



普通高等教育“十二五”规划教材

地下水利用

主 编 李海燕



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

地下水利用

主 编 李海燕



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本教材为高等水利学科专业规范核心课程教材。本书除绪论外，共分7章。内容依次为地下水的分类、特点及运移规律；管井出水量计算；地下水利用中水文地质参数及其他参数的确定方法；地下水资源的计算和评价；地下水取水建筑物的设计与施工；地下水的开发利用工程规划；井灌区的管理等。

本教材适用对象为高等学校水利水电工程、农业水利工程、水文水资源工程、给排水工程等相关专业的本科生、研究生，也可供相关领域的工程技术人员参考。

图书在版编目（C I P）数据

地下水利用 / 李海燕主编. — 北京：中国水利水电出版社，2015.5
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-5170-3172-7

I. ①地… II. ①李… III. ①地下水利用—高等学校—教材 IV. ①TU731.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第101670号

书 名	普通高等教育“十二五”规划教材 地下水利用
作 者	李海燕 主编
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	北京瑞斯通印务发展有限公司
规 格	184mm×260mm 16开本 15印张 356千字
版 次	2015年5月第1版 2015年5月第1次印刷
印 数	0001—3000册
定 价	29.00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

本教材是根据教育部有关文件和《高等学校水利类（高等学校精品规划教材）编审会议纪要》的精神，为加强全国高等院校水利类教材建设，以水利水电工程、农业水利工程、水文与水资源工程、给水排水工程等相关专业为主要教学对象而编写的专业课教材。本教材为普通高等教育“十二五”规划教材。

本教材针对农水专业对地下水灌溉利用领域的特点，水量计算和水质评价中突出了灌溉用水的特点。章节安排更加科学合理，本教材首先介绍地下水资源的类型及特点、水井出水量的计算，然后介绍水文地质参数的确定、地下水资源的计算与评价等内容；最后介绍取水建筑物设计和施工、运行管理。理论知识的讲解与案例分析结合，有助于提高学生的学习兴趣和知识的应用能力。

本教材由甘肃农业大学李海燕任主编，新疆塔里木大学张永玲、甘肃农业大学张芮、兰州理工大学郑健任副主编，甘肃民族师范学院吴贤忠、甘肃农业大学朱燕琴、甘肃农业大学黄彩霞、甘肃农业大学康燕霞参编，李海燕负责统稿。

本教材是按照 40~56 学时“地下水利用”教学大纲编写的，可作为高等学校水利类专业的教材及水利工程技术人员的参考书。在实际教学过程中，内容可根据专业特点和计划学时适当取舍。

本教材在编写过程中参阅了书后所列参考文献的相关内容，其中部分章节引用了《地下水利用》（周维博等主编）、《地下水利用》（全达人主编）等文献的有关内容。本教材的出版得到了甘肃农业大学的立项资助和中国水利水电出版社的大力支持，编者在此一并致谢。

对于教材中的不足之处，希望读者批评，并提出改进意见。

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 地下水在我国农业生产中的作用	1
1.2 地下水开发利用简况	2
1.3 地下水开发利用存在的问题	5
1.4 本课程的主要内容和学习要求	8
第2章 地下水的分类、特点及运移规律	10
2.1 地下水的类型及其特征	10
2.2 地下水的补给、径流、排泄条件	18
2.3 地下水的物理性质和化学成分	24
2.4 地下水运动的基本规律	28
第3章 管井出水量计算	36
3.1 单井出水量的计算	36
3.2 群井出水量计算	51
第4章 地下水利用中水文地质参数及其他参数的确定方法	57
4.1 利用抽水试验资料确定水文地质参数	57
4.2 利用地下水动态资料确定水文地质参数	71
4.3 用室内方法确定水文地质参数	74
4.4 其他参数的确定	77
第5章 地下水资源的计算和评价	82
5.1 概述	82
5.2 地下水资源的数量计算与评价	88
5.3 地下水资源计算的数值法	96
5.4 地下水资源的质量计算与评价	134
第6章 地下水取水建筑物的设计与施工	149
6.1 地下水集水建筑物的分类	149
6.2 管井设计	153

6.3	管井施工	165
6.4	大口井与辐射井	178
6.5	截潜流工程	189
第7章 地下水的开发利用工程规划		195
7.1	概述	195
7.2	基本资料及其分析整理	195
7.3	规划分区	197
7.4	水量平衡计算	199
7.5	井灌区的机井及工程规划	210
第8章 井灌区的管理		218
8.1	地下水资源管理	218
8.2	井灌区的用水管理	221
8.3	水井的管理养护与修复	224
8.4	地下水动态观测和预报	225
8.5	井灌区现代化管理技术简介	230
参考文献		233

第 1 章 绪 论

1.1 地下水在我国农业生产中的作用

全世界干旱、半干旱地区的面积分别约占全球陆地面积的 24% 及 10.9%，遍及 50 多个国家及地区，主要分布在亚洲、非洲、大洋洲、南美洲、北美洲等。我国干旱、半干旱地区的面积约占全国总面积的一半，主要分布在我国西北、华北、内蒙古及青藏高原的绝大部分地区，这些地区的地表水资源比较缺乏。因此，这些地区的水资源开发利用，除应充分开发利用地表水资源外，还必须积极、合理地开发利用地下水资源。

地下水资源既是一种宝贵的自然资源，也是自然资源的重要组成部分。随着世界人口的不断增长，只有合理地利用和有效地保护地下水资源，才能保证经济和社会的持续发展。在干旱地区地下水被视为“稀缺资源”，更需要特别小心地加以保护和以珍惜的方式加以利用。

根据我国北方干旱及半干旱地区对地下水资源开发利用的经验分析，合理开发利用地下水在农田水利事业中具有以下重要作用：

(1) 水源稳定可靠，灌溉保证率高。其原因主要有两个：

1) 与地表水相比，地下水（特别是深层地下水）由于受气象因素影响较小，具有较强的季节、年调节能力，因此其防旱、抗旱能力较强。在干旱需水时，一些河湖常常干涸，而地下水则相对稳定。因此，地下水源比较稳定可靠，灌溉保证率高。这一点在我国旱象频繁、地表水源不稳的华北和西北地区表现得尤为突出。以河北省黑龙港地区为例，该地区 1965—1968 年旱象严重时河水很少，甚至断流，地表水灌溉的保证率很低，而井水（特别是深井水）则较为稳定。

2) 浅层含水层，特别是平原地区厚度较大的潜水层，就像一个天然地下水库一样，具有较强的年内调节和多年调节作用。由于潜水埋藏较浅，补给容易。在井渠结合灌区，井灌开采的地下水，可通过渠系和田面渗漏予以补给。中国农业科学院水利部农田灌溉研究所在河南省人民胜利渠七里营乡的观测发现，该乡每年浅井（井深 30~40m）灌溉利用地下水约 1500 万 m^3 ，与引黄（河水）渠灌的渗漏补给量 1420 万~1670 万 m^3 大致相等。即浅层地下水由于井灌开采的水量，当年即可因渠灌渗漏补给而比较容易得到恢复。位于陕西黄土台塬的宝鸡峡灌区和泾惠渠灌区，由灌区渗漏在黄土地层中形成的地下水储量超过 20 亿 m^3 ，其中泾惠渠灌区可开采的年调节水量为 1.7 亿~2.3 亿 m^3 。因此，在我国北方地区，因灌溉渗漏形成的地下水，有着调节河源来水丰欠的巨大作用，它是保证灌区防旱、抗旱的可贵水源。

在纯井灌区，旱季开采的水量在当年雨季（或补给季节）即可得到一定程度的补给。

根据河北省水文地质队的动态观测资料,河北平原 1974—1978 年平均年开采量为 88 亿 m^3 ,浅层水基本保持稳定,虽然 1973—1976 年因降水偏少,地下水位连续下降,但 1977—1978 年降水量较大,地下水位基本恢复到 1973 年的水平。这说明在枯水年适当超采的水量,一般通过丰水年的补给,就可得到恢复。正是由于含水层(特别是平原地区厚度较大的潜水含水层)具有年调节和多年调节的作用,使得干旱季节或干旱年开采的地下水在丰水年得到恢复补给,从而使水源稳定可靠,农田灌溉用水有一定的保证率。

(2) 能适时适量灌溉,增产效果明显。由于地下水灌溉工程小,灌溉面积不大,因此,管理方便,调度灵活,能适时适量进行灌溉,及时满足作物生长需水要求。实践证明,目前一般井灌区产量都比较高,地下水灌溉的增产效果十分显著。目前我国北方地区种植的大棚蔬菜,大多采用地下水灌溉,就是因为地下水灌溉具有能适应蔬菜小水勤浇的特点。

(3) 在易涝、易碱地区能起到除涝治碱的作用。易涝、易碱在我国西北、华北和东北地区均有分布,在这些地区发展井灌(井排)是综合治理旱、涝、碱的重要有效措施。井灌的除涝治碱作用主要表现为:能调节地下水量平衡,降低(或控制)潜水水位;改变表土盐分垂直分布;增大雨季土壤和“地下水库”蓄水能力。国内外大量试验表明,井排(垂直排水)和水平排水相比,具有水位降深大、占地小、无需修建大量土建工程、达到灌排两用的目的的特点。在我国北方由于发展地下水灌溉而使涝碱地得到治理的例子很多,如河南省的温县、封丘、开封,河北省的南皮、曲周,山东的茬平等。井灌在河北、河南、山东、宁夏等地的盐碱地改良中已起着非常重要的作用。

(4) 地下水是发展喷灌、微喷灌、滴灌、渗灌等节水灌溉技术的理想水源,因为地下水含沙量极少,比较清澈干净,不会阻塞灌水器,也不会像含泥沙量大的地表水那样,喷洒在植物叶上会阻塞植物的气孔而危害植物。

1.2 地下水开发利用简况

1.2.1 国外地下水利用简况

由于世界人口的持续增长,生产建设的不断发展以及地表水资源不断被污染,促使各国更重视把优质地下水首先用作饮用水的供水水源,在一些干旱、半干旱地区的国家,则把地下水作为农业灌溉利用的主要水源,下面介绍几个地下水开发规模大、经验多的国家的情况。

1. 美国

美国地下水开发的历史较长,早在 19 世纪后期加州中央各地、芝加哥、南达科他州等地已开采地下水,主要用于农业灌溉和生活用水。

美国地下水开发利用程度相对较高,1985 年地下水开采量 (1013 亿 m^3/a),占全国淡水利用量的 21.7%,市政公共供水中地下水占 40.1%,农业用水中占 34.4%,饮用地下水源的人口占 53%,工矿自备水源中地下水占 17.3%。地下水在生活饮用,市政公共和农业供水中占有重要地位。

美国是发达国家中利用地下水灌溉规模最大的国家,而且主要集中在美国西部。西部

地区气候较为干旱,农业发展在很大程度上依靠灌溉,地下水的开采强度很大。西部 17 个州的井灌面积占全国井灌总面积的 80%以上,其中德克萨斯州的井灌面积占全州总灌溉面积的 82%,加利福尼亚州为 40%以上。

2. 印度

印度位于南亚次大陆,面积约为 197 万 km^2 。尽管全国多年平均降水量为 1143mm,但中部及南部仍有干旱缺水地区需要发展灌溉。古代印度就有利用大口浅井汲取地下水的历史,20 世纪 30 年代,在恒河平原开始打深度 100m 以内的管井取水灌溉。印度地下水开采量中 90%以上用以农业灌溉,用于居民供水和工业供水的量不足地下水开采量的 10%,印度多年平均可恢复地下水资源为 4500 亿 m^3/a ,目前年抽水量达 1350 亿 m^3/a ,已利用 30%左右。20 世纪 50 年代以来,印度的地下水灌溉面积比重随总灌溉面积的增长而增长,1951 年井灌面积 0.9 亿亩,占全国总灌溉面积的 29%;1969 年井灌面积增至 1.64 亿亩,占全国总灌溉面积的 30%;1984 年井灌面积达 2.04 亿亩,占全国总灌溉面积的 38%;1992 年井灌面积达 5.7 亿亩,占全国总灌溉面积的 45.3%。井灌面积之大居世界第一位。

3. 巴基斯坦

巴基斯坦位于南亚次大陆西北部,面积约 79 万 km^2 。大部分地区属干旱、半干旱地区,年平均降雨量,北方山区为 889mm,南方仅为 127mm。巴基斯坦的灌溉集中在印度河平原。印度河平原面积为 26.6 万 km^2 ,占全国总土地面积的 1/3,耕地 2.7 亿亩,占全国的 90%,灌溉面积 2.0 亿亩,占全国的 89%。印度灌溉农业已有几千年的历史,灌溉是农业的保证。由于长期大流量引水,高渠库常年输水和有灌无排等原因,地下水位不断升高,成为农业的最大危害。1959 年巴基斯坦为了发展农业生产,开始实行“盐分控制和土壤改良计划”(SCARP-Salinity Control and Reclamation Project),随即修建大规模的排水工程,按照这个计划,印度河平原到 1996 年将治理盐碱化面积 1.35 亿亩,主要包括修建管井 5.9 万眼,开挖排水沟 7.7 亿 km 。1979 年 6 月统计,已建管井 1.2 万眼,筒井 15 万眼,挖排水沟 5600km,控制面积 4005 万亩,每年提取地下水 250 亿 m^3 ,占河、渠和田间渗漏年补给总量 600 亿 m^3 的 41.7%。当地下水质较好(矿化度小于 1g/L)时,就直接用于灌溉,否则,抽出的水送入排水系统,最后集中建抽水站排入下一级灌溉渠道,与渠水掺和供下游灌区使用。巴基斯坦是井灌井排,既灌溉,又治碱,地表水地下水联合运用的成功实例。

1.2.2 我国地下水开发利用简况

我国是世界上开发利用地下水最早的国家之一,早在相当于我国仰韶文化的母系氏族公社时期(距今约 5700 年前),我们的祖先就已经采用凿井取水。到了距今 2000 多年前的春秋战国时代,随着生产力的发展,凿井技术有了进一步提高,在四川自贡一带已有深达数百米的盐井,这可是世界上在岩石中开凿的首批深井。汉武帝时,在今陕西渭北高原上修筑了我国最早的井渠结合的农田灌溉典范“龙首渠”。驰名中外的新疆“坎儿井”,至今仍不失为开发山前倾斜平原地下水的有效措施之一。上述事例充分说明我国古代劳动人民,在开发利用地下水方面早就创造了光辉的历史,作出了卓越的贡献。

新中国成立以来,地下水开发利用事业得到迅速发展,1949年前全国水井配套动力仅有9万多kW,截至1997年年底,全国已配套机井343万眼。1949年全国井灌面积为1582万亩,占有效灌溉总面积2.39亿亩的6.6%;1975年全国井灌面积为1.55亿亩,占有效灌溉总面积6.92亿亩的22.4%,1985年全国井灌面积为1.67亿亩,占有效灌溉总面积7.19亿亩的23.2%;1990年全国井灌面积为1.76亿亩,占有效灌溉总面积7.26亿亩的24.2%。灌溉面积之大,居世界第二位。

地下水在城市供水中也发挥了重要作用,1988年全国有310个城市开采利用地下水作为城市供水水源,约占全国城市总数的71%。107个重点城市中有54个城市以地下水为主要供水水源,其中北方46个城市,约占北方重点城市的70%,南方8个城市,约占南方重点城市的20%。地下水源生产井和自备井共约13.6万眼,地下水总开采量约占全国城市总供水量的1/3。

1997年,全国地下水实际开采量达968.78亿 m^3 (其中:农田灌溉用水占54.3%;城镇工业用水占17.5%;农村生活用水占12.8%;农村工业和林牧渔业用水占8.0%;城镇生活用水占7.4%),占全国总用水的17.4%。在我国,由于地下水资源的地区分布及需求不同,各省(自治区、直辖市)和各流域片地下水供水量占总供水量的比例相差很大。地下水供水量占供水量一半以上的有河北、北京、山西、河南等4个省(直辖市),其中,河北省地下水供水量占了总供水量的3/4,北京市地下水供水量占总供水量的2/3;山东、辽宁、陕西、内蒙古、黑龙江、天津、吉林等省(自治区、直辖市)地下水供水量占总供水量的比例也较高,为30%~40%;福建省和上海市地下水供水量占总供水量的比例最小,只有0.79%和1.11%。

北方大多数流域的地下水供水量在总供水量中占有较大比例,其中海河流域占61.9%,黄河中游占57.8%,辽河流域占53.0%,淮河流域占23.7%,河西内陆河占25.2%;南方各流域片地下水供水量占总供水量的比例较小,一般在5%以下。

据勘查,我国地下水资源的总量达8700亿 m^3/a ,占全国平均水资源总量28000亿 m^3/a 的31%左右,其中能够直接开发利用的每年约2900亿 m^3 。我国南方和北方地区的地下水资源分布不平衡,北方15个省(自治区、直辖市)和苏北、皖北地区约有3000亿 m^3/a ,约占北方水资源总量的一半;南方各省(自治区、直辖市)的地下水资源量约有5000多亿 m^3/a 。我国南方地表水资源较丰富,地下水资源也丰富,北方地表水较缺乏,地下水也缺乏。

在我国,地下水对居民生活、工农业生产与城乡建设起重要作用。无论是在河流大多干涸的北方,还是远离河流的南方,都依赖地下水作为主要的水源。据对我国181座大中城市统计,采用地下水供水的城市有60多座,占1/3以上;采用地下水与地表水联合供水的城市有40多座,占1/5以上。特别是在地表水缺乏的北方地区,地下水对于解决城市供水的作用更为重要,如华北地区27个主要城市的地下水开采量占城市总用水量的87%。目前,北京、沈阳、西安、大连等城市地下水的开采量均达到了100万 m^3/d 以上。据统计,现在我国城市和工业地下水使用量已超过150亿 m^3/a ,约占全国地下水年开采总量的20%以上。在地面水源不足、降雨较少的干旱地区,开发利用地下水已成为水利建设的一个重要方面,是农业生产上取得抗旱保丰收的必要手段。据北方17个省

(自治区、直辖市)统计,目前已有农业机井 200 多万眼,开采地下水超过 400 亿 m^3/a ,占全国地下水年开采总量的 50% 以上,灌溉农田面积为 1.7 亿亩以上。

综观世界各国,地下水开发利用的历史长短不一,地下水开发程度的地区性差异也很大。地下水开发不仅受自然条件的制约,而且与各国的经济和社会发展密切相关。但总体而言,其开发过程基本上可归纳为 3 个不同的时期,并且也具有相应的经验和教训。

初期。在地下水开发处于数量小,地点分散的阶段,进行地下水源地的勘察应列为地下水开发的主要前期工作,通过勘察以论证地下水的开发方案。

中期。在地下水处于连片开发,且水源地相互干扰明显增大的阶段,应将区域性大面积地下水资源评价列为论证地下水合理开发重要工作。

后期。在地下水需求量与多年评价补给量相近,且需求量还在不断地增长,应将包括技术管理与政策和法规制定的地下水管理列为支持地下水合理开发的重要工作,同时还应研究人工回灌补给地下水、地表水联合运用等问题,注意加强地下水资源保护,实施地下水系统管理。

1.3 地下水开发利用存在的问题

地下水的用途是相当广泛的。在许多地区,特别是在一些干旱地区和海岛内部,地下水几乎是唯一的淡水资源。许多地下水的用户和单位,常常由于用水时一切顺利而不重视地下水的环境问题。环境问题一般表现为地下水位的持续下降,最后导致某些严重的环境后果,如土地沉陷、水质恶化、盐水侵蚀等;另外,还表现为地下水位上升,造成严重的排水问题,影响到农业生产。地下水及其有关环境问题所产生的后果,其涉及的范围和严重程度一般随地区不同而有变化;同时,还要看水文地质环境、岩土状况和岩土化学条件而变化。目前,我国地下水年开采总量约为 767 亿 m^3 ,约占全国地下水年天然资源总量的 9%,北方地区的地下水开采量每年已达 600 亿 m^3 ,占全国地下水年开采总量的 78% 以上。而华北平原的地下水年开采量为 236 亿 m^3 ,已占全国地下水年开采量的 30% 以上。从总体来说,我国地下水的开发率是不高的。但是,由于我国用水地点集中、用水量增长幅度过大、工业布局不够合理以及工业三废与城市生活废弃物治理不力等原因,地下水开发利用产生了一系列的严重环境问题,这类问题的环境后果,可以归纳为 5 大类:地下水过多,地下水超采,地面沉陷,地下水污染和盐水入侵。

1. 地下水过多

在许多冲积平原区,地表水和地下水在产状和分布上是相互关联,相互依存的。使用一种水源时,可能给另一种水源带来影响。例如,在冲积平原区,只使用地表水灌溉是会导致地下水位升高,水位上升后水会大量移入作物根部区,造成水涝和盐碱化问题。许多地区以往一再出现这类问题,导致农业生产锐减。印度旁遮普邦就是一个典型实例:20 世纪初那里引进了灌溉技术,但结果却造成了大范围的涝灾和盐碱化。而在没有建设灌溉渠系之前,那里大片平坦土地下方的地下水位原本是很低、很深的。大量使用灌溉水后,由于地表平坦,排水不畅,致使地下水位逐年升高。其中有些地区的地下水位升高达 24.4m,甚至更高,平均上升速率达 0.46m/a。

2. 地下水超采

地下水超采是指地下水的抽取总量超过了整个地下水流系统长期补给的承受能力, 而造成地下水资源的日益枯竭和地下水位的持续下降。随着井点产水量的减少, 抽水费用随之增高。其他与此有关的不利后果, 如土地沉降、水质恶化以及盐水入侵沿岸地区等也会相继发生。不断抽取地下水后, 土壤中的孔隙压力减少, 在地表非固结沉积土层的作用下, 含水层基体中的颗粒间压力(有效应力)则随之增大。由于土壤颗粒间压力增加, 地面以下不同深度处的各种地层受到挤压后产生一种累积效应, 使地面出现沉降。地下水超采后还会使地下水水质发生改变, 这主要是由于岩土化学反应和一些人为污染造成的。在沿海地区的含水层中, 淡水和咸水处于相对平衡状态。从沿海地区含水层中抽取地下水, 将会使这种动平衡遭到破坏; 而如果更加过量地抽取地下水, 则会导致盐水入侵地下含水层, 使沿岸内地区的淡水资源受到污染。

3. 地面沉降

地面沉降是过量抽取地下水造成的一种严重问题。如上所述, 地面的沉降是由于地下水位下降时冲积土层产生固结收缩所致。在一些封闭含水层区域内, 由于位头水压减少导致作用在封闭区顶面上的水压力减少, 致使含水层内的有效应力增大。在多层结构的含水层体系内, 位头水压力的减少会使水从这些被封闭地层中释放出来, 使封闭层区域内呈受压状态。当非固结性含水层内的地下水位下降时, 排水区内的固体颗粒材料将会因所受浮力减少而使其颗粒间的压力加大。此外, 由于地下水产生侧向流动, 有时速度越来越快会使含水层受到侧向的压力; 当移动水流对固体颗粒施加渗透力或摩擦力并不断增大时, 土地的表面便会产生相应的侧向移位。在世界上许多地区, 关于地下水含水层封闭区的沉降量大于 30cm 的报道已屡见不鲜。据 Poland 1969 年报道, 由于抽取地下水, 使某些主沉降区内的沉积地层不断受到挤压力。这种情况多属于第三纪的非固结到半固结的标准沉积地层, 其中大多数是冲积和湖积地层。这些地区的结构特点是含水层体系是封闭的, 内部为低压缩性的透水砂砾含水层, 并有不同厚度的隔水层和弱透水性含水层相间其中。

据调查, 上海、天津、常州、无锡、宁波等 36 个城市, 由于过量抽取地下水而出现了地面沉降, 其中上海、天津市累积沉降幅度已超过了 2m。上海市最大累积沉降量曾达 2.63m, 天津市地面沉降大于 1m 的范围已达 135km², 太原市地面沉降累积值可达 1232mm, 西安市地面沉积累积值达 200mm; 常州市地面沉降值达 820mm, 苏州市地面沉降累积值市区已达到 1050mm。地面沉降将产生城市地面积水、房屋与道路开裂、河面上升、桥梁和房屋下沉、污水倒灌、机井水泵抬高等危害。

超量开采地下水, 还可产生地裂缝, 如河北平原已发现地裂缝 100 多条, 主要分布在邢台、邯郸、石家庄、沧州、衡水、廊坊等城市, 地裂缝长几米至几百米、宽 5~40cm、最大深度可达 9.8m。地裂缝可使城市建筑物地基下沉、墙壁开裂、公路遭到破坏。

超采地下水又可产生地面塌陷, 据我国 18 个省、自治区(直辖市)统计, 已发现地面塌陷点 700 多处, 有塌陷坑 3 万多个, 其中由于超量抽汲地下水而造成的塌陷点占 27.5%。如秦皇岛、杭州、昆明、贵阳、武汉等城市, 由于超采地下水, 使碳酸盐岩溶地下水位急剧下降, 造成了地面塌陷。

4. 地下水污染

地下含水层内的水质可能会受到自然和人类活动的影响,其影响程度随水文地质和气候环境的不同而不同。在没有受到人类活动干扰的含水层内,地下水的品质只会受水和岩体基质之间的地球化学反应的影响,因为地下水补给区流动到出流区需要经过一段距离。地下水中的污染物质可能来自各个不同的方面。地面上的某些废弃物,按照设计有时会被布置或排放至地下。另外一些废弃物,还可能未经设计而径直渗入地下水流系统中。有些废弃物是透过地表蓄水、掩埋土堆、动物饲料、地下水污水管等一点一滴地渗入到地下水流系统内的。还有一些来自各个方面的未经处理的污秽物,也可能会进入地下水流系统。

地下水污染的严重程度,决定于水文环境。污染源的性质和自然调节作用的效果。地下水环境是污染程度的决定因素。人们处理废弃物的最常见的方法之一,就是将废弃物加以掩埋。固体的废弃物,通常先要将其摊铺在地面上,压密后再用土掩盖。一旦这一地区出现降雨,雨水下渗时会溶解生成大量的有机盐和无机盐,这些盐类可能会渗入附近的含水层。同理,地层内部产生的某些气体,如沼气、二氧化碳和硫化氢等也会以气态形式扩散经过非饱和介质后进入与其相邻的地区内产生污染效应。

污水是地下水的另一种污染源。不论是经过处理的污水,还是未经处理的污水,都经常会被用于灌溉目的。在干旱地区,污水中常含有磷、氮等营养素及其他一些重金属成分。此外,其所含水分本身也是重要的资源、液流经过地面时会把一些细菌、病毒和化合物带进地下水系内。同样,从化粪池、污水井和一些池沼内渗出的水,也是对地下水有污染危害的。长期对土地深耕细作,加上大量使用化肥。杀虫剂和农药等,也会使得农田成为地下水的重要污染源。此外,家禽场内乱放的污秽物和废弃物,也会导致大量的营养素,钾和磷酸盐渗入含水层。当钾的生成物由料堆或地下管道渗出时,或从事故泄露口溢出时,也会对地下水造成污染。

最后,有些地下水含水层还与海洋有水力联系,从这类地下含水层中大量抽水使用时,将会形成方向指向岸内的水力坡降。这样就会造成海洋咸水沿淡水含水层区域方向的移动,这种现象称作“盐水入侵”。几乎每一个海岸地区,都存在这样的盐水入侵污染问题。

5. 盐水入侵

水质变咸,是淡水资源遭污染的最常见的污染形式。一旦咸水渗入地下含水层内,或与淡水相互掺和时,就会发生所谓的盐水入侵。盐水可以通过以下一些途径进入地下含水层:沿海水域中的海水侵入含水层;在过去的一些地质时期内,早就发生了盐水入侵地下含水层的情况;盐场单薄盐层中的盐源和盐分浸染了地下含水层;潮汐区、盐湖或其他的封闭性水域中的水被蒸发后存水被冰化;由灌溉渠系返回的回归水;人类活动产生的咸淡水。

关于盐水入侵的表现,一般可以自然地分为三大类:第一类是因地下水的坡度减少或出现反坡,致使盐水浓度增大而将淡水挤出。这种情况通常发生在与海水有水力联系的沿海地区的地下含水层内。此时,从水井内取水使用时会使地下水的自然动力平衡遭到破坏。第二类是由于阻隔淡水和咸水之间的自然屏障遭到了破坏。在沿海地区修筑排水渠道时,会使潮汐水进入岸内区域渗入淡水含水层内,就是一个例证。第三类出现于有地下盐

水排放的地方,如排污井、土地回填或其他废物仓库。

盐水入侵的问题,不仅在沿海地区的地下含水层中尖锐存在,而且在许多内陆地区也是存在的。在一些内陆地区的地下含水层间存在着水力联系。一旦两者之间的自然阻碍遭到破坏,使压力水头发生变化,便会发生这种情况。一个淡水含水层的下方有一咸水层,且在它们之间存在一个相当透水的地质层,这种情况是常有的。一旦自然阻隔被破坏,或作用于淡水层上有巨大的压力梯度,就可能导致盐水的入侵。许多地质层是在海积环境中生成的,在这样的地质层次中可能会含挟一些盐水的俘虏体,这些与淡水毗邻的盐水俘虏体称为同生水。在自然状态下,在上述淡水和盐水之间存在着一种没有充分混合的动平衡。当从淡水中抽取水源时,将会使这两种液体之间动平衡受到干扰和破坏,最终使咸水侵入到淡水范围内,造成淡水水源状况的恶化。

海水入侵活动,可以通过审慎选定浅井和渗漏通道的位置而加以控制,使地下水位的下降能够保持在合理的数值范围内,不致造成海水的严重侵入,或形成“锥形拱包”。另一方面,如能使海岸附近地区的地下水位始终保持在海水水位以上的水平,就可以防止海水入侵的问题。但这样做,就不得不对地下水的利用提出一些限制;必要时,可能需要改变抽取地下水的数值和方式,甚至需要通过人工回灌的办法来提高地下水流域内的自然补给量。1947年, Todd 提出了如下的防止海水入侵岸内的方法:①减少对岸内地下水的抽取量;②设置一段抽水槽截断盐水,使它无法向岸内方向流动,使其不能接近供水井;③在盐水区域和抽水井点之间铺设某种隔水膜作为阻隔;④建立一个地下水分水岭形成必要的压力坡度,迫使盐水回退;⑤通过抽水节流和建立分水岭的联合措施。对于控制海水入侵的体系要进行评估,评估中要考虑到各种各样的控制因素和措施效果,对于环境和社会经济方面的问题应给予充分注意,以期能确定出地下水不受盐水入侵的最可行的方法。

1.4 本课程的主要内容和学习要求

《地下水利用》作为高等学校农业水土工程、水利水电工程、水文与水资源管理工程专业的一门技术基础课程,它的基本内容包括以下几方面。

(1) 地下水的分类、特征及运移规律。阐述地下水的基本类型,地下水补给来源、地下水径流的形成及影响因素,地下水运动的基本方程。

(2) 管井出水量计算。主要介绍单井出水量的计算方法及群井出水量的计算方法。

(3) 地下水利用中水文地质参数及其他参数的确定方法。分别阐述了利用抽水试验资料、利用地下水动态资料及用室内法确定不同水文地质参数的方法。

(4) 地下水资源的计算及评价。分别阐述地下水资源的数量计算与质量计算方法及评价方法。主要介绍地下水资源评价中水文地质参数的确定方法,地下水资源计算中有限差分法和有限单元法两种常用的数值方法。

(5) 地下水取水建筑物的设计与施工。主要内容包括水井出水量的确定,管井、大口井、辐射井及水平取水工程与施工方法。

(6) 地下水开发利用工程规划。阐述井灌工程规划的原则,单井灌溉面积、合理井距与井数的确定,井群与井网布置方法,井灌区用水管理、水井的管护与修复、井灌区地下

水动态观测以及地下水人工回补等知识。

(7) 井灌区的管理。阐述地下水开发中引起的环境负效应问题, 诸如地下水超采引起的地下水位下降、地面坍塌、土地荒漠化以及地下水污染等环境地质问题, 提出地下水开发利用保护的措施。

本课程是一门集理论性与实践性为一体的技术基础课。学习本课程的目的是为了培养学生在综合运用已学过的水文地质、地下水动力学等相关专业课的基础上, 通过理论联系实际, 能根据不同地质地貌单元地下水的埋藏条件, 结合当地地下水开发利用需要, 合理选择地下水集取建筑物的适宜类型和结构形式, 正确进行地下水利用工程的规划、设计、施工和管理等方面的技术工作, 并能开展地下水开发利用与管理保护方面的科学研究工作。

第 2 章 地下水的分类、特点及运移规律

2.1 地下水的类型及其特征

埋藏在地表以下岩石（包括土层）的空隙（包括孔隙、裂隙和溶隙等）中的各种状态的水统称为地下水。地下水这一名词有广义与狭义之分。广义的地下水是指赋存于地面以下岩土空隙中的水，包气带及饱水带中所有含于岩石空隙中的水均属之。狭义的地下水仅指赋存于饱水带岩土空隙中的水。饱水带中的重力水是开发利用或排除的主要对象。

地下水的运动和聚集，必须具有一定的岩性和构造条件。空隙多而大的岩层能使水流通过，称为透水层。储存有地下水的透水岩层，称为含水层。空隙少而小的致密岩层是相对的不透水岩层，称为隔水层。然而，在各种不同情况下，人们所指称的含水层与隔水层涵义有所不同，他们的定义具有相对性。岩性相同、渗透性完全一样的岩层，可能在有的地方被当做含水层，而在另一些地方被当做隔水层。即使在同一个地方，渗透性相同的某一岩层，在涉及某些问题时被看做透水层，在涉及另一些问题时则可能被看做隔水层。含水层、隔水层与透水层的定义取决于运用它们时的具体条件。

地下水受诸多因素的影响，各种因素的组合错综复杂，因此，出于不同的目的或角度，人们提出了各种各样的地下水分类。但概括起来主要有两种：一种是根据地下水的某种单一的因素或某种特征进行的分类，如按硬度分类、按地下水起源分类等；另一种是根据地下水的若干特征综合考虑进行的分类。如根据地下水的埋藏条件则可分为包气带水、潜水和承压水。不论哪种类型的地下水，均可按其含水层的空隙性质分为孔隙水、裂隙水和岩溶水。

2.1.1 包气带水

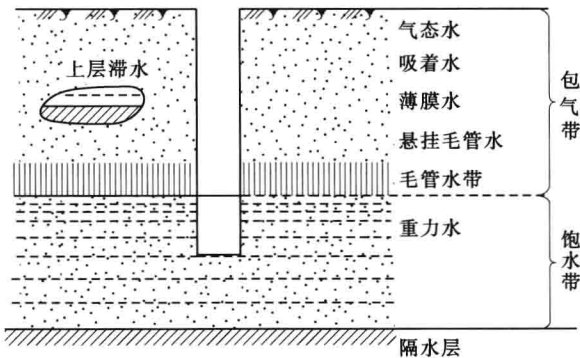


图 2.1 包气带及饱水带示意图

位于潜水面以上未被水饱和的岩土中的水，称为包气带水。包气带水主要是土壤水和上层滞水，如图 2.1 所示。

1. 土壤水

埋藏于包气带土壤层中的水，称土壤水。主要包括气态水、吸着水、薄膜水和毛细水。靠大气降水的渗入、水汽的凝结及潜水由下而上的毛细作用补给。大气降水向下渗入，必须通过土壤层，这时渗入的水一部分

保持在土壤层中,成为所谓的田间持水量(即土壤层中最大悬着毛管水含水量),多余的部分呈重力水下渗补给潜水。

土壤水主要消耗于蒸发和蒸腾,水分的变化相当剧烈,主要受大气条件的控制。当土壤层透水性不好,气候又潮湿多雨或地下水位接近地表时,易形成沼泽,称沼泽水。当地下水面埋藏不深,毛细管可达到地表时,由于地表水分强烈蒸发,盐分不断积累于土壤表层,则形成土壤盐渍化,从而危害农作物生长。所以,研究控制土壤层中的水分的变化,对农业生产和建筑物基础埋置具有重要意义。

2. 上层滞水

上层滞水是存在于包气带中局部隔水层之上的重力水。上层滞水接近地表,补给区和分布区一致。接受当地大气降水或地表水的补给,以蒸发的形式排泄。雨季获得补充,积存一定水量,旱季水量逐渐消耗,甚至干涸。上层滞水一般含盐量低,但易受污染。根据上层滞水水量不大,季节变化强烈的特点,它只能用于农村少量人口的供水及小型灌溉供水。不仅松散沉积层中可以埋藏有上层滞水,就是在裂隙岩层和可溶岩层中同样也可以埋藏有上层滞水。

2.1.2 潜水

2.1.2.1 潜水及其特征

潜水是埋藏于地面以下第一个稳定隔水层之上的具有自由水面的重力水,如图 2.2 所示。潜水一般多储存在第四系松散沉积物中,也可以存储在裂隙或可溶性基岩中,形成裂隙潜水和岩溶潜水。

潜水面任意一点的高程,称为该点的潜水位(H)。潜水面至地面的铅直距离为潜水的埋藏深度(T)。自潜水面至隔水底板之间的铅垂直距离为含水层厚度(H_0)。

根据潜水的埋藏条件,潜水具有以下特征:

(1) 潜水具有自由水面。在重力作用下可以由水位高处向水位低处渗流,形成潜水径流。

(2) 潜水的分布区和补给区基本上是一致的。在一般情况下,大气降水、地面水都可通过包气带入渗直接补给潜水。

(3) 潜水的动态(如水位、水量、水温、水质等随时间的变化)随季节不同而有明显变化。如雨季降水多、潜水补给充沛,则使潜水面上升,含水层厚度增大,水量增加,埋藏深度变浅;而在枯水季节则相反。

(4) 在潜水含水层之上因无连续隔水层覆盖,因此,容易受到污染。

2.1.2.2 潜水面的形状及其表示方法

1. 潜水面的形状

在自然界中,潜水面的形状因时因地而异,它受地形、地质、气象、水文等各种自然

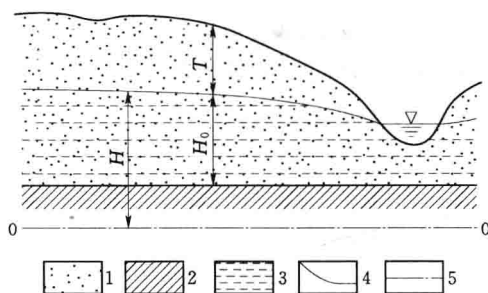


图 2.2 潜水埋藏示意图

1—砂层; 2—隔水层; 3—含水层; 4—潜水面;
5—基准面; T —潜水埋藏深度;
 H_0 —含水层厚度; H —潜水位