

# Hydroclimatology Perspectives and Applications

## 水文气候学 视角与应用

■ [美] Marlyn L. Shelton 著  
■ 刘元波 主译



# Hydroclimatology Perspectives and Applications

## 水文气候学 视角与应用

■ [美] Marlyn L. Shelton 著  
■ 刘元波 主译

SHUIWEN QIHOUXUE

图字 01-2010-6471号

*Hydroclimatology ( Perspectives and Applications )*, 1<sup>st</sup> edition, ISBN: 9780521848886, by Marlyn L. Shelton, first published by Cambridge University Press 2009.

All rights reserved.

This simplified Chinese edition for the People's Republic of China is published by arrangement with the Press Syndicate of the University of Cambridge, Cambridge, United Kingdom.

© Cambridge University Press & Higher Education Press, 2011

This book is in copyright. No reproduction of any part may take place without the written permission of Cambridge University Press of Higher Education Press.

This edition is for sale in the mainland of China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR and Taiwan, and may not be bought for export therefrom.

此版本仅限于在中华人民共和国境内（但不允许在香港、澳门和中国台湾）销售。不得出口。

## 图书在版编目(CIP)数据

水文气候学——视角与应用/(美)谢尔登(Shelton, M. L.)著;

刘元波主译. —北京: 高等教育出版社, 2011. 4

书名原文: *Hydroclimatology: Perspectives and Applications*

ISBN 978-7-04-031608-7

I. ①水… II. ①谢…②刘… III. ①水文气象学 IV. ①P339

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第027348号

|      |               |      |                                                                   |
|------|---------------|------|-------------------------------------------------------------------|
| 出版发行 | 高等教育出版社       | 咨询电话 | 400-810-0598                                                      |
| 社 址  | 北京市西城区德外大街4号  | 网 址  | <a href="http://www.hep.edu.cn">http://www.hep.edu.cn</a>         |
| 邮政编码 | 100120        |      | <a href="http://www.hep.com.cn">http://www.hep.com.cn</a>         |
| 印 刷  | 三河市华润印刷有限公司   | 网上订购 | <a href="http://www.landaco.com">http://www.landaco.com</a>       |
| 开 本  | 787×1092 1/16 |      | <a href="http://www.landaco.com.cn">http://www.landaco.com.cn</a> |
| 印 张  | 21.25         | 版 次  | 2011年4月第1版                                                        |
| 字 数  | 440 000       | 印 次  | 2011年4月第1次印刷                                                      |
| 购书热线 | 010-58581118  | 定 价  | 49.00元                                                            |

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换

版权所有 侵权必究

物 料 号 31608-00

审 图 号 GS(2011)199号

## 内 容 提 要

本书是世界上第一本系统地阐述水文气候学的专著。第1章和第2章引入了水文气候学的概念框架,并介绍了耦合气候范式,用来集成水循环中大气和地表分支及其与气候系统的联系。第3章至第5章描述了如何测量和估算水文气候变量。其中,第3章和第4章分别介绍了大气和地表测量,第5章介绍了与水文气候分析有关的光学遥感和雷达数据。第6章讲述了地表径流。第7章和第8章简述了大气现象时空变异性和地-气相互作用。第9章和第10章分别介绍了著名的洪水和干旱极端事件及其发生过程与机制。本书为分析气候系统引起的全球和局地的水循环时空变异,提供了一个颇有理论价值的构架。

对于大气科学、水文学、环境遥感、地球科学、环境科学、地理学、环境工程以及相关领域的本科生和研究生,本书是一本理想的教材。对于在这些领域的科研工作者,它也是一本有用的参考书。

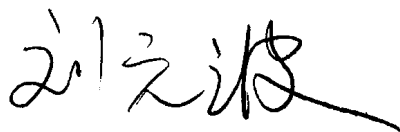
# 译者序

全球变化已经引起越来越多的极端气候和极端水文事件(如干旱、洪水和热浪),给社会和生产、生活基础设施带来了灾难性后果。近数十年来,中国也频繁地发生各类极端气候和水文事件。例如,1998年发生的长江流域特大洪水灾害,2008年初发生的南方可极端低温雨雪冰冻灾害,2009—2010年间发生的西南特大干旱灾害。然而,我们对极端气候和极端水文事件还缺乏系统而完整的理解。要全面而系统地理解自然变率与变化,需要多学科的综合与交叉。而卫星遥感和计算机技术的迅猛发展,则为我们提供了全面崭新的观察地球系统的方式。

在这样一个背景之下,美国加利福尼亚大学戴维斯分校大气科学名誉教授 M. L. Shelton,通过十多年的研究和教学积累,撰写并出版了世界上第一本系统的水文气候学教材。本书将水文气候系统,描述为各种流之间的关系或者地-气间的能量和水分交换。气候系统和水循环之间关系的变化,可导致洪水、干旱,以及水资源对全球变暖的响应。水文气候学研究大气、海洋和陆表以及如何通过能量、物质和动量耦合起来,为分析气候系统引起的全球和局地的水循环时空变异,提供了一个颇有价值的理论分析模式。

本书的初译和复译工作,由水文遥感研究组的诸位成员,豆翠翠、傅巧妮、刘元波、卢盼盼、彭建、宋平、杨莹、叶春、张月、赵东波和赵晓松(按姓氏拼音字母排序)共同完成。全书由刘元波统稿,先后完成6次校对。傅巧妮、刘元波和刘燕春完成译稿的编排工作。本书的翻译出版,离不开高等教育出版社李冰祥博士的关注、支持和协助。在翻译过程中,得到了王介民先生、张万昌教授、刘健研究员和张奇研究员等学者的大力支持,译者对此深表谢意。本书也得到了中国科学院百人计划项目和中国科学院重点方向项目(KZCX2-YW-337)的资助,在此一并致谢。

对于书中的疏漏之处,恳请读者予以指正。



2010年10月于南京

ybliu@niglas.ac.cn

# Preface to the Chinese Edition

## 中文版前言

Since the English language publication of this book, growing evidence of natural climate variability and human induced climate change related to greenhouse gas increases has appeared in the observed climate and hydrologic records and model simulations. This expanding body of evidence underlies a growing concern among scientists and the public for better understanding of the complex processes linking the climate system and the hydrologic cycle. The relevance and concern for climate variability and change is particularly evident as scientists strive to provide improved resource utilization strategies to satisfy the food and shelter needs of a rapidly expanding global population. Resource utilization issues are particularly challenging when land and water resource development decisions impact society at local and regional scales and over large managed river basins.

自从本书的英文版出版之后,在气候和水文记录与模型模拟研究中,有关自然变率和人类活动引起温室气体增加,进而造成气候变化的证据日益增多。这种趋势也表明,科学家们和公众越来越关注连接气候系统和水文循环的复合过程。在科学家们倾力研究更完善的资源利用对策,以满足快速增长的世界居民的衣食住行需求方面,考虑与气候变化和变率的关联,就显得尤其重要。当土地资源和水资源发展决策影响到地方和区域社会或者大的管理流域时,资源利用问题就尤为富有挑战性。

Spatial and temporal climatic variability in China highlights the important role of hydroclimatology for this region. Increased natural occurrences of floods and drought are exacerbated by land use changes and increasing water demands for irrigation and urban water supplies. Major water developments in the last decade on the Yangtze and Yellow rivers intended to mitigate runoff variability related to recent floods and drought have attracted world attention. Assessment of long-term precipitation trends and evapotranspiration increases are promising areas for gaining understanding of the water balance of these large river basins.

中国的气候时空变率巨大,水文气候学将扮演重要的角色。土地利用变化和由灌溉与城镇用水所导致的用水需求增加,加剧了洪涝灾害发生的自然频率。过去 10 年来长江和黄河地区的主要用水发展态势,可能降低了地表径流的变率,这关系到最近发生的

洪涝灾害,已经引起世界性关注。对这些大河流域的长期降水和蒸散趋势进行评估,具有广阔的前景,将有助于增进对这些地区水量平衡变化的理解。

The goal of this book is to present hydroclimatology as a unifying theme for theoretical and practical study of the climate system and the hydrologic cycle. Gratified by the reception this book has received, I am excited by the prospect that a Chinese translation will make the book available to a wider audience. The Chinese Edition is an exciting step in placing hydroclimatology in a prominent global role for assessing climate variability, climate change, and the impact of extreme hydrologic events.

本节的目的在于将水文气候学作为一个统一的主题,从理论和实际上研究气候系统和水循环。尽管英文版的出版已经令人欣慰,我还是非常高兴地看到中文版的出版,这样它将面向更多的读者。对于评估气候变率与变化和极端水文事件的影响,中文版的出版是令人激动的一步,这有助于我们把水文气候学置于一个全球性的显著位置上。

I am honored the Higher Education Press of China selected this book for translation. The availability of my book to an expanded audience was made possible by the work of Professor Yuanbo Liu and other research scientists at the Nanjing Institute of Geography and Limnology who translated the English text into Chinese. I sincerely appreciate the contribution of Professor Liu and his colleagues in making the Chinese Edition a reality.

中国高等教育出版社选择了本书来翻译出版,我对此感到无比的荣幸。正是由于中国科学院南京地理与湖泊研究所刘元波教授及其同事们的翻译工作,才使我的工作能够面向更多的读者。我衷心感谢他们对出版中文版做出的贡献。

Marlyn L. Shelton  
Davis, California, USA  
美国加利福尼亚州戴维斯

January 2011

2011年1月

# 前言

干旱、洪水、热浪等极端天气事件,通常给社会和生产、生活基础设施,带来灾难性后果。在那些易于发生极端天气事件的地区,随着全球人口增长,人口也日益增多。人们越来越感受到,天气和气候变化与极端事件会对日常生活造成直接或潜在的影响。这种感受与目前科学界的认识相一致:气候正在发生变化,而最近数十年的变化,至少有一部分是由人类活动引起的。随着卫星技术和计算机技术取得的巨大进步,我们能够用过去无法做到的方式来检测自然过程。水文气候学正是基于这些进步,努力提升对气候系统与水循环之间链接关系的认识。

从全球尺度来看,地球的气候系统和水循环,十分庞大而极具复杂性。各种气候系统过程主要涉及大气的水汽含量、以潜热方式存储的大气能量,以及大气的能量输送。从气候学角度来看,大气的加热和冷却过程以及大气运动与以水汽输送为主的大气水循环联系在一起。从气候学与水文学的角度来看,地表差异性强烈地影响地-气之间的能量和物质交换,因此在区域和局地尺度上需要考虑更多的地表过程。土壤和植被分布影响水文过程,而地表水文过程通过垂向的地表通量与气候联系在一起。概而言之,大气水循环和地表水循环的变量集合不同,所需的观测数据也不同。

水文气候学研究大气、海洋和地表以及它们之间如何通过能量、物质和动量耦合起来。目前我们还没有彻底地了解各种自然过程及其在不同时空尺度上变化的本质,还不能完整地刻画气-海-陆所涉及的物理过程。这些物理过程牵涉到地球科学的很多分支学科,无法逐一详细地阐述。我们希望提供一个关于水文气候过程复杂性及其联接性的理性框架,而不过多涉及任何一个学科领域的细枝末节。

本书的主要对象是大气科学、气候学以及水文学专业的本科生和研究生。在第1章和第2章中,我们引入了水文气候学概念框架,介绍了两种气候范式,用以集成水循环中的大气分支和地表分支及其与气候系统的联系。在第3章至第5章中,讲述了如何对水文气候变量进行测量和估算。其中,第3章讲述的是大气观测手段,大气专业的学生会比较熟悉。第4章讲述的是地表测量方法,水文专业的学生会比较熟悉。而第5章重点介绍了与水文气候分析有关的光学遥感和雷达数据。在第6章中,讲述了地表径流,希望给大气科学专业的学生提供水文学知识背景。在第7章和第8章中,讲述了大气现象的时空变异性和地表-大气相互作用事件,为水文专业的学生提供知识背景。在第9章和第10章中,分别讲述了洪水和干旱这两种极端水文气候现象,介绍了多次典型的极端天气事件及其发生背景、复杂的大气环流作用以及影响这些事件的遥程气候背景。

本书的目标在于,在水文气候的多样性、气候与水资源之间的联系,以及气候变化对



未来水文气候和水资源的可能影响等方面,增进人们的认识和理解。近年来的水文气候研究,已经运用了最新的数据观测方法和各种改进的估算技术,来表达相关的水文气候变量。气候系统和水循环之间的关系同时还是一个综合性的科学问题。自然气候变率和人类活动引起的变化,都可导致水循环问题的复杂性。所以,各个地区都要提前做好详细的规划,以应对洪水、干旱、沙漠化、农业和粮食生产、市政和工业用水供应等方面的问题,确保本地区的未来发展。在第9章和第10章中介绍的洪水和干旱事件,都具有代表性、综合性和积极的参考意义。面对这些现实挑战,水文气候学为开展所关注地区的大气-水文-生物变量的系统分析,提供了理论框架。

为便于分析,本书将水文气候描述为各种流之间的关系,即地-气之间的能量和水分交换过程。通过水分平衡的各个分量,来表征水文气候及其时空变异性,以及因条件改变而导致的水文气候变化。现实世界的水文事件,都发生在气候及其历史变化背景之下。对大气环流格局和陆面过程变化,进行从区域到全球的多尺度分析,是理解这些事件本质的最佳方式。

本书的思想源于已故的 Douglas B. Carter 教授的气候学见解。Carter 的见解是本书对偶气候范式的基础。在加利福尼亚大学戴维斯分校十年的本科和研究生教学中,我逐渐发展了本书的概念框架。我从学生的提问和与学院同事的交流中,获益匪浅。我非常感谢 David Jones,他运用专业技能,从许多数字文档中提取了数据,并把数据转换为引人入胜的、信息丰富的全球和区域地图。在本书出版准备过程中,剑桥大学出版社的 Matt Lloyd 和其他员工所表现出的专业、周到和耐心,尤为珍贵。

本书献给我的家庭。我特别要感谢我的妻子 Sue,在本书漫长的撰写过程中,她始终给予我爱、鼓励、理解和帮助。我的儿子 Kirk、儿媳 Rachel、孙子 Scott 和孙女 Emma,会坚持探索和理解大自然赋予的这个宏伟世界。

# 目 录

|                       |    |
|-----------------------|----|
| 第 1 章 水文气候学 .....     | 1  |
| 1.1 水之内涵 .....        | 1  |
| 1.1.1 水文学 .....       | 1  |
| 1.1.2 气候学 .....       | 2  |
| 1.1.3 气候视角的拓展 .....   | 2  |
| 1.2 全球水循环 .....       | 3  |
| 1.3 水文气候学定义 .....     | 4  |
| 1.4 水循环概念的发展 .....    | 5  |
| 1.4.1 摸索时期 .....      | 6  |
| 1.4.2 古希腊和古罗马时代 ..... | 6  |
| 1.4.3 中世纪时期 .....     | 7  |
| 1.4.4 观测时期 .....      | 7  |
| 1.4.5 现代时期 .....      | 7  |
| 1.4.6 20 世纪及以后 .....  | 8  |
| 1.5 耦合气候范式 .....      | 9  |
| 1.5.1 第一类气候 .....     | 10 |
| 1.5.2 第二类气候 .....     | 12 |
| 1.6 水文气候数据 .....      | 14 |
| 1.7 数据质量 .....        | 14 |
| 思考题 .....             | 15 |
| 第 2 章 气候系统与水循环 .....  | 16 |
| 2.1 气候与水 .....        | 16 |
| 2.2 尺度问题 .....        | 16 |
| 2.3 动态的气候 .....       | 17 |
| 2.4 气候系统 .....        | 18 |
| 2.4.1 气候的各个子系统 .....  | 18 |
| 2.4.2 气候系统中的水 .....   | 19 |
| 2.5 大气子系统 .....       | 20 |
| 2.6 反馈 .....          | 20 |
| 2.7 水循环 .....         | 21 |
| 2.8 辐射平衡 .....        | 22 |

|                 |               |    |
|-----------------|---------------|----|
| 2.8.1           | 电磁辐射          | 23 |
| 2.8.2           | 黑体辐射          | 23 |
| 2.8.3           | 太阳辐射          | 24 |
| 2.8.4           | 地表辐射          | 25 |
| 2.9             | 大气对太阳辐射的选择性作用 | 27 |
| 2.9.1           | 大气气体的能量吸收     | 27 |
| 2.9.2           | 旋转能量跃迁        | 27 |
| 2.9.3           | 平移能量跃迁        | 27 |
| 2.9.4           | 振动能量跃迁        | 28 |
| 2.9.5           | 电子能量跃迁        | 28 |
| 2.9.6           | 吸收线与波段        | 28 |
| 2.10            | 地表辐射与温室效应     | 29 |
| 2.11            | 全球辐射平衡        | 30 |
| 2.12            | 地表辐射平衡        | 31 |
| 2.13            | 地球能量平衡        | 32 |
| 2.14            | 水量平衡          | 33 |
| 2.14.1          | 地表水量平衡        | 33 |
| 2.14.2          | 大气水量平衡        | 34 |
| 2.14.3          | 全球水量平衡        | 34 |
|                 | 思考题           | 37 |
| 第3章 水文气候的大气组分测量 |               | 38 |
| 3.1             | 关注大气          | 38 |
| 3.2             | 地面数据          | 38 |
| 3.3             | 辐射            | 39 |
| 3.3.1           | 直接总辐射表        | 40 |
| 3.3.2           | 总辐射表          | 40 |
| 3.3.3           | 地面辐射表         | 41 |
| 3.3.4           | 全辐射表          | 41 |
| 3.4             | 温度            | 42 |
| 3.5             | 气压            | 43 |
| 3.5.1           | 气体定律          | 43 |
| 3.5.2           | 气压计           | 44 |
| 3.6             | 湿度            | 45 |
| 3.6.1           | 湿度表达方式        | 45 |
| 3.6.2           | 湿度测量          | 45 |
| 3.7             | 无线电探空         | 47 |

|                 |             |    |
|-----------------|-------------|----|
| 3.7.1           | 无线电探空仪      | 47 |
| 3.7.2           | 无线电探空资料     | 49 |
|                 | 思考题         | 50 |
| 第4章 水文气候的地表组分测量 |             | 51 |
| 4.1             | 聚焦陆地        | 51 |
| 4.2             | 地表水文气候数据    | 51 |
| 4.3             | 降水形成        | 52 |
| 4.4             | 降雨          | 54 |
| 4.4.1           | 降雨测量        | 54 |
| 4.4.2           | 单点雨量估算      | 55 |
| 4.5             | 降雪          | 55 |
| 4.5.1           | 降雪测量        | 56 |
| 4.5.2           | 单点降雪估算      | 58 |
| 4.6             | 风           | 59 |
| 4.6.1           | 风的测量        | 59 |
| 4.6.2           | 风的估算        | 61 |
| 4.7             | 土壤水         | 61 |
| 4.7.1           | 土壤水分性质      | 61 |
| 4.7.2           | 土壤水分测量      | 64 |
| 4.7.3           | 土壤水分估算      | 65 |
| 4.7.4           | 土壤入渗        | 66 |
| 4.8             | 蒸发和蒸散       | 69 |
| 4.8.1           | 蒸发测量        | 70 |
| 4.8.2           | 蒸发估算        | 72 |
| 4.8.3           | 蒸散测量        | 73 |
| 4.8.4           | 蒸散估算        | 74 |
| 4.9             | 河川径流        | 79 |
| 4.9.1           | 计算径流深度      | 82 |
| 4.9.2           | 估算河川径流      | 82 |
| 4.10            | 水文气候变量的区域估计 | 82 |
| 4.10.1          | 区域降水        | 82 |
| 4.10.2          | 区域蒸散        | 83 |
|                 | 思考题         | 84 |
| 第5章 遥感与水文气候数据   |             | 85 |
| 5.1             | 遥感数据        | 85 |

|                       |     |
|-----------------------|-----|
| 5.1.1 遥感与大气水文气候 ..... | 86  |
| 5.1.2 遥感与地表水文气候 ..... | 86  |
| 5.2 卫星 .....          | 86  |
| 5.2.1 对地静止卫星 .....    | 87  |
| 5.2.2 GOES 传感器 .....  | 89  |
| 5.2.3 极轨卫星 .....      | 91  |
| 5.2.4 极轨卫星传感器 .....   | 93  |
| 5.3 卫星遥感辐射数据 .....    | 95  |
| 5.4 温度遥感 .....        | 96  |
| 5.5 气压遥感 .....        | 97  |
| 5.6 大气湿度遥感 .....      | 97  |
| 5.7 降水遥感 .....        | 98  |
| 5.7.1 雷达与降雨 .....     | 99  |
| 5.7.2 卫星与降雨 .....     | 101 |
| 5.8 积雪遥感 .....        | 103 |
| 5.8.1 降雪量遥感 .....     | 103 |
| 5.8.2 积雪量遥感 .....     | 104 |
| 5.9 地表风遥感 .....       | 106 |
| 5.10 土壤水遥感 .....      | 107 |
| 5.11 蒸散遥感 .....       | 108 |
| 5.12 地表径流遥感 .....     | 109 |
| 思考题 .....             | 109 |

|                                |            |
|--------------------------------|------------|
| <b>第 6 章 地表径流过程与河川径流 .....</b> | <b>111</b> |
| 6.1 降水-地表径流转化 .....            | 111        |
| 6.2 影响径流的因素 .....              | 111        |
| 6.3 降水输入 .....                 | 113        |
| 6.4 截流 .....                   | 114        |
| 6.4.1 截流量 .....                | 115        |
| 6.4.2 穿透雨及枝干茎流 .....           | 115        |
| 6.5 渗流 .....                   | 116        |
| 6.5.1 洼地储水 .....               | 116        |
| 6.5.2 土壤含水量 .....              | 116        |
| 6.6 坡面流 .....                  | 117        |
| 6.7 壤中流 .....                  | 117        |
| 6.8 地下水 .....                  | 118        |
| 6.9 水文过程线 .....                | 119        |



|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 6.9.1 水文过程线的组成 .....              | 120        |
| 6.9.2 水文参量 .....                  | 120        |
| 6.10 降雨径流 .....                   | 122        |
| 6.10.1 面积相似流域的对比 .....            | 122        |
| 6.10.2 气候条件相近流域的对比 .....          | 125        |
| 6.10.3 无资料流域 .....                | 126        |
| 6.11 积雪与径流 .....                  | 129        |
| 6.11.1 辐射平衡与雪 .....               | 129        |
| 6.11.2 能量平衡及融雪 .....              | 130        |
| 6.11.3 热量指数及融雪量 .....             | 132        |
| 6.11.4 融雪径流 .....                 | 133        |
| 6.12 作为地表蓄水库的湖泊 .....             | 136        |
| 6.13 湿地与地表径流 .....                | 138        |
| 6.14 水库与河川径流 .....                | 138        |
| 6.15 流域模型 .....                   | 141        |
| 思考题 .....                         | 143        |
| <br><b>第 7 章 水文气候的空间变异性 .....</b> | <b>144</b> |
| 7.1 空间尺度 .....                    | 144        |
| 7.2 全球尺度的水文气候 .....               | 145        |
| 7.3 辐射平衡 .....                    | 145        |
| 7.4 温度 .....                      | 148        |
| 7.5 大气湿度 .....                    | 150        |
| 7.6 气压 .....                      | 153        |
| 7.7 大气环流 .....                    | 158        |
| 7.8 全球地表水文气候 .....                | 161        |
| 7.9 降水 .....                      | 161        |
| 7.10 蒸散 .....                     | 166        |
| 7.11 土壤水 .....                    | 167        |
| 7.12 径流 .....                     | 168        |
| 7.12.1 湖泊和水库 .....                | 170        |
| 7.12.2 湿地 .....                   | 171        |
| 7.13 区域性水文气候 .....                | 172        |
| 7.13.1 大气的水文气候变量 .....            | 172        |
| 7.13.2 地表的水文气候变量 .....            | 175        |
| 7.14 局地性水文气候 .....                | 179        |
| 7.14.1 局地太阳辐射 .....               | 180        |

|                                   |            |
|-----------------------------------|------------|
| 7.14.2 局地降水 .....                 | 182        |
| 思考题 .....                         | 183        |
| <b>第 8 章 水文气候的时间变化 .....</b>      | <b>184</b> |
| 8.1 时间尺度 .....                    | 184        |
| 8.2 地球气候史揽 .....                  | 185        |
| 8.2.1 水文气候历史资料 .....              | 187        |
| 8.2.2 文献数据 .....                  | 187        |
| 8.3 树木年轮重建 .....                  | 188        |
| 8.4 海洋-大气对水文气候的影响 .....           | 191        |
| 8.5 大气季节内振荡 .....                 | 191        |
| 8.6 厄尔尼诺、拉尼娜与南方涛动 .....           | 192        |
| 8.6.1 ENSO 发展 .....               | 193        |
| 8.6.2 ENSO 的全球影响 .....            | 195        |
| 8.7 北大西洋涛动 .....                  | 198        |
| 8.7.1 NAO 特征 .....                | 198        |
| 8.7.2 NAO 发生机制 .....              | 199        |
| 8.8 太平洋-北美遥相关 .....               | 199        |
| 8.9 太平洋年代际振荡 .....                | 201        |
| 8.9.1 PDO 指数 .....                | 201        |
| 8.9.2 PDO 的影响 .....               | 203        |
| 8.10 近期温度变化趋势 .....               | 203        |
| 8.10.1 全球温度 .....                 | 204        |
| 8.10.2 单站温度 .....                 | 205        |
| 8.11 近期降水变化趋势 .....               | 206        |
| 8.11.1 全球降水 .....                 | 206        |
| 8.11.2 单站降水 .....                 | 207        |
| 8.12 近期河川径流变化趋势 .....             | 209        |
| 8.12.1 萨斯奎汉纳河 .....               | 209        |
| 8.12.2 沙蒙河 .....                  | 210        |
| 8.13 近期湖泊水位变化趋势 .....             | 212        |
| 8.13.1 佛蒙特州/纽约州的香普兰湖 .....        | 212        |
| 8.13.2 犹他州的大盐湖 .....              | 213        |
| 思考题 .....                         | 216        |
| <b>第 9 章 洪水:水量过度的极端水文气候 .....</b> | <b>217</b> |
| 9.1 极端水文气候事件 .....                | 217        |

|                             |     |
|-----------------------------|-----|
| 9.2 洪水水文气候学 .....           | 218 |
| 9.2.1 洪水成因 .....            | 219 |
| 9.2.2 洪水特征 .....            | 220 |
| 9.3 暴洪 .....                | 220 |
| 9.3.1 暴洪突发性 .....           | 221 |
| 9.3.2 暴洪易发地区 .....          | 221 |
| 9.4 欧洲地中海暴洪 .....           | 221 |
| 9.4.1 1996 年 8 月西班牙暴洪 ..... | 222 |
| 9.4.2 2002 年 9 月法国暴洪 .....  | 222 |
| 9.5 美国暴洪 .....              | 224 |
| 9.5.1 北部大平原 .....           | 224 |
| 9.5.2 南部大平原 .....           | 226 |
| 9.5.3 落基山脉东部 .....          | 227 |
| 9.5.4 阿巴拉契亚山脉 .....         | 230 |
| 9.6 大型洪灾 .....              | 232 |
| 9.7 2002 年中欧洪水事件 .....      | 233 |
| 9.8 1993 年美国中西部洪水事件 .....   | 237 |
| 9.8.1 大气背景条件 .....          | 239 |
| 9.8.2 洪水规模 .....            | 243 |
| 思考题 .....                   | 246 |
| <br>                        |     |
| 第 10 章 干旱:水分稀缺的极端水文气候 ..... | 247 |
| 10.1 水分负异常 .....            | 247 |
| 10.2 干旱水文气候学 .....          | 248 |
| 10.3 干旱指数 .....             | 249 |
| 10.3.1 帕尔默干旱指数 .....        | 249 |
| 10.3.2 标准化降水指数 .....        | 252 |
| 10.3.3 干旱监测产品 .....         | 252 |
| 10.3.4 其他干旱指数 .....         | 253 |
| 10.4 代用干旱数据 .....           | 254 |
| 10.5 干旱成因 .....             | 255 |
| 10.5.1 太阳辐射变率 .....         | 255 |
| 10.5.2 大气环流 .....           | 255 |
| 10.6 西非撒哈拉干旱 .....          | 256 |
| 10.6.1 撒哈拉降雨匮乏 .....        | 257 |
| 10.6.2 撒哈拉干旱的可能成因 .....     | 258 |
| 10.7 美国西部干旱 .....           | 260 |

|            |                           |     |
|------------|---------------------------|-----|
| 10.7.1     | 1975—1977 年加利福尼亚州干旱 ..... | 260 |
| 10.7.2     | 海洋-大气异常和干旱 .....          | 261 |
| 10.8       | 1988 年美国中西部干旱 .....       | 263 |
| 10.8.1     | 热带或温带驱动 .....             | 264 |
| 10.8.2     | 急流位移 .....                | 265 |
| 10.9       | 2003 年夏季欧洲干旱 .....        | 266 |
| 10.9.1     | 大范围降水不足 .....             | 266 |
| 10.9.2     | 大气环流变化 .....              | 266 |
| 10.10      | 干旱与野火 .....               | 270 |
| 10.10.1    | 澳大利亚野火 .....              | 270 |
| 10.10.2    | 欧洲野火 .....                | 272 |
| 10.10.3    | 美国森林野火 .....              | 272 |
| 10.11      | 未来展望 .....                | 274 |
| 思考题        | .....                     | 276 |
| 参考文献 ..... |                           | 277 |
| 索引 .....   |                           | 314 |