

Management of Industrial Energy Saving
and Emission Reduction:

Potential Assessment Model, Technological Paths Analysis
and Green Factory Design

工业节能减排管理

潜力评估模型、技术路径分析及
绿色工厂设计

温宗国 等 著



科学出版社

工业节能减排管理：潜力评估模型、 技术路径分析及绿色工厂设计

温宗国 等 著



科学出版社

北京

内 容 简 介

本书围绕工业能源节约、多种污染物减排的环境管理需求,基于“原料-产品-工艺-技术”构建工业模拟体系,研发节能减排可行技术的潜力评估、路径分析和多目标优化的综合模型,应用于钢铁、造纸行业节能减排的对标管理、多目标协同控制及不确定性分析,介绍了作者以此为基础开发的“虚拟生态建厂及绿色工厂综合评估”系统等方法学。

本书成果可应用于已建企业或拟新建企业节能减排潜力的智能诊断、工艺技术改造方案的生成,可支持企业和咨询机构开展绿色工厂的改造设计及投资决策,并为工业节能减排管理工作提供定量化的分析工具和成功的应用实例。

图书在版编目(CIP)数据

工业节能减排管理:潜力评估模型、技术路径分析及绿色工厂设计 / 温宗国等著. —北京:科学出版社, 2018.8

ISBN 978-7-03-058084-9

I. 工… II. 温… III. 工业企业—节能减排—研究—中国 IV. TK018

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 132775 号

责任编辑:李 洁 杨 震 张淑晓 / 责任校对:彭珍珍

责任印制:张 伟 / 封面设计:耕者设计工作室

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>

北京教图印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 8 月第 一 版 开本:720 × 1000 B5

2018 年 8 月第一次印刷 印张:13

字数:252 000

定价:80.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

工业能源消耗、污染物排放的总量控制目标和节能减排技术政策的制定，传统上主要依赖于计量经济学模型、统计趋势外推或专家定性判断，缺乏节能减排可行技术依据和经济性分析，难以实现对节能减排管理目标的具体路径进行分解。另外，节能减排目标的日益增加（能源节约、多种污染物削减和温室气体减排等）带来了不同管理目标之间的冲突和协调难题，传统管理分析方法无法有效研究多种节能减排目标的协同控制。在工业节能减排管理实践中，外部经济活动环境、节能减排的措施和技术参数等均存在一定的不确定性，极大地影响了能耗和污染物排放总量的核算，基于有限情景模拟的分析方法存在明显的局限性。面对工业节能减排目标的增多及环境约束力度的增强，新建企业如何选择最佳可行的工艺技术以达到先进的绿色工厂水平，已有企业如何确定经济适用的节能减排改造措施（技术）以满足日趋严格的环保要求，这都是当前工业绿色发展和转型升级所面临的重大挑战，需要量化的决策支持工具以解决当前的迫切需求。

本书围绕工业能源节约、多种污染物减排的环境管理需求，以生产全流程为系统建立“原料-产品-工艺-技术”的工业模拟体系，以区域工业能耗和污染物总量控制目标为约束条件，在第 2 章中构建了基于最佳可行技术（best available technology, BAT）的节能减排潜力评估模型，应用于钢铁、造纸行业评估节能减排的潜力目标，探索节能减排可行技术在能源消耗、主要污染物总量控制和污染物排放限值等目标约束下的具体路径。第 3 章、第 4 章分别介绍了钢铁行业、造纸行业节能减排潜力和路径分析的应用案例，提出了中长期能源消耗、污染物排放的总量控制目标，综合考虑节能、减排、成本等多目标约束下行业节能减排最佳可行技术清单；研究设计基于 BAT 的节能减排对标管理，开发工业节能减排多目标协同控制方法学；识别影响能源消耗和污染物排放量的主要不确定性因素，基于大样本随机采样方法进一步优化节能减排路径，规避传统有限次数情景分析下制定节能减排路线图可能面临管理不达标的风险。第 5 章重点介绍了基于 BAT 面向绿色工厂改造设计的“虚拟生态建厂及绿色工厂综合评估”系统，实现对已建企业或拟新建企业节能减排潜力的定量化评估，并且根据节能减排管理和经济性绿色工厂建设要求，反演提出节能和污染物防治可行的工艺技术方案，支持企业自主开展绿色工厂的虚拟设计及投资决策。

作者课题组开发的工业节能减排潜力分析及路径优化模型，以生产全流程的

“原料-产品-工艺-技术”为基础，采取自底向上的工业系统模拟方法，其优点是可追溯工业系统内部原料、工艺和规模等结构因素及技术成因，能够详细分解技术、结构变化过程或政策因素的改变对节能减排目标的影响，使节能减排控制目标的路径分解更清晰，从而推动传统黑箱模型向机理化、白箱化发展。另外，课题组实现了多种环境目标协同控制分析及环境管理不确定性方法的集成应用，为多环境介质约束性目标下的节能减排技术优选提供了方法学，实现了关键技术方案 10 万次级的大样本随机采样模拟，为有效规避不达标的高风险节能减排方案和前瞻性地提出预防控制措施提供了决策支撑。本书系统地介绍了上述自底向上的节能减排综合评估模型，以及其在造纸、钢铁两个行业节能减排潜力分析、成本效益评价和路径优化的试点应用情况。该综合评估模型也在水泥生产、有色金属冶炼、新型煤化工、纺织工业等 10 多个行业上实现了推广应用，为工业节能减排管理工作提供了有效的定量分析工具和成功的应用实例。

面向生产企业/环境服务公司节能减排改造的实际需求，课题组开发了基于“原料-产品-工艺-技术”全流程模拟的“虚拟生态建厂及绿色工厂综合评估”系统。该系统采用了数据智能归集及工业全过程工艺技术匹配建模方法，构建了多行业节能减排大数据系统及多数据源自动创建标准化行业模板，支持行业节能减排技术数据系统的实时更新和高效拓展。另外，实现了多行业标准化虚拟建厂及多目标优化系统，实现高效筛选多种生态绿色建厂目标下的最优技术组合；基于多维数据底层封装、算法云模块服务技术，构建绿色工厂评价及节能减排潜力评估服务平台。该系统已经支持用户开放注册，可供企业、政府和专业科研机构用户使用，初步具备了高扩展性、灵活性和易用性。

本书内容主要根据国家水体污染控制与治理科技重大专项子课题“基于 BAT 总量控制管理及技术减排潜力分析研究”（2013ZX07504-004-05）和国家自然科学基金优秀青年科学基金（71522011）的研究成果。本书的主要贡献作者均为课题组的核心成员，主要包括：曹馨、许金晶、张晨凯、王奕涵、张雪莹、张桦楠等。在研究及书稿撰写和出版过程中，自始至终得到了环境保护部科技标准司、国家自然科学基金委员会等部门领导、专家的倾力支持和指导，在此谨致以诚挚的谢意。本书引用了国内外有关研究成果，但尚没有列出全部文献，在此向这些文献作者表示感谢。尽管在编写过程中作者力求完善，但由于知识有限，书中难免存在疏漏与不足之处，恳请广大读者批评指正。希望本书能够对工业节能减排管理和绿色工厂建设的理论和实践起到一定的指导作用。

温宗国

2018 年 5 月 4 日于清华园

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 工业节能减排形势及需求	1
1.2 工业节能减排路径及政策体系	2
1.3 工业节能减排管理的主要难题	4
1.4 本书主要内容	8
第 2 章 基于自底向上的节能减排潜力评估模型	10
2.1 研究综述	10
2.1.1 行业节能减排路径分析	10
2.1.2 自上而下与自底向上建模	12
2.1.3 多目标协同控制	15
2.1.4 不确定性分析	19
2.2 IEPRT 模型概述	21
2.3 技术系统模拟与基础数据收集	22
2.3.1 技术系统模拟	22
2.3.2 基础数据收集	24
2.4 环境-经济影响核算	26
2.4.1 行业层面算法	26
2.4.2 企业层面算法	30
2.5 多环境目标协同控制	31
2.5.1 行业层面多目标技术优选——多目标算法方法	32
2.5.2 企业层面多目标技术优选——多目标算法方法	38
2.6 不确定性分析	39
2.7 本章小结	40
第 3 章 钢铁行业节能减排潜力和路径分析	42
3.1 行业技术系统模拟	42
3.2 环境经济影响核算与总量控制目标分析	44
3.2.1 行业宏观参数设定	44
3.2.2 模型计算结果分析	48

3.3	单位产品污染物排放强度和浓度对标管理	58
3.4	多目标协同控制	59
3.4.1	技术协同效益评估	59
3.4.2	多目标技术优选的优化算法	62
3.5	不确定性分析	77
3.5.1	控制目标的不确定性	77
3.5.2	行业关键参数的不确定性	79
3.6	结论与建议	85
第4章	造纸行业节能减排潜力和路径分析	87
4.1	行业技术系统模拟	87
4.2	节能减排潜力与总量控制目标分析	90
4.2.1	模型参数设定	90
4.2.2	模型计算结果分析	91
4.3	单位产品污染物排放强度和浓度对标管理	94
4.4	多目标协同控制	98
4.5	不确定性分析	112
4.5.1	控制目标的不确定性	113
4.5.2	行业关键参数的不确定性	113
4.6	结论与建议	125
第5章	虚拟生态建厂及绿色工厂综合评估系统	128
5.1	系统设计功能及整体框架	128
5.2	虚拟生态工厂搭建说明	135
5.2.1	虚拟生态工厂的基础设定说明	135
5.2.2	主体工艺设定说明	136
5.2.3	节能减排技术设定说明	137
5.2.4	虚拟工厂全厂模拟调校说明	138
5.2.5	虚拟工厂全厂方案摘要说明	138
5.3	虚拟工厂标准模板库说明	139
5.4	工厂评估与优化	139
5.4.1	工厂评估优化目标设定	139
5.4.2	工厂优化结果方案获取	140
5.5	绿色工厂评价	140
5.5.1	绿色工厂评价信息采集	141
5.5.2	绿色工厂评价结果获取	141

5.6 本章小结	141
第 6 章 总结与展望	143
6.1 本书成果总结	143
6.1.1 IEPRT 模型	143
6.1.2 虚拟生态建厂及绿色工厂综合评估系统	143
6.2 推广应用前景	144
6.3 未来研究展望	145
参考文献	146
附录	151
附录 A 相关文件	151
钢铁工业调整升级规划（2016-2020 年）	151
一、行业现状	151
二、面临的形势	153
三、指导思想、基本原则和目标	155
四、重点任务	156
五、保障措施	166
附录 B 多目标算法代码	167
附录 C 非参数检验结果	186

第1章 绪 论

1.1 工业节能减排形势及需求

工业部门是我国重点耗能部门。“十二五”期间，我国工业能源消费总量逐年增加，从2011年的24亿t标准煤增加到2015年的29亿t标准煤，年均增长率达5.2%。2015年我国工业占全国GDP的比例为40.93%，而能源消耗占全社会能源消耗的67.99%以上。自“十一五”节能减排工作开展以来，工业节能工作取得了显著成效，重点行业 and 主要用能产品单耗持续降低，但随着我国重工业化和城市化进程的加快，我国工业面临的节能形势仍然十分严峻。

工业部门长期以来也是我国污染物排放的主要来源之一。在水污染物排放方面，其废水排放总量在2010~2015年占全国排放总量的30%以上，化学需氧量(chemical oxygen demand, COD)和氨氮的排放总量均超过全国排放总量的10%。

“十二五”期间，国家从各方面加强了工业水污染的防治工作，工业废水、COD和氨氮排放量逐步下降，2015年工业废水、COD和氨氮排放量分别为199.5亿t、293.5万t和21.7万t，与2010年相比分别降低16.0%、32.5%和20.5%。大气污染物排放方面，2015年工业二氧化硫和氮氧化物排放分别占全国排放总量的83.7%和63.8%，排放量分别为1556.7万t和1180.9万t，与2010年相比分别降低了16.5%和19.4%；而工业烟粉尘占全国排放总量的80.1%，排放量1232.6万t，比2010年增加了17.2%。由此可见，各种污染防治措施的应用对工业污染物的排放控制起到了一定的效果，然而考虑到国民经济持续较快的增长趋势，我国仍需加强工业污染物的总量控制力度以促进经济社会的全面协调可持续发展。

工业部门面临着迫切的节能减排需求。“十二五”时期，国家将主要污染物控制作为我国环境管理的重点领域和约束性指标，《国民经济和社会发展第十二个五年规划纲要》中除了提出COD总量与2010年相比削减8%的目标，又进一步新增氨氮总量控制指标，要求氨氮排放总量在2010年的基础上削减10%。此外，还要求二氧化硫排放总量在2010年的基础上削减8%、氮氧化物排放总量在2010年的基础上削减10%，以及要求单位GDP能源消耗在2010年的基础上降低16%。

“十二五”规划中提出的以上目标均已超额完成。《国民经济和社会发展第十三个五年规划纲要》环保规划继续实施总量控制，除已有的COD、氨氮、二氧化硫、氮氧化物四种主要污染物控制指标外，拟对全国实施重点行业工业烟粉尘总量控

制，对总氮、总磷和挥发性有机物（volatile organic compounds, VOCs）实施重点区域与重点行业相结合的总量控制，增强差别性、针对性和可操作性。其中，提出了 COD 与氨氮的排放量相比 2015 年减少 10%，二氧化硫和氮氧化物的排放量相比 2015 年减少 15%等主要目标。

1.2 工业节能减排路径及政策体系

工业能耗和污染物总量控制目标主要通过以下政策路径促进企业的工艺改进和污染防治工作来实现（图 1-1）。

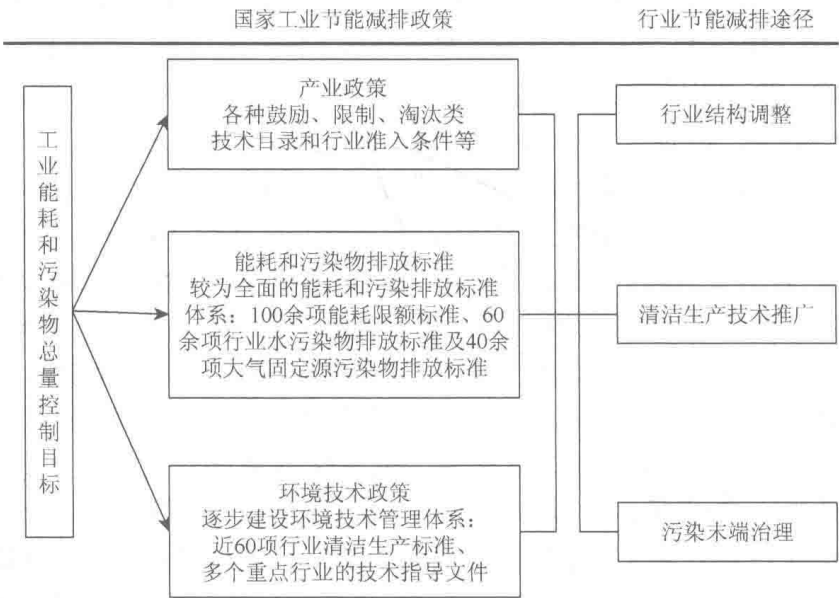


图 1-1 总量控制目标与政策路径

1. 产业政策

产业政策是国家加强和改善宏观调控、有效调整和优化产业结构的重要手段，主要包括各种鼓励、限制、淘汰类技术目录、行业产业政策和准入条件等。例如，为有效推广各种污染防治技术的应用，加大环保技术的普及力度，环境保护部发布了《国家先进污染防治示范技术名录》和《国家鼓励发展的环境保护技术目录》，分别列出了具有创新性、先进性的新技术、成熟技术及新工艺等，同时相继颁布了铜冶炼、再生铅和电解锰等行业的污染防治可行技术指南，完善环境保护技术体系，促进污染防治技术进步；商务部和国家税务总局联合发布了《中国鼓励引进技术目录》，以鼓励企业引进国外先进适用技术；国家发展和改革委员会发布的

《产业结构调整指导目录》[替代原国家计委、原国家经贸委发布的《当前国家重点鼓励发展的产业、产品和技术目录》和原国家经贸委发布的《淘汰落后生产能力、工艺和产品的目录(第一批、第二批、第三批)》]。行业类出台了印染、焦化、电石等行业的准入条件。这些产业政策的制定与发布较为有效地调整和优化了国家产业结构,推动了国民经济的发展。

2. 能耗和污染物排放标准

能耗和污染物排放标准是国家环境法规的重要组成部分,它直接或间接地影响着我国能耗水平、环境质量及资源可持续利用战略的实现。截至2015年,我国已制定(含修订)了包括《焦炭单位产品能源消耗限额》(GB 21342—2013)、《制浆造纸单位产品能源消耗限额》(GB 31825—2015)在内的100余项能耗限额标准;制定(含修订)了包括《制浆造纸工业水污染物排放标准》(GB 3544—2008)、《纺织染整工业水污染物排放标准》(GB 4287—2012)在内的60余项行业的水污染物排放标准;制定(含修订)了包括《钢铁烧结、球团工业大气污染物排放标准》(GB 28662—2012)、《炼铁工业大气污染物排放标准》(GB 28663—2012)、《炼钢工业大气污染物排放标准》(GB 28664—2012)、《轧钢工业大气污染物排放标准》(GB 28665—2012)在内的40余项大气固定源污染物排放标准;并定期进行修订完善,已形成了较为全面的污染物排放标准体系。相比于各行业通用的《污水综合排放标准》和《大气污染物综合排放标准》,分行业污染物排放标准的制订更多地考虑了各行业生产工艺、处理技术的差异和污染物的特点,因此对于我国开展环境管理、依法行政、推行清洁生产和总量控制的环境管理要求更具有可行性和指导性。

3. 环境技术政策

“十一五”期间,我国明确提出了建设环境技术管理体系,并于2007年9月30日发布了《国家环境技术管理体系建设规划》,提出在“十一五”期间通过编制或修订重点污染行业的污染防治技术政策、污染防治可行技术导则及相关工程技术规范等技术管理指导文件,同时广泛开展技术推广和示范工作,建立包括技术的筛选、评价、验证制度等在内的环境技术评价体系,定期编制发布《国家先进污染防治示范技术名录》《国家环境技术发展报告书》《国家鼓励发展的环境保护技术目录》等,初步建立起与我国环境管理体系相适应的国家环境技术管理体系框架,为我国相关部门技术、经济政策的制定、环境管理和行业污染物排放标准的制修订和具体实施提供技术基础与依据,以促进技术进步与成果转化,有效引导环境技术和产业的发展,通过环境技术管理体系的逐步完善提高我国环境管理制度的实施性。环境技术政策是实施环境管理的重要依据,是行业进行环境

污染防治的技术指南，对企业污染防治起到指导作用。截至 2015 年，我国已制定（含修订）酒精制造业、制革工业（羊革）在内的近 60 项行业清洁生产标准，在全国环保系统、行业和企业中产生广泛的影响；制定钢铁、有色金属、造纸、电解锰等高污染行业的污染防治最佳可行技术指南（试行），增强环境管理决策的科学性，引导环保产业发展。另外，国家启动了多个重点行业和污染物的污染防治技术政策及废水治理工程技术规范等技术指导文件，为环境管理提供了一定的技术支撑。

1.3 工业节能减排管理的主要难题

尽管我国针对工业部门的各个行业已经制定了明确的节能减排目标，但在节能减排政策实施过程中仍面临以下四个方面的主要困难。

1. 目标管理缺乏系统科学的路径分解

目前我国污染物排放总量控制目标和污染防治政策（如企业清洁生产技术标准、工业污染物排放标准、限期淘汰落后技术和限制淘汰鼓励技术目录等）的制定，主要依赖于专家定性判断和趋势外推，缺乏技术依据和技术经济性分析，总量控制目标无法进行具体实施路径的分解，影响污染防治政策与管理的有效性。

现有基于自底向上技术模拟进行的企业能耗和污染物排放水平核算，以及节能减排潜力分析仅局限于数量有限的若干项重点技术评估，对企业技术系统的复杂性和技术间的匹配依存关系考虑不足，不能搭建起完整的、系统的生产技术体系。先进技术目录未能有效组织各方协同推广，企业往往缺乏对技术信息的客观判断，从而难以将先进技术引入生产链，导致技术推广应用的延缓和滞后。

专栏 1-1 美国水环境污染排放限值确定依据

美国水环境污染排放限值的确定有两个依据（图 1-2），一个是基于技术（technology-based），另一个是基于水环境质量（water quality-based）。《清洁水法》规定，当发现基于技术的排放限值已不足以满足当地水环境质量要求时，须采用更为严格的、基于水环境质量的排放限值。

美国水污染物排放标准分别依据最佳现有实用技术（BPT）、最佳经济可行技术（BATEA）及最佳常规末端治理技术（BCT）对现有直接排放源制定水污染物排放限值。其中，基于 BPT 的排放限值适用于常规污染物、有毒污染物及非常规污染物，但通常主要用于 BOD₅、TSS 等常见的污染物；基于 BATEA 的排放标准限值主要适用于有毒污染物和非常规污染物；基于 BCT 的排放限值主要适用于常规污染物。

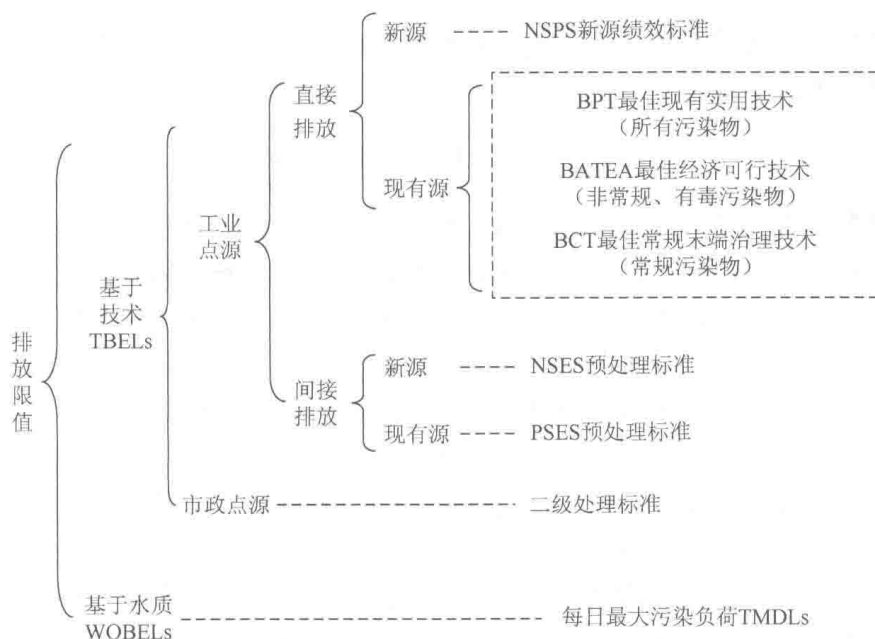


图 1-2 美国水环境污染排放限值确定依据

2. 节能减排对标管理操作性较差

我国各工业行业企业数量众多、工艺技术水平差异大，不同企业间的能源资源消耗和污染物排放指标差异明显，为行业节能减排的管理工作带来很大难度。

目前，我国针对已建企业开展淘汰落后产能、制定有差别资源能源价格等环境经济政策时，还停留在以产能规模为界限的简单手段上。而国际上则通常以工艺技术的排放水平作为判定标准，其主要原因在于我国缺乏污染减排的标杆管理体系。虽然节能减排相关管理部门已经组织开展了重点行业的污染防治技术评估工作，并从不同角度提出了评价企业技术水平、能耗水平、排污水平的指标体系与评价方法，对促进企业污染防治和开展企业清洁生产水平评价工作起到了很大作用，但仍存在以下几点不足。

(1) 评价指标与标杆值（基准）缺乏时效性。由于相关研究工作中企业的参与程度不够，往往滞后于行业技术进步现状，很多指标发布后可能在短短几年内就无法真实反映本行业的技术发展情况，执行的有效性受到影响。

(2) 能耗及污染防治指标的核算边界界定不清。企业生产过程的能耗、产污系统复杂，涉及的物质种类多，物质转化过程复杂。如果缺乏对相关评价指标核算边界的清晰界定，则评价结果的可比性差，对企业技术改进和相关部门管理工作的指导作用大幅度降低。

(3) 节能减排服务平台建设较为薄弱。目前，企业技术评估工作的开展处于分散状态，缺乏便于管理部门掌握行业发展动态、便于企业及时开展横向比较的

平台。这种状况导致了大量有价值的行业技术信息无法集中，增加了信息传达成本和管理成本。

专栏 1-2 对标管理国际经验

世界上许多国家开展淘汰落后、制定环境经济政策的手段主要分为以下两种：一是以产品、工艺、技术的能效和污染排放水平为基础；二是以企业为主体结合市场经济手段开展对标管理。欧美、日本等地区和国家在管理工具上不断进行创新，为企业自愿性的污染减排提供了相应的技术手段和管理工具，积极搭建公共平台，并选取冶金、造纸等典型行业进行了试点，从而推动企业持续不断地进行。例如，美国对钢铁行业达不到“标杆”值的企业，实施有差别的资源能源价格，如更高的水价、电价和排污费等，从而实现污染防治和淘汰落后，污染减排成为企业发展和竞争力的内在动力。在日本，以同类产品能耗最低的产品作为领跑者，然后以此产品为规范树立参考标准，对于在指定时间内未能达到规定标准的，将公布企业和产品名单，并处以罚款，目前已在汽车、空调、冰箱、热水器等 21 种产品实行了节能产品领跑者制度，该制度已经成为世界上最为成功的节能标准标识制度之一。污染物控制方面，欧盟对综合污染预防与控制指令、大型燃烧装置指令、废物焚烧指令、有机溶剂使用指令、二氧化钛指令进行整合，发布了统一的工业排放指令；欧盟委员会发布了相关行业最佳可行技术（best available technology, BAT）参考文件配合指令及实施许可证制度。以欧盟发布的 BAT 评估结论和建议的排放控制水平为依据，各成员国结合本国的法律传统及工业污染控制实践，将其转化为本国的标准。

3. 缺乏多种环境目标的协同控制

在当前节能与减排的重压之下，我国工业环境标准不断趋于严格，约束性环境指标不断增多，节能减排的控制更加复杂。工业部门不仅需要保障节能、减排与经济效益等单一目标的实现，也需要考虑多个环境目标的协同及冲突关系，这是我国工业部门深入推进节能减排的重大挑战。上述目标间的协同及冲突关系体现在多个方面。例如，工业的污染物减排与节能存在一定的相互影响，一些技术在污染物减排的同时产生协同的节能效应，可以实现节能与减排的双赢；另一些减排技术在削减污染物排放的同时增加了能源的消耗，使得行业污染物排放总量得到控制却导致能耗的增加，环境问题由减排转向了节能，发生了环境目标（节能、减排）之间的转移；同时，经济效益目标也是企业进行节能减排时应重点考虑的，对于部分节能或污染物减排效果良好，但相应成本投入过高的技术，企业在符合环境规制下往往选择节能减排效果一般，而经济效益更佳的技术。

上述背景对行业及企业节能减排管理均提出了新的要求。在行业层面,如何将目标间的协同及冲突效应纳入节能减排控制决策框架内,科学评估节能减排技术的协同效应,同时在协同处置背景下进行技术结构的优化,成了需要关注的问题。在企业层面,同样应在传统的节能及减排效益之外,对协同效益进行考虑,并以此为依据进行技术体系的选择。然而,现有的行业及企业效益评估和生产技术优选方法多针对单目标(能、气或水)的控制,缺乏对多环境目标协同管理的研究。

专栏 1-3 多目标协同控制的国际研究

国际上针对协同控制问题已经开展了广泛的研究。美国环境保护署于1998年启动了协同控制分析项目(control analysis program, CAP),随后在全球范围内组织进行了综合环境战略(integrated environmental strategy, IES)项目。项目研究认识到大气污染控制与温室气体之间存在双向协同效应。在认识到协同效应的存在并对其进行了定量估算后,进一步提出了协同控制的概念,主要是指同时控制两种或以上的有害污染物的控制措施,使得协同效应最大化。此外,瑞典环境保护署于2009年10月召开的“大气介质气候政策”国际研讨会认为大气污染削减政策与气候变化有明确相关性,开展协同控制可以实现较好的减排效果。联合国政府间气候变化专业委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)发布的气候变化评估报告中也提出了将空气污染控制和温室气体减排协同控制的政策。

4. 总量控制具有显著的不确定性

此外,在行业层面的研究中,影响工业能耗和污染物排放特征的因素有很多,在能源环境规制变动、行业宏观经济活动水平波动和工业技术体系演变等内因、外因、宏观、微观因素的共同作用下,未来工业能耗和污染物排放具有以下显著的不确定性。

第一,行业宏观经济活动水平预测中存在的行业规模、行业结构变动等经济环境不确定性;第二,污染减排政策规制导向、力度、措施变动带来的政策环境不确定性;第三,行业技术体系模拟所带来的技术参数不确定性。三个层面的不确定性导致行业未来会有很多种发展情景,从而影响行业最终的能耗和污染物排放是否能够达到总量控制目标。因此,行业能耗和污染物排放对产业部门宏观产品产量、结构变化、生产过程节能减排和末端治理技术进步等不同的节能减排路径及各种路径下的技术参数都具有很高的敏感性。如何制定行业发展目标,使之既可以保证节能减排目标的合理性和科学性,又可以避免由于目标制定过于严格使得行业和企业无法达标的风险加剧;同时,在制定行业环境目标后,哪些关键

参数需要进行优先控制、如何进行控制可以使得行业环境目标能够以较低成本实现、如何采取预防措施减少不达标的管理风险，也都是行业需要重点研究的问题。

1.4 本书主要内容

针对以上问题，本书围绕工业节能和污染物减排管理需求，以工业生产全流程为系统，以“原料-产品-工艺-技术”的工业技术模拟体系为基础，以区域行业能耗和污染物总量控制目标为约束条件，开展基于行业 BAT 的节能减排潜力分析模型构建研究，形成重点行业节能减排潜力分析模型，探索节能和污染防治技术在总量控制和污染物排放限值等环境管理中的应用，研究设计重点行业基于最佳可行技术的对标管理，进行节能减排协同效益评估，采用古典及算法方法进行行业节能减排多目标背景下的技术优选，同时基于大样本采样识别不确定性因素，规避情景分析的风险，并选择钢铁、造纸两个行业开展试点应用研究。同时应用基于行业最佳可行技术的“虚拟生态建厂及绿色工厂综合评估”系统，在企业层面对已建典型企业或拟新建企业进行节能和污染防治技术评估，提出能耗和污染物控制的技术方案。

本书以重点行业技术系统模拟为切入点，从生产工艺到末端处理、资源回收利用的全流程出发，在搭建行业污染防治技术体系的基础上，开发“工业节能与污染物减排潜力分析及技术评估综合模型”(IEPRPT)，围绕行业能耗和污染物总量控制、行业产排污标准、多约束条件下的环境目标转移、节能和污染物减排的不确定性等节能减排管控政策的问题，开发集技术变化模拟、协同效益评估与多目标条件约束下技术优选、不确定性分析于一体的工业部门节能减排技术选择及环境管理的系统分析方法，并在此基础上提出技术和经济上均可行的行业中长期水污染总量控制目标；提出综合考虑节能、减排、成本等多约束条件下的行业节能减排最佳可行技术清单；识别影响能耗和污染物总量控制的主要不确定因素，提出实现行业节能和污染物减排目标、促进技术进步的环境技术管理手段（如排放标准制定、清洁技术清单等技术政策），为行业节能和污染减排总量控制目标、环境技术管理及协同控制的政策制定提供建议。

本书还设计了在企业层面进行诊断、优化、对标管理的工具。通过“虚拟生态建厂及绿色工厂综合评估”系统，为企业提供污染减排对标活动服务，搭建一个公共的工作平台，可以有效地进行管理部门、行业协会与企业之间的信息服务和沟通，为政府宏观决策、企业对标活动提供技术支撑，能有效地降低管理成本、提高环境管理的工作效率。

本书接下来内容的安排如下：第 2 章将在对现有的主要研究方法进行总结评述的基础上，详细阐述如何构建基于自底向上技术系统模拟的潜力分析方法模型，

重点介绍模型的总体框架、技术系统模拟方法、环境-经济影响核算、多目标协同控制方法与不确定性分析方法；第3章、第4章分别以钢铁和造纸两个行业为案例，对我国能耗高、污染物排放重的典型行业，应用著者自主开发的模型方法开展案例分析，结合行业总量控制目标及对标管理手段等政策管理手段，分析了两个行业节能减排潜力及实现的技术路径；第5章展示了基于技术系统模拟模型开发的针对企业层面的分析优化系统软件，包括系统的整体架构、优化分析等主要模块的功能及实现；第6章对本书研究成果进行总结并对未来研究工作做了展望。