

“十三五”国家重点图书出版规划项目

投入占用产出技术丛书

基于投入占用产出分析的水资源管理关键问题研究

刘秀丽 陈锡康/著



科学出版社

“十三五”国家重点图书出版规划项目

投入占用产出技术丛书

基于投入占用产出分析的水资源管理关键问题研究

刘秀丽 陈锡康/著

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书围绕我国“十二五”期间水资源管理的核心目标与要求,从水资源开发利用、用水效率、水资源配置与价格计算、水环境四个方面介绍了作者的最新研究进展。对我国用水总量进行了因素分解分析和预测;建立了行业用水效率变化的多因素分解分析模型,评价和计算了分行业的用水效率及节水潜力;建立了水资源的优化配置模型、5类用水影子价格的计算与预测模型并予以应用;建立了废水排放量的预测模型并予以应用等。基于研究结果,在提高用水效率、水价改革等方面提出了相关建议。

本书具有较强的科学性、知识性、方法性和资料性,可作为水资源管理及相关专业本科生及研究生的教学用书,也可供从事水资源评价、规划、调度与管理的科研或管理人员使用和参考。

图书在版编目(CIP)数据

基于投入占用产出分析的水资源管理关键问题研究/刘秀丽,陈锡康著. —北京:科学出版社,2016.8

(投入占用产出技术丛书)

“十三五”国家重点图书出版规划项目

ISBN 978-7-03-045055-5

I. 基… II. ①刘…②陈… III. ①水资源管理—研究 IV.

①TV213.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第131798号

责任编辑:马跃徐倩/责任校对:张红

责任印制:霍兵/封面设计:无极书装

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>

新科印刷有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016年8月第一版 开本:720×1000 1/16

2016年8月第一次印刷 印张:8 1/4

字数:166 000

定价:58.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

丛书编委会

(按姓氏拼音排序)

- | | |
|-----|-----------------|
| 陈锡康 | 中国科学院数学与系统科学研究院 |
| 范 金 | 江苏行政学院 |
| 郭菊娥 | 西安交通大学 |
| 李善同 | 国务院发展研究中心 |
| 刘起运 | 中国人民大学 |
| 刘新建 | 燕山大学 |
| 彭志龙 | 国家统计局 |
| 齐舒畅 | 国家统计局 |
| 石敏俊 | 中国人民大学 |
| 佟仁城 | 中国科学院大学 |
| 汪寿阳 | 中国科学院数学与系统科学研究院 |
| 许 健 | 中国科学院大学 |
| 杨翠红 | 中国科学院数学与系统科学研究院 |
| 杨列勋 | 国家自然科学基金委员会 |

总 序

投入产出技术是数量经济研究以及宏观经济管理中广泛使用的数量分析工具之一，以能够清晰地反映国民经济各部门间错综复杂的经济关联关系著称。近几年，在国际贸易、资源环境等热点问题的研究中投入产出技术得到越来越多学者的重视和使用。很多以投入产出模型为分析工具的文章发表在国际顶级期刊上。当前国际上很多知名的贸易增加值数据库（如经济合作与发展组织的 TiVA 数据库）背后的核心测算工具均为投入产出模型。由于在经济结构分析与产业关联关系研究方面的优势，投入产出技术在今后若干社会经济问题研究中仍将发挥不可替代的作用。

投入占用产出技术在传统的投入产出技术基础上进一步考虑了经济系统中生产部门对各种要素、资源存量的占用，是对投入产出技术的重要发展。投入占用产出技术由中国科学院数学与系统科学研究院陈锡康研究员于 20 世纪 80 年代提出。当时，陈锡康等受中央有关部门的委托进行全国粮食产量预测研究，为此编制了中国农业投入占用产出表。在编制过程中发现耕地和水资源在粮食生产中具有重要作用，但在传统投入产出技术中完全没有得到反映，进而发现固定资产、劳动力等在投入产出技术中也基本没有得到反映，由此提出了“投入占用产出技术”。

三十余年来投入占用产出技术得到了空前的发展，我国已有三十余位青年学者由于从事投入占用产出技术研究获得管理科学与工程博士学位。投入占用产出技术已成功地应用于全国主要农作物（粮食、棉花和油料）产量预测、对外贸易、水利、能源、就业、政策模拟、影响分析、收入分配等领域。相关研究成果发表论文一百余篇，多次获得国家领导人的重要批示，曾于 2006 年获首届管理学杰出贡献奖、2003 年获首届中国科学院杰出科技成就奖、2008 年获第十三届

孙冶方经济科学论文奖、2009 年获大禹水利科学技术奖一等奖、2011 年获国家科技进步奖二等奖、1999 年获国际运筹学进展奖一等奖等诸多奖项。投入占用产出技术也曾获得国际上部分著名学者，如美国科学院院士 Walter Isard、诺贝尔奖金获得者 Wassily Leontief 教授、澳大利亚昆士兰大学教授 R. C. Jensen 和 A. G. Kewood 等的好评。其认为“投入占用产出分析令人极为感兴趣”和“远比标准的投入产出分析好”，是“非常有价值的发现”，是“先驱性研究”，“投入占用产出及完全消耗系数的计算方法是我们的领域的一个非常重要的发明和创新”。

虽然投入占用产出技术已成为投入产出领域的一个重要研究方向，但是有关投入占用产出技术及其应用研究的书籍并不多见。中国科学院数学与系统科学研究院陈锡康研究员、杨翠红研究员等已于 2011 年出版《投入产出技术》教材，该书的系统性、权威性都得到了众多从事投入产出教学的学者的好评。在此基础上，我们一直在思索如何进一步地在高校、科研部门、政府部门、企业等拓展投入占用产出技术的研究与应用工作，满足社会各界对宏观经济数量模型的需求。在反复酝酿、不断尝试的基础上，我们决定，与投入产出学界的同仁共同编写、出版一套介绍投入占用产出技术及其应用的丛书。

这套丛书是我们对投入占用产出技术的总结和推广，希望它的出版有助于促进投入产出和投入占用产出技术的蓬勃发展。这套丛书力求体现以下特点。

第一，在丛书内容的编排上，主要介绍投入占用产出技术的理论与应用。选材既包括投入占用产出技术的理论研究，又包括近些年来投入占用产出技术在不同领域的应用介绍，主要包括农业、对外贸易、水资源、能源、就业、政策模拟分析、收入分配等方面。尽管内容包括了宏观经济的众多方面，但是并不求大、求全，而是力求精选。

第二，在每本书的内容和写作方面，注意广泛吸收国内外的优秀科研成果。丛书力求简明易懂、内容系统和实用，注重对宏观经济建模思想的阐述，并结合实证研究说明投入占用产出技术的特点及应用条件。

这套丛书是我国投入产出学界众多学者集体智慧的结晶。我们期望这套丛书的出版将对投入产出分析与投入占用产出技术学科的进一步发展及其在国民经济各领域的更为广泛的应用起到重要推动作用，并希望能够吸引更多学者加入投入产出分析的研究领域。

这套丛书由陈全润、蒋雪梅和王会娟进行组织和编辑工作，我们对他们的辛勤劳动表示衷心感谢！

前 言

我国水资源严重短缺，且水污染和水浪费严重。2011 年中央一号文件《中共中央 国务院关于加快水利改革发展的决定》首次对水利工作进行全面部署，开篇指出“水是生命之源、生产之要、生态之基。兴水利、除水害，事关人类生存、经济发展、社会进步，历来是治国安邦的大事”。为具体落实该文件，2012 年国务院发布了《国务院实行最严格水资源管理制度的意见》，明确水资源最严格管理的“三条红线”。2013 年国务院办公厅以国办发〔2013〕2 号文件公开印发了《实行最严格水资源管理制度考核办法》。2013 年党的十八届三中全会将水资源管理、水环境保护、水生态修复、水价改革、水权交易等纳入生态文明制度建设的重要内容。2014 年年初，水利部、国家发展和改革委员会（简称国家发改委）等十个部门联合印发了《实行最严格水资源管理制度考核工作实施方案》，这标志着我国最严格水资源管理制度考核工作全面启动，是国务院为加快落实最严格水资源管理制度做出的又一重大决策。

党中央、国务院一系列政策文件的出台，把水资源管理工作提到了前所未有的战略高度。这一系列意见和考核办法的推进落实过程中，面临着水资源管理的定量分析、评价、预测、政策仿真等方面的诸多问题，对我国的水资源管理研究提出了新的迫在眉睫的挑战。在这种背景下，研究需水量预测、用水效率评价、水资源最优配置、水资源影子价格计算等水资源管理中的核心问题，是响应党中央、国务院重大决策部署的具体行动。对水资源的合理、高效、安全与可持续利用，促进我国实现经济社会与资源环境协调发展具有重要意义。

水资源管理涉及众多因素，既有自然因素，也有人口状况、社会制度、文化教育等社会因素。在全球气候变暖和经济全球化的背景下，我国人口的增长、城市化进程和工农业经济发展速度的加快，使社会、经济和环境发展与水资源管理

之间的互动影响关系更加密切和复杂。水资源管理已成为直接关系到人类的食物安全、经济安全、生态安全、社会安全和国家安全，乃至人类生存安全的具有基础性、全局性和战略性的重大问题。研究如何采取科学合理的水资源管理策略，系统有效地解决经济社会发展中的各类水问题，以确保经济社会安全，具有重大的理论价值。

本书是作者立足于中国水资源管理发展现况和国家战略需求，借鉴和吸收当前最新研究成果，在近七年的研究工作基础上，归纳总结而成的一部著作。本书从中国水资源开发利用、用水效率、水资源配置与价格计算、水环境四个方面介绍了作者在水资源管理研究领域的最新成果。本书共分 9 个章节的内容。第 1 章介绍了中国与全球水资源整体状况。第 2 章是中国用水总量变动影响因素的结构分解分析研究。第 3 章是中国用水总量预测研究。第 4 章是分行业用水效率和节水潜力研究。第 5 章是分行业用水效率变化的多因素分解分析模型研究和应用。第 6 章是水资源在产业部门间的优化配置研究。第 7 章是水资源影子价格的计算与预测研究。第 8 章是中国废水排放量的预测研究。第 9 章是主要研究结论与建议。研究方法的特点是多学科交叉，涉及管理科学、系统工程、数学、经济学、统计学、水资源、农业和科技等学科。

本书由中国科学院数学与系统科学研究院的刘秀丽研究员和陈锡康研究员所著。刘秀丽负责各章内容的撰写与统稿。该院毕业的硕士张标参与了第 2 章、第 3 章、第 4 章和第 6 章的撰写、邹庆荣参与了第 1 章和第 2 章的撰写、孔亦舒参与了第 1 章和第 8 章的撰写、邹瑾参与了第 7 章的撰写。全书由刘秀丽与陈锡康审阅定稿。编写本书的所有人员都投入了大量时间和精力，在此表示衷心感谢！

本书的研究工作得到了国家自然科学基金（No. 70701034，No. 71173210，No. 61273208，No. 71473244）、水利部重大项目“水利与国民经济协调发展研究”、中国科学院知识创新工程重大项目（KSCX-YW-09）、中国科学院知识创新工程重要方向性项目（KJCX2-YW-S8）等的资助和支持，在此表示衷心感谢！

在本书的出版过程中，科学出版社马跃编辑、徐倩编辑提出了许多建议，在此向他们表示衷心感谢！还要特别感谢给予作者长期支持、指导和帮助的一大批相关领域著名学者，包括中国科学院数学与系统科学研究院的杨乐院士、郭雷院士、马志明院士、汪寿阳院士等，中国社会科学院经济学部的学部委员汪同三研究员，中国航天科技集团公司 710 研究所（北京信息与控制研究所）的于景元研究员，国务院发展研究中心的李善同研究员，中国科学院大学的佟仁城教授，中国水利水电科学研究院的王浩院士，中国科学院科技政策与管理科学研究所的徐伟宣研究员，以及美国 Illinois 大学的 Geoffrey Hewings 教授、王少文教授，葡萄牙 Universidade dos Açores 大学的 Tomaz Ponce Dentinho 教授等，他们为项目的完成和本书的写作提供了宝贵的指导建议！

最后，特别感谢我们的家人，他们的理解、支持和关怀保障了本书的顺利完成和出版。

水资源管理研究涉及学科领域广泛，发展迅速。受时间和水平的局限，书中不免有不足和疏漏之处，敬请批评指正。

刘秀丽 陈锡康

2016年3月

目 录

第 1 章 中国与全球水资源整体状况	1
1.1 全球水资源状况	1
1.2 中国水资源状况	2
1.3 中国水资源的开发利用状况	4
1.4 中国人均用水量	5
1.5 中国分行业用水分析	6
1.6 中国水环境质量状况	14
第 2 章 中国用水总量变动影响因素的结构分解分析研究	23
2.1 研究综述	23
2.2 理论模型与数据来源	25
2.3 结果及分析	26
2.4 本章小结	29
第 3 章 中国用水总量预测研究	31
3.1 国内外研究现状	32
3.2 中国用水总量的主要影响因素分析	34
3.3 用水总量预测模型的建立	37
3.4 模型应用	38
3.5 本章小结	39
第 4 章 分行业用水效率和节水潜力研究	40
4.1 研究综述	40
4.2 节水潜力计算模型	41
4.3 节水潜力计算结果及分析	43
4.4 本章小结	46

第 5 章	分行业用水效率变化的多因素分解分析模型研究 and 应用	48
5.1	研究综述	48
5.2	MLMDI 模型	49
5.3	北京地区用水状况	52
5.4	数据来源	53
5.5	模型应用	54
5.6	本章小结	56
第 6 章	水资源在产业部门间的优化配置研究	57
6.1	研究综述	57
6.2	用水量多目标优化配置模型	59
6.3	结果及分析	62
6.4	本章小结	66
第 7 章	水资源影子价格的计算与预测研究	67
7.1	研究综述	68
7.2	全国及九大流域片水资源影子价格的计算	69
7.3	全国及九大流域片水资源影子价格预测	72
7.4	本章小结	76
第 8 章	中国废水排放量的预测研究	77
8.1	研究综述	78
8.2	预测模型	79
8.3	分行业废水排放对比分析	81
8.4	本章小结	85
第 9 章	主要研究结论与建议	86
9.1	主要研究结论	86
9.2	主要建议	88
参考文献		95
附录	九大流域片水利投入占用产出模型的研究与编制	105

第 1 章

中国与全球水资源整体状况

1.1 全球水资源状况

全球的储水量约为 14.5 亿立方千米之多,但淡水资源却十分有限。根据联合国教科文组织 2012 年发布的第四期《世界水资源发展报告》,地球表面超过 70% 的面积为海洋所覆盖,全球的淡水资源仅占其总水量的 2.5%,而在这极少的淡水资源中,又有 70% 以上被冻结在南极和北极的冰盖中,加上难以利用的高山冰川和永冻积雪,有 87% 的淡水资源难以利用。人类真正能够利用的淡水资源是江河湖泊和地下水中的一部分,约占全球总水量的 0.3%。

全球淡水资源不仅短缺而且地区分布极不平衡。从各大洲水资源的分布来看,年径流量为亚洲最多,其次为南美洲、北美洲、非洲、欧洲、南极洲和大洋洲(图 1.1)。从人均径流量的角度看,全球河流径流总量平均每人约 10 000 立方米。在各大洲中,大洋洲的人均径流量最多,其次为南美洲、北美洲、非洲、欧洲、亚洲。按地区分布,巴西、俄罗斯、加拿大、中国、美国、印度尼西亚、印度、哥伦比亚和刚果 9 个国家的淡水资源占了世界淡水资源的 60%。每年约 80 个国家和地区的 15 亿人口(约占世界总人口的 40%)淡水不足,其中 26 个国家的约 3 亿人极度缺水^①。

2012 年联合国教科文组织发布的《世界水资源发展报告》(每三年发布一次)表明,对淡水资源构成压力的主要方面之一是灌溉和粮食生产对水资源的需求。2012 年农业用水在全球淡水使用中约占 70%,预计到 2050 年农业

^① http://baike.baidu.com/link?url=0sBvRQyZiahWA73QI0JzbgfQByVJYbUupl5E7v4ppgJSGr3d-XUg4Cj_XkdCaSdnpZ34UDhHp7ubyrpGwcT0GLK。

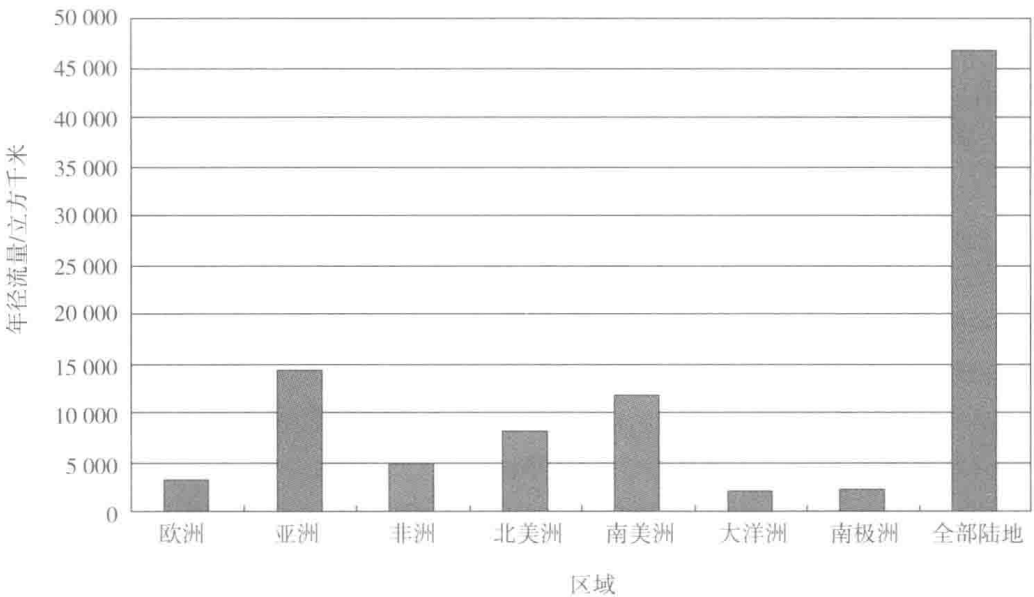


图 1.1 2013 年世界各大洲年径流量

资料来源: <http://wenku.baidu.com/view/f80957b783d049649b66584f.html>

用水量可能会在此基础上再增加约 19%。人类对水资源的需求主要来自于城市对饮用水、卫生和排水的需要。2012 年全球有 8.84 亿人口仍在使用未经净化改善的饮用水源, 26 亿人口在使用未能得到改善的卫生设施, 有 30 亿~40 亿人的家中没有安全可靠的自来水。每年约有 350 万人的死因与供水不足和卫生状况不佳有关, 而这主要发生在发展中国家。全球有超过 80% 的废水(waste water)未得到收集或处理, 城市居住区是点源污染的主要来源。地下水是人类用水的一个主要来源, 全球接近一半的饮用水来自地下水。但地下水是不可再生的, 在一些地区, 地下水源已达到临界极限。目前与水有关的灾害占有所有自然灾害的 90%, 而且这些灾害的发生频率和强度在普遍上升, 对人类的生存与经济社会发展造成了严重影响。

1.2 中国水资源状况

2000~2013 年, 我国水资源总量在 23 256.7 亿~30 906.4 亿立方米波动, 平均值为 26 880 亿立方米。人均水资源量在 1 730.2~2 310.4 立方米波动, 平均值为 2 047.9 立方米/人, 约为世界人均水平的 1/4。2004 年、2009 年及 2011 年我国人均水资源量已接近甚或低于联合国可持续发展委员会确定的 1 750 立方米的用水紧张线(表 1.1)。根据国际公认的标准, 人均水资源量低于 2 000 立方米

且大于 1 000 立方米为中度缺水，人均水资源量低于 1 000 立方米且大于 500 立方米为重度缺水，人均水资源量低于 500 立方米为极度缺水。总体来看我国属于中度缺水的国家。

表 1.1 2000~2013 年我国水资源状况

年份	水资源总量 /亿立方米	地表水资源量 /亿立方米	地下水资源量 /亿立方米	人均水资源量 /立方米
2000	27 700.8	26 561.9	8 501.9	2 193.9
2001	26 867.8	25 933.4	8 390.1	2 112.5
2002	28 261.3	27 243.3	8 697.2	2 207.2
2003	27 460.2	26 250.7	8 299.3	2 131.3
2004	24 129.6	23 126.4	7 436.3	1 856.3
2005	28 053.1	26 982.4	8 091.1	2 151.8
2006	25 330.1	24 358.1	764.9	1 932.1
2007	25 255.2	24 242.5	7 617.2	1 916.3
2008	27 434.3	26 377.0	8 122.0	2 071.1
2009	24 180.2	23 125.2	7 267.0	1 816.2
2010	30 906.4	29 797.6	8 417.1	2 310.4
2011	23 256.7	22 213.6	7 214.5	1 730.2
2012	29 526.9	28 371.4	8 416.1	2 186.1
2013	27 957.9	26 839.5	8 122.0	2 054.6

资料来源：《中国水资源公报》(2000~2013 年)

具体到我国水资源的区域分布，可以发现我国水资源分布存在南多北少、东多西少的情况，其区域分布与人口、耕地、矿产等资源分布及经济发展状况极不匹配。长江及其以南水系的流域面积只占全国国土总面积的 36.5%，其水资源量却占全国的 81%；淮河及其以北水系的流域面积占全国国土总面积的 63.5%，水资源量仅占 19%，其中，西北内陆河地区占国土面积的 35.3%，水资源量仅占 4.6%。近年来，我国极端气候频繁发生，地区间水资源分布不均的矛盾加剧。

除了区域分布不均，我国受季风气候影响，降水量年内分配也极不均匀，大部分地区汛期 4 个月的降水量占全年总降水量的 70%左右。我国水资源中大约有 67%是洪水径流量，降水量年际变化也很大。而在全球气候变化和大规模经济开发双重因素共同作用下，我国水资源情势正在发生新的变化，水资源短缺问题日趋突出。2014 年全国 561 个地级以上城市中有 400 多个缺水，大量城市及农村生活供水水源以地下水为主，地下水累计超采约 900 亿立方米(张艳玲，2014)，已对部分地区生产和生活的正常进行产生了不利影响。

1.3 中国水资源的开发利用状况

自 2000 年以来，全国总用水量呈现缓慢上升趋势，万元 GDP(即国内生产总值)用水量呈显著下降趋势(图 1.2)，我国的用水效率显著提高。根据历史统计数据显示，生活和工业用水量持续增加，占总用水量的比重逐渐增大。2000~2011 年农业用水则受气候和实际灌溉面积的影响呈上下波动、总体为缓降趋势(图 1.3)。从 2012 年开始，牲畜用水量从生活用水中划归入农业用水，农业用水的占比略有增加。

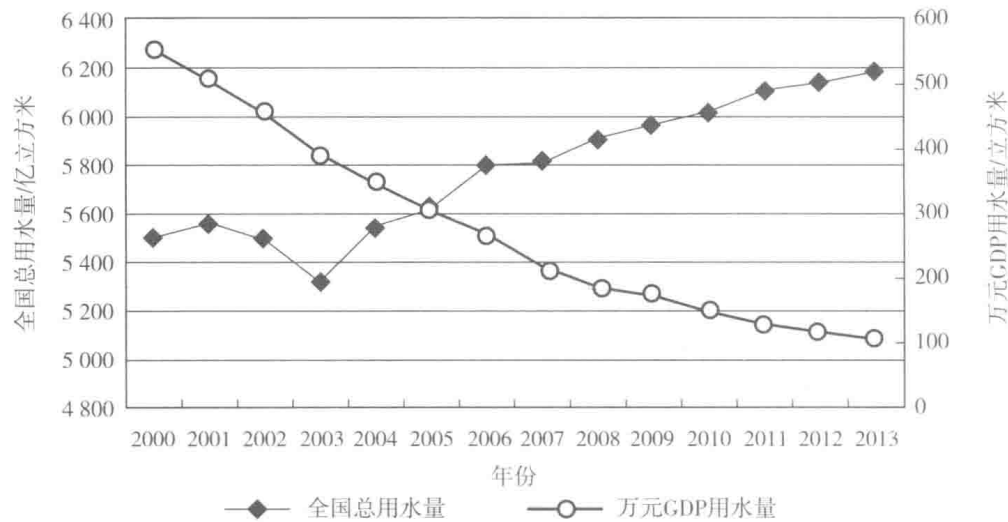


图 1.2 2000~2013 年全国总用水量及万元 GDP 用水量趋势
资料来源：《中国水资源公报》(2000~2013 年)

2013 年全国总供水量为 6 183 亿立方米，比上年增加 52 亿立方米。其中，地表水源供水量占 80.8%，地下水源供水量占 18.5%，其他水源供水量占 0.7%。2013 年，全国总用水量为 6 183 亿立方米，其中，农业用水为 3 920 亿立方米，占总用水量的 63.4%；工业用水为 1 410 亿立方米，占总用水量的 22.8%；生活用水为 748 亿立方米，占总用水量的 12.1%；生态环境补水为 105 亿立方米，占总用水量的 1.7%。与上年比较，农业用水增加 21 亿立方米，工业用水增加 30 亿立方米，生活用水增加 6 亿立方米，生态环境补水减少 5 亿立方米。



图 1.3 2000~2013 年农业、工业、生活用水量占比

资料来源：《中国水资源公报》(2000~2013 年)

1.4 中国人均用水量

2000~2013 年，我国人均用水量^①基本呈缓慢增加趋势，由 2000 年的 435 立方米增加至 2013 年的 456 立方米，2011~2013 年稳定在 450~460 立方米(图 1.4)。我国人均用水量在 2003 年出现了一个明显的拐点，达到了 21 世纪以来的最低点，只有 412 立方米，究其原因，一方面，因为 2003 年我国遭遇了全国大范围春旱和江南、华南的严重夏伏旱，全国总供水量仅为 5 320 亿立方米，与 2002 年相比降低了 177 亿立方米，当年水资源供给量较少，造成实际需求没有得到满足；另一方面，我国在 2002 年 8 月颁布了《中华人民共和国水法》，全

^① 《中国水资源公报》中，2000~2011 年皆为人均用水量，2012 年及 2013 年的该指标改为人均综合用水量。

国上下掀起了建立节水型社会的热潮，许多用水需求得到一定程度的限制。以上两个原因导致 2003 年用水总量和人均用水量的大幅度下降。

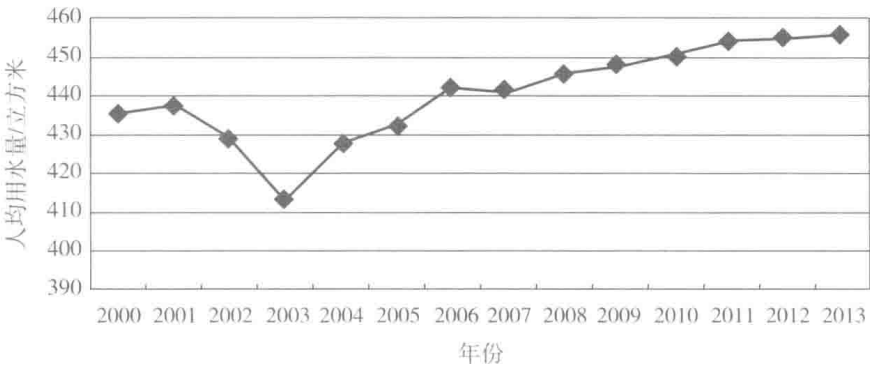


图 1.4 2000~2013 年我国人均用水量

资料来源：《中国水资源公报》(2000~2013 年)

另外，因受水资源禀赋、气候条件、人口数量、产业结构、农作物构成和节水技术水平等多种因素的影响，各省级行政区的人均用水量差别很大。2012 年人均用水量超过 600 立方米的有新疆、宁夏、西藏、黑龙江、内蒙古、江苏、广西 7 个省份，其中新疆、宁夏、西藏分别达 2 657 立方米、1 078 立方米、976 立方米；低于 300 立方米的有天津、北京、山西和山东等 9 个省份，其中天津最低，仅 167 立方米。

1.5 中国分行业用水分析

1.5.1 农业用水

农业用水包括农田灌溉和林、果、草地灌溉及鱼塘补水。2000~2013 年我国农业用水量在 3 400 亿~3 900 亿立方米内波动，趋势较为平稳，但占用水总量的比重不断下降，由 68.8%下降至 62.8%。

我国农业用水效率不断提升，主要体现为农业灌溉用水效率的提高。2000~2012 年我国农田灌溉亩均用水量整体呈现下降趋势，由 2000 年的 479 立方米下降到 2012 年的 404 立方米(图 1.5)，农田灌溉水有效利用系数提高至 0.516。喷灌、微灌等高效节水灌溉方式的使用及农田水利设施的改善是我国农业灌溉用水效率提高的重要原因。截至 2013 年年底，我国有效灌溉面积达到了 9.52 亿亩(1 亩≈666.7 平方米)，其中节水灌溉工程的面积达到了 4.07 亿亩，约占有效灌溉面积的 43%，而高效的节水灌溉面积达到了 2.14 亿