



[荷兰] 努纳 著
邓东升等 译 姜志群等 校

水文地质学引论

Introduction to Hydrogeology

中国科学技术大学出版社

P641

5

水文地质学引论

[荷兰] 努纳 著

邓东升等 译

姜志群等 校

中国科学技术大学出版社

2005·合肥

安徽省版权局著作权合同登记号:第 1201303 号

Introduction to Hydrogeology

By J C Nonner

First published in English by A. A. Balkema Publisher (2003)

© Taylor & Francis, a member of the Taylor & Francis Group

First published in Chinese by University of Science and Technology of China Press (2005)

© University of Science and Technology of China Press

All rights reserved.

图书在版编目(CIP)数据

水文地质学引论/[荷兰]努纳著;邓东升等译;姜志群等校. —合肥:中国科学技术大学出版社,2005. 11

ISBN 7 -312-01789-3

I. 水… II. ①努…②邓…③姜… III. 水文地质 IV. P641

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2005)第 157982 号

出版发行:中国科学技术大学出版社

(安徽省合肥市金寨路 96 号,230026)

印 刷:合肥远东印务有限责任公司

经 销:全国新华书店

开 本:787×1092/16

印 张:9.375

插 页:13

字 数:263 千

版 次:2005 年 11 月第 1 版

印 次:2005 年 11 月第 1 次印刷

印 数:1—3000 册

定 价:29.00 元

前 言

荷兰国际基础设施水利环境学院(IHE)的水文学和水资源培训计划也有地下水专业。为了对该培训计划有所贡献,我有义务收集有关地下水方面的教学材料,用于学员的培训。尽管有不少地下水方面的教材,但我不能轻率地将它们作为这门课的入门教材,因此还是决定准备自己的“讲义”。这些讲义一直用到1998年,这时有机会将讲义出版成教材。目前的“水文地质学引论”是这一机会的产物。这个机会以及想将当前地下水的知识流传下去的愿望激励我挤出时间来编写这本教材。

该教材遵循系统方法,即地下水系统作为该引论编写的框架。在第一章中,循着历史的介绍,地下水系统被置于地球水文循环之中。简单地介绍了其他水文循环,包括大气系统、地表水系统 and 非饱和带。第二章描述了地下水系统中“水和岩石”的基本特性,介绍了“水文地质分类”。该章包括各种岩石类型地下水发生的概况。第三章叙述了地下水流动。在该章中,重点是地下水系统中区域水流的评价,而不是基础设施附近的局部地下水。第四章讨论了地下水均衡的常见项,但也涉及地球岩石类型和天气条件。第五章重点在地下水化学。讨论了一些主要的过程,评价了所选岩石类型的地下水化学性质。最后一章第六章题目是“地下水开发”。在该章中讨论了一些实际问题,包括野外调查和用地下水均衡方法确定地下水可利用量的指南。对于“水文地质学”各个方面的个人培训,增加了一组地下水问题。

最后,我要感谢所有对该教材有贡献的人。首先,我要感谢我的父母,他们给了我在乌特勒支和阿姆斯特丹学习的机会,感谢我的夫人和孩子对我的真诚支持。感谢 J. C. Van Dam 教授, J. J. de Vries 教授, C. A. J. Appelo 和 P. J. M. de Laat 博士认真阅读了本教材的初稿。他们的评论和建议对我很有帮助。最后,我要感谢 Hans Emeis 帮助制图,也要感谢 IHE 的工作人员和学员对该教材的贡献。

J. C. Nonner

译者前言

《水文地质学》一书是荷兰国际基础设施水利环境学院(UNESCO/IHE)水利相关学科的专业基础教材。该书起先是该学院的教学讲义,由努纳教授编写。该讲义得到欧洲同行的高度评价,后经若干年教学完善与修改,于2003年正式出版。

本书阐述了水文地质学的基本概念与原理,对地下水的发生、地下水的运动、地下水的平衡、地下水化学、地下水管理等内容进行了详细和深入的讨论,给出了大量的各国水文地质与地下水方面的实例,并给出了大量例题和练习以巩固理论知识。

本书内容丰富,知识体系完整,深入浅出,实例涉及面广,特别适合用于水文水资源、水文地质学、水环境以及与水相关专业本科生和研究生的参考书,也可作为这些相关专业技术人员的工具书。

本书各章翻译者如下:第一章,邓东升;第二章,刘玉年;第三章,李玉强;第四章,管仪庆;第五章,刘玉年、管仪庆;第六章,缪国斌;练习,邓东升。全书由姜志群、张丹蓉、张仁田、谭炳卿校核,由姜志群统稿。

译者

2005年6月12日

目 录

前 言	(I)
译者前言	(III)
第一章 引 言	(1)
1.1 概 述	(1)
1.1.1 学科研究范围	(1)
1.1.2 水文地质学的应用	(2)
1.1.3 学科的历史背景	(3)
1.1.4 地下水开采历史	(5)
1.2 水文系统	(5)
1.2.1 水文系统的概念	(5)
1.2.2 地球表面水	(8)
1.2.3 地表水系统	(11)
1.2.4 非饱和带	(13)
1.2.5 地下水系统	(15)
第二章 地下水的概念	(19)
2.1 基本概念	(19)
2.1.1 水和岩石的物理性质	(19)
2.1.2 地下水系统术语	(24)
2.2 地下水系统的形成	(27)
2.2.1 变质岩和侵入岩中的地下水系统	(27)
2.2.2 火山岩中含水层的发育	(29)
2.2.3 固结沉积物中含水层的形成	(31)
2.2.4 非固结沉积物和地下水系统	(33)
第三章 地下水运动	(37)
3.1 地下水流原理	(37)
3.1.1 非固结岩石中的地下水流	(37)
3.1.2 固结岩石中地下水流动	(45)
3.2 地下水系统中的水流	(48)

3.2.1	基本概念	(48)
3.2.2	区域地下水流	(50)
3.2.3	局部地下水流	(62)
3.3	水流系统的概念	(65)
3.3.1	水流系统的形成	(65)
3.3.2	水流计算	(67)
第四章	地下水均衡	(69)
4.1	地下水均衡的概念	(69)
4.1.1	基本概念	(69)
4.1.2	地下水均衡式的实际应用	(72)
4.2	估计地下水均衡	(73)
4.2.1	基本概念和补给	(73)
4.2.2	排泄和储存	(77)
4.2.3	用水流计算和模拟进行地下水均衡	(79)
4.3	地下水均衡及其环境	(80)
4.3.1	地下水补给和气候	(80)
4.3.2	地下水均衡和地质学	(82)
第五章	地下水化学	(87)
5.1	地下水及其化学过程	(87)
5.1.1	水和岩石的化学性质	(87)
5.1.2	地下水化学性质的形成	(94)
5.2	地下水化学性质和岩石类型	(98)
5.2.1	固结岩石中地下水的化学性质	(98)
5.2.2	非固结岩石中地下水的化学性质	(100)
第六章	地下水开发	(102)
6.1	地下水管理	(102)
6.1.1	水管理	(102)
6.1.2	地下水的作用	(104)
6.2	地下水的规划与查勘	(105)
6.2.1	水规划	(105)
6.2.2	调查的方法	(106)
6.2.3	地下水监测	(112)
6.3	地下水资源研究	(113)
6.3.1	区域地下水可利用量	(113)
6.3.2	地下水需求	(119)

6.3.3 局部地下水开发	(120)
---------------------	-------

练习

练习 1: 水文地质和岩石类型	(126)
练习 2: 水头的概念	(126)
练习 3: 区域地下水水流的计算	(127)
练习 4: 半承压含水层地下水系统中的地下水流	(128)
练习 5: 地下水模拟	(129)
练习 6: 地下水平衡	(131)
练习 7: 地下水化学	(132)
练习 8: 地下水可利用量	(133)
练习参考答案	(134)
参考文献	(136)

第一章 引言

1.1 概述

1.1.1 学科研究范围

水文地质学定义

水文地质学可以看做是最近兴起的一门地球科学。人们有时对水文地质学精确的定义感到迷惑。尽管 19 世纪已开始使用水文地质学一词,但只是在 20 世纪初科学家 Mead(1919)才给出该术语广泛的含义。他定义水文地质学是“研究地表以下水的发生与运动”。Meinzer (1923)用地质水文学去描述类似的物理过程。

Mead 给出的水文地质学基本定义非常有用。然而,在本教材中,所用的形式稍微有点不同。水文地质学是“对地质环境中地下水的发生、运动及其水化学特性的研究”。该定义强调地质学在地下水研究中的作用,了解研究区域地质情况是水文地质评价的基础。

与其他学科的关系

水文地质学与其他学科的关系如图 1.1 所示。首先,它与数学、物理学、化学基础学科有关,这些学科的知识对充分理解水文地质学是不可或缺的。水文地质学家需要掌握的其他地球科学包括地质学、地表水文学和气象学。然而,没有哪个科学家能掌握所有这些学科的细节。因此,水文地质学领域中的许多研究都是由水文地质学家、地质学家、水文学家和气象学家联合完成的。

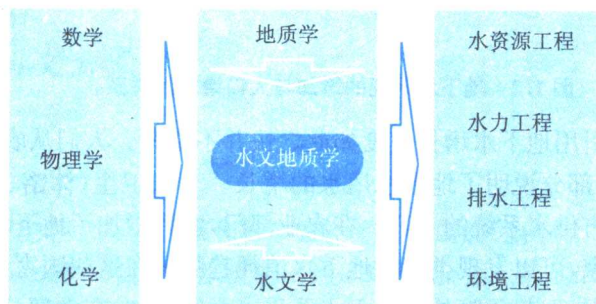


图 1.1 水文地质学与其他学科的关系。

值得提及的是水文地质学与工程也有关系。水文地质学在工程师进行人类福利工程设计中起重要的作用。水文地质学家为工程师提供有关地下水位、地下水资源可利用量和水质

方面的信息,这些信息是工程师进行设计必须清楚的,例如公共和家庭供水、灌溉系统、防洪工程,甚至办公楼和工业建筑物。

1.1.2 水文地质学的应用

工程应用

水文地质学应用于工程的各个领域,在土木工程和农业工程中应用水文地质评价的最重要的领域包括:

水资源工程:即涉及家庭、工业供水以及灌溉工程领域。

水力工程:即本身为水资源工程服务的工程。

排水工程:即涉及低洼地和矿井排水的工程分支。

环境工程:即涉及自然环境保护和开辟新自然环境区的工程。

水资源工程

像水井和井群建设这类水资源工程的设计需要进行水文地质评价。水井为用户提供地下水以满足水需求。在近几十年间,用水和水需求急剧增加。在许多发展中国家和发达国家这一趋势都十分明显。例如,美国地下水消耗的增加比人口增长更快。图 1.2 显示城市用水和灌溉引用地下水,最近引起地下水消耗量的快速增长。

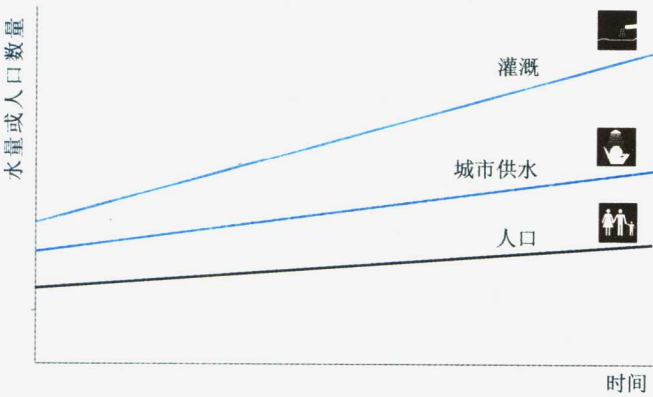


图 1.2 地下水消耗的增加与人口增加的关系。

城市用水和灌溉引用地下水增长速度如此之快并不奇怪。人们从农村进入城市并定居在人口密集城市的趋势,部分说明了地下水用水的增长。个人卫生(沐浴、洗衣机)和草地、花园用水的增加也成为都市供水系统的一环。在农业部门,农民增加了地下水灌溉的耕地。

在许多发展中国家,可以发现类似的地下水消耗趋势。在这些国家,随着城市化的进程以及个人卫生意识的增强,引起了额外的地下水开采。众所周知,在大部分发展中国家地下水灌溉系统增长很快,灌溉部门也有类似的地下水用水趋势。这种现象不仅发生在干旱国家,也发生在由灌溉系统保证的、每年收获二或三季粮食的湿润热带地区。

水力工程

由水力和土木工程师设计的水资源工程和与水有关的工程包括河流分水堰、水库大坝、沿河堤防及河岸、道路和建筑物的基础。考虑到这些建筑物不断增加的复杂性,也考虑到使破坏风险最小化的趋势,水文地质学在该工程领域所起的作用越来越大。例如,在某一区域地下水位的空间分布和波动决定了水资源工程的稳定性计算。

排水工程

排水工程由工程地质学家、矿业专家和农业工程师开发。对工程地质学家和矿业专家来说,水文地质评价在计算建筑物基坑、野外堆场或地下矿井处水泵的抽水能力是很有价值的。基坑和矿井水泵的准确定位是基本的。对农业工程师,水文地质学的知识也是十分关键的,这有助于其安装由井群组成的水平和垂直排水系统。例如,荷兰低洼地区水平排水系统是根据水文地质研究设计的,所安装的系统能够排除多余的浅层地下水流,极大地避免了咸水的上溯。

环境工程

环境工程涉及防止和修复地下水不利作用的措施建立和运行组织,特别是最近十年间,科学家之间已达成充分的共识,地下水是一种必须仔细评价和管理的珍贵资源。这不仅是科学家的思想,也是大多数公众的思想。与地下水资源有关的环境问题有两个基本原因,一是由于水资源工程(包括水井和井群)引起的地下水位下降和地下水衰竭;二是在废弃物处理场由于人类的疏忽、农药的使用、盐水的入侵或简单地由于缺乏卫生保护引起的地下水水质的恶化。

水文地质学不断增加的作用

由上所述可以得出一个结论,水文地质学在许多工程学科中起中心作用。然而,很清楚,不只是水文地质学家或工程师关注水文地质学,其他专业人员,包括“政治家和其他决策者”、环境学家、生物学家,甚至经济学家也越来越多地关注该学科的基本问题。图 1.3(见 141 页)的照片为一群学生在观测岩石露头,进行地质测量培训。地下水现在已不可能再被当作是理所当然的。在可预见的未来,人们不得不为地下水资源的管理和恢复付出极大的代价。

1.1.3 学科的历史背景

学科的发展

在古希腊和古罗马文明中,哲学家和科学家已考虑所谓的“地下水”,他们为降水停止很长时间后的干旱季节的泉水和河流中的水流所困惑。柏拉图(公元前 427~前 347 年)和其他哲学家提供了一个答案。他们认为地下水源于与海洋连通的洞穴。借助于波浪的运动,海水从海洋送到这些洞穴中,再从洞穴送到泉水和河流。他们假设,地下纯化过滤了海水中的盐分,以解释泉水和河水是淡水。

真正对于干旱季节泉水和河流水流的解释是由法国科学家 Perrault(1608~1680)和

Mariotte(1620~1684)提出的。Perrault 认为法国塞纳河流域的降水量很容易解释塞纳河水量。Mariotte 在塞纳河流域进行了入渗实验,并进行了流量测验。他发现,可观数量的降水的确渗到了地下和下伏的岩石,并得出结论,认为这些岩石充当了储水介质,可以滞留泉水,并维持塞纳河的水流一年时间。

19 世纪,水文地质学领域的另一个研究进展吸引了其他科学家广泛的关注。法国水工程师达西(1803~1858)开创了地下水水力学(Darcy,1856)。他用沙子进行实验,得出了著名的计算孔隙岩石地下水“流速”的公式。

水流公式及模拟

自 19 世纪以来,包括上述的 Mead 和 Meinzer(见 1.1.1 节)在内的许多科学家对水文地质学做出了很大的贡献。水文地质学的现代趋势涉及水流公式的推导与模拟、水流系统分析的引入,而关注点在水化学和地下水污染。

基于“达西定律”的水流公式业已推导。包括 Thiem(1906)、Theis(1935)和 Jacob(1950)在内的科学家推导了水井辐射渗流的公式。这些公式考虑的是密度为常数的地下淡水的流动。公式表述了各种自然环境水流向水井的流动。对封闭和开放的地下水系统的水流公式、“软和硬”岩石、恒定和非恒定条件下的水流公式也已推导出来。

此外,还推导了其他类型的公式,例如,涉及各处水密度变化的地下水流。在这方面,也许要考虑许多滨海地区的现象:淡水棱体中的地下水流覆盖于碱水之上。Van Dam(1983)等科学家导出了这些淡水棱体的水流方程,并考虑作用于淡水-盐水交界面位置的地下水系统的各种应力。

井流和变密度水流公式的推导最初是基于解析方法;即用解析法去求解地下水流通用方程。从 1960 年以来,解析方法就不大受关注。基于数值方法的模型很快流行,成为当前大多数水流计算的基础。与解析方法水流方程相比,模拟更适用于描述地下水系统较复杂地区的地下水流。借助于个人计算机,模型的使用快速增加。快速处理运算的能力是现代计算机的最基本特性。

图 1.4(见 141 页)表示现代水流模型的一种应用。该图为荷兰东部复杂沙层地下水系统中人工回灌和水井过渡区模拟计算的地下水流。该模型用于评价人工回灌系统修复敏感区域地下水位的地区。

水流系统分析

水文地质学另一最新发展是引入水流系统的概念。传统上,水文地质的分类主要是基于特定区域的岩石类型。在由 Toth(1962)引进的水流系统概念中,建议分类不仅要以岩石类型为基础,而且要考虑地下水流的分布。例如,该概念已用于荷兰,用地图表示荷兰各个地区的地下水流系统。水流系统的概念提供了地下水分析的一个十分灵活的方法,特别是对于必须研究人类活动对地下水系统影响的地区。

地下水化学和地下水污染

水文地质学另一个最新进展是最近对地下水化学和地下水污染所做的工作。在地下水化学领域,许多科学家,如 Appelo 和 Postma(1996),已关心地下水的化学成分与相关岩石类型

的化学组成间的关系。根据“水类型”进行地下水分类是由 Stuyfzand(1999)率先完成的。裂隙和喀斯特地区地下水流场示踪的研究也在增加。在该领域,化学成分特性的研究是与地下水通过岩石(如玄武岩、流纹岩、白垩岩、石灰岩和白云岩)流径的评价一起进行的。

由于对地下水污染的不断关注,已进行了许多地下水溶质输送方面的研究工作,Bear 和 verrijt(1987),Kinzelbach(1986)等科学家推动了这些方面的研究。在他们的研究中,扩散现象占中心位置,而诸如化学成分的吸附和衰变这样的物理化学进程也给予了考虑。也许最近大部分主题是溶质输送模拟中物理和物理化学过程的耦合。

1.1.4 地下水开采历史

早期历史

自人类早期以来,人们用地下水作为家庭和灌溉用水,泉水即用于此目的,但水井也用于抽取地下水。几世纪前,中国、中东和埃及的古文明中就有筑井实践。由于这些地区缺水,人们筑井在某些情况下达到了令人惊奇的深度。大口径水井常常超过 100 m 深,而所用的只是原始工具。安装钻井设备的水井甚至可以达到 500 m 深。

2500 年前。一种名叫“可汗(Khanats)”的建筑首先在伊朗安装,在地下水开采方面达到了令人惊讶的成就。后来,建筑可汗的工艺传到了阿富汗和埃及。图 1.5(见 142 页)表示可汗系统的粗略轮廓。可汗系统由一系列大口径水井组成,这些井位于沉积岩和冲积层,这些水井由用天然岩石加固的水平廊道连接在一起。可汗系统提取的地下水和截留的水今天仍然用于家庭供水和小型灌溉用水。

最新进展

自 12 世纪以来,修建水井开采地下水在欧洲已变得十分流行,特别是比利时、英格兰、意大利,大量自流井的精心安装促进了钻井技术的使用,以保证当地人家家庭和灌溉用水。传统的螺旋钻井和冲击钻井技术已升级。到了 19 世纪末,旋转钻井技术是一重要的突破。旋转钻井比传统钻井要快得多,钻机首次用于重膨润土泥浆固壁,以保证钻井期间井孔的稳定,不再需要临时套管。20 世纪钻井技术有了进一步的发展,逆旋转钻井方法、气旋冲击钻井方法、地球物理测井技术已被使用。

1.2 水文系统

1.2.1 水文系统的概念

海洋、大气和陆地

水文地质学被定义为“对地质环境中地下水发生、运动及其水化学特性的研究”(见 1.1 节)。当研究水文地质学时,人们不得不关心海洋、大气和陆地起作用的一些过程,有些是相当

间接的,但仍然与海洋和大气有着重要的联系。虽然,水文地质学直接与陆地有关,地下水的发生和运动极大地取决于陆地岩石的结构以及陆地地表处或附近的地貌与天气条件。

可以分别简单地考察一下海洋、大气和陆地的特性。表 1.1 表示洋面和海面面积为 $361 \times 10^6 \text{ km}^2$, 占地球表面约 75%, 其他部分由五大洲的陆面覆盖。海洋的最大部分集中在赤道以南。海洋的深度从边缘海的不足 10 m 到径向穿越太平洋的 11 000 多米。海洋总水量达到约 $1.4 \times 10^9 \text{ km}^3$, 远大于地球最大水体水量。

表 1.1 世界主要水量(Lvovich, 1979)

项 目	面积(10^6 km^2)	水量(10^6 km^3)	百分比(%)
海 洋	361	1 370	94.2
冰盖与冰川	16.2	24	1.65
大气水	504	0.01	<0.01
湖泊与水库	1.55	0.13	<0.01
河 流	<0.1	<0.01	<0.01
地下水	130	60	4.13

大气可分为不同的大气层,大部分大气水在底层:对流层。对流层约 12 km 厚,其温度随高度增加而降低。对流层上层为平流层,奇怪的是在该大气层温度随高度而增加。几乎所有大气水都以气态水汽的形式存在。计算的水当量仅为 $0.01 \times 10^6 \text{ km}^3$ 。由上表可以得出结论,大气中的水量与海洋和陆地相比非常之小。

在陆地上,有关的特征可以在地表观察到,这些特征包括湖泊、水库、小溪、河流。它们的存在和大小取决于该地区的主要气候。例如,最大流量的河流位于热带地区,那里降水量大。降水量不丰富的干旱地区根本没有河流或只有间歇性河流。湖泊、水库、小溪和河流中的水量比较小,仅为 $0.13 \times 10^6 \text{ km}^3$ 。

地表以下的特征包括“硬和软”岩石、熔岩和流体物质。通常应首先考虑一下图 1.6,它表示地球各种内部组成。地球的中心部分为所谓的“地核”,由铁和镍化合物组成。包围地核的约 3 000 km 厚的部分为地幔,由密度为 $3\,000 \sim 4\,000 \text{ kg/m}^3$ 量级的超基性岩组成。地壳为地球最外层,厚度在海洋下的 12 km 到陆地下的 35 km 间变化,岩石密度为 $2\,500 \sim 3\,000 \text{ kg/m}^3$ 。

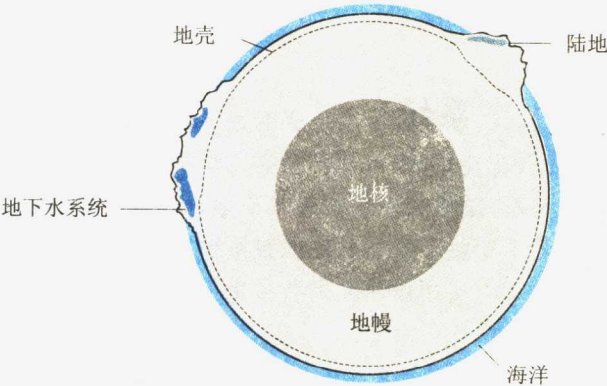


图 1.6 显示陆地地下水系统的地球横断面。

陆地地壳上部分有一水带,通常称为地下水。陆地岩石类型是这些“地下水系统”厚度的指针(见 1.2.5 节)。平均地下水系统厚度为 10 m 和 500 m。然而,在某些海滨平原,地下水系统也许超过 1 000 m 厚。表 1.1 表示地球表面地下水总储量为 $60 \times 10^6 \text{ km}^3$ 量级。该表指出若不考虑冰盖与冰川,地球上大多数淡水储量是以地下水形式存在的。

上面已叙及包含在地球各种环境中的水量,如海洋、大气、陆地。法国水文地质学家 Perrault和 Mariotte 已发现水能从一种环境输送到另一种环境,图 1.7 表示该主要过程。水在海洋蒸发,并以水汽形式通过大气输送到陆地,在陆地上空以雨水、雹和雪的形式降落到地球表面。雨、融雹和雪也许直接落入湖泊、小溪或河流,或渗入地下补给地下水系统。从湖泊、小溪、河流、地下水系统,水流重新流回到海洋中。在海洋中水再次蒸发,输送到陆地,等等。该进程就是水输送的一个循环过程,称为“水文循环”。

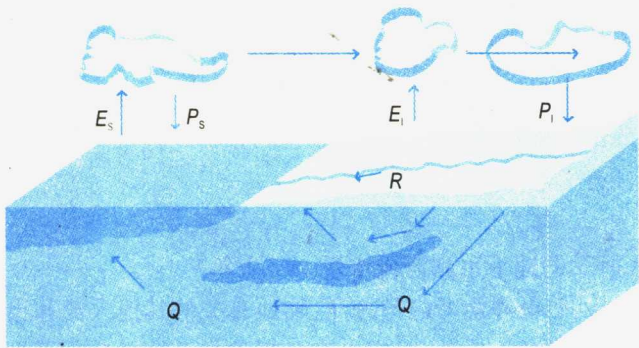


图 1.7 水文循环示意图。

上面所述的过程是一个非常概化的过程,实际上要复杂得多。例如,并非所有的海洋蒸发水都以水汽形式被输送到陆地,部分以降水形式直接回到海洋。也并非所有降落在地表的雨水、冰雹、雪都渗入地下或输送到湖泊、小溪、河流。这一水的相当大部分从地表或土壤中蒸发。另外,并非所有补给地下水系统的水都直接流回到海洋。科学家 Perrault 和 Mariotte 已经得出结论,地下水还可以从地下水系统流入河流。

表 1.2 表示与海洋、陆地相联系的水或水汽的入流和出流。由表 1.2 可以看出海洋蒸发的水量为 $0.43 \times 10^6 \text{ km}^3/\text{年}$,不足该量的 10%,即 $0.036 \times 10^6 \text{ km}^3/\text{年}$ 的水量以水汽的形式输送到陆地。在陆面,该水汽和陆面蒸发的水量以降水形式降落的约 $0.11 \times 10^6 \text{ km}^3/\text{年}$ 。由湖泊、小溪和河流、地下水系统流回到海洋的水量相当于输送到陆地的水量: $0.036 \times 10^6 \text{ km}^3/\text{年}$ 。

表 1.2 全球水流量(Shiklomanov, 1997)

项 目	流量($10^6 \text{ km}^3/\text{年}$)	流量(mm/年)
海洋		
蒸发	0.434(流出)	1 202(流出)
降水	0.398(流入)	1 103(流入)
地下水 and 河流流入	0.036(流入)	
陆地		
蒸发	0.071(流出)	476(流出)
降水	0.107(流入)	718(流入)
地下水 and 河流出流	0.036(流出)	(流出)

图 1.8(见 142 页)表示地球上输送水量返回海洋的大河之一。图中的刚果河汇集了来自喜马拉雅山的水,送回印度洋。目前,由于家庭和灌溉引水,经由刚果河流入印度洋的水量要

少得多。

表 1.2 给出的入流和出流也可看做“水量平衡”。可以仔细地考虑一下水量平衡的概念。对事先定义的环境,如海洋、陆地、湖泊、小溪、河流或地下水系统,都可以建立水量平衡。水量平衡主要是将流入环境的水量与流出环境的水量建立关系。在平衡状态,入流量等于出流量。在非平衡状态,入流量与出流量之差等于蓄水量的变化。在平衡条件下,可以对海洋建立水量平衡公式。考虑到表 1.2 所列的水量平衡项,海洋水量平衡表达式如下:

$$P_s + (R + Q) = E_s \quad (1.1)$$

对陆地,水量平衡表达式为:

$$P_l = (R + Q) + E_l \quad (1.2)$$

式中:

P_s = 海洋降水($\text{km}^3/\text{年}$)

E_s = 海洋蒸发($\text{km}^3/\text{年}$)

P_l = 陆地降水($\text{km}^3/\text{年}$)

E_l = 陆地蒸发($\text{km}^3/\text{年}$)

$(R + Q)$ = 排入海洋的地下水和河流水量($\text{km}^3/\text{年}$)

上述关系正确吗?人们也许会考虑与海洋、陆地有关的其他入流和出流。例如,人们也许会谈及来自地幔岩浆水的入流。另外,人们也许会想象由于泥沙在海底沉降截留水引起海洋储水的出流。然而,这些量比较小或由其他因素抵消了。

1.2.2 地球表面水

对许多水文地质评价,降水是必须考虑的基本参数。因此,了解引起降水的水汽过程十分有用。降水包括降雨、冰雹或雪,是当大气中的水汽达到饱和点时在尘埃周围凝结而成的。横向水汽输送、对流水汽输送和山地作用水汽输送 3 个大气过程进一步促进降水的形成。

由这些过程所致的降水过程可如下描述:

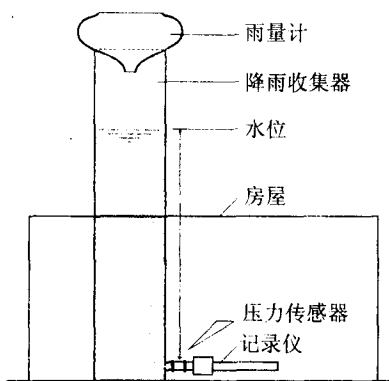


图 1.9 降雨收集器和带压力传感器的记录仪。

1) 当大的暖湿气团进入冷空气中时,可能产生很大的降水,在热带地区尤其如此。

2) 通过对流,暖湿气团爬上冷空气上部,可能产生降水。

3) 由于山脉的存在,水汽丰富的气团沿山坡爬升,当空气到达更冷的区域时,可能产生降水。

是什么决定着不同地方不同时间降水强度的巨大差异呢?为了收集降水资料,并对降水强度进行评价,需要设立相对密集的观测站网。在这些测点处,可以进行累积或连续的降水观测。日或月降水量观测可用标准雨量计或雨量器,连续降水观测应安装自记雨量计。

图 1.9 为最近开发的降水观测设备。配有计算机的

固化记录仪连接到雨量收集器。通过压力传感器,收集器中的水位便储存于记录仪中的计算机存储芯片中。

可用许多方法对降水资料进行处理。例如,“雨量等值线图”。降水深度相等各点连线的雨量等值线图可很好地反映降水的地区分布,图 1.10 为意大利 Dolomites Fundres 河流域雨量等值线图。随地形的升高日降水强度增加,这是流域地形影响的结果。

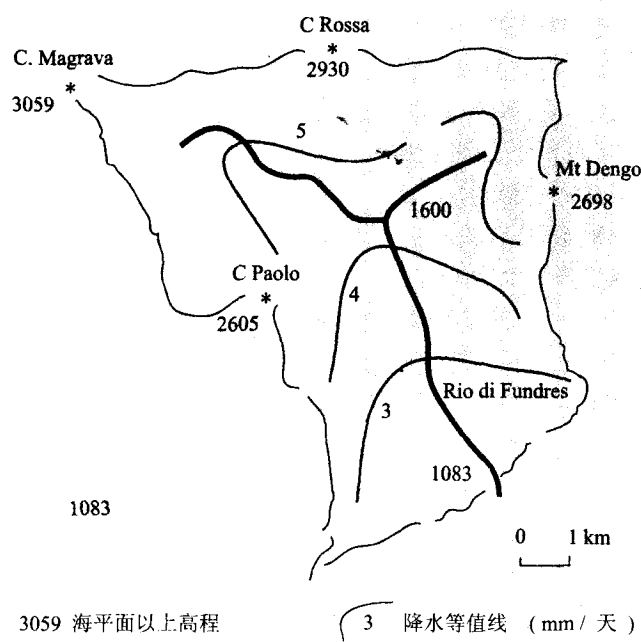


图 1.10 意大利 Valle di Fundres 山区雨量等值线图。

另外,降水强度的时间系列图也十分有用,这些图可表达为日、月或年平均降水强度的时间系列。也可以绘制降水频率图,小时或更短历史降水强度图。

表 1.3 为各大洲降水强度,表中数据基于 Barry(1969)和 Anon(1975)提供的信息。由表可见,除了南美和澳大利亚外,各大洲年平均降水比较接近,在 600~700 mm/年量级。

表 1.3 各大洲降水、蒸发、径流

洲 名	降水(mm/年)	实际蒸发(mm/年)	总径流(mm/年)
非 洲	670	510	160
亚 洲	610	390	220
欧 洲	600	360	240
北 美	670	400	270
南 美	1350	860	490
澳大利亚/新西兰	470	410	60