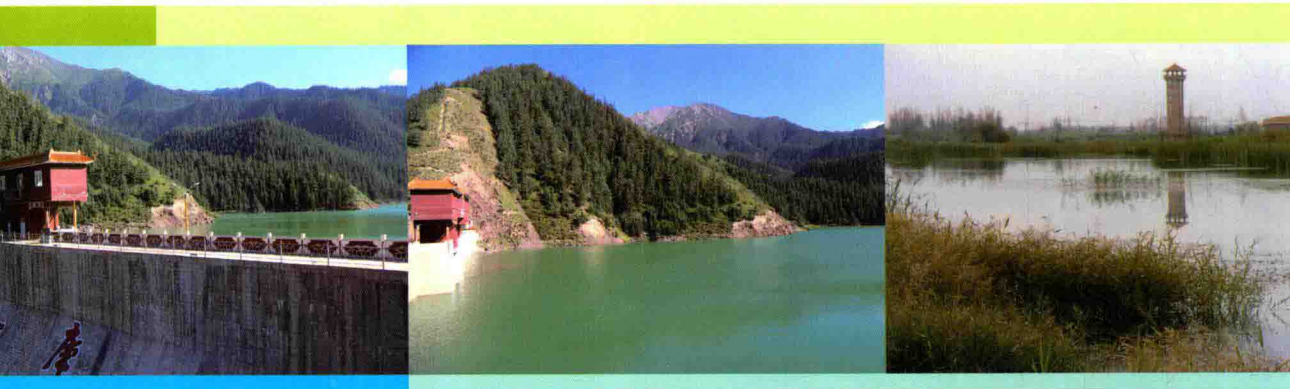


黑河流域生态 - 水文过程集成研究

社会水文学 理论、方法与应用

尉永平 张志强 等 编著



科学出版社

流域生态-水文过程集成研究

社会水文学理论、方法与应用

尉永平 张志强 等 编著

科学出版社

北京

内 容 简 介

社会水文学是近年来才被提出和不断发展的、理解长期人水关系、促进水资源可持续利用的新兴交叉性学科。它力图克服只关注水文系统自身演化规律研究的传统水文学、只关注水资源经济产出与经济效益研究的水文经济学的局限性,主要关注和研究人类系统与水资源系统之间的互馈机制,旨在解决人水矛盾、促进水资源可持续管理。本书以理论篇、方法篇、实践篇等结构,系统阐述了社会水文学的狭义、广义理论,介绍了社会水文学的相关研究方法,以中国西北地区的黑河流域、澳大利亚东南部的墨累-达令流域为案例,详细开展了社会水文学相关的比较研究。

本书适合于从事自然地理学、人文地理学、水文与水资源学、环境社会学、地球与环境科学领域的研究人员、管理人员和高等院校师生阅读使用。

图书在版编目(CIP)数据

社会水文学理论、方法与应用/尉永平等编著. —北京:科学出版社, 2017.9

ISBN 978-7-03-054240-3

I. ①社… II. ①尉… III. ①水文学—研究 IV. ①P33

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第210305号

责任编辑:彭胜潮 丁传标 / 责任校对:王 瑞

责任印制:肖 兴 / 封面设计:图阅社

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京通州皇家印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年9月第一版 开本:787×1092 1/16

2017年9月第一次印刷 印张:24 1/4

字数:545 000

定价:149.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

Theory and Practice of Socio-hydrology

Wei Yongping Zhang Zhiqiang et al.

序

日月星辰，万类同辉。人类社会与自然世界分别处在光谱的两端，而其间的重叠和互动呈现出绚烂多姿的色彩。自远古的朴素哲学，到欧洲中世纪的科学哲学以及现代科学，自然系统与社会系统分别属于两个截然不同的科学研究范畴——自然科学和社会科学。这两个科学体系具有完全不同的研究对象、方法和范式。前者用主要反映客观对象的定量方法，后者以偏于主观的定性研究方法为特征；前者用预测模型模拟未来可重现的关系，而后者反映过去事件统计意义上的因果关系。因此，一直以来，自然科学与社会科学之间存在不可逾越的鸿沟。

直到最近，人类开始注意到，其活动对地球表面改造的速度之快与规模之大，致使一个新的地质年代——人类世产生。沙漠化、河流干涸、湿地消失、气候变化、地下水水位下降、生物多样性减少，人和自然的重叠和互动不再总是绚丽多姿。人类逐渐认识到人类社会与自然世界是一个耦合共进化的系统。在此背景下，自然科学与社会科学不能集成的偏见正在消失。但如何架设这两个学科间的双向“桥梁”，让尽量多的来自两个方向的“车辆”自由通行？

《社会水文学理论方法与应用》一书以流域为研究对象，致力于探究人水耦合系统及其协同进化的动态机制。它以传统水文学、生态水文学为基础解释流域水文生态系统的自然循环，以环境社会学为理论基础，借鉴自然科学量化研究方法，量化人类系统的社会要素，并借鉴结构力学内部弹性与外部弹性的概念，发展了狭义社会水文学与广义社会水文学理论。狭义社会水文学以内部弹性表征水资源在社会系统和生态系统之间的分配，外部弹性表征水资源分配导致的社会系统和生态系统生产力的变化，用这两个弹性变化揭示流域社会-生态系统耦合协同演化的过程。广义社会水文学研究文化、技术与管理等社会系统要素变化对水资源在社会系统与生态系统之间分配与再分配的影响（建立驱动弹性），并研究水资源在社会系统与生态系统之间的分配与再分配对流域社会生态系统的影响（建立影响弹性），通过观察这两个弹性演变，建立人水系统的长期互反馈机制。狭义社会水文学与广义社会水文学从不同侧面架设了理解流域系统的社会科学与自然科学的桥梁。

本书提供了大量的实证研究，以中国西北地区黑河流域与澳大利亚东南部墨累-达令流域为实例，翔实地介绍了流域人类系统相关社会要素的量化方法，并应用狭义社会水文学与广义社会水文学理论，揭示了黑河流域过去 2000 年、墨累-达令流域过去 100

年尺度上的社会-水文-生态协同演化的规律，为世界类似流域的可持续管理提供有益的借鉴与启示。

尽管本书有大量不完善之处，但希望它为致力于开展自然科学与社会科学跨学科研究的同行在思路与方法上提供有益的启迪。

Handwritten signature in black ink, consisting of two parts: the name '陈永平' (Chen Yongping) on the left and a stylized signature on the right.

2017年2月

前 言

人类作为地球上的主宰生物在其存在的短短几千年中创造了一个新的地质年代——人类世，人类对地球生态系统产生了随处可见，甚至是不可逆转的巨大影响。人类对河流的开发利用从远古时期的依水而生、傍水而居，发展至今全球几乎所有流域的生态系统都遭到不同程度的破坏或者彻底改变。人类通过改变土地利用、修建堤坝等方式大大改变了流域的植被状况，对流域自然水循环系统产生了显著影响。归其原因，人类对人水系统的长期互反馈机制缺乏认识。

传统水文学以稳定假设为前提研究地球表面水的发生、分布以及循环，人类活动被排除在自然水循环之外。水文经济学集成水文过程与经济系统供需规律以满足人类日益发展的供水需要，它是一门关于水与经济的科学，强调了水的短期经济产出和经济效益，忽视了与水关联的经济活动对流域植被生态系统的长期影响。19世纪以来，世界范围的水资源开发利用活动就主要以这两门学科为理论基础。最近几十年出现的生态水文学，探寻生态模式与过程背后的水文机制，强调地球上水与生态系统之间的相互作用关系，但人类主导的水资源管理活动并不被考虑其内。社会科学领域开展了大量人与环境关系的研究，如环境社会学、环境人类学等。这些学科以描述为手段寻求导致环境问题的社会成因，因缺乏预测能力，其研究成果很少被水资源管理实践所关注和采纳。因此，急需一门解释人水系统长期互反馈机制的量化学科，以指导流域可持续管理实践。

社会水文学应运而生。它是一门旨在理解长期人水关系、促进水资源可持续利用的交叉性新兴学科。自2012年“社会水文学”概念提出以来，在水文学权威期刊如 *Hydrology and Earth System Sciences*、*Water Resources Research* 和 *Journal of Hydrology* 等上就其展开了激烈的争论，出现了一些典型探索性研究。这些研究大都基于以下3个不同的理论背景：①传统水文学背景，通过水量平衡模拟刻画水文过程，仅仅根据需要引入几个社会变量，如人口、人类用水量和GDP等，来描述水文和社会的变化，缺乏水文和社会因子间因果关系的表达，缺乏环境社会学的理论基础；②共进化背景，研究人水系统的耦合及其协同进化是这类研究的核心，但其只是开展了定性研究，未进行定量表达，没有对未来进行预测的能力；③水资源利用和管理背景，这类研究针对水资源利用管理的具体需求，如城市用水、防洪、环境流的分配等，因而缺乏社会水文学共性机制问题的探讨。总体而言，当前社会水文学的理论和方法还远不够成熟和完善。

本书从跨学科的视角出发，理论创新与案例研究并重，着眼于流域空间尺度，从几十年、百年、千年几个不同的时间尺度，研究人水系统的互反馈机制。系统地发展了社会水文学中社会系统不同人文要素的量化研究方法，力图弥补社会水文学中社会系统研

究的不足,提出了狭义社会水文学与广义社会水文学理论,最后以中国西北干旱区内陆河流域的黑河流域与澳大利亚东南部的墨累-达令河流域为实例,揭示流域历史的社会-水文-生态协同演化规律,为解决人水矛盾问题提供新的途径。

本书共分为四篇 24 章。理论篇包括 4 章,首先定义了社会水文学的内涵与外延。跟踪了社会水文学的发展历程与态势。它是一门继传统水文学的几次发展、生态水文学的提出与发展,弥补水文经济学的不足,与环境社会学等人文学科交叉的,致力于探究人水耦合系统协同进化动态机制的定量多学科交叉科学。

狭义社会水文学以内部弹性表征水资源在社会系统和生态系统之间的分配,外部弹性表征水资源分配与再分配导致的社会系统和生态系统生产力的变化,用这两个弹性变化揭示流域社会-生态耦合系统协同演化的过程。广义社会水文学研究文化、技术与管理等社会系统的要素变化对水资源在社会系统与生态系统之间分配与再分配的影响(建立驱动弹性),并研究水资源在社会系统与生态系统之间分配与再分配对流域社会生态系统的影响(建立影响弹性),通过联合这两个弹性,建立人水系统的互反馈机制。狭义社会水文学理论与广义社会水文学理论既相互联系又有所区别。既可以单独应用,又可以联合使用。该篇是本书的核心理论基础。

方法篇共包括 3 章,介绍社会水文学对社会系统数据定量化的挖掘方法——内容分析法与计算机文本挖掘技术,以及历史气象水文数据的重建方法。内容分析法包括媒体选择、确定时长范围、抽样、数据收集、内容编码以及模式趋势分析等步骤。计算机文本挖掘技术包括数据收集、确定分析的知识单元、数据预处理、基于词频的共现分析、数据规范化处理、绘制可视化图谱、图谱结果解读和结果验证相互关联的 8 个步骤。历史气象水文数据重建涵盖了用不同代用资料(树木年轮、湖泊沉积、冰芯、孢粉和历史文献等)重建径流量、气温、降水、极端气候、净初级生产力以及古植被的原理、方法和过程等。这 3 章为发展社会水文学奠定方法论的基础,是本书将已相对成熟的方法应用到社会水文学这一特定领域的结果,相关内容并没有发表过。

实践篇包含丰富的内容。涵括水文化、水政策与水管理、水文-生态-社会协同演化 3 个子篇,共 16 章。以自然系统类似、社会系统却千差万别的中国西北地区黑河流域与澳大利亚东南部墨累-达令流域为研究案例,基于理论篇提出的社会水文学理论、应用方法篇发展的社会水文学历史数据和社会数据的挖掘方法,以不同的时间尺度(当前、过去 10 年、过去 15 年、过去 50 年、过去 100 年以及过去 2000 年等时间尺度),从水文化、水管理制度与机构、水政策、水相关技术、水资源压力、水经济系统与生态系统权衡、人水关系变迁以及社会-水文-生态政策协同演化的角度,研究了流域社会、生态不同子系统的演变及其协同进化,丰富了比较社会水文学和历史社会水文学的内涵。

这 3 个子篇共 16 章中,一些章节的内容是根据已发表或投稿的论文经过不同程度的改编而成的。凡是改编于已在期刊发表的相关论文的章节,每章的首页都标注了原文的出处。这些文章发表在 *Global Environmental Change*, *AMBIO*, *Hydrology and Earth*

System Sciences, Agricultural Water Management, Environmental Values, Land Degradation & Development, Environmental Science and Policy 以及中文期刊《水科学进展》《地球科学进展》《水土保持通报》《干旱区地理》《水土保持研究》《干旱区资源与环境》等。其中,第 13 章《黑河流域灌溉农业技术演化研究》、第 16 章《澳大利亚水资源管理制度变迁研究》、第 17 章《墨累-达令流域水资源管理制度评价》等章节均是原创章节。

最后在结语篇,运用牛顿定律、达尔文进化论以及历史唯物主义与辩证唯物主义等哲学思想对社会水文学发展前景进行了展望。

本书由尉永平、张志强等编著完成。尉永平参与了全书 24 章中的 23 章(除第 2 章外)的编写。张志强参与了其中 11 章的编写(第 2 章、第 5 章、第 8 章、第 9 章、第 11 章、第 12 章、第 14 章、第 15 章、第 16 章、第 18 章、第 20 章)。其他贡献的作者以及他们分别承担写作的章节是:陆志祥(第 1 章、第 7 章、第 19 章、第 21 章);王雪梅(第 2 章);周沙(第 3 章、第 22 章);熊永兰(第 5 章、第 8 章、第 14 章);魏靖(第 6 章、第 10 章、第 23 章);赵海莉(第 9 章、第 11 章、第 15 章);张宸嘉(第 16 章、第 17 章);唐霞(第 12 章、第 18 章、第 20 章);吴双蕾(第 13 章);叶风雅(第 17 章)。

本书由多个著者合作完成,并且有些章节改编自己发表于学术期刊上的论文,因此本书尽量保留了各章不同作者的写作风格,没有强求格式的一致性,为了便于中外读者阅读,在各章前均给出了中英文摘要。在各章作者分工写作的稿件基础上,全书书稿最后由尉永平、张志强统一审阅、定稿。唐霞负责了对全书书稿的统一规范和编排。

本书是国家自然科学基金委员会重大研究计划“黑河流域生态-水文过程集成研究”重点项目“流域文化变迁与生态演化相互作用对流域水生态政策影响的机理研究——黑河与墨累-达令河对比研究”(编号:91125007)的集成研究成果,研究工作还得到了澳大利亚研究理事会 ARC Future Fellowship (FT-130100274)的资助。本书的研究与写作也得到了国家自然科学基金委员会重大研究计划“黑河流域生态-水文过程集成研究”专家委员会程国栋院士、傅伯杰院士、宋长青副主任、李秀彬研究员、肖洪浪研究员等的指导和大力支持,在此一并致以衷心感谢!

由于编著者水平有限,加之相关研究领域涉及面广、发展快,书中错谬之处在所难免,敬请读者不吝指正。



2017 年 2 月

Preface

The impacts of human activities on the earth surface have been made at such an unprecedented scale and speed that a new geological epoch, anthropocene, has occurred. With increasing desertification, river drying-up, groundwater depletion, wetland degradation, climate change and biodiversity loss, it is recognized that catchment systems are coupled human–nature systems, which are influenced by both the human and natural drivers. Socio-hydrology, a new science emerging in 2012, aims to explain the dynamics and co-evolution of the coupled human-water systems. Studies on socio-hydrology have been reported from the hydrological perspective, co-evolutionary perspective and integrated catchment management perspective, but an important limitation in current literature is lack of approaches to quantify the factors of societal system and to integrate the theories from natural science and social science.

Theory and Practice of Socio-hydrology investigates the mechanism of co-evolution of the human-water relationship from the inter-disciplinary perspective. It systemically develops the methods of quantifying the factors in societal systems to address the limitation of current development of socio-hydrology. This book for the first time innovatively proposes the special and generalized theoretical frameworks of socio-hydrology. It focuses at catchment scale but at several temporal scales of decades, centuries and thousands of years. This book puts same emphasis on both theoretical innovation and practical cases. It takes the Hei River Basin in North-western China and the Murray-Darling Basin in South-eastern Australia as case studies to unravel the co-evolved mechanism of societal system-hydrological system-ecological system at catchment scale. This book provides a new pathway for solving the human-water contradiction.

This book includes four sections of twenty-four chapters.

Section one is the research progress and theoretical development of socio-hydrology, consisting of four chapters. Chapter One introduces the development of socio-hydrology, Chapter Two analyzes the development of socio-hydrology based on the papers on socio-hydrology in the Web of Science with the biblio-metrical approach. Chapter Three proposes a special socio-hydrological theoretical framework, Chapter Four proposes a generalized socio-hydrological theoretical framework.

Section Two is the methods for development of socio-hydrology, including three

chapters, Chapter Five to Chapter Seven. Chapter Five develops a method of quantifying societal values on water with the mapping knowledge domains approach. Chapter Six introduces the content analysis approach for quantifying the social factors from historical documents, and develops news media sampling techniques for subjects that require long timeframes and emphasis on content analysis. Chapter Seven systematically reviews the characteristics of hydrological proxy data, and the principle and methods of hydrologic reconstruction with these proxy data.

Section Three is the practices of socio-hydrology. It comprises of three sub-sections.

The first sub-section is about societal values on water. Chapter Eight develops an understanding of the evolution of newspaper coverage of water issues in China by analyzing water-related articles in a major national newspaper, *the People's Daily*, over the period 1946–2014 using a content analysis approach. Chapter Nine investigates farmers' value on water for social security, economic development and ecological sustainability in Zhangye City of the Heihe River Basin with a questionnaire based interview approach. Chapter Ten examines newspaper articles in Australia's *The Sydney Morning Herald* from 1843 to 2011 to observe the evolution of media coverage on water issues related to sustainable water resources management.

The second sub-section is water policy and management covering seven chapters. Chapter Eleven documents the evolution of institutions and systems of water management in the Heihe River Basin in the historical period and summarizes the existing problems of water resource management systems in this river basin. Chapter Twelve divides the water resources utilization of the Heihe River Basin in the history into four stages. Chapter Thirteen investigates the evolutionary history of agricultural and water technology in the Heihe River Basin with WanFang Data and CNKI databases. Chapter Fourteen unfolds the trajectory of China's water policy over time between 1949 and 2014 by analyzing the water related laws, administrative regulations and regulatory documents issued by the State Council and its ministries. Chapter Fifteen develops an index evaluation system on water-saving society construction with the analytic hierarchy process approach and applies it in Zhangye City. Chapter Sixteen introduces the development, policy and institutional history of water resources in Australia and highlights the experiences from which China can learn. Chapter Seventeen provides a historical assessment of water governance institutions in the Murray-Darling Basin from the published work with a quantitative indicator assessment system.

The third sub-section is the co-coupling between hydrological system, ecological system and societal system at catchments, including six chapters. Chapter Eighteen develops a

water resources pressure indicator system including water resources quantity pressure, water resources economic pressure and water environmental pressure to assess water resources pressure index in the Heihe River from 2000 to 2010. Chapter Nineteen simulates the hydrological response to land use change in the Heihe River Basin, and identifies the trade-off between agricultural development in Zhangye catchment and environmental sustainability in Ejina oases. Chapter Twenty investigates the historical process of oasis evolution in the Heihe River Basin. Chapter Twenty-one reconstructs the change processes of water generation in upstream, water use for crop production in the middle reach and water supply to lakes in lower reach in the past 2000 years using historical analysis and hydrological reconstruction methods. Chapter Twenty-two proposes a socio-hydrological water balance framework by partitioning total evapotranspiration (ET) at catchment into ET for social system and ET for natural ecological systems, and establishing the linkage between the changes of water balance and its social drivers and resulting environmental consequences in the Murray-Darling Basin (MDB) over the period 1900~2010. Chapter Twenty-three quantifies the evolution of societal value of water resources for supporting economic development versus those supporting environmental sustainability in Australia over a period of 169 years and discussed the co-evolution of societal value on water with hydrological system and ecological system.

Section Four is the conclusion of this book. Chapter Twenty-four, the final chapter, briefly summarizes the contents of this book. The theory, methods and practices provided in *Theory and Practice of Socio-hydrology* provide a roadmap for further development of socio-hydrology. In addition, authors argue that an integrated methodology based on the Netwonism, Darwinism, and Historical and Dialectic Materialism is needed for the development of socio-hydrology in future.

We would like to acknowledge that the research work included in this book are financially supported by the Natural Science Foundation of China through the project 91125007 and the Australian Research Council through ARC Future Fellowship -130100274. We would like to give our special thanks to Professor Cheng Guodong, Professor Fu Bojie, Professor Song Changqing, Professor Li Xiubin and Professor Xiao Honglang for their valuable advice on the research implementation included in this book.

Wei Yongping and Zhang Zhiqiang
Feb, 2017

目 录

序
前言

第一部分 理论篇

第 1 章 社会水文学概论	3
1.1 引言	3
1.2 社会水文学的产生历程	4
1.3 社会水文学的内涵与外延	6
1.4 社会水文学的研究进展	10
1.5 结语	12
参考文献	12
第 2 章 社会水文学发展态势计量评价	17
2.1 引言	18
2.2 数据与方法	18
2.3 结果与分析	19
2.4 结论与启示	31
参考文献	31
第 3 章 社会水文学基础理论（狭义）	33
3.1 研究背景	33
3.2 社会水文学定义	35
3.3 基本理论	35
3.4 结语	38
参考文献	38
第 4 章 社会水文学理论（广义）	40
4.1 引言	41
4.2 工程结构力学与社会水文学的异同	41
4.3 广义社会水文学理论框架	43
4.4 广义社会水文学理论框架与狭义社会水文学理论框架的联系与区别	46
4.5 结语	47
参考文献	47

第二部分 方 法 篇

第 5 章 基于科学知识图谱的水文化研究方法	51
5.1 引言	52
5.2 基于科学知识图谱的水文化变迁研究方法	53
5.3 基于科学知识图谱的水文化变迁研究方法的检验	61
5.4 讨论与结论	66
参考文献	66
第 6 章 内容分析法及其抽样技术	69
6.1 内容分析法概述	70
6.2 新闻媒体的抽样方法	74
参考文献	84
第 7 章 水文重建方法	88
7.1 引言	88
7.2 水文重建代用资料及其方法	89
7.3 土地利用重建	99
7.4 结论	103
参考文献	104

第三部分 实 践 篇

第 8 章 中国水文化变迁定量研究	111
8.1 引言	112
8.2 研究方法	113
8.3 研究结果	115
8.4 讨论和结论	125
参考文献	127
第 9 章 黑河流域水文化价值观调查研究	130
9.1 引言	131
9.2 方法	131
9.3 结果与分析	133
9.4 讨论与结论	147
参考文献	148
第 10 章 澳大利亚水文化变迁定量研究	149
10.1 背景介绍	149
10.2 数据与方法	150

10.3 结果	154
10.4 讨论与结论	161
参考文献	163
第 11 章 中国水管理制度变迁研究	166
11.1 流域水资源管理机构的历史变迁	167
11.2 流域水资源管理制度的历史演变与特点	168
11.3 流域水资源管理制度变化的因素分析	172
11.4 流域水资源管理制度变迁的现实启示	174
参考文献	176
第 12 章 黑河流域水资源开发利用研究	178
12.1 黑河历史时期水资源利用的变化	179
12.2 黑河历史时期水资源利用变化的阶段性特点	182
12.3 黑河流域水资源开发利用的历史经验与启示	186
12.4 结语	187
参考文献	187
第 13 章 黑河流域灌溉农业技术演化研究	189
13.1 引言	189
13.2 研究方法	190
13.3 黑河流域历史时期农业技术汇总	193
13.4 技术格局演变及分析	202
13.5 结论	203
参考文献	203
第 14 章 中国水政策定量研究	205
14.1 引言	206
14.2 研究方法	207
14.3 研究结果	209
14.4 讨论和结论	226
参考文献	226
第 15 章 黑河流域节水型社会建设绩效评价	228
15.1 引言	228
15.2 节水型社会建设的指标体系构建	229
15.3 节水型社会建设的评价方法	231
15.4 节水型社会评价实例——张掖市节水型社会评价	231
15.5 结论与建议	233
参考文献	234

第 16 章 澳大利亚水资源管理制度变迁研究	235
16.1 澳大利亚流域概述.....	236
16.2 澳大利亚水资源管理简史.....	237
16.3 澳大利亚多层级水治理的制度变迁：墨累-达令流域案例.....	240
16.4 结语.....	247
参考文献.....	248
第 17 章 墨累-达令流域水资源管理制度评价	249
17.1 引言.....	250
17.2 研究方法.....	251
17.3 结果.....	256
17.4 讨论与结论.....	263
参考文献.....	265
第 18 章 黑河流域水资源压力变化定量评价	269
18.1 流域水资源状况.....	270
18.2 水资源压力分析的理论基础.....	272
18.3 黑河水资源压力指标体系构建方法.....	273
18.4 黑河流域水资源压力分析.....	275
18.5 结语.....	278
参考文献.....	278
第 19 章 黑河流域中下游农业发展与生态可持续性权衡分析	280
19.1 引言.....	281
19.2 中游农业发展的水文响应.....	282
19.3 下游生态退化.....	285
19.4 中下游生态经济权衡关系.....	287
19.5 结论.....	289
参考文献.....	290
第 20 章 黑河流域绿洲演变分析	291
20.1 黑河流域绿洲演变的历史轨迹.....	292
20.2 黑河流域人工绿洲演变的定性分析.....	297
20.3 黑河流域绿洲变化驱动机制分析.....	298
参考文献.....	300
第 21 章 黑河流域人水关系变迁研究	302
21.1 引言.....	303
21.2 研究方法.....	304
21.3 流域过去 2000 年人水关系变迁.....	317

21.4 结论	321
参考文献	322
第 22 章 墨累-达令流域人水关系研究	325
22.1 引言	326
22.2 社会水文学流域水平衡研究方法	326
22.3 社会水文学流域水平衡研究在墨累-达令流域的应用	327
22.4 对墨累-达令流域管理的启示	337
22.5 结语	339
参考文献	339
第 23 章 墨累-达令流域社会-水文-生态政策协同演化	341
23.1 研究背景	342
23.2 研究方法	343
23.3 结果	346
23.4 对澳大利亚水资源管理的启示	353
23.5 结语	353
参考文献	354

第四部分 结 语

第 24 章 社会水文学发展展望	359
24.1 需要新的哲学基础	359
24.2 未来研究方向	360
24.3 结语	361
附录	362
附图	363