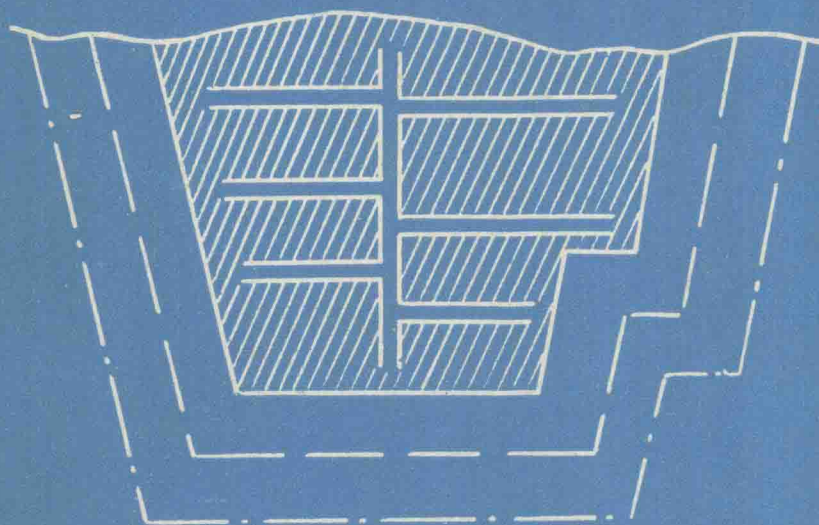


煤矿技工学校试用教材

矿井水文地质



煤炭工业出版社

煤矿技工学校试用教材

矿井水文地质

魏可忠主编

煤炭工业出版社

(京)新登字042号

内 容 提 要

本书是为煤矿技工学校地质测量专业《矿井水文地质》教学而编写的。

书中全面系统地介绍了矿井水文地质基础理论、主要工作内容和工作方法。主要包括地下水的形成、地下水的物理性质及化学成分、地下水运动及矿井涌水量预计、矿井充水条件、矿井水文地质调查与观测、矿井水防治及煤矿工程地质问题等。

责任编辑：罗 醒 民

煤矿技工学校试用教材

矿 井 水 文 地 质

魏 可 忠 主 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 787×1092mm¹/16 印张 10 插页 1

字数 234千字 印数 1—7,315

1991年9月第1版 1991年9月第1次印刷

ISBN 7-5020-0575-7/TD·530

书号 3350

定价 3.70元

前 言

为了适应煤矿技工学校教学和技工培训工作改革的需要，加速煤矿工人智力开发和培养，促进煤炭工业现代化生产建设的发展和技术进步，原煤炭部劳资司于1985年成立了全国煤矿技工教材编审委员会，对全国煤矿技工教材建设工作进行了全面的规划，并确定“七·五”期间编写一套具有煤矿特点的中级技工教材。这套教材包括：《机械制图》、《综采工作面采煤机》、《煤矿开采方法》、《机械化掘进工艺》、《煤矿地质》、《煤矿测量》等共60余种。

这套教材主要适用于煤矿中级技工（在职和后备技工）正规划培训的需要，也适合具有初中水平的工人自学和工程技术人员参考。

《矿井水文地质》是这套教材中的一种，是根据全国煤矿技工培训统一教学计划和大纲进行编写的，并由全国煤矿技工教材编审委员会组织审定认可，是全国煤矿技工学校和在职培训必备的统一教材。

该教材由通化煤矿技校魏可忠同志主编（绪论、一、二、三、四、七章），通化矿务局宋恩宝参加编写（五、六章）。抚顺矿务局技校张小江同志任主审，重庆、新密、铜川等煤矿技校的有关教师和工程技术人员参加了审定工作。另外，煤炭工业出版社和中国统配煤矿总公司教育局工人培训处的有关同志也参加了审定工作。

由于时间仓促，经验不足，书中难免有不当之处，请用书单位和读者批评指正。

全国煤矿技工教材编审委员会

目 录

绪 论	1
第一章 地下水的形成	2
第一节 地下水的来源	2
第二节 地下水的储存及类型	12
第三节 地下水的动态与均衡	17
第四节 地下水分类	18
复习思考题	33
第二章 地下水的物理性质及化学成分	35
第一节 地下水的物理性质	35
第二节 地下水的化学成分	37
第三节 地下水的水质评价	42
复习思考题	45
第三章 地下水的运动及矿井涌水量预计	47
第一节 地下水的运动	47
第二节 地下水运动的基本定律	49
第三节 矿井涌水量的预计	51
复习思考题	66
第四章 矿井充水条件	68
第一节 矿井的充水水源及其影响因素	68
第二节 矿井充水通道的分析	74
第三节 矿井充水强弱的指标	77
复习思考题	78
第五章 矿井水文地质调查与观测	79
第一节 矿井水文地质分类	79
第二节 地面水文地质补充调查	80
第三节 井下水文地质观测	85
第四节 水文地质补充勘探	102
复习思考题	110
第六章 矿井水防治	111
第一节 地面防治水	111
第二节 井下防治水	115
第三节 矿床疏干	126
第四节 注浆堵水	131
第五节 水害预防	139
复习思考题	143
第七章 煤矿工程地质问题	144
第一节 滑坡及露天矿的边坡稳定	144

第二节 潜蚀及流砂	149
第三节 黄土的湿陷及粘土岩变形	152
复习思考题	153
参考文献	154

绪 论

一、矿井水文地质研究的内容

矿井水文地质是研究矿井地下水的专门学科。它利用水文地质学的基础知识,研究矿区地下水的形成条件、分布规律、埋藏条件、化学成分、补给来源、各含水层之间的水力联系等,还要研究矿区开发时可能引起矿井充水的水源、通道和影响充水量大小的各种因素,以及预计矿井的涌水量。

二、矿井水文地质与矿井建设和生产的关系

在矿井建设和生产过程中,往往会有大量的地下水流入矿井。地下水一方面可作为矿山的生活和工业供水水源,在水力采煤的矿井中可以利用地下水进行水采、水运、水选;另一方面,地下水又是流入矿井的主要水源,增加了矿井的排水费用,有些矿井则由于充水条件复杂,充水性很强,影响到已查明的矿产不能早日进行开采。对于一些生产矿井,由于地下水的涌入,轻者影响采掘效率,重则造成淹采区、矿井,迫使生产停顿。对于露天采矿来说,地下水能够降低边坡的稳定性,促使采矿场边坡滑落,影响采矿场的剥离和采矿工作的进展。因此,矿井水文地质还须研究矿井开采时地下水的防治及所必须采取的措施。所以说,矿井水文地质又是一门实践性较强的学科。

三、学习本课程的目的及任务

矿井水文地质是直接为采矿事业服务的。在采矿过程中,如能充分地了解和掌握矿区地下水的分布和运动规律,预先进行一系列的防水、排水及经常性的矿井水文地质工作,则可转害为利。

我国煤田的水文地质条件一般比较复杂,为保证矿工的人身安全和煤矿的正常生产,并能合理地对矿井水加以处理,研究煤矿的水文地质条件就成为煤矿设计、建井和开采中不可缺少的一项重要工作。

为做好矿井水文地质工作,掌握矿井水文地质规律,研究和解决矿井生产建设中的水文地质问题,防治水害,保护和利用地下水资源,必须做到以下工作:

- (1) 开展矿区(井田)水文地质补充调查、补充勘探和水文地质观测工作。
- (2) 为矿井建设、采掘、开拓延深、改扩建提供所需的水文地质资料或专门报告。
- (3) 在采掘过程中进行水害分析、预测和防探水。
- (4) 开展矿区(井田)专门防治水工程中的水文地质工作。
- (5) 为补充和改善矿区(井田)生产、生活供水,进行调查、勘探,提供水源资料。
- (6) 根据需要开展老矿区的环境水文地质调查和研究。

综上所述,在我国社会主义建设中,在进行采矿工作中、摆在水文地质工作者面前的任务是十分光荣而艰巨的。所以要求我们技工学校的学生,要通过本课程的学习,能认识矿区地下水的一般规律,了解矿床勘探、建设和开采各个阶段的一般水文地质工作和工程地质问题,从而在生产过程中懂得处理矿井水及矿山工程地质现象的措施,使生产工作顺利进行,为煤炭开采做出贡献。

第一章 地下水的形成

地下水的形成是指地下水的发生和发展的变化过程，即补给、径流、排泄的全过程。地下水是各种自然因素和人为因素综合作用的产物。这些与地下水的形成有密切联系的自然因素和人为因素，即称为地下水的形成条件或因素。

地下水主要来自大气降水、地表水的渗透和大气中水蒸气的凝结。地下水埋藏在地壳岩石（土）空隙中。因此，研究地下水的形成和补给，必须了解气象、水文和地质条件在这过程中所起的作用。

第一节 地下水的来源

一、自然界水的循环及地下水的来源

地球上的水以不同状态存在于大气圈、水圈和岩石圈中。

大气圈中的水以气态（水汽）、液态（雨滴、云、雾）和固态（雪、雹）的形式存在（主要是以水汽的形式存在于大气圈下层的对流层中），这部分水称为大气水。

水圈中的水以液体状态积聚在海洋、河流和湖泊中，或呈固态存在于两极及高寒地带，这部分水称为地表水。

岩石圈中的水也以各种不同的状态（气态、液态及固态）存在于岩石的空隙中，总称为地下水。地下水在岩石圈中能达到55~60km的深度。

根据统计资料，将各相应圈层中水的估算量列表如下（表1-1）。

表 1-1 自然界中水的概略分布

水的分布	大气圈	岩石圈	水圈		
			海洋	河、湖	冰、雪
水的体积(km ³)	1.23×10 ³	15~1175×10 ³	137×10 ⁷	751×10 ³	2×10 ⁷
数量关系比	1	1~100	100000		

大气水、地表水和地下水并不是孤立存在彼此无关的，除去极少部分，如埋藏于海洋深处的水及地壳很深处的水以外，都在不停地变化和运动着。地表水和地下水在太阳热的作用下，蒸发成水汽，被上升的气流带入高空，随着温度的降低凝结成极细的水滴——云，云再变成雨、雪、冰雹降至地面，称之为大气降水。降水降至地面后，一部分再度蒸发，以水汽的形式进入大气中；一部分通过土层的孔隙和岩石的裂隙渗入地下，形成地下水，地下水又以地下径流或泉的形式注入河流和海洋；剩下的一部分形成地表径流，顺地表汇入河流，注入大海。

大气水、地表水和地下水这种不间断地运动和变化，称为自然界水的循环。按其循环的范围不同，分为大循环和小循环，如图1-1所示。

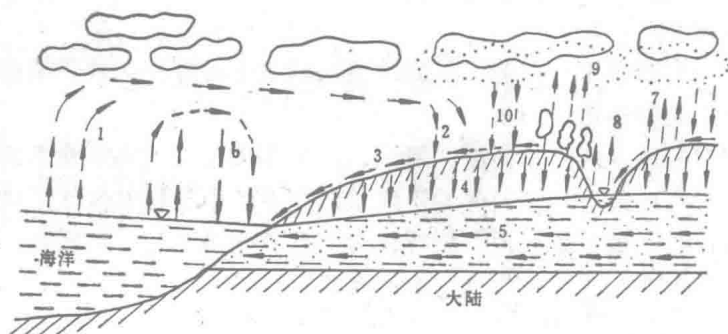


图 1-1 自然界的水循环

大循环：

1—海洋面上的蒸发；2—来自海洋的水汽降到陆地（大气降水）；3—来自海洋的大气降水呈地表径流回海洋；4—降水的渗透；5—来自海洋的降水以地下径流回海洋

小循环：

6—海洋面上蒸发形成的大气降水；7—地表的蒸发；8—大陆上海、湖水面的蒸发；9—植物叶面的蒸发；10—大陆上蒸发形成的大气降水

（1）大循环：是指在海洋和陆地之间，整个地球范围内的循环，又称外循环。水从海洋面上蒸发，被气流带至大陆上空，再以降水形式降落到地面。这些降水除少部分消耗于蒸发外，大部分又以河流或地下水形式返回海洋，如此周而复始。

（2）小循环：指陆地和海洋本身的内部循环，又称内循环。水从海洋面上蒸发，又以降水形式降回海洋，或者是从大陆上的河湖水面、地面和植物叶面蒸发，又以降水形式降回大陆上。

因此，大循环是全球性的，小循环是地区性的。如果大陆上的不同地区，来至海洋的水量相等，则小循环强的地区降水多于小循环弱的地区，所以加强小循环能够起到增加降水量，改造自然的目的。

降水能够渗入地下，形成地下水，其渗入量的大小除决定于降水量外，还与降水强度、地面坡度、地表岩石性质及植物覆盖情况等有关。例如暴雨降落在坡度大、岩石透水性差、又无植物覆盖的地区，渗入量小，反之则大。

降水渗入地下形成的地下水，称渗入水。但降水渗入并不是地下水的唯一来源，部分地下水的成因，无法用降水渗入来解释。例如干旱的沙漠地区，降水稀少，有时整个夏季都不下一滴雨，但在土壤和岩石中却可以见到水汽凝结形成的地下水，称为凝结水。因为当地面温度低于空气的温度时，空气中的水汽便要进入土壤和岩石的空隙中，凝结形成地下水。

还有一部分地下水既不是降水渗入，也不是水汽凝结形成的，而是直接由岩浆中分离出来的气体化合而成的，这种水是岩浆作用的结果，称初生水。此外，和沉积物同时生成或海水渗入到原生沉积物的空隙中而形成的地下水，称为埋藏水或封闭水。

渗入水、凝结水、初生水和埋藏水中，以渗入水最为常见。

既然地下水的来源这样复杂，在研究地下水时，就应该首先研究地下水的形成条件及影响地下水存在和变化的各种因素，其中主要是气象因素、水文因素、地质及地形因素和人为因素。

二、影响地下水形成和变化的因素

(一) 气象因素

由于地下水主要来源于大气降水，因此研究地下水时首先必须了解各种气象因素对地下水形成和变化所起的作用。

气象因素包括气温、气压、湿度、降水、蒸发等决定大气物理状态的因素。这种大气的物理状态称为天气，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）称为这一地区的气候。对于地下水来说，影响较大的是变化迅速的气象因素。

下面介绍几种主要气象因素与地下水的关系。

1. 气温

一切复杂的天气变化，主要是气温条件不同而引起的（大气中具有的一定温度称为气温）。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。例如由于温度的升高，气体活跃性增大，一部分气体就要从水中逸出，从而减少地下水中气体成分的含量；水中气体成分的减低，又会引起地下水化学成分的变化。此外，由于热力增加，地下水蒸发作用加强，水量就会减少，致使水的浓度增加。

2. 空气的湿度

空气的湿度是指空气中水汽的含量。由于水在大气中以水汽的形式存在，大气中水汽含量的多少，使得空气的干湿程度有所不同，因此可采用湿度的概念来说明空气中水汽含量的多少。

水汽具有重量，所以有压力（通常称为张力）。表示空气中水汽含量的多少可以用重量或压力单位，表示方法有绝对湿度和相对湿度两种。

绝对湿度（ e ）：为某一时刻空气中水汽的含量。采用重量单位时，以一立方米所含水汽克数（ g/m^3 ）表示；当采用压力单位时，以“Pa”表示。

相对湿度（ e_1 ）：空气中实际存在的水汽含量（ e ）与同温度同体积内空气达到饱和状态时所应有的水汽含量（ E ）之比，以百分数表示：

$$e_1 = \frac{e}{E} \times 100\%$$

例 当某一时刻气温为 20°C ， $e = 4.6\text{g}/\text{m}^3$ ， $E = 17.5\text{g}/\text{m}^3$ ，则：

$$e_1 = \frac{4.6}{17.5} \times 100\% = 26.4\%$$

湿度差（ d ）：一定温度下空气中水汽的最大含量与当时空气中实际水汽含量之差。即：

$$d = E - e$$

空气中可能容纳的水汽数量，是随温度的变化而变化的，温度升高，饱和含量就愈大；反之则小。某一温度下，空气中可能被容纳的水汽数量称为饱和水汽含量。不同温度下空气的饱和水汽含量见表1-2。

空气中的水汽含量（绝对湿度）愈接近于饱和含量，其潮湿程度愈大。空气中绝对湿度的大小通常随温度的升降而增减，潮湿地区空气的绝对湿度，较干旱地区大。但绝对湿度的大小只能表明空气中所含水汽的多少，却不能表明空气的干燥或潮湿，相对湿度能直接表示空气的潮湿程度。相对湿度的变化与温度成反比，即使在地球的两极，绝对湿度很

表 1-2 不同温度下饱和水汽含量

空气温度 (°C)	-30	-20	-10	0	10	20	30
水汽饱和含量(g/m ³)	0.5	1.1	2.4	4.8	9.4	17.3	30.4
水汽最大张力(Pa)	0.004	0.01	0.022	0.046	0.092	0.175	0.319

小,但相对湿度常超过中纬地区。

湿度差的大小,对于蒸发作用有很大的影响,湿度差愈大,蒸发作用也愈大。

空气的湿度对于地下水的形成有很大的影响,当空气中湿度大时,蒸发就小,有利于地下水的形成和聚积。

3. 降水

当空气的相对湿度大于100%时,水汽即进行凝结,以液态或固态形式的水降落到地面,这就是大气降水。

单位时间内降落到地面的水量称为降水量,以降水层厚度(mm)表示。每分钟的降水量称为降水强度,如1min内降水量超过0.5~1mm的降雨称为暴雨。

大气降水渗入地下,对地下水的补给最为普遍,它是地下水最重要的补给来源。大气降水补给作用的强弱取决于两个方面:一方面是大气降水的强度及延续时间,如单位时间内所降的雨量大,延续时间长,则可能补给的地下水量就多;另一方面是当地的渗入条件,如地表岩石的透水性、地形、植被等,当渗入条件好时,即地表岩石透水性好,地形平坦,植被良好,则渗入作用就强,补给地下水也就多(见表1-3)。

我国由于幅员辽阔,各地降水量极不相等,总的来说,沿海多、内陆少,南方多、北方少,山区多、平原少。从时间上来看,主要集于夏季,一般六、七、八月份最多,东北及西北地区冬季主要是固态降水,只有在次年三、四月份冰、雪融化后才能补给地下水。

4. 蒸发

水在常温下自液态变为气态从而进入大气的过程称为蒸发。单位时间内由于蒸发作用而失去的水量称为蒸发量,一般以水层厚度(mm)表示。

蒸发作用可分为水面蒸发、地面蒸发和叶面蒸发。一般气象站所记录的蒸发资料仅是水面蒸发值,它并不代表一个地区的真实蒸发量。

水面蒸发,是指一个地区自地表水体表面蒸发的水分。蒸发强度除与温度、饱和差有关外,还与风速和气压有关。风速越大,蒸发越快;气压越高,蒸发较慢。

地面蒸发是指一定时期内土地表面的蒸发量。地面蒸发量除与温度、饱和差等有关外,与地下水面的位置关系密切。当地下水面距地表较近、毛细水能达到地表时,蒸发量往往很大;如地下水面埋藏较深,则蒸发量较小。土壤的盐碱化,就是因为毛细水不断蒸发,又不断地从地下水得到补充,从而水中的盐分也不断地被毛细水带到地表面结晶堆积的结果。

叶面蒸发是指一定期间某种植物蒸发的水量,又称蒸腾。其数量与植物的品种有关(表1-4)。植物蒸发的水分主要的来源也是地下水。

由此可见,植物的蒸腾作用消耗的水量是很大的,当植物根系达到毛细带时,地下水

表 1-3 降水形式、降雨等级及其与地下水的关系

降水特征及表示方法			与地下水的关系
降水形式	低层降水	低空水汽在地表物体表面或植被表面上凝结形成的降水，如雾、露、霜等	(1) 各降水形式中，以雨、雪对地下水形成意义最大
	高层降水	高空水汽遇冷凝结降落在地表的降水，如雨、雪、雹等	(2) 低层降水一般对地下水补给意义不大，但在干旱、沙漠地区有一定意义
降水类型	霪雨	雨率小、但雨时长、雨面广	(3) 各降雨类型中，霪雨的雨率不大，但雨时长，雨面广，有利于地下水的补给；细雨的雨率、雨量均不大，易被蒸发消耗；暴雨虽雨率大，但雨时短，雨水大部分来不及渗入地下，而多呈地表径流流失
	细雨	雨率、雨量均不大	
	暴雨	雨率、雨量大、但雨时短	
降雨等级	小雨	能使地面潮湿，但不泥泞、雨量1~10mm/d	
	中雨	雨降到屋顶有淅淅声，地面积水，雨量10~25mm/d	
	大雨	降雨如倾盆，落地四溅，雨量25~50mm/d	
	暴雨	降雨比大雨还猛，能造成山洪，雨量50~100mm/d	
	大暴雨	降雨比暴雨还大，或时间长，能造成洪涝灾害，雨量100~200mm/d	
	特大暴雨	降雨比大暴雨还大，造成严重洪涝灾害，雨量大于200mm/d	

表 1-4 不同植物年蒸发量的概略数字

植物名称	年蒸发量(mm)	植物名称	年蒸发量(mm)
草和栽培植物	229~544	小植物和灌木	154~203
大阔叶树	203~305	针叶树	102~154

可以通过植物的蒸腾而不断的消耗。

蒸发作用的水文地质意义：它直接影响着地下水，特别是浅层地下水的水量和水质，是地下水的一种重要排泄方式。

(二) 水文因素

大气降水达到地面后，除去一部分重新蒸发，一部分渗入地下形成地下水外，很重要的一部分则是顺地表流动，形成地表水。地表水一般以河流、湖泊的形式出现。地表水，特别是河流与地下水有着密切的关系。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和变化起着很大的作用。

1. 流域的概念

流域是指分水线或分水岭以内，河系整个集水面积的范围(图1-2)。在分水岭范围内所

有的地表水流最终均汇入该河流(水系),故此分水岭范围内的平面面积,就称为该河流(水系)的流域面积,或集水面积(图1-2)。显然,对于相同降雨量,地质条件相似的不同流域来说,流域面积越大,河流的流量就越大。

划分两个流域的界线称为分水线或分水岭。当地区岩性均一,而且相邻的地表流域侵蚀基准面高程相近时,一般地下水流域的分水岭与地表水分水岭大体一致。但是由于地下水的流动与含水层的空间位置与状态密切相关,因此地下水的分水岭有时也与地表水分水岭不一致。

2. 径流及径流的表示方法

径流是指一个流域内的降水,除去消耗于蒸发外,从地面、地下汇流至河流,从而排出水量的过程。其在地面上称地表径流;在地下的称为地下径流。地表径流与地下径流的流域可一致也可不一致(图1-3)。一个流域内的地表径流与地下径流的流量一般都通过河流排出,但地下径流也可以不汇入河流而直接渗入地下排入海洋。地表径流与地下径流有着密切的关系,两者可以互相转化。例如地表径流强,地下径流可能减弱;反之地下径流增强,地表径流也可能减弱;这种径流的转化是相当复杂的,主要受地形、降水、植物覆盖及岩石性质等因素影响。



图 1-2 河流的流域

I—干流; II、III—支流
1—干流的分水岭;
2、3—支流的分水岭

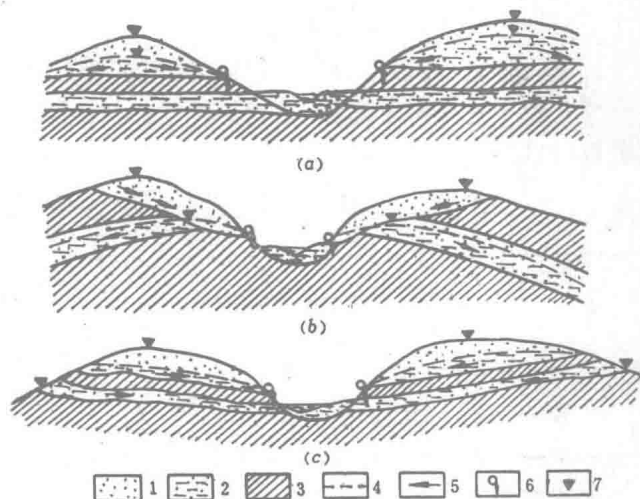


图 1-3 地表径流和地下径流的关系

a—地表与地下径流流域相一致; b、c—地表与地下径流流域不一致
1—砂; 2—含水的砂; 3—粘土; 4—潜水面;
5—潜水流向; 6—泉; 7—分水岭位置

降水充沛的地区有利于形成径流。岩石的透水性好,植物覆盖多,地形平坦且降水持续时间长的细雨不利于形成地表径流;反之,如果地形陡,岩石透水性差,植物覆盖少且降水为暴雨时,则利于地表径流的发育。此外,随着建设事业的发展,人为因素也会促使径流条件的改变。

由此可见,流域内地下径流与地表径流之间是密切相关的,地表水可以直接渗入补给地下水。另一些情况下,地下水也可能补给地表水。因此,研究一个区的地下水,首先要

查明地表水系的发育情况,如河网的分布、长度、密度,流域的范围,河床的宽度、形状,河流的补给来源及排泄条件,以及河流的具体流量、水位及泥沙的含量等。其中主要是水位和流量的测定。

单位时间内流过河床横断面的水量称为河流的流量或径流量。为了测定河床某一断面上的流量 Q ,必须知道河流的平均流速 v 和河床的断面积 F 。即:

$$Q = F \cdot v$$

式中 Q ——流量 (m^3/s);

v ——水的平均流速 (m/s);

F ——过水断面面积 (m^2)。

河流的流量是反映径流特征最基本的要素,但它却不能和流域的概念联系起来,为了表示径流与流域面积和降雨量等之间的关系,尚可采用以下几种方法表示:

(1) 径流率:在单位时间内,单位流域面积上流出的水量。其单位一般用 $\text{L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$ 。即:

$$M = \frac{Q}{F} \times 10^3$$

式中 M ——径流率 [$\text{L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$];

Q ——径流量 (m^3/s);

F ——某一流域内在观测线上的集水面积 (km^2)。

为了便于与降雨量比较,径流率有时要换算为以 mm 水层厚度表示,称为径流高度 h 。其换算公式为:

$$\begin{aligned} h &= \frac{W}{F} = \frac{Q \times 365 \times 24 \times 60 \times 60}{F \times 1000 \times 1000} = \frac{Q \cdot 31.536}{F} \quad (\text{m}) \\ &= 31536 \frac{Q}{F} \quad (\text{mm}) \end{aligned}$$

式中 h ——径流高度 (mm);

W ——总径流量 (m^3);

F ——整个流域面积 (m^2)。

径流率与径流高度换算见表1-5。

表 1-5 径流率与年径流高度换算表

径流率 $M(\text{L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2))$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
径流高度 $h(\text{mm})$	31.5	63	94.5	126	158	189	220	252	284	315
径流高度 $h(\text{mm})$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
径流率 $M(\text{L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2))$	0.317	0.634	0.951	1.27	1.58	1.90	2.22	2.54	2.85	3.17

注:换算公式 $M = \frac{h}{31.5}$ 或 $h = 31.5M$ 。

(2) 径流系数(η):某时间内径流高度(h)与同时期的降水量(x)之比即:

$$\eta = \frac{h}{x} \times 100\%$$

或：在某一段时间内，径流量与降落在含水层补给面积上的降水量相比，用百分数或小数表示。即：

$$\eta = \frac{Q}{x \cdot F} \times 0.001 \times 100\%$$

式中 η ——径流系数；

Q ——一年内的径流量 (m^3)；

x ——一年内的降雨量 (m^3)；

F ——集水面积 (km^2)。

径流是大气降水量的一部分，故径流系数常小于1，只有当地下水流域大于地表水流域时，径流系数才稍大于1。

平原地区河水常补给地下水，故径流系数小。而山区河流常获得地下水补给，径流系数可达到0.5~0.9。

例 某水文站测得多年平均径流量 $Q = 700 \text{ m}^3/\text{s}$ ，流域面积 $F = 140000 \text{ km}^2$ ，流域多年平均降水量 $x = 450 \text{ mm}$ 。试求多年平均径流率 M 、多年平均径流高度 h_0 及多年平均径流系数 η 。

解 (1) 多年平均径流率：

$$M_0 = \frac{Q \times 10^3}{F} = \frac{700 \times 10^3}{140000} = 5 \text{ L}/(\text{s} \cdot \text{km}^2)$$

(2) 多年平均径流高度：

$$h_0 = 31.5 M = 31.5 \times 5 = 157.5 \text{ (mm)}$$

(3) 多年平均径流系数：

$$\eta = \frac{h_0}{X} = \frac{157.5}{450} = 0.35 = 35\%$$

(三) 地质因素

由于地下水是存在于岩石中的，因此一个地区的地质条件，如岩性结构、地貌条件和地质构造的性质及规模，就会影响该地区地下水的形成、水质及水量。

1. 岩性结构

地质作用对地下水的影响，集中反映在岩石的特点方面。因此，我们在研究地质因素对地下水形成的影响时，应该首先从岩石的特点出发。

由于地下水是存在于岩石的空隙中，在研究岩石特点对地下水的影响时，就必须研究岩石的空隙。不同成因、不同结构的岩石，其空隙的类型也不同。空隙一般可分为孔隙、裂隙和溶隙（图1-4）。

(1) 孔隙：疏松岩石和胶结不好的岩石，其颗粒结合体之间存在有空隙，这种空隙，一般称为孔隙。

疏松岩石由于其颗粒大小、形状以及大小颗粒的相对含量不同，会影响到岩石的结构和性质，从而也影响了地下水在岩石中的存在条件。一般来说，由较大颗粒组成的岩石具有较大的孔隙，而其孔隙的数量却是比较少的。

衡量岩石孔隙发育程度的指标是孔隙度（ n ），即孔隙体积（ V_n ）与包括孔隙体积在内的岩土总体积（ V ）之比，以小数百分率表示。即：

$$n = \frac{V_n}{V} \text{ 或 } n = \frac{V_n}{V} \times 100\%$$

几种岩石的近似孔隙度数值参见表1-6。

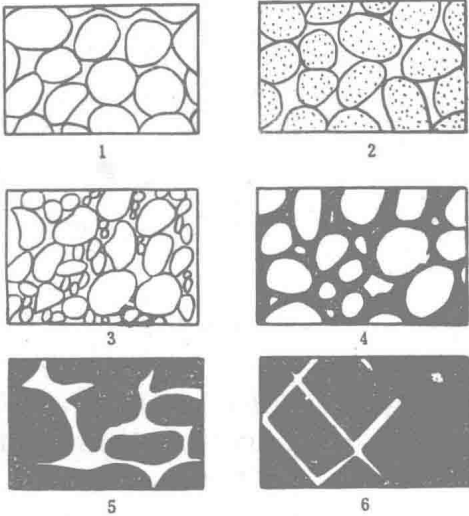


表 1-6 岩石的近似孔隙数值

岩石名称	砾石	粗砂	细砂	亚粘土	粘土	泥炭
孔隙度(%)	27	40	42	47	50	80

图 1-4 岩土中的各种空隙

1—滚圆度良好的砂； 2—分选良好的砂； 3—滚圆度与分选性均不好的砂； 4—砂岩中的空隙，局部被胶结；
5—石灰岩中受溶解而扩大的溶隙；
6—块状结晶岩中的裂隙

（2）裂隙：裂隙是坚硬岩石在内外营力作用下产生的各种各样的裂缝。裂缝的宽度、长度、联通情况差异很大，与松散沉积物的孔隙相比，表现为具有明显的不均匀性。衡量岩石的裂隙发育程度的指标是裂隙率，即岩石裂隙的宽度或面积、体积与包括裂隙在内的岩石总宽度或面积、体积之比，分别称为线裂隙率、面裂隙率、体裂隙率。一般采用线裂隙率或面裂隙率来表示岩石的裂隙发育程度。

几种岩石的裂隙率参见表1-7。

表 1-7 岩石裂隙率的一般数值

岩石名称	裂隙率 (%)	岩石名称	裂隙率 (%)
各种砂岩	3.2~15.2	正长岩	0.5~2.8
石英岩	0.008~3.4	辉长岩	0.6~2.0
各种片岩	0.5~1.0	玢岩	0.4~6.7
片麻岩	0~2.4	玄武岩	0.6~1.3
花岗岩	0.02~1.9	玄武岩流	4.4~5.6

（3）溶隙：溶隙是可溶性岩石（石灰岩、石膏、岩盐等）的各种成因类型的裂隙，在地下水的长期作用下，经溶蚀形成的大小、形态各异的岩溶空隙，包括地下溶洞、溶蚀裂隙、溶孔等。有的成为非常巨大的溶洞，甚者可高达数十米，或长达几十公里。衡量可溶性岩石溶隙发育程度的指标是溶隙率，即可溶性岩石中的空隙宽度或面积体积与包括溶隙在内的岩石总宽度或面积、体积之比，分别称为线溶隙率、面溶隙率、体溶隙率。

根据岩石中空隙的性质，可将岩石分为孔隙岩石、裂隙岩石和溶隙（喀斯特）岩石。岩石中空隙的性质以及不同性质空隙的发育程度，会影响到地下水的存在条件及其水量的丰富程度。查明岩石空隙的生成原因、控制因素及发育规律，对于分析地下水的储存、运

动条件以及含水层的形成,都是极为重要的。

2. 地质构造

地质构造对地下水的影响主要表现在构造的性质和规模上,例如大的向斜盆地中,由于分布有范围很广、厚度很大的含水层,地下水的静储量非常丰富,反之较小的向斜盆地或是背斜构造中,地下水储量则不丰富。

断层的规模对地下水的存在条件也有较大的影响。大断裂两侧的岩性、构造乃至地貌常常有很大的改变,因此它往往是水文地质分区的边界。构造破碎带通常是地下水的储存场所和运动通道。另外,断层的力学性质对地下水的存在也有影响,一般认为以张性应力形成的断裂带及断裂构造的交汇处,地下水比较富集;而压性应力形成的断裂破碎带,一般是起相对隔水作用的;扭性应力形成的断层破碎带,如果有低序次的延伸,发育深度大的构造裂隙,其导水性和富水性也比较好。

岩层产状、沉积间断、岩浆岩侵入等,对地下水的形成和分布也有一定的影响。

3. 地貌条件

地貌条件也是影响地下水形成和变化的一个重要因素。因为地貌综合地反映出地形与岩性、地质构造之间的成因联系,而岩性、地质构造又在很大程度上控制着水文地质条件,所以地貌特征也就必然要反映出水文地质特征。地貌不仅控制着地下水的补给、径流与排泄条件,而且,还能反映出地下水的分布状况和埋藏条件等。

地形形态直接影响降水渗入量。在补给区面积和岩性相同的条件下,平缓地形比陡倾斜地形接受降水量要显著地增多。

沟谷的密度和切割深度是决定地下水排泄的重要条件。

地形对地下水的补给和排泄条件有一定影响,而地下水的活动对地貌形态也有很大的作用。这种情况在地下水活动较强烈的岩溶地区表现得更加明显。

第四纪沉积物的成因类型不同,所组成的地貌类型也不相同,致使地下水的埋藏和分布规律各异。因此,可根据第四纪地貌成因类型来大体判明其地下水的埋藏和分布状况。

(四) 人为因素

随着人类生产力的不断发展,人类控制自然的能力不断加强。例如,人类的生活、生产活动(如开采地下水、兴建水利、发展灌溉矿井排水等等)对地下水的形成和变化均有极大的影响。

影响地下水的人为因素概括起来有以下几方面:

(1) 由于对地下水的过量开采,造成地下水大面积下降。这主要是对水资源缺乏统一管理造成的。

(1) 由于大量开采地下水,使下降漏斗范围内的软土层脱水压缩,造成地面沉降。如上海市1922~1938年平均地面每年下沉26mm,至1965年已下沉1.6m,个别严重地区达2.37m。

(3) 滨海地区大量开采地下水的结果,改变了水动力条件,引起海水入侵,导致水质恶化。同样,内地有些地区由于地下水大量开采,导致污水与净水发生水力联系,引起水质的恶化。

(4) 矿区地下水疏干和矿区废水污染。由于矿区持续地疏干地下水,常使一些矿区附近地下水下降,从而对农业和林业带来不利的影响。