

试 用 教 材

水文地质工程地质钻探概论

(水文地质工程地质专业用)

戎信 陈惟明 编

武汉地质学院钻探教研室

1984年5月

前 言

《水文地质工程地质钻探概论》是为适应地质学院水文和工程地质专业教学需要而编写的教材。内容包括水文地质钻孔的孔身结构设计,机械回转钻探,水文地质钻探的特种钻探方法,成井工艺,井内试验,工程地质钻探方法,原状土样的采取,触探和封孔共九章。按教学计划规定的40学时组织编写的这本教材,精选了内容,反映了国内外水文地质工程地质钻探的水平和国内的经验。

按水文系教育计划,钻探课程是安排在三年级下学期进行。考虑到学生已经学完《地下水动力学》等专业基础课,同时进行的《专门水文地质学》和《土质学》等课程。为避免重复,在本书中对涉及到以上课程的内容只简单引用或不与提及。

本书编写分工是:戌信同志编写绪论和前四章,陈惟明同志编写后五章。杨学涵同志对全书进行了审阅工作。此外郭绍什同志和杨凯华同志阅过部分章节并提出了宝贵意见。

本教材为水文系重开钻探课程初次编写,由于编者水平所限,在教材结构上和系统性尚不够完善,书中缺点错误,在所难免,希读者批评指出。

编 者

1984年5月

目 录

绪 论

第一节 水文、工程地质钻探的任务和特点	(1)
第二节 水文、工程地质钻探发展简史	(2)
第三节 钻探的基本程序及其方法分类	(3)
第四节 岩石的物理机械性质	(4)

第一章 钻孔的孔身结构

第一节 钻孔结构要素的拟定	(8)
第二节 过滤器尺寸的设计	(14)
第三节 钻孔的孔身结构举例	(16)

第二章 机械回转钻探

第一节 钻探工具	(19)
第二节 钻探设备	(24)
第三节 钻孔的清洗	(36)
第四节 岩心钻探方法	(40)

第三章 水文地质钻进方法及其发展

第一节 反循环钻进	(45)
第二节 空气钻进	(51)
第三节 潜孔锤钻进	(54)
第四节 冲击钻进	(60)
第五节 地热井钻进	(66)

第四章 成井工艺

第一节 过滤器	(73)
第二节 井管的安放	(78)
第三节 填砾	(84)
第四节 止水	(87)
第五节 洗井	(90)

第五章 孔内试验

第一节 抽水试验	(95)
第二节 压水试验	(104)
第三节 十字板剪力试验	(110)

第六章 工程地质钻探

第一节 振动钻进	(115)
----------	---------

第二节 螺旋钻进.....	(121)
第三节 其它钻进方法.....	(123)
第七章 原状土样的采取	(128)
第一节 取土器.....	(128)
第二节 原状土样的采取方法.....	(137)
第三节 保证原状土样质量的因素.....	(138)
第八章 触探	(141)
第一节 动力触探.....	(141)
第二节 静力触探.....	(146)
第九章 起拔套管及封孔	(153)
第一节 起拔套管.....	(153)
第二节 封孔.....	(155)
参考文献	(163)
(8)	附录A 附录A
(8)	附录B 附录B

绪 论

钻探工程就是利用一定的设备、工具来破碎地壳岩石，从而完成一个直径较小深度较大的钻孔，以满足地质勘探或其他各部门的需要的工程。钻探工程在国民经济各部门中应用甚广。为开发石油而施用的钻探工程叫做“石油钻井”；在地质矿产勘探中使用的钻探，因取岩心故称“岩心钻探”；为完成某一工程的勘察或施工的钻探名为“工程钻探”；而为地下水勘探或开发的钻探工程即为“水文水井钻探”。

由于工作对象不同，各种钻探有其共性，也有各自的特点。

第一节 水文、工程地质钻探的任务和特点

一、水文地质钻探的任务

服务于水文地质的钻探的任务，取决于水文地质勘察的性质、阶段。例如，水文普查钻探、水文勘探钻探和探采结合钻探。一般情况下其任务是：

1. 研究水文地质剖面；揭露地下水，确定含水层位、厚度、埋藏深度；查明岩石成分和岩性结构；研究含水层构造等。
2. 测定各含水层的水位；确定含水层的水力性质及其彼此之间的水力联系。
3. 采取岩心，土样和水样，测定岩石的水理性质和颗粒组成；测定地下水的物理性质、化学成份及气体成分。
4. 利用钻孔进行水文地质试验，测定水文地质参数。
5. 利用钻孔进行地下水动态观测和监测；预测其动态变化趋势。
6. 可以一方面试验观测，另一方面进行地下水开采。

二、水文地质钻探的特点

由于水文地质任务的要求，水文地质钻探无论在钻进方法钻探设备和钻孔结构上都较其他钻探有不同的特点。概括起来有：

1. 地层复杂—水文地质钻探大多工作在第四纪卵砾石层、砂层和粘土层，这些地层给钻探工作带来的问题是塌孔、漏失和不易取心。在基岩中钻探时，也多半是遇到断裂带、溶洞和破碎地层。这些地层，钻探上称“复杂地层”即发生事故多，效率低和钻进困难。
2. 钻孔结构复杂—由于要获得分层水文地质资料，就要求切断各含水层之间的水力联系。因此套管层次多，钻孔直径大，止水要求高，钻孔的孔身结构就复杂。
3. 钻进方法多—适用于水文地质钻探的方法近年来发展相当多。例如，回转钻进，空气钻进，反循环钻进，冲击钻进，潜孔锤钻进和震动钻进等。
4. 设备种类多—目前用于水文地质钻探的设备，类型繁多。据统计到的发达的国家里的回转钻、冲击钻和复合式钻机类型，不下数百种，可谓多矣。

5. 劳动强度大—由于直径大, 破碎岩屑多, 给钻探工作带来很多不易实现机械化操作的问题, 例如换钻具, 清渣等工作。因此, 工人劳动强度大。

三、工程地质钻探的目的

工程地质钻探的目的是为了解决与建筑物有关的岩(土)体稳定问题、渗漏问题、选择施工方法和处理措施等。在实际工作中也随着勘察阶段的不同分别提出要求, 综合起来有以下几方面:

1. 勘察建筑物场区的地层岩性、岩层厚度变化。查明软弱岩层(夹泥层)性质、厚度、层数、产状和空间分布。
2. 了解基岩风化带的深度、厚度和分布情况。
3. 探明地层断裂带的位置、宽度和性质; 查明裂隙发育程度及随深度变化情况。
4. 查明地下含水层的数目及其水文地质参数。
5. 利用钻孔进行灌浆试验、压水试验和土力学性质等试验。
6. 利用钻孔作长期观测或排除地下水, 以保证岩(土)的稳定性(如处理滑坡)。

四、工程地质钻探的特点

1. 钻孔直径变化大一小者数十毫米, 大者可达数米。深度较小, 一般在数十米, 少数达数百米。
2. 岩心采取率要求高一尤其遇到软夹层、风化层时, 往往要求取原状岩土样。因此, 需要装备特殊的采心装置——取样器。
3. 钻孔结构复杂—工程钻孔的目的往往是综合性的, 除查明地层、岩性和水文地质条件外, 还要进行各种力学试验、应力测量、灌浆试验、取样和长期观测等。因此, 钻孔结构比较复杂。
4. 钻孔密集—为了使巨大建筑物安全可靠, 往往在有限的区间里, 布置较多的钻孔。如与施工钻孔相结合时可以达到钻孔和钻孔相接。
5. “环保”要求严—在城市施工的工程钻探, 要求对自然环境不产生污染, 因此施工中的废水(泥浆)、废气和废物都要严格控制。有些地方声音也要受到限制。

第二节 水文、工程地质钻探发展简史

钻探的发展在水文地质方面是随着地下水的开发利用而发展起来的。因此, 水文地质钻探可追溯到很久以前。

我国古代劳动人民很早就以凿井方式开发利用地下水。这种“凿井”可以视为水文地质钻探最早形式。相传“黄帝穿井”、“尧帝凿井而饮”、“舜帝穿旁井而出”以及禹王命伯益掘凿大量水井等, 这些带有神话彩色的传说, 被近年来考古挖掘出来的完整的水井证实了我国凿井技术已有四一五千年了。

据有文字记载, 我国伟大的水利学家李冰^父子, 在创建举世闻名的都江堰时, “穿广都盐井”。它比法国奥陶斯水井要早一千四百多年。根据考查, 我国先秦时的古井, 除用于汲取地下水、卤盐、天然气外, 还用于战争、储藏和捕兽。

我国古代深井的发展, 以盐井为开始。经秦、汉、晋、隋到唐、宋已经发展到可以下竹套管的“卓筒井”深度达300丈了。钻井技术和工具已经发展相当成熟。这些在“天工开物”和“梦溪笔谈”两部著作中都有详细记载。

随着科学技术的发展,近代地下水开发在突飞猛进的发展着。美国于四十年代末建立了水井协会(N·W·W·A)并出版了“水井”杂志。我国在五十年代出版的“探矿工程”、“工程勘察”都开辟了水井专栏,介绍水文地质钻探等方面的技术。

我国水文地质钻探技术队伍,解放后发展很快。仅地质系统全国就有六十多个勘探队,开动数百台钻机。国家对地下水开发的投资也是很大的,据统计,1973年至1979年仅农田灌溉井,国家投资一百零五亿元。

工程地质钻探,是随着大型建筑物的修建而发展起来的。近年来由于大型水库、桥梁和高楼等工程的兴建,为工程地质勘察服务的工程地质钻探得到相应的高速度发展。

第三节 钻探的基本程序及方法分类

一、钻探的基本程序

为了完成一个钻孔,不论应用何种方法都必须遵循以下基本程序:

(一) 破碎岩石

要形成钻孔,首先进行破碎岩石的钻进工作,而钻进效率的高低取决于破碎岩石的速度。破碎岩石要根据岩石的性质,选用各种不同类型的破碎岩石的材料和钻头,以冲击力、压力或剪切力作用于岩石,使小块岩石离开整体。

人们可以根据破碎岩石时施加于岩石的作用力、破碎材料或使用的工具来区分钻进方法。也不断地寻找新的破碎岩石的方法,以提高钻进效率。

在孔底可以全部将孔底岩石破碎称“全面钻进”,也可以只破碎孔底的环状部分岩石,中间保留岩心,这叫做“取心钻进”。

(二) 提取岩心和岩粉

岩石被破碎后形成的岩心和岩粉必须及时取出和排除,钻孔才能继续加深。为了获得准确的地质资料亦必须取出岩心或岩粉。由孔底取出岩粉和岩心的方法有以下几种:

1. 用机械的方法一如岩心钻中的取心方法和工程地质钻探中的取样器、勺钻、螺旋钻等都是用机械的方法。
2. 将岩粉与水混合成岩粉浆,然后用抽筒抽出地表。如冲击钻。
3. 用流体(泥浆、清水、乳化液或气体)作循环介质,将破碎的岩屑输送到地表。

(三) 加固孔壁

当岩石被破碎后,则在地壳中留下一个孔穴,破坏了原来地层平衡状态。在不稳固地层,为了防止孔壁坍塌;隔离含水层及防止洗孔液漏失等,必须加固孔壁。加固孔壁的方法有:

1. 借助于循环液的静水压力来平衡地层的侧压力。这种方法在现代的反循环钻进中得到充分利用。
2. 利用隋性材料或化学材料加固孔壁。常用的隋性材料有水泥、粘土等。化学材料有的混入循环液中称泥浆处理剂,有的直接注入孔中称堵漏剂,如氰凝、丙凝等。
3. 用金属或非金属套管下入孔中,这种方法虽然可靠但价值较贵,且造成孔径缩小。在必要时应用。

二、钻进方法的分类

如前所述,当前钻探已在很多部门中应用,各部门根据钻探服务效果将钻进分成不同种

类。例如，岩心钻探是根据破碎岩石的方法不同而进行分类的，这是因为岩心钻探所遇到的地层75—80%是坚硬岩层，为了较准确的表述钻进效果，将钻进按破碎材料分成硬合金钻进、钻粒钻进和金刚石钻进。

水文、工程地质钻探所迁到的地层较软，但很复杂，如延用岩心钻的分类方法，以破碎岩石的材料来区分钻进方法，就不能很好的得到准确的钻进效果。但在国内尚未形成明确的分类方法，下面引用联合国能源部顾问安蒂·戴米克先生分类方法和适用范围，以资参考。

表0—1 水文、工程地质钻探钻进方法及其适用范围表

钻进方法选择 钻孔类型	钻进方法分类	回 转 钻 进	钢 丝 绳 冲 击 钻 进	O D E X	D D E X + 回 转	双 壁 钻 杆 连 续 取 心	反 循 环		
							砂 泵 反 循 环	射 流 反 循 环	气 举 反 循 环
水文地质取心钻探孔		+		·+	+	田			
工程地质钻孔		+		·+	+				
观测孔		+		+	+	+			
大口径水井							+	+	
小口径深孔		+	+	·+	+			+	+

注：·到基岩止 田最优选择 +可选择

第四节 岩石的物理机械性质

钻探研究岩石的物理机械性质在于提高钻进效率，因而着重讨论岩石在不同外载作用下对岩石固有特性的影响。即与钻探破碎岩石方法有关的岩石内在的特性。以利于正确的选择破碎岩石的方法。

应当指出，钻进是在复杂的自然条件下进行的，对钻进有影响的并非岩石的某一物理机械性质，而是许多性质综合在一起产生共同的影响。但认识岩石性质又必须从单一的性质讨论起。

首先讨论岩石的单一的物理机械性质。

1. 强度

岩石的强度是指岩石在各种外力（拉伸、压缩、弯曲或剪切等）作用下抵抗破碎的能力，常用的单位是公斤/厘米²。

同样一块岩石其抗拉、抗弯、抗剪和抗压强度大小是不同的。岩石的抗拉强度最小，抗弯、抗剪次之，抗压强度最大。根据实验，若以岩石的抗压强度为1，则抗剪强度为抗压强度的1/5—1/11，抗弯强度是抗压强度的1/5—1/12，抗拉强度为抗压强度的1/5—1/15。如表0—2所示。

表0—2 几种岩石和某些金属强度关系表

材 料	单向压缩	拉 伸		弯 曲		剪 切	
		极限范围	平均	极限范围	平均	极限范围	均平
花岗岩	1.0	0.04—0.02	0.03	—	0.08	—	0.09
砂 岩	1.0	0.05—0.02	0.02	0.20—0.083	0.14	0.12—0.1	0.11
石灰岩	1.0	0.1 —0.40	—	0.10—0.08	0.09	—	0.15
页 岩	1.0	0.2—0.028	0.06	0.50—0.07	0.14	0.5—0.10	0.25
钢	1.0	0.9 —1.0	0.95	0.9 —1.0	0.85	—	—
铸 铁	1.0	0.17—0.28	0.23	0.17—0.28	0.23	—	—

岩石强度在很大程度上取决于矿物成分、粒度、颗粒间联结关系、胶结物质及充填程度。岩石的层理及其风化程度也对岩石强度有影响。但其总的表现形式：

抗压强度>抗弯强度>抗剪强度>抗拉强度。

为此，利用岩石的抗拉强度较弱的缺点，采用相应的破碎方法。这就是近年来人们对金刚石钻进“犁削”作用重视的原因。但目前大多数钻探方法破碎岩石时还是利用压入与剪切的方式。

2. 硬度

硬度是指岩石抵抗其它物体压入的阻力。在矿物学中，利用刻划标定硬度。按莫氏十级分类作为区别矿物的标志。但各级之间硬度异常悬殊。这是一种相对的表现方法，在工程上应用的实际意义不大。

硬度与强度的概念是有区别的。强度是一般的概念，是抵抗在不同形式外力作用下，破碎阻力的总称；是抵抗其全部体积破碎的能力。硬度是岩石抵抗其他刚体压入的阻力；是岩石抵抗其局部表层破碎的能力。也就是岩石的抗压入阻力或称抗压入强度。单位是 公斤/厘米²。

实验证明，岩石的硬度较同样岩石在单向压缩时的抗压强度要大多倍。例如花岗岩硬度为3500—6200公斤/厘米²，而抗压强度为800~2500公斤/厘米²。这说明岩石这两种性质的不同。

影响岩石硬度的因素也是多方面的，它与造岩矿物的成分，胶结物的性质，岩石的结构等有密切关系。一般地说，晶粒硬度大，结晶完善，结晶颗粒小胶结物硬，则岩石的硬度大。

岩石在静载荷作用下与动载作用下，所表现的硬度量是不同的。

岩石硬度测定方法很多。以各种不同形状的压模（球状、圆柱状、圆锥体）压入岩石。取岩石在破碎时所加的外力与压模底面积的比值来表示硬度。也有以摆球落击岩石表面，测量回弹高度及弹跳次数来相对表示硬度。

岩石的硬度对钻探来说，是一个非常感兴趣的问题。这是因为压模作用下的岩石的应力状态和钻进时切削工具作用岩石所发生应力状态是相似的。因此，也有人主张以岩石硬度作为岩石的分级标准。

3. 弹性、塑性和脆性

弹性、塑性和脆性是物体受外力作用后，对变形的不同表现。弹性是固体在除去所加之

载荷后,恢复原来状态的性能。一般岩石在除去载荷之后,还留有某种残余变形。岩石的弹性,很大程度决定于矿物晶体的弹性,结晶颗粒细、结构致密、坚硬的岩石弹性较大,弹性大的岩石由于其弹性变形会消耗一部分功率,会造成钻具跳动等。

岩石受到外力后改变形状而不产生断裂的性质称岩石塑性。岩石的这种性能也往往通过外界因素影响而表现出来。在各向高压的情况下几乎所有的岩石都呈现有塑性。泥质页岩和粘土都具有塑性。塑性岩石易切削,但易产生缩径、糊钻等。

脆性是物体在外载作用下,不引起任何残余变形的性能。大多数岩石属于脆性体,也就是岩石的弹性极限与强度极限很接近。

岩石的塑性和脆性是相对的。它与外力作用方式、作用时间、加载速度和外界温度等有关。

下面介绍几种岩石的综合物理机械性能。

4. 岩石的可钻性

岩石的可钻性是在一定的技术条件下钻进岩石的难易程度,也可以说是钻进时岩石抵抗破碎的能力。它是岩石的综合特性。岩石的可钻性取决于多种因素,主要为岩石的物理机械性能、钻进方法和钻进规程等。岩石可钻性用两个指标表示:机械钻速和回次进尺。它是制定钻探生产定额的主要依据之一。也是选择钻进方法、破碎岩石材料、钻头型式和制定钻进规程的依据。我国地质勘探系统将岩石分为十二级,如表0—3所示。

表0—3 岩石的可钻性分级简表

岩石等级	岩石类别	代 表 性 岩 石	可钻性 (米/小时)	回次长度 (米)
1	松软疏散的	次生土、壤土、砂壤土	7.50	2.80
2	较软疏散的	黄土、粘土、冰	4.00	2.40
3	软的	风化变质的页岩、千枚岩、泥灰岩、褐煤、烟煤	2.45	2.00
4	较软的	页岩类、较致密的泥灰岩、岩盐、火山凝灰岩	1.60	1.70
5	稍硬的	泥质板岩、细粒石灰岩、蛇纹岩、纯橄橄榄岩、无烟煤	1.15	1.50
6	中等硬度	微矽化石灰岩、千枚岩、石英云母片岩、辉长岩	0.82	1.30
7	中等硬度	砂质石灰岩、石英二长岩、含长石石英砂岩、角闪石斑岩、玢岩	0.57	1.10
8	硬的	砂卡岩、千枚岩、微风化的花岗岩	0.38	0.85
9	硬的	高矽化的石灰岩、粗粒花岗岩、矽化凝灰岩	0.25	0.65
10	坚硬的	细粒花岗岩、花岗片麻岩、坚硬的石英伟晶岩	0.15	0.50
11	坚硬的	刚玉岩、石英岩、含铁矿碧玉岩	0.09	0.32
12	最坚硬的	未风化致密的石英岩、碧玉岩、燧石	0.045	0.16

由于上表制定的时间和技术条件原因,故目前在水文地质钻探上常根据具体情况乘一个修正系数。鉴于各地系数尚难统一,这里不再叙述了。

5. 研磨性

钻进时岩石对切削工具磨损的性能称为岩石的研磨性。通常用切削具磨损的体积与所消耗的摩擦功之比来表示研磨性的大小,单位是厘米³/公斤·米。

影响岩石研磨性的因素主要是岩石颗粒硬度、大小和形状以及岩石的裂隙和孔隙度等。

岩石的研磨性影响钻具在孔底的有效工作时间和研磨材料的消耗。

表0—4

测定岩石的可钻性十二级分级表时的技术条件

技 术 条 件	I—Ⅵ级岩石用硬质合金钻进	Ⅶ—XⅡ级岩石用铁砂钻进
钻头直径	91毫米	91毫米
立轴转数	160转/分	160转/分
轴心压力	700公斤	—
钻头底部单位面积压力	—	25公斤/平方厘米
冲洗液量	60—150升/分	10—25升/分
投砂法	—	一次投砂法或连续投砂法

6. 岩石的稳固性

岩石的稳固性是指岩石在长时间内保持孔壁完整的性能。它决定于岩石的强度及裂隙程度。还与钻孔直径和地层压力有关。岩石的稳固性的研究给钻探工程上的保护孔壁提供理论依据。

除上述岩性外，近年来对岩性研究更加深入。例如，水文地质钻探中研究岩石在水参与下的水理性等。这些在有关的课程中已有专门论述，这里不再叙述了。

第一章 钻孔的孔身结构

钻探工程在施工之前，必须进行施工设计。

施工设计包括正确的选择钻孔的孔身结构、钻进方法和操作规程以及施工所需的设备、材料等。正确的设计不仅可以使工程顺利进行，提高效率、节约材料和降低成本，而且也是保证获取准确的地质资料先决条件。

良好的设计所追求的目标，是以提高综合的钻孔“效率”。对于水文地质钻探来说，即达到地层允许的最大的单井出水量，从而以最小的钻探工作量和最低的能源消耗开发出尽可能多的地下水资源。

为了使施工设计有个统一规范，地质矿产部对水文地质、工程地质钻孔施工设计书规定了统一的格式，见表1—1。施工设计共两部分，地质部分是由地质工程师完成，钻探部分是由负责钻探的工程师完成。

施工设计中首先确定的是钻孔的孔身结构，它包括：钻孔深度、钻孔直径、井管和过滤器等设计。因此，在讨论钻进方法之前首先讨论钻孔的孔身结构。

第一节 钻孔结构要素的拟定

一、钻孔深度

水文地质、工程地质的钻孔深度，由要探查的目的层的决定。如水文地质要探明的某含水层的深度或工程上某地基下的夹泥层的深度。这个深度先由推断的理想柱状图而定，或由附近钻孔资料推延而来。但这是一个估计的概略的深度。精确的深度是在钻进期间由采样或取心决定。

水文地质钻探的目的层是多层时，而要在一个钻孔里获得分层的水文地质资料。在施工中是将钻孔钻穿最下一个目的层。然后下抽水管用临时止水的方法在最下一层含水层顶板上止水，对最下一层含水层进行洗孔、抽水试验。取得该层的水文地质资料后，起拔抽水管，用细砂回填最下一层的含水层。然后对上一层重复以上工序，取得逐层资料。这种方法，节约施工时间，降低勘探成本，但要求止水可靠，不能因止水失效取得资料不准确。

长期的观测孔和重要的探采结合孔和永久开采井一样，都要在过滤器下部安装沉淀管，以便使水井在运行中随水进入管内的砂粒沉淀。因此，在钻孔的深度上给以考虑。沉淀管有3—5米即可。当含水层较厚沉淀管可以留在含水层中，若含水层较薄或要求出水量较大时，为了充分利用含水层，将沉淀管放在含水层底板中。即钻孔深度到达含水层底板以下3—5米而终孔。

二、钻孔直径

钻孔直径，包括终孔直径、中间变径和开口直径。选用最优的孔径，是提高钻进效率、

水 文 地 质 工 程 地 质 钻 孔 施 工 设 计 书

十六日 晴

2

1

地质负责人: _____ 地质设计人: _____ 钻探负责人: _____ 钻探设计人: _____

降低勘探成本和周期的关键因素。钻孔可以一径到底，也可以中途变径。变径是由于下套管造成的。

水文、工程地质钻孔，需要下入孔内的套管类型综合起来有五种：孔口管（1）、导向管（2）、开采管（3）、过滤管（4）和技术管（5）。如图1—1所示。

孔口管是为了加固孔口而得名的。它使孔口在钻进时不受循环的冲洗液冲刷而破坏。孔口管所下的深度，依上部岩层稳定情况而定，一般为2—3米。管外间隙用水泥浆浇注或用粘土固结。如果孔口管深度不大，可以用人工先挖一浅井，然后在井内装好孔口管，在其周围垫好碎石浇注水泥浆进行固结。孔口管直径应比向下钻进时的钻头直径大30—50毫米（大1—2级）。

导向管在斜孔中是为了使钻孔按设计方向而钻进。在直孔中除钻孔垂直外，还要封闭上部无用的含水层或防止不稳定的松散岩土层发生漏失。在钻进下部岩层时，约束钻具而导向。当钻孔深度为300—500米时，下入深度可达70—100米；当钻孔不深时（100—150米）导向管安装7—9米即可。有时导向管与技术套管为同一管柱，在这种情况下导向管的深度可以增加。在另一些情况下，导向管和孔口管亦可合二为一。此时孔口管的管径不能太大。导向管通常要求固结，尤其是管底和管口应进行封牢。

技术套管也称为中间套管，当钻进到达目的层之前，出现了意外的含水层或不稳定地层，有坍塌或严重漏失，严重影响继续钻进时才下它。技术套管是为了解决施工技术而下的套管。因此尽量少下或不下技术套管。但在另一种情况下，技术套管也可以不只一层。技术套管外部要求用稠泥浆封闭，管的底部同样要求密封。

开采管在水文钻探中称抽水管。它有时代替导向管和技术管封闭上部无用的含水层或不稳定的岩土层。一般开采管下达到目的层的顶板。它是含水层的水必经之路。

过滤管（也称过滤器），安装在含水层段，地下水经过滤管流入孔内，再经抽水机达到地面。过滤管安装的方法有二：一种直接连接到开采管上；另一种以尾管的形式，用封闭接头与开采管相联结。在过滤管以下通常安装一段沉砂管。

套管柱层次设计的一个重要问题是套管之间的间隙。太大和过小的间隙都会带来不良的影响，同时还要考虑在套管内通过钻下部岩石钻头的尺寸。因此，每下一层套管，孔径必然缩小一级。我国现时水文地质钻探常用的套管、岩心管及钻头之间配合级配如下表所示。

以上讨论了套管和钻孔直径（将钻头名义尺寸视作钻孔直径）之间的关系。当终孔直径拟定后，可以根据中间所下套管的层次数推算出开孔直径来。

开孔直径除去受所下套管层次影响外，还有一个重要因素就是在开采管内拟定下的抽水器的尺寸。而泵的规格型号却决定于钻孔的涌水量。

终孔直径决定于所下过滤器的类型和尺寸，而过滤器的尺寸也取决于地层的涌水量。因此有必要讨论钻孔的直径与涌水量的关系。

三、钻孔直径与涌水量关系

影响孔径与涌水量关系的主要因素有：地下水的流动状态，含水层的导水性能以及抽水

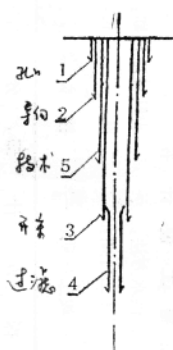


图1—1 套管柱组装置示意图

表1—2

地质系统钻探套管、岩心管及钻头尺寸配合表

套 管			岩 心 管			套管、岩心管内接头			钻 头					
外	内	壁	外	内	壁	外	内	壁	硬合金钻头			普通钻粒钻头		
径	径	厚	径	径	厚	径	径	厚	外径	内径	壁厚	外径	内径	壁厚
168	159	6.0	146	137	4.5	146	135.5	5.25	150	135	7.5	150	128	11
146	137	4.5	127	118	4.5	127	116.5	5.25	130	116	7.0	130	108	11
127	118	4.5	108	99.5	4.25	108	97.5	5.25	110	96	7.0	110	88	11
108	99.5	4.25	89	81	4.0	89	78.5	5.25	91	77	7.0	91	71	10
89	81	4.0	73	65.5	3.75	73	62.5	5.25	57	61	7.0	75	57	9
75	65.5	3.75	57	49.5	3.75	57	46.5	5.25	58.5	45.5	6.5	—	—	—

表1—3

地质系统金刚石钻进钻具尺寸配合

单位：毫米

钻头（单、双层用）				双层岩心管				扩孔器		套管		钻 杆		钻杆接头	
公称尺寸	外径	内径	唇厚	总长	外 管	间 隙	内 管	外 径	内 径	外 径	内 径	外 径	内 径	外 径	内 径
	单	双	单	双	外径	壁厚	外径	壁厚	径	径	径	径	径	径	径
36	36	21	20	7.5	8	80	120	35	28	3.5	1.5	25	22	1.5	36.3
46	46	31	30	7.5	8	80	120	45	38	3.5	1.5	35	31	2.0	46.3
56	56	41	40	7.5	8	80	120	55	48	3.5	1.5	45	41	2.0	56.3
66	66	51	50	7.5	8	80	120	65	58	3.5	1.5	55	51	2.0	66.3
76	76	61	60	7.5	8	80	120	75	68	3.5	1.5	65	61	2.0	76.3

时水位降深等。现简述如下：

1. 地下水流动状态的影响

当地下水以层流流向孔内时，是以裘布依公式来表述的，如潜水孔为：

$$Q = 1.366K \frac{(2H-S)S}{\lg R - \lg r} \quad (1)$$

式中：Q—钻孔抽水时的涌水量，米³/昼夜；

K—含水层的渗透系数，米/昼夜；

H—自含水层底板算起水头高度，米；

S—抽水时孔内的水位降深，米；

R—影响半径，米；

r—钻孔半径，米。

若其他条件相同，则不同孔径 r_1 与 r_2 ，其涌水量 Q_1 与 Q_2 的关系是：

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{\lg R - \lg r_1}{\lg R - \lg r_2}$$

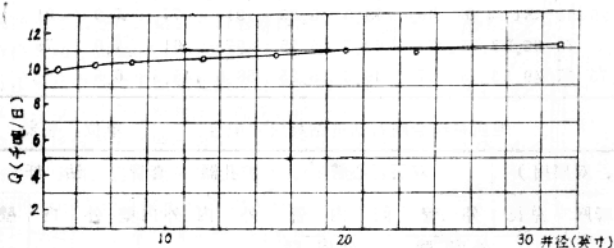
若取 $R=200$ 米和 $R=500$ 米， $r_1=0.05$ 米计算不同 r_2 及其涌水量如下表所列：

从表中看出，孔径增大一倍，涌水量只增加8—9%，孔径增加10倍，涌水量只增加33—39%。但大量的抽水试验资料证实，孔径对涌水量的影响远比计算值为大。

表1—4

层流时不同孔径涌水量比值

Q_2/Q_1 $R(m)$	r_{02}/r_{01}	1	2	5	10	20	50
200		1	1.09	1.24	1.39	1.53	1.90
500		1	1.08	1.21	1.33	1.49	1.70

图1—2 按裘布依公式计算的 Q 与 r 的曲线

当地下水以紊流状态流入孔内时，近似方程为：

$$Q = 2\pi K \sqrt{Sr} \quad (2)$$

当其它条件为常数时， $r \propto Q^2$ 即孔径与涌水量呈抛物线关系。

当地下水为混合流时，涌水量公式：

$$Q = 2\pi K \sqrt{\frac{H^{m+1} - h^{m+1}}{r^{m-1} - R^{m-1}}} \times \frac{m-1}{m+1} \quad (3)$$

式中： m —地下水流态指数。

由此可见，地下水为混合流运动时，孔径对涌水量的影响程度，应当大于层流运动时的对数关系，小于紊流时的平方根关系。

2. 含水层导水性能的影响

涌水量随孔径的增大的幅度与含水层的导水性能的强弱有关，导水性能强的比导水性能弱的含水层所增加的幅度要大。其试验数据如下表：

从试验资料可以看出，当孔径同样由89毫米扩大到146毫米时，导水性弱、富水性小的细砂层涌水量仅增加10—15%；而导水性强、富水性大的砂砾层涌水量却增加了84—176%。用曲线表示如图1—3所示。

3. 水位降深的影响

在相同的水文地质条件下，水位降深对涌水量与孔径关系的影响也很显著。近似的方程式为：

$$S = aQ + bQ^2 \quad (4)$$

式中： a —层流指数； b —紊流指数。

表1—5

不同含水层的井径与涌水量对比表

试验孔号	导水性			井径 (mm)			水位降深 S (米)	涌水量 (升/秒)		
	含水层厚度 M (米)	渗透系数 K (米/昼夜)	导水系数 (米 ² /昼夜)	d ₁	d ₂	$\frac{d_2}{d_1}$		Q ₁	Q ₂	$\frac{Q_2}{Q_1} (\%)$
335	粉细砂 5.39	9.38	50.56	89	146	1.64	1	0.40	0.44	110
							3	1.09	1.21	111
							5	1.66	1.91	115
325	中细砂 20.00	17.80	356.0	89	146	1.64	1	3.04	4.05	133
							3	7.64	11.4	149
							5	11.2	18.2	162
515	中粗砂 25.20	23.24	585.6	89	146	1.64	1	3.428	5.94	173
							3	7.079	13.80	194
							5	9.908	20.51	207
50	砂砾 29.90	39.31	117.5	89	146	1.64	1	5.08	9.35	184
							3	10.00	24.38	244
							5	13.74	38.02	276

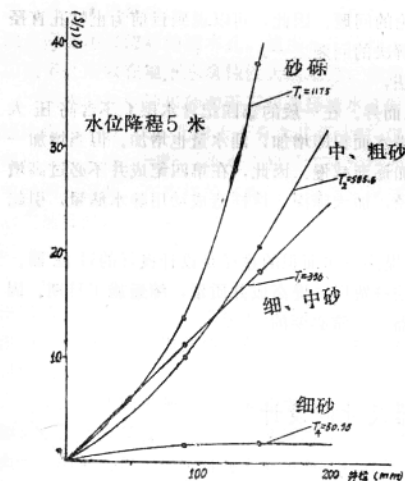


图1—3 不同导水性的涌水量与井径关系曲线

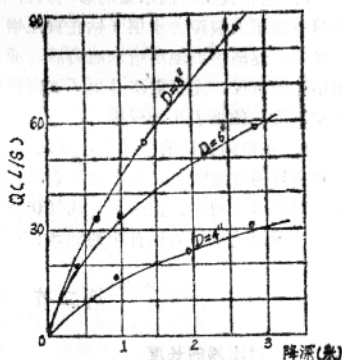


图1—4 实测水位降与钻孔径关系图

陈雨孙在“单井水力学”讨论了S与Q关系为：

$$S = a_1 Q + a_2 Q^2 + a_3 Q^3 + a_4 Q^4 + a_5 Q^5 + a_6 Q^6 + a_7 Q^7 + a_8 Q^8$$

杨成田利用近似方程式导出钻孔直径与涌水量关系，并推荐该式为计算水井涌水量公式。