

Hydrology
An Introduction

水文学导论

[美] Wilfried Brutsaert 著
王忠静 梁友 耿国婷 等译
张 櫓 校译

 气象出版社
China Meteorological Press

CAMBRIDGE

非外借

Hydrology: An Introduction

水文学导论

威尔·布鲁萨 (Wilfried Brutsaert) ◎著

王忠静 梁友 耿国婷 等 ◎译

张 櫓 ◎校译

Hydrology: An Introduction (ISBN 978-0-521-82479-8) by Wilfried Brutsaert first published 2005 by Cambridge University Press all rights reserved.

This Chinese edition for the People's Republic of China (excluding Hong Kong, Macau and Taiwan) is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.

© Cambridge University Press and China Meteorological Press 2017

This Chinese edition is authorized for sale in the People's Republic of China (excluding Hong Kong, Macau and Taiwan) only. Unauthorised export of this Chinese edition is a violation of the Copyright Act. No part of this publication may be reproduced or distributed by any means, or stored in a database or retrieval system, without the prior written permission of Cambridge University Press and China Meteorological Press.

此版本仅限在中华人民共和国境内(不包括香港、澳门特别行政区及台湾省)销售。

图书在版编目(CIP)数据

水文学导论 / 王忠静, 梁友, 耿国婷编译. -- 北京:
气象出版社, 2017. 7

书名原文: Hydrology: An Introduction

ISBN 978-7-5029-6166-4

I. ①水… II. ①王… ②梁… ③耿… III. ①水文学
IV. ①P33

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 161575 号

北京版权局著作权合同登记: 图字 01-2017-4917

Shuiwenxue Daolun

水文学导论

威尔·布鲁萨(Wilfried Brutsaert) 著

王忠静 梁友 耿国婷等 译 张 橹 校译

出版发行: 气象出版社

地 址: 北京市海淀区中关村南大街 46 号

邮政编码: 100081

电 话: 010-68407112(总编室) 010-68408042(发行部)

网 址: <http://www.qxcbs.com>

E-mail: qxcbs@cma.gov.cn

责任编辑: 蔺学东

终 审: 张 斌

封面设计: 八 度

责任技编: 赵相宁

印 刷: 北京地大天成印务有限公司

开 本: 787 mm×1092 mm 1/16

印 张: 29.5

字 数: 762 千字

版 次: 2017 年 7 月第 1 版

印 次: 2017 年 7 月第 1 次印刷

定 价: 196.00 元

本书如存在文字不清、漏印以及缺页、倒页、脱页等, 请与本社发行部联系调换。

本书及著者介绍

本书是一部面向自然学科和工程学科大学本科生与研究生的水文学基础教科书,由威尔·布鲁萨(Wilfried Brutsaert)教授凭借其在美国康奈尔大学四十多年的水文学教学经验与精湛的水文学研究成果,潜心数年撰写而成。本书系统介绍了水循环相关的基本概念,详细描述了水在自然界的分布特性和运动规律,并穿插了对水文学发展简史的介绍,提出了当今水文学研究中所面临的各种挑战。

针对陆地上水的传输过程主要发生在大气、地表表面和地表以下的特点,本书也分为相应篇章进行描述:第一部分介绍大气水;第二部分描述水在地表的传输过程;第三部分关注地表以下的水。为使读者更容易阅读和应用相关知识,本书还设计了第四部分,着眼于水在流域尺度的流动现象以及在水文数据分析中一些有用的统计概念;最后,以对水循环认识历程及水文学发展历史的简要回顾作为全书的结束。

本书既是一本很好的大学水文学教材,同时还可为水文学、环境科学、气象学、农学、地质学、气候学、海洋学、冰川学以及其他地球科学的科研人员和工程师提供参考,用途广泛。需要说明的是,研究自然界的水文现象一般是按照其实际发生的时空尺度进行的,故书中引入并推导了一些描述这些现象所需的物理和数学方程。但由于这些物理和数学方程涉及的概念略显复杂,读者须具备微积分和流体力学的基本知识。

威尔·布鲁萨教授是美国康奈尔大学终身教授,在其多年的研究和教学生涯中,发表了 170 多篇重要的期刊论文,出版了关于水的运动规律的经典姊妹专著:《大气蒸发:原理、历史和应用》(D. Reidel Publishing Company 出版,1982)和《水面上的气体传输》(与 G. H. Jirka 合著, D. Reidel Publishing Company 出版,1984)。由于威尔·布鲁萨教授在水的蒸发机理和规律研究中的专著和杰出贡献,被同行尊敬地誉为“蒸发先生”(evaporation man)。本书是其在两部专著基础上关于水循环机理与规律总结性描述的再次进阶,值得研读。

威尔·布鲁萨教授现为美国工程院院士,在其几十年的研究和教学工作中,获得了许多荣誉和奖励,包括美国地球物理联合会的最高奖 William Bowie 奖及 Robert E. Horton 奖章,美国气象学会的 Jule G. Charney 奖,美国水文研究所 Ray K. Linsley 奖,日本水文水资源学会的国际奖等。此外,他还是多个重要学术团体的成员,如美国地球物理联合会及美国气象学会会员,美国地球物理学会的 Walter B. Langbein 讲席教授,1992—1994 年还担任过美国地球物理联合会水文专业委员会主席。

序 一

刘昌明

(中国科学院地理科学与资源研究所研究员,中国科学院院士)

Wilfried Brutsaert 教授是当今国际著名的水文学家,他的《Hydrology: An Introduction》(《水文学导论》)在国际水文学、水资源学界很有影响,为欧美多所著名大学普遍用作教材。现在该书的中译本行将付梓,无疑是我国水文水资源领域教学研究中的一件大事。

中国学术界经过几代人的努力,已经建立起一套符合我国实际、基本适用于多学科人才培养需求的水文学教材体系。与诸多国内外教材相比,Brutsaert 教授的这本《水文学导论》在基础性、系统性和探索性方面更有独到之处。这样一部体大思精、推证严密的著作,对于广大青年学生乃至科研工作者而言,都具有重要的学习意义和参考价值。

1981 年秋,我在美国康奈尔大学结识了 Brutsaert 教授,他是我的老朋友。他深厚的数理功底给我印象很深。在《水文学导论》中,随处可见的数理方程,这在国内外水文学教材中并不多见。这些方程的重点在于对蒸发、入渗、产流等基本水文过程的机理性描述,与环境、气象等相关学科的研究方法相近。书中所建立的模型十分基础也十分经典,为广大学子日后在研究具体问题创建使用更复杂、更高级的模型提供了认识与方法方面的有效入口。可见,Brutsaert 教授不但希望学生对水文现象“知其然”,更希望能“知其所以然”,重点在于授人以“渔”而非授人以“鱼”,这是《水文学导论》一以贯之的优长之处。此书的基本格局虽然是一部教材,但也可谓 Brutsaert 教授对自己多年来研究心得的一次集中梳理与知识的无私奉献,相信我国广大青年学子与科研工作研究者可以从中得到有益的启迪。



2016 年 10 月 5 日

序 二

张建云

(南京水利科学研究院院长,中国工程院院士)

20多年前,我在爱尔兰国立大学攻读博士学位时,Wilfried Brutsaert先生已经是十分著名的前辈水文学家。我曾拜读过他的不少研究成果,也聆听过他的学术报告,其睿智风范与深厚造诣令人景仰。在同时代学者中,Brutsaert先生尤以其对蒸发现象的精湛研究而蜚声国际,他发表的许多关于蒸散发计算和模拟的论文为当今国内外水文学者学习并作为经典参考文献引用。Brutsaert先生2005年出版的《Hydrology: An Introduction》(《水文学导论》)更是一部篇幅宏伟、水文基础知识极为系统和丰富的巨著。

他山之石,可以攻玉。近20年来,随着我国高等教育日益与国际接轨,一批国外经典教材纷纷引进,对各学科发展及教育教学产生了十分积极的影响。这些经典教材的共同特点是普遍出于国际一流学者之手,因此表现出不寻常的宏阔器局与高远视野。他们善于总结学科发展历程,并与自身研究的感悟结合,对“基础”如何作用于“前沿”有着独到的认知,对学科发展演化历史有着深刻的洞见。因此,这些经典教材或“举重若轻”,或“举轻若重”,其手眼独到之处,往往不可替代。

毫无疑问,Brutsaert先生的《水文学导论》就是这样的一部经典教材。他用一种看似普通却内在严谨的衔接方式将水文学的基础理论与应用框架向读者和盘托出,整体把握与分别讲解皆十分透辟,内涵丰富。这部教材源于Brutsaert先生在美国康奈尔大学多年讲授水文学的课程讲义,可以看出他的日常教学保持着极高的标准,表现出一位优秀科学家的坚持;而在篇末的《后记》中,他又以科学史家的姿态将人类对于水文现象的认知过程娓娓道来,展示出他对于水文学发展“内在理路”的独到提炼。养成对本学科发展历程进行不断检视与反思的习惯,对于那些有志于进行基础性研究与创新性探索的青年学子无疑十分重要。

在我国现行的自然与工程学科教学体系中,水文学是一门十分重要的基础课

程。世界高等教育的发展历程证明,基础教材的更新与前沿研究的推进大都呈现出相互促进的密切关系。在此我诚挚希望看到有更多的中国学者在追赶国际学术前沿的同时,不断参考借鉴这些国外经典教材,立足自身研究与思考,早日编写出具有中国特色与世界水平、能够为国外名校竞相翻译使用的精品教材,这也是我们从科研大国迈向科研强国的题中之义。

论著翻译是一项十分辛苦且些许枯燥的工作。当我看到王忠静教授组织翻译的《水文学导论》中译版即将付梓,不禁使我想起上世纪 90 年代我花费了近 3 年时间,在工作之余组织翻译出版由美国 David Maidment 教授主编的《Handbook of Hydrology》(《水文学手册》)时的艰苦和寂寞,同时对忠静教授所表现出的勤奋与严谨表示由衷的敬佩,也为这部书的丰富与厚重而感叹。故,我乐为本书中译版作序。



2016 年 8 月 30 日

前 言

水以其各种不同的形态,常常引起人们的疑惑、好奇和关注。本书旨在系统介绍与水循环相关概念的基础上,全面描述水在自然界的分布特征和传输过程,从水文循环过程的各个环节入手,使读者能够更深入地了解水文学,理解其永不停歇的循环特征。

水在陆地上的传输过程主要发生在大气、地表及地表以下。对此,本书也相应分别进行描述。第一篇重点描述水汽通过低层大气的情况,由三章组成:第2章对水的大气输送进行整体描述,第3章和第4章分别运用第2章的基本概念来讲述降水和蒸发过程。第二篇主要描述地表水的运动过程,也由三章组成:第5章介绍水力学中的自由表面流原理,然后运用这些原理在第6章和第7章分别介绍坡面流及明槽(河道)流的演算方法。第三篇主要研究水在地表以下的运动,同样用三章篇幅阐述:第8章综合介绍多孔介质流,并在第9章用于分析渗漏现象和毛细吸水现象,第10章则分析地下水排水和基流。在描述了地表径流与地下径流的基础上,第四篇则开始从流域尺度深入分析降水对水文现象特别是径流量(包括地表径流和地下径流)的影响:第11章描述不同产流机制的交互作用和亚尺度问题的处理方法,第12章接着介绍一些现有的水文参数的确定方法,第13章简明概括和描述了水文数据分析中一些常用而有效的统计概念。最后以第14章对水文循环规律认识的发展历史进行简要回顾作为后记结束全书。这个回顾是为了提醒我们,今天对水文学的理解是那些所谓老的观点经历几个世纪的发展和演变的结果。如果我们能够铭记美国哲学家桑塔耶纳(Santayana)的格言^①,以史为鉴,那么就可以避免最近几次的水文“新发现”。

陆地水文循环中的水汽输送所发生的时空尺度与我们的日常生活尺度相关,可以用现有的数据加以研究。水文学是一门自然科学,而自然科学的语言是数学。因此本书引入了近似假设,并推导出数学方程和参数值,用以描述陆地水文循环中不同阶段的机理。这些方程要经过仔细的检验和分析,并在可能的情况下,如在某

^① 忘记历史,就会重蹈覆辙(those who can not remember the past are condemned to repeat it)。

些特殊情形和特定的边界条件下得出解析解。引入数理方程的目的,首先在于更好地理解水文现象的结构及其内部假定,以及它们表现出来的物理性质,其次是提供基础背景知识,以便在实际运用中建立更复杂的模型并用以模拟和预测。

本书所用的素材都来自我在康奈尔大学土木与环境工程学院讲授水文学课程和举办相关讲座时所使用的讲义。我在书中没有打算覆盖所有可能的角度和观点,而是沿着一条主线展开,以便学生能够全面理解最重要的水文学现象,并激发其深入学习的兴趣,这种方法在历年的教学中被证明是 very effective 的。同样,书中也没有试图列举一份完整的参考书单,而是引用相关书目中的一些关键研究成果,以便读者藉此追踪水文学的重要发展历程。

正如书名所表达的,本书定位为了一本导论,是作为水文学的入门教材,供具备微积分和流体力学基础知识的理工科高年级学生和一年级研究生学习参考。书中也包含了一些提高内容,教师可根据教学目的和学生能力有所取舍。为方便挑选,本书使用了两种字体格式印刷。基本内容使用宋体字印刷。本书对于这部分内容的组织,力图在经验丰富的教师课堂讲解帮助下,学生们无需更多额外知识即可掌握要点。按照作者经验,可以在第一学期完成。对于提高学习内容,则以楷体字印刷,以便与基础内容区别。这部分可以作为第一学期的选修部分或者扩充阅读的内容,或者作为第二学期提高课程的教学内容。在康奈尔大学,这部分内容也已经作为其他更专业的课程,如地下水文学(第 8、9、10 章)和边界层气象学(第 2、3、4 章)的重点教学内容。

本书主要适用于水文学专业的学生,同时可以作为环境科学、气象学、农学、地质学、气候学、海洋学、冰川学及其他地球科学专业的科研人员和工程师的参考用书,也可为因专业需要有志于研究水文学基本概念的学者提供参考,用途广泛。此外,我希望本书将有助于那些研究流体力学并以此去探索自然界奥秘的研究人员。

Wilfried Brutsaert

Ter nagedachtenis van mijn ouders Godelieve S. G. Bostijn(-B.) en Daniel P. C. B.

妻トヨに捧げる

And to the life of Siska, Hendrik, Erika and Karl.

目 录

本书及著者介绍

序 一

序 二

前 言

第 1 章 绪 论	1
1.1 定义	1
1.2 水文循环	1
1.3 全球水量平衡	3
1.4 水文学研究的一般方法	5
1.5 流体的守恒定律	9
参考文献	13
习题	14

第一篇 水在大气中的运动

第 2 章 大气水:低层大气的流体力学特征	17
2.1 大气中的水汽	17
2.2 流体静力学和大气稳定性	21
2.3 水汽的紊动输移	25
2.4 大气边界层	26
2.5 紊流相似性	29
2.6 地面边界条件:能量平衡约束	38
参考文献	49
习题	52
第 3 章 降 水	55
3.1 降水的形成	55
3.2 主要的降水天气系统	57
3.3 地面降水分布	63
3.4 截留	68

3.5 降水量测量的可靠性	73
参考文献	76
习题	81
第4章 蒸发	83
4.1 蒸发机理	83
4.2 质量传输方程	84
4.3 能量守恒及相关公式	87
4.4 水量平衡法	100
4.5 蒸发的气候规律	104
参考文献	106
习题	111
 第二篇 水在地表的运动	
第5章 地表水:自由表面流的流体力学特征	117
5.1 自由表面流	117
5.2 水力学理论:浅水运动方程	118
5.3 摩擦比降	121
5.4 自由表面流求解	126
参考文献	141
习题	143
第6章 坡面流	146
6.1 基本方程	146
6.2 运动波方法	148
6.3 集总式运动波方法	154
参考文献	156
习题	157
第7章 流量演算	159
7.1 洪水传播的两种极端情况	159
7.2 集总式运动波方法:马斯京根法	164
7.3 马斯京根参数估计	169
参考文献	176
习题	177

第三篇 水在地下的运动

第 8 章 土壤水和地下水:多孔介质的流体力学特征	185
8.1 多孔介质	185
8.2 有空气存在条件下的孔隙水静力学	186
8.3 多孔介质中的水分运动	197
8.4 质量守恒和动量守恒场方程	212
参考文献	220
习题	225
第 9 章 渗流和非饱和流	229
9.1 入渗的基本特征	229
9.2 非重力下的入渗能力:吸附作用	231
9.3 入渗能力	241
9.4 降雨入渗	245
9.5 流域尺度的入渗和其他“损失”	252
9.6 毛细管上升和表层土壤蒸发	254
参考文献	262
习题	266
第 10 章 地下水出流和基流	270
10.1 滨岸非承压含水层中的水流	270
10.2 自由表面流:第一近似	278
10.3 地下水动力学方法:第二近似	281
10.4 线性化地下水力学方法:第三近似	293
10.5 倾斜含水层中的运动波法:第四近似	305
10.6 流域尺度基流的参数化	307
参考文献	316
习题	319

第四篇 流域尺度降水径流关系

第 11 章 产流机制及参数化	325
11.1 滨岸区和上游河源区	325
11.2 滨岸区暴雨径流机制	326
11.3 产流机制及其参数化方法小结	335

参考文献	337
第 12 章 流域尺度下的径流响应	341
12.1 定常线性响应:单位线法	341
12.2 线性响应函数的识别	345
12.3 定常非线性集总响应	360
12.4 非定常线性响应	363
参考文献	365
习题	367
第 13 章 水文频率分析基本要素	372
13.1 随机变量及概率	372
13.2 概率分布函数概要	373
13.3 离散变量的概率分布	379
13.4 连续变量的概率分布	381
13.5 历史记录外延	396
参考文献	400
习题	404
第 14 章 后记——水循环认知的发展简史	407
14.1 早期概念:大气水循环	407
14.2 古希腊	408
14.3 拉丁时代	415
14.4 实验:使哲学发展为科学	420
14.5 总结	430
参考文献	430
附录 1 相关的数学知识	435
附录 2 术语表	442

第1章 绪 论

1.1 定义

“水文学”从字面上理解,似乎就是关于水的科学;词源上,该词源自古希腊语的复合词,由水与理论复合而成。显而易见,这样定义的水文学的概念过于宽泛而不实用,因为它涵盖了所有学科的分支。

实际上,水文学一词一直没有得到很好的定义,甚至到20世纪60年代仍旧没有明确水文学所涵盖的内容。Price和Heindl(1968)通过调研过去百年的文献,找出对水文学的种种定义,得出的结论是他们所做的文献综述并未解决“水文学是什么”这个问题。但普遍认为水文学是一门物理科学,主要研究陆地和近海地区的水循环过程,而且其内涵还在不断扩大,甚至还包含社会经济层面。

在过去的几十年中,该领域研究层次的不断提高,使得研究日趋成熟,对水文学的定义也更加明确。广泛接受的一个定义为“水文学是一门研究水在自然界的循环过程的学科”(Eagleson,1991),其研究内容具体如下:

——陆地水循环过程,即各种尺度下的陆地水(固、液、气)沿不同路径的物理化学变化过程,包括直接影响水循环的生物过程;

——全球水量平衡,即水在全球系统的不同载体如大气层、海洋及陆地间进行形态转化(固、液、气)的时空特征,包括在这些载体中的储存水量和存储周期。

由水文学的定义可知,水文学主要研究陆地水循环过程,它与气象学、气候学、海洋学、冰川学不同。这些学科在研究水循环时有其各自特定的范围,如大气、海洋、冰川等。同时,水文学又与这些地球科学有着密切的关系,因为水文学通过全球水量平衡将这些独立载体间的水量交换联系起来。

根据这个定义,可以划分水文学分析在工程学科及其他应用学科的应用范围。它的应用包括确定在天然状态下,即没有直接的人为调控或干扰的情况下指定地点、指定时间的水量或流量。不考虑人类调控影响是水文学区别于水力学相关学科的必要条件。水力学主要研究在定义好的条件通常为人工环境下受控流体的运动过程。例如,管流、灌溉用水配置或者地下水抽取等问题都不属于自然界水文现象,而一般属于水力学的范畴。

1.2 水文循环

水循环也称水文循环,是指水在自然界的传输路径。水以各种形态穿越大气层降落到地面,并经陆地汇入海洋或者蒸发到大气层。水汽在大气层中凝结并降落到陆地湿润地表,其中一部分以地表截留的方式储存在地面,并最终被蒸发。如果降雨(雪)持续一段时间,一部分降

雨(雪)将以坡面流或者地表径流的方式沿地面传输,另一部分则渗入土壤层。地表径流很快发生局部蓄积,有些以坑洼蓄水的方式蓄积在水坑或者小池塘里,有些蓄积在沟渠或者大的河槽里,然后以河川径流的方式继续向前输送,并最终汇入更大的水体如湖泊或者海洋中。河川径流通常用流量过程线来描述,流量过程线是水文站记录的流速随时间变化的函数。下渗水可以快速流过浅层土壤汇入泉水或者临近河道,或沿纵断面缓慢过滤后汇集成为地下水,并最终渗出土壤层,补充到天然河道、湖泊及其他开放水体。部分下渗水则由于毛细管作用或者其他因素吸附在土壤层中,可被植物根系吸收。

土壤层及其他具有可传输水分孔隙的地质结构统称为含水层。直接与地表相连的含水层称为潜水层。潜水层中水压等于大气压强的位置称为潜水面。虽然潜水面不是区分饱和带与干燥区的自由水面,但潜水面有时被假定为潜水层的上边界。潜水层中位于潜水面和地表间的半饱和带有时被称为包气带。在潜水层中,地下水通常指潜水面以下的水;而土壤水则指潜水面以上的水。由不透水层隔开的含水地质层称为承压含水层。河川径流由地表径流和滨岸含水层(沿河岸分布)的地下径流共同补给。由地下水出流补给的河川径流通常称为基流;在没有降雨形成暴雨径流时,基流也称为枯水径流或者晴天径流。

水文循环以蒸发为结束,使水以不同路径经过不同存储阶段转化,最终回归到大气中。通过植物气孔的蒸发也可称为蒸腾。水面或土壤表层的直接蒸发与植物的蒸腾不易区分,因此两者通常统称为蒸散发。冰的蒸发通常称为升华。某些情况下区分这几个概念是有必要的,但大部分情况下可用蒸发一词来统一描述各种汽化过程。水循环的主要过程可参见图 1.1。

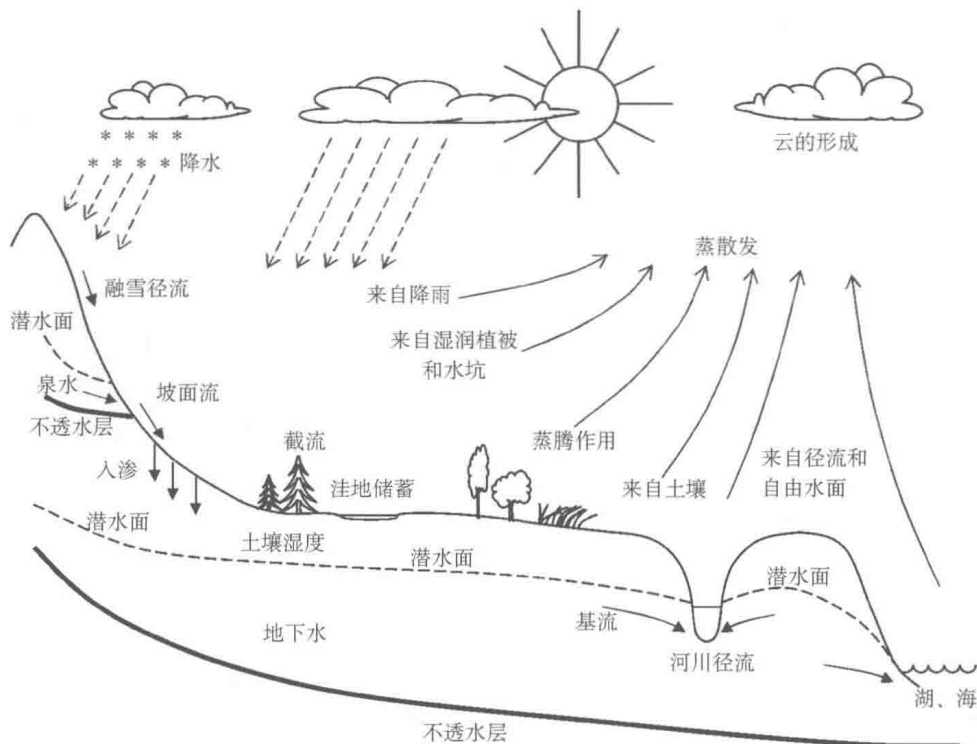


图 1.1 陆地水循环主要过程示意图

1.3 全球水量平衡

有关全球尺度下水量平衡中最重要组成部分估算方面的研究已经不计其数。由于估算所需的数据远远不够,因此目前使用的众多方法有待进一步评价。不过也有相当多的学者认为,在一定的范围内这些估算值非常有用,可以反映全球不同气候区的多年平均值。

如表 1.1 所示,全球多年平均降水量及蒸发量约为 1 m。陆地的平均雨强 P 大约为 $0.80 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$,而相应的蒸发强度 E 约为 $0.50 \text{ m} \cdot \text{a}^{-1}$,或为降水的 60%~65%。在长期稳定条件下,剩余部分以径流的形式从陆地流入海洋,用 R (单位时间内的水柱高)表示:

$$R = P - E \quad (1.1)$$

表 1.1 全球水量平衡估算

单位: $\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$

参考资料来源	陆地			海洋		全球
	(面积 $1.49 \times 10^8 \text{ km}^2$)			(面积 $3.61 \times 10^8 \text{ km}^2$)		
	P	R	E	P	E	$P=E$
Budyko(1970,1974)	0.73	0.31	0.42	1.14	1.26	1.02
Lvovitch(1970)	0.73	0.26	0.47	1.14	1.24	1.02
Lvovitch(1973)	0.83	0.29	0.54	—	—	—
Baumgartner 和 Reichel(1975)	0.75	0.27	0.48	1.07	1.18	0.97
Korzoun <i>et al.</i> (1978)	0.80	0.315	0.485	1.27	1.40	1.13

按陆地总面积和多年平均来看,年径流量 R 相当于降水量的 35%~40%。除南美洲及南极洲外(表 1.2),各大陆平均值与全球平均值相差不大。全球许多地区一直对降水及河川径流进行有序观测,但蒸发数据还未引起足够的重视,目前也还没有系统测量蒸发的有效方法。

表 1.2 根据现有数据估算的陆地平均降水量(和河川径流量)*

单位: $\text{m} \cdot \text{a}^{-1}$

	欧洲	亚洲	非洲	北美洲	南美洲	澳大利亚和大洋洲	南极洲
陆地面积比例(%)	6.7	29.6	20.0	16.2	12.0	6.0	9.5
参考资料来源							
Lvovitch(1973)	0.734	0.726	0.686	0.670	1.648	0.736	—
	(0.319)	(0.293)	(0.139)	(0.287)	(0.583)	(0.226)	—
Baumgartner 和 Reichel(1975)	0.657	0.696	0.696	0.645	1.564	0.803	0.169
	(0.282)	(0.276)	(0.114)	(0.242)	(0.618)	(0.269)	(0.141)
Korzoun <i>et al.</i> (1977)	0.790	0.740	0.740	0.756	1.600	0.791	0.165
	(0.283)	(0.324)	(0.153)	(0.339)	(0.685)	(0.280)	(0.165)

注: * 相应蒸发值可由方程(1.1)计算。