

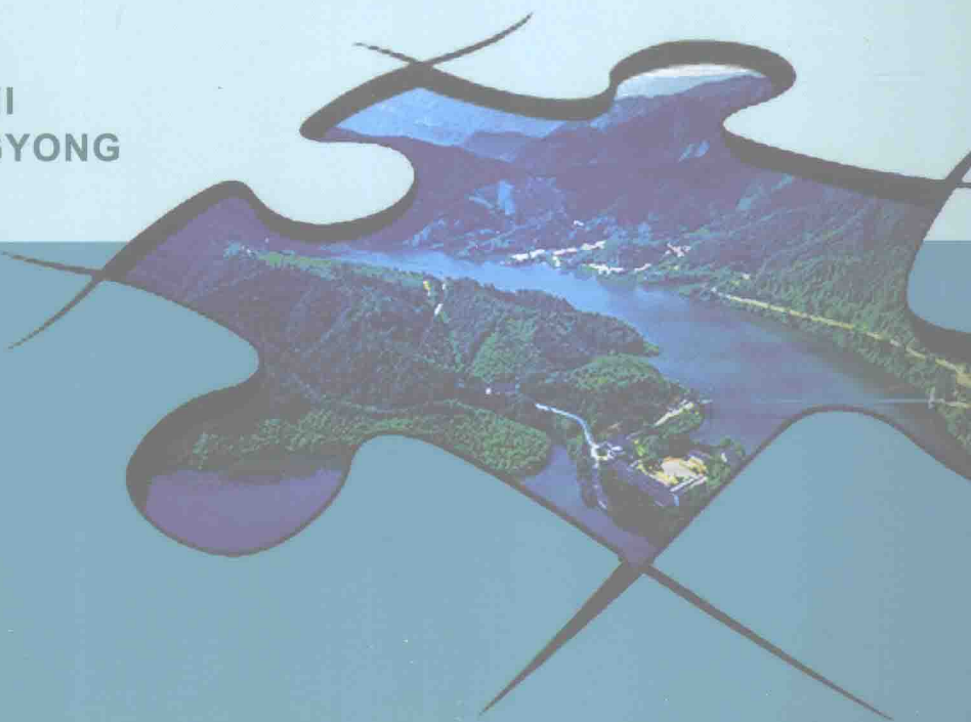
水文与工程地质专业系列教材

水文地质分析与应用

主 编 栗俊江 朱朝霞

副主编 覃 伟 李 博 成六三

SHUIWEN DIZHI
FENXI YU YINGYONG



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

水文地质分析与应用

主 编 栗俊江 朱朝霞
副主编 覃 伟 李 博 成六三
参 编 王明秋 刘鸿燕



中国地质大学出版社有限责任公司
ZHONGGUO DIZHI DAXUE CHUBANSHE YOUXIAN ZEREN GONGSI

图书在版编目(CIP)数据

水文地质分析与应用/栗俊江,朱朝霞主编;覃伟,李博,成六三副主编. —武汉:中国地质大学出版社有限责任公司,2013. 11

ISBN 978-7-5625-3240-8

I. 水…

II. ①栗…②朱…③覃…④李…⑤成…

III. ①水文地质-教材

IV. ①P641

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 205107 号

水文地质分析与应用

栗俊江 朱朝霞 主 编
覃 伟 李 博 成六三 副主编

责任编辑:高婕妤 张 琰

责任校对:戴 莹

出版发行:中国地质大学出版社有限责任公司(武汉市洪山区鲁磨路 388 号) 邮政编码:430074

电话:(027)67883511

传真:(027)67883580 E-mail:cbb@cug.edu.cn

经 销:全国新华书店

<http://www.cugp.cug.edu.cn>

开本:787 毫米×1 092 毫米 1/16

字数:307.2 千字 印张:12

版次:2013 年 11 月第 1 版

印次:2013 年 11 月第 1 次印刷

印刷:荆州鸿盛印务有限公司

印数:1—1 000 册

ISBN 978-7-5625-3240-8

定价:38.00 元

如有印装质量问题请与印刷厂联系调换

前言

为贯彻落实教育部《关于支持高等职业学校提升专业服务产业发展能力的通知》(教成[2011] 11号)精神,提升水文与工程地质勘察专业服务产业发展能力,为重庆统筹城乡建设、三峡库区建设和西部建设提供高端技能型水文与工程地质类人才,教育部高等教育司组织有关高等职业学校重新构建基于工作过程的课程体系,《水文地质分析与应用》为该课程体系中核心课程之一。

教材主要内容为水文地质基础知识、基本技能及其在煤矿中的应用,分为绪论、地下水赋存规律、地下水的物理性质与化学成分、地下水类型及包气带地下水、地下水系统及地下水循环特征、地下水的动态与均衡、不同介质中地下水的基本特征、地下水运动规律、地下水运动的常规计算、矿区水文地质勘探、矿井水文地质分析与应用共11章。前8章为水文地质理论基础部分,后3章为水文地质专业应用部分。

本教材可作为水文与工程地质、矿山地质专业及地质类其他专业的高职高专学生学习教材,也可作为地勘部门、地矿单位培训教材和相关技术人员参考书。本书由重庆工程职业技术学院水文与工程地质、矿山地质专业教学团队编写。其中,前言、绪论、第9、10章由粟俊江编写;第1、2章由朱朝霞编写;第3章由李博编写;第4、6章由覃伟编写;第5章由刘鸿燕编写;第7章由王明秋编写;第8章由成六三编写。全书由粟俊江统编定稿。

在本教材的编写过程中,重庆工程职业技术学院李北平教授、山西煤炭职业技术学院王秀兰教授给予了热情的帮助和专业指导,参考和引用了大量前人研究成果,编者向曾给予帮助的专家、学者表示崇高敬意和诚挚感谢。另外,本书得到重庆工程职业技术学院院长易俊教授的温暖关怀和大力支持,编者在此特别表示感谢。

由于编者水平有限,书中难免有不当之处,敬请广大读者批评、指正。

编者

2013年8月

目 录

0 绪 论	(1)
0.1 水文地质工作对象与任务	(1)
0.2 水文地质专业工作内容	(2)
0.3 水文地质专业工作的发展概况	(2)
1 地下水赋存规律	(5)
1.1 地球上水的分布及其循环	(5)
1.2 影响地下水的因素	(7)
1.3 地下水的赋存条件及特征	(14)
2 地下水的物理性质与化学成分	(28)
2.1 地下水的物理性质	(28)
2.2 地下水的化学特征	(31)
2.3 地下水化学成分的形成作用	(35)
2.4 地下水化学成分的基本成因类型	(38)
2.5 地下水化学成分的研究方法	(40)
3 地下水类型及包气带地下水	(45)
3.1 地下水类型的划分	(45)
3.2 包气带地下水	(47)
3.3 潜水	(50)
3.4 承压水	(58)
4 地下水系统及地下水循环特征	(63)
4.1 地下水系统	(63)
4.2 地下水流动系统	(64)
4.3 地下水补给	(65)
4.4 地下水排泄	(66)
4.5 含水层之间的补给与排泄	(68)
4.6 地下水的径流交替	(69)
5 地下水的动态与均衡	(71)
5.1 地下水动态与均衡的概念	(71)
5.2 地下水动态	(71)
5.3 地下水均衡	(78)
6 不同介质中地下水的基本特征	(84)
6.1 孔隙水	(84)
6.2 裂隙水	(87)
6.3 岩溶水	(91)

7	地下水运动规律	(101)
7.1	渗流的基本概念	(101)
7.2	重力水运动的基本规律	(103)
7.3	结合水和毛细水的运动	(105)
7.4	饱和黏性土中水的流动	(106)
8	地下水运动的常规计算	(108)
8.1	地下水在均质各向同性含水层中的稳定运动	(108)
8.2	地下水流向集水井的稳定运动	(112)
8.3	地下水向完整井的非稳定运动	(118)
9	矿区水文地质勘探	(124)
9.1	矿区水文地质勘探阶段与工作方法	(124)
9.2	矿区水文地质测绘	(126)
9.3	矿区水文地质测绘的基本内容和要求	(127)
9.4	矿区水文地质钻探	(130)
9.5	矿区水文地质试验	(137)
9.6	地下水动态观测	(147)
9.7	矿区水文地质勘探成果	(148)
10	矿井水文地质分析与应用	(167)
10.1	矿井水害分析	(167)
10.2	矿井水害防治	(170)
	主要参考文献	(184)

0 绪 论

0.1 水文地质学研究的对象与任务

水文地质学是研究地下水的科学。地下水是赋存于地表以下不同深度的土层和岩石空隙中的水,如泉水、井水均为地下水。

一方面,水是生命之源,是人类赖以生存不可或缺的宝贵资源。地下水作为水资源的重要组成部分,分布广泛、水质良好,是人类重要的淡水资源,对人们生活及工农业生产有重要意义。整个亚洲饮用水的 1/3 为地下水,美国有 50% 以上城市人口和 95% 以上农村人口的饮用水为地下水。我国水资源总量为 28 000 亿 m^3 ,其中地下水资源总量为 8 288 亿 m^3 ,约占全国水资源总量的 30% (钱正英、张光斗, 2001)。2005 年全国总供水量为 5 633 亿 m^3 ,地下水供水量为 1 038 亿 m^3 ,约占总供水量的 18%,我国南方地区供水量为 3 142 亿 m^3 ,其中地下水供水量为 135 亿 m^3 ,占 5%,北方地区供水量为 2 490 亿 m^3 ,其中地下水供水量为 904 亿 m^3 ,占 36% (水利部, 2005、2006)。当地下水中富集某些有益盐类及元素时,可成为工业矿产。四川自贡地区人民 2 000 多年前就开始从地下卤水中提取食盐。

另一方面,随着我国经济持续快速的发展,由地下水所引发的工程地质与环境问题日益突出,成为国民经济可持续发展的天然障碍。如由于地下水超采,导致地下水位持续下降,造成地面沉降。上海市区约在 1930 年发现地面沉降,1956 年以后,随着地下水开采量的增加,地面沉降加剧,到 1965 年,最大沉降量达到 2.37m,1966 年以后,通过人工回灌及其他措施,上海市区的地面沉降才基本上得到控制。在岩溶地区开发地下水,较易引起岩溶地面塌陷和地裂缝,造成房屋倒塌,路基被破坏、农田被毁。地下水位过高也会造成生态、环境问题。当灌溉水量过多,一旦地下水大片出露地表,则会形成沼泽。在干旱、半干旱地区,如果地下水位接近地表,由于蒸发强烈,使盐分聚集在土壤表层,造成土壤盐渍化。20 世纪 50 年代末,华北地区拦蓄降水和地表水,只灌不排,使地下水位升高,蒸发加强,形成土壤盐渍化。随着工农业的发展,工业废水、农药及化肥中的有毒成分渗入地下,造成地下水水质污染,危害人体健康。进行地下采矿或各种地下工程(修隧道、地下厂房)时,地下水的涌入不仅会增加矿山排水费用,影响矿山生产安全,甚至还会造成矿井淹井事故。

水文地质学研究的主要任务如下。

- (1) 地下水的形成、埋藏、分布、运动及循环转化的规律。
- (2) 地下水的物理化学性质、成分以及水质的变化规律。
- (3) 如何合理地开发、利用、管理地下水资源。
- (4) 如何有效地预防或消除地下水的危害等实际问题。

0.2 水文地质学研究的内容

水文地质学研究的内容主要包括基础研究工作、地下水开发与管理、地下水污染和矿井水害的防治。本书中水文地质分析部分主要是针对前两个方面的工作,水文地质应用部分主要针对后两个方面的工作。

1) 基础研究工作

这部分工作主要涉及水文地质学的基础理论。如通过建立地下水运动数学模型,对地下水运动机理进行研究,主要研究地下水及地下水中的溶质浓度、温度等物理特征,通过孔隙、裂隙等复杂介质运移和转化所遵循的物理规律,研究由地下水头、浓度、温度等物理特征的变化所引起的流体性质或介质性质的变化规律,如溶质的结晶溶解、蒸发冻结、吸附解吸、介质压缩、孔隙度或导水性的变化、地面沉降规律等(杨金忠,2009)。基础研究工作在于探寻问题的机理,它可能有直接或明显的现实意义,也可能没有。

2) 地下水开发与管理

地下水开发与管理主要是以水文地质学的基本原理为基础,阐明开发地下水的经济效益。为了开发地下水,水文地质工作者需要确定水源,探明地下水的水质、水量。一些工程建设项目,会被开挖到潜水面之下,为此需要对地下水进行管理,例如设置抽水井来降低地下水位,保证工程环境干燥。该过程中,水文地质工作者要确定井的数量、位置、抽水量,以及分析抽水是否会对周围的地下水用户带来不利影响等。

3) 地下水污染

地下水污染威胁着工业化地区、郊区及农村。水文地质工作的内容之一就是要确保水质符合规定要求,因此水文地质工作者应按规定对水质进行采样、分析,并提交地下水水质评估报告,其中水质采样的内容有:采样点的布设、采样时间与频率、采样方法的选择、样品的保存与管理等。

4) 矿井水害的防治

我国的矿产资源丰富,自然地理条件和水文地质条件复杂。以煤炭资源为例,据统计,我国有40%以上的煤炭资源不同程度地受到地下水的威胁,在一定程度上影响了煤炭资源的开发。对于那些位于岩溶地下水位以下的煤矿,在开拓、掘进和生产过程中,将会受到地下水日趋严重的威胁。

0.3 水文地质学研究的发展概况

我国是世界上最早开发利用地下水的国家之一。中国发现的最古老的水井是距今约5700年的浙江余姚河姆渡井,为新石器时代中期修建。在公元250年左右,在成都双流一带已开始凿井开采卤水制盐。但由于长期落后的封建制度严重阻碍了水文地质科学及其技术的发展,未能形成科学体系。

18世纪中叶,随着欧洲产业革命的进行,对地下水的需求迅速增加,推动了水文地质学的发展。1852—1855年,法国水力工程师达西(Darcy)通过大量水透过砂的试验研究,总结出了渗流速度与渗流能量损失之间的关系,即达西定律,由此奠定了地下水定量计算的

基础。随后,法国工程师裘布依(Dupuit)以达西定律为基础,分析潜水井和承压水井周围地下水的运动,推导出了地下水单向及平面径向稳定流公式,对当时地下水水力学的发展起到了重要的作用。1928年,美国学者迈因策尔(Meinzer)论述了含水层的可压缩性和弹性,为地下水非稳定理论的建立提供了实践认识。1935年美国工程师泰斯(Theis)认识到热流和水流具有类似性,可以利用解决热流问题的方法来解决类似的流体流动问题,从而通过建立地下水非稳定井流方程(泰斯公式),对抽水井附近水位的瞬态行为进行描述。随后在1940年,雅可布(Jacob)建立了地下水流更为严格的数学描述,并用微分方程重新推导出了泰斯公式,这是20世纪上半叶水文地质学上最重要的成果,因为该微分方程描述了自然状态与其近邻状态之间在时间上和空间上的关系。在20世纪50年代以前,求解地下水运动问题以解析法为主,主要是在比较简单的条件下得出问题的解析解,对于条件复杂的问题,就很难得出解析解,即便是可以得出解析解,由于其形式复杂而难以被运用于实际工作中。20世纪50~70年代初期,根据地下水运动与电流运动的相似性,利用电模拟求解复杂地下水运动规律的方法得到了深入研究和广泛应用。由于电模拟方法网格固定,通用性差,难以处理潜水流问题,且只能将其用于地下水流模拟,不能用它来模拟水质及热量运移等问题。1956年,斯图尔曼(Stallman)开始运用数值法求解水文地质问题,20世纪60年代华尔顿(Walton)首次利用电子计算机进行水文地质数值模拟,20世纪70年代以来电模拟方法逐渐被数值模拟方法所取代。目前数值模拟方法已在地下水资源评价、地下水污染、地面沉降、非饱和带水分和盐分的运移、地热分析、海水入侵等方面得到了广泛应用。

1940年,Hubbert发表了关于盆地范围内地下水流的研究成果,但由于该时期水文地质工作者关心的是抽水井附近的非稳定流,因此他所提出的区域地下水流场模型直到20年后才使水文地质工作者产生兴趣。Tóth(1962、1963)对Hubbert的模型进行了重要发展,给出了区域流动系统边界条件的数学描述,证明了盆地的几何形态对地下水径流的重要性,并将地下水流系统进行了划分。

Chamberlin(1885)曾指出不存在完全隔水的岩层。Hantush和Jacob(1955)及Hantush(1956)详细研究了由砂组成的承压含水层的越流问题。20世纪60年代,Tóth进一步指出,在固结的沉积岩构成的盆地中,只要经历足够长的时间,在地形控制的重力势作用下,地下水将发生穿层流动。

20世纪30年代,奥弗琴尼科夫提出了水文地球化学作用的概念,首次倡议“水文地球化学”这一术语。20世纪40~60年代,Piper(1944)和Stiff(1951)分别提出了解释水分析结果的图解方法,Chebotarev(1955)与Back(1960)分别提出了地下水的演化观点。20世纪60年代以来,同位素水文地球化学方法得到了广泛开展,其应用主要为利用示踪元素研究地下水动力学问题,确定地下水成因及其年代。Kreitler和Jones(1975)利用氮的稳定同位素研究了含水层的硝酸盐污染来源。Bentley(1986)和Phillips(1986)的研究均表明 ^{36}Cl 可用于年龄高达2Ma的水的定年。Wood和Sanford(1995)利用 $\delta^2\text{H}$ 和 $\delta^{18}\text{O}$ 研究地下水的补给来源。

1949年,中华人民共和国成立后,为适应大规模经济建设的需要,我国引进前苏联模式,建立了水文地质工程队伍,组建了科学研究机构,开办了专业教育,并对一些重点矿区进行了水文地质勘察工作。

20世纪70年代末期以来,我国完成了许多大型供水、矿井疏干等专门性水文地质调查

项目与科研课题，总结出了我国的水文地质理论与实践经验，完善了新技术方法，出版了大量的水文地质专著、图件、刊物及各种规范和教材（王大存，1980、1986、1995；薛禹群、谢春红，1980、2007；孙讷正，1981、1989；陈崇希，1983；沈照理，1985、1993；任天培，1986；房佩贤，1987、1996；沈继方，1992；曹剑锋，2006；杨金忠，2009；肖长来，2010；张人权，2011；等）。

1 地下水赋存规律

1.1 地球上水的分布及其循环

1.1.1 地球上水的分布

地球是一个富水的星球，地球的演化、人类的起源，无不与水关系密切。地球上的水不仅以气态、液态、固态的形式分别存在于大气圈、水圈、岩石圈和生物圈中，也存在于地球深部的地幔乃至地核中。其中，大气圈的水主要存在于大气对流层中；水圈水存在于地表海洋、河流、湖泊以及两极和高山地区；岩石圈水主要存在于地壳表部的岩石空隙中；生物圈水存在于生物体内。

地球浅部圈层赋存大气水、地表水、地下水、生物体及矿物中的水，以液态为主，部分为固态和气态。地球浅部水量总计为 $13.86 \times 10^{17} \text{ m}^3$ ，其中咸水占 97% 以上，淡水不到 3%。淡水中大部分（约占 70%）又分布在极地的冰川、雪盖以及高山冰川中，其余为液态淡水，而液态淡水中，地下水占 99%（表 1-1）。由此可见，全球目前能被人类直接利用的水储量是非常有限的。

表 1-1 全球水量分布表

水体类型	水储量		咸水		淡水	
	$\times 10^{12} \text{ m}^3$	比例 (%)	$\times 10^{12} \text{ m}^3$	比例 (%)	$\times 10^{12} \text{ m}^3$	比例 (%)
海洋水	1 338 000	96.538	1 338 000	99.041	0	0
冰川与永久积雪	25 064.1	1.736	0	0	25 064.1	68.697
湖泊水	176.4	0.013	85.4	0.006	91.0	0.260
沼泽水	11.47	0.000 8	0	0	11.47	0.033
河流水	2.12	0.000 2	0	0	2.12	0.006
地下水（饱水带）	23 400	1.688	12 870	0.953	10 530	30.061
永冻层中冰	300	0.022	0	0	300	0.856
土壤水	16.5	0.001	0	0	16.5	0.047
大气水	12.9	0.000 9	0	0	12.9	0.037
生物水	1.12	0.000 1	0	0	1.12	0.003
全球总水量	1 385 984.61	100	1 350 955.4	100	35 029.21	100

（据《中国水利百科全书》，1991）

地球深部圈层水分布于地壳下部直到下地幔范围，其存在形式与地球浅部圈层不同，其水量也远远超过浅表。此处地温达 400°C 以上，承受压力也很大，水不可能以普通液态水或

气态水存在，而成为被压密的气水溶液。

目前已有许多证据表明，地球深部圈层的水和矿物结合水均与地球浅部圈层中自由态的水相互转化，地球各圈层中以各种形式存在的水是一个相互联系、相互转化的整体。

1.1.2 地球上水的循环

自大气圈到地幔的地球各圈层中的水构成一个系统，这一系统内的水相互联系、相互转化的过程即是自然界的水循环。自然界的水循环按其循环途径长短、循环速度的快慢以及涉及圈层的范围，可被分为水文循环和地质循环。水文循环局限于地球浅表，转换交替迅速；地质循环发生于大气圈到地幔之间，转换交替缓慢。

1) 水文循环

水文循环是指地球上各种形态的水，在太阳辐射、地心引力等作用下，通过蒸发、水汽输送、凝结降水、下渗以及径流等环节，不断地发生相态转换和周而复始运动的过程（图 1-1）。

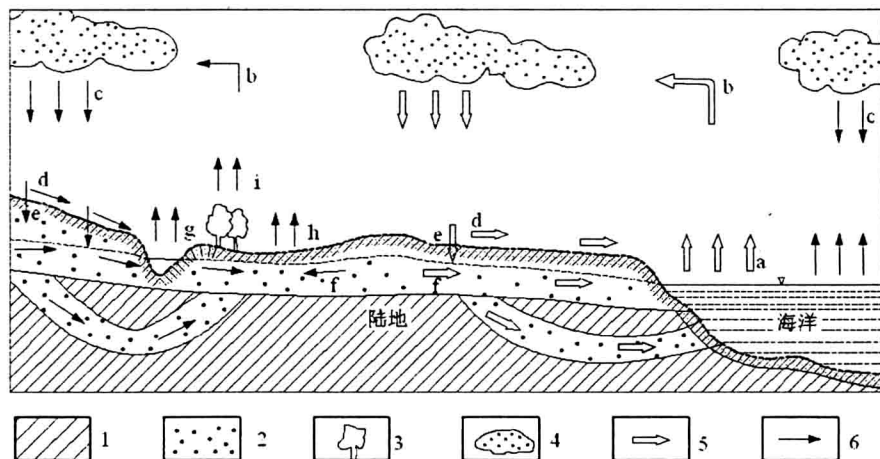


图 1-1 水文循环示意图

1—隔水层；2—透水层；3—植被；4—云；5—大循环各环节；6—小循环各环节；a—海洋蒸发；b—水汽输送；c—降水；d—地表径流；e—入渗；f—地下径流；g—水面蒸发；h—土面蒸发；i—叶面蒸发（蒸腾）

水在太阳辐射和重力共同作用下，从海面、河湖表面、岩土表面及植物叶面不断蒸发和蒸腾、变成水汽进入大气圈，水汽随气流的运移，在适宜的条件下，重新凝结形成降水（雨、雪等）。落到陆地的降水，一部分就地蒸发，进入大气圈；一部分沿着地表流动，变成地表径流，汇入河流、湖泊、海洋；另一部分渗入地下成为地下水。地下水在径流过程中一部分再度蒸发又以蒸汽的形式重新进入大气圈，一部分再度排入河流、湖泊、海洋。这样蒸发、降水、径流的过程，在全球范围内时刻都在进行着，形成了自然界极为复杂的水文循环。

2) 水文循环的分类

根据水文循环的途径不同，分为大循环和小循环。

在全球范围内，水分从海洋表面蒸发，上升的水汽随气流运移到陆地上空，凝结成降水降落到陆地表面，又以地表或地下径流的形式，最终流回海洋中，这种发生在海陆之间的循

环过程被称为大循环。

从海洋表面蒸发的水汽,又以降水的形式,再落回海洋;或者从陆地上的河流、湖泊、土面、植物叶面蒸发的水分,再以降水形式降落回大陆表面,这种发生在局部范围内的循环过程被称为小循环。

3) 水文循环的意义

小循环受局部气象因素控制,大循环受全球性气候控制。因此,调节小循环条件,加强地区性小循环的频率和强度,可改善局部性的干旱气候。而大循环条件的改变,目前仍为人力所不及。

地球浅表部水分如此往复循环、不断转化,是维持生命繁衍与人类社会发展的必要前提。一方面,水通过不断转化而使水质得以净化;另一方面,水通过不断循环得以更新再生。水作为资源不断更新再生,可以保证其在再生速度水平上的永续利用。大气水总量虽然小,但是循环更新一次只要 8 天,每年平均更换约 45 次;河水的循环再生周期平均为 16 天,每年约更新 23 次;湖水循环再生周期平均为 17 天;海洋水循环再生周期为 2 500 年;地下水的循环再生周期大于河湖水,根据其不同埋藏条件,更新周期由几个月到若干万年不等。

4) 水文循环中的水量均衡

自然界中水的转化是通过循环来实现的。蒸发、降水和径流是水循环过程中的主要环节。从水量上研究水的循环,即为水的动态均衡。

从全球来看,多年长期内水量并无明显的增减现象。

设 Z_m 为海洋面的年蒸发量; X_m 为海洋面的年降水量; Z_c 为陆面年蒸发量, X_c 为陆面年降水量; Y 为地表及地下年径流量,以上各量均采用多年平均值,针对海洋、陆地和全球范围而言,其满足的关系不同。

(1) 对海洋来说,满足下式:

$$Z_m = X_m + Y \quad (1-1)$$

(2) 对陆地来说,满足下式:

$$Z_c = X_c - Y \quad (1-2)$$

(3) 对全球范围来说,满足下式:

$$Z_m + Z_c = X_m + X_c \quad (1-3)$$

式 (1-3) 表明,对全球范围来说,多年平均蒸发量等于多年平均降水量。

1.2 影响地下水的因素

1.2.1 影响地下水的气象因素

自然界中水循环的重要环节——蒸发、降水都与大气的物理状态密切相关。气象要素包括气温、气压、风向、风力、湿度、蒸发和降水等这些决定大气物理状态的因素。用气象要素表示的大气物理状态被称为天气。某一地区天气的平均状态(用气象要素的多年平均值来表示)被称为该地区的气候。气象和气候因素对水资源的形成与分布具有重要影响。对地下水的形成而言,虽然变化缓慢的气候因素起着极为重要的影响作用,但变化迅速的气象要素,则对地下水有着显著的影响。这其中以降水、蒸发及气温的影响最大。

1) 气温

大气具有的温度称为气温。一切复杂的天气变化，主要是由于气温条件不同而引起的，气温的变化会直接影响地下水温度的变化，水温变化会使地下水中的气体成分发生变化。例如由于温度的增高，气体活跃性增大，一部分气体就要从水中逸出，从而降低地下水中气体成分的含量；水中气体成分含量的降低，又会引起地下水其他化学成分的变化。此外，由于热力增加，地下水蒸发作用加强，水量就减少，水的浓度增加。

2) 湿度

大气中水汽的含量称为空气湿度。大气中水汽含量变化不定，为空气总量的 0.01%~4%，其中 70% 的水汽含量分布在 0~3.5km 的高度内。

空气中水汽含量可以用质量或压力来衡量。湿度可分为绝对湿度和相对湿度两种。

(1) 绝对湿度。为某一地区某一时刻空气中水汽的含量。利用质量来衡量时，以 1m^3 空气中所含水汽克数 (g/m^3) 表示，符号为 m ；利用压力来衡量时，为空气中所含水汽分压相当于水银柱高度的毫米数或以“毫巴” [$1\text{毫巴}(\text{mbar})=100\text{Pa}$] 表示，符号为 e 。

空气中绝对湿度变化很大，主要受气温、地表面性质等因素的影响。在温暖地带、辽阔水面或潮湿土壤上空，绝对湿度较大。而在气温低的地区，空气绝对湿度则很小。

空气中可容纳水汽的数量和温度有密切的关系，温度越高，可容纳的水汽数量就越多，反之越少。某一温度下，空气中所能容纳最大的水汽数量称为该温度下的饱和水汽含量。不同温度下的饱和水汽含量，同样可以用质量（符号为 M ）或压力（符号为 E ）来衡量（表 1-2）。

表 1-2 不同温度下的饱和水汽含量

t ($^{\circ}\text{C}$)	-30	-20	-10	0	10	20	30
E (mmHg)	0.4	1.0	2.2	4.6	9.2	17.5	31.9
M (g/m^3)	0.5	1.1	2.4	4.8	9.4	17.3	30.4

绝对湿度只能说明某一时刻空气中水汽含量的多少，而不能说明空气中的水分是否达到饱和，因此，又有相对湿度的概念。

(2) 相对湿度 (r)。指绝对湿度与饱和水汽含量之比。即：

$$r = \frac{e}{E} \times 100\% \quad (1-4)$$

相对湿度可以通过计算求得。

例如当某时刻气温为 20°C ， $e=4.6\text{mm}$ ，查表 1-2 得 $E=17.5$ ，则：

$$r = \frac{4.6}{17.5} \times 100\% = 26.3\%$$

当气温下降至 0°C ， $E=4.6\text{mm}$ ，其他条件不变时，则：

$$r = \frac{4.6}{4.6} \times 100\% = 100\%$$

由此可见，由于饱和水汽含量随温度降低而减小，因此当绝对湿度不变时，随气温下降，相对湿度随之增高，当绝对湿度与饱和水汽含量相等时，相对湿度等于 100%，说明空气中水汽已达到饱和状态。空气中水汽达到饱和时的气温称为露点。当气温降低到露点以下

时,空气中过剩的水汽即凝结成不同形式的液态或固态降水。

3) 降水

当空气中水汽含量达到饱和状态时,即气温低于露点时,超过饱和限度的水汽便凝结,以液态或固态形式降落到地面,这就是降水。空气冷却是导致水汽凝结的主要条件。气象部门用雨量计测定降水量,以某一地区某一时期的降水总量平铺于地面得到的水层厚度(mm)表示。而单位时间内所降下的雨量称为降雨强度(即雨强),用mm表示。

降水是水文循环的主要环节之一,一个地区降水量的大小,决定了该地区水资源的丰富程度,对地下水资源的形成具有重要影响。大气降水入渗地下,对地下水的补给最为普遍,它是地下水最重要的来源。大气降水补给作用的强弱主要取决于两个力面:一方面是大气降雨强度、延续时间;另一方面是当地的入渗条件,如包气带的岩性和厚度、地形、植被等。若降雨强度大、延续时间长,则可能补给的地下水量就多;当入渗条件好,如地表岩土透水性好、地形平坦、植被良好,则入渗作用就强,补给地下水量就多。

不同类型的降雨对地下水的补给是不一样的。

(1) 暴雨。历时短而强度大。按气象部门的惯例,当日降雨量大于50mm或12h内降雨量大于30mm的称为暴雨。这种雨一般笼罩面积不大,降雨过程短,一般来说降雨大部分来不及渗入地下而变为地表径流流走,而且往往强烈冲刷地表,甚至改变地表原来的结构。但在平坦的、裸露的砂砾石层地区和植被覆盖较好的地区,仍然可有相当多的水渗入地下。

(2) 细雨。历时不久,雨量小,雨滴小。这种雨往往一边下,一边极易蒸发,对地下水补给的意义不大。

(3) 淫雨。历时久,强度小,笼罩面积大,在地表条件适当时,这种雨可以大量地补给地下水,对地下水的补给具有很大的意义。

(4) 暴淫雨。历时久,平均强度大,常常酿成地面的洪涝灾害,它对地下水的影响也是显著的。它也常常破坏地表原有的结构,给矿坑和某些工程带来威胁。

我国幅员辽阔,地势复杂,各地区降水分布极不均匀。总的来说,由沿海向内陆地区降水量逐渐减少;南方降水量大于北方;山区降水量又常比附近平原区多。在台湾省的中央山脉区,年平均降水量在3000mm以上;长江流域年降水量在1000mm以上;黄河流域年降水量多为500mm以上;西北地区年降水量多在250mm以下;塔里木盆地年降水量不足50mm,新疆若羌年降水量不足5mm,是我国最干旱的地区。

我国降水主要集中在夏季,其中以七、八月份为最多,这种情况,在东北及华北最为显著。

在分析大气降水的补给作用时,不但要考虑绝对的降水量,还应考虑降水的性质(如延续时间、强度),降水形式(液态、固态)和降水的类型等。在水文地质调查时,应搜集降水的月平均、年平均及多年平均资料。

4) 蒸发

水在常温下,由液态变为气态的过程称为蒸发。自然界的蒸发可以在水面、岩石土壤表面和植物的枝叶上进行。所以根据蒸发性质的不同,可分为水面蒸发、土面蒸发和叶面蒸发三种。蒸发量仍以水层厚度(mm)表示。

(1) 水面蒸发。指在一个地区一定时间内地表水体表面水分的蒸发。其蒸发量的大小用水面蒸发皿来测定,其值用蒸发度表示,它体现了一个地区蒸发能力的大小。

水面蒸发量的大小受许多因素影响, 其中主要决定于气温和绝对湿度的对比关系。气温决定了空气的饱和水汽含量, 而绝对湿度则是该温度下空气中实际的水汽含量, 此两水汽含量之差称为饱和差 (d), 即 $d = E - e$ 。蒸发速度或强度与饱和差成正比, 即饱和差越大, 蒸发速度也越大。同理, 相对湿度愈小, 饱和差越大, 则蒸发速度也越大。另外, 蒸发还与风速、气压等有关系, 风速越大, 气压越低, 则蒸发速度越快, 蒸发量越大。

(2) 土面蒸发。是指在一个地区一定时间内土壤表面水分的蒸发。土面蒸发量除了气温、饱和差、风速、气压外, 还与地下水的埋藏条件、土壤性质有关; 一般当地下水埋藏较浅时, 由于土壤毛细作用, 将地下水吸至地表, 蒸发量加大; 埋藏较深, 蒸发量就小。土壤颗粒越细, 土壤层经常保持的水分较多, 则蒸发量大。

(3) 叶面蒸发。是指在一个地区一定时间内某种植物叶面水分的蒸发, 其蒸发过程叫蒸腾 (蒸散)。

必须注意的是, 气象部门提供的蒸发量, 只能说明蒸发的相对强度 (蒸发度), 它不代表实际的蒸发水量。

5) 气压

大气的质量施加于地面的压力称为气压, 常用毫米汞柱高度表示。在标准状态下 (气温为 0°C 、纬度为 45° 的海平面上) 的气压为 760mm 汞柱高度, 即相当于 10^5Pa 。

各地气压的差异引起空气流动, 冷暖空气交锋, 形成降雨。我国东部地区广受季风气候的影响, 故降雨大多集中于夏季, 而冬季寒冷干燥。气压变化可影响地下水位升降, 从而引起泉水流量变化。若气压下降, 则泉水流量会有增大的现象。

以上各种气象资料, 可从各地气象站搜集到, 这些资料在进行水文地质调查时都是必要的, 它可以帮助分析地下水的形成, 预测地下水的变化。对搜集的气象资料要进行整理, 整理的图件有两种类型: 一种为等值线图, 是一种用于大范围的平面图; 另一种为变化过程曲线图。

1.2.2 影响地下水的水文因素

地表水主要以河流、湖泊、海洋等形态出现。水文因素这里主要针对河流而言, 因为湖泊也是属于河流系统的一部分。在自然界几乎所有的河流都与地下水有密切的联系, 一般情况下, 河流上游往往排泄地下水, 下游往往补给地下水。因此河流对地下水的形成起着很大的作用。

1) 水系和流域

降水或由地下涌出地表的水, 汇集在地面低洼处, 在重力作用下, 经常或周期性地沿着河流本身造成的槽形凹地流动, 这就是河流。河流沿途接纳很多支流, 水量不断增加, 这种干流和支流组成的系统称为水系。两个相邻不同水系之间的界线 (也即最高点的连线) 称为分水线或分水岭。分水线或分水岭所包围的区域称为流域 (图 1-2)。流域内平面面积称为该河流 (或水系) 的流域面积或集水面积, 其单位常用 km^2 表示。每条河流 (水系) 有它的流域, 就是河流的任一支流, 也有相应的流域。在同一流域内, 全部地表水和地下水都汇集于一个水系中。

与地表水一样, 地下水分水岭所包围的区域称为地下水流域。地下水分水岭往往与地表水分水岭一致。但有时也可以不一致, 除受地质构造因素影响外, 与河间分水岭地带岩石的

透水性及在地下水渗流方向上的两河的水位标高有关（图 1-3）。

2) 径流及其表示方法

径流是指一个流域内的降水除去消耗于蒸发以外的全部水流。径流有地表径流和地下径流之分。一般所说的径流往往是指地表径流。

在水文地质学中常用流量、径流总量、径流深度、径流模数和径流系数等特征值来表示地表径流。水文地质学中一般也采用相应的特征值来表征地下径流。

(1) 流量 (Q)。指单位时间内，经过河流某一断面的水量。用下式表示：

$$Q = v\omega \tag{1-5}$$

式中：v 为水的平均流速，m/s；ω 为过水断面

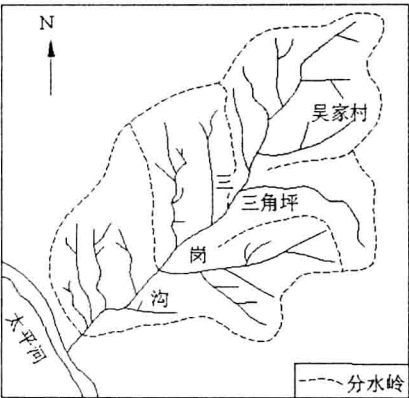


图 1-2 流域形势图
(据潘宏雨等, 2008)

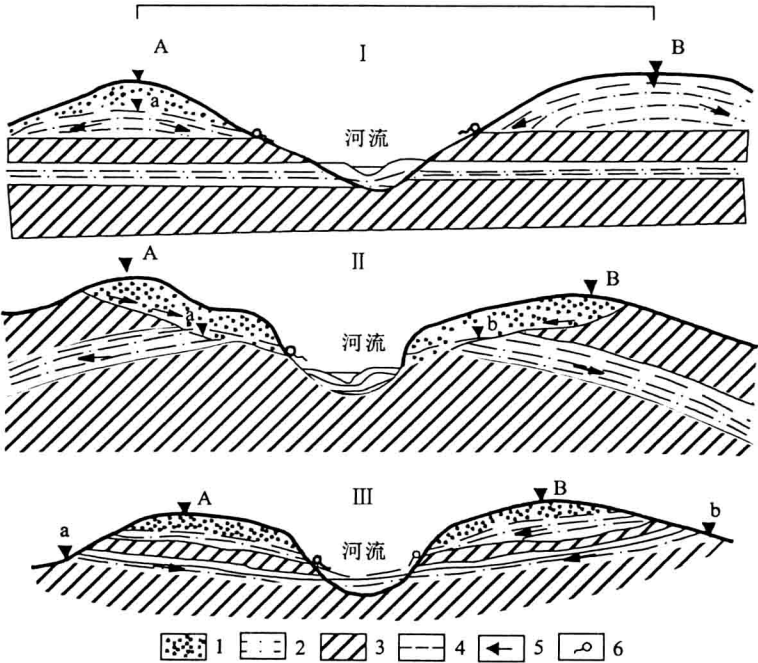


图 1-3 地表径流和地下径流流域的关系

AB—地表径流流域；ab—地下径流流域；I—地表径流与地下径流流域一致；II、III—地表径流和地下径流流域不一致；1—砂；2—含水砂；3—黏土；4—潜水位；5—潜水流向；6—泉

面积，m²；Q 为流量，m³/s。

(2) 径流总量 (W)。指在该断面以上的集水面积内，某一时段 (T) 流出的总水量，单位为 m³。用下式表示：

$$W = QT \tag{1-6}$$