



环境水文学

Environmental Hydrology

张仁铎 编著



中山大学出版社

环境水文学

Environmental Hydrology

张仁铎 编著

中山大学出版社

· 广州 ·

版权所有 翻印必究

图书在版编目 (CIP) 数据

环境水文学/张仁铎编著. —广州: 中山大学出版社, 2006. 12
ISBN 7-306-02815-4

I. 环… II. 张… III. 环境科学: 水文学 IV. X143

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 134985 号

责任编辑: 李海东

封面设计: 曹巩华

责任校对: 何 凡

责任技编: 何雅涛

出版发行: 中山大学出版社

编辑部电话 (020) 84111996, 84113349

发行部电话 (020) 84111998, 84111160

地 址: 广州市新港西路 135 号

邮 编: 510275 传真: (020) 84036565

印 刷 者: 中山大学印刷厂

经 销 者: 广东新华发行集团

规 格: 787mm×1092mm 1/16 16 印张 400 千字

版次印次: 2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷

定 价: 32.00 元

本书如有印装质量问题影响阅读, 请与承印厂联系

作者简介

1982年毕业于武汉水利电力大学,1984年赴美留学,在亚利桑那大学分别于1986年和1990年获硕士学位和博士学位。然后在美国农业部—国家实验室作研究,1993年在美国怀俄明大学任教,1998年成为该校终身教授。2000年被教育部聘为“长江奖励计划特聘教授”,在武汉大学就职。现为中山大学“百人计划”第一类引进人才,博士生导师,国际《环境质量杂志》(JEQ)和《美国土壤学会杂志》(SSSAJ)编委。曾获SSSA(美国土壤科学学会)Fellow奖和ASA(美国农业科学学会)Fellow奖(这些学会的最高奖励)。共发表学术论文100多篇(其中SCI收录90余篇,EI收录20余篇),出版学术专著4部。

内 容 提 要

本书较全面地概括了国内外有关环境水文学方面的知识。全书共 15 章, 主要介绍水资源和水文循环的各种过程, 包括降雨、截流和降雪过程, 土壤水和渗流过程, 蒸发-蒸腾过程, 径流过程, 以及地下水变化过程; 同时介绍水文过程对环境的作用和影响, 包括土壤侵蚀及其控制、河流泥沙及河川过程、湿地水文学; 除了讨论水文循环中的水量的时空变化规律外, 还讨论水质特性和管理; 另外, 还介绍水文和流域分析方法以及环境水文学中涉及的社会与经济问题。

本书适合作为环境科学、环境工程、水资源管理、水文地质、土壤科学、农田水利、流域管理、农业生态学、地理学等专业大学生的参考教材, 也可用作相关专业科研、教学、工程技术人员的参考书。

前 言

水资源和土地资源是人类赖以生存的最重要的自然资源,因此,环境和流域管理中所涉及的许多主要的课题就是怎样对水资源和土地资源进行管理。水文过程(水量)和水质问题是环境和流域管理中关键的组成部分,同时,我们必须意识到土地生产力、生态系统功能以及河川形态也是环境和流域管理的重要组成部分。也就是说,环境和流域管理不仅需要研究水资源的保护,而且需要研究土地和植被资源的生产能力和持续性。

环境水文学的基础知识对于开发和管理自然资源、利用和保护环境是十分必要的。在水资源项目和环境工程的设计中,比如水库以及其他控制洪水、航运、灌溉和改善水质等项目的设计和管理中,都直接应用到水文学知识。水文学知识还帮助我们去满足供水需要、避免洪水损失和保护江河湖泊的水质等。作为一门应用广泛的学科,水文学与其他许多学科交叉,如地质学、环境科学、土壤科学、气象学、农业科学、生态学、海洋学等。

“环境水文学”是作者在美国怀俄明大学讲授的课程之一,选课的学生包括来自不同院系的10多个学科的本科生和研究生,如水文学、环境科学、环境工程、水资源管理、地质学、土壤科学、流域管理、农业生态学、石油工程、土木工程、地理学、气象学等。本书就是在作者多年教学和科研的基础上完成的。

本书共包括15章:第1章是引言。第2章至第8章较系统地讨论环境和流域管理中的基本水文学过程,包括降雨、截流和降雪过程,土壤水和渗流过程,蒸发-蒸腾过程,径流过程,深层渗漏以及地下水变化过程。在土壤和水资源开发利用中忽略土地管理会产生许多负面的影响,在本书中讨论了这类问题的产生和防治。第9章讨论土壤侵蚀和土体的稳定性问题。第10章介绍土壤和植被的改变怎样影响河流的流量和水质,进而影响到河道的泥沙、形态以及河流的稳定性。由于湿地的重要性正日益重要,所以第11章讨论流域管理中的湿地水文学问题。水资源包括水量和水质两个方面,水的污染和水质恶化导致可利用水资源的减少正成为日益严重的环境问题,因此在第12章和第13章中着重讨论水质问题,包括水质特性和水质管理。为了能从现象和观测资料认识到水文过程的机理,第14章介绍了一些常用的水文分析方法。近年来,人们越来越认识到上、下游区域联系的重要性,也越来越认识到要解决这些区域问题,以及对许多自然资源问题建立起持续的解决方案,都需要政策的帮助,因此第15章讨论流域管理中的政治、经济和政策方面的问题。书末还附有大量参考文献。

本书的出版得到两项国家自然科学基金(编号:50579079和50528910)的部分资助,一并致谢。

张仁铎
2006年10月

目 录

第1章 引 言	(1)
1.1 流域管理中的问题及对应策略	(1)
1.2 以全球观点来看待流域管理问题	(3)
1.2.1 土地和水资源的短缺	(3)
1.2.2 水文气候中的极端事件：流域管理的作用	(4)
1.3 流域生态系统管理和累积效应	(5)
1.4 调和流域和行政管理之间的界限	(6)
1.5 预防策略：流域管理的关键	(6)
第2章 水资源和水文循环	(8)
2.1 水文循环过程	(8)
2.1.1 降水	(9)
2.1.2 蒸发	(10)
2.1.3 腾发	(10)
2.1.4 蒸腾	(10)
2.1.5 渗流	(10)
2.1.6 深层渗漏和地下水补给	(10)
2.1.7 径流	(11)
2.1.8 侧向流	(11)
2.1.9 地下水	(11)
2.2 水资源	(11)
2.3 水文学的重要意义	(12)
思考题	(13)
第3章 降雨和截流	(14)
3.1 大气中的水分	(14)
3.2 降水过程	(15)
3.2.1 锋面降雨	(16)
3.2.2 山形降雨	(17)
3.2.3 对流降水	(17)
3.3 降水的测量	(17)
3.3.1 测量方法	(17)
3.3.2 计算平均降雨量的方法	(19)

3.4 降雨的分析方法	(22)
3.4.1 估计迷失的测量点的降雨量	(22)
3.4.2 数据系列的修正	(23)
3.4.3 频率分析	(24)
3.4.4 降雨深度与面积和时段的关系	(25)
3.5 截流和净降水	(26)
3.5.1 截流的组成部分	(26)
3.5.2 贯穿流	(27)
3.5.3 干流	(28)
3.5.4 截流过程	(28)
3.5.5 截流的水文学意义	(28)
3.6 降雨化学	(29)
思考题	(30)
第4章 降 雪	(32)
4.1 雪资源的测量	(33)
4.1.1 雪的勘测	(33)
4.1.2 遥感方法	(33)
4.2 雪的累积与融化	(34)
4.2.1 积雪的变形	(34)
4.2.2 冷容量	(34)
4.2.3 积雪的液态持水能力	(35)
4.2.4 积雪的能量平衡关系	(35)
4.2.5 一般融雪公式	(36)
4.2.6 温度指数法	(39)
4.3 积雪化学	(40)
4.4 预测积雪-融雪关系的方法	(41)
4.4.1 融雪的预测	(41)
4.4.2 融雪径流的预测	(43)
思考题	(43)
第5章 土壤水和渗流过程	(45)
5.1 土壤中的基本关系	(45)
5.2 土壤水能量	(47)
5.3 水在土壤中的运动	(48)
5.3.1 达西定律	(48)
5.3.2 土壤水流运动的一般方程式	(51)
5.3.3 渗流方程	(52)
5.4 影响渗流过程的因素	(54)

5.5 渗流的测量方法	(55)
思考题	(55)
第6章 蒸发-蒸腾过程	(57)
6.1 腾发过程	(57)
6.1.1 能量流	(57)
6.1.2 辐射	(58)
6.1.3 能量平衡	(59)
6.1.4 水流运动	(59)
6.1.5 气流运动	(61)
6.2 蒸发	(62)
6.2.1 水体表面的蒸发	(62)
6.2.2 地表蒸发	(62)
6.3 蒸腾	(63)
6.3.1 蒸腾的测量	(64)
6.3.2 截流量和蒸腾量的关系	(66)
6.3.3 植物覆盖的影响	(66)
6.4 潜在腾发量	(68)
6.5 实际腾发量的估计	(69)
6.5.1 用潜在腾发量估计实际腾发量	(70)
6.5.2 水量平衡方法	(70)
思考题	(71)
第7章 径流过程	(72)
7.1 影响径流的因素	(72)
7.2 径流过程	(74)
7.2.1 径流的各个途径	(74)
7.2.2 山地水文学	(75)
7.2.3 径流的“多源区域”概念	(76)
7.3 暴雨径流的计算	(77)
7.3.1 推理方法	(77)
7.3.2 SCS 曲线数法	(78)
7.3.3 单位水文曲线	(80)
7.4 河道流量的测量	(83)
7.4.1 河道流速	(83)
7.4.2 量水结构	(85)
7.5 河道流量的计算	(87)
思考题	(89)

第8章 地下水	(91)
8.1 基本概念	(91)
8.2 地下水的储存和运动	(92)
8.2.1 非承压含水层和承压含水层	(93)
8.2.2 含水层特性	(93)
8.3 地下水的开发	(95)
8.3.1 井	(96)
8.3.2 地下水资源的管理	(97)
8.3.3 地下水补给带	(98)
8.4 植被对地下水的影响	(98)
思考题	(99)
第9章 土壤侵蚀及其控制	(100)
9.1 侵蚀过程	(100)
9.1.1 水蚀	(100)
9.1.2 风蚀	(102)
9.2 地表侵蚀的测量	(103)
9.2.1 侵蚀实验田块	(103)
9.2.2 侵蚀标杆法和其他方法	(104)
9.3 土壤流失量的预测	(104)
9.3.1 通用土壤流失模型	(104)
9.3.2 改进的土壤流失模型	(108)
9.3.3 水土保持规划	(111)
9.3.4 修正的通用土壤流失模型	(111)
9.3.5 水蚀预测模型	(112)
9.3.6 风蚀模型	(112)
9.4 土壤流失的防止和控制	(113)
9.4.1 土壤流失的防止	(113)
9.4.2 土壤流失的控制	(113)
9.5 沟蚀	(117)
9.5.1 沟蚀的控制	(118)
9.5.2 沟蚀的累积效应	(121)
9.6 土体运动	(121)
9.6.1 土体运动的过程	(122)
9.6.2 影响坡稳定性的因素	(123)
9.6.3 山坡稳定性的评估	(124)
9.6.4 土体运动的积累效应	(124)
思考题	(125)

第 10 章 河流泥沙及河川过程	(127)
10.1 泥沙的运移过程	(127)
10.1.1 泥沙来源	(127)
10.1.2 河道的基本能量关系	(127)
10.1.3 泥沙的运动	(129)
10.2 泥沙的测量和计算	(134)
10.2.1 悬浮质的测量	(134)
10.2.2 推移质的测量	(134)
10.2.3 输沙量	(134)
10.2.4 泥沙平衡	(136)
10.2.5 输沙率	(136)
10.3 输沙量的累积流域效应	(137)
10.4 河流地貌学的基本概念	(137)
10.4.1 河流和泛洪区	(138)
10.4.2 平岸水位	(139)
10.4.3 洪水	(140)
10.4.4 对应于人类活动的河道变化	(141)
10.5 河流评价和分类	(141)
10.5.1 河道的稳定性	(142)
10.5.2 河流分类	(143)
思考题	(147)
第 11 章 湿地水文学	(148)
11.1 湿地类型	(148)
11.1.1 内陆湿地	(149)
11.1.2 海岸湿地	(149)
11.2 湿地的水文功能	(149)
11.2.1 湿地形成的水文条件	(149)
11.2.2 湿地的水量平衡	(151)
11.2.3 湿地的水文作用	(155)
11.2.4 水质	(155)
11.3 开发湿地的影响	(156)
11.3.1 泥炭开采	(156)
11.3.2 农业目的的湿地排水	(157)
11.4 累积效应	(157)
思考题	(157)
第 12 章 水质特性	(158)
12.1 降水化学	(158)

12.1.1 酸性降水及其化学组成	(158)
12.1.2 汞的大气沉积	(159)
12.2 地表水的物理特性	(159)
12.2.1 悬浮质	(159)
12.2.2 热污染	(160)
12.2.3 溶解氧	(161)
12.2.4 生物化学需氧量 and 化学需氧量	(161)
12.2.5 其他特性	(165)
12.3 溶解的化学物质	(165)
12.3.1 化学物质来源	(166)
12.3.2 化学物质的运移过程	(169)
12.4 生物特性	(170)
12.4.1 细菌	(170)
12.4.2 原生动物	(171)
12.4.3 用水生生物群作为地表水水质的标示	(171)
12.5 地下水水质	(171)
思考题	(172)
第13章 水质管理	(173)
13.1 水质问题和规章制度	(173)
13.1.1 水质问题	(173)
13.1.2 保持水质标准	(173)
13.1.3 法规的实施	(174)
13.2 植被管理和水质	(175)
13.2.1 水土流失	(175)
13.2.2 溶解化学物质	(176)
13.2.3 合成化学物质	(177)
13.2.4 水中的生物质量	(178)
13.3 道路和水质	(179)
13.3.1 泥沙	(179)
13.3.2 化学物质	(179)
13.4 水质监测	(179)
思考题	(181)
第14章 水文和流域分析方法	(182)
14.1 选择分析方法的标准	(182)
14.2 水文模型	(183)
14.3 野外实验方法	(184)
14.3.1 田块实验	(184)

(255) 14.3.2 流域范围实验	(185)
(261) 14.4 统计方法	(186)
(265) 14.4.1 采样方法	(186)
14.4.2 基本的统计量	(186)
(265) 14.4.3 假定检验	(187)
14.4.4 回归分析	(187)
14.4.5 频率分析	(188)
14.5 计算机模拟模型	(192)
14.5.1 建立计算机模拟模型	(193)
14.5.2 计算机模拟模型的应用	(195)
14.6 地理信息系统	(195)
14.6.1 GIS 的概念	(195)
14.6.2 GIS 的应用	(197)
思考题	(198)
第 15 章 环境水文学中的社会与经济问题	(199)
15.1 制定政策的过程	(199)
15.1.1 找出和评估需要解决的问题	(199)
15.1.2 确定可行的方案和提出政策	(202)
15.1.3 形成政策及其实施机制	(202)
15.1.4 监查和评估政策的实施	(203)
15.1.5 流域管理的框架及其政策含义	(204)
15.2 计划和实施过程	(205)
15.2.1 计划过程: 概述	(205)
15.2.2 流域管理计划的关系	(206)
15.2.3 计划过程的步骤	(208)
15.2.4 计划的重复过程	(209)
15.2.5 评估以前的活动和发现问题	(210)
15.2.6 设立目标和建立策略	(210)
15.2.7 实施策略的选择方案	(212)
15.2.8 评估选择方案	(212)
15.2.9 计划的连续过程	(216)
15.3 流域措施和项目的经济评价	(216)
15.3.1 经济效益和财务效益的区别	(216)
15.3.2 经济分析的步骤	(218)
15.3.3 定义和定量物理的输入和输出变量	(219)
15.3.4 输入量和输出量的价值	(220)
15.3.5 项目效益的度量	(221)
15.3.6 经济效益分析	(223)

15.3.7 流域管理项目的区域影响	(225)
15.3.8 非资金性效益和损失的评价	(226)
思考题	(226)
参考文献	(227)
15.4 流域管理项目的经济影响	(228)
15.4.1 流域管理项目的经济影响概述	(228)
15.4.2 流域管理项目的经济影响评价	(229)
15.4.3 流域管理项目的经济影响评价方法	(230)
15.4.4 流域管理项目的经济影响评价案例	(231)
15.5 流域管理项目的社会影响	(232)
15.5.1 流域管理项目的社会影响概述	(232)
15.5.2 流域管理项目的社会影响评价	(233)
15.5.3 流域管理项目的社会影响评价方法	(234)
15.5.4 流域管理项目的社会影响评价案例	(235)
15.6 流域管理项目的文化影响	(236)
15.6.1 流域管理项目的文化影响概述	(236)
15.6.2 流域管理项目的文化影响评价	(237)
15.6.3 流域管理项目的文化影响评价方法	(238)
15.6.4 流域管理项目的文化影响评价案例	(239)
15.7 流域管理项目的综合影响	(240)
15.7.1 流域管理项目的综合影响概述	(240)
15.7.2 流域管理项目的综合影响评价	(241)
15.7.3 流域管理项目的综合影响评价方法	(242)
15.7.4 流域管理项目的综合影响评价案例	(243)
15.8 流域管理项目的政策影响	(244)
15.8.1 流域管理项目的政策影响概述	(244)
15.8.2 流域管理项目的政策影响评价	(245)
15.8.3 流域管理项目的政策影响评价方法	(246)
15.8.4 流域管理项目的政策影响评价案例	(247)
15.9 流域管理项目的其他影响	(248)
15.9.1 流域管理项目的其他影响概述	(248)
15.9.2 流域管理项目的其他影响评价	(249)
15.9.3 流域管理项目的其他影响评价方法	(250)
15.9.4 流域管理项目的其他影响评价案例	(251)
15.10 流域管理项目的总结	(252)
15.10.1 流域管理项目的总结概述	(252)
15.10.2 流域管理项目的总结评价	(253)
15.10.3 流域管理项目的总结评价方法	(254)
15.10.4 流域管理项目的总结评价案例	(255)

第 1 章 引言

1.1 流域管理中的问题及对应策略

流域管理涉及许多非结构措施（如植被管理）和结构措施（如工程措施），具体包括水土保持措施和土地利用规划，还包括修坝，建立保护区，制定修路、伐木和农业森林区的指南以及其他活动指南。在所有的情况下，一个集中点就是：这些活动怎样影响到流域上的水资源和其他自然资源。这里的关键因素是水，流域管理策略就是集中在水资源与其他自然资源的相互关系上。

一方面，流域管理是流域上影响水和被水影响的人类活动的集合方式；另一方面，流域管理包括一系列的方法和技术，包括为了解决涉及水和土地利用关系的问题或潜在问题所使用的物理方法、立法和经济手段等。在实际中，使用自然资源的活动通常由个人、当地政府或掌握土地的团体来进行，但人们往往忽略了这些活动在流域中的相互联系。如图 1.1 所示，上游可能是属于政府控制的森林，中下游可能是居民区、城市、农村等，各地区的活动常常是独立进行的，而很少考虑到地区间的相互影响。每一种土地利用除了影响当地外，对下游还有潜在的影响。因此我们需要进行流域的集约管理，综合考虑各地区各方面的利益。



图 1.1 流域上不同的土地利用类型

流域管理活动包括采取预防性策略和修复性策略。采取预防性策略的目的在于保护已有的持续发展的土地利用活动，修复性策略则用来克服已发现的问题或将某些条件修复以达到环境和政治所需要的水平。虽然两种策略都对应于相同类型的问题，但前一种策略的目标是预防问题的发生，后一种策略的目标则是改变已发生问题的条件。在实际中，这两种策略可能同时进行。应当强调，虽然修复性策略更引人注目，但预防性策略和措施也同样重要。就生态系统而言，防止生产力下降所付出的代价要比修复已恶化的环境以达到相同的效益所付出的代价低得多。表 1.1 中总结了流域管理中通常碰到的问题以及解决这些问题的方法（预防性或修复性的方法）。

表 1.1 流域管理方法在解决自然资源问题中的作用

问题	可能的解决方案	对应的流域管理目标
缺水	水库储水和调水	减少进入水库的泥沙，保持流域的植被覆盖，建立局部的集水和储水设施
	植被控制，减少腾发量	将深根植物转为浅根植物，将针叶树转为落叶树
	人工降雨	保持植被以减少侵蚀
	利用海水	
	抽取深层地下水，灌溉措施	管理补给区域
洪水	水库储水	减少进入水库的泥沙，保持流域的植被覆盖
	建堤和输水道	减少进入下游渠道的输沙量
	泛洪平原的管理	减少在泛洪区内的人类活动，减少流道的泥沙量
	在扰动区和剥蚀区重新建立植被	适当的植物和植被覆盖管理
能源短缺	用木材作为燃料	种生长快的树，保持土地生产力，减少侵蚀
	发展水电工程	减少输入水库和河道的泥沙量，保持水质
粮食短缺	发展农业森林系统	保护土地生产力，减少侵蚀，发展适合本地土壤和气候的物种
	增加耕地	改造山坡和很容易受侵蚀的地方，采用等高线耕作，建立梯地等
	增加牲畜量	发展草原系统
	从流域外进口食品	发展造纸、木材和野生动物等森林资源以提高经济基础
	建立控制侵蚀的结构	通过重新建立植被和其他管理来保持结构的使用寿命
差的饮水质量	等高线梯地耕作	重新建立土壤植被、地表覆盖，稳定坡度，建立土地使用指南
	用井水和泉水作为饮用水源	保护地下水不受污染
	供水处理	用湿地或上游森林作为水的过滤地

续表 1.1

问题	可能的解决方案	对应的流域管理目标
污染河流 /鱼产量 减少	控制进入溪流的污染物	沿河流建立缓冲带, 保持流域的植被覆盖
	污水处理	用森林和湿地作为污水的第二道处理系统

1.2 以全球观点来看待流域管理问题

必须意识到, 在世界范围内, 自然资源的运用与管理实践不仅仅依赖于流域的物理和生物特性, 还依赖于社会体制、经济和社会因素, 比如农民的文化背景和政府的性质。所有这些因素必须充分综合到能满足环境、经济和社会目标的流域管理方案之中去。

1.2.1 土地和水资源的短缺

随着地球上人口的膨胀, 可耕地和水资源也变得越来越短缺, 这些资源的短缺以及人类对这些资源短缺的应对方式给环境和社会的持续发展带来了挑战, 并会引起严重的后果。气候的变化对未来土地和水资源的管理还带来许多不确定因素。现在还不清楚, 气候变化(如全球变暖)怎样影响到人类的淡水供应(影响到哪些地方, 影响到什么程度)。但有一点是显然的: 由于人口膨胀和经济发展, 对水的需求量到 2025 年将会变成比现在严峻得多的问题 (Vorosmarty, *et al.*, 2000)。

知识、信息和技术无疑将加强我们应对资源短缺的能力, 不过, 为了充分利用这些能力, 就需要综合的、多学科交叉的方法来计划和管理自然资源。缺乏这种方法一直是自然资源管理中存在的问题, 正如 Falkenmark (1997) 指出: “在环境政策中, 土地和水的问题仍然被看成不同领域的问题, 由教育和专业背景相当不同的人员来管理。”结果是, 土地和水资源的管理传统上是相互隔绝的。但是我们知道, 土地使用影响到流域的水量和水质; 反过来, 水资源的开发影响到土地的利用。讨论这些自然资源的相互关系是本书的集中点。

水的短缺已引起了全球的关注, 被认为是 21 世纪面临的主要环境问题。在 2001 年 3 月 22 日, 联合国举行“世界水纪念日”, 并指出淡水的平均需求超出供给达 17%, 在未来的 25 年内, 2/3 的世界人口将经受严重缺水。虽然地球上 9000 ~ 14000 km³ 的淡水总量应足以供给人口增长的需要, 但由于淡水在时间和空间上的不平均分布致使许多地区缺水 (Rosegrant, 1997)。比如在加拿大, 人平均淡水量为 120000 m³, 而在约旦只有 300 m³。虽然中国有世界的第三大河流长江, 但在中国的 668 个主要城市中, 400 个城市供水不足。中国北方居住着全国 1/3 的人口, 为了解决这里严重的供水不足, 正在进行“南水北调”工程, 即修建一条 2400 km 长的渠道, 每年将 160 亿 m³ 的水从长江调到北方