

电力需求侧管理系列丛书

国家发展和改革委员会
电力需求侧管理培训推荐用书

能效电厂 理论与实践

国家发展改革委经济运行调节局
国家电网公司营销部
南方电网公司市场营销部

编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

能效电厂 理论与实践

国家发展改革委经济运行调节局
国家电网公司营销部
南方电网公司市场营销部

编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

《电力需求侧管理系列丛书》是国家发展和改革委员会开展电力需求侧管理培训工作的推荐用书，丛书共 13 个分册，涵盖电力需求侧管理工作的管理、技术、工具三个层面。本书是其中的《能效电厂理论与实践》分册。具体介绍了能效电厂的理论依据、实施情况和经验总结。全书共分五章，第一章能效电厂基本理论，第二章能效电厂效益评估，第三章能效电厂运作机制，第四章国内能效电厂试点情况，第五章国外能效项目实践经验。

本书可供各地政府主管部门、电网企业、能源服务机构、电力用户相关人员阅读、使用。

图书在版编目（CIP）数据

能效电厂理论与实践/国家发展改革委经济运行调节局，国家电网公司营销部，南方电网公司市场营销部编．—北京：中国电力出版社，2013.8

（电力需求侧管理系列丛书）

ISBN 978-7-5123-4706-9

I. ①能… II. ①国… ②国… ③南… III. ①发电厂—技术培训—教材 IV. ①TM62

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 158228 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>）

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2013 年 8 月第一版 2013 年 8 月北京第一次印刷

710 毫米×980 毫米 16 开本 6 印张 87 千字

印数 0001—3000 册 定价 16.00 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

《电力需求侧管理系列丛书》编委会

主任 鲁俊岭

副主任 徐阿元 吴建宏 王勤 胡兆光

编委 (按姓氏笔画排序)

马丽华	王玉萍	王成强	王林	王宗义	王海龙
王海波	王榕	王德亮	王鑫	韦加雄	卞忠庆
左松林	田永军	史景坚	冯小维	朱炯	朱清
乔昆	任泽	华普校	刘学军	刘宪明	刘继东
关长祥	江峰	孙红光	李开明	李永宁	李郁
李绍祥	李洪宾	李家才	李惊涛	杨仁泽	杨锦辉
何胜	汪穗峰	张庆云	张兴华	张军	张志飞
张波	张南娇	张艳红	张继刚	张磊	陈少江
陈军	陈枫	范继臣	林世良	金必煌	金国生
周新民	郑建平	赵小平	赵青山	胡占廷	钟树海
段学民	姜林福	羿宗胤	夏云飞	夏鑫	顾国栋
徐兵	徐磊	卿三红	郭炳庆	朗琼	陶时伟
黄永斌	黄志明	黄惠英	梅学民	曹念忠	崔海山
董新	舒旭辉	路民辉	詹昕	廉国海	颜庆国
薛建虎	檀跃亭	魏宏俊			

《电力需求侧管理系列丛书》编写组

组 长 陈江华

副组长 周 珏 徐杰彦

编写人员 (按姓氏笔画排序)

丁 胜 王振宇 王 鹤 尹玉霞 吕晓剑

闫华光 吴亚楠 吴在军 李玉琦 李 军

李铁男 李涛永 李德智 邱泽晶 张小松

陈 磊 苗常海 周伏秋 周 莉 周 晖

单葆国 钮文洁 黄学良 曹 荣 蒋利民

谭显东 Wolfgang Eichhammer



前 言

为深入开展电力需求侧管理工作，增强全社会科学用电、节约用电、有序用电的意识，提高从业人员电力需求侧管理业务水平，国家发展和改革委员会经济运行调节局会同国家电网公司营销部、南方电网公司市场营销部组织有关单位和专家编写出版了《电力需求侧管理系列丛书》。

本丛书共 13 个分册，涵盖电力需求侧管理工作的管理、技术、工具三个层面。其中，管理层面有《中国节约能源法规与政策解析》《综合资源规划与资源选择》等分册；技术层面有《能效电厂理论与实践》《负荷特性及优化》《重点用能行业节能技术》《能源审计》《通用节能技术》《分布式能源与热电冷联产》《空调与热泵技术》《电机系统节能技术》《电蓄冷蓄热技术及技术经济评估》等分册；工具层面有《节能量和节约电力测量与核证》《欧盟能效指令与白色证书》等分册。

本丛书是国家发展和改革委员会开展电力需求侧管理培训工作的推荐用书，可供各地政府主管部门、电网企业、能源服务机构、电力用户相关人员阅读、使用。

丛书的编写得到了国家发展和改革委员会能源研究所、能源基金会、德国国际合作机构、国际自然资源保护协会、国网能源研究院、中国电力科学研究院、东南大学、北京交通大学等单位、机构和专家的大力支持。

本分册为《能效电厂理论与实践》，由国网能源研究院单葆国、谭显东主编，温权、谭显东、周景宏、韩新阳编写了第一章，谭显东、周景宏、韩新阳、陈

磊、温权编写了第二章，韩新阳、单葆国、吴鹏、谭显东、王成洁、陈磊编写了第三章，谭显东、吴鹏、单葆国、韩新阳、温权编写了第四章，单葆国、谭显东、韩新阳、吴鹏、温权编写了第五章，全书由胡兆光主审。

由于编写时间仓促，书中难免存在疏漏之处，恳请各位专家和读者提出宝贵意见。

编 者

2013年6月



目 录

前言

第一章 能效电厂基本理论	1
第一节 能效电厂概述.....	1
第二节 能效电厂的分类.....	6
第三节 能效电厂的容量与出力曲线.....	12
第四节 能效电厂的成本费用.....	15
第二章 能效电厂效益评估	17
第一节 节能量测量与核证.....	17
第二节 能效电厂效益评估.....	22
第三章 能效电厂运作机制	29
第一节 能效电厂组织体系.....	29
第二节 能效电厂实施的管理模式.....	32
第三节 能效电厂融资机制.....	35
第四节 能效电厂激励机制.....	38
第四章 国内能效电厂试点情况	46
第一节 广东能效电厂建设情况.....	46
第二节 江苏能效电厂建设情况.....	52
第三节 河北能效电厂建设情况.....	58
第四节 我国能效电厂建设面临的主要问题.....	62
第五章 国外能效项目实践经验	66
第一节 美国能效项目实践.....	66

第二节	日本能效项目实践	72
第三节	法国能效项目实践	77
第四节	德国能效项目实践	79
第五节	加拿大能效项目实践	81
第六节	国外能效项目主要实践经验	83
参考文献		86

能效电厂基本理论

第一节 能效电厂概述

一、能效电厂的定义

能效电厂（efficiency power plant, EPP）是指通过采用高效用电设备和产品、优化用电方式等途径形成某个地区、行业或企业节电改造计划的一揽子行动方案，达到与建新电厂相同的目的，将减少的需求视同“虚拟电厂”提供的电力电量，实现能源节约和污染物减排。能效电厂分为狭义能效电厂和广义能效电厂。其中，狭义能效电厂是指将各种节电项目实施所产生的节电效果打包成一定规模的虚拟电厂，包括高效电动机能效电厂、节能变压器能效电厂、绿色照明能效电厂等。狭义能效电厂的概念形象地描绘了电力需求侧管理（DSM）项目的作⽤，简化了电力供应侧资源和需求侧资源的选择与比较，使得具有成本优势的 DSM 项目更容易被纳入选择范围。与实际新建常规电厂（conventional power plant, CPP），能效电厂是在原供电系统中进行电能优化而获得的，不再额外占用土地、消耗煤炭等资源，具有巨大的社会效益和经济效益。广义能效电厂不仅仅将节电项目，而且将其他节能项目也纳入能效电厂的范畴，包括余压余能利用、可燃废气发电和其他节能措施。本书中所提的能效电厂如不作特殊说明均指狭义能效电厂。

二、能效电厂与电力需求侧管理的关系

能效电厂与电力需求侧管理紧密联系又有所不同。一方面可以将电力需求侧管理项目汇总成能效电厂进行运作，另一方面通常指电力需求侧管理项目的

实施范围是从电力用户计量表计之后的电力线路上实施节电项目。能效电厂不仅包括了通常意义上的电力需求侧管理项目，而且将其他节能项目纳入能效电厂的范畴，如电厂、电网的节电项目，工业企业的余压余能发电、可燃废气发电等。

在综合资源规划体系下，为便于规划和运营管理供需双方资源的界定和划分，是以用户计费电能表为界限的。按电力流程方向，计费电能表以上为供应侧，计费电能表以下为需求侧。即用户计费电能表就是供应侧的终点，需求侧的起点。供应侧终点以下称为终端用户，它是电力需求侧管理的对象。

需求侧资源主要指终端用电设备节约的电量和节约的高峰电力需求，主要包括：①提高照明、空调、电动机及系统、电热、冷藏、电化学等设备用电效率所节约的电力和电量；②蓄冷、蓄热、蓄电等改变用电方式所转移的电力；③能源替代、余能回收所减少和节约的电力和电量；④合同约定可中断负荷所转移或节约的电力和电量；⑤建筑物保温等改善用电环境所节约的电力和电量；⑥用户改变消费行为减少或转移用电所节约的电力和电量；⑦自备电厂参与调度后电网减供的电力和电量。用户通过改造现有设备或改变用电习惯所获得的资源称为可改造的资源。而用户新购买的设备如果仍然使用低效或普通效率的设备，这样新增加的可改造的资源称为可能丧失的资源。需求侧管理要注重可改造资源的挖掘，更要重视可能丧失的资源的流失。

供应侧的资源是指电力企业可提供给用户的供电资源，主要包括：①燃煤、燃油、燃气的火力发电厂，其中包括凝汽式发电厂、热电厂、燃气轮机发电厂、柴油机发电厂；②水电站，其中包括堤坝式水电站、引水式水电站、混合式水电站，也包括抽水蓄能电站、潮汐能电站、海洋能电站等；③核电站；④太阳能、风力、生物质能发电厂和垃圾电站等；⑤老电厂的扩建增容；⑥外购电，其中包括从邻近电网、独立电厂和境外购电；⑦电力系统发、输、配电效率提高所节省的电力和电量，其中包括减少厂用电、输电和配电损失所节约的电力电量。

从能效电厂实施的范围上来看，狭义能效电厂包括供应侧和需求侧的各种节能节电措施，而不包括利用余压、余热、余能等建设发电厂的综合能源利用措施和用户的自备电厂。广义能效电厂除了狭义能效电厂的内容外还包括利用

余压、余热、余能等建设发电厂的能源综合利用措施，但不包括用户的自备电厂。图 1-1 清晰地表示了狭义能效电厂、广义能效电厂、电力供应侧、电力需求侧各自所包含的资源范围和关系。

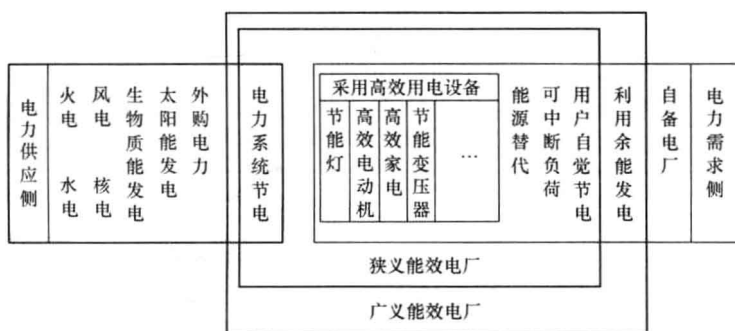


图 1-1 电力供应侧、广义能效电厂、狭义能效电厂、
电力需求侧之间的关系

三、能效电厂与常规电厂

通俗地讲，能效电厂就是通过改造高耗能设备实现节电，节约的电能等同于一座常规电厂所发出的电能。能效电厂和常规电厂是两个概念，常规电厂是指发电厂实体，是生产电能的企业；能效电厂是节电的手段，不生产电能，但其节约的电力电量相当于提供了相应的电力电量，是虚拟电厂。为了同常规电厂提供的发电量相区别，能效电厂提供的电量一般称为“负电量”。这是能效电厂作为需方资源同供方资源的相同之处，都“提供”发电量。它同供方资源不同之处在于，供方资源可以通过电力系统的测量表计随时测量，而能效电厂“提供”的电量实质上是节约的电量，在本质上是无法直接测量的，只能通过能效电厂项目实施前后的对比进行测算。能效电厂虽然是虚拟电厂，但在满足电力需求和电网电力平衡工作中，却和供方资源有着同等的重要性，是实现节能减排的一种有效和直观的途径。能效电厂具有以下方面优势：①建设周期短、零排放、零污染、供电成本低、响应速度快、不占用土地资源；②有利于将需求侧资源纳入电力规划，优化配置能源资源，减少能源消耗；③降低电网高峰负

荷,提高系统负荷率,从而提高整个系统的可靠性、稳定性和安全性;④规模效益明显,组织管理更加科学,可以降低能效项目运作的风险,有利于吸引外部资金。表 1-1 给出了常规电厂与能效电厂每发(或者节约)1kWh 电的燃料消耗、污染排放及成本比较。其中,常规电厂是一家装机容量为 30 万 kW 的典型燃煤电厂,发电设备年利用小时约 5000h。

表 1-1 常规电厂与能效电厂的比较

参 数	常规电厂	能效电厂
容量(万 kW)	30	30
每年生产/节约的电量(亿 kWh)	15	15
燃料(标准煤)消耗(g/kWh)	340	0
CO ₂ 排放(g/kWh)	940	0
SO ₂ 排放(g/kWh)	4	0
平均供电成本(分/kWh)	35~40	15

与常规电厂一样,能效电厂的开发也需要相应的流程,也离不开规划、融资、建造和运营,也必须评估和验证它的效果。能效电厂与常规电厂的实施流程对比见表 1-2。

表 1-2 能效电厂与常规电厂的实施流程对比

项目	能效电厂建议的流程	常规电厂目前的流程
规划	科学地规划流程可以确定 EPP 的节能项目具有最佳的领域、规模和地址	根据相关政策和法规来筛选计划建造的发电厂
批准	向政府部门备案	由政府部门负责
融资	通过贷款、政府资金支持或其他来源方式筹措(包括折扣成本和激励成本)	通过贷款、企业资本或其他资金来源筹措建设资金
建造	必须以合理的成本实现所需要的节约,必须为一些项目制定高效的产品,必须雇佣经验丰富的各类承包商	必须设计、定制主要部件、雇佣经验丰富的承包商
运营	根据能效电厂不同类型项目的负荷特性参与电力系统生产模拟	运营成本因发电厂的类型而异
成本回收	通过在节能投资期内节能的付款来回收成本。资金来源因选择的 EPP 模式而异	通过消费者支付电费来回收资本成本和运营成本

四、建设能效电厂的意义

近年来,世界能源需求持续增长,能源价格显著上涨,能源安全和可持续利用成为各国高度关注的问题。在 20 世纪,全球 15%的人口在实现工业化的过程中,消耗了同期全球 60%的能源。在未来几十年或更长的时间里,包括我国在内的许多发展中国家,也将陆续实现工业化和现代化,如何解决人口、资源、环境与工业化加快、经济快速增长的矛盾,是人类发展需要解决的问题。面对全球气候日益恶化,世界各国逐渐把发展低碳经济提升到前所未有的高度。而实现低碳经济一条重要途径就是提高能源使用效率,减少能源消费。

能效电厂作为电力需求侧管理的一个创新模式,可以有效促进 DSM 的有效开展,在提高电能使用效率和减少用户的电力消耗需求的同时,达到与建设电厂和相应的输配电系统同样的目的。它是实现节能减排的一种有效途径,不仅有利于政府解决电力短缺和能源可持续利用问题,更有利于企业降低成本、承担社会责任和提高竞争力。在当前环境下,建设能效电厂有着很深远的意义。

(1) EPP 是实施 DSM 的一个新理念,可以促进 DSM 的有效开展。能效电厂可以将同类的 DSM 项目打包成一个相对大的项目,便于统一管理、统一融资、统一实施、统一监测。其资金可以利用国际、国内的低息贷款,部分减轻了项目的初始投资压力。这种整合的节能方法在特定的规模上实现了电量和电力的节约,具有一定的规模效益。这种有组织的节能管理还可以降低节能项目的财务风险以及管理成本。

利用能效电厂模式来推进 DSM 和节能节电工作,是一种创新型的节能机制。通过设计合理的运作模式以及激励机制,调动各个参与方的积极性,特别是调动广大企业和居民的积极性,是我国进一步深入推进节能工作的关键。随着能源服务公司的逐步发展,其在能效电厂模式中的作用将逐步放大,市场化节能将成为能效电厂运作的主模式,并使所有参与方都能从节约用电中受益。能效电厂合理的组织模式可以促进 DSM 的有效开展。

(2) EPP 的建设有利于国家合理地进行电力规划,实现资源节约。从国外经验来看,美国加利福尼亚州(简称加州)在考虑电力供需平衡时,首先考虑

有成本效益的 DSM 项目，其次是可再生能源，最后才是常规火电机组。据有关测算，开展能效工作 30 多年来，加州最大用电负荷共降低了 1200 万 kW，占总用电负荷的 15% 左右；一年节省电量 400 亿 kWh。另外，DSM 措施往往见效更快。加州电力危机期间，通过 DSM 措施减少电力需求 500 万 kW 以上。

由此可见，能效电厂的建设可以使得节约的电力具有规模效应，产生大量的“需方资源”，便于将这种通过多个 DSM 措施形成的需方资源纳入电力资源规划中来，实现电力资源的优化配置。将能效电厂纳入电力规划，可以减少或推迟其他机组特别是煤电机组的建设。能效电厂等需方资源往往具有成本优势，江苏和广东的能效电厂的成本大约是新建电厂成本的 1/3~1/2。这在一定程度上节约了大量的资金和土地资源。

(3) EPP 建设是提高能效、缓解能源紧张的重要途径。我国人口众多，人均能源占有量相对世界平均水平很低。而且能源利用效率和能耗水平与国外相比存在较大差距。我国当前能源利用效率约为 30%，比发达国家低 8~10 个百分点。能源利用效率低、能耗水平高，严重影响了我国国民经济的健康持续发展。鉴于能源供需的发展趋势，无论是从国内资源还是世界资源的可获得量考虑，如果仅从增加供应量出发，无法确保能源供需平衡。要走出一条新型的节能道路，降低能源需求增长速度，在有限的能源资源条件下，保持经济高速平稳增长。有组织地开展 DSM，即建设 EPP 是提高能效、缓解能源紧张的有效途径和手段。

建设能效电厂可以在照明、电机、变压器等很多领域开展节能节电项目，有效提高电能使用效率，减少能源需求，直接减轻我国严重的环境压力。因此，实施能效电厂是实现我国电力、经济和环境协调可持续发展的关键措施，具有重要意义。

第二节 能效电厂的分类

能效电厂的分类有很多种方法，这里仅列出按运行方式和按技术类型两种分类。

一、按运行方式划分

能效电厂按运行方式划分可分为确定性能效电厂、随机性能效电厂、移峰填谷类能效电厂、可调节类能效电厂四种。

第一种为确定性能效电厂,是指能效电厂中各设备的运行情况均是确定的,即其负荷曲线是确定的,或者说是该设备的负荷曲线是已知的。该类能效电厂多见于企业中连续运转的能效设备或是具有规律性运转的能效设备。虽然,能效电厂的运行具有随机性,而在工业企业中根据生产工艺的要求有些设备的运行却是可以预知的,这部分电力负荷在我国这样以工业用电为主的国家里,还占有相当大的比重。另外,由于部分发达国家的能效管理比较先进,通常利用特定条件试验的方法对许多能效措施进行测试,并将测试参数进行标准化,其中也包括负荷曲线的标准化,对于这样的设备也应认为其负荷曲线是已知的,归为确定性能效电厂。该类能效电厂理论容量的计算就是用节能改造前的用电设备总功率减去节能改造后用电设备的总功率;而削峰容量就是指在负荷高峰时,运行着的节能设备的总功率与该部分节能设备改造前的常规设备的总功率之差。

第二种为随机性能效电厂,一般是由功率较小且数量较多的能效设备组成,或者是由功率较大但其运行具有随机性的能效设备组成。部分发达国家通过实验的方法得到常见能效措施的数据(包括负荷数据),并将其标准化,形成数据库,以便以后一段时间内对各种能效设备进行分析和测算,然而国内的能效管理还处于起步阶段,没有相应的机构测算各种能效措施的数据,在国内暂时还不能采用标准化的方法对能效项目进行分析和测算,因此,我国的能效电厂中有相当多的部分属于随机性能效电厂。该类能效电厂的理论容量与确定性的类似;其削峰容量虽然从理论上可以由与确定性能效电厂一样的方式得出,但一般随机性能效电厂所包含的节能措施较多,而且均具有随机性,因此,随机性能效电厂的削峰容量在替代系数相同的情况下,需要监测高峰负荷时的运行同时率,再计算而得。在替代系数不同的情况下就只能通过将相同的替代系数节能设备归为一类,分别计算每一类的削峰容量后

再汇总。

第三种为移峰填谷类能效电厂，指能效电厂各设备在负荷高峰时不运行或低功率运行。该类能效电厂本来是可以归到前面两类中，但是由于其运行方式和节电方式具有一定的特殊性故单独作为一类处理。其中，移峰填谷类能效电厂在负荷低谷期运行，在负荷高峰时不运行或低功率运行，该类能效电厂的负荷也具有一定的随机性。在负荷高峰时，如果移峰设备不运行，那么理论容量就是常规设备的额定功率；在负荷低谷时，如果常规设备不运行，那么理论容量就等于负的移峰设备的额定功率，就是说移峰填谷类能效电厂的理论容量要在负荷高峰期与负荷低谷期分别计算。移峰填谷类能效电厂一般在负荷高峰时不运行，仅在低谷时运行且在低谷运行时所消耗的电量可能要大于被替代设备的用电量，即移峰填谷类能效电厂总的用电量可能会大于被替代设备的用电量。对于单个运行设备，相关电量计算过程如下：

(1) 移峰设备的用电量 E_y 计算式为

$$E_y = \int_0^T P_y(t) dt \quad (1-1)$$

式中： $P_y(t)$ 为移峰设备的运行负荷曲线； T 为研究周期。

(2) 被替代的常规设备的用电量 E_c 为

$$E_c = \int_0^T P_c(t) dt \quad (1-2)$$

式中： $P_c(t)$ 为常规设备的运行负荷曲线。

(3) 多耗电量 ΔE 为

$$\begin{aligned} \Delta E &= (1 - \mu) E_y \\ \mu &= E_c / E_y \end{aligned} \quad (1-3)$$

式中： μ 为折算系数，在0~1之间取值，主要影响因素为能源转换效率、能源损耗等。当然在有些情况下，移峰设备的耗电量也不一定比常规设备的耗电量高，所以，多耗电量的值也可能是负值。

第四种为可调节类能效电厂，指能效电厂的出力是可以通过某些途径和手段调节的，主要包括可中断负荷与需求侧响应等电力负荷管理措施。该类能效电厂最大负荷削减量即可看作是它的理论容量，其出力可以根据电力负荷及系统的具体情况来调节。