



普通高等教育“十二五”规划教材

地下水开发与利用

戴长雷 付强 杜新强 李治军 高淑琴 谷洪彪 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn



普通高等教育“十二五”规划教材

地下水开发与利用

戴长雷 付强 杜新强 李治军 高淑琴 谷洪彪 编著



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书主要阐述地下水开发过程中需要注意和解决的相关问题以及常用的地下水开发利用工程和特殊类型地下水的开发,共7章。主要内容包括地下水调查、地下水动态监测、地下水允许开采量评价、地下水水质评价、地下水开发利用工程、中国水文地质区划、地下水专论。

本书可供水文地质、水文水资源等专业的高等院校师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地下水开发与利用 / 戴长雷等编著. -- 北京 : 中国水利水电出版社, 2015.10
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-3689-0

I. ①地… II. ①戴… III. ①地下水资源—水资源开发—高等学校—教材②地下水资源—水资源利用—高等学校—教材 IV. ①P641.8

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第236993号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 地下水开发与利用
作 者	戴长雷 付强 杜新强 李治军 高淑琴 谷洪彪 编著
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路1号D座 100038) 网址: www.waterpub.com.cn E-mail: sales@waterpub.com.cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心(零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京嘉恒彩色印刷有限责任公司
规 格	184mm×260mm 16开本 14印张 332千字
版 次	2015年10月第1版 2015年10月第1次印刷
印 数	0001—2000册
定 价	28.00元

凡购买我社图书,如有缺页、倒页、脱页的,本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

前言

地下水资源作为我国北方地区及许多城市的重要供水水源，对当地经济社会发展、城市居民生活用水起着十分重要的作用。由于水量稳定、水质好，地下水是农业灌溉、工矿和城市的重要水源之一，甚至是唯一水源，要根据水文地质条件和工农业建设各方面的需要，经济合理地开发利用地下水。

本书共分7章，第1章主要介绍地下水调查的工作内容、步骤、工作方法及其成果的处理；第2章主要介绍地下水动态监测网的布设、监测数据的获取及处理；第3章主要介绍地下水资源量的分类，以及地下水允许开采量的计算方法；第4章主要介绍地下水供水水质评价、矿泉水水质评价及地下水环境质量评价的内容、水质分类标准；第5章介绍常用的地下水开发利用工程，主要讲述管井、渗渠、辐射井的特点、工艺以及在实际中的应用；第6章主要介绍中国的水文地质区划及各分区的水文地质特征；第7章主要介绍几种特征类型地下水的调查及开发利用情况。

本书由黑龙江大学水电学院的戴长雷副教授、李治军副教授，东北农业大学的付强教授，吉林大学的杜新强教授，太原科技大学的高淑琴副教授以及防灾科技学院的谷洪彪副教授合作编写完成。编写分工为，第1章：谷洪彪；第2章：高淑琴；第3章：李治军；第4章：付强、戴长雷；第5章：杜新强、戴长雷；第6章：戴长雷、付强；第7章：戴长雷、杜新强。最后由戴长雷、李治军进行全书统稿。

本书有些材料引自相关院校、生产和科研单位编写的教材、技术资料以及公开发表的论文，尽管各位编者已对所引材料进行了认真标注，但仍或有标注失当的地方，在此谨致诚挚的谢意并期待相关专家学者的进一步指导。感谢在书稿整理过程中提供帮助的黑龙江大学寒区地下水研究所历届研究生和本科生李欣欣、孙思淼、吕雅洁、郭成、齐鹏、伍根志等同学。感谢中国水利水电出版社的魏素洁编辑为本书编辑和出版付出的辛苦劳动。

由于编者水平有限，书中或有不少欠妥甚至错误的地方，敬请读者批评指正。

戴长雷 (daichanglei@126.com)

李治军 (lizhijun78@163.com)

2014年12月

目 录

前言

第 1 章 地下水调查	1
1.1 水文地质测绘	1
1.1.1 水文地质测绘的主要任务	1
1.1.2 水文地质测绘的主要内容	1
1.1.3 水文地质测绘的工作阶段	3
1.2 水文地质钻探	4
1.2.1 水文勘探钻孔的布置原则	4
1.2.2 水文地质钻孔的结构和钻孔设计	5
1.2.3 钻进过程中的水文地质观测工作	6
1.3 水文地质试验与地下水动态调查	6
1.3.1 水文地质试验	6
1.3.2 地下水动态调查	12
1.4 地下水调查成果	15
1.4.1 地下水调查成果的编制要求	15
1.4.2 地下水调查成果的主要内容	15
第 2 章 地下水动态监测	20
2.1 地下水位与地下水开采量的关系	20
2.2 地下水水位监测	21
2.2.1 地下水动态监测工作的任务	21
2.2.2 地下水动态监测网的布设	22
2.3 地下水位动态图件制作	30
2.3.1 地下水动态监测资料统计表的编制	31
2.3.2 多年动态曲线及综合曲线的绘制	31
2.4 地下水水质监测与处理	40
2.4.1 地下水水质监测网的布设	41
2.4.2 水样的采取、保存和送验	41
2.4.3 地下水水质分析项目	43
2.4.4 地下水化学成分的分析方法	45

2.4.5	水分析成果的表示方法	55
2.4.6	水化学分析成果的检查	61
2.4.7	地下水的水化学分类方法	63
第3章	地下水允许开采量评价	67
3.1	地下水资源量的类别	67
3.1.1	补给量	67
3.1.2	储存量	68
3.1.3	允许开采量	69
3.2	地下水允许开采量计算	69
3.2.1	水量均衡法	70
3.2.2	数值法	71
3.2.3	解析法	76
3.2.4	开采试验法	82
3.2.5	回归分析法	87
3.2.6	地下水水文分析法	93
3.3	水文地质参数分析与试验	95
3.3.1	给水度	95
3.3.2	渗透系数和导水系数	96
3.3.3	储水率和储水系数	98
3.3.4	越流系数和越流因素	98
3.3.5	降水入渗系数和潜水蒸发强度	99
3.3.6	灌溉入渗补给系数	103
3.3.7	水动力弥散系数	105
3.4	地下水允许开采量评价	109
第4章	地下水水质评价	111
4.1	地下水水质评价概述	111
4.2	供水水质评价	112
4.2.1	生活饮用水水质评价	112
4.2.2	工业用水水质评价	115
4.2.3	农田灌溉用水水质评价	119
4.3	矿泉水的水质评价	123
4.3.1	天然饮用矿泉水基本特征与开发利用现状	123
4.3.2	天然饮用矿泉水特殊组分的界限指标与水质评价	123
4.3.3	天然饮用矿泉水的分类与命名	124
4.4	地下水环境质量评价	124
4.4.1	评价的内容及原则	125
4.4.2	评价的类型	125

4.4.3	地下水质量分类标准	125
4.4.4	地下水环境影响评价	126
第5章 地下水开发利用工程		131
5.1	管井	131
5.1.1	钻孔（井）及其要素	131
5.1.2	管井结构	132
5.1.3	井管的选择与联结	133
5.1.4	滤水管设计	140
5.1.5	井孔钻进	149
5.1.6	成井工艺	154
5.2	渗渠	161
5.2.1	渗渠的位置的选择和布置方式	162
5.2.2	渗渠的构造	163
5.2.3	渗渠出水量的衰减及其控制措施	163
5.2.4	渗渠的水力计算	164
5.2.5	渗渠模拟	165
5.3	辐射井	166
5.3.1	辐射井的概念	166
5.3.2	辐射井的型式	167
5.3.3	辐射井的特点	168
5.3.4	辐射井的发展历史	168
5.3.5	几种典型辐射井	169
5.3.6	中国辐射井技术	170
5.3.7	辐射井设计	171
5.3.8	出水量计算	172
5.4	地下水取水建筑物的形式	174
第6章 中国水文地质区划		178
6.1	中国地下水分布的地质、地理背景	178
6.2	地下水区域划分讨论	179
6.3	水文地质分区概述	180
6.3.1	东部大平原半湿润气候季风带水文地质区	180
6.3.2	内蒙古高原、陕甘黄土高原半干旱气候草原带水文地质区	181
6.3.3	西北内陆盆地干旱气候沙漠带水文地质区	181
6.3.4	华东、华中及西南丘陵山地潮湿气候带水文地质区	182
6.3.5	东南、华南海洋气候亚热带水文地质区	183
6.3.6	青藏高原冰漠及高山草原带水文地质区	183

第 7 章 地下水专论	184
7.1 地热水	184
7.1.1 地热资源主要调查内容	184
7.1.2 区域浅层地热资源调查	185
7.2 矿泉水	186
7.2.1 天然矿泉水资源调查内容	186
7.2.2 天然矿泉水资源调查方法	187
7.2.3 天然矿泉水资源评价与环境保护	189
7.3 瓶装水	190
7.3.1 水源建设	191
7.3.2 产水量下降常见原因	194
7.4 农用地下水	195
7.4.1 农用地下水调查	195
7.4.2 专门水文地质实验	197
7.4.3 农用地下水开发	198
7.5 矿山地下水	201
7.5.1 矿山水文地质分类	201
7.5.2 矿山水文地质调查	202
7.5.3 井下水文地质调查	203
7.5.4 矿山充水条件调查	205
7.5.5 矿山水文地质评价	206
7.6 永冻区地下水	208
7.6.1 永冻区地下水的分类	208
7.6.2 冻结层上水的类型	209
7.6.3 冻结层上水的分布规律	211
7.6.4 人类活动对冻结层上水的补给的影响	211
7.6.5 冻结层上水地区实用排水措施	212
参考文献	215

第1章 地下水调查

1.1 水文地质测绘

水文地质测绘是指通过对调查区内的地质、地貌、地下水露头和地表水状况的观察分析,从宏观上认识地下水埋藏、分布和形成条件的一种调查手段。水文地质测绘是整个水文地质调查工作的开始,是整个水文地质调查工作的基础。该项工作一般安排在除遥感解译地质工作以外的其他水文地质勘探之前进行,为了更有针对性地进行测绘工作,必须了解测区内已有地质、水文地质的研究程度和存在的问题,且掌握有相同比例尺的地质图、地形图作为底图。

1.1.1 水文地质测绘的主要任务

水文地质测绘的主要目的是找出地下水天然或人工露头及与其有关的自然地理、地质现象间的内在联系,用以评价测绘区水文地质条件,为地区规划或者专门性生产建设提供水文地质依据。其主要任务如下。

(1) 观察地层的空隙发育规律及其含水性,确定含水层与隔水层的岩性结构、厚度、分布、破碎情况及其变化特征等。

(2) 掌握测绘区内的主要含水层、含水带、隔水层及其埋藏分布条件;弄清测绘区内地下水的基本类型及各类型地下水的分布状态、相互联系等情况。

(3) 查明地形地貌、地层岩性、构造等对地下水的补给、径流、排泄等条件的影响。

(4) 研究区域内地下水的化学成分、水文地球化学特征及其动态变化规律。

(5) 掌握区域内地下水开发利用现状,以及对比开采前后水文地质、环境地质条件的变化情况。

1.1.2 水文地质测绘的主要内容

水文地质测绘主要内容主要包括:基岩地质调查、地下水露头调查、地表水体调查、气象资料调查及与地下水、地表水相关的环境地质状况的调查,现分述如下。

1.1.2.1 基础地质调查

基础地质调查包括岩性调查、地层调查、构造调查、地貌调查等内容。

1. 岩性调查

岩性特征往往决定了地下水的介质类型,从而决定了地下水类型,并影响地下水的水质和水量。如第四纪松散介质往往赋存丰富的孔隙水;火成岩、碎屑岩地区往往赋存相当水量的裂隙水,而碳酸岩地区则主要分布岩溶水。对于岩土而言,影响地下水水量丰富与否的关键在于岩土介质的空隙特征,而岩土的化学成分和矿物成分则在一定程度上影响着地下水的水质。因此,在水文地质测绘中要求对岩石岩性观察的内容如下。

(1) 对松散地层, 要重点观察地(土)层的粒径大小、排列方式、颗粒级配、组成矿物及其化学成分、胶结物等。

(2) 对于非可溶性坚硬岩石, 对地下水赋存条件影响最大的是岩石的裂隙发育情况, 因此需着重调查和研究裂隙的成因、分布、张开程度、延展长度、切割深度和充填情况等。

(3) 对于可溶性坚硬岩石, 对地下水赋存条件影响最大的是岩溶的发育程度, 因此需着重调查和研究岩石的化学、矿物成分、溶隙的发育程度及影响岩溶发育的因素等。

2. 地层调查

地层是构成地质图和水文地质图的最基本要素, 也是识别地质构造的基础, 也是地下水赋存运移的空间所在。在水文地质测绘中, 关于地层的调查方法如下。

(1) 若手头无测区地质图, 则需要在野外实测并绘制调查区的标准剖面; 若手头已备测区地质图, 首先完成现场校核和充实标准剖面工作。

(2) 在测绘或校核完成标准地层剖面的基础上, 准确确定出水文地质测绘时所采用的地层填图单位, 即必须填绘出的地层界限。野外测绘时, 根据已确定地层的界限, 并对其作描述。

(3) 根据测区内地层的分布及其岩性, 判断区内地下水的形成、赋存等水文地质条件。

3. 构造调查

地质构造不仅对地层的分布产生影响, 它对地下水的赋存、运移等也有较强的控制作用。在基岩地区, 构造裂隙和断裂带是最主要的储水空间、集水廊道。在水文地质测绘中, 对地质构造的调查和研究的重点如下。

(1) 对于断裂构造, 调查其成因、规模、产状、断裂的张开程度、构造岩的岩性结构、厚度、断裂的填充情况及断裂后期的活动特征, 需根据野外证据和前人研究资料, 判断断层的性质(正断层、逆断层、平移断层); 查明各个部位的含水性以及断层带两侧地下水的水力联系程度; 研究各种构造及其组合形式对地下水的赋存、补给、运移和富集的影响。

(2) 对于褶皱构造, 应查明其形态、规模及其在平面和剖面上的展布特征与地形之间的关系, 尤其注意两翼的对称性和倾角及其变化特点, 主要含水层在褶皱构造中的部位和在轴部中的埋藏深度; 研究褶皱构造和断裂、岩脉、岩体之间的关系及其对地下水运动和富集的影响。

4. 地貌调查

地貌与地下水的形成和分布有着密切的联系, 在野外进行地貌调查时, 通常采取形态分析法、沉积物相关分析法、遥感技术等方法, 要着重研究地貌的成因类型、形成的地质年代、地貌景观与新地质构造运动的关系、地貌分区等。同时, 还要对各种地貌的各个形态进行详细、定性的描述和定量测量, 并把野外调查所获的第一手资料编制成地貌图。

1.1.2.2 地下水调查

1. 地下水天然露头调查

对地下水露头点进行全面的调查研究是水文地质测绘的核心工作。在测绘中, 要正确

地把各种地下水露头点绘制在地形地质图上,并将各主要水点联系起来分析调查区内的水文地质条件。还应选择典型部位,通过地下水露头点绘制出水文地质剖面图。

泉是地下水的天然露头,是极为重要的水文地质点,对泉水的调查主要有以下内容。

(1) 泉水出露处的位置和地形、高程。

(2) 泉水出露的地质构造条件,分析判断泉的成因。

(3) 泉水的补给、径流、排泄条件。包括大气降水渗入、地表水体漏失、岩溶水运动特征、泉水的排泄特点等。

(4) 判断泉水类型。目的是区分出断层泉、侵蚀泉及接触泉等类型。根据补给泉水的含水层位、地下水类型、补给含水层所处的构造类型、部位以及泉水出口处的构造特征等来分析泉的出露条件。

(5) 调查泉水的动态特征。测量泉的涌水量和水温,并根据泉流量的不稳定系数分类来判断泉的补给情况。

(6) 采取水样,可利用同位素及水化学分析方法,分析其循环模式,并可进行水质分析研究。

地下水的人工露头,主要是指民用的机井、浅井以及个别地区少数的钻孔、试坑、矿坑、老窑等。地下水人工露头调查内容包括以下内容。

(1) 调查水井或钻孔所处的地理位置、地貌单元、井的深度、结构、形状、孔径、井口口的高程、井使用的年限和卫生防护情况。

(2) 调查水井或钻孔所揭露的地层剖面,选择有代表性的机井、民井标在图上。搜集机井、民井的卡片资料,其中包括井内所揭露的地层和井的结构,确定含水层的位置和厚度。

(3) 测量井水位、水温,并选择有代表性的水井进行取水样分析。通过调查访问,搜集水井的水位和涌水量的变化情况。

(4) 调查井水的用途和提水设备的情况,了解当地地下水开发利用情况。

2. 地表水调查

对于无观测的较小河流、湖泊等,应在野外测定地表水的水位、流量、水质、水温和含沙量,并通过走访相关部门和当地群众了解地表水的动态变化。对于设有水文站的地表水体则应搜集有关资料进行分析整理。

1.1.3 水文地质测绘的工作阶段

水文地质测绘共包括准备工作、野外工作和室内工作3个阶段,分述如下。

1. 准备工作阶段

收集调查区以前的调查资料;现场踏勘;编写设计书。

2. 野外工作阶段

实测控制(标准剖面);进行航空照片判读,研究和确定次日的具体工作路线和工作方法,布置观测点、观测线;实施野外调查计划,进行必要的轻型勘探和抽水试验;做好野外时期的内业整理工作,主要为检查、补充和修正野外记录簿和草图,并进行着墨。检查地质点在图幅内的坐标位置,修正地质草图,编制各种综合图及辅助的地质剖面。对野外所拍摄的照片或录像资料进行编号和附文字说明。整理试验结果,并进行有关的计算,

按规定绘制相关的图表。整理和登记所采集的各种样品及标本。对各种标本、样品应按统一的编号进行登记和填写标签,并分别进行包装。与邻区进行接图,进行路线小结,以及发现问题并找出补救办法。

另外,在野外工作期间,应每隔10~15d进行一次阶段性的资料整理,其主要内容包括以下几点:综合整理各种野外原始资料,编制各种草图(包括实际材料图),检查野外记录本及各种取样登记本,清理并选送各种鉴定分析的标本和样品;讨论研究存在的各种问题,确定下一阶段的工作计划和工作重点;编写野外阶段性小结。

3. 室内工作阶段

资料整编和综合研究。

1.2 水文地质钻探

水文地质钻探为查明地下水的埋藏条件、补给、径流、水化学特征等水文地质条件,以获取合理开发及利用地下水所需资料而采用的一种主要技术手段,简称水文钻探。该手段不仅可以直接揭露地下水(含水层),还可以兼做取样、试验、开采和治理地下水污染之用。

水文地质钻探的主要目的与任务如下。

- (1) 探明地层剖面及含水层岩性、厚度、埋藏深度和水位。
- (2) 采取岩土样和水样,确定含水层的水质,测定岩土的物理与水理性质。
- (3) 进行水文地质试验,确定含水层的各种水文地质参数。
- (4) 查明水文地质边界条件,确定各含水层之间以及地表水与地下水之间的水力联系。
- (5) 利用钻孔监测地下水动态或建成开采井。

1.2.1 水文勘探钻孔的布置原则

布置钻孔时要考虑水文钻探的主要任务,应明确是查明区域水文地质条件,还是确定含水层水文地质参数、寻找基岩富水带、评价地下水资源或进行地下水动态观测;布置钻孔时要考虑“一孔多用”,并考虑其代表性和控制意义。

就区域水文地质调查和供水水文地质调查任务而言,可将上述原则理解如下。

(1) 为查明区域水文地质条件布置的钻孔,一般都布置成勘探线的形式。主要勘探线应沿着区域水文地质条件(含水层类型、岩性结构、埋藏条件、富水性、水化学特征等)变化最大的方向布置。对区内每个主要含水层的补给、径流、排泄和水量、水质不同的地段均应有勘探钻孔控制。如在山前冲洪积平原地区,主要的勘探线应沿着冲洪积扇的主轴方向布置;在河谷地区 and 山间盆地,主要勘探线应垂直河谷和山间盆地布置;在裂隙岩溶地区,主要勘探线应穿过裂隙岩溶水的补给、径流、排泄区和主要的富水带。

(2) 为地下水资源评价布置的勘探孔,其布置方案必须考虑拟采用的地下水资源评价方法。勘探孔所提供的资料应满足建立正确的水文地质概念模型、进行含水层水文地质参数分区和控制地下水流场变化特征的要求。

当水源地主要依靠地下水的侧向径流补给时,主要勘探线必须沿着流量计算断面布置。对于傍河取水水源地,为计算河流侧向补给量,必须布置一条平行与垂直河流的勘

探线。

当采用数值模拟方法评价地下水资源时，为正确地进行水文地质参数分区、正确给出预报时段的边界水位或流量值。勘探孔布置一般呈网状形式，并能控制边界的水位或流量变化。

(3) 以供水为勘查目的的勘探孔的布置，应考虑勘探与开采结合。钻孔一般应布置在含水层（带）富水性最好、经济技术条件可行、成井几率最大的地段。

1.2.2 水文地质钻孔的结构和钻孔设计

勘探孔布置要求必须满足查明水文地质条件、地下水资源评价和专门任务需要，尽可能做到一孔多用，钻孔主要技术要求见表 1.1。要求所有钻孔均编制单孔设计书，钻孔施工采用机械回转钻进，一径到底。设备选用 SPJ-300 型钻机。采用肋骨合金小口径取芯钻进，测井完成后，采用六翼式钻头扩孔成井。钻探取样、孔内试验完成后，钻孔应按设计书要求建成地下水开采井或地下水动态观测孔。钻孔设计书的内容包括：孔深根据钻探任务来确定，一般要求达到揭露或打穿主要含水层。开孔、终孔的直径及孔身变径位置、不同口径井管的下置深度及所选用的井管材料、钻孔中止水段的位置和止水方法、过滤器的类型和过滤器下置深度、对水井中的非开采含水层段，提出井壁与井管之间隙的回填封堵段的位置、使用材料及要求以及钻进方法和技术要求，包括对冲洗液质量、岩芯采取率、岩上水样采集、洗孔及孔斜等的要求，以及对观测和编录方面的技术要求。设计书应附有设计钻孔的地层岩性剖面、井孔结构剖面和钻孔平面位置图。具体参照《水文地质钻探规程》(DZ/T 0148—1994)。

表 1.1 钻 孔 主 要 技 术 要 求

项目	技 术 要 求
孔深	钻孔深度应钻穿主要含水层或含水构造带
孔径	终孔直径，松散层应满足 $\phi 325\text{mm}$ 过滤器安装需要；泵室段直径应比抽水设备外径大 $\phi 50\text{mm}$
钻进冲洗介质	根据地层性质、水源条件、施工要求、钻进方法、设备条件等正确选择空气、泡沫作为钻探冲洗介质
岩芯	①探钻孔都采取岩芯，一般黏性土和完整基岩平均采取率应大于 70%，单层不少于 60%；砂性土、疏松砂砾岩平均采取率应大于 40%，单层不少于 30%。无岩芯间隔，一般不超过 3m。对取芯特别困难的巨厚（大于 30m）卵砾石层、流沙层无岩芯间隔，一般不超过 5m，个别不超过 8m。当采用物探测井验证时，采取率可以放宽。②岩芯应填写回次标签并编号，装入岩芯箱保管。③岩芯应以钻进回次为单元，进行地质编录。④终孔后，岩芯按设计书要求进行处理
取样	按单孔设计书要求采取地下水、岩、土等测试样品
孔位	勘探钻孔均测量坐标和孔口高程
止水	分层或分段抽水试验钻孔，均应按设计书和技术要求进行止水，并应进行止水效果检查
洗孔与试抽	水文地质试验孔均应进行洗孔与试抽对比。用活塞洗孔时，活塞的提拉，一般自下而上进行，每段提拉时间根据含水层岩性与水文地质条件而定，一般不小于 0.5h。洗孔试抽对比，即洗孔试抽两次，每次试抽时间应不少于 2h，在同一降深时，前后两次单位出水量变化不超过 10%；且在试抽结束时，用含砂量计测定泥浆沉淀物不大于 0.1%，即可认为洗孔合格，否则，应重新洗孔和捞砂。在水文地质条件清楚的地区，当进行洗孔试抽之后出水量达到预计出水量要求或与附近水并出水量相一致时，可不进行洗孔试抽之对比

续表

项目	技术要求
孔深与孔斜	每钻进 100m 和钻进至主要含水层及终孔时、钻孔换径、扩孔结束和下管前, 均应使用钢卷尺校正孔深。孔深校正最大允许误差为 2‰
	每钻进 100m 和终孔时, 必须测量孔斜。孔斜每 100m 不得超过 1°, 可以递增计算。采用深井水泵抽水井, 泵管段不得大于 1°
简易水文地质观测	所有钻孔在钻进过程中必须做好简易水文地质观测: ①观测孔内水位、水温变化; ②记录冲洗液漏失量; ③记录钻孔涌水的深度, 测量自流水头和涌水量; ④记录钻进中出现的异常现象

1.2.3 钻进过程中的水文地质观测工作

钻进过程中的主要观测项目如下。

(1) 观测冲洗液的消耗量及其颜色、稠度等特性的变化, 记录其增减变化量及位置; 及时发现孔底地层岩石的变化, 并进行记录, 以弥补岩芯采取率的不足。

(2) 钻孔中水位的变化, 当发现含水层时, 要测定初见水位和天然稳定水位, 以确定其埋藏深度、厚度。

(3) 及时描述岩芯, 统计岩芯采取率, 测量其裂隙率或岩溶率; 以确定含水层(带)的富水性。

(4) 测量钻孔的水温变化及其位置; 辅助分析含水层中水温、水化学成分变化规律。

(5) 观测和记录钻孔的涌水、涌砂、涌气现象及其起止深度和数量, 观测和记录钻进速度、孔底压力及钻具突然下落(掉钻)、孔壁坍塌、缩径等现象和其深度; 为最终确定水井的成井结构提供所需的地质依据。

1) 按钻孔设计书的要求及时采集水、气、岩、土样品。

2) 在钻进工作结束后, 按要求进行综合性的水文地质物探测井工作。

水文地质钻探成果如下。

钻探与抽水试验结束后, 均应提交单孔竣工报告, 并附以下水文地质成果: ①钻孔设计书; ②钻孔成果综合图表; ③岩心检验记录表; ④止水检查记录表; ⑤测斜记录表; ⑥校正孔深记录; ⑦洗孔记录表; ⑧钻孔平面位置图; ⑨抽水试验成果表; ⑩抽水试验记录表; ⑪静止水位测定记录; ⑫恢复水位记录; ⑬ $Q-t$ 及 $s-t$ 关系曲线; $Q=f(s)$; $q=f(s)$ 关系曲线; ⑭水质分析报告表、岩土测试分析成果表; ⑮生活、工业、农业用水水质评价表; ⑯水文物探测井解释图表及测井曲线图; ⑰水、岩、土样取样记录表。

1.3 水文地质试验与地下水动态调查

水文地质试验是查清水文地质条件、评价地下水资源的重要手段, 分为野外和室内试验两种, 本节以介绍抽水试验为主, 其他几项试验为辅。

1.3.1 水文地质试验

1.3.1.1 抽水试验

抽水试验是通过从钻孔或水井中抽水, 定量评价含水层富水性, 测定含水层水文地质参数和判断某些水文地质条件的一种野外试验工作方法。它是以地下水井流理论(主要内

容包括孔隙渗流理论基础、河渠附近地下水运动、井附近的地下水运动)为基础,通过在井孔中进行抽水和观测,一般来测定含水层水文地质参数、评价含水层富水性和判断某些水文地质条件的水文地质勘察中最为常用的水文地质试验。

1. 抽水试验的任务

(1) 直接测定含水层的富水程度和评价井(孔)的出水能力。

(2) 确定含水层水文地质参数,如渗透系数 K 、导水系数 T 、给水度 μ 、储水系数 μ^* 等。

(3) 为取水工程设计或大型城建工程(地铁等)提供所需的水文地质基础数据,如单井出水量、单位出水量、井间干扰系数等,并可根据水位降深和涌水量选择水泵型号。

(4) 可直接评价水源地的可(允许)开采量。

(5) 查明某些其他手段难以查明的水文地质条件,如地表水与地下水之间及含水层之间的水力联系,以及边界性质和强径流带位置等。

2. 抽水试验的分类

抽水试验主要分为单孔抽水、多孔抽水、群孔干扰抽水和试验性开采抽水。

(1) 单孔抽水试验:仅在一个试验孔中抽水,用以确定涌水量与水位降深的关系,概略取得含水层渗透系数。

(2) 多孔抽水试验:在一个主孔内抽水,在其周围设置若干个观测孔观测地下水位。通过多孔抽水试验可以求得较为确切的水文地质参数和含水层不同方向的渗透性能及边界条件等。

(3) 群孔干扰抽水试验:在影响半径范围内,两个或两个以上钻孔中同时进行的抽水试验;通过干扰抽水试验确定水位下降与总涌水量的关系,从而预测一定降深下的开采量或一定开采定额下的水位降深值,同时为确定合理的布井方案提供依据。

(4) 试验性开采抽水试验:是模拟未来开采方案而进行的抽水试验。一般在地下水天然补给量不很充沛或补给量不易查清,或者勘察工作量有限而缺乏地下水长期观测资料的水源地,为充分暴露水文地质问题,宜进行试验性开采抽水试验,并用钻孔实际出水量作为评价地下水可开采量的依据。

3. 抽水试验场的选择及井位布置

(1) 试验场地的选择。选择含水层试验场地时,应该注意以下问题。

1) 场地的水文地质条件在短距离内不应有变化,并具有区域的代表性或代表研究区的大部分。

2) 场地最好不要选择在近铁路或公路处,因为重型运输设备的通过对承压含水层的观测孔可产生可观测的波动。

3) 抽出的水必须以不能返回到含水层的方法排走。为防止抽出水的回渗,在预计抽水影响范围内的排水沟必须采取防渗措施。当表层有 3m 以上的黏土或亚黏土时,一般可直接挖沟排水。

4) 潜水面或测压面的水力坡度应该不大;动力及设备必须很容易到达场地。

(2) 抽水试验场地抽水孔及观测孔的布置。

1) 抽水孔布置原则。

a. 为求取水文地质参数的抽水孔, 一般应远离含水层的透水、隔水边界, 布置在含水层导水及储水性质、补给条件、厚度和岩性条件等有代表性的地方。

b. 对于探采结合的抽水井(包括供水详勘阶段的抽水井)要求布置在含水层(带)富水性较好或计划布置生产水井的位置上, 以便为将来生产孔的设计提供可靠信息。

c. 欲查明含水层边界性质、边界补给量的抽水孔, 应布置在靠近边界的地方, 以便观测带边界两侧明显的水位差异或查明两侧的水力联系程度。

2) 观测孔布置原则。由于观测孔中的水位不受抽水孔水跃值和抽水孔附近三维流的影响, 能更真实地代表含水层中的水位利用观测孔的水位观测数据, 可以提高井流公式所计算出的水文地质参数的精度。另外, 利用观测孔的水位, 可用多种作图方法求解稳定流和非稳定流的水文地质参数。亦可绘制出抽水的人工流场图(等水位线或下降漏斗), 可分析判明含水层的边界位置与性质、补给方向、补给来源及强径流带位置等水文地质条件。大型孔群抽水试验渗流场的时空特征, 可作为建立地下水数值模拟模型的基础。

观测孔一般应和抽水主孔组成观测线, 所求水文地质参数应具有代表性。因此, 要求通过水位观测孔观测所得到的地下水位降落曲线, 对于整个抽水流场来说, 应具有代表性。一般应根据抽水时可能形成的水位降落漏斗的特点来确定观测线的位置, 对于不同目的的抽水试验, 其水位观测孔布置的原则是不同, 具体如下。

a. 均质各向同性、水力坡度较小的含水层, 其抽水降落漏斗的平面形状为圆形, 即在通过抽水孔的各个方向上, 水力坡度基本相等, 但一般上游侧水力坡度小于下游侧水力坡度, 故在与地下水流向垂直方向上布置一条观测线即可, 见图 1.1。

b. 均质各向同性、水力坡度较大的含水层, 其抽水降落漏斗形状为椭圆形, 下游一侧的水力坡度远较上游一侧大, 故除垂直地下水流向布置一条观测线外, 尚应在上、下游方向上各布置一条水位观测线 [图 1.1 (b)]。

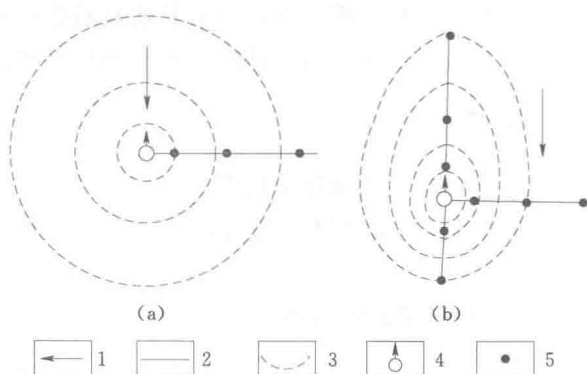


图 1.1 抽水试验水位观测线布置示意图

1—地下水天然流向; 2—水位观测线; 3—抽水时的等水位线; 4—抽水主孔; 5—水位观测孔

c. 均质各向异性的含水层, 抽水水位降落漏斗常沿着含水层储、导水性质好的方向发展(延伸), 该方向水力坡度较小; 储、导水性差的方向为漏斗短轴, 水力坡度较大。因此, 抽水时的水位观测线应沿着不同储、导水性质的方向布置, 以分别取得不同方向的水文地质参数。

d. 对观测线上观测孔数目的布置要求。观测孔数目: 只为求参数, 1 个即可; 为提高参数的精度则需 2 个以上, 如欲绘制漏斗剖面, 则需 2~3 个。观测孔距主孔距离: ①按抽水漏斗水面坡度变化规律, 愈近主孔距离应愈小, 愈远离主孔距离应愈大; ②为避开抽水孔三维流的影响, 第一个观测孔距主孔的距离一般应约等于含水层的厚度(至少应大于 10m);

③最远的观测孔,要求观测到的水位降深应大于 20cm;④相邻观测孔距离,亦应保证两孔的水位差必须大于 20cm。

e. 当抽水试验的目的在于查明含水层的边界性质和位置时,观测线应通过主孔、垂直于欲查明的边界布置,并应在边界两侧附近均布置观测孔。

f. 对欲建立地下水水流数值模拟模型的大型抽水试验,应将观测孔比较均匀地布置在计算区域内,以便能控制整个流场的变化和边界上的水位和流量,应在每个参数分区内都布置观测孔,便于流场拟合。

g. 当抽水试验的目的在于查明垂向含水层之间的水力联系时,则应在同一观测线上布置分层的水位观测孔。

h. 观测孔深度:要求揭穿含水层,至少深入含水层 10~15m。

4. 观测要求

(1) 稳定流抽水试验观测要求。水位观测时间一般在抽水开始后第 1min、3min、5min、10min、20min、30min、45min、60min、75min、90min 进行观测,以后每隔 30min 观测一次,稳定后可延至 1h 观测一次,水位读数应准确到 cm。

涌水量观测应与水位观测同步进行;当采用堰箱或孔板流量计时,读数应准确到 mm。

注意:为保证测量精度要求,可根据流量大小,选用不同规格的堰箱。当流量小于 10L/s 时,堰箱断面面积应大于 25dm^2 ;流量为 10~50L/s 时,堰箱断面面积应大于 100dm^2 ;流量为 50~100L/s 时,堰箱断面面积应大于 200dm^2 。

水温、气温宜 2~4h 观测一次,读数应准确到 0.5°C ,观测时间应与水位观测时间对应。

恢复水位观测要求:停泵后应立即观测恢复水位(图 1.2),观测时间间隔与抽水试验要求基本相同。若连续 3h 水位不变,或水位呈单向变化,连续 4h 内每小时水位变化不超过 1cm,或者水位升降与自然水位变化相一致时,即可停止观测。试验结束后应测量孔深,确定过滤器掩埋部分长度,淤砂部分应在过滤器有效长度以下,否则,试验应重新进行。

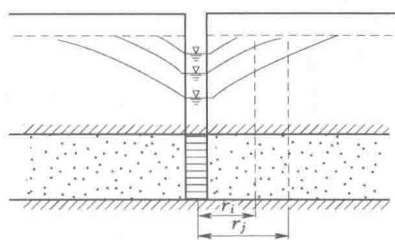


图 1.2 停止抽水后水位回升图

(2) 非稳定流抽水试验观测要求。

1) 水位观测宜按第 0.5min、1min、1.5min、2min、2.5min、3min、3.5min、4min、5min、6min、7min、8min、10min、12min、15min、20min、25min、30min、40min、50min、60min、75min、90min、105min、120min 进行观测,以后每隔 30min 观测一次,其余观测项目及精度要求可参照稳定流抽水试验要求进行。

2) 抽水孔与观测孔水位必须同步观测。

3) 抽水结束后,或试验期间因故中断抽水时,应观测恢复水位,观测频率应与抽水时一致,水位应恢复到接近抽水前的静止水位。

5. 抽水试验报告

抽水试验设计提纲内容包括以下内容。