

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

气候变化对中国东部季风区陆地水循环与
水资源安全的影响及适应对策



气候变化对中国东部季风区 陆地水循环与水资源安全的 影响及适应对策

夏 军 罗 勇 段青云 著
谢正辉 莫兴国 刘志雨



科学出版社



国家重点基础研究发展计划（973计划）2010CB428400项目

气候变化对我国东部季风区陆地水循环与水资源安全的影响及适应对策

“十三五”国家重点出版物出版规划项目

气候变化对中国东部季风区陆地水循环与
水资源安全的影响及适应对策

气候变化对中国东部季风区 陆地水循环与水资源安全的影响及适应对策

夏 军 罗 勇 段青云 著
谢正辉 莫兴国 刘志雨

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是国家重点基础研究发展计划(973计划)项目“气候变化对我国东部季风区陆地水循环与水资源安全的影响及适应对策”(项目编号2010CB428400)成果系列专著的综合篇。全书围绕陆地水文和气候变化影响与适应对策关键科学问题,选择对中国水资源安全有重要意义的东部季风区陆地水文时空分布和变化、南北方典型的水资源安全问题为切入点,分别从检测与预估、响应与归因、影响与后果、适应与对策4个层面开展了水循环变化和应对气候变化影响的适应对策研究工作,形成应对气候变化对中国水资源安全影响与适应对策的科研与应用成果。

本书可供国家相关部门以及水文水资源、全球变化、地理学科科研机构研究人员参阅,也可供大专院校相关专业的师生借鉴和参考。

图书在版编目(CIP)数据

气候变化对中国东部季风区陆地水循环与水资源安全的影响及适应对策/夏军等著. —北京:科学出版社, 2017. 1

(气候变化对中国东部季风区陆地水循环与水资源安全的影响及适应对策)
“十三五”国家重点出版物出版规划项目

ISBN 978-7-03-048099-6

I. ①气… II. ①夏… III. ①气候变化-影响-季风区-陆地-水循环-研究-中国②气候变化-影响-季风区-陆地-水资源管理-安全管理-研究-中国 IV. ①P339②TV213.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第093751号

责任编辑:李 敏 周 杰 林 剑/责任校对:邹慧卿

责任印制:肖 兴/封面设计:铭轩堂

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>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年1月第一版 开本:787×1092 1/16

2017年1月第一次印刷 印张:21 1/4

字数:500 000

定价:168.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《气候变化对中国东部季风区陆地水循环 与水资源安全的影响及适应对策》

丛书编委会

项目咨询专家组

孙鸿烈	徐冠华	秦大河	刘昌明
丁一汇	王 浩	李小文	郑 度
陆大道	傅伯杰	周成虎	崔 鹏

项目工作专家组

崔 鹏	王明星	沈 冰	蔡运龙
刘春蓁	夏 军	葛全胜	任国玉
李原园	戴永久	林朝晖	姜文来

项目首席

夏 军

课题组长

夏 军	罗 勇	段青云	谢正辉
莫兴国	刘志雨		

气候变化对我国东部季风区陆地水循环 与水资源安全的影响及适应对策

依托部门

中国科学院 中国气象局

责任单位

中国科学院地理科学与资源研究所

参加单位

国家气候中心

水利部水利信息中心

中国科学院大气物理研究所

中国科学院东北地理与农业生态研究所

水利部水利水电规划设计总院

北京师范大学

武汉大学

序 一

气候变化对水资源安全的影响与适应对策是全球环境变化的重大前沿课题，也是中国可持续发展面临的重大需求问题。中国东部季风区土地面积约占中国国土总面积的 46%，人口却占到全国总人口的 95% 以上，是中国人口、资源与环境矛盾最为尖锐的地区之一，尤其中国东部季风区联系的长江、黄河、淮河、海河、珠江、松花江等八大流域环境变化剧烈，水资源短缺和水旱灾害问题十分突出。因此，气候变化背景下中国东部季风区水循环演变规律和水安全保障的适应性对策研究有着重要的价值和意义。

以夏军教授为首席科学家，由中国科学院、中国气象局、水利部、教育部相关科研院所与大学优秀人才组成的科研团队，自 2010 年 1 月起历时五年，开展了国家重点基础研究发展计划（973 计划）项目“气候变化对我国东部季风区陆地水循环与水资源安全的影响及适应对策”研究，取得了一批可喜的科研与应用成果，2014 年年底项目验收被评估为优秀。

项目的特色是针对中国东部季风区既有自然变率又有人为强迫多重影响突出的水问题，抓住了气候变化对水资源影响亟待回答的四个关键点，即“过去怎么变？未来怎么变？变化的机理是什么？如何应对气候变化？”，提出了“检测与预估”“响应与归因”“影响与后果”和“适应与对策”相互联系的四个方面研究成果，并在国内外顶级期刊发表学术论文超过 300 篇，其中 SCI 收录 174 篇、EI 收录 34 篇，出版专著 9 部，“气候变化与水资源”中英文专刊 3 部，申请发明专利 4 项。通过研究，发现了中国陆地水文循环主要变化是温室气体排放影响叠加在东部季风区显著自然变率背景下共同作用形成的规律，其中自然变率占主要成分。就全国平均而言，降水自然变率导致径流变化的贡献率达 70%。另外，温室气体排放贡献也占到了 30%，预估在未来 CO₂ 排放增加情景下，气候变化影响的贡献率将逐步增大，中国极端水旱灾害有进一步增加的态势等新的认识。成果应用到水利部水利水电设计总院、水利部水文局（水利信息中心）和中国气象局应对气候变化影响的水资源安全对策与建议，以及联合国“水与人类未来”的全球水安全重大战略咨询，发挥了重要的基础研究与应用支撑的关键作用，是一项国内外同类研究处于国际前列的优秀科研成果，在国内外产生了重要的影响。

特此为序！



中国科学院院士
2015 年 12 月 8 日

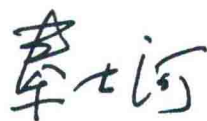
序 二

全球变化与水资源是当今国际地球系统科学重要的前沿问题之一，也是全球水与人类未来和可持续发展面对的重大需求问题。中国是全球人口最多、面临水资源压力最为严峻的发展中国家。中国的气候变化与水资源研究已经成为国际全球变化与适应性管理的一个热点问题。东部季风区是中国三大自然区之一，土地面积占全国的46%，人口占全国的95%，是中国最主要的经济发展区，也是水资源问题最为突出、气候变化影响最为敏感的地区。

以夏军教授为首席科学家的科研团队，依托中国科学院和中国气象局等部门，承担了国家重点基础研究发展计划（973计划）项目“气候变化对我国东部季风区陆地水循环与水资源安全的影响及适应对策”，以中国科学院地理科学与资源研究所为责任单位，国家气候中心、水利部水文局（水利信息中心）、中国科学院大气物理研究所、中国科学院东北地理与农业生态研究所、水利部水利水电规划设计总院、北京师范大学、武汉大学为承担单位组成的学术团队，历时五年，同心协力、团结合作、兢兢业业、科研创新，取得了系统性的科研成果。该科研团队建设了基于质量控制与分析校正后的高密度格点数据集和水文气象数据库，给出了过去五十多年中国陆地分区水汽-降水-径流水循环收支平衡关系；建立了“水文-气候”双向耦合模式，揭示了气候变化对水循环影响与成因；提出了基于贝叶斯理论的气候变化概率预测新途径，减少了多模式降水预估的不确定性；发展与气候变化联系的非稳态极值洪水频率计算方法及水资源脆弱性多元函数分析的理论与方法；建立了脆弱性与适应性的联系，提高了应对气候变化影响的水资源适应性管理与对策的科学性。这些研究成果应用到中国东部季风区长江、黄河、淮河、海河、珠江、松花江、辽河等八大流域，在应对气候变化保障水安全的流域规划、南水北调重大调水工程、水资源适应性管理与对策等方面发挥了重要的科学基础研究与支撑作用，产生了重要的社会效益。项目首席科学家夏军获2014年“国际水文科学奖”，研究成果在国内外产生了重要影响。

该书是近些年来全球变化与中国东部季风区水循环水资源影响研究与适应性对策领域的一项优秀成果。

特此为序！



中国科学院院士
2015年12月1日

前 言

气候变化与水资源是当代世界性重大课题。中国东部季风区覆盖了长江、黄河、淮河、海河、辽河、松花江、东南诸河、珠江等八大流域，水循环与水资源变化十分复杂，既受到较强的东亚季风区自然变率影响，也受到高强度人类活动联系的人为强迫影响，水资源、水灾害、水环境、水生态问题十分突出。气候变化与水资源是“中国应对气候变化国家方案”重点关注的课题之一。2009年，科学技术部（简称科技部）发布了国家973计划项目中的“气候变化与水资源”申请指南。在中国科学院、中国气象局以及水利部和教育部的大力支持下，由中国科学院地理科学与资源研究所主持，以夏军为首席科学家，联合中国科学院大气物理研究所、中国科学院东北地理与农业生态研究所、中国气象局国家气候中心、水利部水利信息中心和水利水电规划设计总院、北京师范大学、武汉大学等单位，通过“产”“学”“研”科研团队的强强联合，成功申请到国家重点基础研究发展计划（973计划）项目“气候变化对我国东部季风区陆地水循环与水资源安全的影响及适应对策”（项目编号2010CB428400）。

项目研究的总目标：揭示水循环时空变化与响应机理，预估气候变化影响的不确定性，发展“陆-气双向耦合”模型，阐明陆地水循环变化的成因；评估流域水资源脆弱性，提出应对气候变化的适应性对策；凝聚创新团队，扩大国际影响力。项目凝炼出国家水资源重大需求联系的三个关键科学问题，即气候变化影响下水循环要素时空变异与不确定性、陆地水文-区域气候相互作用与反馈机理、气候变化影响下水资源脆弱性与适应性等。项目团队历时五年，同心协力、团结合作、兢兢业业、科研创新，较为系统地研究了“过去怎么变？未来怎么变？机理是什么？如何应对变化？”四个核心研究内容。在气候变化背景下东部季风区水循环变化的检测与归因、未来气候变化对中国水资源格局的影响与变化情景预估、针对中国东部季风区和流域以及重大调水工程影响的水资源脆弱性与适应性对策与建议等方面，取得了有重要创新性和系统性的研究成果。

本系列专著是该973计划项目成果的系统总结，由七册专著组成。第一册为综合卷，主要从项目层面重点阐述取得的核心成果、总的结论与认识以及对策与建议。本系列专著的第三册到第七册是该973计划项目中6个课题更为翔实的研究成果与应用总结，分别为《中国陆地水循环演变与成因》《未来水文气候情景预估及确定性分析与量化》《陆地水文——区域气候相互作用》《气候变化对北方农业区水文水资源的影响》《气候变化对南方典型洪涝灾害高风险区防洪安全影响及适应对策》和《气候变化影响下中国水资源的脆弱性与适应对策》。

本册是系列专著的第一册，共分两大部分。第一部分是综合篇，分为7章。第1章是绪论，主要阐述气候变化与水资源国内外研究现状与进展，973计划项目的主要内容和框

架体系，由夏军、占车生撰写；第2章重点论述气候变化对中国东部季风区水循环水资源影响的检测与归因，由罗勇、姜彤等撰写；第3章阐述未来气候变化影响的不确定性与情景预估，由段青云、徐宗学等撰写；第4章论述变化环境下“陆-气双向耦合”模式与水循环响应机理，由谢正辉、夏军、占车生等撰写；第5章阐述气候变化对东部季风区南、北方典型流域水问题的影响，由莫兴国、章光新、刘志雨等撰写；第6章论述应对气候变化影响的水资源脆弱性与适应性对策，由夏军、李原园等撰写；第7章是973计划项目研究成果取得的总体结论与对策建议，由夏军、占车生撰写。

第二部分是该973计划项目6个课题研究成果的提要篇，重点简介课题研究成果与关键性的认识与结论，分别由课题组长罗勇、段青云、谢正辉、莫兴国、刘志雨、夏军完成。全书由项目首席夏军统稿。

在该973计划项目研究和本系列专著撰写的过程中，得到了咨询专家组孙鸿烈院士、秦大河院士、徐冠华院士、刘昌明院士、郑度院士、丁一汇院士、陆大道院士、李小文院士、傅伯杰院士、王浩院士、周成虎院士、崔鹏院士的悉心指导，得到了973计划项目专家组王明星研究员、沈冰教授、蔡运龙教授、刘春蓁教授级高工、任国玉研究员、姜文来研究员悉心帮助。特别感谢刘春蓁教授级高工对该项目的悉心指导和对本书的修改与完善提出了许多重要的修改建议。参与本册辅助编辑的工作人员还有杨鹏、洪思、宁理科、雒新萍、邱冰、陈俊旭、万龙、翁建武等，在此一并对他们表示衷心感谢！此外，本册专著部分研究内容还得到“淮河流域水污染治理技术与集成示范”项目“淮河流域水质—水量—水生态联合调度关键技术研究及示范”课题（2014ZX07204-006）和“干旱半干旱区生态系统和水资源脆弱性评估及风险预估”（2012CB956204）项目的资助。在此表示感谢！

鉴于作者认识水平所限，书中难免存在不足之处甚至错误，敬请读者批评指正！

著 者

2015年11月

目 录

综 合 篇

第1章 绪论	3
1.1 背景	3
1.2 国家重大需求分析	4
1.3 国内外研究进展和发展趋势	6
1.3.1 国际研究进展和发展趋势	6
1.3.2 国内研究现状和水平	10
1.4 关键科学问题与框架体系	11
1.4.1 科学问题与关注要点	11
1.4.2 框架体系	11
第2章 气候变化对中国东部季风区水循环水资源影响的检测与归因	13
2.1 季风区陆地水循环时空变异的检测与归因	13
2.1.1 大气中水汽-降水-径流收支平衡与水循环变化的再认识	13
2.1.2 蒸散发的年代际时空变化规律与成因	20
2.2 水循环时空变异及其原因	22
第3章 未来气候变化影响的不确定性与情景预估	27
3.1 贝叶斯理论模型	27
3.2 降水预估的共识性与可信度统计方法	28
3.2.1 降水季节预报流程	28
3.2.2 中国东部季风区降水的季节可预报性	29
3.3 贝叶斯多模型统计降尺度方法及应用	29
3.4 基本认识	32
第4章 “陆-气双向耦合”模式与水循环响应机理	33
4.1 区域水循环响应机理研究	33
4.1.1 大尺度陆地水循环模型 CLM-DTVGM 的构建	33
4.1.2 考虑取水、调水和作物生长的区域陆-气耦合模式	37
4.1.3 陆气双向耦合的陆面数据同化系统	38
4.2 东部季风区过去水循环变化成因探究	40
第5章 气候变化对东部季风区北方和南方典型流域水问题的影响	41

5.1 气候变化对华北及东北农业水资源的影响	41
5.1.1 华北及东北地区干旱强度和频率的演变和趋势	41
5.1.2 生态水文关键参数的尺度扩展方法	51
5.1.3 华北平原作物种植系统对气候变化的响应	52
5.1.4 东北和华北水资源消耗对气候变化的响应	56
5.2 气候变化对中国南方典型流域洪涝灾害影响	57
5.2.1 非稳态水文极值系列洪水频率计算方法	57
5.2.2 适用于洪水预估的气候模式和区域降尺度方法	58
5.2.3 气候变化对中国洪涝灾害风险的影响	59
第6章 应对气候变化影响的水资源脆弱性与适应性对策	65
6.1 变化环境下水资源脆弱性理论与方法	65
6.1.1 变化环境下水资源脆弱性分析新的模型与方法	65
6.1.2 未来气候变化影响下的水资源脆弱性	71
6.2 应对气候变化影响水资源适应性管理的体系与框架	78
6.2.1 水资源适应性管理新的概念与定义	78
6.2.2 水资源适应性管理的体系与框架	78
第7章 结论与对策建议	86
7.1 认识与总结	86
7.1.1 气候变化对中国陆地水循环影响的检测与归因	86
7.1.2 未来气候变化影响的不确定性与情景预估	87
7.1.3 平稳水文极值系列洪水频率计算	87
7.1.4 气候变化背景下水资源脆弱性	88
7.1.5 中国水资源规划及重大工程设计应对气候变化影响的不足	89
7.2 对策与建议	90
参考文献	93

专 题 篇

科学基础研究与进展

课题一：东部季风区陆地水循环要素演变规律分析与成因辨识	99
第1章 陆地水循环气候要素多时间尺度变化规律	100
1.1 黄河流域水循环气候要素变化规律	100
1.1.1 1961~2010年黄河流域降水量及雨日的气候变化特征	100
1.1.2 年降水量及雨日减少的成因分析	107
1.1.3 流域季节降水的成因分析	108
1.2 长江水循环气候要素变化规律	109

1.2.1 长江流域春夏季降水量时间变化规律	109
1.2.2 长江流域春夏季降水量空间分布规律	112
1.2.3 长江流域春夏季水汽输送及收支的气候特征	115
第2章 东部季风区蒸散发特征分析	118
2.1 松花江流域实际蒸散发时空变化	118
2.2 海河流域实际蒸散发时空变化	120
2.3 珠江流域实际蒸散发时空变化	123
2.4 长江流域实际蒸散发时空变化	127
2.5 季风区流域蒸散发比较分析	129
第3章 东部季风区水文循环特点研究	132
3.1 水汽通量	132
3.1.1 整层大气水汽总量	132
3.1.2 水汽收支	132
3.1.3 水汽输送影响范围	133
3.2 陆地水量平衡	135
第4章 不同空间尺度的流域径流预估及其不确定性	137
4.1 珠江流域径流预估及不确定性分析	137
4.2 淮河流域径流变化及预估	139
4.2.1 淮河流域径流变化	139
4.2.2 淮河流域径流预估	140
4.3 长江和黄河典型流域径流预估	142
4.3.1 长江和黄河典型流域径流变化	142
4.3.2 长江和黄河典型流域水循环预估	143
第5章 东部季风区极端水文事件变化特征	150
5.1 降水极值	150
5.2 径流极值	153
第6章 气候变化和人为活动对陆地水循环影响的相对贡献辨识	155
6.1 基于气候模式的归因分析	155
6.1.1 模式检验	155
6.1.2 人类活动和自然变率的贡献分析	158
6.2 基于水文模型的成因分析	159
6.2.1 降水量突变检测	159
6.2.2 降水对径流变化的贡献	161
6.2.3 气候变化和人类活动对径流影响的成因分析	163
第7章 东部季风区主要江河流域水文-气候数据分析	165
7.1 东部季风区气候数据的均一化及分析	165
7.2 格点数据集研制	167

7.3 气候-水文数据库建设	167
参考文献	168
课题二：气候变化背景下未来水文情景预估及不确定性研究	170
第1章 全球气候模式适用性评估与预测应用	171
1.1 全球气候模式在东部季风区的适用性评估	171
1.2 应用贝叶斯多模型平均（BMA）方法气候变化预测	172
1.3 应用贝叶斯多模型进行 CMIP5 极端气候指数预测	176
1.4 未来气候变化情景下降水预估的共识性与可信度	184
1.5 中国和东部季风区典型流域未来温度和降水的预估	186
第2章 统计降尺度方法研究	189
2.1 统计降尺度与动力降尺度对比研究	190
2.2 STNSRP 统计降尺度模型研究	190
2.3 基于 DCA 方法的统计-动力混合降尺度研究	191
参考文献	194
课题三：陆地水文-区域气候耦合模拟及水循环变化机理分析	199
第1章 陆地水文-区域气候耦合模式系统研制与应用	200
1.1 大尺度陆地水循环模拟系统构建	200
1.2 陆面水文-区域气候双向耦合模式系统构建	201
1.3 取水用水和调水对局地陆面过程及区域气候的影响机理	201
1.4 取水用水与作物生长过程对区域气候的影响及机理	202
第2章 陆面数据同化系统构建	203
2.1 显式四维变分同化方法 PODEn4Dvar	203
2.2 陆面数据同化系统构建	203
第3章 东部季风区陆地水循环时空变异	204
3.1 东部季风区地表水文变量的变化趋势及对强迫的响应	204
3.2 陆表干旱的时空变化与极端降水气温事件	204
3.3 大气水循环特征演变及陆气耦合强度模拟与机理分析	205
3.4 东部季风区过去水循环变化成因探究	206
3.5 中国东部季风区未来 50 年气候变化情景模拟	206
参考文献	208

水资源及水旱灾害应用

课题四：气候变化下我国北方农业及生态脆弱区水文水资源的响应	210
第1章 生态水文模型与农业干旱分析	211
1.1 试验观测和基础数据整理	211

1.2	生态水文模型	211
1.3	过去和未来我国北方主要农业区干旱时空变化规律	212
第2章	近50年来气候的变化对流域作物产量、蒸散、径流的影响	213
2.1	气候变化对作物生产和水分利用的影响	213
2.2	气象变化对作物蒸散和产量影响的归因分析	215
2.3	气象变化对流域径流影响的归因分析	216
2.4	华北平原、松嫩平原作物耗水和土壤水的时空变化格局	218
第3章	未来气候变化对典型区域径流、农业耗水的影响	223
3.1	未来气候变化下黄淮海平原作物产量、蒸散、灌溉需求变化	223
3.2	未来气候变化下东北松嫩-三江平原径流、农业需水、灌溉需水变化	228
3.3	利用夏季风指数预测未来气候变化下黄河中游径流	230
第4章	保障粮食安全的区域水资源安全适应措施与对策	232
4.1	基于华北平原水资源安全的农业适应性对策	232
4.2	应对气候变化的松嫩-三江平原水资源适应性对策	233
课题五:	气候变化对南方典型洪涝灾害高风险区防洪安全影响及适应对策	235
第1章	未来二十年到五十年洪水情势预估	236
1.1	从CMIP5筛选可用的全球环流模式(GCMs)	236
1.1.1	CMIP5模式对当前珠江流域降水模拟能力评估	236
1.1.2	模拟结果相似性检验	239
1.1.3	模式筛选	240
1.2	洪水预估不确定性的等级划分	241
1.3	珠江和淮河流域未来20~50年洪水预估	241
1.3.1	汛期年最大流量与日流量(径流深)相关分析	241
1.3.2	基准期及未来20~50年日流量过程模拟	242
1.3.3	极端水文事件对未来气候变化的响应	243
第2章	气候变化条件下洪水频率计算方法研究	262
2.1	气候变化下的洪水频率计算	262
2.1.1	水文极值与气候影响因子关系的初步分析	262
2.1.2	淮河流域水文极值统计预测模型	264
2.2	非稳态洪水极值频率计算方法	270
2.2.1	降水强度增大下洪水频率计算方法	270
2.2.2	降水频次增加下洪水频率计算方法	273
2.2.3	洪水历时缩短下洪水频率计算方法	276
第3章	气候变化对区域防洪安全的影响	279
3.1	研究方法	279
3.2	气候变化对重要水库工程和区域防洪安全风险的影响	279

3.2.1 飞来峡流域 VIC 模型构建与评估	279
3.2.2 极端水文事件对未来气候变化的响应	280
3.3 气候变化下极端洪水对工程设计、运行等防洪安全影响	283
3.3.1 未来情景极端入库洪水平均预估	283
3.3.2 气候变化下防洪适应对策与建议	283
3.4 气候变化对淮河典型区域防洪安全风险的影响	284
3.4.1 基准期及 RCPs 情景下王家坝断面流量过程模拟	284
3.4.2 极端水文事件对未来气候变化的响应	284
3.4.3 气候变化下极端洪水对蓄滞洪区运用及区域防洪安全的影响	286
第4章 气候变化对城市防洪安全的影响	288
4.1 方法与途径	288
4.2 雨潮联合分布函数构建——广州市	288
4.3 雨洪组合风险概率模型——蚌埠市	292
4.4 气候变化对广州市城区内涝风险概率影响	292
4.4.1 广州未来气候情景预估	292
4.4.2 广州未来海平面变化预估	294
4.4.3 广州雨潮组合风险概率对气候变化的响应	295
4.5 气候变化对滨河城市外洪与城市暴雨遭遇概率影响	296
4.5.1 历史城市暴雨洪水遭遇概率分析	296
4.5.2 未来情景下外洪与城市暴雨遭遇概率趋势分析	297
参考文献	298

适应与对策

课题六：气候变化背景下我国水资源脆弱性与适应对策	300
第1章 未来气候变化影响下的水资源脆弱性	301
1.1 未来水资源来水量变化	301
1.2 未来水资源需水量变化	302
1.3 变化环境下中国水资源脆弱性评估	303
第2章 变化环境下中国东部季风区水资源适应性对策与效益分析	306
2.1 适应性水资源管理指标体系与调控变量	306
2.2 水资源适应性管理与决策集的分析方案	307
2.3 水资源脆弱性与可持续发展态势	307
2.4 水资源适应性管理与对策的情景与效益分析	311
2.5 总的认识与几点建议	320
参考文献	322
索引	324



综 合 篇

