

ZHONGGUO
NENGYUAN XIAOLÜ WENTI YANJIU

中国能源效率

问题研究

魏楚 著

中国环境科学出版社

浙江省社科联省级社会科学学术著作出版资金资助

浙江理工大学学术专著出版资金资助（2010年度）

中国能源效率问题研究

魏 楚 著

中国环境科学出版社·北京

图书在版编目(CIP)数据

中国能源效率问题研究/魏楚著. —北京: 中国环境
科学出版社, 2011.9

ISBN 978-7-5111-0665-0

I. ①中… II. ①魏… III. ①能源效率—研究—
中国 IV. ①F206

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第158887号

责任编辑 周 煜
责任校对 尹 芳
封面设计 玄石至上

出版发行 中国环境科学出版社
(100062 北京东城区广渠门内大街16号)
网 址: <http://www.cesp.com.cn>
联系电话: 010-67112765 (总编室)
发行热线: 010-67125803, 010-67113405 (传真)

印 刷 北京中科印刷有限公司
经 销 各地新华书店
版 次 2011年9月第1版
印 次 2011年9月第1次印刷
开 本 787×960 1/16
印 张 10.75
字 数 185千字
定 价 28.00元

【版权所有。未经许可请勿翻印、转载，侵权必究】

如有缺页、破损、倒装等印装质量问题，请寄回本社更换

前 言

提高能源效率是破解当前中国经济发展中面临的能源紧缺与环境污染两大困境的必经之路。研究中国的能源效率问题，需要解决以下三个主要问题：“什么是能源效率”、“中国的能源效率怎样”以及“哪些因素影响能源效率”。

本书即是一个受上述“问题驱动”的实证分析。通过运用经济增长理论、生产率理论、环境经济理论等知识，利用非参数 DEA 方法构建全要素框架下的能源效率模型，根据不同层面数据，对中国及各地区的能源效率进行评价，并借助计量模型对能源效率差异进行解释，以寻求能源效率背后诸多影响因素的影响机制、路径、方向和大小，从而为当前我国的节能减排实践提供一定启示。

“为什么要研究中国的能源效率问题？”——在第 1 章中，从中国能源的供给、需求、利用以及环境污染四个层面，刻画出当前我国为实现可持续发展所面临的巨大困境与挑战，从而引出能源效率研究的重要性、必要性及本书研究的动机，同时介绍了本书采用的技术路线图与研究基本框架。

“什么是能源效率？如何测度能源效率？”——为了明确界定能源效率概念，首先在第 2 章对以往研究进行梳理与概括，沿着单要素能源生产率框架和多要素生产率框架两条主线，对不同的概念、定义、研究方法与结果进行述评，并总结了当前的研究缺陷及未来有待深入的方向。接着，在第 3 章中定义了本书将要采用的基于 DEA 方法的全要素能源技术效率模型、全要素能源经济效率模型和全要素能源相对效率模型。

“在国际上，中国的能源效率水平怎样？为什么？”——为了搞清楚中国

能源效率在国际上究竟处于怎样的地位与水平，第4章对此进行了详尽的研究。通过观察1980—2003年全球96个国家（地区）的投入产出数据，发现了中国的全要素能源技术效率非常落后，其中的一个重要原因在于中国的规模效率低下，而规模效率低下的根本原因在于：财政分权制度所导致的地方竞争与市场分割，以及工业化过程中过度的资本深化。此外，在第5章中，额外考虑了投入要素的价格信息，利用35个国家和地区1998—2003年的数据对全要素能源经济效率进行考察，发现了中国能源效率低下的另一个重要原因在于：要素的配置效率低下，而配置效率较低的主要原因是由于我国能源相对价格较低所致。

“我国各地区的能源效率是否有差异？为什么？”——为了考察我国不同地区的能源效率是否存在差异性，第6章对此进行了深入分析，利用省级面板数据对1995—2007年的全要素能源相对效率进行了评价，发现东、中、西部地区存在着巨大的能源效率差异，而产业结构、产权制度、资本深化、能源结构等因素都能够用于解释能源效率的地区差异性。为了进一步控制住地区差异性，在第7章中选择了浙江省，以浙江省内11市的工业经济为研究对象，评价这些地区在1999—2006年的工业能源效率，发现地区工业经济的规模大小、技术水平、外资引入程度、信息化程度等因素也能够解释能源效率的地区间差异。

“我国能否实现节能减排目标？代价有多大？”——第8章对我国节能减排目标的可行性进行了深入探讨，利用2005—2007年中国29个省的要素投入、经济产出和污染物数据，对各地区的节能潜力与减排潜力进行了评价，并加总为全国的节能潜力与减排潜力。在情景分析中发现，即使以“实现10%的节能、减排潜力”来计算，节能减排约束性目标也是可以实现的。此外，对于节能减排的经济代价进行了估算，发现其潜在产出损失为实际产出的0.36%左右，是完全可以承受的。

目 录

1 导论	1
1.1 研究背景	1
1.2 选题意义	7
1.3 研究方法与技术路线	8
1.4 研究框架与研究内容	10
2 能源效率研究文献回顾	12
2.1 能源与经济增长的关系	12
2.2 能源效率的定义与测算	15
2.3 能源效率的影响因素分析	23
2.4 能源效率的收敛性分析	36
2.5 未来有待深入的方向	36
2.6 本章小结	40
3 全要素能源效率模型	41
3.1 生产率与效率的比较	41
3.2 基于 DEA 的能源效率模型	44
3.3 实证比较	52
3.4 本章小结	57
4 能源效率的跨国比较与解释	59
4.1 问题的提出：中国的能效是高还是低	59
4.2 模型、变量与数据	61
4.3 全要素能源技术效率测算结果及比较	64
4.4 规模效率：一个能源低效的解释	67
4.5 本章小结	75
5 配置效率：中国能源效率落后的另一个解释	79
5.1 前言	79
5.2 模型与数据	80

5.3	实证分析	83
5.4	本章小结	91
6	中国省际能源效率与影响因素	93
6.1	前言	93
6.2	模型、变量与数据	94
6.3	地区能源效率评价与节能潜力	97
6.4	能源效率影响因素的实证分析	100
6.5	本章小结	106
7	工业能源效率与影响因素：基于浙江省的实证分析	109
7.1	模型与数据描述	109
7.2	对浙江各地工业能源效率和节能潜力的评价	111
7.3	地区工业能源效率的影响因素分析	114
7.4	其他定性讨论	120
7.5	本章小结	123
8	中国节能减排目标可行性分析	124
8.1	前言	124
8.2	基本方法与数据	126
8.3	地区节能减排潜力分析	131
8.4	节能减排目标及潜在成本分析	137
8.5	节能减排的政策分析	140
8.6	本章小结	142
9	结论与启示	144
9.1	主要研究结论	144
9.2	研究的创新之处	146
9.3	对推动我国节能降耗实践的若干启示	147
9.4	有待深入的几个问题	148
	参考文献	150
	后 记	165

1 导论

本章从中国能源面临的供给、需求、利用以及环境问题出发，引出能源效率研究的必要性与重要性，并在此基础上提炼出本书的选题动机与选题意义。之后介绍本书采用的研究方法与技术分析路线，在研究框架部分将介绍研究需要回答的问题、研究内容与研究方法之间的对应关系，最后介绍本书可能的创新点。

1.1 研究背景

1.1.1 现实困境

从现实情况来看，随着中国工业化与城市化进程的不断加快，对能源的依赖程度日益加剧，能源对经济的制约以及对环境的影响也越来越大，能源问题日益突出，主要表现在以下四个方面。

1.1.1.1 供给层面——能源储量高，人均少

尽管我国是能源大国，总地质储量居世界第三，但人均能源占有量较少，主要能源，包括煤炭、原油和天然气的人均储量同其他国家相比较属于“资源小国”，其中，煤、原油等重要资源人均储量不足世界平均水平的 1/2。以 2000 年联合国发布的《能源统计年鉴》数据来计算，中国的“烟煤和无烟煤人均探明储量”仅为 91 万 t/人，不足美国的 1/9，最高的是英国，达到 25 108 万 t/人，是中国的 275 倍；如果以“烟煤和无烟煤人均可开采储量”计算，中国仅为 49 万 t/人，大约是美国的 1/8，最高的是澳大利亚，达到了 2 470 万 t/人，是中国的 50 倍。其他重要能源资源，如“原油和天然气人均储量”，中国的水平仅为 4.18 t/人，美国则是 13.35 t/人，是中国的 3 倍，而最高的委内瑞拉则是中国的近 100 倍，达到了 415.33 t/人。全球一些主要国家的人均能源储量见表 1.1。

表 1.1 主要国家人均能源储量 (2000 年)

国家	烟煤和无烟煤人均 探明储量/ (万 t/人)	烟煤和无烟煤人均 可开采储量/ (万 t/人)	天然气人均 可开采储量/ (万 m ³ /人)	原油和天然气 人均储量/ (t/人)
中国	91	49	1.36	4.18
澳大利亚	4 720	2 470	7.13	18.01
伊朗	59	3	36.41	230.49
日本	65	6	0.03	0.06
俄罗斯	518	336	30.60	45.48
英国	25 108	25	3.46	11.15
美国	874	395	1.67	13.35
委内瑞拉	55	20	16.71	415.33

数据来源：各国能源储量数据来自联合国《能源统计年鉴》2000 年，人口数据来自 World Bank 的 World Development Indicator 2006，人均数据根据以上各国能源总储量除以人口计算。

1.1.1.2 需求层面——能源需求持久强劲

同其他工业化国家相比，中国的人均能源消费水平较低。以 2004 年数据来看，中国“人均一次能源消费”为 1.24t 油当量/人，低于世界平均水平 1.77t 油当量/人，仅为 OECD 国家的 1/4；而工业化背后的重要能源支撑——电力消费，2004 年中国的人均消费水平为 1 585 kW·h/人，仅为全球平均水平的 2/3，不足 OECD 国家的 1/5，工业化进程已经完成的发达国家，如美国、德国、日本等，其人均电力消费均是中国的 4.5~9 倍，世界主要地区和国家的人均能源消费见表 1.2。

表 1.2 世界主要地区和国家人均能源消费

地区/国家	2004 年总一次能源/ (t 油当量/人)	人均电力消费/(kW·h/人)				
		2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年
世界	1.77	2397	2392	2443	2510	2516
OECD	4.73					8204
亚洲	0.63					617
中国	1.24	993	1 069	1 184	1 379	1 585
澳大利亚	5.73	10 055	10 366	10 773	10 713	11 126
法国	4.43	7 492	7 616	7 574	7 816	7 689
德国	4.22	6 680	6 853	6 740	6 896	7 030

地区/国家	2004 年总一次能源/ (t 油当量/人)	人均电力消费/(kW·h/人)				
		2000 年	2001 年	2002 年	2003 年	2004 年
伊朗	2.18	1 593	1 683	1 782	1 916	2 045
日本	4.18	7 969	7 821	7 918	7 818	8 076
俄罗斯	4.46	5 209	5 275	5 305	5 480	5 642
英国	3.91	6 027	6 103	6 153	6 209	6 206
美国	7.91	13 667	13 030	13 126	13 078	13 338
委内瑞拉	2.15	2 654	2 720	2 653	2 664	2 760

数据来源：总一次能源供应数据、2004 年人均电力消费数据来自 IEA, Energy Indicators for 2004, Key World Energy Statistic (2006 Edition), 2000—2003 年人均电力消费数据来自 World Bank, World Development Indicator 2006。

从表 1.2 还可以发现，发达国家的人均电力消费相对较为稳定，而中国的人均电力消费处于较低水平，且呈现高速增长态势。从发达国家工业化过程的历史经验来看，随着中国的工业化和城市化进程的不断加快，整个经济对能源的需求会越来越旺盛，其人均能源消费将会继续增加，而且增长的潜力巨大。

1.1.1.3 利用层面——能源经济效率较低

中国的能源效率处于何种水平？这是本书将要研究的一个重点，但在进行比较之前，需要搞清楚以下几个问题：首先，要比较什么？这涉及能源效率的概念及定义；其次，要同谁进行比较？这涉及能源效率的比较对象：微观比较？宏观比较？最后，要怎样比较？这涉及能源效率的比较维度，是横向上不同经济体的比较，还是时间维度上不同年份的比较？由于不同的定义、方法、对象选择都会产生不同的结论，因此对于这些问题将在第 2 章进行详细和深入的研究。但在此可以初步利用一些较常用的公认指标进行较为粗略的衡量，以期得到大致的印象和认识。

尽管我国的能源形势紧张，但在生产、消费过程中能源的经济效率却较低，表 1.3 给出的是较为常用的能耗强度比较。可以看出，如果采用汇率法进行跨国比较，我国的单位 GDP 能耗水平为 0.94t 油当量/千美元，是世界平均水平的 3 倍，按照这一指标来看，日本的能源效率最高（能耗强度最低），仅为 0.11t 油当量/千美元。这意味着，如果以汇率法进行比较的话，创造出同样的经济产出，日本的能源消耗仅为中国能源消耗的 1/9；如果采用 PPP 法，则中国同其他国家的差距将明显缩小，为 0.23t 油当量/千国际元，略高于世界平均水平和 OECD 水平，但同其他工业化国家相比仍然偏高。

表 1.3 世界主要地区和国家的单位 GDP 能源消耗强度

地区	单位 GDP 的一次能源消耗/ (t 油当量/千美元) (汇率法)	单位 GDP 的一次能源消耗/ (t 油当量/千国际元) (PPP 法)
世界	0.32	0.21
OECD	0.2	0.19
亚洲	0.71	0.19
拉丁美洲	0.32	0.16
中国	0.94	0.23
澳大利亚	0.25	0.19
法国	0.19	0.16
德国	0.18	0.16
伊朗	1.15	0.31
意大利	0.17	0.12
日本	0.11	0.16
俄罗斯	1.95	0.49
南非	0.87	0.28
英国	0.15	0.14
美国	0.22	0.22
委内瑞拉	0.47	0.39

数据来源：IEA, Energy Indicators for 2004, Key World Energy Statistic (2006 Edition)。

1.1.1.4 环境层面——能源消费加剧全球变暖

能源产品在生产、消费过程中会产生大量的污染物，尤其是含碳能源品，如煤炭、石油等在燃烧过程中会排放出 CO₂、SO₂ 等温室气体或有害气体，此外还有残余的废水废渣，更加剧了水体、空气和土壤污染，损害人体健康与生态环境。根据 IPCC 的研究，化石能源的燃烧所排放的温室气体是造成全球气候变暖的主要原因。表 1.4 列出了主要地区和国家的 CO₂ 排放量以及各种单位排放指标。

从表 1.4 的数据可以看出，在 2004 年，中国的温室气体排放总量已经位居全球第二，仅次于美国^①，其对于全球气候的影响举足轻重。如果从人均排放量来看，中国仅为 3.65 t/人，低于世界平均水平，仅为欧美发达国家的 1/5~1/2，如果从发达国家工业化进程的历史经验来看，如果不采取有效措施，中国的人均 CO₂ 排放

^① 根据 IEA 在 2007 年发布的数据，中国在 2007 年已经超过美国成为全球最大的温室气体排放国，但是国家发改委和国家统计局没有认可这一数据。

量将会有很大的增长空间，这将使得我国的排放总量更大。从单位能源排放 CO₂ 量来看，我国同其他国家水平差距不大，但是由于我国是以煤炭为主的消费结构，因此略高于以天然气、核能为主的欧洲国家；此外，以单位 GDP 的 CO₂ 排放量（汇率法）来看，中国是 2.76kgCO₂/美元，是世界平均水平的 4 倍，日本的 CO₂ 排放强度最低，仅为 0.25kgCO₂/美元，是中国的 1/11，属于典型的低碳经济。当然，如果用 PPP 法进行国际间比较，则中国的 CO₂ 排放强度为世界平均水平的 1.2 倍，是日本的 2 倍左右。

表 1.4 全球主要地区和国家的 CO₂ 排放（2004 年）

地区	CO ₂ 排放总量/ Mt	人均 CO ₂ 排放量/ (tCO ₂ /人)	单位能源排放 CO ₂ 量/ (tCO ₂ /t)	单位 GDP CO ₂ 排放量/ (kgCO ₂ /美元) (汇率法)	单位 GDP CO ₂ 排放量/ (kgCO ₂ /国际元) (PPP 法)
世界	26 583	4.18	2.37	0.76	0.51
OECD	12 911	11.09	2.34	0.47	0.44
亚洲	2 499	1.22	1.94	1.37	0.37
拉丁美洲	907	2.05	1.87	0.59	0.29
中国	4 732.26	3.65	2.94	2.76	0.67
澳大利亚	354.36	17.53	3.06	0.78	0.59
加拿大	550.86	17.24	2.05	0.7	0.58
法国	386.92	6.22	1.41	0.27	0.23
德国	848.6	10.29	2.44	0.43	0.39
日本	1 214.99	9.52	2.28	0.25	0.35
俄罗斯	1 528.78	10.63	2.38	4.65	1.17
英国	537.05	8.98	2.3	0.34	0.32
美国	5 799.97	19.73	2.49	0.54	0.54
委内瑞拉	128.33	4.91	2.29	1.07	0.88

数据来源：IEA, Energy Indicators for 2004, Key World Energy Statistic (2006 Edition)。

尽管在《京都议定书》框架中，中国不必承担强制性减排责任，但是在国际上，由于西方发达国家减排任务越来越艰巨，导致他们在政治上不断要求重新建立一个包括中国等温室气体排放大国在内的新排放体系，从长远来看，为树立负责任的大国形象，中国必然要面临温室气体排放控制这一压力，这将同国内不断加快的工业化进程所导致的 CO₂ 排放递增状况形成尖锐的矛盾。

1.1.2 实践与挑战

解决中国的能源供需矛盾，一般有三种思路：一是开源，即增加能源供给；二是节流，即抑制能源需求；三是增效，即提升能源利用效率，使得在能源投入不变条件下实现更多产出，或者产出不变条件下减少能源投入。对于经济发展而言，能源效率的提高属于“质量”的改善而非“数量”的变化，它主要有以下几个特点：

首先，提升能源效率包括了“开源”与“节流”的双重内涵。同“开源”（多投入以多产出）和“节流”（少产出以减少投入）的思路不同，能源效率的改善意味着：生产单位产出的能源投入减少，或者单位能源投入所带来的产出增加，其作用于“降低需求”和“扩张产出”两个维度。

其次，提升能源效率的可操控手段和方式多样化。除了可以通过设定行业能效准入标准、产品能耗要求等行政调控方式外，能源效率的提高可以通过多种市场手段实现，最主要的可借助于价格信号和一定的财税政策进行调控，合理反映市场供需力量的能源价格将迫使企业通过技术创新、减少生产浪费来提升生产率，同时也将改变消费者消费偏好。

再次，提升能源效率是转变经济增长模式、提高经济效益的表现。是提高经济发展质量、转变经济增长模式的内在需求，是改变以往“依靠数量投入”的粗放式增长，迈向“依靠质量提升”的内在驱动型经济的必然之路，也是实践科学发展观的真实体现。

最后，提升能源效率也是满足“减排”的可持续发展诉求。能效的提升将通过能源消费结构优化、能源产品替代及能源技术提升等方式，降低在生产、消费过程中产生的污染物排放，从而在经济持续增长的同时获得环境收益，符合“绿色”、“可持续”发展道路的要求。

中国政府已经充分认识到能源对经济以及环境的影响，提出了要大力转变经济增长模式，从原来“高耗低产”的粗放型增长方式转变为“低耗高产”的集约型增长方式，并在“十一五”规划纲要中明确提出要建立“资源节约型、环境友好型社会”，此外还建立了相应的约束性指标，即在“十一五”时期，单位国内生产总值能源消耗强度、主要污染物排放总量在2005年基础上分别减少20%和10%左右，在此之后，先后出台了《能源发展“十一五”规划》、《中华人民共和国节约能源法》等，这些都表明了中国政府旨在通过提高能源利用效率来促进经济、能源和环境可持续发展的决心。

尽管如此，在过去几年中，由于大部分省份无法完成年度分解目标，中央政

府不得不将其修改为阶段性目标。根据国家统计局公布的统计公报显示,在 2006 年、2007 年两年,按照原定时间进程安排,节能减排目标应完成总目标的 40%,但实际的单位 GDP 能源消耗强度累计下降仅完成规划目标的 26.9%,二氧化硫和化学需氧量排放总量的下降幅度,只完成规划目标的 32%和 22%,节能减排工作与预期目标仍有很大距离。这既反映了我国提高能源效率实践的复杂和艰难,也凸显出对能源效率主题研究的重要性和紧迫性。

2008 年以来,受全球金融危机影响,世界各国节能减排实施减缓,在波兹南会议上,全球政治决策圈内开始出现诸如“经济不景气情况下讨论气候环境问题太过奢侈”,以及“节能减排应为经济发展让路”等声音。而在国内,各地区也出现了“为保增长而暂缓节能减排”的举措,譬如山西省政府 2008 年年底就建议将“十一五”初确定的单位 GDP 综合能耗下降指标由最初的 25%调整到 22%。在经济下滑的特殊时期,节能减排工作是否同快速拉动经济增长相悖,还是会成为中国经济转型升级的契机?这些无疑是节能减排工作所面临的巨大挑战,也是亟待解决的重大现实问题。

1.2 选题意义

本书是一个基于“问题驱动”的实证分析,即:以研究中国能源效率这一现实问题为出发点,在生产理论、环境经济理论上,运用非参数 DEA 方法构建出全要素框架下的能源效率模型,同时利用不同层面数据,分别对不同国家、不同地区、不同行业的能源效率进行评价,并运用计量模型对能源效率差异进行解释,以寻求能源效率背后诸多影响因素的影响机制、路径、方向和大小,从而为节能实践提供一定的科学依据。此外,本书还将尝试结合传统生产理论与环境经济学的最新进展,将污染物纳入全要素生产率框架,从而在一个新的视野下考察能源效率。

在理论上,经济学的研究主要考虑“效率”与“公平”两大主题,尤其是以“效率”研究为重点。经济发展质量的改善,在一定程度上,也是全要素生产率(TFP)提升和改善的过程。过去在理论上对于效率的研究较多侧重于对劳动生产率的考察,而对于能源的关注则是自西方能源危机爆发后才开始兴起的。近年来,随着人类经济对能源的高度依赖,以及由于能源利用所导致的全球暖化问题,使得国外一些发达国家开始了对能源效率的研究,如欧盟很早便启动了 ODDSAY 计划,用于指导欧盟各国的能源统计标准以便于进行绩效比较,并在 2006 年公布了《能源效率行动计划》。尽管如此,目前在跨国比较中,仍然是以微观的工业品

能耗或是宏观的能耗强度来作为比较指标,但在理论上,却一直缺乏一套较为完善的理论方法和指标体系。本书研究的理论意义在于,采用生产率理论分析框架,将原先投入端的 $K-L$ 结构扩展为 $K-L-E$ 三要素结构,同时在产出端增加了对污染物排放的考察,从而整合了要素投入、经济产出与环境污染三部分,并借助非参数 DEA 方法发展出三个能源效率评价模型。此外,这一全要素生产率框架还可以进一步扩展,从而动态地考察环境管制、经济绩效与资源要素效率等。

此外,本书还对当前的节能减排实践具有一定的参考价值和指导意义。一方面,随着我国市场经济的不断推进和对外开放的不断深化,各种先进技术、设备、工艺被引入到生产中,能源的利用效率应该在不断提高,同国际间的差距也应该在逐步缩小,但是,对于我国与其他国家的能源效率差距到底有多大?以及产生差距的原因是什么?这两个基本问题,却是缺少可信和稳健的分析;同样的,即便在国内,地区间也有非常明显的能源效率差异,那么产生差异的原因到底是什么?能否缩小地区间能效差距?都是很紧迫的现实问题,因此研究能源效率背后的影响因素、作用机制和变动趋势,以及能源效率对经济增长和环境优化的影响路径、程度,无疑对于提高全社会能源利用效率,建设“节能型社会”具有重要的指导意义。

1.3 研究方法与技术路线

本书研究的理论基础是经济增长理论、生产理论和资源与环境经济学的有关理论,理论分析工具主要是计量分析方法、数理经济分析和实证分析方法。研究过程强调“问题驱动”,即以研究、解决现实问题为出发点,结合相关理论,在实际可得数据的基础上建立相应经济模型,灵活运用各项计量工具进行统计、回归、分解,最后根据检验结果对现实问题进行解释,并在此基础上提出实践可操作的建议。本书采用的主要方法包括:

(1) 文献分析方法。相对于其他研究领域而言,目前关于能源效率的研究不多,而且主要是基于单要素生产率分析框架,对于全要素生产率框架较多地应用于环境经济学领域。本研究积极借鉴国外研究的成果与方法,对相关文献进行梳理,将经济增长理论、生产理论、生产率理论与环境经济学的最新进展相互整合,发展出若干基于不同研究目的的模型,从而为研究提供理论支撑。

(2) 非参数数据包络法。在评价不同经济主体绩效与效率时,可采用参数法和非参数法,前者可借助生产函数等形式来进行估计,后者则可以根据实际样本点来生产相对前沿曲线,借助距离函数来评价不同样本点同前沿之间的相对距离,

由于其本身不受函数形式约束，其应用较为灵活，其中较常用的是数据包络法 DEA，已经广泛应用于不同企业、部门、地区和不同国家间的绩效评价与比较。本书在涉及相关经济体（国家、地区、行业等）效率评价时，基本采用 DEA 分析方法，但是根据不同主题和不同的数据特征，其模型有一定差异。

（3）计量分析方法。在以往能源效率的研究中，往往借助于对能耗强度指标的指数分解法来测算经济结构与技术进步两个要素的相对贡献，这一分析方法无法对其他可能的影响因素进行分析。本书将基于丰富的面板数据，根据分析目的与研究重点，设定相关的计量回归方程，并进行模型检验，利用广义 GLS、Tobit 等方法，对计量方程进行估计，从而定量刻画出不同的能源效率影响模型的作用路径、方向与大小。

根据以上研究方法，以及“从现实问题出发→理论模型支撑→数据实证分析→解决问题建议”这一研究思路，本书采取的技术路线如图 1.1 所示。

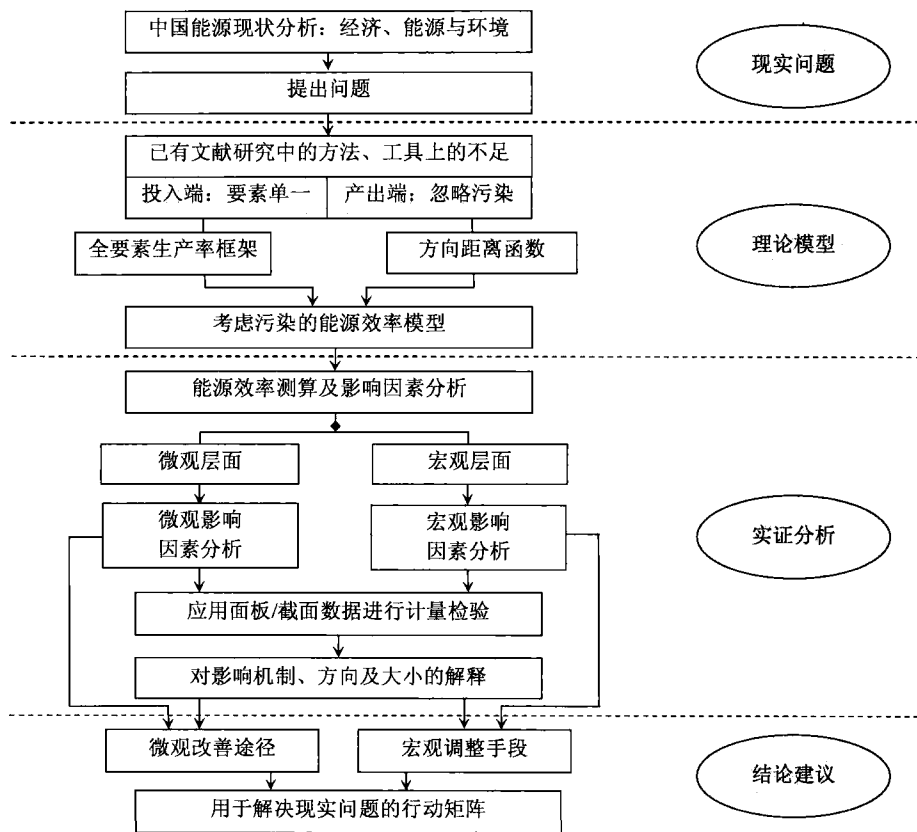


图 1.1 本书采取的技术路线

1.4 研究框架与研究内容

本书按照“研究目标”、“要回答的问题”和采用的研究方法，其研究的主要内容可分为四个部分，可通过图 1.2 做一个比较精炼的描述：

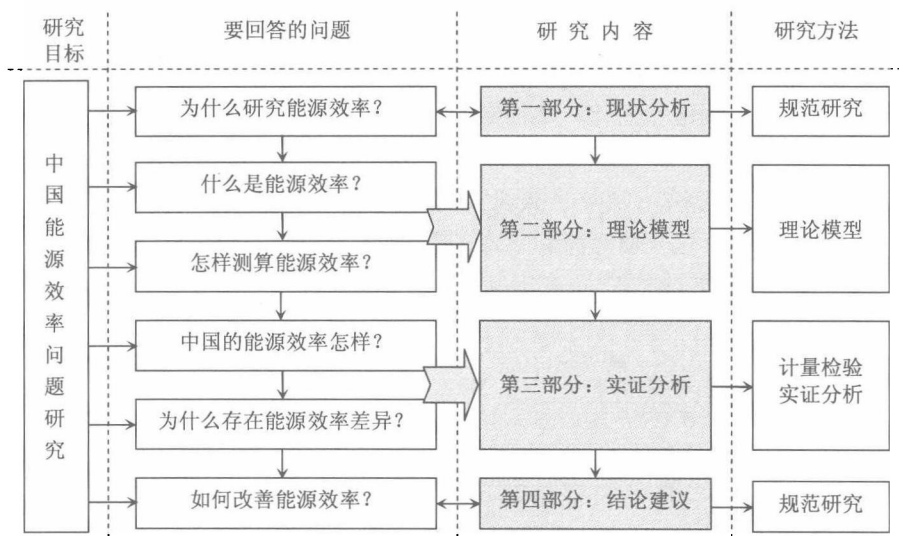


图 1.2 本书的研究框架

文章的具体章节安排如下：

第 2 章对国内外有关能源效率的理论与实证研究文献进行了归纳与梳理。首先回顾能源与经济增长的关系，接着按照单要素生产率框架、多要素生产率框架两条主线，对能源效率的不同定义及测度指标、能源效率影响因素和能源效率的收敛性进行回顾，最后在总结目前的研究缺陷的基础上，结合环境经济学的最新进展，指出未来能源效率研究有待深入的发展方向。

第 3 章是第 2 章的一个延续。在第 2 章中，发现了已有文献中的能源效率指标存在诸多缺陷，因此在这一部分，将对能源效率、能源生产率两个不同但经常混用的概念进行区分和比较，并基于 DEA 方法构建出基于全要素生产率框架的三个能源效率指标：全要素能源技术效率、全要素能源经济效率和全要素能源相对效率，从而为本书此后的实证研究提供一个理论基础。

第 4 章是对中国能源效率进行跨国比较的研究。首先通过实际数据的对比，