

电能替代实用手册

国网电力科学研究院有限公司

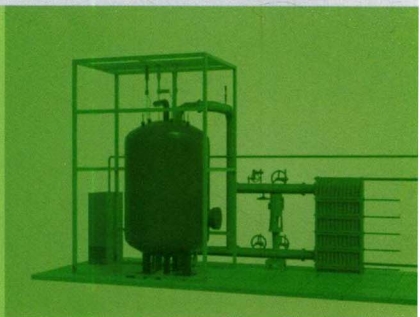
国网电力科学研究院（武汉）能效测评有限公司

组 编

ELECTRIC
ENERGY
SUBSTITUTION
PRACTICAL
HANDBOOK



- 全面分析了电能替代的形势和相关支持政策
- 给出电能替代项目技术评价规则和业务实施全流程
- 提供了多个可参考的工程实例



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

ELECTRIC ENERGY SUBSTITUTION PRACTICAL HANDBOOK

电能替代实用手册

国网电力科学研究院有限公司

国网电力科学研究院（武汉）能效测评有限公司

组 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书详细阐述了典型电能替代技术原理、项目挖潜流程、经济技术性分析和详细案例分析,并辅以大量的现场照片和详细的文字说明,有效指导电能替代项目从潜力挖掘、项目前期评估、项目实施以及项目后评估全流程。本书案例全面,内容详实,针对性和可操作性强,对电能替代项目的营销、挖潜、实施和评估有着很好的示范作用。

本书主要包括电能替代战略与政策分析、电能替代技术及案例分析、电能替代项目的技术评价规则与业务全流程模式、电能替代商业模式及实施流程四部分内容。

本书可作为电能替代培训教材,也可供从事电力节能及能源服务方面工作的技术、管理人员使用。

图书在版编目(CIP)数据

电能替代实用手册 / 国网电力科学研究院有限公司, 国网电力科学研究院(武汉)能效测评有限公司组编. —北京: 中国电力出版社, 2018.11

ISBN 978-7-5198-2564-5

I. ①电… II. ①国… ②国… III. ①电力工业—节能—手册 IV. ①TM92-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 243341 号

出版发行: 中国电力出版社

地 址: 北京市东城区北京站西街 19 号(邮政编码 100005)

网 址: <http://www.cepp.sgcc.com.cn>

责任编辑: 马淑范(010-63412397)

责任校对: 黄 蓓 王海南

装帧设计: 赵丽媛

责任印制: 杨晓东

印 刷: 三河市航远印刷有限公司

版 次: 2018 年 11 月第一版

印 次: 2018 年 11 月北京第一次印刷

开 本: 710 毫米×980 毫米 16 开本

印 张: 14.5

字 数: 224 千字

印 数: 0001—3000 册

定 价: 58.00 元

版 权 专 有 侵 权 必 究

本书如有印装质量问题, 我社发行部负责退换

本书编委会

主 任 张贱明

副主任 王 宇 孙鼎浩 林文孝 唐汗青

委 员 (按姓氏笔画排)

王 鑫	王方胜	王先明	王志军	卞 峰	卢 欣
白保华	冯 华	朱建军	朱银军	刘 强	刘少华
刘志刚	刘明灿	刘景远	米玛次仁	许继和	许朝阳
孙金华	苏冬梅	杨 斌	吴 巍	何 胜	何荣富
冷玉奇	辛卫东	沈春雷	张 凯	张光亚	张国庆
张海静	陈吉奂	武玉丰	武志宏	拉巴顿珠	范 滢
林 敏	罗 凡	罗志坤	罗庚玉	周 琪	郑 鹏
单周平	赵 乐	赵 博	胡军毅	徐杰彦	郭庆红
曹 敏	康玉杰	彭建华	谢连芳	楼 平	鞠文杰
魏宏俊					

主 编 王 宇

副主编 丁 胜 刘 浩 肖楚鹏 邱泽晶 郝党强 黄 柯

参 编 (按姓氏笔画排)

于 波	万长瑛	王世平	王业峰	王振宇	付 威
冯 伦	冯澎湃	任 帅	向 洁	刘 政	关 明
江 城	许 静	阮文俊	孙 哲	李 好	李 俊
李文庆	李明峪	李春东	李海周	吴 疆	吴凯槟
汪 宏	张 健	张良华	张建华	郑 鑫	赵 海
胡 锦	胡宝华	饶 尧	秦汉时	徐 杰	徐 骁
徐健健	郭 伟	郭 松	唐莎莎	黄 静	梁宝权
雷清松	翟长国	蔡 皓	滕姗姗		

前 言

当今世界，能源的消耗现状和未来的发展，与能源、经济和环境的协调关系，是各国共同关心的话题。电能在终端能源消费市场所占的比重，代表电能替代煤炭、石油、天然气等其他能源的程度，是衡量一个国家电气化程度和终端能源消费结构的重要指标。电能是清洁、高效、便利的终端能源载体，在大力推进低碳发展、大规模开发可再生能源、积极应对气候变化的全球发展趋势下，提高电能占终端能源消费比例已成为世界各国的普遍选择。

2013 年 8 月，国家电网公司印发电能替代实施方案，倡导“以电代煤、以电代油，电从远方来，来的是清洁电”的能源消费新模式。实施电能替代战略，可以减少城市大气污染，解决弃风、弃光新能源资源浪费的困境。电能替代是转变能源发展方式、实现能源战略转型、实施能源革命的重大举措。全面实施电能替代、提高电气化水平，对于解决弃风、弃光的消纳，优化能源结构、防治大气污染、提高新能源的利用水平至关重要。从外部环境看，随着污染的加剧、雾霾的频发，减少污染物的排放，为电能替代提供了良好契机。

结合我国电能替代技术水平和应用现状，对可替代能源消费以及技术工艺进行分析比较。目前，以电代煤、以电代油、以电代气主要有 15 类、24 种细分的电能替代技术。电能替代项目的不断推进，不仅可以快速提高用户用电负荷，促进光伏发电、风力发电等清洁能源的发展，提高发电效率，而且能够带动电能替代相关产业的发展，促进社会健康、稳定、持续发展。

电能替代业务中具体落地推进中更需要市场销售人员可以根据用户的生产与经营状况，为用户提供最准确、最经济的电能替代技术，而目前缺乏对电能替代技术精通的专业人员。鉴于此，国网电力科学研究院（武汉）能效测评

有限公司组织部分省电力公司和节能公司的专业技术人员编写了本书，详细梳理了 18 类电能替代技术，全面分析了电能替代的形势和相关支持政策，结合相关省节能公司具体实施案例，提出了电能替代项目技术评价规则和业务实施全流程，以使读者对电能替代技术、实施背景、项目策划、设计、施工、验收、后评价等有一个全面、系统的了解，为电能替代项目大力实施和推广起到学习、借鉴、参考的作用。

本书在编写的过程中得到了来自各方面的协助和支持，多为国家电网公司领导与专家提出了宝贵的意见和建议。湖南、湖北、浙江、江苏、河南、江西等多个省电力公司节能公司提供了大量的电能替代案例资料，在此，一并表示我们衷心的感谢。

最后，希望本书的出版能对电能替代技术和项目落地推广起到推动作用，但限于编者水平有限，书中难免有不足之处，望广大读者批评指正。

编 者

2018 年 9 月

目 录

前言

第一章 电能替代战略与政策分析

1

第一节	电能替代战略概述	2
第二节	电能替代战略意义	2
第三节	电能替代形势与政策	3
第四节	电能替代规划与展望	7

第二章 电能替代技术及案例分析

15

第一节	分散电采暖技术	16
第二节	电（蓄）热锅炉	27
第三节	热泵	33
第四节	工业电锅炉	48
第五节	建材电窑炉	54
第六节	冶金电炉	57
第七节	辅助电力	78
第八节	矿山采选	84
第九节	农业电气化	87
第十节	电（蓄）冷空调	101
第十一节	家庭电气化	111
第十二节	电动汽车	120

第十三节	轨道交通电气化	127
第十四节	港口岸电	133
第十五节	机场桥载 APU 替代	142
第十六节	油气管线电力加压	150
第十七节	燃煤自备电厂、地方电厂替代	152

第三章 电能替代项目的技术评价规则与业务全流程模式 **154**

第一节	电能替代项目的技术评价规则	155
第二节	电能替代项目业务全流程模式	165
第三节	电能替代项目挖潜实用案例	177

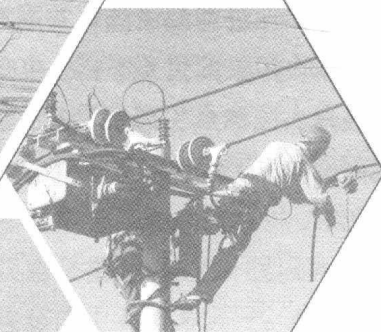
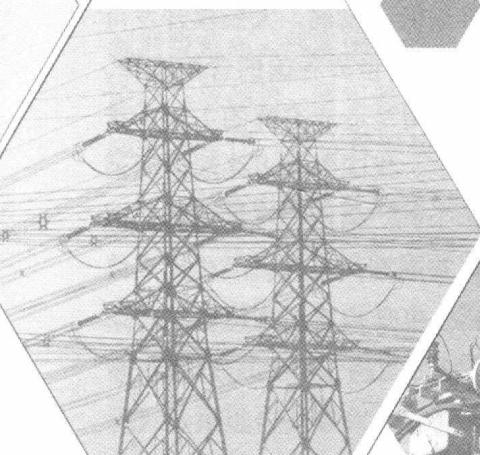
第四章 电能替代商业模式及实施流程 **198**

第一节	电能替代项目主体	199
第二节	电能替代商业模式	204
第三节	电能替代实施流程	209
第四节	电能替代业务支撑	215

附录 **219**

第一章

电能替代战略与政策分析



第一节 电能替代战略概述

电能替代是在终端能源消费环节,采用“以电代煤、以电代油、电从远方来”的能源消费新模式,包括电采暖、热泵、工业电锅炉(窑炉)、农业电排灌、电动汽车等多种替代技术。2013年,随着大气污染日益加剧,雾霾频发,国家电网公司首次提出“两个替代”发展战略,并紧密围绕“以电代煤,以电代油,电从远方来,来的是清洁电”的战略部署,大力推进各领域电能替代。2016年5月,发改委、财政部等八部委联合印发《关于推进电能替代的指导意见》,电能替代上升为国家战略,成为我国防治污染、改善环境、调整能源结构的重要抓手。

第二节 电能替代战略意义

电能具有清洁、安全、便捷等优势,在大力推进低碳发展,大规模开发可再生能源,积极应对气候变化的全球发展趋势下,已成为世界各国的普遍选择。当前,我国电气化水平偏低,大量的散烧煤与燃油使用是造成雾霾的主要因素之一。《电力发展“十三五”规划》指出,到2020年,我国电能占终端能源消费比重达到27%。实施电能替代战略,既符合我国节约、清洁、可持续的能源发展战略,对推动能源消费革命、促进能源清洁化发展意义重大,又是提高终端电能比重、控制煤炭总量、减少污染的重要举措,也是构建新型电力消费市场,提升我国电气化水平,提高人民群众生活质量的有力手段。同时,也可带动相关产业发展,打造新的经济增长点。

第三节 电能替代形势与政策

一、电能替代形势

1 电能替代的必然性

电能替代，顾名思义就是以电能替代一次能源（如煤炭、石油等）在终端的消费，包括“以电代煤”“以电代油”“以电代气”等。目前，我国雾霾污染非常严重，而大量的散烧煤和原油消费是罪魁祸首。据统计，2016 年全国煤炭消费约 40 亿 t，占能源消费总量的 63% 左右，大气主要污染物中，约 80% 的二氧化硫、60% 的氮氧化物、50% 的细颗粒物来源于煤炭燃烧。特别是全国仍有 8 亿 t 左右的散烧煤，没有脱硫、脱硝、除尘装置，环境影响突出，是雾霾防治的重点。

相较之下，电能具有清洁、安全、便捷等优势，实施电能替代对于推动能源消费革命、落实国家的能源战略、促进能源清洁化发展意义重大。因此，无论从发展趋势、现实要求还是从技术条件分析，以电能替代为主要方向推进终端能源替代，符合我国基本国情。

2 电能替代的市场机遇

2016 年 5 月，国家发展改革委员会、国家能源局、财政部、环保部、住房城乡建设部、工业和信息化部、交通运输部、民航局联合印发了《关于推进电能替代的指导意见》（发改能源〔2016〕1054 号，以下简称《意见》）。《意见》从推进电能替代的重要意义、总体要求、重点任务和保障措施四个方面提出了指导性意见，为全面推进电能替代提供了政策依据。

（1）推进电能替代意义重大。当前，我国大气污染形势严峻，大量散烧煤、燃油消费是造成严重雾霾的主要因素之一。我国每年散烧煤消费约 7 亿~8 亿 t，主要用于采暖小锅炉、工业小锅炉（窑炉）、农村生产生活等领域，约占煤炭消费总量的 20%，远高于欧盟、美国不到 5% 的水平。大量散烧煤未经洁净处理就直接用于燃烧，致使大量大气污染物排放。此外，汽车、飞机辅助动力

装置（APU）、靠港船舶使用燃油也是大气污染物排放的重要源头。

电能具有清洁、安全、便捷等优势，实施电能替代对于推动能源消费革命、落实国家能源战略、促进能源清洁化发展意义重大。电能替代的电量主要来自可再生能源发电，以及部分超低排放煤电机组，无论是可再生能源对煤炭的替代，还是超低排放煤电机组集中燃煤对分散燃煤的替代，都将对提高清洁能源消费比重、减少大气污染物排放做出重要贡献。

稳步推进电能替代，还有利于提升我国电气化水平，提高人民生活质量，让人们享受更加舒适、便捷、智能的电能服务；有利于部分工业行业提升产品附加值，促进产业升级。此外，电能替代将进一步扩大电力消费，缓解我国部分地区当前面临的电力消纳与系统调峰困难，特别是个别地区的严重“窝电”问题。

（2）抓住重点，有的放矢推进电能替代。《意见》提出四个电能替代重点领域。一是北方居民采暖领域，主要针对燃气（热力）管网覆盖范围以外的城区、郊区、农村等还大量使用散烧煤进行采暖的，使用蓄热式电锅炉、蓄热式电暖器、电热膜等多种电采暖设施替代分散燃煤设施。从电采暖的发展方向可以看出，电采暖在整个供暖体系中属于补充供暖方式，未来北方地区居民采暖主要还是依靠热电联产集中供热，特别是背压式热电联产，这是能源利用效率最高的方式。国家发展改革委员会、国家能源局等印发的《热电联产管理办法》（发改能源〔2016〕617号）中提出，未来将力争实现北方大中型以上城市热电联产集中供热率达到60%以上。因此，发展电采暖，并不是要取代热电联产集中供热，这一点需要各地在供热规划中予以重视。二是生产制造领域，生产制造领域的电能替代需要结合产业特点进行，有条件地区可根据大气污染防治与产业升级需要，在工农业生产中推广电锅炉、电窑炉、电灌溉等。三是交通运输领域，主要针对各类车辆、靠港船舶、机场桥载设备等，使用电能替代燃油。四是电力供应与消费领域，主要是满足电力系统运行本身的需要，如储能设备可提高系统调峰调频能力，促进电力负荷移峰填谷。

“十三五”期间，将全面推进上述四个领域的电能替代，实现能源终端消费环节替代散烧煤、燃油消费约1.3亿t标煤，带动电煤占煤炭消费比重提高约1.9%，带动电能占终端能源消费比重提高约1.5%，促进电能消费比重达到

约 27%。预计可新增电量消费约 4500 亿 kWh，减排烟尘、二氧化硫、氮氧化物约 30 万、210 万、70 万 t。

(3) 把握原则，稳妥有序推进电能替代。《意见》明确，推进电能替代应坚持“改革创新、规划引领、市场运作、有序推进”四项基本工作原则。当前，电力体制改革正在加速推进中，将逐步建立电力市场化交易机制，还原电力商品属性，推进电能替代必须与电力体制改革紧密结合，特别是充分发挥价格信号引导电力消费、促进移峰填谷的作用。

此外，还需要与能源发展、城市发展、产业发展、大气污染防治等规划或专项工作相结合，以规划为引领，明确发展定位与实施路径，同步协调推进相关工作。深入、持续、有效地推进电能替代，必须科学分析地区能源结构、产业特点、环保要求、财政支持能力等，通过试点示范等方式，因地制宜，稳步有序开展相关工作。要坚持市场化运作，引导社会资本投入，创新商业模式，加强设备研发，发挥市场在资源配置中的决定性作用。一定不能盲目推进，避免因“煤（油）改电”不可持续而造成“电返煤（油）”。

(4) 政策支持，扎实有效推进电能替代。电能替代是一种清洁化的能源消费方式，有利于减少大气污染、提高生活质量，给社会公众带来普遍收益和社会效益，但其成本较高，难以完全通过一般的投资回报方式进行回收，必须有政策支持才能实施。为此，《意见》提出若干电能替代支持政策，可归纳为三个主要方面。

在配电网建设改造方面，一是将合理配电网建设改造投资纳入相应配电网企业有效资产，将合理运营成本计入输配电准许成本，科学核定分用户类别、分电压等级输配电价。二是国家将“十三五”的配电网改造资金拿出一部分用于电能替代配套电网改造，配电企业也要安排专项资金用于红线外供配电设施的投资建设，并建立提前介入、主动服务、高效运转的“绿色通道”，按照客户需求做好布点布线、电网接入等服务工作。

在设备投资方面，一是鼓励各地利用大气污染防治专项资金等资金渠道，支持电能替代。二是鼓励电能替代项目单位积极申请企业债、低息贷款，采用 PPP 模式，解决融资问题。

在项目运行方面，一是扩大峰谷电价价差，合理设定低谷时段，降低低谷

用电成本。今后，还将结合电改进程，推动建立发输供峰谷分时电价机制。这些措施对利用低谷电进行蓄能供热的项目具有实质意义。二是鼓励电能替代企业与风电等各类发电企业开展双边协商或集中竞价的直接交易。通过直接交易，电能替代项目可以按有竞争力的市场价格进行购电。三是创新辅助服务机制，电、热生产企业和用户投资建设蓄热式电锅炉，提供调峰服务的，将获得合理补偿收益。

(5) 明确职责，共同协力推进电能替代。电能替代工作涉及面广，需要各方密切配合，共同推进落实。为保障电能替代工作落实，下一步国家能源局将会同有关单位研究制定分地区、分领域的任务目标和实施方案。国家能源局各派出机构要配合做好电力市场建设、直接交易、辅助服务机制等工作，支持电能替代发展。地方政府要摸清潜力，找准定位，做好组织，协调困难，按照《意见》要求，制定适合本省（区、市）的电能替代方案，并推动实施。电网企业要主动服务，简化程序，及时做好电能替代项目配套电网建设改造与电网接入等工作。电能替代项目单位要积极主动推进项目，确保项目保质保量建设。电能替代设备生产企业要加强研发，不断降低设备成本。

二、电能替代相关政策

政策的支持是电能替代发展的最关键因素，近几年行业的飞速发展也证明了这一点。根据前瞻产业研究院发布的《2017~2022 年中国电能替代发展模式与投资战略规划分析报告》统计，2016 年 5 月国家发改委等八部门联合印发的《关于推进电能替代的指导意见》首次将电能替代上升为国家落实能源战略、治理大气污染的重要举措；之后国家部委又陆续出台了京津冀煤改电、船舶与港口防治专项行动等电能替代政策要求，电力“十三五”规划再次提出电能替代重点。

一系列的国家政策落地后，各地也相继出台相关扶持政策以“红利”方式助推电能替代项目的实施，如北京市出台“煤改电”配套电网、电价、设备补贴政策；江西省对电能替代项目给予新增电费支出 40% 的运行成本奖励，以及不超过投资额 30% 的建设成本奖励。电能替代相关政策规划解读如表 1-1 所示。

表 1-1

电能替代相关政策规划解读

	时间	正常名称	规划内容
国家 8 部委	2016.5	《关于推进电能替代的指导意见》	2016~2020 年,实现能源终端消费环节电能替代散烧煤、燃油消费总量约 1.3 亿 t 标煤,带动电煤占煤炭消费比重提高约 1.9%,带动电能占终端能源消费比重提高约 1.5%,促进电能占终端能源消费比重达到约 27%
环保部	2016.6	《京津冀大气污染防治强化措施》	推进京津冀重点地区农村散煤清洁化替代工作
国家能源局	2016.11	《电力发展“十三五”规划(2016~2020 年)》	2020 年,电能替代新增用电量约 4500 亿 kWh,实现能源终端消费环节电能替代散煤、燃油消费总量约 1.3 亿 t 标煤。力争实现北方大中型以上城市热点联产集中供热率达到 60%以上,逐步淘汰官网覆盖范围内的燃煤供热小锅炉
河南	2016.9	《河南省电能替代工作实施方案(2016~2020 年)》	2020 年,在能源终端消费环节形成年电能替代散烧煤、燃油消费总量 650 万 t 标准煤的能力,带动电煤占煤炭消费比重提高约 2.6 个百分点、电能占终端能源消费比重提高 2 个百分点以上
山东	2017.1	《关于加快推进电能替代工作的实施意见》	在工业生产、交通运输等领域开展“电能替代”组合拳,一些新规开始逐步实施
浙江	2015.6	《关于加快实施电能替代的意见》	到 2017 年底,完成电能替代电量 90 亿 kWh,其中全省煤(油)锅炉电能替代改造 1200 蒸吨;热泵应用 1200 万 m ² ;电窑炉 72 万 kVA;冰蓄冷 60 万 m ² ;港口码头低压岸电覆盖率达到 50%;机场廊桥岸电设备覆盖率 100%
湖北	2017	《推进电能替代战略行动计划》	年推广热泵应用面积 80 万 m ² ,电热锅炉替代燃煤锅炉 130t/h,工业电窑炉 1 万 kVA,冰蓄冷项目 100 万 m ² ;港口岸电 0.5 万 kVA,力争各项措施共增加用电容量 80 万 kVA,实现电能替代净增电量 20 亿 kWh

第四节 电能替代规划与展望

实施电能替代战略是整个能源产业面临的共同任务,需要政府、企业和公民协同合作,群策群力。

在技术层面,电能替代战略涉及从电能生产、运输和消费的全流程角度:其一是电能生产侧,强调电源的绿色化和清洁化,从根本上减少煤炭等化石能

源的消耗，对环境保护产生快速推进作用；其二是电能运输侧，强调优先从远方运输清洁电能，以输电替代输煤，把西部、北部的水电、风电、太阳能发电远距离、大规模输送到东中部地区，尽量避免高负荷地区新增并逐步减少污染程度高的传统电源；电能消费侧，强调优先消费电能，如将工业锅炉、工业窑炉、居民取暖和厨炊等传统用煤方式改为用电，减少直燃煤的使用，具体措施包括在城市集中供暖、工商业等重点领域实施大型热泵、电采暖、电锅炉等以电代煤、代气项目。

在实施层面，电能替代战略的推广受到了政府、企业和公民各方关注。另一方面，电能替代战略的发展与推广实施还存在着若干历史问题需要解决，同时在一定程度上也受能源行业现状制约，例如输电网和配电网建设及智能化程度、能源价格机制、支撑技术等。

一、电能替代发展中存在的问题与制约

全面实施电能替代战略，对于提高经济发展质量和效益、保障能源安全、促进节能减排、保护生态环境、提高人民生活质量具有重要意义。但由于受到我国化石能源禀赋的客观因素和计划经济思维惯性，以及传统观念等主观因素的影响，电能替代战略实施还会面临系列挑战。

1 能源价格机制阻碍电能替代快速实施

价格机制是实施能源替代的市场推动力。对于能源消费终端客户而言，各种终端能源的经济性是进行能源选择时的首要考虑因素。不同终端能源的价格必然影响市场选择。据测算，煤炭、天然气、焦炭的“折算电价”比电价低，石油和液化气的“折算电价”高于电价。电能相对煤炭、天然气等能源在现行价格体制下没有相对优势，消费者出于成本的考虑会倾向于选择煤炭等能源，这主要是因为我国当前的能源价格形成机制不完善，现行的能源低价政策使得传统能源的价格严重偏离其真实价值，主要原因是没有包含环境成本，造成价格扭曲，难以发挥市场优化配置资源的作用。随着能源价格政策的改革，能源价格比对关系逐步趋于合理，不可再生的石油和天然气价格将不断上涨，电能 在终端能源消费市场的经济性将进一步凸显。