

电能替代技术 发展及应用

——走清洁、环保、可持续发展之路

国网天津市电力公司 编
国网天津节能服务有限公司



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电能替代技术 发展及应用

——走清洁、环保、可持续发展之路

国网天津市电力公司 编
国网天津节能服务有限公司



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书立足实际案例,结合相关技术原理与技术标准,全面介绍了我国电能替代技术的发展与应用情况,并在此基础上引入电能替代商业模式与服务体系,为电能替代项目的顺利实施提供强有力的支撑。

本书共分三篇八章,主要内容包括我国能源发展与环境保护现状,电能替代战略的重要意义、电能替代形势与政策、电能替代发展展望、电能替代技术工程实例、电能替代服务体系和商业模式等。

本书对各地政府节能主管部门、相关企业、行业协会的研究人员以及广大的节能工作者系统、全面地了解电能替代技术具有丰富的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

电能替代技术发展及应用:走清洁、环保、可持续发展之路 / 国网天津市电力公司, 国网天津节能服务有限公司编. —北京: 中国电力出版社, 2015.6

ISBN 978-7-5123-7889-6

I. ①电… II. ①国…②国… III. ①电力工业-节能 IV. ①TM

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 117765 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 6 月第一版 2015 年 6 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 13.75 印张 308 千字

定价 39.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签,刮开涂层可查询真伪

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究



电能替代技术发展及应用

——走清洁、环保、可持续发展之路

编 委 会

主 任 钱朝阳

副主任 王迎秋 徐阿元

委 员 董 新 孙龙彪 孙鼎浩 张兴华

郑建雄 庄 剑 王春英 么 军

姜 永 张路生 刘树维 马 崇

编 写 组

组 长 王迎秋

副组长 李洪宾 马 崇 袁新润 项添春

成 员 于 波 吴 亮 管健梅 于蓬勃

石 枫 杨延春 张长志 韩慎朝

张 超 王伟男 钱 峰 黄爱颖

张 剑 赵 新 肖广宇 赵志齐

张 剑 解 岩 张东斐 戈立军

徐 俊



电能替代技术发展及应用

——走清洁、环保、可持续发展之路



能源是人类社会赖以生存和发展的物质基础，人类文明的每一次重大进步都伴随着能源应用的改进与更替。伴随新一轮能源变革，安全可靠、经济高效、清洁环保的能源供应与利用，成为全世界共同关心的问题。

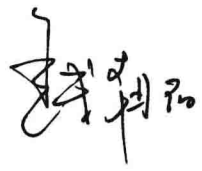
中国经过三十多年改革开放，经济迅猛发展，取得了举世瞩目的成就，已发展成为世界第二大经济体。同时，中国也成为世界第二大的能源生产国和消费国，经济发展对能源的需求越来越大，国家能源安全与环境保护问题日益突出。2014年6月，习近平总书记提出：要推动能源消费、能源供给、能源技术和能源体制四个方面的革命，达到抑制不合理能源消费、建立多元供应体系、带动产业升级，还原能源商品属性，构建有效能源市场结构和体系的目的。

国家电网公司作为关系国家能源安全和国民经济命脉的国有骨干企业，在推动、落实习近平总书记“四个革命”方面承担着重要责任。2015年1月，国家电网公司董事长刘振亚在其著作《全球能源互联网》一书中提出：建设以特高压电网为骨干网架、以输送清洁能源为主导的全球能源互联网，实施以清洁替代和电能替代为主要内容的“两个替代”，推动能源生产和消费革命。这对于保障我国的能源安全，解决环境污染问题具有重大意义。

当前，天津市正处于京津冀协同发展、自由贸易区建设等五大战略叠加机遇期。在建设美丽天津的背景下，天津市委市政府出台相关政策全方位支持电能替代工作，天津电能替代工作迈入新阶段。“推广电能替代工程、启动以电供热试点”被首次写入天津市《政府工作报告》，电能替代上升为市政府重点任务；供暖“煤改电”、岸基供电新增列入“美丽天津·一号工程”“四清一绿”行动2015年重点任务；新实施的《天津市大气污染防治条例》强化大气污染治理；蒙西—天津南1000kV等特高压工程为电能替代提供坚强保障。

在此背景下，国网天津市电力公司组织编写了《电能替代技术发展及应用》一书，

全面介绍了我国能源发展、环境保护的现状和方向,系统阐述了电能替代的战略意义、电能替代技术在国内外的的发展情况,以及实施电能替代的形势和相关政策,详细描述了电能替代技术的工程应用,并且收录了若干以电代煤、以电代油的典型案例。相信本书的出版对促进我国电能替代工作健康、可持续发展,推动能源消费革命具有重要意义。

A stylized handwritten signature in black ink, likely belonging to Chen Liang, the author of the preface.

2015 年 3 月



电能替代技术发展及应用

——走清洁、环保、可持续发展之路



能源是人类社会进步的重要物质基础，对能源的开发利用在改变了人类生产生活的同时，也加剧了经济增长、能源发展和资源、环境之间的矛盾。2012 年底，在党的十八大报告中首次提出“推动能源生产和消费革命”。在 2014 年习近平总书记主持召开的中央财经领导小组第六次会议上，再次提出要进一步推进能源革命，主要包括能源消费革命、供给革命、技术革命和体制革命，从根本上转变我国的能源战略，保障我国的能源安全。

根据当今世界的能源发展趋势和我国的资源禀赋，国家电网公司董事长刘振亚指出，世界能源可持续的发展方向是实施以清洁替代和电能替代为主要内容的“两个替代”，这就要求我们必须树立全球能源观，构建全球能源互联网，建设以特高压电网为骨干网架、输送清洁能源为主导的坚强智能电网，使各国的电网之间实现互联互通，形成一个全球性的配置能力强、服务范围广、安全可靠、绿色低碳的能源配置平台，分别从能源开发和能源消费上实现用能方式的转变。从根本上治理能源安全、环境污染的问题。

随着科学技术的进步，我国越来越重视对清洁能源的开发利用，对风能、太阳能、海洋能等能源的利用率在逐步提高，而对大部分的清洁能源来说，转化为电能才能发挥其真正的作用。因此，积极推进电能替代，实施以电代煤、以电代油，推广应用电采暖、电锅炉、电动交通等，提升电气化水平，提高电能在终端的消费比重，是改善我国大气污染状况的重要举措。

2013 年，国家电网公司印发电能替代实施方案，全面启动电能替代工作，面向终端能源消费市场，大力倡导“以电代煤、以电代油、电从远方来”的能源消费新模式，全面推进社会节能减排，提高社会的整体能效水平。预计到 2020 年，我国的累计替代电量将达到 10000 亿 kWh，城市雾霾得到明显改善，能源开发和利用效率将得到显著提升。

针对我国的能源发展状况和电能替代实施过程中遇到的实际问题，国网天津市电力公司组织国网天津节能服务有限公司的专业技术人员编写了本书，全面分析了我国的能源发展和环境保护现状，明确了我国实施电能替代战略的形势与相关支持政策，梳理了我国的电能替代技术在具体工程中的应用情况，深入研究了电能替代技术服务体系和商业模式的具体内容。其中，电能替代技术工程应用包括技术的概述、技术原理与标准、技术发展与对比，以及工程实例四个部分。工程实例更是从项目概况、项目技术方案、项目商业模式和实施流程、项目效果分析和经验总结五个方面进行了详细描述，以使读者对电能替代技术、实施背景、项目策划、设计、施工、验收等有一个全面、系统的了解。

在本书编写过程中得到了来自各方面的协助与支持，多位国家电网公司领导与专家提出了宝贵的意见和建议，多家电能替代技术厂商与项目合作单位为资料收集提供了大力支持，在此，一并表示我们衷心的感谢。

希望本书的出版能对我国的电能替代技术发展有所裨益。但限于编者水平，书中难免有不足之处，望广大读者批评指正。

编 者
2015 年 3 月



序言
前言

第一篇

电能替代技术发展概述

第一章 能源发展与环境保护	3
第一节 我国能源发展现状及方向	3
第二节 我国环境保护现状及方向	13
第三节 我国能源与环保面临的问题	20
第二章 电能替代战略概述	24
第一节 电能替代战略内涵	24
第二节 电能替代战略意义	25
第三节 电能替代国内外发展经验	26
第三章 电能替代形势与政策	29
第一节 电能替代形势	29
第二节 电能替代相关政策	30
第四章 电能替代发展展望	39

第二篇

电能替代技术工程应用

第五章 以电代煤	45
第一节 分散电采暖	45

第二节 热泵58

第三节 蓄热式电锅炉72

第四节 电窑炉83

第五节 电蒸汽发生器90

第六节 蓄冷空调94

第七节 农村家庭电气化 100

第八节 现代设施农业 106

第九节 综合型电能替代 110

第十节 以电代煤新领域 117

第六章 以电代油 119

第一节 电动汽车 119

第二节 电气化轨道 124

第三节 农业电排灌 128

第四节 港口岸电 132

第五节 以电代油新领域 145

第三篇

电能替代服务体系与商业模式

第七章 电能替代项目主体与实施环节 149

第一节 电能替代项目主体 149

第二节 电能替代实施环节 154

第八章 电能替代商业模式与业务支撑 162

第一节 电能替代商业模式 162

第二节 电能替代业务支撑 167

附录 A 我国能源替代相关政策文件 171

表 A-1 电价类 171

表 A-2 财政类 176

表 A-3 环保类 182

附录 B 电能替代技术相关标准 197

表 B-1 分散电采暖 197

表 B-2 热泵.....197

表 B-3 电锅炉.....199

表 B-4 电窑炉.....200

表 B-5 蓄冷空调.....200

表 B-6 家庭电气化.....200

表 B-7 现代设施农业.....201

表 B-8 港口岸电.....201

表 B-9 电动汽车.....202

表 B-10 农业电排灌.....204

表 B-11 电气化轨道.....205

表 B-12 机场电力设备.....206

参考文献.....207



第一篇

电能替代技术发展概述

第一章 能源发展与环境保护

第一节 我国能源发展现状及方向

一、我国能源发展现状

(一) 我国能源分布情况

我国煤炭资源储量大,但地域分布不均,主要集中分布在山西、陕西和内蒙古等地区。而我国的用煤中心集中于华东、华南等地,常出现北方供应大于需求,南方需求大于供应的局面。为满足中东部地区经济发展需求,国家采取了“北煤南运”和“西煤东运”等措施。

我国常规石油资源总存量丰富,但在丰度和品质上略逊,勘探技术发展滞后。石油主要分布在东部的华北、东北和江淮等地区的松辽、渤海湾盆地、河南和苏北等盆地。在东部以外,石油资源的主要储存地区是我国海域和新疆地区。

我国天然气资源主要分布在陆上西部、东部盆地以及东部近海及其盆地,例如塔里木、鄂尔多斯、四川、柴达木、准噶尔盆地,松辽、渤海湾盆地,以及渤海、东海和莺一琼盆地。目前,我国对天然气的勘探处于早期阶段,储量增长潜力较大,但目前九大气田探明率都较低。根据国土资源部矿产资源储量司数据,截至 2010 年底,累计探明天然气地质储量为 9.3 万亿 m^3 ,剩余技术可采储量为 3.9 万亿 m^3 。然而,常规天然气资源 83% 的气层气探明储量集中在西部,开采难度较大。

此外,我国水能、风能、太阳能资源均十分丰富。我国水能资源西部多、东部少,相对集中在西南地区,大江大河的干流是主要的水资源储藏库。根据 2014 年水能资源普查数据,我国水能资源的总量超过 6 万亿 $\text{kWh}/\text{年}$ 。按照水电专家潘家铮院士的“一度电一斤煤”的建议估算,我国的水能资源总量大约相当于每年 30 多亿 t 原煤。截至 2014 年,已具备了技术开发条件的水能资源约为每年 13 亿 t ,实际上已开发利用的还不到 5 亿 t ,开发潜力巨大。风能资源主要集中于东南沿海及其岛屿和“三北”(西北、东北、华北)地区。2011 年,陆地上储存的风能大约为 8 亿 kW ,加上我国近海储存的可利用风能(约 2 亿 kW),总计约 10 亿 kW 。我国是世界上太阳能资源储量较为丰富的地区之一,主要分布在西藏、青海、新疆、甘肃、宁夏、内蒙古高原地区,总辐射量和日照时数均为全国最高,四川盆地、“两湖”(湖南、湖北)地区、秦巴山地是太阳能资源低值区。我国的东部、南部及东北为资源中等区。



据前瞻产业研究院发布的《2014~2018 年中国分布式能源行业发展前景预测与投资战略规划分析报告》中显示，从我国国内各类能源储量的情况来看，相比于储量丰富的煤炭资源，石油和天然气资源较为贫乏。据国土资源部统计，2013 年，我国的天然气探明地质储量新增了 6164.33 亿 m³，已连续三年超出 6000 亿 m³，但探明的总储量仍低于世界天然气探明总储量的 2.0%。由于人口基数巨大，我国人均能源资源占有量明显低于世界平均水平。根据我国《能源发展“十一五”规划》分析显示，截至 2011 年，人均煤炭占有量约为世界人均水平的 1/2，石油约为 1/10，天然气约为 1/20。从长期来看，国内能源供应将面临潜在的总量短缺，尤其是石油、天然气供应将面临结构性短缺，严重的话，能源有可能再次成为制约经济发展的“瓶颈”。

(二) 我国能源生产情况

我国的能源生产和能源消耗多于世界上其他国家，形成了煤炭、电力、石油、天然气、新能源、可再生能源全面发展的能源供给体系。根据国家统计局统计，2009~2013 年间，我国能源生产总量不断增长，增长率分别为 8%、7%、4%、13%，2013 年比 2009 年增长了 36%。原煤、原油的生产量在能源生产总量中所占百分比出现下滑态势，天然气与水电、核电、风电在能源生产总量中的占比逐年递增，2009~2013 年分别增长了 0.5%与 2.2%。原煤、原油的开采量的减少，清洁能源尤其是电力生产量的增加，说明我国的能源利用结构已逐步向清洁能源倾斜，对电力的有效利用愈加重视。我国能源生产总量及构成情况见表 1-1。

表 1-1 我国能源生产总量及构成

年份	能源生产总量 (万 t 标准煤)	占能源生产总量的比重 (%)			
		原煤	原油	天然气	水电、核电、风电
2009	274619	77.3	9.9	4.1	8.7
2010	296916	76.5	9.8	4.3	9.4
2011	317987	77.8	9.1	4.3	8.8
2012	331848	76.5	8.9	4.3	10.3
2013	375000	75.6	8.9	4.6	10.9

注 电力折算标准煤的系数根据当年平均发电煤耗计算。

数据来源：《中国统计年鉴 2014》。

据国家能源局统计，2014 年我国发电装机总容量已达到 13.6 亿 kW，全口径发电量达 5.5 万亿 kWh，在世界排名第一。截至 2014 年底，全国发电装机容量达 136019 万 kW。

人均装机容量是反映电力供应能力的一个重要指标，人均用电量则与一个国家经济发展密切相关。虽然我国总装机容量和总用电量都超过美国而处于世界第一，但由于我国庞大的人口基数，我国的人均总装机容量和总用电量还很低。近年来，我国人均装机容量和用电量快速增长，截至 2014 年，人均装机容量水平已达到 2002 年的 3.5 倍，但仍远低于发达国家。相关数据显示，同时期发达国家人均装机容量在 2kW 左右，美国更是超过 3kW。



在人均用电量方面, 2012 年美国达到 12941kWh, 是我国的 3.5 倍。日本、法国等国家人均用电量均在 7000kWh 以上, 接近我国的 2 倍。

在发电结构和用电结构方面，我国近年来也取得显著进步，但与发达国家相比，仍存在较大差距。

在发电结构方面,根据国家统计局统计数据,2014年,在13.6亿kW的总装机容量和5.55万亿kWh的总发电量中,火电装机容量为9.16亿kW(其中煤电8.3亿kW,占90%),年发电4.2万亿kWh,分别占全部装机容量的67.4%和总发电量的75.2%;水电装机容量为3亿kW(含抽水蓄能2183万kW),年发电1万亿kWh,分别占全部装机容量的22.2%和总发电量的19.2%。剩余的占总装机容量10.4%和占总发电量5.6%的是风电、核电和太阳能发电。其中,并网风电9581万kW,年发电1563亿kWh;核电1988万kW,年发电1262亿kWh;并网太阳能发电2652万kW,年发电231亿kWh。可以看出,我国火电发电量(其中煤电占90%以上)仍占绝对优势地位,高出世界平均水平约28个百分点。其中美国燃煤发电量只占到40%左右,其余均为碳氢比相对更低的天然气、核电和可再生能源发电形式。2012年、2013年我国发电量情况统计见表1-2。

表 1-2 2012 年、2013 年我国发电量情况统计

指标名称	发电类型	2012 年			2013 年		
		总量	占比	同比增长	总量	占比	同比增长
发电量 (亿 kWh)	火电	38555	78.6%	0.3%	42359	78.0%	9.9%
	水电	8609	17.4%	29.3%	9116	17.0%	5.9%
	核电	973	2.0%	12.6%	1106	2.0%	13.6%
	风电	1008	2.0%	35.5%	1400	2.6%	38.9%
	太阳能发电	35	0.7%	414.4%	90	0.2%	157.1%
	合计	49180	0	5.22%	54071	0	9.9%

注 表中数据根据有关资料整理。比率取四舍五入的值。

用电结构方面，据国家统计局统计数据显示，2014 年，在我国 5.52 万亿 kWh 的总用电量中，工业用电比例达到 73.5%左右，服务业用电和居民生活用电分别只占 12%和 12.5%左右。而美国工业用电比例大概为 24%，服务业和生活用电比例均在 35%左右。我国的人均服务业用电量和生活用电量都只有美国的 10%左右。从以上数据可以看出，我国的用电结构有待进一步优化，而发展电能替代，提高电能在产业结构中的使用比率，减轻各产业对煤炭、原油的依赖，是优化能源利用结构的重要举措。

我国的跨区送电增长速度一直维持在较高水平。根据中国电力企业联合会统计, 2013 年, 跨区送电量达到 2379 亿 kWh, 同比增长 17.9%, 跨省输出电量达到 7853 亿 kWh, 同比增长 9.1%。四川水量充足, 为了消纳富余水电, 通过向上直流和锦苏直流线路外送华东电量 547 亿 kWh, 同比大幅增长 185.8%。南方电网区域西电东送电量 1314 亿 kWh, 同比



增长 5.8%。

总的来说,我国电力资源的总体情况大致为:煤、电供应有富余,而天然气供应不足,国内煤炭市场供求关系宽松,电煤价格呈现先下降后上升的趋势。天然气供求关系紧张,出现供小于求的现象,尤其是在冬季,天然气供应紧张,导致部分燃机发电供气受到限制。自从 2013 年 7 月,国家上调非居民用天然气价格,部分燃机发电企业由于地方补贴不足出现持续亏损。

(三) 我国终端能源消费情况

能源种类多样,特性各异,但都可以作为动力或热源,因此不同的能源品种之间在一定程度上可以相互替代。随着能源领域科技的进步和人们对资源合理利用的要求,能源替代始终贯穿着国内外经济社会的发展历程。2014 年的《BP 世界能源统计年鉴》显示,2013 年,中国仍是世界最大的能源消费国,占全球消费量的 22.4%,占全球净增长的 49%。

迅猛发展的经济势必要求能源的充足供应,也就导致了对能源需求量的不断增长。据国家统计局数据显示,2010 年,我国消费的一次能源总量达到 32.5 亿 t 标准煤,超过美国,成为世界上最大的能源消费国。在能源生产与消费方面,根据中国能源研究会编制的《中国能源发展报告 2014》,2013 年,我国能源消费总量为 37.5 亿 t 标准煤,同比增长 3.7%,增长率同比下降 0.2 个百分点,日均消费量为 1028 万 t 标准煤,能源消费结构进一步优化,清洁能源消费所占比重提高近 1 个百分点。其中,煤炭消费量 36.5 亿 t,同比增长 3.7%;消费的原油总量达到 4.83 亿 t,同比增长 3.4%;消费天然气总量突破 1650 亿 m³,相比同期增长 13%。全社会用电量达到 53223 亿 kWh,同比增长 7.5%。在全年能源消费中,石油表观消费量突破 5 亿 t,但增长率降低至 1.9%;天然气消费总量 1653.2 亿 m³,同比增长 13%。但是我国人均能源消费较低,2013 年我国人均能源消费量换算成标准煤约为 2.76t/人,仅略高于世界平均水平 2.53t/人。

从世界的终端能源消费情况看,化石能源的消费所占比重呈现下滑趋势,与之相反的是,电力消费所占比重呈现非常明显的上升趋势,越来越多的煤炭、天然气等化石能源被转换为电力。根据国家能源局的统计,1980~2012 年间,煤炭、石油、天然气等化石能源的总消费比重从 73.7%下降至 66%,下降了近 8 个百分点。其中,煤炭、石油等化石能源的消费占全部终端能源消费的比例分别降低了 3.1 个和 4.6 个百分点,而 2012 年电能的消费比重比 1973 年上升了 7.2 个百分点,达到 18.1%。可见,电能消费比重逐步上升意味着全球的电气化水平不断上升,用电能取代煤炭、石油等高污染、高能耗能源已经成为世界各国发展的重点方向。1980 年、2012 年世界能源终端能源消费构成情况如图 1-1 所示。

从我国能源消费结构来看,从 1980 年到 2013 年,我国能源消费一直以煤炭为主。在 2013 年,煤炭、石油、天然气和电能消费占比分别为 67.5%、17.8%、4.8%和 9.9%。煤炭、石油在中国能源消费结构中的地位均创下历史新低,与 1980 年相比,煤炭消费比例下降了 4.7%,石油消费比例下降了 2.9%。但电力消费比例上升了近 6 个百分点,