

国家自然科学基金青年项目 (批准号: 71203232) 研究成果



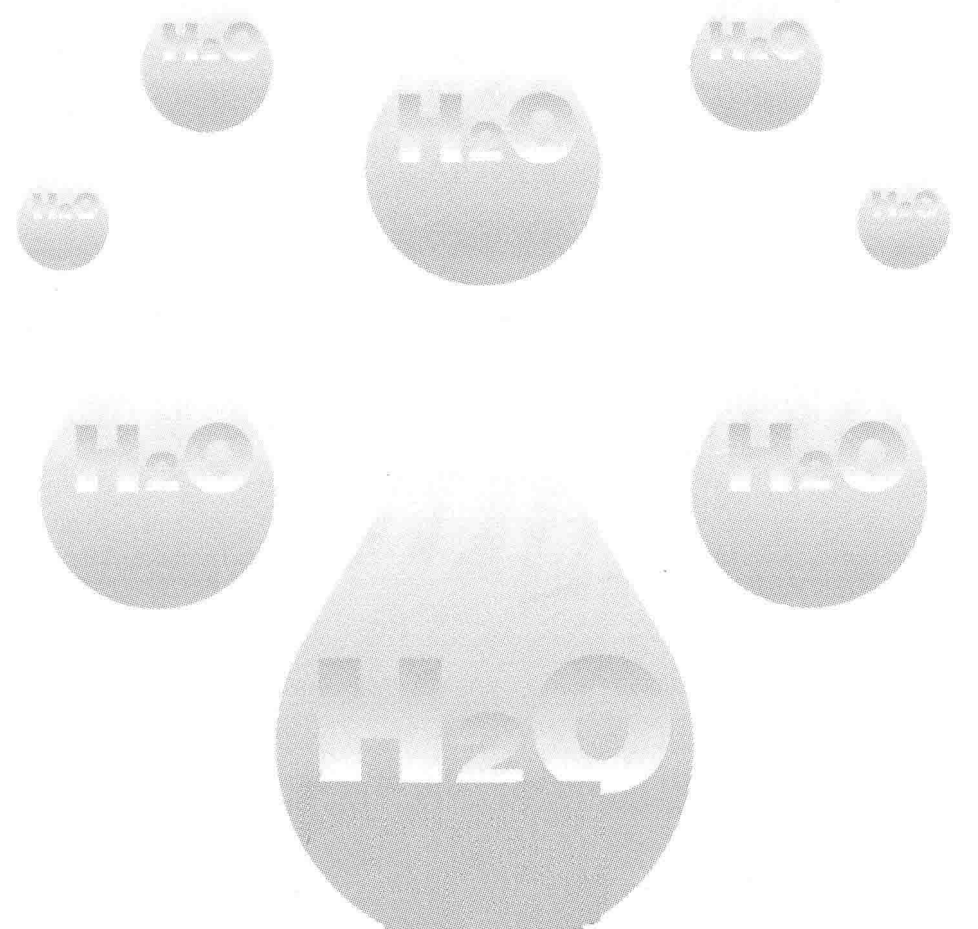
中国水资源利用效率研究

李鹏飞 著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

国家自然科学基金青年项目（批准号：71203232）研究成果



中国水资源利用效率研究

李鹏飞 著



经济管理出版社
ECONOMY & MANAGEMENT PUBLISHING HOUSE

图书在版编目 (CIP) 数据

中国水资源利用效率研究/李鹏飞著. —北京: 经济管理出版社, 2016.2
ISBN 978-7-5096-4247-4

I. ①中… II. ①李… III. ①水资源利用—利用率—研究—中国
IV. ①TV213.4

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 027040 号

组稿编辑: 张 艳

责任编辑: 任爱清

责任印制: 黄章平

责任校对: 张 青

出版发行: 经济管理出版社

(北京市海淀区北蜂窝 8 号中雅大厦 A 座 11 层 100038)

网 址: www.E-mp.com.cn

电 话: (010) 51915602

印 刷: 北京九州迅驰传媒文化有限公司

经 销: 新华书店

开 本: 720mm×1000mm/16

印 张: 9.25

字 数: 187 千字

版 次: 2016 年 2 月第 1 版 2016 年 2 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-5096-4247-4

定 价: 38.00 元

·版权所有 翻印必究·

凡购本社图书, 如有印装错误, 由本社读者服务部负责调换。

联系地址: 北京阜外月坛北小街 2 号

电话: (010) 68022974 邮编: 100836

前言

水资源是基础性自然资源和战略性经济资源。对于中国而言，水资源总量较多、人均占有量少、时空分布不均衡的基本特征，决定了其在工业化、城镇化进程中面临严格的水资源约束问题。为缓解日益严峻的水资源刚性约束，促进经济社会可持续发展，中国政府自 20 世纪 80 年代末期开始从建立水资源管理法规体系、组建水行政管理机构与体系、开展水资源评价和水资源中长期供求计划、进行水资源宏观分配、实施取水许可和水资源有偿使用政策等方面加强和改善水资源开发利用。近年来，中国政府加大了水资源节约保护力度，也取得了一定成效。但水资源短缺、供需矛盾突出的问题并没有得到根本性解决，水资源承载能力相对较弱已成为不少地区经济社会发展的最主要制约因素之一。

提高水资源利用效率是缓解中国水资源供需紧张形势的重要途径。为有效提高用水效率，需要从整体上把握中国水资源利用效率的时序变化趋势及其区域差异状况。进一步说，由于工业部门水资源消费量占全社会用水总量的比重不断提高，所以要重点分析工业部门水资源利用效率变化状况及其影响因素。同时，在工业部门内部，各行业水资源消费存在较大差异，因此需要对它们的用水特征进行深入研究，以确定工业节水长期战略和短期措施实行的重点领域。

第一章介绍了在工业化、城镇化进程中、在日益严峻的水资源约束背景下，研究中国水资源利用效率的重要性。突出强调在中短期内，提高用水效率是缓解水资源供需紧张形势最有效的途径。即便是在长期内，与南水北调等改善水资源供给格局的大型水利工程相比，从需求侧持续提升用水效率的举措，更能以更低成本实现环境友好型发展。



第二章从水资源总量、空间分布、供需关系、用水结构、用水指标、供水来源六个方面概要分析中国水资源开发利用状况及其变化趋势。整体而言,中国的水资源具有以下特点:一是总量较多、人均占有量少;二是时空分布不均匀、南多北少、东多西少,与人口、耕地和经济产出的分布不匹配;三是供需形势日益严峻,已从中等程度用水紧张变为中高强度用水紧张;四是工业、农业、生活及生态环境用水比例持续发生变化,工业用水和生活用水两者所占比重逐年提高,农业用水比重下降;五是南方地区供水以地表水源为主,而北方大部分地区供水高度依赖地下水源;六是用水效率基本呈现提高趋势,但2009年这一趋势有逆转的倾向,而且与高收入国家、中高收入国家相比,中国水资源利用效率偏低。

第三章在总结现有研究中国水资源消费量与经济增长关系文献的基础上,针对已有研究中需要改善的问题和本书的主题,分别利用时间序列分析方法和面板数据计量技术方法从不同的角度分析了中国水资源消费量与经济增长之间的内在依存关系。分析结果表明,中国水资源消费和经济增长之间存在长期稳定的均衡关系,水资源消费量的提高是驱动经济增长的原因之一;在全国以及东、中、西三大区域,水资源消费量与GDP(或地区生产总值)之间都存在明显的相关关系。而且,在全国及东、中、西三大区域的水资源消费量的经济增长弹性中,中部地区最高、全国其次、西部第三、东部最低。

第四章在描述中国水资源综合利用效率时序变化的基础上,运用Laspeyres指数分解模型考察了导致中国工农业总体水资源利用效率提高的结构因素贡献与效率因素贡献,并且采用超越对数生产函数模型对2002~2009年中国28个省份的面板数据进行估计,得到了各省级行政区的边际水资源利用价值。分析结果显示:①1980~2009年,尽管中国单位GDP水资源消耗强度绝对下降幅度表现出“先大后小”的特征,但其下降速度基本稳定且呈逐年加快的态势;②1980~2009年,从绝对值上看,农业水资源消耗强度远高于工业,而且随着时间的推移,两者之间的相对差异略有缩小后,逐渐变得越来越大;③1980~2009年,从时序变化的角度看,工农业总体水资源强度与农业部门的相对差异越来越大;④从分阶段角度看,1980~1990年,农业水资源消耗强度降低的速度要快于工业,此后尽



管工业水资源消耗强度降低速度有所波动,但一直都快于农业部门水资源消耗强度的下降速度;⑤在促使1980~2009年中国工农业总体水资源消耗强度下降的因素中,效率因素的贡献大于结构因素的贡献;⑥2002~2009年中国省际水资源边际利用效率估计结果表明,各省级行政区的水资源边际利用效率差异较大,发达地区的水资源边际利用效率显著高于欠发达地区;⑦从纵向比较的角度看,各省级行政区的水资源边际利用效率提高趋势明显,但是发达地区的提高速度更快、改善程度更显著,欠发达地区的上升速度较慢、改善程度较小。这些结论对于南水北调工程调水量分配、为实现加强水资源管理目标而开展的用水量定额和江河流域水量分配工作等都具有重要的参考价值,其基本思想是要把稀缺的水资源分配到边际利用价值最高的地区去。这样才能从整体上提高水资源配置效率,尽最大可能降低因为用水总量控制带来的潜在经济损失。

为尽可能减轻行业分类层次过高对因素分解模型结论稳健性的负面影响,第五章以2003~2007年中国38个两位数工业行业数据为基础,利用AWD因素分解模型得到了工业部门水资源消耗强度变化的结构因素贡献和效率因素贡献,讨论了结构因素份额和效率因素份额在各工业行业之间的分布状况。第一,从横向比较的角度看,各工业行业水资源消耗强度存在显著差异,电力、化工等重化工行业单位工业增加值的新水取用量明显高于烟草制品、家具制造等轻工行业。第二,从纵向比较的角度看,各工业行业水资源消耗强度基本上都呈持续下降态势。就2003~2007年单位工业增加值新水取用量降幅绝对值而言,电力、化工、钢铁、纺织、造纸等重化工行业位居前列。就单位工业增加值新水取用量下降速度来说,其他采矿业,废弃资源和废旧材料回收加工业,石油加工、炼焦及核燃料加工业,造纸及纸制品业,黑色金属冶炼及压延加工业等5个行业依次排在前五位。第三,工业部门内部的行业结构调整,对2003~2007年工业水资源消耗强度降低的作用非常有限,其贡献率仅为6.14%。与此形成鲜明对比的是,效率因素的高效率高达87.90%。第四,2003~2007年工业部门水资源消耗强度降低主要源于用水效率的提高,而工业部门用水效率的提高又主要源于电力、化工、钢铁、造纸四个高耗水行业的水资源利用效率的上升。第五,在结构因素贡献率较



低、为实现节水目标实施结构调整政策的成本过高的条件下，从政策资源优化配置的角度看，工业节水政策应该以提高各工业行业水资源利用效率为重点。

第六章刻画了中国工业行业水资源需求的长期演变和短期变化特征，并确定总产出和用水效率对两者的影响程度，从而为中国工业用水调整的长期战略和短期措施制定提供参考，以中国 38 个工业行业 2003~2007 年的水资源消费数据、总产值数据和增加值数据为基础，估计和检验了中国工业部门水资源消费的面板协整模型和面板误差校正模型（Panel Vector Error Correction Model, PVECM），得到的估计结果显示：①各工业行业水资源需求的静态依赖性差异较大，重化工行业的静态依赖性远高于轻工行业。②各行业水资源需求的增长弹性系数都大于 0，但水资源需求的增长弹性系数大于 1 的行业数量较少，它们在工业总产值中的比重并不高并且在降低。这就表明，在工业结构变化趋势不发生根本性改变的情况下，工业新水取用量增速低于工业总产值增速的态势将会持续。③各行业用水效率动态变化对水资源需求的影响都小于 0，但各行业的用水效率系数差异较大。从提高工业节水政策效率的角度看，在基于价格等市场手段的普适型政策框架没有建立起来之前，考虑到电力、化工、钢铁、造纸等重点领域节水潜力有限、节水成本提高，作为折中方案或过渡时期方案，宜将现行基于财政补贴的盯住重点领域型政策框架的适用范围推广至纺织业、黑色金属矿采选业、非金属矿采选业、其他采矿业、有色金属矿采选业、化学纤维制造业、饮料制造业等用水效率系数绝对值高的行业，以确保工业节水政策能取得实效。利用多部门动态随机一般均衡（Dynamic Stochastic General Equilibrium, DSGE）模型进行模拟分析的结果显示，要求这些用水效率系数绝对值高的行业提高水资源利用效率，并不会对其产出形成明显的负面冲击。

第七章总结了全书的实证分析结果，并在概括主要水资源管理手段的基础上，提出了提高中国水资源利用效率，尤其是提升工业部门用水效率的长期战略和短期政策框架。强调要把提高工业行业用水效率作为工业节水最主要的任务，并且尽快实现工业节水政策框架的转型，即从现行基于财政补贴的盯住重点领域型政策框架，转向基于价格等市场手段的普适型政策框架。

目 录

第一章 导论	1
一、选题背景	1
二、问题的提出	2
三、研究目的与意义	4
四、研究方法与技术路线	5
第二章 中国水资源开发利用状况及其变化趋势	7
一、水资源总量	7
二、水资源空间分布	9
三、水资源供需形势	12
四、水资源使用结构	13
五、供水量水源构成	14
六、水资源利用情况	17
七、小结	20
第三章 中国水资源消费与经济增长的内在依存关系	23
一、水资源消费与经济增长关系研究文献简述	24
二、时间序列数据分析	26
三、省级面板数据分析	32



四、小结	42
第四章 中国水资源综合利用效率与边际利用效率	43
一、水资源综合利用效率时序变化：基于因素分解模型的分析	44
二、水资源边际利用效率区域差异：基于生产函数的分析	57
三、小结	63
第五章 中国工业部门水资源利用效率及其影响因素	71
一、工业行业水资源消耗强度	74
二、工业行业水资源消耗强度变化的 AWD 因素分解模型	81
三、各行业对工业水资源消耗强度下降的贡献	85
四、效率因素对工业水资源消耗强度下降的贡献	87
五、结构因素对工业水资源消耗强度下降的贡献	91
六、小结	94
第六章 中国工业节水长期战略和短期措施的重点领域	97
一、中国工业部门水资源消费的面板协整模型	98
二、工业增长与工业用水之间的长期均衡关系：面板协整检验	99
三、工业行业水资源消费的短期动态调整：面板误差校正模型	106
四、水资源利用技术冲击的产出效应：多部门 DSGE 模型	108
五、小结	118
第七章 总结与展望	123
一、实证分析结论总结	123
二、工业节水政策建议	125
三、后续相关研究展望	128
参考文献	131

第一章 导论

水是人类生存与发展过程中不可替代的重要资源，是经济社会可持续发展的基础。天然条件下，水的基本性质决定了水资源具有三种原始的基本属性：因其物理性质而具有的资源属性；因其化学性质而具有的环境属性；因其生命性质而具有的生态属性（汪献党等，2010）。人类对水资源的开发利用，已从最初的以解决生存问题为主要目标的灌溉、防洪为主的除害兴利阶段，过渡到以保障经济社会发展为目的的水资源综合开发利用阶段，并且正在向水与经济、社会、环境协调发展的人水和谐阶段迈进。

一、选题背景

历史上，中国就是世界人口大国和农业大国。“趋水利、避水害”，长期以来都事关国泰民安和国家存亡。对于中国而言，水利始终都是一件治国安邦的大事。从举世闻名的都江堰，到气势磅礴的三峡工程；从大禹治水定九州，到南水北调沛北方，都见证着中国的辉煌治水成就。

在新的时期，作为国民经济基础设施的重要组成部分，水利在防洪安全、供水安全、粮食安全、经济安全、生态安全等方面具有不可替代的作用。具体而言，防洪体系建设有效减轻了洪水的灾害，保障了民众的生命财产安全和社会稳定；农田水利事业发展有效改善了农业生产条件；供水保障体系建设有效促进和



保障了社会经济发展和民众生活水平提高；水土保持治理工程实施有效改善了生产条件和生态环境；水力发电提供了大量的清洁能源。

然而，受制于中国特殊的自然地理条件，在经济快速发展和人口总量不断增加的背景下，中国在水资源利用方面面临的挑战非但没有变小，反而越来越大。水资源短缺、水生态环境恶化、洪涝灾害等问题，已成为经济社会可持续发展的重要制约因素。以水资源短缺为例，中国是世界上 13 个贫水国家之一，在中国 660 多个设市城市中，有 400 多座城市不同程度地缺水，其中严重缺水的城市超过 110 座。王浩、秦大庸、汪献党等（2008）的分析表明，在一般年份中国缺水 301 亿 m^3 ，其中工业缺水 46 亿 m^3 ，农业缺水 245 亿 m^3 ，生活缺水 10 亿 m^3 。在各水资源分区中，海河、辽河、黄河及淮河流域缺水最为严重，缺水量分别为 86 亿 m^3 、23 亿 m^3 、47 亿 m^3 和 55 亿 m^3 ，缺水率分别为 21.3%、11.7%、10.8% 和 8.4%。

在此背景下，从经济学的角度研究中国的水资源问题具有重要意义。进一步说，洪涝灾害防治更多要依靠水文、气候等自然科学的分析结论，水生态环境治理需要更多借助环境科学等方面的理论工具进行分析，但对于水资源短缺问题，经济分析工具可以发挥其强大的作用。毕竟，短缺是供需失衡的一个表现，而供需问题是经济理论关注的重点领域。换言之，在理解中国水资源短缺方面，经济分析工具具有内在的优势。

二、问题的提出

解决水资源短缺难题，可以从供给和需求两个方面入手。长期以来，中国兴建了大量蓄水、引水、提水工程，尤其是修建了一大批远距离城市供水水源工程，力图通过增加供水量来缓解供需矛盾。这方面最有代表性的，是为缓解中国



北方地区水资源严重短缺而实施的重大战略性工程——南水北调。^①其他大型调水工程,包括引滦(滦河)入津(天津)、引滦(滦河)入唐(唐山)、引碧(碧流河)入连(大连)、引黄(黄河)济青(青岛)、引青(青龙河)济秦(秦皇岛)、东江—深圳供水、西安黑河引水等。这些水源工程大幅度地提升了供水能力,但在水资源需求高速增长的情况下,用水紧张的局面不仅没有缓解,反而有日渐加剧的趋势。

在水资源开发潜力有限、开发难度越来越大的条件下,很难以增加供给的方式来解决水资源短缺难题。由图 1-1 表示的中国水循环及水平衡状况可知,仅有 46% 的降水量形成水资源量。在水资源总量中,扣除最低生态环境需水要求和人类难以控制利用的洪水,水资源开发潜力十分有限。中国水资源可利用量仅为 8120 亿 m^3 ,不到水资源总量的 30%。由于区域间水资源开发利用程度差别很大,例如海河目前耗用的水量已相当于其水资源可利用总量的 121%,黄河也超过 100%,辽河达 94%,北方大部分地区已无进一步开发的潜力,部分地区已超过其合理开发利用的极限,必须依靠节水才能缓解水资源供需矛盾。南方地区虽然尚有一定的开源潜力,但开发难度较大、成本较高。此外,随着经济社会发展,新建供水工程涉及的移民、环境保护等问题也越来越复杂,供水工程建设成本和难度也越来越大。

因此,从需求侧进行水资源管理,已成为缓解用水紧张形势的当务之急。一般而言,可以把水资源需求侧管理的主要手段分为两类:一类是总量控制措施,即对中国或区域水资源消费总量进行限制,以确保水生态和水环境不受到根本性破坏;另一类是效率提升措施,即通过提高水资源利用效率,在不对经济发展和民众生活造成显著影响的前提下,缓解用水紧张局面。总量控制措施实际上是一种计划手段,如果不能设计出与其配套的、能良好运行的水权交易机制,那

^① 南水北调工程是迄今为止世界上规模最大的调水工程,工程横穿长江、淮河、黄河、海河四大流域,涉及十余个省级行政区,输水线路长,穿越河流多,工程涉及面广,包含水库、湖泊、运河、河道、大坝、泵站、隧洞、渡槽、暗涵、倒虹吸、PCCP 管道、渠道等水利工程项目,是一个十分复杂的巨型水利工程,其规模及难度国内外均无先例。仅东、中线一期工程土石方开挖量 17.8 亿立方米,土石方填筑量 6.2 亿立方米,混凝土量 6300 万立方米。



么在实现水资源供需平衡的同时，很可能对生产和生活产生严重负面影响。相对而言，效率提升措施的潜在负面影响要小一些。原因在于，它并不对经济主体的水资源消费量进行直接控制，而是通过多种手段引导、激励其提高水资源利用效率。

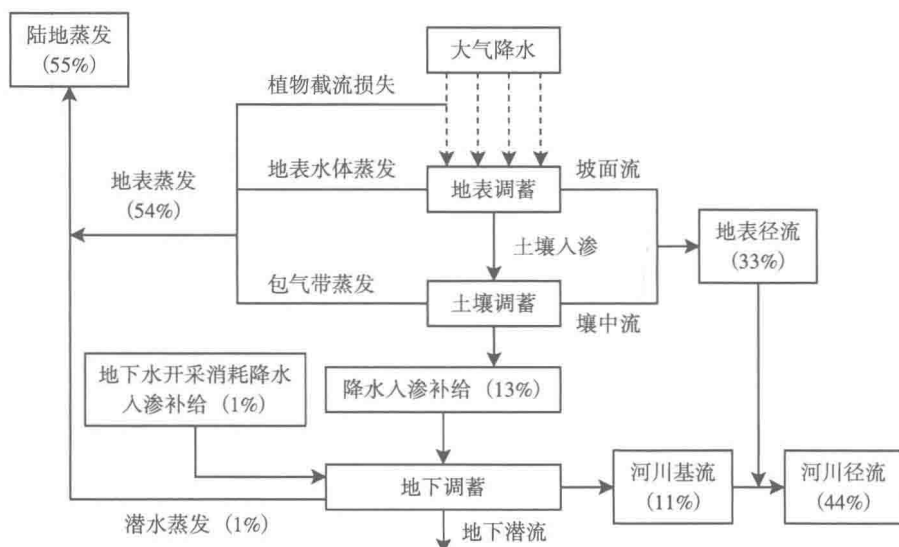


图 1-1 中国水循环及水平衡要素概念图

资料来源：汪献党，王浩，倪红珍，龙爱华等. 水资源与环境经济协调发展模型及其应用研究 [M]. 北京：中国水利水电出版社，2011：15；该图根据 1959~2000 年中国水文系列资料及用水情况绘制。

基于此，提高水资源利用效率应该成为水资源需求管理的核心任务。本书后续各章将从多个角度探讨与中国水资源利用效率有关的问题，并根据实证分析结论提出促进节约用水（尤其是工业节水）的政策建议。

三、研究目的与意义

如前所述，本书属于问题导向型研究，即针对中国经济发展进程中面临的水资源约束难题，力图利用实证分析方法探讨中国水资源利用效率方面的有关问



题，为制定实施合理、有效的节水政策（尤其是工业节水政策）提供坚实的理论依据。

由于本书是针对中国经济发展过程中现实问题而展开的，因此其具有重要意义，具体表现在以下五个方面：①对水资源消费量与经济增长之间的关系的研究，有助于从水资源需求的角度认清中国水资源短期问题的长期性、艰巨性；②对中国总体水资源消耗强度变化驱动因素的分析，有助于确定节水型社会建设的工作重点；③对中国水资源边际利用效率省际差异的研究，有助于提高南水北调等大型水利工程的水资源配置效率；④对工业行业水资源消耗强度变化的因素分解，有助于理解结构调整和效率提升对于工业节水的作用，从而为把握工业节水政策重点奠定基础；⑤对工业行业水资源需求的长期演变和短期变化特征的分析，有助于确定工业节水政策框架改革的方向和路径。

四、研究方法与技术路线

本书是问题导向型实证研究，采用的方法主要有：①基于时间序列数据的格兰杰因果关系检验方法。在分析中国的水资源消费量与经济增长之间的关系时，使用的就是这一时间序列计量分析方法。②基于面板数据的计量分析方法。在分析中国各省级行政区的水资源边际利用效率时，使用的是面板回归分析方法；在分析各工业行业水资源需求的长期均衡特征时，使用的是面板协整技术；在分析各工业行业水资源需求的短期调整特征时，使用的是面板误差校正模型估计方法。③基于不同数据特征的指数分解方法。在分析中国工农业总体水资源消耗强度变化的驱动因素时，使用的是拉氏指数分解方法；在分析中国工业部门水资源消耗强度变化的结构因素贡献和效率因素贡献时，使用的是适应性加权因素分解方法。

为实现研究目标，本书的分析思路是：①简要介绍有关中国水资源的典型事



实，在明确研究重要性的基础上，引出研究主题；②考察中国水资源消费与经济增长的内在依存关系，从水资源需求的角度阐述中国水资源短缺的长期性；③从总体上判断中国水资源利用效率的时序变化和区域差异；④找出中国工业部门水资源消耗强度降低的驱动因素；⑤通过分析中国工业行业水资源需求的长期演变和短期变化特征，明确工业节水长期战略和短期措施的重点领域；⑥全书的总结、政策建议及研究展望。本书的技术路线如图 1-2 所示。

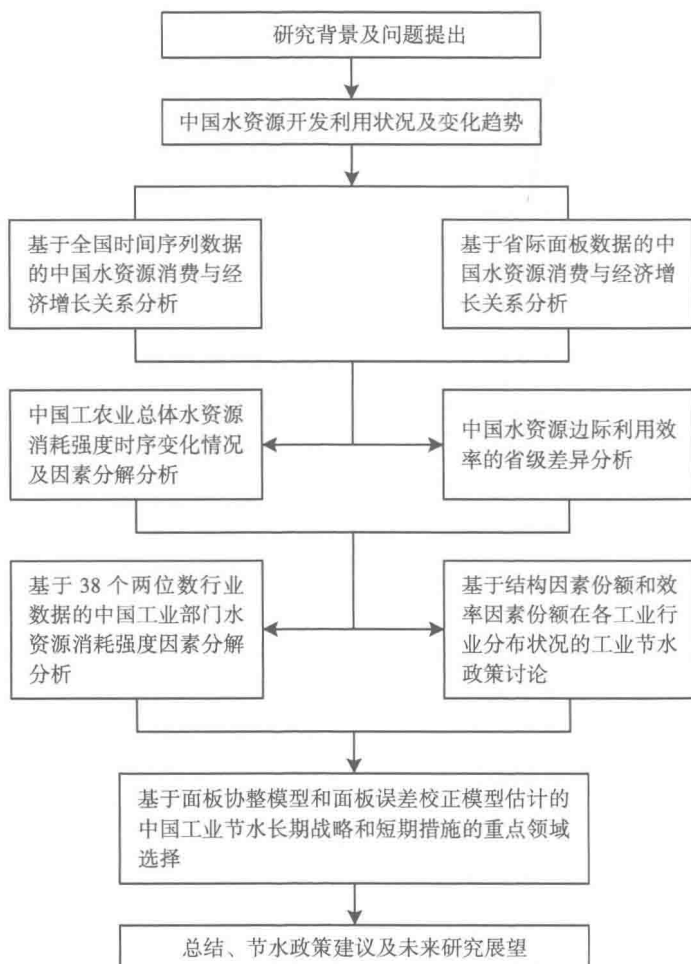


图 1-2 研究技术路线示意图

第二章 中国水资源开发利用 状况及其变化趋势

水资源状况是水资源利用效率研究的起点。从经济理论的角度看，一方面，效率分析只有应用于稀缺资源才能体现其功效。另一方面，对于应用研究而言，其研究价值的大小在很大程度上取决于研究对象的重要性。换言之，假如中国的水资源总量丰富、区域分布平衡、供需矛盾不突出，那么站在经济学的立场上，中国水资源利用效率到底是高还是低，是哪些因素影响了水资源利用效率的高低等问题并没有多大的研究价值。

基于此，本章从水资源总量、空间分布、供需关系、用水结构、用水指标、供水来源六个方面概要分析中国水资源开发利用状况及其变化趋势。

一、水资源总量

水资源总量是指一定区域内的水资源总量指当地降水形成的地表和地下产水量，即地表径流量与降水入渗补给量之和，不包括过境水量。在计算中，既可由地表水资源量与地下水资源量相加，扣除两者之间的重复量求得，也可由地表水资源量加上地下水与地表水资源不重复量求得。根据表 2-1 可知，尽管中国的水资源总量在不同年份有较大幅度的波动，但其绝对水平较高。在 1997~2014 年中，水资源总量最低的年份是 2004 年，当年总共只有 24130 亿 m^3 的水资源；最



高的则是 1998 年，当年水资源总量为 34017 亿 m^3 。在此 18 年间，中国水资源总量年均均为 27425 亿 m^3 。

根据联合国粮农组织水统计数据库（AQUASTAT Database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations）提供的数据^①，2014 年中国实际可更新水资源量为 28400 亿 m^3 ，在 FAO 水资源统计数据库中有相关数据的 174 个国家和地区中，居巴西、俄罗斯、美国、加拿大之后，排名第五，占全球实际可更新水资源总量的 5.29%。然而，若考察中国的人均水资源量，则会看到完全不同的景象。根据联合国粮农组织水资源统计数据库中的数据，2014 年中国人均水资源量^②为 1993 m^3 ，是世界人均水资源量的 26.51%。在 FAO 水资源统计数据库中有相关数据的 174 个国家和地区中，中国排在第 120 位（见表 2-1）。

表 2-1 中国水资源总量及构成（1997~2014 年）

单位：亿 m^3

年份	降水总量	地表水资源量	地下水资源量	地下水与地表水资源重复量	水资源总量
1997	58169	26835	6942	5922	27855
1998	67631	32726	9400	8109	34017
1999	59702	27204	8387	7395	28196
2000	60092	26562	8502	7363	27701
2001	58122	25933	8390	7455	26868
2002	62610	27243	8697	7679	28261
2003	60416	26251	8299	7090	27460
2004	56876	23126	7436	6432	24130
2005	61010	26982	8091	7020	28053
2006	57840	24358	7643	6671	25330
2007	57763	24243	7617	6605	25255
2008	62000	26377	8122	7065	27434
2009	55966	23125	7267	6212	24180

① 关于水资源量，FAO 与中国的统计口径存在一定差异。相对而言，FAO 的统计口径更宽，大致相当于在中国的统计口径之外加上了“本国可以利用的、源于国外的水资源”，具体请参见 <http://www.fao.org/nr/>。

② FAO 提供的人均水资源量是当年该国每位居住人口（Inhabitants）拥有的水资源，所以与其他以人口（Population）为基数计算的人均水资源量有一定差异。