

信息与通信技术 促进中国经济转型和 低碳发展研究

China's Economic Transformation
and Low Carbon Development by Information
and Communication Technology

韩文科 周伏秋 徐晓兰 苗 韧 著



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京·BEIJING

内 容 简 介

本书从宏观经济、产业经济维度,分析了ICT促进中国经济转型和低碳发展的基本途径;定量开展“十一五”实证研究和“十二五”潜力分析,在节能减碳的技术经济维度,建立了可量化评价ICT节能减碳效果和潜力的方法学;通过云计算、电能管理信息平台、信息化配煤三个案例研究,分析测算了典型ICT的节能减碳潜力。最后,提出了进一步促进ICT支撑经济转型与低碳发展的政策建议。

本书体系完整、内容丰富,适合宏观经济、产业经济和能源环境相关领域的研究人员、管理者,以及感兴趣的人参考。有助于广大读者理解信息与通信技术在经济发展转型和低碳发展中的作用及自身发展脉络。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

信息与通信技术促进中国经济转型和低碳发展研究 / 韩文科等著. —北京: 电子工业出版社, 2013.10

ISBN 978-7-121-21698-5

I. ①信… II. ①韩… III. ①信息技术—作用—中国经济—经济发展—研究 ②通信技术—作用—中国经济—经济发展—研究 IV. ①F124

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第246210号

责任编辑: 曲 昕

印 刷:

装 订:

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编 100036

开 本: 720×1000 1/16 印张: 14.75 字数: 220千字

印 次: 2013年10月第1次印刷

定 价: 68.00元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系及邮购电话:(010)88254888。

质量投诉请发邮件至 zlt@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010)88258888。

指导委员会

陈东琪	国家发展和改革委员会宏观经济研究院
李 力	工业和信息化部科技司
周长益	工业和信息化部节能司
蒋兆理	国家发展和改革委员会气候司
夏 鑫	国家发展和改革委员会经济运行调节局
刘文强	工业和信息化部节能司
牛志升	清华大学信息技术学院
胡 敏	美国能源基金会
张华燕	英特尔（中国）有限公司
易 明	英特尔（中国）有限公司
陶宏芝	联想集团
陈 敏	诺基亚（中国）投资有限公司
丁 蔚	甲骨文（中国）软件系统有限公司

研究委员会

主 任

韩文科 国家发展和改革委员会能源研究所

副主任

周伏秋 国家发展和改革委员会能源研究所

徐晓兰 中国电子学会

苗 韧 国家发展和改革委员会能源研究所

成 员

冯升波 刘明亮 靳 敏 安 琪 庄 幸 宗 芳 曹 国

王 娟 郭倩怡 陈文光 何光宇 吴 頔 仓馥芝

序

改革开放以来，我国经济社会建设取得了一系列重要成就，但发展面临的不平衡、不协调、不可持续问题依然突出，科技创新能力不强，产业结构不合理，资源环境约束加剧，转变经济发展方式任务十分艰巨。党的十八大报告提出了促进工业化、信息化、城镇化和农业现代化“四化并举，同步发展”的战略思路，这对我国加快经济发展方式转变，破解资源环境约束将具有重要意义。

在“新四化”中，信息化具有整合升级、画龙点睛的关键作用。通过信息技术在工业化、城镇化和农业现代化过程中的融合应用，可以提高生产服务效率，创新组织运营模式，促进资源集约优化配置，助推中国走上资源节约、环境友好的可持续发展道路。在当前我国推进创新发展战略之时，信息与通信技术作为七大战略性新兴产业发展的基础技术，与节能环保、新能源技术一道，将为中国的低碳绿色发展做出重要贡献。对此，国际社会也具有普遍共识，日本 2008 年颁布了绿色 IT 计划，韩国 2009 年推出绿色 IT 国家战略，印度 2010 年提出了数字能源解决方案应用计划，美国 Intel 公司等 IT 企业和相关机构建立了“数字能源”联盟等。我国也应该在全球绿色 IT 浪潮中迎头赶上，勇当先锋。

当前，全球信息化发展步入全面普及、融合创新、加速转型的新阶段，在世界经济持续调整和快速变革的关键时期，信息化在优化资源配置、调整产业结构、创新发展模式、重塑竞争格局的引领支撑作用和潜力日益凸显。工业和信息化部成立以来，一直把推进信息化和工业化深度融合，作为一项战略性、全局性、开创性的工作，不断创新信息化推进机制，创新工作手段，加强协调合作，不断优化“两化”融合的政策和引导体系，努力开创“两



化”深度融合的新局面。为进一步发挥信息与通信技术促进中国经济转型和低碳发展的作用，坚持把推进“两化”深度融合作为重要支撑点，把信息化作为破解发展难题、转变发展方式、抢占竞争制高点的重要举措，大力推进以下几方面的工作。

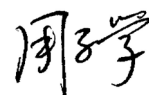
一是增强电子信息产业核心竞争力和应用支撑水平。信息产业的技术水平和创新能力已经成为影响我国“两化”融合进程、深度和广度的关键因素。未来，要针对量大面广、带动性强的领域加大研发投入，突破关键技术，提升产业的发展水平和竞争力。要在机床电子、汽车电子、医疗电子、电力电子、航空电子、船舶电子等重点应用领域，不断提升信息技术的研发和应用水平。同时，继续实施高效节能的电子信息技术推广政策，完善电子信息产品能耗标准，加强能效标志认证，实施节能产品惠民工程，利用政策支持加大节能产品推广力度。

二是应用信息技术改造和提升传统产业。以研发设计、流程控制、企业管理、市场营销、人力资源开发等关键环节为突破口，支持信息技术企业与传统工业企业开展多层次的合作。提高工业自动化、智能化和管理现代化水平，提升设备的利用效率，促进资源节约型生产方式的形成。大力实施“数字能源”计划，组织开发高耗能行业“数字能源解决方案”，推进钢铁、水泥等重点高耗能行业的节能减排和能耗管理工作。

三是推动信息技术在农业和社会领域中的广泛应用。加大信息技术在农业生产、经营、管理和服务各环节的应用，促进农业集成化信息管理，提高精准农业技术水平，提高农业生产效率。结合国家改善民生相关工程的实施，加强信息技术在交通运输、医疗卫生、文化教育、就业和社会保障等领域的应用，带动电子信息产品及相关服务发展。

四是提升信息资源的开发利用水平。进入信息社会，信息成为经济社会最为宝贵的资源之一。要发展具有自主知识产权的数字内容加工处理技术并推动其产业化，大力发展生产经营领域的数字内容服务，推动信息资源深度开发和社会化服务，积极发展数据编辑、整理、分析、挖掘等数据加工处理服务。

在此背景下，我们欣喜地看到，中国电子学会会同国家发展和改革委员会能源研究所联合开展了《信息与通信技术促进中国经济转型和低碳发展研究》的撰写和出版工作，深入分析了 ICT 技术促进经济低碳绿色发展的机制和途径，回顾并展望了“十一五”、“十二五”的相关成就与潜力；提出了在全社会、行业、企业不同维度，测算 ICT 节能减碳潜力的方法学；并在“两化融合”背景下，分析了 ICT 绿色应用的成功案例。这对我国科学制定绿色 ICT 发展战略具有较好的支撑作用。



工业和信息化部总经济师

2013 年 10 月

前 言

改革开放以来的 30 多年里，中国取得了举世瞩目的经济成就，但也付出了巨大的资源环境代价。当前我国 GDP 位居世界第二，同时也是世界第一大能源消费和温室气体排放国，并导致了频繁的大规模雾霾和水污染。可以说，加快推进经济发展方式转变，实现能源生产和消费的低碳革命，已成为中国可持续发展的关键。为此，中国政府已经积极开展战略部署，提出了“十二五”节能 16% 和二氧化碳减排 17% 等约束指标；加快实施产业结构调整和转型升级，并提出依靠科技创新拉动经济增长的战略要求。

以信息和通信技术（ICT）为核心的技术革命，已显著改变了人们的生活和生产模式，并可能对未来经济转型和低碳发展起到革命性的促进作用。一方面，ICT 是七大战略性新兴产业的基础，自身也是低消耗，高增长的产业，通过信息消费可以显著拉动社会需求，对促进产业结构调整和升级意义重大。另一方面，ICT 可以对传统产业实施技术改进，优化配置要素资源，并引领生产工艺和服务模式的创新，智慧建筑、智慧交通、智慧能源等新概念，在支撑低碳发展方面具有巨大潜力。然而，目前全球对 ICT 促进绿色发展的具体机制和潜力研究不足，特别缺乏量化分析。ICT 能在多大程度上促进经济的转型？对于节能减排的贡献有多大？如何量化评价具体 ICT 技术的节能减碳效果？具有显著节能效果和推广前景的 ICT 技术有哪些？

鉴于此，由中国电子学会节能减排工作推进委员会委托国家发展和改革委员会能源研究所，组织国内外重点企业及研究机构开展了第二期“信



息与通信技术促进中国经济转型与低碳发展”的专题研究，希望实现以下目标：

- 缕析 ICT 促进我国经济转型和低碳发展的基本途径，定量开展“十一五”实证研究和“十二五”潜力分析。
- 建立可以量化评价 ICT 技术节能减碳效果的方法学，成为 ICT 与传统节能减碳技术的比较分析平台。
- 在不同应用领域开展关键 ICT 技术的节能减碳潜力分析。
- 提出进一步促进 ICT 支撑经济转型与低碳发展的政策建议。

全书包括内容摘要和研究报告两大部分。内容摘要由周伏秋执笔。第 1、3、4、5 章由苗韧执笔；第 2 章由周伏秋、庄幸、安琪执笔；第 6 章由冯升波执笔；第 7 章由徐晓兰执笔；第 8 章由韩文科执笔。

本研究课题也得到了能源基金会、英特尔中国有限公司、诺基亚中国有限公司、联想集团公司的共同资助。课题研究在工作路线、研究方法、工作重点等方面得到了课题指导委员会众多专家的悉心指导。国家发展和改革委员会环资司、国家发展和改革委员会应对气候变化司、国家发展和改革委员会高技术产业司、工信部科技司、工信部节能司等部门给予了高度关注，提出了宝贵的意见和建议。中国电子技术标准化研究院、中国电子信息产业发展研究院工业节能与环保研究所、江苏联宏自动化系统工程有 限 公 司、苏 州 太 谷 电 力 技 术 有 限 公 司、上 海 外 高 桥 第 二 发 电 有 限 责 任 公 司、百 度 公 司、天 地 互 联 公 司、赛 迪 顾 问 有 限 公 司、出 光 兴 产 株 式 会 社 等 单 位 对 课 题 研 究 提 供 了 支 持、帮 助 和 便 利。在 此 对 以 上 部 门、单 位、专 家 和 领 导 诚 表 谢 意。

信息与通信技术促进中国经济转型与低碳发展研究课题组

2013 年 10 月

目 录

内容摘要 /1

第 1 章 绪论 /17

- 1.1 ICT 概念和范畴 /18
- 1.2 全球 ICT 及产业发展趋势 /19
 - 1.2.1 全球 ICT 技术发展历程 /19
 - 1.2.2 全球 ICT 产业发展现状概述 /21
 - 1.2.3 未来全球 ICT 产业发展趋势 /23
- 1.3 课题研究背景和目标 /26
- 1.4 课题研究内容和研究方法 /27
 - 1.4.1 研究内容 /27
 - 1.4.2 研究方法 /28

第 2 章 ICT 促进中国经济转型和低碳发展的途径和作用分析 /31

- 2.1 我国 ICT 技术及产业发展现状 /32
 - 2.1.1 我国 ICT 技术发展现状和总体水平 /32
 - 2.1.2 我国 ICT 产业发展现状 /33
- 2.2 ICT 技术促进我国经济转型和低碳发展的基本途径 /34
- 2.3 ICT 技术促进“十一五”经济转型和低碳发展的实证分析 /37
 - 2.3.1 数据基础 /38



- 2.3.2 “十一五” ICT 产业发展实证分析结果 /39
- 2.4 ICT 技术促进“十二五”经济转型和低碳发展的潜力分析 /45
 - 2.4.1 我国 ICT 技术及产业发展前景 /45
 - 2.4.2 分析结果 /48
- 2.5 本章小节 /53

第 3 章 测算 ICT 技术节能减碳潜力的方法学 /55

- 3.1 已有成果回顾 /56
- 3.2 方法学的构建目标和原则 /58
 - 3.2.1 构建目标 /58
 - 3.2.2 构建原则 /59
 - 3.2.3 难点和关键问题 /60
- 3.3 核算流程 /62
 - 3.3.1 明确研究目标和研究范围 /63
 - 3.3.2 技术和应用背景分析 /64
 - 3.3.3 节能减碳机制识别 /64
 - 3.3.4 确定核算边界 /65
 - 3.3.5 节能减碳效果核算 /65
 - 3.3.6 未来节能减碳潜力评估 /66
 - 3.3.7 贡献划分 /66
- 3.4 节能减碳机制识别方法 /66
 - 3.4.1 情景设定和比较 /67
 - 3.4.2 因素归类 /69
 - 3.4.3 机制识别与筛选 /70
- 3.5 确定核算边界 /73
 - 3.5.1 根据生产 / 服务需求的实现流程划定 /73
 - 3.5.2 根据“产品”的生命周期划定 /74
- 3.6 节能减碳效果核算 /75

- 3.6.1 核算框架 /75
- 3.6.2 数据获取 /76
- 3.7 未来潜力评估——情景设置 /78
 - 3.7.1 参数的未来情景设定 /78
 - 3.7.2 ICT 发展规模和应用模式 /80
 - 3.7.3 经济 / 能源背景参数 /81
- 3.8 ICT 与其他技术的节能减碳贡献划分 /81
- 3.9 本章小节 /83

第 4 章 云计算节能减碳潜力研究 /85

- 4.1 云计算的基本概念和服务模式 /86
 - 4.1.1 云计算技术的基本原理 /86
 - 4.1.2 云计算的分类 /87
- 4.2 云计算的现状与发展趋势 /90
 - 4.2.1 全球云计算的发展 /90
 - 4.2.2 中国云计算的发展 /94
 - 4.2.3 中国未来云计算的发展趋势 /97
- 4.3 云计算节能减碳机制识别和边界划定 /99
 - 4.3.1 个人云的节能减碳机制识别和边界划定 /99
 - 4.3.2 企业云的节能减碳机制识别和边界设定 /104
- 4.4 测算流程与方法 /109
 - 4.4.1 个人云节能减碳核算方法 /109
 - 4.4.2 企业云节能减碳核算方法 /112
- 4.5 云计算的设备需求及能耗分析 /115
 - 4.5.1 云计算设备结构 /115
 - 4.5.2 不同服务类型下的设备能耗分析 /117
 - 4.5.3 用户需求对云计算能耗的影响 /122
 - 4.5.4 IT 设备发展趋势 /127
- 4.6 个人云节能减碳潜力分析 /129



- 4.6.1 用户规模 /131
- 4.6.2 全社会存储 / 计算需求和设备保有量的确定 /132
- 4.6.3 设备能耗 /135
- 4.6.4 数据中心建筑的建造能耗 /137
- 4.6.5 个人云节能减碳效果 /137
- 4.6.6 不确定分析 /139
- 4.7 企业云节能减碳潜力分析 /142
 - 4.7.1 企业数据中心的现状和计算存储需求 /143
 - 4.7.2 企业数据中心规模和设备需求 /144
 - 4.7.3 网络通信需求和能耗 /147
 - 4.7.4 企业数据中心能耗 /148
 - 4.7.5 企业云节能减碳效果 /151
 - 4.7.6 不确定分析 /152
- 4.8 本章小结 /156

第5章 电能管理信息系统节能减碳潜力研究 /159

- 5.1 基本概念和服务模式 /160
 - 5.1.1 终端用电环节 /161
 - 5.1.2 输配电环节 /163
 - 5.1.3 发电环节 /165
- 5.2 现状与发展趋势 /166
 - 5.2.1 全球电能管理信息系统的发展 /166
 - 5.2.2 中国电能管理信息系统的发展 /168
- 5.3 节能减碳机制识别和边界划定 /172
 - 5.3.1 影响分析 /172
 - 5.3.2 机制识别与筛选 /173
 - 5.3.3 边界划定 /175
 - 5.3.4 情景参数分类 /176
 - 5.3.5 推广范围设定 /177

5.4	节能减碳测算 /177
5.4.1	测算流程与方法 /177
5.4.2	模型参数 /180
5.4.3	测算结果及不确定分析 /184
5.5	本章小结 /186
第 6 章	信息化配煤技术节能减碳潜力研究 /187
6.1	基本概念和服务模式 /188
6.2	国内外配煤技术研究应用现状 /189
6.2.1	国外信息化配煤技术发展概况 /189
6.2.2	我国信息化配煤技术现状和发展趋势 /192
6.3	节能减碳机制识别和边界划定 /195
6.3.1	影响分析 /196
6.3.2	机制识别与筛选 /196
6.3.3	边界划定 /197
6.3.4	情景参数分类 /197
6.3.5	推广范围设定 /198
6.4	节能减碳测算 /198
6.4.1	燃烧试验项目和方法 //199
6.4.2	燃烧试验和配煤技术评价系统预测结果对比 /202
6.4.3	基于燃烧试验的燃煤消耗量及年减碳量计算 /204
6.4.4	测算结果及不确定性分析 /205
6.5	本章小结 /206
第 7 章	研究结论 /207
第 8 章	政策建议 /213
	参考文献 /218

内容摘要



- 信息与通信技术及产业界定
- 国内外 ICT 技术及产业发展现状和趋势
- ICT 技术促进我国经济转型和低碳发展的途径和作用分析
- ICT 技术节能减碳潜力测算方法开发
- 典型 ICT 技术节能减碳潜力测算
- 政策建议



“十二五”是我国工业化、城镇化、信息化加快推进的时期，同时也是经济社会发展面临的资源环境约束进一步趋紧趋硬的时期。如何依托技术进步，特别是高新技术的发展和应用来破解资源环境约束矛盾，实现经济发展方式的低碳、绿色转型，加快生态文明建设，是当前宏观经济和节能减排领域需要研究的重大问题。信息与通信技术（ICT，Information and Communication Technology）作为高新技术，其日新月异的发展和推广应用，正在革命性地改变我国经济和社会活动方式，有望在促进我国经济转型和低碳发展、促推生态文明建设中发挥越来越重要和突出的作用。本报告概述了国际、国内 ICT 技术现状与发展趋势；缕析了 ICT 技术促进我国经济转型和低碳发展的基本途径；对 ICT 技术促进“十一五”经济转型和低碳发展的作用进行了实证分析；定量和定性分析了 ICT 技术促进“十二五”经济转型和低碳发展的宏观潜力；研究提出了较为规范和实用的 ICT 技术节能减碳潜力测算方法；采用这一测算方法，分别定量分析和测算了云计算技术、电能管理信息系统技术、信息化配煤技术三项典型 ICT 技术推广应用的节能减碳潜力；基于我国实际，提出了有效发挥 ICT 技术促进我国经济转型和低碳发展作用的若干针对性政策建议。

1. 信息与通信技术及产业界定

信息与通信技术是指信息技术（IT）与通信技术（CT）逐渐融合，协同发展形成的高新技术领域。IT 是用于管理和处理信息所采用的各种技术的总称，包括三个层面：一是硬件，主要指信息存储、处理和传输的主机和网络通信设备；二是指软件，包括可用来搜集、存储、检索、分析、应用、评估信息的各种软件；三是指应用，指搜集、存储、检索、分析、应用、评估使用各种信息。CT 则是一切通信技术的统称，包括有线通信技术、无线通信技术、光纤通信技术等。

信息与通信技术（简称 ICT）产业是指依托 ICT 技术的发展和應用而形成的高新技术产业，涉及 ICT 技术装备、产品和服务等。鉴于 ICT 技术发展日新月异，ICT 产业的范畴也处于变动中，目前学术界和产业界对此尚没有明确的界定。本书将 ICT 产业界定为传统意义上的信息技术产业，包括

电子信息设备制造、电子信息传输服务、计算机服务和软件业等。ICT 产业具有高附加值、低能耗、低排放的特点，其单位增加值能耗仅约为单位 GDP 能耗的 1/5、单位工业增加值能耗的 1/9；加快发展 ICT 产业是促进经济转型和低碳发展、促推生态文明建设的内在要求和战略选择。

2. 国内外 ICT 技术及产业发展现状和趋势

1) 全球 ICT 技术及产业发展现状和趋势

自 20 世纪 70 年代以来，ICT 技术的发展迅猛，掀起了一轮轮“技术风暴”，通信、电子、计算机、半导体、互联网、多媒体等技术领域陆续取得重大突破。2002 年，第三代移动通信技术正式明确，“ICT”概念被正式提出，并由此开启了人类的“智能时代”。当前和今后 ICT 技术的发展及应用主要有两个趋势：一是更加强调体验感、日趋智能化，依托于下一代移动接入、下一代互联网和全光网的宽带通信“最后一公里”问题将被解决，基于云计算的实现可编程、可扩展、应用敏捷、自动化、开放的智能网络系统将被建成；二是 ICT 技术向传统行业、建筑、交通领域加速渗透。

ICT 技术的迅猛发展，带动着全球 ICT 产业的蓬勃发展。21 世纪头十年是全球 ICT 产业发展最为迅速的时期。2000 年，全球 ICT 市场规模超过 2 万亿美元，占全球 GDP 的比重为 6.4%；2010 年，全球 ICT 市场规模超过 4 万亿美元，占全球 GDP 的比重超过 9%；2005—2010 年，全球 ICT 产业复合增长率为 7.2%，高于同期 4.3% 的全球 GDP 年均增长率。2011 年世界 500 强企业中，ICT 业务领域的企业占到了 60 家。在 ICT 产业发展水平上，美、德、日等发达国家居于领先地位，ICT 服务业发展尤为突出。ICT 产业已成为全球最具活力、发展最为稳健的行业之一。

未来全球 ICT 产业发展大体呈现为以下趋势：一是美、德、日、英、法、韩等发达国家，以及中国等发展中国家将 ICT 产业作为战略性新兴产业纳入国家发展战略，纷纷制定雄心勃勃的 ICT 产业发展计划，如日本公布了“i-Japan 战略 2015”计划，德国提出了“数字德国 2015”战略，英国则公布了“数字大不列颠”计划，预期全球 ICT 产业仍将保持较快增长；二是发达国家通过加强研发和制定技术、产品标准，抢占 ICT 产业发展的



制高点，国际竞争将趋于激烈；三是 ICT 产业与其他产业的融合呈加速趋势，推动发达国家从工业化社会向信息化社会加速迈进，在促推发展中国家产业结构升级中将发挥突出重要的作用。

2) 我国 ICT 技术及产业发展概况

进入 21 世纪以来，我国在移动通信、操作系统、无线互联网、下一代网络及高清晰数字电视等领域的技术发展取得了显著进展，千万亿次高性能计算机技术、数字电视地面传输技术、数字音视频编解码技术等达到国际先进水平，时分同步码分多址接入（TD-SCDMA）技术形成了完整体系。但客观地看，目前我国 ICT 技术总体实力在世界各国中只是居于中游水平，与 ICT 技术发达国家的差距主要体现为：

（1）核心芯片、高端元器件等核心技术和重大基础性技术缺乏，集成电路进口已经连续多年成为第一大进口产品，液晶面板、电子材料、关键传感器件等也高度依赖进口；

（2）全球技术标准参与度低；

（3）ICT 基础设施建设仍不完备，互联网、特别是无线互联网虽已获得初步普及，但覆盖率仍然不高；

（4）ICT 知识产权保护方面仍存在不足。

进入新世纪以来，我国 ICT 产业步入了发展的黄金期，成长为国民经济战略性、基础性、先导性支柱产业。据统计，2000—2010 年，我国 ICT 产业增加值年均增长率高达 15.5%；2010 年，ICT 产业规模达到 1.94 万亿元（其中，ICT 制造业、ICT 服务业增加值分别为 1.28 万亿元、0.66 万亿元），彩电、微型计算机、手机等主要整机产品产量已分别达 1.2 亿、2.5 亿台和 10 亿部，均占全球总产量的 40% 以上，ICT 制造业从业人员达 880 万人，占全国工业从业人员的比重为 10%。国际贸易方面，2001 至 2010 年间，我国 ICT 产品出口年增长近 1/4，较出口规模总增速提高近 6 个百分点，成为出口增长的重要支撑点。

尽管我国已经是 ICT 产业第一大国，但还不是 ICT 产业强国。产业发展的深层次问题和结构性矛盾比较突出，主要表现为：关键核心技术受制

于人，产业总体上仍处价值链的中低端，代工制造和加工贸易所占比重较高；研发投入强度与发达国家相比尚有差距；资源配置较为分散；产业政策环境亟待完善；内需带动机制尚未健全等。这些问题和矛盾制约了我国 ICT 产业由大变强，需要在未来着力加以解决。

3. ICT 技术促进我国经济转型和低碳发展的途径和作用分析

1) ICT 技术促进我国经济转型和低碳发展的基本途径

ICT 技术促进我国经济转型和低碳发展的基本途径和可能作用，大体可以归纳为以下几个方面。

(1) ICT 技术日新月异的发展及其产业化应用，可起到有效支撑 ICT 产业做大做强、促进产业结构低碳转型的作用。ICT 产业包括两个子产业：ICT 制造业和 ICT 服务业，两者均为高附加值、低能耗、低排放产业，分别属于国民经济的第二产业、第三产业范畴。ICT 产业做大做强，意味着 ICT 制造业增加值和 ICT 服务业增加值占 GDP 比重的提升，将收到共同正向推动三次产业结构低碳转型的功效。

(2) 促进 ICT 产业自身节能和低碳发展。尽管 ICT 产业属于高附加值、低能耗、低排放产业，但仍有进一步降低能耗和碳排放的潜力空间。随着 ICT 新技术的不断涌现及其在 ICT 产业部门的应用，ICT 制造业、ICT 服务业能源消费强度、碳排放强度将进一步趋于下降，ICT 产业自身将更加绿色、低碳。

(3) 促推传统工业转型升级。传统工业转型升级是我国工业转型升级的重点和关键。随着信息化与工业化的加快融合，ICT 技术将起到有效促推钢铁、石化、电力、建材等传统工业优化技术结构、组织结构，提高资源配置效率，提升经营管理水平等的多种作用，促进传统工业加快实现发展方式向集约高效、绿色低碳型转变。

(4) 促推战略性新兴产业加快发展，促进经济结构低碳转型。节能环保产业、高端装备制造业、新能源产业等战略性新兴产业一般具有高附加值、低能耗、低排放的特征。ICT 技术在能耗在线监测、能源管理优化、环境监测、风电运行控制、新能源大规模并网等方面的推广应用，将促推战



战略性新兴产业加快发展。战略性新兴产业增加值占 GDP 比重将加快提升，从而起到促进经济结构低碳转型的作用。

(5) 支撑现代服务业加速成长。以 ICT 技术为核心的现代服务业共性关键和系统集成技术的发展及应用，将催生越来越多的现代服务企业，激发服务模式和服务业态的不断创新，有效支撑电子商务、现代物流、数字医疗、数字内容、数字社区、数字教育、数字旅游、电子金融等现代服务业的加速成长，从而促进经济结构的低碳转型。

(6) 推动居民生活模式绿色低碳化。ICT 技术的应用，可以从多方面引导和促进居民生活的节能和低碳化。信息高效传播使生活更便捷，提高生活效率，降低不必要的能耗。例如广泛使用的车载导航系统、12580 信息查询等，不仅使生活更便捷，同时可降低不必要的能耗、减少温室气体和污染物排放。

2) ICT 技术促进“十一五”经济转型和低碳发展作用的实证分析

对 ICT 技术促进“十一五”经济转型和低碳发展作用的实证分析结果显示。

(1) ICT 技术支撑 ICT 产业做大做强、促进产业结构低碳转型的作用没有得到发挥。事实上，受“十一五”中后期全球金融危机等因素的影响，ICT 产业增加值占全国 GDP 比重不升反降，从 2005 年的 6.28% 下降到了 6.17%，其促进节能低碳发展的实际效应为负，结构节能量为 -350 万吨标准煤。另一方面，单位增加值能耗较 ICT 制造业低的 ICT 服务业占 ICT 产业比重从 2005 年的 42% 下降到 2010 年的 34%，这意味着 ICT 产业内部结构朝着不利于产业结构节能低碳转型的方向变动。

(2) ICT 技术促进 ICT 产业自身节能和低碳发展效果比较明显。“十一五”期间，ICT 产业单位增加值能耗从 2005 年的 213 千克标准煤 / 万元降至 2010 年的 191 千克标准煤 / 万元，降幅达 10%；其中，ICT 服务业单耗从 201 千克标准煤 / 万元降低到 178 千克标准煤 / 万元，ICT 制造业单耗则从 221 千克标准煤 / 万元降低到 198 千克标准煤 / 万元；ICT 产业增加值单耗下降产生的节能量为 414.8 万吨标准煤。相应地，ICT 产业单位增加值碳排放从 2005 年的 0.518 吨 CO₂ / 万元降至 2010 年的 0.453 吨 CO₂ / 万元，

碳排放强度累计下降了 12%。

(3) ICT 技术促推传统工业转型升级取得成效。“十一五”期间，钢铁、化工、汽车、船舶、航空等主要行业大中型企业数字化设计工具普及率超过 60%，关键工序数（自）控化率超过 50%，制造技术和信息技术融合步伐进一步加快。部署实施极大规模集成电路制造、新一代宽带无线通信等一大批重大科技专项，支持了汽车电子、电力电子、数控机床、大型管理软件等技术的研发和产业化。2010 年，我国大型煤炭企业网络覆盖程度在 90% 以上，部分企业初步实现三网融合，数字矿山成为煤炭行业信息化的重点领域。石油化工和有色金属行业 ERP、MES 系统普及率有了明显提高。

(4) 对战略性新兴产业和现代服务业的助推效果初步显现。在助推战略性新兴产业发展方面，ICT 技术已确立了基础性地位。“十一五”期间，依托在通信传输、电子集成、大数据运算、信息传感、精密控制等领域的技术优势，ICT 技术在装备制造数字化和智能化、智能电网、能源信息化管理、新能源汽车电池等方面获得广泛应用。在支撑现代服务业成长方面，“十一五”期间 ICT 技术已经在金融、医疗、教育、餐饮、物流、交通、政务等多个领域获得了广泛应用。“两地三中心”金融信息系统、交通运输调度系统初步建成；电子商务蓬勃发展，2010 年交易额已超过 4.5 万亿元；企业电子商务已成为企业购销的重要渠道，以及整合客户、供应商资源的重要手段。

(5) ICT 对居民生活的绿色低碳引导效果初步体现。“十一五”期间，居民生活基本实现了信息化覆盖。计算机、互联网和手机等 ICT 设备已获得初步普及，极大地丰富和便捷了人民生活，也改变了传统的居民生活方式。网络信息检索、数据库存储、语音视频通信、网络购物等 ICT 应用，改变了能源消费方式，推动居民生活朝着更加高效、绿色、低碳方向发展。

3) ICT 技术促进“十二五”经济转型和低碳发展的潜力分析

课题组依据国家“十二五”相关规划，设定和分析了“十二五”经济社会和 ICT 技术 / 产业发展情景和趋势，对 ICT 技术促进“十二五”经济转型和低碳发展的潜力进行了测算。



(1) ICT 技术有望在促进产业结构低碳转型中发挥重大作用。“十二五”期间，如果《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》、《电子信息制造业“十二五”发展规划》等 ICT 技术和产业发展相关规划得以顺利实施、ICT 技术和产业发展目标能够顺利实现，ICT 产业增加值占 GDP 比重将从 2010 年的 6.17% 增至 2015 年的 8.6%，ICT 服务业占 ICT 产业比重将从 2010 年的 34% 增至 2015 年的 42%，两者共同作用的结果是将产生重大的产业结构低碳转型效应，由此带来的结构节能量估计为 9398 万吨标准煤，并将产生相应的重大减碳效果。

(2) 技术与产品结构升级将促使 ICT 产业能源强度和碳排放强度进一步下降，推动 ICT 产业自身节能和低碳发展。考虑到产业转移、结构升级、节能环保政策趋严等多重因素，预计 ICT 产业单位增加值能耗将从 2010 年的 191 千克标准煤 / 万元下降到 2015 年的 172 千克标准煤 / 万元，降幅达 9.85%；ICT 产业单位增加值碳排放将从 2010 年的 0.453 吨 CO₂ / 万元降至 2015 年的 0.397 吨 CO₂ / 万元，累计下降 12.4%。

“十二五”期间，预期 ICT 产业增加值比重提升、单位增加值能耗下降将共同直接贡献约 1 亿吨标准煤的节能量，对实现全国节能目标的潜在贡献率在 14% 左右；ICT 产业每提高一个百分点的节能潜力高达 3802 万吨标准煤。

(3) ICT 技术对传统工业转型升级的多重推进作用将越发显著。

“十二五”期间，ICT 技术将与工业系统深度融合，将推进传统制造业向数字化、网络化、智能化、服务化转变。重点方向为实现 ICT 从单项业务应用向多业务综合集成转变，从单一企业应用向产业链协同应用转变，从局部流程优化向全业务流程再造转变，从传统的生产方式向柔性智能的生产方式转变，从提供单一产品向提供一体化的产品服务组合转变。“十二五”末期，重点骨干企业信息技术集成应用将力争达到国际先进水平，主要行业大中型企业数字化设计工具普及率达到 85%，主要行业关键工艺流程数控化率达到 70%，主要行业大中型企业 ERP 普及率达到 80%。

(4) ICT 技术对战略性新兴产业发展的支撑作用将更加突出。

ICT 技术对战略性新兴产业支撑将体现在两个方面：一是新一代信息技术产业将依托于云计算、物联网等核心技术，获得快速发展。“十二五”期间，我国大型企业云计算使用率将从 43% 提升至近 90%。二是 ICT 技术凭借在通用芯片和核心器件、集成电路、新型平板显示器件、绿色电子材料、关键传感器件等领域的基础性优势，将对其他战略性新兴产业相关技术提供巨大支撑。例如“十二五”期间，物联网技术在环境保护、节能与新能源领域的示范应用将逐步实施。

(5) ICT 技术将为现代服务业的进一步加速成长提供强力支撑。

“十二五”期间，作为现代服务业重要组成部分的 ICT 服务业将获得长足发展，信息系统集成服务、互联网增值服务、信息安全服务、数字内容服务、地理信息服务业务将迅速增长。随着信息服务和软件开发应用水平的不断提高，ICT 技术将在金融、商务商贸、物流、交通、医疗、科技教育等领域推广使用，全面推进服务业向信息化、智能化、数字化方向发展。特别是物联网技术在安防、能源、交通、物流、医疗、环保等领域的应用，可以实现智能运营管理、智慧用能、高效物流、个人健康监护、远程医疗、环境监测、市政设施监控、楼宇节能、食品药品溯源等多个方面的功能。

(6) ICT 技术引导居民生活绿色低碳发展的效果将日益凸显。

“十二五”期间，ICT 技术将进一步渗透至居民生活的各个方面：在民生领域，通过 ICT 技术在家居、医疗、环保和安防等领域的应用，信息化、智能化水平将大幅提升。特别是物联网的逐渐成熟与推广，包括“社区远程医疗”、“市政基础设施管理”、“智能家居应用”等应用，这将显著改变居民生活方式，在满足居民生活需求、提高生活水平的基础上，提高能源利用效率。在社会服务领域，基于 ICT 技术与各类服务业的深度融合，智能交通、电子商务、现代金融系统，必将改变居民的出行和消费方式，推动居民消费的绿色、低碳转型。

4. ICT 技术节能减碳潜力测算方法开发

为科学、系统地评价 ICT 技术的节能减碳效果，筛选并推广重点绿色 ICT 技术，为制定绿色 ICT 技术推进战略、政策和标准提供支撑，本书开



发构建了一套量化评价 ICT 技术节能减碳效果和潜力的方法学体系。

1) 构建原则

方法学主要遵循以下原则：（1）系统性，全面考虑 ICT 技术在能源和二氧化碳排放方面的所有正负效应；（2）科学性，根据研究需求和技术特征科学设定核算边界，并选择主要的节能减碳机制核算；（3）准确性，妥善处理不同节能减排机制间的交互影响，防止重复核算或漏算，确保结果客观有效，防止夸大。（4）可预见性，对不断创新发展的 ICT 技术，仅立足于现有或可预见的功能效果，稳妥评估 ICT 的节能减碳能力。

2) 功能特点

基于上述原则构建的 ICT 技术节能减碳方法，具有如下功能特点：

（1）适用广泛，可以评价不同 ICT 技术在不同领域应用的节能减碳效果，可结合应用领域和应用对象未来发展趋势，评价中长期 ICT 技术的节能减碳潜力。

（2）边界清晰，可在不同边界下（项目、行业、全社会）核算 ICT 技术的节能减碳效果，并合理界定 ICT 与其他技术合作产生的节能减碳贡献。

（3）易于操作，可以作为指导手册切实指导对具体 ICT 技术的节能减碳评价，核算原则、流程和方法明确。

3) 流程与方法

ICT 技术节能减碳评价主要包括七个环节：明确研究目标和范围、技术和应用背景分析、节能减碳机制识别、核算边界划定、节能减碳效果核算、未来节能减碳潜力评估、技术贡献界定。

节能减碳机制识别是整个方法学的核心，主要包括三个步骤：

（1）情景比较，设定未应用 ICT 技术的基准情景 BaU 和应用 ICT 技术的 ICT 情景，比较不同情景下 ICT 技术对不同作用主体（利益相关方）的影响；

（2）机制细化，自上而下把 ICT 技术影响按照“产品 / 服务需求量”、“产品 / 服务结构”、“设备需求”、“非化石能源使用”、“能源效率”五方面归类，细化成不同的节能减碳机制；

(3) 机制筛选, 基于各节能减碳机制间的因果关系, 选择主要的、可核算的机制纳入核算体系。

5. 典型 ICT 技术节能减碳潜力测算

1) 云计算技术节能减碳潜力测算

作为当前广受关注的新型 ICT 技术, 云计算可以将以往在终端实现的计算、存储需求集中起来, 通过处于“云端”的数据中心统一实现, 从而产生节能减碳效益。云计算涉及终端用户、数据中心、网络运行商、设备制造商等多个社会主体, 是 ICT 在“全社会层面”发挥节能减碳效果的典型案例。

研究表明: 云计算的节能减碳效果将在中长期逐步体现。未来云计算技术能耗将呈现“先耗能, 后节能”特点。“十二五”期间, 云计算尚处于建设初期, 资源集中优势尚未显现, 处于多耗能的阶段; 进入“十三五”之后, 随着云计算普及率的日益提高, 节能减碳效果将逐渐凸显。到 2020 年, 预计云计算可能实现 500 ~ 600 万吨标准煤的能源节约, 减排 CO₂ 超过 1300 万吨。

此外, 个人云是否节能与技术普及率和用户行为直接相关; 如果用户过多地将超大规模文件 / 运算任务交由云端处理, 会产生巨大的网络通信能耗, 届时个人云将变成耗能技术。而企业云的节能效果较为稳定, 如果没有企业云服务, 企业将不得不依靠高能耗、低资源使用效率的传统数据中心。

2) 电能管理信息系统技术节能减碳潜力测算

电能管理信息系统作为“智能电网”的重要组成部分, 该技术可以对用电设备运行进行信息化监控和调度, 有效协调电力需求与供应, 实践证明具有较好的节能减碳效果, 已被财政部和国家发展和改革委员会试点推广, 是 ICT 技术在“行业层面”应用的典型案例。

研究结果表明: 到“十二五”末期, 通过电能管理信息系统与其他各类节能技术的共同作用, 共可以产生 1729 万吨标准煤的节能量 (发电煤耗法), 其中电能管理信息系统的直接或间接贡献可能高达 284.9 万吨标准煤,



接近“十二五”工业节能总量的 0.5%，折合减排 CO₂ 约 608 万吨，其中主要潜力在钢铁、电解铝、水泥和合成氨领域。

3) 信息化配煤技术节能减碳潜力测算

信息化配煤技术是 ICT 技术应用于能源领域，并与传统能源技术有效整合的典型应用。通过科学提供配煤方案，优化燃煤机组运行效率，信息化配煤技术可以显著地降低发电煤耗和排放，目前已经在日本、美国，以及中国的部分发电厂使用，节能效果明显。本书选择使用信息化配煤技术的上海外高桥第二发电厂作为“企业/项目层面”案例，并拓展至“全社会层面”。

研究表明：信息化配煤技术可以将燃煤发电效率提高 0.31%，其中优化炉内掺烧条件可提高发电效率 0.08%，优化运行条件可提高发电效率 0.23%。在煤电设备发电小时数不变的条件下，如果按照“十二五”末期全国煤电装机容量 9.28 亿千瓦，信息化配煤技术普及 10%，到 2020 年全国煤电装机 11.7 亿千瓦，普及 30% 的目标计算，2015 年信息化配煤可节煤 38 万吨标准煤，减排二氧化碳 108 万吨，2020 年可节煤 144 万吨标准煤，减排二氧化碳 410 万吨。

6. 政策建议

1) 加强 ICT 技术和产业发展的宏观指导和信息引导

国家科技、高技术、ICT 产业主管部门应做好与其他相关政府部门的工作协调和衔接，共同贯彻落实国务院《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》、《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》、《软件和信息技术服务业“十二五”发展规划》、《物联网“十二五”发展规划》、《现代服务业科技发展“十二五”专项规划》等旨在促进 ICT 技术和产业发展的专项和综合性规划，从我国实际出发，进一步明确 ICT 技术和产业发展的重点，加快研究落实上述规划中提出的配套政策措施；注重发挥行业协会在 ICT 企业技术研发、投资，以及经营决策方面的指导、协调和监督作用；组织编制和动态发布 ICT 技术和产业发展指导目录，定期向社会发布 ICT 行业产能规模、产能利用率，以及生产、市场发展动向等信息。通过采取上述措施，指导、引导 ICT 技术的加快创新和应用，以及 ICT 产业的健康和快速发展。

2) 面向需求多方强化支持 ICT 技术创新和应用

国家科技、高技术、ICT 产业主管部门应把握 ICT 技术升级换代、经济结构低碳转型、产业升级、产业融合对 ICT 技术进步的客观和现实需求,从以下方面多方支持 ICT 技术的创新和应用:在“973”计划、“863”计划、国家重大科技专项、国家自然科学基金等科技计划中对 ICT 技术领域进行针对性部署,重点支持超高速光纤与无线通信、物联网、云计算、数字虚拟、先进半导体和新型显示等重大和关键 ICT 技术的突破性创新;组织建设和进一步完善 ICT 科技基础设施,支持建立和完善 ICT 技术国家工程中心、国家工程实验室、企业国家重点实验室、ICT 技术创新联盟等一批创新平台;支持成立 ICT 技术专利联盟,促进 ICT 技术领域的知识产权创造和运用;支持先进 ICT 技术和设备的引进和国际合作;鼓励国内企业和研发机构在境外设立研发机构;加快推进宽带中国工程、物联网和云计算工程;加强 ICT 技术标准体系建设,在关键共性技术和产品领域同步实施标准化,并积极参与国际标准制定。

3) 加大对 ICT 技术和产业发展的要素支持

第一,中央财政部门在战略性新兴产业发展专项资金的使用上应考虑向 ICT 技术和产业适当倾斜,通过需求激励、商业模式创新等综合扶持方式,以组织实施参股创投基金、重大应用示范工程、重大产业创新发展工程等为载体,推动 ICT 技术和产业加快发展。第二,中央财政、工信部门在电子发展基金的使用上应面向传统产业转型升级、节能环保 / 新能源等战略性新兴产业培育、现代服务业发展、惠及民生等现实需求,重点支持发展应用电子、工业软件、下一代移动通信、云计算、物联网等 ICT 技术研发和示范推广,同时应注重做好与国家科技重大专项的协调配合;加大追踪问效,确保财政资金充分发挥效益。第三,国家金融部门应研究落实《关于促进融资性担保行业规范发展的意见》、《银行业金融机构知识产权质押贷款业务指引》等政策,加快有利于 ICT 技术和产业发展的金融产品创新。第四,在高校增设 ICT 技术及产业相关专业、扩大招生规模,加快夯实



ICT 产业发展的人力储备。第五，国家税务、财政等部门应积极推动科技成果转化处置权和收益权、股权激励个人所得税改革等试点政策。

4) 扎实推进 ICT 产业自身节能和低碳发展

第一，国家 ICT 产业主管部门、节能减排管理部门应加强 ICT 产业链各环节节能减排管理工作力度，重点抓好 ICT 基础设施运营企业的节能减排管理，全面和扎实推进 ICT 设备制造、工程设计、工程施工、运行维护等产业链各环节节能减排管理，引导和激励 ICT 企业产品制造的绿色设计、清洁生产，强化 ICT 产品的绿色采购和资源回收再利用体系建设。第二，应鼓励 ICT 企业加快信息和通信网络结构性和系统性节能和低碳创新。第三，倡导 ICT 基础设施的共建共享，鼓励探索跨行业的共建共享，扩大共建共享带来的节能减排效应。第四，加强 ICT 行业节能减排基础管理工作，加快节能减排统计、监测、考核三体系建设。

5) 大力推广合同能源管理机制

第一，支持拥有绿色 ICT 技术的企业创建节能服务公司，打造一支专业从事 ICT 技术节能减碳服务的节能服务公司队伍，合理利用国家现有合同能源管理项目的财政、税收优惠政策，为 ICT 行业以及全社会提供商业化的节能减排服务。第二，鼓励 ICT 企业研究探索与节能服务公司的合作模式，积极推进合同能源管理机制在 ICT 行业的应用。第三，组织标准化机构、节能科研和技术服务机构、ICT 企业等联合开发典型 ICT 技术应用节能绩效定量核算方法和评价指南，为定量核算和评价采用 ICT 技术的合同能源管理项目的节能减排效果提供科学合理的依据。第四，积极培育 ICT 技术节能减碳第三方认证、评估机构。第五，组织开发 ICT 技术应用的合同能源管理项目案例研究，并推广现场交流会、网络等多种途径广泛传播。第六，组织开展针对 ICT 企业的合同能源管理培训。

6) 加快推进两化融合促进节能减排工程

加快绿色 ICT 技术在工业节能减排的应用，促进信息化和工业化的深度融合；鼓励 ICT 企业开发数字能源解决方案，推动 ICT 技术在重点用能行业和企业中的应用，提高能源管理水平，推动智能电网、智能建筑、智

能交通等建设；重点推广绿色数据中心、绿色基站、绿色电源，统筹数据中心布局、服务器、空调等设备和管理软件应用；积极稳妥引入和示范推广虚拟化、云计算等新技术。

7) 积极稳妥推进信息惠民工程

加快完善信息惠民基础条件；推进远程医疗，推广医疗信息管理和居民电子健康档案管理系统；做好电子商务示范城市创建、智慧城市试点工作，支持应用 ICT 新技术和服务模式，在智能电网、林业生态监测、环境污染监控、食品安全监管、智能交通、货物快递追踪、危险品管理、城市公共管理等领域开展新型信息服务；加快研发适应三网融合业务要求的数字家庭智能终端和新型消费电子产品，开展数字家庭多业务应用示范；扩大 ICT 技术、产品和信息服务在城乡及各领域的应用。

8) 加快 ICT 产品能效和碳排放标准制定和施行

首先，加快计算机、电视机、服务器、锂离子电池等量大面广 ICT 产品能效和碳排放标准的制定工作。其次，加强 ICT 产品能效和碳排放标准的执行力度，将节能低碳型 ICT 新产品及时纳入政府采购清单、节能产品惠民工程实施范围。最后，积极参与全球 ICT 产品能效和碳排放相关标准的制定工作。

9) 注重 ICT 技术在能耗和温室气体排放监测核查中的应用

首先，加大 ICT 在能源消费和温室气体监测领域研发的技术投入，提升 ICT 设备在具体工艺过程中应用的适用性。其次，把握当前我国推进碳交易、能源需求侧管理，以及能源消费总量控制的机遇，尽快在电力、钢铁、建材、建筑等重点行业推进试点，并开展针对全供应链、全工艺过程能耗和排放的联网监测与分析。最后，重视依托 ICT 技术获得节能减碳信息或方案，落实节能减碳举措，对诸如信息化配煤等技术可行、经济和社会效益显著的绿色 ICT 技术，做好工艺流程或相关配套设备的改进工作。

绪论

第1章



- ICT 概念和范畴
- 全球 ICT 及产业发展趋势
- 课题研究背景和目标
- 课题研究内容和研究方法



1.1 ICT概念和范畴

信息与通信技术 (Information and Communication Technology, ICT), 是近年来信息技术 (IT) 与通信技术 (CT) 逐渐融合, 协同发展形成的高新技术。

其中, IT 是“用于管理和处理信息所采用的各种技术的总称”, 实际上有三个层次: 第一层是硬件, 主要指信息存储、处理和传输的主机和网络通信设备。第二层指软件, 包括可用来搜集、存储、检索、分析、应用、评估信息的各种软件, 通常所指的 ERP (企业资源计划)、CRM (客户关系管理)、SCM (供应链管理) 等商用管理软件, 也包括用来加强流程管理的 WF (工作流) 管理软件、辅助分析的 DW/DM (数据仓库和数据挖掘) 软件等也属于此类。第三层是应用, 指搜集、存储、检索、分析、应用、评估。使用各种信息, 包括应用 ERP、CRM、SCM 等软件直接辅助决策, 也包括利用其他决策分析模型或借助 DW/DM 等技术手段来进一步提高分析的质量, 辅助决策者作决策。

CT 则是“一切通信技术”的统称, 包括各类通信方式。通信技术最早起源于 18 世纪的电报和电话, 这是最早的有线通信和无线通信方式; 19 世纪 20 年代后诞生了广播和电视网络; 20 世纪 80 年代后, 随着光纤通信技术的发展, 宽带通信成为可能, 促进了电信网、广播电视网、互联网等各类通信方式的快速发展。目前, 各类通信技术已经形成一张巨大的“泛网 (Ubiquitous)”, 使海量信息的实时传输成为可能。以 IP 技术为支撑, 以往相对独立的通信网络开始融合, 出现了 NGN (下一代网络)、NGT (下一代电信网)、NGI (下一代互联网)、4G/5G (下一代无线移动通信网) 等新发展方向。

当前, IT 与 CT 技术已经逐渐融合, 形成了以信息收集、处理、传输、共享、应用一体化的技术体系。历数近年来电子信息领域的主要成就, 无不是 IT 与 CT 融合创新的产物。例如将信息处理转移至通信网远端的“云计算”, 依托通信网对各种设备进行信息化控制的“物联网”, 以及整合“通信”与“运算”功能的“iPhone”等。IT 与 IC 融合不仅局限于硬件, 也深化至软件乃至产业模式层面, 并正向传统产业渗透, 甚至目前学术界和产业

界对 ICT 范畴和边界都难以清晰界定。从“小口径”来说，ICT 特指 IT 与 CT 的交叉范围，即三网合一、云计算、移动互联网等 IT 与 CT 融合的热点领域。从“中口径”来说，ICT 囊括了传统的 IT 和 CT 领域，即指传统意义上的信息技术产业，包括电子信息设备制造、电子信息传输服务、计算机服务和软件业等，也就是通常所说的“硬件”和“软件”范畴，前者主要是信息存储、处理和传输的主机和网络通信设备；后者包括可用来搜集、存储、检索、分析、应用、评估的各种系统、软件，以及应用等。从“大口径”来说，ICT 包含了所有与信息通信相关的产业，包括 IT 和 CT 产业本身，以及由此衍生的其他服务业，如互联网传媒、信息技术服务，或向传统行业渗透的相关产品和服务等。在本书中，我们将研究范围设定为相对清晰的“中口径”范围，如图 1-1 所示。

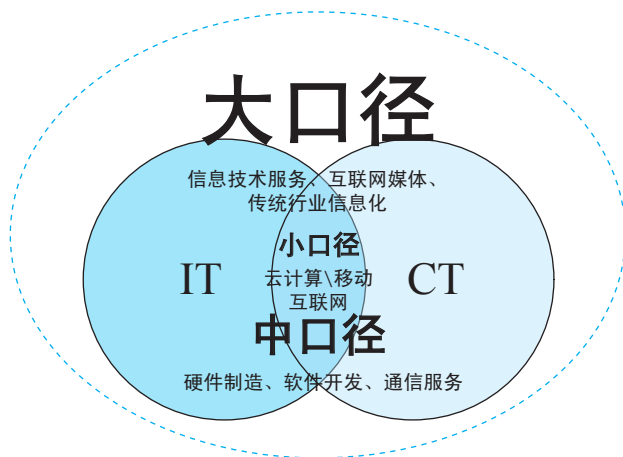


图 1-1 ICT 的不同口径界定

1.2 全球ICT及产业发展趋势

1.2.1 全球 ICT 技术发展历程

ICT 技术发展历程如图 1-2 所示。自 20 世纪 70 年代以来，各类 ICT 技



术实现的跨越式发展，带动着全球 ICT 产业的蓬勃兴起；通信、电子技术、计算机、半导体、互联网、多媒体等领域陆续取得重大突破，掀起了一轮轮“技术风暴”，技术性能也稳步提高（如 CPU 主频、网络通信带宽等），极大地促进了人类社会的信息交互、处理能力。

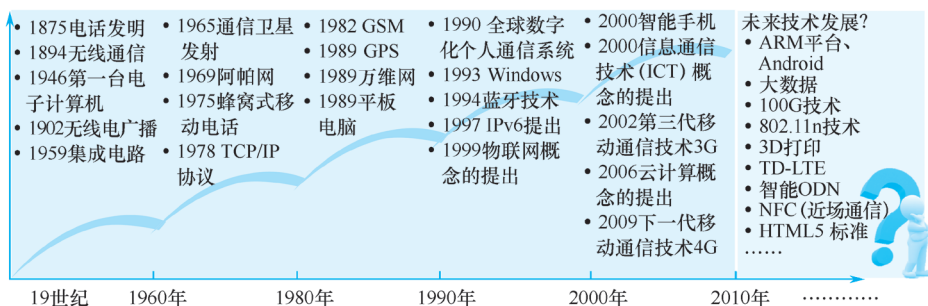


图 1-2 ICT 技术发展历程

从 1959 年集成电路发明开始，ICT 发展进入快车道。20 世纪六七十年代提出了诸多技术概念和雏形：第一个通信卫星发射、激光器的发明、阿帕网概念提出、第一台移动电话诞生、光纤通信的实现、TCP/IP 协议的提出。这些技术和概念创新为后来 ICT 发展奠定了重要基础。

进入 20 世纪 80 年代，ICT 技术开始向应用性发展。Intel 公司分别于 1982 年和 1985 年提出了 80286 和 80386 芯片，开启了个人计算机的新时代。第一代移动通信在美、英、日等国家广泛使用，第二代 GSM 也于 1982 年被正式提出，80 年代末期提出的 GPS、万维网概念，均在后来获得了广泛应用。受益于 EDFA（掺铒光纤放大器）的发明，80 年代末期各国开始建设光纤通信网络，为日后互联网的发展提供了基础。

20 世纪 90 年代则是互联网和软件的快速发展期。1993 年美国提出“信息高速公路”计划，几年内互联网已经走进千家万户；同期 Windows 系统诞生，为个人计算机的广泛推广奠定了基础，基于 Windows 的各类软件系统进入发展期。20 世纪 90 年代还开启了数码时代，数码相机、数字电视等概念相继诞生。

进入 21 世纪，ICT 为人类开启了“智能时代”。2000 年智能手机诞生，2002 年第三代移动通信技术正式明确，“ICT”概念被正式提出。如今的

ICT 使数据、图像、声音等各类信息实现了快速、准确的收集与交互。可以说，ICT 是迄今为止技术进步最稳定的领域，影响深远。不仅为人们生活、工作提供了便利，改变了人们的生产生活方式；也有效地推动了生产效率的提升，创新经营管理方式，极大地促进了经济和社会的持续快速进步。

未来 ICT 技术发展主要在两个方向。一是更加强调体验感，日趋智能化。依托于下一代移动接入、下一代互联网和全光网，宽带通信“最后一公里”问题将被解决；基于云计算的实现可编程、可扩展、应用敏捷、自动化、开放的智能网络系统将被建成。二是 ICT 向传统行业的渗透，如智能建筑、智能交通、智能工业等，ICT 将成为推进传统行业优化升级的重要推手。未来主要 ICT 技术如表 1-1 所示。

表 1-1 未来主要 ICT 技术

技术名称	应 用
ARM-Android 平台	智能手机应用平台、智能手机芯片平台
大数据技术	数据处理、加工，帮助企业实现数据挖掘，制定经营管理策略
100G 光传输技术	网络传输，满足日益增长的数据传输需求
802.11n 技术	无线局域网（WiFi）标准制式
LTE 技术	移动通信技术
云计算	数据处理、存储，应用于企业、个人等
PON 系统	无源光网络，用于连接网络主干和局域网以及家庭用户
智能 ODN	PON 系统中一部分，连接模拟光纤，光分配点
NFC（近场通信）	移动互联网信息接入与感知
3D 打印	应用于工程、建筑业和制造业等领域
HTML 5	网络标准
移动增强现实技术	建筑设计、游戏虚拟场景、GPS 与定位传感器
多点触控技术	平板电脑、智能手机等
HBBTV 技术	电视业务 / 内容发布平台
IPTV/OTT	有线数字电视、云电视、网络电视

1.2.2 全球 ICT 产业发展现状概述

在技术快速成长的推动下，全球 ICT 产业获得了快速发展。20 世纪 80 年



代，全球 IT 产业尚处于萌芽阶段；而现在 ICT 已经一跃成为当前全球重要的产业部门。ICT 产品已成为人类的生活必需品，部分还被附加以文化或时尚概念，巨大的市场需求为 ICT 产业发展提供了源源不断的推动力。虽然在 2001 年前后全球互联网泡沫破裂导致 ICT 增速趋缓，但 2008 年之后，ICT 产业仍实现了快速复苏。在 2011 年世界 500 强企业中，ICT 领域企业已达到 60 家。

21 世纪前十年是全球 ICT 产业发展最为迅速的时期。2000 年，全球 ICT 市场规模超过 2 万亿美元，占全球 GDP 的比重为 6.4%；到 2005 年全球 ICT 市场规模接近 3 万亿美元，占全球 GDP 的比重将攀升至 7.7%；2000 年至 2005 年全球 ICT 市场年复合增长率约为 7.44%，而同期全球 GDP 年复合增长率为 3.5%。至 2010 年，全球 ICT 市场规模已超过 4 万亿美元，占全球 GDP 的比重超过 9%；2005—2010 年全球 ICT 产业复合增长率达到 7.2%，高于全球 GDP 年均增长率的 4.3%。目前，ICT 产品贸易占世界总商品贸易的比重达到 11.1% 左右。

在 ICT 产业发展水平上，发达国家目前仍处于领先地位，ICT 服务业发展尤为突出。据统计，近 15 年来，OECD 国家 ICT 产业增加值年均增长率为 4.7% 左右。其中，ICT 产业已经转向计算机及其相关的服务和其他 ICT 服务的趋势越来越明显，平均 ICT 服务业占整个 ICT 产业的增加值达到了 80% 左右，如图 1-3 所示。

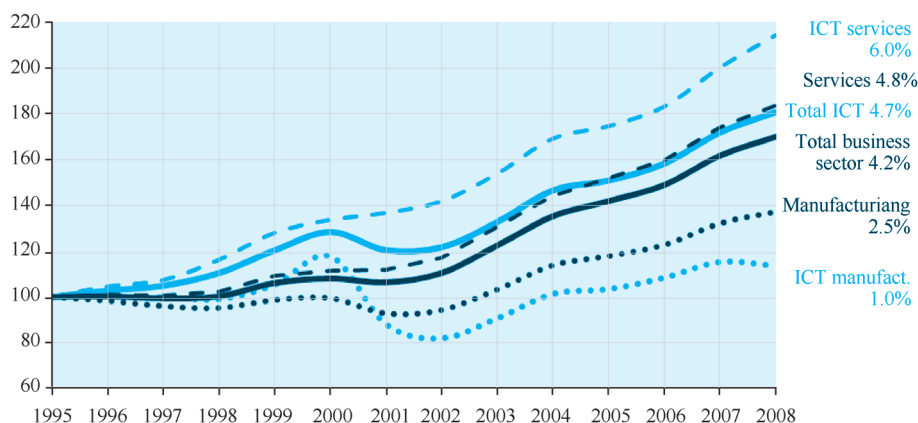


图 1-3 OECD 国家 ICT 产业增长率（1995—2008 年）

（数据来源：OECD.Information Technology Outlook 2010[R/OL], www.oecd.org/sti/ito. 2010.）

随着全球产业转移趋势，发展中国家承接了 ICT 产业链条中加工制造、软件外包等部分业务。目前约有 50% 的 ICT 产品在发展中国家制造，且这一比例仍呈上升态势。在亚洲地区，典型代表为中国的 ICT 制造业和印度的软件承包业，前者已是世界 ICT 产品的最大出口国，后者则成为计算机和信息服务领域最大出口国。东欧、墨西哥和其他非经合组织经济体在生产 and 市场增长方面也越来越重要。

从消费需求来看，根据 ITU 发布最新《全球信息化指数—跟踪研究 2011》，从 2000 至 2011 年，全球 ICT 业务呈现持续增长。其中，全球移动电话用户普及率程度最高，2011 年达到 86%。互联网用户普及率达到 32.5%。另外，移动宽带普及率超过固定宽带普及率。2011 年年底，移动和固定宽带普及率分布为 15.7% 和 8.5%。

发达国家由于市场趋于饱和状态，ICT 业务普及速度放缓，发展中国家发展较为强劲。但与发达国家差距较大。以宽带和互联网用户普及情况为例，到 2010 年年末，发达国家的固定宽带普及率几乎上升了 24% 且增长速度在放慢，这表明正在达到饱和水平，而发展中国家的增长速度只有 4.2%。在无线宽带互联网领域，发展中国家发展迅速，2009—2010 年期间增长了 160%。

1.2.3 未来全球 ICT 产业发展趋势

虽然受金融危机影响，全球各国经济发展遇到了诸多问题，但毋庸置疑的是，ICT 产业仍是当前最具活力，发展最为稳健的行业之一。未来 ICT 产业发展具有十分巨大的潜力。

第一，ICT 产业发展已上升为国家战略。在全球金融危机后，美、日等发达国家将 ICT 产业作为战略性新兴产业加以大力培育和扶持，成为经济振兴计划中的重要内容，如表 1-2 所示。美国提出“美国经济的再投资计划”希望将信息通信领域作为经济复苏的支柱，通过 ICT 技术研发和基础设施建设，提供良好的投资环境。欧洲各国则以发展数字经济为目标，强调加快实施“i2010”计划，推动 ICT 的战略部署。英国发布“数字大不列颠”，进一步强调发展 ICT 技术，建设英国宽带基础设施和灵活发展英国 ICT 市



场，以长期掌握世界数字新时代的主导权。“数字法国 2012”则以构建“连接全国居民的宽带网”和“ICT 数字支柱产业”为目标，推动法国的 ICT 产业在国民经济中的比重。德国重点促进物联网、互联网服务、云计算等信息通信技术的研究和应用，增强 ICT 产业和技术对经济发展的贡献，并为实现节能目标提供技术支持。其在 2010 年提出“数字德国 2015”战略，以对 ICT 领域发展项目的支持。日本则发布“i-Japan 战略 2015”计划，强调下一代网络、下一代无线通信、影像和环境四个领域以及全光通信、云计算网络模式、下一代移动通信系统、智能交通系统（ITS）等先进技术的开发和应用，提升经济活动效率。同时，韩国、新加坡等亚洲国家也纷纷出台了自己的 ICT 国家战略。根据国际电联研究，目前全球九成以上的经济体已经完成或正在制订国家级的 ICT 发展战略。

表 1-2 发达国家 ICT 基础设施建设计划

国 家	时 间	投 资 额	目 标	带 宽
澳大利亚	2008	30 亿美元	光纤入户率达到 90%	100 Mbps
加拿大	2009.1	2.25 亿加元	3 年内使得移动通信终端覆盖农村及偏远地区	-
芬兰	2008.9	2 亿欧元	2016 年超高速宽带入户率达到 100%	1 Mbps 2010; 100 Mbps 2016
欧盟	2008.11	10 亿欧元	2012 年高速互联网覆盖率达到 100%，重点关注农村地区	-
德国	2009	1.5 亿欧元	2010 年，全国范围内实现移动通信终端覆盖；2014 年宽带入户率达到 75%	50 Mbps
希腊	2008.9	21 亿欧元	2009/2010 年，对今后 7 年间光纤网络铺设项目进行投标	100 Mbps
爱尔兰	2009	2.23 亿欧元	2010 年 9 月实现网络全国覆盖	1.2 Mbps
日本	2008.9 2009.4	371 亿日元	完善 IT 基础设施建设，培训 IT 员工，发展新兴产业，将移动通信终端推广至农村地区	-

第二，ICT 技术国际竞争日趋激烈。发达国家纷纷通过加强研发和制定技术产业标准，抢占 ICT 产业发展的制高点，国际竞争尤为明显和激烈。目前，发达国家在技术标准的形成、制定和市场扩散等方面已投入了相当的人力和物力，强化技术标准的先发优势地位。例如，德国积极推动 ICT 产品服务在生产、创新中的开放向和交互性，通过与欧洲委员会密切、建设性的合作，将德国打造成为基于开放标准技术开发和推广的国际领先者。日本重点专注大数据应用所需的云计算、传感器、社会化媒体等智能技术开发，并通过“推进国际标准化”战略，实现技术在国际市场的广泛应用，形成技术先导优势。相比之下，中国等发展中国家起步较晚，在本世纪初，由国际标准化组织（ISO）和国际电工委员会（IEC）发布的国际标准已达 2 万项，但中国企业参与制订的仅 20 余项，由此可见一斑。

第三，ICT 产业与其他产业的融合呈加速趋势，有效地促推了发达国家从工业化社会向信息化社会迈进，也对发展中国家发展新型工业化具有重要意义。

发达国家通过 ICT 技术，积极推动社会的向智能化、电子化、全球化方向发展，使得信息成为比物资、能源更为重要的资源，推动国民经济和社会的发展。通过强化信息通信技术在生产、科研教育、医疗保健、企业和政府管理以及家庭中的广泛应用，对经济和社会发展产生了巨大而深刻的影响，从根本上改变了人们的生活方式、行为方式和价值观念，推动发达国家从工业化社会向信息化社会迈进。某些研究发现，发达国家产业部门通过投资 ICT 基础设施来提高生产力，每 1 美元的投入一年可创造约 1.4 美元的附加值。英国国家统计局的研究表明，英国的制造企业使用电脑的雇员数每增加 10% 就能使劳动生产率提高 2.2%。加拿大通过调查约 2000 家中小企业发现，使用电子商业解决方案能带来相当大的财务收益。这些企业使用电子商业解决方案后平均能提高 7% 的收入，同时降低 9.5% 的商品销售成本，降低 7.5% 的销售、管理成本。

在发展中国家，ICT 产业在推动产业结构转型升级，走新型工业化道路方面发挥了十分重要的作用。通过 ICT 领域自动化技术，推动传统产业更



加合理地设计产业的工作流程，缩短了生产周期；节约使用原材料和能源，提高生产效率，节约生产成本，实现产业从粗放式发展向精细化发展转型。同时，通过信息管理系统开发，提高了丰富产品内涵，提升产品价值；创新和转型企业商业模式和经营模式，带动企业管理和经营能力的快速提升。

1.3 课题研究背景和目标

在全球能源资源短缺、气候变化、环境污染等问题日益凸显背景下，绿色低碳发展已成为全球共同关注的热点问题。从 21 世纪初开始，国外开始出现针对 ICT 促进节能和绿色发展方面研究。时至今日，全球已经广泛意识到：ICT 将对全球经济社会绿色低碳发展发挥越来越重要的作用。由于 ICT 技术在信息交互、人工智能、系统集成方面的巨大优势，在能源节约和温室气体减排方面具有巨大的应用潜力。在 2006 年 WWF 和 ETNO 发布的研究中，首次从“交通替代”、“非物质化”和“其他系统技术”三个方面明确提出 ICT 的节能减碳效果；在 2008 年由 Climate Group 发布的 SMART-2020 中，将 ICT 的节能减碳机制明确为“智能电网”、“智能交通”、“智能电机”、“智能建筑”、“非物质化”五大类。欧洲、美国、日本等 ICT 技术发达国家和地区，纷纷开展 ICT 节能技术研究。

对中国而言，ICT 技术对绿色低碳发展的现实意义则更加丰富。为解决经济社会发展过程中的不平衡、不协调、不可持续等问题，探索出一条低投入、低消耗、低污染、低排放的绿色工业化道路，需要实施以科技创新为驱动的发展战略。而 ICT 技术作为高新技术的代表，有望对中国的绿色低碳发展发挥巨大作用：一方面，ICT 技术的应用可以通过自动化提高生产效率，促进生产和经营模式创新，有利于资源优化配置，提高能源利用效率。在当前我国节能技改、上大压小等政策已经实施，节能空间逐渐收窄的背景下，绿色 ICT 技术的研发和应用更具有重大意义。另一方面，ICT 产业的发展，更有利于中国转变经济发展方式，改变现有高能耗、高污染的发展模式。ICT 产业本身是低消耗，高增长的战略性新兴产业，除了能贡献

更多的绿色 GDP 之外，还可以通过信息化与工业化融合发展，支撑现代服务业和引导居民绿色生活等方式促进经济转型和低碳发展。

然而，目前关于 ICT 促进中国经济转型和低碳发展的研究还比较薄弱；特别是对 ICT 促进中国经济转型和低碳发展的宏观潜力、影响机制、测度方法和具体途径缺乏深入的定量分析和研究，政府部门有关 ICT 产业促进中国经济转型和低碳发展的决策缺乏科学依据和信息支持。因此，组织开展 ICT 产业促进中国经济转型和低碳发展的途径和措施的深入的专题研究，在此基础上提出有效发挥 ICT 产业对中国经济转型和低碳发展的促进作用的针对性政策建议，具有重大的现实意义。

课题的研究目标是：深入探讨和分析“十二五”期间 ICT 促进中国经济转型和低碳发展的潜在贡献、影响机制、测度方法和政策途径，在此基础上提出促进中国经济转型和低碳发展的针对性政策建议，为发改委、财政部、工信部等政府部门决策提供科学依据和技术支持。

1.4 课题研究内容和研究方法

1.4.1 研究内容

本课题研究内容主要包括两大方面。

一是从宏观层面研究 ICT 技术和产业促进我国经济转型和低碳发展的途径、影响和潜力。基于全球 ICT 发展的背景趋势，以及我国 ICT 技术和产业的发展现状，系统提出了 ICT 促进我国经济转型和低碳发展的具体途径，并针对“十一五”发展情况进行了实证分析。结合 ICT 发展前景，以及“十二五”经济社会发展的各项目标，本书也展望了未来 ICT 对我国经济转型和低碳发展的潜力效果。

二是在技术经济层面构建量化评价 ICT 技术节能减碳效果的方法学体系。适用于不同 ICT 技术、不同应用领域、不同核算边界；既可以测算某



一时点的节能效果，也可以评估中长期节能潜力。研究须充分借鉴和吸收国内外现有核算方法的优点，并争取在系统性和应用性方面具有一定提高，以供政府机构、行业管理部门、企业等相关单位使用。为完善、支撑、验证方法学的有效性，本书设计了三类不同应用范围的 ICT 应用案例，测算了其节能减碳潜力。

• 云计算技术——全社会领域

广受关注的新型 ICT 技术，凭借高效集约的信息服务模式有望产生节能减碳效益；涉及终端用户、数据中心、网络运行商、设备制造商等多个社会主体。

• 电能管理信息系统——工业节能（智能电网的终端应用）

作为“智能电网”的终端应用，通过对用电设备运行进行信息化监控和调度，有效协调电力需求与供应，在工业领域具有较好的应用效果，已被财政部和国家发展和改革委员会在部分地区试点推广。

• 信息化配煤技术——项目层面

ICT 应用于能源领域，并与传统能源技术有效整合，通过科学提供配煤方案，优化燃煤机组运行效率，降低煤耗和排放。选用上海外高桥第二发电厂作为“企业 / 项目层面”案例，并拓展至“全社会层面”。

1.4.2 研究方法

鉴于我国目前在 ICT 对宏观经济与节能低碳发展的促进作用方面研究较少，无论是宏观还是微观层面，都缺乏较成熟的成果和方法。在本书中，课题组将结合政策制定和实际应用需要，综合利用宏观经济、产业经济、技术经济等各类方法开展探索性研究。

1. ICT 促进我国经济转型和低碳发展的宏观评价

ICT 对宏观经济的影响是多元复杂的，ICT 既是技术，又代表产业部门；既包括硬件制造，也涉及软件服务业；既满足终端消费，也服务于各行业生产活动。为此，本书采用理论分析与实证研究相结合的方法。首先

基于宏观经济和产业经济分析,明确提出 ICT 技术和产业促进我国经济转型和低碳发展的机制。再根据“十一五”发展现状开展实证研究,针对各条影响机制的实现情况进行分析和评价。最后进行展望性研究,结合我国“十二五”宏观经济和产业发展趋势和各项规划目标,研究 ICT 对我国经济转型和低碳发展的潜力影响。

2. 构建 ICT 技术节能减碳的评价方法体系

由于多数 ICT 技术并不是专门的节能减碳技术,发挥节能减碳效果的途径多样,可能与其他技术合作,又可能需要广泛普及后发挥系统性功效,也可能因应用领域不同产生较大差异。为解决上述问题,本书开发的方法学遵循六类原则,一是普适性,适用不同 ICT 技术,不同应用领域;二是可操作性,满足用户实际需要,具有指导性和可行性;三是系统性,综合主要的正面/负面影响。四是准确性,尽量全面科学,防止夸大;五是可比性,科学设定核算边界,不同边界范围下减排效应可放大、可比较;六是可预见性,立足 ICT 技术的现有功能,并考虑应用领域的未来发展趋势。

在方法学的构建过程中,课题组将立足于方法学应用者角度,系统设计各评价环节与流程,包括具体 ICT 技术的节能/减碳机制识别、边界划定依据、测算流程和原则、数据选取依据、未来趋势和潜力评估方法等。其创新性体现为:一方面强调核算目标与边界划定、机制识别的协调一致,确保核算的科学合理;二是合理设计机制识别与测算流程,将 ICT 节能减碳的多元化途径归纳为需求数量、需求结构、设备数量、能源结构、能源效率五个层面,避免了重复计算或遗漏;三是提出了 ICT 与其他技术共同发挥节能减碳效果时的贡献划分依据。

3. 应用核算方法学进行案例研究

为完善、支撑、验证方法学,本书开展了三个案例应用。选择案例的原则为:一能代表当前最先进的 ICT 技术水平,或是未来技术发展的重大方向;二是在不同层面,全社会/行业/项目层面有较明确的节能减碳功能;三可以直接发挥节能效益,或在 5~10 年内通过较大规模推广体现出节能



减碳效益；四是具有较好的数据基础。

案例研究较多地采用文献数据收集、实地调研、企业访谈等方法，为确保准确性，部分案例甚至进行实际测量，例如信息化配煤技术的节能效果，以及部分电能管理信息平台的节电效果，均是实际测量的数据。研究获得了广大 ICT 应用企业、生产企业的大力支持，与相关行业机构协调合作，以确保研究结论的可靠性。

第2章

ICT促进中国经济转型和低碳发展的途径和作用分析



- 我国 ICT 技术及产业发展现状
- ICT 技术促进我国经济转型和低碳发展的基本途径
- ICT 技术促进“十一五”经济转型和低碳发展的实证分析
- ICT 技术促进“十二五”经济转型和低碳发展的潜力分析
- 本章小节



2.1 我国ICT技术及产业发展现状

2.1.1 我国 ICT 技术发展现状和总体水平

ICT 技术实力是国家科技水平乃至综合国力的重要体现。根据全球商业软件联盟（BSA）和经济学家智库（EIU）近期联合公布的“2012 年全球 IT 行业竞争力排名报告”，中国在全球 66 个国家和地区的 IT 竞争力排名中列第 39 位，美国仍然占据第一，其次是芬兰和瑞典，排名前列的亚太国家和地区按排位高低分别是：澳大利亚、新加坡、日本、中国台湾和韩国。

与发达国家相比，我国 ICT 技术差距主要体现在：一是核心技术或重大基础性技术缺乏，特别是核心芯片、高端元器件、专用设备和关键材料等方面。集成电路进口已经连续多年成为第一大进口产品，液晶面板、电子材料、关键传感器件等也高度依赖进口。二是全球技术标准参与度低，在 21 世纪初，由国际标准化组织（ISO）和国际电工委员会（IEC）发布的国际标准已达 2 万项，但中国企业参与制订的仅 20 余项；目前情况虽有好转，但与日本和韩国相比仍差距较大。三是 ICT 基础设施建设仍不完备，互联网特别是无线互联网覆盖率仍然不高。四是知识产权保护方面仍存在不足。

为加强自主创新能力，从新世纪开始，我国开始启动针对 ICT 技术的研发和应用研究。一方面充分依靠企业创新平台，鼓励企业开展 ICT 技术研发。联想、华为、中兴等一系列技术企业由大做强，打入了国际市场。截至到目前，中国自主知识产权的 ICT 技术取得了突破性的进展，在移动通信、操作系统、无线互联网、下一代网络及高清晰数字电视等几个具有较大影响的领域取得了显著的成就，产业化进程逐步加快，为中国 ICT 的进一步发展奠定了坚实的基础。

在技术方面，受益于“核高基”国家科技重大专项支撑，我国在装配集成、整机制造等技术领域取得了较大进展。中央处理器（CPU）、移动通信芯片等一批中高端集成电路产品取得突破，65 纳米先进工艺和高压工艺等特色技术实现量产，三维封装等新型封装技术均有开发和生产应用。高

密度离子刻蚀机、大角度离子注入机等集成电路核心制造设备进入生产线。千万亿次高性能计算机研制成功，迈入国际先进行列。时分同步码分多址接入（TD-SCDMA）技术形成完整的产业链体系，实现规模商用，40G 超大容量光传输系统领域取得技术突破。数字电视地面传输技术及数字音视频编解码技术达到国际先进水平。标准和知识产权战略有力推进，形成了时分双工长期演进技术（TD-LTE）、数字视频编解码标准（AVS）、数字音频编解码标准（DRA）、地面数字电视传输标准（DTMB）、闪联等一批以自主知识产权为依托的技术标准。操作系统、数据库、办公套件、中间件等软件质量和性能明显提升，信息安全关键技术和产品迅速发展。企业管理软件、互联网应用软件、游戏软件等产品技术创新能力不断增强，移动互联网、电子商务等新兴领域迅速崛起。

2.1.2 我国 ICT 产业发展现状

经过 20 世纪末和 21 世纪初的快速发展，中国的 ICT 产业成长迅速，从规模角度，我国已算是全球 ICT 产业大国。据统计，2011 年全球 ICT 产业总产值约为 12 万亿美元，而同年仅我国 ICT 硬件产业产值就接近 1 万亿美元，位居全球第一。2010 年我国彩电、微型计算机、手机等主要整机产品产量已分别达 1.2 亿、2.5 亿台和 10 亿部，均占全球总产量 40% 以上。ICT 制造业从业人员达 880 万人，占全国工业从业人员比重 10%。

21 世纪前十年是我国 ICT 产业增长的黄金期，奠定了其国民经济战略性、基础性、先导性支柱产业地位。据统计，从 2000 年至 2010 年间中国 ICT 产业增加值年增长率高达 15.5%，2010 年规模达到 1.94 万亿元，占 GDP 的 6.17%（按 2005 年的不变价格计算）。其中，ICT 制造业增加值为 1.28 万亿元，ICT 服务业规模 0.66 万亿元。虽然在金融危机前后 ICT 产业增速出现下降，但年平均增长仍高于其他传统行业。ICT 硬件制造业的年均增长率为 19.8%，较工业部门高 8.6 个百分点，主要收入来自于计算机和电子元器件的生产，占 60% 以上；ICT 软件服务业的年均增长 10.24%，占第三产业的比重



为 5.1%，其中软件产品占比重最大，系统集成、嵌入式软件、数据处理和运营服务位居其次，近年来信息咨询服务和 IC 设计也呈现快速增长趋势。

ICT 行业已经深入人民生活和经济活动内部。过去 10 年间，中国网民数量从 5910 万人（2002 年）增至 45730 万人，移动电话数量增长 10 倍以上，每百户城镇家庭的计算机拥有量从 9.7 台上涨至 71.16 台，农村家庭则从 0.47 台上涨至 10.37 台。与此同时，企业和政府在 ICT 领域的支出也大幅上涨，企业信息化管理、电子政务等获得巨大发展。在全社会的固定资产形成中，用于购买 ICT 相关产品维持在 5% ~ 6% 之间。在不断增长的社会需求驱动下，对 ICT 产业的投资也逐年增长。国际贸易方面，ICT 产品进出口的地位越发重要。2001 至 2010 年间，我国 ICT 产品出口年增长近 1/4，较出口规模总增速快近 6 个百分点。ICT 产品出口份额呈不断上升的趋势，其中仅计算机及其相关设备出口就占据了一半左右。ICT 已经成为出口增长的重要支撑。

虽然我国已经是 ICT 产业大国，但仍称不上是 ICT 产业强国。产业发展的深层次问题和结构性矛盾仍然突出，主要表现为：关键核心技术受制于人，产业总体上仍处价值链中低端，代工制造和加工贸易所占比重较高，研发投入强度与发达国家相比尚有差距，资源配置较为分散，产业政策环境亟待完善，内需带动机制尚未健全。这些问题和矛盾制约了我国 ICT 产业由大变强，需要在未来着力解决。

2.2 ICT 技术促进我国经济转型和低碳发展的基本途径

ICT 技术促进我国经济转型和低碳发展的可能途径和作用，如图 2-1 所示，大体可以归纳为以下几个方面。

1. 支撑 ICT 产业做大做强，促进产业结构低碳转型

ICT 技术日新月异的发展及其产业化应用，可起到有效支撑 ICT 产业做大做强、促进产业结构低碳转型的作用。ICT 产业包括两个子产业：ICT

制造业和 ICT 服务业，两者均为高附加值、低能耗、低排放产业，分别属于国民经济的第二产业、第三产业范畴。ICT 产业做大做强，意味着 ICT 制造业增加值、ICT 服务业增加值占 GDP 比重的提升。ICT 制造业增加值占 GDP 比重的提升，将起到降低第二产业能源消费强度和碳排放强度、正向推动第二产业低碳转型的作用。同样地，ICT 服务业增加值占 GDP 比重的提升，将起到降低第三产业能源消费强度和碳排放强度、正向推动第三产业低碳转型的作用。ICT 制造业、ICT 服务业做大做强，将收到共同正向推动三次产业结构低碳转型的功效。

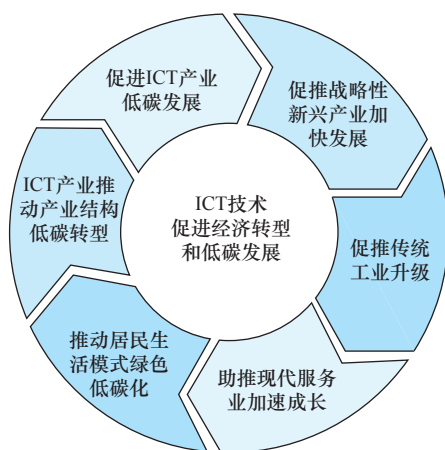


图 2-1 ICT 对经济转型与低碳发展的影响机制

2. 促进 ICT 产业自身低碳发展

ICT 技术的不断进步，也将促进 ICT 产业自身的低碳发展。尽管 ICT 产业属于高附加值、低能耗、低排放产业，但仍有进一步降低能耗和碳排放的潜力空间。随着 ICT 新技术的不断涌现及其在 ICT 产业部门的应用，ICT 制造业、ICT 服务业能源消费强度、碳排放强度将进一步趋于下降，ICT 产业自身将更加绿色、低碳。通过进一步强化移动互联网、云计算、物联网等专业性公共服务平台的建设，重点部署在高端通用芯片和核心器件、关键电子元件、电子材料、集成电路设计和制造、显示器件、关键传感器等技术的发展，进一步推动技术创新和产品的转型升级，优化 ICT 产业原



材料的结构，降低 ICT 设备的生产和使用能耗，实现 ICT 产业的低碳发展。

3. 促推传统工业转型升级

传统工业转型升级是我国工业转型升级的重点和关键。随着信息化与工业化的加快融合，ICT 技术将起到有效促推钢铁、石化、电力、建材等传统工业优化技术结构、组织结构，提高资源配置效率，提升经营管理水平等多种作用，促进传统工业加快实现发展方式向集约高效、绿色低碳型转变。其促进作用主要体现在以下方面：一是通过精密控制和自动化技术，促进生产过程的规范化和流程化，提高生产质量，降低残次品率，从而减少原材料和能源的浪费；二是对企业生产、物流、运营乃至财务、行政各方面信息进行信息收集与分析，进行高层次的数据库管理，例如供应链管理、财务管理、人力资源与效益管理等，为企业科学制定发展战略，运营管理高效化提供信息支持；三是通过系统集成、嵌入式软件开发等方式，优化企业的生产环节或运营模式，实现设计和生产的自动化和一体化，缩短工序流程，提高生产效率。

4. 促推战略性新兴产业加快发展，促进经济结构低碳转型

ICT 技术在能耗在线监测、能源管理优化、环境监测等方面的推广应用，将起到助推节能环保产业、特别是节能环保服务业加快发展的作用。ICT 技术在卫星及应用产业、智能制造装备产业等的应用，无疑将促推高端装备制造业的发展。ICT 技术在风电运行控制、新能源大规模并网等方面的应用，将有效促推新能源产业发展。ICT 领域半导体和电子技术的发展，可以推动新能源汽车产业形成可靠经济的储能电池、高效电容、充电设备。信息学、电子学、高性能计算等技术的开发和应用对生物医药产业、新材料产业的发展起到不同程度的促推作用。节能环保产业、高端装备制造业、新能源产业等战略性新兴产业一般都具有高附加值、低能耗、低排放特征；ICT 技术在各战略性新兴产业的推广应用，将促推战略性新兴产业加快发展，战略性新兴产业增加值占 GDP 比重将加快提升，从而起到促进经济结构低碳转型的作用。

5. 支撑现代服务业加速成长

以 ICT 技术为核心的现代服务业共性关键和系统集成技术的发展及应

用,将催生越来越多的现代服务企业,激发服务模式和服务业态的不断创新,有效支撑电子商务、现代物流、数字医疗、数字内容、数字社区、数字教育、数字旅游、电子金融等现代服务业的加速成长,从而促进经济结构的低碳转型。一方面,ICT 服务业本身即属于现代服务业的重要内容。当前受益于移动互联网的快速发展,我国电子商务、电子政务、信息咨询和信息中介服务等相关产业发展迅速,成为经济增长的新驱动力量。另一方面,信息传递快速准确,界面和操作方式友好等优势,也使 ICT 技术在租赁和商务服务业、批发和零售贸易业、金融保险业、公共管理和社会组织等领域发挥着越来越重要的作用,有效对接服务与消费需求,降低交易成本,提高宣传推广的针对性和有效性,从而极大地提高服务质量与效益,推进现代服务业的快速发展。

6. 推动居民生活模式绿色低碳化

ICT 技术的应用,可以从多个方面引导和促进居民生活的节能和低碳发展:一是信息高效传播使生活更便捷,提高生活效率,降低不必要的能耗,例如广泛使用的车载导航系统,12580 信息查询等;二是非物质化的替代,电子书、MP3、视频聊天等 ICT 技术,更容易为人们所接受,原本需要的物质载体都改为通过信息技术实现,减少的材料和能源的消费;三是创新生活方式,网络已成为人们生活不可或缺的重要组成部分,购物、娱乐、教育、求职、交友各类需求均可以依靠 ICT 技术体系实现,对传统方式产生了颠覆性影响。

2.3 ICT 技术促进“十一五”经济转型和低碳发展的实证分析

经过多年快速发展,我国 ICT 产业已成为国民经济战略性、基础性、先导性产业。本书将分别结合“十一五”统计数据和“十二五”规划预期指标,对 ICT 促进经济转型和低碳发展的实际作用和未来前景进行评价。本节将首先进行“十一五”实证分析。



2.3.1 数据基础

本书以 1.1 节界定的中口径范围，作为 ICT 行业研究范围。主要涉及数据包括产业增加值和能耗两大方面。

目前国家统计局与工业和信息化部统计口径存在略微差别。对 ICT 产业的硬件部分，在工业和信息化部口径中对应的是“电子信息产品制造业”，其下包括“通信设备工业”、“电子计算机工业”、“家用视听设备工业”、“电子器件工业”、“电子原件工业”和“其他电子设备制造”六部分，较好地涵盖了 ICT 的硬件生产范畴。而在国家统计局口径中，根据“应用领域”不同 ICT 制造被划分至不同部门，除主要的“通信设备、计算机及其他电子设备制造业”外，还牵涉“通用设备制造”、“专用设备制造”、“电器机械及器材制造业”和“仪器仪表及文化办公用机械制造业”中的部分子行业，难以有效区分。本书中，选用工信部发布的“电子信息产业制造业”增加值，作为 ICT 制造业增加值。但由于工信部不发布行业能耗数据，只能近似使用国家统计局口径的“通信设备、计算机及其他电子设备制造业”的能源消费量，作为该行业的能耗数据。

对 ICT 产业的软件部分，在工信部统计口径仅发布了“软件业”数据，未能涵盖电信服务、互联网、集成电路设计等领域。因此，本书选用国家统计局口径的“信息传输、计算机服务和软件业”增加值和能耗数据，其中包括“电信、广播电视和卫星传输服务”、“互联网和相关服务”、以及“软件和信息技术服务业”。

主要的数据来源如表 2-1 所示。

表 2-1 ICT 产业的界定和数据来源

行 业	参 数	口 径	来 源
ICT 制造业	行业增加值	2007 年以前为全行业口径； 2007 年以后为规模以上制造业数据	中国信息年鉴：电子信息产品制造业
	分品种能源消耗量	全行业口径	能源统计年鉴：通信设备、计算机及其他电子设备制造业

(续表)

行 业	参 数	口 径	来 源
ICT 服务业	行业增加值	全行业口径	中国统计年鉴
	分品种能源消耗量	全行业口径	能源统计年鉴 (单位增加值能耗估算)

2.3.2 “十一五” ICT 产业发展实证分析结果

如图 2-2 所示，按 2005 年不变价格计算，“十一五”期间，ICT 产业增加值从 2005 年的 11605 亿元增加到 2010 年的 19406 亿元，年均增长率达 10.8%；ICT 制造业增加值从 6701 亿元增加到 12766 亿元，年均增长率达 13.8%；ICT 服务业从 4904 亿元增加到 6640 亿元，年均增长率达 6.2%，均实现了良好发展。其中全球经济危机之前，ICT 产业增长迅猛，2000—2007 年年均增长率达到 19%，但是经济危机对 ICT 产业的影响明显，产业增长率一度下滑至 2008 年的 7.8% 和 2009 年的 1.4% 左右，此后呈逐渐恢复态势。

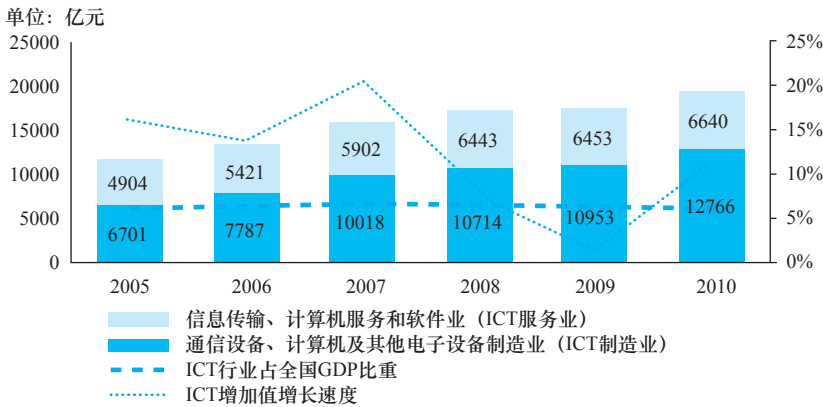


图 2-2 “十一五”期间 ICT 行业增加值变化

(数据来源：国家统计局. 中国统计年鉴 2005-2011[M]. 北京：中国统计出版社，2005-2011；中国信息产业年鉴编委会. 中国信息产业年鉴 2005-2011[M]. 北京：电子工业出版社，2005-2011.)

注：增加值根据 2005 年不变价格计算，2009、2010 年 ICT 制造业增加值根据主营业务收入比例估算)

能源方面，ICT 产业能源消费总量从 2005 年的约 2466 万吨标煤增长到 2010 年的约 3709 万吨标煤，年均增长率约 8.5%。“十一五”期间，ICT



产业能源消费总量占全国能源消费总量的比例一直维持在 1% 左右，而 ICT 产业增加值占全国 GDP 总量比例一直在 6% 以上，其低能耗、高附加值产业特征明显，如图 2-3 所示。

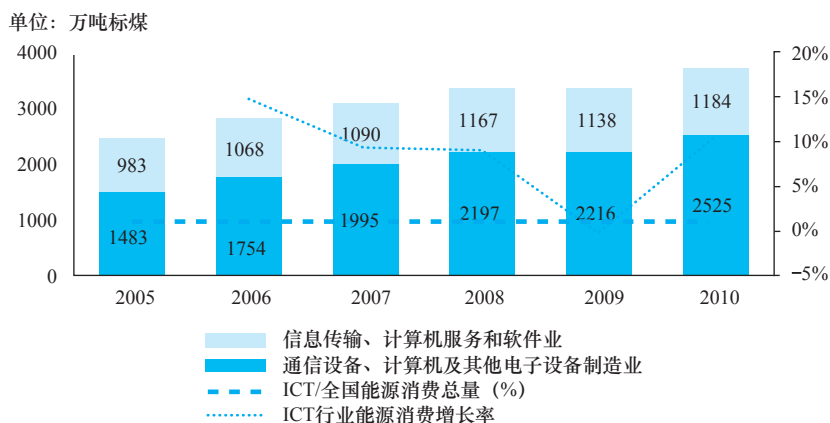


图 2-3 “十一五”期间 ICT 产业能源消费情况

(数据来源：根据国家统计局发布的 2005-2011 年历年的中国能源统计年鉴相关数据计算获得)

以 2010 年数据为例，ICT 产业增加值能耗仅为单位 GDP 能耗的 1/5，是工业的 1/9，远低于一产、二产、三产的平均值。也就是说，每消耗一吨标准煤，ICT 产业产生的经济效益是全国平均值的 5 倍，二产的 8 倍，工业的 9 倍，三产的 2 倍（表 2-2）。

表 2-2 2010 年全国各产业能源强度与经济效益比较

各产业能源强度，(吨标准煤 / 万元)						
全国	一产	二产	工业	建筑业	三产	ICT 产业
1.03	0.23	1.53	1.72	0.30	0.35	0.19
各产业 / ICT 能源强度比值						
5.41	1.21	8.01	9.01	1.57	1.85	1
各产业能源经济效率 (单位能源投入的增加值产出) (万元 / 吨标准煤)						
0.97	4.32	0.65	0.58	3.34	2.83	5.23

注：增加值和 GDP 计算均使用 2005 年不变价格

1. ICT 技术促进产业结构调整的效果尚不明显

“十一五”期间，ICT 产业增加值占全国 GDP 比重从 2005 年的 6.28%

下降到了 6.17% (按 2005 年不变价计算), 未实现增长, 对经济结构的优化作用未能实现, 如图 2-3 所示。ICT 在经济结构中的比例下降, 导致结构节能效果为负, 由此带来的相对能耗增加达 350 万吨标煤。

同时 ICT 产业内部结构调整 (ICT 制造业和 ICT 服务业) 未取得成效。ICT 服务业在 ICT 产业中整体比重从 2005 年的 42% 下降到 2010 年的 34%。按 2005 年不变价格计算, “十一五” 时期 ICT 服务业增加值从 2005 年的 4904 亿元增加到 2010 年的约 6640 亿元, 年均增长率为 6.2%, 低于 ICT 制造业增速。ICT 服务业在全国第三产业中比重维持在 6% 左右, 在全国 GDP 当中的比例维持在 2% ~ 3%, 助推第三产业发展的作用尚未明显体现 (图 2-4)。

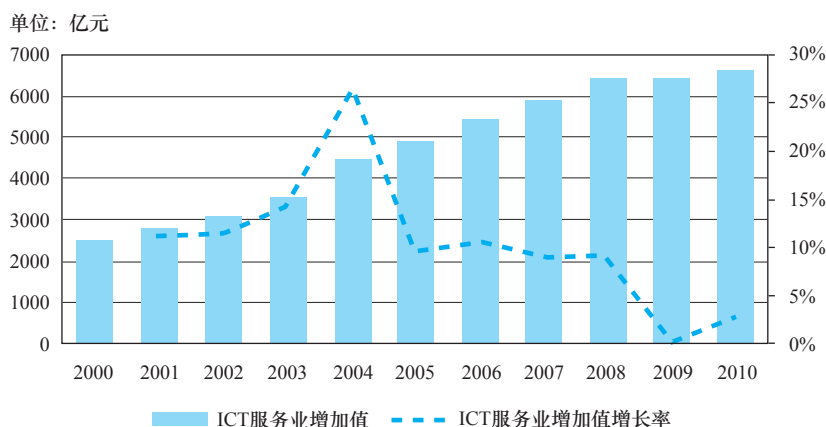


图 2-4 我国 ICT 服务业增加值 (2000-2010 年)

(数据来源: 国家统计局. 中国统计年鉴 1999-2011[M]. 北京: 中国统计出版社, 1999-2011)

注: 增加值根据 2005 年不变价格计算

2. ICT 产业自身节能和低碳发展的成效显著

“十一五” 期间 ICT 产业能源消费情况如图 2-5 所示。“十一五” 期间, 通过 ICT 制造业、服务业内部生产方式的优化, ICT 产业增加值单耗有明显降低, 从 2005 年的 213 千克标煤 / 万元降低到 2010 年的 191 千克标煤 / 万元, 降幅达 10%。其中 ICT 服务业单耗从 201 千克标煤 / 万元降低到 178 千克标煤 / 万元, 降幅达 11%; ICT 制造业单耗从 221 千克标煤 / 万元降



低到 198 千克标煤 / 万元 (图 2-6)。以 2005 年为基年, 则 “十一五” 期间 ICT 产业增加值单耗下降带来的节能量达到 414.8 万吨标煤。

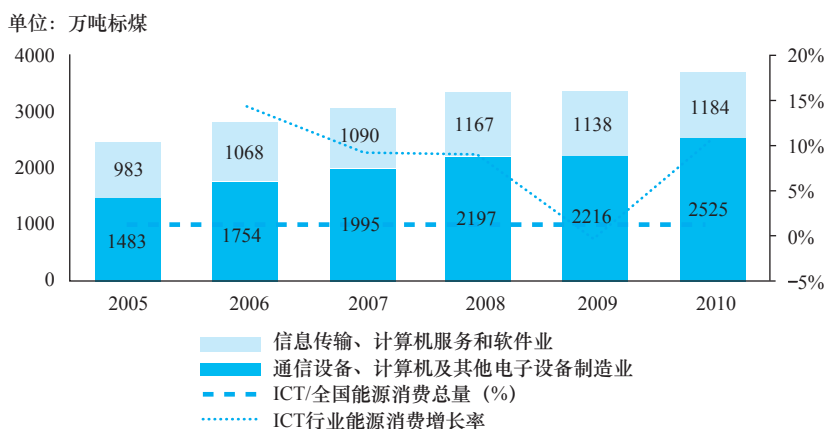


图 2-5 “十一五” 期间 ICT 产业能源消费情况

(数据来源: 根据国家统计局发布的 2005-2011 年历年的中国能源统计年鉴相关数据计算获得)

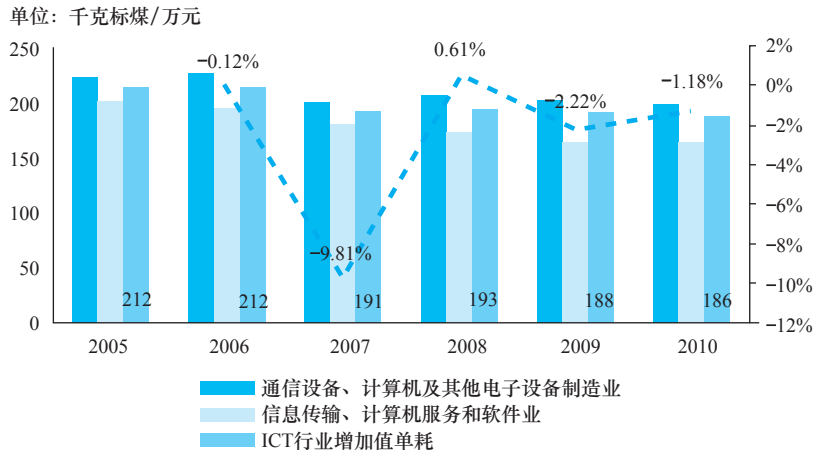


图 2-6 “十一五” 期间 ICT 产业增加值单耗

(数据来源: 国家统计局. 2005-2011 年中国统计年鉴、中国能源统计年鉴 [M]. 北京: 中国统计出版社, 2005-2011.

注: 增加值数据来源于国家统计局发布的历年中国统计年鉴, 并根据 2005 年不变价换算得出)

通过以上方法计算, 以 2005 年为基年, 则 “十一五” 期间增加值单耗下降带来的节能量达到 414.8 万吨标煤, 但是由于 ICT 在经济中的比例从

2005 年的 6.28% 下降到了 6.17%，结构节能为负效应，由此带来的相对能耗增加反而达 350 万吨标煤。综合而言，“十一五”时期 ICT 产业对全国节能量的直接贡献为 65 万吨标煤。

同时，“十一五”期间，ICT 碳排放总量从 2005 年的 6006 万吨 CO₂ 增长到 8791 万吨 CO₂，年均增长 7.9%；单位增加值碳排放从 2005 年的 0.518 吨 CO₂/万元降低到 2010 年的 0.453 吨 CO₂/万元，碳强度累计下降 12%。其中，ICT 服务业碳强度从 2005 年的 0.488 吨 CO₂/万元下降到 2010 年的 0.423 吨 CO₂/万元；ICT 制造业碳强度从 2005 年的 0.539 吨 CO₂/万元下降到 2010 年的 0.469 吨 CO₂/万元（图 2-7）。

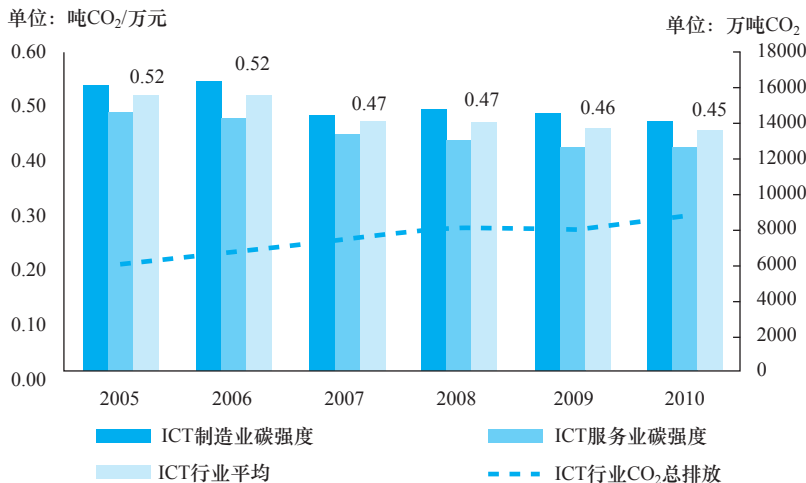


图 2-7 “十一五”期间 ICT 产业单位增加值碳排放情况

（数据来源：国家统计局颁布的 2005-2011 年中国统计年鉴、中国能源统计年鉴 [M]. 北京：中国统计出版社，2011）

注：增加值根据 2005 年不变价计算，碳排放根据行业煤、油、气、电等能源消费量和排放系数计算

3. 促推传统工业转型升级取得成效

“十一五”以来，ICT 技术及产品在推动工业转型升级、促进两化深度融合等方面发挥了积极作用，技术装备和服务能力显著增强。其中，钢铁、化工、汽车、船舶、航空等主要行业大中型企业数字化设计工具普及率超过 60%，关键工序数（自）控化率超过 50%，制造技术和信息技术融合步伐



进一步加快。部署实施极大规模集成电路制造、新一代宽带无线通信等一大批重大科技专项，支持了汽车电子、电力电子、数控机床、大型管理软件等技术的研发和产业化。

目前，钢铁、石化、航空、电子等行业信息化水平已有大幅提升，系统集成应用、管控衔接、产销一体化等系统技术水平已居全球领先地位；汽车、家电等行业的关键业务信息系统集成应用开始全面起步。例如，2010年，我国大型煤炭企业网络覆盖程度在90%以上，部分企业初步实现三网融合，数字矿山成为煤炭行业信息化的重点领域。在石油化工、有色金属ERP、MES系统普及率不断上升。机械行业实现研发设计的信息化普及，但在装备制造数字化方面还有待提高。

4. 对战略性新兴产业和现代服务业的助推效果初步显现

“十一五”期间，ICT技术对战略性新兴产业和现代服务业的助推效果也初步显现。在支撑战略性新兴产业发展方面，ICT技术已确立了基础性地位。传感技术、数控技术、激光技术等推动装备制造业走向数字化；CAD、ERP等系统集成软件进一步推动装备制造业向高端、智能方向发展。依托信息化配煤技术、智能电网、电力需求侧管理信息系统等ICT技术，能源的生产、传输和使用全面数字化，为节能环保与新能源发展提供了重要支撑。

在支撑现代服务业发展方面，ICT技术在金融、医疗、教育、餐饮、物流、交通、政务等多个服务业领域获得了广泛应用。信息化已成为提高服务业水平的重要途径，“两地三中心”金融信息系统、交通行业运输调度系统等均取得了显著成效。“十一五”期间，我国电子商务交易规模也快速扩张，2010年交易额超过4.5万亿元。企业电子商务快速发展，成为工业企业购销的重要渠道，以及整合客户、供应商资源的重要手段，涌现出一批电子商务交易额超过2000亿元的行业电子商务交易平台，中小企业网上交易和网络营销的利用率达到42.1%。

5. ICT对居民生活的绿色低碳引导效果初步体现

“十一五”期间，居民生活基本实现了信息化覆盖。计算机、互联网和

手机等 ICT 设备已获得初步普及,极大地丰富和便捷了人民生活,也改变了传统的居民生活方式。截止 2010 年年底,中国网民总数达到 4.5 亿,互联网的普及率达到 33.9%;移动互联网业务迅速发展,用户数突破 3 亿。自 2003 年开始,我国网络购物用户数一直高位增长,2008—2010 年增长率均达到 50% 左右的水平,用户年增长的绝对数量也在持续增大。文化信息资源更加丰富,国家数字图书馆资源总量已达到 480TB。网络信息检索、数据库存储、语音视频通信、网络购物等 ICT 应用,改变了能源消费方式,推动居民生活朝着更加高效、绿色、低碳方向发展。

2.4 ICT 技术促进“十二五”经济转型和低碳发展的潜力分析

作为战略新兴产业的重要内容,“十二五”期间 ICT 产业将迎来重大发展机遇。随着 ICT 技术研发日益加强、ICT 产品优化升级取得成效,ICT 促进经济转型和低碳发展的作用将越发凸显。本章根据国家“十二五”规划的发展目标,设定经济社会发展和 ICT 技术产业的发展情景,量化 ICT 技术对促进经济转型和低碳发展方面的贡献。

2.4.1 我国 ICT 技术及产业发展前景

1. “十二五” ICT 技术发展目标

“十二五”期间 ICT 技术的发展重点涉及七大领域:新一代网络通信系统设备及智能终端、高性能集成电路、新型显示、云计算、物联网、数字家庭、关键电子元器件和材料,如表 2-3 所示。我国计划依托重大工程应用带动,加速 ICT 创新成果产业化进程,打造完整 ICT 产业链,培育一批辐射面广、带动力强的新增长点。



表 2-3 “十二五” ICT 技术发展重点领域

技 术	规 划 目 标
通信	“十二五”期间，电信系 2 万亿元投资计划及广电系近 2 千亿元人民币投资 - 新一代宽频无线移动网、宽频无线城市、下一代互联网、卫星导航等
三网融合	“十二五”末，实现电信网、广电网、互联网三网融合，促进网络互联互通和业务融合 2010—2015 年三网融合将带来超过 3 万亿元人民币的市场规模
物联网	“十二五”期间，发展智能电网、智能交通和智能医疗三大领域 2015 年中国大陆物联网市场规模约达到 8015 亿元人民币，年复合增长率 32.5%
云计算	- 云端运算等技术发展新兴服务示范，实施信息重大应用示范工程 2011 年 10 月，国家拨出 15 亿元人民币作为云计算示范工程专项资金，重点推动国内云计算产业发展、扶持云计算领军企业 - 未来 5 年云计算将保持高速增长，年复合增长率超过 60%
平板显示	- 产业转向成熟期的关键时刻，解决现有技术升级、突破上游设备及材料瓶颈 “十二五”末产业规模占全球比重从“十一五”末的 5% 上升到 20%；材料与器件国产化率从“十一五”末 40% 上升到 90%；装备国产化率由“十一五”末的 10% 上升到 30%
集成电路	- IC 是新一代信息技术的基础和核心，最早出台扶持政策 4 号文 “十二五”末，集成电路产业产值翻番，芯片国产化率从 20% 提升至 29% 左右
LED	- 技术达到国际先进水准，核心设备及关键配套材料国产化，LED 照明示范应用 “十二五”末，产业规模达到 5 千亿元人民币，年均增长率达到 32%
新能源	重点发展新一代核能、太阳能热利用和光伏光热发电、风电技术装备、智能电网、生物质能

2. “十二五” ICT 产业发展目标

ICT 制造业发展目标主要来自工信部《电子信息制造业“十二五”发展规划》，其中涉及三个方面：结构目标、创新目标、节能环保目标。结构目标为：“十二五”期间 ICT 制造业销售收入年均增速保持在 10% 左右，2015 年超过 10 万亿元；工业增加值年均增速超过 12%；ICT 制造业中战略性新兴产业销售收入年均增长 25%。创新目标为：百强企业研发投入占销售收入比重超过 5%、信息领域发明专利申请累计总量达到 130 万件左右、集成电路产品满足国内市场需求近 30% 等。节能环保目标为：显著提升计算机、电视机等整机产品能效、生产过程能源、资源能源进一步降低以及数个具体的能耗和回收利用率指标。

ICT 服务业也将在“十二五”将迎来新的发展机遇。2011 年国务院出

台了《进一步鼓励软件产业和集成电路产业发展的若干政策》，工信部也于2011年年底提出了“十二五”期间ICT服务产业的发展目标：“十二五”期间，ICT服务业将继续保持平稳较快地发展，年均增速达到25%左右。预计到2015年，业务收入将突破3万亿元，出口突破600亿美元，产业结构和质量效益得到全面提升，对国民经济和社会发展的支撑能力显著增强。

3. “十二五” ICT 发展的整体形势展望

“十二五”期间，我国经济发展将更加侧重质量与效益，考虑到国内外经济环境因素，影响按照“稳中求进”的发展基调，预计全国经济增长趋缓，GDP年均增长7.5%左右。

而ICT产业则借助全国经济结构调整、战略新兴产业的东风，有望扭转“十一五”期间受经济危机影响的诸多不利局面，形成良好的发展态势。如果国家规划目标能够顺利实现，“十二五”期间ICT产业年均增长率将达到15%，2015年增加值将达到3.9万亿元（按照2005年不变价计算）。其中ICT制造业增加值将达到约2.25万亿元；ICT服务业增加值达到1.65万亿元。

因此，ICT产业在宏观经济的比重将进一步上升，预计2015年ICT产业增加值占GDP比重将从“十一五”末的6.17%增长到8.6%左右，如图2-8所示。

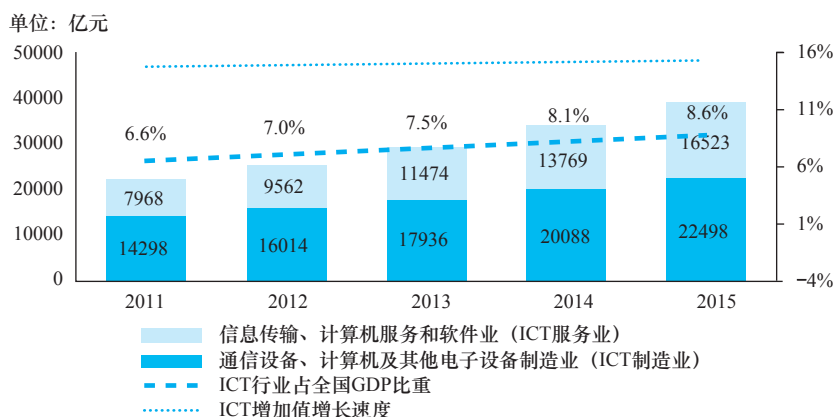


图 2-8 “十二五”时期 ICT 制造业和服务业增加值（2011—2015 年）(单位：亿元)

数据来源：课题组整理，根据国家“十二五”规划目标和行业数据预测，按照2005年不变价计算



2.4.2 分析结果

1. ICT 技术有望在促进产业结构转型中发挥重大作用

“十二五”期间，ICT 产业发展引发的产业结构优化效应将越发显著，ICT 增加值占 GDP 的比重将从 2010 年的 6.17% 增长到 2015 年的 8.6%。鉴于 ICT 产业单位增加值能耗远低于单位 GDP 能耗，ICT 的结构性节能效应将越发显著。

对 ICT 产业内部结构，预计 ICT 服务业年均增长率（20%）大于 ICT 制造业增长率（12%），ICT 服务业比重将从 2010 年的 34% 增长到 2015 年的 42%，如图 2-9 所示，激发 ICT 行业内部的结构节能潜力。

经过初步估算，以 2005 年为基年，则预计“十二五”末，在经济中比重提高带来的结构节能量与 2005 年相比达到 9398 万吨标煤。

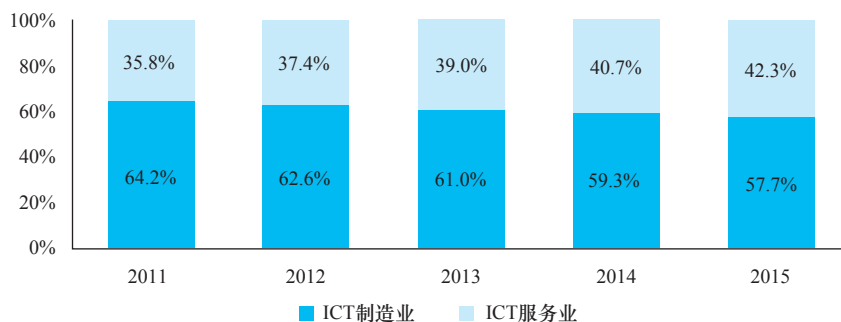


图 2-9 我国 ICT 制造业与服务业增加值比例（2011—2015 年）

数据来源：课题组整理，根据国家“十二五”各项产业规划等预测，增加值根据 2005 年不变价计算。

2. ICT 技术与产品结构升级促进增加值单耗下降，推动 ICT 产业低碳发展

考虑到产业转移、结构升级、节能环保政策趋严等多重因素，我们预计“十二五”时期 ICT 产业增加值单耗将从 2010 年的 191 千克标煤 / 万元下降到 2015 年的 172 千克标煤 / 万元，下降达 9.85%。其中 ICT 服务业增加值单耗下降幅度较大，预计比 2010 年下降 10%，达到 161 千克标煤 / 万

元；ICT 制造业下降 8.5%，达到 181 千克标煤 / 万元（图 2-10）。在此背景下，2015 年 ICT 行业能源消费总量将从 2010 年的 3709 万吨标煤增长到 2015 年的 6723 万吨标煤，年均能源消费增长 12.6%，占全国能源消费总量的比重从 2010 年的 1.14% 上升到 2015 年的 1.72%（图 2-11）。

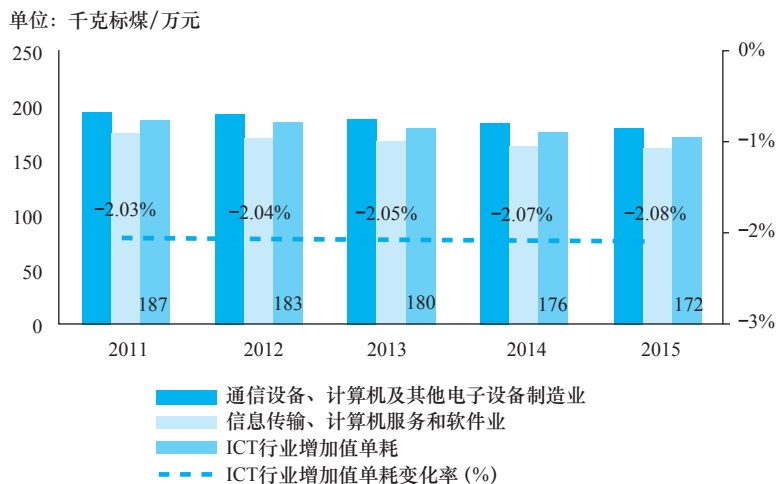


图 2-10 “十二五”期间 ICT 产业增加值单耗情况

注：根据国家“十二五”各项产业规划等预测，增加值根据 2005 年不变价计算

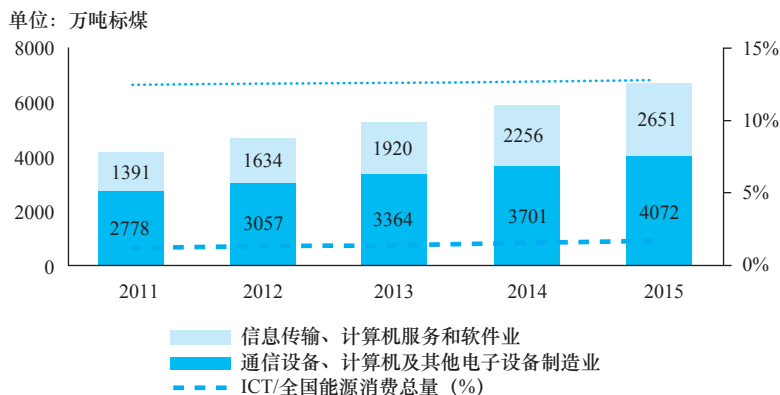


图 2-11 “十二五”期间 ICT 产业能源消费情况

数据来源：课题组整理，根据国家“十二五”各项产业规划等预测，增加值根据 2005 年不变价计算



ICT 在降低碳强度方面效果也较为显著。预计“十二五”期间，ICT 碳排放总量从 2010 年的 8791 万吨 CO₂ 增长到 2015 年的 1.55 亿吨 CO₂，年均增长 12%；单位增加值碳排放从 2010 年的 0.453 吨 CO₂/万元降低到 2015 年的 0.397 吨 CO₂/万元，碳强度累计下降 12%。其中，ICT 服务业碳强度从 2010 年的 0.423 吨 CO₂/万元下降到 2015 年的 0.370 吨 CO₂/万元；ICT 制造业碳强度则从 2010 年的 0.469 吨 CO₂/万元下降到 2015 年的 0.417 吨 CO₂/万元（图 2-12）。

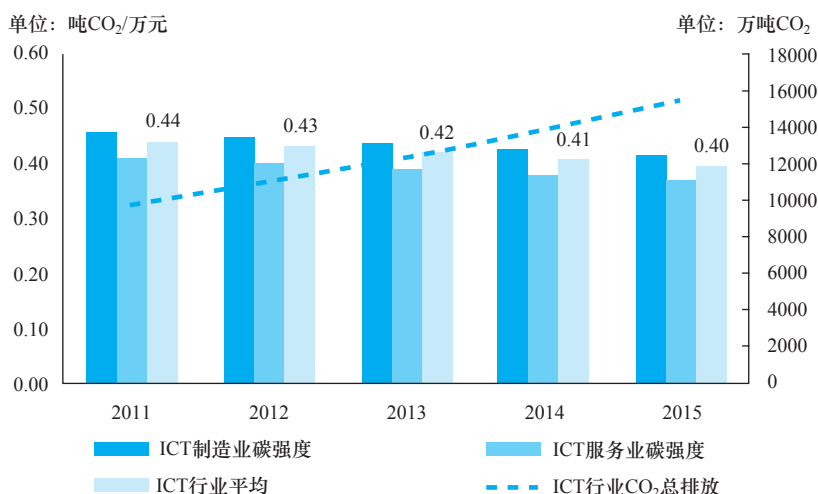


图 2-12 “十二五”期间 ICT 产业碳排放情况

数据来源：课题组整理，根据能源消费总量预测，增加值根据 2005 年不变价计算，碳排放根据行业煤、油、气、电等能源消费量和排放系数计算

3. ICT 技术对传统工业转型升级的多重推进作用将越发显著

“十二五”期间，在实现由传统工业化道路向新型工业化道路转变的进程中，ICT 促进工业转型升级的支撑和牵引作用将越发显著。未来工业领域的 ICT 技术应用，将从单项业务应用向多业务综合集成转变，从单一企业应用向产业链协同应用转变，从局部流程优化向全业务流程再造转变，从传统的生产方式向柔性智能的生产方式转变，从提供单一产品向提供一体化的产品服务组合转变。通过 ICT 技术与工业技术的深度融合，传统制造

业将向数字化、网络化、智能化、服务化转变。近年来日益成熟的企业云技术，将为企业的生产运营信息化提供巨大支撑，根据《工业转型升级规划（2011—2015 年）》，“十二五”期间重点骨干企业信息技术集成应用将力争达到国际先进水平，主要行业大中型企业数字化设计工具普及率达到 85%，主要行业关键工艺流程数控化率达到 70%，主要行业大中型企业 ERP 普及率达到 80%。此外 ICT 技术与传统工艺流程的融合，也将推进产业节能低碳发展。例如正在推广的电能管理信息系统，预计将在 2015 年覆盖 60% 以上的工业企业，降低钢、铜、铝、合成氨等工业产品电耗 5%～30%，预计 2015 年将直接或间接节能近 280 万吨标准煤，减排 CO₂ 600 万吨。

4. 促推战略性新兴产业加快发展，促进经济结构低碳转型

“十二五”期间，ICT 技术对战略性新兴产业发展的支撑作用将更加突出。一方面，以云计算、物联网为代表的 ICT 技术将迎来快速发展期，新一代信息技术产业将获得快速发展。据相关机构研究，“十二五”我国大型企业云计算使用率将从 43% 提升至近 90%，云计算市场年复合增长率将达到 50% 以上。另一方面，ICT 技术将对其他战略性新兴产业和相关技术提供巨大支撑。以物联网技术为例，“十二五”将在环境保护、节能与新能源领域开展若干示范应用，如表 2-4 所示。

表 2-4 “十二五”物联网技术在环保和能源领域的应用

领 域	行 动	时 间 进 度
环保	污染源监控物联网应用示范	2014 年 6 月前，完成 1～2 个企业和医院的应用示范。2015 年年底前，完成全部应用示范
	水质监测物联网应用示范	2014 年 6 月前，完成 1～2 个省份的应用示范。2015 年年底前，完成全部应用示范
	空气监测物联网应用示范	2014 年 6 月前，完成 1～2 个城市的应用示范。2015 年年底前，完成全部应用示范
	生态监管和服务物联网应用示范	2014 年 6 月前，完成 1～2 个功能区的应用示范。2015 年年底前，完成全部应用示范
能源	智能电网物联网应用示范	2014 年 6 月前，完成 1～2 个省网的应用示范。2015 年年底前，完成全部应用示范
	油气供应物联网应用示范	2014 年 6 月前，完成 1～2 个油气田的应用示范。2015 年年底前，完成全部应用示范

数据来源：工信部，物联网“十二五”发展规划 [EB/OL]. 工信部网站，2011-11-28.



此外其他各类 ICT 技术，诸如通用芯片和核心器件、集成电路、新型平板显示器件、绿色电子材料、关键传感器件等也将对其他战略性新兴产业相关技术提供巨大支撑，如表 2-5 所示。

表 2-5 对战略性新兴产业起支撑作用的 ICT 技术

战略性新兴产业	相关 ICT 技术
节能环保产业	在线能源信息计量、监测技术，传感技术，安全监测、检测、预警系统，智能水务等
新一代信息技术产业	新一代移动通信技术、下一代互联网、三网融合、物联网、云计算、高端软件、数字内容处理等方面的相关技术
生物产业	海量数据处理技术、嵌入式软件、系统集成，如数字化医学影像诊断、数字化医院及协同医疗卫生系统、便携式医疗电子设备、精准智能手术设备、治疗微系统、医用传感器等
高端装备制造产业	传感技术、嵌入式软件、系统集成技术，如分布式控制系统、可编程控制器、控制芯片制造技术、传感技术、多点触摸技术
新能源产业	控制技术 / 网络管理技术、智能电网相关技术、数据采集、整理、分析技术
新材料产业	高阻区熔硅单晶、陶瓷覆铜板、铝碳化硅基板、结构件等制造技术、宽禁带半导体材料（碳化硅和氮化镓）和器件等
新能源汽车	电子电气专用元器件、车用芯片、车载信息平台和网络、动力电池和管理控制系统、动力总成控制系统、驱动电机控制、底盘控制、车身控制、车载电子、汽车安全等

数据来源：国务院，“十二五”国家战略性新兴产业发展规划 [EB/OL]. 中华人民共和国中央人民政府网站，2012-7-20

5. ICT 技术将为现代服务业进一步成长提供强力支撑

“十二五”期间，ICT 技术将继续为现代服务业发展提供强力支撑。一方面，ICT 服务业是现代服务业的重要组成部分。随着信息服务和软件开发应用水平的不断提高，信息系统集成服务、互联网增值服务、信息安全服务、数字内容服务、地理信息服务等 ICT 服务业将获得快速发展。另一方面，ICT 技术将在金融、商务商贸、物流、交通、医疗、科技教育等具有巨大的应用前景，全面推进服务业向信息化、智能化、数字化方向发展。

其中，物联网技术被认为在推进服务业发展方面具有巨大潜力。通过物联网在安防、能源、交通、物流、医疗、环保等领域的应用，可以实现智能运营管理、智慧用能、高效物流、个人健康监护、远程医疗、环境监

测、市政设施监控、楼宇节能、食品药品溯源等多个方面的功能。如果能够获得广泛应用，将对服务业发展产生巨大促进作用，如图 2-13 所示。

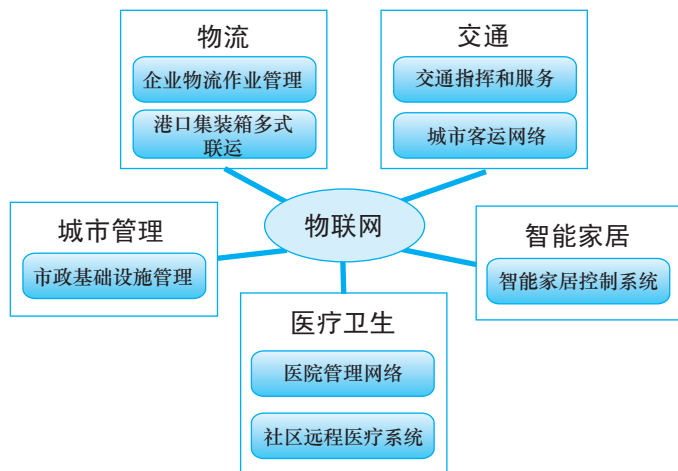


图 2-13 物联网在现代服务业和民生领域的主要应用

6. ICT 技术将逐步推进居民生活绿色低碳化发展

“十二五”期间，ICT 技术将进一步渗透至居民生活的各个方面，并引导生活模式绿色低碳发展。在民生领域，通过 ICT 技术在家居、医疗、环保和安防等领域的应用，信息化、智能化水平将大幅提升。特别是物联网的逐渐成熟与推广，包括“社区远程医疗”、“市政基础设施管理”、“智能家居应用”等应用，将显著改变居民生活方式；在满足居民生活需求，提高生活水平的基础上，提高能源利用效率。在社会服务领域，基于 ICT 技术与各类服务业的深度融合，智能交通、电子商务、现代金融系统，必将改变居民的出行和消费方式，推动居民消费的绿色、低碳转型。

2.5 本章小节

机制分析表明，ICT 可以从六大方面对我国经济转型和低碳发展产生促进作用，主要体现在支撑 ICT 产业做大做强，促进产业结构低碳转型；促进 ICT 产业自身低碳发展；促推战略性新兴产业加快发展，促进经济结构



低碳转型；促推传统工业转型升级；支撑现代服务业加速成长；推动居民生活模式绿色低碳化。

根据实证分析看出，“十一五”时期虽然 ICT 行业能源强度下降趋势良好，但受经济危机影响产业的优势和结构调整作用没有充分发挥；“十二五”时期伴随国际经济复苏、国内经济结构调整、战略新兴产业发展等多重有利因素，预计 ICT 产业对经济转型、促进节能和低碳发展具有巨大的潜力。以 2005 年为基年，“十二五”末 ICT 产业相对于 2005 年定比节能总贡献量有望达到 1.01 亿吨标准煤。预计“十二五”全国相对于 2005 年定比节能量为 7.5 亿吨标准煤，则 ICT 产业贡献率达 14%，ICT 产业每提高一个百分点的潜在节能量达 3802 万吨标准煤，详见表 2-6。

表 2-6 “十一五”、“十二五” ICT 产业对我国经济转型和低碳发展贡献（2005 年为基年）

	单位	“十一五”时期	“十二五”时期
增加值增长率	(%)	10.8%	15%
占全国 GDP 比重变化	(%)	-0.11%	2.47%
能源强度下降量	(%)	10.1%	9.9%
节能量总贡献	(万吨标准煤)	65	10133
增加值能耗下降节能量	(万吨标准煤)	414	735
结构节能量	(万吨标准煤)	-350	9398
碳强度下降量	(%)	5%	15%

注：表中节能量均为定比节能量，“十一五”时期数据是实际统计数据，“十二五”时期数据是现实数据

第3章

测算 ICT 技术节能减碳潜力的方法学



- 已有成果回顾
- 方法学的构建目标和原则
- 核算流程
- 节能减碳机制识别方法
- 确定核算边界
- 节能减碳效果核算
- 未来潜力评估——情景设置
- ICT 与其他技术的节能减碳贡献划分
- 本章小节



3.1 已有成果回顾

随着 ICT 技术的快速发展，其在能源节约和温室气体减排领域的作用也日益凸显出来。从 21 世纪初开始，国内外开始出现针对绿色 ICT 发展和应用的研究，如构建评价 ICT 节能减碳效果的方法学，或是评价具体 ICT 在某一领域应用的节能减碳效果等。主要研究内容和方法如表 3-1 所示。

表 3-1 国内外 ICT 节能减碳研究总结

研究名称	时间	机构	主要内容与方法
Saving the climate @ the speed of light: First roadmap for reduced CO ₂ emissions in the EU and beyond	2006	WWF ETNO	从三个方面评价 ICT 的减排效果：交通替代、非物质化和其他系统技术。考虑了直接减排、间接减排和系统减排的效果，并将设备和生活方式等因素的变化纳入核算
SMART 2020	2008	Climate Group	通过标准化、监控、计算、再思考（创新）、转变五种方式减排测算以及技术与服务带来排放增量测算获得非物质化、智能电机、智能建筑、智能电网、智能物流五方面的碳排放足迹
The potential global CO ₂ reductions from ICT use: identifying and assessing the opportunities to reduce the first billion tones of CO ₂ emission	2008	Ecofys and WWF	分析比较相关文献关于 ICT 减排潜力国内外的研究，通过对不同 ICT 技术在建筑、工业生产、排污、交通、能源供应系统、土地等不同领域的 CO ₂ 减排潜力测算，根据 ICT 技术、政策和人们行为的变化趋势，估计 ICT 技术在 2030 年的减排潜能
Innovation toward a low carbon Canada: Using technology to transform tomorrow	2008	WWF Canada	通过对技术的推广率，技术导致的交通运输能源减排的测算，分析了远程办公、拼车系统、电视会议、电子商务和智能建筑这五个 ICT 技术的减排量，并对加拿大 ICT 未来的发展提出了建议
Towards a High Bandwidth: Low-Carbon Future	2008	Climate Risk Pty Ltd	分析了澳大利亚减排的 7 个途径（远程电器电源管理、Presence-based power、分散化 Business district、私有化公共交通、实时货运管理、可再生能源、在线视频会议），通过人口统计量、建筑和交通工具能源消耗和能源 CO ₂ 排放量的测算量化各途径的减排量

(续表)

研究名称	时间	机构	主要内容与方法
Assessment of Global Low-Carbon and Environmental Leadership in the ICT Sector	2008	Gartner WWF	对 15 个主要 ICT 公司的环境维度、供应链维度、内部管理和低碳意识、产品 / 服务组合定位、低碳产品开发和低碳推动力等方面评估和测算其现阶段节能减排贡献及未来潜力
From workplace to anyplace	2009	ECOFYS WWF Sweden CONNECORE	关于移动办公与会议的节能减排研究, 通过该技术在一定的社会经济情况下对陆上交通和飞机的替代测算其能耗节约的潜力, 并在基于未来四种社会导致技术的推广程度进一步预测这两种方式碳减排潜力
低碳通信方案在中国——基于中国移动低碳实践的分析	2010	WWF 中国移动通信集团 北京邮电大学	基于对中国移动重庆分公司 14 个 ICT 技术低碳方案的 CO ₂ 减排量模型测算, 估算中国移动 2009 年公司总体在无线通信上的 CO ₂ 减排量, 并预测公司在 2010、2020 和 2030 年主要领域的减排潜力
ICT 产业促进中国低碳经济发展	2010	中国电子学会 节能工作推进委员会 英特尔 惠普 联想 诺基亚	从 ICT 产业本身和 ICT 产品对其他行业的贡献两方面着手, 评估未来 2020 年 ICT 对中国经济增长和低碳发展的贡献。其中, 结合 SMART2020 中的分析方法, 从技术的全生命周期着重分析智能电网、智能建筑、智能电机、智能物流和非物质化五大 ICT 技术的节能减排潜力分析
Evaluating the carbon-reducing impacts of ICT	2010	GeSI	根据设计了通过对 ICT 技术带来的直接和间接减排量、ICT 技术本身带来的排放增量和反弹效应的罗列和筛选, 在考虑技术设备全生命周期情况下, 对 ICT 技术节能减排能力测算的方法论, 并且运用设计的测算方法对具体的 ICT 技术案例进行 CO ₂ 减排能力进行测算

可以看出, 上述关于 ICT 节能减碳研究具有如下特点。

(1) 针对具体 ICT 技术节能减碳效果的案例评估较多, 但鉴于不同 ICT 技术的节能减碳机制不同, 案例研究难以覆盖行业所有技术。少部分



研究涉及初步的核算原则和方法，但面对复杂的能源系统和技术应用实例，往往力不从心。

(2) 已有关于 ICT 技术分别在项目 / 行业 / 全社会范围节能减碳贡献的测算研究，但测算边界和方法的选取缺乏系统性。有部分研究采用的是通过案例研究直接放大到全社会范围的方法，这可能引入较大的不确定性。

(3) 部分研究只能评价 ICT 技术单独发挥作用时的节能减碳能力，对 ICT 技术和其他领域技术合作完成的节能减碳贡献，难以有效和准确界定，导致测算出的节能减碳效果偏大。这是目前相关领域研究的最主要问题，也导致能源 / 气候变化研究领域专家对部分研究成果提出了质疑。

(4) 侧重 ICT 节能减碳效果的现状 / 短期评价，对应用领域未来发展趋势考虑不够充分。目前研究较多是针对单一时间点的节能效果，或技术应用前后的比较；但是即使没有 ICT 技术，未来全社会的服务需求和模式也将发生巨大变化，如研究智能交通时，需要考虑未来交通需求结构的变化，以及清洁能源的使用。

因此在现有的研究基础上，构建更为系统、科学化的研究方法论十分必要。

3.2 方法学的构建目标和原则

3.2.1 构建目标

为科学评价 ICT 技术在节能低碳领域的贡献和潜力，筛选并推广重点绿色 ICT 技术，为相关政策制定提供量化支持，本书将建立一套量化评价不同的 ICT 节能减碳效果方法学体系。其中包括节能 / 减碳机制分析方法、边界划定依据、具体测算流程和原则、未来趋势和潜力评估方法等内容，既可以核算当前效果，也可以评估未来的节能减碳潜力。

具体而言，本文研究的方法学体系应具有以下的功能特点。

(1) 适用于不同类型、不同应用领域 ICT 技术的节能减碳效果评价。

由于 ICT 技术的功能复杂多样，不同领域和应用范围不尽相同。有必要建立一套能够测算各类 ICT 技术应用于不同应用领域的方法学体系，用于评价 ICT 技术的节能减碳效果，包括总体核算流程、边界划定依据、机制选取方法等。

(2) 根据 ICT 应用的不同范围，合理设定核算边界和方法，不同范围的 ICT 的减排效应可放大、可比较。

ICT 技术大多以间接减排为主，减排机制复杂多样。同一技术在不同范围可能呈现不同的减排效果。例如，某些 ICT 设备被应用于具体工艺环节时可能产生直接节能效果；某些 ICT 系统则通过监测和控制功能实现系统节能。要准确核算 ICT 的节能减碳潜力，需要首先划定核算边界，选定节能减碳机制。

(3) 当节能减碳效果由 ICT 与其他技术合作产生时，可清晰合理地界定 ICT 的具体贡献。

部分 ICT 不能单独产生节能减碳效果，而是需要其他配套技术配合完成。结合 ICT 与配套技术各自功能和成本等因素，本方法学将提出界定各自节能减碳贡献的方法，这将对筛选重点的绿色 ICT 技术和明确技术路线具有重要意义。

(4) 可以评估 ICT 技术在未来发展情景下的节能减碳潜力。

多数 ICT 技术正处于快速发展和应用阶段，未来技术功能和应用领域可能发生较大变化。在核算未来 ICT 的节能减碳潜力时，须进行综合考虑，特别是产业规模、服务模式、能源结构等因素的趋势性变化。

3.2.2 构建原则

1) 普适性原则

方法学应适用于不同 ICT 技术、不同领域应用产生的节能减碳效果核算。鉴于 ICT 技术的多样性和应用领域的复杂性，方法学应尽量全面地考



考虑各类 ICT 技术可能产生的节能减碳效应，并将不同应用领域、应用模式的背景特征在核算方法中予以体现。

2) 可操作性原则

在具有充分广泛性的基础上，方法学应具有较强的可操作性。当需要对某一 ICT 技术的节能减碳效果进行评价时，方法学可以作为指导手册，引导使用者按照一定的原则、流程和方法开展核算工作。

3) 系统性原则

方法学应全面核算应用 ICT 技术在能源和 CO₂ 排放方面的所有影响，包括对节能减碳的正面贡献和负面成本，如 ICT 技术 / 设备自身的生产 / 运行能耗。在进行长期效果评价时，要考虑应用领域或应用对象未来发展趋势。

4) 准确性原则

核算方法应尽量全面、科学，防止夸大。对于可能产生复杂节能减碳机制的 ICT 技术，应尽量明确节能减碳机制，逐条开展核算。对 ICT 与其他技术合作发挥的节能减排效应，应根据技术功能、装备先后和技术成本，提出合理的界定依据。

5) 可比性原则

方法学应支持重点绿色 ICT 的甄选，或对 ICT 与其他节能技术的优劣进行比较。因此，对于不同类型的 ICT 技术，方法学应设计系统的减排机制识别体系，防止重复核算或漏算；并科学设定核算边界，保证不同边界范围下 ICT 的减排效应可放大 / 缩小、可比较。

6) 可预见性原则

ICT 技术发展速度较快，技术功能和性能也在不断革新。未来 ICT 的发展甚至可能突破人们的想象力，节能减碳的潜力无限。对核算方法而言，则需要立足现有技术的功能特点，稳妥评估 ICT 的节能减碳能力。

3.2.3 难点和关键问题

为实现上述目标，需要克服如下困难：

(1) 多数 ICT 不是专门的节能减碳技术, 缺乏相关数据是准确核算的主要困难。

多数 ICT 技术的核心功能是使人们的生产生活更加便捷, 并不是专门的节能减碳技术。部分 ICT 可能兼有节能减碳功能, 但具体效果缺乏实证。此外 ICT 设备的生产和运行会带来更多能耗, 同时也能刺激能源消费需求的增长(有研究表明, 网络购物降低了退换货的成本, 网购消费者变得更加盲目随意, 大量退换货使交通能耗提高, 但具体数据不详)。在核算 ICT 的节能减碳效果时, 相关数据的缺乏将成为一大难点。

(2) 不同 ICT 发挥节能作用的机制不同, 实现普适性难度较大。

本书希望构建适用于所有 ICT 技术的节能减碳评价体系。但作为多元化的技术集合, 不同 ICT 技术发挥节能减碳作用的机制是不同的, 如视频会议等“非物质化”技术, 通过降低产品/服务需求实现节能; 能源信息系统则通过检测和控制实现系统节能; 可再生能源调度系统通过促进清洁能源上网实现减碳等。如何构建普适的测算方法, 能够在复杂的应用背景下, 对各类 ICT 的不同节能减碳机制进行核算, 难度较大。

(3) 不同减排机制需要在不同边界内核算, 边界选择十分关键。

在核算 ICT 技术的节能减碳效果时, 不同机制对应的核算边界不同, 如核算某一 ICT 技术产生的直接节能效果时, 可以在具体工艺环节层面开展核算; 核算 ICT 替代/优化传统用能方式, 从而产生间接节能效果时, 需要根据 ICT 的普及率和应用效果, 选择适当的应用范围如项目/企业、行业或全社会层面开展核算。因此核算边界的选择, 应与筛选 ICT 的节能减碳机制结合起来, 这对提高核算的准确性和可比性十分重要。

(4) 通常与其他技术合作发挥减排效用, 减排贡献难以划分。

有时 ICT 技术无法独立发挥节能减碳效果, 需要与配套设备合作。例如在智能电网系统中, 除信息化的监测、分析和控制技术外, 还需要电力系统、发电设备及终端用电设备的相关技术协作。把所有节能减碳效果归功于 ICT 显然不客观, 但如何界定各类技术的贡献是一大难点。



(5) 应用领域未来发展的不确定性，为估算 ICT 节能减碳潜力带来难度。

随着未来经济社会发展，产业结构、需求模式、技术设备均会发生较大变化。ICT 技术的应用需求可能扩大或缩小，如未来电动汽车的广泛应用，可能使分布式电能管理系统大派用场；但非化石能源的广泛使用，将使火电厂相关信息化技术的节能效果降低。综合评估未来 ICT 减排潜力，需要考虑未来产业结构和消费模式的变化趋势。在此方面的难度是，需要对未来经济社会系统和能源系统有全面把握。

(6) ICT 自身功能和技术模式不断创新，未来节能潜力难以估量。

作为不断创新发展的技术，未来 ICT 的功能将越发强大，应用领域也将不断拓展，在节能减碳领域做出的贡献将难以估量。在 ICT 的发展进程中，运算功能的提升、通信容量的爆炸、服务体验的人性化等出现了太多的奇迹。ICT 技术发展的不确定性为预测 ICT 技术节能减碳能力带来了极大困难。

3.3 核算流程

为了测算各类 ICT 技术在不同领域应用产生的减碳效果，需要建立一套系统和完善的方法学体系，其中的关键在于：针对具体的应用领域，ICT 通过何种机制产生减碳效果？核算的边界是什么？ICT 与其他技术的减碳贡献是否重合？这些问题彼此联系，考虑上述问题的先后顺序，直接影响着测算结果的可信性和准确性。因此需要构建一个科学、普适、易操作的测算流程方法，以指导 ICT 技术的节能减碳评价。

测算流程主要包括七个环节：明确研究目标和范围、技术和应用背景分析、节能减排机制识别、确定核算边界、节能减碳效果核算、未来节能减碳潜力评估和技术贡献界定，如图 3-1 所示。



图 3-1 ICT 技术节能减碳能力测算流程

3.3.1 明确研究目标和研究范围

在开展研究之前，首先要明确研究目标和读者，是为个人提供低碳的产品或生活方式的建议，还是为企业产品成本收益分析，或者是为政府提供 ICT 产业发展及 ICT 技术推广的政策建议。

作为政策支持性研究，本书更关注 ICT 在全社会层面产生的综合性影响，如改变生产生活方式、提高能效、新增运行和制造成本等。针对不同类型的 ICT 技术，将从不同的范围（项目 / 企业 / 行业）入手开展核算，最终放大到全社会范围的估算上。



3.3.2 技术和应用背景分析

作为基础分析，要掌握 ICT 的技术原理、核心功能和设备需求。对具有单一技术特征，或由单一设备实现的 ICT 技术，须明确工作原理和具体功能；对于抽象的“概念型” ICT 技术，须对其中涉及的多项技术进行辨识，细化核心功能和设备需求，包括 ICT 设备和相关配套设备，如空调、采暖、配电设备等。

其次明确 ICT 的作用主体和应用模式：一是明确 ICT 不同功能的作用主体，即“利益相关方”；二是了解 ICT 的应用背景和应用模式，明确在整个工艺过程中 ICT 发挥功能的具体环节。

3.3.3 节能减碳机制识别

识别和筛选 ICT 的节能减碳机制，是整个方法学的核心。通常分为三个步骤：

(1) 情景设定和比较。为突出体现 ICT 的影响，设定基准情景 BaU（维持现有技术模式，未应用 ICT）和 ICT 技术应用情景。在情景比较中，为了对比 ICT 与 BaU 之间的区别，应从 ICT 功能出发，明确各项功能作用的主体（利益相关方），并明确对作用主体的哪些因素产生影响。

(2) 因素归类。比较获得的影响因素可能是纷繁复杂的，不利于清晰地识别节能减碳机制，需要把因素归类。针对不同的生产 / 服务类别，可以把不同因素自上而下归类成“产品 / 服务需求量”、“产品 / 服务结构”、“设备需求”、“非化石能源使用”、“能源效率”五方面。例如，“智能交通”可能影响居民交通出行结构，提高“公共交通出行分担率”，属于需求层面影响；还会影响交通设备运行效率，降低“机动车单位周转量能耗”，属于效率层面影响。

(3) 识别机制。梳理 ICT 的各类影响，明确细化为逻辑清晰的若干机制，判断各机制的相关性。筛选主要的、可核算的机制纳入核算体系。

3.3.4 确定核算边界

在明确 ICT 的作用主体和节能减碳机制后，需要划定核算边界，即明确将什么因素纳入节能减碳核算范围，哪些是背景因素，哪些是体现 BaU 和 ICT 差异的情景参数。边界划定过程应遵循一主一次两个维度。

主是“生产 / 服务需求的实现流程”，考虑产品 / 服务需求量、需求结构、技术和设备需求、设备用能结构、用能效率五方面所涉及的因素，并参考 BaU 和 ICT 情景的差异，明确背景因素和情景参数。

次是“产品的生命周期”分析。针对核算中所涉及的主要产品，尽量从原料制造、生产组装、物流、使用、回收处理的全生命周期角度开展分析。如果 ICT 不涉及其中的具体环节，则相关参数将作为背景因素考虑。

3.3.5 节能减碳效果核算

基准划定：明确核算边界内，BaU 情景下的各参数的取值情况。如果仅研究某一时点（如现状或效果研究），则须确定该时点的基准值；如要研究未来节能减碳潜力，则须设定各参数随时间变化的基准线。

明确相关因素逻辑：ICT 通过多条节能减碳机制，影响不同主体的多个因素；不同因素间可能存在交互影响。在研究中需要将这种影响转化成可量化表示的逻辑关系，并明确哪些因素在核算中外生，哪些因素内生。例如研究“手机报”案例时，手机报与纸质报纸的相互替代使两种用户数量存在量化关系，通常选择手机报用户数量为外生，同时设定出两者的替代弹性，纸质报纸用户数量可以作为内生变量。

ICT 效果评估：参照 BaU 划定的基准值，量化设定 ICT 对各外生因素的影响。在核算边界内，根据核算逻辑，分别求解出 BaU 和 ICT 情景下的总能耗和 CO₂ 排放，相减获得 ICT 的节能减碳效果。需要说明的是，为了便于对比，对非 ICT 影响因素，在 BaU 和 ICT 情景下应设定相同值。



3.3.6 未来节能减碳潜力评估

如要评估未来 ICT 的节能减碳潜力，应在核算边界内，设定外生因素的未来值。外生因素包括三类：

（1）体现 ICT 影响的参数，属于核心参数，如 ICT 在提高能效、调整需求结构方面的实际功能。取值时应充分尊重 ICT 应用的事后效果评价，并应对比 BaU 情景，使参数设定更加合理。

（2）关于 ICT 技术的性能、生产和运营成本、推广规模、制造和运行能耗。除推广规模外，其他数据较容易获取，ICT 厂商通常有较好的数据基础。推广规模参数可以作为情景参数给定。

（3）应用领域的发展趋势，如产业发展、需求结构、生产方式、能源结构等因素。需要说明的是，在应用领域发展的情景设置方面，应与 ICT 技术的性能和推广度挂钩，而明确两者间的量化关系将是研究的难点。

3.3.7 贡献划分

对于 ICT 与其他技术合作发挥的节能减碳效果，需要进行合理地划分。主要考虑如下因素：一是功能判断，即在实际应用中，哪种技术可以独立发挥作用，或两种技术以哪个为主；二是成本划分，即需要根据不同技术的生产、安装和运营成本进行划分。

3.4 节能减碳机制识别方法

识别和筛选 ICT 的节能减碳机制，是整个方法学的核心。通常分为三个步骤：

（1）设定情景；

(2) 情景比较；

(3) 识别机制。

通常，不同 ICT 技术可能通过不同方式产生节能减碳效果，因此需要识别 ICT 的影响因素和具体机制。

3.4.1 情景设定和比较

为了分析并识别 ICT 的影响机制和影响因素，研究采用情景比较的方法，设定基准情景 BaU 和 ICT 技术应用情景。BaU 为维持现有技术模式的情景，ICT 技术未被应用，社会生产 / 生活服务需求通过传统方式实现。ICT 情景则体现逐步应用 ICT 的情况，ICT 应用将经历从无到有、从小到大的过程。

在初步的情景设定中，应结合 ICT 的功能特点和应用领域，明确 ICT 影响的生产 / 服务需求的类别，以及利益相关方（作用主体）。并参照 BaU 情景下的社会服务 / 生产模式，定性分析 ICT 应用后对各作用主体产生何种影响，影响涉及的因素有哪些。表 3-2 给出了当前典型 ICT 技术的服务类别、利益相关方、具体功能和主要影响因素，可以作为其他 ICT 节能减碳机制分析的参考。

表 3-2 典型 ICT 技术的影响分析

ICT 技术	服务类别	作用主体 (利益相关方)	实现功能	主要影响因素
智能交通	城 市 客 运 交 通； 城 市 货 运 交 通	市民	便利公交出行，对私家 车需求降低	公共交通出行分担率； 私家车出行分担率； 私家车拥有数量
		公交公司	公交需求增大，公交车 行驶更加通畅，逐步推广 纯电动公交车	公交车数量； 电动公交车比例； 公交车单位周转量能耗
		出租公司	“拼车”模式推广，行 使更加通畅	出租车出行分担率； 出租车单位周转量能耗



(续表)

ICT 技术	服务类别	作用主体 (利益相关方)	实现功能	主要影响因素
智能交通	城市客 运交通; 城市货运 交通	出租公司	“拼车”模式推广,行使更加通畅	出租车出行分担率; 出租车单位周转量能耗
		货运需求企业	货运成本降低,更加方便快捷	货运需求
		货运企业	减少车辆空载率,市内货运行驶更加通畅	货运单位周转量能耗
		道路交通建设方	减少道路、桥梁拥堵情况,降低新建道路需求;需要新建道路监控设备和充电设备	公路新建数量; 智能交通设备数量; 智能交通设备制造能耗
智能电网	电力的 供应、传 输和消费	发电企业	提高发电机组运行效率;更积极地推广可再生能源发电技术;降低发电厂自用电比例	可再生能源发电装机容量 电力机组的运行效率(发电煤耗等); 发电结构; 电厂自用电率
		输配电企业	减少输配电损耗;更精确地掌握用电负荷,及时反馈给发电端;更积极地接纳和调度可再生能源电力	输配电损耗 上网电源结构
		电力用户	监测、审计用电情况,减少浪费; 动态、精确地控制用电设备运行,提高用电效率; 促进不同用电设备的协调配合,推进系统节能; 及时上报各终端用电负荷情况; 支撑分布式可再生能源发电的自用和上网	单位设备用电效率; 设备系统的整体运行效率; 终端的可再生能源利用率

(续表)

ICT 技术	服务类别	作用主体 (利益相关方)	实现功能	主要影响因素
智能建筑	建筑内的生产经营需求或生活需求	居民、商业和公共服务机构	通过信息监测、反馈、优化系统，实现自动化照明、供暖和制冷、按需通风、电压优化等功能； 更大范围地应用分布式可再生能源（光伏屋顶、地热系统等）	单位服务量的能源消耗（采暖、洗浴、炊事、照明）； 用电结构； 宜居满意度
		能源供应部门	建筑将以更平稳、高效、低碳的模式运行，电力需求曲线平稳，降低能源供应压力； 接收来自终端的分布式可再生能源电力，能源供应更加低碳和多元化	电力传输损耗； 电源结构
电子化	网络办公、视频会议	政府、企业等部门	减少办公用品需求； 减少办公场地建设和使用能耗	纸张等办公耗材需求量； 会议室或办公场所的能耗
		交通部门	减少客运交通需求	交通周转量
		IT 设备制造商网络通信服务商	增加网络通信需求； 增加 IT 设备需求	设备产量 / 需求量； 网络通信需求
	电子出版物	阅读者	改变阅读方式，更多地接受电子出版物	电子出版物需求量； 纸质出版物需求量
		传统出版社、印刷厂	降低纸质出版物需求	纸张需求； 排版印刷需求； 交通物流需求
		电子出版商	增加电子出版物需求	相关 IT 设备需求
		网络通信服务商	增加网络通信需求	网络通信需求

3.4.2 因素归类

梳理 ICT 应用前后各服务类别和影响因素的变化情况，根据 BaU 和 ICT 情景的比较，将受影响的主要因素划分成自上而下五大类：“产品 / 服



务需求量”、“产品 / 服务需求结构”、“相关技术和设备需求”、“非化石能源使用”、“设备运行效率”。表 3-3 给出了典型 ICT 技术影响因素的归类情况。

可以看出，经过归类后的 ICT 影响因素，可以清晰地体现出 ICT 对不同的服务类别的影响层次，也可以较容易地关联至对能源和碳排放的影响上，为明确节能减碳机制打好了基础。

表 3-3 ICT 技术影响因素归类

BaU/ICT	服务类别	产品 / 服务需求量	产品 / 服务需求结构	相关技术和设备需求	非化石能源使用	设备运行效率
智能交通	城市客运交通	—	客运公共交通出行率提高（公交公司）； 出租车分担率略有提高（出租公司）； 私家车比率降低（市民）	私家车需求降低（市民）； 公交车需求增大（公交公司）； 道路建设需求降低（道路交通建设方）； 监测遥感和通信设备需求增加（道路交通建设方）		公交车（公交公司）、出租车（出租公司）、私家车（市民）的单位周转量能耗下降
	城市货运交通	货运需求量提高（货运需求企业）		道路建设需求降低（道路交通建设方）； 监测遥感和通信设备需求增加（道路交通建设方）		货运车辆的单位周转量能耗下降（货运企业）

3.4.3 机制识别与筛选

在前两节中，针对不同的服务类别，应用 ICT 产生的各种影响已经被划分成五个层次，并聚焦到具体的作用主体和影响因素上。以此为基础，可以比较清晰地明确 ICT 的节能减碳机制。

1. “机制”的定义

ICT 通常对应用领域中的多方面因素产生系统性影响，各影响间又存在

复杂的传导机制。为了更清晰地核算 ICT 技术的节能减碳效果，需要将原本相互交织的系统性影响分解成若干相互独立的节能减碳机制。这样不仅可以使后面的核算工作更加清晰有效，也避免了由于同时考虑多个作用主体的变化，导致重复计算的发生。

例如，网络购物的发展降低了商场的运营和库存能耗，减少了消费者的交通出行需求，但又在另一方面增大了货运物流成本。同时，网络购物也大大提高了购物的便捷度，并显著降低了交易成本，间接地造成货物退换比率提高，引发更多的浪费。案例中作用主体的多样性，以及系统链条之间的相互交叉，给核算节能减碳效果带来较大困难。

按照不同服务类别和作用主体，ICT 的影响已经被细化到五个层面。本书将“ICT 针对某一服务类别、某一对象主体、产生的某一层面影响”定义为一条“节能减碳机制”。因此表 3-3 中的每一条均可以作为备选机制。

2. 判断机制的因果关系

为了筛选主要的节能减碳机制，首先要明确各影响机制间的联系。在表 3-3 所示的机制中，某些是由于 ICT 功能产生的直接影响，某些则是由于直接影响的积累产生的间接影响，甚至是再间接影响。对各机制间因果关系的把握，有利于筛选机制，如图 3-2 所示。

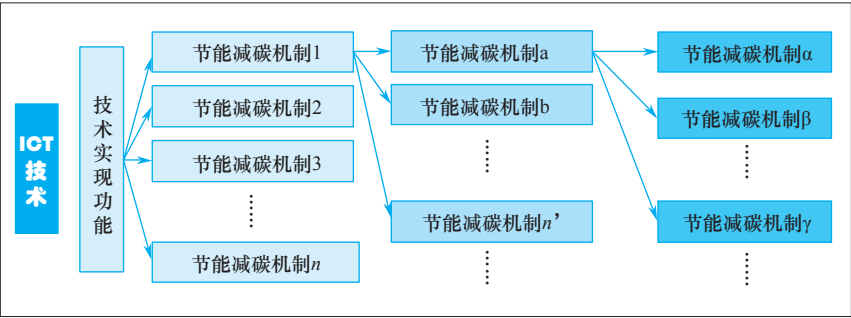


图 3-2 ICT 技术节能减碳机制因果关系分析

节能减碳机制 1 ~ n:ICT 的功能决定了其会直接影响某些因素，如果 ICT 功能是“动态监测”，则可能“优化系统运行效率”；如果是“生产自动化”，则对应“降低设备需求和能耗”；如果是“提供便捷服务”，则侧重“引



导更节约的生产和消费方式”等。此外 ICT 也会引发直接负面影响,如增加了 ICT 设备生产能耗和运行能耗等。

节能减碳机制 $a \sim n'$: 由于上一级机制引发的影响机制,例如在智能交通案例中,由于智能交通系统优先确保公交车行驶更加通畅,市民选用公交出行的意愿提高,使用私家车意愿降低;如果智能交通系统大规模普及,城市公共交通出行分担率将显著提高,私家车出行比例降低。

节能减碳机制机制 α 、 β 、 γ …… : 由机制 $a \sim n'$ 进一步深化引发的连锁反应,例如私家车出行比例的降低,将逐步缓解道路拥堵,降低道路建设需求。

按照因果关系和发生的先后顺序,可以将各影响机制进行归类。通常直接影响机制是需要纳入核算体系的,间接影响机制则需要考虑研究范围和 ICT 的推广规模。

3. 进一步筛选原则

1) 主要功能产生的长期影响机制应纳入核算

影响机制 $1 \sim n$ 是由 ICT 实用功能引发的直接影响,无论 ICT 的普及率如何,都会在第一时间体现出应用 ICT 引发的直接减碳/增碳效用。因此,绝大部分的直接影响机制均应纳入核算,除非部分功能不是 ICT 的主要功能,或者某些功能不能较长期、稳定地发挥作用。

2) 考虑时间跨度和普及率

影响机制 $a \sim n'$ 通常是随着 ICT 的广泛应用,经过一段时间体现出的深化效应。核算此类影响机制,应考虑该机制发生的时间跨度,与研究设定的目标年度之间的关系。此外也要考虑技术普及率,如果是可预见的,某类 ICT 可能在目标年之前获得较大规模的推广,则应考虑将该机制纳入核算。

3) 数据的可获取性

本条原则不是主要的判断依据,仅适用于 1) 和 2) 两条判据难以决断时的情况。为确保核算准确,对某些直接影响不显著、间接影响程度不确定的机制,如果具备核算所需的数据,则将其纳入核算框架;反之,则忽略该机制。

3.5 确定核算边界

确定核算边界，就是要明确：在针对 ICT 节能减碳效果的核算中，考虑哪些因素纳入核算体系，将哪些因素排除在外。除了上一步骤筛选出的各影响因素要纳入核算框架之外，为形成完整、闭合的核算体系，其他相关因素也要纳入核算边界。

3.5.1 根据生产 / 服务需求的实现流程判定

在研究范围内，以总生产 / 服务需求的能源消耗和 CO₂ 排放为基础设定核算边界，是确定核算边界的系统性方法，如表 3-4 所示。根据 3.4.1 节确定的服务类别，可以确定 ICT 影响的生产 / 服务需求。以此为基础，进一步考虑不同的需求实现方式、每种实现方式所需的技术设备、每台设备消耗的能源品种以及能源效率。上述每个环节所涉及的因素，都应在核算中予以体现。区别在于：对受 ICT 影响而发生变化的因素，需要在 BaU 和 ICT 情景中分别设置，其他参数则为背景参数，统一设置。需要说明的是，背景参数不一定是常数，也可以随着经济社会发展和技术进步发生改变。

表 3-4 ICT 技术节能减碳潜力核算边界划定

BaU/ICT	服务类别	产品 / 服务 需求量	产品 / 服务 需求结构	技术和设备 需求	设备用能 结构	设备用能效率
情景设置 参数	BaU	-	交通出行率 (%)	交通工具数	纯电动车 普及率	单位周转量能耗
			• 步行	量 (辆)	• 公交车	• 公交车 (电 / 油)
			• 自行车	• 公交	• 地铁	• 出租车 (电 / 油)
			• 公交车	• 地铁	• 出租	• 私家车 (油)
			• 地铁	• 出租	• 私家	
			• 出租车	• 私家		
			• 私家车			



(续表)

BaU/ICT	服务类别	产品 / 服务 需求量	产品 / 服务 需求结构	技术和设备 需求	设备用能 结构	设备用能效率
情景设置 参数	CM	-	交通出行率 (%) • 步行 • 自行车 • 公交车 • 地铁 • 出租车 • 私家车	交通工具数 量 (辆) • 公交 • 地铁 • 出租 • 私家	纯电动车 普及率 • 公交 • 出租	单位周转量能耗 • 公交车 (电 / 油) • 出租车 (电 / 油) • 私家车 (油)
背景参数	BaU/ICT	全社会居民 出行总量 (人公里)	-	-	其他车辆 添加生物 燃料比例	地铁单位周转量能 耗

3.5.2 根据“产品”的生命周期判定

在“生产 / 服务需求实现分析”过程中, 涉及部分设备、能源, 以及其他有“产品”属性的因素, 其使用 / 运行能耗已经被囊括, 但生产、回收等环节的能耗尚未涉及, 需要从生命周期角度开展分析。即从产品的原材料制造、生产加工、使用、回收处理全生命周期进行能耗分析, 这是边界划定的第二个维度。如果 ICT 对产品的生命周期没有影响, 则相关参数应纳入背景参数。

对产品的全生命周期进行完整核算是极度复杂的, 特别是某种产品由多种原材料、多个工艺环节实现, 如图 3-3 所示。因此通常只核算部分生命周期, 基本原则如下。

1) 考虑是否有数据基础

从准确核算的角度, 对主要产品的全生命周期能耗开展核算是有意义的。但是核算工作量非常大, 因此是否有较好的数据基础十分关键。如果针对某类产品, 有全国 / 区域平均水平的全生命周期能耗数据, 则可以优先选用。

2) 比较产品运行和制造能耗

对常规产品而言，制造能耗（包括原材料生产）和运行能耗占产品全生命周期能耗的大部分比例。在核算前，应对两者进行初步比较，如果制造能耗与运行能耗相当，或大于运行能耗，则需要考虑产品制造能耗。

3) 分析产品和原材料的用途

当某一产品的需求仅限于 ICT 的应用领域时，需要考虑该产品的生产和原材料制造能耗。例如在研究智能交通时，城市交通是汽车这种产品的主要应用领域，因此需要考虑汽车的制造能耗。而对于汽车的原材料钢铁而言，其不仅被用于生产汽车或用于交通领域，因此不用单独核算。

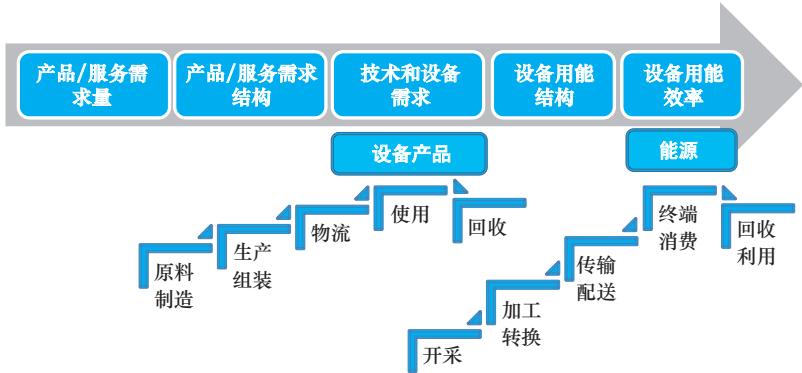


图 3-3 ICT 相关设备产品和能源全生命周期分析

根据“生产 / 服务需求的实现流程”和“产品生命周期”两个维度分析，可以确定核算的总体边界，并将须纳入核算的各因素进行系统归类，明确背景参数以及 BaU 和 ICT 中的情景参数。

3.6 节能减碳效果核算

3.6.1 核算框架

在选定节能减碳机制，明确核算边界和主要涉及因素后，可以开展 ICT 节能减碳效果的核算。根据之前定义，ICT 的节能减碳效果由研究范围内



BaU 和 ICT 情景总能耗 / 排放之差体现，因此需要分情景单独核算。

在 BaU 和 ICT 情景下，实现既定的研究范围内生产 / 服务需求的总能耗 / 排放，需要考虑不同主体的生产服务需求量，以及不同需求结构、技术类别、能源结构、能源因素，并按照“生产服务需求的实现流程”层层分解，最终加合计算出总的能源消耗，如图 3-4 所示。

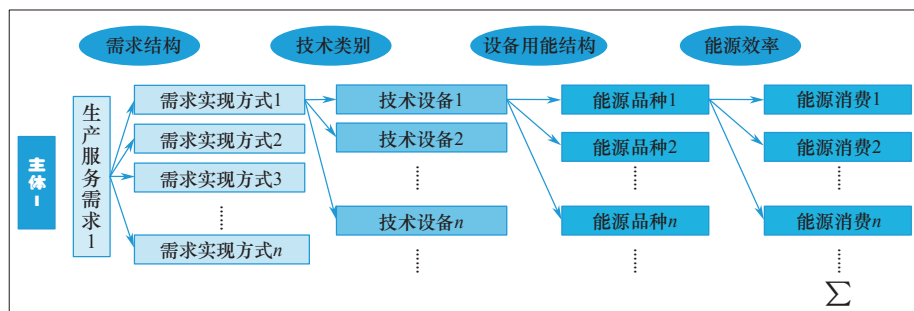


图 3-4 总能耗分解核算示意图

具体的核算公式为：

$$\text{总能耗} = \sum_{\text{分工}} \text{各主体能耗}$$

$$\text{各主体能耗} = \text{生产服务需求} \times \text{单位生产服务需求能耗}$$

$$\begin{aligned} &= \text{生产服务需求} \left(\sum_{\text{不同需求实现方式}} \text{需求结构} \times \text{各类需求单位服务能耗} \right) \\ &= \text{生产服务需求} \left[\sum_{\text{不同需求实现方式}} \text{需求结构} \times \left(\sum_{\text{不同技术设备}} \text{技术类别} \times \text{各技术设备综合能耗} \right) \right] \\ &= \text{生产服务需求} \times \left\{ \sum_{\text{不同需求实现方式}} \text{需求结构} \times \sum_{\text{不同技术设备}} \text{技术类别} \times \right. \\ &\quad \left. \left[\sum_{\text{不同服务方式}} \text{综合同能结构} \times \text{各品种能源效率} \right] \right\} \end{aligned}$$

其中“技术设备综合能耗”指核算边界内技术设备的生命周期能耗，取决于 3.3.4 节中的核算边界。

3.6.2 数据获取

在核算体系中，参数选取至关重要。对单一时点的节能减碳测算，需要该时点的背景参数和情景参数。然而，由于部分 ICT 普及率较低，相关统计

尚不健全，获取准确的数据十分困难。通常数据来源主要分成三个方面。

1) 可查阅的数据来源

可查阅数据源主要可以支撑生产 / 服务需求量和需求结构数据、能源消费总量和能源结构数据等。主要数据来源包括：各类统计年鉴、政府和企业文件、研究和调查报告、学术论文等。其中可信度最高的是各类统计年鉴和政府相关文件。在其他资料中选取数据则应慎重，优先选择在相关领域有较多积累和较高威信机构的研究数据，或是在行业中有较大影响力的企业数据，如查阅中国石油和天然气领域相关数据，中国石油和中国石化两家企业的统计数据是较为可信的。

在通常的研究中，需要从多个来源选取数据，此时应确保不同来源数据统计口径和统计范围的一致性。如在核算城市“智能交通”节能减碳效果时，《能源统计年鉴》中的交通部门能耗，仅为运营交通部门的能耗，私家车能耗被部分包含在居民生活能耗中，企业自行交通运输能则计入了分行业的能源能耗；而在交通工具的统计方面，则包含了全社会各类交通工具的数量和结构，需要进一步整合数据，确保各类数据在同一口径上。

2) 实地测量或案例研究

当前 ICT 的节能减碳应用尚处于起步阶段，普及率不高。因此如 ICT 对终端能效的改善效果、对可再生能源的接纳程度等，缺乏可查阅的数据源，在评估 ICT 的节能减碳效果方面，可以通过实地调研或实验得到。

获取此类数据，最好的方式是实地测量或案例研究，即选取一定范围内、有典型性和示范性的案例，测算 ICT 应用前后相关指标的变化，并经过数据分析和处理后，放大至更大研究范围。

3) 情景设置

有些数据，既缺乏可查阅的数据来源，又没有条件开展实地测量或案例研究，此时进行情景设置降低不确定性是最好的方法。例如在评价云存储技术时，云存储用户的行为习惯对节能减碳效果影响巨大，用户存储文



件的大小、下载读取频次的多少，都是关键的不确定因素，需要通过情景设置分析不确定性。

3.7 未来潜力评估——情景设置

3.6 节针对的是单一时点的 ICT 节能减碳效果测算。在实际研究中，通常需要对应用 ICT 产生的中、长期节能减碳潜力进行评估，以满足政策制定和技术选择的需求。此时需要对部分外生参数的未来取值进行情景设置，并代入核算框架求解。需要进行情景设置的参数主要包括如下几类：ICT 性能（包括节能减碳效果参数）、ICT 普及率或对其他技术 / 设备的替代情况、社会需求情况，以及未来能源结构和排放因子等。

3.7.1 参数的未来情景设定

在 3.3.3 节中，已经界定了 BaU 和 ICT 情景的定义和内涵。在选取具体参数的未来值时，应严格对照情景定义，有针对性、有依据地设定情景。下面介绍不同类型数据的情景设定原则，如表 3-5 所示。

表 3-5 ICT 性能参数设置的原则和依据

类别	典型参数	考虑因素 (按先后顺序)	设置依据 (按优先级)	策略
ICT 设备性能 (从 ICT 的实际功能出发)	• CPU 计算能力 • 硬盘存储能力; • 网络通信能力; • 视频会议设备支持 用户数	• 原理上是否有提升 空间，或面临制约 瓶颈; • 市场对该技术进步 是否有迫切需求; • 相关领域投资是否 稳定; • 不同设备性能参数 是否独立	• 技术标准; • 专业机构研究; • 专家咨询; • 技术进步的历史趋势	非本书重点，宜设置 为单一情景变量

(续表)

类别	典型参数	考虑因素 (按先后顺序)	设置依据 (按优先级)	策略
ICT 设备能耗	• 单位运行时间能耗; • 实现单位服务的能耗 (执行某一任务等); • 生产能耗, 或生命周期边界内的其他能耗	• 能耗的相对水平, 是否有必要改进能耗; • 在技术原理上, 是否存在节能空间; • ICT 设备能耗与性能的关系	• 能效标准 / 法规; • 设备厂商数据; • 当前最先进水平; • 专业机构研究; • 能效进步的历史趋势	• 务求准确; • 通常以“单位服务量能耗”形式设定; • 对“趋势外推数据”, 须经过与行业专家或设备厂商沟通
ICT 节能减碳效果	ICT 节能减碳分析中涉及的各因素, 见 3.4.2 节	• 未来 ICT 与各影响因素的作用关系, 未来是否发生变化; • 各影响因素自身的发展趋势; • ICT 性能的提升对节能减碳效果的促进作用	• 可借鉴资料较少; • 专业机构研究; • 当前 / 历史的实测数据 (不同样本或规模)	• 本书重点, 但取值难度大; • 可以通过设定多个情景的方法, 降低不确定性; • 保守方法是采用基年参数, 节能效果不变

针对具体 / 单个 ICT 技术的节能减排潜力测算, 首先需要对相关技术参数进行设置。ICT 性能参数包括两个方面, 一是 ICT 单位设备性能参数和设备单耗; 二是 ICT 节能减碳效果参数。前者主要包括设备计算能力、存储能力、通信能力、支持用户数、单位运行时间 / 单位服务量的能耗、单位生产能耗等, 后者包括 ICT 单位服务实现节能量, 以及其他节能减碳相关因素。

在设置参数过程中, 我们主要考虑技术开发和应用的未来发展趋势, 以及相关技术所在领域的发展趋势。此类数据一般通过相关技术 / 能效标准、专业研究获得。对于技术参数和设备单耗相关数据缺乏的情况下, 可以适当对设备厂商和相关领域专家进行调研。而当对于一些较难获取的数据, 如部分 ICT 设备能耗和节能减碳效果数据, 可根据以往历史数据进行未来情景设置, 需要说明的是, 这类数据关系到研究结果的准确与否, 在分析过程中采用多情景分析的方式, 降低结果的不确定性。



3.7.2 ICT 发展规模和应用模式

ICT 发展规模和应用模式参数主要包括设备存量、市场占有率、技术替代率、ICT 运行机制、用户使用习惯和频率等参数，如表 3-6 所示。这类参数主要参考当前设备市场发展规模、技术成熟度、技术面向对象范围、消费者行为特征、同类技术的发展等情况。此类数据一般依据专业研究、产业和消费者调查，以及领先国家 / 市场的发展情况设置。如果数据相对缺乏，也可参照技术过去发展趋势，类似产品的推广轨迹进行设置。这一情况下，为保证情景设置的不确定性，一方面要与企业、相关专业机构进行确认，提高推测的准确性；另一方面，可以通过多情景设置，降低研究不确定性。

表 3-6 ICT 发展规模和应用模式设定

类别	典型参数	考虑因素 (按先后顺序)	设置依据 (按优先级)	策略
ICT 发展规模	• 设备存量； • 市场占有率； • 对传统技术的替代程度	• 当前的发展水平； • 未来是否有较强应用需求，应用领域发展情况； • 当前或未来技术发展是否成熟，技术经济方面是否有竞争力； • 其他技术的竞争情况； • 不同设备性能参数是否独立	• 专业机构研究； • 专家咨询； • 领先国家 / 市场的经验； • 其他类似产品的推广轨迹； • 技术普及的历史趋势	• 重要参数，准确设定困难； • 如设置为单一情景变量，须与专业机构或企业达成一致； • 可设定多个发展模式情景，降低不确定性
ICT 应用模式	• ICT 运行机制：实时 / 间歇式； • ICT 与其他技术的协调与整合； • 用户使用习惯和频率	• ICT 功能和应用领域特点； • 可能受 ICT 性能提高影响； • 其他相关技术的可能发展趋势； • 用户需要更加便捷、体验感更好的技术模式	• 产业界公认的技术路线； • 专业机构研究； • 消费者市场调查	• 通常未来应用模式不会发生较大变化； • 如果可能通常以“单位服务量能耗”形式设定； • 对“趋势外推数据”，须经过与行业专家或设备厂商沟通

3.7.3 经济 / 能源背景参数

ICT 技术和产业总是要依托于未来的经济社会整体发展情况来发展，要准确描述未来 ICT 技术的节能减碳效果，必须要了解 ICT 技术所处的经济情况和能源发展情况，由此更好地确定技术的需求和能源消耗情况。如表 3-7 所示经济 / 能源背景参数主要包括两个方面：一方面是从社会需求出发，设置行业产品需求、消费者购买力情况、市场景气程度等相关参数，另一方面是从能源发展角度出发，设置能源需求、能源结构、电源结构、排放因子的参数。前者主要考虑经济增长、产业转型、城市化、工业化进程、科技进步、价格等因素，后者主要考虑能源相关技术发展和低碳发展等相关因素。此类数据一般通过国家政策规划、行业标准、相关专业调研等文献资料获得。

表 3-7 经济 / 能源背景参数设定

类别	典型参数	考虑因素 (按先后顺序)	设置依据 (按优先级)	策略
社会需求 (经济参数)	• 用户数量； • 行业需求； • 购买力情况； • 市场景气度	• 经济发展； • 城镇化、工业化进程； • 人口年龄、性别结构变化； • 经济转型和结构调整； • 科技创新	• 国家发展目标； • 国家规划； • 行业和地方规划； • 专业机构研究； • 其他文献资料	• 非本书重点，但需考虑其影响； • 通常设置为单一情景变量； • 尽量选用国家目标或规划目标
能源发展	• 各产品生产、运输能耗； • 居民生活能耗； • 能源结构； • 电源结构； • 排放因子	• 技术发展趋势； • 节能低碳对技术路线的影响； • ICT 发展与能源技术的互动式影响	• 能源 / 节能 / 低碳等规划； • 行业和技术标准； • 专业机构研究； • 行业专家咨询	• 属于本书特色，需要科学、合理设置； • 通常设置为单一情景变量； • 相关数据需与行业发展数据吻合

3.8 ICT与其他技术的节能减碳贡献划分

ICT 技术一般通过实时监测信息、改变生活生产方式、提高设备效率等间接方式达到节能减碳的目的，如电力需求侧智能管理信息平台只



能对电力需求的情况进行实时分析、监测和诊断，不能直接改变用电需求和电力供给的平衡。因此，在有效测算 ICT 应用领域系统整体的节能减碳效果后，必须有效划分 ICT 技术和其他基础技术的节能减碳效果，剔除其他技术的节能减碳的贡献，以保证 ICT 技术节能减碳测算的准确性和可比性。

在具体分离两类技术的节能减碳效用时，分两个步骤进行，如图 3-5 所示。

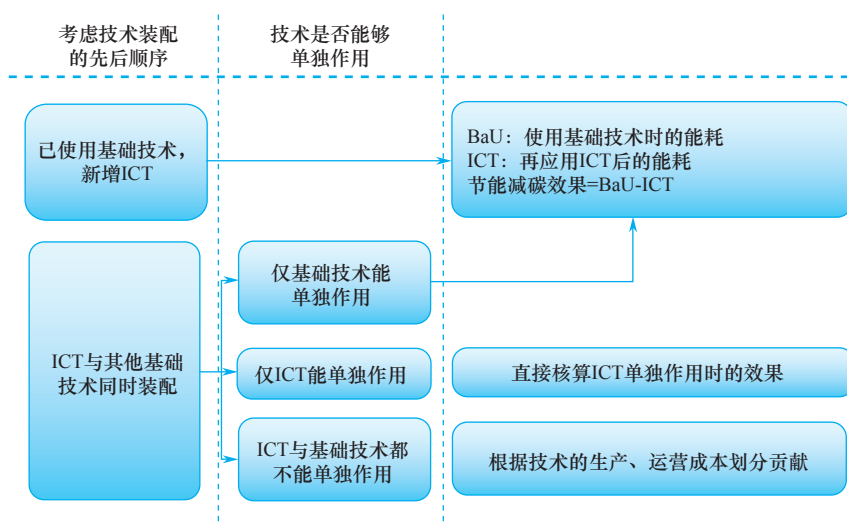


图 3-5 ICT 技术与基础技术的节能减碳贡献划分方法

首先，考察 ICT 技术与基础技术的装配顺序。如果基础技术已在使用中，ICT 为新增技术，则将使用基础技术的情景设置为 BaU 基准情景，将使用 ICT 技术的情景设置为 ICT 情景，分别计算两个情景中的能耗情况，其 ICT 节能减碳潜力即为两个情景的能耗差。

如果 ICT 技术与基础技术同时装配使用，则进一步考虑技术使用的独立性问题，可分为三种情景分析：

（1）如果基础技术能够单独发挥作用，而 ICT 技术必须配合基础技术使用，则 ICT 与基础技术节能减碳潜力贡献划分方式同上所述；

（2）如果 ICT 技术能够单独发挥作用，而基础技术不能，则直接核算

ICT 单独发挥作用时的节能减碳潜力；

(3) 如果 ICT 技术和其他基础技术都不能单独发挥作用，那么，通过不同技术的生产和运营成本划分两者的节能减碳效果。

通过对单一时点和未来 ICT 技术节能减碳能力的核算，以及 ICT 技术与其他基础技术的贡献划分，可以最终得出 ICT 技术节能减碳潜力相对可靠的核算结果。

3.9 本章小节

本章建立了一套量化评价 ICT 技术节能减碳效果和潜力的方法学体系，包括节能 / 减碳机制分析方法、边界划定依据、测算原则和流程、未来趋势和潜力评估方法、贡献划分依据等内容。与之前国内外的研究相比，本章提出的方法在系统性和应用性方面具有较大提高，适用于不同 ICT 技术应用于不同领域的节能减碳评价；具有较清晰的核算边界，不同核算边界范围的减排效应可放大、可比较；既可以测算某一时点的节能效果，也可以评估中长期节能潜力；可以供政府机构、行业管理部门、企业等相关单位使用，具有一定的推广价值。

基于本章提出的方法学，我们选取了三项具有代表性的 ICT 进行节能减碳效果测算。

1. ICT 领域热门：云计算技术

云计算是当前广受关注的新型 ICT 技术，未来发展空间十分广阔。依托云计算技术，以往通过终端设备实现的计算、存储需求被集中起来，通过处于“云端”的数据中心统一实现。人们普遍认为：这种高效集约的信息服务模式可以产生节能减碳效益（如终端 IT 设备需求降低导致生产和运行能耗下降），虽然也会带来新增数据中心和通信能耗的增加。云计算涉及广泛，如终端用户、数据中心、网络运行商、设备制造商等，因此本书选择云计算作为“全社会层面”研究案例。



2. 工业节能：电能管理信息系统

工业能耗占中国一次能源消耗的 70%，是未来节能的重点。在常规节能技术潜力逐渐变小的背景下，ICT 技术的节能优势将越发凸显。作为“智能电网”的重要组成部分，电能管理系统可以对用电设备运行进行信息化监控和调度，有效协调电力需求与供应。实践证明，该技术在工业领域具有较好的节能减碳效果，被财政部和国家发展和改革委员会在部分地区试点推广。本书选择电能管理信息系统作为“行业层面”研究案例。

3. 能源领域：信息化配煤技术

发电是能源系统的重要环节，受限于我国以煤为主的能源结构，燃煤发电将长期成为我国 CO₂ 排放的主要来源。2010 年，我国火力发电燃煤量达到一次能源消费总量的 30%。信息化配煤技术是 ICT 技术应用于能源领域，并与传统能源技术有效整合的代表，通过科学提供配煤方案，优化燃煤机组运行效率，可以显著提高发电效率，降低煤碳的使用，通过在日本、美国，以及中国部分发电厂试用，具有较明显的节能效果。本书选择信息化配煤技术作为“企业/项目层面”研究案例，并拓展至“全社会层面”，初步估算了该技术普及后的节能减碳效应。

第4章

云计算节能减碳潜力研究



- 云计算的基本概念和服务模式
- 云计算的现状与发展趋势
- 云计算节能减碳机制识别和边界划定
- 测算流程与方法
- 云计算的设备需求及能耗分析
- 个人云节能减碳潜力分析
- 企业云节能减碳潜力分析
- 本章小结



云计算是继个人计算机、互联网之后信息技术的重大革新。依托于云计算技术，以往通过终端设备实现的计算、存储需求被集中起来，通过处于“云端”的数据中心统一实现；这种高效集约的信息服务概念，可以显著提高信息处理能力，使信息流通和共享更加方便快捷，因此受到了产业界和个人用户的广泛认可。

部分专家提出，基于对尚处于分布式的计算和存储需求的整合，云计算可以更加有效地提升 IT 设备的利用效率，在能源节约和 CO₂ 减排方面有巨大潜力。然而目前相关领域的研究尚显不足，具体的节能机制和潜力仍众说纷纭。为了科学、系统地评估云计算对我国低碳发展的作用，本章将从云计算的技术原理出发，明确不同服务模式下的节能减排机制，并对云计算未来的节能减排能力进行系统评价。

4.1 云计算的基本概念和服务模式

4.1.1 云计算技术的基本原理

云计算技术是一种须提供 IT 资源的使用和交付模式，其基础是动态、虚拟化的互联网。基本原理是：依托于宽带通信网络 and 智能计算技术，将原在本地计算机或者远程服务器上实现的 IT 服务（如数据处理与存储、软件运行等），转移到一个由大量相对独立的分布式计算机构成的超级虚拟计算机上，使终端使用者能够根据需要选择计算机和存储系统，实现计算、服务和应用功能。

其中“云”就是存在于互联网上的服务器集群上的资源，包括服务器、存储器、CPU 等硬件资源，以及应用软件、集成开发环境等软件资源。本地计算机只须向互联网发出需求信息，远程就有成千上万的计算机提供需求的资源并将结果返回到本地计算机。这样本地计算机不需要做什么，所有的处理均由云计算提供商提供的计算机群来完成，如图 4-1 所示。

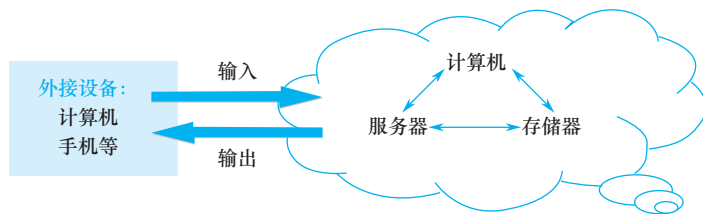


图 4-1 云计算原理

云计算具有以下特点。

超大规模：“云”具有相当的规模，Google 云计算已拥有 100 多万台服务器，Amazon、IBM、微软等的“云”均拥有几十万台服务器。企业私有云一般拥有数百上千台服务器。

虚拟化：用户可以在任意位置使用各种终端通过网络获取云计算提供的各种服务。使用者不需要部署相关的复杂软硬件基础设施和应用软件，直接通过互联网或企业内部网访问即可获取云中的计算资源。

资源池：计算资源汇聚在一起，通过多租户模式服务多个消费者。在物理上，资源以分布式的共享方式存在，但最终在逻辑上以单一整体的形式呈现给用户。

按需、自助服务：用户可以根据自身实际需求，通过网络方便地进行计算能力的申请、配置和调用，服务商可以及时进行资源的分配和回收。

速弹性：服务商的计算能力能够快速而弹性地实现供应。服务商可以根据访问用户的多少，增减相应的 IT 资源（包括 CPU、存储、带宽和软件应用等），使得 IT 资源的规模可以动态伸缩，满足应用和用户规模变化的需要。

可度量的服务：云服务系统可以根据服务类型提供相应的计量方式，如根据用户使用云资源的时间长短和资源的多少进行服务收费。

4.1.2 云计算的分类

作为一项快速发展的新兴技术，云计算的功能和服务模式也在不断发展变革。通常可以从三个角度划分云计算，如图 4-2 所示。

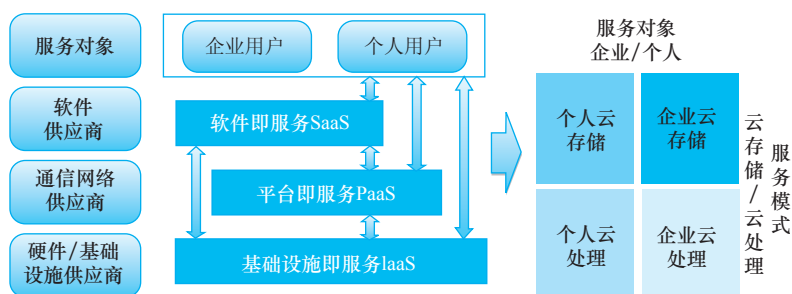


图 4-2 云计算分类与相关方参与模式

1. 按照服务模式分类

从云计算的服务模式看，主要分为基础设施即服务（IaaS）、平台即服务（PaaS）、软件即服务（SaaS），分别为客户提供构建云计算的基础设施、云计算操作系统、云计算环境下的软件和应用服务。

基础设施即服务（IaaS）：云计算服务提供商提供高计算能力所需要的服务器、存储设备、网络设备等硬件资源。用户可以在获得的云基础设施上，自行部署和运行任意的应用软件。在这种服务模式中，用户不管理或控制底层的硬件基础设施，但拥有对操作系统、存储空间和应用软件的完全控制，也可以对一些网络服务进行有限控制（如主机防火墙等）。

平台即服务（PaaS）：提供用来支撑开发应用和服务的平台。在这种服务模式中，用户不需要自己搭建、配置和升级开发平台，而是通过互联网租用这种开发环境。

软件即服务（SaaS）：为客户提供特定商业功能和流程的软件与应用服务。用户可以使用各种客户端设备通过“瘦”客户界面（例如浏览器）等来访问应用（例如基于浏览器的邮件）。在这种服务模式中，用户不管理或控制底层的云基础设施，包括操作系统、服务器、存储、网络等，也不自行配置和部署应用软件。

需要说明的是，虽然 PaaS 和 SaaS 不像 IaaS 那样直接使用云数据中心的硬件资源，但不论其业务种类如何纷繁复杂，归根结蒂无非是使用数据中心服务器中的 CPU 资源，以及磁盘阵列的存储资源。因此本书主要从计算和存储两个角度来分析云计算的能耗情况。

2. 按照部署方式分类

从云计算的部署方式或者说从“云”的归属来看，主要分为私有云、公共云和混合云三种形态。

公共云：由专门的云服务提供商运营，通过自己的基础架构直接向最终用户提供从应用程序、软件运行环境，到物理基础设施等各种各样的 IT 资源。这种模式下云端数据的安全性较差，云计算的基础结构无法自己控制。

私有云：由企业或机构等单一组织自己搭建云计算基础架构，面向内部用户或外部客户提供云计算服务。此种模式根据企业应用需求、充分利用已有的数据中心和专业 IT 人员，安全性能较好，同时也能提高整体的服务质量。与公共云相比，私有云缺乏大量用户的规模经济效应，长期建设成本较高。

混合云：公共云和私有云的混合。这些云由企业创建后，管理职责由企业和公共云提供商分担。混合云比较灵活，可以根据需要进行灵活选择。在具体应用中，企业根据具体情况将自身业务剥离，将安全性要求不高的业务交给“公有云”，将安全性高的业务交给“私有云”。

3. 按照服务对象分类

个人云：面向个人提供的云计算服务。传统计算服务一般通过个人使用本地计算机或者远程服务器实现有限的计算需求。而在云时代，个人可以通过 Internet 对个人的各种信息进行组织、存储、分发和再加工，实现无缝存储、同步、获取并分享数据，满足不同人的个性化的需求。这种服务方式的转变，将使个人计算最终突破终端本身的计算、存储能力的限制。同时使个人计算的终端实现移动化、轻便化的特征。

企业云：针对企业 / 组织提供云计算的一种服务模式，并且服务范围通常仅为企业 / 组织内部或小范围合作伙伴。企业 / 组织通过整合内部现有分散的 IT 资源，或者租用专业云服务商提供的设备或服务，降低企业的 IT 成本，提高系统的效率和性能。作为一种新兴的商业模式，云计算可以帮助企业用较低的投入满足高扩展性、高可用性，组织业务快速变更和创新升



级的需求。

华为云计算助力企业发展

华为遵循“云、管、端”的战略方针，专注于云计算中公有云领域的技术研究与生态拓展，致力于为用户提供一站式云计算基础设施服务，目标成为中国最大的公有云服务与解决方案供应商。

其企业云服务面向互联网增值服务运营商、大中小型企业、政府、科研院所等广大企事业用户提供包括云主机、云托管、云存储等基础云服务，超算、内容分发与加速、视频托管与发布、企业 IT、云电脑、云会议、游戏托管、应用托管等服务和解决方案。公司提供的主要产品为弹性云计算、对象存储服务和云会议。

服务的特点主要包括：成本低、弹性灵活、电信级安全、管理高效自助，其最大的优势在于 IT 基础设施资源能够随用户业务的实际变化而弹性伸缩，用户需要多少资源就用多少资源，使用多少资源就付多少钱，通过这种弹性计算的能力和按需计费的方式有效帮助用户降低运维成本。

4.2 云计算的现状与发展趋势

4.2.1 全球云计算的发展

当前云计算呈现出一种急剧增长的发展趋势。从云计算市场规模的发展来看，目前云计算的服务市场规模总量仅占全球 ICT 市场总量的 1/40，但是未来技术发展和市场拓展的速度很快，前景可观。根据 Garter 最新报告显示，2009 年全球云计算市场规模为 160 亿美元，到 2011 年已经达到 900 亿美元，预计 2012 年全球云计算服务市场规模将达到 1072 亿美元，2015 年将达到 1768 亿美元，发展空间十分广阔。

从数据中心的投资和使用状况来看，各方对云计算的硬件投资热情较

高，云计算技术的使用推广速度很快。近两年来全球数据中心硬件投资规模增幅超过 10%，并且呈加速增长趋势。2011 年全球数据中心硬件投资规模达到 989 亿美元，比上一年增长了 12.7%。预计 2012 年仅用于云计算系统的硬件、软件和服务的开支就将达到 600 亿美元。这个领域的增长速度大约是技术行业整体增长速度的 4.5 倍。其中，云服务供应商将支出 360 亿美元。思科在《全球云指数》报告中表示，预计到 2015 年左右，超过 1/3 的数据中心将基于云计算系统。届时全球数据中心的流量将增长至 2010 年的 4 倍，年复合增长率将达到 33%。

从产业发展上看，传统 IT 公司、电信运营商、互联网公司和软件公司为分享云计算技术带来的巨大收益，纷纷积极开发并推广先进的技术，为个人和企业用户提供计算、存储等服务。其提供的服务从基础设施架构建设、系统平台搭建、云软件产品提供，到云端整体化控制、系统性云服务解决方案设计等，形式多样，对象多元。部分 IT 企业巨头利用其原有的技术和市场优势，提出具有特色的云计算发展战略，以期迅速占领云市场的领导地位（见表 4-1）。例如，谷歌的谷歌应用引擎（Google APP Engine）用户数已经超过 3000 万，在线办公套件“Googl eApps”的企业用户也突破了 300 万家；亚马逊的云服务（AWS）已经在全球 190 多个国家和地区展开，拥有包括《纽约时报》、纳斯达克证券交易所等 40 多万个商业客户；新兴云服务企业 Salesforce 全球付费用户数已超过 10 万，在全球 CRM 市场的份额从 2006 年的 8% 增加至 2011 年的 46%；Dropbox 等一批云计算领域新兴服务商近几年以超过 30% 的年度增幅快速发展（数据来源《云计算白皮书 2012》）。

表 4-1 各大 IT 巨头未来的云计算服务发展情况

公司	战略计划	提供服务
IBM	6+1 云计算解决方案	利用自身从基础硬件到软件服务的全系列产品优势，建立包括桌面云、存储云、云架构咨询服务、测试云、安全云、云网络优化六个云计算端到端的解决方案，建立一个能够快速部署的云计算环境，从而帮助各类企业实现云计算理念



(续表)

公司	战略计划	提供服务
微软 Microsoft	“云” + “端” 布局 “软件+服务”、 开放安全的平台 以及自由选择战 略	涵盖了 IaaS、PaaS、SaaS 三个层面，并且在公有云和私有云方面均有涉及。主要为运营商、政府、大型国有企业以及多种行业用户提供解决方案，提供企业级软件（Enterprise-based software）、合作伙伴托管服务（Partner-hosted services）以及云服务（Services in the cloud）三种服务模式，让最终用户在终端可以享受同步和分享信息的服务
谷歌 Google	从互联网搜索 到企业应用引擎	主要提供公共云服务，服务范围从个人云扩展到企业云，通过在线应用程序开发、Gmail、GoogleTalk，以及 GoogleSites 等，用户可实现在线创建和管理、权限管理、共享、搜索、存储、修订、通信、协作与发布等功能。尤其是新推出 Google App Engine，开始为企业用户提供云储存、应用托管业务、企业搜索等服务
甲骨文 Oracle (Sun)	定位为唯一同 时提供云基础设 施和基于云的应 用程序的供应商	主要提供包括软件（SaaS）、平台（PaaS）产品和社交协作工具。其中公共云部分融合了包括客户关系管理（CRM）和人力资源管理（HCM）等领域的应用程序和平台服务
亚马逊 Amazon	弹性云计算使 用模式	在公司内部的大规模集群计算的平台之上，针对中小企业特别是电商、贸易类用户提供一个网络云计算的平台。具体云计算服务产品包括：弹性计算云 EC2、简单存储服务 S3、简单数据库服务 SimpleDB、简单队列服务 SQS、弹性 MapReduce 服务、内容推送服务 CloudFront、AWS 导入 / 导出和关系数据库服务
EMC (Vmware)	vCloud 计划	以虚拟化为基础，为用户提供云计算解决方案。主要帮助中小企业用户创建私有云，并将 IT 基础架构作为可随时访问的服务来交付，通过服务器虚拟化、数据中心整合和桌面虚拟化，简化 IT 人员工作的复杂程度，降低用户的购买成本和运营成本
惠普 HP	“一切皆服务”、 “众包”	主要聚焦企业私有云的建设，具有从服务器、存储、网络到软件和服务的全系列解决方案，可以单独为客户提供全套的解决方案。HP 在下一代数据中心方面的云计算应用高度可扩展的基础设施，构建高密度、分布式存储，并利用管理数据中心和基础设施的软件为用户提供数据中心设计和优化服务，实现绿色计算，节约建设和运营方面的投入

各国政府也纷纷出台政策，从多个角度支持和鼓励云计算的发展，成为推动产业转型和经济发展的重要抓手，如表 4-2 所示。

(1) 积极制定云计算发展计划。美国在 2011 年 2 月就发布了《联邦云计算战略》，在此基础上，美国国防部、联邦政府、宇航局等均已推出自己的云计算计划。在 2010 年初公布的云计算未来报告中，欧盟及其成员国制定适当的管理框架促进云计算的应用，共同推动云计算的发展。日本 IT 战略部于 2009 年就发布了“ I-Japan 战略 2015”计划行动，并提出 2020 年前培育出超过 40 万亿日元新市场的计划。同年，韩国也推出了《云计算全国振兴计划》，争取在 2014 年使韩国云计算市场的规模扩大四倍。

(2) 通过政府财政投资云计划项目，建立云计算基础设施。美国预计在美国联邦政府年度 800 亿美元的 IT 预算中有 25% 可以用于云计算。欧盟第七框架计划也为若干云计算项目提供资金支持。英国则投入 6000 万英镑建立公共云服务网络。同时，韩国也计划在云计算领域投资 6146 亿韩元，促进云计算市场的发展。

(3) 出台相关激励政策，支持云计算技术研发和市场推广。欧盟已经号召各成员国为云计算的研究和技术开发提供激励，并在 2011 年 5 月开展了云计算公众咨询活动，咨询包括影响欧洲云计算发展的法律和技术障碍、标准化和写作方案，以及促进云计算研发的方法等。而日本在 2010 年的报告中，则提出从完善基础设施建设、改善制度、鼓励创新三方面推进云计算发展。

表 4-2 世界各国政府机构部分云项目

政府机构	政府项目	要 点
美国国家 航空航天局 (NASA)	“星云”计划 (Nebula)	Nebula 是 NASA 埃姆斯研究中心的一项云计算试点开发项目
美国国防 信息系统局 (DISA)	开发云计算 方案	DISA 正在为美国军方和国防部开发一系列的云计算方案以供政府授权使用
美国能源 部 (DOE)	麦哲伦计划	麦哲伦计划向科学家验证，在加速各个学科发展方面，云计算是一项高效能低消耗的计算典范
美国农业 部 (USDA)	与微软签订 云计算软件供 应合同	微软向美国农业部提供基于互联网的电子邮件及其他服务。农业部的 12 万名雇员将使用微软开发的基于互联网的电子邮件服务和会议软件，以及即时通信和文件共享程序



(续表)

政府机构	政府项目	要 点
欧盟	第七框架计划 (FP7)	FP7 为若干个云计算相关项目提供资金支持, 同时组织专家团队为未来云计算的研究方向制定框架。在 2011 年工作计划中, 云计算成为其重要的研究主题
英国政府	G-Cloud	英国境内设立 G-Cloud, 即私人政府云计算基础设施
德国联邦经济和技术部	发布《云计算行动计划》	文件明确表示德国要大力发展云计算, 支持云计算在德国中小企业的应用
日本总务省	云计算特区计划	该计划投资约 500 亿日元 (5.37 亿美元), 于 2011 年春天在北海道或东北地区设立云计算特区
日本经济产业省	《云计算与日本竞争力研究》报告	报告称, 从完善基础设施建设、改善制度、鼓励创新三方面推进云计算发展。通过开创基于云计算的新服务开拓全球市场, 在 2020 年前培育出累计规模超过 40 万亿日元 (约 3 万亿元人民币) 的新市场
韩国	云计算全国振兴计划	计划在 2014 年之前向云计算领域投资 6146 亿韩元, 争取使韩国云计算市场的规模扩大 4 倍, 达到 2.5 万亿韩元, 同时, 韩国政府将率先引进并提供云计算服务, 并在教育、气象与邮政业务领域应用云计算
印度	电子政府服务计划	通过云技术实现电子政务协作, 覆盖 90% 的市民服务, 还将使项目的网上运作更加迅速

4.2.2 中国云计算的发展

1. 总体情况

相比发达国家, 中国云计算的起步较晚, 但是发展速度较快。根据计世资讯统计, 2009 年中国云计算市场规模达到 403.5 亿元, 2010 年则进一步增长至 559.3 亿元人民币, 2008—2010 年年均增长率高达 28%。即使如此, 中国市场规模仅占全球市场的不到 3%。随着未来技术的不断成熟, 以及用户对于云计算服务的认可, 预计 2011—2015 年, 中国云计算市场年复合增长率将达到 50% 以上, 与国外在云计算方面的差距将逐渐缩小。

从产业发展来看,中国云计算产业生态链的构建正在进行中。在政府的监管下,云计算服务商、软硬件和网络基础设施服务商,以及云计算咨询规划、交付、运维、集成服务商一同构成了云计算的产业生态链,为政府、企业和个人用户提供服务。

从应用角度来看,当前云计算的主要用户是企业。根据埃森哲 2010 年的调查,已经有 43% 的企业正在使用、测试或者研究云计算,约 80% 的云计算使用企业预计增加云计算的投入。随着云计算在改变产业结构、促进经济转型及节能减排等方面的作用日益凸显,云计算技术将被越来越多的行业、企业及机构采用。根据相关机构分析,未来 3 年为云计算发展的井喷时期,云计算应用将以政府、电信、教育、医疗、金融、石油石化和电力等行业为重点,得到较大的发展。未来两年内,云计算在企业的使用(包括使用、测试、试点和调查)比例可能达到 89%。

2. 政策支持和重点项目

在我国“十二五”规划纲要及《国务院关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》中,将新一代信息技术产业确定为未来的三大支柱产业之一,并将“云计算”作为重点领域加以强调。2010 年 10 月,国家发展和改革委员会联合工信部下发《关于做好云计算服务创新发展试点示范工作的通知》,决定在北京、上海、深圳、杭州、无锡等 5 个城市先行开展云计算创新发展试点示范工作。在 2012 年最新的《通信业“十二五”发展规划》中,进一步强调要“积极发展云计算服务,统筹云计算基础设施布局,鼓励企业整合资源,共享共建云计算基础设施。积极推动云计算服务商业化运营,促进形成云计算公共服务体系。”并且提出相应的节能减排目标:2015 年单位电信业务总量综合能耗比 2010 年下降 10%,新建大型云计算数据中心的 PUE(数据中心总设备能耗/IT 设备能耗)值达到 1.5 以下。

截至目前,中国已有数十个城市都将云计算确定为重点发展的产业,并采取多种举措促进云计算的发展,如表 4-3 和图 4-3 所示。



表 4-3 云计算试点城市发展概况

重点城市	应用案例	未来发展方向	发展目标	重点应用领域
北京	北京工业大学云计算实验平台、公共云计算平台	云计算专用的芯片和软件平台、云计算服务产品，云计算解决方案，云计算网络产品及云计算终端产品	世界级云计算产业基地，2015 年形成 500 亿元的产业规模，产业链规模达 2000 亿元	电子政务、重点行业、互联网服务及电子商务
上海	盛大网络云计算平台、上海市云计算产业基地、微软云计算创新中心	突破虚拟化核心技术，研发云计算管理平台，建设云计算基础设施，鼓励云计算行业应用，构建云计算安全环境	亚太地区的云计算中心，3 年内在云计算领域形成 1000 亿元的新增产业规模	城市管理、产业发展、电子政务、中小企业服务等
无锡	无锡云计算中心、盘古天地软件服务创新孵化平台、无锡传感网创新园云存储计算中心	发展商务云、开发云、政务云等多个云平台，提供多样化云服务	优化无锡市软件和服务外包产业的发展生态环境	电子政务、电子商务、科技服务外包等
苏州	苏州国科数据中心、万国数据、风云网络、中国移动、中国电信等高等级数据中心	国内领先的云产业集聚区、“云计算与移动互联网应用”产业基地	2017 年，形成云计算硬件集群、云应用和云服务集群、云平台集群等三大集群，产值达 500 亿元以上	IT 资源租赁、各类综合服务等专业 IT 外包服务
哈尔滨	“中国云谷”	打造国家级重要云计算产业基地之一，建设成为国家灾备中心、物联网数据中心、政府数据中心、新媒体数据中心、电子商务中心和地理信息数据中心	2015 年建成云计算产业、研发、培训和应用推广基地，数据中心服务器达 200 万台，全市云计算企业达到 200 户，相关产业收入突破 500 亿元	云计算硬件制造和电子政务、电子商务、地理信息服务、城市公共管理、金融信息服务等 IT 外包服务
鄂尔多斯	鄂尔多斯超级云计算中心、“数字鄂尔多斯”	打造“中国云计算产业西部基地”、国家级重要云计算产业战略基地，辐射全国的云计算备灾中心	2015 年实现云计算及相关产业产值占全市 GDP 的 7%，电子政府与城市运营管理云计算应用比例突破 60%	电子政府、公共服务

(续表)

重点城市	应用案例	未来发展方向	发展目标	重点应用领域
深圳	中国科技大学深圳云计算应用中心、深圳市云计算产业协会、微软云计算领域合作	打造本土云服务龙头，推进电子商务示范城市建设	华南云计算中心	教育、电子商务、电子政务
杭州	微软云计算中心	研发、制造、系统集成、运营维护等云计算产业体系	立足杭州，辐射周边，面向全国	软件业、知识产权保护等



图 4-3 中国主要地方政府云计算进展

(注：部分数据来源于赛迪顾问股份有限公司，中国云计算基础设施产业地图白皮书（2011 年）[R/OL]：赛迪网站，2011.)

4.2.3 中国未来云计算的发展趋势

根据《中国云计算产业发展白皮书》，中国云计算产业分为市场准备期（2007—2010 年）、起飞期（2010—2015 年）和成熟期（2015 年之后）三个



阶段。当前，中国云计算产业正处在大规模爆发的前夜。在政府的监管下，云计算服务提供商，软硬件、网络基础设施服务商，云计算咨询规划、交付、运维、集成服务商和终端设备厂商等逐步构建了云计算的产业生态链，为用户提供服务。

当前云计算的主要客户是企业，特别是大型企业。2010年中国云计算应用市场中，面向大型企业的销售额达到了81.65亿元，所占份额达到48.8%。未来5年，企业云计算市场仍将保持高速增长态势。根据埃森哲研究，中国大型企业已经使用或正在建设数据中心的比例为43%，其中大部分数据中心将逐步采用云技术。对中小企业而言，由于成本高昂且难以与快速成长的业务匹配等原因，自建数据中心并不现实。而云计算的租用模式可以较好地解决上述问题，因此在不远的将来，面向中小企业的公共云服务可能迎来发展热潮。据计世资讯（CCW Research）预测，未来三年我国中小企业信息化投资额仍将保持每年20%左右的快速增长，这也为中小企业云的发展提供了需求基础。

当前，全球个人云业务发展尚处于起步阶段。从2006年开始，谷歌、Dropbox、亚马逊、微软等服务商已经逐渐向个人用户提供了一系列共享、搜索、存储、通信等云服务项目。截至目前，Dropbox拥有2500万用户，每个用户可以享受2GB免费空间。我国个人云发展相对比较滞后，但是前景广阔。越来越多的国内传统硬件制造商、网络运营商、软件提供商开始提供云存储服务，如华为的DBank、金山的快盘和360的云盘等。艾媒数据显示，2011年国内云存储的市场规模仅有0.88亿元，在未来2~3年云存储市场会高速成长，预计到2013年市场规模将达到4亿元，年增长率约为110%。云处理服务对操作人员的专业性和数据中心设备的性能要求较高，其发展滞后于云存储。随着数据中心规模的迅速扩展，网络带宽将不断增加，云处理的服务需求将呈现出高速增长的态势。

与此同时，越来越多的个人用户将计算、存储需求转移到云端，终端设备的计算存储性能要求降低，智能手机和平板电脑等轻便化的终端设备逐渐风靡全球，成为未来终端设备的主要发展趋势。这类轻便化终端的发展也将进一步带动云计算服务的发展。

4.3 云计算节能减碳机制识别和边界划定

云计算的主要特点是：将以往由终端实现的计算和存储需求，转而是由位于“云端”的数据中心实现。这将对 IT 设备结构、设备运行效率、用能结构等带来一系列的影响。由于个人云和企业云的业务模式有所差异，在进行节能减碳核算时，能耗基准的划定原则不同，需要分别开展机制分析和潜力测算，具体的分析核算框架如表 4-4 所示。

表 4-4 个人云和企业云分析核算框架

	个人云	企业云
机制分析和识别	见 4.3.1 节	见 4.3.2 节
测算流程与方法	见 4.4.1 节	见 4.4.2 节
设备需求和能耗分析	见 4.5.1 节	见 4.5.1 节
	见 4.5.2 节	见 4.5.2 节
	见 4.5.3 节	见 4.5.4 节
	见 4.5.4 节	
节能减碳潜力核算	见 4.6 节	见 4.7 节

4.3.1 个人云的节能减碳机制识别和边界判定

1. 个人云的影响分析

为了分析应用个人云产生的影响和涉及因素，研究采用情景比较的方法，设定了基准情景 BaU 和 ICT 技术应用情景。BaU 情景指个人云技术未被应用，个人用户的计算和存储需求仍通过传统方式实现的情景；ICT 技术情景则指个人云技术逐步应用后的情景。

个人云技术应用涉及三个主体：个人用户、网络通信运营商和数据中心提供商。在 BaU 情景下，个人用户的存储和计算需求仅通过终端设备实现。而在 ICT 情景下，部分由终端用户实现的计算和存储需求将集中到云数据中心实现。这一方面需要在数据中心配置更多 IT 设备，引发新增的设备制造和运行能耗；另一方面则降低了终端的设备性能要求，加速设备的



轻便化发展。此外终端与数据中心的信息交互也将引发新增的网络通信需求。个人云情景设置如图 4-4 所示。

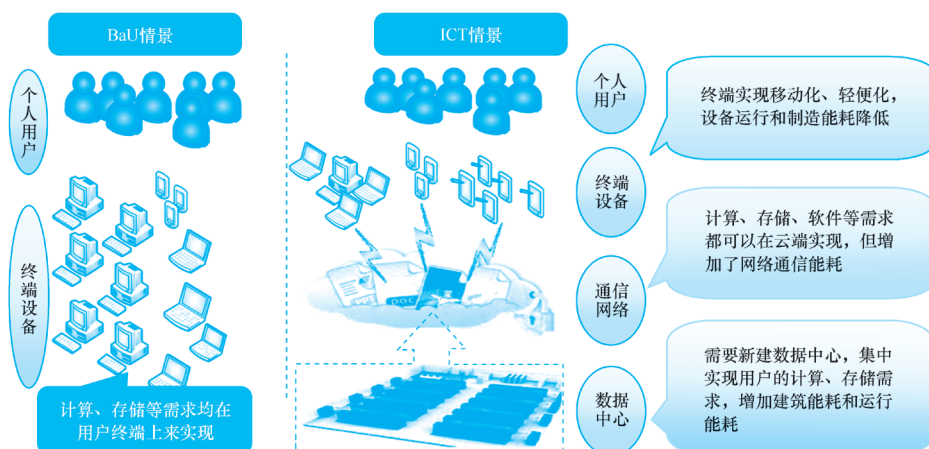


图 4-4 个人云情景设置

2. 机制识别与筛选

为了深入分析个人云的影响机制，图 4-4 中的各类影响将被划分为“产品 / 服务需求量”、“产品 / 服务需求结构”、“技术设备需求”、“设备用能结构”、“设备运行效率”五大类，如表 4-5 所示。

表 4-5 个人云对相关主体的影响

主体	产品 / 服务 需求量	产品 / 服务 需求结构	技术设备需求	设备用能结构	设备运行效率
	存储需求 计算需求	-	通信、数据中 心和通信网络设 备数量	电源结构	设备利用率 PUE
终端用户	终端设备的 存储、计算需 求被转移	-	终端设备实现 移动化、轻便化	-	-
通信网络	网络通信需 求量增大	-	骨干通信网的 设备需求增加	-	-
数据中心	新增数据中 心的服务需求	-	新建数据中 机房； 新增服务器等 IT 设备生产、运 行能耗	数据中心科 学选址，使用 更多清洁能源	IT 设备复用 水平较高，设 备使用率显著 提高

其中“产品/服务需求量”指存储需求和计算需求;“产品/服务需求结构”指上述需求的组织和实现方式,如终端用户的存储和计算行为方式,通信模式以及数据中心的组织运行模式(大/中/小型)等;“技术设备需求”指各需求方式对应的设备需求,包括设备数量、性能和运行时间等因素;“设备用能结构”指各台设备涉及的能源品种,包含非化石能源的比重等;“设备运行效率”指各台设备消耗某种能源提供的服务量。

根据影响主体,可以将个人云的影响明确为以下几方面。

(1) 改变终端设备结构,降低终端设备的制造和运行能耗。

随着云计算的推广,以往在终端设备中占主体的台式机和笔记本电脑比重将大幅下降,而手机和平板电脑的比重将会提高。鉴于手机和平板电脑的制造和运行能均显著低于台式机和笔记本电脑,因此终端设备的制造能耗和运行能耗都将大幅降低。

(2) 需要新建数据中心,增加建造和运行能耗。

为了实现从终端转移至云端的计算、存储需求,需要新建数据中心。因此新增了数据中心的建筑能耗、数据中心机房和IT设备的运行能耗。对于数据中心的设备需求,需要考虑到云计算将极大提高设备复用效率。例如,在未使用个人云服务时,个人计算机的CPU使用率通常仅有15%~30%,硬盘使用也仅在40%左右。在个人云服务模式下,计算和存储需求将大大集中,数据中心的服务器和存储空间将以更高效合理的状态运行,从而进一步压缩了设备需求。此外,个人数据中心的建设选址也更加科学合理,倾向于非化石能源电力丰富,气候较冷的地区,可以在一定程度上降低CO₂排放。

(3) 新增了通信网络能耗。

有了个人云服务,用户的计算、存储和软件需求都可以在云端实现,但这也增加了网络通信设备建设和运营成本。新增网络通信运行能耗与数据传输量成正比。考虑到现有的骨干通信网络的空置率很高,因此,在本书的核算中,并不考虑通信网络的建设能耗。



3. 边界划定

1) 服务实现流程分析

明确个人云的主要影响机制后, 需要根据“云计算和云存储服务的实现流程”划定研究边界, 并明确核算边界内各因素的类型, 详见表 4-6。

表 4-6 个人云产生的主要影响因素分类和设置

	服务类别	产品 / 服务 需求量	产品 / 服务 需求结构	技术和设备需求	设备用 能结构	设备用能效率
情景 设置 因素	BaU	终端服务需求	—	终端设备数量 • 台式机 • 笔记本电脑 • 手机 • 平板电脑	—	设备使用率 • 台式机 • 笔记本电脑 • 手机 • 平板电脑
	ICT	终端服务需求 • 云存储需求 • 存处理需求 网络通信需求	—	终端设备数量, • 台式机 • 笔记本电脑 • 手机 • 平板电脑 数据中心 IT 设备 • 存储总量 • 服务器数量 数据中心建筑 面积	数据中心 清洁电力 的比重	设备使用率 • 台式机 • 笔记本电脑 • 手机 • 平板电脑 • 服务器 • 磁盘阵 数据中心 PUE
背景 参数	BaU/ ICT	全国网民数量	—	—	火力发电 能耗	

在“云计算 / 云存储需求量”方面, 不同情景下终端和数据中心承担的比重不同, 因此在 BaU 和 ICT 情景中有所差别。但两种情景下全社会用户的计算和存储需求总量是一致的, 应作为背景参数考虑未来网民数量以及相关需求的增长。

考虑到个人云对“计算和存储需求结构”影响不大, 本书并未给予相关因素分析。

在“技术和设备需求”方面, 相比 BaU 情景, ICT 情景中的终端设备结构更加趋向于轻便化, 但需要投入大量设备支撑数据中心运行, 并产生网络通信的设备需求。因此对于 IT 设备数量和比例参数, 须结合 BaU 和

ICT 特点分别设置情景参数。

在“设备用能结构”上，BaU 情景 IT 设备零散分布，电源结构与全国平均水平近似一致；但 ICT 情景数据中心选址可以更加科学，非化石能源电力比重可较大提高。但除非化石能源电力外，其他电力的来源——火力发电能耗将作为背景参数。

对于“设备用能效率”，研究将考虑 BaU 与 ICT 情景下的终端设备使用率差异。同时数据中心 IT 设备的使用率，以及 PUE 等参数也将纳入核算。

2) 全生命周期分析

上文中主要涉及四类设备：终端设备、网络传输设备、数据中心 IT 设备，以及数据中心建筑和辅助设备。根据 3.5.2 节对设备全生命周期边界的划定原则，本书将考虑如下因素。

终端设备和数据中心 IT 设备的生产和运行能耗。个人云的主要影响，是设备结构和运行方式的变化。相关数据较为全面，可以较准确核算。本书中还考虑了设备折旧和更新换代的影响，如表 4-7 所示。

表 4-7 个人云相关设备的全生命周期分析

	原料制造	生产组装	物流	使用	回收
终端设备		√		√	
网络传输设备				√	
数据中心 IT 设备		√		√	
数据中心建筑和辅助设备		√		√	
终端设备	终端设备	终端设备	终端设备	终端设备	终端设备

网络传输设备的运行能耗。由于计算和存储需求发生转移，必须有网络设备的支撑，网络设备运行能耗的核算至关重要。但设备制造能耗并未考虑，原因主要有两点：一是通信网络服务对象众多，不仅专用于支撑云计算；二是当前主要有线通信网络已经构架完毕，骨干网存在较大冗余。

数据中心建设和辅助设备能耗。辅助设备的运行能耗通过 PUE 指数纳入核算体系，但制造能耗未纳入核算。主要由于辅助设备种类繁多，并且未来数据中心单位计算 / 存储能力所需设备数量（包括折旧）存在较大不确定性，而这并不是云计算技术的主要影响方面。数据中心建筑的建设能耗也纳入考虑。



4.3.2 企业云的节能减碳机制识别和边界设定

1. 企业云的影响分析

采用与个人云类似的方法，本书对企业云的节能减碳机制进行了分析，设定了基准情景 BaU 和逐步应用企业云的情景 ICT，如图 4-5 所示。

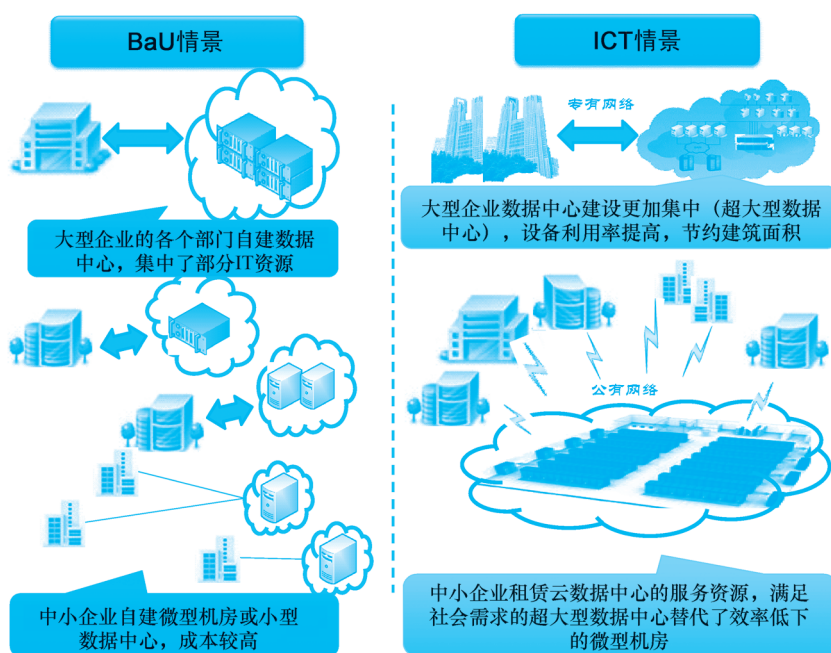


图 4-5 企业云情景设置

在“企业云”概念被提出之前，很多企业已经通过自行建设数据中心，来实现对部分计算、存储资源的整合，其中已经包含了部分“企业云”的功能。但由于数据中心的建设和运营成本较高，只有大型企业才能承受。中小型企业则难以负担，只能选用效率低下的小型数据中心，甚至是微型机房。由于缺乏虚拟化技术支撑，大多数的数据中心规模有限，资源整合力仍显不足。

在 ICT 情景下，企业云将改变企业数据中心各自为战的情况，极大地促进信息交互，以及计算存储资源的共享。大型企业将加大对数据中心的

整合力度，集中建设具有超大运算和存储能力的大型数据中心，以促进企业的信息化管理和信息化决策。中小型企业则可以通过租赁的形式，共享服务商提供的企业云服务。以往零散分布的微型机房和小型数据中心将逐步退出历史舞台，超大型数据中心则以较低的租用成本满足了中小企业的计算和存储需求。在大型数据中心内部，IT 设备的利用水平将大幅提高，PUE 指数也将显著改善；通过科学选址，非化石能源电力比重也可以较大提高。

2. 机制识别与筛选

企业云的影响机制被按照“产品 / 服务需求量”、“产品 / 服务需求结构”、“技术设备需求”、“设备用能结构”、“设备运行效率”五大类进行划分，如表 4-8 所示。

表 4-8 企业云对相关主体的影响

主体	产品 / 服务 需求量	产品 / 服务 需求结构	技术和 设备需求	设备用能结构	设备运行效率
	存储需求 计算需求	不同规模数 据中心承担的 服务比例	数据中心和 通信网络设备 数量	电源结构	设备利用率 PUE
大型企业	-	服务需求 通过更大规模 数据中心实现	数 据 中 心 设备复用率提 高，单位服务 量的设备需求 降低	数据中心科 学选址，优化 能源结构	提高了 IT 设 备利用率； 改善 PUE
中小企业	-	租赁大型数 据中心，原有 小规模数据中 心和机房逐渐 消失	通信从小型 局域网转移到 公共网络； 大型数据中 心设备需求增 大	数据中心科 学选址，优化 能源结构	提高了 IT 设 备利用率； 改善 PUE

其中“产品 / 服务需求量”指存储需求和计算需求；“产品 / 服务需求结构”指上述需求的组织和实现方式，即不同规模数据中心承担的存储、计算需求比例；“技术设备需求”指实现特定需求方式所需的设备情况，包括企业云对数据中心内部和通信网络相关设备数量的影响；“设备用能结构”



指非化石能源电力比重、发电煤耗等因素；“设备运行效率”指各台设备消耗某种能源所提供的服务量。

根据影响主体，可以将企业云的影响明确为下面两个方面。

1) 数据中心集中建设，提高设备利用率和 PUE 水平

在云计算模式下，企业数据中心建设将更加集中，规模向大型和超大型转变。对于大型企业，以往分布于各省 / 地区公司的数据中心，可能被整合成 1 ~ 2 个国家级中心；对中小型企业，则可以租赁大型数据中心的服务资源。

数据中心规模的扩大将显著提高设备利用率。根据调查，在传统模式下数据中心的平均设计容量利用率仅为 30%，多余设备均成为冗余。如果将数据中心集中，将有助于提高设备利用率，避免了设备生产能耗的浪费，也节约了建筑面积资源。

数据中心的集中建设，也有利于 PUE 水平的提高。传统的中小型数据中心通常部署在简单设备间或者小机房，其空调系统、电源设备等效率低下。对于大型数据中心或云计算服务商，成本压力和规模化效应都将使 PUE 提高更为显著。

2) 数据中心向能源丰富地区迁移，优化能源结构

我国西部和北部地区非化石能源电力丰富，气候较冷，电价较低。如果将大规模数据中心优先向上述地区布局，将有利于缓解数据中心快速发展给东部地区带来的电力供应压力，同时提高西部地区的电力负荷率，减少电力传输损失。也有利于充分利用西部、北部较丰富的自然冷源，提高数据中心节能潜力。

3. 边界划定

1) 服务实现流程分析

明确企业云的主要影响机制后，需要根据“云计算和云存储服务的实现流程”划定研究边界，并且明确核算边界内各因素的类型，如表 4-9 所示。

表 4-9 企业云产生的主要影响因素分类和设置

BaU/ICT	服务类别	产品 / 服务需求量	产品 / 服务需求结构	技术和设备需求	设备用能结构	设备用能效率
情景设置参数	BaU	—	不同规模数据中心承担的服 务需求比例 (%) (与基年相同) • 微型机房; • 小型数据中心; • 中型数据中心; • 大型数据中心	数据中心设 备 • 服务器; • 存储设备。 数据中 心 清 洁 电 力 的 比 重 • 通信网络设 备需求 • 公有网络; • 局域网	—	—
			不同规模数据中心承担的服 务需求比例 (%) (逐步向大 型数据中心转移) • 微型机房; • 小型数据中心; • 中型数据中心; • 大型数据中心	数据中心设 备 • 服务器; • 存储设备。 数据中 心 清 洁 电 力 的 比 重 • 通信网络设 备需求 • 公有网络; • 局域网		
	BaU/ICT	基年的企业云服 务需求总量; 服务需求年增长 量	—	企业终端设 备结构面临 较大不确定 性, 暂不考 虑	数据中心 IT 设备的使用率、 PUE • 微型机房; • 小型数据中心; • 中型数据中心; • 大型数据中心	



在“云计算 / 云存储需求量”方面，未来全社会企业的云计算和云存储需求将逐渐增加，但不同情景间的需求总量应保持一致，因此需求量和相关增长幅度将作为背景参数考虑。

在“产品 / 服务需求结构”方面，企业云技术的使用将使企业存储和计算需求从中小型数据中心（或微型机房）向大型数据中心转移，因此 BaU 和 ICT 情景中各规模数据中心所承担的服务需求比例存在较大差别。

对于“技术和设备需求”方面，由于 ICT 情景下大型数据中心比重更大，其设备复用率和单位服务的设备需求也将较 BaU 情景大大提高。此外，与个人云相同，企业云的发展也将带来大量的网络通信需求，其传输能耗取决于网络传输总量，需要在 BaU 和 ICT 情景中分别考虑。

在“设备用能结构”上，BaU 情景 IT 设备零散分布，电源结构与全国平均水平近似一致；但 ICT 情景数据中心选址可以更加科学，非化石能源电力比重可较大提高。但除非化石能源电力外，其他电力的来源——火力发电能耗将作为背景参数。

在“设备用能效率”上，由于企业计算存储需求在不同规模数据中心的转移并没有改变 IT 设备的使用率，且 PUE 没有发生变化，因此在背景参数中加以考虑。

2) 全生命周期分析

上文中主要涉及三类设备：网络传输设备、数据中心 IT 设备，以及数据中心建筑和辅助设备。根据设备全生命周期分析，如表 4-10 所示，本书将考虑如下因素。

(1) 数据中心 IT 设备的生产和运行能耗。企业云的主要影响是设备需求量和运行方式的变化。相关数据较为全面，可以较准确核算。本书中还考虑了设备折旧和更新换代的影响。

(2) 网络传输设备的运行能耗。由于计算和存储需求从中小型数据中心转移到大型数据中心，必须有更多的公共网络设备的支撑，网络设备运行能耗的核算至关重要。但设备制造能耗并未考虑，原因主要有两点：一是通信网络服务对象众多，不仅专用于支撑云计算；二是当前主要有线通

信网络已经构架完毕，骨干网存在较大冗余。

（3）数据中心建设和辅助设备能耗。辅助设备的运行能耗通过 PUE 指数纳入核算体系，但制造能耗未纳入核算。主要由于辅助设备种类繁多，并且未来数据中心单位计算 / 存储能力所需设备数量（包括折旧）存在较大不确定性，而这并不是云计算技术的主要影响方面。数据中心建筑的建设能耗也纳入考虑。

表 4-10 企业云相关设备的全生命周期分析

	原料制造	生产组装	物流	使用	回收
网络传输设备				√	
数据中心 IT 设备		√		√	
数据中心建设和辅助设备		√		√	
数据中心建筑和辅助设备		√		√	

4.4 测算流程与方法

4.4.1 个人云节能减碳核算方法

根据个人云的节能减碳机制，本书设置了两种情景，分别是基准情景 BaU 和个人云情景 ICT。

在 BaU 情景下，个人的 IT 服务需求（如计算、存储等）仍通过分立的终端设备实现，终端设备结构向轻便化发展，能效水平稳步提高。

在 ICT 情景下，个人的 IT 服务需求将逐步转移至个人云数据中心。以往在终端占据主要位置的台式机、笔记本电脑，将逐步被轻便的平板电脑、手机取代（可能存在一定延时）。依托于云技术的支持，个人云数据中心体现出更好的规模效应，通过服务器、硬盘等设备的复用，极大地提高了设备利用效率，降低了相关设备的生产能耗。同时个人数据中心选址也会更加科学，确保将 CO₂ 控制在较低水平。

个人云节能减碳核算方法示意图如图 4-6 所示。

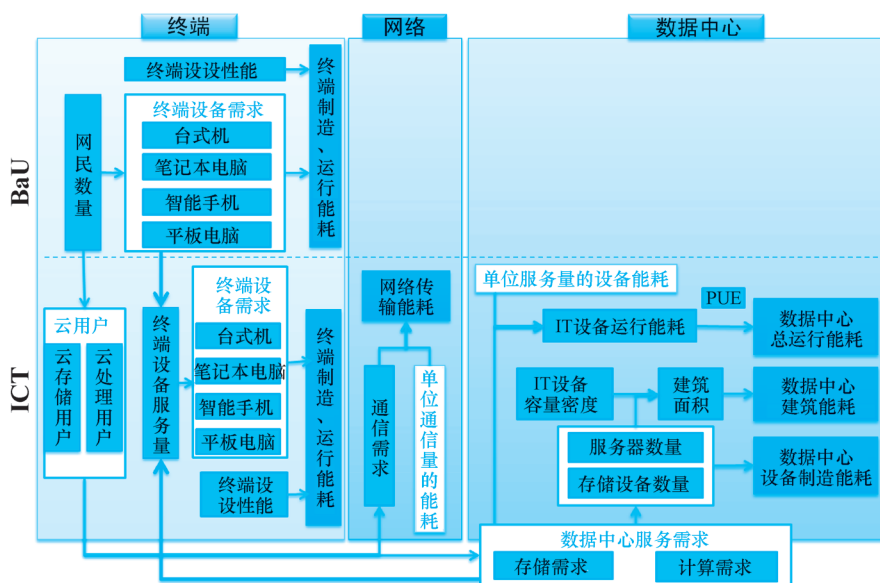


图 4-6 个人云节能减碳核算方法示意图

1. IT 服务需求

在 BaU 情景下，IT 服务需求全部通过终端设备实现。由于中国 IT 设备联网率非常高，可以根据网民数量和终端设备结构推算出不同 IT 设备（选取台式机、笔记本电脑、智能手机和平板电脑四大类）的市场占有率。根据相关设备性能和使用率（一天中设备的使用情况）计算出个人计算、存储需求，即个人云服务需求 BaU

$$= \sum_{\text{不同终端类型}} \text{网民数量} \times \text{终端设备占有率}_{\text{BaU}} \times \text{终端性能} \times \text{终端使用率}_{\text{BaU}}$$

在 ICT 情景下，IT 服务需求将部分转移至位于“云端”的数据中心实现。于此同时，终端设备更加轻便化，承担的计算和存储功能也逐渐弱化，终端设备实现的 IT 服务需求也将逐步降低。需要说明的是，数据中心建设需要 2～3 年周期，云服务模式对终端设备的替代可能需要更长时间。

个人云服务需求_{ICT} = 个人云服务需求_{BaU}

$$= \sum_{\text{不同终端类型}} \text{网民数量} \times \text{终端设备占有率}_{\text{ICT}} \times \text{终端性能} \times \text{终端使用率}_{\text{ICT}} + \text{数据中心承担的 IT 服务需求}$$

2. 数据中心的 IT 设备电耗分析

数据中心能耗主要由 IT 设备能耗和其他支持系统能耗构成。本书主要关注 IT 设备能耗，其他支持系统能耗可以根据 PUE 指数求得。通过分析数据中心设备结构和工作流程，可以求得每单位服务量（云处理和云存储）下，IT 设备的电耗需求，详细流程见 4.5 节。

由于目前个人云市场尚未规模化发展，因此在 BaU 中不涉及数据中心相关参数。

3. 数据中心总电耗和 CO₂ 排放

数据中心总运行电耗可以通过 PUE 指数求得，即

$$\text{数据中心总运行电耗} = \frac{\text{数据中心IT设备运行电耗}}{\text{PUE}}$$

$$\sum \frac{\text{数据中心单位服务量的电耗} \times \text{数据中心承担的IT服务需求}}{\text{PUE}}$$

在 ICT 情景下，个人云数据中心发展将侧重规模化和高效化，选址更加科学，PUE 水平提高较快。此外，除必要的设备冗余外，所有 IT 设备均保持较高的使用率。

对于数据中心的建设能耗，考虑设备制造能耗和建筑建造能耗。设备制造能耗等于数据中心设备数量与单台设备制造能耗的乘积。设备数量可通过下式求出：

$$\text{服务器数量} = \frac{\text{云处理服务需求} \times \text{服务器冗余度}}{\text{单台服务器性能} \times \text{服务器运行时间}}$$

$$\text{硬盘数量} = \frac{\text{云存储服务需求} \times \text{存储空间冗余度}}{\text{单台硬盘存储能力}}$$

数据中心建筑面积取决于 IT 设备数量，建筑建设总能耗可以由单位建筑面积能耗和建筑面积求得，即

$$\text{建筑建设总能耗} = \text{单位建筑面积能耗} \times \frac{\text{IT设备数量}}{\text{IT设备容量密度}}$$

数据中心总运行电耗和数据中心建设能耗分别乘以不同能源类型对应的排放因子，可以获得数据中心的 CO₂ 排放。其中数据中心选址在非化石



能源丰富地区，非化石能源发电比例较高。

4. 网络传输能耗和 CO₂ 排放

对个人云而言，终端设备与数据中心之间采用公共网络，包含电信服务商网络和 Internet 两部分。网络传输量可以从数据中心承担的 IT 服务需求推算出：

$$\text{网络传输能耗} = \text{网络传输量} \times \text{单位传输能耗}$$

5. 终端设备电耗和 CO₂ 排放

在 BaU 和 ICT 情景下，终端设备电耗均可以通过终端设备数量、终端设备利用率和终端设备能效获得，即

$$\text{终端设备电耗} = \text{终端设备数量} \times \text{终端设备利用率} \times \text{终端设备能效}$$

由于终端设备广泛分布在全国各地，因此电源结构和排放因子与全国平均水平一致。

4.4.2 企业云节能减碳核算方法

为了核算企业云的节能减碳效果，本书设置了两种情景，分别是基准情景 BaU 和企业云情景 ICT。

在 BaU 情景下，企业数据中心发展维持现有模式，企业自行建设和运营数据中心，随着未来技术水平的提高，数据中心能效水平（PUE）将逐步改善。数据中心建设位置自由分布，电源结构与全国平均水平一致。

在 ICT 情景下，企业数据中心将朝着集约化方向发展，大规模甚至超大规模的数据中心成为主流。大型企业的数据中心建设将趋于集中，中小型企业将共同租用具有更高服务能力和能效水平的商业云数据中心。数据中心选址更加科学、非化石电力供应充足，以及寒冷气候也使 PUE 的改进水平略高于 BaU。

企业云节能减碳核算方法示意图如图 4-7 所示。

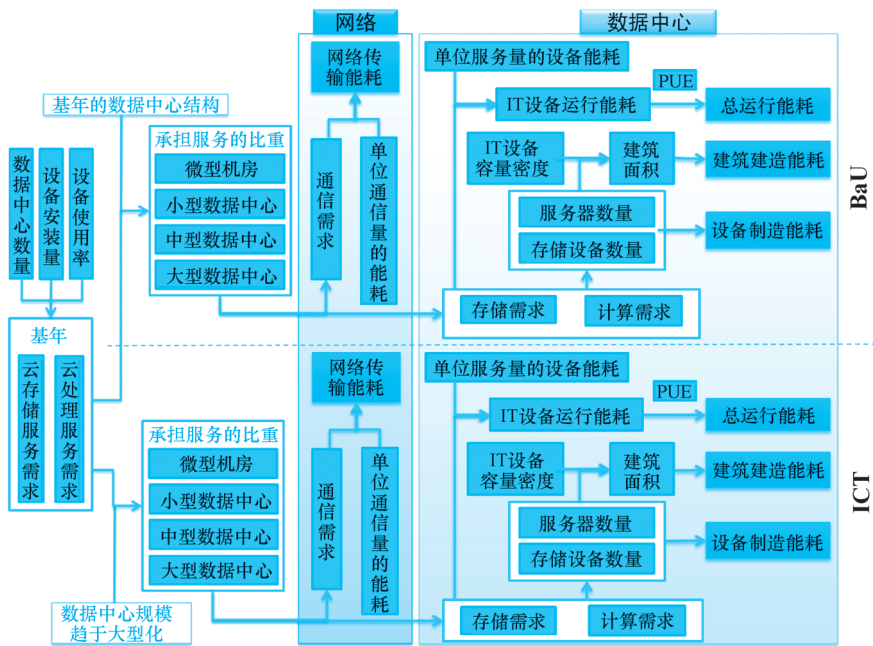


图 4-7 企业云节能减碳核算方法示意图

1. 企业云的服务需求

作为重要的基础参数，企业云服务的需求现状难以统计，未来增长难以预测，只能采用估算方法。根据基年数据中心数量、规模，以及设备使用率等情况，可以估算出基年企业云服务需求（包括云处理和云存储服务需求）。再根据 2009—2011 年企业云服务需求的增长趋势，外推出 2020 年之前企业云服务需求。

企业云服务需求_{BaU,ICT} = $\sum_{\text{不同规模数据中心}}$ 数据中心数量 × 不同设备安装量 × 设备使用率

在 BaU 和 ICT 下，企业云服务需求相同。区别在于，BaU 下数据中心结构与基年相同，而 ICT 情景下数据中心规模将趋于大型化。

2. 数据中心单位服务的电耗分析

与个人云类似，企业云实现单位服务量能耗也是根据数据中心 IT 硬件能耗和 PUE 指数核算而成的。在不同情景下，数据中心实现单位 IT 服务需求（云存储和云处理）的 IT 设备能耗相同。具体核算流程见 4.5 节。



3. 数据中心总能耗

数据中心能耗包括建设能耗、运行能耗两大部分。其中运行能耗可以通过 IT 设备能耗和 PUE 指数求出。对不同规模的数据中心, PUE 指标不同。在 ICT 情景下, 企业数据中心的集中度将大幅提高, 平均 PUE 指数也将较 BaU 显著改善。再加上大型数据中心选址更加科学, 如果选址在寒冷地区, 则有助于 PUE 指数进一步降低。

$$\text{数据中心运行能耗} = \sum_{\text{不同规模数据中心}} \text{数据中心IT设备运行能源} \times \text{PUE}$$

$$\text{数据中心IT运行能耗} = \sum_{\text{不同IT服务}} \text{实现IT服务需求量} \times \text{单位服务能耗}$$

数据中心建设能耗包括 IT 设备制造能耗和建筑建造能耗。前者可通过数据中心 IT 设备数量与单台设备生产能耗计算得出。关于数据中心 IT 设备数量与服务需求的关系, 有

$$\text{服务器数量} = \frac{\text{云处理服务需求}}{\text{单台服务器计算能力} \times \text{服务器利用率}}$$

$$\text{硬盘数量} = \frac{\text{云存储服务需求}}{\text{单台硬盘存储能力} \times \text{存储空间利用率}}$$

数据中心建筑面积取决于 IT 设备数量, 建筑建设总能耗可以由单位建筑面积能耗和建筑面积求得。只是对于不同规模数据中心, IT 设备的容积密度不同, ICT 情景下大规模数据中心比例高于 BaU 情景, 因此 IT 设备容量密度更大。

$$\text{建筑建设总能耗} = \text{单位建筑面积能耗} \times \sum_{\text{大中型数据中心}} \frac{\text{IT设备数量}}{\text{IT设备容量密度}}$$

根据数据中心总运行电耗和数据中心建设能耗, 分别乘以不同能源类型对应的排放因子, 可以获得数据中心的 CO₂ 排放。在 ICT 情景下, 数据中心规模更加集中, 可以选址在非化石能源丰富地区, 非化石能源发电比例较 BaU 高。

4. 网络传输能耗和 CO₂ 排放

BaU 情景下, 企业通常采用小规模局域网络, 与个人云的公共网络相比, 单位传输量的能耗略有差别。在 ICT 情景下, 中小型企业需要租用公

共数据中心资源，通信采用公共网络，大型企业需要建设更大规模的数据中心，也采用类似的网络结构，单位传输量网络能耗与个人云相同。

4.5 云计算的设备需求及能耗分析

对于不同的云计算服务模式和服务对象，设备需求和能源消耗情况不同。为了全面评估云计算的节能减碳潜力，需要首先对不同云服务模式的设备需求和能耗情况进行基础分析，求解出单位服务量所需的能源需求。

4.5.1 云计算设备结构

云计算的设备需求基本可以分成终端设备、数据中心、通信网络三大部分。对于个人云和企业云，终端设备和数据中心的架构基本相同，但在通信网络结构上存在较大差别，如图 4-8 和图 4-9 所示。主要原因是个人用户和企业用户访问网络的方式不同，个人用户一般通过 Internet 来访问面向公众的云计算服务，企业一般会搭建专有的局域网。但随着云计算的推广，企业将租用或建设更大规模的数据中心，转而使用公共互联网。Internet 和局域网在网络结构和设备配置方面有显著差异。

1. 终端设备

终端通常包括台式机、笔记本电脑、智能手机、平板电脑等，用户通过这些设备来访问互联网，并享受相关的云服务。

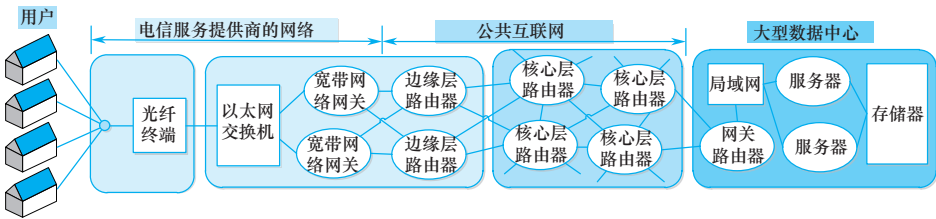


图 4-8 基于公共网络的云计算设备构成

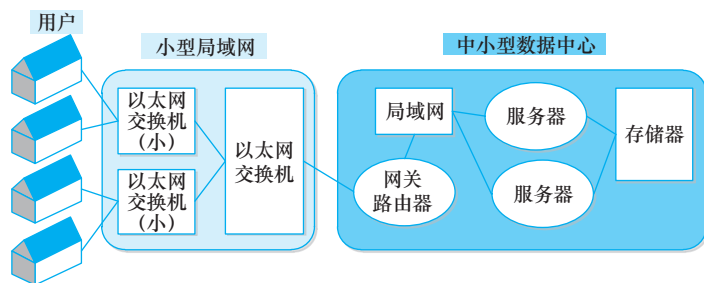


图 4-9 基于企业局域网的云计算设备构成

2. 数据中心

数据中心是处于“云端”，实现云计算的服务平台。数据中心聚集了大量的服务器、存储设备和网络设备，能够实现数据的集中处理、存储、交换、管理等业务。从物理层次上，数据中心主要由 IT 设备、制冷系统、供电系统三部分构成，如图 4-10 所示。其中 IT 设备是核心功能设备，负责用户数据处理（服务器）、数据存储（存储设备）及通信（网关设备）；制冷系统保证 IT 设备工作在正常的温度和湿度下；供电系统用于直流 / 交流转换，并确保为 IT 设备提供可靠、高质量的电源。

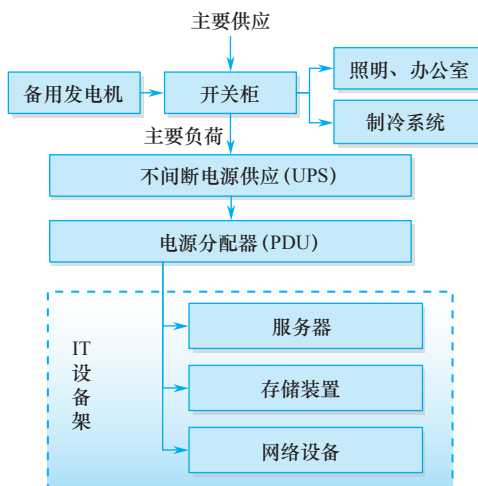


图 4-10 数据中心设备结构

在核算数据中心能耗时，通常将体现服务水平的 IT 设备，以及起支撑作用的制冷系统、馈电系统设备分开考虑。通过 PUE（Power Usage Effectiveness，电能利用效率）指标，将 IT 设备的总能耗与数据中心的总能耗关联起来。PUE 计算公式如下所示。

$$PUE = \frac{\text{数据中心总能耗}}{\text{IT 设备总能耗}}$$

IT 设备总能耗主要考虑服务器能耗、存储设备能耗及网络设备能耗。典型设备能耗参数可以从供应商获得。

在本书中，数据中心 PUE 水平被当成外生的背景因素考虑。主要原因在于，无论是否推广云计算，数据中心 PUE 的发展趋势都不会发生太大变化。

3. 通信网络

通信网络是在个人终端和数据中心之间传输数据的媒介。

对基于公共网络的云服务来说，用户和数据中心之间的通信网络由电信服务商网络和公共互联网两个部分组成，如图 4-8 所示。

对基于局域网的云服务来说，用户和数据中心之间的通信网络结构较为简单，分为接入层和汇聚层两层结构。接入层一般部署小型以太网交换机，负责一层楼的网络通信数据的交换转发，汇聚层则采用高性能的以太网交换机，负责几栋楼之间的网络通信数据的汇聚，如图 4-9 所示。

4.5.2 不同服务类型下的设备能耗分析

无论是个人云还是企业云，提供的服务类别都分为云存储（以提供存储服务为主）和云处理（以提供计算服务为主）两大类。而不同的服务类别（服务需求）对应的设备需求和能耗不同，需要分别开展研究。

1. 终端设备能耗

个人终端常见的有台式机、笔记本电脑、智能手机、IPAD 等，用户通过这些设备来访问互联网的云计算服务。后续的分析中用 P_t 表示终端设备的能耗。表 4-11 中列出常见的终端设备及其功耗。



表 4-11 常见的终端设备配置及其功耗

设备类型	典型配置	空闲时功耗	满负载功耗
中等配置台式机	Intel 奔腾 G630, 主频 2.7GHz, 2GB DDR3	125W	210W
笔记本电脑	Intel 酷睿 i3-2367M, 主频 1.4GHz, 2GB DDR3	20W	60W
平板电脑	联想乐 PAD	1.5W	1.5W

2. 单位通信量的网络传输能耗

公共网络 (Internet) 和专有网络 (企业内部局域网) 在网络层次、设备结构方面有较大差异, 因此在相同的数据通信量下, 两者的能耗也不同。下面以每秒传输 1MB 数据作为单位通信量, 对两者分别进行分析。

1) 公共网络能耗

公共网络能耗由电信服务商网络、Internet 两部分的设备能耗相加求得。

对于电信服务商网络, 其设备包括连接用户的接入层设备、会聚层的交换机, 以及宽带网络的网关。由于接入层通常使用 PON (无源光网络), 其能耗与数据通信的流量无关, 不会对云计算与传统计算之间的能耗比较产生影响, 因此未将其纳入网络能耗的计算中。因而在电信服务商网络中每秒传输 1MB 数据的能耗计算公式为

$$E_1 = 1\text{MB} \times \left(\frac{P_{\text{es}}}{C_{\text{es}}} + \frac{P_{\text{bg}}}{C_{\text{bg}}} \right)$$

其中, P_{es} 、 P_{bg} 分别为以太网交换机、宽带网络网关的功率, C_{es} 、 C_{bg} 分别是相应的通信能力 (每秒钟能够传输的最大数据量)。

对于 Internet 部分, 其设备包括连接电信服务商的边缘层路由器以及骨干网中的核心路由器, 核心路由器之间通过光纤网络连接。在因特网中每秒传输 1MB 数据的能耗计算公式为

$$E_2 = 1\text{MB} \times \left(\frac{2P_{\text{pe}}}{C_{\text{pe}}} + \frac{9P_{\text{c}}}{C_{\text{c}}} + \frac{8P_{\text{w}}}{C_{\text{w}}} \right)$$

其中, P_{pe} 、 P_{c} 、 P_{w} 分别为边缘层路由器、核心路由器、光纤网络的功率, C_{pe} 、 C_{c} 、 C_{w} 分别是相应设备的通信能力。由于电信服务商和数据中心都需要通过边缘层路由器连接到 Internet, 因此在 P_{pe} 前面乘以系数 2。在如今的 Internet 中, 数据包平均需要在发送端和接收端之间经过 12 ~ 14 次转发,

其中约有 8 次发生在核心路由器之间, 因此在 P_c 前面乘以系数 9, 并在 P_w 之前乘以系数 8。

综上所述, 公共网络中在数据中心和用户之间传输 1MB 数据的网络设备能耗计算公式为

$$E_1 = E_1 + E_2 \left(\frac{P_{es}}{C_{es}} + \frac{P_{bg}}{C_{bg}} + \frac{2P_{pe}}{C_{pe}} + \frac{2 \times 9P_c}{C_c} + \frac{9P_w}{C_w} \right) / U_N$$

公式末尾的 U_N 表示网络设备的实际利用率 (为了保障通信安全, 网络设备的配置都会有一定的冗余度, 不会达到 100% 满负载运行)。

2) 局域网能耗

对于企业内部的局域网, 其设备主要包括与用户终端相连的小型以太网交换机和核心的高性能以太网交换机。可通过如下公式来计算在局域网中每秒传输 1MB 数据的网络设备能耗。

$$E_0 = \left(\frac{P_{es}}{C_{cs}} + \frac{P_{les}}{C_{les}} \right) / U_N$$

其中, P_{les} 、 P_{es} 分别为小型以太网交换机、高性能以太网交换机的功率, C_{les} 、 C_{es} 分别是其通信能力, U_N 同样表示网络设备的实际利用率。

3. 单位云存储服务量的数据中心运行能耗

为分析云存储服务的能耗情况, 我们将云存储服务的模式做出如下界定: 用户将需要存储的文件保存在云端 (数据存储中心), 当需要浏览和编辑文件时, 先将文件从云端下载到本地, 使用结束后再上传到云端保存, 即数据文件存储在云上, 对数据的处理和计算通过用户个人计算机完成。

根据云存储所需的存储、服务器、网络三类设备的能耗情况, 可以求出不同服务量 (存储量) 下的云存储能耗。下面以 1MB 作为单位存储量来进行分析。

1) 存储设备

在云端的磁盘阵列中存储 1MB 数据的功耗, 可以通过单位比特的存储功耗和存储设备的有效利用率来求得, 即

$$\text{存储设备功耗} = 1\text{MB} \times \frac{P_{sd}}{U}$$



其中, P_{sd} 为存储单位比特数据的功率, 可由磁盘阵列的总功率除以存储容量计算获得; U 为存储设备的有效利用率。为保障存储安全, 数据中心通常会预留一定的存储空间, 确保有一定的冗余存储能力。当用户的存储需求为 1MB 时, 设备的实际存储能力为 $(1/U)$ MB。

2) 服务器设备

云存储服务中, 服务器的主要作用是从数据中心存储设备中读取出用户需要的文件, 再将其发送到用户终端, 是用户终端与数据中心存储设备之间的中转站, 因此又称内容伺服器。

服务器的功耗取决于三个因素: 一是总的文件读取需求, 这里是 1MB; 二是读取 / 下载文件的频繁程度, 用单位时间 (如 1 秒) 内上述文件的平均下载次数 D 表示; 三是服务器吞吐 1MB 数据消耗的功率 P_{sr} , 可以通过单台服务器的总功率与数据吞吐总能力之比求得。因而有

$$\text{服务器功耗} = 1\text{MB} \times D \times P_{sr}$$

3) 网络设备

这里指数据中心的内部网络, 其设备包括与每台服务器相连的接入层交换机、核心层交换机, 以及网关路由器。在数据中心网络中每秒传输 1MB 数据的功耗计算公式为

$$P_D = 1\text{MB} \times \frac{2P_{es}}{C_{es}} + \frac{P_g}{C_g}$$

其中, P_{es} 、 P_g 分别表示以太网交换机、网关路由器的功率; C_{es} 、 C_g 分别表示相应设备的通信能力。 P_{es} 前面的系数 2 表示该项涵盖了接入层和核心层的交换机。

云存储服务中, 用户的通信需求主要来自文件的读取和下载, 这等同于内容伺服器的数据吞吐量。从而有

$$\text{服务器设备功耗} = 1\text{MB} \times D \times P_D$$

其中, $1\text{MB} \times D$ 为通信需求, P_{net} 为网络设备传输单位比特数据的功率。

综上所述, 单位云存储服务量 (1MB) 的数据中心运行能耗为

单位云存储服务量能耗

$$= (\text{存储设备功耗} + \text{服务器功耗} + \text{网络设备功耗}) \times P_{\text{UE}} \times \text{设备运行时间}$$

$$= \left\{ 1\text{MB} \times \left[\frac{P_{\text{sd}}}{U} + D \times (P_{\text{sr}} + P_{\text{D}}) \right] \right\} \times \text{PUE} \times T$$

其中，公式末尾的 T 表示数据中心设备的运行时间。

4. 单位云处理服务量的数据中心运行能耗

随着大型计算任务的日益增加（如科学研究和多媒体处理领域），个人计算机将难以胜任这些工作，人们需要性能更为强大的计算机。云处理就是面向这类需求的一种服务，其模式为：用户只须使用普通的笔记本电脑来运行日常办公软件，而将大型计算任务的相关数据上传至云端的高性能服务器，任务计算完后将结果返回给用户。根据云处理所需的存储、服务器、网络三类设备的能耗情况，可以求出云处理的能耗。

1) 存储设备

云处理服务中，数据中心无须对用户提交的数据进行长期保存，只须在计算时将其暂放在服务器的内存中，因此数据中心存储设备的能耗可以不用考虑。

2) 服务器

服务器的能耗取决于三个因素：一是服务器需要计算的任务数量，用 N 表示；二是服务器计算一个任务平均需要花费的时间，用小时数 T 来表示；三是单台服务器的功率 P_{sr} 。因而有

$$\text{服务器能耗} = N \times T_1 \times P_{\text{sr}}$$

3) 网关设备

云处理服务中，网络设备的负载主要来自于用户将数据上传到云端，可以通过用户在单位时间内提交的任务数量、每个任务中上传的文件大小，以及单位比特的网络传输能耗来求得。即

$$\text{网关能耗} = N \times B \times P_{\text{net}}$$

其中， N 表示用户平均每周的任务数量； B 表示平均每个任务文件的大小； P_{net} 表示在网络中传输单位比特的耗电量。



4.5.3 用户需求对云计算能耗的影响

从上一节的研究可以看出，云计算的能耗情况，与用户的需求量和需求模式直接相关。由于云计算尚未被大规模应用，未来用户需求和行为模式都存在较大的不确定性。因此有必要针对不同用户需求行为开展能耗分析，首先是个人云。

1. 对云存储能耗的影响

云存储能耗等于存储、服务器、网络三部分设备的能耗之和，即

$$\text{个人云存储能耗} = \frac{P_{sd} \times S}{U_s} + N \times B \times D \times (P_{sr} + P_{net})$$

其中，存储空间 S 、读取频次 D 、常用文件个数 N 、存储单个文件大小 B 直接与用户需求相关。 U_s 也与用户需求存在一定联系，但考虑到未来云计算服务商会根据需求及时拓展存储空间，可以保持 U_s 维持在相对稳定的范围内。

用户需求量和需求模式的变化，将显著影响云存储的能耗。

1) 存储量的大小将直接影响云存储能耗，特别是网络通信能耗

如果一个云存储用户拥有 10GB 的存储空间，文件平均下载频率设定为 1 次 / 小时，随着常用文件规模的变化，一个云存储用户的每天耗电量如表 4-12 和图 4-11 所示。当常用文件较少时，网络通信能耗占整体能耗的比例极低，随着存储量的上升，网络通信能耗将成为主要的耗能环节。

表 4-12 云存储用户在不同存储量下的每天耗电量

常用文件的规模 (MB)	1	10	10	1000	10000
存储设备功耗 (W)	2.5E-05	2.5E-04	2.5E-03	2.5E-02	2.5E-01
服务器功耗 (W)	3.3E-07	3.3E-06	3.3E-05	3.3E-04	3.3E-03
数据中心 LAN 通信功耗 (W)	1.5E-04	1.5E-03	1.5E-02	1.5E-01	1.5E+00
公共网络通信功耗 (W)	3.3E-03	3.3E-02	3.3E-01	3.3E+00	3.3E+01
局域网络通信功耗 (W)	8.8E-05	8.8E-04	8.8E-03	8.8E-02	8.8E-01
PUE	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

(续表)

单个用户总耗电量 (公共网络) (kW•h)	8.6E-05	8.6E-04	8.6E-03	8.6E-03	8.6E-01
单个用户总耗电量 (局域网) (kW•h)	8.5E-06	8.5E-05	8.5E-04	8.5E-03	8.5E-02

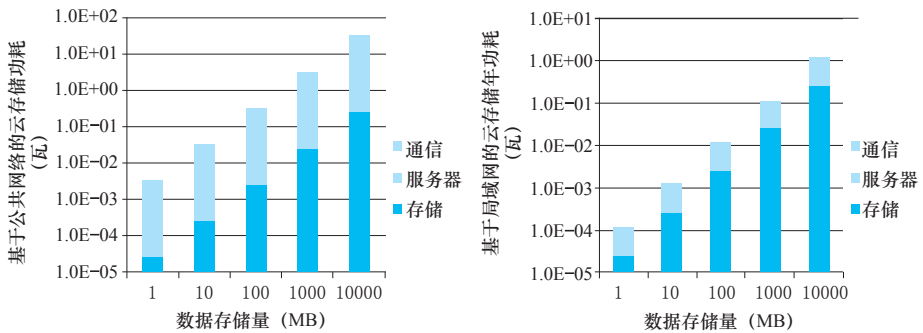


图 4-11 用户的存储量对云存储耗电量的影响

2) 随着用户读文件次数的增加，网络通信能耗显著增加

如果将云存储用户拥有的存储空间设定为 10GB，存储量设定为 100MB，那么一个云存储用户在不同的文件读取 / 下载频率下的每小时耗电量如图 4-12 和表 4-13 所示。可以看出，随着用户读取 / 下载文件次数的增加，网络通信能耗显著增加。

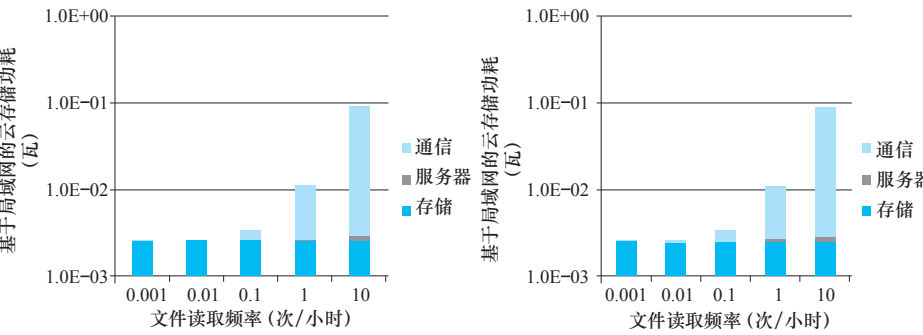


图 4-12 文件读取频率对云存储耗电量的影响



表 4-13 云存储用户在不同的文件读取频率下的耗电量

文件读取频率 (次 / 小时)	0.001	0.01	0.1	1	10
存储设备功耗 (W)	2.5E-03	2.5E-03	2.5E-03	2.5E-03	2.5E-03
服务器功耗 (W)	3.3E-08	3.3E-07	3.3E-06	3.3E-05	3.3E-04
数据中心 LAN 通信功 耗 (W)	1.5E-05	1.5E-04	1.5E-03	1.5E-03	1.5E-01
公共网络通信功耗 (W)	3.3E-04	3.3E-03	3.3E-02	3.3E-01	3.3E+00
局域网络通信功耗 (W)	8.8E-06	8.8E-05	8.8E-04	8.8E-03	8.8E-02
PUE	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
单个用户总耗电量 (公 共网络) (kW·h)	1.0E-04	1.8E-04	9.4E-04	8.6E-03	8.5E-02
单个用户总耗电量 (局 域网络) (kW·h)	9.2E-05	9.9E-05	1.7E-04	8.5E-04	7.7E-03

3) 云存储是否节能, 取决于用户需求量和需求模式

在云存储技术诞生之前, 数据存储在用户的个人硬盘中。台式机一般使用 3.5 英寸硬盘, 笔记本电脑一般使用 2.5 英寸硬盘。以西部数据 2.5 英寸硬盘为例 (空闲时功率为 0.25W, 满负载时功率为 2.5W), 假设在运行中硬盘有 75% 的时间处于空闲状态, 25% 的时间处于忙碌状态, 那么可以计算出其一天的耗电量为 0.02kW·h。

图 4-13 和图 4-14 对比了云存储与传统存储方式的耗能情况。从图中能够清晰地看出, 当用户的存储量比较小、文件读取频率比较低时, 使用云存储服务更为节能。但随着常用文件规模的增大和文件读取频率的增加, 云存储的网络设备能耗显著上升, 使得节能优势不复存在。

2. 对云处理能耗的影响

个人云的云处理能耗等于服务器、网络、终端三部分设备的能耗之和, 即

$$\text{云处理能耗} = N \times (T_1 \times P_{\text{sr}} + B \times P_{\text{net}}) + P_{\text{tm}} \times T_2$$

其中, 任务数量 N 、单个任务文件的大小 B 直接与用户需求有关, 服务器

计算一个任务需要的时间 T_1 取决于用户提交的云处理任务的类型。每周处理日常任务的时间 T_2 也与用户工作模式存在关联，但对于大多数用户来说，每天的日常工作时间可以认为稳定在 24 小时。

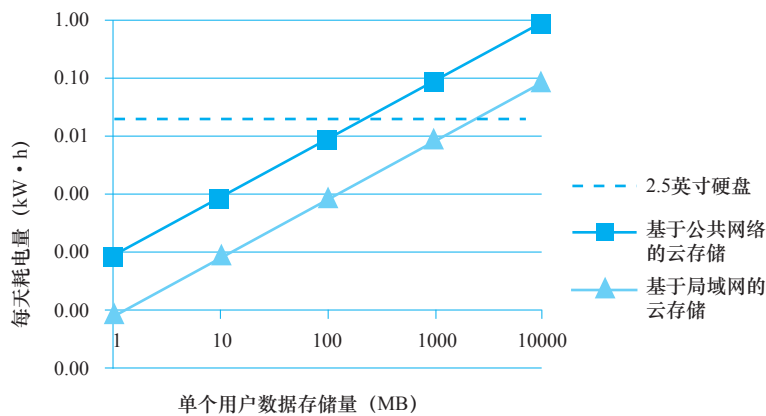


图 4-13 用户存储量的大小对云存储节能效果的影响

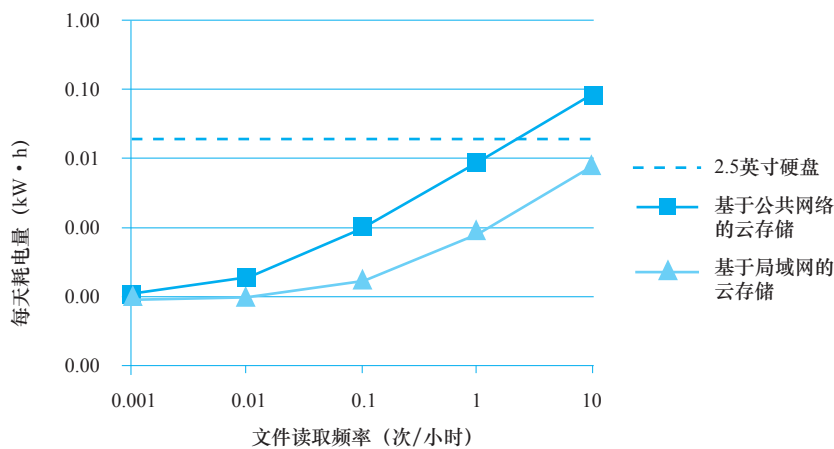


图 4-14 读取文件的频率对云存储节能效果的影响

1) 随着用户计算需求的增加，云处理能耗显著增加

假设用户使用普通的笔记本电脑处理日常任务，每天工作时间为 24 小时。图 4-15 和表 4-14 反映了每天在不同的计算服务需求下，一个云处理用户的耗能情况。

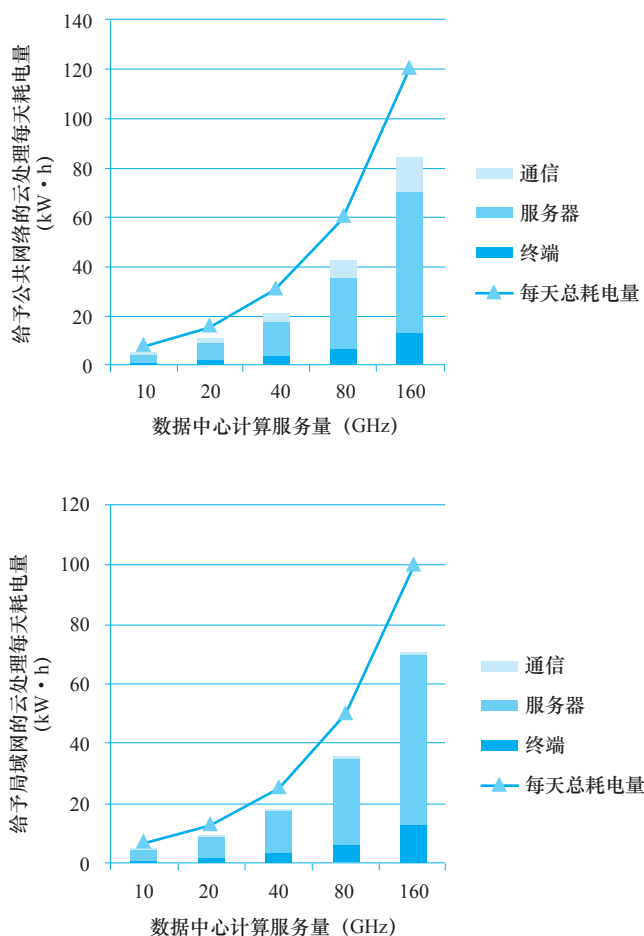


图 4-15 计算需求对云存储能耗的影响

表 4-14 不同的任务数量下每个云存储用户的能耗情况

每台服务器承载的终端设备的数量	5	10	20	40	80
云处理服务每天耗电量 (kW·h) (公共网络)	30	32	38	48	70
云处理服务每周耗电量 (kW·h) (局域网)	28	29	31	36	45
中等配置的台式机每天耗电量 (kW·h)	25	50	100	200	400
笔记本电脑每天耗电量 (kW·h)	12	24	48	96	192

2) 云处理是否节能取决于每台服务器承载的终端数量

图 4-16 和表 4-15 反映了云处理模式与传统模式的耗能对比情况。

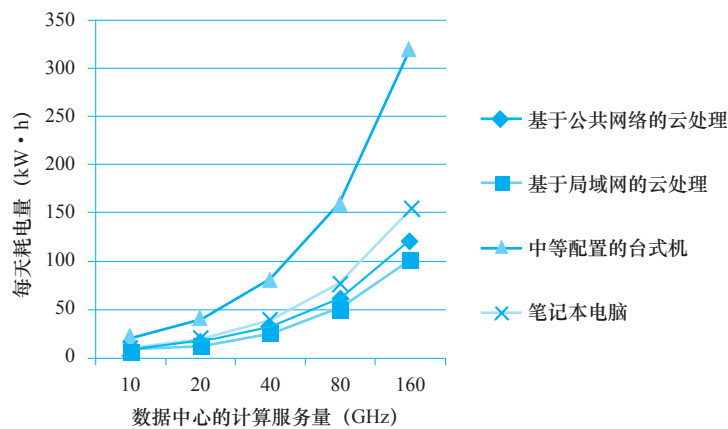


图 4-16 云处理模式与传统模式下单个用户耗能情况对比

表 4-15 云处理模式和传统模式下单个用户的耗电量

每台服务器承载的终端设备的数量	5	10	20	40	80
云处理服务每天耗电量 (kW·h) (公共网络)	30	32	38	48	70
云处理服务每周耗电量 (kW·h) (局域网)	28	29	31	36	45
中等配置的台式机每天耗电量 (kW·h)	25	50	100	200	400
笔记本电脑每天耗电量 (kW·h)	12	24	48	96	192

4.5.4 IT 设备发展趋势

1. 网络设备

根据 IDC 的报告显示，在过去的十年里，最先进的网络设备的通信周转量每增加一倍，能耗增加 40%。同时，根据历史数据显示，每台路由器的通信能力从 1985 年的 2GB/s 增加到 2012 年的 100TB/s。由此，通过线性



拟合，可以推断每台路由器的通信能力每年平均增加 56% (如图 4-17 所示)。据此，我们可以估算出，最先进的路由器的能效进步趋势为：每比特数据的传输能耗逐渐递减 20%。

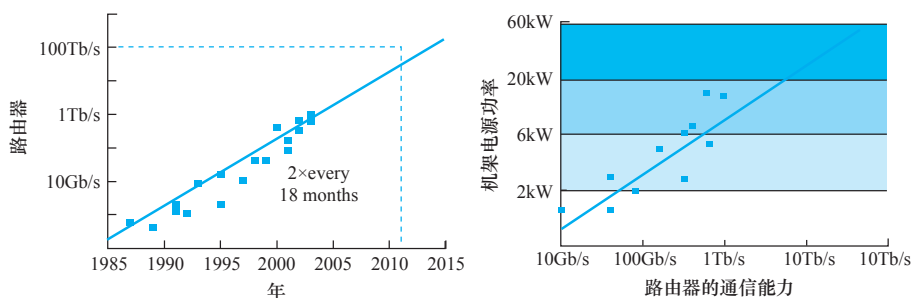


图 4-17 网络设备的网络通信能力

(数据来源：David T. Neilson, *Photonics for Switching and Routing*, IEEE Journal of selected topics in quantum electronics, VOL. 12, NO. 4, July/August 2006, pp.670-671.)

2. 服务器

根据 IDC 的研究，以服务器 Generic 1U 为例，从 2001 年到 2008 年，每台服务器的功耗从 95W 增加到 247W，增长 2.6 倍，如表 4-16 和表 4-17 所示，而其服务器的计算能力在 2001 到 2008 年期间增长 13.88 倍。通过估算得出单台服务器的能效每 2 ~ 4 年翻一番，即每年服务器能效提高 20% ~ 30%。参照其他类型服务器，这一发展趋势也基本符合要求。

表 4-16 服务器 Generic 1U 的能效进步情况

参数类型 (单位)	功率 (W)	计算能力 (ssj_ops)	能效 (ssj_ops /W)
2001	95	-	-
2004	190	-	-
2008	247	-	-
2008/2001 年比率	2.60	13.88	5.34
年增长率	14%	38%	24%

表 4-17 不同时期 DL380 服务器的能效变化情况

年份	型号	功率 (W)	计算能力 (ssj_ops)	能效 (ssj_ops /W)
2001	DL380G1	169	7 991	47.3
2004	DL380G4	394	26 880	68.2
2006	DL380G5(Intel 5160)	258	159 151	616.9
2008	DL380 G5(Intel 5430)	253	306 620	1211.9
2009	DL380 G6	170	439 831	2587.2

（资料来源：Jonathan G. Koomey, Christian Belady, Michael Patterson, Anthony Santos, Klaus-Dieter Lange, Assessing Trends over Time in Performance, Costs, and Energy Use for Servers, Final report to Microsoft Corporation and Intel Corporation, August 17, 2009, Appendix.）

3. 存储设备

在过去数十年间，硬盘驱动器中存储容量从 30 ～ 40GB 扩大到了现今的 500GB ～ 1TB。其功率基本维持不变，则可以推算近十年存储设备每比特的功耗每年约降低 30%。预计未来这一趋势将持续下去。

4.6 个人云节能减碳潜力分析

个人云发展的情景设置如表 4-18 所示。

表 4-18 个人云发展情景设置

情景		BaU	ICT
网民数量		2015 年，网民数超过 8 亿，普及率超过 57%，到 2020 年网民普及率达到 70%	同 BaU
终端设备	结 构（市 场占有率）	略微向轻便化方向发展，台式机保有率年均下降 0.5%，笔记本和手机保有率年均上涨 0.15%，平板电脑保有率年均上涨 0.1%	手机和平板电脑成为主流，未来台式机和笔记本电脑保有率降低
	性能	CPU 计算能力根据摩尔定律年均增长 59%，终端设备存储容量、功率同基年相同	同 BaU
	使用率	与基年（2010 年）情况相同	同 BaU
	能效	按照 2000—2010 年速度稳步提升	同 BaU



(续表)

情景		BaU	ICT
IT 服务需求	个人云服务用户数量	—	2020 年, 云存储用户占网民数的比例为 50%, 云处理用户占网民数量比例为 40%
	实现方式	全部由终端设备实现	逐步由终端转移至数据中心实现
数据中心	IT 设备能效	—	服务器、硬盘、网卡等 IT 设备能效稳步提高每比特存储能耗每年约减低 30%
	PUE	—	规模化相应明显, 选址更加科学, PUE 水平稳步提高, 到 2015 年达到 1.5, 2020 年达到 1.1
	IT 设备性能	—	服务器计算能力根据摩尔定律年均增长 59%, 性能服从摩尔定律等原则, 与终端设备性能提高趋势一致
	IT 设备使用率	—	经过科学设计, IT 设备复用水平较高, 仅保留维持安全用的冗余度。设备使用率显著提高, 服务器负载率达到 100%, 磁盘阵列的使用率达到 60%
	IT 设备容量密度	—	平均每台机柜占地 4 平方米, 拥有 8 台服务器
	数据中心的建造能耗	—	2020 年单位建筑面积能耗较 2010 年全国平均水平下降 10%
网络设备	性能	—	2011 年网关通信能力为 660Gb/s, 逐年增加 30%
	能耗	—	每比特数据的传输能耗逐年递减 20%
电源结构		与全国平均水平一致	终端设备用电和制造能耗与全国平均水平一致。由于数据中心选址在非化石能源丰富地区, 用电中非化石能源发电比高达 35%

4.6.1 用户规模

用户规模是研究个人云节能减碳潜力的重要基础，本书将个人云的客户定位于中国的网民群体，通过设定该技术在网民中的普及率，给出个人云用户的发展情景。据统计，截止 2011 年年底，中国网民数量已经达到 5.13 亿，互联网的普及率达到 38%。根据互联网行业“十二五”规划，预计 2015 年，网民数将超过 8 亿人，普及率超过 57%；到 2020 年普及率则可能达到 70%。

在 BaU 情景下，个人云未获得发展。ICT 情景下，个人云将获得较快的发展，特别是在 2015 年之后进入加速期。由于云存储技术相对云处理更成熟，其普及水平略高于云处理，如表 4-19 和图 4-18 所示。

表 4-19 个人云存储、云处理用户数量的发展情况

万 人	2005	2010	2011	2013	2015	2020
网民普及率	9%	34%	38%	44%	50%	70%
云存储用户占网总数比重	—	—	3%	6%	10%	50%
云处理用户占网民数比重	—	—	1%	1%	4%	40%

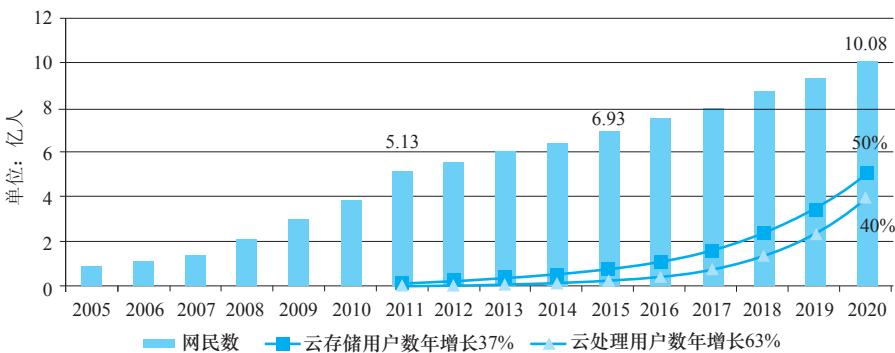


图 4-18 个人云用户变化趋势

(数据来源：中国互联网络信息中心，中国互联网络发展状况统计报告[R/OL]：中国互联网络信息中心网站，2011-1.)



4.6.2 全社会存储 / 计算需求和设备保有量的确定

为研究未来 IT 设备数量和能耗，需要首先估测未来全社会个人存储和计算需求。其中基年（2011 年）的存储和计算需求根据终端设备保有量、设备性能（硬盘容量和 CPU 主频）和使用率相乘计算得出。未来年度的存储和计算需求，则考虑了设备性能的提高、保有量变化，以及设备结构的变化。在本书中，只考虑个人云技术对终端计算和存储需求的分担作用，因此在 BaU 和 ICT 情景下全社会存储和计算需求的总合维持不变。

1. 设备性能

各类 IT 设备的性能设定如表 4-20 所示。基年数据根据调研获得，未来计算性能的进步率根据 CPU 摩尔定律设定，存储性能进步率根据过去十年硬盘性能进步率设定。

表 4-20 典型 IT 设备的性能和设定

		台式机	笔记本	手机	平板电脑	服务器	磁盘阵列
计算性能 (GHz)	2011	2.0	1.6	0.1	0.8	10.0	—
	年进步率	59%	59%	59%	59%	59%	—
存储性能 (GB)	2011	500	320	8	32	—	60TB
	年进步率	20%	20%	30%	35%	—	20%

2. 使用率

计算设备使用率根据 CPU 使用率设定，存储设备使用率根据硬盘空间占用率设定，如表 4-21 所示。假设未来设备使用率与基年相同。

表 4-21 不同 IT 设备的使用率

IT 设备	台式机	笔记本	手机	平板电脑	服务器	磁盘阵列
CPU 使用率	4%	4%	17%	10%	100%	—
硬盘使用率	20%	30%	50%	50%	—	80%

3. 设备保有量 (BaU)

BaU 情景下，个人计算和存储需求均通过终端设备实现。考虑到当前终端设备已有轻便化发展趋势。台式机比重将略有下降，手机、笔记本电脑和平板电脑比重将上升。随着未来网民数量的增长，终端计算设备保有量将逐渐增加，结构也将变化，如表 4-22 和 4-23 所示。

表 4-22 终端计算设备的保有比例变化 (BaU)

设备类型	2008	2010	2011	2013	2015	2018	2020
台式机	89%	78%	73%	73%	73%	73%	73%
笔记本	28%	46%	47%	47%	47%	48%	48%
手机	40%	66%	69%	70%	70%	70%	71%
平板电脑	4%	6%	6%	7%	7%	7%	7%

表 4-23 BaU 情景下终端计算设备保有量 (亿台)

终端设备类型	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
台式机	3.50	3.77	4.05	4.36	4.70	5.06	5.44	5.86	6.31	6.31	7.31
笔记本	2.22	2.40	2.60	2.81	3.04	3.28	3.55	3.84	4.15	4.49	4.86
手机	3.29	3.56	3.84	4.15	4.48	4.84	5.23	5.65	6.11	6.60	7.12
平板电脑	0.30	0.33	0.36	0.39	0.43	0.47	0.51	0.56	0.61	0.67	0.73

4. 存储和计算需求

全社会的存储和计算需求可以根据终端计算设备保有量、性能和使用频率推算得出。在 ICT 情景下，服务需求量将部分转移到云数据中心实现，并将由此新增网络通信需求，如表 4-24 所示。

对转移至云服务器的存储需求，根据云存储用户规模和单位用户的存储空间需求计算得出。现有免费电子邮箱约为 10GB，预计 2020 年可能增长到 100G。

对转移至云服务器的计算需求，假设 2011 年有 5%，2020 年有 35% 的计算需求被转移到云数据中心实现。



表 4-24 ICT 情景下 IT 服务需求计算

情景	BaU		ICT				
需求	终端存储需求	终端计算需求	数据中心存储需求	数据中心计算需求	终端存储需求	终端计算需求	通信需求
单位	万 PB	亿 GHz	万 PB	亿 GHz	万 PB	亿 GHz	万 Gb/s
2010	4.82	0.32	0	0	4.82	0.32	0
2011	6.27	0.54	0.02	0.00	6.25	0.54	0.86
2013	10.56	1.59	0.06	0.00	10.51	1.59	3.50
2015	17.83	4.70	0.20	0.02	17.63	4.68	14.42
2018	39.23	23.73	1.39	0.81	37.84	22.91	122.61
2020	66.55	69.86	5.04	9.78	61.51	60.08	515.43

在网络通信需求方面，假设每个用户读取文件频率为 0.01 次 / 小时，用于云处理的通信量约为 0.002Gb/s (年增长 20%)，可以求得总的通信需求。

5. 设备保有量 (ICT)

个人云的发展，将显著促进终端设备的轻便化发展。ICT 情景的终端设备保有量可以通过全社会存储和计算需求，减去转移至数据中心的需求后，推算得出，如表 4-25 所示。数据中心内服务器和磁盘阵列数量，通过转移至云端的服务需求和单台设备性能计算得出。

表 4-25 ICT 设备保有量 (亿台)

年份	终端设备				数据中心设备	
	台式机 (亿台)	笔记本 (亿台)	手机 (亿台)	平板电脑 (亿台)	服务器 (万台)	磁盘阵列 (万个)
2010	3.50	2.22	3.29	0.30	0	0
2011	3.76	2.40	3.56	0.33	1	0.32
2013	4.34	2.80	4.16	0.41	2	0.81
2015	4.96	3.25	4.90	0.54	9	2.03
2018	5.34	3.77	6.71	1.37	70	8.09
2020	2.72	3.02	9.98	4.30	291	20.36

4.6.3 设备能耗

1. 制造能耗

未来持续增长的终端和数据中心设备需求，将带来新增的设备制造能耗。新增设备数量，可以根据设备寿命折算获得，见表 4-26。单台设备制造能耗来自调研数据，并假设未来生产能耗年下降 2%，如表 4-27 所示。不同情景的设备制造能耗如表 4-28 所示。

通过对比可以看出，个人云发展导致的终端设备轻量化，将显著促进设备制造能耗的下降。需要说明的是，由于骨干网带宽冗余，移动互联网设备繁杂，本书未考虑网络通信设备的制造能耗，仅考虑了运行能耗，如图 4-19 所示。

表 4-26 设备产量（亿台）

	BAU 情景				ICT 情景					
	台式机 (亿台)	笔记本 (亿台)	手机 (亿台)	PAD (亿台)	台式机 (亿台)	笔记本 (亿台)	手机 (亿台)	PAD (亿台)	服务器 (台)	磁盘阵列 (万台)
寿命	3	3	2	3	3	3	2	3	5	5
2010	1.06	0.68	1.46	0.12	1.06	0.68	1.46	0.12	0	0.00
2012	1.23	0.80	1.71	0.14	1.22	0.79	1.71	0.15	1	0.51
2015	1.53	1.01	2.15	0.18	1.47	0.98	2.20	0.23	5	0.96
2018	1.91	1.27	2.71	0.24	1.35	1.02	3.15	0.76	41	3.84
2020	2.22	1.49	3.17	0.29	1.17	0.91	5.24	2.77	172	9.66

表 4-27 单台计算设备的制造能耗（kW•h/ 台）

	台式机	笔记本	手机	平板电脑	服务器	磁盘阵列
2010	260	62	10	42	833	3124
2012	250	60	10	40	800	3000
2015	231	55	9	37	738	2767
2020	208	50	8	33	667	2501
年变化率	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%	-2%



表 4-28 不同情景的设备制造能耗 (亿 kW·h)

	BAU 情景					ICT 情景						
	台式机	笔记本	手机	PAD	合计	台式机	笔记本	PAD	手机	服务器	磁盘阵列	合计
2010	271	42	15	5	332	272	42	15	5	0.0	0.0	333
2012	301	47	17	5	370	300	47	17	6	0.1	0.1	369
2015	354	56	20	7	436	340	54	20	9	0.4	0.3	423
2018	416	66	24	8	514	307	52	29	32	4	1	424
2020	462	74	26	10	573	244	46	44	92	11.5	2.5	440

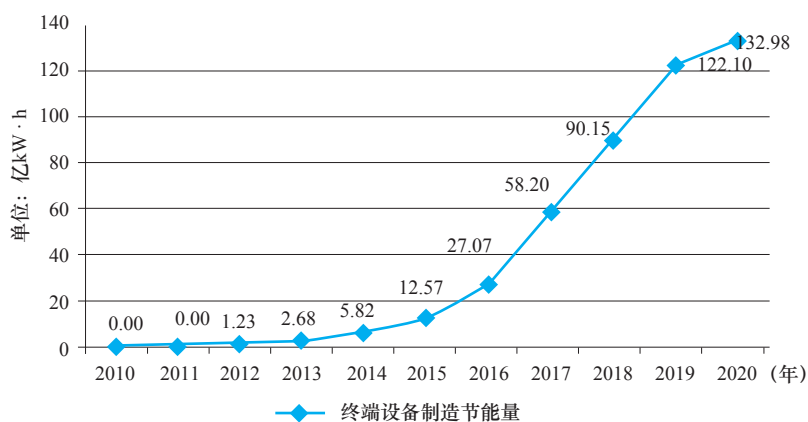


图 4-19 设备制造节能量

2. 运行能耗

在 4.5 节中, 已经求得了云计算提供单位服务 (存储 / 计算 / 通信) 的能耗需求, 根据表 4-23 的个人云服务量, 可以计算出各类设备的总运行能耗, 如表 4-29 所示。

在核算数据中心运行总能耗时, 须通过数据中心 IT 设备运行能耗和 PUE 指标共同计算求出。根据调研, 2010 年我国数据中心的 PUE 为 2.0 左右, 2015 年可能改进到 1.5 左右 (通信业 “十二五” 规划), 2020 年有望进一步提升至 1.3 左右。

表 4-29 两种情景下设备运行能耗变化情况（单位：亿 kW·h）

	BaU	ICT					
	终端设备	终端设备	网络传输	数据中心			合计
				设备运行	PUE	总运行	
2010	156	156	0	0	-	0	156
2011	168	168	1	2	2.00	5	174
2013	195	194	2	5	1.73	8	205
2015	226	223	5	10	1.50	15	243
2018	277	196	16	68	1.38	89	301
2020	328	169	27	125	1.30	163	359

4.6.4 数据中心建筑的建造能耗

ICT 情景下，还须考虑数据中心建筑的建造能耗。根据调查，数据中心单个机柜平均占地面积为 4 平方米，根据统计口径中 2010 年单位建筑面积的建造耗能数据，并考虑未来能效进步，可以得出 ICT 情景下各年新增数据中心建造能耗的变化情况，如表 4-30 所示。

表 4-30 数据中心建筑的建造能耗

	建筑面积	单位面积能耗	建筑能耗	新增数据中心总建造能耗
单位	万 m ²	吨标准煤 / 平方米	万吨标准煤 (电热当量)	万吨标准煤 (电热当量)
2010	-	0.017	0.00	0.00
2011	0	0.017	0.00	0.00
2012	0	0.017	0.00	0.15
2015	2	0.017	0.04	0.79
2018	18	0.016	0.28	4.78
2020	74	0.016	1.16	17.11

4.6.5 个人云节能减碳效果

综合本节研究可以看出，在基准情景下 2010—2020 年用于满足个人计算存储需求的能源消耗能将从约 1300 万吨标准煤上升至 2100 万吨标准煤，如图 4-20 所示；通过推广个人云，总能耗将可能被控制在 1850 万吨标准煤左



右。个人云技术在 2020 年可能形成 250 万吨标准煤的节能潜力，由此减排的 CO₂ 达 540.7 万吨。

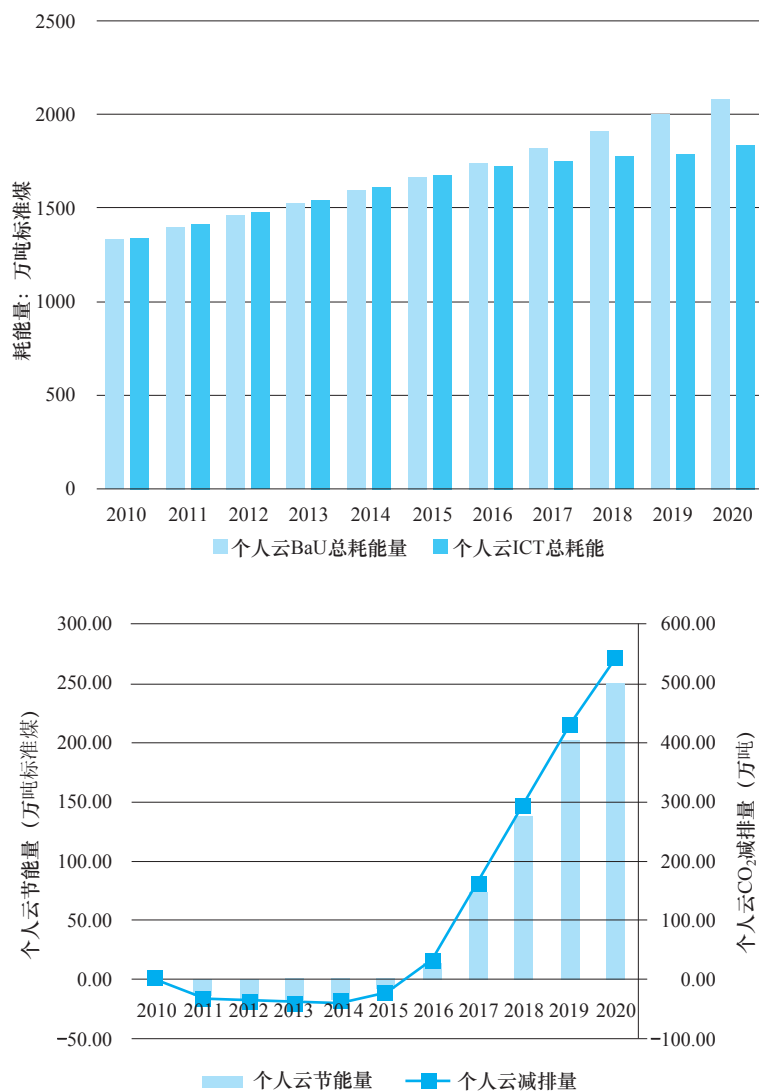


图 4-20 个人云技术的节能减排量

然而，个人云的节能减碳效果并非是“立竿见影”的。在发展初期，云数据中心的建设和运营会导致能耗的短期增加。随着技术的普及，个人

云用户的增加，规模效应将逐渐显现，从 2016 年起，云计算技术导致的节能效果将显现。

4.6.6 不确定分析

个人云的发展与技术普及率和用户行为模式直接相关，其节能减碳效果存在一定的不确定性。为了开展不确定分析，本节利用情景分析的方法，针对个人云技术的不同普及度，以及个人用户的不同行为模式，设定了四种对照情景。相对 ICT 情景，ICT-1 和 ICT-2 分别对应不同的技术普及率，ICT-3 和 ICT-4 则描述了不同用户行为模式下的情景，如表 4-31 所示。

表 4-31 个人云发展的不确定性分析（2020 年参数设置）

情景参数		ICT	ICT-1	ICT-2	ICT-3	ICT-4
普及度	云存储普及率	50%	40%	60%	同 ICT	同 ICT
	云处理普及率	40%	30%	50%		
行为模式	云端文件平均读取频率	0.01 次 / 小时	同 ICT	同 ICT	0.005 次 / 小时	0.02 次 / 小时
	单个用户的存储量	100GB			50GB	150GB
	计算需求转移	35%			25%	45%
	各终端的通信量	10Mb/s			5Mb/s	15Mb/s

1. 技术普及度

ICT-1 和 ICT-2 情景分别描述了个人云具有较低和较高普及率的节能减碳情景，如图 4-21 所示，对比 ICT 情景可以看出：

个人云的长期节能减碳效果与普及度呈正相关性；技术普及率越高，节能减碳效果越明显。以 2020 年为例，如果个人云普及率提高 10%，节能量将增加 98 万吨标煤。

个人云节能效果的显现时间与技术普及率关系较大。研究表明，不同普及率下个人云发生节能减碳效果的时间在 2016—2018 年。普及率越大，节能效果显现时间越早。



个人云产生“负面”节能效果对技术普及率不太敏感，不同普及率下“负面”节能量的峰值差异不大。主要原因在于：数据中心建设和设备制造运行产生的能耗与云计算发挥的节能效果存在“对冲”作用；技术应用越广泛，所需建设和运营能耗越高，产生的节能效果也越明显。

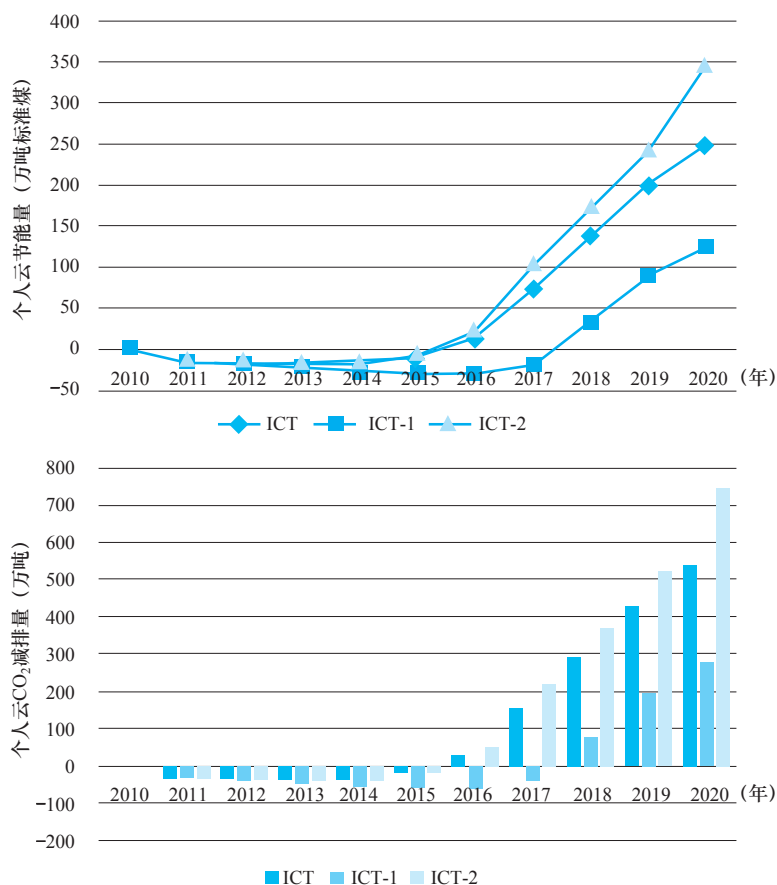


图 4-21 不同普及率下的个人云节能减碳潜力

2. 用户行为模式

ICT-3 和 ICT-4 情景分别描述了特定普及率下不同用户使用习惯下的影响，如图 4-22 所示。其中 ICT-3 下用户倾向有选择性的使用个人云服务；ICT-4 下用户则更加依赖个人云技术，文件存储量、读取频率、计算需求转移量、通信服务量都较高。

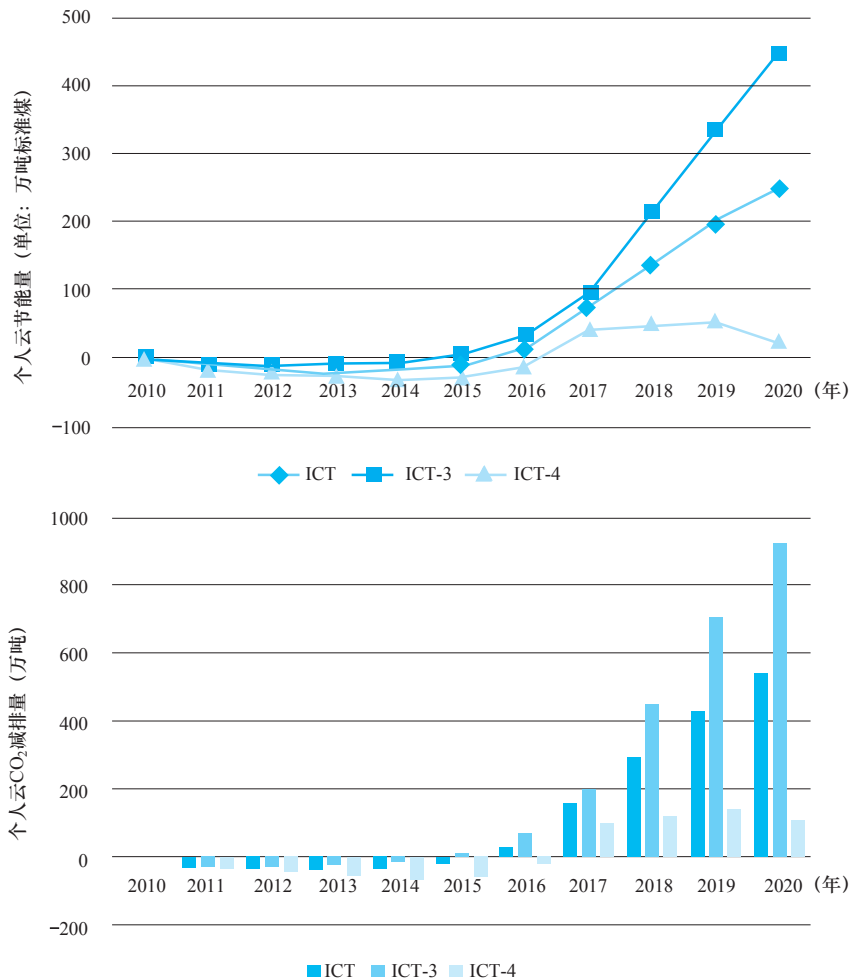


图 4-22 不同用户习惯下的个人云节能减碳潜力

对比 ICT 情景可以看出：个人云的节能减碳效果与用户行为高度相关；如果用户不加节制地使用个人云服务，可能会增加信息传输能耗，降低节能减碳效果。因此未来个人云服务的模式需要政府加以引导。

如果过于依赖或滥用个人云服务，可能延迟节能效果的显现时间。ICT-4 情景体现节能减碳正效果的时间，较 ICT-3 晚 1 年。同时“负面”节能量的峰值也存在一定差异。主要原因在于：如进行大规模数据传输，通信能耗将成为节能减碳的瓶颈，现有通信技术能效进步值得研究。



4.7 企业云节能减碳潜力分析

企业云发展的情景设置如表 4-32 所示。

表 4-32 企业云发展情景设置

情 景		BaU	ICT
服务需求	需求量	维持 2009—2011 年增长态势，其中云处理需求年均增长 8%，云存储需求年均增长 5%	同 BaU
数据中心	规模结构	与基年相同	大规模数据中心比重日趋提高，大型企业数据中心建设更加集中，到 2020 年大型数据中心承担的云处理需求达到 50%，云存储需求达到 60%。中小型企业则从超大型数据中心中租赁服务（以服务量化分）
	IT 设备能效	服务器、硬盘、网关等 IT 设备能效稳步提高	同 BaU
	PUE	2015 年大型数据中心平均 PUE 水平达到 1.5，而中小型数据中心 PUE 进步到 1.8。2020 年大型数据中心 PUE 达到 1.3，中小型数据中心下降到 1.6 左右	同 BaU
	IT 设备性能	服从摩尔定律等原则，与终端设备性能提高趋势一致	同 BaU
	IT 设备使用率	与基年保持一致，不同规模数据中心设备使用率不同，数据中心规模越大，使用率越高。微型机房服务器使用率为 25%，存储设备使用率为 20%；小型数据中心服务器使用率为 30%，存储设备使用率为 30%；中型数据中心服务器使用率为 50%，存储设备使用率为 45%；大型数据中心服务器使用率为 70%，存储设备使用率为 60%	同 BaU
	IT 设备容量密度	各规模数据中心的容积密度与基年保持一致	大型数据中心内的 IT 设备布局更加优化，容量密度比中小型数据中心有明显提高
	数据中心建筑的建造能耗	与全国平均水平一致，2020 年较 2010 年下降 10%	同 BaU

(续表)

情 景		BaU	ICT
网络设备	性能	公有网络传输每比特功率为 2.1×10^{-6} W/bit，专有网络传输功率为 5.6×10^{-8} W/bit	同 BaU
	能耗	网络传输能耗每年下降 30%	同 BaU
电源结构		与全国平均水平一致	终端设备用电和制造能耗与全国平均水平一致。由于数据中心选址在非化石能源丰富地区，用电中非化石能源发电比高达 35%

4.7.1 企业数据中心的现状和计算存储需求

1. 现状分析

企业云的主要应用领域是企业数据中心。根据 IDC 研究，2011 年中国企业的数据中心数量约为 53 万个左右。其中，小于 100 平米的微型机房和小型数据中心的所占比重达到 99% 以上，服务器数量占总量的 70% 以上。以 2011 年为基年，不同规模数据中心的数量和设备结构如表 4-33 所示。根据当前服务器 CPU（10GHz）和磁盘阵列（60TB）性能，以及不同规模数据中心的设备配置情况和利用率设定，可以计算出企业数据中心的计算和存储需求。

表 4-33 2011 年企业数据中心规模和性能设定

规模分类	比例	服务器				磁盘阵列			
		规模 (台)	CPU 使用率	计算能力 (万 GHz)	分担率	规模 (台)	使用率	存储能力 (PB)	分担率
微型机房	94.67%	5	25%	631	46%	1	20%	6062	45%
小型数据中心	5.00%	50	30%	400	24%	5	30%	2401	18%
中型数据中心	0.30%	500	80%	400	15%	50	75%	2161	16%
大型数据中心	0.03%	5000	100%	560	15%	500	100%	2881	21%
数据中心 总量	1	53 万	—	1992	100%	77 万	—	13506	100%



2. 计算和存储需求增长趋势

当前我国企业数据中心正处于快速发展期。根据埃森哲和中国电子协会的研究，当前有 45% 的企业计划建设数据中心，创建私有云平台。限于数据安全、网络传输速度等限制，预计未来云计算发展将快于云存储。假设存储需求年增长 20%，计算需求年增长 80%。则未来十年我国企业数据中心的计算和存储需求如图 4-23 所示。

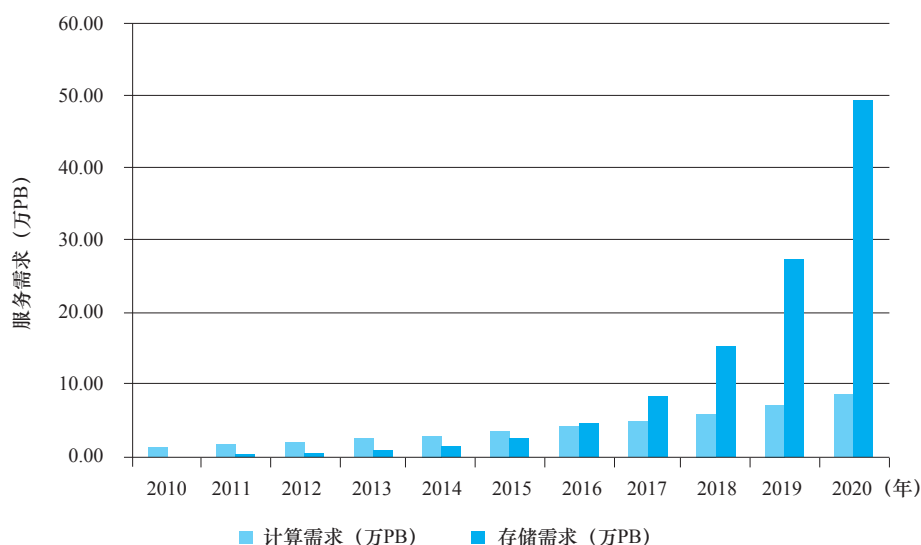


图 4-23 未来企业数据中心的计算和存储需求（2010—2020 年）

4.7.2 企业数据中心规模和设备需求

随着未来企业计算和存储需求的增长，企业数据中心的设备存量需求将不断增加（已考虑到 IT 设备的技术进步因素，假设服务器的计算能力按照摩尔定律年增长 59%，磁盘阵列容量按照历史增速年增长 30%）。假设在 BaU 情景下，不同规模数据中心的比重将与基年相同。按照表 4-33 中，不同规模数据中心的设备配置情况，BaU 情景下的企业数据中心的设备存量需求如表 4-34 所示。

表 4-34 BaU 情景下企业数据中心的设备存量需求

年份	计算需求 (亿 GHz)	服务器 (万台)				存储需求 (万 PB)	磁盘阵列 (万台)			
		微型 机房	小型数 据中心	中型数 据中心	大型数 据中心		微型 机房	小型数 据中心	中型数 据中心	大型数 据中心
分担率	—	26%	16%	26%	32%	—	36%	14%	21%	28%
2010	1.41	224	117	70	70	0.14	55	14	9	9
2011	1.69	253	133	80	80	0.25	51	13	8	8
2012	2.02	286	151	91	91	0.45	47	12	7	7
2013	2.43	324	171	103	103	0.80	43	11	7	7
2014	2.91	366	194	116	116	1.44	40	10	6	6
2015	3.50	415	219	131	131	2.60	37	10	6	6
2016	4.20	470	248	149	149	4.67	34	9	5	5
2017	5.04	532	281	168	168	8.41	31	8	5	5
2018	6.04	602	318	191	191	15.14	29	8	5	5
2019	7.25	681	360	216	216	27.25	27	7	4	4

在 ICT 情景下，企业云服务将为中小企业提供更加集中的计算和存储资源，因此企业数据中心规模将向大型化发展。大型数据中心的计算服务分担率将从 2011 年的 28% 提升至 2020 年的 75%；存储服务分担率将从 2011 年的 15% 提升至 2020 年的 64%。微型机房的计算服务分担率将从 2011 年的 32% 降低至 2020 年的 7%；存储服务分担率将从 2011 年的 46% 降低至 2020 年的 9%。

考虑到目前企业大型数据中心仍在建设，因此 2011—2012 年度不同规模数据中心的计算服务分担率未发生改变，从 2013 年后，随着各地大型数据中心的建成，企业数据中心开始实现转移。各年度的不同规模数据中心的的分担率和设备需求存量如表 4-35 所示。



表 4-35 ICT 情景下企业数据中心的设备存量需求 (单位: 万台)

年份	计算需求 (亿 GHz)	服务器 (台)						存储需求 (万 PB)	磁盘阵列 (台)																																																																																																																																																																																																																										
		微型机房		小型数据中 心		中型数据中心			大型数据中心		微型机房		小型数据中心		中型数据中心		大型数据中心																																																																																																																																																																																																																		
																			分担率	存量	分担率	存量	分担率	存量	分担率	存量	分担率	存量	分担率	存量	分担率	存量	分担率	存量	2010	1.41	26%	224	16%	117	26%	70	32%	70	0.14	36%	51	14%	13	21%	8	29%	8	2011	1.69	26%	253	16%	133	26%	80	32%	80	0.25	36%	51	14%	13	21%	8	29%	8	2012	2.02	26%	286	16%	151	26%	91	32%	91	0.45	36%	51	14%	13	21%	8	29%	8	2013	2.43	23%	296	16%	166	26%	102	34%	108	0.80	31%	43	14%	13	21%	8	31%	9	2014	2.91	21%	307	15%	181	26%	115	36%	129	1.44	26%	37	13%	12	21%	8	34%	10	2015	3.50	20%	317	15%	199	26%	130	38%	155	2.60	22%	31	12%	12	21%	8	38%	11	2016	4.20	18%	329	14%	218	25%	146	40%	185	4.67	19%	27	12%	11	21%	8	41%	12	2017	5.04	16%	340	14%	239	25%	165	42%	221	8.41	16%	23	11%	11	20%	8	45%	13	2018	6.04	15%	352	13%	262	25%	186	45%	264	15.14	14%	19	11%	10	20%	8	50%	14	2019	7.25	14%	365	13%	287	25%	209	47%	316	27.25	12%	16	10%	10	20%	8	55%	15	2020	8.70	13%
		分担率	存量	分担率	存量	分担率	存量		分担率	存量	分担率	存量	分担率	存量	分担率	存量	分担率	存量	2010	1.41	26%	224	16%	117	26%	70	32%	70	0.14	36%	51	14%	13	21%	8	29%	8	2011	1.69	26%	253	16%	133	26%	80	32%	80	0.25	36%	51	14%	13	21%	8	29%	8	2012	2.02	26%	286	16%	151	26%	91	32%	91	0.45	36%	51	14%	13	21%	8	29%	8	2013	2.43	23%	296	16%	166	26%	102	34%	108	0.80	31%	43	14%	13	21%	8	31%	9	2014	2.91	21%	307	15%	181	26%	115	36%	129	1.44	26%	37	13%	12	21%	8	34%	10	2015	3.50	20%	317	15%	199	26%	130	38%	155	2.60	22%	31	12%	12	21%	8	38%	11	2016	4.20	18%	329	14%	218	25%	146	40%	185	4.67	19%	27	12%	11	21%	8	41%	12	2017	5.04	16%	340	14%	239	25%	165	42%	221	8.41	16%	23	11%	11	20%	8	45%	13	2018	6.04	15%	352	13%	262	25%	186	45%	264	15.14	14%	19	11%	10	20%	8	50%	14	2019	7.25	14%	365	13%	287	25%	209	47%	316	27.25	12%	16	10%	10	20%	8	55%	15	2020	8.70	13%	378	13%	315	25%	236	50%	378	49.04	10%	14	10%	9	20%	7	60%	17
分担率	存量	分担率	存量	分担率	存量	分担率	存量	分担率	存量	分担率	存量	分担率	存量	分担率	存量																																																																																																																																																																																																																				
2010	1.41	26%	224	16%	117	26%	70	32%	70	0.14	36%	51	14%	13	21%	8	29%	8																																																																																																																																																																																																																	
2011	1.69	26%	253	16%	133	26%	80	32%	80	0.25	36%	51	14%	13	21%	8	29%	8																																																																																																																																																																																																																	
2012	2.02	26%	286	16%	151	26%	91	32%	91	0.45	36%	51	14%	13	21%	8	29%	8																																																																																																																																																																																																																	
2013	2.43	23%	296	16%	166	26%	102	34%	108	0.80	31%	43	14%	13	21%	8	31%	9																																																																																																																																																																																																																	
2014	2.91	21%	307	15%	181	26%	115	36%	129	1.44	26%	37	13%	12	21%	8	34%	10																																																																																																																																																																																																																	
2015	3.50	20%	317	15%	199	26%	130	38%	155	2.60	22%	31	12%	12	21%	8	38%	11																																																																																																																																																																																																																	
2016	4.20	18%	329	14%	218	25%	146	40%	185	4.67	19%	27	12%	11	21%	8	41%	12																																																																																																																																																																																																																	
2017	5.04	16%	340	14%	239	25%	165	42%	221	8.41	16%	23	11%	11	20%	8	45%	13																																																																																																																																																																																																																	
2018	6.04	15%	352	13%	262	25%	186	45%	264	15.14	14%	19	11%	10	20%	8	50%	14																																																																																																																																																																																																																	
2019	7.25	14%	365	13%	287	25%	209	47%	316	27.25	12%	16	10%	10	20%	8	55%	15																																																																																																																																																																																																																	
2020	8.70	13%	378	13%	315	25%	236	50%	378	49.04	10%	14	10%	9	20%	7	60%	17																																																																																																																																																																																																																	

4.7.3 网络通信需求和能耗

与个人云不同的是，无论是否应用企业云，企业数据中心都需要网络通信服务。其中大型数据中心需要依托公共网络进行信息传输，中小型数据中心则仅须在局域网络进行信息传输。根据调研，数据中心文件平均的读取频率为 100 小时一次（即每 4 天把所有存储文件读取一遍），基年每台服务器的用于计算需求的通信量为 0.4Gb/s，每年递增 20%，可以通过 4.5.2 节讲述的单位通信服务能耗，推算出网络通信能耗，如表 4-36 和表 4-37 所示。

表 4-36 企业数据中心的网络通信需求和能耗（BaU）

年份	云存储通信需求 (Gb/s)		云处理通信需求 (Gb/s)		网络通信能耗（亿 kW·h）		
	公共网络	局域网	局域网	局域网	公共网络	局域网	总计
2010	88932	223424	23650	137697	21.0	1.8	22.8
2011	106719	268108	32016	186407	18.1	1.6	19.7
2012	128063	321729	43341	252348	15.6	1.4	17.0
2013	153676	386075	58674	341617	13.6	1.2	14.8
2014	184411	463290	79429	462464	11.8	1.1	12.9
2015	221293	555948	107527	626061	10.3	1.0	11.3
2016	265552	667137	145565	847530	9.0	0.9	9.9
2017	318662	800565	197059	1147345	7.9	0.8	8.7
2018	382395	960678	266769	1553219	7.0	0.7	7.7
2019	458874	1152814	361139	2102671	6.2	0.6	6.8
2020	550649	1383376	488892	2846493	5.5	0.6	6.1

表 4-37 企业数据中心的网络通信需求和能耗（ICT）

年份	云存储通信需求 (Gb/s)		云处理通信需求 (Gb/s)		网络通信能耗（亿 kW·h）		
	公共网络	局域网	公共网络	局域网	公共网络	局域网	总计
2010	88932	223424	23650	137697	21.0	1.8	22.8
2011	213439	536215	32016	186407	32.0	2.5	34.5



(续表)

年份	云存储通信需求 (Gb/s)		云处理通信需求 (Gb/s)		网络通信能耗 (亿 kW·h)		
	公共网络	局域网	公共网络	局域网	公共网络	局域网	总计
2013	337367	706303	61950	322429	25.5	1.7	27.3
2014	444377	779076	88547	412478	23.8	1.4	25.3
2015	585329	863520	126564	528332	22.3	1.2	23.4
2016	770990	961691	180903	677573	20.9	1.0	21.8
2017	1015541	1076014	258572	870065	19.6	0.8	20.3
2018	1337661	1209354	369588	1118653	18.3	0.7	19.0
2019	1761955	1365091	528267	1440085	17.2	0.6	17.8
2020	2320830	1547220	755074	1856222	16.2	0.5	16.7

4.7.4 企业数据中心能耗

1. 运行能耗

企业数据中心的运行能由 IT 设备能耗和系统支持能耗两部分组成。其中 IT 设备能耗可近似由服务器、存储设备和网关设备的运行能耗构成；系统支持能耗则由 PUE 折算求解。随着数据中心节能技术的不断发展，PUE 水平将稳步提高：大型数据中心 PUE 从 2011 年的 2.0，下降到 2015 年的 1.5，预计 2020 年将下降到 1.3；中小型数据中心 PUE 从 2011 年 2.5，下降到 1.8，预计 2020 年将降至 1.6；微型机房不配备制冷等专门支持系统，PUE 为 1。

根据 4.7.2 节不同情景下 IT 设备存量，以及 4.5.2 节单位计算和存储服务的能耗数据，可以求解出 IT 设备的运行能耗；再根据 PUE 参数，可求出数据中心的运行总能耗，如表 4-38 所示。

2. 设备制造能耗

企业数据中心中的 IT 设备，主要包括服务器和磁盘阵列。企业云的推广将使运算和存储需求更加集中于设备利用率高的大型数据中心，从而降低设备需求和设备制造能耗。根据 4.7.2 节的新增设备需求和表 4-39 中。单台设备的制造能耗数据，可求出不同情景下的设备制造能耗。

表 4-38 设备运行能耗和数据中心总能耗 (亿 kW · h)

	微型机房			小型数据中心			中型数据中心			大型数据中心			总运行能耗	
	运行能耗		PUE	运行能耗		PUE	运行能耗		PUE	运行能耗		PUE		
	BaU	ICT		BaU	ICT		BaU	ICT		BaU	ICT		BaU	ICT
2010	126	126	1.0	155	155	2.7	93	93	2.7	74	74	2.1	447	447
2011	136	136	1.0	157	157	2.5	94	94	2.5	75	75	2.0	463	463
2012	147	156	1.0	160	160	2.3	96	96	2.3	77	77	1.9	480	489
2013	160	161	1.0	163	157	2.1	98	97	2.1	80	85	1.7	500	500
2014	175	166	1.0	167	156	2.0	100	99	2.0	82	93	1.6	524	514
2015	192	172	1.0	171	155	1.8	103	101	1.8	86	102	1.5	552	529
2016	213	177	1.0	187	164	1.8	112	110	1.8	93	117	1.5	604	568
2017	236	183	1.0	204	173	1.7	123	120	1.7	101	134	1.4	664	610
2018	263	189	1.0	224	184	1.7	134	131	1.7	110	154	1.4	732	658
2019	293	195	1.0	246	196	1.6	148	143	1.6	121	178	1.3	808	712
2020	328	201	1.0	270	208	1.6	162	157	1.6	132	206	1.3	893	772



表 4-39 设备制造能耗 (亿 kW·h)

	BaU		ICT	
	服务器	磁盘阵列	服务器	磁盘阵列
	4.00	3.19	4.00	3.19
2011	4.08	2.89	4.08	7.00
2012	4.16	2.61	3.59	5.05
2013	4.24	2.36	3.55	4.92
2014	4.32	2.14	3.52	4.80
2015	4.40	1.94	3.50	4.73
2016	4.48	1.75	3.49	4.69
2017	4.56	1.58	3.49	4.66
2018	4.65	1.43	3.50	4.63
2019	4.74	1.30	3.53	4.60
2020	4.83	1.17	3.56	4.58

3. 数据中心建筑的建设能耗

计算和存储资源的集中,也有利于降低建筑面积需求。在大型数据中心中,IT设备特别是服务器密度将更加集中:据调研,大型数据中心服务器密度是微型机房的2~3倍。根据设备4.6.2节计算的设备保有量和中国统计年鉴中,单位建筑施工面积能耗,可以推算出不同情景下的数据中心建筑的建设能耗,如图4-24所示。

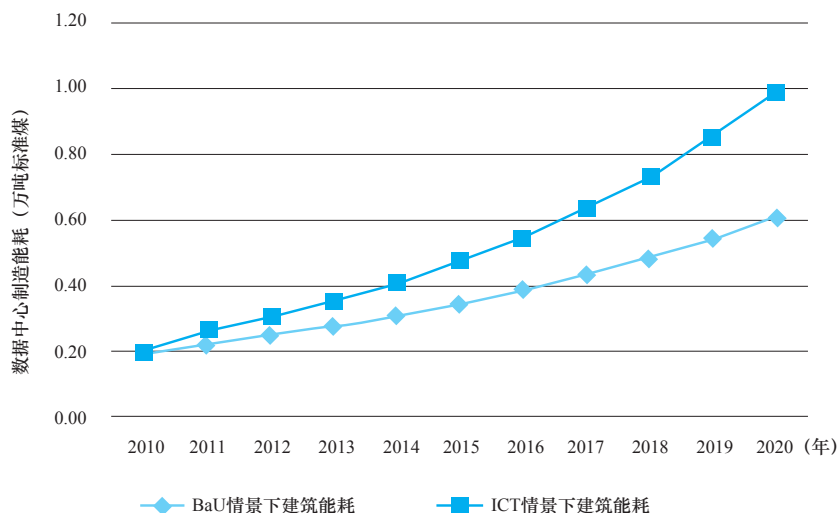


图 4-24 不同情景下企业数据中心建筑能耗

4.7.5 企业云节能减碳效果

综合本节研究可以看出，在基准情景下 2010—2020 年用于满足企业数据中心的能源需求能将从 1200 万吨标准煤上升至 2100 万吨标准煤；通过推广企业云，总能耗将可能被控制在 1800 万吨标准煤左右。企业云技术在 2020 年可能形成 300 万吨标准煤的节能潜力，由此减排的 CO₂ 近 800 万吨，如图 4-25

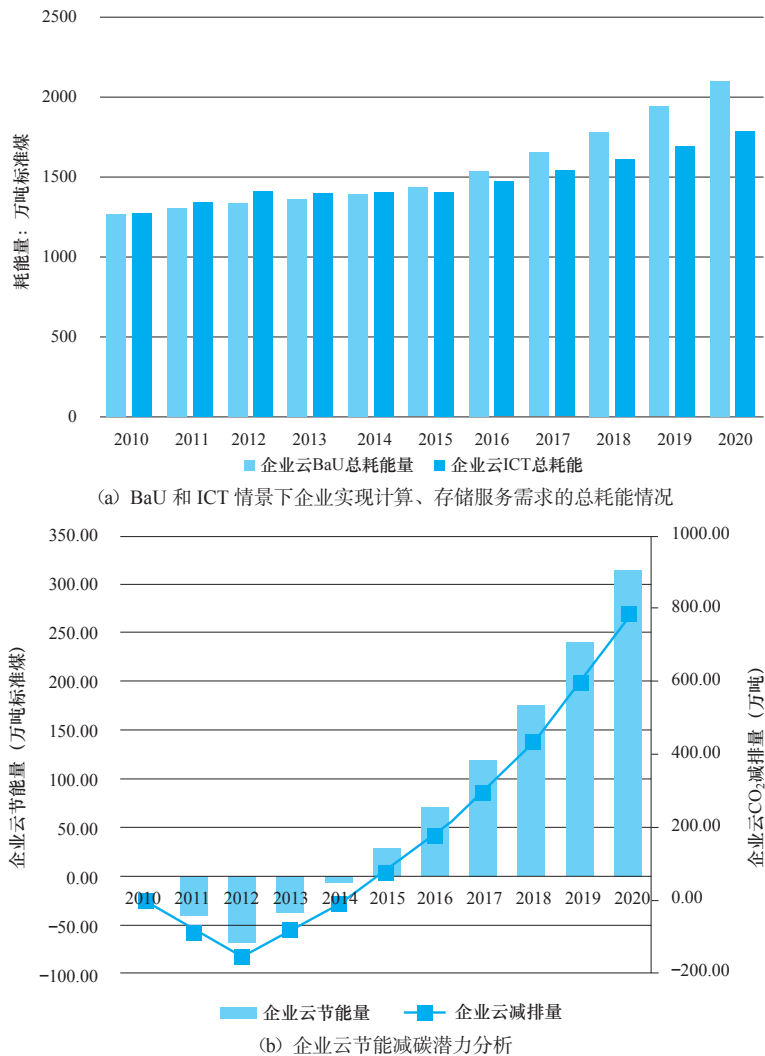


图 4-25 企业云节能减碳潜力分析



所示（注：由于企业云数据中心可布局在清洁能源丰富地区，除节能外还可以更多地降低 CO₂ 排放）。

与个人云相同，企业云的节能减碳效果也需要一定时间体现。这主要是企业的计算和存储服务尚未及时转移到云数据中心所致，详见 4.7.6 节不确定分析相关内容。

4.7.6 不确定分析

企业云的发展与技术普及率、用户行为模式和企业的计算、存储需求直接相关，其节能减碳效果存在一定的不确定性。为了开展不确定分析，本节利用情景分析的方法，针对企业云技术的不同普及度，以及个人用户的不同行为模式和不同的计算、存储需求增长速度，设定了六种对照情景。相对 ICT 情景，ICT-1 和 ICT-2 分别对应不同的技术普及率，ICT-3 和 ICT-4 则描述了企业实现服务需求转移的起始时间，ICT-5 和 ICT-6 则描述了计算、存储需求增长的不同速度，如表 4-40 所示。

表 4-40 企业云发展的不确定性分析（2020 年参数设置）

情景设置		ICT	ICT-1	ICT-2	ICT-3	ICT-4	ICT-5	ICT-6
普及度	大型数据中心承担的存储比例	60%	50%	70%	70%	50%	同 ICT	同 ICT
	大型数据中心承担的计算比例	50%	40%	60%	60%	40%		
服务需求	企业云存储需求增长	20%	同 ICT	同 ICT	同 ICT	同 ICT	15%	25%
	企业云计算需求增长	80%			同 ICT	同 ICT	75%	85%
	服务需求向大型数据中心转移的起始时间	2012			2011	2013	同 ICT	同 ICT

1. 技术普及度

ICT-1 和 ICT-2 情景分别描述了企业云具有较低和较高普及率的节能减碳情景，如图 4-26 所示，对比 ICT 情景可以看出：企业云的长期节能减碳效果与普及度呈正相关性；技术普及率越高，节能减碳效果越明显。以

2020 年为例，如果企业云普及率提高 10%，节能量将增加 165 万吨标准煤，多减排 CO₂ 324 万吨。

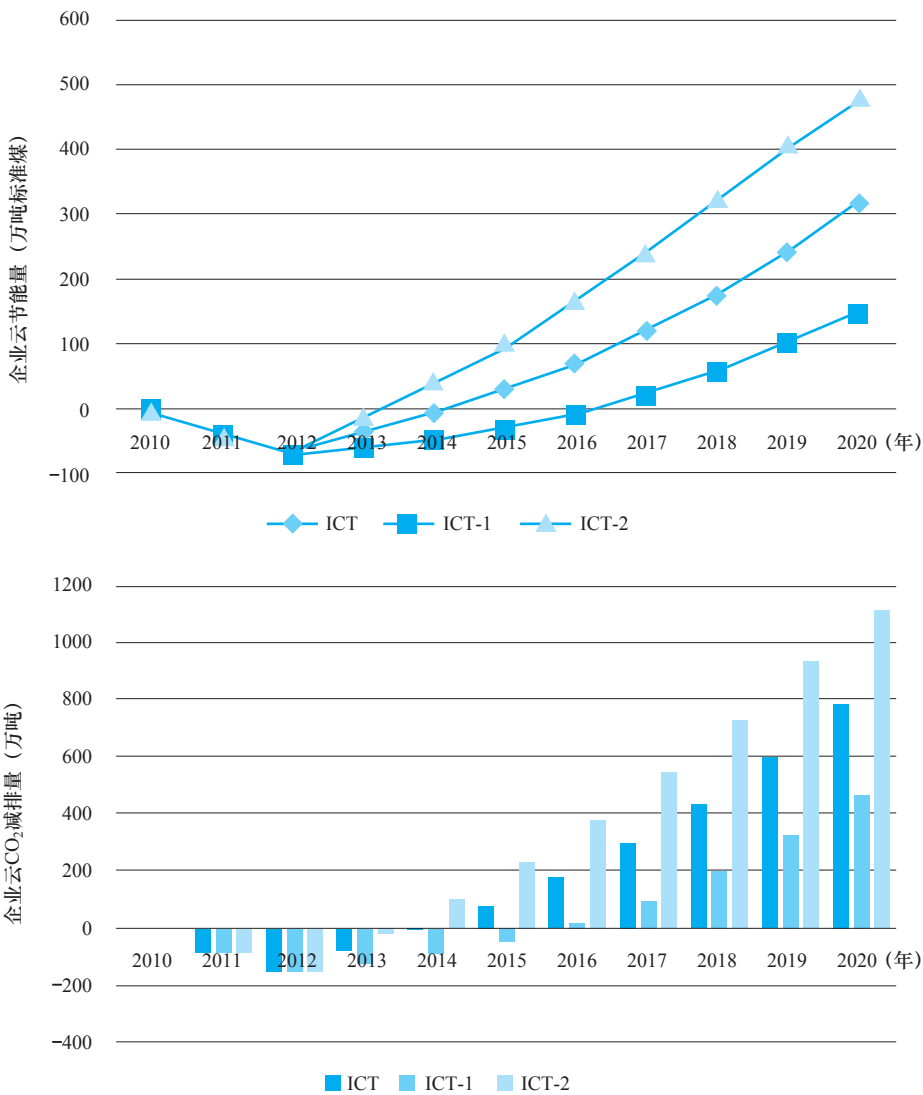


图 4-26 不同普及率下的企业云节能减碳潜力

企业节能效果的显现时间与技术普及率高度相关。如果企业使用大型数据中心的比例较低，则企业云实现的节能量将大大降低。因此企业云的



发展需要通过普及推广的过程，才能产生规模效应。

2. 服务需求向大型数据中心转移的起始时间

如图 4-27 所示，ICT-3 和 ICT-4 情景分别描述了特定普及率和服务需求增长速度下，不同用户使用习惯下的影响。其中 ICT-3 下服务需求向大型数据中心转移的起始时间提前到 2011 年；ICT-4 下企业的服务需求 2013 年才开始从微型机房、中小型数据中心向大型数据中心转移。

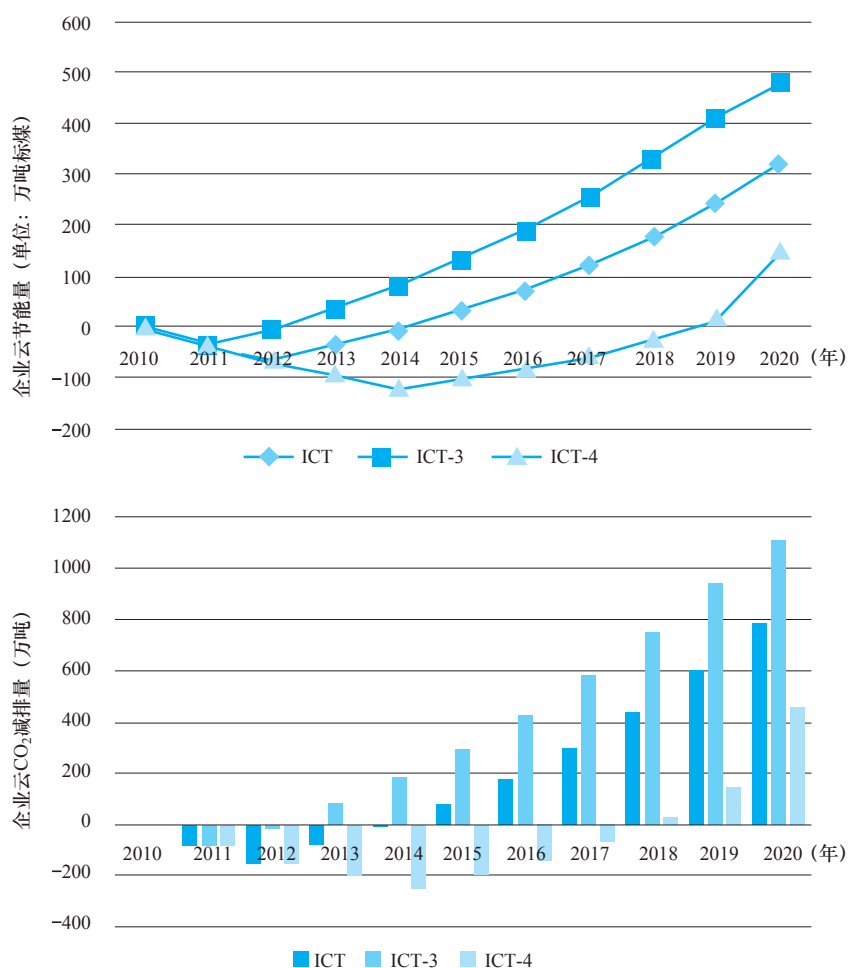


图 4-27 不同用户习惯下的企业云节能减碳潜力

对比 ICT 情景可以看出：服务需求向大型数据中心转移的起始时间与企

业最终节能效果相关度较小。但是，服务需求转移的起始时间与企业节能效果的显现时间明显相关。如果企业使用大型数据中心的时间较早，则企业云实现的节能的时间将提前。

3. 企业服务需求的增长速度

如图 4-28 所示，ICT-5 和 ICT-6 情景分别描述了特定普及率和企业使用习惯下，不同企业服务需求的影响。其中 ICT-5 下企业的计算、存储需求增长较慢；ICT-6 下企业的计算、存储需求增长较快。

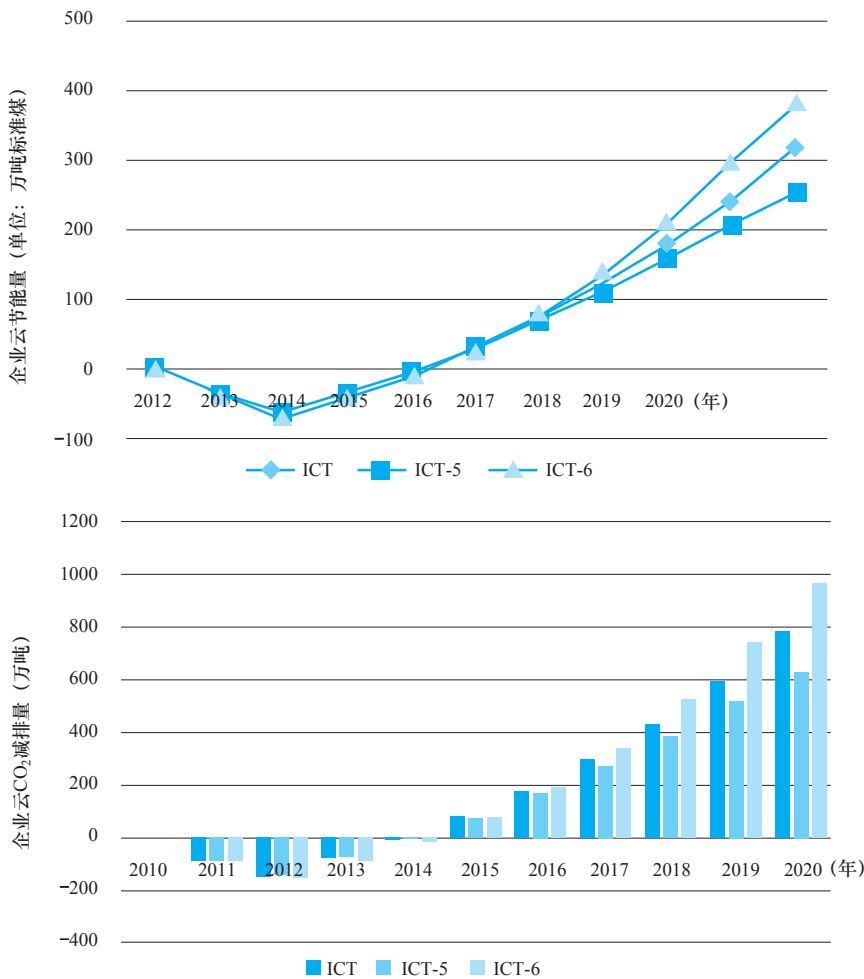


图 4-28 不同服务需求增长速度下的企业云节能减碳潜力



对比 ICT 情景可以看出：企业云节能效果与企业服务需求的增长速度呈正相关性；企业服务需求的增长速度越快，节能减碳效果越明显。以 2020 年为例，如果企业云普及率提高 5%，节能量将增加 70 万吨标准煤，多减排 CO₂ 185 万吨。

企业节能效果与企业服务需求的增长速度高度相关。如果企业使用大型数据中心的比例较低，则企业云实现的节能量将大大降低。

4.8 本章小结

云计算技术节能减碳的核心机制在于：将分布的计算和存储资源集中起来，并进行优化配置。本章针对云计算的不同技术特征和作用主体，分别核算了个人云和企业云的节能减碳潜力，并得出如下结论。

1. 云计算的节能减碳效果将在中长期逐步体现

未来云计算技术能耗将呈现“先耗能，后节能”的特点，如图 4-29 所示。在“十二五”期间，由于尚处于建设初期，云计算的资源集中优势尚未显现，处于多耗能的阶段；进入“十三五”之后，随着云计算普及率的日益提高，节能减碳效果将开始凸显。到 2020 年，预计云计算可能实现 500 ~ 600 万吨标准煤的能源节约，减排 CO₂ 将超过 1300 万吨。

2. 技术普及率和用户行为将对个人云是否节能产生决定影响

研究表明，个人云节能效果与普及率和用户行为高度相关。其中节能减碳效果与普及率呈正相关性，如果云存储和云处理普及率提高 10%，则多节能 100 万吨标准煤，效果非常明显。用户行为则更是决定个人云是否节能的关键因素。如果用户过多地将超大规模文件 / 运算任务交由云端处理，会产生巨大的网络通信能耗，届时个人云将由节能技术转变成耗能技术。因此个人云的发展模式需要加强引导。

3. 企业云具有相对明确的节能减碳效果

虽然与个人云均存在“先耗能，后节能”的特点，但企业云的中长期

节能效果较为稳定，受用户行为等因素影响较小。主要原因是参照系不同，即使没有企业云服务，企业用户仍依托传统数据中心工作；企业云的作用仅是集中 IT 资源。研究表明，2020 年企业云将产生 100 ~ 500 万吨标准煤的节能量。

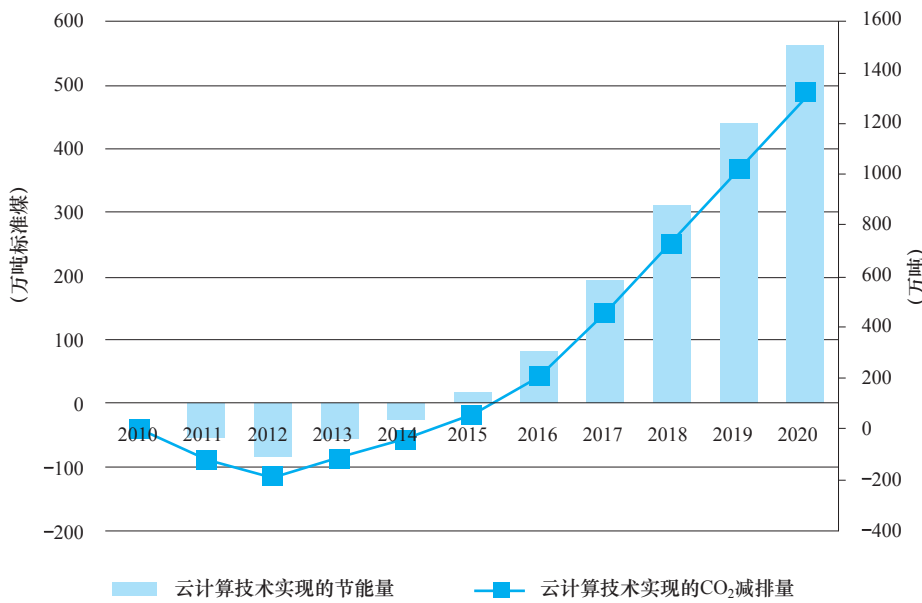


图 4-29 云计算实现的节能减排情况

第5章

电能管理信息系统节能 减碳潜力研究



- 基本概念和服务模式
- 现状与发展趋势
- 节能减碳机制识别和边界划定
- 节能减碳测算
- 本章小结



电能管理信息系统是智能电网的关键技术之一，它是将先进的量测、通信、控制、优化等信息技术应用于电能管理的智能系统，利用信息技术对电力系统各环节进行管理和控制，实现整个电力系统的安全、优质、经济运行，达到节能减碳的目的。按照电能的生产消费过程，电能管理信息系统可分为生产、传输和配送、使用三个环节，不同环节可通过不同的技术机理实现节能减碳。

为了对电能管理信息系统对我国的低碳贡献进行系统评估，本章将基本的技术原理和服务模式出发，明确该技术在发电、输配电、终端的用电不同环节中的节能减碳机制，并选择合理核算边界，测算电能管理信息系统的节能减碳潜力。

5.1 基本概念和服务模式

按照电能的生产消费过程，电能管理信息系统可以分为生产、传输与配送、使用三个环节。电能管理信息系统利用信息技术对电力系统各环节进行管理和控制，在电能生产环节，主要通过能源优化调度管理系统充分利用非化石能源，减少化石能源消耗，从源头上减少碳排放。在电能传输与配送环节，无功优化及其控制系统能够降低电能传输与配送过程中的网络损耗，从而减少能源的浪费。在电能使用环节，通过建立电能监控系统，实现电能消费的优化控制以及与用户的交互，并充分接纳分布式的可再生能源电力，最终实现节能减碳。电能管理信息系统的示意图如图 5-1 所示。

在电能生产环节，电能管理信息系统主要整合了可再生能源发电、分布式发电、储能、自动控制、智能调度等技术。在电能传输与配送环节，电能管理信息系统通过运用先进传感、广域测量、柔性输配电等技术有效降低了线损。在电能使用环节，分布式发电技术、通信技术、计算机技术、物联网技术的综合应用使得电网与用户的互动成为可能。

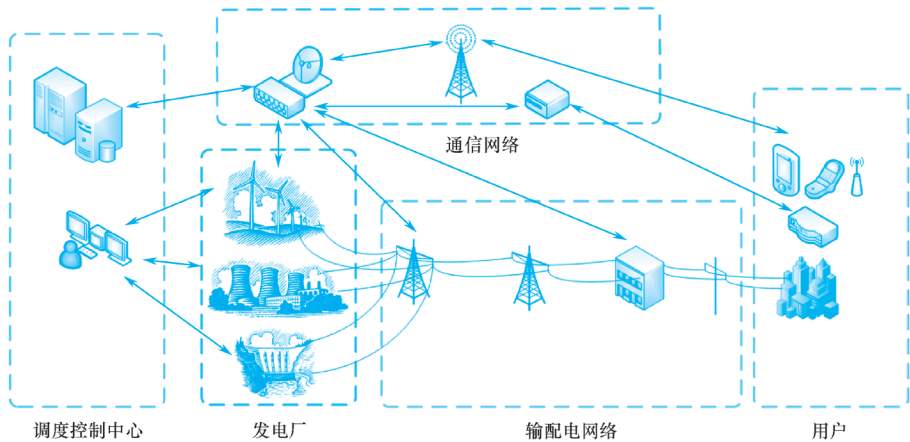


图 5-1 电能管理信息系统示意图

5.1.1 终端用电环节

在传统的电力系统中，一直将用户看成是单纯的电能消费单元，而用户也无法获取自身的实时用电情况，也不能对自身用电进行规划和管理，而实际上，用户侧节能减碳的潜力巨大。电能管理信息系统通过在用户侧建立电能监控系统，用户的角色从单纯的电能消费者转变为电力系统调度的可控环节，和发、输、配等环节一起完成电力系统调度和控制的任务。电能监控系统能够让用户得到电价、实时用电量等信息，激发用户管理自身用电情况的愿望，并通过合理调整用户侧的用电设备的负荷以及用户自身配备储能设备的充放电来适应电网负荷和电价的变化，以达到节约能源、减少用户电费支出的目的。

1. 先进计量架构

随着智能电网概念的出现，一种集智能表计、数据管理，以及负荷智能控制等技术于一体的先进计量架构（Advanced Metering Infrastructure, AMI）作为智能电网的基础组成部分，越来越受到人们的重视。AMI 并不是一项单一的技术，而是一个多技术的综合体，是用来测量、收集、储存、分析和运用用户用电信息的完整的网络处理系统，是智能电网的基础信息



平台。AMI 由安装在用户端的智能电表、位于电力公司内的测量数据管理系统和连接它们的通信系统组成。

智能电表作为计量结算的重要依据，其主要功能之一与传统电表相同，即满足一定精度的电能计量。此外，与传统电表相比，智能电表能够测量和存储的数据更多，功能更加强大。如随时保存带有时标的电能数据、根据预先设定时间间隔进行测量和存储各类电能和电量数据等。智能电表内置通信模块，可以通过双向通信网络与量测数据管理系统和电网数据中心进行信息交流。测量数据管理系统位于数据中心，用来存储、分析和管理用户的计量计费信息，并负责与其他系统进行接口，为智能电网的决策运行提供基础数据支持。AMI 增强了用户参与电网的主动性和积极性。AMI 技术可实现实时监视和控制用户周边的分布式发电和储能装置，提供电能消耗数据给用户，让用户更加清楚自己的电能使用情况。同时，电力用户可以根据 AMI 数据制定电能消费策略，负荷控制设备根据电价信息协调电力需求。甚至用户可以根据价格信息调整负荷或将能源输送给电网，主动参与电网，实现用户与电网的交互，增加市场的活跃性。

2. 用户侧能量管理系统

用户侧能量管理系统（User Energy Management System, U-EMS），即通过合理调整用户侧的负荷及用户自身配备储能设备的充放电来适应电网负荷和电价变化的自动化系统，以达到节约能源、确保用户用电安全、减少用户电费支出、提高电网的稳定性和安全性的目的。从规模上来说，U-EMS 有大型的，也有小型的，按规模大小可分为家庭能量管理系统（Home Energy Management System, HEMS）、楼宇能量管理系统（Building Energy Management System, BEMS），工厂能量管理系统（Enterprise Energy Management System, E2MS）等。下面主要对 HEMS、BEMS 以及 E2MS 作简要介绍。

HEMS：家庭能量管理系统，比较适合于居住较分散的用户，此时每一户人家都是一个小系统。首先，采集模块将采集到的用电信息通过有线或者无线方式传送至家庭内部主机，并存储到数据库中。其次，主机通过

对数据的分析、挖掘,达到对整个系统运行的优化管理,并通过采用先进的优化算法,给出用户节能建议。比如,在系统负荷高峰期优先保证实时性要求强、耗电量低,而又对可靠供电要求高的用电设备的供电;在系统负荷低谷开启热水器、洗碗机和农灌马达等用电设备。再次,用户可通过人机交互界面或通过手机或PC远程登录,读取具体用电设备在具体时间段消耗的功率,查看分布式发电装置产生的电力、蓄电池的剩余电量等情况,根据需要进行相关操作。最后,HEMS还可通过有线、无线等多种方式将用电信息传送至电力相关部门,方便其对用户用电信息进行分析,合理安排电力生产。当然,用户也可以接收电力部门发送的电价等相关信息,合理安排日常用电。

BEMS: 是BEMS的网络结构,其与HEMS相似的部分这里不再赘述,只对不同的部分加以说明。BEMS的用电功率数据量比HEMS大得多,处理这些数据需要专业的服务器。HEMS的网关只须与主机连接,一个家庭一般只需要一个网关。楼宇有所不同,对于居民楼宇,每个楼层每户必须要配置一个网关,方便用户管理;对于商业楼宇,可根据用户管理的区域规模选择网关的数量。网关将接收到的数据通过以太网传送到服务器,存储到数据库。BEMS适合于城市居民楼或者办公大厦,方便集中管理。

E2MS: 是E2MS的网络结构。与BEMS相比,E2MS多了车间监控部分。采集模块将采集到的用电信息通过有线或者无线方式传送至对应的网关,再通过局域网传送至相应的车间监控中心和办公楼监控中心,进行相关数据统计之后,再通过以太网传送至工厂监控中心的服务器。管理人员可以通过Internet、无线等多种通信网络查看终端用电设备的运行情况、储能设备的电量,进行相应的操作,如开启或关闭某一用电设备,决定是否用储能设备供电。

5.1.2 输配电环节

电力网在输送和分配电能的过程中,由于输、变、配电设备存在着阻抗,在电流流过时,就会产生一定数量的有功功率损耗。在给定的时段



(日、月、季、年)内,输、变、配电设备以及营销各环节中所消耗的全部电量称为电网的损耗电量。降低线损是电力系统节能减碳的一项重要工作。对电能管理信息系统而言,在电能传输与配送环节,主要通过对电压的监测和控制,维持系统电压稳定,从而降低系统线损,实现节能减碳。

1. 先进传感技术

SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) 系统,即是数据采集与监视控制系统。SCADA 系统是以计算机为基础的生产过程控制与调度自动化系统。它可以对现场的运行设备进行监视和控制,以实现数据采集、设备控制、测量、参数调节,以及各类信号报警等各项功能。

2. 广域测量系统

同步相量技术是同步相量测量、传输、分析和应用技术的综合。主要包括相量测量单元 (Phasor Measurement Unit, PMU)、相量数据集中器 (Phasor Data Concentrator, PDC)、分析与应用中心 (Analysis and Application Center, AAC) 以及高速数据通信网络等。应用 PMU 可以实现发电机功角和母线电压相量的实时测量,具有全网同步、精度高、密度高、刷新快的特点。随着越来越多的 PMU 安装在电力系统中,一种新的量测监控系统——广域测量系统 (Wide-Area Measurement System, WAMS) 逐步形成。WAMS 将带时标的相量数据打包并通过高速通信网络传送到数据中心,数据中心对各子站的相量进行同步处理和存储,并可计算系统惯性中心相角及各机组、母线的相对相角。WAMS 可对电力系统的动态过程进行在线监测、分析与控制,在暂态稳定、电压稳定等方面得到了广泛应用。

3. 自动电压控制系统

自动电压控制系统 (Automatic Voltage Control, AVC) 通过监测装置监测节点电压,利用计算机技术实现自动控制,当系统电压发生改变时,通过通信网络下发指令,采用调节发电机励磁电流、改变变压器变比、投切无功补偿装置等方法维持系统电压稳定,从而降低系统线损。

4. 柔性交流输配电系统

柔性交流输电系统(Flexible AC Transmission Systems, FACTS)应用大功率、高性能的电力电子元件制成可控的有功或无功电源以及电网的一次设备等,以实现输电系统的电压、阻抗、相角、功率、潮流等的灵活控制,将原来基本不可控的电网输电环节变得可以全面控制。FACTS涵盖了电力和工业应用的多种技术,根据连接到电网的方式不同分为串联补偿与并联补偿装置;串联补偿装置包括固定串联电容补偿与晶闸管控制串联电容补偿装置;并联补偿装置包括静止型动态无功补偿器和静止同步补偿器。

5.1.3 发电环节

电能管理信息系统在电能生产环节的基本原理是能源优化运行。所谓能源优化运行,就是在现有的发变电设备及网络条件下,在规划期内对各种能源的合理利用和运行计划做出决策,使得各类机组在满足电力平衡及各种物理约束和运行约束的条件下经济可靠地供电。

不同类型的机组发电成本、物理约束条件不同,机组在不同出力水平下的发电效率不同,并且机组的起停会消耗额外的能量,因此,根据负荷的变化对不同类型的机组的出力及起停进行合理安排,将负荷在不同机组间进行优化分配,从而减少燃料的浪费,成为电能生产环节节能减碳的关键。

此外,由于电网中的元件被通信系统和自动控制系统连接在一起,电能管理信息系统能够对可再生能源发电的波动做出即刻反应。

1. 分布式能源

分布式能源是小容量的发电和电能存储技术,特别是指容量在 $3 \sim 10000\text{kW}$,接近于负荷区域(如居民小区和商业中心)提供一个相对于传统电源而言可选择的或者提高质量的电源。分布式电源需要一个与电网相匹配的电力电子接口,还需要电网本地控制与保护策略来支撑。分布式发电装置包括微型涡轮机、燃料电池、光伏太阳能板、风力涡轮机等。



2. 机组运行优化技术

机组运行优化技术通过构建不同发电机组出力的数学模型，在电网调度需求分析和预测基础上，利用信息化手段动态控制和预设机组出力特性，可以有效提升发电能效，并提高机组运行寿命。

5.2 现状与发展趋势

5.2.1 全球电能管理信息系统的发展

21 世纪资源和环境的双重压力使人们开始审视电力系统在节能减碳方面的巨大潜力。智能电网发展前景广阔，它可以提高电网管理大量间歇性可再生能源发电的能力，支持节能减碳技术的大规模应用，对缓解资源和环境压力有着不可估量的价值。智能电网是下一代电力系统的代名词，它是一系列先进电力技术的集合，而电能管理信息系统是智能电网的关键技术之一，它利用信息技术对电力系统各环节进行管理和控制，实现电网的优化运行、促进可再生及分布式能源的利用以及电网与用户的互动，实现节能减碳。

从产业发展上看，各 IT 公司、电力公司纷纷提出对电能管理信息系统的愿景，积极开展相关技术的研发，如表 5-1 所示。

表 5-1 各公司对电能管理信息系统的愿景

公 司	愿 景
凯捷 Capgemini	(1) 采集数据。数据应从电网的多个测量点进行采集。 (2) 分析与预测。采集得到的数据应按照运行的和业务的用途进行分析。 (3) 监测、管理与行动。在电网运行方面，从电网硬件中采集得到的数据可启动预先设定好的程序，该程序可完成信息发布、数据记录或动作执行等任务。 (4) 重建电网以支持双向潮流（Bi-Birectional Power Flow）和变电站之间的功率转移，使采集和分析的数据信息可用于电网运行

(续表)

公 司	愿 景
	由各种智能化网络连接设备、分布式电源和用户能量管理工具等组成的一个科技生态系统：
IBM	(1) 营造用户能更积极地参与的市场环境。 (2) 投资满足实时用户需要和提供系统运行服务信息所需的新资源。 (3) 更好地理解和服务于日益多元化的用户群
通用电气公司 GE	(1) 分布式发电机组能与现有发电机组实现无缝协调运行。 (2) 智能家庭使节能变为现实，并使人们生活更加安逸。 (3) 需求响应能真实地了解需求情况，并能优化需求响应。 (4) 插电式电动汽车 (Plug-in Vehicle) 能反方向为电网提供电能。 (5) 提升电网运行水平。 (6) 提高电能质量和系统安全性。 (7) 获得更高效率，使需求更少、损耗更小
法国电力公司 EDF	发展分散的智能技术和高级自动化技术集中分布式电源

各国政府也纷纷制定相关计划，从多个角度支持和鼓励电能管理信息系统的发展，成为推动新能源革命和低碳经济发展的重要抓手。各国的发展计划虽有不同，但都强调了电力数据的监测采集、分析处理以及用户的参与互动，如表 5-2 所示。

表 5-2 各国电能管理信息系统发展计划

国家 / 地区	发展计划
美国	(1) 利用信息技术对能源系统进行更新换代。 (2) 通过发展和部署技术方案，为所有参与者创造商业价值。 (3) 通过在电力网络中融合信息技术，促进电力更加稳定可靠，更富灵活性和自适应性。 (4) 鼓励用户参与电网，并从中获利
欧盟	(1) 克服分布式发电和储能发展中遇到的限制。 (2) 确保互操作性和供电的安全性。 (3) 确保所有用户具有接入完全和自由竞争电力市场的能力。 (4) 促使需求侧参与。 (5) 激励用户的兴趣



(续表)

国家 / 地区	发展计划
韩国	电力信息化工程由一系列独立的项目组成，包括： (1) 韩国能量管理系统。 (2) 基于 IT 的柔性交流输电系统。 (3) 智能输电网络监测和运行系统。 (4) 基于数字控制技术的高级变电站自动化系统。 (5) 智能配电管理系统。 (6) 电力设施监测的主动遥测系统。 (7) 用于 IT 能量商业服务的用户入口系统。 (8) 宽带电力线通信。 (9) 用于分布式发电和工业逆变应用的电力半导体。 (10) 用于服务微电网的能量管理和测试系统

从相关标准的制定来看，IEEE 标准协会发布了《IEEE P2030 能源技术和信息技术与电力系统 (EPS)、最终应用及负荷的智能电网互操作性指南》。IEEE P2030 草案是行业中的第一份跨领域的智能电网互操作性指南草案。该指南梳理了电力系统和终端用电设备 / 用户之间的智能电网互操作知识体系，包含相关技术术语、技术特征、性能表现、评估标准，以及工程原理的应用。IEEE P2030 涉及能源技术和信息通信技术的整合，这些技术对实现电力生产、电力传输和用电间的无缝运营起到了关键性作用，保证了双向供电的可控性和可交流性。

5.2.2 中国电能管理信息系统的发展

1. 总体情况

中国关于电能管理信息系统方面的研究起步较晚，但近年来发展较快。电能管理信息系统作为智能电网的关键技术之一，将先进的量测、通信、控制、优化等信息技术应用于电能管理。它利用信息技术对电力系统各环节进行管控，实现整个电力系统的安全、优质、经济运行，达到节能减碳的目的。

随着智能电网的发展，电能管理信息系统的推广也越来越受到政府和

企业的重视。国家有关部门出台了相关政策,支持和鼓励电能管理信息系统的推广。相关企业积极推进有关标准的制定,开展电能管理信息系统的研发工作。

2012年,国家财政部和发改委下发了《关于开展电力需求侧管理城市综合试点工作的通知》,旨在以城市为载体,以电能管理信息化、能效电厂规模化、负荷管理智能化、电能服务产业化、能力建设常态化为着力点,综合运用经济、技术、管理等手段开展试点工作,保障电力供需总体平衡,促进发展方式转变,推动“十二五”节能减碳目标的实现。试点工作总体目标为电力需求侧管理理念深入普及,基本构建政府注重引导、用户广泛参与、市场机制有效发挥、电网企业作用显著的工作格局;电能服务管理平台广泛覆盖,电力供需平衡水平和应急保障能力、机动调峰能力显著增强,电力需求侧资源充分利用;与该试点开始初期(2010年)同口径相比,试点城市力争节约和转移电力负荷4%~6%。

从产业发展来看,中国电能管理信息系统产业生态链的构建正在进行中。在政府的监管下,电网企业、发电企业以及电力设备相关制造商构成了电能管理信息系统的产业生态链,为政府、企业和个人用户提供服务。

从终端用电设备与电能管理信息系统的通信标准来看,我国企业正在积极推进新标准的制定。2011年,由我国企业主导制定的IEEE1888标准(Ubiquitous Green Community Control Network,泛在绿色控制网络协议)正式发布,此举标志着我国在绿色节能国际标准制定方面取得重大突破。IEEE1888标准源自中国的创新技术,由中国成员发起并得到其他国家成员的支持。IEEE1888是首个以绿色节能为宗旨,信息通信技术与节能减碳融合的创新型技术标准,该标准支持广域IPv4和IPv6网络,是IEEE在节能减碳和物联网领域具有标志性的全球标准。IEEE1888工作组由中国电信、天地互连公司、北京城建院、清华大学、北京交通大学于2008年发起成立。IEEE1888标准的产业化,不仅可以促进通信和IT设备的节能降耗,更重要的是将信息与通信技术融入到建筑、能源、交通、工商业、农业等各



个领域中去，从而建设绿色楼宇、绿色园区、绿色社区、绿色城市、绿色农业乃至绿色中国，使我国成为全球节能减碳的楷模。

2. 政策支持和重点项目

国务院《节能减碳综合性工作方案》中指出，“加强节能环保发电调度和电力需求侧管理。制定并尽快实施有利于节能减碳的发电调度办法，优先安排清洁、高效机组和资源综合利用发电，限制能耗高、污染重的低效机组发电。”“抓紧制定电力需求侧管理办法，规范有序用电，开展能效电厂试点，研究制定配套政策，建立长效机制。”

截至目前，中国已有诸多电能管理信息系统的应用案例，并取得了较好的节能效果，一些试点城市也已制定了相关方案，如表 5-3 所示。

表 5-3 电能管理信息系统试点项目及方案

应用案例 / 试点城市	主要作用 / 措施	节能效果 / 目标
中国电能服务网 太谷电力	实现“安全、可靠、经济、高效、清洁”的用电目标，科学降低用电量和用电成本。为政府（监管侧）、电力用户（需求侧）和电能服务商（服务侧）搭建一个互动平台	运行 2 年以来服务于各类行业中的上千家企业，企业的年节电率平均为 7.3%，其中一些节电效果非常好的企业，其节电率可以高达 8% ~ 21%
南京大学 建筑能源管理系统	实现对各分类建筑的能耗进行能耗分类、分项、分户精确计量；对能源使用情况进行监控，实现有效节能，并提高建筑能源的自动化管理水平；实现能源的质量监测，提高用能质量	该项目于 2009 年 12 月投入运行，通过两年多的系统运行和能源管理，实现了全校用能的分类、分项、分户在线计量，对校园路灯、教室照明、电开水炉、单体空调、VRV 空调等用能设备进行节能控制，综合年节电率达到 10%
郑州市公共机构能源 管理系统	对建筑供热（供冷）系统全过程进行系统化的节能控制与管理	通过 2011 年度的供暖季节的试运行，节能效率达到 30%，预计节省热量 20000GJ，节省标准煤 2217 吨，减少碳排放 5985 吨，减少硫排放 36 吨，节约用电 50 万 kW·h，合计节约运行费用 200 余万元

(续表)

应用案例 / 试点城市	主要作用 / 措施	节能效果 / 目标
南京地铁一号线及南延线能源管理系统	通过建立一套可靠、稳定、开放、先进的地铁能源管理系统，为能耗实时在线计量、能源质量监测，以及用能设备自动化节能控制提供平台和技术手段	2011 年，通过系统应用实施的节能控制、能耗定额管理和合同能源管理等方式，南京地铁一号线及南延线共实现节电 689.75 万度，综合年节电率达到 14.12%
江苏省电力需求侧管理示范工程	省经贸委与省电力公司于 2002 年率先在冶金、建材、纺织、化工等高耗能行业建设电力需求侧管理示范工程，并拿出资金给予项目补贴。项目主要分为四种类型：(1) 移峰填谷项目；(2) 系统能源管理项目；(3) 节电设备改造项目；(4) 生产工艺改造项目。	2002—2004 年，江苏省共拿出约 1.5 亿元补贴资金建设了 233 个示范工程项目，实现年节约电量 9.3 亿 kW·h，削峰 35 万 kW，为企业年新增经济效益 5.9 亿元
苏州	需求侧管理试点与经济转型升级相结合，重点推进与全面实施相结合、政府推动与市场化机制相结合、政策激励与目标约束相结合	力争通过三年努力，有效降低 120 万千瓦的电力负荷，将打造需求侧管理应用示范园区，三年试点期内，争取在全市范围内耗电量 1000 万千瓦时的 1000 多家单位中开展现代电能管理体检工程，力争到“十二五”末公共电能服务平台的应用面达到全市规模以上工业用户量的 50%
唐山	侧重于对高耗能等终端用户进行负荷管理，优化工业用电结构，发展节电型工业，确保工业、电力和环境的协调发展	初步拟每年重点组织实施 30 个示范项目，力争到“十二五”末建成 30 万千瓦的能效电厂，形成 10 万千瓦的机动调峰能力，相当于减少 18 亿元新建电厂的资金投入。2012 至 2015 年预计累计节约电量 40 亿千瓦时，折合标煤 134 万吨，相当于减排二氧化碳 400 万吨、二氧化硫 3.8 万吨。 目前，在市工信局指导下，唐山供电公司发起组建了唐山市第一个能效服务网络小组，首批成员包括用电量在唐山地区排名前 50 名的 8 家钢铁企业、4 家水泥企业。截至目前，能效小组的成员单位已在建节能改造项目 16 个，完成推广热泵 18 万平方米，蓄能 0.18 万千瓦



(续表)

应用案例 / 试点城市	主要作用 / 措施	节能效果 / 目标
佛山	创新管理模式，实行差异化错峰管理，实施能效电厂，做深做细电力需求侧管理，全力以赴保障民生和重要客户用电	2011 年，修订了有序用电方案，落实了 30 万千瓦的紧急避峰负荷，建立“网供指标+浮动指标”的调控机制，成功对 490 家“双高”企业实施节能避峰指导，每天提高了 8 ~ 10 万千瓦的调峰能力，并将大型商场、购物中心等商业用户纳入错峰管理，实现工业、商业企业让电于民。数据显示，在严重缺电的形势下，佛山 2011 年完成供电量 482.18 亿千瓦时，同比增长 4.98%

5.3 节能减碳机制识别和边界划定

电能管理信息系统的利用信息技术对电力系统各环节进行管理和控制，实现用户与电网的双向互动。一方面用户将更加科学合理地用电，终端用户的电能需求将减少，输配电及发电需求随之减少。另一方面电能管理信息系统将为电网提供丰富的用电信息，利于电网优化调度，提高火电机组发电效率，更多地接纳可再生能源，降低电力输配损耗。

5.3.1 影响分析

为了分析电能管理信息系统应用后产生的节能减碳效果，辨识主要的影响因素，本研究采用情景比较的方法，对比电能管理信息系统应用后与应用前的节能减排效果。然而，由于电能管理信息系统常伴随着其他节能技术的使用，因此，本研究设定了基准情景（BaU）和综合节能技术应用情景（Tch）。具体而言，BaU 情景指电能管理信息系统未被应用，用户的电能消费通过传统方式实现的情景；Tch 情景则指包括电能管理信息系统在内的综合节能技术逐步应用后的情景，并在此基础上测算出电能管理信息系统的节能减排效果。

应用电能管理信息系统涉及四个主体：发电厂、输配电网、终端电力

用户、电力需求侧管理中。在 BaU 情景下，用户根据用电需求和习惯自主使用电力设备，用户与电网之间缺少信息互动。而在 Tch 情景下，通过装备电能管理信息系统，电网调度中心能够详细掌握用户的用电情况，并通过数据分析预测用电负荷的变化情况，指导电网优化运行。由此，可以降低电网输配电损耗，并有效指导发电机组的出力，降低发电煤耗。对用户侧，电能管理信息系统除了有助于用户进行管理节电之外，还可以解决用电设备的三相不平衡、高阶谐波等问题，减少电力浪费。此外，电能管理信息系统的制造和运行，可能带来一定的设备制造和运行能耗。

5.3.2 机制识别与筛选

为了深入分析电能管理信息系统的节能减碳机制，本研究将其各类影响按照“产品 / 服务需求量”、“产品 / 服务需求结构”、“技术设备需求”、“设备用能结构”、“设备运行效率”五大类进行划分，如表 5-4 所示。

表 5-4 电能管理信息系统对相关主体的影响

主体	产品 / 服务 需求量	产品 / 服务 需求结构	技术设备需求	设备用能结构	设备运行效率
	电能需求	电源结构	通信、数据中 心和通信网络 设备数量	通信、数据中 心和通信网络 设备数量	设备利用率
发电厂	—	协调电力供需 匹配，积极接 纳可再生电力 上网	—	—	错峰，提高火 电机组运行效 率
输配电网	—	—	—	—	降低网损
终端电力用户	自我监管与控 制，电能使用 更加合理，电 力需求下降	分布式可再生 电力自用和上 网	—	—	—
电力需求侧 管理中心	—	—	新建电力需求 侧管理中心的 需求	—	—



其中“产品/服务需求量”指电能的生产、传输和终端使用需求；“产品/服务需求结构”指电源结构；“技术设备需求”指实现发电、输配电以及终端用电功能的设备。由于电力部门的特殊性，电力设备的运行所需能源由自身发电提供，因此“设备用能结构”概念与“产品/服务需求结构”相同。设备运行效率则指发电、输配电以及终端用电的能效。

根据影响主体，可以将电能管理信息系统的影响明确为以下几方面。

(1) 为终端用电设备监测和动态控制提供信息化手段，促进终端用电节能。

用户通过智能电表，可以获取自身能耗情况、电价信息、电网运行情况等，从而激励用户主动参与电网，根据自身能耗特点选择相应的节能方案，根据价格信息调整负荷或将能源输送给电网。同时，用户科学合理的用电方式将导致电能需求量下降，从而导致发电量减少。

(2) 动态监测并调节终端用电和发电平衡，降低电线损耗。

通过对电网的动态监测，进行电网的无功优化控制，维持电力系统电压稳定，减少传输与配送网络中的电能损耗。同时，基于大量的监测数据，电网能够更加优化地运行，减少能源的浪费。

(3) 优化调度火力发电机组运行，降低发电煤耗。

通过合理安排火电机组的起停以及出力水平，能够提高化石能源的运行效率，降低发电煤耗，减少化石能源的浪费，从而实现节能减碳。

(4) 依托智能化调度手段，最大程度接纳可再生能源电力和非化石能源电力。

依托智能化调度手段，电力系统能够及时响应可再生能源的波动性，通过将电网负荷在不同能源的机组之间进行合理分配，能够最大程度地接纳可再生能源电力和非化石能源电力，提高清洁能源的利用率。主要包括接纳终端的分布式可再生能源电力和发电侧大规模可再生能源发电。

(5) 需要新建电力需求侧管理中心，增加建造和运行能耗。

电力需求侧管理中心用于存储、分析和管理用户的计量计费信息，并负责与其他系统进行接口，为智能电网的决策运行提供基础数据支持。新

增的电力需求侧管理中心增加了建筑能耗、数据中心机房和 IT 设备的运行能耗。电力需求侧管理中心的建设选址科学合理，倾向于非化石能源电力丰富、气候较冷的地区，可以在一定程度上降低 CO₂ 排放。

5.3.3 边界判定

为评价电能管理信息系统的节能减碳效果，首先要分析各节能机制的作用逻辑。

应用电能管理信息系统产生的直接节电影响有两个：一是用户将更加科学合理地用电，由三相不平衡等技术问题导致的浪费也将降低，终端用户的电能需求将减少；二是电能管理信息系统将为电网提供丰富的用电信息，利于电网优化调度，降低电力输配损耗。

基于上述直接影响，可进一步产生间接节电影响。一是通过电网优化调度，可以更加积极地接纳可再生电力上网，包括位于终端的分布式可再生能源发电，以及位于发电端的规模化可再生能源发电；二是通过预测负荷曲线，提高火力发电机组运行效率，降低发电煤耗。

需要说明的是，电能管理信息系统产生的间接影响，需要其他各类技术的协调配合，如可再生能源发电技术，电力骨干网智能输配电技术、火力发电机组信息化控制等。不同技术间合作机制复杂，难以有效进行贡献划分。因此本研究将核算边界划分为直接影响，如图 5-2 所示。

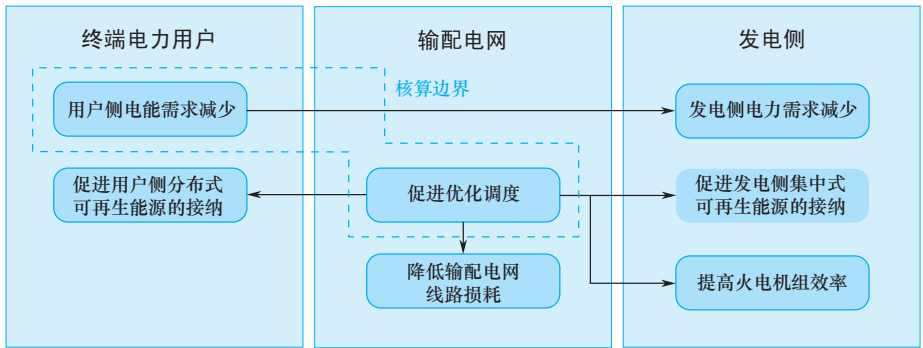


图 5-2 节能减碳效果机制分析



对于电能管理信息系统设备的制造和运行能耗，因相对耗电较少，且不同设备情况差异较大，在核算中忽略。

5.3.4 情景参数分类

明确电能管理信息系统的主要影响机制后，需要划定研究边界，并明确各因素在不同情景中的参数设置分类，详见表 5-5。

表 5-5 电能管理信息系统情景参数分类

BaU/ICT	服务类别	产品 / 服务 需求量	产品 / 服务 需求结构	技术和设备 需求	设备运行效率
情景设置因素	BaU	终端用电需求 网络输配电 量发电需求		—	
	Tch	终端用电需求 网络输配电 量发电需求		—	
背景参数	BaU/Tch	—	全国电源结构	—	发电能效输 配电损耗自用 电率

在“产品 / 服务需求量”方面，由于用户科学合理地用电，Tch 情景中的终端电力需求将较 BaU 情景明显下降，对应的电力传输和生产需求也随之下降。

在“产品 / 服务需求结构”方面（即电源结构），由于暂不考虑电能管理信息系统，不同情景间的电源结构均选用全国平均水平。此外，需要考虑未来我国电源结构进一步优化的影响。

在“技术和设备需求”方面，虽然用电需求的降低可能在远期产生降低发电和设备点设备需求的影响，或改变相关设备结构和类型。但从中短期来看，相关效果并不明显，且难以量化。此外，电能管理信息系统相关设备能耗相对较小，不予考虑。因此，核算中不考虑用电、输电和发电相关设备因素。

在“设备用能效率”中，由于电能管理信息系统的应用，Tch 情景下的发电、输配电效率将比 BaU 情景进一步优化。

5.3.5 推广范围设定

电能管理信息系统可以应用于生产生活的不同领域，而在未来一段时间内，电能管理信息系统将优先在工业领域推广。一方面因为工业领域能耗大，节能减碳潜力巨大。另一方面工业企业分布相对集中，设备更新和改造较为容易，推广电能管理信息系统的条件比较成熟。

工业领域中，以万家企业中的工业企业最具有代表性。万家企业是指年综合能源消费量在 1 万吨标准煤以上以及有关部门指定的年综合能源消费量 5000 吨标准煤以上的重点用能单位。初步统计，2010 年全国共有 17000 家左右，主要为工业企业，其能源消费量占全国能源消费总量的 60% 以上，是节能工作的重点对象。

因此本研究以万家企业为核算对象，将核算的范围限定为工业领域，测算电能管理信息系统在“十二五”期间对全国节能减碳的贡献率。

5.4 节能减碳测算

5.4.1 测算流程与方法

如前所述，考虑到包括电能管理信息系统技术在内的综合节能技术改造皆可实现节能减碳目标，因此设立基准情景（BaU）和综合节能技术应用情景（Tch）。在 BaU 情景下，电能管理信息系统未被应用，用户的电能消费通过传统方式实现。在 Tch 情景下，包括电能管理信息系统在内的综合节能技术逐步应用，能耗与碳排放有所变化。其中，Tch 情景中电能管理信息系统可通过清洁能源的使用以及电网与用户之间的互动，将碳排放控制在较低水平。

在核算电能管理信息系统的节能减碳效果时，本研究采用贡献划分的



方法，对“十二五”期间主要工业产品能耗下降效果进行划分，明确其中的节电量，并根据电能管理信息系统在不同行业应用的实际效果，进一步推算出该系统的节电贡献。首先通过全社会主要工业产品产量、万家企业产量占比、万家企业电力消耗比重等，测算出 Tch 情景较 BaU 情景下的节电效果；其次，将节电效果根据输配电网的线损率、发电厂厂用电率，并考虑发电侧的能源结构和发电效率，通过 CO₂ 排放因子折算成减碳量；最后，根据电能管理信息系统的普及率、贡献率，测算出电能管理信息系统的节能减排效果。核算流程如图 5-3 所示。

万家企业终端用电量

$$\begin{aligned} &= \text{万家企业产品产量} \times \text{单位产品生产综合能耗} \times \\ &\quad \text{电力消耗占综合能耗的比重} \\ &= \text{全社会产品产量} \times \text{万家企业产量占全社会产量的比例} \times \\ &\quad \text{单位产品生产综合能耗} \times \text{电力消耗占综合能耗的比重} \end{aligned}$$

其中，全社会产品产量由工信部各行业“十二五”发展规划得到；万家企业产量占全社会产量的比例由工信部统计数据估算；单位产品生产综合能耗参照工信部节能“十二五”规划的要求；电力消耗占综合能耗比重由 2011 年中国能源统计年鉴计算得出。

因此，考虑到输配电网线损率与发电厂自用电率，万家企业用电的发电侧总发电量如下：

万家企业用电的发电侧发电量

$$= \text{万家企业终端用电量} \times \frac{1}{1 - \text{线损率} - \text{发电厂自用电率}}$$

根据发电侧发电量，结合发电侧的电源结构和发电效率计算发电侧的节能量，可以计算发电侧的总能耗，即

万家企业发电侧能耗

$$= \text{万家企业发电侧发电量} \times \left(\sum_{\text{不同能源}} \frac{\text{不同能源发电量的比例}}{\text{不同能源发电效率}} \right)$$

在此基础上，可以得出万家企业发电侧在 Tch 情景下相较于 BaU 情景下的节能量，即

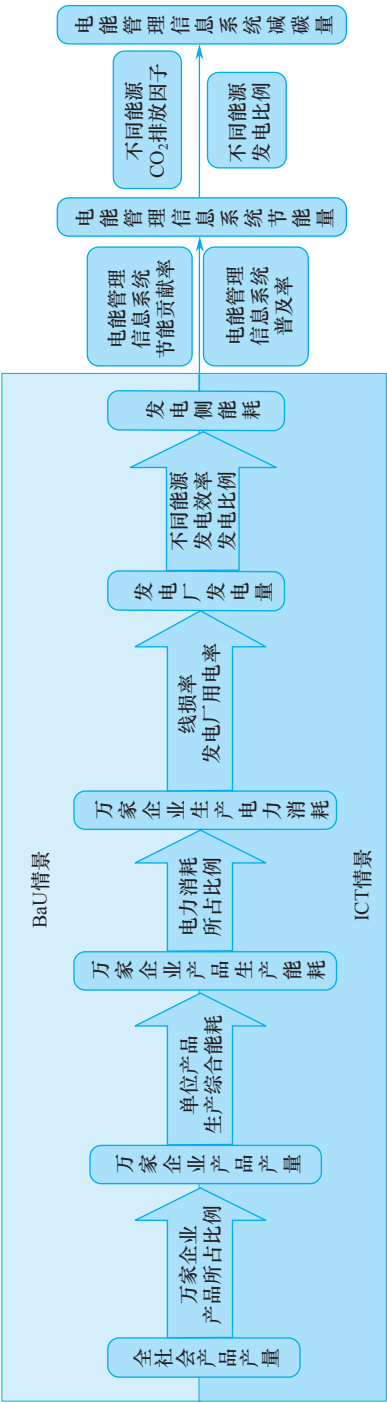


图 5-3 核算流程



万家企业发电侧节能量

$$\begin{aligned} &= \text{发电侧能耗}_{\text{BaU}} - \text{他发电侧能耗}_{\text{Tch}} \\ &= (\text{发电需求量}_{\text{BaU}} - \text{发电需求量}_{\text{Tch}}) \times \left(\sum_{\text{不同能源}} \frac{\text{不同能源发电量的比例}}{\text{不同能源发电效率}} \right) \\ &= \frac{(\text{万家企业终端用电量}_{\text{BaU}} - \text{万家企事业终端用电量}_{\text{Tch}})}{(1 - \text{输配电网线损率})(1 - \text{发电厂自用电率})} \times \\ &\quad \left(\sum_{\text{不同能源}} \frac{\text{不同能源发电量的比例}}{\text{不同能源发电效率}} \right) \end{aligned}$$

根据电能管理信息系统的普及率以及在不同产品生产过程中的节能贡献率，可以计算出电能管理信息系统的节能量，即

电能管理信息系统节能量

$$= \sum_{\text{不同产品}} \text{发电侧节能量} \times \text{电能管理信息系统节能贡献率} \times \text{电能管理信息系统普及率}$$

考虑不同能源发电量的比例以及 CO₂ 排放因子，计算得到电能管理信息系统的减碳量，即

电能管理信息系统减碳量

$$= \text{电能管理信息系统节能量} \times \left(\sum_{\text{不同能源}} \text{不同能源发电量的比例} \times \text{CO}_2 \text{排放因子} \right)$$

5.4.2 模型参数

为了比较分析“电能管理信息系统”应用前后的能源和碳排放差异，设定两种情景，如表 5-6 所示。

表 5-6 BaU 及 Tch 情景参数设计

	BaU	Tch
情景定义	未使用任何节能技术或先进生产技术，工业品生产能耗与 2010 年相同	通过包括 ICT 技术在内的综合节能技术改造，工业品生产能耗较 2010 年显著降低，2015 年达到“国家节能‘十二五’规划”水平
工业品总产量	2015 年工业品产量根据《中国 2050 低碳发展之路》的研究成果	同 BaU

(续表)

		BaU	Tch
综合节能技术普及率		—	集中在生产规模较大的“全国能耗万家企业”中推广，2015 年覆盖“万家企业”产能的 80%
单位产品能耗		与 2010 年相同	通过技术改造，2015 年单位产品能耗下降至“国家节能‘十二五’规划”水平
产品能源结构		与 2010 年相同	同 BaU，即假设通过综合节能技术，各品种能耗均同比例降低
用电参数	线损率	2010 年为 6.53%，通过技术改造，2015 年降低为 6.30%	
	电厂自用电率	2010 年为 6.33%，2015 年降低至 6.20%	
	电源结构	2010 年总发电量中，煤电占 75.31%，油电占 0.77%，气电占 3.78%，一次能源发电占 20.15% 2015 年，电源结构逐步优化，煤电比例下降至 69.53%，油电占 0.07%，气电提升至 5.42%，一次能源发电占 24.98%	

根据工信部各行业“十二五”发展规划相关数据，得到 2015 年全社会不同产品的产量。2010 年工信部统计数据显示，重点大中型钢铁企业占全国粗钢产量比重 86.2%；前 10 家铜冶炼企业的产量占全国的比例为 76%；前 10 家铝冶炼企业的产量占全国的比例为 67%；前 60 家水泥企业熟料产量已经占总产量的半数以上；大中型技术玻璃企业生产量占技术玻璃生产总量 72%；造纸行业前 30 位的企业产量占全国的比重为 42.3%。根据这些数据估算万家企业的钢、铜、铝、水泥熟料、平板玻璃、乙烯、合成氨、烧碱、电石、纸及纸板的产量占全社会产品产量的比例分别为 86.2%、70%、70%、70%、72%、70%、70%、70%、70%、70%。万家企业产品产量占全社会产量的比例在“十二五”期间变化不大，如表 5-7 所示。本书认为 BaU 情景与 Tch 情景中，2015 年全社会不同产品的产量、万家企业产品产量占全社会产品产量的比例不变。

根据工信部《工业节能“十二五”规划》，我国“十二五”期间主要工业产品能耗下降目标如表 5-8 所示。以 2010 年产品生产综合能耗作为 BaU 情景的数据，以 2015 年产品生产综合能耗作为 Tch 情景的数据。



表 5-7 BaU 及 Tch 情景工业产品产量

产 品	单 位	2015 年 全社会产品产量	万家企业产品产量 占全社会产量的比例
钢	万吨	75000	86.20%
铜	万吨	650	70.00%
铝	万吨	2400	70.00%
水泥熟料	万吨	132000	70.00%
平板玻璃	万重量箱	75000	72.00%
乙烯	万吨	2430	70.00%
合成氨	万吨	6334	70.00%
烧碱	万吨	2450	70.00%
电石	万吨	2200	70.00%
纸及纸板	万吨	11600	70.00%

表 5-8 “十二五”主要产品单位能耗下降目标

指 标	单 位	BaU (2010 年)	Tch (2015 年)
吨钢综合能耗	千克标准煤 / 吨	605	580
铜冶炼综合能耗	千克标准煤 / 吨	350	300
铝锭综合交流电耗	千瓦时 / 吨	14013	13300
吨水泥熟料综合能耗	千克标准煤 / 吨	115	112
平板玻璃综合能耗	千克标准煤 / 重量箱	17	15
乙烯综合能耗	千克标准煤 / 吨	886	857
合成氨生产综合能耗	千克标准煤 / 吨	1402	1350
烧碱生产综合能耗	千克标准煤 / 吨	351	330
电石生产综合能耗	千克标准煤 / 吨	1105	1050
造纸综合能耗	千克标准煤 / 吨	1130	900

数据来源：工信部. 工业节能“十二五”规划 [EB/OL]. 工信部网站, 2012-2-27.

根据 2011 年中国能源统计年鉴，计算出各行业电力消耗占综合能耗的比例，BaU 及 Tch 情景各行业电力消耗占综合能耗的比例如表 5-9 所示。因为各行业所消耗不同能源的比例较为固定，所以设置 Tch 情景与 BaU 情景的参数相同。

根据国务院《节能减碳“十二五”规划》，到 2015 年，电网综合线损率由 2010 年的 6.53% 降为 6.3%；火电厂厂用电率由 2010 年的 6.33% 降为

6.2%；火电供电煤耗由 2010 年的 333 克标准煤 / 千瓦时降为 325 克标准煤 / 千瓦时。在电源结构方面，根据 2011 年中国能源统计年鉴，2010 年发电总量为 51281 万吨标准煤，其中，煤电占 75.31%，油电占 0.77%，天然气电占 3.78%，核电以及可再生能源发电占 20.15%；根据《中国 2050 年低碳发展之路——能源需求及碳排放情景分析》，预计 2015 年电源结构将进一步优化，从煤电向天然气发电、核电以及可再生能源发电转移，其中，煤电降低为 69.53%，油电降低为 0.07%，天然气电上升为 5.42%，核电以及可再生能源发电上升为 24.98%，并以此作为 Tch 情景下的电源结构。

表 5-9 BaU 及 Tch 情景各行业电力消耗占综合能耗的比例

产品	所属行业	电力消耗占综合能耗的比例
钢	黑色金属冶炼及压延加工业	12%
铜	有色金属冶炼及压延加工业	59%
铝		
水泥熟料	非金属矿物制造业	13%
平板玻璃		
乙烯	化学原料及化学制品制造业	5%
合成氨		44%
烧碱		62%
电石		38%
纸及纸板	造纸及纸制品业	23%

来自国家电网公司的相关数据显示，2011 年年底国家电网公司用户用电信息采集（是电能管理系统的基础设备）覆盖率达到 44%。来自 Berg-Insight 的一份研究报告中预测，未来 5 年亚太地区（主要是中国）智能电表技术的普及率将超过 75%（引自物联网在线，2011-11-01）。“十二五”期间，国家电力需求侧（DSM）试点项目的推广目标是，经过 3 年滚动（2012—2015 年），2015 年在工业企业的覆盖率达到 60% 以上。参照上述数据，本研究估计 2015 年电能管理信息系统在万家企业中的普及率为 90% 以上。根据本课题调研案例、工业领域节能减排电子信息应用技术导向目录（工信部）、电力需求侧管理试点城市评审材料（财政部、国家发展和改革委员会），可以汇总得到电能管理信息系统在钢、铜、铝、水泥熟料、平板玻璃、乙烯、合



成氨、烧碱、电石、纸及纸板行业的节能贡献率，分别为 30.8%、28.5%、37.2%、33.96%、25.4%、19.2%、37.1%、24.3%、22.81%、15.20%。

5.4.3 测算结果及不确定分析

本研究采用贡献划分的方法，对“十二五”期间主要工业产品能耗下降效果进行划分，明确其中的节能量，并根据电能管理信息系统在不同行业应用的实际效果，进一步推算出该系统在万家企业中推广后的节能贡献，测算结果如图 5-4 所示。初步测算显示，电能管理信息系统总节能量达到 284.9 万吨标准煤，具有巨大的节能潜力。其中，电能管理信息系统对不同工业部门的节能效果不同。如表所示，电能管理信息系统应用于钢、电解铝、水泥熟料、合成氨等部门的节能效果显著，节能量分别达到 132.4、50.7、38.7、26.8 万吨标准煤。根据排放因子可以进一步计算出电能管理信息系统的减排效果，如图 5-5 所示。电能管理信息系统可以减少 CO₂ 排放 608.3 万吨。

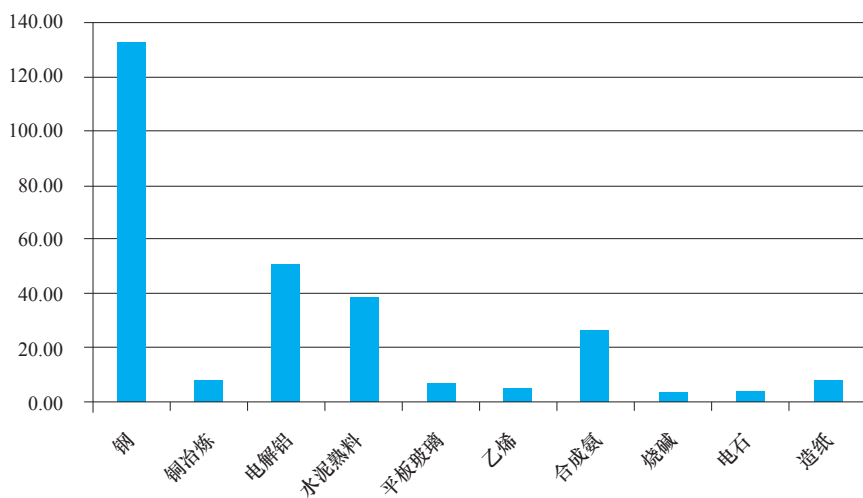


图 5-4 电能管理信息系统节能效果（2015 年，万吨标准煤）

综上所述，电能管理信息系统利用信息技术对传统电网进行改造，以信息共享、智能决策和综合调控为主要手段，在实现全面的自我监测和信息共享的基础上，实现与终端用户的互动，有效地促进可再生能源的接纳，

使得电网自身状态趋向最优，具有较大的节能减碳潜力，能够为社会带来巨大的经济效益和环境效益。

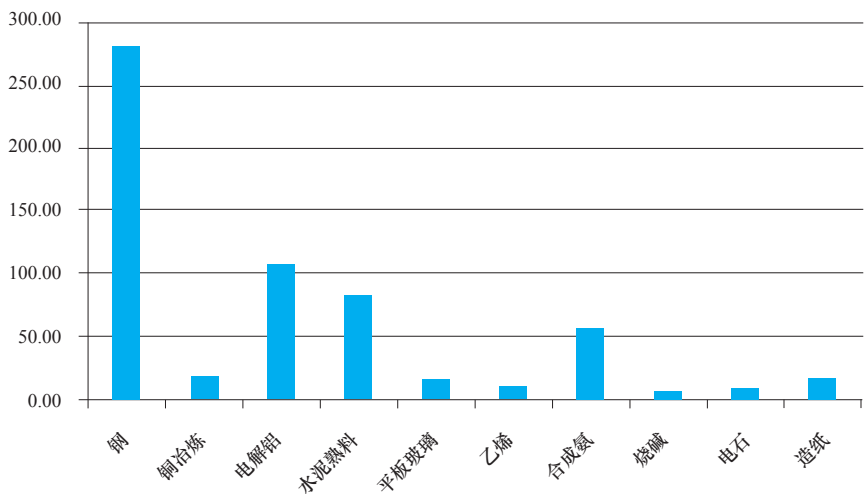


图 5-5 电能管理信息系统的减碳效果（2015 年，万吨 CO₂）

但是，本研究当中还存在着一些不确定性，主要包括以下方面。

1) 技术功能

随着 ICT 技术的不断发展，具有多元化功能的电能管理信息系统应运而生。比较初级的系统仅具有用电监测功能；中级系统则具有问题诊断、相位匹配、用电需求信息反馈功能；更高级的则可实现对用电设备的智能化控制，甚至可以节约“电能”以外的其他能源。本研究主要针对中级系统的节电潜力开展研究。

2) 应用范围和技术普及率

电能管理信息系统的普及率与节能减碳效果正向相关。本研究只考虑应用于高耗能工业领域情况，重点集中在全国“万家企业”范围。在未来应用推广过程中，该技术普及率可能尚存较大不确定性，取决于政策和推广力度。如果电能管理信息系统未来能被商业和大型公共服务设施等应用，则节能减碳潜力将大幅提高。

3) 在发电和输配电侧的节电贡献

基于对电力负荷信息的监控、预测和动态调整，电能管理信息系统可



以有效匹配电力供需，从而在发电和输配电环节产生节能减碳效果。鉴于该技术需要与智能电网中的多技术匹配使用，在本研究中暂未纳入核算，导致测算出的电能管理信息系统节能潜力偏小。

4) 终端节电贡献划分

在终端应用时，电能管理信息系统往往与其他节能技术配合使用，整体的节电效果需要贡献划分。基于部分应用实例，本书初步划分了不同工业领域中电能管理信息系统的节电贡献。对于不同工业产品的综合节电率，则参照“‘十二五’工业节能规划”中的相关目标。在实际应用中，节电潜力取决于具体的应用领域、技术设备状态，因此可能存在较大差异。未来应加强相关案例研究，更新电能管理信息系统的平均节电水平，以降低不确定性。

5) 未来工业产品的能耗结构

本书忽略了未来工业品生产能源结构的变化。事实上，随着电能管理信息系统的普及，电力消耗在生产能耗中的比例可能出现略微下降，此外可再生能源等清洁能源比重可能逐渐增大，但上述因素对核算结果影响不大。

5.5 本章小结

作为智能电网中的核心技术，电能管理信息系统在用电终端、输配电、发电端各环节均具有节能减碳潜力。本章应用了“ICT 技术节能减碳测算方法”，对电能管理信息系统应用于全国工业能耗万家企业的终端节能效果进行了初步评价。研究结果表明：到“十二五”末期，通过电能管理信息系统与其他各类节能技术的共同作用，共可以产生 1729 万吨标准煤的节能量（发电煤耗法），其中电能管理信息系统的直接或间接贡献可能高达 284.9 万吨标准煤，接近“十二五”工业节能总量的 0.5%，折合减排 CO₂ 约 608 万吨。上述研究结果在技术普及率、节电贡献划分、发电和输配电环节节电方面仍存在较大不确定性，有可能低估了该技术的节能效果，值得进一步深入研究。

第6章

信息化配煤技术节能减碳 潜力研究



- 基本概念和服务模式
- 国内外配煤技术研究应用现状
- 节能减碳机制识别和边界划定
- 节能减碳测算
- 本章小结



我国是世界上少数几个以煤炭为主要能源的国家之一，煤炭生产量和消费量均占世界首位，经初步核算，2011 年我国能源消费总量 34.8 亿吨标准煤，比上年增长 7.0%。煤炭消费量增长 9.7%，达到 24.2 亿吨标准煤，占消费总量的 69.5%，相比上年不降反升。电力行业是用煤大户，2011 年年底我国发电装机容量达到 10.56 亿千瓦，其中水电、核电、风电等非火电类型发电装机容量比重达到 27.50%，比上年提高 0.93%；虽然火电装机比例下降，但发电量占全国发电量的 82.54%，却比上年提高 1.73%。

电厂经济效益与电站锅炉的热效率有直接关系，锅炉的热效率与炉型性能、运转情况有关，也与燃料的使用关系密切，使用燃煤与锅炉性能相匹配时，锅炉效率相应提高；煤种不匹配时，效率也会相应降低，直接影响火电企业的经济效益。另外，如果锅炉等燃烧设备长时间处于非设计煤种的运行状态，可能会造成燃煤着火困难、燃烧不均、炉壁结渣、锅炉磨损和腐蚀加快等严重问题，容易使电站锅炉酿成事故。总之，煤性能差异，煤质量好坏对电厂燃烧设备的安全运行影响巨大，同时也是关系电厂经济效益的重要因素。然而，由于我国煤炭分布区域并不理想，煤炭质量参差不齐，再加上运输能力的制约等原因，使锅炉都使用设计煤种并不现实。近年来，配煤技术由于其灵活性、安全性、收益高等原因，在我国众多火电厂中得到了广泛应用。通过配煤方式来改善进炉燃料可以配置出与锅炉性能匹配的煤种，提高了效率和安全指标；此外能够降低硫化物等污染物排放，并达到减排二氧化碳的效果。

6.1 基本概念和服务模式

信息化配煤技术是从煤炭的一般性状预测煤粉炉运行时的设备性能，协助判断每个煤种能否使用、进行成本评价以及探讨最佳配煤条件。采用这项技术，能够迅速正确地预测运行特性，事前预测故障，设定最佳配煤条件，以及估算发电成本和效率。因此，可以在扩大使用煤种以及精细应

用设定方面对锅炉稳定燃烧做出贡献。

为了稳定高效地应用燃煤火力发电设备，在设备管理的同时，对于使用的煤炭，从很多煤种中，准确地选择无故障危险且低成本的煤种是非常重要的。因此，有必要精确地预测涉及设备性能的煤质影响，分清这些影响是否在各个设备的运行操作条件调整范围内。通过事先准确预测设备特性，能够在运行时避免故障发生，不仅可以促进稳定运行，而且有利于延长设备使用寿命以及降低维护费用。此外，通过设定每个煤种合适的运行条件，可以提高锅炉运行效率进而降低发电成本。

6.2 国内外配煤技术研究应用现状

6.2.1 国外信息化配煤技术发展概况

在国外，早期的煤种混配研究，主要是为了满足炼焦工业的需要，煤电企业在锅炉上使用混配煤种是在近些年才出现的。随着电力工业的迅猛发展，混煤的煤种特性也得以显现，因而混煤在电站锅炉上的使用日益广泛，国外专家对混煤特性的研究逐渐深入。

1. 日本

日本是一个资源匮乏的国家，大部分资源主要来源于进口。日本坚持节能立国，在煤炭利用方面采取各种措施，如加大利用热值高的低挥发份煤种、锅炉混烧无烟煤和其他煤种等。然而，日本企业常用的锅炉炉型并不能完全适应混配煤特性，所以，日本的专家就展开了对相关技术的研究，主要是在煤炭掺烧技术和设计煤种的燃烧性能方面。一些成熟的煤种混配技术已经成功推向市场，如日本的出光兴产株式会社开发的煤炭评价系统，能够根据煤炭的一般特性对锅炉运行特性进行模拟预测，从而寻找最优配煤方案，以达到稳定运行、提高效率和降低环境污染的效果。目前，该系统除在日本和韩国得到广泛使用外，也在我国几个电厂进行试用。石川岛播磨重工业公司对



现有燃煤锅炉的燃烧特性和燃煤特性进行了充分实验，并成功地掌握了掺烧低挥发份煤的技术，同时也开发出了能满足其特性功能的锅炉。

出光煤炭评价系统的主要内容包括以下几种。

(1) 煤种评价。

该评价预测煤炭燃烧时的设备性能，煤种可否单烧判断，探讨运行条件（锅炉负荷，排烟氧浓度）的影响，估算各煤种的成本，还可对各煤种的评价结果进行比较。

(2) 炉前混煤评价。

该评价对不同种类的电煤以不同的混合比例进行排列组合模拟配煤，寻找最佳的配煤组合。所有的模拟配煤方案都可进行单烧可否判断以及详细预测设备性能，可根据运行条件的变化寻找最佳的配煤方案。

(3) 炉内混烧评价。

该评价在各个燃烧器使用不同的煤种时，实施设备性能预测，判断煤种能否燃烧，探讨运行条件（锅炉负荷、排烟氧浓度）的影响，试算各煤种的成本。

(4) 煤炭数据库。

该评价显示煤炭的特性数据，登录新的煤炭数据，变更与删除现有数据（用一览表或者卡片的形式显示），另外，可选择任意煤种进行配煤，并将数据存入数据库。

(5) 技术信息资料。

该评价以网页文件的形式解说煤质评价技术、故障事例集、煤炭分析等技术信息。

该系统配煤技术的预测指标一般包括自然发热性、流动性、粉碎性、磨煤机内部发火性、燃烧性（灰中残炭量）、 NO_x 浓度、积灰性、电除尘性、排烟脱硫特性、微量元素特性、灰的有效利用性以及效率等诸多方面，在定量预测每个煤种下的设备性能的同时，对照设备的适用标准，判断该煤种是否可以使用。此外，还应扩展具备在改变锅炉负荷、排烟氧浓度等运行条件时，预测灰中残炭量、 NO_x 浓度、炉膛吸热、磨煤机负荷、结渣性

和效率等如何变化的功能，以及估算发电成本的功能。

2. 美国

美国煤资源比较丰富，并且多为优质煤，这种煤在燃烧时通常能够满足锅炉要求，美国进行混煤特性的研究主要是为了加强对污染物的控制，满足环境保护的需要，因此，美国的研究重点在于抑制污染气体排放上。美国西部煤种含硫分较少，而东部和中部含硫量较大，当火电企业单纯燃用中、东部煤种时，排放的硫化物气体会显著增加，不能满足政府对环境保护的要求，而单纯燃用西部煤则会造成煤炭资源的浪费，因此，将中、东部煤种掺烧西部煤则是美国众多火电企业的选择，这样既可以节约成本，又可以完成降低污染气体排放的任务。美国专家对混煤性能和技术也开展了研究，如使用怎样的掺配模式才能降低硫化物气体的排放等，他们对配煤的研究目的在于降低有害气体对大气的污染程度。另外，对其他煤质参数特点的探索也解决了其他一些实际问题，诸如配煤保持煤质稳定性、保证发热量满足要求等。上述问题的不断研究和解决为煤电企业节省了大量运行费用，提高了企业经济效益。这其中的美国 LABADIEL 电厂对硫分进行严格限制，降低燃料中的硫含量，配煤系统硫含量的降低可以相应的减少吸附剂的使用量，这样，此电厂一年可以降低成本达千万美元，对企业利润的提高程度是巨大的。

3. 德国

20 世纪 70 年代初期，德国的某些电厂不能达到满负荷工作，主要原因是锅炉用煤在燃烧性能上不能达标，最后，电厂采用动力配煤，配煤操作中主要是将发热量作为关键参数，把高低发热量的煤种进行掺配，掺配出来的设计煤种在性能上达到了系统要求。德国其他电厂也进行了相关配煤研究，例如将烟煤和褐煤进行掺配，当烟煤达到适当比例的时候，锅炉出力提升、火焰稳定性提高、燃烧更加充分，并且使整个机组都能在满负荷条件下连续运行。德国学者同时也开展了对煤质参数特征和残渣特性的研究，目的是为了使燃料燃烧的热能更多地被有效利用。近些年，有学者开



始对配煤工艺和设备进行研究,包括控制系统性能指标等,同时,为了评估电厂投资回报收益率,学者从煤颗粒密度和着火特性等方面探讨实现经济效益最大化的新途径。J.Zelkowski 等人在研究了不同条件下设计煤种的着火特性后,总结出了一个结论:设计煤种的燃烧特性跟掺配比例和氧气含量是有关联的,尤其在煤粉颗粒较大时表现尤为突出。

4. 西班牙

在西班牙煤炭质量结构中,占比重较大的是劣质煤,这些煤造成了电厂发电设备利用率明显下降,影响了系统正常运转。究其原因,主要是因为锅炉内壁结渣和碎煤机械结构磨损,这跟所使用煤种也有很大关系,如使用过多高挥发份煤种,这些煤可燃物含量相对较少,从而造成燃烧困难。西班牙电厂为了合理利用现有煤资源,也采用了混合配煤的方式,将高挥发份和低挥发份煤种进行混合,混合后既提高了燃烧性能,又解决了挥发份的问题。最终结果表明:由于运用了配煤方法,燃烧效率和设备利用率得到提高,带来了可观的经济效益。

其他国家也加大了对混煤燃烧特性的研究,主要方式有:为了提高劣质煤利用率和燃烧特性以取得更可观的经济效果,电厂利用配煤大大降低了锅炉的结渣程度,降低了设备被腐蚀的程度。澳大利亚煤资源相对来说较为丰富,并经常出口盈利,动力配煤技术的应用使其煤炭产品更加多元化,能够提供不同煤炭指标要求的煤产品,从而取得了可观的经济收益。荷兰的电厂也常常采用混煤的方式来防止锅炉结渣和设备被腐蚀等问题,并最终使燃烧火焰稳定。英国为了将燃烧煤种的灰分含量水平进一步降低,电厂也采用了配煤方式,并消除了困扰电厂多年的锅炉故障问题,降低了事故率,取得了良好的效益。

6.2.2 我国信息配煤技术现状和发展趋势

1. 总体现状

锅炉用煤燃烧问题也一直困扰着众多国内企业,相关人员也开始对混

煤进行研究和应用,同时为了适应锅炉也采取了相关措施,例如,利用先进燃烧方法、采用新的燃烧锅、改进系统运行方式、调整系统冷却方式、将煤细化处理、混煤配比适当调节等。上述方式在不同程度上取得了一定效果,但是并未从根本上解决混煤掺烧后的燃烧问题,可见,这些方式只是在一定程度上满足要求或者是针对特定情况使用。许多电厂为了使锅炉运行更加稳定,操作方式更加简单,也采用了混煤的方式,这种方式可以使煤炭燃烧更加充分,系统运行性能更加稳定,改变了以前由于煤种不相适应而需要以炉适煤的弊端,使单一锅炉的通用程度也大大提高。

混煤掺烧在我国火电企业应用日益广泛,我国相关部门也加大了对混煤特性、燃烧性能方面的研究,这些研究为配煤燃烧的合理应用提供了更丰富的实践经验和理论指导。研究较为深入的有北京煤化所、浙江大学、西安热工院、哈电集团和株洲洗煤厂等单位。

煤炭科学院北京煤化研究所对煤种掺配做了深入探讨,一方面是在理论上针对配煤数学模型进行研究并加以完善,另一方面在实践上运用软件工具开发出了相关的用于煤种混配的软件,这些研究为配煤操作提供了更大的便利。动力配煤软件主要运用了数学上线性规划的知识,在线性规划平台上推出约束条件和目标函数,从而建立数学模型。

但是这种方法也存在不合理之处,因为仅仅考虑煤的发热量和挥发份因素,并对其进行求平均值是不够的,而煤的燃烧性能、结渣状况、硫分处理等因素对整个系统影响巨大,这些因素也必须加以研究,可以看出,这种软件并不能完全适应所有煤种要求。虽然这种软件存在弊端,但是配煤软件的开发也给以后配煤研究提供了良好的开端。

在国家重点项目资金的资助下,浙江大学以烟煤、无烟煤、褐煤以及混合煤为研究对象,对它们的热值特性、着火温度、燃烧性能、结渣程度等问题开展了广泛而深入的研究,并最终得出结论:混合煤的煤质特点和组成混煤的单煤煤质特点并不是单纯的加权关系,而且部分煤质参数存在非线性关系特征。以上述结论为基点,研究人员充分考虑了影响煤质性能的各种问题,并运用了现代数学技术,如神经网络、模糊控制等建立了配



煤系统的非线性数学模型，最终开发出了煤种混配专家系统。该配煤专家系统实现了众多功能于一体，如煤种比例优化、煤质特征实时分析、库存煤管理、配煤帮助等。浙江大学开发出配煤专家系统后投入了实践，在杭州电厂的配煤生产线上已经成功运行，运行状况良好，此专家系统在技术上经过改进后，又成功地应用于元宝山电厂。

西安热工院利用热天平、燃烧炉等实验装置，对山西无烟煤及其配煤特性展开研究，并对劣质煤燃烧和锅炉改造对配煤结渣影响等问题也做了相关研究。

中国矿业大学的戴财胜利用软件开发工具，开发出了自动配煤专家系统，并在株洲洗煤厂投入应用，该系统既保证了配煤产品的质量达标，又给企业带来了可观的经济收益。这种配煤专家系统的主要功能特点是：能根据单种煤与混煤参数比对结果，简便、快捷地计算出配煤的最优配方。

梁景坤等人运用 VB6.0 和 Visual Fortran5.0 语言开发设计了一套配煤自动化系统。该系统可以实时检测煤质的变化，从操作员、实时检测数据、设备运行状况搜集了大量有用信息，并得出最佳控制方案和最优配比。该系统实现的主要功能有煤种配比计算、配比费用计算和配煤效率提升等，目前，此系统已经在锡林浩特二电厂成功运用。

山东科技大学基于 Microsoft Visual FoxPro6.0 平台研究开发出了一套优化自动配煤的专家系统。该系统主要包括各种数据库、知识库、专家库和工具性等，包括配煤管理、自动配煤、工具箱、煤质分析、数据查询、成本计算等模块，由于其强大的功能和友好的用户界面，使用起来给用户带来极大方便，为电厂自动配煤工作的自动化生产和科学管理提供了一种合理、实用、简便的工具。

西安交通大学与鑫海矿业有限责任公司合作开展的《鑫海矿业有限责任公司管理体系再造》课题，为配合其组织结构、管理流程调整与再造进行了煤质信息系统的设计，开发出慧谷配煤软件。主要考虑的功能有：筛分浮沉表的计算，煤质资料的综合；原煤可选性分析，也就是原煤性价比分析；二产品、三产品产率及分配率计算；预测各种重选、浮选和筛分作业，

组成的不同选煤流程的分选效果，优化方法是软件根据用户输入的源煤数据和精煤目标成分数据，自动分析出浮动范围内全部可行性配煤方案，并可以按最优成分、最高产率原则给出分选作业最佳指标的配合方案；煤炭化验分析指标的计算；煤炭配煤程序，对不同煤炭在达到产品质量要求的前提下，按最低投入原则给出配煤比例。

综上所述，对混配煤的研究不断拓展，总结起来主要是：配煤的工艺流程和系统设计、配煤设备性能优化、设计煤种燃烧概况、煤化参数相互关系、污染气体排放、煤种混配与配比计算、结渣特性研究、锅炉设备改造及其对整个电厂运行稳定性的影响等问题。火电企业首先需要面对的问题是确定单煤种类及单煤的最佳配比，因为各煤种的最佳配比决定了单煤种类，而单煤种类表征着煤种质量的优劣，电厂炉型优化是以煤种质量为依据的，在此基础上对电厂燃烧系统的改造才能更加科学。所以，单煤种的掺配比例关系着整个系统的运行优劣，也是系统各个部分能发挥最大效能的保证。

2. 政策导向和未来发展

《十二五节能减排综合性工作方案》提出，到2015年，全国万元国内生产总值能耗下降到0.869吨标准煤，比2010年的1.034吨标准煤下降16%，“十二五”期间，实现节约能源6.7亿吨标准煤。电力行业专家分析，到2015年，火电供电煤耗由2010年的333克标准煤/千瓦时降到325克标准煤/千瓦时，降幅为8克标准煤/千瓦时。

与信息化配煤技术相关的措施主要有，将推广年产400万吨选煤系统成套技术与装备，到2015年原煤入洗率达到60%以上，鼓励高硫、高灰动力煤入洗，灰分大于25%的商品煤就近销售。积极发展动力配煤，合理选择具有区位和市场优势的矿区、港口等煤炭集散地建设煤炭储配基地。

6.3 节能减碳机制识别和边界划定

信息化配煤技术通过精确预测不同煤质对设备性能的影响，设定每个



煤种合适的运行条件，可以保障锅炉的安全运行，提高锅炉运行效率，降低发电煤耗，进而达到减排二氧化碳的效果。

6.3.1 影响分析

为了分析信息化配煤技术应用后产生的节能减碳效果，辨识主要的影响因素，我们采用情景比较的方法，对比信息化配煤技术应用前后的节能减碳效果。基准（BaU）情景指信息化配煤技术未被应用，电厂发电通过传统方式实现的情景；ICT 技术情景指信息化配煤技术逐步应用后的情景，并在此基础上测算出信息化配煤技术的节能减碳效果。

电厂虽然通过区域电网与区域内其他电厂物理互连，但电厂运用信息化配煤技术将主要影响本厂的发电煤耗，因此可以简化，即认为技术作用的主体只是该电厂。

6.3.2 机制识别与筛选

为了深入分析信息化配煤技术的节能减碳机制，按照方法学框架将其各类影响按照“产品 / 服务需求量”、“产品 / 服务需求结构”、“技术设备需求”、“设备用能结构”、“设备运行效率”五大类进行划分，如表 6-1 所示。

表 6-1 信息化配煤技术对相关主体的影响

主体	产品 / 服务 需求量	产品 / 服务 需求结构	技术设备需求	设备用能结构	设备运行效率
	电能生产	电源结构	通信、数据中心和通信网络设备数量	同“产品 / 服务需求结构”	锅炉效率
发电厂	—	—	—	—	提高锅炉运行效率，降低发电煤耗

其中“产品 / 服务需求量”指电能的生产、传输和终端使用需求。“产品 / 服务需求结构”指电源结构。“技术设备需求”指实现信息化配煤控制功能的设备。

电厂电力设备用电一般由自身发电提供，因此“设备用能结构”概念与“产品 / 服务需求结构”相同。“设备运行效率”则指锅炉的运行效率。

6.3.3 边界判定

为评价信息化配煤技术的节能减碳效果，应先分析其节能减碳机制的作用机理。

应用信息化配煤技术产生的节电影响主要是通过预测混煤燃烧效果，提高火力发电机组运行效率，降低发电煤耗。

对于信息化配煤技术系统设备的制造和运行能耗，因主要是控制软件及少量微型计算机，相对耗能较少，购买和运维只会带来成本上的一定增加，在节能减碳核算中可忽略。

6.3.4 情景参数分类

明确信息化配煤技术的主要影响机制后，需要划定研究边界，并明确各因素在不同情景中的参数设置分类，详见表 6-2。

表 6-2 信息化配煤技术情景参数分类

BaU/ICT	服务类别	产品 / 服务 需求量	产品 / 服务 需求结构	技术和 设备需求	设备运行效率
情景设置因素	BaU	发电需求		—	火力发电效率
	ICT	发电需求		—	火力发电效率
背景参数	BaU/ICT	—	全国电源结构	—	

在“产品 / 服务需求量”方面，电厂发电将会由本地需求决定，总体来看，应呈逐步增长态势。

在“产品 / 服务需求结构”方面（即电源结构），由于暂不考虑电能管理信息系统，不同情景间的电源结构均选用全国平均水平。此外，需要考虑未来我国电源结构进一步优化的影响。

在“技术和设备需求”方面，如前所述，技术购买和运维存在一定成



本，但节能减碳核算中可不考虑设备因素。

在“设备运行效率”中，由于信息化配煤技术的应用，ICT 情景下的发电效率将比 BaU 情景进一步优化。

6.3.5 推广范围设定

信息化配煤技术通过对煤炭掺烧的优化，及对锅炉运行条件的优化，可以降低电厂燃煤成本，提高安全性和可靠性。

2010 年我国火电装机 70967 万千瓦，6000 千瓦及以上电厂发电设备容量为 93412 万千瓦，其中火电装机 70391 万千瓦，燃煤发电装机 64661 万千瓦。2010 年全国火电发电 34166 亿千瓦时，6000 千瓦及以上火电设备平均利用小时为 5031 小时。因此可以估算，2010 年我国燃煤发电约为 325 万 $\text{GW} \cdot \text{h}$ 。

本书以燃煤发电企业为核算对象，将核算的范围限定为工业领域，测算信息化配煤技术在“十二五”和“十三五”期间对全国节能减碳的贡献率。

6.4 节能减碳测算

测算信息化配煤技术节能减碳量的关键指标是测算其对降低电厂发电煤耗的贡献。目前该项技术主要运用于日本、韩国等一些发达国家，国内也有少数几家电厂在试用该项技术。总体而言，普及率很低。不失一般性，本书对国内某电厂运用出光煤炭评价系统的具体案例进行了调研。

该电厂 $2 \times 900\text{MW}$ 超临界参数单轴凝汽式机组配套的 2 台锅炉为法国阿尔斯通能源系统公司制造，塔式分布，超临界压力，一次中间再热，扩容式启动系统，平衡通风，单炉膛四角切向燃烧，露天布置，固态排渣煤粉炉；制粉系统为正压直吹式送粉系统，配六台型号为 SM28/17 的中速磨煤机，正常五台磨运行，一台备用，设计燃煤为神木烟煤。

锅炉主要设计参数如表 6-3 所示。

系统目前在该电厂实际应用，并通过一系列燃烧试验对系统性能和精

度不断进行优化。这里利用燃烧试验结果对配煤和优化达到的效果进行估算和评价，估算出两台 900MW 超临界机组的年减排量，进而对煤炭评价系统的节能减碳潜力进行测算。

表 6-3 锅炉主要设计参数

序号	项目	单位	BMCR 参数	TMCR 参数	备注
1	过热蒸汽流量	kg/s	774.7	737.7	
2	再热蒸汽流量	kg/s	687.6	656.6	
3	汽水分离器出口压力	MPa	27.75	27.51	
4	过热蒸汽压力	MPa	25.76	25.69	
5	再热蒸汽进口压力	MPa	5.92	5.66	
6	再热蒸汽出口压力	MPa	5.74	5.48	
7	过热蒸汽温度	℃	542	542	
8	再热蒸汽进口温度	℃	319.3	316.6	
9	再热蒸汽出口温度	℃	568	568	
10	给水温度	℃	272.6	270.0	
11	送风机进风温度	℃	18	18	
12	热风温度	℃	335	332	
13	排烟温度	℃	130	129	
14	锅炉正常水容积	M3			259
15	水压试验时水容积	M3			985
16	汽水系统总阻力	MPa	3.6	3.25	
17	锅炉烟气阻力	kPa	2.438		
18	空气预热器空气阻力	kPa	0.9		

6.4.1 燃烧试验项目和方法

燃烧试验依据国家标准《电站锅炉性能试验规程》(GB10184-88) 进行，并参照《煤粉锅炉燃烧调整试验方法》；制粉系统试验按照《电站磨煤机及制粉系统性能试验》(DL/T467-2004) 进行。

1. 制粉系统试验

1) 煤粉取样

采用平头式等速取样器，通过磨煤机出口每根煤粉管道上安装的取样



点,按等截面法在每点抽取相同的时间,并调节抽气器负压,使得在每一取样点处取样器的内外静压平衡,从而保证所取的煤粉具有较好的代表性。

每根管道所取煤粉均用电子天秤称量,混合后用孔径分别为 200 μm 、90 μm 、75 μm 的经过标定的分析筛进行筛分,得到各粉样的细度指标 R200、R90、R75。

煤粉细度和煤粉粒径之间的关系可用 Rosin-Rammler 方程来表示。

$$R_x = 100e^{-bx^n}$$

对两边取对数可得

$$\lg \ln(100/R_x) = \lg b + n \lg x$$

煤粉均匀性指数 n 是反映煤粉颗粒度组成的指标。 n 值越大,煤粉颗粒度组成就越均匀,即在同样的细度下,所含有的粗颗粒越少,越有利于煤粉颗粒在炉内的燃烧和燃烬。煤粉均匀性指数 n 计算如下。

$$n = \frac{\lg \ln(100R_{90}) - \lg \ln(100R_{75})}{\lg(90/75)}$$

2) 磨煤单耗

磨煤单耗 E_m 等于磨煤机功率 P 与磨煤机出力 B_m 之比:

$$E_m = \frac{P}{B_m}$$

3) 其他参数

磨煤机其他运行参数在表盘上抄取。

2. 燃烧调整试验

1) 空预器出口烟温

空气预热器出口烟温在空预器出口水平烟道经网格法标定后采用多代表点法测量。采用 I 级精度 K 型铠装热电偶测量,同时测量环境温度。每间隔 10 分钟记录一次。

2) 烟气成分

空预器入口、出口烟气氧含量经网格法标定后采用多代表点法测量。甲、乙两侧烟气样分别引入德国 M&C 公司生产的烟气净化前处理装置,预处理后接入 PMA-10 型顺磁式氧量分析仪进行烟气中氧含量分析。每间隔

10 分钟分析一次烟气样。

3) 大气条件

在送风机进口附近，用干湿球温度计测量环境温度和湿度，每 20 分钟记录一次。大气压力通过电厂汽机运行人员就地抄取的数据获得。

4) 原煤

试验开始前在给煤机入口处取原煤样，取样后缩分出 1 ~ 2kg 原煤样封装，进行工业分析及元素分析。

5) 飞灰取样

在空气预热器后水平烟道处的飞灰取样器取样，试验过程中连续取样。试验结束后缩分出 50g 飞灰样封装。

6) 炉渣取样

炉渣在冷灰斗下捞渣机处取样，取渣样并缩分出约 1kg 渣样封装。

7) 运行参数

由电厂工作人员从控制室表盘上抄取或通过 DCS 采集。

8) 试验仪器

燃烧调整试验采用锅炉性能试验专用仪表和仪器，所有仪表和仪器已经过鉴定部门检验，有关需要现场标定的仪表也在现场进行了标定，有效保证了测试数据的真实可靠。试验所用仪器如表 6-4 所示。

表 6-4 试验所用仪器列表

序号	仪器名称	型号	生产商	测量精度
1	氧量分析仪	PMA-10	德国 M&C 公司	±1%
2	烟气前处理箱	PSS-5/3	德国 M&C 公司	—
3	烟气分析仪	Testo 350Pro	德国 Testo 公司	O ₂ : ±0.8%,NO: ±5.0%
4	热电偶	K 型铠装	国产	±0.4%
5	数据采集装置	IMP35951C	英国输力强精密测量有限公司	±1.9%
6	数据采集仪	EIC-02C	西安交大	—



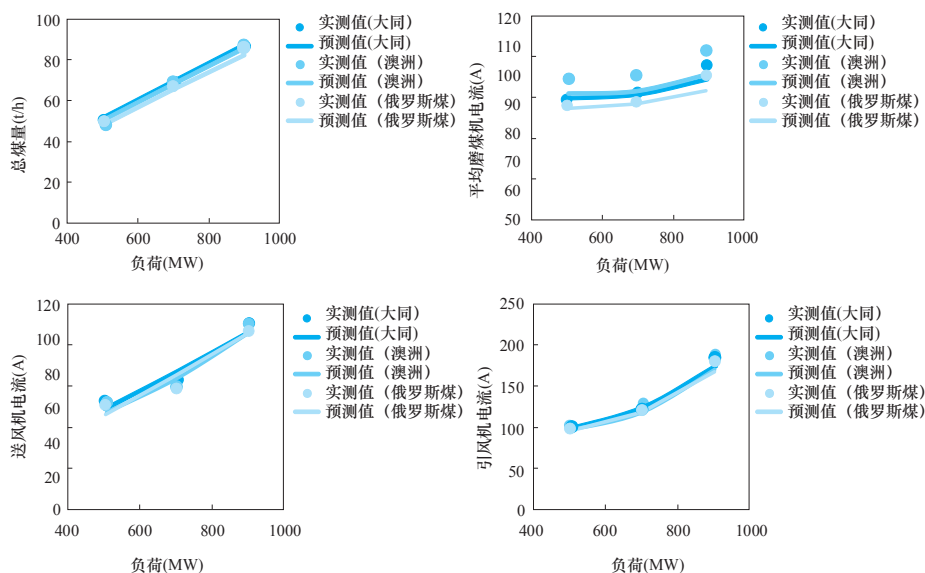
(续表)

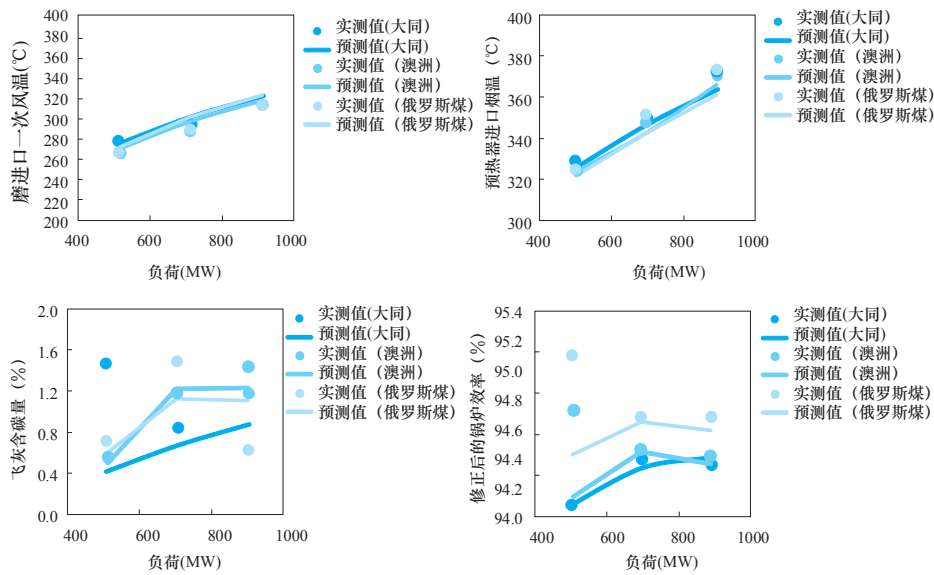
序号	仪器名称	型号	生产商	测量精度
7	数字式温度表	TES-1306	台湾泰仕	$\pm(0.2\%rdg+1^{\circ}C)$ ($50^{\circ}C \sim 199.9^{\circ}C$); $\pm(0.1\%rdg+0.8^{\circ}C)$ ($0^{\circ}C \sim 49.9^{\circ}C$)
8	煤粉筛	MFS	解放军 504 厂	—
9	干湿球温度计	—	—	$\pm 1\%$
10	高纯氮标准气体	—	北京海谱气体有限公司	99.99%
11	氧气标准气体	—	北京海谱气体有限公司	9.92%
12	电子微压计	PVM620		$\pm 1\%$
13	标准毕托管	AMCA	热工院	$\pm 5\%$
14	靠背管	BS-1	热工院	$\pm 5\%$

6.4.2 燃烧试验和配煤技术评价系统预测结果对比

1) 不同负荷

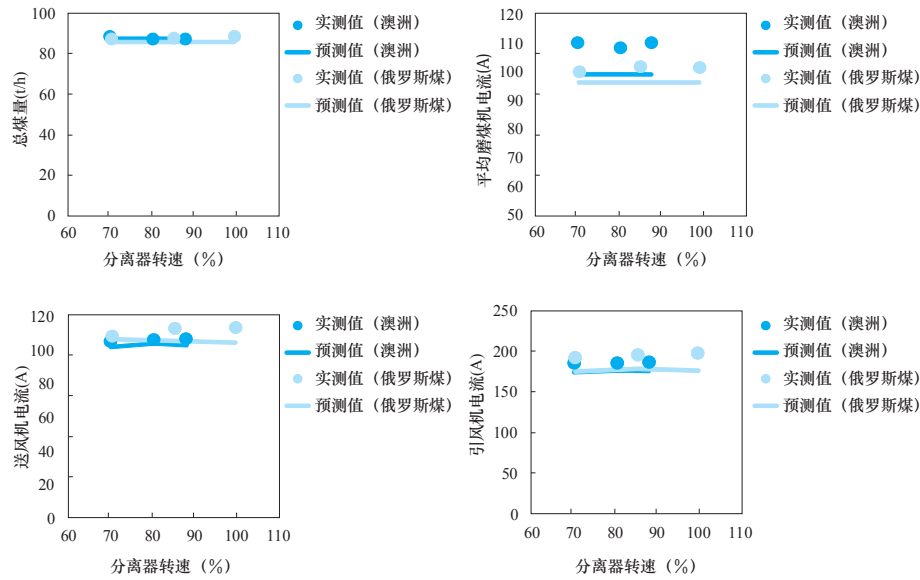
在不同负荷下, 燃烧试验和配煤技术评价系统预测结果对比如图 6-1 所示。

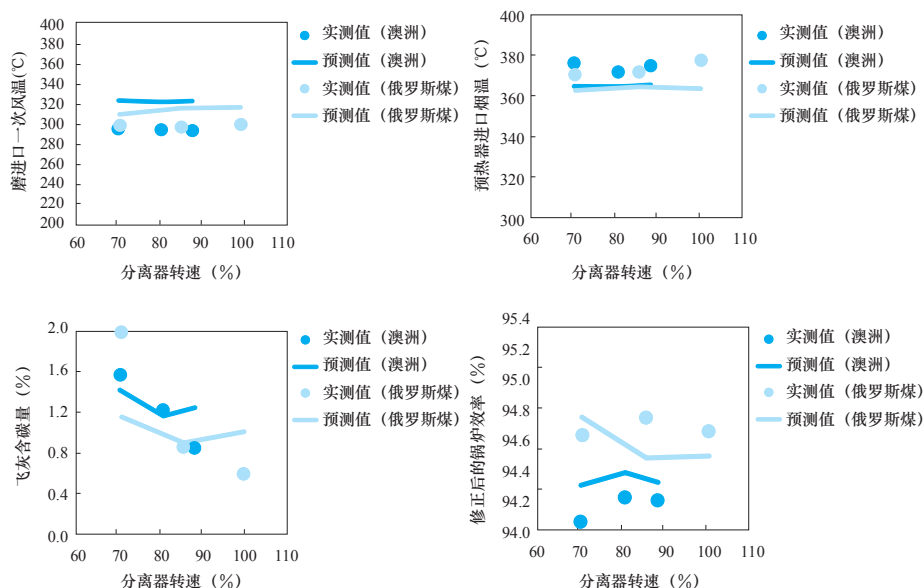




2) 不同煤粉细度

在不同煤粉细度下燃烧试验和配煤技术评价系统预测结果对比如图 6-2 所示。





6.4.3 基于燃烧试验的燃煤消耗量及年减碳量计算

优化炉内混烧条件及优化运行条件可以改善锅炉效率，相应降低发电煤耗，效果如表 6-5 所示。

表 6-5 优化炉内混烧及运行条件的效果

			负荷			全部负荷 平均
			900MW	700MW	500MW	
优化炉内混烧 条件	修正锅 炉效率	基准 (%)	94.40			
		优化 (%)	94.48			
	发电标 准煤耗	基准 (g/kW·h)	296.47			
		优化 (g/kW·h)	296.22			
		改善幅度 (g/kW·h)	0.25			
		改善率 (%)	0.08			
优化运行条件 (俄罗斯煤)	修正锅 炉效率	基准 (%)	94.47	94.56	94.58	
		优化 (%)	94.68	94.68	95.10	

(续表)

			负荷			全部负荷 平均
			900MW	700MW	500MW	
优化运行条件 (俄罗斯煤)	发电标准煤耗	基准 (g/kW·h)	296.25	295.97	295.90	296.04
		优化 (g/kW·h)	295.59	295.59	294.28	295.15
		改善幅度 (g/kW·h)	0.66	0.38	1.62	0.89
		改善率 (%)	0.22	0.13	0.55	0.30
优化运行条件 (澳洲煤)	修正锅炉效率	基准 (%)	94.26	94.39	94.51	
		优化 (%)	94.42	94.46	94.73	
	发电标准煤耗	基准 (g/kW·h)	296.91	296.50	296.12	296.51
		优化 (g/kW·h)	296.40	296.28	295.43	296.04
		改善幅度 (g/kW·h)	0.51	0.22	0.69	0.47
		改善率 (%)	0.17	0.07	0.23	0.16

由表 6-5 可知，优化炉内掺烧条件得到的改善率为 0.08%，优化运行条件得到的平均改善率为 0.23%，二者合计共改善燃煤消耗 0.31%。

最近几年电厂两台机组年均发电量约为 1071000 万千瓦时，利用该地区电网排放因子计算得到年均排放 8026610 吨二氧化碳。按照燃烧试验改善 0.31% 效果测算，相当于年减排 24882 吨二氧化碳，减排率约为 2.32 千克 CO₂/MW·h。

6.4.4 测算结果及不确定性分析

电力工业“十二五”规划目标是全国发电装机容量达到 14.63 亿千瓦左右，其中煤电 9.28 亿千瓦；2020 年规划目标是全国发电装机容量达到 19.35 亿千瓦左右，其中煤电 11.7 亿千瓦。与 2010 年相比，在燃煤装机增加 41.7% 的情况下，2015 年电力工业二氧化碳排放总量增加 30.6%，排放强度降低 12.5%；与 2015 年相比，在燃煤装机增加 26% 的情况下，2020 年电力工业二氧化碳排放总量增加 27.1%，排放强度降低 4.2%。

假定未来煤电设备发电小时数不变，以及区域电网排放因子近似取华东电网 2010 年的排放因子，可对 2015 年和 2020 年的减排潜力进行保守估



计。若 2015 年信息化配煤技术的普及率为 10%，可形成二氧化碳减排能力 108 万吨；若 2020 年该技术的推广普及率达到 30%，则可形成 410 万吨二氧化碳的减排潜力。

但是，本书当中还存在着一些不确定性，主要包括：

（1）技术普及率。信息化配煤技术的普及率直接影响减碳效果。在本书中只能通过案例调研的形式得到典型配煤技术在特定电厂特定设备下的减碳效果，由于技术尚处起步阶段，很难预测其应用推广的范围和进度。

（2）装机容量和发电小时。为简便起见，本书对减碳潜力进行测算时，以案例电厂两台 900MW 超临界机组为样本，未纳入更多不同单机规模的机组和不同发电小时进行比较测算。

（3）电源结构。在本书中，忽略了未来电网电源结构的变化。事实上，随着我国优化能源结构政策措施的不断深入，可再生能源等清洁能源比重将逐渐增大，电源结构必将逐步向绿色转型。

上述因素都会对核算结果造成一定程度的影响。

6.5 本章小结

信息化配煤技术通过精确预测不同煤质对设备性能的影响，设定每个煤种合适的运行条件，可以保障锅炉的安全运行，提高锅炉运行效率，从而达到减排二氧化碳的效果。本章应用了“ICT 技术节能减碳测算方法”，在对案例电厂现场调研的基础上，对信息化配煤技术节能减碳潜力进行初步评价。研究结果表明：信息化配煤技术能够达到节能减碳的一定效果，具体定量测算受技术成熟度和普及率的影响，只能给出近似估计，有待今后进一步深化研究。

第7章 研究结论



- ICT 对经济转型和低碳发展存在多方面的促进机制
- “十一五” ICT 促进我国产业结构调整 and 低碳转型的作用初步体现
- “十二五” ICT 对我国经济转型和低碳发展的潜在贡献巨大
- “ICT 技术节能减碳潜力测算方法”的实用性有了一定提高
- 云计算技术助推全社会绿色发展的远期潜力可观，但实现面临不确定因素
- 推广电能管理信息系统对实现重点工业企业节电具有重大现实意义
- 信息化配煤技术对电力、钢铁等高耗能工业低碳转型具有显著促进作用
- ICT 对宏观经济和低碳发展的系统性影响值得进一步深入研究



本书分别从宏观经济和技术经济层面,对 ICT 促进中国经济转型和低碳发展的机制、效果和评价方法进行了研究,得到以下几方面结论。

1. ICT 对经济转型和低碳发展存在多方面的促进机制

ICT 技术促进我国经济转型和低碳发展的基本途径和可能作用,大体可以归纳为以下几个方面。

一是 ICT 技术日新月异的发展及其产业化应用,可起到有效支撑 ICT 产业做大做强、促进产业结构低碳转型的作用。ICT 产业包括两个子产业: ICT 制造业和 ICT 服务业,两者均为高附加值、低能耗、低排放产业,分别属于国民经济的第二产业、第三产业范畴。ICT 产业做大做强,意味着 ICT 制造业增加值、ICT 服务业增加值占 GDP 比重的提升,将收到共同正向推动三次产业结构低碳转型的功效。

二是促进 ICT 产业自身节能和低碳发展。尽管 ICT 产业属于高附加值、低能耗、低排放产业,但仍有进一步降低能耗和碳排放的潜力空间。随着 ICT 新技术的不断涌现及其在 ICT 产业部门的应用,ICT 制造业、ICT 服务业能源消费强度、碳排放强度将进一步趋于下降,ICT 产业自身将更加绿色、低碳。

三是促推传统工业转型升级。传统工业转型升级是我国工业转型升级的重点和关键。随着信息化与工业化的加快融合,ICT 技术将起到有效促推钢铁、石化、电力、建材等传统工业优化技术结构、组织结构,提高资源配置效率,提升经营管理水平等的多种作用,促进传统工业加快实现发展方式向集约高效、绿色低碳型转变。

四是促推战略性新兴产业加快发展,促进经济结构低碳转型。节能环保产业、高端装备制造业、新能源产业等战略性新兴产业均一般都具有高附加值、低能耗、低排放特征。ICT 技术在能耗在线监测、能源管理优化、环境监测、风电运行控制、新能源大规模并网等方面的推广应用,将促推战略性新兴产业加快发展,战略性新兴产业增加值占 GDP 比重将加快提升,从而起到促进经济结构低碳转型的作用。

五是支撑现代服务业加速成长。以 ICT 技术为核心的现代服务业共性

关键和系统集成技术的发展及应用,将催生越来越多的现代服务企业,激发服务模式和服务业态的不断创新,有效支撑电子商务、现代物流、数字医疗、数字内容、数字社区、数字教育、数字旅游、电子金融等现代服务业的加速成长,从而促进经济结构的低碳转型。

六是推动居民生活模式绿色低碳化。ICT技术的应用,可以从多各方面引导和促进居民生活的节能和低碳化。信息高效传播使生活更便捷,提高生活效率,降低不必要的能耗。例如广泛使用的车载导航系统、12580 信息查询等,不仅使生活更便捷,同时可降低不必要的能耗、减少温室气体和污染物排放。

2. “十一五” ICT 促进我国产业结构调整 and 低碳转型的作用初步体现

受“十一五”中后期全球金融危机等因素的影响,ICT 产业增加值占全国 GDP 比重不升反降,从 2005 年的 6.28% 下降到了 2010 年的 6.17%,ICT 产业做大做强、促进产业结构低碳转型的作用没有得到发挥。但 ICT 产业自身节能和低碳发展效果比较明显,ICT 产业单位增加值能耗从 2005 年的 213 千克标准煤/万元降至 2010 年的 191 千克标准煤/万元,降幅达 10%。单位增加值碳排放从 2005 年的 0.518 吨 CO₂/万元降至 2010 年的 0.453 吨 CO₂/万元,碳排放强度累计下降了 12%。

在促推传统工业转型升级方面,ICT 取得了显著成效。钢铁、化工、汽车、船舶、航空等主要行业大中型企业数字化设计工具普及率超过 60%,关键工序数(自)控化率超过 50%,制造技术和信息技术融合步伐进一步加快;2010 年大型煤炭企业网络覆盖程度在 90% 以上,部分企业初步实现三网融合,数字矿山成为煤炭行业信息化的重点领域;石油化工、有色金属行业 ERP、MES 系统普及率也有了明显提高。

“十一五”期间,ICT 对战略性新兴产业和现代服务业的助推效果初步显现。依托在通信传输、电子集成、大数据运算、信息传感、精密控制等领域技术优势,ICT 技术在装备制造数字化和智能化、智能电网、能源信息化管理、新能源汽车电池等方面获得广泛应用。在居民生活方面,计算机、互联网和手机等 ICT 设备已获得初步普及,极大地丰富和便捷了人民生活,



也改变了传统的居民生活方式。网络信息检索、数据库存储、语音视频通信、网络购物等 ICT 应用,改变了能源消费方式,推动居民生活朝着更加高效、绿色、低碳方向发展。

3. “十二五” ICT 对我国经济转型和低碳发展的潜在贡献巨大

“十二五”期间,ICT 产业增加值占 GDP 比重将从 2010 年的 6.17% 增至 2015 年的 8.6%,由此带来的结构节能量估计为 9398 万吨标准煤,并将产生相应的重大减碳效果。此外,技术与产品结构升级将促使 ICT 产业能源强度和碳排放强度进一步下降,预计 ICT 产业单位增加值能耗将从 2010 年的 191 千克标准煤/万元下降到 2015 年的 172 千克标准煤/万元;单位增加值碳排放将从 2010 年的 0.453 吨 CO₂/万元降至 2015 年的 0.397 吨 CO₂/万元,累计下降 12.4%。上述“结构”和“强度”双重效应将产生约 1 亿吨标准煤的节能量。

未来五年,ICT 技术将与工业系统深度融合,推进传统制造业将向数字化、网络化、智能化、服务化转变。到 2015 年,重点骨干企业信息技术集成应用将力争达到国际先进水平。在支撑战略性新兴产业发展方面,ICT 技术贡献将更加突出。新一代信息技术产业将依托于云计算、物联网等核心技术腾飞。“十二五”期间,我国大型企业云计算使用率将从 43% 提升至近 90%。物联网技术在环境保护、节能与新能源领域应用潜力也将逐步体现。

“十二五”期间,作为现代服务业的重要组成部分,ICT 服务业将获得长足发展,信息系统集成服务、互联网增值服务、信息安全服务、数字内容服务、地理信息服务业务将迅速增长。ICT 技术将在金融、商务商贸、物流、交通、医疗、科技教育等领域推广使用,全面推进服务业向信息化、智能化、数字化方向发展。由此 ICT 将进一步渗透到居民生活的各个方面,引导居民生活绿色低碳发展。

4. “ICT 技术节能减碳潜力测算方法”的实用性有了一定提高

评价 ICT 技术的节能减碳潜力存在较大的系统复杂度。本书充分借鉴了已有的研究成果,进一步规范并提出了“ICT 技术节能减碳潜力测算方

法”，在系统性和应用性方面具有较大提高。方法设计尽量兼顾科学性、普适性和可操作性，以适用于在不同领域应用 ICT 技术的节能减碳评价；既可以测算某一时点的节能效果，也可以评估中长期节能潜力。可供政府机构、行业管理部门、企业等相关单位使用，具有一定的推广价值。

5. 云计算技术助推全社会绿色发展的远期潜力可观，但实现面临不确定因素

作为当前广受关注的新型 ICT 技术，云计算可以将以往在终端实现的计算、存储需求集中起来，通过处于“云端”的数据中心统一实现，从而产生节能减碳效益。云计算涉及终端用户、数据中心、网络运行商、设备制造商等多个社会主体，是 ICT 在“全社会层面”发挥节能减碳效果的典型案例。

研究表明：云计算的节能减碳效果将在中长期逐步体现。未来云计算技术能耗将呈现“先耗能，后节能”特点。“十二五”期间，云计算尚处于建设初期，资源集中优势尚未显现，处于多耗能的阶段；进入“十三五”之后，随着云计算普及率的日益提高，节能减碳效果将开始凸显。到 2020 年，预计云计算可能实现 500 ~ 600 万吨标准煤的能源节约，减排 CO₂ 超过 1300 万吨。

此外，个人云是否节能与技术普及率和用户行为直接相关；如果用户过多地将超大规模文件 / 运算任务交由云端处理，会产生巨大的网络通信能耗，届时个人云将变成耗能技术。而企业云的节能效果较为稳定，如果没有企业云服务，企业将不得不依靠高能耗、低资源使用效率的传统数据中心。

6. 推广电能管理信息系统对实现重点工业企业节电具有重大现实意义

电能管理信息系统是 ICT 在工业领域应用的典型代表。作为“智能电网”的重要组成部分，该技术可以对用电设备运行进行信息化监控和调度，有效协调电力需求与供应，实践证明具有较好的节能减碳效果，已被财政部和国家发展和改革委员会试点推广，是 ICT 技术在“行业层面”应用的典型案例。



研究表明：到“十二五”末期，通过电能管理信息系统与其他各类节能技术的共同作用，共可以产生 1729 万吨标准煤的节能量（发电煤耗法），其中电能管理信息系统的直接或间接贡献可能高达 284.9 万吨标准煤，接近“十二五”工业节能总量的 0.5%，折合减排 CO₂ 约 608 万吨，其中主要潜力在钢铁、电解铝、水泥和合成氨领域。

7. 信息化配煤技术对电力、钢铁等高耗能工业低碳转型具有显著促进作用

信息化配煤技术是 ICT 技术应用于能源领域，并与传统能源技术有效整合的典型应用。通过科学提供配煤方案，优化燃煤机组运行效率，信息化配煤技术可以显著地降低发电煤耗和排放，目前已经在日本、美国，以及中国的部分发电厂使用，节能效果明显。本书选择使用信息化配煤技术的上海外高桥第二发电厂作为“企业 / 项目层面”案例，并拓展至“全社会层面”。

研究表明：信息化配煤技术可以将燃煤发电效率提高 0.31%，其中优化炉内掺烧条件可提高发电效率 0.08%，优化运行条件可提高发电效率 0.23%。在煤电设备发电小时数不变条件下，如果按照“十二五”末期全国煤电装机容量为 9.28 亿千瓦，信息化配煤技术普及率为 10%，2020 年全国煤电装机 11.7 亿千瓦，普及率为 30% 计算，2015 年信息化配煤可节煤 38 万吨标准煤，减排二氧化碳 108 万吨，2020 年可节煤 144 万吨标准煤，减排二氧化碳 410 万吨。

8. ICT 对宏观经济和低碳发展的系统性影响值得进一步深入研究

本书基于理论分析和对产业结构调整量化分析，研究了 ICT 产业对我国经济转型和低碳发展的促进作用，并通过具体的技术应用实例，量化测算了各类 ICT 技术节能减碳的效果和潜力。然而，ICT 对宏观经济的影响是系统、多元的，其促进经济转型和低碳发展的机制十分复杂，且其自身正处于“日新月异”的蓬勃发展阶段，因此 ICT 对经济转型和低碳发展的系统性影响值得深入研究。

第8章

政策建议



- 加强 ICT 技术和产业发展的宏观指导和信息引导
- 面向需求多方强化支持 ICT 技术创新和应用
- 加大对 ICT 技术和产业发展的要素支持
- 扎实推进 ICT 产业自身节能和低碳发展
- 大力推广合同能源管理机制
- 加快推进两化融合促进节能减排工程
- 积极稳妥推进信息惠民工程
- 加快 ICT 产品能效和碳排放标准制定和施行
- 注重 ICT 技术在能耗和温室气体排放监测核查中的应用



1. 加强 ICT 技术和产业发展的宏观指导和信息引导

国家科技、高技术、ICT 产业主管部门应做好与其他相关政府部门的工作协调和衔接，共同贯彻落实国务院《关于加快培育和发展战略性新兴产业的决定》、《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》、《软件和信息技术服务业“十二五”发展规划》、《物联网“十二五”发展规划》、《现代服务业科技发展“十二五”专项规划》等旨在促进 ICT 技术和产业发展的专项和综合性规划，从我国实际出发，进一步明确 ICT 技术和产业发展的重点，加快研究落实上述规划中提出的配套政策措施；注重发挥行业协会在 ICT 企业技术研发、投资、经营决策方面的指导、协调和监督作用；组织编制和动态发布 ICT 技术和产业发展指导目录，定期向社会发布 ICT 行业产能规模、产能利用率及生产、市场发展动向等信息。通过采取上述措施等，指导、引导 ICT 技术的加快创新和应用，以及 ICT 产业的健康和快速发展。

2. 面向需求多方强化支持 ICT 技术创新和应用

国家科技、高技术、ICT 产业主管部门应把握 ICT 技术升级换代、经济结构低碳转型、产业升级、产业融合对 ICT 技术进步的客观和现实需求，从以下方面多方支持 ICT 技术的创新和应用。

在“973”计划、“863”计划、国家重大科技专项、国家自然科学基金等科技计划中对 ICT 技术领域进行针对性部署，重点支持超高速光纤与无线通信、物联网、云计算、数字虚拟、先进半导体和新型显示等重大和关键 ICT 技术的突破性创新；组织建设和进一步完善 ICT 科技基础设施，支持建立和完善 ICT 技术国家工程中心、国家工程实验室、企业国家重点实验室 ICT 技术创新联盟等一批创新平台；支持成立 ICT 技术专利联盟，促进 ICT 技术领域的知识产权创造和运用；支持先进 ICT 技术和设备的引进和国际合作；鼓励国内企业和研发机构在境外设立研发机构；加快推进宽带中国工程、物联网和云计算工程；加强 ICT 技术标准体系建设，在关键共性技术和产品领域同步实施标准化，并积极参与国际标准制定。

3. 加大对 ICT 技术和产业发展的要素支持

一是中央财政部门在战略性新兴产业发展专项资金的使用上应考虑向

ICT 技术和产业适当倾斜,通过需求激励、商业模式创新等综合扶持方式,以组织实施参股创投基金、重大应用示范工程、重大产业创新发展工程等为载体,推动 ICT 技术和产业加快发展。二是中央财政、工信部门在电子发展基金的使用上应面向传统产业转型升级、节能环保 / 新能源等战略性新兴产业培育、现代服务业发展、惠及民生等现实需求,重点支持发展应用电子、工业软件、下一代移动通信、云计算、物联网等 ICT 技术研发和示范推广,同时应注重做好与国家科技重大专项的协调配合;加大追踪问效,确保财政资金充分发挥效益。三是国家金融部门应研究落实《关于促进融资性担保行业规范发展的意见》、《银行业金融机构知识产权质押贷款业务指引》等政策,加快有利于 ICT 技术和产业发展的金融产品创新。四是在高校增设 ICT 技术及产业相关专业、扩大招生规模,加快夯实 ICT 产业发展的人力储备。五是国家税务、财政等部门应积极推动科技成果转化处置权和收益权、股权激励个人所得税改革等试点政策。

4. 扎实推进 ICT 产业自身节能和低碳发展

一是国家 ICT 产业主管部门、节能减排管理部门应加强 ICT 产业链各环节节能减排管理工作力度,重点抓好 ICT 基础设施运营企业的节能减排管理,全面和扎实推进 ICT 设备制造、工程设计、工程施工、运行维护等产业链各环节节能减排管理,引导和激励 ICT 企业产品制造的绿色设计、清洁生产,强化 ICT 产品的绿色采购和资源回收再利用体系建设。二是应鼓励 ICT 企业加快信息和通信网络结构性和系统性节能和低碳创新。三是倡导 ICT 基础设施的共建共享,鼓励探索跨行业的共建共享,扩大共建共享带来的节能减排效应。四是加强 ICT 行业节能减排基础管理工作,加快节能减排统计、监测、考核三体系建设。

5. 大力推广合同能源管理机制

一是支持拥有绿色 ICT 技术的企业创建节能服务公司,打造一支专业从事 ICT 技术节能减碳服务的节能服务公司队伍,合理利用国家现有合同能源管理项目的财政、税收优惠政策,为 ICT 行业以及全社会提供商业化



的节能减排服务。二是鼓励 ICT 企业研究探索与节能服务公司的合作模式，积极推进合同能源管理机制在 ICT 行业的应用。三是组织标准化机构、节能科研和技术服务机构、ICT 企业等联合开发典型 ICT 技术应用节能绩效定量核算方法和评价指南，为定量核算和评价采用 ICT 技术的合同能源管理项目的节能减排效果提供科学合理的依据。四是积极培育 ICT 技术节能减排第三方认证、评估机构。五是组织开发 ICT 技术应用的合同能源管理项目案例研究，并推广现场交流会、网络等多种途径广泛传播。六是组织开展针对 ICT 企业的合同能源管理培训。

6. 加快推进两化融合促进节能减排工程

加快绿色 ICT 技术在工业节能减排的应用，促进信息化和工业化的深度融合。鼓励 ICT 企业开发数字能源解决方案，推动 ICT 技术在重点用能行业和企业中的应用，提高能源管理水平，推动智能电网、智能建筑、智能交通等建设。重点推广绿色数据中心、绿色基站、绿色电源，统筹数据中心布局、服务器、空调等设备和管理软件应用。积极稳妥引入和示范推广虚拟化、云计算等新技术。

7. 积极稳妥推进信息惠民工程

加快完善信息惠民基础条件。推进远程医疗，推广医疗信息管理和居民电子健康档案管理系统。做好电子商务示范城市创建、智慧城市试点工作，支持应用 ICT 新技术和服务模式，在智能电网、林业生态监测、环境污染监控、食品安全监管、智能交通、货物快递追踪、危险品管理、城市公共管理等领域开展新型信息服务。加快研发适应三网融合业务要求的数字家庭智能终端和新型消费电子产品，开展数字家庭多业务应用示范。扩大 ICT 技术、产品和服务在城乡及各领域的应用。

8. 加快 ICT 产品能效和碳排放标准制定和施行

一是加快计算机、电视机、服务器、锂离子电池等量大面广 ICT 产品的能效和碳排放标准的制定工作。二是加强 ICT 产品的能效和碳排放标准的执行力度，将节能低碳型 ICT 新产品及时纳入政府采购清单、节能产品

惠民工程实施范围。三是积极参与全球 ICT 产品能效和碳排放相关标准的制定工作。

9. 注重 ICT 技术在能耗和温室气体排放监测核查中的应用

一是加大 ICT 在能源消费和温室气体监测领域研发的技术投入，提升 ICT 设备在具体工艺过程中应用的适用性。二是把握当前我国推进碳交易、能源需求侧管理，以及能源消费总量控制的机遇，尽快在电力、钢铁、建材、建筑等重点行业推进试点，并开展针对全供应链、全工艺过程能耗和排放的联网监测与分析。三是重视依托 ICT 技术获得节能减碳信息或方案，落实节能减碳举措，对诸如信息化配煤等技术可行、经济和社会效益显著的绿色 ICT 技术，做好工艺流程或相关配套设备的改进工作。

参考文献

- [1] 出光兴产株式会社. 应用“出光煤炭评价系统”的配煤以及运行条件优化削减燃煤火电厂的 CO₂ 排放. 2012.
- [2] 国家发展改革委气候司. 2011 年中国区域电网基准线排放因子. 2011.
- [3] 案例电厂锅炉掺烧俄罗斯煤、澳洲煤现场试验研究报告. 2012.
- [4] 中国电力企业联合会. 中国电力行业年度发展报告. 2011.
- [5] 中国电力企业联合会. 电力工业“十二五”规划研究报告. 2010.
- [6] 中国电力企业联合会. 电力工业“十二五”规划滚动研究报告. 2011.
- [7] 国家统计局. 中国统计年鉴 2011[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [8] 国家统计局. 中国统计年鉴 2006[M]. 北京: 中国统计出版社, 2006.
- [9] 国家统计局. 中国能源统计年鉴 2011[M]. 北京: 中国统计出版社, 2011.
- [10] 中国信息产业年鉴编委会. 中国信息产业年鉴 2011[M]. 北京: 电子工业出版社, 2011.
- [11] 国家统计局, 科学技术部. 中国高技术产业统计年鉴 2012[M]. 北京: 中国统计出版社, 2012.
- [12] 工信部. 电子信息制造业“十二五”发展规划 [EB/OL]. 中华人民共和国中央人民政府网站, 2012-2-24.
- [13] 工信部. 通信业“十二五”发展规划 [EB/OL]. 工信部网站, 2012-5-4.
- [14] 国务院. “十二五”国家战略性新兴产业发展规划 [EB/OL]. 中华人民共和国中央人民政府网站, 2012-7-20.
- [15] 工信部. 软件和信息技术服务业“十二五”发展规划 [EB/OL]. 工信部网站, 2012-4-26.
- [16] 工信部. 宽带网络基础设施“十二五”规划 [EB/OL]. <http://wenku.baidu.com/view/d849c64dcf84b9d528ea7a52.html>, 2012-5-9.
- [17] 工信部. 国际通信“十二五”发展规划 [EB/OL]. <http://wenku.baidu.com/view/f2fd02d1c1c708a1284a44a4.html>, 2012-5-7.
- [18] 出光兴产株式会社. 应用“出光煤炭评价系统”的配煤以及运行条件优化削减燃煤火电厂的 CO₂ 排放 [R]. 2012.
- [19] 国家发展改革委气候司. 2011 年中国区域电网基准线排放因子 [R]. 北京: 国家发展改革委员会气候司, 2011.

- [20] 西安热工研究院. 上海外高桥第二电厂锅炉掺烧俄罗斯煤、澳洲煤现场试验研究报告 [R]. 2012.
- [21] 中国电力企业联合会. 中国电力行业年度发展报告 [R/OL]. 中国经济信息网, 2012-5-6.
- [22] 中国电力企业联合会. 电力工业“十二五”规划研究报告 [R/OL]. 中国电力联合会网站, 2010-04.
- [23] 中国电力企业联合会. 电力工业“十二五”规划滚动研究报告 [R]. 中国电力联合会网站, 2011-05.
- [24] 周子学. 电子信息产业结构调整十年路 [J]. 中国计算机报, 2010(9).
- [25] 杨天剑, 胡一闻, 郑平, Dennis Pamlin. 低碳通信方案在中国: 减排贡献及减排潜力 [R]. WWF 网站, 2010.
- [26] 荆林波, 冯永晟. 信息通讯技术、生产率悖论与各国经济增长 [J]. 经济学动态, 2010(06).
- [27] 刘晓明. ICT 对国民经济的贡献研究 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2010.
- [28] 信息技术: 云计算专题分析报告之一 [DB/OL]. 搜狐证券, 2010-01-11.
- [29] 艾伦·E·奥尔特, 彭亚利, 林润华, 珍妮·G·哈里斯. 中国云计算发展的务实之路 [R/OL]. 埃森哲网站, 2010.
- [30] 工信部电信研究院通信研究所. 云计算技术及应用 [R/OL]. 工信部电信研究院网站, 2009-12.
- [31] 招商证券. 云计算深度报告 [R/OL]. 招商证券网站, 2011-1.
- [32] 国金证券. 云计算专题分析报告之一 [R/OL]. 国金证券网站, 2010-1.
- [33] 国金证券. ICT 产业前景专题之二 [R/OL]. 国金证券网站, 2010-9.
- [34] 工信部电信研究院. 云计算白皮书 [R/OL]. 工信部电信研究院网站, 2012-4.
- [35] 东方证券. 迎接“云计算”黄金时代 [R/OL]. 东方证券网站, 2010-11.
- [36] 东海证券. 云计算——当下 IT 浪潮之巅 [R/OL]. 东海证券网站, 2010-9.
- [37] 大同证券. 行业分析——云计算 [R/OL]. 大同证券网站, 2010-12.
- [38] 微软公司. 让云触手可及——微软云计算解决方案白皮书 [R/OL]. 微软公司网站, 2009-12.
- [39] 赛迪顾问股份有限公司. 中国云计算产业发展白皮书 [R/OL]. 赛迪网站, 2011-06.
- [40] 赛迪顾问股份有限公司. 中国云计算基础设施产业地图白皮书 (2011 年) [R/OL]. 赛迪网站, 2011.
- [41] 中国互联网络信息中心. 中国互联网络发展状况统计报告 [R/OL]. 中国互联网络信息中心网站, 2011-1.
- [42] 信息产业部电信研究院 通信信息研究所. 跟踪研究——ITU 发布最新全球信息化指数 [R]. 工信部电信研究院网站, 2010-8.



- [43] 国际电信联盟. 衡量信息社会发展 [R]. ITU 网站, 2011.
- [44] 徐玉. 全球数据中心发展趋势和特点 [J]. 电信科学, 2011(12).
- [45] 房秉毅, 张云勇, 程莹, 徐雷. 云计算国内外发展现状分析 [J]. 电信科学, 2011(S1).
- [46] 赖媛媛. 中国云计算的发展现状与技术研究 [J]. 科技传播, 2011(11).
- [47] 郎为民, 杨德鹏, 李虎生. 中国云计算发展现状研究 [J]. 电信快报, 2011(10).
- [48] 统计科研所 信息化统计评价研究组. “十一五”时期中国信息化发展指数 (IDI) 研究报告 [J]. 中国信息界, 2010(12).
- [49] 刘恒军, 严烈民, 等. 中国 ICT 产业发展策略分析 [J]. 移动通信, 2006(08).
- [50] 邸月. ICT 产业发展趋势分析 [J]. 中国新通信, 2007(20).
- [51] 张倩. 基于云计算环境的数据管理系统研究与应用 [D]. 北京: 北京邮电大学, 2011.
- [52] 何光宇, 孙云英. 智能电网基础 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2010.
- [53] 赵全乐主编. 线损管理手册 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2007.
- [54] 姜克隽. 中国电力行业绿色低碳路线图 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2011.
- [55] 王兆晶主编. 电工操作技术要领图解 [M]. 济南: 山东科学技术出版社, 2005.
- [56] 常康, 薛峰, 杨卫东. 中国智能电网基本特征及其技术进展评述 [J]. 电力系统自动化, 2009(17).
- [57] 杨传箭. 电力系统运行 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [58] 蔡洋. 电力系统运行管理 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1995.
- [59] 韩肖清. 电力系统运行控制与调度 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 1996.
- [60] 文矩, 李林川. 电力系统最优运行 [M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1987.
- [61] 李文远. 电力系统安全经济运行 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 1989.
- [62] 张英贵. 电力系统中水电厂群日优化运行 [M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1994.
- [63] 陈兵等. 电厂实时监控信息系统的设计与应用 [J]. 电力系统自动化, 2003(08).
- [64] 方亭. 太古电力可视电能管理线上企业每年平均节电 5% [N/OL]. <http://www.subaonet.com/2010/1201/504964.shtml>, 2010-12-01.
- [65] 韩晓平. 智能电网——信息革命和新能源革命的整合 [J]. 电力需求侧管理, 2009(02).
- [66] 李灿, 陈琰, 陈春霖. 统一信息平台的研究与建设 [J]. 华东电力, 2010(08).
- [67] 李越冰, 刘洋. 智能电网发展分析 [J]. 中国电力教育, 2010(19).
- [68] 林彦明, 张树彬. 智能电网通信技术的研究 [J]. 应用能源技术, 2011(06).
- [69] 卢永等. 美国智能电网和分布式发电重点方向的调研分析 [J]. 电力系统自动化, 2010(09).
- [70] 罗红波, 楼鸿平. 通信技术在智能配电网中的应用探讨 [J]. 科技情报开发与经济, 2010(36).

- [71] 彭林等. 信息化支撑智能电网建设 [J]. 电力信息化, 2011(02).
- [72] 舒强. 智能电网的信息网络支撑平台 [J]. 装备制造技术, 2011(03).
- [73] 宋菁, 唐静, 肖峰. 国内外智能电网的发展现状与分析 [J]. 电工电气, 2010(03).
- [74] 孙晶. 智能电网及其通信技术 [J]. 电力系统通信, 2010(12).
- [75] 辛培哲, 李隽. 智能配、用电网通信技术及组电方案 [J]. 电力建设, 2011(01).
- [76] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网 [J]. 电网与清洁能源, 2009(01).
- [77] 张岚等. 从标准看智能电网的发展 [J]. 中外能源, 2011(01).
- [78] 朱斌. 未来坚强智能电网的电力通信网络 [J]. 电力系统通信, 2011(04).
- [79] 陈春霖. 信息化服务“智慧企业”的探索 [J]. 华东电力, 2010(08).
- [80] 李海峰, 王小英, 杨志新. 江苏电网无功电压现状分析 [J]. 江苏电机工程. 2004, (1).
- [81] 吴涛, 吴伯华, 王法靖. 浅谈智能电网中高级量测架构 (AMD) 的认识和启示 [J]. 华中电力, 2010, (6).
- [82] 刘连永, 陈锋, 季振东. 基于智能电网的 AMI 系统 [J]. 江苏电机工程, 2010(2).
- [83] 刘文松, 刘韶华, 成海生. 面向智能电网的高级计量架构 AMI 的研究 [J]. 电网与清洁能源. 2011, (10).
- [84] 苏州太谷电力有限公司. 太谷案例 [DB/OL]. <http://www.bbapower.com/taigucase.aspx>, 2010-10-04.
- [85] 中国电能服务网. DSM 案例 [DB/OL]. 中国电能服务网, 2010-11-06.
- [86] 钱怡, 何启洲. 电网智能管理苏州领先国际 [N]. 苏州日报, 2010-12-26.
- [87] 公司国际部. 国外智能电网研究与应用 [N]. 国家电网报, 2009-05-22 (012).
- [88] 王峰峰. 日本智能电网建设的启示 [N]. 国家电网报, 2009(05).
- [89] 乔建国. 电力系统信息平台的构建研究 [D]. 南京: 东南大学, 2006.
- [90] 王浩宇. 电力系统中、长期优化调度的研究 [D]. 北京: 清华大学, 1994.
- [91] 李源. 基于全局优化的 10kV 配网分布式无功补偿系统的研制 [D]. 北京: 清华大学, 2003.
- [92] 梁东. 基于 10kV 无功补偿的配电网降损措施应用研究 [D]. 北京: 清华大学, 2010.
- [93] 杨锋. Windows95 平台下中期优化调度系统及电力市场的研究 [D]. 北京: 清华大学, 1997.
- [94] 任晓娟. 高中压配电网动态无功优化的算法研究 [D]. 北京: 清华大学, 2001.
- [95] Simon Zadek, Maya Forstater, Kelly Yu and Jon Kornik. ICT and Low carbon growth in China [R]. 2010, 12.
- [96] Neal Elliott, Maggie Molina, and Dan Trombley. A Defining Framework for Intelligent Efficiency [R]. 2012,06.
- [97] Simon Mingay, Dennis Pamlin. Assessment of Global Low-Carbon and Environmental Leadership in the ICT Sector[R]. 2008,11.



- [98] GeSI. Evaluating the carbon-reducing impacts of ICT[R]. 2010,09.
- [99] United States Government Printing Office. Economic Report of the President[R]. 2001.
- [100] Robert J. Gordon. Does the “New Economy” Measure up to the Great Inventions of the Past[R]. 2000,04.
- [101] OECD. ICT and Economic Growth[R]. 2003.
- [102] Dale W. Jorgenson, Kevin J. Stiroh. Raising the Speed Limit: U. S. Economic Growth in the Information Age[R]. 2000,05.
- [103] CDM EB. “ Methodology for rehabilitation and/or energy efficiency improvement in existing power plants ” [R].
- [104] Jamie Popkin. China's ICT Industry: Current State and Future Direction. 2006,04.
- [105] ITU. The World in 2009:ICT Facts and Figures[R]. 2009.
- [106] ITU. The World in 2010:ICT Facts and Figures[R]. 2010.
- [107] ITU. The World in 2011:ICT Facts and Figures[R]. 2011.
- [108] Dennis Pamlin, Katalin Szomolányi. Saving the Climate @ the Speed of Light[R].
- [109] J. Wood and B. F. Wollenberg. Power Generation, Operation, and Control[M]. New York: Wiley,1996.
- [110] David T. Neilson. Photonics for Switching and Routing[J]. IEEE Journal of selected topics in quantum electronics, VOL. 12, NO. 4, July/August 2006.
- [111] Jonathan G. Koomey, Christian Belady, Michael Patterson, Anthony Santos, Klaus-Dieter Lange. Assessing Trends over Time in Performance, Costs, and Energy Use for Servers, Final report to Microsoft Corporation and Intel Corporation[R]. August 17,2009,Appendix.
- [112] CDM EB, “ Methodology for rehabilitation and/or energy efficiency improvement in existing power plants ”.