

高等学校教材

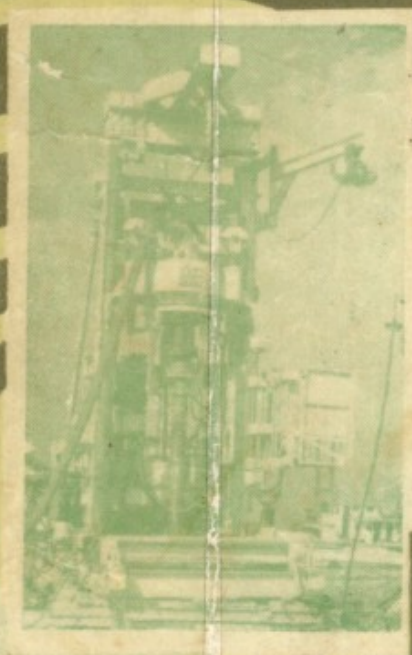
钻探工艺学

水文地质及水井钻、工程地质及施工钻、石油钻井

(下册)

李世忠 主编

Handwritten signature and red mark



地质出版社

封面设计：秦光秀

ISBN 7-116-00378-9/F

定 价： 4.10

高等学校教材

钻探工艺学

水文地质及水井钻、工程地质及施工钻、石油钻井

(下册)

李世忠 主编

地质出版社

内 容 简 介

《钻探工艺学》共分上、中、下三册出版，本书为下册。本册主要内容有：水文地质水井钻、工程地质及施工钻与石油钻井三大部分。第一部分主要讲述水文地质勘探钻孔的要求和各种钻进工艺以及水井成井技术。第二部分主要讲述工程地质勘察方法及工艺要求和工程施工钻的应用及技术。第三部分主要介绍石油钻井的特点及重要技术成就。

本册内容广泛，包括了各具特点的三个独立部分。前两部分属钻探工作者本职工作，在前版基础上作了较大的精选和取舍，并增加了近年开拓的新工作领域——工程施工钻内容；石油钻井选取了近卅年来发展较为成熟的新技术，供钻探工作者借鉴。

本书为高等院校探工专业的教材，也可供地质、煤炭、冶金、有色等生产部门从事钻探生产工作的技术人员和科研人员参考。

* * *

本教材经地质矿产部探矿工程专业课程指导委员会于1987年12月召开的审稿会议审议，同意作为高等学校教材出版。

* * *

高等学校教材

钻 探 工 艺 学

水文地质及水井钻、工程地质

及施工钻、石油钻井

(下 册)

李世忠 主编

责任编辑：孙孝庆 唐振权 李源明

地质出版社出版

(北京和平里)

地质出版社印刷厂印刷

(北京海淀区学院路29号)

新华书店总店科技发行所发行

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：20.625 字数：485000

1989年6月北京第一版·1989年6月北京第一次印刷

印数：1—3320 册 定价：4.10元

ISBN7-116-00378-9/P·325

前 言

《钻探工艺学》分上、中、下三册出版，本书是其中的下册。

本书是在原编试用教材的基础上，经过几年来各方面教学实践的检验，发现了许多应当修改的地方，又根据当今钻探技术在工作领域的扩展和实际工作的需要，在共同讨论、分工编写、统一组编的原则下，组织有关方面的专家编写而成的。

本书包括三个方面的内容，即：水文地质及水井钻、工程地质及施工钻和石油钻井，它们分别为独立的三个篇。水文地质及水井钻一篇由中国地质大学（武汉）戎信副教授编写；工程地质及施工钻一篇由长春地质学院常世臣副教授编写；石油钻井一篇由中南工业大学陈志超教授编写。在分工写出提纲及初稿后，由主编人邀请了本书的责任编辑孙孝庆教授和唐振权副教授参加，组织讨论了内容材料的选取和编排、重点解决的问题等，后经各篇编者进行了修改和编写，完成了初稿。1987年底，在探矿工程专业课程教学指导委员会全体会议上，对该书的初稿逐篇逐章进行了讨论，提出了许多有关精简和修改的意见，编者又进一步进行了简缩和修改，最后由主编人进行统编而成稿。总之，本书是适应新的工作形势和教学改革的需要，发挥集体智慧和个人专责、几经修改编写而成的。

本书是高等院校探矿工程专业的一门主要专业课的教材，因此它首先是为满足专业教学的需要。但照顾到本专业生产工作隶属部门多、专业队伍大等特殊情况、在内容选材上适当考虑了某些社会需要，对某些工作过程的解释也尽量齐全、以利实际采用。实际上，从具体的专业工作内容来说，教学的需要和实际工作的需要是一致的，两者是难于分割的。尤其是对一门工艺性的专业课程来说，虽属过程描述，但它也包含着必然的工作原则。

水文地质钻探是为水文地质调查服务的。它做为一种技术手段来完成水文地质调查的要求。多年实践表明，要想圆满地完成水文地质调查的钻探工作，除了对钻探技术本身应当深入了解和掌握外，还必须对水文地质工作的内容有一定的了解。然而，本书对水文地质工作的内容、过程、要求全未涉及，因此，还需要设法使从业人员学习有关必要的水文地质知识。

水文地质钻探和水井钻两者，从内容和要求来说，尚有许多差异。但从我国实情出发，广大人民群众怀有强烈的需水愿望。因此，我们对水资源采取了探采相结合的原则。在完成水文地质探测的基础上，最后做到完成水井，以便成井采水，满足人们的迫切需要。加之水文地质钻探与水井钻还有许多连系和共同之处，因此，习惯上我们把二者编在一起成为一篇。

工程地质钻探是为工程地质勘察服务的。同样的道理，为了做好工程地质钻探必须对工程地质工作有所了解。在本书中没有包括工程地质的内容，这就需要加以补充。工程地质研究的对象多数是第四纪地层，取样有其严格的要求。有些情况下，地层参数是在钻孔内直接测量的。所以，不了解工程地质工作的要求和勘察规范是做不好工程地质钻探工作的。更有，当今人们在地球表面展开了许多大规模的工程开挖、水电、河港、道路、隧道、地下洞穴等工程施工，都触及许多大型基岩开挖，并要求从工程地质上长期稳定。这些新兴

的工程地质内容和要求，也是进行勘察钻探前需要了解和知晓的。

工程施工钻与工程地质钻探虽然同属钻探技术范畴，但两者的工作要求和工作内容差别很大，而工程施工钻是最近几年新开发的钻探工作领域。目前，它主要是在高大建筑物的基础桩处理和水坝、码头等处防漏抗塌的连续墙等方面，以钻孔方法成桩、成墙获得较高的效益。其钻进方法和工艺以及所需的钻机设备，还处于试验和探新阶段，都不够成熟。正是由于它尚处在发展形成的过程中，暂时与工程地质钻探联在一篇是一个临时性的编排，非属科学体系所使然。

石油钻井已经是一门比较成型的、有其自己的科学系统和专门内容的学科。而我们在此仅作为一篇内容来安排，其目的是要使探矿工程专业的学生对石油钻井的特点、主要内容、新的科学成就有所了解，以便于借鉴和吸取。石油钻井在最近二、三十年中获得某些科学腾飞，取得了经济效益和科学化进展。石油钻井技术与我们探工专业十分接近，更便于借鉴和吸取。本篇石油钻井，从面与深度来说，仅是石油钻井的一个概论，要求探工专业学生对该方面有一个梗概性的了解。如在工作中需要，更详细的内容应当参考或学习有关石油钻井的专门著作。

总之，本书有其专门讲授的内容和编排方式，但各章节都不是孤立的。为了学好这些专门内容，应与相关的学科联系起来。

本教材在编写和成稿过程中，得到许多地矿局、勘察公司及所属勘探队以及兄弟院校和科研单位提供的许多宝贵资料和意见，在此，谨表示深切的谢意。

本书的各编者在主观上都竭尽所能而认真完稿，但限于水平和客观条件，书中难免会有缺点和错误，诚恳希望读者批评指正。

值得一提的是，书中有些内容是新近发展起来的，许多处于经验总结、过程叙述、尚未形成应有的科学体系和肯确的基本理论。实际上这也是本门课程的一个总体状态。希望在使用本教材过程中不断总结提高，与生产和科研部门积极配合，使本课程逐步成为一门科学体系完备的学科，愿与同业人员共勉之。

编者

1988.9.10

目 录

前 言

第五篇 水文地质及水井钻

绪 论	1
一、水文地质水井钻探的特点	1
二、水文地质水井井身结构要素的确定	1
三、水文地质水井的钻孔结构	2
第一章 钻进方法	6
第一节 钢丝绳冲击钻进	6
一、钻具	7
二、钻具与冲击机构的运动	10
三、冲击钻进规程	12
四、冲击钻进在典型地层中的综合应用	17
第二节 回转钻进	19
一、取芯钻进	19
二、扩孔钻进	26
三、全面钻进	28
四、大直径回转钻进的问题	31
第三节 反循环钻进	31
一、泵吸反循环	33
二、射流反循环	35
三、气举反循环	37
四、反循环钻进的工艺措施	44
第四节 空气钻进	46
一、干空气钻进	48
二、泡沫钻进	58
三、泡沫泥浆和充气泥浆钻进	59
第五节 潜孔锤钻进	60
一、潜孔锤及其工作原理	62
二、潜孔锤的结构组成	62
三、潜孔锤钻进所使用的钻头	65
四、潜孔锤钻进工艺规程	67
五、潜孔锤钻进中的技术措施	68
第二章 成井工艺	70
第一节 滤水管	70
一、滤水管的类型和结构	70

二、滤水管的选择	75
三、滤水管主要尺寸的确定	76
第二节 井管的安装	80
一、井管安装前的准备工作	81
二、井管安装方法	81
第三节 填砾	86
一、砾料的择选	86
二、填砾厚度及砾料量估算	87
✓ 三、填砾方法	88
四、填砾过程中应注意的事项	89
第四节 止水	90
一、临时止水	90
二、永久止水	91
三、止水质量的检查	91
第五节 洗井	92
一、洗井的意义及其基本原理	92
✓ 二、洗井的方法	94
第六节 抽水试验	97
一、抽水设备的选择	97
二、空气压缩机抽水	99
第三章 水文地质钻孔和供水井的使用、维修	103
第一节 增加出水量的措施	103
一、爆破法处理水井	103
二、酸处理法	105
第二节 井内的腐蚀、结垢及预防	107
一、管材的腐蚀和结垢	107
二、预防腐蚀和结垢的措施	110
第三节 水井的维修	112
一、原井位修补	112
二、套钻反掉上部的坏井管	112
三、起拔修复法	113

第六篇 工程地质及施工钻

第一章 工程地质勘察钻探	114
第一节 钻进方法	114
一、人力冲击和回转钻进	114
二、机械振动钻进	118
三、机械螺旋钻进	124
第二节 采取砂土样品	131
一、取土器的设计要求和参数	131
二、取土器的类型及使用条件	135

三、取土方法	139
四、影响原状土样采取质量的因素	139
五、砂砾石层、砂层和淤泥层取样	141
第三节 孔内试验与原位测试	143
一、压水试验	143
二、触探测试	147
第二章 工程施工钻	152
第一节 概述	152
一、工程施工钻的产生与发展	152
二、工程施工钻的应用	152
三、国内外工程施工钻的现状	153
第二节 钻进方法(施工法)	154
一、正循环回转钻进	154
二、反循环回转钻进	160
三、机械冲击钻进	160
四、机械螺旋钻进	160
五、冲抓锥(斗)钻进	160
六、全套管施工法(亦称“贝诺特”施工法)	162
七、土钻施工法(亦称“阿司特利”施工法)	163
八、水平孔钻进	164
九、潜水钻钻进	168
第三节 桩基础	169
一、概述	169
二、钻孔灌注桩	171
第四节 地下连续墙	183
一、概述	183
二、地下连续墙的施工	185
第五节 高压旋喷注浆	201
一、概述	201
二、高压旋喷注浆的施工	202

第七篇 石油钻井

第一章 总述	208
第一节 油、气井钻进特点	208
第二节 油、气井分类及建井过程	209
一、油、气井分类	209
二、油、气井的建井过程	209
第三节 钻井设备的组成及其选择	211
一、钻机的组成	211
二、石油钻机型式、系列与基本参数	211
三、钻井设备的选择	215

第四节 油、气井钻井设计	215
一、钻井设计的意义、原则和内容	215
二、钻井设计的方法	216
三、井身结构设计	217
✓ 第五节 油、气钻井的主要工艺过程	223
一、钻进方法	223
二、固井工程	223
三、油井完成(完井)	225
第六节 超深井钻井	228
一、国内外超深井钻探概况	228
二、超深井钻井特点	229
三、超深井钻井设备及钻具	229
四、超深井钻井用的钻井液	232
第七节 海洋钻井	234
一、国内外海洋石油钻井发展概况	234
二、海上钻井特点	234
三、海洋石油钻井装置	234
四、海上钻井工艺技术的某些特点	237
第二章 钻头及钻进技术	240
第一节 刮刀钻头简介	240
第二节 牙轮钻头结构与工作原理	242
一、牙轮钻头的类型和结构	242
二、国产三牙轮钻头系列	248
三、牙轮钻头工作原理	249
第三节 金刚石钻头的类型和结构	257
一、金刚石钻头工作面的几何形状	257
二、金刚石出刃和排列	258
三、金刚石钻头的水槽结构	258
第四节 聚晶金刚石切削齿钻头	259
一、概述	259
二、PDC 钻头的切削齿结构与排列	259
三、HCM 钻头	262
第五节 钻头选择	263
第六节 钻压和转速	265
一、钻压的影响	265
二、转速的影响	266
三、钻压与转速的配合	266
四、五点钻速试求法	272
第七节 钻头水力参数	275
第八节 钻井液性能	278
第九节 不同钻头钻进规程参数	379

一、刮刀钻头钻进	279
二、牙轮钻头钻进	280
三、金刚石钻头钻进	280
四、PDC钻头钻进	280
第三章 其它钻井技术	282

第一部分 喷射钻井

第一节 喷射钻井的发展及其效益	282
第二节 喷射钻井的工作原理	283
一、淹没非自由射流的形状和结构特性	283
二、喷嘴结构对射流的影响	284
三、射流对井底的清洗作用	286
第三节 喷射钻井水力因素	290
一、射流的力水参数	290
二、钻头水力参数	291
第四节 水力功率的传递及其合理利用	292
一、循环系统水力功率的传递	292
二、泥浆泵的合理工作方式	293
三、提高钻头水功率的途径	294
第五节 喷射钻井的工作方式	294
一、最大钻头水功率工作方式	294
二、最大冲击力工作方式	296
三、最大喷射速度工作方式	297
四、其他方式	297
第六节 喷射钻井水力程序设计及水力参数计算	298
一、用实测法求循环系统的压力损耗系数 η_2 、 η_1	298
二、确定实际泵压 P_a 与最小排量 Q_a	299
三、选定缸套直径	299
四、计算临界井深 L_c 和极限井深 L_c'	299
五、确定设计井段的底部井深	299
六、根据计算图表选择喷嘴直径，确定喷射速度和冲击力	300
七、将计算结果列表备用	300

第二部分 压力平衡钻井

第一节 地层压力和地层破裂压力	300
一、地层压力的概念	300
二、地层压力预测	301
三、地层破裂压力	304
四、地层破裂压力预测	304
第二节 平衡钻井	306
一、平衡钻井的概念	306

二、平衡钻井时各种压力的关系	306
三、失去压力平衡的原因	307
四、维持平衡钻井的技术措施	307

第三部分 井底动力钻井

第一节 涡轮钻井	308
一、涡轮钻具的工作原理	308
二、涡轮钻具的结构	310
三、涡轮钻具的特性	311
四、涡轮钻井技术	313
第二节 螺杆钻具钻井	315
一、螺杆钻具结构与工作原理	315
二、单头螺杆钻具的特性	316
三、多头螺杆钻具	318
本篇参考文献	319

第五篇 水文地质及水井钻

绪 论

水文地质水井钻探是研究现代地下水在勘探和开发过程中所采用的钻探工艺的基本原理和基本方法。它包括的范围为：水文地质钻探和水井钻进的工艺过程，和成井工艺以及使用维修等内容。

水文地质水井钻探和已学过的岩芯钻探相比，就钻探基本规律来讲有很多相似之处，但也有它自身的特点。为避免重复，凡前面已作深入阐述的，在这里就不再重述。本篇着重讨论有关水文地质水井钻探的特点。

一、水文地质水井钻探的特点

水文地质水井钻探的特点，概括为：

1) 地层复杂——水文地质水井钻探大多工作在第四纪的卵砾层、砂层、粘土层或基岩裂隙层。这些地层给钻探工作带来的问题是塌坍、漏失和不易取芯等。故在岩芯钻探中称为“复杂地层”，即发生事故多，效率低，钻进和采芯都困难的地层。

2) 钻孔结构复杂——由于要获得分层的水文地质资料，就要求切断各含水层之间的水力联系。因此，下入套管的层次多；钻孔直径大；止水要求严格；井身结构复杂。

3) 钻进方法多——由于地层复杂，即使在一个钻孔中，往往会遇到迥然不同的几种地层。因此，近年来水文地质水井钻进方法发展很快，出现了相当多的钻进方法；如，反循环钻进法、空气钻进法、潜孔锤钻进法和震动钻进法等。

4) 设备型式多——由于钻进工艺方法多，要求钻进设备与之相适应。因此，当前水文地质水井钻探所用的设备类型繁多。

5) 劳动强度大——由于水文地质水井钻探孔径大，破碎岩屑多；但井深较浅，因而钻进周期不长。因此，给钻探工作带来了许多不便于实现机械化操作的问题。如换钻具、清渣等工作，都是劳动强度较大的作业。

二、水文地质水井井身结构要素的确定

1) 钻井的深度——水文地质水井钻探的钻孔深度，需由勘探或开发地下水目的层的埋藏深度来决定。如水文地质钻孔，拟探明的某一含水层的埋藏深度，即为该钻孔应钻穿的深度。这个深度，由地质上的理想柱状图推断而定，或由附近的钻孔资料推延而来。无论如何，这是个估计的概略的深度。精确的深度是在钻进期间，由取芯或采样做最后决定。

当含水层为多层，且要在一个钻孔里获取分层的水文地质资料时，常在施工中将钻孔钻穿最下一个含水层，然后，下入抽水管在最下一层含水层顶板上临时止水，并对该含水

层进行洗孔、抽水试验,取得水文地质资料后,起拔抽水管,用细砂回填最下一层的含水层。此后,对上一层重复以上的工艺过程,取得分层的资料。因此,在这种情况下,钻孔深度应为最下一层的埋藏深度。

永久性生产水井、重要的探采结合孔和长期性的观测孔等,都要在滤水管下部安装沉淀管,以便使水井在运行中将随水进入滤水管内的细砂沉淀后储存起来。因此,在设计井深时应考虑沉淀管的长度。当含水层较厚时,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内,即钻孔深度到达含水层以下3~5 m而终孔。

2) 钻孔直径——钻孔直径包括开孔直径、中间变径和终孔直径。

水文地质水井的终孔直径的决定因素有:

a. 岩芯直径的要求:水文地质钻孔常要求岩芯有一定的直径,以便分析岩石的水文地质参数。当前我国地质部门规定终孔直径不能小于110 mm。特殊情况下才使用91 mm的钻头补采岩芯。

b. 滤水管的直径——滤水管的直径与涌水量有关,有关滤水管直径及其细节将在第二章第一节中讨论。

c. 抽水泵泵体外径的尺寸——在下深井泵的水井中,终孔直径要考虑井内泵体的直径。

中间变径及其次数是由地层情况决定的。

根据确定的终孔直径和中间变径次数,就可以推算出开孔直径。

三、水文地质水井的钻孔结构

水文地质水井钻孔结构是高效施工和优质钻进的前提,也是获取完整的水文地质资料的保证。

在相同的地层条件下,由于钻孔的功用不同,可以设计出不同的钻孔结构;而一个优良的钻孔结构设计,可以适应相当范围的地层条件。因此,钻探技术水平的高低,也反映在钻孔结构设计上。

当前国内水文地质水井钻探的钻孔结构,由于部门间要求不一,略有区别,但大体是在相同的水平上。这里介绍地质部门在总结建国以来勘探经验的基础上,建议采用的钻孔结构。

1. 水文地质普查钻孔的结构

水文地质普查钻孔要求全孔取芯,取芯钻孔段直径不小于110 mm,岩芯采取率不低于75%。因此,终孔直径一般为110 mm。直径91 mm的孔径只做为备用井径,在特殊的情况下才用它补取岩芯。直径127mm的套管是做为必要的护孔管。井口管用直径146mm的套管或选用大一级套管,即留一级备用井径,以便遇到特殊情况时,再下一级套管。该钻孔的结构,如图5.0—1所示。

2. 水文地质勘探钻孔的结构

水文地质勘探钻孔除要求取芯及满足钻探质量指标外,更重要的是获得水文地质对地层的水理性和其它地下水活动的资料。因此,钻孔必须进行抽水试验,要求滤水管直径不小于108 mm。根据不同地层和滤水管外填砾要求,钻孔结构可以参考图5.0—2所示的例图进行设计。

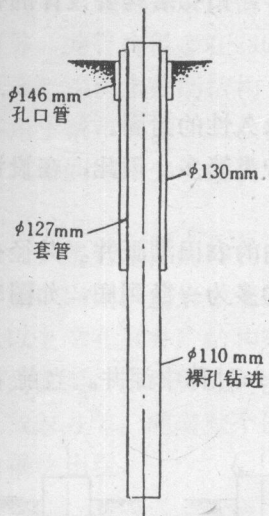


图 5.0—1 水文地质普查
钻孔结构图

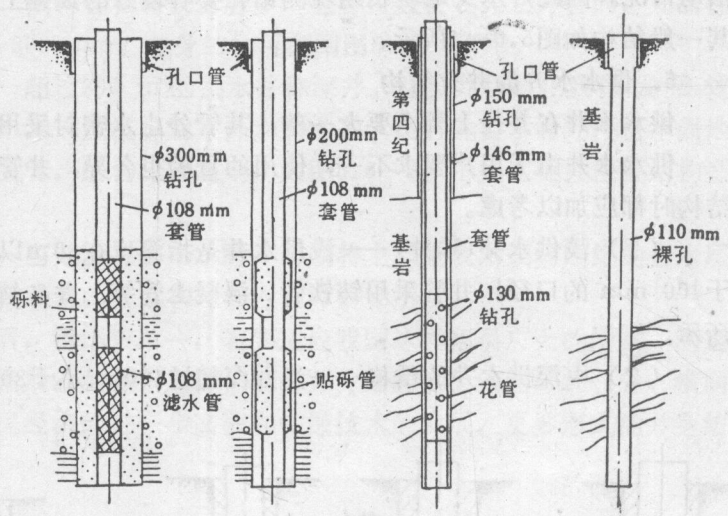


图 5.0—2 水文地质勘探钻孔结构图

3. 探采结合钻孔的结构

探采结合钻孔是地质部门经常使用的一种钻孔结构。其特点是既要满足勘探钻进的要求,又要考虑成井的需要。

探采结合钻孔的滤水管多采用直径146 mm 或更大的滤水管。上部井管应根据下入井内的深井泵体直径的要求而定。一般井管直径比深井泵公称尺寸大一级。钻孔直径可以中间不变径,井管变径可用异径接头联接,如图5.0—3所示。

4. 水文地质长期观测钻孔的结构

水文地质长期观测钻孔的任务是在取得水文地质资料后,要进行长期的监测地下水的

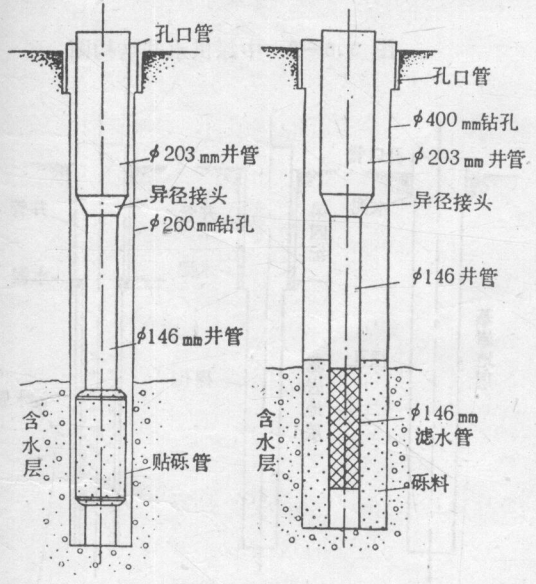


图 5.0—3 探采结合钻孔结构图

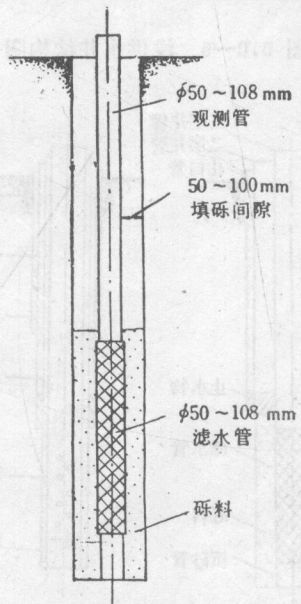


图 5.0—4 水文地质长期观测钻孔
的钻孔结构图

活动情况。因此，水文地质长期观测钻孔要有较好的成井工作，钻孔结构要设计的合理。其一般结构如图5.0—4所示。

5. 供水水井的井身结构

供水水井在井径上要求要大一些，其管外止水密封采用永久性的封固。

供水水井由于用户要求不一，使用的目的也各异，井管种类繁多。因此，在设计井身结构时都应加以考虑。

(1) 浅供水井(浅井)——浅供水井是指深度在60m以内的农田灌溉井。井径一般大于400 mm 的口径，井管采用铸铁管、混凝土管等。井身结构多为一径到底，如图5.0—5所示。

(2) 中深供水井的结构——当井深超过100m、小于300 m时称中深井。当前在我国

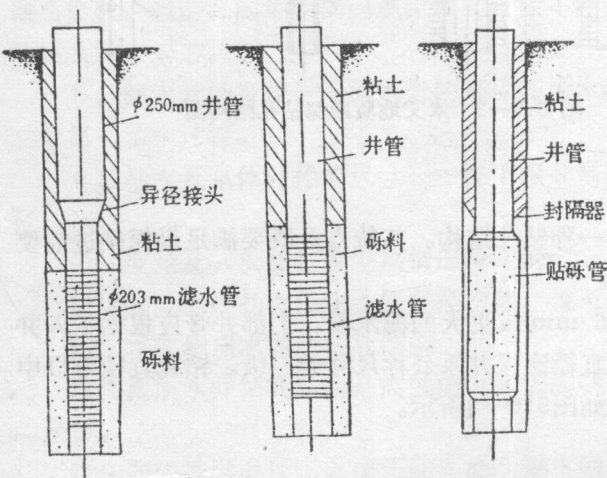


图 5.0—5 浅供水井结构图

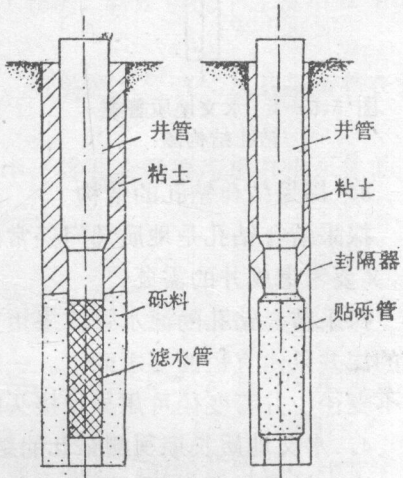


图 5.0—6 中深供水井结构图

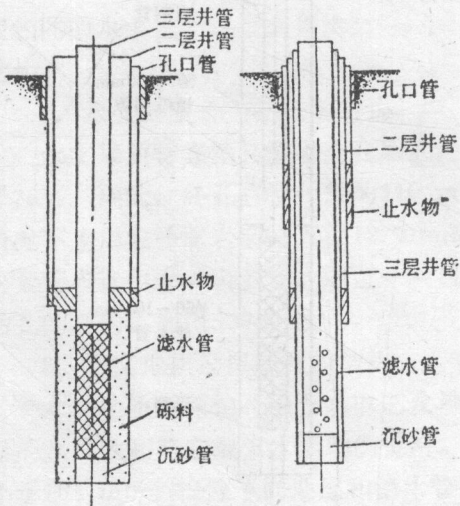


图 5.0—7 深供水井结构图

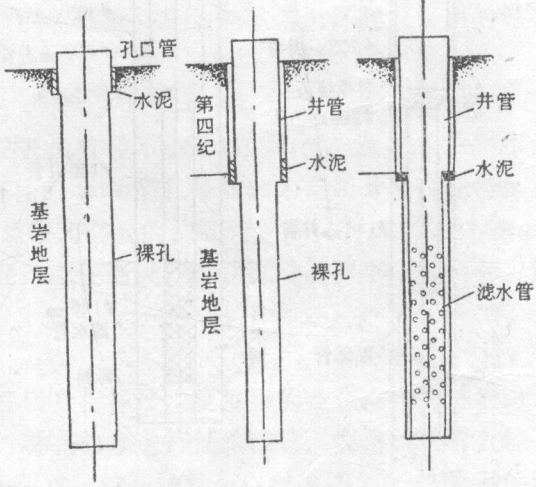


图 5.0—8 基岩供水井结构图

中深井内所安装的井管以钢管、塑料管和铸铁管居多；也有少数安装其它井管的，如石棉水泥管等。井管内径多在200~300 mm。井身结构可参阅图5.0—6所示。

(3) 深供水井的结构——超过300 m 的供水井称深井。这类井目前在我国发展较快，多用于城市供水、工业供水和一些浅部地下热水的水井。这种井要求管外严格牢固地密封，且中间采用多层的技术套管，结构比较复杂，如图5.0—7所示是这类井主要结构型式。

(4) 基岩水井的结构——当开发基岩中水时，必须将上部地表水或第四纪的含水层加以封隔，以保护基岩中水的质和量。其结构可参考图5.0—8所示。

从以上钻孔(井)结构来看，都比较单一，若要适应我国这样幅员广大的国家，满足各部门的需要，必须作进一步发展。如井下局部扩孔的井身结构(参考图5.2—16)、横向输水及放射井等。随着整个国民经济的进一步高涨和钻探技术的发展，更多形式的井身结构将会很快出现。