

中华人民共和国水利行业标准

水利水电工程钻孔抽水试验规程

SL 320—2005

条 文 说 明

# 目 次

1	总则	52
3	基本规定	54
3.1	抽水试验设计	54
3.2	单孔试验与多孔试验	54
3.3	完整孔试验与非完整孔试验	56
3.4	抽水试验基本技术要求	58
4	设备	61
4.1	过滤器	61
4.2	抽水设备	62
4.3	测试工具	62
5	现场工作	64
5.1	钻探	64
5.2	设备安装	64
5.3	洗孔、试验抽水和观测静水位	65
5.4	稳定流抽水试验	65
5.5	非稳定流抽水试验	66
5.6	试验现场记录	67
6	试验资料整理	68
6.1	基本规定	68
6.2	渗透系数计算	69
6.3	影响半径计算	70
6.4	相关的水文地质条件分析	70
6.5	抽水试验报告	70

# 1 总 则

**1.0.1** 抽水试验的目的(任务)除为确定含水层渗透性外,本次修订增加了了解相关的水文地质条件的内容。其主要原因是,一次抽水试验的经费相当可观,准备工作也很繁琐,还必须要有适用的抽水设备。抽水试验资料分析、解释、整理和计算还受含水层的均匀性、各向异性、边界条件以及地下水状态等影响。因此,通过抽水试验及采用具有一定假设条件的计算公式所确定的水文地质参数,对于某一含水层,特别是基岩含水层(或岩体),并不一定都是完全准确的成果。但从另一方面看,通过抽水试验,特别是多孔试验所取得的抽水孔出水量与观测孔降深的关系,以及由各观测孔降深所确定的降落漏斗形态特征分析,都可以使之获得十分丰富的与含水层渗透性相关的水文地质条件信息,而这种信息又可直接为工程所采用。例如,在本次修订规程分析有关资料时发现,在近年来的水利水电工程地质勘察中,已经有一些工程对基岩都做过钻孔(或竖井)抽水试验,多数在石灰岩地区,部分在碎屑岩地区。他们在多孔试验中共同关注的是:除测定含水层的渗透系数外,还极为重视了解相关的水文地质条件,如:岩体渗透性的各向异性,地下水与地表水及各含水层间的水力联系,以及抽水试验影响范围的边界条件及其渗透性的判定等。并以此成果为工程的防治决策和渗控设计提供了重要依据。比较典型的工程实例为黄泥河上的鲁布革水电站,主要地层为三迭系中统关岭组白云岩,岩溶不甚发育,岩层走向垂直河流,倾向下游,倾角 $25^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 。抽水试验在河流左岸1个近30m深的竖井中进行,竖井底低于当地河水位28m。抽水共进行了三次降深,其中的一次降深( $S$ )为4m,出水量( $Q$ )约为6L/s,抽水时对两岸10余个钻孔均进行了地下水位同步观测。试验后编制了等水位线图和流网图。经分析认为,该图反映了一定的水文地质特征即相关

的水文地质条件。该抽水岩层的渗透性具有明显的各向异性，等水位线呈多边形，每个角都反映出是一个地下水洼槽，其所指则是一个渗透性较强的方向；抽水井的水位下降与所有观测孔的水位下降同步，反映出坝址区岩层渗透性虽然极不均一，但仍属统一含水层；在河流左岸岸边的抽水使 190m 以外的右岸钻孔地下水位下降，反映出在抽水过程中右岸地下水是通过河床下部的岩溶通道补给抽水井的，此种渗透形式，对河流来说，具有地下水“跨越”流性质；坝址区内在抽水井附近通过并与河流成小角度斜交的一条较大断层，在抽水过程中沿其展布之处并未形成地下水洼槽，从而更进一步说明沿该断层岩溶发育不显著，透水性不强烈。其他还有如彭水、大化、小浪底、南水北调东线横穿黄河等工程，通过多孔抽水试验观测资料绘制的地下水等水位线图的分析，同样反映出各含水岩层渗透性的各向异性和含水层间的水力联系，以及断层带的阻水性或透水性。由上述可见，本次关于抽水试验目的（任务）的修订所增添的内容是有工程实践基础的，同时也是很必要的。

**1.0.2** 本标准是一个工作方法的标准。因此，它对在水利水电工程地质勘察中，以确定含水层渗透系数和了解相关水文地质条件为目的而进行的钻孔抽水试验工作都适用；但对水利水电工程地质勘察中，根据需要进行的施工和生活用水水源勘察中的抽水试验工作不适用。

## 3 基 本 规 定

### 3.1 抽 水 试 验 设 计

**3.1.1、3.1.2** 钻孔抽水试验是测定含水层渗透系数的相对准确的方法，同时还可以通过资料分析了解相关的水文地质条件。但试验需要较长的时间和较多的经费，试验孔和观测孔的位置、结构、试验方法都需要进行合理的选择，还需要专用的器材设备，因此，试验前必须做好抽水试验设计。为了更突出其重要性，将抽水试验设计的内容条款移至“基本规定”之中，即现在的3.1.1条、3.1.2条。此外，还补充了有关地质、水文地质资料的具体要求，这是试验设计的基础，也是试验成功的保障。

### 3.2 单孔试验与多孔试验

**3.2.1** 以工程区地质、水文地质条件的复杂程度和对工程的影响大小作为布置抽水试验，特别是选择单孔试验或是多孔试验的原则，这主要是根据一定的工程实践经验而提出的。例如，南水北调东线工程，其穿黄枢纽的水文地质条件复杂，含水层除河流冲积层外，尚有两层寒武纪灰岩裂隙岩溶含水层，在规划阶段就曾为当时提出的三条线路比较布置了抽水试验，而且是专门性的、具有相当规模的多孔抽水试验。试验成果主要包括：了解张夏、崮山、覆盖层等三个含水层间以及地下水与地表水间的水力联系；预测输水洞线附近的最大可能涌水量；计算张夏阶灰岩的渗透系数；了解主要透水构造、岩溶发育程度以及发育方向等，从而为工程线路比较提供了一个方面的重要依据。此外，本条中强调了对具有复杂水文地质条件的含水层，特别是基岩裂隙岩体或岩溶岩体的抽水试验应选择多孔试验方法进行，其主要原因是：多孔试验比单孔试验具有明显的优越性，主要表现在：

(1) 它可以避开紊流、三维流的影响，也可以避开由于抽水

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系数,无需考虑难以确定的抽水影响半径,需要时还能较准确地计算出影响半径。

(4) 可以根据观测孔降深资料绘制试验过程中任意时刻的等水位线图和降落漏斗剖面图,从而可使判断含水层渗透性的各向异性和含水层间的水力联系成为可能。

实践证明,在某些工程的基坑开挖过程中,根据实测的最大出水量反求的渗透系数,与通过多孔抽水试验所确定的渗透系数相比,其相对误差大多数为5%~10%左右。

**3.2.2 多孔抽水试验观测线布置**,以往有关抽水试验的标准或手册一般均提出有1~4条的布置型式。在前次标准修订中,曾为此搜集到水利水电工程的13组多孔抽水试验资料,针对观测线布置型式的统计表明,布置1条观测线和2条观测线的占85%以上。本次修订时,经了解情况无变化,所以本标准对观测线的布置条数原则未改变。

关于观测线的方向问题,标准中提出的原则是从确定含水层渗透系数出发的,一条观测线垂直地下水流向布置,确定的渗透系数较合理。原建筑工业部勘察院在《用抽水试验测定水文地质参数的原理和方法的研究》一文中导出,在无限含水层中,有地下径流的情况下,抽水时含水层任一点的水头损失公式为:

$$S = \frac{Q}{2\pi KM} e^{Vr \cos \theta / 2\alpha} K(Er) \quad (1)$$

式中:  $\theta$  为观测孔布置方向与地下水流向间的夹角。当  $\theta = \frac{\pi}{2}$  或  $\theta = \frac{3\pi}{2}$  时,即观测线垂直地下水流向时,  $\cos \theta = 0$ , 则式中的  $e^{Vr \cos \theta / 2\alpha} = 1$ , 反映出地下水流向对计算参数没有影响。为修订本标准的专门试验资料也证明,在垂直地下水流向方向的三维流场的形态远较平行地下水流向方向的简单得多。

非均质各向异性松散含水层和构造发育与岩溶发育的含水岩体,由于岩性、构造的影响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,所以规程中对此种情况的观测线布置单独作出了规定。

**3.2.4 观测孔至抽水孔的距离**,主要是根据下列三个方面的影响因素确定的:

(1) 裘布依公式:

$$K = \frac{Q}{2\pi(S_1 - S_2)M} \ln \frac{r_2}{r_1} \text{ (承压水)} \quad (2)$$

$$K = \frac{Q}{\pi(2H - S_1 - S_2)(S_1 - S_2)} \ln \frac{r_2}{r_1} \text{ (潜水)} \quad (3)$$

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,为使各观测孔都能取得较大降深值,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,布设观测孔必须考虑避开紊流的影响。紊流区的范围根据部分勘测设计院的试验研究资料证明,一般为  $1 \sim 3\text{m}$ 。

(3) 裘布依公式也没有考虑钻孔附近的三维流场所造成的水头损失。根据陈雨孙在《单井水力学》(中国建筑工业出版社,1977年)中所提供的理论研究成果,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上达含水层厚度 4 倍以上,垂直地下水流向方向上约等于含水层厚度的 2 倍。

### 3.3 完整孔试验与非完整孔试验

**3.3.1 新增条文**,要求分层抽水时对每个试验含水层和相邻含水

层间都应进行止水隔离,以达到真正分层抽水的目的。这是判断相邻含水层间水力联系的前提条件。

**3.3.2 抽水孔采用完整孔还是非完整孔**,主要取决于含水层厚度和含水层在垂直方向上的均一性。一般情况下,如果含水层比较均一,而且厚度又不很大时(本标准根据水利水电工程地质勘察的实际情况,厚度大、小分界的标准定为15m),采用完整孔抽水较适合。众所周知,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系数。但是厚度过大的含水层,采用完整孔抽水则有较多困难,其中最主要的是过长的过滤器起拔困难,因为抽水孔出水量与过滤器长度,在一定范围内成正比关系,过滤器越长,抽水孔出水量越大,水位可能降不下去,以致无法进行试验。

**3.3.4 非均质层状含水层**,在水利水电工程地质勘察中,经常要求分别测定每一个单层的渗透系数。以往有些工程为解决此问题,采用将过滤器置于哪一层,计算所得渗透系数就认为是哪一层的,这显然是存在一定问题的。本标准提出的要求可以部分地改善以往存在的问题。原因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:

$$K = \frac{Q}{2\pi lS} \ln \frac{al}{r} \quad (4)$$

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

本标准推荐了这一公式。式(4)是采用线汇流理论,对在无限厚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倍以上情况,视为无限厚含水层来考虑的。本条规定为求得某一单层(段)的渗透系数,可将过滤器置于单层中部其长度不大于1/3单层厚度,即是为满足巴布什金和吉林斯基公式条件而提出的。实际上式(4)的推导,直接得出的渗透系数表达式为:

$$K = \frac{Q}{4\pi lS} \operatorname{arsh} \frac{l}{2r} \quad (5)$$

显而易见，式（5）运算是方便的，但当过滤器长度较钻孔半径大得多时， $\operatorname{arsh} \frac{l}{2r} \approx \ln \frac{2l}{2r}$ ，即式（5）可改写成式（6）：

$$K = \frac{Q}{4\pi S} \ln \frac{l}{r} \quad (6)$$

根据现行抽水试验多采用 108~146mm 直径过滤器的实际情况，原规程规定了过滤器长度不宜小于 2m，单层（分段）厚度（长度）小于 3m 时，不宜进行分段抽水试验虽然是正确的，但其精度余度比较大。例如，当取  $r$  为 0.054m，取  $l$  为 2m 时， $\frac{l}{2r} = 18.5$ （两函数差值为 0.00075）；取  $r$  为 0.054m， $l$  为 1m 时， $\frac{l}{2r} = 9.26$ （两函数差值为 0.003）。可见在  $l$  取值不小于 1m 的情况下，即非均质层状含水层单层厚度在不小于 3m 的情况下，采用非完整孔进行分段抽水不仅是可行的，而且精度上也能得到保证。

### 3.4 抽水试验基本技术要求

**3.4.1** 严格的数学解虽然证明了抽水孔内水位符合裘布依公式，但“严格解”的内边界条件却存在着明显的问题，例如，将孔内水位以下的任一点的势都视为常数，及自由渗出段上任一点的势都等于自由水面线与抽水孔壁交点的纵坐标值（抽水孔中心线为纵轴，横轴为含水层底板线）等不符合实际情况。此外“严格解”也没有考虑抽水孔内及其附近产生紊流的影响。因此，抽水孔内降深实际上和裘布依公式降深不一致，前者大，后者小。本标准再次强调应在抽水孔过滤器外壁设置测压管就是从上述考虑出发的。

**3.4.2** 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或潜水含水层完整孔，理论和实践均证明了，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管深度的关系也极其密切。

对承压含水层完整孔,当吸水管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(式中: $M$  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:当吸水管位于含水层上部时,过滤器壁上不同深度水头值变化不很大;当吸水管位于含水层中部时,吸水管上部、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,中部、上部的水头值比较接近,下部的水头值显著的低于中部、上部的,其相差数值还与地下水的流向密切相关。

鉴于上述情况,不论是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、室外的试验证明,综合管(与抽水孔过滤器等深等齐的观测管)的水头和含水层中部、上部的水头基本相等,基于上述事实,所以本标准仍规定测压管和观测孔过滤器长度和深度应与抽水孔过滤器的长度和深度相同。

**3.4.3 新增条文。**其目的是在多孔试验的分层抽水中,通过如此布置的观测孔段动水位同步观测资料来判断试验含水层与其相邻含水层间的水力联系。

**3.4.4** 一项专门试验研究资料表明,抽水孔中吸水管放置的位置,对涌水量和降深的关系有较明显的影响,同时,还影响吸水管上部和下部的水头分布。一般情况下,随着吸水管深度的增加,其上部和下部的水头差值越来越大。因此,本标准规定吸水管在各次降深中均宜放在同一深度,同时,其具体位置宜在动水位以下一定深度。

**3.4.5** 强调了观测孔和抽水孔在抽水前和抽水中,抽水孔和观测

孔中的静水位和动水位、动水位和出水量均应同步观测，目的是能完整地获得抽水孔出水量与抽水孔及各观测孔动水位之间的相互关系。

**3.4.6** 恢复水位观测的时间间隔，在最初的 10min 内，本标准的规定是间隔 1min 的测 4 次，间隔 2min 的测 3 次，这是根据目前地下水测试工具的现状做出的最低标准的要求。今后随着测试工具的改进与普及，可将最初的时间间隔缩短至 10~30s，以使其更能反映出恢复水位在最初时间里的真实变化情况。

**3.4.11** 天然水位观测点是为校核静水位而设定的。静水位是相对动水位而言的，实际上静水位并不是静止的，只是在外界条件（如河水涨落、降雨等）改变较少的情况下，相对没有变化。但是当外界条件在抽水试验过程中发生变化时，静水位也必然发生相应的变化，校核静水位的要求就是这样提出来的。本次修订把它做为一个环境变化条件提出来，校核的原则与原规程一致。

## 4 设 备

### 4.1 过 滤 器

**4.1.1** 与原规程相比,本条内容基本未变,但与《供水水文地质勘察规范》(GB 50027—2001)的规定则有所不同。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、选料或是填砾过程都很复杂、很困难,在水利水电工程勘察中就更困难。所以本标准仅在粉细砂含水层中的抽水试验中提出了宜采用填砾过滤器,其他含水层中都不采用填砾过滤器。

**4.1.2** 与原规程相比,本条内容基本未改变,但与 GB 50027—2001 的规定相差较大。原因是在水利水电工程勘察的抽水试验中,为了避免在抽水时形成孔内、孔外过大的水位差值(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,有的单位骨架管孔隙率达到 43%,过滤器起拔时也没有发生断开现象。因此,本标准规定的骨架管孔隙率仍然与原规程不宜小于 30% 的规定是一致的。

**4.1.3** 与原规程相比,本条内容有较大改动,主要是根据 GB 50027—2001 进行修改的。GB 50027—2001 在相应条文的说明中指出,我国多年的勘察实践表明,原苏联国家规范(实为原苏联列宁格勒水电设计院系统中的规范)对非填砾过滤器进水缝隙(实际也包括网眼)尺寸的规定是符合抽水孔实际情况的。修改后的有关规定基本与 GB 50027—2001 相应条文内容相同,仅是在本标准中删去了其中以不均匀系数划分颗粒均匀含水层和颗粒不均匀含水层的“ $\leq 2$ ”和“ $> 2$ ”的具体标准。原因是目前一般情况下该值是以“5”为界。但本标准对“2”或“5”都不列入,目的是为专业人员根据每个工程的具体情况进行选择留有余地。

**4.1.5** 原规程相应内容条文,有关填砾过滤器的砾石直径规定得比较粗,范围值较大,不易操作,本标准采用了 GB 50027—2001

中的相应规定，仅有一处做了部分改动，即填砾过滤器滤料的不均匀系数  $c_u$  数值“宜小于或等于 2”改为“不宜大于 5”。根据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，又可有利于滤料的制备和降低成本。

**4.1.6~4.1.7** 过滤器骨架管外径的确定，主要取决于出水量、钻探的困难程度以及填砾过滤器的滤料层厚度等。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 73~89mm，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，以本标准规定的填砾料厚度不应小于 50mm 为例，以最小的 73mm 骨架管计算此时填砾过滤器的外围直径尺寸，即已达 173mm，显而易见，此时如采用跟管钻进，则再不能采用 168 mm 套管，而只能用 219 mm 套管跟进。众所周知，在水利水电工程地质勘察中，这种勘探工艺需要克服较大困难。

**4.1.9** 在一定条件下，过滤器工作管不接出孔口（孔口以下一定深度内为护壁套管）有利于抽水设备的选择。

## 4.2 抽 水 设 备

**4.2.2** 主要指大水泵的进水管受抽水孔过滤器内径小的限制而无法进行抽水时，为能继续使用较大的水泵抽水而能达到一定的出水量，可采取措施仅将进水管改小（但不能超过进水管公称口径的 2 级）继续进行抽水，经验证明可以达到较大的出水量，例如，采用 100mm 规格的水泵泵体和 50mm 的进水管进行抽水，其出水量仍可达到该种类型水泵额定出水量的 2/3 左右。

## 4.3 测 试 工 具

**4.3.2** “当出水量不小于  $0.001\text{m}^3/\text{s}$  时，宜选用三角堰或水表”。选用水表是本次修订中提出的，其理由是：① 水表能保证足够的

精度，读数精度可达  $0.001\text{m}^3/\text{s}$ ；② 量程比较大，一般情况下，均能满足实测要求；③ 水表属钻场中常用的工具，使用方便。但水表在使用中需注意：进出水表前后的水管均应有一定长度的平直段。

## 5 现 场 工 作

### 5.1 钻 探

5.1.4 从松散含水层中抽水,由于中粗砂、砂砾石含水层钻孔涌水量一般都很大,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;粉细砂层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,为满足一定填砾厚度的需要,也需要有较大的抽水孔径方能满足试验要求。但也有的单位认为,即使确实需要较大口径的抽水孔,也不宜将其规定得太死。经全面考虑上述两方面的意见后,在本标准修订时,对松散含水层的抽水孔孔径的要求改为不宜小于 200 mm。

5.1.5 根据不完全统计,在水利水电工程地质勘察中,进行抽水试验的钻孔仅占 1%~5%左右,是极为有限的,对极少数做抽水试验的钻孔采取有效措施造孔是完全可以做到的,因此,在抽水试验孔段规定不应使用泥浆循环和植物胶冲洗液钻进的要求也是可行的。

### 5.2 设 备 安 装

5.2.6 正确确定空压机抽水沉没比是保证空压机抽水能够顺利进行并获得试验成功的一项重要工作。沉没比的含义是:混合器在动水位以下的深度与混合器至出水管口的高度之比。沉设比可按式(7)计算:

$$\beta = \frac{H_c - h_c}{H_c} \times 100\% \quad (7)$$

式中  $\beta$ ——沉没比,以百分数计(%);

$H_c$ ——混合器至出水管口的高度(m);

$h_c$ ——液气混合液上升高度,即扬程(m)。

### 5.3 洗孔、试验抽水和观测静水位

**5.3.6** 本标准规定的正式抽水前静水位观测的稳定标准,与《水利水电工程地质观测规程》(SL 245-1999)规定的钻孔稳定水位标准是一致的。

### 5.4 稳定流抽水试验

**5.4.1** 抽水孔测压管的降深值是计算渗透系数的基本数据之一。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。计算参数的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  $Q-S$  关系曲线或  $Q-\Delta h^2$  关系曲线判断,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。

**5.4.2** 对于单孔抽水,无论是理论上或是试验资料的对比,都说明降深值越小越符合现行公式的假定条件。但是在实际试验中,存在一个测量精度的问题。目前采用的电测水位计,实际精度为 1cm,对 1m 的降深值相对误差为 2%。本标准规定的单孔抽水最小降深值不宜小于 0.5m,从精度上讲,对于最小降深值即保证其相对误差不大于 4%。

对于多孔抽水的观测孔降深而言,它是随抽水孔距离的增加而逐渐减小的。因此,为了能保证测得的降深值都能满足一定的精度要求,最小降深以最远观测孔来控制,而 0.1m 的数字标准,则是从现有设备条件出发考虑的最低要求。

**5.4.3** 最大降深的限制,对承压水而言,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。对于潜水,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不大于  $25^\circ$  的情况下，是可以得到满足的。

**5.4.4** 松散含水层抽水的降低顺序一直存在着两种不同意见，即“从小到大”和“从大到小”。本标准规定的松散含水层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。

**5.4.6** 稳定流抽水试验降深是在人为控制的条件下进行测量的，其稳定标准实际是一个测量精确度问题，其主要影响因素是水位测量工具和抽水孔或观测孔的水位波动情况。因此，本标准根据不同的抽水设备对动水位的稳定标准作出了不同波动值的规定，既能保证资料精度，在实际试验中也是可行的。

**5.4.7** 修订后的本标准分别明确了单孔抽水试验和多孔抽水试验的稳定延续时间，并进一步规定了对于那些透水性弱的含水层抽水试验，应适当延长抽水的稳定延续时间。

## **5.5 非稳定流抽水试验**

**5.5.1** 抽水孔出水量保持常量的规定不是必须的，变流量的方法也可行。但通常总是以流量  $Q$  不变的解作为整理抽水试验资料方法的基础。这不仅是因为常流量的试验方法操作简便，而且还因为该方法应用广泛，资料丰富，研究的人员较多，时间较长，所以成熟度也高。本标准作出的有关规定，将有利于保证成果质量。

**5.5.3** 本标准规定的观测时间，是根据尽量能满足非稳定流公式

“瞬时现象”的要求，又考虑到目前测试技术水平实现时空高分辨的可能性程度而综合确定的。

## **5.6 试验现场记录**

**5.6.1、5.6.2** 为了便于检查现场记录是否齐全，便于资料的分析利用，这两条分别强调了统一试验现场安装、试验记录格式，以及稳定流抽水试验与非稳定流试验在现场应分别绘制相关函数曲线。

## 6 试验资料整理

### 6.1 基本规定

**6.1.1** 由于自然界地质及水文地质条件极为复杂,且目前对水文地质参数计算的经验总结和有关科研工作还不够深入,而抽水的情况和抽水试验的方法又多种多样,因此,本标准虽然根据不同试验方法和一定的试验条件提出了一些渗透性参数的计算方法,但仍有许多的计算方法都未涉及,例如:基岩裂隙含水层和岩溶含水层的渗透性、潜水含水层完整孔非稳定流抽水考虑滞后补给,以及承压非完整孔非稳定流抽水试验渗透系数和裂隙岩体渗透张量计算等。所以在进行以上抽水试验时,其计算公式及方法的选取,可以不受本标准提出的方法及公式限制,宜根据具体条件和公式的基本原理与适用条件合理地选用。

**6.1.2** 根据裘布依公式的假定条件,在潜水井流计算时是以流线倾角的正切来代替真实的水力坡度即流线倾角正弦值的,而正弦值与正切值当倾角超过一定界限时,其差值将是不可忽视的,所以在确定抽水孔附近降落漏斗坡度时,首先需明确允许误差是多少。从本条的实际问题考虑,确定其相对误差不超过10%,为此,本标准规定抽水孔附近下降漏斗坡度宜小于 $25^{\circ}$ ,见表1。

表1 正弦、正切值差值统计表

$\alpha (^{\circ})$	10	12	14	16	18	20	22	25	27	30
$\sin \alpha$	0.1737	0.2079	0.2419	0.2756	0.3090	0.3256	0.3746	0.4226	0.4540	0.5000
$\tan \alpha$	0.1763	0.2126	0.2493	0.2868	0.3249	0.3443	0.4040	0.4662	0.5095	0.5774
$\tan \alpha - \sin \alpha$	0.0026	0.0047	0.0074	0.0112	0.0159	0.0187	0.0294	0.0436	0.0555	0.0774
$\frac{\tan \alpha - \sin \alpha}{\sin \alpha}$ (%)	1.5	2.3	3.1	4.1	5.1	5.7	7.8	10.3	12.2	15.5

## 6.2 渗透系数计算

**6.2.1、6.2.2** 由于稳定流抽水试验的渗透系数计算公式都只适用于达西流和平面辐射流的条件,因此,只有当抽水试验关系曲线  $Q-S$  (或  $Q-\Delta h^2$ ) 呈直线时,才可以选用这些公式;当抽水试验关系曲线  $Q-S$  (或  $Q-\Delta h^2$ ) 呈曲线时,说明该试验“孔损”较大,在计算渗透系数时应首先校正这部分的影响。

所谓“孔损”,是指由于孔壁与滤水管的阻力,和地下水自孔周含水层的水平运动转化为滤水管内的垂直运动,以及流态的改变等而产生的、孔壁内外水位不一致现象所反映出来的水头损失。该水头损失是产生  $Q-S$  (或  $Q-\Delta h^2$ ) 关系呈曲线形式的主要原因。本标准规定宜采用截距法或插值多项式等方法消除此影响,就是保证通过对“孔损”的修正能够获得一个可以满足目前渗透系数计算公式适用条件的有效降深。当然,消除“孔损”的影响还可以采用其他一些方法,例如对  $Q-S$  多项式,其待定系数还可以采用联立方程法或最小二乘法等求得。

附录 B 所列的渗透系数计算公式,在选用时除应满足达西流及裘布依假定外,尚需注意满足或基本满足含水层均质和各向同性的条件。工程实践证明,附录 B 所列的公式,多数都比较适用于利用松散含水层中的抽水试验资料进行渗透系数计算,而利用基岩含水层抽水试验资料计算的渗透系数仅作参考。

**6.2.3、6.2.4** 邻河抽水试验是水利水电工程地质勘察中的一项重要试验,判断地表水体是否会和抽水孔发生水力联系,不仅对试验布置有重要的意义,而且对计算渗透系数也会有直接影响,特别是地表水体的岸边含水层裸露、无细粒堆积层时,抽水孔至岸边距离小于 1~2 倍含水层厚度时,这种可能的影响一定要考虑。

**6.2.5** 为方便配线法的应用,本标准增加了附录 D,对直线法的适用条件也做了适当的放宽,其主要考虑为:有关资料要求  $u \leq 0.01$  时,是基于误差的考虑,此时的相对误差为 0.25%;而当  $u \leq 0.05$  时,相对误差小于 2%;当  $u \leq 0.1$  时,相对误差小于 5%,

仍在允许误差范围之内。

**6.2.7、6.2.8** 采用恢复水位资料计算含水层渗透系数  $K$  值,由于没有水位波动等干扰因素的影响,故取得的原始数据精度比抽水试验时的高。当选用公式时,应注意试验结束前动水位的变化状态,根据动水位是否稳定而选用不同的计算公式,并考虑满足公式的适用条件。

### **6.3 影响半径计算**

**6.3.1** 影响半径采用裘布依公式求得,但由于裘布依公式推导时的条件与实际不符,因此,计算结果是一个近似值。根据近来较多的人所接受的概念,影响半径应当分两种情况进行考虑:第一种情况为含水层侧向有补给源,当抽水量与补给量达到平衡时,此时影响半径  $R$  的数值完全取决于边界的形状和抽水井距边界的距离,而与含水层厚度、渗透系数值及抽水时间无关;第二种情况为含水层为无侧向补给的无限含水层,随着抽水时间的延长,含水层的地下水贮量不断消耗,降落漏斗不断向外扩展,因而影响半径  $R$  是随着抽水时间而增加的。

### **6.4 相关的水文地质条件分析**

**6.4.1** 相关水文地质条件分析内容,主要是根据工程实践经验提出的,所涉及的内容基本上通过其他方法和手段难以查明,即为查明这些问题只有通过多孔抽水试验资料的分析才有可能实现。

**6.4.4、6.4.5** 地下水等水位线图和降落漏斗剖面图是通过多孔抽水试验资料分析,判断相关水文地质条件的两种重要的图件。这两种图件所涉及的内容都很重要,特别是抽水孔、观测孔的位置和结构以及某一相同时刻的抽水动水位观测资料尤为重要,对这些资料的采集和分析,需要从试验设计时就开始注意。

### **6.5 抽水试验报告**

**6.5.2** 为使试验报告能有其相对的独立性,本次修订在试验报告

的说明中，增加了工程概况、试验目的和计算成果及分析成果等内容。其中分析成果主要系指：根据 6.4 节的要求与分析所得出的成果。