

中等专业学校教学用书

煤矿水文地质学

(修订本)

庞渭舟 刘维周 编

煤炭工业出版社

中等专业学校教学用书

煤矿水文地质学

(修订本)

庞渭舟 刘维周 编

煤炭工业出版社

内 容 简 介

本书共分三篇十六章。书中围绕煤田地质勘探、矿井建设和煤矿生产中出现的水文地质问题，从基础理论出发，分析问题，并提出解决问题的基本方法。

第一篇水文地质基础部分，概述了地下水的形成、埋藏分布特征及其运动等基础理论；地下水的物理性质和化学成分；探讨了隔水结构层在矿井防治水害中的作用。第二篇煤田水文地质部分，依据煤炭资源开发和生产建设中制定的各种规程，侧重阐述了煤矿床水文地质的勘探程序、各勘探阶段中的工作任务和工作内容，以及勘探方法和各种勘探手段；并介绍了水文地质资料的收集和整理，文字报告的编写内容及各种水文地质图的编绘内容。第三篇矿井水文地质部分，专门论述了矿井水的形成条件及煤矿床水文地质分类，重点介绍了预测矿井涌水量和防治矿井突水的各种方法措施。

本书是煤炭中等专业学校煤田地质勘探及矿井地质专业的教材，亦可用作有关技工学校、水文地质干部培训的教学用书，供地质技术人员参考。

责任编辑：宋德淑

中等专业学校教学用书

煤矿水文地质学

(修订本)

庞涓舟 刘维周 编

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本787×1092mm^{1/16} 印张19^{1/2} 插

字数462千字 印数5,601—17,420

1986年9月第1版 1989年10月第2

ISBN 7-5020-0335-5/TD

书号 2822

定价3.00

前 言

《煤矿水文地质学》是在一九八〇年版本的基础上根据中等专业学校教学大纲修编而成的。本书是煤田地质勘探与矿井地质专业的教材，亦可用作有关技工学校、水文地质干部培训的教学用书，供地质技术人员参考。

全书共分三篇十六章。本书阐述了煤矿水文地质学中的有关基本概念、基本知识和基础理论，根据煤炭资源开发和生产建设中的各种规程，总结了我国煤田水文地质勘探类型及其水文地质特征，以及主要水文地质问题和采取的勘探手段，论述了矿山压力在矿井突水中的作用及突水预测理论及应用。书中列举了国内较多的实际例子。该书在内容的深度和广度上较一九八〇年的版本有较大的提高。

本书基本适用于100学时，根据专业不同各部分学时参考分配如下表：

学 时 数 内 容	专 业	煤 田 地 质	矿 井 地 质	地 质 干 部 培 训
第一篇		30	35	30
第二篇		40	20	10
第三篇		10	45	10

本书是由贵州煤炭工业学校刘维周（绪论、第一、二、三、四、五、十二、十四、十五章）、常州煤田职工地质学校庞渭舟（第六、七、八、九、十、十一、十三、十六章）合编。煤炭工业部地质局高级工程师葛亮涛审稿。

由于编者水平所限，书中缺点、错误在所难免，敬请读者批评和指正。

编 者

1985年12月

目 录

绪 论

第一篇 煤矿水文地质基础

第一章 地下水的来源	5
第一节 地下水的起源与水循环	5
第二节 气象因素对地下水形成的作用	7
第三节 水文因素对地下水形成的作用	10
第四节 控水地形	13
第二章 地下水的蓄存	16
第一节 蓄水空间	16
第二节 岩石的水理性	19
第三节 含水层与隔水层	20
第四节 控水构造及水文地质单元	29
第五节 人为因素对地下水形成的影响	31
第三章 地下水的物理性质和化学成分	34
第一节 地下水的物理性质	34
第二节 地下水的化学成分	36
第三节 地下水的细菌成分与水质污染	40
第四节 水质分析及其表示法	42
第五节 地下水化学成分的形成	45
第四章 地下水的类型	51
第一节 地下水的分类	51
第二节 潜水	52
第三节 承压水	57
第四节 孔隙水	64
第五节 裂隙水	67
第六节 岩溶水	71
第七节 泉	78
第五章 地下水的运动	81
第一节 地下水天然流场特征	81
第二节 地下水运动的基本定律	87
第三节 地下水井流及其运动方程	89
第四节 地下水的动态和均衡	107

第二篇 煤田水文地质勘探

第六章 煤矿床水文地质勘探类型	111
第一节 煤矿床水文地质类型的划分	111
第二节 各勘探阶段的水文地质工作	115

第七章	水文地质测绘	120
第一节	水文地质测绘种类、方法和要求	120
第二节	野外工作的主要内容	122
第三节	不同地区水文地质测绘的基本内容	129
第四节	遥感技术及其在水文地质调查中的应用	134
第八章	水文地质勘探	137
第一节	水文地质勘探的目的和任务	137
第二节	水文地质钻孔布置原则	138
第三节	水文地质钻探技术要求	142
第四节	钻探过程中的观测和编录	146
第五节	地下水动态观测	149
第六节	水文地质勘探新技术介绍	156
第九章	野外水文地质试验	160
第一节	抽水试验的原理和方法	160
第二节	抽水试验的类型	162
第三节	抽水试验设备	165
第四节	抽水试验的基本要求	172
第五节	抽水试验现场工作	174
第六节	抽水试验资料整理	174
第七节	抽水试验参数计算	177
第八节	连通试验	183
第十章	煤田水文地质勘探成果	184
第一节	水文地质图件	184
第二节	水文地质图件编制的内容	185
第三节	水文地质勘探报告书	189
第十一章	矿区供水水源调查	194
第一节	供水水源地的选择	194
第二节	矿区供水水文地质勘探类型	196
第三节	供水水源勘探	197
第四节	水质评价	199
第五节	需水量的确定与水资源评价	202
第三篇 矿井水文地质工作		
第十二章	矿井水文地质特征	205
第一节	建井和采矿对水文地质条件的影响	206
第二节	充水水源及其影响因素	211
第三节	充水通道及其分析	216
第十三章	矿井水文地质工作	230
第一节	矿井水文地质类型的划分及其工作要求	231
第二节	水文地质补充调查	232
第三节	水文地质补充勘探	235
第四节	矿井水文地质试验	236
第五节	水文地质长期观测	240

第十四章	矿井涌水量预计	248
第一节	水文地质比拟法	249
第二节	井试验法	251
第三节	回归分析法	254
第四节	水均衡法	261
第五节	地下水动力学方法	265
第十五章	矿井水的防治	274
第一节	矿井水的预防	274
第二节	矿井水的防治方法	275
第三节	地表防渗	277
第四节	井下防探水	279
第五节	井下截源堵水	284
第六节	疏干降压	290
第十六章	淹没井巷的处理与注浆堵水	295
第一节	淹没井巷的水文地质工作	295
第二节	注浆堵水	298
主要参考文献	304

绪 论

《煤矿水文地质学》是研究地下水与煤炭资源开发有关问题的理论、方法及其应用的科学。它研究地下水形成条件、埋藏分布特征、物理性质、化学成分和运动规律等基础理论。在此基础上,研究在煤田地质勘探、矿井生产建设和矿区供水等煤炭资源开发过程中与地下水危害进行斗争的有效措施和合理利用地下水资源的正确方法。

一、煤矿水文地质学的基本任务

现阶段,煤矿水文地质学主要是研究和解决地下水对煤矿生产的危害及其防治;矿区地下水资源的合理开发与水源保护等。

1. 矿井水害防治

地下水对采矿的危害,突出的表现影响煤炭资源的开发,恶化矿井生产条件,增加采矿成本,造成淹井事故,以及污染环境等。

我国煤炭资源蕴藏极为丰富,煤田分布区域广,自然地理条件和水文地质条件复杂。据统计,约有40%以上的煤炭资源不同程度地受到强岩溶地下水的威胁,在一定程度上影响了煤炭储量的开发。研究表明,开发那些位于岩溶地下水位以下的煤矿,如山西、河北、陕西、河南、江苏、山东、安徽、江西、湖南、广西、贵州、四川和云南等广大地区的矿井,预计在开拓掘进和生产过程中,将会受到地下水的日趋严重的威胁。

地下水进入矿井中,轻者恶化生产劳动环境,增加吨煤成本;重者危害矿井安全,甚至淹没井巷,造成人身和经济上重大损失。因此,煤矿突水事故的防治,已成为发展煤炭生产急待解决的重要问题。

多年来,我国累计建成投产矿井1834处,与一批老矿一起形成九十多个统配矿区和一大批地方联营煤矿。其中,多数煤矿区(如峰峰、淄博、徐州、淮南、韩城、合山、涟邵、南桐、焦作和开滦等)在建矿和生产过程中都与岩溶地下水进行了艰难而复杂的斗争。

研究和解决地下水对煤层(包括呆滞储量)和矿井的威胁、新矿区建设布局与发展以及老矿区资源枯竭等问题,是煤矿水文地质学的重要任务之一。

2. 地下水利用与保护

地下水是生产矿井的隐患,也是人类可以合理开发利用的宝贵资源。煤炭资源开发以前,必须进行地下水资源勘探,为煤炭资源开发和矿区工农业生产及人民生活提供必要的水源。由于地下水比地表水藏量丰富,水动态稳定,取用方便,水质和卫生条件都较优越,在矿区供水中占着重要地位。尤其是干旱、半干旱地区的矿区,那里降水量少,江河迳流不足,地表水流量季节变化大,水量保证程度差,开发利用地下水就更为重要。

据统计,一个年产原煤60万t的中型矿井,每天需水量约4000t。正确估算矿井地下水疏降的经济性和合理性,防止地表塌陷,减少和合理处理工业排废等,是矿区供水水源

地保护的两个重要方面。煤炭资源开发中，在取得眼前最直接的物质财富与有益效果的基础上，要避免忽略某些生产过程中破坏环境的现象，以及长期积累的不良后果。

对某些因缺水而限制了煤炭开发和生产发展的矿区，应为它们找到足够的地下水源，依据水资源合理利用原则把矿区地下水疏排与供水有机地结合起来，改变开矿怕水、供水盼水的不合理局面，以及保护地下水源，防止污染等，是煤矿水文地质学的另一个重要任务。

二、煤矿水文地质学研究的内容

煤矿水文地质学研究的内容必须与现代生产的需要相适应。煤矿现代生产的特点是在安全和保护环境的前提下，进行机械化与自动化连续生产，以及合理地利用资源。因此，煤矿水文地质学研究的内容有以下几点：

1. 研究煤矿水文地质学的基础理论

煤炭资源开发和矿井生产过程中，要有效地与矿井水害作斗争，为合理的利用、保护地下水源，必须研究煤矿床水文地质条件和矿区地下水的时、空分布规律。

研究煤矿床水文地质条件，包括研究地下水的形成来源、分析各类控水因素；研究地下水蓄存条件，进行地下水分类；研究地下水水质及地下水天然流场和人工流场特征等。

矿区地下水是多种自然因素和人为因素综合作用下形成的。大气降水、地表水是它的主要来源，岩层中的各种类型空隙是地下水赋存和运动的物质基础；而岩层中的空隙又严格受岩石岩性和地质构造的控制。从水文地质角度研究地质构造，了解地下水的埋藏分布规律，进行地下水分类，这不仅便于地下水的研究，也有助于阐明地下水勘探和涌水量预测。地下水水质分析的意义，在于依据水质决定其用途以及作为研究地下水污染和矿井充水来源分析的重要手段。

研究地下水运动的特点和规律，具有重要的理论和实践意义。地下水运动方程式多数是以线性渗透定律为基础而建立的，在应用时要考虑到矿井充水的控水因素是随时间发展而变化，随空间差异而不同，处于不断的运动和变化的复杂性和多样性特点。

煤矿床水文地质条件是评价其能否经济合理地开采的关键性因素之一。地质勘探的各个阶段（包括开采补充勘探）都应有侧重地采用有效手段和多种方法，查明矿床水文地质条件及矿区地下水时、空分布特征，划分水文地质类型，为进一步工作指明方向。

2. 研究各类型煤矿床水文地质勘探方法和正确预测矿井涌水量

煤矿床水文地质条件不同，表现出的水文地质主要问题也不相同，因此水文地质勘探时所采用的勘探手段和方法有着不同的特点。在普查、详查、精查和井下开发的各个勘探阶段，都应抓住矿床的主要水文地质问题，合理地部署和运用水文地质测绘、勘探、水文物探、水化学勘探、水文地质试验和长期观测等手段，进行有效地综合水文地质勘探，获取足够可靠的实际资料，通过综合分析，正确地预测矿井涌水量。

正确地预测矿井涌水量是水文地质勘探的核心问题，其实质是以地质分析为基础的地下水的定量评价问题。

影响矿井涌水量的因素是多方面的。其中，煤矿充水含水体的富水性及煤层围岩的阻隔水性是决定涌水量大小的根本因素。前者，是决定含水层疏降的难易程度；后者，决定着发生突水的可能性与频率。同时，开采方式和方法对矿井涌水量有重要的控制作用。因此，煤矿水文地质学不仅研究自然条件下矿井涌水量的变化规律，而且更注重预测开采过

程中井巷涌水量的增减变化趋势。

3. 论证煤矿建井、生产过程中水文地质条件的变化及矿井水的防治方法

煤矿建设和生产主要是进行地下作业，多数都在当地侵蚀基准面以下饱水带中。矿井开拓掘进和回采过程中，井田含水介质和围岩都不同程度地被破坏或发生移动，形成采动裂隙，它与岩层原有的各种断裂、空隙一起构成了煤矿充水的通道。这些充水通道把井巷与那些难于查明的补给水量（丰富的地下脉状或管状水流）勾通，地下水便瞬时涌入矿井而发生突水。

防治矿井突水的方法可概括为抽排法、堵截法和疏降法。在运用这些方法时，要依据矿井具体的水文地质条件和开采条件来选择。一般开采浅部煤层时，在水压低、不易突水、补给条件好、不易疏干情况下，适宜带压开采，选用抽排-堵截法；开采深部煤层时，在水压高、富水性弱的情况下，适用疏降法；在断层封闭区，充水通道集中情况下，适用帷幕注浆堵截法等。

4. 研究矿区供水水源勘探方法及地下水的利用与保护

矿区供水勘探，首先要查清矿区地下水源的类型，然后对地下水资源作出评价。

供水水源勘探工作应与煤田地质勘探相互配合。在缺水矿区，应增加找水阶段，加强区域调查。

地下水是工、农业及生活必需的供水资源，也是水力采煤、矿井降温、防尘及坑口电站等方面的动力资源。因此，在矿区供水水源勘探中，一方面要合理利用矿区浅层水和泉水作为供水水源；另一方面，在煤矿井建设和生产中，取深层地下水作为供水水源地，把矿井排水与供水结合起来，既能达到矿井排除水害威胁，又能合理利用地下水资源。

地下水资源保护，包括水量的调节管理和防止水质污染等两方面。我国煤矿区防止水源地污染的研究工作，正在丰富着煤矿水文地质学的内容。

三、我国煤矿水文地质学的研究现状及其发展

水文地质学在我国发展仅有三十多年的历史，目前已成为一门综合性的学科。

1. 煤矿水文地质学研究现状

我国煤矿生产历史悠久，在矿井防水与供水方面积累了丰富的经验和大量资料。随着生产发展的需要及新技术、新设备的推广应用，人们的认识有了进一步的提高。我国矿区地下水层流运动的勘探与防治水问题已经解决或基本解决。目前，直接影响矿井建设和生产的是岩溶管道地下水或断裂脉状水所引起的矿井突水。

1983年煤炭工业部地质局召开了全国煤田水文地质工作经验交流会，同年又召开了全国第三届岩溶学术会议，总结了我国煤矿水文地质工作的概貌。

会议后，初步解决一些复杂大水煤矿床的水文地质勘探方法与评价问题。水文地质区域调查工作应调查一个完整的水文地质单元，把水文地质勘探工作建筑在地质、区域水文地质基础上。

重视和加强了含水层边界条件和在开采条件下可能获得的补给量的勘探工作，在基本上查明水文地质条件后详查阶段可超前进行专门性的大流量长时间的群孔或孔组抽水试验，查清边界条件和主要来水方向，以及集中径流带的分布。重视和发挥水文物探测井作用，到目前为止水文物探测井可获得八种参数，效果较好。

在矿井涌水量的预测工作中，由于长期观测获得大量实际资料，为采用物理模拟和电

子计算机计算提供了条件。

在干旱地区的矿区，供水水源勘探和地下水资源评价取得一定经验。缺水地区的供水水源勘探有了一套“全面调查，重点深入，先近后远，因地制宜”的工作方法。工作中，以地面调查为主，配合少量钻孔，重点追索单元水文地质边界、泉域边界，调查蓄水构造。在此基础上，选定初勘地点和范围，编制勘探设计。近年来，采用统计模型，研究了岩溶大泉与降水量的滞后相关，分析泉资源形成及动态变化趋势，评价了集中开采地下水区域的水资源。

研究和采用了水文地质的新手段、新方法。区域水文地质测绘，配合部分钻孔建立较完整的地层柱状，并应用航天地质资料，共同参照确定合理的勘探方法；推广应用了地面电法、流量测井、超声成象测井等有效水文物探手段。矿区水文地质方面，开展了注浆堵水及深降强排，应用物理模拟和电子计算机预计矿井涌水量。

2. 煤矿水文地质学的发展

随着生产和科学技术的蓬勃发展，水文地质研究的内容愈来愈加广泛。按照国民经济发展规划，发挥我国煤炭资源优势，建设新的煤炭基地；开展地下水资源利用规划，保护地下水资源，成为我国国民经济建设中的头等重要问题。

目前，我国煤田地质勘探正向着水文地质条件复杂的大水区、隐蔽区和干旱缺水区域发展，矿井水文地质正在研究解决被大水包围的呆滞储量的问题。水文地质条件愈复杂，需要研究解决的新问题愈多，水文地质研究的内容愈丰富，从而使水文地质的基本理论得到进一步发展和提高。

随着勘探手段的革新和勘探方法的发展，水文地质工作逐步向数学化、定量化和自动化方向发展。地质分析方法是煤矿水文地质工作的基本方法。为了使其适应矿井生产机械化、自动化的需要，必须由定性分析走向定量确定。勘探新手段、新技术、新方法可以获取更多更精确的水文地质信息，通过电子计算机自动分析，为地质分析法的发展提供了条件。

水文地质区域调查中，应进一步发挥遥感技术的作用，加速区域性工作进展，并提出最佳勘探计划方案；进一步推广和采用水文物探新技术、新方法，逐步使煤矿水文物探方法日趋完善；加强地下水动态观测及水质研究，把矿井排水与矿区供水结合为一体，化害为益，综合利用矿区地下水。

矿井防治水害的研究工作，应进一步加强矿井突水机理、注浆堵水、深降强排及矿区水综合治理的研究，努力探索岩溶管状水流的勘探方法和隔水层在防治水中的作用。

电子计算机不仅用来预测矿井水文地质条件的变化趋势，而且把预计矿井涌水量的解析法推进到非稳定流的数值法和物理模拟等。电子计算机的应用使矿井水文地质资料室内整理、解释工作和成图工作向高精度、短周期、定量化和自动化方向发展。

近年来，我国煤矿水文地质工作者开展了一系列科学研究，取得较好的成绩，并在新技术、新方法推广应用中间出了一些经验，丰富了水文地质学的内容。

第一篇 煤矿水文地质基础

自然界中,大气圈含水约 $0.13 \times 10^{14} \text{m}^3$,海洋中水量为 $13700 \times 10^{14} \text{m}^3$,河流中为 $0.0125 \times 10^{14} \text{m}^3$,淡水湖水量约 $1.25 \times 10^{14} \text{m}^3$,冰雪、冰川水量约 $292 \times 10^{14} \text{m}^3$,在地表以下岩石空隙中赋存的水量为 $33.5 \times 10^{14} \text{m}^3$ 。存在于大气圈的水,称为大气水;分布于地表上的海、河、湖、冰川中的水,称为地表水;埋藏于岩石空隙中的水,称为地下水。

地下水有气态、液态和固态。气态水,可以随气流在岩石空隙中运动(迁移);液态地下水,有的在静电吸引作用下,紧紧裹在土粒表面,不受重力影响,称为结合水;有的既受重力作用又受毛细力作用,称为毛细水;有的充满非毛细空隙,仅受重力作用,可以自由运动,称为重力水。在冻土地区,还有固态地下水。

气态水、结合水和毛细水均属土壤学研究的范畴,重力水才是水文地质学研究的主要对象。

煤层周围岩层(围岩)中蕴藏的地下水是复杂的自然系统,它的形成条件、赋存规律、物理性质、化学成分和水动力特征等,都与含水介质(岩石)和环境介质(大气系统、地表水系统和人类工程系统)既统一又相互制约。

由于煤层围岩介质和环境介质类型的多样性和复杂性,因而各地区水文地质条件各不相同,并随着人类采矿和水资源的开发过程,矿区水文地质条件也在不断地发生着变化。

第一章 地下水的来源

很早以前,有许多学者对地下水的形成问题进行过预测和研究,提出了各种假说和理论。

概括地说,地下水是由各种起源的水,进入地壳岩石空隙中,在其储存、运动和变化中形成和演化。如大气降雨或河水渗入地表以下岩石空隙中,便在岩石空隙中储存、运动和变化,即转化为地下水。前者,是地下水形成的来源条件;后者,为地下水形成的蓄存条件和变化条件。

第一节 地下水的起源与水循环

自然界有各种各样的自然地理条件和地质条件,因此地下水有渗入水、凝结水、初生水、埋藏水和脱出水等不同的起源。例如,煤矿床地下水的起源主要是渗入水;分布于沙漠、石漠和山区的矿井部分是凝结形成的地下水。

一、地下水的起源学说简介

1. 渗入水

我国是世界上最早利用地下水的国家，在距今2500年以前，已经积累了有关地下水的丰富知识。十六世纪前、后，我国明代学者徐光启提出：“井与江河地脉贯通，其水浅深，尺度必等，凿井应深几何？宜度天时旱涝”，他明确的指出了地下水与地表水、大气降水之间的密切关系。这一观点与后来罗马建筑学家鲍利提出的地下水和泉皆是降雨融雪渗入地下形成的观点，一起构成了地下水起源的渗入说。这一学说，在第26届国际地质大会上得到了进一步的发展，提出了“地下水和地表水是统一体”的观点。

2. 凝结水

十八世纪德国水力学家福利盖尔提出由凝结作用形成的地下水，称为凝结水。他认为含水汽的空气进入地下以后与较冷的岩石颗粒接触，即凝结于表面而成凝结水。由凝结水不断的聚积而形成地下水。这一学说又被俄国农学家列别捷夫发展了，他认为水汽本身可由水汽压力大的地方向水汽压力小的地方运动。当水汽压力相等时，水汽又可由温度高的地方向温度低的地方运动。在运动过程中，水汽遇到冷的岩石颗粒表面时，便形成地下水。凝结水，常见于日温差变化较大的沙漠区，它可作为饮用水的水源。

3. 地下水的其它起源

1) 初生水 二十世纪初，奥地利地质学家鸠斯在野外调查中，发现温泉源于地壳深处。由于那里的岩浆分泌的水汽上升后，温度降低而凝结成地下水，并以温泉出露地表。地下水的初生说，从理论上丰富了水文地质学。

2) 埋藏水 1908年，俄国人安德鲁索夫提出了地下水形成的埋藏说。他认为有些地下水是以前地质时代沉积过程中残留于岩层中的。沉积物在堆积过程中，先堆积的岩石颗粒孔隙中原有的水被后来堆积物封储起来，经过成岩作用转变为地下水。

3) 脱出水 脱出水是苏联萨瓦连斯基提出来的。他指出：有很多水化矿物和含有结晶水的矿物，如石膏 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、芒硝 $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ 、褐铁矿 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 等，当其存在环境发生变化时（如深埋地下后受高温高压作用），结晶水脱出来，形成自由流动的地下水。

地下水的各种起源中，初生水、埋藏水、脱出水只限于局部地区；而地下水的渗入补给则是普遍的、大量的，它对供水和采矿生产有着十分重要的实际意义。

二、自然界的水循环

自然界中，大气水、地表水和地下水是一个统一水体，它们之间存在着内在联系和不断相互转化的循环过程。自然界的水循环，在范围和途径上有大小两种情况（图1-1）。

1. 大循环

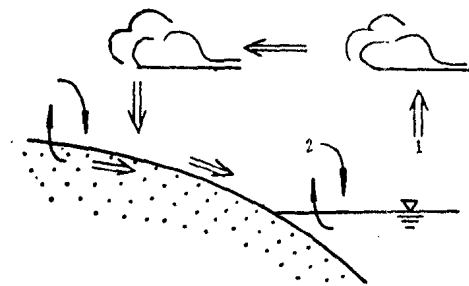


图 1-1 自然界中的水循环示意图

1—大循环，2—小循环

地壳上的地表水和浅层地下水，在太阳热能作用下，每年海洋中约有 $3.5 \times 10^{14} \text{m}^3$ 、陆地约有 $0.7 \times 10^{14} \text{m}^3$ 的水量由液态转变为气态，这些气态水随气流上升进入大气圈中。进入大气圈的气态水，遇冷凝结成云，随风迁移，在一定条件下，受重力作用，以雨雪等形式降到地表。陆地上，每年降水量大约为 $1 \times 10^{14} \text{m}^3$ 。降到地表的水，其中：一部分蒸发重返大气圈中，约有年降水量的23%成为地表水，汇入江河流入湖海，多达70%的降水沿

着地表岩石空隙渗入地下岩层中，形成地下水。地下水在岩石空隙中运动，在适当的地质条件下流出地表，又转化为地表水，最终绝大多数又流入大海。这种包括海、陆范围的水循环，称为大循环。

2. 小循环

若水自海洋表面蒸发又复降到海洋，或水从陆地江河湖面、地面和植物叶面蒸发或蒸腾又降至陆地表面，这种局限在海洋或陆地范围内的水循环过程，称为小循环。

自然界的水，就是这样密切联系又相互转化，从而使地下水不断地获得补给，连续不断地迳流和排泄，如此循环直至无穷。

3. 地下水循环

地下水循环是自然界水循环的组成单元，由于它是在岩石圈中进行的，故称其为地下水系统。此外，还有大气水系统、地表水系统、人工系统（图1-2），它们构成地下水系统的补给来源。自然界水循环的各个组成单元系统，既密切联系又各自成为一个独立的单元。在每个水循环单元之间，是以大气降水、蒸发（蒸腾）、地表迳流、渗入补给、地下水排泄（流出、抽出）等现象作为环节联结起来。在水循环中，大气降水、地表水在一定条件下渗入地下，地下水获得补给量，这个过程称为地下水的补给；由于不断地补给，地下水才能不断地在岩石空隙中从高水位流向低水位，这个过程称为地下水迳流；当地下水以泉等形式流出地表或流入矿井和抽水孔，地下水量减少的过程称为地下水排泄。地下水的补给、迳流和排泄组成地下水的循环。地下水的循环及其变化过程就是地下水形成的全过程。地下水的形成过程，是自然界水循环过程的组成部分。所以，在水循环中，若某一单元发生变化，就会导致整个水循环发生连锁性反应，也必然给地下水形成造成影响。需要说明的是，任何地区地下水的形成，都带有鲜明的气候烙印。

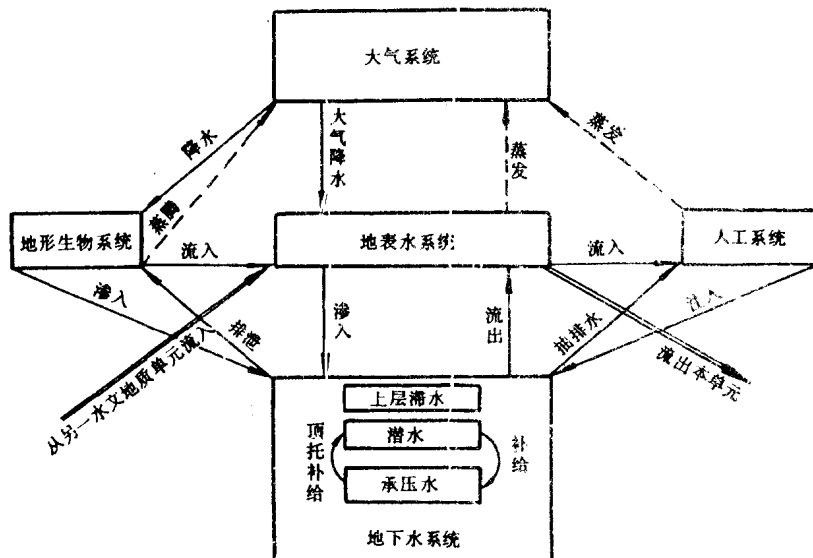


图 1-2 水循环的组成单元系统说明图

第二节 气象因素对地下水形成的作用

我国为大陆性季风气候，多数地区受季风影响，有明显的季节变化，夏季炎热，冬季

寒冷，温度变化幅度大。由于我国领土辽阔，纵跨热带、亚热带、温带和亚寒带等四个气候带，加之地形复杂多变，大体上可分为干湿两个季节。一般从滨海向西北，愈远离海洋，气候的大陆性愈显著，温度变化幅度愈大，空气湿度愈减少，降水量愈稀少和更趋集中，蒸发也愈剧烈（图1-3）。在气象诸因素中，空气的湿度、大气降水和蒸发是影响地下水形成的最活跃因素。

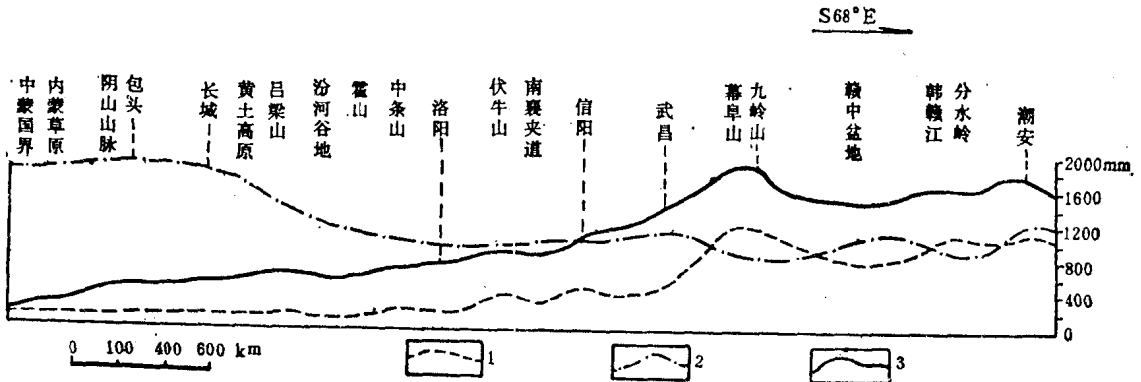


图 1-3 我国降水量、蒸发量和迳流量剖面图

1—降水量；2—蒸发量；3—迳流量

1. 空气的湿度

大气中含有气态水，构成了空气的湿度。空气湿度对大气降水及控制地面和水面蒸发起着重要作用。在空气中，水汽含量是随气温变化而不断变化的，有时空气吸收气态水，有时放出气态水，这是由于单位体积的空气所容纳的气态水的最大值（饱和水汽含量 E ）取决于气温。当气温愈高，空气的饱和水汽含量愈大；反之，气温低，则小。为了说明空气中水汽含量的多少及它离饱和还差多少？通常采用绝对湿度（ e ）、相对湿度（ r ）和饱和差（ d ）三个数量来表示。

1) 绝对湿度 某一时刻空气中的实际水汽含量，或某一时刻一立方米空气中水汽的数量，都称为空气的绝对湿度。前者，用水银柱高度毫米表示；后者，用克/米³表示。绝对湿度只表示出某一时刻空气中水汽含量的多少。

2) 相对湿度 在同一温度下，空气中的水汽含量（ e ）与其饱和水汽含量之比，称为相对湿度。它用百分数来表示，即

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

3) 饱和差 在一定温度下，空气中饱和水汽含量与该时刻空气中实际水汽含量之差为饱和差。即

$$d = E - e \quad (1-2)$$

由式（1-2）可知，饱和差愈大，表明相对湿度愈小；饱和差愈小，相对湿度愈大；当 $d = 0$ 时，即空气中水汽达到饱和时，此时的湿度称为露点。当饱和的空气继续冷却到露点以下，超过饱和水汽含量的部分水汽，便凝结成液态或固态微小水珠，降到地表。

2. 大气降水

从空中降到地表的水，称为大气降水。大气降水的数量是由降水量来衡量，一般用雨量计进行测量。将测量得到的体积值换算成单位面积的水层厚度（高度），它用毫米表示。某地区某时期降水的厚度，即表示该时期的降水量。

降到地表的水，一部分通过岩石空隙而渗入到岩石中形成地下水；还有一部分则是沿地表流动，汇入地表水体。地表水在运动过程中，条件适当时又渗入地下。所以，大气降水对地下水的补给起着重要作用。

大气降水下渗量是用渗入系数（用 α 表示，取小数）来表示的，它是大气降水渗入地下的水量与降水量之比。其计算方法是在降水补给的地区，每次降雨以后地下水位明显上升，随后又因地下水排泄而下降。升高的水位反映了渗入补给岩层中的水量，这一数值与降水量均能通过观测获得。二者之比，为渗入系数，即

$$\alpha = \frac{Q}{x} = \frac{\Delta h \Delta \mu}{xA} = \frac{\Delta h \mu}{x} \quad (1-3)$$

式中 Δh ——降水后渗入水量使地下水位升高的高度，m；

μ ——计算地段的给水度（取平均值）；

x ——观测时间内的降水量，m；

A ——渗入区的面积， m^2 。

常见岩石渗入系数的经验值，列于表1-1中。

表 1-1 渗入系数 α 的经验值

岩石名称	α 值	岩石名称	α 值	岩石名称	α 值
亚粘土	0.01~0.02	砂砾石	0.24~0.30	裂隙岩石（裂隙极多）	0.20~0.25
亚砂土	0.02~0.05	砂卵石	0.30~0.35	岩溶化极弱的灰岩	0.01~0.10
粉砂	0.05~0.08	坚硬岩石（裂隙极少）	0.01~0.10	岩溶化较弱的灰岩	0.10~0.15
细砂	0.08~0.12	半坚硬岩石（裂隙较少）	0.10~0.15	岩溶化中等的灰岩	0.15~0.20
中砂	0.12~0.18	裂隙岩石（裂隙度中等）	0.15~0.18	岩溶化较强的灰岩	0.20~0.30
粗砂	0.18~0.24	裂隙岩石（裂隙度较大）	0.18~0.20	岩溶化极强的灰岩	0.30~0.50

影响渗入系数的因素主要有大气降水性质、地面坡度、地表岩性、地下水埋藏深度和植被覆盖情况等。这里仅介绍降水性质，其它因素在有关章节中论述。

降水性质包括降水强度和降水持续性。降水强度是单位时间内的降水量。一日内降水量小于10mm的称为小雨；10~25mm的为中雨；大于50mm的为大雨；大于60mm为暴雨。当降水强度小于岩石当时可能最大吸收强度（单位面积、单位时间的吸水量）时，降水全部被岩石吸收，渗入地下。在这种情况下，降水强度越大，渗入量也相应增加。只有当降水强度超过当地当时的吸收强度，超过的部分，才可形成地表迳流。因此，一般说降水历时短的暴雨不利于地下水的补给，大部分形成了地表迳流。只有裸露的强岩溶化岩石分布地区，暴雨才有可能大部分或全部渗入地下。

降水的持续性是指降水连续的时间。我国的降水主要随季风而来，降水量在南、北方相差悬殊，随地域的变化很大，分布也很不均衡，往往降水时间集中某些月份，形成明显的干、湿季节。如我国南方的黄梅雨，可持续达数十天，因此降水下渗比例较大，那时常

成为地下水位较高的时期。如果降水强度太小，持续时间又短，则基本上被蒸发。

3. 蒸发

在常温下，水自液态变为气态进入大气中的过程叫蒸发。蒸发作用，可分为水面蒸发、地面蒸发和植物表面蒸发（蒸腾）。地面蒸发是有条件的，在一定条件下蒸发作用是地下水垂向排泄的重要途径。如内蒙元宝山露天矿，位于干旱的河谷平原上，根据1976年地中渗透仪观测，年降雨量为298.04mm，渗入量为187.0mm，年蒸发量为1091.5mm，潜水蒸发量为560.31mm，垂直的补排差量为-373.31mm，该区潜水蒸发量超过降雨渗入量数倍。由此可见，某一地区蒸发能力强，蒸发的水量就多，相对地降水渗入地下的水量减少。

衡量蒸发的数量指标是蒸发量。通常，它是用一定时间单位面积上所蒸发的水层厚度来表示。水面蒸发量可采用蒸发器进行测定。

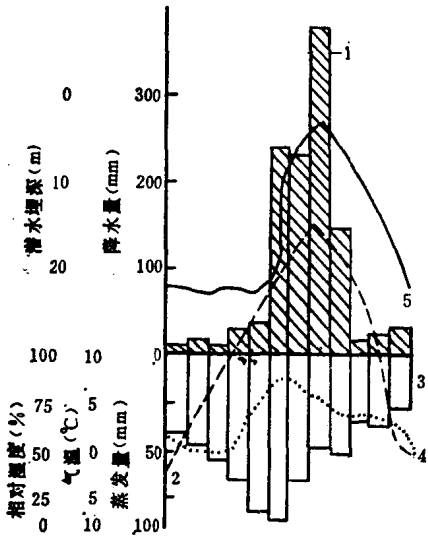


图 1-4 气象要素及潜水埋深变化图
1—降水量；2—气温；3—蒸发量；4—相对湿度；5—潜水埋深

应当指出，在各地气象站收集到的蒸发量资料，为水面蒸发量。它仅表示某一时期从某地蒸发的相对强度，故名为蒸发度。由于大部陆地表面并非水体，一个地区的真正蒸发量必然较水面蒸发值（蒸发度）小，所以在应用资料时要注意这一情况。

蒸发的速度和数量取决于许多因素，如气温、气压、湿度、风速等。其中，主要是空气的温度和绝对湿度的对比关系（即饱和差愈大，蒸发愈甚）。强烈的日照，使气温和地表的温度升高，加大饱和差，蒸发加剧；有风时的蒸发比无风时强烈，风力愈大蒸发速度愈快。在我国西北、内蒙等干旱、半干旱气候区，蒸发量大于降水量，年潮湿系数（年降水量与年蒸发量之比）在0.1~0.3。

为了说明某一矿区气象要素对地下水的补给，应从当地气象站收集各种气象资料，然后绘制成气象要素对比图（1-4）。

利用地中渗透计装置，可较准确地测定出降水渗入量和潜水蒸发量。

第三节 水文因素对地下水形成的作用

大气降水，除一部分蒸发和另部分渗入地下以外，剩余的受重力作用沿地表流走补给地表运流——河、湖等。我国的地表水多分布在多雨的南方，特别是长江以南地区，黄河以北的地表水，仅占全国的10%。地表水体在地表的分布多少、组合形式、发育范围、运流量及其变化等则构成水文因素。

一、河系和流域

地表水体的分布形式和发育范围，是受地形条件的控制，可用河系和流域来描述。

1. 河系

河系是指汇入某一干河的一系列的河流。因此，一个河系包括一条主干河流和数条汇