

中国工程院重大咨询项目

中国可持续发展
水资源战略研究报告集 第5卷

中国城市

水资源可持续开发利用

钱易 刘昌明 邵益生 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中国工程院重大咨询项目
中国可持续发展水资源战略研究报告集
第5卷

中国城市水资源可持续 开发利用

钱易 刘昌明 邵益生 主编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

中国工程院重大咨询项目《中国可持续发展水资源战略研究》，分设水资源评价和供需平衡分析、防洪减灾对策、农业用水与节水高效农业建设、城市水资源利用保护和水污染防治、生态环境建设与水资源保护利用、北方地区水资源配置和南水北调、西部地区水资源开发利用等7个课题，经过43位两院院士和近300位院外专家近两年的紧张工作，取得了一批重大的研究成果，提出了8个专题报告，并在专题报告的基础上形成了项目综合报告。《中国可持续发展水资源战略研究报告集》（以下称《报告集》）共分9卷，汇集了该项目的系列研究成果。

本书为《报告集》的第5卷，共分8章。前四章比较系统地分析了我国城市水资源开发利用的现状及存在的主要问题，预测了2010年、2030年和2050年三个水平年全国及分区域城市的人口数量、需水量及污水排放量，并针对可能加剧的水资源供需矛盾和水环境压力，提出应将“节流优先、治污为本、多渠道开源”作为城市水资源可持续开发利用的新战略，该战略被温家宝副总理概括为“指导原则”。第五、第六、第七章比较深入地分析了我国城市节水和雨水、海水及苦咸水等非传统水资源的开发利用状况及发展潜力，并针对存在的问题提出了相应的对策建议。最后一章根据水资源分布的区域性特点，针对不同区域的城市，尤其是对华北地区的部分典型城市提出了相应的用水策略。

《中国可持续发展水资源战略研究》项目的研究工作和《报告集》的出版得到了国务院领导和有关部委的大力支持。温家宝同志为《报告集》作序。

图书在版编目（CIP）数据

中国城市水资源可持续开发利用/钱易，刘昌明，邵益生主编．-北京：中国水利水电出版社，2002
（中国可持续发展水资源战略研究报告集；5）

ISBN 7-5084-1232-X

I. 中... II. ①钱...②刘...③邵... III. 城市用水-水资源-可持续发展-研究报告-中国 IV. TV213

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2002）第 078593 号

- 书 名 中国可持续发展水资源战略研究报告集·第5卷
中国城市水资源可持续开发利用
- 作 者 钱易 刘昌明 邵益生 主编
- 出版、发行 中国水利水电出版社（北京市三里河路6号 100044）
网址：www.waterpub.com.cn
E-mail：sale@waterpub.com.cn
电话：（010）63202266（总机）68331835（发行部）
- 经 售 全国各地新华书店
- 排 版 中国水利水电出版社微机排版中心
- 印 刷 北京市兴怀印刷厂
- 规 格 787×1092毫米 16开本 18.25印张 288千字
- 版 次 2002年12月第一版 2002年12月第一次印刷
- 印 数 0001—3100册
- 定 价 78.00元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换
版权所有·侵权必究

《中国可持续发展水资源战略研究报告集》 编辑委员会

总编委会	钱正英	张光斗	王淀佐	师昌绪
	徐乾清	刘昌明	陈志恺	石玉林
	卢良恕	钱易	潘家铮	张泽祯
	张宗祜	卢耀如	沈国舫	王礼先
	汤鸿霄	邵益生	贾大林	常平
编委会办公室	王国仪	谢冰玉	孙雪涛	王振海

总编辑 汤鑫华 刘凤桐

《中国城市水资源可持续开发利用》 编辑委员会

主 编	钱 易	刘昌明	邵益生	
编委会委员	钱 易	刘昌明	邵益生	汤鸿霄
	高从堦	宋兰合	董辅祥	李丽娟
	张桂花	刘应子	惠士博	张耀江
课题组长	钱 易	刘昌明		
专题组长	邵益生			
课题秘书	文湘华			

序

中国工程院重大咨询项目《中国可持续发展水资源战略研究》，经过43位两院院士和近300位院外专家近两年的紧张工作，提出了8个专题报告，并在专题报告的基础上形成了项目综合报告，取得了一批重大的研究成果。本报告集汇集了该项目研究的系列成果，内容丰富，观点鲜明，立意高远，是院士们、专家们多年理论研究和实践经验的总结，对各级政府决策具有重要的参考价值。

党中央、国务院十分重视水资源问题，江泽民总书记指出：“水是人类生存的生命线，也是农业和整个经济建设的生命线”。中国工程院紧紧抓住这个关系国计民生的大问题，从民族生存发展和综合国力竞争的高度来研究中国水资源战略，体现了院士们、专家们忧国忧民的责任感和振兴中华的强烈愿望。他们的研究报告深刻分析了我国水资源面临的严峻形势，提出了以水资源的可持续利用支持社会经济可持续发展的总体战略和政策建议，突出强调解决我国水的问题，核心是提高用水效率，建设节水型社会，并概括了节流优先、治污为本、多渠道开源的指导原则。这些研究成果和重要观点，很多已经在国家制定“十五”计划和重大经济决策中得到应用。

中国工程院组织院士、专家对国家重大战略问题开展专题研究，为国家决策直接提供咨询服务，这是实现科学决策、民主决策

的一种好形式。各级领导作重大决策，必须尊重科学，尊重实践，尊重专家，广泛听取意见，多方进行论证，使决策符合实际，减少失误。要深化改革，建立科学决策、民主决策的制度。

谨对院士们、专家们付出的辛勤劳动和心血表示衷心的感谢，并致以崇高的敬意。

温家宝
二〇〇一年一月九日

前 言

中国的水问题历来为党中央和国务院以及社会各界共同关注。在 21 世纪开始之际，人们更加关心中国的水资源能否支持将来 16 亿人口的食物供应，能否支持社会经济的可持续发展，如何解决洪水、缺水和水污染，如何实施南水北调工程等，社会上出现了各种观点和见解。

针对以上问题，中国工程院在国务院领导和有关部委的大力支持下，组织了覆盖多学科的 43 位两院院士和近 300 位院外专家，以《中国可持续发展水资源战略研究》为总项目，分设水资源评价和供需平衡分析、防洪减灾对策研究、农业用水与节水高效农业建设、城市水资源利用保护和水污染防治、生态环境建设与水资源保护利用、北方地区水资源配置和南水北调、西部地区水资源开发利用共 7 个课题组，经过一年多的紧张工作，提出了 8 个专题报告。在各专题报告的基础上，提出《中国可持续发展水资源战略研究综合报告》。

项目综合报告分析了当前我国水资源的现状和面临的问题，提出了我国水资源总体战略：必须以水资源的可持续利用支持我国社会经济的可持续发展。建议从 8 个方面实行战略性的转变：

——防洪减灾。要从无序、无节制地与洪水争地转变为有序、可持续地与洪水协调共处的战略。为此，要从以建设防洪工程体系为主的战略转变为在防洪工程体系的基础上，建成全面的防洪减灾工作体系。

——农业用水。要从传统的粗放型灌溉农业和旱地雨养农业转变为以建设节水高效的现代灌溉农业和现代旱地农业为目标的农业

用水战略。

——城市和工业用水。要从不重视节水、治污和不注意开发非传统水资源转变为节流优先、治污为本、多渠道开源的城市水资源可持续利用战略。

——防污减灾。要从末端治理为主转变为源头控制为主的综合治污战略。

——生态环境建设。要从不重视生态环境用水转变为保证生态环境用水的水资源配置战略。

——水资源的供需平衡。要从单纯地以需定供转变为在加强需水管理基础上的水资源供需平衡战略。

——北方的水资源问题。要从以超采地下水和利用未经处理的污水维持经济增长转变为在大力节水、治污和合理利用当地水资源的基础上，采取南水北调的战略措施，保证北方地区社会经济的可持续发展。

——西部地区的水资源问题。要从缺乏生态环境意识的低水平开发转变为与生态环境建设相协调的水资源开发利用战略。

为了实现以上战略转变，必须进行三项改革：水资源管理体制的改革；水资源投资机制的改革；水价政策的改革。

综合报告认为：尽管 21 世纪中国水资源的形势十分严峻，但是只要我们调整思路，统一认识，努力实现水资源 8 个方面的战略转变，我国就有条件在人与环境协调共处的基础上，建成节水防污型的社会，实现社会经济的可持续发展。总之，解决中国水问题的核心是提高用水效率。提高用水效率不单纯是水资源本身的问题，而且是一场涉及生产力和生产关系的革命。从某种意义上说，改革才是解决我国水资源问题的根本出路。

2000年7月11日，项目综合组在温家宝副总理主持的国务院

会议上作了汇报。会议以后，国务院把项目综合报告作为国务院的参阅文件下发给各省（区、市）和各部委；水利部除了以文件形式在水利系统转发外，还在《中国水利》上刊登，中国工程院也在《中国工程科学》上刊登。

为了更好地向大家介绍中国可持续发展水资源战略研究的成果，项目综合组决定编辑出版《中国可持续发展水资源战略研究报告集》（以下简称《报告集》）。根据课题将《报告集》分为9卷，第1卷内容包含项目综合报告和8个专题的综合报告。第2卷至第9卷分别包含各专题综合报告和研究报告。《报告集》各卷的名称如下：

第1卷《中国可持续发展水资源战略研究综合报告及各专题报告》

第2卷《中国水资源现状评价和供需发展趋势分析》

第3卷《中国防洪减灾对策研究》

第4卷《中国农业需水与节水高效农业建设》

第5卷《中国城市水资源可持续开发利用》

第6卷《中国江河湖海防污减灾对策》

第7卷《中国生态环境建设与水资源保护利用》

第8卷《中国北方地区水资源的合理配置和南水北调问题》

第9卷《中国西部地区水资源开发利用》

本项目是一项跨学科、跨部门的研究成果。在研究过程中，各课题组间对一些问题的认识存在一些差异是正常现象。经过交流沟通、反复研究和共同实地考察，项目综合组在水资源战略上取得了共识，并在此基础上吸收各课题组的有关研究成果，形成综合报告，作为项目研究的“共同纲领”。各课题组在综合报告的总体指导下，对原来的专题报告进行了反复修改，并经项目综合组最后审

定，形成专题综合报告。各专题的子专题研究报告是课题组有关成员的研究成果，是《中国可持续发展水资源战略研究》项目成果的基础。在取得战略方向共识的同时，由于一些统计数据来源不同，对一些问题的研究角度不同，研究的深度不同，各卷之间对现状的描述和观点有一些差别，对未来的预测也不完全一致，有的还有较大的差异。例如，第4卷由于对农产品需求的预测留有余地，将人口达到16亿的时间预测为2030年，而其他各卷均定为2050年。又例如，对城市工业用水和生活用水的现状和预测，第2卷和第5卷有较大差异，这是由于第2卷的工业用水包括工矿和乡镇企业的用水，而第5卷只包括建制城镇的工业用水；第2卷的生活用水包括城市和乡村用水，而第5卷只包括建制城镇的用水。为了尊重各课题组的研究工作，《报告集》未作统一改动，只是在采用时作了解释或说明。由于各课题组的研究方式不同，各卷的编写方式也不尽相同。我们认为这些将有助于全面了解《中国可持续发展水资源战略研究》项目的研究基础，启迪人们对中国水问题更深入的思考。另外，由于资料所限，书中除全国水资源总量、地表水总量和地下水总量以外，其他数据未包含台湾省的相关资料。

由于各种条件的限制，书中的内容和数据可能有错误或不够准确之处，请大家批评指正。

编辑委员会

2001年1月

导 言

《中国可持续发展水资源战略研究》项目共设立 7 个课题组，提出了 8 个专题报告。其中由钱易院士和刘昌明院士负责的“中国城市水资源可持续开发利用与保护”课题组提出了两份专题报告，即《中国城市水资源可持续开发利用》和《中国江河湖海防污减灾对策》。

《中国城市水资源可持续开发利用》专题报告是《中国可持续发展水资源战略研究报告集》的第 5 卷。该报告在总结分析我国城市发展和城市水资源开发利用现状及存在问题的基础上，预测了城市化进程的发展趋势，2010 年、2030 年、2050 年全国及分区域城市的需水量和投资需求。针对新世纪我国城市可能面临的水资源供需矛盾将进一步加剧，水环境保护难度将进一步加大的双重压力，报告提出应将“节流优先、治污为本、多渠道开源”作为城市水资源可持续开发利用的新战略，并提出了相应的对策与建议。着重强调在市场经济条件下，政府决策机构及有关管理部门应将工作重心转移到“定战略，抓规划，管市场”上。报告还对城市节水、城市雨洪及海水和苦咸水利用进行了重点研究。有关饮用水安全及城市污水处理、再生利用、水污染防治等方面的内容，详见《中国江河湖海防污减灾对策》专题报告。

本专题报告共分八章。其中第一、第二、第三、第四章和第八章由邵益生、宋兰合、张桂花执笔，第五章由董辅祥、汤鸿霄执笔，第六章由刘昌明、李丽娟、惠士博执笔，第七章由高从堦、刘应子、张耀江执笔。全书由钱易院士和邵益生研究员审阅定稿。

专题编委会

2002 年 3 月

目 录

序	
前 言	
导 言	
中国城市水资源可持续开发利用研究综合报告	1
第一章 城市水利用基本状况	32
第一节 城市概念及概况	32
第二节 城市水源状况	40
第三节 城市供水状况	44
第四节 城市用水状况	48
第五节 城市排水状况	67
第二章 城市水问题及其原因分析	70
第一节 水体污染降低了供水的安全性	70
第二节 用水浪费加剧了水资源的供需矛盾	76
第三节 设施能力建设不配套导致了投资浪费	83
第三章 城市水需求的预测与分析	90
第一节 城市发展趋势的预测	90
第二节 城市水需求预测的方法	112
第三节 城市用水需求的预测	119
第四章 城市水利用的战略与对策	135
第一节 转变观念 及时调整水战略方针	135
第二节 科学配置 综合利用各类水资源	142
第三节 统一部署 加强城市水系统规划	144
第四节 深化改革 加强城市水市场监管	148
第五节 加强管理 努力创建节水型城市	150
第五章 城市节水及其潜力分析	153
第一节 城市与工业节水的意义和必要性	153

第二节	城市节水的发展及潜力分析	168
第三节	城市节水的途径及关键技术	184
第四节	城市与工业节水的技术难点分析	193
第五节	意见与建议	199
第六章	城市雨水利用的潜力与对策	203
第一节	城市雨水的利用状况与发展方向	203
第二节	雨水的资源化与评价	209
第三节	城市雨水的利用实例	217
第四节	雨水利用的可行性及潜力分析	228
第五节	雨水利用的问题与对策建议	234
第七章	海水和苦咸水的利用	239
第一节	沿海城市发展与水资源的匮乏	239
第二节	国内外海水和苦咸水的利用状况	241
第三节	海水的直接利用	242
第四节	海水和苦咸水的淡化及综合利用	251
第五节	意见与建议	261
第八章	不同区域及典型城市的用水策略	263
第一节	不同区域城市的用水策略	263
第二节	华北部分城市的近期用水策略	265
参考文献	278

中国城市水资源可持续开发利用研究综合报告

根据《城市规划法》，城市是指国家按行政建制设立的直辖市、市、镇，即建制市和建制镇之统称，又称城镇。到 1997 年底，除香港、澳门和台湾外，全国共设立了 668 个建制市和 18316 个建制镇。受统计体制尚不完善、统计方法还比较落后等诸多因素的制约，目前我国城市的统计数据还没有遍及所有的城市，国家统计局《中国统计年鉴》和建设部《城市建设统计年报》（以下简称《年报》）中有关城市数据的统计范围也仅限于建制市。因此，本报告在分析城市用水现状和历史变化特征时，主要以建制市的统计资料为依据，预测时采用类比及相关分析等方法将其范围扩展到所有建制市和建制镇。文中的城市化水平是指城市（即城镇）人口与总人口之比。

一、用水状况评估

（一）用水量构成特征

1997 年，全国城市人口 3.7 亿，其中非农业人口 1.85 亿，城市化水平 30%，城市非农业人口占全国总人口的比例为 15%；统计的用水人口 2.25 亿，占城市人口的 60.8%。全年供水量 476.8 亿 m^3 ，其中城市公共供水设施供水量为 323.5 亿 m^3 ，单位自建设施供水量为 153.3 亿 m^3 ；全社会供水系统漏失量为 43.6 亿 m^3 ，其中公共供水设施与自建供水设施漏失量分别为 39.1 亿 m^3 和 4.5 亿 m^3 ，相应的漏失率分别为 12.1% 和 2.9%；实际用水量 433.2 亿 m^3 ，取自公共供水设施和自建供水设施的分别为 284.4 亿 m^3 和 148.8 亿 m^3 。人均综合用水量 192.5 m^3/a 。如果按 3.7 亿城市人口测算，人均综合用水量将降至 170 m^3/a 左右，因为其余 1.45 亿人口主要分布在建制镇，其人均综合用水量至多与小城市持平，约 140 m^3/a 。1997 年城市用水、水源及供水方式构成见图 1。

1. 分类用水特征

根据《年报》的资料，1997 年我国城市工业用水量 257.5 亿 m^3 ，约占总用水量的 60%；生活用水量 175.7 亿 m^3 ，约占 40%。生活用水中居民家庭生活用水量 113.8 亿 m^3 ，占 65%；市政公共用水量 61.9 亿 m^3 ，占 35%。全国城市人均生活用水量 214 L/d，人均家庭生活用水量 139 L/d。如果将建制镇及《年报》中未统计的 1.45 亿人口的生活用水量按小城市人均 160 L/d 的标准计算在内，则全国城市生活总用水量应增加至 260 亿 m^3 （《1997 年水资源公

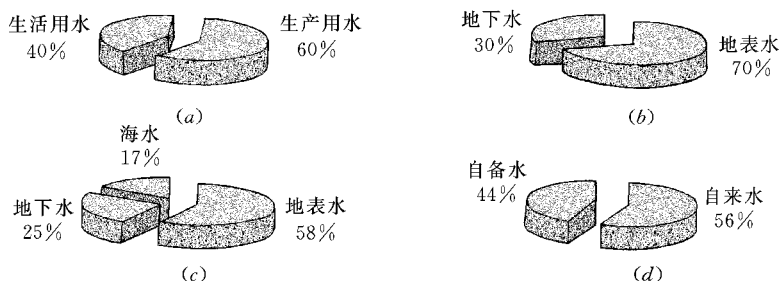


图 1 1997 年城市用水、水源及供水方式构成

(a) 分类用水构成 ; (b) 淡水水源构成 ; (c) 水源利用构成 ;
(d) 供水方式构成

报》公布的数字为 247 亿 m^3)

2. 取水水源构成

全国城市用水量中，地表水占 70%，地下水占 30%，北方城市以取用地下水为主。1997 年北方城市的总用水量为 139.3 亿 m^3 ，地下水占 59%，其中华北和西北城市分别高达 72% 和 66%。规划中的“南水北调工程中线方案”供水区京、津、冀、豫四省市 18 个主要城市中，1997 年纳入《年报》的总用水量为 36.8 亿 m^3 ，地下水占 66%。1997 年北京市规划区内的总用水量为 10.5 亿 m^3 ，地下水占 75%。此外，在部分沿海城市，海水已成为重要供水水源，目前全国的海水利用量约为 100 亿 m^3 ，主要用于电力、化工、冶金等行业的直流冷却。若将海水考虑在内，城市用水的水源构成是：地表水 58%、地下水 25%、海水 17%。苦咸水和雨水利用、污水回用等数量甚微。

3. 供水方式比较

城市供水分公共设施供水（即自来水）和单位自建设施供水（又称自备水）两种方式。长期以来自来水供水量一直小于自备水供水量，1995 年开始自来水超过了自备水。1997 年全国城市自来水供给量占城市总供水量的比例已增至 56.4%，自备水则减至 43.6%。《年报》中未统计的 1.45 亿人口的供水方式仍以自备水为主，多数设施比较落后。

(二) 用水量变化特征

根据《年报》的统计数据进行分析，1986~1997 年全国建制市总用水量的增长态势逐渐趋缓。如图 2 所示，1986~1994 年总用水量持续增长，年均递增

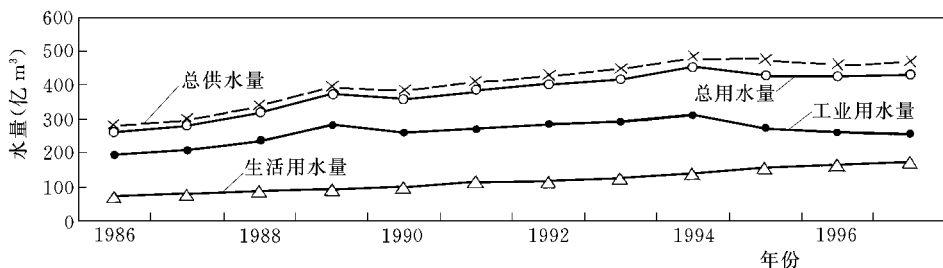


图 2 1986~1997 年全国城市供水量和用水量的变化

7.2%；1994 年达到峰值 489.46 亿 m^3 以后，因工业用水量下降而呈缓慢下降趋势，年均递减率为 1.7%。相关分析显示，城市总用水量 ($Q_{\text{总}}$) 与用水人口 (X) 之间存在高度的相关性 ($Q_{\text{总}} = 151.4X + 118.3$ ，相关系数 $r = 0.91$)，说明城市人口是决定城市用水总量的最关键因素。

1. 生活用水量持续增加

1986~1997 年，生活用水量从 70.7 亿 m^3 持续增加到 175.7 亿 m^3 ，年均递增率为 8.6%，略高于同期用水人口 6.1% 的递增率；同期人均生活用水量的年均递增率为 2.3%，即由 165 L/d 提高到 213 L/d。城市生活用水量的持续增长主要是城市化进程加快导致用水人口的快速增长所致；人均生活用水量的增长，一方面反映了市民的用水条件和卫生设施正在得到逐步改善，另一方面也与用水中的浪费因素有关。

2. 工业用水量呈波段式增长

1986~1997 年间，工业用水量（含城市规划区内的部分电力工业用水）年均递增率仅为 2.7%，但在 1989 年和 1994 年却出现了两个峰值，反映了近 12 年来工业用水量增长的两个阶段。第一阶段是 1986~1989 年，工业用水量以年均 13.9% 的速度递增，1989 年达到 283.0 亿 m^3 ，1990 年回落至 259.0 亿 m^3 ；1991 年开始了第二阶段的生长，但增幅明显减缓，1991~1994 年的年均递增率仅为 5.1%，1994 年总量达到 313.6 亿 m^3 ，1995 年大幅回落至 273.6 亿 m^3 ，1996 年以后趋于稳定。工业用水的这种波段式增长的特征及增长速度的变化，既反映了我国经济的周期性发展和工业结构的调整节奏，又与工业用水重复利用率的逐步提高及节约用水技术的发展有关。