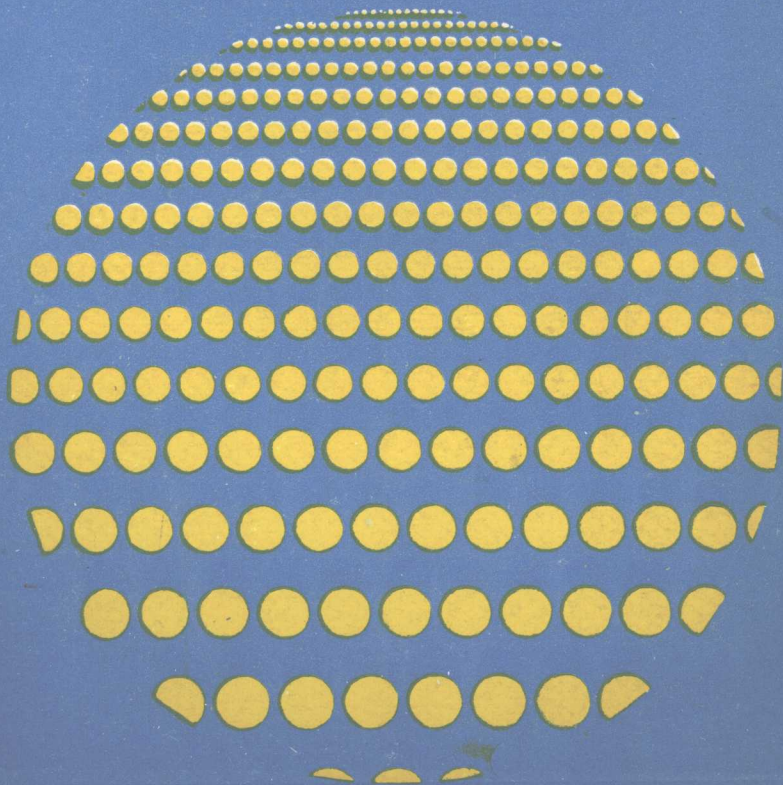


地下水文學

陸地水文本科教材
河海大學出版社

葉水庭 施鑫源
編著



地下水文学

叶水庭 施鑫源 编著

江苏工业学院图书馆
藏书章

河海大学出版社

责任编辑: 魏 连

封面设计: 赵 清

陆地水文本科教材

地 下 水 水 文 学

叶水庭 施鑫源 编著

*

河海大学出版社出版发行

(江苏省南京市西康路1号 邮政编码 210024)

江苏省丹阳练湖印刷厂印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 10.25 字数: 255 千字

1991年6月第一版 1991年6月第一次印刷

印数: 1—1500 册

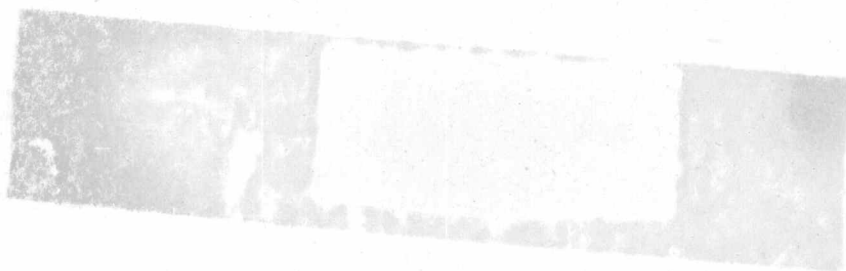
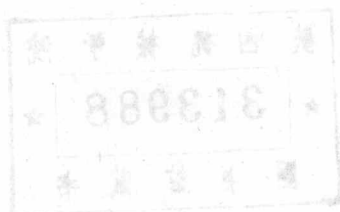
*

ISBN 7-5630-0308-8/TV·38

定价: 2.75 元

内 容 提 要

本书内容包括地下水形成的地质环境,地下水运动动态与预报参数计算、地下水资源评价、规划与管理。前两章介绍基础理论,后四章着重阐述水文学的原理和方法,收集了国内外较新或较适用的各种随机和概念性模型,并有作者多年的研究成果。其内容表达简洁、深入浅出,可作为水文与水资源、水利、农业、林业、城建、环保等专业教材及参考书。



前 言

到目前为止,我国已出版了不少关于地下水方面的教材和专著,其中的大部份,就其科学性和系统性而言,均可与国内外同类教材相媲美,尤其是《水文地质学》,不同院校或不同编著者撰写的版本,论述内容的范围有宽有窄,程度亦有深有浅,可供选择的余地比较多。但遗憾的是,我国至今尚无一本适用于大学本科的《地下水水文学》的出版教材。《水文地质学》与《地下水水文学》是两门互相补充各有所侧重的姊妹学科。前者是地质学的一个分支,主要从地质学的观点研究地下水形成的地质环境;而后者则是水文学的一个分支,以水文的观点来研究地下水,强调的是地下水的水文循环。在国外D. K. Todd 编写的《地下水水文学》,从50年代末至80年代,几经再版,一直被许多大学列为土木工程类的大学本科教材。出于同样的考虑,特别是为了陆地水文和水资源大学本科日校和函授的教学需要,我们编著了这一本教材。由于教材字数以及我们学术水平所限,在体现“水文观点”的选材方面,估计还有不少有待改进之处,我们热忱欢迎读者给予批评指正。

本书共有六章。绪论部分概要介绍地下水学科发展的历史及《地下水水文学》研究的内容和方法。第一章主要取材于水文地质学。为了满足于水文与水资源专业的需要,对包气带水分变化和测定方法作了一些介绍。第二章主要阐述地下水运动的基本理论和应用方面的内容。第三章和第四章注意吸收国内外一些较新或者具有工程实际意义的概念、原理和方法,其中亦有笔者多年的研究成果。这两章包括了确定性、概念性和随机性的模型;数理统计、优化方法、数值计算和常微分方程求解等数学手段均有体现,目的是增强基础,力求启迪和开阔思路,这也是笔者选材方面的指导思想之一。

本书的绪论、第一、三、六章及第四章中的第一、二、三、五节由叶水庭执笔;施鑫源撰写了第二章、第五章中的第二、三节及第四章的第四节;第五章的第一节由叶水庭、施鑫源共同执笔。陈喜参加绘图,全书由叶水庭统稿,南京大学陈葆仁教授负责审阅。本书在讲义试用阶段曾听取过一些同行的宝贵意见,特别是陈葆仁教授在评审过程中对原讲义的评论和建议,对本书的完善作出了贡献,笔者在此一并致谢。

编 著 者

1990年6月

目 录

前言	1
绪论	1
第一章 地下水形成的地质环境	5
第一节 自然界水的循环与地下水的起源	5
一、自然界水的分布与循环	5
二、自然界水的均衡	6
三、地下水的起源与形成	7
第二节 地下水的储存条件	8
一、岩土的空隙性	8
二、水在岩土中的赋存形态	10
三、岩土的水理性质	13
第三节 地下水的物理性质与化学性质	14
一、地下水的物理性质	14
二、地下水的化学成分	15
三、地下水的化学性质	17
第四节 地下水的主要类型及其特征	18
一、地下水的分类	18
二、包气带水	19
三、潜水	26
四、承压水	30
五、孔隙水	33
六、裂隙水	34
七、岩溶水	36
第二章 地下水运动	39
第一节 达西定律与渗透系数	39
一、达西定律	39
二、渗透系数	40
第二节 地下水非稳定运动的基本微分方程	40
一、潜水非稳定流运动的基本微分方程	40

二、承压水非稳定流运动的基本微分方程	42
第三节 地下水的稳定流运动	44
一、均质岩层中地下水的稳定运动	44
二、非均质岩层中地下水的稳定运动	47
三、地下水向井的稳定运动	50
第四节 地下水向井的非稳定运动	54
一、承压完整井的非稳定运动	54
二、有越流条件下完整井的非稳定运动	59
三、潜水完整井的非稳定运动	64
第三章 地下水的动态与预测	71
第一节 影响地下水动态的基本因素	71
一、气象因素	71
二、地表水	74
三、地质及其他自然因素	74
四、人为因素	75
第二节 地下水的动态观测	75
一、观测井的结构及类型	75
二、地下水动态观测的内容与要求	77
第三节 地下水观测井网的布设与资料的整编	78
一、观测井网的布设原则	78
二、观测井网的合理密度分析	79
三、地下水动态资料的整编	81
第四节 地下水的动态资料分析	82
一、潜水位上升和降水量的关系	83
二、现时地下水位与前期地下水位及降水量的相关关系	83
三、潜水位消退曲线	84
四、地下水位过程线的频谱分析	85
第五节 承压漏斗区地下水位与开采量的预测	86
一、计算模型	86
二、算例	88
三、开采量不变时的简化模型	89
第六节 山丘区地下水量的预测	89
一、基流及其分割方法	89
二、计算模型的建立	90
三、算例	91
第七节 岩溶地区地下水量的估算与预测	92
一、岩溶地下水流量衰减方程的建立	92
二、衰减系数的确定	93

三、利用衰减方程计算地下水径流总量	94
四、降雨入渗补给量的确定	95
第八节 预报地下水位的有限差分法	95
一、有限差分方程	96
二、交替方向隐式差分公式 (A.D.I. 法)	98
三、边界条件	98
第四章 含水层参数的确定	100
第一节 给水度的直接测试法	100
一、筒测法	101
二、包气带剖面含水率法	101
三、试坑法	102
第二节 多元回归分析法	103
一、不同条件下的计算模型	103
二、算例	104
第三节 优选给水度的水文学方法	106
一、计算模型	106
二、优选方法	109
三、算例	109
第四节 干扰非稳定流抽水试验确定含水层参数的方法	111
一、基本原理	111
二、参数计算	111
第五节 河渠附近地下水非稳定流的解析解法	112
一、特定条件下方程的解	112
二、应用举例	113
第五章 地下水资源评价	116
第一节 地下水资源评价的概念	116
一、区域地下水流系统的概念	116
二、地下水资源的分类	117
三、地下水资源评价的原则	120
第二节 地下水量评价的内容与方法	121
一、局部开采区地下水资源评价方法	121
二、区域地下水资源评价方法	124
三、各种地下水补给量及排泄量的计算	126
四、我国地下水资源的特征	130
第三节 地下水水质评价和水质标准	131
一、生活用水的水质评价和水质标准	132
二、农业用水的水质评价和水质标准	132

三、工业用水的水质标准	133
第六章 地下水资源的规划与管理	135
第一节 地下水资源的调节计算	136
一、地表水引水量和地下水可开采量的确定	136
二、特殊条件下的计算方法	137
三、地下水埋深过程线的推求	138
第二节 井灌区最优布井配泵方案计算	139
一、不同井距井群干扰出水量的估算	139
二、最优布井配泵方案的计算	143
第三节 地下水管理的概念与计算模型	149
一、地下水管理的目标及标准	149
二、管理计算模型与技术	150
附录	152
一、多元线性回归的基本计算公式	152
二、主要参考书	153

绪 论

随着人口的增加,近代工农业的发展,人类对水的需求也日益增长,地下水的开发利用,已成为当代人类经济活动的重要方面。由于地下水储存在地下,相对地不易受到工农业的直接污染,又经过土层和含水层的天然过滤作用,水质一般比地表水好,所以,作为生活用水水源,地下水愈来愈受到重视,在干旱和半干旱区域,地下水是生活用水和工农业供水的主要来源。据不完全统计,到70年代中期,世界一些国家地下水开发量占总用水量的百分比如下:美国—20%;日本—20%;苏联—24%;英国—25%;法国—33%;联邦德国—72%;澳大利亚—16%;荷兰—66%;以色列—67%或75%;阿尔及利亚—67%;塞浦路斯—83%;圭亚那—90%;奥地利—98%;马尔他—100%;中国—14%;到79年底,我国北方十七省市已建成灌溉机井230万眼,浇灌着1.7亿亩的耕地,占当地耕地面积的三分之一。

生活和生产对地下水的需求,推动了对地下水的勘探和开发,也促进了对地下水的研究。目前,无论是国内还是国外,绝大多数的供水和用水部门,为了解决本部门的供水和排水问题,都有一批工程技术人员,直接和间接地从事地下水的调查、勘探和研究工作。有关的技术报告和学术论文,发表在地质、地理、水利、农业和工业部门的有关杂志上,其数量之多,涉及范围之广,已不是单纯一门地下水学科所能概括。就计算模型而论,仅据欧美日本等发达国家的不完全统计,到1983年春为止,就有四百多个。由于对地下水研究内容的扩展和深化,地下水学科内容不断充实和更新,形成新的学科分支,新书籍日益增多。但比较综合地介绍地下水的学科主要有:水文地质学、地下水水文学、地下水。

地下水水文学(Groundwater Hydrology)是水文学的一个分支,是研究地下水的形成、运动、动态与预报、水量与水质以及开发利用的一门科学。地下水水文学重点阐述地下水水情随时间和空间的变化以及开发利用和计算等水文方面的内容,而对于地下水的形成等地质环境,仅作一般介绍。水文地质学(Hydrogeology)则是地质学的一个分支。它着重研究地下水的形成、分布、运动等同地质环境有关的内容,地下水水文学和水文地质学是两门互相联系各有所侧重的姐妹科学。以地下水命名的书籍,因作者而异,其内容和范围,不同的作者可以相差很大。由于地下水水文学和水文地质学在阐述的内容上有许多共同之处,有一部分地下水工作者认为,地下水水文学和水文地质学实际是一门科学。

一、地下水水文学的发展简史

人类开发利用地下水的历史,可以追溯到四、五千年前。大量考古资料 and 历史的记载表明,我国古代凿井技术就已达到相当高的水平,但作为一门学科,地下水水文学的发展则要晚得多,经作者归纳,地下水水文学的发展大致可以分成三个阶段:

(一) 萌芽阶段

从公元前7世纪到公元16世纪,长达二千二百多年。在这段时期,人们只限于对现象的

直接观察和描述,并作一些主观的推测,缺少科学性。例如古希腊哲学家泰勒斯(Thales, 624—547B.C)认为:地下水是由风把水吹到地下形成的。帕拉图(Plato, 427—347 B.C)提出:地下有一个巨大的洞穴,洞穴中的水就是世界河流的源泉,河水流入海后,又由地下的各种通道而流回到洞穴中。

我国春秋时期的许多著作,如《管子》中有“土地高下,水泉深浅,各有其位”的描述。北宋时期的沈括多次描述,论证了关于地下水的埋藏、流动的现象:“济水伏流地中,今历下凡发地皆是流水,经过其下。”我国古代关于地下水形成、分布的描述记载,举不胜举,以上仅是其中两个例子。

(二) 奠基阶段

从公元17世纪至20世纪初,共约三百多年。在这个时期里,科学家们通过测量、试验和理论推导,奠定了地下水形成和运动的理论基础。法国科学家佩劳特(P. Perraut, 1608—1680)研究了地下水毛细上升现象。证实毛细上升水不能形成自由水体;发现沙子的毛细上升高度小于1m。法国学者马略欧提(E. Moriotte, 1620—1684),测量了由雨水渗入补给的地下水量后,发现入渗补给量和泉水流量一样,均随降雨量而变化,因而得出了泉水是由降雨入渗补给的重要结论。18世纪初,意大利科学家瓦力斯尼尔力(A. Vallisnieri, 1917)运用了地质剖面资料,说明意大利北部含水岩层因受上下不透水岩层阻隔而承受压力,科学地解释了承压水的形成原理。1856年法国工程师达西(H. Darcy)通过试验发现了地下水的渗透定律,开创了地下水运动的理论研究。1863年法国学者裘布衣(J. Dupuit),首次用达西定律推导了地下水向井流动的公式。接着德国人蒂姆(A. Thiem, 1870)改进了裘布衣公式,使之通过稳定抽水试验资料,可以计算渗透系数等水文地质参数。奥地利学者福尔茨海玛尔(P. Forchheimer, 1886)和美国人斯利茨德(C.S. Slichter, 1889)提出了等势面和流线的概念,推导了地下水流的拉普拉斯方程和镜相映射原理,从而奠定了地下水动力学的基础。最早解释地下水水质与地球化学环境关系的人是德国的里尔茨(B.M. Lersch, 1864)和加拿大的汗特(T.S. Hunt, 1865)。

(三) 发展阶段

从20世纪初到现在。由于其他学科成就的引进,拓宽了本学科领域,推动了地下水动力学的深入发展。美国学者迈策尔(O.C. Meinzer, 1923)对地下水的储存条件以及整个学科体系的形成,作出了杰出的贡献。1935年,美国学者泰斯(O.V. Theis),通过求解承压完整井非稳定流的基本方程得到了著名的泰斯公式。1937年美国学者马斯库特(M. Muskat)在《均匀流体通过多孔介质的流动》一书中,用较严格的数学方法系统地论述了地下水的运动。1946年,苏联学者H. A. 普洛特尼科夫(H. A. Плотноков)提出了储量分类的概念。1954年,英国学者博尔顿(N.S. Boulton)建立并求解了潜水完整井非稳定流动方程,使潜水非稳定流的理论首次得到了应用。第一个用数学分析地下水穿过弱透水层的越流现象的人是荷兰水文工程师蒂格利(G. J. De Glee, 1930),汉图什和贾柯布(M. S. Hantush and C. E. Jacob, 1935),纽曼和威瑟斯潘(S. P. Neuman and P. A. Witherspoon, 1969)以及我国的张蔚榛,分别对越流理论的完善和发展作出了贡献。1963年苏联学者鲍切维尔(Ф. М. Бочевер)求解了不同组合形式井群抽水时的非稳定流方程。美国的斯托门(R. W. Stallman, 1956),首先用实测资料,采用有限差分法反求含水层参数,1964年,台逊和韦伯(H. N. Tysan and E. M. Weber),应用数字模拟计算模拟具有二维流的地下水盆地,取得了良好

的结果。1963年沃尔顿和帕力科特(W. C. Walton. and J. A. Prickett)阐述了地下水模拟计算机的原理及其在开发条件下预测地下水位的应用,从而开辟了一个地下水研究的新途径。在60年代中期,加拿大学者托司(J. Toth)和弗里茨(R. A. Freeze)把区域地下水流系统的定性理论上升到定量阶段。美国科学家多缅尼柯(P. A. Domenico, 1965)对抽取地下水而引起的地面下沉进行了理论探讨,得出了地面沉降量和含水层的储存率及平均水头变化量有关的结论。

从本世纪初到50年代地下水水质研究一直处于化验化学成分及解释成因的阶段,美国人克拉克(F. W. Clarke)从1910到1925年所做的工作可作为代表。从50年代起,利用放射性同位素示踪地下水运动,已在德国,苏联和法国有所应用。70年代以来,放射性同位素广泛用于测定地下水的年龄、起源、运动、包气带和含水层的参数,成为地下水水文学一个新的研究领域。关于地下水污染的研究,从60年代开始受到重视,1969年以色列学者贝尔(J. Beer)推导了地下水污染物运移的弥散方程,使得在天然条件下地下水化学成分与浓度的计算和预报成为可能。布列德荷衣弗特和平德尔(J. D. Bredehoeft and G. F. Pinder, 1973),及安德逊(M. P. Anderson, 1979)就是这个领域成就比较突出的学者。罗马尼亚学者哥欧格(A. Gheorghe, 1973),用统计特征值描述含水层的空间分布特点,开辟了数理统计在本学科的应用,有较大的实用价值。较早应用随机过程理论研究水位和推求水文地质参数的学者是吉尔哈(L. W. Gelhar, 1974)。

中国的学者和工程人员,将水量平衡原理和回归分析相结合,用于预测水位、开采与回灌量,用于推求和优选含水层参数,开阔了本学科的方法。我国学者和工程人员在地下水资源评价、合理开发利用以及规划管理方面,提出了一些理论和方法,推动了地下水水文学的发展。

二、地下水水文学的研究内容

地下水水文学研究的内容比较广泛,一般包括:

1. 地下水的形成与类型:阐述地下水的起源,储存条件以及地下水基本类型及其特征。这是地下水水文学的基础部分,故安排在本书的第一章。
2. 地下水运动:主要是研究各种初始和边界条件下的地下水流基本微分方程的求解方法,揭示水位和水量等水文要素随时间和空间变化的规律。求解方法有精确的数学解析法和近似的数值法。本书侧重介绍基本原理和地下水与地表水的关系以及井流方面的内容,安排在第二章阐述。
3. 地下水的动态与预报:阐述地下水动态要素在多种因素影响下,随时间和空间发生的随机性和周期性的变化规律,对地下水动态观测站网布设原则与方法、观测的要求等方面的内容,本书力求结合我国实际予以介绍。而预报方面,主要介绍比较实用的统计方法。这部分内容安排在第三章。
4. 地下水水量与水质:叙述在天然或人类活动影响下地下水量与水质的变化规律。在水量计算中,含水层参数的估算是核心问题,因此本书把含水层参数计算单独列为一章即第四章。有关水量概念的介绍,分散在第五章和第六章中。水质主要在第一章中介绍。
5. 地下水的开发利用:阐述地下水资源评价、地下水规划与管理的原则与方法。这是地下水水文学重点内容之一,本书分别安排在第五章和第六章。由于地下水开发利用涉及的

范围广，本书将从我国实际，特别是水利部门的实际出发，介绍一些实用的方法。

三、地下水水文学研究的途径与手段

地下水水文学的研究途径主要有两个方面：(1) 数学物理途径：根据地下水要素和影响因素之间内在的物理联系，建立它们之间的定量关系。例如：用水量平衡原理，求各均衡要素之间的定量关系，按一定的初始和边界条件求解地下水的基本微分方程。(2) 数理统计途径：基于大量的随机独立的各种地下水实测资料，运用概率统计原理，研究各水文要素的统计规律，建立某种统计关系，以便可以用一种或若干已知量，去预测未知的地下水水文要素。用统计特征值来描述地下水水文要素，也是常用的方法之一。

地下水水文学的主要研究手段有：(1) 钻探、地球物理勘探和遥感技术。用于查明含水层埋藏条件、空间分布以及含水层的性质。(2) 电模拟技术，把电阻电容组成网络，用以模拟区域地下水流系统。(3) 数学模拟技术，包括两种数学模型，即揭示地下水要素与影响因素之间因果关系的确定性模型如基本微分方程及初始边界条件，说明统计关系的随机模型如回归分析等。数字电子计算机(电脑)是实现数学模型技术最有力的工具。(4) 观测和试验，是最基本最常用的手段，例如抽水试验，地中渗透仪试验、井泉的地下水动态观测。(5) 放射性同位素技术用于示踪地下水运动，计算地下水的年龄和推求地下水的起源。

四、地下水水文学与其他学科的关系

地下水水文学与许多学科有着密切的关系。地下水的形成与分布同水文地质环境与自然地理条件有关，因此，地下水水文学的基础学科是普通地质学和自然地理学。研究地下水运动，要以水力学和流体力学为基础，要有高等数学、线性代数、微分方程等数学基础知识。数理统计学的方法，在分析地下水动态资料及其预测方面，已经成为必不可少的手段。自70年代以来，随机过程的理论在地下水方面的应用也日益增多。地下水水文学是从水文循环的观点来研究地下水的补给、径流与排泄，因而气象学、陆地水文学、土壤学也与之有密切的联系。地下水电模拟机的制造和使用，需要有普通物理学和电子学的基础。地下水水质评价同水化学、地球化学的知识有关。在地下水的开发利用中，优选法和线性规划的理论已逐渐被采用。此外，所有的地下水分支学科，均同地下水水文学有不可分割的联系。实际上，地下水水文学大部分内容都已形成了一门或数门分支学科，例如，地下水动力学，渗流计算，地下水数值方法，灌区地下水动态、地下水资源评价、地下水管理、地下水盆地管理等，它们的内容都是地下水水文学在某一个方面的深化和扩充。

第一章 地下水形成的地质环境

第一节 自然界水的循环与地下水的起源

一、自然界水的分布与循环

水是地球上最重要的物质之一，它分布很广，大气圈、地球表面和地面以下，都有水的存在。

水有汽态、液态和固态。大气圈的水是以汽态和液态为主，也有固态的形式存在；地球表面的水为液态和固态；地表以下的水，以液态为主，亦有汽态和固态。

关于地球上的总水量，由于难以精确估计，因此说法不一。表 1-1 是 1970 年国际水文学会统计公布的数据。

表 1-1 地球各种水资源量分布表

水的种类	水量 (km ³)	占总水量 (%)
淡水湖	125,000	0.009
河流	1,250	0.0001
土壤水和渗流水	67,000	0.005
地下水	8,350,000	0.5931
盐湖和内陆海	104,000	0.008
冰盖和冰川	29,200,000	2.0741
大气水分	13,000	0.001
海洋	1,370,000,000	97.31

表中的数据清楚表明，海洋的水量最多，占全球总水量的 97.31%，其次是冰盖和冰川，占 2.07%，第三是地下水占 0.59%。由此可见，地球上主要的淡水资源，除极地的冰盖和冰川之外，地下水水量是可观的，它是河流湖泊淡水量的 66 倍！地下淡水不仅量大，而且分布较广。

地球上的各种水量并不是孤立静止地存在着，它处于不停地运动之中，各处的水分不断地进行交换着。在太阳辐射和重力作用下，自然界的水分运动和相互交换的现象，称为水循环。图 1-1 即是水循环示意图，地下水作为一个循环部分亦表示在其中。

在太阳的热能作用下，海洋的水被蒸发成水汽进入大气之中，这些水汽可以被携带至大陆上空，在一定条件下凝结成液滴状态(雨)或固态(雪雹霜)降落至地表。降落的水份一部分重新被蒸发返回大气中；一部分入渗至地下，增加土壤的水份，补给地下水；一部分以地表

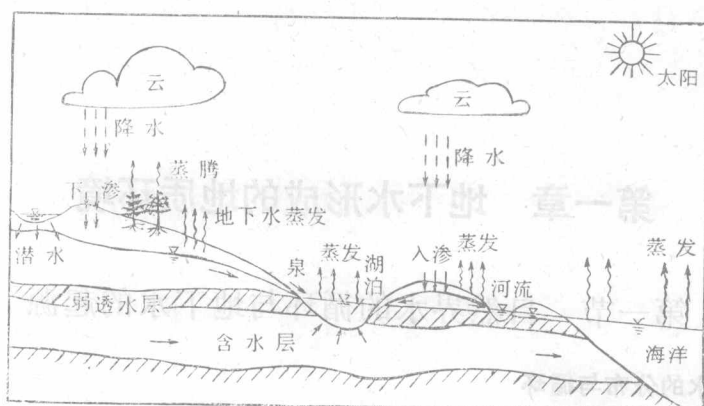


图 1-1 水文循环示意图

径流的形式，汇入到河流、湖泊或海洋中。地下水消耗途径有二：一是在当地进行蒸发或被植被吸收后散发，又回到大气中；另一途径是以地下径流的形式排入河流湖泊或海洋里，也有有的地下径流直接渗出地表并被蒸发掉。海洋蒸发升起的水汽，不仅可能被带到内陆，也可能直接在海洋上空凝结，以降水的形式又回到海洋中。

水自海洋以水汽进入空中，带到大陆，以降水的形式到达地表或地下，最后又以径流注入海洋，完成了一次循环。自然界的这种水循环就称为水的大循环。

水从海洋蒸发，又降落到海洋，或者水从陆地的水体、土壤蒸发进入大气，最后又以降雨形式回到陆地上，这种就地蒸发，就地降落的水循环，就称为小循环。

二、自然界水的均衡

降水、蒸发和径流是整个水循环的三个最重要的环节。自然界水分循环过程中虽然有不同形式的收入和支出，但就整个地球而言，总水量是不变的，也就是说水分循环三要素(蒸发、降水、径流)是保持均衡的。

水均衡亦称水量平衡，它是指对于某一区域，在一定时段内，水的收入量减去支出的水量应等于区域内蓄水变化量，即：

$$\Delta S = Y - X \quad (1-1)$$

式中： ΔS ——某区域在时段内蓄水的变化量(增量)。

Y ——某区域在时段内收入之总水量；

X ——某区域在时段内支出之总水量；

若区域内的收入量大于支出量，称为“正均衡”，反之则称为“负均衡”。在较长的时间内， ΔS 之平均值将趋近于零，因此有：

$$Y - X = 0$$

即 $Y = X$ (1-2)

收入等于支出，达到平衡。

假设降雨量用 P ，蒸发量用 E ，径流量用 R 表示，则对于海洋而言，其多年平均水均衡式为：

$$P_{\text{海}} + R_{\text{海}} = E_{\text{海}} \quad (1-3)$$

对于陆地而言，多年平均水均衡式为：

$$P_{\text{陆}} = E_{\text{陆}} + R_{\text{海}} \quad (1-4)$$

不少学者研究表明。海洋降水量与陆地降水量之和等于海洋蒸发量与陆地蒸发量之和。实际上由式(1-3)与式(1-4)相加也可得出同样的结论。即：

$$P_{\text{海}} + P_{\text{陆}} = E_{\text{海}} + E_{\text{陆}} \quad (1-5)$$

此式说明全球水量保持着平衡。

对于全球地下水量，在长期内，其收入亦应等于其支出，同样保持着平衡。

$$P_{\text{渗}} = R_{\text{渗}} + E_{\text{地下}} \quad (1-6)$$

式中： $P_{\text{渗}}$ ——各种入渗补给的地下水量；

$R_{\text{渗}}$ ——地下径流排泄量；

$E_{\text{地下}}$ ——地下水的蒸发量；

水量平衡原理是地下水水文学研究的基本原理之一，它可用于探讨某一含水层、含水系统或地下水流域内，地下水的补给、排泄以及动态变化规律和估算地下水资源，合理开发利用地下水等等。

三、地下水的起源与形成

地下水，顾名思义，就是指埋藏在岩(土)层中的水。地下水的起源是指地下水的最初的来源，而现代水文循环进入地下的水，则归为地下水的形成，两者是有区别的，这里仅介绍各种不同起源与形成的地下水类型，

(一) 渗入水

这是由大气降水和地表水体(河流、湖泊)渗入地下而形成的。见图 1-1。它是最普遍最主要的地下水来源，渗入水可以来源于当地的入渗，也可能由外地入渗后以地下径流的形式流进本地。渗入水分布面广量大，成为人类开发地下水的主要对象。

(二) 凝结水

凝结水来源于空气中的水汽。当地表以下岩土的温度远远低于大气温度，大气中的绝对湿度必然远远大于岩石空隙中的绝对湿度，大气中的水汽进入岩石空隙后就要冷却凝结成水滴，这种水滴的聚集，就成为地下水。在干旱的平原和沙漠地带，昼夜温差很大，凝结作用显著，这种水就成为地下水的主要来源。虽然总的说来，这种凝结水量不大，但对于一些地区，亦有其实际意义，有人用一种地下水冷凝装置，每夜竟获得数升的凝结水。

(三) 原生水

当岩浆由地壳深处侵入地壳表层，在其逐渐冷却过程中，析出气体和水汽，水汽遇冷而凝结，即形成地下水。原生水多分布在岩浆活动区和火山近代活动区，一些原生水参加到渗入水的循环中去，混合成温度较高、含矿物质较多的地下热水。

(四) 埋藏水或残留水

沉积岩或松散沉积物的沉积和成岩过程中，水存在于其空隙之中，以后地质条件变化，这些水处于被封闭状态，这就是埋藏水。埋藏水在我国含水层中常有发现。例如在河北、苏北一带的滨海平原，在100m~200m以内普遍存在着咸水含水层。它们都是由海相沉积物封存海水所造成的。此外，在我国一些离海较远的平原地区，例如苏北的丰、沛平原，河南的商丘平原，山东的聊城、菏泽平原，均有所谓“花斑状”咸水分布，它们形成的原因比较复杂，其中有一部分可能是属于埋藏水。

(五) 脱出水

有些矿物含结晶水,如石膏($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)、芒硝($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$)、蛋白石($\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$)等,在高温高压下,所含的结晶水也能脱出成为自由水。

以上五种类型中,最主要的是渗入水,由于渗入水是地球水循环中的一部分,它与地表水、降水和蒸发有着密切的联系,加上分布广、数量大,人类开发利用又主要是渗入水,所以渗入水是地下水资源计算的主要研究对象。

第二节 地下水的储存条件

一、岩土的空隙性

地壳表层的岩土是由粒径不同的矿物质或岩屑组成的集合体。矿物或岩屑中存在着空隙。岩土中的空隙不仅是地下水的储存处,也是地下水运动的通道,其大小、多少、形状及分布规律决定着地下水的分布和运动特点。岩土的空隙,有的不含水,有的虽然含水却不透水,一般把既能含水又能透水的岩土称为“含水介质”。

各种岩土的空隙特征千差万别,将空隙作为地下水储容场所和运动通路研究时,按其成因分为三类:松散岩土中的孔隙、非溶性坚硬岩石中的裂隙和易溶性岩石中的溶隙。如图1-2。

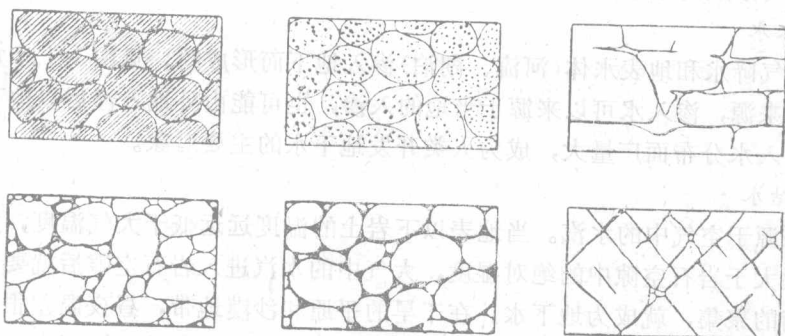


图 1-2 岩石空隙类型

(一) 孔隙

第四纪松散沉积物构成的岩土(土壤、砂、卵石等)是由大大小小的颗粒所组成的,在颗粒或颗粒集合体之间普遍存在着空隙,空隙相互连通,呈小孔状,故称作孔隙。

表示松散沉积物孔隙的数量指标称为孔隙度,它是孔隙体积与包括孔隙在内的岩土体积之比值。孔隙度以百分数或小数表示均可:

$$n = \frac{V_n}{V} \times 100\% \quad \text{或} \quad n = \frac{V_n}{V} \quad (1-7)$$

式中: n ——孔隙度;

V_n ——孔隙体积;

V ——包括孔隙在内的岩土体积。

孔隙度的大小,取决于颗粒本身的大小、颗粒之间的排列形式、分选程度、颗粒的形状