

ICS 27.140
P 59
备案号: J424—2018

NB

中华人民共和国能源行业标准

P

NB/T 35103—2017

代替 DL/T 5213—2005

水电工程钻孔抽水试验规程

Specification for Borehole Pumping Test of
Hydropower Projects

2017 - 11 - 15 发布

2018 - 03 - 01 实施

国家能源局 发布

中华人民共和国能源行业标准

水电工程钻孔抽水试验规程

Specification for Borehole Pumping Test
of Hydropower Projects

NB/T 35103—2017

代替 DL/T 5213—2005

主编部门：水电水利规划设计总院

批准部门：国 家 能 源 局

施行日期：2 0 1 8 年 3 月 1 日

中国水利水电出版社

2018 北 京

国家能源局
公 告

2017 年 第 10 号

依据《国家能源局关于印发〈能源领域行业标准化管理办法（试行）〉及实施细则的通知》（国能局科技〔2009〕52号）有关规定，经审查，国家能源局批准《煤层气生产站场安全管理规范》等204项行业标准，其中能源标准（NB）62项、电力标准（DL）86项、石油标准（SY）56项，现予以发布。

附件：行业标准目录

国家能源局
2017 年 11 月 15 日

NB/T 35103—2017

附件：

行 业 标 准 目 录

序号	标准编号	标准名称	代替标准	采标号	批准日期	实施日期
...						
37	NB/T 35103—2017	水电工程钻孔 抽水试验规程	DL/T 5213—2005		2017 - 11 - 15	2018 - 03 - 01
...						

前 言

根据《国家能源局关于下达 2014 年第二批能源领域行业标准制（修）订计划的通知》（国能科技〔2015〕12 号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结实践经验，并在广泛征求意见的基础上，修订本规程。

本规程的主要技术内容是：试验设备、现场试验、试验资料整编。

本规程修订的主要技术内容是：

——增加了使用自动记录仪记录试验过程中水位变化的内容。

——增加了岩溶地区抽水试验钻孔布置和选择的内容。

——删除了自由振荡法试验的内容。

——删除了自由振荡法试验术语。

本规程由国家能源局负责管理，由水电水利规划设计总院提出并负责日常管理，由能源行业水电勘测设计标准化技术委员会负责具体技术内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送水电水利规划设计总院（地址：北京市西城区六铺炕北小街 2 号，邮编：100120）。

本规程主编单位：中国电建集团成都勘测设计研究院有限公司

本规程参编单位：中国电建集团贵阳勘测设计研究院有限公司

中国地质大学（武汉）

河海大学

本规程主要起草人员：张世殊 彭仕雄 崔中涛 徐海洋

陈卫东 冉从彦 杨建宏 吴述彧

郑克勋 郭维祥 马金根 王 刚

梁 杏 马 腾 陈 刚 周志芳

NB/ T 35103—2017

郭巧娜 谢北成 徐 键 谢剑明
甘东科 杜文树 朴 苓 鞠 琳
本规程主要审查人员：杨 建 王文远 李文纲 米应中
宫海灵 赵振庆 单治钢 周光辉
李树武 周彩贵 胡积松 王良太
肖万春 张国富 汤伟雄 李开德
许 模 杜 刚

目 次

1	总则	1
2	术语和符号	2
2.1	术语	2
2.2	符号	4
3	基本规定	7
4	试验设备	10
4.1	过滤器	10
4.2	水泵	12
4.3	空气压缩机	12
4.4	测试工具	12
5	现场试验	13
5.1	钻孔	13
5.2	设备安装	13
5.3	试验抽水	14
5.4	稳定流抽水试验	15
5.5	非稳定流抽水试验	16
6	试验资料整编	18
6.1	渗透性参数计算	18
6.2	抽水试验成果报告编制	20
附录 A	空气压缩机抽水孔内设备安装	21
附录 B	设备安装记录表	24
附录 C	抽水试验观测记录表	26
附录 D	抽水试验渗透性参数计算	30
附录 E	稳定流抽水试验影响半径计算	52

NB/T 35103—2017

附录 F 稳定流抽水试验成果图表示例 53

本规程用词说明 55

附：条文说明 57

Contents

1	General Provisions	1
2	Terms and Symbols	2
2.1	Terms	2
2.2	Symbols	4
3	Basic Requirement	7
4	Test Equipment	10
4.1	Filter	10
4.2	Pump	12
4.3	Air Compressor	12
4.4	Testing Tool	12
5	Field Experiment	13
5.1	Borehole	13
5.2	Equipment Installation	13
5.3	Pumping Test	14
5.4	Steady Flow Pumping Test	15
5.5	Unsteady Flow Pumping Test	16
6	Data Compilation	18
6.1	Calculation of Permeability Parameters	18
6.2	Compilation of Achievement Report on Pumping Test	20
Appendix A	Requirement for Equipment in Pumping Hole of Air Compressor	21
Appendix B	Record Form of Requirement for Equipment	24
Appendix C	Obervation Record Form of Pumping Test ...	26

NB/T 35103—2017

Appendix D	Permeability Parameter Calculation of Pumping Test	30
Appendix E	Influence Radius Calculation of Steady Flow Pumping Test	52
Appendix F	The Achievement of Steady Flow Pumping Test Chartsample	53
Explanation of Wording in This Specification		55
Addition: Explanation of Provisions		57

1 总 则

1.0.1 为统一水电工程钻孔抽水试验工作，保证试验成果质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于水电工程钻孔抽水试验。

1.0.3 水电工程钻孔抽水试验，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 钻孔抽水试验 borehole pumping test

通过钻孔抽水，量测抽水孔的抽水量、水位和观测孔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，采用抽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。

2.1.2 抽水孔 pumping hole

水文地质勘探中用作抽水试验的钻孔。

2.1.3 观测孔 observation hole

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。

2.1.4 单孔抽水试验 single hole 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。

2.1.5 多孔抽水试验 multiple hole pumping test

除在一个抽水孔抽水并量测其抽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线和观测孔，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。

2.1.6 稳定流抽水试验 steady flow pumping test

在抽水过程中，要求抽水孔抽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。

2.1.7 非稳定流抽水试验 unsteady flow pumping test

在抽水过程中，保持抽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抽水量随时间变化的抽水试验。

2.1.8 完整孔 fully penetrating hole

进水段长度贯穿整个含水层厚度的抽水孔。

2.1.9 非完整孔 partial penetrating hole

进水段长度仅为含水层厚度一部分的抽水孔。

2.1.10 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。

2.1.11 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。

2.1.12 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。

2.1.13 水位降深 drawdown

简称降深值。指抽水孔抽水前的天然水位与抽水时的动水位之差值。

2.1.14 抽水孔结构 pumping hole 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。

2.1.15 过滤器 filter

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。

2.1.16 过滤器骨架管孔隙率 porosity of filter skeleton tube

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。

2.1.17 没入率 mergence 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。

2.1.18 水文地质参数 hydro geological 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、弹性释水系数、给水度、压力传导系数等。

2.1.19 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流速度。

2.1.20 导水系数 transmissibility coefficient

表示含水层全部厚度导水能力的一个参数，为含水层在单位水力梯度作用下单位时间流过整个厚度含水层的水量。

2.1.21 弹性贮水释水系数 storativity coefficient

指承压含水层中地下水位上升或下降一个单位高度时，从单位底面积和高度等于含水层厚度的柱体中，由于水的膨胀和岩层的压缩所贮存或释放出的水量。

2.1.22 给水度 specific yield

表示单位面积的含水层，当潜水面下降一个单位长度时在重力作用下所能释放出的水量。

2.1.23 压力传导系数 pressure conduction 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，为导水系数与弹性释水系数之比值。

2.2 符 号

a ——压力传导系数或导压系数。

- b ——抽水孔中心至补给边界或隔水边界的水平最短距离。
- D_{10} ——填砾过滤器滤料筛分中，过筛砾料的颗粒，其累计质量占总质量分别为 10% 时的最大颗粒直径。
- D_{50} ——填砾过滤器滤料筛分中，过筛砾料的颗粒，其累计质量占总质量分别为 50% 时的最大颗粒直径。
- d_{10} ——含水层砂、土样颗分试验中，过筛土粒累计质量占总质量分别为 10% 时的最大颗粒直径。
- d_{20} ——含水层砂、土样颗分试验中，过筛土粒累计质量占总质量分别为 20% 时的最大颗粒直径。
- d_{50} ——含水层砂、土样颗分试验中，过筛土粒累计质量占总质量分别为 50% 时的最大颗粒直径。
- g ——重力加速度。
- 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。
- 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上升的高度。
- \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。
- 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 $\Delta h^2 = H^2 - h^2$ 。
- K ——含水层的渗透系数。
- l ——过滤器工作部分的长度。
- M ——承压含水层的厚度。
- P ——空气压缩机压缩空气的风压。
- ΔP ——压缩空气在供风管中的压力损失。
- Q ——抽水流量。
- R ——影响半径。
- r ——抽水孔过滤器半径、钻孔半径。

r_1 ——观测孔 1 至抽水孔间的中心距离。

r_2 ——观测孔 2 至抽水孔间的中心距离。

r_w ——有效井半径。

s ——抽水孔水位降深值。

s_1 ——观测孔 1 的水位降深值。

s_2 ——观测孔 2 的水位降深值。

T ——含水层的导水系数。

t ——时间。

V ——空气压缩机抽 1m^3 水需用的空气量。

α ——空气压缩机抽水时气液混合器的没入率。

λ ——地下水水力坡降。

μ ——潜水含水层的给水度。

μ^* ——承压含水层的弹性贮水、释水系数。

ρ_w ——水的密度。

3 基本规定

3.0.1 查明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。查明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；确定坝基和强烈渗漏地段岩土体渗透性参数时，宜布置一定数量的多孔抽水试验。

3.0.2 多孔抽水试验孔的布置和选择应符合下列规定：

1 多孔抽水试验以抽水孔为原点，宜布置 1 条～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。对岩性变化大的松散含水层、裂隙含水岩体及岩溶含水岩体，宜布置两条观测线，一条沿岩性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。

2 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，可适当增加。

3 当抽水孔为完整孔时，第 1 个观测孔至抽水孔的距离宜为 2m～3m，并应避开紊流和三维流的影响，第 2 个观测孔至抽水孔的距离宜为含水层厚度的 1.0 倍～1.5 倍，第 3 个观测孔至抽水孔的距离宜为含水层厚度的 2 倍～3 倍。

4 当抽水孔为非完整孔时，观测孔至抽水孔的距离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。

3.0.3 抽水孔类型和结构应符合下列规定：

1 均质含水层厚度不大于 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。河床部位松散含水层抽水试验时，可采用非完整孔。

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，亦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，需要时可选用抽水。

3 具有中、强透水性的裂隙岩体、断层破碎带和岩溶发育带，抽水试验应视其厚度、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。

3.0.4 过滤器和测压管的位置及长度应符合下列规定：

1 河床部位松散含水层抽水试验的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。

2 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。

3 松散含水层抽水试验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。

4 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。

3.0.5 稳定流抽水试验降深和稳定延续时间应符合下列规定：

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值为准。抽水孔相邻两次降深的差值宜相近。

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。

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不小于 0.1m，或各相邻观测孔的水位降深差不小于 0.2m。

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 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。

6 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。

7 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。

8 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。

3.0.6 非稳定流抽水试验延续时间，应根据水位下降与时间关系曲线确定，并应符合下列规定：

1 在承压含水层中抽水时，应采用 $s - \lg t$ 关系曲线。

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

3 $s - \lg t$ 或 $\Delta h^2 - \lg t$ 关系曲线呈现拐点时，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。

4 $s - \lg t$ 或 $\Delta h^2 - \lg t$ 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。

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

4 试验设备

4.1 过滤器

4.1.1 抽水孔过滤器类型选择宜符合表 4.1.1 的规定。抽水试验的观测孔宜采用包网过滤器。

表 4.1.1 抽水孔过滤器类型选择

含水层性质	过滤器类型
软岩、中等坚硬不稳定岩层，构造破碎带，裂隙密集带，岩溶发育带	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

4.1.2 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然后包网或缠丝。观测孔过滤器骨架管的孔隙率不宜小于 15%。

4.1.3 包网过滤器、缠丝过滤器的网眼和缝隙尺寸宜符合表 4.1.2 的规定。

表 4.1.2 包网过滤器、缠丝过滤器的网眼和缝隙尺寸

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	$(1.5 \sim 2.0)d_{50}$	$(2.0 \sim 2.5)d_{50}$
缠丝过滤器	$(1.25 \sim 1.50)d_{50}$	$(1.5 \sim 2.0)d_{50}$

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。

4.1.4 填砾过滤器骨架管缠丝的缝隙尺寸和包网的网眼尺寸可采用 D_{10} 。

4.1.5 滤料的不均匀系数不宜大于 5，填砾过滤器的滤料规格宜符合下列规定：

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：

$$D_{50} = (6 \sim 8) d_{50} \quad (4.1.5 - 1)$$

式中： D_{50} ——填砾过滤器滤料筛分中，过筛砾料的颗粒，其累计质量占总质量 50% 时的最大颗粒直径 (mm)；

d_{50} ——含水层砂、土样颗分试验中，过筛土粒累计质量占总质量 50% 时的最大颗粒直径 (mm)。

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：

$$D_{50} = (6 \sim 8) d_{20} \quad (4.1.5 - 2)$$

式中： d_{20} ——含水层砂、土样颗分试验中，过筛土粒累计质量占总质量 20% 时的最大颗粒直径 (mm)。

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

4.1.6 填砾过滤器的滤料厚度不应小于 50mm。

4.1.7 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 89mm；下过滤器时钻孔直径不宜小于 130mm，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不宜小于 50mm。

4.1.8 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。

4.1.9 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必须采用止水措施。

4.2 水 泵

4.2.1 抽水试验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抽水量选择。

4.2.2 地下水位较浅时宜采用离心式水泵；地下水位较深、抽水量大时可选用深井泵或潜水泵；地下水位较深、抽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，但不得大于二级水泵。

4.3 空气压缩机

4.3.1 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。

4.3.2 根据现场作业条件可选用柴油动力空气压缩机或电动空气压缩机。空气压缩机抽水孔内设备安装应符合本规程附录 A 的规定。

4.4 测 试 工 具

4.4.1 观测水位宜采用电测自动水位计记录试验过程中的水位变化。当地下水位较浅时，也可采用浮标水位计。观测读数应精确到 1cm。

4.4.2 抽水量的测试用具应根据抽水量大小选定。抽水量小于 1L/s 时可采用容积法或水表；抽水量为 1L/s~30L/s 时，宜采用三角堰；抽水量大于 30L/s 时应采用矩形堰。采用容积法的量桶或提桶充满水所需时间不宜少于 15s，观测读数应精确到 1s；采用水表时，观测读数应精确到 0.1L；采用堰箱时，观测水位的读数应精确到 1mm。

4.4.3 测量气温可采用普通温度计，测量水温宜采用缓变温度计。测量读数应精确到 0.5℃。

5 现场试验

5.1 钻 孔

5.1.1 抽水孔和观测孔的孔位，应按钻孔抽水试验设计书要求由地质、钻探、测量人员在现场共同确定。钻孔完成后应测量各孔或管口的坐标和高程。孔内所有测深、过滤器等的安装均应从同一固定基点算起。

5.1.2 多孔抽水试验应按先钻造抽水孔、后钻造观测孔的顺序施工。

5.1.3 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，抽水孔孔径不宜小于 168mm；在基岩含水层中的抽水孔孔径不宜小于 130mm。观测孔的孔径不宜小于 59mm。

5.1.4 松散含水层、岩溶强发育段钻孔应采用跟管钻进，基岩含水层钻孔应采用清水钻进。试验孔段不得使用泥浆循环钻进或植物胶护壁钻进。

5.1.5 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。

5.1.6 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，观测时间应每间隔 30min 测量一次。连续四次的观测水位变化幅度不应大于 1cm，且无持续上升或下降趋势时，可确定为稳定水位，水温测定变化幅度不宜大于 0.5℃ 时，可停止观测。

5.2 设备 安 装

5.2.1 抽水孔和观测孔安装过滤器前，应将孔内泥质物清洗

干净。

5.2.2 过滤器的安装应严格按照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。设备安装记录宜符合本规程附录 B 的有关规定。

5.2.3 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。

5.2.4 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。

5.2.5 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。

5.2.6 水泵抽水时，吸水龙头在各次降深中均应放在同一深度。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。

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

5.2.8 潜水含水层抽水时，应将抽水孔抽出的水排至渗漏影响范围之外。

5.2.9 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。

5.3 试验抽水

5.3.1 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。

5.3.2 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。

5.3.3 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。

5.3.4 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。观测记录表宜符合本规程附录 C 的有关规定。

5.3.5 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并校核静止水位。静止水位应每 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，可确定为稳定水位。

5.3.6 校核静止水位时，在抽水影响范围或以外及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。

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

5.4 稳定流抽水试验

5.4.1 抽水试验过程中，应同步观测、记录抽水孔的抽水量和抽水孔及观测孔的动水位。抽水量和动水位的观测时间，宜在抽水开始后的第 1min、2min、3min、4min、5min、10min、15min、20min、30min、40min、50min、60min 各测一次，之后每 10min 观测一次，出现稳定趋势以后每隔 30min 观测一次，直至达到稳定水位标准后结束。观测记录表宜符合本规程附录 C 的有关规定。

5.4.2 在抽水稳定延续时间内，抽水量稳定标准应符合下列规定：

1 实测抽水量最大值与最小值之差应小于平均抽水量的 5%。

2 抽水量应无持续增大或变小的趋势。

5.4.3 在抽水稳定延续时间内，动水位稳定标准应符合下列规定：

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。

5.4.4 试验过程中，应详细记载发生的有关情况，随时检查各种观测记录，并现场绘制流量和降深曲线、降深和时间曲线、流量和时间曲线。当流量和降深曲线反常时，应分析和查明原因，可重做试验。

5.4.5 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。

5.4.6 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。

5.4.7 抽水结束后，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宜在抽水结束后的第 1min、2min、3min、4min、6min、8min、10min、15min、20min、25min、30min、40min、50min、60min、80min、100min、120min 各观测一次，以后可隔 30min 观测一次，直至结束。

5.4.8 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。

5.5 非稳定流抽水试验

5.5.1 抽水试验过程中，抽水孔的抽水量应保持常量。

5.5.2 抽水试验的抽水量和动水位的稳定标准应符合本规程第 3.0.6 条的规定，抽水开始后的第 1min、2min、3min、4min、

6min、8min、10min、15min、20min、25min、30min、40min、50min、60min、80min、100min、120min 各观测一次，以后可隔 30min 观测一次，直至结束。观测记录表宜符合本规程附录 C 的有关规定。

5.5.3 水温、气温的观测和水样的采取，应符合本规程第 5.4.5 条和第 5.4.6 条的规定。

5.5.4 抽水结束后，观测恢复水位的时间应符合本规程第 5.4.7 条的规定。

6 试验资料整编

6.1 渗透性参数计算

6.1.1 应对所有的原始观测记录进行整理、校核后进行渗透性参数计算。

6.1.2 应根据试验地段的地质条件，结合抽水孔结构和试验方法选用公式，并应符合下列规定：

1 稳定流完整孔、非完整孔抽水试验渗透性参数计算公式的选择与计算，应符合本规程附录 D 的有关规定。

2 非稳定流完整孔抽水试验渗透性参数计算公式的选择与计算，应符合本规程表 D.0.3-1～表 D.0.3-3 的规定；非稳定流非完整孔抽水试验渗透性参数，宜根据试验地段的水文地质条件，选择相应的公式进行计算。

3 对于各向异性含水层，根据非稳定流完整孔定流量抽水试验，渗透性参数应按本规程表 D.0.4-1、表 D.0.4-2 的方法计算。

4 计算时小数点后的有效数值应取三位。

6.1.3 当稳定流单孔抽水试验的流量和降深曲线呈抛物线型时，渗透系数的计算应按下列步骤进行：

1 绘制 $s/Q-Q$ 或 $\Delta h^2/Q-Q$ 曲线（图 6.1.3）。

2 当三次下降的 $s/Q-Q$ 或 $\Delta h^2/Q-Q$ 曲线呈直线时，可根据直线的斜率和直线在纵轴上的截距，计算井损和有效井半径。

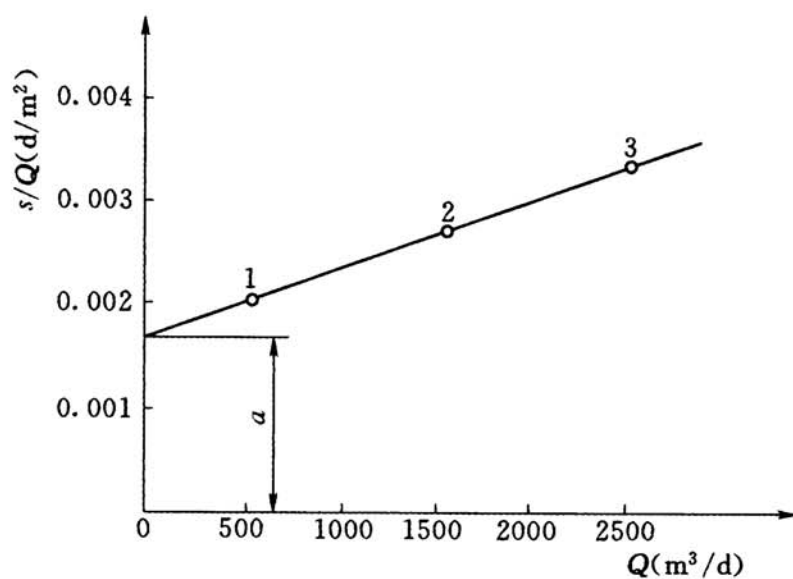
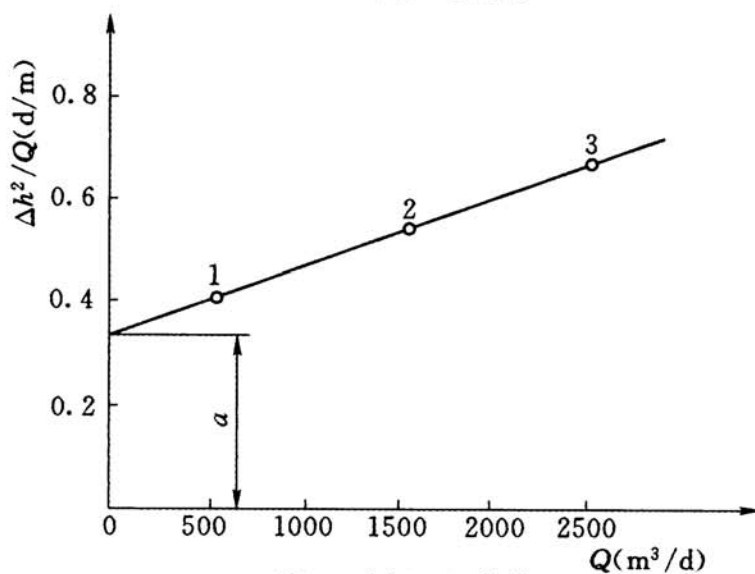
3 井损值应按下式计算：

$$\Delta h' = iQ^2 \quad (6.1.3-1)$$

式中： $\Delta h'$ ——井损值（m）；

i ——流量和降深关系曲线呈直线时的斜率；

Q ——抽水流量（ m^3/s ）。

(a) $s/Q-Q$ 曲线(b) $\Delta h^2/Q-Q$ 曲线图 6.1.3 $s/Q-Q$ 和 $\Delta h^2/Q-Q$ 曲线

4 有效井半径应按下列公式计算：

$$r_w = R / e^{2\pi Ta} \quad (6.1.3-2)$$

$$T = Kh \quad (6.1.3-3)$$

式中： r_w ——有效井半径 (m)；

R ——抽水试验影响半径 (m)；

T ——导水系数 (m^2/s)；

a ——流量和降深关系曲线呈直线时在纵轴上的截距；

K ——渗透系数 (m/s);

h ——含水层厚度 (m)。

5 渗透系数的计算公式应按本规程表 D.0.1-1 和表 D.0.2-1 选用, 并应将公式中的 Q/s 或 $Q/(H^2-h^2)$ 换成 $1/a$, 用有效井半径 r_w 代替井半径 r 。

6.1.4 稳定流多孔抽水试验的影响半径应按本规程第 D.0.1 条的方法计算。稳定流单孔抽水试验的影响半径计算公式, 可结合具体情况按本规程第 D.0.2 条的规定取值。

6.2 抽水试验成果报告编制

6.2.1 抽水试验成果报告应包括文字说明和图表两部分。

6.2.2 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。

6.2.3 图表宜包括下列内容, 且图表格式应符合本规程附录 F 的有关规定:

- 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 $s-\lg t$ 关系曲线和 $s-\lg r$ 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 空气压缩机抽水孔内设备安装

A.0.1 用空气压缩机抽水时，孔内供气管与排液管的安装方式，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：

1 使用直式气液混合器时应采用同心式 [图 A.0.1 (a)]；使用钩式气液混合器时可采用并列式 [图 A.0.1 (b)]。

2 小口径钻孔抽水时，孔内设备安装方法应采用同心式，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或含测水管同心式 [图 A.0.1 (b)] 或 [图 A.0.1 (c)]。

3 供气管下部的气液混合器工作部分的长度应大于 1m，底端应封闭严密；混合器的喷气孔应呈上稀下密径向均匀布置，直径宜

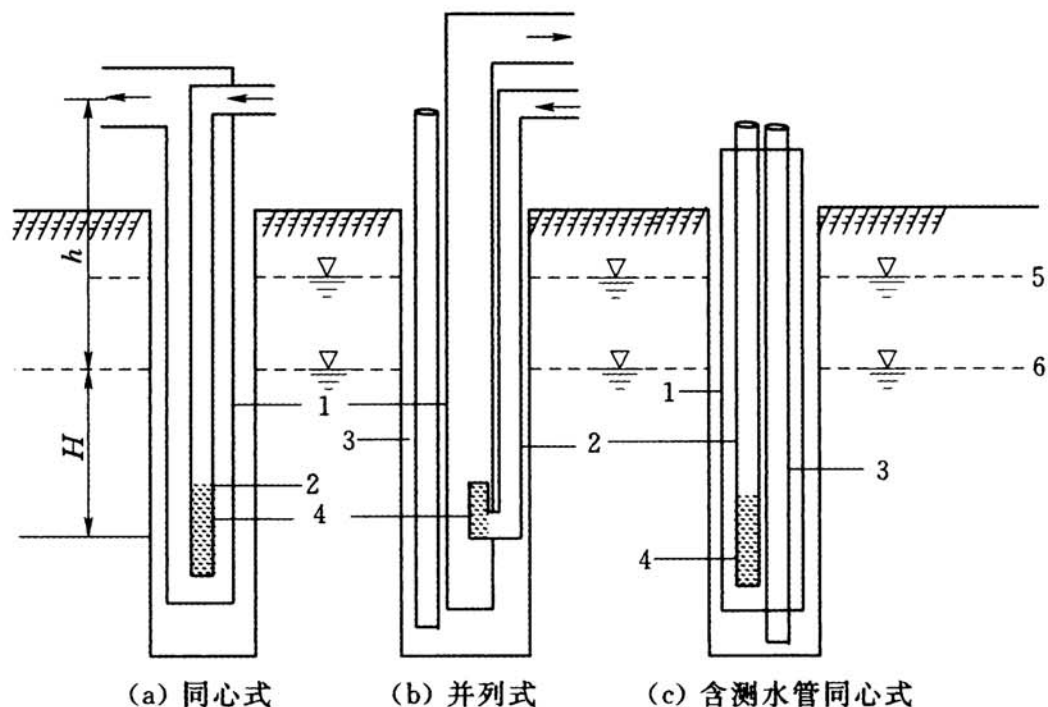


图 A.0.1 空气压缩机抽水孔内安装

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

为 4mm~6mm, 喷气孔总面积宜为供气管截面积的 2 倍~4 倍。

A. 0.2 应根据没入率、空气压力和空气量选择空气压缩机, 并应符合下列规定:

1 气液混合器的没入率不小于 50% 时, 可按下式计算:

$$\alpha = \frac{H}{H+h} \times 100\% \quad (\text{A. 0.2-1})$$

式中: α ——没入率 (%);

H ——气液混合器没入动水位以下的深度 (m);

h ——气液上升的高度 (m)。

2 空气压缩机风压可按下式计算:

$$P = \rho_w H + \Delta P \quad (\text{A. 0.2-2})$$

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, 取值不低于 0.05MPa。

3 每抽 1m^3 水所需要向钻孔中送入的空气量可按下列公式计算:

$$V = K_0 \frac{h}{23 \lg \frac{H+10}{10}} \quad (\text{A. 0.2-3})$$

$$K_0 = 2.17 + 0.016h \quad (\text{A. 0.2-4})$$

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。

4 当没入率取 50% 时, 抽 1m^3 水所需用的空气量可按表 A. 0.2 数值估算。

表 A. 0.2 抽 1m^3 水所需用的空气量估算表

没入率	50%					
气液上升高度 (m)	5	10	20	30	40	50
空气量 (m^3)	2.78	3.37	4.55	5.77	7.03	8.35

A.0.3 空气压缩机抽水时，抽水孔内设备的安装应符合下列规定：

1 宜根据预估涌水量确定安装方式、排液管及供气管直径、井管或钻孔直径，孔、管取值宜符合表 A.0.3 的规定。

表 A.0.3 孔、管取值

涌水量 (L/s)	孔、管外径 (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
3.0~4.5	60	20~25	150	60	20	100
4.5~6.0	—	—	—	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

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。

3 排液管上端应安装出水三通、消能桶或接水桶等气液分离器。

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。

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、麻丝、涂铅油并拧紧，在下管前应对各连接接头进行严格检查。

附录 B 设备安装记录表

B.0.1 设备安装基本资料记录表应符合表 B.0.1 的规定。

表 B.0.1 设备安装基本资料记录表

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		测压管	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.0.2 抽水孔安装记录表应符合表 B.0.2 的规定。

表 B.0.2 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.0.3 观测孔安装记录表宜符合表 B.0.3 的规定。

表 B.0.3 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

附录 C 抽水试验观测记录表

C.0.1 钻孔水位观测记录表宜符合表 C.0.1 的规定。

表 C.0.1 钻孔水位观测记录表

_____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

C.0.2 抽水试验观测记录表宜符合表 C.0.2 的规定。

表 C.0.2 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

C.0.3 稳定流单孔抽水试验观测记录表宜符合表 C.0.3 的规定。

表 C.0.3 稳定流单孔抽水试验观测记录表

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 (m)	过滤器中				
	测压管中				
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

C.0.4 稳定流多孔抽水试验观测记录表应符合表 C.0.4 的规定。

表 C.0.4 稳定流多孔抽水试验观测记录表

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

C.0.5 非稳定流抽水试验观测记录表应符合表 C.0.5 的规定。

表 C.0.5 非稳定流抽水试验观测记录表

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)						

续表 C.0.5

降深次序	1	2	3	4	5	6
降深 (m)						
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 D 抽水试验渗透性参数计算

D.0.1 稳定流完整孔抽水试验的渗透性参数计算应符合下列规定：

1 稳定流完整孔单孔抽水试验渗透性参数计算应按表 D.0.1-1 的规定选择。

2 稳定流完整孔多孔抽水试验渗透性参数计算应按表 D.0.1-2 的规定选择。

D.0.2 稳定流非完整孔抽水试验的渗透性参数计算应符合下列规定：

1 稳定流非完整孔单孔抽水试验渗透性参数计算应按表 D.0.2-1 的规定选择。

2 稳定流非完整孔多孔抽水试验的渗透性参数计算应按表 D.0.2-2 的规定选择。

D.0.3 非稳定流抽水试验的渗透性参数计算应符合下列规定：

1 承压含水层完整孔非稳定流抽水试验水文地质参数计算应按表 D.0.3-1 的规定选择。

2 承压含水层完整孔非稳定流抽水试验水位恢复法水文地质参数计算应按表 D.0.3-2 的规定选择。

3 潜水含水层完整孔非稳定流抽水试验水文地质参数计算应按表 D.0.3-3 的规定选择。

4 当降深值相对于含水层厚度而言很小时，潜水含水层完整孔非稳定流抽水试验水位恢复法水文地质参数计算公式选择应符合本规程表 D.0.3-2 的规定。

D.0.4 非稳定流抽水试验的水文地质参数张量计算应符合下列规定：

1 轴向各向异性含水层非稳定流抽水试验水文地质参数计算应按表 D.0.4-1 的规定选择。

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应按表 D.0.4-2 的规定选择。

表 D.0.1-1 稳定流完整孔单孔抽水试验渗透性参数计算

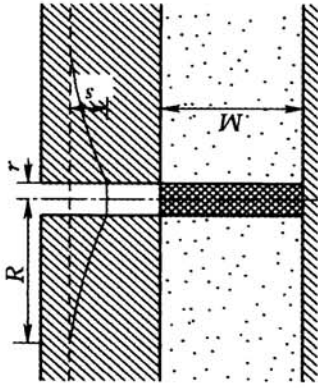
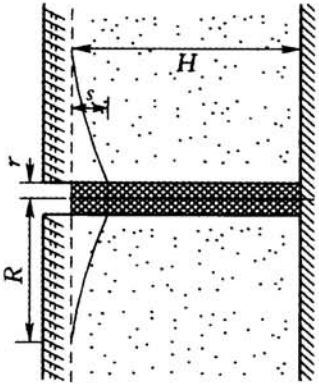
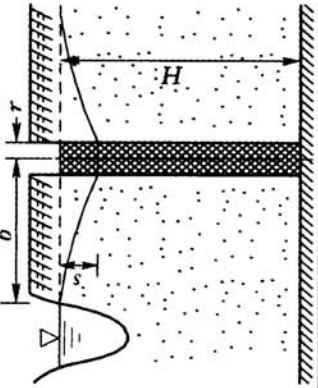
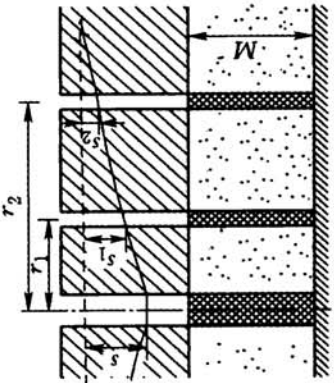
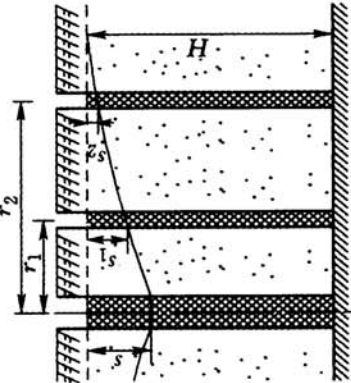
示意图	计算公式	适用条件	公式提出者	备 注
	$K = \frac{0.366Q}{sM} \lg \frac{R}{r}$	承压水	裘布依 (Jules Dupuit)	K—渗透系数 (m/d); R—影响半径 (m); r—抽水孔半径 (m); s—抽水孔水位降深 (m); Q—抽水孔涌水量 (m³/d); M—承压含水层厚度 (m)
	$K = \frac{0.732Q}{(2H-s)s} \lg \frac{R}{r}$	潜水	裘布依 (Jules Dupuit)	H—潜水含水层厚度 (m)
	$K = \frac{0.732Q}{(2H-s)s} \lg \frac{2b}{r}$	1. 潜水; 2. 靠近河流; 3. $b < (2 \sim 3)H$	弗尔格伊米尔	b—抽水孔中心与河边距离 (m)

表 D.0.1-2 稳定流完整孔多孔抽水试验渗透性参数计算

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

续表 D.0.1-2

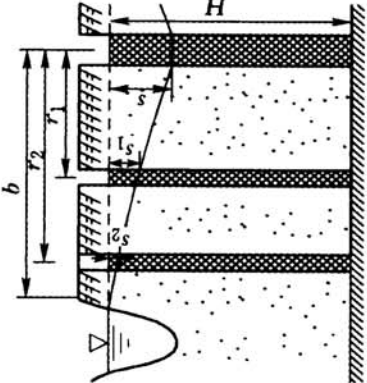
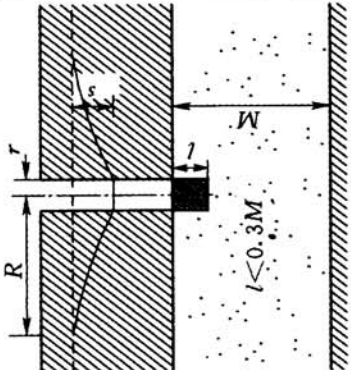
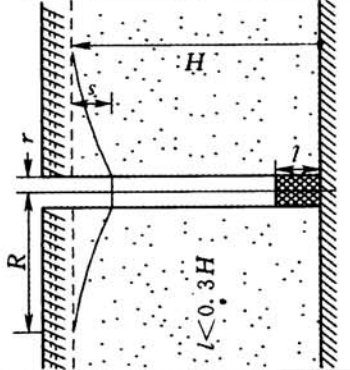
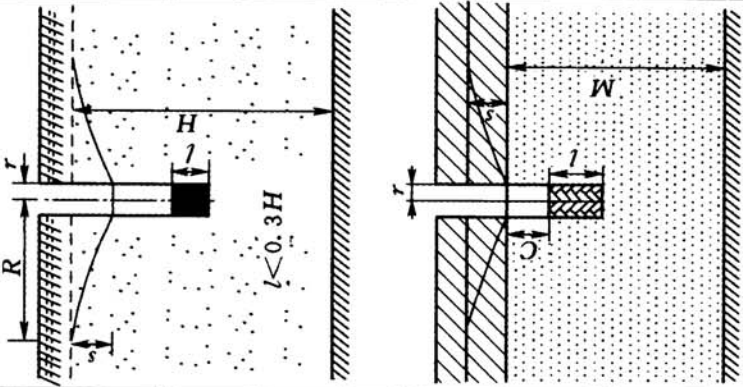
示意图	计算公式	适用条件	公式提出者	备注
	$K = \frac{0.732Q}{(2H - s_1)s_1} \lg \frac{2b - r_1}{r_1}$	1. 潜水; 2. 靠近河流; 3. 观测线垂直于岸边, 观测孔位于近河一边; 4. 一个观测孔	裘布依 (Jules Dupuit) 弗尔格伊米尔	
	$K = \frac{0.732Q}{(2H - s_1 - s_2)(s_1 - s_2)} \times \lg \frac{r_2(2b - r_1)}{r_1(2b - r_2)}$	1. 潜水; 2. 靠近河流; 3. 观测线垂直于岸边, 观测孔位于近河一边; 4. 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

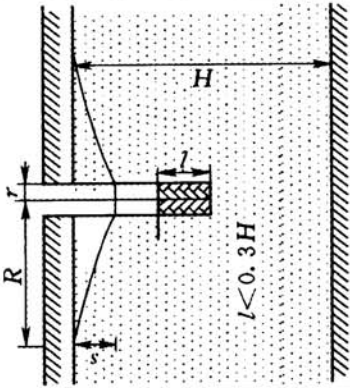
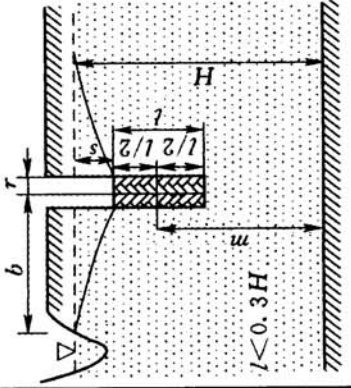
表 D.0.2-1 稳定流非完整孔单孔抽水试验渗透性参数计算

示意图	计算公式	适用条件	公式提出者	备注
	$K = \frac{0.366Q}{l_s} \lg \frac{al}{r}$ <p>$\alpha = 1.6$ 吉林斯基 $\alpha = 1.32$ 巴布什金</p>	1. 承压水，潜水； 2. 过滤器紧接含水层顶板或底板； 3. $l < 0.3M$, $l < 0.3H$	吉林斯基 巴布什金	l —过滤器长度 (m)
				

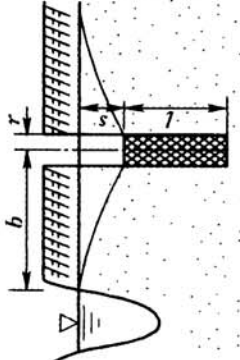
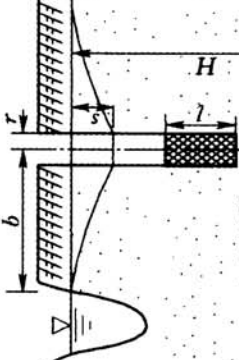
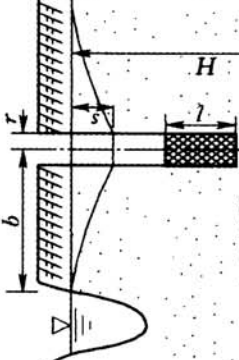
续表 D.0.2-1

示意图	计算公式	适用条件	公式提出者	备注
	$K = \frac{0.366Q}{l_s} \lg \frac{0.66l}{r}$	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	

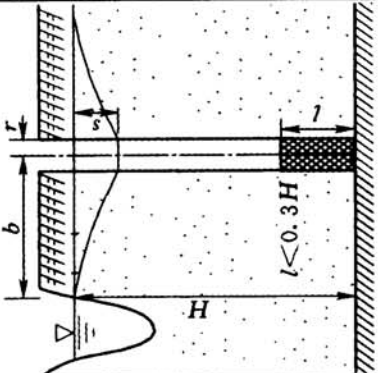
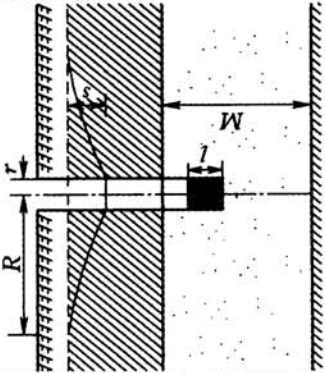
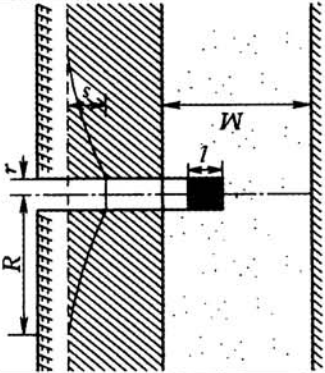
续表 D.0.2-1

示意图	计算公式	适用条件	公式提出者	备注
	$K = \frac{0.732Q}{s \left(\frac{l+s}{R \frac{l}{r}} + \frac{l}{\lg \frac{0.66l}{r}} \right)}$	1. 潜水; 2. 非淹没式过滤器; 3. $l < 0.3H$	巴布什金	
	$K = 0.732Q \div \left[s \left(\frac{l+s}{\lg \frac{2b}{r}} + \frac{l}{\lg \frac{0.66l}{r} + 0.25 \frac{l}{m} \lg \frac{b^2}{m^2 + 0.14}} \right) \right]$	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	m —由含水层底板到过滤器有效工作部分中点的长度 (m)

续表 D.0.2-1

示意图	计算公式	适用条件	公式提出者	备注
	$K = \frac{0.732Q}{s \left(\frac{l+s}{\lg \frac{2b}{r}} + \frac{0.66l}{\lg \frac{0.66l}{r}} - 0.22 \operatorname{arsh} \frac{0.44l}{b} \right)}$	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	
	$K = \frac{0.732Q}{s \left(\frac{l+s}{\lg \frac{2b}{r}} + \frac{0.66l}{\lg \frac{0.66l}{r}} - 0.11 \frac{l}{b} \right)}$	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	
	$K = \frac{0.16Q}{l_s} \left(2.3 \lg \frac{0.66l}{r} - \operatorname{arsh} \frac{0.45l}{b} \right)$	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	

续表 D.0.2-1

示意图	计算公式	适用条件	公式提出者	备注
	$K = \frac{0.16Q}{l_s} \left(2.3 \lg \frac{1.32l}{r} - \operatorname{arsh} \frac{0.9l}{b} \right)$	1. 潜水; 2. 靠近河流; 3. 过滤器在含水层底板; 4. $l < 0.3H$	巴布什金	
	$K = \frac{Q}{2\pi sM} \left(\ln \frac{R}{r} + \frac{M-l}{l} \ln \frac{1.12M}{\pi r} \right)$	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. $l > 0.2M$		
	$K = \frac{Q}{2\pi sM} \left[\ln \frac{R}{r} + \frac{M-l}{l} \ln \left(1 + 0.2 \frac{M}{l} \right) \right]$	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	

续表 D.0.2-1

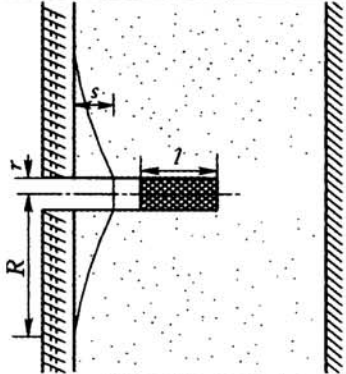
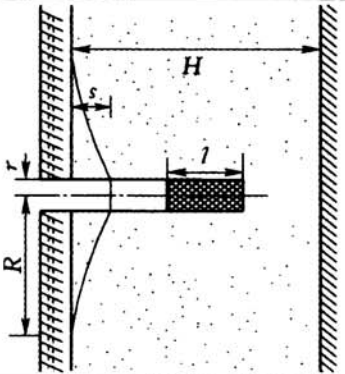
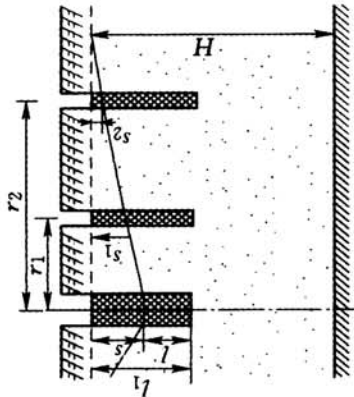
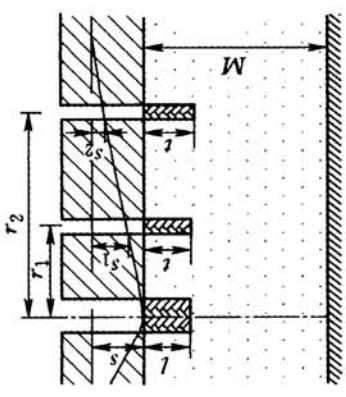
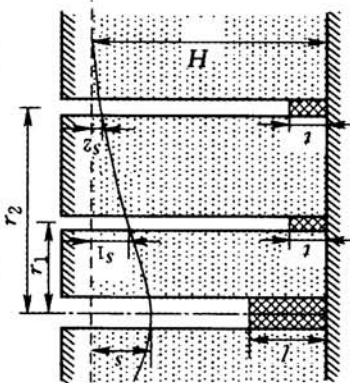
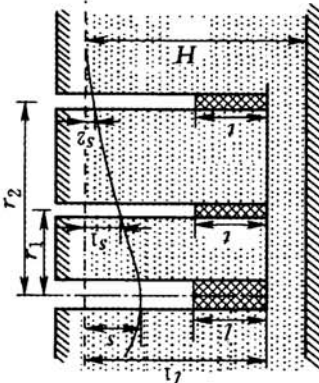
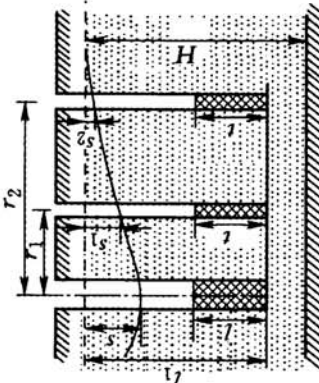
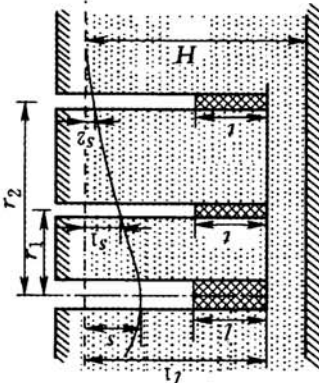
示意图	计算公式	适用条件	公式提出者	备注
	$K = \frac{0.366Q}{(s+l)s} \lg \frac{R}{r}$	1. 潜水; 2. 过滤器在含水层中部	斯卡巴拉 诺维奇	
	$K = \frac{0.732Q}{(H+l)s} \lg \frac{R}{r}$	1. 潜水; 2. 过滤器在含水层下部	多布诺沃 里斯基	

表 D.0.2-2 稳定流非完整孔多孔抽水试验渗透性参数计算

示意图	计算公式	适用条件	公式提出者
	$K = \frac{0.16Q}{l(s_1 - s_2)} \left(\operatorname{arsh} \frac{l}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l}{r_2} \right)$ <p>式中 $l = l_1 - 0.5(s_1 + s_2)$</p>	1. 潜水; 2. 抽水孔为非淹没式过滤器; 3. $l < 0.3H$; 4. $s < 0.3l_1$; 5. $r_1 = 0.3r_2$, $r_2 \leq 0.3H$	吉林斯基
	$K = \frac{0.16Q}{l(s_1 - s_2)} \left(\operatorname{arsh} \frac{l}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l}{r_2} \right)$	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. $t = l$	吉林斯基
	$K = \frac{0.16Q}{l(s_1 - s_2)} \left[\left(\operatorname{arsh} \frac{l}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l}{r_2} \right) - \frac{l}{M} \left(\operatorname{arsh} \frac{M}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{M}{r_2} - \ln \frac{r_2}{r_1} \right) \right]$	1. 承压水; 2. $l > 0.3M$	纳斯别尔格

续表 D.0.2-2

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. $t \leq 0.5H$	巴布什金
	$K = \frac{0.08Q}{l_0(s_1 - s_2)} \times \left[\left(\operatorname{arsh} \frac{0.4l_0}{r_1} + \operatorname{arsh} \frac{1.6l_0}{r_1} \right) - \left(\operatorname{arsh} \frac{0.4l_0}{r_2} + \operatorname{arsh} \frac{1.6l_0}{r_2} \right) \right]$ $l_0 = l_1 - 0.5(s_1 + s_2)$	1. 潜水; 2. 过滤器在含水层中部; 3. $l < 0.3H$; 4. $r_2 < 0.3H$; 5. $t = l$	吉林斯基
	$K = \frac{Q}{2\pi l_0(s_1 - s_2)} \left[\left(\operatorname{arsh} \frac{l_0}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l_0}{r_2} \right) - \frac{l_0}{H} \left(\operatorname{arsh} \frac{H}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{H}{r_2} - \ln \frac{r_2}{r_1} \right) \right]$	1. 潜水; 2. $l > 0.5H$	纳斯别尔格
	$K = \frac{0.366Q}{(2s - s_1 - s_2 + l)(s_1 - s_2)} \lg \frac{r_2}{r_1}$	1. 潜水; 2. 过滤器位于含水层中部	斯卡巴拉诺维奇

续表 D.0.2-2

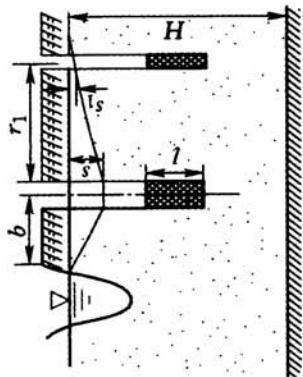
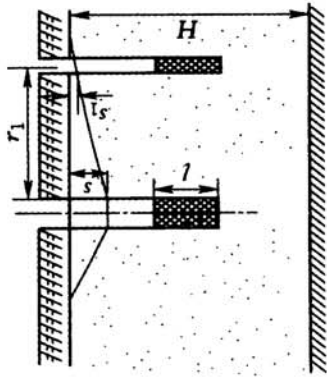
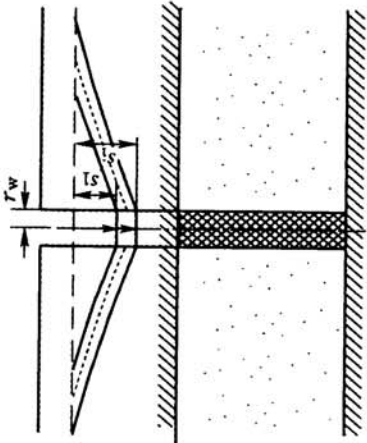
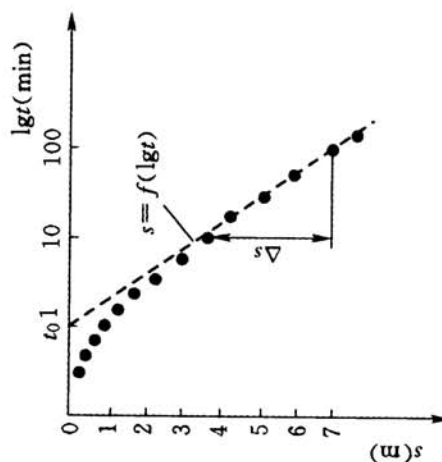
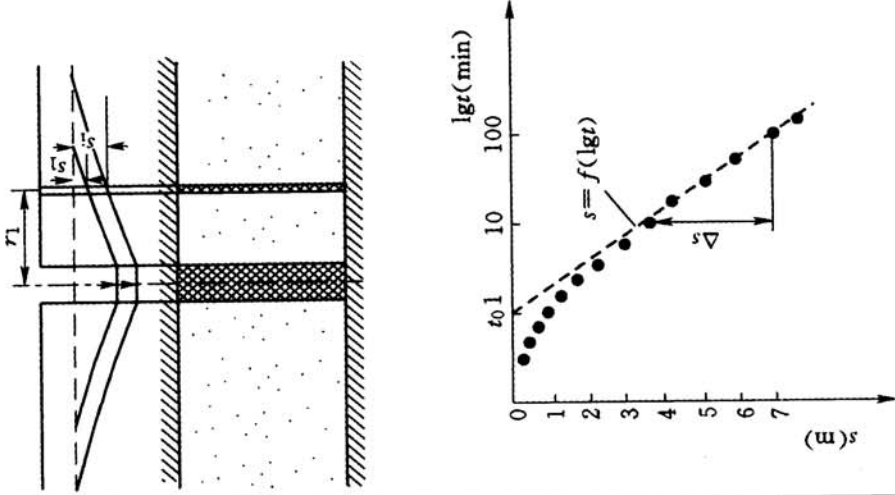
示意图	计算公式	适用条件	公式提出者
	$K = \frac{0.16Q}{l_{s1}} \left(\operatorname{arsh} \frac{l}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l}{2b \pm r_1} \right)$	1. 潜水; 2. 过滤器位于含水层中部; 3. 靠近河流; 4. 观测线垂直岸边且在远河一侧 $(2b + r_1)$ 或近河一侧 $(2b - r_1)$; 5. $l < 0.3H$	巴布什金
	$K = \frac{0.16Q}{l_{s1}} \left(\operatorname{arsh} \frac{l}{r_1} - \operatorname{arsh} \frac{l}{\sqrt{4b^2 + r_1^2}} \right)$	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

表 D.0.3-1 承压含水层完整孔非稳定流抽水试验水文地质参数计算

示意图	计算公式	适用条件	确定参数的工作步骤
	$T = \frac{0.183Q}{i}$ $\mu^* = \frac{2.25Tt_0}{r_w^2}$ $K = \frac{T}{M}$	<p>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)</p>	<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



续表 D.0.3-1

示意图	计算公式	适用条件	确定参数的工作步骤
	$T = \frac{0.183Q}{i}$ $\mu^* = \frac{2.25Tt_0}{r_1^2}$ $K = \frac{T}{M}$	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 $\frac{r_1^2}{4at} \leq 0.05$ （时间-降深直线图解法）	1. 根据抽水开始后不同时刻观测孔的降深绘出 $s - \lg t$ 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

续表 D.0.3-1

示意图	计算公式	适用条件	确定参数的工作步骤
	$K = \frac{Q}{4\pi M} \frac{[W(u)]}{[s]}$ $\mu^* = \frac{4T[t]}{r_1^2 \left[\frac{1}{u} \right]}$	无越流，承压完整孔，有一个观测孔定流量抽水（时-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大部分重合为止；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. 将重合点坐标代入公式计算出 K，μ^*

表 D.0.3-2 承压含水层完整孔非稳定流抽水试验水位恢复法水文地质参数计算

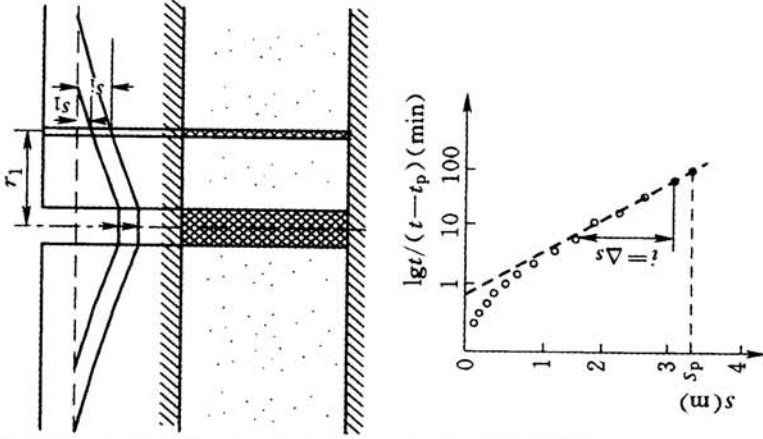
示意图	计算公式	适用条件	确定参数的工作步骤
 <p>The diagram illustrates a well in a confined aquifer. It shows the well casing, the water level in the well, and the recovery curves. A semi-log plot is shown with the y-axis labeled $\lg t/(t-t_p) (\min)$ and the x-axis labeled $s (m)$. The plot shows a series of data points forming a straight line with a slope of 1. The y-axis has major ticks at 0, 1, 2, 3, and 4. The x-axis has major ticks at 1, 10, and 100. A dashed line indicates the slope of the data points.</p>	$T = \frac{0.183Q}{i}$ $\alpha = 0.44 \frac{r_1^2}{t_p} 10^{-\frac{s}{i}}$ $\mu^* = \frac{T}{\alpha}$ $K = \frac{T}{M}$	<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 $\frac{r_1^2}{4at} \leq 0.05$</p>	<ol style="list-style-type: none">1. 利用水位恢复资料绘出 $s - \lg t/(t-t_p)$ 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 求出贮水系数 μ^* 和渗透系数 K

表 D.0.3-3 潜水含水层完整孔非稳定流抽水试验水文地质参数计算

计算公式	适用条件	确定参数的工作步骤
$T = \frac{Q}{4\pi[s]} \left[W\left(u_A, \frac{r}{D_i}\right) \right] \quad (1)$ $\mu^* = \frac{4T[t]}{r^2 \left[\frac{1}{u_A} \right]} \quad (2)$ $T = \frac{Q}{4\pi[s]} \left[W\left(u_y, \frac{r}{D_i}\right) \right] \quad (3)$ $\mu = \frac{4T[t]}{r^2 \left[\frac{1}{u_y} \right]} \quad (4)$ $\frac{1}{\alpha} = \frac{4t}{\left(\frac{r}{D_i}\right)^2 \left(\frac{1}{u_y}\right)} \quad (5)$ $\eta = \frac{\mu^* + \mu}{\mu^*} \quad (6)$	<p>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</p>	<ol style="list-style-type: none"> 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 (图 D.0.3)； 2. $\lg s = f(\lg t)$ 曲线重叠在标准曲线 A 上，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_i 值，根据重合点在两图上的坐标值 $[s]$、$[1/u_A]$、$[W(1/u_A, r/D_i)]$ 和 $[t]$，代入式 (1) 和式 (2)，即可确定 T 和抽水初期的瞬时储水系数 μ^* 值； 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； 5. 根据重合点的坐标值 $[s]$、$[1/u_y]$、$[W(u_y, r/D_i)]$ 和 $[t]$，代入式 (3)、式 (4)、式 (5)、式 (6)，即可确定导水系数 T，延迟贮水系数 (给水度)，延迟指数倒数和 η 值

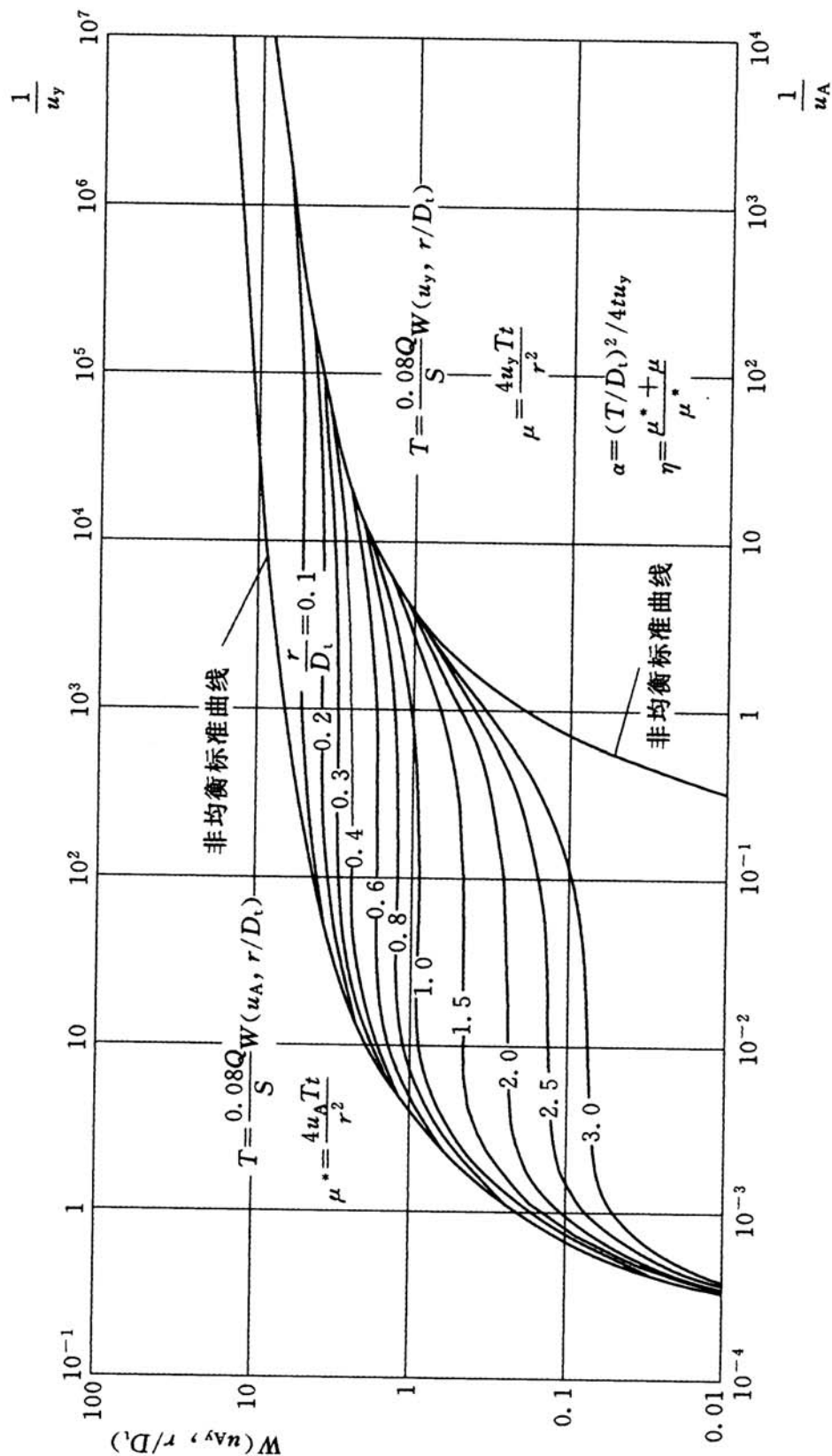


图 D.0.3 $\lg s = f(\lg t)$ 曲线

表 D.0.4-1 轴向各向异性含水层非稳定流抽水试验水文地质参数计算

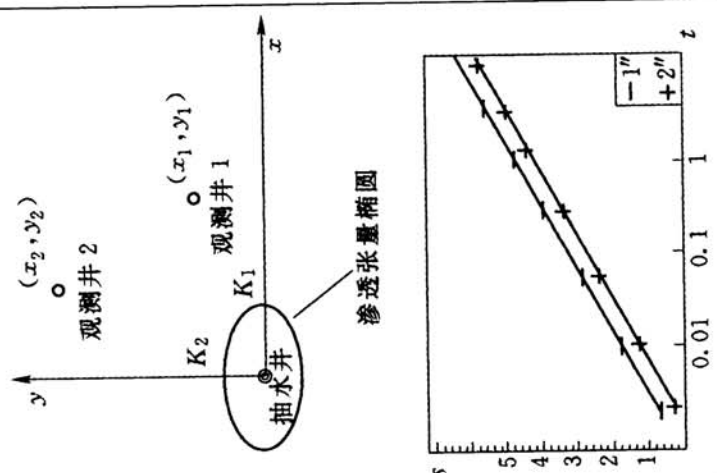
示意图	计算公式	适用条件	确定参数的工作步骤
	$K = \sqrt{K_x K_y} = \frac{1}{2} \times \frac{Q}{4\pi M} \left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2} \right)$ $\alpha = \frac{x_1^2 \frac{[t_2]}{[t_1]} - x_2^2 \frac{[t_1]}{[t_2]}}{y_1^2 \frac{[t_2]}{[t_1]} - y_2^2 \frac{[t_1]}{[t_2]}}$ $K_x = \sqrt{\alpha} \cdot K; K_y = K / \sqrt{\alpha}$	轴向各向异性含水层中完整孔定流量非稳定抽水, 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)	<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 $s=0$ 时的截距为 $[t_1], [t_2]$;3. 计算平均渗透性参数 K 和主渗透性参数 K_x, K_y

表 D.0.4-2 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

示意图	计算公式	适用条件	确定参数的工作步骤
	$K = \sqrt{K_x K_y} = \frac{1}{3} \times \frac{Q}{4\pi M} \left(\frac{1}{i_1} + \frac{1}{i_2} + \frac{1}{i_3} \right)$ $f(\theta) = [t_1]^2 (P_{y2} P_{x3} - P_{y3} P_{x2}) + [t_1] [t_2] (P_{y3} P_{x1} - P_{y1} P_{x3}) + [t_1] [t_3] (P_{y1} P_{x2} - P_{y2} P_{x1})$ <p>其中</p> $P_{yk} = (-x_k \sin\theta + y_k \cos\theta)^2,$ $P_{xk} = (x_k \cos\theta + y_k \sin\theta)^2$ $\left\{ \begin{aligned} & \left[\frac{(x_1 \cos\theta + y_1 \sin\theta)^2}{K_x} + \frac{(-x_1 \sin\theta + y_1 \cos\theta)^2}{K_y} \right] \mu^* \\ &= 2.25M [t_1] \\ & \left[\frac{(x_2 \cos\theta + y_2 \sin\theta)^2}{K_x} + \frac{(-x_2 \sin\theta + y_2 \cos\theta)^2}{K_y} \right] \mu^* \\ &= 2.25M [t_2] \\ & \left[\frac{(x_3 \cos\theta + y_3 \sin\theta)^2}{K_x} + \frac{(-x_3 \sin\theta + y_3 \cos\theta)^2}{K_y} \right] \mu^* \\ &= 2.25M [t_3] \end{aligned} \right.$	非轴向各向异性 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，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)	1. 分别做 3 个观测孔的 $s - \ln t$ 关系曲线； 2. 由 $s - \ln t$ 关系曲线图求出三直线的斜率 i_1 、 i_2 、 i_3 及 $s=0$ 时的截距为 $[t_1]$ 、 $[t_2]$ 、 $[t_3]$ ； 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的夹角； 4. 解方程组求得 K_x 、 K_y 和 μ^*

附录 E 稳定流抽水试验影响半径计算

E.0.1 当利用观测孔中的水位降深资料时，计算稳定流多孔抽水试验影响半径，可选用表 E.0.1 中相应的公式：

表 E.0.1 稳定流多孔抽水试验影响半径计算

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	裘布依 (Jules Dupuit)	
$\lg R = \frac{s_1 (2H - s_1) \lg r_2 - s_2 (2H - s_2) \lg r_1}{(s_1 - s_2) (2H - s_1 - s_2)}$	1. 潜水； 2. 两个观测孔	裘布依 (Jules Dupuit)	

E.0.2 计算稳定流单孔抽水试验的影响半径时，可采用经验数据取得，也可按表 E.0.2 选用相应的公式计算：

表 E.0.2 稳定流单孔抽水试验影响半径计算

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	t —时间 (d)； μ —给水度； λ —地下水水力坡降
$R = 2s \sqrt{HK}$	1. 潜水； 2. 概略计算	库萨金	
$R = \sqrt{\frac{12t}{\mu}} \sqrt{\frac{QK}{\pi}}$	1. 潜水； 2. 完整孔	柯泽尼	
$R = 3 \sqrt{\frac{KHt}{\mu}}$	潜水	威伯	
$R = \frac{Q}{2KH\lambda}$	1. 承压水； 2. 概略计算	凯尔盖	

本规程用词说明

1 为便于在执行本规程条文时区别对待，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”。

中华人民共和国能源行业标准

水电工程钻孔抽水试验规程

NB/T 35103—2017

代替 DL/T 5213—2005

条 文 说 明

制 定 说 明

《水电工程钻孔抽水试验规程》NB/T 35103—2017，经国家能源局 2017 年 11 月 15 日以第 10 号公告批准发布。

本规程是在《水利水电工程钻孔抽水试验规程》DL/T 5213—2005 的基础上修订而成，上一版的主编单位是成都勘测设计研究院，参编单位是河海大学，主要起草人员是杨建、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。

本规程修订过程中，编制组进行了广泛调查研究，研究各典型工程实例，总结了我国工程建设水电领域的实践经验，同时参考了国内相关的技术法规和规程等资料。

为便于广大勘察、设计、施工、科研、学校等单位有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《水电工程钻孔抽水试验规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，对条文规定的目的、依据以及执行中需注意的有关事项进行了说明。但是，本条文说明不具备与规程正文同等的法律效力，仅供使用者作为理解和把握规程规定的参考。

目 次

3 基本规定..... 60

4 试验设备..... 67

 4.1 过滤器 67

 4.2 水泵 67

 4.4 测试工具 68

5 现场试验..... 69

 5.1 钻孔 69

 5.2 设备安装 69

 5.3 试验抽水 70

 5.4 稳定流抽水试验 70

 5.5 非稳定流抽水试验 71

6 试验资料整编..... 72

 6.1 渗透性参数计算 72

3 基本规定

3.0.1 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“壅水”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。

对单孔抽水试验与多孔抽水试验的选择，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，有必要布置一定数量的多孔抽水试验。

3.0.2 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，同一观测线大于3个观测孔计算出来的渗透系数才较为可靠；若做非稳定流抽水试验，利用 $s - \lg t$ 关系曲线计算渗透性参数时，布置1个~2个观测孔就可以计算出渗透系数，利用 $s - \lg r$ 关系曲线计算渗透性参数时，一般情况下布置3个~4个观测孔才能达到较好的效果。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，因此每条观测线上的观测孔数最好不小于3个。岩溶地区抽水试验观测孔可以利用溶洞、落水洞、暗河和泉水等天然岩溶

形态和地下水出露点。

观测孔至抽水孔的距离，对于抽水孔为完整孔的抽水试验，主要是根据以下三个理由确定。

(1) 裘布依 (Jules Dupuit) 公式：

$$K = \frac{Q}{2\pi(s_1 - s_2)M} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (\text{承压水}) \quad (3-1)$$

$$K = \frac{Q}{\pi(2H - s_1 - s_2)(s_1 - s_2)} \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (\text{潜水}) \quad (3-2)$$

式中： M ——承压含水层的厚度 (m)；

H ——潜水含水层的厚度 (m)；

r_1 、 r_2 ——观测孔 1、2 至抽水孔间的中心距离 (m)；

s_1 、 s_2 ——观测孔 1、2 的水位降深值 (m)。

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) 当含水层渗透性良好，在进行大降升抽水时，抽水孔及其附近的一定范围内都会产生紊流，而裘布依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，布设观测孔尽量避开紊流的影响。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) 裘布依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。关于最远距离的观测孔，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即可，以便于资料的分析和采用多种方法计算渗透性参数。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。

3.0.3 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（本条根据水电工程地质勘察的实际情况，厚度的标准定为 15m），采用完整孔抽水较好。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用非完整孔抽水，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。

在水电工程地质勘察中，非均质层状含水层，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。本规程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：

$$K = \frac{Q}{2\pi l s} \ln \frac{al}{r} \quad (3-3)$$

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单层 (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, 即可满足巴布什金和吉林斯基公式条件。

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

$$K = \frac{Q}{4\pi ls} \operatorname{arsh} \frac{l}{2r} \quad (3-4)$$

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 $\frac{l}{r} \geq 10$), $\operatorname{arsh} \frac{l}{2r} \approx \ln \frac{l}{r}$, 即式 (3-4) 可改写成下式:

$$K = \frac{Q}{4\pi ls} \ln \frac{l}{r} \quad (3-5)$$

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。

在基岩地区具有中强透水性的裂隙岩体、断层破碎带和岩溶发育带, 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, 视具体条件, 根据势的叠加原理自行推导公式计算。

3.0.4 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）符合裘布依公式条件。

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是很大；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）较符合裘布依公式条件。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。

观测孔的过滤器放置在同一含水层、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。但是考虑到自然界中真正均质的含水层很少，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，所以本规程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。

3.0.5 稳定流抽水试验应进行三次降深，其主要理由如下：

(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（裘布依降深）；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。

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，主要理由如下：

(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。

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 1cm 的降深值相对误差为 2% ，从精度上讲，单孔抽水最小降深值不小于 0.5m ，保证了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，所以最小降深以最远观测孔来控制的 0.1m 的数字，是从现实设备条件出发考虑的最低要求。

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，裘布依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，是能够得到满足的。

3.0.6 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 $2\text{h}\sim 3\text{h}$ ，砾石层为 $4\text{h}\sim 6\text{h}$ ，砾砂及粗砂层为 $8\text{h}\sim 15\text{h}$ ，中、细砂层为 $10\text{h}\sim 24\text{h}$ ，粉砂层为 $15\text{h}\sim 32\text{h}$ ，砂岩、粉砂岩为 32h 。因此，在实际工作中的延续时间一般不少于 2h 。

4 试验设备

4.1 过滤器

4.1.6 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。

4.1.7 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，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，一般抽水量都较小，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。

4.1.9 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要严密封闭，做好止水措施。

4.2 水泵

在一般实际工作中，地下水水位小于 6m 时采用离心泵就可达到较好的试验效果；较深时选用深井泵或潜水泵或拉杆式水泵可达到较好的试验效果。

4.4 测试工具

4.4.1 修订后本规程明确提出了可采用自动仪器记录试验过程中的水位变化。采用自动仪器测量水位可以克服人为等外界因素的干扰，使得采集的试验数据更加真实可信。自动测量水位仪器的原理是通过仪器的传感器系统测试井孔中水压力的变化，并将采集到的信号转换为数字信号，传送到数据采集系统。

自动化仪器的传感器系统由一个压力传感器、数据处理传输模块和外壳构成。压力传感器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。主体工艺先进，密封固化措施完善，能满足防潮、防水、防爆、防腐、防尘等恶劣工况要求。

压力传感器有以下主要特性：体积小，重量轻；精度高，稳定性好；电路可靠，响应速度快；防结露；防电磁干扰。

5 现场试验

5.1 钻 孔

5.1.2 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，最好先钻造抽水孔。在抽水孔的结构确定之后，才方便确定观测孔的结构。

5.1.3 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工程勘探设备条件，对于松散含水层的抽水孔口径最低要求不能小于 168mm。

5.1.4 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。

5.2 设备 安 装

5.2.6 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都要放置在动水以下的同一深度。

5.3 试验抽水

5.3.1~5.3.3 在正式抽水试验前要对抽水孔及观测孔进行反复清洗，并进行试验抽水。试验抽水可以与洗孔相结合，因为试验抽水既能检查水泵、动力等设备运转是否正常，又能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。

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。

5.3.5~5.3.6 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。

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，校核静水位的要求就是这样提出来的。

5.4 稳定流抽水试验

5.4.1 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。

岩溶地区抽水试验前最好详细调查井（孔）周边岩溶裂隙或岩溶管道的发育情况，并将抽出的地下水排向地下水径流方向的

下游，防止其通过岩溶通道又反流回抽水井或观测井内，从而得出错误的试验成果。

5.4.2 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况。

5.4.7 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，恢复水位的观测和非稳定流抽水试验的观测时间间隔一样，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。为了提高恢复试验的测量精度，本条文建议恢复水位可采用自动监测设备连续记录。

5.5 非稳定流抽水试验

5.5.2 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。根据尽量满足非稳定流公式“瞬时现象”的要求和考虑到目前测试技术水平，认为在抽水开始后 1min 进行观测可以满足计算要求。

6 试验资料整编

6.1 渗透性参数计算

6.1.1 各种原始观测孔记录的检查、校核，均要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。

6.1.2~6.1.3 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，所以要合理的选用计算公式。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，在本规程附录 C 中，将分层次地列出稳定流完整孔、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，仍为目前水电工程地质勘察常用的水文地质试验方法。本规程附录 D.0.1-1 和 D.0.1-2 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，根据抽水

试验关系曲线 $Q-s(\Delta h^2)$ 的不同类型，选用相应的公式进行计算。

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，可以直接选用公式计算 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，可以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，本规程推荐的公式是常用的裘依布依—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 $s-\lg r$ 应成直线关系：

$$s = \frac{Q}{2\pi KM} \ln R - \frac{Q}{2\pi KM} \ln r \quad (6-1)$$

只有用 $s-\lg r$ 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 $s(\Delta h^2)$ 值在 $s(\Delta h^2)-\lg r$ 关系曲线上能连成直线（见图 6-1）。

当然，由于水文地质条件的多样化，抽水试验获得的 $s-\lg r$ 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。

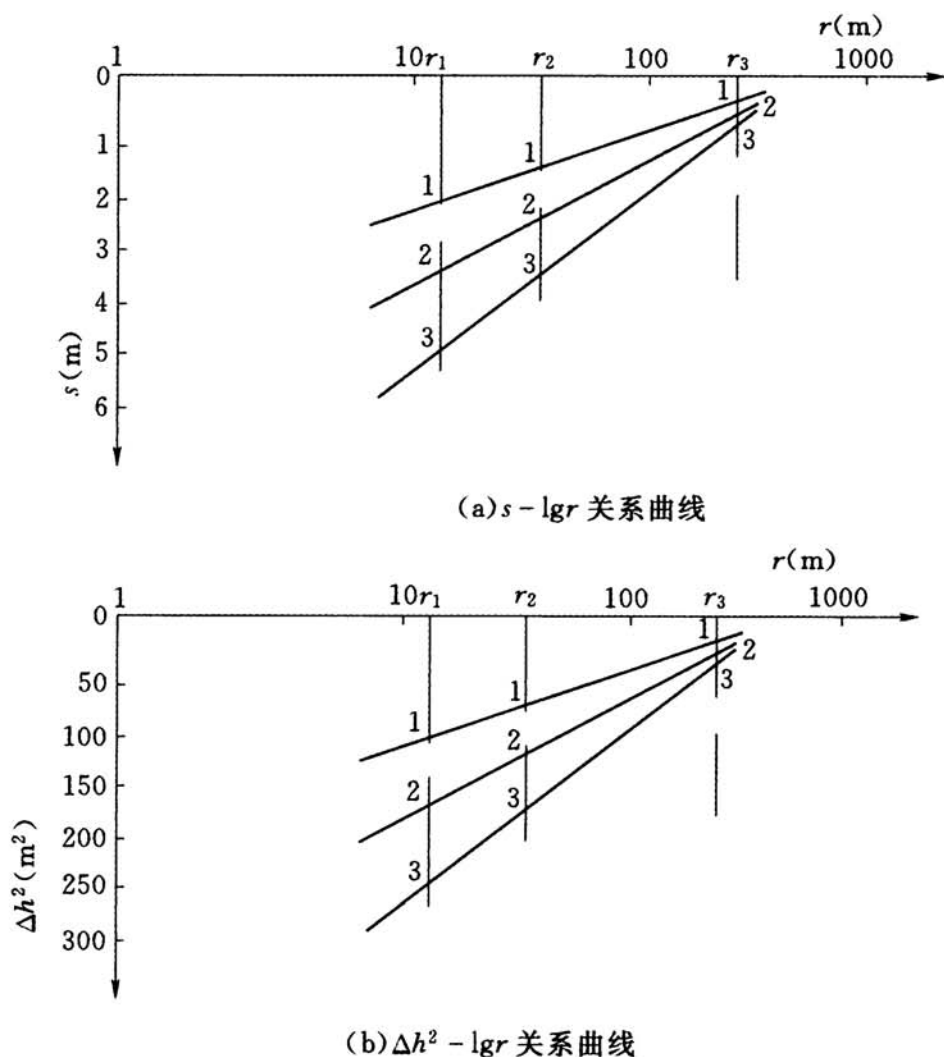


图 6-1 s(或 Δh²) - lgr 关系曲线示意图

(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叠段不应少于 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 $s - \lg t$ 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。为了便于分析渗流场特性，每次停止抽水后最好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。

6.1.4 稳定流多孔抽水试验的影响半径用裘布依公式可以求得，但由于裘布依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。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。
