

“十二五”国家重点图书出版规划项目



海河流域水循环演变机理与水资源高效利用丛书

海河流域水循环演变机理与 水资源高效利用

王浩 王建华 贾仰文 等 编著



科学出版社

国家重点基础研究发展计划 (973计划) 项目 (2006CB403400, 2015CB452701)

国家自然科学基金项目 (51209224, 51379215)

流域水循环模拟与调控国家重点实验室自主研究课题 (资ZY1302)

资助

全球环境基金GEF项目 (HW7-17)

“十二五”国家重点图书出版规划项目

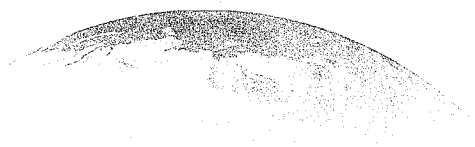


国家出版基金项目
NATIONAL PUBLISHING FUND PROJECT

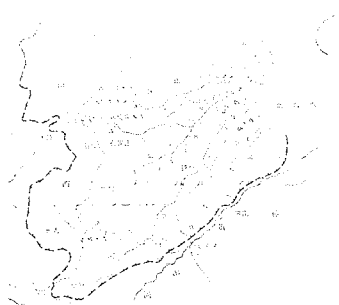


海河流域水循环演变机理与水资源高效利用丛书

海河流域水循环演变机理与 水资源高效利用



王 浩 王建华 贾仰文 等 编著



科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书全面、系统地介绍了海河流域水循环及其伴生过程的机理识别和过程模拟,以及实现水资源利用从低效向高效转移的方法、技术和实现途径。全书共13章,主要内容包括:海河流域水资源问题诊断、“自然-社会”水循环模式与水资源系统演变机理、水循环演化驱动下的流域水生态与环境演变机理、海河流域水循环及其伴生过程综合模型系统构建、海河流域水资源系统评价及其演变规律研究、海河流域水生态与环境演变规律与评价、基于均衡理论的海河流域水循环综合调控模式、水资源利用效率评价方法与海河流域用水效率度量、海河流域农业高效用水原理与节水模式、海河流域城市节水减排机制与高效利用、海河流域水资源与环境综合管理与红线制定、海河流域“水资源-生态-环境”综合调控建议,以及成果创新与应用总结。

本书可供水文、水资源及水环境等相关领域的科研人员、高校相关专业教师和研究生,以及从事流域水文分析、水资源与水环境规划和管理的技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

海河流域水循环演变机理与水资源高效利用 / 王浩等编著. —北京:科学出版社, 2015.9

(海河流域水循环演变机理与水资源高效利用丛书)

“十二五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-03-045633-5

I. 海… II. 王… III. ①海河-流域-水循环-演变-研究②海河-流域-水资源利用-研究 IV. ①P339②P746

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第215580号

责任编辑:李 敏 吕彩霞 / 责任校对:彭 涛

责任印制:肖 兴 / 封面设计:王 浩

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

*

2016年1月第1版 开本:787×1092 1/16

2016年1月第一次印刷 印张:27 1/2 插页:2

字数:850 000

定价:200.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

《海河流域水循环演变机理与水资源高效利用》

主要撰写人员

主 编 王 浩

副主编 王建华 贾仰文

编写人 (拼音或者姓氏笔画排序)

曹寅白 陈吉宁 仇亚琴 甘 泓 康绍忠

刘静玲 陆垂裕 倪广恒 牛存稳 欧阳志云

彭世彰 秦大庸 许 迪 杨金忠 游进军

张光辉 周怀东 周祖昊

总 序

流域水循环是水资源形成、演化的客观基础,也是水环境与生态系统演化的主导驱动因子。水资源问题不论其表现形式如何,都可以归结为流域水循环分项过程或其伴生过程演变导致的失衡问题;为解决水资源问题开展的各类水事活动,本质上均是针对流域“自然-社会”二元水循环分项或其伴生过程实施的基于目标导向的人工调控行为。现代环境下,受人类活动和气候变化的综合作用与影响,流域水循环朝着更加剧烈和复杂的方向演变,致使许多国家和地区面临着更加突出的水短缺、水污染和生态退化问题。揭示变化环境下的流域水循环演变机理并发现演变规律,寻找以水资源高效利用为核心的水循环多维均衡调控路径,是解决复杂水资源问题的科学基础,也是当前水文、水资源领域重大的前沿基础科学命题。

受人口规模、经济社会发展压力和水资源本底条件的影响,中国是世界上水循环演变最剧烈、水资源问题最突出的国家之一,其中又以海河流域最为严重和典型。海河流域人均径流性水资源居全国十大一级流域之末,流域内人口稠密、生产发达,经济社会需水模数居全国前列,流域水资源衰减问题十分突出,不同行业用水竞争激烈,环境容量与排污量矛盾尖锐,水资源短缺、水环境污染和水生态退化问题极其严重。为建立人类活动干扰下的流域水循环演化基础认知模式,揭示流域水循环及其伴生过程演变机理与规律,从而为流域治水和生态环境保护实践提供基础科技支撑,2006年科学技术部批准设立了国家重点基础研究发展计划(973计划)项目“海河流域水循环演变机理与水资源高效利用”(编号:2006CB403400)。项目下设8个课题,力图建立起人类活动密集缺水流域二元水循环演化的基础理论,认知流域水循环及其伴生的水化学、水生态过程演化的机理,构建流域水循环及其伴生过程的综合模型系统,揭示流域水资源、水生态与水环境演变的客观规律,继而在科学评价流域资源利用效率的基础上,提出城市和农业水资源高效利用与流域水循环整体调控的标准与模式,为强人类活动严重缺水流域的水循环演变认知与调控奠定科学基础,增强中国缺水地区水安全保障的基础科学支持能力。

通过5年的联合攻关,项目取得了6方面的主要成果:一是揭示了强人类活动影响下的流域水循环与水资源演变机理;二是辨析了与水循环伴生的流域水化学与生态过程演化

的原理和驱动机制；三是创新形成了流域“自然-社会”二元水循环及其伴生过程的综合模拟与预测技术；四是发现了变化环境下的海河流域水资源与生态环境演化规律；五是明晰了海河流域多尺度城市与农业高效用水的机理与路径；六是构建了海河流域水循环多维临界整体调控理论、阈值与模式。项目在2010年顺利通过科学技术部的验收，且在同批验收的资源环境领域973计划项目中位居前列。目前该项目的部分成果已获得了多项省部级科技进步奖一等奖。总体来看，在项目实施过程中和项目完成后的近一年时间内，许多成果已经在国家和地方重大治水实践中得到了很好的应用，为流域水资源管理与生态环境治理提供了基础支撑，所蕴藏的生态环境和经济社会效益开始逐步显露；同时项目的实施在促进中国水循环模拟与调控基础研究的发展以及提升中国水科学研究的国际地位等方面也发挥了重要的作用和积极的影响。

本项目部分研究成果已通过科技论文的形式进行了一定程度的传播，为将项目研究成果进行全面、系统和集中展示，项目专家组决定以各个课题为单元，将取得的主要成果集结成为丛书，陆续出版，以更好地实现研究成果和科学知识的社会共享，同时也期望能够得到来自各方的指正和交流。

最后特别要说的是，本项目从设立到实施，得到了科学技术部、水利部等有关部门以及众多不同领域专家的悉心关怀和大力支持，项目所取得的每一点进展、每一项成果与之都是密不可分的，借此机会向给予我们诸多帮助的部门和专家表达最诚挚的感谢。

是为序。

海河973计划项目首席科学家
流域水循环模拟与调控国家重点实验室主任
中国工程院院士



2011年10月10日

序

随着我国人口的快速增长和经济社会的不断发展,流域水循环发生了深刻演变。由于全球气候变化和人类活动的不断增强,流域水循环过程严重失衡,引发了一系列资源、环境与生态问题,成为国家可持续发展的瓶颈。海河流域是我国北方最为典型的高强度人类活动区域,为诊断和解决海河流域水资源、水环境和水生态问题,2006 年国家重点基础发展计划(973)批准设立了“海河流域水循环演变机理与水资源高效利用”项目。该项目以海河流域为研究区,揭示了高强度、大规模人类活动密集缺水流域水循环及其伴生过程的演变主要机理,开展了水资源高效利用机制与流域水循环整体调控模式研究,具有明显的自主创新和系统集成特色。

该项目的研究人员参加了我于 1999 年主持的国家 973 项目“黄河流域水资源演化规律与可再生性维持机理”,完成了“黄河流域水资源演变规律与二元演化模型”课题,提出了“自然-社会”二元水循环模式,此后,国内学者陆续开展了二元水循环过程的相关研究。在海河 973 项目中,进一步深化和加强了对流域水循环及其伴生的水环境、水生态过程的模拟,研发了流域“自然-社会”二元水循环及其伴生过程综合模拟模型(NADUWA3E),并基于此提出了流域全过程的水资源“量-质-效”综合评价方法体系和多维临界调控方案。

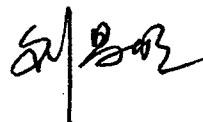
值得指出的是,王浩院士的研究团队面向国家重大需求,经过多年研究和探索,提出的“自然-社会”二元水循环过程理论,和 2013 年国际水文十年将变化中的“自然-社会”水循环确定为今后十年国际水文界的唯一的研究主题相比,领先了 7 年。

我非常高兴地祝贺该项目相关成果已获多项省部级一等奖,并获 2014 年国家科技进步奖一等奖。基于该项目研究的这一专著比较系统的总结了作者所取得的创新性成果。相

信该书显示的活跃学术思想和高水平的研究进展，将为推动水文水资源、水环境和生态及相关领域的研究发挥重要的作用。

是为序。

中国科学院院士



2015 年 11 月 6 日

前 言

受人口规模、经济社会发展和水资源本底条件的影响,我国是世界上水循环演变最剧烈、水资源问题最突出的国家之一。海河流域人均水资源居全国十大一级流域之末,流域内人口稠密、生产发达,行业用水竞争激烈,水环境容量与排污量矛盾尖锐,加之近30年来受流域水资源衰减的影响,水资源短缺、水环境污染和水生态退化问题极其严重。海河流域是我国乃至世界范围内水资源问题最突出的地区,也是人类活动对流域水循环扰动强度最大、程度最深、类型最复杂的地区,它所面临的三大水资源问题是缺水地区的共性问题,它们之间存在着密切的内在联系,相互作用与影响的统一基础是流域水循环。

为揭示人类活动干扰下海河流域水循环及其伴生过程的演变机理与规律,从而为治水和生态环境保护实践提供基础科技支撑,2006年国家重点基础发展“973”计划,批准设立了“海河流域水循环演变机理与水资源高效利用”项目(编号:2006CB403400)。该项目是水利部牵头组织的第一个国家“973”计划项目,首席科学家为王浩院士,项目共设八个课题。课题一“海河流域二元水循环模式与水资源演变机理”由中国水利水电科学研究院和中国地质科学院水文地质环境地质研究所承担,课题负责人为秦大庸和张光辉;课题二“水分驱动下的海河流域生态演变机制与修复机理”由中国科学院生态环境研究中心和河海大学承担,课题负责人为欧阳志云和彭世彰;课题三“海河流域水环境演化机制与水污染防治基础”由北京师范大学和中国水利水电科学研究院承担,课题负责人为刘静玲和周怀东;课题四“海河流域水循环及其伴生过程的综合模拟与预测”由中国水利水电科学研究院承担,课题负责人为王浩和贾仰文;课题五“基于水循环的水资源利用效用评价基础理论与方法”由国家节水灌溉北京工程技术研究中心承担,课题负责人为许迪和王建华;课题六“海河流域农田水循环过程与农业高效用水机制”由中国农业大学和武汉大学承担,课题负责人为康绍忠和杨金忠;课题七“城市二元水循环系统演化与安全高效用水机制”由清华大学承担,课题负责人为陈吉宁;课题八“海河流域水循环多维临界整体调控阈值与模式”由水利部海河水利委员会和中国水利水电科学研究院承担,课题负责人为曹寅白和甘泓。

经过五年的联合攻关,项目在流域水循环模拟与调控方面取得了一系列重大科学发现,取得了四方面的创新性成果:一是揭示了强人类活动影响下流域水循环演变机理与水资源演变规律,并进行了科学的定量归因分析;二是创建了超大流域水循环及其伴生过程综合模拟工具,定量预估了海河流域水循环及其伴生过程的演变趋势;三是提出了“量-质-效”全口径多尺度水资源利用综合评价方法和高效利用机理,确定了海河流域农业和

城市高效用水标准；四是创建了流域水循环多维临界整体调控理论与模式，提出了总量控制目标。

截至2013年12月，本项目发表论文633篇，其中SCI收录167篇、他引910次，EI收录158篇，出版专著26部；获发明专利授权9项，软件著作权14项。项目执行过程中，项目成员广泛参与国际交流，在国际重要大会上作特邀报告89人次，9人次在国际学术组织中担任副主席及以上职务，提升了我国水科学研究的国际地位。本项目下属八个课题于2010年10月29日通过科技部组织的专家验收，评价结果均为“优秀”；整个项目于2010年11月25日通过科技部验收，验收结果为“优秀”，并在同批验收的资源与环境领域13个项目中排名第一。项目所属课题一、课题四、课题六和课题八等四个课题，均获大禹水利科学技术奖一等奖，项目整体成果“流域水循环演变机理与水资源高效利用”获2014年国家科技进步奖一等奖。

本书介绍了海河流域水循环及其伴生过程的机理识别和过程模拟，以及实现水资源利用从低效向高效转移的方法、技术和实现途径，共分13章，包括：科学发展视域下的海河流域水资源问题诊断、“自然-社会”水循环模式与水资源系统演变机理、水循环演化驱动下的流域水生态与环境演变机理、海河流域水循环及其伴生过程综合模型系统构建、海河流域水资源系统评价及其演变规律研究、海河流域水生态与环境演变规律与评价、基于均衡理论的海河流域水循环综合调控模式、水资源利用效率评价方法与海河流域用水效率度量、海河流域农业高效用水原理与节水模式、海河流域城市节水减排机制与高效利用、海河流域水资源与环境综合管理与红线制定、海河流域“水资源-生态-环境”综合调控建议，以及成果创新与应用总结。前言由王建华执笔；第1章来自项目报告，由周祖昊整理；第2章来自课题一和课题四成果，由仇亚琴整理；第3章来自课题二和课题三成果，由牛存稳整理；第4章和第5章来自课题四成果，由仇亚琴整理；第6章来自课题二和课题三成果，由牛存稳整理；第7章来自课题八成果，由游进军整理；第8章来自课题五成果；第9章来自课题六成果，由陆垂裕整理；第10章来自课题七成果，由牛存稳整理；第11章来自课题二、课题三和课题八成果，由周祖昊整理；第12章来自课题八成果，由游进军整理；第13章由贾仰文执笔。全书由王浩、王建华、贾仰文和牛存稳统稿。

在项目的完成和本书的写作过程中，得到科技部、水利部、环保部、国土资源部、国家林业总局以及国际水资源协会等有关单位的大力支持和帮助。孙鸿烈、刘昌明、王光谦、张建云、王超、夏军、玉井信行（Nobuyuki Tamai）、奥康奈尔（O'Connell）、杰兰德（Jay R Lund）等国内外知名专家，对本研究给予了许多指导与帮助。特此致以衷心的感谢。

受时间和作者水平所限，书中错误和不足之处，恳请读者批评指正。

作者

2015年4月于北京

目 录

总序

序

前言

第1章 科学发展视域下的海河流域水资源问题诊断	1
1.1 海河流域概况	1
1.1.1 自然地理条件	1
1.1.2 水文气象	4
1.2 海河流域人类活动特点	7
1.2.1 人口密度大, 城镇化率较高	7
1.2.2 经济发展迅速, 区域间发展不均衡	8
1.2.3 水资源需求量大, 供给不足	8
1.2.4 水利工程发达, 用水量大, 水资源开发利用强度高	9
1.2.5 节水工作较好, 用水效率相对较高	9
1.3 海河流域面临的主要水问题	10
1.3.1 水资源短缺, 供需矛盾突出	10
1.3.2 水污染严重, 水环境恶化	10
1.3.3 河道干涸, 功能退化	11
1.3.4 入海水量锐减, 河口生态环境退化	12
1.3.5 湿地大幅度减少, 生物多样性衰退	12
1.3.6 地下水严重超采, 地面沉降严重	13
第2章 “自然-社会”水循环模式与水资源系统演变机理	14
2.1 变化环境下流域自然水循环演化	14
2.1.1 流域自然水循环定义	14
2.1.2 流域自然水循环演化	16
2.2 社会水循环系统过程及其演变	16
2.2.1 社会水循环系统及其特征	16

2.2.2 社会水循环驱动力与演化机理	17
2.2.3 分行业社会水循环过程与机理	18
2.2.4 社会水循环模拟理论与描述方法	20
2.3 二元水循环耦合机制与模式	21
2.3.1 流域二元水循环的科学内涵	21
2.3.2 “自然-社会”二元水循环耦合机制与认知模式	23
2.3.3 “自然-社会”二元水循环系统演化模式动力学描述	24
2.3.4 流域二元水循环过程的模拟	28
2.4 二元模式下的水循环演变机理	30
2.4.1 万年尺度水循环演化规律的研究	30
2.4.2 千年尺度水循环演化规律研究	31
2.4.3 百年尺度水循环演化规律研究	31
第3章 水循环演化驱动下的流域水生态与环境演变机理	33
3.1 海河流域水景观生态系统演变机理	33
3.1.1 流域生态系统类型与水分补给模式	33
3.1.2 不同垂直梯度流域生态系统类型分布特征	35
3.1.3 基于景观指数的生态系统空间格局分析	38
3.2 典型流域生态水文演变特征及其驱动机制	42
3.2.1 白洋淀水文演变特征及驱动机制	42
3.2.2 白洋淀水文变化对湿地生态系统的影响机制	47
3.2.3 白洋淀水文变化对生态系统服务功能的影响及机制	55
3.3 海河流域主要污染物分布特征	58
3.3.1 有机污染物 (POPs)	58
3.3.2 无机污染物 (重金属)	60
3.3.3 新型污染物	61
3.3.4 小结	62
3.4 典型单元污染物分布规律	63
3.4.1 湖泊——白洋淀	63
3.4.2 水库——西大洋水库	63
3.4.3 城市——北京市	64
3.4.4 小结	65

第4章 海河流域水循环及其伴生过程综合模型系统构建	67
4.1 变化环境下流域水循环及伴生过程耦合机制	67
4.1.1 流域水循环、水环境与水生态三大系统相互作用机制	67
4.1.2 流域水循环及其伴生过程耦合模型框架	68
4.1.3 流域水循环及其伴生过程模型之间的耦合	69
4.2 “水-生态-环境”信息集成和时空展布	71
4.2.1 基础信息采集	71
4.2.2 数据处理与加工	72
4.3 二元循环耦合过程系统模拟	75
4.3.1 流域二元循环耦合过程系统模拟模型框架	75
4.3.2 WEP-L 模型	78
4.3.3 MODFLOW 模型	79
4.3.4 ROWAS 模型	80
4.3.5 DAMOS 模型	81
4.4 流域生态过程描述与模拟	81
4.4.1 流域生态水文模型构建	82
4.4.2 流域分布式作物生长模型的构建	86
4.4.3 植被生态模型构建	87
4.5 流域水环境过程描述与模拟模型	91
4.5.1 流域地表水质模型	91
4.5.2 流域地下水质模型	93
4.5.3 基于水动力学的河湖水系水质模拟	95
4.6 水循环及其伴生过程系统构建	99
4.6.1 总体框架	99
4.6.2 综合模拟系统界面与功能	101
4.7 模型系统校验与评估	107
4.7.1 二元水循环模型验证	107
4.7.2 水环境模型验证	110
4.7.3 生态模型验证	116
第5章 海河流域水资源系统评价及其演变规律研究	128
5.1 海河流域水量平衡与水资源评价	128
5.1.1 海河流域水量平衡	128

5.1.2	海河流域水资源评价	128
5.2	海河流域水资源演变规律研究	130
5.2.1	水资源历史演变	130
5.2.2	海河流域水资源演变规律分析	131
5.3	海河流域水资源演变归因分析	133
5.3.1	基于指纹的归因方法	133
5.3.2	归因情景设置	134
5.3.3	地表水资源量演变的归因分析	135
5.3.4	狭义水资源量演变的归因分析	137
5.4	海河流域水资源情景仿真预测	139
5.4.1	气候变化预测	139
5.4.2	情景设定	143
5.4.3	水量调控下的水资源演变规律预测	146
5.4.4	气候变化下的水资源演变预测	147
第6章	海河流域水生态与环境演变规律与评价	151
6.1	海河流域水生态演变规律	151
6.1.1	海河流域生态敏感性空间格局分析	151
6.1.2	海河流域农业生态演变规律	155
6.1.3	自然植被生态演变规律	158
6.2	海河流域水环境演变规律	162
6.2.1	海河流域水污染排放和水环境现状	162
6.2.2	海河流域地表水环境演变规律	163
6.2.3	海河流域地下水环境变化规律	165
6.2.4	典型流域水环境演变过程与归因分析	166
6.3	海河流域水环境和生态演变预测	167
6.3.1	海河流域水环境演变趋势预测	167
6.3.2	海河流域生态演变趋势预测	169
第7章	基于均衡理论的海河流域水循环综合调控模式	171
7.1	用水强竞争地区的流域水循环调控基础分析	171
7.1.1	流域水循环的多维属性和临界特征	171
7.1.2	流域多维临界调控的准则和决策机制	171
7.1.3	多维临界调控的决策机制	172

7.1.4 多维临界调控整体调控技术框架	174
7.1.5 模型体系	174
7.2 海河流域水循环系统均衡调控理论与模式	177
7.2.1 多维均衡调控目标函数	177
7.2.2 多维效益关系分析	178
7.2.3 水资源环境经济效益分析	179
7.2.4 多维均衡调控方案设置与评价	182
7.2.5 多维均衡临界调控阈值	185
7.2.6 多维理想点与均衡协调模式	189
7.3 海河流域水循环调控体系构架与基本途径	194
7.3.1 国家需求和关键任务分析	194
7.3.2 总量控制策略与方案	195
7.3.3 多维均衡调控的生态环境效应	197
第8章 水资源利用效率评价方法与海河流域用水效率度量	205
8.1 水资源利用效率与效益评价方法	205
8.1.1 相关研究进展与趋势	206
8.1.2 评价方法体系	210
8.2 海河流域水资源利用效率与效益评价	235
8.2.1 土壤水资源及其消耗效率评价	235
8.2.2 社会经济用水效率效益评价	239
8.2.3 生态用水效率效益评价	251
8.3 海河流域高效用水的重点与环节分析	254
8.3.1 农业高效用水	255
8.3.2 工业和生活高效用水	256
第9章 海河流域农业高效用水原理与节水模式	258
9.1 现状农业用水与需水分析	258
9.1.1 海河流域农业用水特征	258
9.1.2 主要作物需水量的变化规律	259
9.1.3 海河流域农业节水发展	262
9.1.4 海河流域节水灌溉分区	264
9.2 海河流域农业用水解析及高效利用原理	268
9.2.1 土壤墒情的遥感监测与地面验证	268

9.2.2	海河流域冬小麦的水分与养分吸收过程	271
9.2.3	冬小麦的土壤水通量过程与地下水利用	273
9.2.4	交替滴灌条件下葡萄根系水分通量过程	273
9.2.5	土壤水分运动的多尺度数值模拟方法	281
9.2.6	交替灌水对作物根系氮素吸收的补偿效应	281
9.2.7	非充分灌溉下主要作物耗水与需水规律	283
9.2.8	节水措施下的作物水分利用率与产量响应	287
9.3	海河流域农业用水效率控制红线制定	288
9.3.1	海河流域农业用水效率评价	288
9.3.2	农业用水效率的尺度效应及其机理	289
9.3.3	农业用水效率尺度转换关系	290
9.3.4	不同尺度农业节水潜力评价方法	291
9.3.5	海河流域农业节水潜力评估	295
9.4	海河流域农业节水模式与途径	296
9.4.1	平原区农业节水措施	296
9.4.2	山地旱农区集蓄径流节水技术	307
第10章	海河流域城市节水减排机制与高效利用	310
10.1	海河流域城市用水发展与现状分析	310
10.1.1	海河流域饮用水源水质状况	310
10.1.2	海河流域城市用水特征	311
10.2	基于二元水循环的可持续城市水系统理论	312
10.2.1	基于二元循环的可持续城市水系统理论框架	312
10.2.2	多尺度城市水资源利用效率评价理论与方法	314
10.2.3	可持续城市水系统规划设计运行理论	316
10.3	海河流域城市节水与安全用水模式与途径	319
10.3.1	海河流域城市生活用水节水潜力分析与管理对策	320
10.3.2	海河流域工业用水节水潜力分析与管理对策	324
10.3.3	海河流域城市雨水利用潜力分析与未来发展重点	328
第11章	海河流域水资源综合调控方案与管理红线制定	334
11.1	海河流域水循环多维整体调控措施与方案	334
11.1.1	经济社会发展、生态环境保护及其水资源需求预测	334
11.1.2	多维临界调控方案的比选与评价	339

11.1.3 调控方案风险分析	341
11.2 海河流域水循环多维整体调控总量控制指标分析	342
11.2.1 总量控制策略	342
11.2.2 总量控制指标选取	343
11.2.3 地表水取水总量	344
11.2.4 地下水开采总量	345
11.2.5 ET 总量及国民经济用水总量	346
11.2.6 排污总量	350
11.2.7 入海水量	352
11.2.8 生态用水总量指标	353
11.3 海河流域水资源综合管理三条红线细化指标	356
11.3.1 用水总量指标细化	356
11.3.2 用水效率与水功能区达标率分解	360
第 12 章 海河流域“水资源-生态-环境”综合调控建议	368
12.1 存在问题分析	368
12.1.1 海河流域面临的主要问题	368
12.1.2 经济社会发展对海河水利保障的新要求	370
12.1.3 海河流域水利保障工作的指导思想、基本原则、目标和任务	371
12.2 调控措施建议	373
12.2.1 大力开展节水与非常规水源利用	373
12.2.2 完善流域水资源配置工程体系	376
12.2.3 大力做好水资源保护工作	381
12.2.4 全面开展河流湿地的水生态修复	385
12.3 管理政策建议	389
12.3.1 严格控制用水总量增长	389
12.3.2 加强水功能区监督管理和水生态修复	392
12.3.3 加强水利信息化建设,完善流域水资源监测网	394
12.3.4 提高水利的社会管理和公共服务能力	395
第 13 章 成果创新与未来展望	399
13.1 成果创新总结	399
13.1.1 强人类活动影响下的流域水循环与水资源演变机理	399
13.1.2 水循环伴生的流域水化学与生态过程演化机理	401

13.1.3	流域二元水循环及其伴生过程综合模拟与预测技术	403
13.1.4	海河流域水资源与生态环境演变规律	404
13.1.5	海河流域多尺度水资源高效利用机制与标准	406
13.1.6	海河流域水循环多维临界整体调控理论、阈值与模式	410
13.2	未来研究展望	413
13.2.1	海河流域未来需要关注的水问题	413
13.2.2	与本书内容相关的新生科学增长点	414
13.2.3	资源领域水资源保障科技发展思路	414
13.2.4	国际水文发展十年计划	415
参考文献		417
索引		419

|第 1 章| 科学发展视域下的海河流域 水资源问题诊断

1.1 海河流域概况

1.1.1 自然地理条件

1. 自然地理

海河流域位于 $112^{\circ}\text{E} \sim 120^{\circ}\text{E}$, $35^{\circ}\text{N} \sim 43^{\circ}\text{N}$, 东临渤海, 西倚太行, 南界黄河, 北接蒙古高原, 包括北京、天津两市全部, 河北省绝大部分, 山西省东部, 河南省、山东省北部, 内蒙古自治区和辽宁省一小部分在内的八省 (直辖市、自治区), 是我国政治、经济

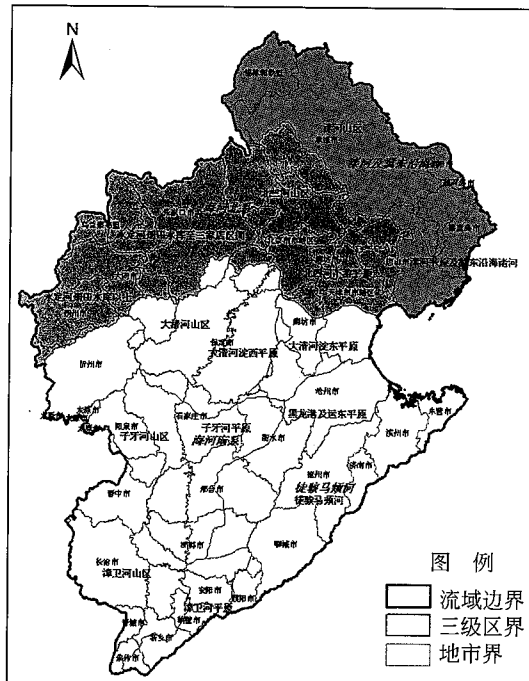


图 1-1 海河流域行政区划