

前 言

能源短缺与生态环境恶化是全人类面临的共同挑战。为促进能源有效利用和生态环境保护，国际能源宪章组织、联合国环境规划署、联合国政府间气候变化专门委员会、政府间谈判委员会等跨国组织在促进国际能源对话和全球生态环境协作治理方面做出了持续努力，并形成了《能源宪章条约》《联合国气候变化框架公约》《京都议定书》《巴黎协定》等具有重要意义的多边协议。2023 年，《联合国气候变化框架公约》第二十八次缔约方大会就《巴黎协定》进行的首次全球盘点开启了全球气候治理进程的新篇章，大会最终决议明确指出为实现 21 世纪全球 1.5 摄氏度温升控制目标，各国必须持续提高能源效率、加快构建净零排放的能源系统，并以公正、有序和合理的方式实现能源转型。同时，在联合国启动的《变革我们的世界——2030 年可持续发展议程》中，确保人人获得可负担、可靠和可持续的现代能源，采取紧急行动应对气候变化及其影响，保护和促进海洋及海洋资源、陆地生态系统的可持续利用，推动持久、包容和可持续的经济增长被列为可持续发展目标的重要内容。可见，推进能源效率提升、能源转型及生态环境优化，从而促进人与自然和谐共生已成为全人类实现可持续发展的必然选择。

作为世界上最大的发展中国家和能源消耗大国，中国是可持续发展理念的坚定支持者和践行者，并扮演着全球生态文明建设的重要参与者、贡献者和引领者角色。“十一五”以来，我国相继制定并实施了环境污染物强度、能源强度和碳强度约束性政策，在降碳、减污、扩绿、增长方面取得了突出成效。党的十八大明确将生态文明建设纳入中国特色社会主义事业“五位一体”总体布局^①，由此我国开启了转变经济发展方式、寻求永续发展的新篇章。2014 年，习近平总书记提出了“四个革命、一个合作”能源安全新战略^②，为新时代中国能源发展设定了方向目标，而建设“生态文明”也于 2018 年 3 月被历史性地写入《中华人民共和国宪法》。在中国特色社会主义进入新时代的关键时期，党的十九大报告进一步强化了“加快生态文明体制改革，建设美丽中国”^③。2020 年，我国向国际社会做出了碳达峰和碳中和的郑重承诺^④，并发布了一系列相关工作部署及行动方案，为全方位推进绿色低碳转型发展指明了方向。在迈向全面建设社会主义现代化

①《胡锦涛在中国共产党第十八次全国代表大会上的报告》，<http://cpc.people.com.cn/n/2012/1118/c64094-19612151.html>，2012 年 11 月 18 日。

②《习近平：积极推动我国能源生产和消费革命》，<http://cpc.people.com.cn/n/2014/0614/c64094-25147885.html>，2014 年 6 月 14 日。

③《习近平在中国共产党第十九次全国代表大会上的报告》，<http://cpc.people.com.cn/n1/2017/1028/c64094-29613660.html>，2017 年 10 月 28 日。

④《在第七十五届联合国大会一般性辩论上的讲话》，<http://qh.people.com.cn/n2/2020/0923/c182753-34311195.html>，2020 年 9 月 23 日。

现代化国家新征程、向第二个百年奋斗目标进军的关键时刻，党的二十大指出了“人与自然和谐共生”是中国式现代化的本质要求之一，并将推进能源结构优化调整、“加快发展方式绿色转型”视为实现人与自然和谐共生的关键路径^①。无疑，贯彻新发展理念、推动经济高质量发展、促进人与自然和谐共生正成为我国经济社会发展的长远导向。

随着能源与环境约束的日趋增强及社会各界对能源环境问题关注度的与日俱增，能源（资源）与环境经济学研究在对现实问题的深层思考中不断拓展和深化。全球能源与环境格局的深刻变化及各类市场主体在能源与环境领域的丰富实践经验，恰为能源与环境经济学实证研究发展提供了最生动的素材。作为经济学实证研究的有力工具，各类建模方法在能源与环境经济研究中的作用也越发凸显。为了适应能源与环境经济学建模方法教学需要，本书聚焦该领域前沿建模分析方法和研究问题，在充分参考现有文献基础上，结合编者团队的研究成果开展编撰工作。在编写过程中，编者团队坚持问题导向、理论联系实践、经典结合前沿的原则，使得本书具有如下三方面特色。

第一，较强的实用性。近年来，以工具变量法、双重差分模型、门槛回归模型、空间计量模型为代表的计量经济分析方法，以及基于非参数分析框架的数据包络分析方法和指数分解方法在能源与环境经济研究领域大放异彩。本书在内容安排上囊括能源与环境经济学实证研究常见和前沿的建模方法，并对这些建模方法的理论基础和发展脉络进行系统介绍，可为读者学习能源与环境经济学建模方法及开展相关领域学术研究提供参考。

第二，建模理论与应用案例相结合。在介绍建模方法原理的基础上，本书通过引入能源与环境经济学领域的研究案例，对建模方法的应用予以展示。所引的研究案例均来源于编者团队发表于《经济研究》、《管理世界》、《数量经济技术经济研究》、*Business Strategy and the Environment* 等国内外重要期刊的高质量学术论文。通过建模理论与应用案例的结合，本书力图在呈现经济学主流建模分析方法具体运用的同时，对城市化进程与能源消费的关系、“资源诅咒”命题、空气污染对公众健康的影响、环境政策的实施效果等能源与环境经济研究领域重要的学理和现实问题予以深入阐述。

第三，注重经典建模方法和前沿建模方法的综合介绍。经过相关领域研究者的不懈努力，经济学建模方法呈现不断创新迭代之势。本书尽可能加强对相关建模方法进展的介绍。譬如，在介绍联立方程模型时，本书不仅阐述传统联立方程模型的基本原理，还进一步介绍空间联立方程模型及其参数估计方法；在介绍考虑非期望产出的数据包络分析模型时，本书从放松规模报酬不变的假定、非径向效率测度、跨期效率测度无解问题的解决策略等方面阐述环境效率测算的拓展模型；在介绍指数分析模型时，本书不仅涉及常见的 Laspeyres（拉斯佩尔）指数分解法、平均迪氏指数分解法和对数平均迪氏指数分解法，同时还引入可以更好地揭示绝对量因素对目标变量影响的广义迪氏指数分解法。

在结构安排方面，全书共有十一章。第一章为绪论。第二章至第九章介绍主流的计量经济分析方法及其在能源与环境经济学领域的应用，具体安排如下：第二章为静态面

^①《习近平：高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告》，https://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.htm，2022年10月25日。

板模型；第三章为工具变量法与 2SLS 回归模型；第四章为动态面板模型；第五章为门槛回归模型；第六章为空间计量模型；第七章为双重差分模型；第八章为联立方程模型；第九章为随机前沿分析模型；第十章为考虑非期望产出的 DEA 模型；第十一章为指数分解模型与蒙特卡罗方法。

本书的编写组汇聚了在能源与环境经济学建模分析方面具有丰富经验和研究成果的优秀学者。参编成员如下：华东理工大学商学院、同济大学经济与管理学院邵帅；上海财经大学经济学院曹建华、范美婷、刘江华，上海财经大学公共管理学院葛天越；上海立信会计金融学院国际经贸学院杨莉莉；东华大学旭日工商管理学院张可；上海理工大学管理学院张曦；南京财经大学经济学院杨振兵；浙江工业大学经济学院田志华；安徽财经大学国际经济贸易学院李光勤、刘伯凡；中南财经政法大学经济学院/生态文明研究院张燕；苏州科技大学戴嵘。

在本书编撰过程中，全书的内容框架确定、编撰工作组织协调由邵帅负责，邵帅和范美婷共同完成了统稿工作。各章的编写执笔分工如下。第一章：邵帅、曹建华、李光勤；第二章：刘江华、葛天越；第三章：邵帅、杨莉莉、田志华；第四章：邵帅、杨莉莉、范美婷；第五章：邵帅、刘伯凡；第六章：邵帅、田志华、张燕；第七章：曹建华、戴嵘、田志华；第八章：张可；第九章：杨莉莉、杨振兵；第十章：邵帅、范美婷；第十一章：邵帅、杨莉莉、张曦。此外，青岛大学经济学院张学斌老师、中国地质大学（北京）经济管理学院李梦旭老师，以及上海财经大学城市与区域科学学院裴延峰、余震宇、马凯丽，浙江大学经济学院蔡竹欣，华东理工大学商学院李嘉豪、刘芊含、章绍一、强安妮同学也参与了书稿的校对和修订工作。

本书的研究工作得到了国家自然科学基金项目（72573116、72074150、72473090、72103125）、国家社会科学基金项目（25VRC038）及华东理工大学研究生教学用出版项目的资助支持，作者表示衷心感谢！本书引用了大量同行的研究成果，作者谨向这些同行致以崇高的敬意！当然，文责自负。

囿于时间和能力的限制，本书难免存在不足与疏漏，恳请读者批评指正，以便今后不断修改完善。

邵 帅

2026 年 1 月

目 录

第一章 绪论	1
第一节 能源与环境经济学的学科特点	1
第二节 能源与环境经济学的基础理论	3
第三节 能源与环境经济学的方法论	5
第四节 能源与环境经济学的发展方向	7
参考文献	15
第二章 静态面板模型	16
第一节 面板数据与模型	16
第二节 固定效应模型	18
第三节 随机效应模型	21
第四节 假设检验	23
第五节 静态面板模型的应用	25
参考文献	34
第三章 工具变量法与 2SLS 回归模型	36
第一节 内生性问题	36
第二节 工具变量法	38
第三节 2SLS	41
第四节 工具变量法及 2SLS 模型的应用	43
参考文献	69
第四章 动态面板模型	72
第一节 动态面板模型的特征	72
第二节 GMM 模型基础	74
第三节 动态面板模型的 GMM 估计	76
第四节 动态面板模型的应用	84
参考文献	94
第五章 门槛回归模型	96
第一节 门槛回归模型的基础	96
第二节 门槛回归模型的参数估计方法	97

第三节 门槛模型的假设检验·····	100
第四节 面板门槛模型的应用·····	103
参考文献·····	124
第六章 空间计量模型·····	127
第一节 空间计量基本原理·····	127
第二节 探索性空间数据分析·····	131
第三节 面板空间计量模型·····	133
第四节 空间面板模型检验·····	139
第五节 空间面板模型的应用·····	141
参考文献·····	152
第七章 双重差分模型·····	154
第一节 DID 法的理论基础·····	154
第二节 DID 法的基本计量模型·····	155
第三节 不同数据类型的 DID 模型·····	157
第四节 对照组的选取与检验·····	160
第五节 DID 模型的应用·····	162
参考文献·····	174
第八章 联立方程模型·····	176
第一节 联立方程的常见形式及分类·····	176
第二节 联立方程模型的识别·····	179
第三节 联立方程模型的估计方法·····	182
第四节 空间联立方程模型·····	184
第五节 联立方程模型的应用·····	185
参考文献·····	199
第九章 随机前沿分析模型·····	201
第一节 SFA 模型基础·····	201
第二节 SFA 模型·····	203
第三节 SFA 模型的拓展·····	207
第四节 SFA 模型的应用·····	213
参考文献·····	230
第十章 考虑非期望产出的 DEA 模型·····	233
第一节 环境效率测度的基础 DEA 模型·····	233
第二节 环境效率 DEA 模型的改进·····	236
第三节 环境 TFP 指标及其分解方法·····	242
第四节 DEA 模型的应用·····	244
参考文献·····	255

第十一章 指数分解模型与蒙特卡罗方法	257
第一节 指数分解法简介	257
第二节 常见的指数分解模型	259
第三节 蒙特卡罗方法	265
第四节 指数分解模型的应用	267
第五节 指数分解模型与蒙特卡罗方法的综合应用	275
参考文献	287

第一章 绪 论

第一节 能源与环境经济学的学科特点

能源与环境经济学是能源科学、环境科学、人文科学与经济科学的交叉科学，其旨在探究能源利用、环境保护和经济发展之间的相互关系。作为经济学的一个重要分支学科，能源与环境经济学最早兴起于 20 世纪五六十年代，经过半个多世纪的发展，目前已成为一门独立的学科。与经济学其他子学科相比，能源与环境经济学有其独特的学科特点。

一、研究内容广泛性

能源与环境经济学的研究内容非常广泛，就其所涉及的研究领域而言，既包括对能源开发与利用、污染物排放与治理的社会经济效应的研究，也包括关于经济社会发展对能源及环境系统反向影响的研究。从能源与环境经济学研究所涉及的宏观、中观和微观领域问题来看，既包括跨国层面和以国家整体为研究对象的研究专题，如对传统能源、新能源、可再生能源的需求与供给，全球气候变化、雾霾的产生与治理的相关研究；也包括以一国内部地区和产业为研究对象的研究专题，如对地区能源与环境问题的相关性、跨地区污染与协同治理的相关研究；还包括以个体和企业为研究对象的研究专题，如关于家庭与个体的能源消费、污染规避，企业环境意识与环境表现等相关研究。此外，能源与环境经济学的具体研究内容通常还与政治（政治体制）、经济（经济发展）、人口（人口流动）、心理（环境意识）、社会（健康）等研究领域交叉，即凡是与能源利用与环境保护有关的问题均可纳入其研究范畴。当然，能源与环境经济学的研究重点还是围绕能源利用与环境保护展开的，只是具体研究内容的侧重点会根据各时期社会关注点的不同而发生变化。综上，能源与环境经济学的研究内容已经深入传统经济学研究的各个领域，而经济学的相关理论也为能源与环境经济学的发展提供了重要支撑。

二、学科归属交叉性

要对能源的配置与利用、环境经济活动、环境经济物品、环境经济体进行研究，就需要将经济科学、人文科学、能源科学和环境科学等学科理论进行充分融合（图 1-1）。因此，能源与环境经济学的研究内容决定了该学科具有与自然、社会、经济、文化相结合的交叉特征。

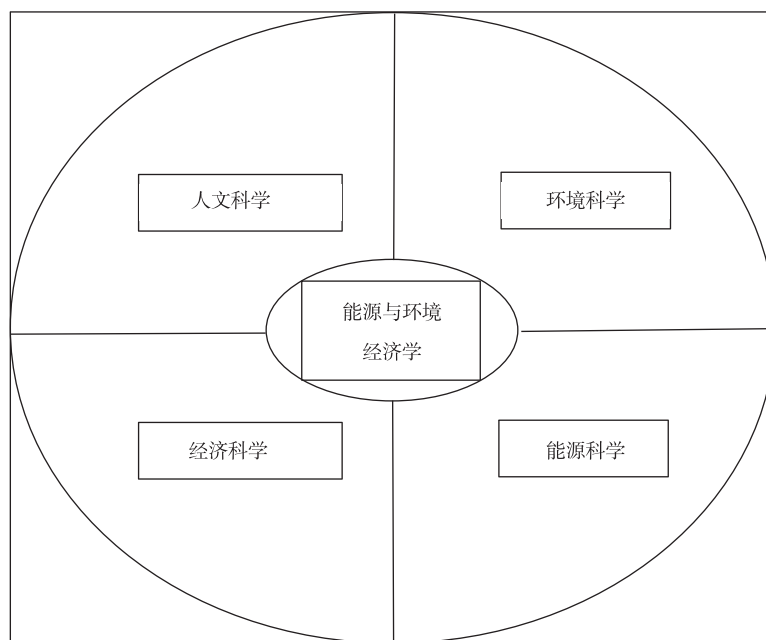


图 1-1 能源与环境经济学与相邻学科的关系

能源与环境经济学是经济学科体系的重要组成部分。经济学主要研究如何充分利用稀缺资源，以实现企业利润最大化、个人效用最大化及社会福利的最大化目标。能源与环境经济学主要研究如何进行有效的能源配置和利用，以及经济系统如何运行才会对环境造成更小的伤害，从而实现社会福利最大化。因此，能源与环境经济学是经济学理论的具体应用和发展，与经济学的其他子学科均具有密切的联系。例如，能源与环境经济学研究会大量运用区域经济学以及空间经济学的区位论、空间价格、区域成长、空间扩散等理论；同时，能源与环境经济学的研究也接受了政治经济学等学科的一般原理指导；又如，发展经济学和可持续发展经济学为能源与环境经济学提供发展的方向，而土地经济学和资源经济学的内容、观点与方法可为土地环境经济学和能源经济学借鉴。

人文科学是研究人类信仰、情感、道德和审美等社会行为科学的总称。其中，与能源与环境经济学关联较密切的是哲学、伦理学和心理学。在西方的世界观中，能源与环境是可以廉价使用与无限掠夺的对象物；中国传统世界观崇尚天人合一，强调人与自然的和谐共处，环境对人类的价值与资源对人类的价值一样。

能源与环境经济学也实现了与环境科学和能源科学的充分相融。在环境科学中，环境经济学与环境地学、环境生物学和环境管理学紧密关联；在能源科学中，能源与环境经济学又与能源安全、能源政策、能源产业管理、能源企业管理、能源金融具有密切联系。能源与环境经济学通过汲取能源与环境科学领域的研究成果，并结合经济学的研究方法，逐步完善自己的学科内容体系，形成独特的学科特点。

三、研究方法综合性

在很大程度上,能源与环境经济学研究内容的广泛性和跨学科性质共同决定了其研究内容的丰富性、研究方法的多样性和研究视角的综合性。能源与环境经济学的研究者在针对某一具体研究领域开展研究时,需要掌握与这一领域密切相关的专业知识(基础理论、研究方法、指标体系、经典案例等)。例如,研究人口结构变迁与环境变化的关系时,研究者需要了解人口学的基础知识和研究方法,并将这些基础知识和研究方法与环境经济学的理论体系结合起来,进而探究人口结构的变化通过何种机制和途径使环境发生变化,以及变化的方向是什么。因此,从事能源与环境经济学的研究工作,要求研究者具有广博的跨学科、跨专业的知识储备和研究经验,熟悉包括历史文献、调查案例、统计数据等各类信息资料的收集和处理方法及具体问题的具体研究方法。

第二节 能源与环境经济学的基础理论

一、外部性理论

外部性理论来源于经济学,指的是个人(法人)在经济活动过程中给他人(法人)带来了好的或者坏的影响,而这种影响不需要个人(法人)计入市场交易的成本与价格中(厉以宁,2000)。能源与环境领域存在大量的外部性问题,其中环境及能源利用的外部性问题尤其突出。新制度经济学认为产权制度的缺失是导致外部性问题的根源。在经济学中,解决外部性问题的一个可行的方法是明确产权。在能源与环境经济学中,与产权相关的问题主要体现在水权、排污权等自然资源产权的制度安排上(穆贤清等,2004)。

水权,即水资源产权,是指水资源所有权、使用权、转让权等权利的总称(曹可亮,2009)。水权制度是对水资源进行划分、界定、配置、调节和保护等水权主体的责、权、利关系的制度安排(付实,2017)。目前,不管是发达国家,还是发展中国家,水权制度均是管理水资源的重要制度。根据所有权性质,西方学者将水权制度分成私有水权制度和公有水权制度,前者是由私人拥有水权,后者由国家或者地方政府拥有水权,而这种水权主要指的是水资源使用权(林龙,2006)。我国拥有众多的河流湖泊和海岸线,水权也是我国的重要产权制度,而随着我国水污染越来越受到重视,水权制度建设在我国也受到极大的关注。

排污权是一种特殊的财产权利,其是指污染排放者依法享有污染排放的权利。由于污染排放具有环境负外部性,因而获得这一权利通常需要承担一定的成本。排污权本质上是对环境容量这一稀缺资源的明确界定和分配。明确排污权的归属问题,则可以实现污染权的市场交易,从而减少环境治理成本,提高环境治理效率。与排污权交易相似,碳交易就是温室气体排放权交易的统称。随着我国碳达峰碳中和战略的稳步推进,未来针对碳排放权及其交易机制的研究将会不断深入。

综上,能源与环境经济学的目标就是解决能源与环境领域的外部性,所以外部性理论就成了能源与环境经济学的基础理论。

二、可持续发展理论

可持续发展是指既满足当代人的需要，又不对后代人满足其需要的能力构成危害的发展模式（国际环境与发展委员会，1989；张林泉，2001）。我们可以从“对需要的满足”和“对需要的限制”两个方面理解可持续发展定义。“对需要的满足”是要满足贫困人民的基本需要，而“对需要的限制”是指对未来环境需要的能力构成危害的限制（夏国军，2014）。实现可持续发展的关键因素有三点：一是收入再分配以保证人们不会为了短期生存需要而被迫耗尽自然资源；二是降低人们尤其是穷人在遭受自然灾害和农产品价格暴跌等损害时的脆弱性；三是广泛提供可持续生存的基本条件，如卫生、教育、水和新鲜空气，以保护和满足社会最脆弱人群的基本需要，同时为人们提供发展的平等机会和选择自由（刘勇，2003）。

可持续发展内涵的三项基本原则：第一，公平性原则，即机会选择的平等性，这一方面包含了代内公平性（同代人间的横向公平），另一方面也包含了代际公平性（世代之间的纵向公平性）；第二，持续性原则，即指生态系统受到某种干扰时能保持其生产力的能力；第三，共同性原则，即可持续发展关系到全球的发展（国际环境与发展委员会，1989）。三个基本原则为是否实现可持续发展提供判断标准。

能源与环境经济学遵循了可持续发展的基础理论，其通过经济学的思路去开发能源、治理环境，从而为实现可持续发展提供理论基础和实践参考。

三、利益相关者理论

利益相关者理论的基本观点是随着时代的发展，物质资本所有者在公司中的地位会呈逐渐弱化的趋势，而利益相关方的地位会不断强化。环境与资源问题中的利益相关者分析主要涉及利益相关者的组织框架及特征行为分析（目标函数和策略空间）、各利益集团的环境参与机制、利益相关者对环境资源政策工具的反应和相应的分配效应以及利益相关者的权利保障与冲突解决机制建立等（穆贤清等，2004）。

在能源开发和环境保护过程中，会有诸多利益相关者参与。对于能源开发，其主要涉及能源供给方与能源需求方两大利益相关者，其中能源供给方又涉及能源资源的归属方与能源资源所在地居民两个利益相关者，能源需求方则包括中间需求方和最终需求方两个利益相关者。在环境保护过程中，其涉及环境污染方、环境受害方、环境治理方等利益相关者。需要注意的是，各利益主体的目标函数并不一致，由此产生的群体之间的策略互动正是能源与环境经济学予以关注的核心问题之一。因此，在进行能源与环境经济相关问题的研究过程中，需要重视并运用利益相关者理论，以便更深入地理解能源利用和环境保护过程中出现的各方利益关系。

四、价值评估理论

价值评估理论是关于内在价值、净增加值和价值评估模型的理化（中国注册会计师协会，2014）。价值评估理论不仅是财务管理的核心理论之一，其也在能源与环境经济领域得以运用。比如，我们需要对能源的价值进行评估，也需要对生态环境价值进行评

估,还需要对环境污染导致的损失进行评估。上述这些评估工作均需要运用价值评估理论予以完成。

当前价值估计方法在能源与环境经济学中的运用正在不断完善。举例来说,自然资源的价值一般包括使用价值(市场价值)和非使用价值(非市场价值),市场价值相对好评估,但是对于非市场价值的评估则存在较大难度。目前,对非市场价值的评估方法主要有互相依赖需求法和或有估价法两种,前者是从可以观察到的市场行为来估计非市场物品的内在价值,后者则用直接提问的方式得到为避免失去或获得非市场物品而“甘愿付出”的费用以及为了失去非市场物品而“甘愿接受”的赔偿。

随着能源与环境经济学研究的不断深入,学者开始关注自然资源的资产与负债情况,从而着手编制自然资源资产负债表,用以评判一个国家的自然资源资产价值及负债水平,此时价值评估理论就显得尤为重要了。结合能源与环境的自然属性,丰富和完善价值评估的基础理论与评估方法,也可成为该理论进一步拓展的方向。

第三节 能源与环境经济学的方法论

一、系统分析方法论

系统一词来源于古希腊语,是由部分构成整体的意思。学界通常把系统定义为由若干要素以一定结构构成的具有某种功能的有机整体。系统理论是研究各种系统的共同特征,并用系统理论知识定量地描述其功能,进而寻求并确立适用于一切系统的原理、原则和模型(苗东升,2006)。系统理论最早主要运用于计算机、应用数学等自然科学领域,随着系统思想的普及,在管理学、经济学等社会科学领域也开始重视系统理论。

系统理论的分析方法称为系统分析,或者叫系统方法,是从事物的整体出发,着眼于整体与部分,整体与结构及层次,结构与功能,系统与环境等的相互联系和相互作用,求得优化的整体目标的现代科学方法以及政策分析方法(魏宏森和曾国屏,1995)。系统分析是一种程序,它对系统的目的、功能、费用、效益等问题,运用科学的分析工具和方法,进行充分调查研究,在收集、分析、处理所获得的信息基础上,提出各种备选方案,通过模型进行仿真实验和优化分析,并对各种方案进行综合研究,从而为系统设计、系统决策、系统实施提供可靠的依据(汪应洛,1982)。系统分析的主要作用可归纳为以下几点:鼓励人们对系统的不同部分进行同时研究;注意系统中的结构和层次的特点;开拓新的研究领域,增加新的知识;突出未知东西的探索,使人们在过去和现在的基础上了解未来;使人们转换视角,从不同的角度或侧面看问题;迫使人们在考虑目标和解决问题的要求时,也同时注意考虑协调、控制、分析水平和贯彻执行的问题;诱导新的发现,注意从目的到手段的全面调查等。

根据系统的本质及其基本特征,可以将系统分析的内容划分为系统的整体分析、结构分析、层次分析、相关分析和环境分析等几个方面(魏宏森和曾国屏,1995)。

第一,系统的整体分析是用整体分析法进行研究,核心是从全局出发,从系统、子系统、单元、元素之间以及它们与周围环境之间的相互关系和相互作用中探求系统整体

的本质及规律,提高整体效应,追求整体目标的优化。用来进行整体优化分析的定量分析方法或技术有线性规划、非线性规划、动态优化和排队论等。

第二,系统的结构分析是系统分析的一个组成部分,通过结构分析可以寻求系统合理结构的途径或方法,其目的是找出系统构成上的整体性、环境适应性、相关性和层次性等特征,使系统的组成因素及其相互关联在分布上达到最优结合和最优输出。

第三,系统的层次分析是明确问题中所包含的因子及其相互关系,将各因子划分为不同层次;从而形成多层次结构,通过对各层次因子的比较分析,建立判断矩阵,并通过判断矩阵的计算将不同政策方案按重要性或适用性大小排列,为最优方案的选择提供依据。

第四,系统的相关分析是在系统研究的过程中,尤其是在问题界定、目标设定和方案规划中,要充分注意到各种问题及问题的各个方面之间,各个目标之间、各个方案之间、子目标与总目标以及子方案与总方案之间的关系,注意问题、目标、方案与社会、经济和政治环境之间的相互联系与相互作用。

第五,系统的环境分析是对系统及其问题的边界和约束条件做出环境判断。系统的环境分析涉及的内容很广,包括自然环境或物理技术的环境分析、社会经济的环境分析、文化心理的环境分析等。

能源与环境经济学是一门综合性的交叉科学,其涉及多个系统,如能源系统、生态系统、水资源系统、大气系统等。众多系统又构建了一个大系统,针对这样一个大系统就需要利用系统理论及系统分析方法展开研究。

二、社会科学方法论

能源与环境经济学是一门社会科学,因此社会科学的方法论在能源与环境经济学研究中占有十分重要的地位。运用社会科学的方法论,可以获得许多有关我们生活的社会知识(朱红文,2002)。由于社会科学方法论的内容较多,本部分只着重介绍社会科学研究的方法论体系中的定性研究和定量研究。社会科学方法论强调定性研究和定量研究的结合,但是定性研究和定量研究存在以下五个方面的不同(刘登冉,2011)。第一,从哲学基础看,定性研究是以本体论、个人主观意义及经验为主体的知识论和以价值理性为哲学基础;定量研究秉承实证主义的观点,实证主义是以经验的确切资料为科学基础的哲学系统。第二,从研究目的看,定性研究比较注重参与者的主观感受,旨在解释社会现象,着眼于从整体上理解和诠释被研究对象;定量研究通过对社会事实的测量,从中发现社会规律,旨在确定被研究对象的因果关系和相互影响,更多地注意个别变量和因素与它们之间的相互关系以指导实践。第三,从研究依据看,定性研究的依据是大量历史事实和生活经验材料;定量研究的依据主要是调查得到的现实资料数据。第四,从研究路径看,定性研究更偏向于一个创立理论的过程,通过访谈和个案等方法收集相关资料,侧重于对社会现象的深入挖掘和把握,从许多不同证据之间的相互联系中概括出论题、论断或理论,是一个从特殊到一般、自下而上的归纳过程;定量研究通常从既有的理论出发,提出理论假说,然后通过问卷等工具收集经验证据来验证预想的模型、假说或理论,这是一个从一般到特殊、自上而下的演绎过程,突出的是对既有理论的验

证或推广。第五,从表述形式看,定性研究主要是叙述性的说明,研究结论多以文字描述为主;定量研究的表现形式比较灵活,较多使用数据、模式、图形等来说明统计结果,表达研究结论(欧阳康和张明仓,2001)。

能源与环境经济学作为社会科学的一个分支子学科,社会科学方法论中的定性研究和定量研究也广泛运用于能源与环境经济学的各领域研究(严辰松,2000)。因此,掌握社会科学方法论中的定性研究和定量研究方法,对于开展能源与环境经济学的相关研究是非常重要和必要的。

三、经济科学方法论

张五常(2000)认为,“经济学是一门科学”,因而适用于科学研究的方法论均适用于经济学研究,经济科学具有独特的方法论体系。当面对经济理论难以解释的现实问题时,经济学家会试图提出自己的尝试性解释,经济科学的方法论就是在这种不断尝试性解释中逐渐发展起来。经济科学方法论属于哲学的认识论范畴,主要探讨经济学知识的性质、认识论地位以及获得途径等问题。在现代西方经济科学方法论中,主要体现为规范方法和实证方法(张五常,2002)。

规范方法对经济活动的评价(做出价值判断)。它解决的问题是“这应该是什么”或“这不应该是什么”之类的问题。规范方法带有浓厚的伦理学色彩,它把“是非善恶”的讨论纳入经济学研究的轨道。规范研究的结果是力求提供一种经济活动的评价标准,一种应当遵循的行为规范。以经济增长为例,规范方法所要阐明的是:什么样的经济增长是“好事”,是“值得实现的”,而什么样的经济增长不是“好事”,是“不值得实现的”。实证方法是在既定的评价标准的前提下,考察经济活动中的因果关系(不作价值判断)。它所解决的是“这是什么”或“这不是什么”之类的问题。在经济增长研究中,实证方法所要阐明的是:经济增长的影响因素是什么,如果是投资影响经济增长,那么增加一单位投资能够带来多少经济增长率。

规范方法和实证方法都需要经济理论的指导。现代西方经济学家从各自的学说立场出发,或者采取实证方法,或者采取规范方法,或者二者兼用,但他们所采取的方法总是与他们的经济理论一致(朱成全,2003)。新制度学派采取规范方法,是想说明资本主义社会的缺陷所在,并力求证明资本主义社会有可能通过改良的途径而逐渐消除这种缺陷;凯恩斯主义者在讨论经济增长问题时,采取实证方法,说明经济增长实现的条件和经济增长过程中可能遇到的困难,并由此提出均衡增长的对策。

能源与环境经济学应借用经济科学的方法论,将规范方法或实证方法运用到能源利用和环境保护的研究中,为能源利用和环境保护领域的政策制定提供规范指导与经验证据。

第四节 能源与环境经济学的发展方向

一、能源与环境经济学的研究动向

纵观近年来能源与环境经济学的发展态势,能源与环境经济学的研究发展呈现以下

三个显著特点。

（一）焦点热点问题研究

当前,全球化背景下的能源短缺和气候变化风险、环境污染扩散与区域可持续发展问题已成为社会各界关注的焦点。就我国而言,党的二十大明确提出要“深入推进能源革命,加强煤炭清洁高效利用”^①,强调在人与自然和谐共生的理念下谋求发展,要求在经济发展的同时,加强对能源利用效率和生态环境保护力度的提升,全面实施可持续发展战略。在实践中,我国已经实施了生态省、生态市、生态县,以及生态文明试验区等政策,推进各地区的可持续发展。但是,追求国内生产总值(gross domestic product, GDP)增长的思维惯性仍可能导致地方政府忽视自然资源保护和生态环境质量改善,从而增加社会经济发展的资源环境压力。可以说,由于理论指标的缺失和实践探索的不确定性,可持续发展之路尚存不少阻碍。

针对上述问题,结合国家环境保护与生态建设的实际,我们要树立全面、协调、可持续发展的科学发展观,在关注全球变化与社会经济发展的同时,从理论和实践层面上进一步关注中国的可持续发展实践问题,重点开展生态经济效率、社会经济发展与资源环境和谐度的研究,服务于人与自然和谐共生的现代化建设目标。

能源与环境经济学的研究重点可分为基础型研究和应用型研究,前者为发展和完善能源与环境经济学作为独立学科的理论方法,后者为能源与环境经济学要在经济发展政策、能源利用政策、环境保护政策和可持续发展政策制定中产生实际的作用与效果,政策应用与评估研究主要针对后者展开。

解决能源与环境问题,实现可持续发展,是一个长期而复杂的过程。能源与环境政策通过一定的政策措施来约束政府、企业和个人的行为。1992年里约会议之后,各国政府及国际机构针对能源与环境问题,实施了各种各样的政策措施。为了识别这些政策实施的效果并指导未来的环境政策,我们需要对既有政策的实施效果进行科学评估。随着政策估计方法的成熟,学术界侧重于对能源与环境政策展开科学的评估。随着环境问题的全球化和可持续发展战略的实施,政策应用研究对各国环境保护实践和国际环境公约谈判的支撑作用凸显,能源与环境经济政策是充分考虑现实政策需求而不断被推进的研究领域。面向决策、面向应用、前瞻预测,是当代能源与环境经济研究的一个明显趋势(孙若梅等,2013)。

（二）定量化发展趋势

随着能源与环境经济学研究的不断深化,研究领域与范围的不断拓展,能源与环境经济学研究越来越借助于“用数据说话”,数据诠释的说服力和真理性在能源与环境经济研究中的地位 and 作用明显增强。基于数据的定量化方法广泛应用是能源与环境经济学发展的一个基本特征(王广州等,2013)。近年来,在能源与环境经济领域的研究中,

^①《习近平:高举中国特色社会主义伟大旗帜 为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗——在中国共产党第二十次全国代表大会上的报告》, https://www.gov.cn/xinwen/2022-10/25/content_5721685.htm, 2022年10月25日。

模型工具在能源供求分析、环境资产定价评估、全球气候变化发展趋势预测、碳达峰碳中和情景分析等方面的作用日益提升。我国能源与环境经济学者也十分重视量化研究,不断采用前沿定量研究模型,运用最新的数据,开展定量研究,并取得了较多优秀的研究成果。但是,与西方学者的研究相比还存在不足,具有较大的提升空间。

(三) 学科的交叉与融合

能源与环境经济学是经济学研究及自然科学横向和纵向联合与拓展的学科,需要运用各个学科的理论来指导能源与环境经济学的发展。在研究能源短缺、能源配置等能源经济学问题时,需要采用经济学的供给与需求理论,以及能源的勘探、开采与运输等知识;在研究气候变化(碳达峰碳中和)时,需要利用气象学、气候学、生态学等知识作为指导;在研究环境问题(臭氧层破坏、污染)时,需要运用空气动力学,环境化学、生物化学等专业知识。处理好能源利用与环境保护问题,不仅是科技问题,也是经济问题,还是社会问题。这些问题的解决超出了经济科学的能力与范围,必须综合运用各种自然科学、各种技术手段以及各种人文、社会科学的知识去研究解决。

所以,加强科技工作者和人文、社会科学研究者的联系具有重大的现实意义。能源开发利用、全球气候变化、环境资源可持续发展方向的重大理论与实践问题,迫切需要自然科学家与社会科学家的联手。为此,国际学术界已经开始进行制度安排促进学科的交叉与联合:一些国家的学者开始融合自然科学和社会科学,尤其是与经济学的融合研究。因此,能源与环境经济学的学术研究开始由基础科学转向应用科学,由单一学科转向学科交叉与跨学科,以及由纯自然科学转向包括人文、自然、社会科学的综合研究。

二、能源与环境经济学的研究重点

能源与环境经济学的研究重点主要涵盖以下三大领域。

(一) 能源经济学的研究重点

能源经济学未来的研究重点和方向是什么?我们认为,其重点将包含能源的需求、能源的定价机制、能源产业的组织结构、能源对其他产业结构变动趋势的影响等;研究方法是引入随机模型或大量的计量模型,如价格的随机变动、随机的外部冲击等,甚至应该构造一个包含能源生产、能源需求和能源价格波动的一般均衡模型(林伯强,2009)。针对我国的能源研究现状,我们认为,我国未来的能源经济学研究应有以下四个方面的研究重点。

1. 能源消费与经济增长

能源消费与经济增长一直是研究的热点问题。普遍认为,一个国家的能源消费与经济增长之间存在相对固定的联系。但是事实上,随着新能源的发现和利用,能源对经济增长的联系并不太紧密了。在理论研究中,在拉姆齐模型(Ramsey model)的框架下,在生产函数中引入能源要素,然后根据历年的资本、劳动、能源、物质资源、社会生产总值的变动计算经济的均衡增长路径。或者是建立计量模型,根据时间序列数据考查能源密度、劳动力密度与全要素生产率的相关关系,以及资本、劳动、物质和能源的替代

弹性（包括中长期）的符号与大小（林伯强，2012）。在实证研究中，各国学者从不同的能源供应、不同的能源开采能力、能源结构等与经济增长的关系展开研究。经济增长是经济学研究的永恒话题，所以能源消费与经济增长仍然是研究的热点问题，只是研究角度和研究区域可能有所变化。

2. 能源供求平衡研究

能源供求平衡问题一直是能源经济学的重点研究问题。能源分为可再生能源和不可再生能源，针对可再生能源的研究，各国主要在不断采用新技术去增加供给，而对于不可再生能源，需要考察国内生产还是国外进口的问题（张明，2013）。因此，能源的供求平衡不仅仅是指国内能源平衡，还包括能源的进出口平衡。能源的供应量和需求量由价格决定，而均衡价值是市场活动的结果。研究能源供求的平衡问题，主要有以下几个方面：第一，可再生能源和不可再生能源的生产与供给问题；第二，可再生能源的技术突破瓶颈及技术应用前景问题；第三，可再生能源与不可再生能源的结构平衡问题；第四，能源价格受其他因素影响以及对经济增长、消费价格的影响问题；第五，外部冲击对能源的影响问题，如石油危机、战争、地震等。

3. 能源产业研究

能源行业或者能源产业的产业组织结构问题也是能源经济学的研究问题。世界的石油主要由几个石油输出国所控制，整个产业存在相当的垄断特征。利用产业经济学或者产业组织学的研究方法分析国家与国家之间的博弈关系，以及石油垄断企业与企业之间的竞争关系，是能源经济学者关注的领域。此外，能源消耗密度、能源工业结构、能源生产结构、各种能源的比例结构、能源跨地区运输、电力跨地区输送等，也是能源产业的研究重点。能源与资金、能源与劳动力之间属于外部替代性关系，也受到极大的关注。

4. 能源政策研究

能源政策是一个国家的基本政策之一。一个国家如何制定自己的能源政策，需要分析自己的能源禀赋，包括不可再生能源的可开发情况、可再生能源的技术水平等。在明确能源禀赋之后，确定采用自给自足的能源政策，还是以进口为主的能源政策，还是自给与进口并存的能源政策。对能源政策的研究往往采用可计算一般均衡（computable general equilibrium, CGE）模型，即在CGE模型中引入能源生产和能源消费，将具体的能源政策参数代入模型，进而模拟分析能源政策对经济各部门的影响。

（二）环境经济学的研究重点

1. 全球环境治理与国家的可持续发展

全球环境治理是环境经济学研究的一项重要内容（王凤和李小红，2009）。在1992年里约会议之后，国际社会普遍认识到，想要有效应对对臭氧层保护、防范气候变化、生物多样性保护和国际水域资源保护等全球环境问题，必须加强国际合作，才能实现本国的可持续发展。生物多样性和国际水域资源保护有明确的地域范围，具有典型的国际性（王凤和李小红，2009）。气候变暖问题的全球性特征更加鲜明，虽然美国在2001年宣布退出《京都议定书》，但欧盟和其他经济合作与发展组织（Organisation for Economic Co-operation and Development, OECD）成员国在继续履行减排协议上达成了共识。发展