的深度较深，且管径较小，无法安装过滤器。
- 2 含水层的水量较大，水泵出力不足，地下水位的降深不能满足常规抽水试验要求。
- 3 含水层的水量较小，水量容易被抽干。
- 4 地下水位埋深较大，水泵吸程不够。

8 试验资料整编

8.1 渗透性参数计算

8.1.1 各种原始观测孔记录的检查、校核，均应在现场试验过程中随时进行，目的是指导并检查现场试验情况，及时发现错误及时纠正，同时为室内整编工作打好基础。计算渗透性参数前的校核，实际上是要求对原始资料进行一次合理性分析，对观测资料相互间的关系进行一次检查，对于明显不合理的部分应予以更正和舍弃。对此，本条作了相应规定。

8.1.2~8.1.3 鉴于渗透性参数计算的影响因素颇多，加之自然条件的复杂性，抽水孔和抽水试验方法的多样性，所以本条原则性地规定，渗透性参数计算应在分析试验地段的地质、水文地质条件的基础上，结合抽水孔结构和试验方法合理地选用公式。为了更加明确参数计算公式的适用条件，以便能符合实际地选择利用，在附录 D 中，将分层次地列出了稳定流完整孔、非完整孔抽水试验和非稳定流抽水试验的计算公式和适用条件，并指明选用公式的出处，目的是为了从选择公式计算参数上来保证抽水试验成果的精度。

1 采用稳定流抽水试验计算渗透性参数，仍为目前水电水利工程地质勘察常用的水文地质试验方法。附录 D.1 和 D.2 所列的有关稳定流潜水孔抽水试验计算公式，除应符合含水层均质、等厚和产状水平等一般条件外，还应符合下降漏斗的坡降应小于 $1/4$ 的条件。只有这样，实际情况与推导公式的假定条件（流线倾角的正弦用正切代替）才比较相符，计算结果的误差才可能在允许范围之内。应用稳定流承压水完整孔抽水试验公式时，用 Δh^2 代替 s 应满足抽水孔降深小于含水层厚度的 0.1 倍。

2 采用单孔稳定流抽水试验计算渗透性参数时,本标准规定,根据抽水试验关系曲线 $Q-s(\Delta h^2)$ 的不同类型,选用相应的公式以求符合公式的适用条件。

(1) 当抽水试验关系曲线 $Q-s(\Delta h^2)$ 呈直线时,说明该抽水试验资料井(孔)损的影响小,可直接选用公式计算 K 值。

(2) 当抽水试验关系曲线 $Q-s(\Delta h^2)$ 呈曲线时,说明该抽水试验井(孔)损较大,若要计算 K 值,可通过作图截距法或插值法 $Q-s$ 多项式来消除这部分的影响值,以提高单孔计算 K 值的精度。

3 利用带观测孔的稳定流多孔抽水试验计算渗透性参数时,本标准推荐的公式是常用的裘布衣—蒂姆公式,但使用该式时常遇到两个问题:

(1) 采用靠近抽水孔的观测孔资料时,算得的 K 值有偏小现象。

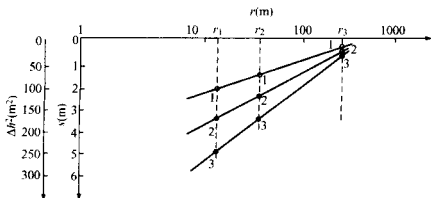
(2) 采用远离抽水孔的观测孔资料时,算得的 K 值又往往偏大。

产生这些现象的主要原因,除可能是抽水没有达到稳定的要求外,还在于没有考虑公式的适用条件,即抽水试验关系曲线 $s-lgr$ 应成直线关系:

$$s = \frac{Q}{2\pi KM} \ln R - \frac{Q}{2\pi KM} \ln r \quad (6)$$

只有利用 $s-lgr$ 曲线的直线段上的斜率资料才能得到准确的 K 值。因为靠近抽水孔的观测孔由于受孔周阻力的影响,容易偏离直线段;远离抽水孔的观测孔则受边界的形状和性质的影响,也将偏离直线段。因此在采用本公式时,要求观测孔内的 s (或 Δh^2) 值在 s (或 Δh^2)— lgr 关系曲线上能连成直线(见图 1)。

当然,由于水文地质条件的多样化,抽水试验获得的 $s-lgr$ 关系曲线可能不出现理想的直线段,这时选择的计算数据具有一定的近似值。

图1 s (或 Δh^2)— lgr 关系曲线示意图

4 非稳定流抽水试验渗透性参数的确定, 当采用配线法时, 一般来说, 实测曲线与标准曲线的重迭段不应少于 1 个对数周期, 否则计算结果会出现随意性。当采用直线法时, 则不能忽视 $\frac{r^2 \mu^*}{4KMt} < 0.01$ 的要求。

5 非稳定流抽水试验, 当抽水孔出水量大时, 往往也会产生井(孔)损影响。由于采用非稳定流公式计算渗透性参数时, 多数不是利用抽水孔内水位降深的绝对值, 而是采用 $s-lgt$ 曲线关系上的斜率, 因此究竟各种井(孔)损及紊流对其有多大影响, 有待继续研究。

6 非稳定流潜水孔抽水试验, 抽水早期(第一阶段)水位降深变化大; 中期(第二阶段)一段时间会出现“假稳定”过程, 即降深不随时间而变化或变化很小; 到后期(第三阶段)降深又出现较大持续变化。因此, 抽水试验一定要使第三阶段(后期)关系曲线 $Q-s(\Delta h^2)$ 能完整地绘制出来, 否则将无法确定含水层的给水度。

7 非稳定流抽水试验采用直线图解法和水位恢复法确定渗透性参数时, 开始阶段的曲线($s-t$)点, 应考虑孔径的影响。每次停止抽水, 宜记录并绘制抽水孔和观测孔的剩余降深随时间

的关系曲线，以利于分析渗流场特性。

8.1.4 稳定流多孔抽水试验的影响半径 R 可采用裘布衣公式求得，但由于裘布衣公式推导时的条件往往与实际不符，因此多孔抽水试验结果仍然是一个近似值。但是在目前的渗透性参数计算中，不少采用裘布衣公式或由它演化而来的公式中都还有影响半径 R ，所以本次修订中仍保留了采用裘布衣公式计算 R 的公式。单孔抽水试验影响半径的确定，目前只能依赖于经验数据或经验公式。
