



中国人民大学研究报告系列

中国水处理行业 可持续发展战略研究报告

再生水卷

REPORT FOR SUSTAINABLE
DEVELOPMENT STRATEGY OF
CHINA WATER TREATMENT INDUSTRY
WATER REUSE

主 编 郑 祥 魏源送 张振兴 李锋民



中国人民大学研究报告系列

中国水处理行业 可持续发展战略研究报告

再生水卷

REPORT FOR SUSTAINABLE
DEVELOPMENT STRATEGY OF
CHINA WATER TREATMENT INDUSTRY
WATER REUSE

主 编 郑 祥 魏源送 张振兴 李锋民
副主编 李 萍 王志伟 周 鑫 陈凌云
王亚炜 周 华
主 审 彭永臻 王洪臣
编 委 (以姓氏笔画为序)

于 森	马晓敏	王学军	王海旭
石 磊	田志刚	刘 鹏	孙丽艳
李 刚	李 昆	杨 昆	杨 勇
肖庆聪	谷 风	宋姬芳	陈卫平
陈晓芬	卓 翔	昌敦虎	罗 鸣
赵晋红	侯红娟	徐慧芳	董春松
韩买良	程 荣	雷 洋	蔡木林

中国人民大学出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

中国水处理行业可持续发展战略研究报告. 再生水卷/郑祥等主编. —北京: 中国人民大学出版社, 2016. 3

(中国人民大学研究报告系列)

ISBN 978-7-300-22431-2

I. ①中… II. ①郑… III. ①水处理-化学工业-可持续发展战略-研究报告-中国②再生水-可持续发展战略-研究报告-中国 IV. ①X703

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 021538 号

中国人民大学研究报告系列

中国水处理行业可持续发展战略研究报告 (再生水卷)

主 编 郑 祥 魏源送 张振兴 李锋民

Zhongguo Shuichuli Hangye Kechixu Fazhan Zhanlue Yanjiu Baogao (Zaishengshuijuan)

出版发行 中国人民大学出版社

社 址 北京中关村大街 31 号

电 话 010-62511242 (总编室)

010-82501766 (邮购部)

010-62515195 (发行公司)

网 址 <http://www.crup.com.cn>

<http://www.ttrnet.com> (人大教研网)

经 销 新华书店

刷 刷 北京宏伟双华印刷有限公司

规 格 185 mm×260 mm 16 开本

印 张 13.75 插页 1

字 数 240 000

邮政编码 100080

010-62511770 (质管部)

010-62514148 (门市部)

010-62515275 (盗版举报)

版 次 2016 年 3 月第 1 版

印 次 2016 年 3 月第 1 次印刷

定 价 68.00 元

版权所有 侵权必究

印装差错 负责调换

“中国人民大学研究报告系列”编委会

主 任 陈雨露

副主任 冯惠玲

委 员 (以姓氏笔画为序)

马 中	王孝群	毛基业	冯惠玲	刘大椿
杜 鹏	李路路	杨伟国	杨瑞龙	吴晓求
陈雨露	陈 岳	郝立新	贺耀敏	袁 卫
倪 宁	郭庆旺	董克用	韩大元	温铁军

总序

陈雨露

当前中国的各类研究报告层出不穷，种类繁多，写法各异，成百舸争流、各领风骚之势。中国人民大学经过精心组织、整合设计，隆重推出由人大学者协同编撰的“研究报告系列”。这一系列主要是应用对策型研究报告，集中推出的本意在于，直面重大社会现实问题，开展动态分析和评估预测，建言献策于咨政与学术。

“学术领先、内容原创、关注时事、咨政助企”是中国人民大学“研究报告系列”的基本定位与功能。研究报告是一种科研成果载体，它承载了人大学者立足创新，致力于建设学术高地和咨询智库的学术责任和社会关怀；研究报告是一种研究模式，它以相关领域指标和统计数据为基础，评估现状，预测未来，推动人文社会科学研究成果的转化应用；研究报告还是一种学术品牌，它持续聚焦经济社会发展中的热点、焦点和重大战略问题，以扎实有力的研究成果服务于党和政府以及企业的计划、决策，服务于专门领域的研究，并以其专题性、周期性和翔实性赢得读者的识别与关注。

中国人民大学推出“研究报告系列”，有自己的学术积淀和学术思考。我校素以人文社会科学见长，注重学术研究咨政育人、服务社会的作用，曾陆续推出若干有影响力的研究报告。譬如自2002年始，我们组织跨学科课题组研究编写的《中国经济发展研究报告》《中国社会发展研究报告》《中国人文社会科学发展研究报告》，紧密联系和真实反映我国经济、社会和人文社会科学发展领域的重大现实问题，十年不辍，近年又推出《中国法律发展报告》等，与前三种合称为“四大报告”。此外还有一些散在的不同学科的专题研究报告也连续多年，在学界和社会上形成了一定的影响。这些研究报告都是观察分析、评估预测政治经济、社会文化等领域重大问题的专题研究，其中既有客观数据和事例，又有深度分析和战略预测，兼具实证性、前瞻性和学术性。我们把这些研究报告整合起来，与人民大学出版社资源相结合，再做新的策划、征集、遴选，形成了这个“研究报告系列”，以期放大

规模效应，扩展社会服务功能。这个系列是开放的，未来会依情势有所增减，使其动态成长。

中国人民大学推出“研究报告系列”，还具有关注学科建设、强化育人功能、推进协同创新等多重意义。作为连续性出版物，研究报告可以成为本学科学者展示、交流学术成果的平台。编写一部好的研究报告，通常需要集结力量，精诚携手，合作者随报告之连续而成为稳定团队，亦可增益学科实力。研究报告立足于丰厚素材，常常动员学生参与，可使他们在系统研究中得到学术训练，增长才干。此外，面向社会实践的研究报告必然要与政府、企业保持密切联系，关注社会的状况与需要，从而带动高校与行业企业、政府、学界以及国外科研机构之间的深度合作，收“协同创新”之效。

为适应信息化、数字化、网络化的发展趋势，中国人民大学的“研究报告系列”在出版纸质版本的同时将开发相应的文献数据库，形成丰富的数字资源，借助知识管理工具实现信息关联和知识挖掘，方便网络查询和跨专题检索，为广大读者提供方便适用的增值服务。

中国人民大学的“研究报告系列”是我们在整合科研力量，促进成果转化方面的新探索，我们将紧扣时代脉搏，敏锐捕捉经济社会发展的重点、热点、焦点问题，力争使每一种研究报告和整个系列都成为精品，都适应读者需要，从而铸造高质量的学术品牌、形成核心学术价值，更好地担当学术服务社会的职责。

编者简介

郑祥，博士，中国人民大学环境学院环境科学与工程系主任。《工业水处理》杂志编委，国际水协会（International Water Association）中国青年委员会委员。2003年获中国科学院理学博士学位，2008年入选“北京市科技新星计划”，2010年入选中国人民大学“明德青年学者计划”，2012年入选教育部“新世纪优秀人才支持计划”。

郑祥博士长期致力于膜分离技术、水污染控制技术、污水再生利用过程等公共卫生安全领域的研究。近年来一直从事污水再生利用工程中病原微生物风险评估及其控制方面的研究工作，他还在利用膜分离与人工湿地技术去除病原微生物方面做了大量探索性的工作，积累了相当丰富的知识和经验。郑祥博士作为项目负责人，承担国家自然科学基金项目、霍英东教育基金项目、国家水体污染控制与治理科技重大专项的子课题、国家科技支撑计划等科研项目。已获得授权专利2项，在国内外核心期刊发表论文90多篇，其中30多篇被 *Journal of Membrane Science*, *Chemical Engineering Journal*, *Ecological Engineering*, *Biotechnology Advances*, *Desalination* 等SCI刊物收录。英文论文被SCI引用100余次，中文论文被CNKI（中国学术文献网络出版总库）引用1000余次，其中5篇论文的单篇被引用超过100次。2008年至今，主持编写了《中国水处理行业可持续发展战略研究报告（膜工业卷）》等9部行业分析报告。

魏源送，博士，中国科学院生态环境研究中心研究员，博士生导师。2000年7月毕业于中国科学院生态环境研究中心环境工程专业，获理学博士学位。2001年3月至2002年3月在荷兰应用科学研究院环境、能源和过程创新研究所（TNO Environment, Energy and Process Innovation）做博士后。2002年4月进入中国科学院生态环境研究中心工作至今。2008年3月至2009年3月为瑞士联邦水科学与技术

研究所（Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology）访问学者。主要研究领域包括污水处理与再生利用、有机固体废弃物处理与资源化、河流生态治理与修复。已在国内外刊物发表学术论文 100 余篇，获授权发明专利 13 项。

张振兴，博士，伊利诺伊大学香槟分校研究员。分别于武汉大学、北京大学、美国纽约州立大学获得环境科学学士、硕士、博士学位。长期从事水环境系统、水文模型和水资源优化利用研究。致力于水环境系统模拟、水环境随机过程分析、水环境风险分析、随机水文学、环境系统不确定性分析和灵敏度分析等领域的研究。在环境系统模拟和随机水文学领域取得创新性成果，在 *Water Resources Research*, *Journal of Hydrology*, *Journal of Hydrologic Engineering (ASCE)*, *Water Resources Management* 等学术期刊发表科研论文 10 余篇。2001 年以来，参与多项美国国家科学基金委（NSF）、美国地质局（USGS）、美国陆军工程兵团（USACE）的水资源与环境系统研究项目。

李锋民，博士，中国海洋大学环境科学与工程学院副院长、副教授。曾任中国植物保护学会植物化感作用专业委员会副主任委员，*Journal of Water and Environment Technology* 编委，国际水协会中国青年委员会委员，2008 年荣获中国环境科学学会第六届“青年科技奖”，2011 年入选教育部“新世纪优秀人才支持计划”。长期从事有害藻类的控制研究、污染水体的水质净化生态系统研究，以及受损淡水湿地生态系统修复等领域的研究工作。获授权发明专利 13 项，在国内外期刊发表论文 50 余篇，研究论文已被引用 400 余次。

李萍，博士，广东工业大学环境科学与工程学院副教授，硕士生导师。2004 年获中国科学院理学博士学位，2007 年晋升为副教授，多次获得广东工业大学教学优秀奖与广东工业大学优秀授课教师奖等荣誉。长期从事工业废水处理与回用的理论与技术研究，在废水中难降解性有机污染物的共代谢降解与 TiO_2 的掺杂改性及其构效关系领域有较为系统的研究。先后主持或作为课题骨干参与国家科技攻关项目、国家 863 计划项目、973 计划课题、国家自然科学基金项目、省科技计划等数十个科研项目研究。已申请 4 项发明专利/实用新型专利，在 *Science in China (Chemistry)*, *Journal of Environment Sciences* 等国内外核心期刊发表论文 20 多篇。

王志伟, 博士, 注册环保工程师, 环境高等研究院研究员, 同济大学环境科学与工程学院副教授、博士生导师。主要从事膜法水处理技术研究工作, 近年来承担国家级、省部级等科研项目 8 项, 在 *Water Research*, *Journal of Membrane Science*, *Chemical Engineering Journal*, *Separation Science and Technology* 等核心期刊发表研究论文 90 余篇 (其中 SCI 论文 60 篇), 申请国家发明专利 10 余项, 研究成果获教育部科学技术进步奖、上海市科学技术进步奖等省部级奖 4 项, 中国国际博览会铜奖 1 项, 2012 年获第三届 SCOPUS “寻找青年科学之星” 环境科学领域铜奖 (Elsevier 出版集团联合中国科学报社、中国科学网举办) 和第十四届霍英东教育基金会高等院校青年教师奖, 入选第一批 “国家环境保护专业技术青年拔尖人才”。

周鑫, 工学博士, 太原理工大学环境科学与工程学院环境工程系讲师、硕士生导师。2012 年毕业于中国科学院生态环境研究中心, 获得博士学位。长期从事污/废水深度处理理论与技术、新型生物脱氮技术及高效生物反应器等科研教学工作。目前发表学术论文 11 篇, 申报发明专利 4 项, 授权 2 项, 已在 *Chemical Engineering Journal*, *RSC Advances*, *Journal of Chemical Technology and Biotechnology* 等国际 SCI 刊物发表论文 6 篇。目前担任 *RSC Advances*, *Desalination and Water Treatment*, *Fresenius Environmental Bulletin*, *African Journal of Microbiology Research* 等期刊审稿人。参与或主持了国家 “十一五” 科技支撑计划、山西省高校科技创新项目、煤科学与技术省部共建国家重点实验室培育基地开放基金及太原理工大学人才引进基金等多项科研项目。

陈凌云, 博士, 加拿大首席科学家, 阿尔伯塔大学农业、生命与环境科学学院副教授。2003 年获武汉大学理学博士学位, 2012 年获得国家自然科学基金二等奖, 2013 年获聘加拿大农业部基金评审专家委员会委员, 2014 年入选国家青年千人计划, 目前为美国化学学会、国际控制释放学会会员。陈凌云博士在天然高分子结构与生物、功能活性关系、膜生物材料及其农业、环境和纳米技术领域进行了系统而深入的研究, 在理论、方法及应用三方面均取得了突出成绩。近年来作为项目负责人, 主持了加拿大国家自然科学基金、加拿大国家创新基金、加拿大农业部农业食品开发基金、阿尔伯塔省农业创新基金、农业开发基金。已获得授权专利 5 项, 在国际知名核心期刊上发表论文 90 余篇, 近年来在天然高分子生物质材料领域国际著名刊物 *Biomaterials*, *J. Mater. Chem*, *Biomacromolecules* 上发表了一系列很有

影响的文章。

王亚炜，博士，中国科学院生态环境研究中心助理研究员。2009 年于中科院生态环境研究中心获得博士学位，2011 年博士后出站留在中科院生态环境研究中心工作。近年来一直从事污水生物处理、污泥处理处置、河流生态治理等方面的研究和应用工作。近年来主持了自然科学基金国家水污染治理科技重大专项“海河下游多水源灌排交互条件下农业排水污染控制技术集成与流域示范课题”子课题，国家科技支撑计划子课题“清静湖与周边区域耦合关系研究”及企业委托等研究任务共 5 项，已在 *Bioresource Technology*, *Journal of Hazardous Materials*, 《环境科学学报》等国内外学术刊物上发表学术论文 30 余篇，授权发明专利 5 项。

周华，管理学博士，中国人民大学商学院副教授，硕士生导师。拥有注册会计师和注册资产评估师执业资格。主持完成 1 项国家社会科学基金青年项目(07CJY011)，参与多项国家级和省部级课题。提出“根据法律事实记账”的理论主张，指出国际会计准则在理论框架和具体规则上存在双重偏差，研究成果被经济监管部门调阅参考。出版著作《会计制度与经济发展》，参与主编《会计学（非专业用）》。在《中国人民大学学报》《财贸经济》《会计研究》《经济管理》《经济研究》等刊物上发表论文 20 余篇。2007 年入选财政部“全国会计领军后备人才（学术类）”。2010 年成为中国人民大学伊志宏教授率领的“工商管理核心课程教学团队”成员，该团队是国家级教学团队和北京市优秀教学团队。曾获首届杨纪琬奖学金优秀学位论文奖（2003 年）、中国人民大学优秀教学成果一等奖（2008 年）等奖项。

序

水资源短缺与水环境污染是我国社会经济发展面临的两大水问题，也是我国城镇化进程中迫切需要解决的问题。在诸多的城市水资源环境问题解决方中，城镇污水再生利用成为兼具节水和减排双重功能的途径，也使得再生水开发利用成为经济上最有效率优势的水资源利用方式之一。国务院 2015 年 4 月印发的《水污染防治行动计划》将促进城镇污水再生利用作为我国在 2020 年之前实现经济结构转型升级的重要措施，提出了优先使用再生水的领域，将再生水纳入水资源统一配置，指出：到 2020 年，缺水城市再生水利用率达到 20% 以上，京津冀区域达到 30% 以上。

反观现实，虽然我国城镇污水再生利用无论在产业发展还是在科研水平上都形成一定规模、达到较高水平，然而该产业进一步发展仍面临着诸多内外部因素制约。从内部因素来看，固定资产投资不足、出水水质差异大是该行业面临的普遍问题；从外部因素来看，再生水价格优势不明显、供水管网系统滞后、出水水质标准与用水水质标准不衔接、监管部门缺位、公众接受程度低等问题则阻碍了城镇污水再生利用产业的市场化进程。

上述制约因素相互影响，进而导致污水再生利用产业目前不仅无法与传统的高成本水资源利用方式竞争，甚至也难以形成针对海水利用、雨水收集利用等其他非常规水资源开发利用方式的相对优势。

由中国人民大学环境学院郑祥博士等青年科学家主编的《中国水处理行业可持续发展战略研究报告（再生水卷）》的发布恰逢其时，作者在大量文献调研、行业调查和数据分析的基础上，从经济、管理、社会、技术、科研等多个维度首次系统地梳理了我国城镇污水再生利用行业的发展现状，并从行业、区域等层面解析了该行业当前所处的水平。

该著作的面世，不仅有助于使全社会对于我国城镇污水再生利用产业现状有

较为全面的认识，还能为相关部门的决策提供有意义的借鉴。借此著作出版之机，更希望我国再生水开发利用事业日益发展壮大，实现经济效率与环境保护的双赢。

马中

2015年5月10日

前言

随着社会经济的发展和城市化进程的加快，水资源短缺以及水环境恶化引发的一系列问题，已日益成为城市发展的瓶颈。传统的水资源开发方式，如开发地表水、开采地下水以及跨流域调水等已远远不能满足用水需求，同时从可持续发展的角度来看，我们也应逐渐抛开传统方式，从非传统水源方面着手开发利用。在非传统水源中，城市再生水利用无疑是最为有效的方式之一。城市污水便于收集，易于处理，且能够形成规模化，稳定可靠，不受制于降雨等因素，作为城市第二水源要比海水、雨水来得实际，更比长距离引水节约成本。据粗略估算，城市供水量的80%变为城市污水排入管网中，收集起来再生处理后有70%可以安全回用，也就是说，一半以上的城市供水量可以变成再生水，返回到城市水质要求较低的用户，替换出等量高品质水源，从而相应增加城市一半供水量。另外，城市污水的再生回用还可大大降低污水的排放量，减轻环境保护的压力。

为科学评估我国水处理产业的自主创新能力和产业竞争力，帮助宏观经济监管部门规范管理，指导我国水处理企业科学健康发展，我们在多年积累的调研资料的基础上，推出《中国水处理行业可持续发展战略研究报告（再生水卷）》，系统评估中国水处理产业的竞争力，从投资结构、商业模式、市场格局、监管法规等多个角度论证中国再生水市场和再生水产业的真实状况和发展趋势，并且全面比较分析中国和世界各国再生水产业，从而为我国水资源开发利用、水环境保护，以及宏观经济管理和企业经营管理提供扎实的决策依据。

本报告分三大部分、七个章节对中国再生水发展现状及发展趋势进行了分析阐述。报告的第一部分全面分析我国以及全球（主要集中于美国、亚太、欧洲）再生水利用的总现状；第二部分对全球主要国家再生水回用政策、标准评估与技术经济分析进行系统比较，采用文献计量学方法对各国在再生水技术研发方面的新动向与发展前沿进行详细评述；第三部分对我国主要城市以及电力与钢铁行业再生水的

应用进行系统调查，同时系统分析了国内再生水市场具有代表性的几家上市公司的经营业绩、核心业务及核心竞争力。

《中国水处理行业可持续发展战略研究报告（再生水卷）》由郑祥博士、魏源送博士、张振兴博士带领中国人民大学、中国科学院和伊利诺伊大学香槟分校三方团队共同完成。中国人民大学团队由环境学院的郑祥博士、商学院的周华博士与中国科学院文献情报研究中心马晓敏博士主持，分别组织环境科学与工程、商学与图书馆学三大领域的专家，完成书稿相关章节的撰写；中国科学院团队由生态环境研究中心的魏源送研究员和王亚炜博士主持。伊利诺伊大学香槟分校团队由张振兴博士与陈凌云博士主持。

王琪、罗鸣、陈亚楠、邱天然、陈晓芬、蔡琼、尚闽、王汪权、刘丽、沈志鹏、王晋琳、况彩菱等多位研究生参加了资料收集与书稿的编写工作。陈晓芬对全部书稿进行了文字校对与统稿。在调研过程中，我们得到业内同行的大力支持与帮助，确保了报告中数据的准确性。在此，向同行所给予的大力支持表示衷心感谢！

虽然我们做了多方面的努力，但由于水平和经验所限，难免存在不妥之处，临书惶恐，言不尽意，恳请读者和同仁批评指正。

郑祥

2015年1月6日

目 录

第一部分 总体情况篇

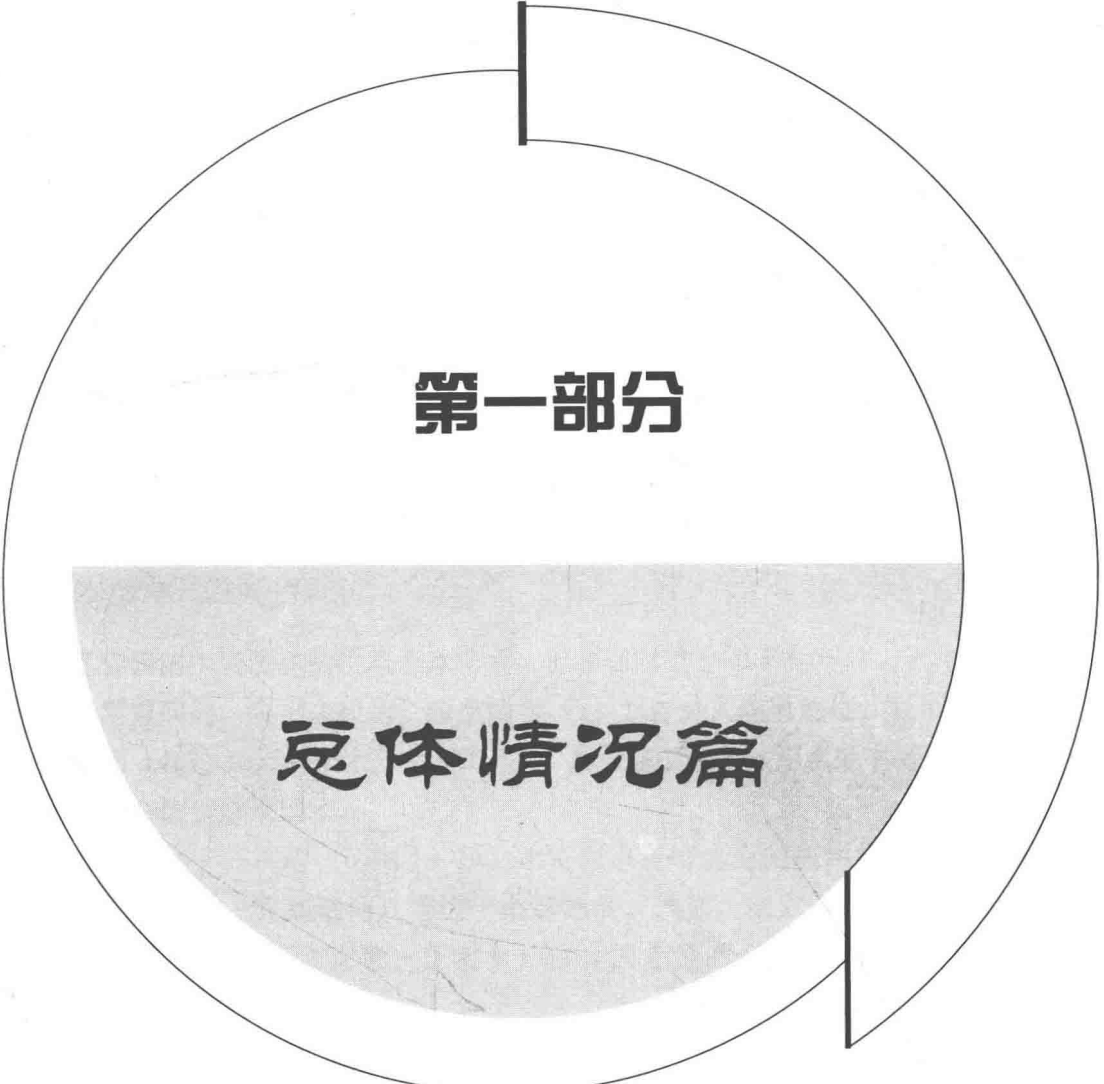
第一章 全球再生水利用现状	3
第一节 中 国	3
第二节 美 国	10
第三节 亚太地区再生水利用	16
第四节 欧洲国家再生水利用	28

第二部分 管理与科研篇

第二章 再生水回用政策、标准评估与技术经济分析	35
第一节 再生水回用政策、标准评估	35
第二节 再生水回用工艺技术经济分析	51
第三章 再生水回用研究态势	58
第一节 SCI 收录全球再生水技术论文分析	58
第二节 SCI 收录中国再生水技术论文分析	63
第三节 CNKI 收录再生水相关学术期刊论文分析	65
第四节 CNKI 收录再生水博硕士论文、专利、科技成果分析	75

第三部分 应用篇

第四章 我国典型城市再生水工程建设发展进程与趋势	93
第一节 我国再生水工程建设发展进程与趋势	93
第二节 北京市	99
第三节 天津市	105
第四节 无锡市	106
第五节 昆明市	110
第六节 深圳市	114
第七节 大连市	117
第八节 西安市	120
第五章 主要工业领域再生水应用	125
第一节 电力行业再生水应用	125
第二节 钢铁行业再生水应用	140
第六章 中国再生水市场竞争主体分析	159
第一节 碧水源	159
第二节 天津膜天	161
第三节 中电环保	164
第四节 北控水务	167
第五节 首创股份	169
第六节 万邦达	172
第七章 中国水务产业并购行为分析	175
第一节 并购时代的中国环保产业	178
第二节 膜技术企业并购案例分析	182
第三节 未来水务企业并购途径	184
参考文献	187



第一部分

总体情况篇