

水文地质基础与应用

主编：殷文昌 胡瑾



四川大学出版社



特约编辑:傅 奕
责任编辑:梁 平
责任校对:陈 丹
封面设计:原谋设计工作室
责任印制:王 炜

图书在版编目(CIP)数据

水文地质基础与应用 / 殷文昌, 胡瑾主编. —成都:
四川大学出版社, 2015. 6
ISBN 978-7-5614-8630-6

I. ①水… II. ①殷… ②胡… III. ①水文地质学—
中等专业学校—教材 IV. ①P641

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 133861 号

书名 水文地质基础与应用

主 编	殷文昌 胡 瑾
出 版	四川大学出版社
地 址	成都市一环路南一段 24 号 (610065)
发 行	四川大学出版社
书 号	ISBN 978-7-5614-8630-6
印 刷	四川五洲彩印有限责任公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	10.25
字 数	248 千字
版 次	2015 年 9 月第 1 版
印 次	2015 年 9 月第 1 次印刷
定 价	21.00 元

版权所有◆侵权必究

◆读者邮购本书,请与本社发行科联系。
电话:(028)85408408/(028)85401670/
(028)85408023 邮政编码:610065
◆本社图书如有印装质量问题,请
寄回出版社调换。
◆网址:<http://www.scup.cn>

前言

2013年8月,国家教育部、人力资源和社会保障部、财政部批复了四川机电高级技工学校“国家中等职业教育改革发展示范学校建设项目”任务书和建设方案,本书是重点建设专业——钻探工程技术专业——的建设任务之一。

“水文地质基础与应用”是钻探工程专业的重要专业基础课程。本书编写时,依据“以岗定教,校企共育”人才培养模式,建立起了融“理论+操作”为一体的课程体系,开发出了“水文地质基础与应用”理论与实践相结合的课程。按照职业教育“三个对接”(学校教学内容与职业标准对接、教学过程与生产过程对接、专业结构与产业对接)的要求,为了适应职业工种的要求,编者参考了地勘行业水文地质工职业技能鉴定的相关要求编写,整合了传统的《水文地质学》的基本教学章节与当代水文地质前沿知识进而编写了本书。

本书按照先理论后操作的编写方式,采取任务驱动、工作引领,让学生在“做中学、学中做”,引导学生通过多种途径自主学习、协作学习,尽可能让学生动手操作参与实践,注重培养学生的实际工作和应用能力,包括技术能力、方法能力、社会能力等。采用过程性记录对学生进行全面、科学的评价,改变了传统评价模式,促进了教学改革和发展。

本书由四川机电高级技工学校殷文昌、四川建筑职业技术学院胡瑾任主编,由赵娜、胡倩任副主编。具体编写情况为:第一部分第一、三、四章由胡瑾编写;第二、五、六、七章由殷文昌编写;第八章由胡瑾和殷文昌共同编写;第四章由胡倩参编;第二部分项目一、二、三由赵娜编写;项目四、五、六由胡倩编写;项目七由殷文昌编写。全书由殷文昌、胡瑾负责统稿。此外,在本书编写过程中还得到了四川省地质矿产局106、108与403队部分水工人员以及四川冶金地勘局蜀通岩土勘察有限公司总工田力同志的建议。

本书在教学内容选定、教学组织与版式确定等诸多方面是钻探专业国示建设工作组共同智慧的结晶,同时得到了钻探专业国示建设指导专家组指导,根据专家意见结合专业实际进行了调整;对于成都理工大学环工学院、四川省地质矿产局106等地质队、四川核工业地质局金核工程有限公司、四川冶金地勘局蜀通岩土工程公司等对本书编写的支持深表谢意;最后对四川机电高级技工学校教材编写委员会给予教材审核工作与专业指导的专家们表示感谢!

本书是根据钻探专业国示建设任务要求编写的,其主要适用对象是地质钻探工程中



级技工，同时也可以作为地质类其他专业或地质类专业高级技工重要教辅资料，也可以作为地质单位工作人员基础地质自学的良好读本。由于本书编写时间有限，编写人员水平与实践经验等诸多方面还存在不足，故对于本书中编写不当之处恳请广大读者批评指正。

编 者

2015 年 3 月

目 录

第一部分 水文地质理论基础知识部分

第一章 地下水的形成及其水循环	(3)
第一节 地下水的概念及其研究应用的发展.....	(3)
第二节 自然界中的水循环与地下水的形成.....	(5)
第三节 影响地下水形成及地下水循环的主要因素.....	(8)
第四节 地下水的补给.....	(11)
第五节 地下水的排泄.....	(21)
第六节 地下水的径流.....	(27)
第二章 地下水常见类型	(33)
第一节 不同岩土空隙的地下水.....	(33)
第二节 不同运动形式的地下水.....	(37)
第三节 不同埋藏条件的地下水.....	(38)
第三章 地下水运动与基本规律	(42)
第一节 地下水渗流运动基础知识.....	(42)
第二节 地下水渗流运动形式.....	(47)
第三节 地下水渗流运动基本规律.....	(50)
第四节 知识拓展.....	(54)
第四章 地下水化学基础	(61)
第一节 地下水的物理性质.....	(61)
第二节 地下水的物质成分及化学性质.....	(63)
第三节 地下水化学成分表示方法及分类.....	(69)
第五章 不同岩土介质中的地下水	(75)
第一节 孔隙水.....	(75)
第二节 裂隙水.....	(80)
第三节 岩溶水.....	(84)
第六章 钻探水文地质基础知识	(89)
第一节 水文地质钻探的目的与任务.....	(89)
第二节 水文地质钻孔的类型与基本要求.....	(90)



第三节	水文地质钻孔的结构与单孔设计·····	(91)
第四节	水文地质钻孔的管材与过滤器·····	(95)
第七章	水文地质试验的基本知识·····	(99)
第一节	抽水试验·····	(99)
第二节	渗水试验·····	(101)
第三节	示踪试验·····	(102)
第四节	连通试验·····	(102)
第八章	环境水文地质基本知识·····	(104)
第一节	环境的概念与理解·····	(104)
第二节	水体与水体污染·····	(106)
第三节	环境地质与水文地质·····	(111)

第二部分 水文地质应用技术部分

项目一	水样采集·····	(115)
项目二	地下水水位、水温测量·····	(119)
项目三	水量测定·····	(124)
项目四	钻孔简易水文地质观测·····	(134)
项目五	水文地质试验设备的安装·····	(139)
项目六	水文资料整理基本常识·····	(143)
项目七	地下水污染调查·····	(151)

第一部分 水文地质理论基础知识部分



第一章 地下水的形成及其水循环

教学目标

通过本章的学习，学生应了解地下水的概念、形成原因以及形成条件，深入理解地下水水循环的方式、途径及其影响因素，理解地下水补给、径流与排泄概念与主要方式。

教学内容

第一节 地下水的概念及其研究应用的发展

地下水是存在于地表以下岩（土）层空隙中的各种不同形式的水的统称。地下水是地表水资源的重要补充。地表水与地下水的区别见表 1-1-1。虽然地下水资源量在我国各大流域基本小于地表水资源量（见图 1-1-1），但由于地下水对维持水平衡具有重大作用，同时地下水具有难以再生性的特点，因此对地下水的资源量的勘察是非常重要的。我们要根据地下水的补给、径流与排泄形式及其资源总量，确定其可以利用的量，保证水资源的可持续发展。

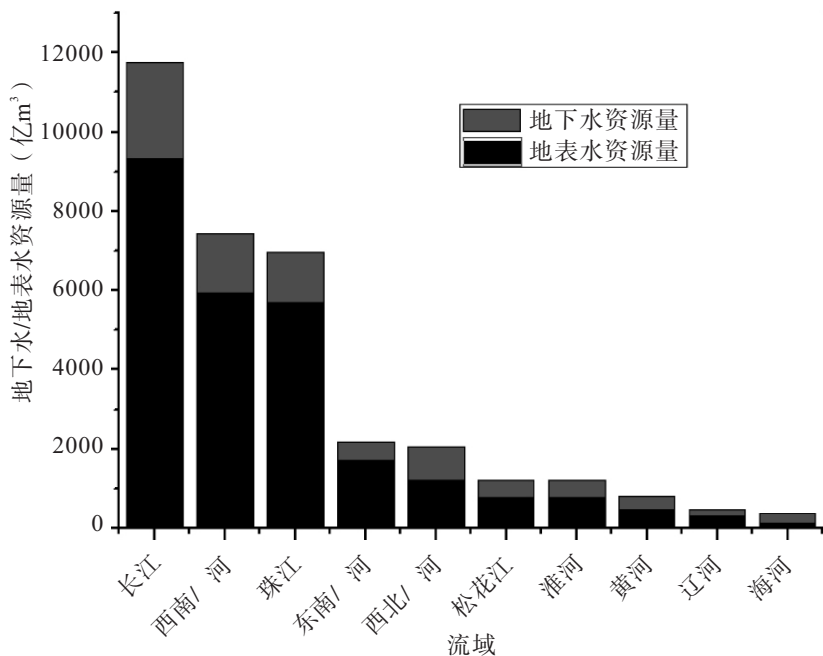


图 1-1-1 我国各流域地表水与地下水资源量组成

表 1-1-1 地表水与地下水的区别

比较项目	地表水	地下水
空间分布	地表稀疏的水文网	地下广阔的含水介质
时间调节	季节变化性大；需要筑坝建库进行人工调节	具有天然调节功能的地下水库
水质	易受污染；易恢复	不易受污染；不易恢复
可利用性	预先进行水质处理；修建管道	把地下水提升至地表消耗能量
补给速度	补给速度快，水资源可利用量大	补给速度慢，深层含水层的补给更慢

地下水基本规律是由地下水水文学这一学科进行研究的，地下水水文学的发展经历了以下的过程：

1856 年以前的萌芽时期——由先民的逐水而居到逐渐凿井取水，开始认识并积累地下水知识，同时也可以认为，正是由于正确掌握了地下水的有关知识，人们才可以成功地凿井取水，从而不必过分依赖河流，使人类的居住范围得到了大范围的增加。

1856 年到 20 世纪中叶的奠基时期——从 1856 年开始，法国水力工程师达西通过试验及计算分析，提出了著名的“达西定律”，为地下水从定性到半定量计算提供了理论依据，使得人类对地下水的利用可以达到一种可控状态。

20 世纪中叶到 20 世纪 90 年代——泰斯非稳定流理论的提出是该阶段的主要标志，同时计算机技术的应用为求解这些较复杂的公式提供了快捷的方式。

20 世纪 90 年代以后——主要致力于地下水与环境可持续发展，数值模拟的方法与软件的出现为这种大范围的复杂的定量计算提供了可能。



目前,水文地质领域内常用的数值模拟方法有:有限差分法(FDM)、有限单元法(FEM)、有限分析法(FAM)和边界单元法(BEN)等。目前数值模拟的软件也很多,常用的软件中MODFLOW是由美国地质调查局于20世纪80年代开发出的一套专门用于孔隙介质中地下水流动数值模拟的软件,是当前地下水数值模拟领域的权威软件。该软件在科研、生产、城乡发展规划、环境保护及水资源利用等许多行业和部门得到了广泛的应用,已经成为最为普及的地下水运动数值模拟的计算机程序。MODFLOW原本用于模拟地下水在孔隙介质中的流动,但通过大量实际工作发现,只要恰当使用,MODFLOW也可用于解决许多地下水在裂隙介质中流动的问题。

第二节 自然界中的水循环与地下水的形成

一、水循环的过程与理解

水在地球的状态包括固态、液态和气态,而地球上的水多数存在于大气层、地面、地底、湖泊、河流及海洋中。水会通过一些物理作用(如蒸发、降水、渗透、表面的流动和地底流动等),由一个地方移动到另一个地方,如水由河川流动至海洋。水循环是指自然界的水在水圈、大气圈、岩石圈、生物圈四大圈层中通过各个环节连续运动的过程,是自然环境中主要的物质运动和能量交换的基本过程之一。也可以说,水循环是指地球上不同地方的水,通过吸收太阳的能量,改变状态到地球上另外一个地方。例如,地面的水分被太阳蒸发成为空气中的水蒸气,水蒸气又在一定的地方形成降雨落入地上。

地下水是自然界水的一个组成部分,并参与自然界水的总循环。地下水循环从水文地质角度而言是指地下水的一个完整的补给、径流、排泄的全过程。其中:补给是指地下水形成,地下水形成是由地表水或大降水入渗地下形成地下水的过程;径流则是指地下水形成后在地下含水层系统中的运移;排泄则是指地下水通过种种方式又转化为地表水或大气水的过程。

二、自然界中水循环的概念与分类

自然界中各部分水是处于动态平衡的状态中,它们在各种自然因素和人为因素的综合影响下不断地进行着循环和变化。也就是说自然界中的大气水、地表水和地下水并不是彼此孤立存在的,它们是一个互相联系的整体。即大气水、地表水和地下水三者之间实际处于不断地运动以及相互转换的过程之中,这一过程被称为自然界的水循环。

自然界中的水循环按其循环范围与途径的不同,可分为大循环和小循环。

1. 自然界中水的大循环

在太阳辐射热的作用下,水从海洋面蒸发变成水汽上升进入大气圈中,并随气流运动移至陆地上空,在适宜的条件下,重新凝结成液态或固态水,以雨、雪、雹、露、霜



等形式降落到地面。降落到地面上的水，一部分就地再度蒸发返回大气中；一部分沿着地面流动，汇集成为河流、湖泊等地表水；一部分渗入地下成为地下水，其余部分最终流入海洋，如图 1-1-2、1-1-3 所示。

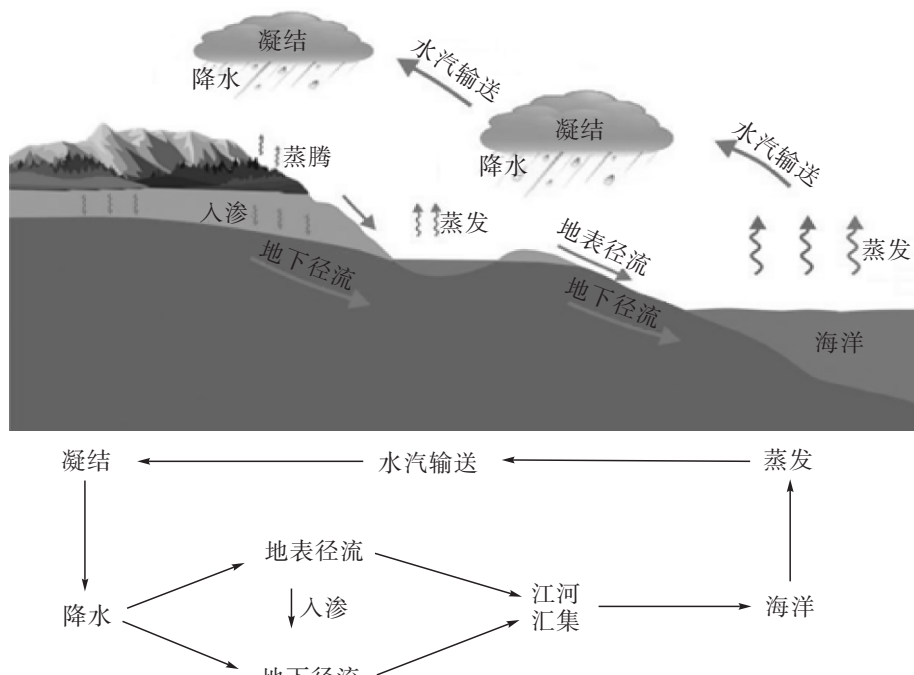


图 1-1-2 自然界中水的大循环平面示意图

大循环过程：海洋水→蒸发→水汽输送→降水至陆地→径流（包括地表径流与地下径流）→大海。

2. 自然界中水的小循环

自然界中水的小循环是指陆地或海洋本身的内部水循环。这当中有两种情形，一种是从海洋面蒸发的水分，重新降落回到海洋面；另一种是陆地表面的河、湖、岩土表面、植物叶面蒸发的水分，又复降落到陆地表面上来，这就是自然界水的小循环，又名内循环，也称为局部性的水循环。

小循环过程：

陆地循环：陆地→蒸发（蒸腾）→降水至陆地；

海上循环：海洋→蒸发→降水至海洋。

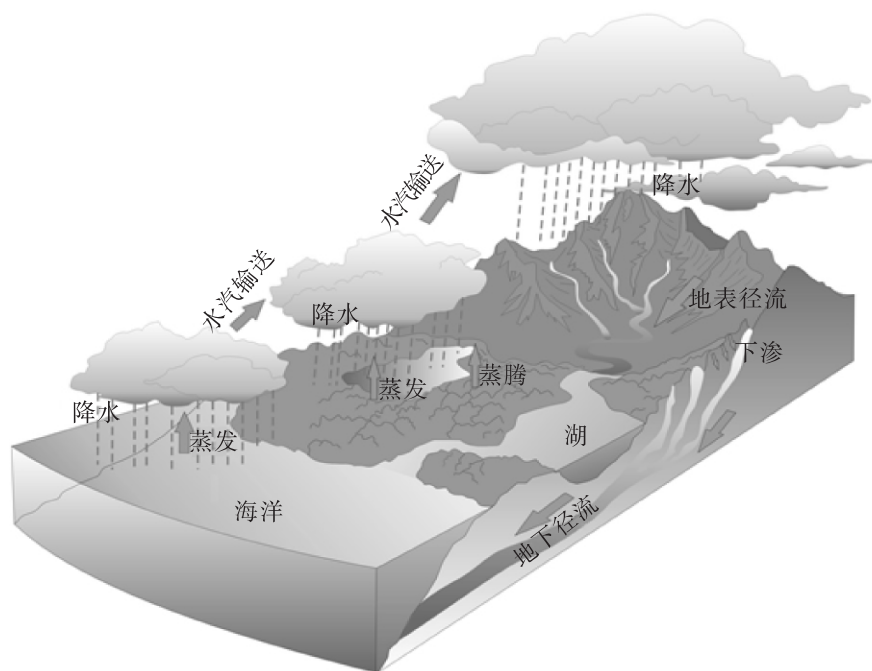


图 1-1-3 自然界水的大循环立体示意图

三、地下水的形成与地下水循环

地下水的形成必须具备两个条件：一是有水分来源，二是要有贮存水的空间。它们均直接或间接受气象、水文、地质、地貌和人类活动的影响。其中水分的来源与前述的自然界中的水循环有关，而贮存水的空间对地下水而言，如砂岩、石灰岩、砂卵石层等在条件合适时就可以成为良好的贮水空间，这部分岩土体也就被称为含水层。在野外进行找水钻探工作时要特别注意条件合适的问题，条件不同时哪怕是类似的附近岩层，其水质与水量可能差别很大，所以在钻探时“差之毫厘，谬以千里”的问题经常出现，因此不要随意移动钻孔位置，更不要减少水文试验与观察，仅凭想当然推论孔内水位情况。

地下水循环指地下水的一个完整的补、径、排过程。分成浅循环、深循环及不循环。浅循环一般是指一个水文地质单元中流速快，百年内就可将含水层中（通常指浅层地下水含水层）地下水更新一次的地下水循环；深循环则是指成百上千年或更长时间才能更新一次的地下水循环；不循环则是指不具有稳定补给源的地下水含水层的地下水循环。



第三节 影响地下水形成及地下水循环的主要因素

一、自然地理条件

自然地理条件中,气象、水文、地貌等对地下水影响最为显著。大气降水是地下水的主要补给来源,降水的多少与过程直接影响到一个地区地下水的丰富程度。在湿润地区,降雨量大,地表水丰富,对地下水的补给量也大,一般地下水也比较丰富;在干旱地区,降雨量小,地表水贫乏,对地下水的补给有限,地下水量一般也较小。另外,干旱地区蒸发强烈,浅层地下水浓缩,再加上补给少、循环差,多形成高矿化度的地下水。而在其他条件尤其是总的降水量相同的情况下,在山区,特大暴雨由于降水太快,水落入地表来不及渗入就形成地表径流排到地表水中了,对地下水的贡献有时还不如中雨的贡献大。

地表水与地下水同处于自然界的水循环中,并且相互转化,两者有着密切的联系。在地表水补给地下水的地区,除了降水对地下水的补给外,地表水对地下水也能起到补给作用,但主要集中在地表水分布区,如河流沿岸、湖泊的周边。所以有地表水的地区,地下水既可得到降水补给,又可得到地表水补给,水量比较丰富,水质一般也较好。

在不同的地形地貌条件下,形成的地下水存在很大差异。

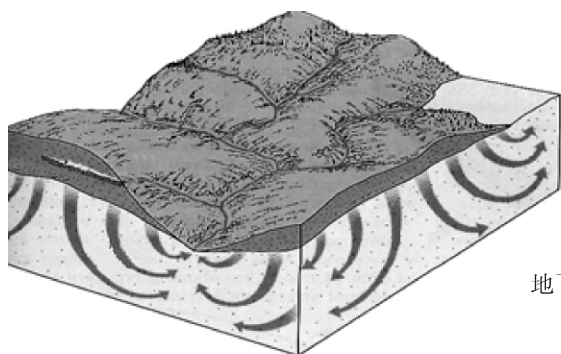
(1) 在地形平坦的平原和盆地区,松散沉积物厚,地面坡度小,降水形成的地表径流流速慢,易于渗入地下补给地下水,特别是降水多的沿海地带和南方,平原和盆地中地下水分布广而且非常丰富。

(2) 在沙漠地区,尽管地面物质粗糙,水分易于下渗,但因为气候干旱,降水少,地下水很难得到补给,同时蒸发又强烈,因此,许多岩层是能透水而不含水的干岩层。

(3) 在黄土高原,由于组成物质较细,且地面切割剧烈,不利于地下水的形成,再加上位于干旱半干旱气候区,地下水贫乏,是中国有名的贫水区。

(4) 山区地形陡峻,基岩出露,地下水主要存在于各种岩石的裂隙中,分布不均。由于降水受海拔高度的影响,具有垂直分布规律,在高大山脉分布地区,降水充足,地表水和地下水均很丰富,特别在干旱地区,这一现象表现得更为明显。位于中国干旱区腹部的祁连山、昆仑山、天山等,山体高大,拦截了大气中的大量水汽,并有山岳冰川分布,成为干旱区中的“湿岛”,为周围地区提供大量的地表径流,使位于山前的部分平原具有充足的地表水和地下水资源。

另外,水的流动是从水位高的地方流向水位低的地方,因此地形的不同导致地下水的渗透路径也是不同的,见图 1-1-4。



地下水渗透受控于水位差

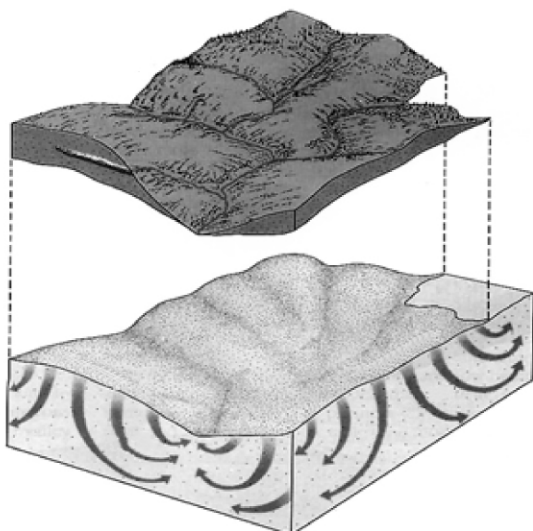


图 1-1-4 地下水渗透受控于水位差示意图

二、地质条件

影响地下水形成及循环的地质条件主要是岩石性质和地质构造。岩石性质决定了地下水的贮存空间，它是地下水形成的先决条件；地质构造则决定了具有贮水空间的岩石能否将水储存住以及储存水量的多少等特性。

除了一些结晶致密的岩石外，绝大部分岩石都具有一定的空隙。坚硬岩石中地下水存在于各种内、外动力地质作用形成的裂隙之中，分布极不均匀；松散岩层中，地下水存在于松散岩土颗粒形成的孔隙之中，分布相对较为均匀。在一些构造发育、断层分布集中的地区，岩层破碎，各种裂隙密布，地下水以脉状、带状集中分布在大断层及其附近。在构造盆地，由于基底是盆地式构造，其上往往沉积了巨厚的第四纪松散沉积物，再加上良好的汇水条件，多形成良好的承压含水层，蕴藏着丰富的自流水。地质条件的影响主要包括以下几方面：

1. 岩土体的空隙特性

通常把岩土空隙的大小、多少、形状、连通程度以及分布状况等性质，通称为岩土体的空隙特性。岩土体空隙特性决定着地下水在其中存在的形式、分布规律和运动性质



等。

2. 岩土体地质构造

地下水的水量、水质、埋藏条件、补给、径流和排泄，以及地下水的类型都受地质构造的直接控制。如大的向斜盆地构造和大断裂形成的地堑中，在岩性合理展布的情况下，可以形成大的贮水盆地，往往分布有范围广、厚度大的含水层，地下水资源非常丰富。

3. 地貌条件

地貌是内外地质共营力作用的产物。地形形态直接影响降水的渗入量，在补给面积和岩性相同的条件下，平缓地形比陡倾地形易接受降水的渗入，有利于地下水的形成。

三、人为因素

地下水的形成和变化，不能只注意研究自然界条件下的地下水的形成和变化，还要研究人为因素的影响，如开采地下水、兴修水利、矿井排水、农业灌溉或人工回灌等造成的影响。如图 1—1—5 所示的坎儿井引水工程，是干旱地区利用地下渠道截引砾石层中的地下水，引至地面的水利工程。开挖时先打一竖井，称定位井。发现地下水后沿拟定渠线向上、下游分别开挖竖井，作为水平暗渠定位、出渣、通风和日后维修孔道。暗渠首段是集水部分，中间是输水部分，出地面后有一段明渠和一些附属工程。这种工程可以减小引水过程的蒸发损失，避免风沙，减少危害。但是从图中可以明显看出如果取水量过分增加，同时地下水的补给不充分的话，可能会减少含水层的含水量，长期如此可能造成含水层水质变差，造成不可逆转的后果。

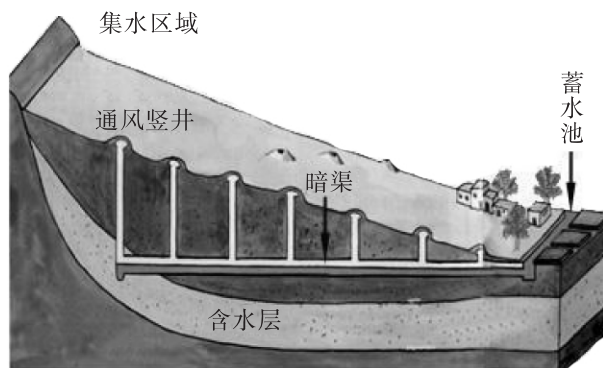


图 1—1—5 坎儿井水利工程示意图

上述这些与地下水形成有密切联系的各种自然因素和人为因素，称为地下水的形成条件或地下水循环影响因素。由地下水形成条件所决定的地下水的补给、径流、排泄、埋藏、分布、运动、水动力特性、物理性质、化学成分以及动态变化等规律，总称为水文地质条件。



第四节 地下水的补给

地下水的补给会使含水层的水量、水化学特征和水温以及运动状态发生变化, 补给获得水量后, 含水层或含水系统运动可能发生的变化表现为地下水位上升, 势能增加, 使地下水保持不停的流动; 而若地下水得不到补给, 如由于构造封闭或气候干旱, 地下水的流动将停滞。地下水补给研究的主要内容包括: 补给来源、补给的影响因素与补给量。

地下水补给来源有:

- (1) 天然补给: 包括大气降水、地表水、凝结水及相邻含水层的补给等。
- (2) 人为补给: 包括灌溉水入渗、水库渗漏及人工回灌。

地下水的补给途径如图 1-1-6 所示。

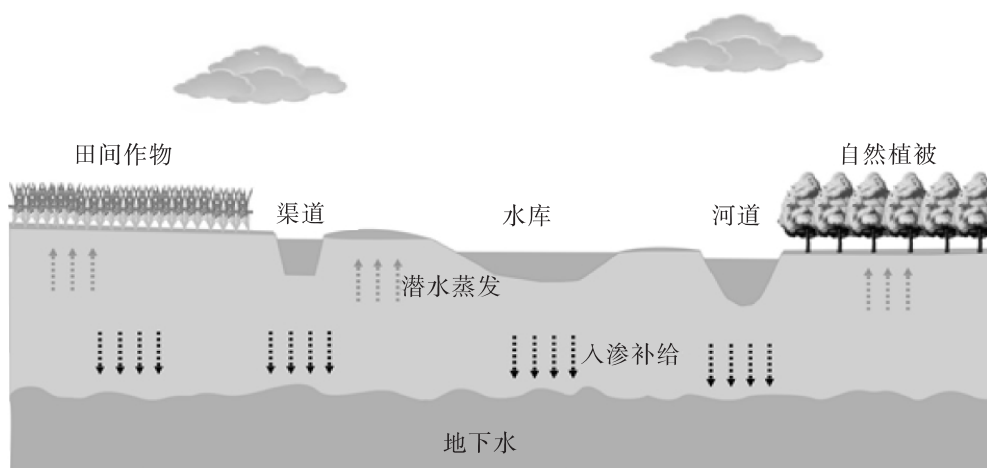


图 1-1-6 地下水的补给来源与途径示意图

一、大气降水补给

1. 大气降水入渗方式

包气带是降水对地下水补给的枢纽, 包气带的岩性结构和含水量状况对降水入渗补给起着决定性作用。

目前认为, 松散沉积物的降水入渗有两种方式:

- (1) 均匀砂土层——活塞式 (如图 1-1-7 所示)。
- (2) 含裂隙的土层——捷径式 (如图 1-1-8 所示)。

活塞式入渗机制及过程如图 1-1-9 所示。