

电力需求侧管理资源调查系列丛书

电机系统节电资源 调查与评估

国家发展改革委经济运行调节局
南方电网公司市场营销部 编
国家电网公司营销部



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

电力需求侧管理资源调查系列丛书

电机系统节电资源 调查与评估

国家发展改革委经济运行调节局
南方电网公司市场营销部 编
国家电网公司营销部



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

电力需求侧管理是综合资源规划的重要组成部分,通过提高终端用电效率和优化用电方式,达到节约资源和保护环境的目的。为深入开展电力需求侧管理工作,国家发展和改革委员会经济运行调节局会同南方电网公司市场营销部、国家电网公司营销部组织有关单位和专家编写出版了《电力需求侧管理资源调查系列丛书》,用于指导电网企业需求侧管理人员更好承担需求侧管理实施主体职责,指导用能企业切实了解自身的能效水平,指导节能服务公司便捷地完成节能诊断。

本套丛书共分7个分册,包括《节约电力与蓄能系统资源调查与评估》《供配电节电资源调查与评估》《电机系统节电资源调查与评估》《中央空调节电资源调查与评估》《热泵系统节能资源调查与评估》《照明节电资源调查与评估》和《分布式发电资源调查与评估》,从不同方面对需求侧管理资源调查与评估方法体系进行了论述,系统阐释电力需求侧管理资源潜力调查的内容和方法体系,具有较强的操作性与实用性。本分册为《电机系统节电资源调查与评估》。

本套丛书可以为电力用户、能源服务机构等能源管理人员提供能源服务项目的初步可行性评估,同时为各地政府电力需求侧管理主管部门、电网企业开展电力需求侧管理工作提供方法参考。

图书在版编目(CIP)数据

电机系统节电资源调查与评估 / 国家发展改革委经济运行调节局, 南方电网公司市场营销部, 国家电网公司营销部编. —北京: 中国电力出版社, 2017.6

(电力需求侧管理资源调查系列丛书)

ISBN 978-7-5198-0634-7

I. ①电… II. ①国…②南…③国… III. ①电机-节能-资源调查②电机-节能-资源评估
IV. ①TM3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 070462 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: 王 晶 马 青 (010-63412784) 盛兆亮

责任校对: 朱丽芳

装帧设计: 张俊霞 左 铭

责任印制: 邹树群

印 刷: 三河市万龙印装有限公司

版 次: 2017 年 6 月第一版

印 次: 2017 年 6 月北京第一次印刷

开 本: 710 毫米×980 毫米 16 开本

印 张: 9.5

字 数: 158 千字

印 数: 0001—2000 册

定 价: 50.00 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

《电力需求侧管理资源调查系列丛书》

编写单位及人员

编 写 单 位

国家发展改革委经济运行调节局

南方电网公司市场营销部

国家电网公司营销部

编 写 委 员 会

主 任 许之敏

副主任 吴建宏 徐阿元

编 委 (按姓氏笔画排序)

王海龙	王小明	王 鑫	邝新武	江 迪
孙鼎浩	许燕灏	杨小云	何仁强	张 军
张兴华	张新建	陈 超	周伏秋	林 杰
罗 莉	赵远凉	徐 睿	夏 鑫	黄 炜
梁树华	童清雄	詹 硕		

编 写 组

组 长 曹 重

副 组 长 林跃舜

编写人员 (按姓氏笔画排序)

叶丰章 冯 发 石 坤 白 炜 付国仙

孙 皓	刘加根	刘 炜	刘憬奇	闫华光
江 真	李 扬	李亦宁	李德智	杨 彪
何宇坤	何 胜	宋总涛	汪 振	张崇超
陈宋宋	陈春常	陈 钢	林波荣	欧阳诚
周龙华	赵小军	徐 睿	翁军华	高赐威
栾晓东	凌 猛	董福海	彭龙生	章激扬
常 良	程文辉	傅晓锋	雷 鸣	廖卫列

技术总顾问 李 扬 高赐威

特别鸣谢

南方电网综合能源有限公司
 国家电网公司电力需求侧管理指导中心
 国家发展和改革委员会能源研究所
 清华大学建筑学院
 东南大学电力需求侧管理研究所
 顺德中山大学太阳能研究院
 中国电力科学研究院用电与能效研究所
 杭州国电能源环境设计研究院
 国际铜业协会
 上海市能效中心
 珠海市节能协会
 北京清华同衡规划设计研究院有限公司
 上海电机系统节能工程技术研究中心有限公司
 国网节能服务有限公司
 上海置信电气股份有限公司
 常州天合光能有限公司

广州智光节能有限公司

广州艾思高能源科技有限公司

北京恩耐特分布能源技术有限公司

北京世纪源博科技股份有限公司

大连易世达新能源发展股份有限公司

同方川崎节能设备有限公司

胜利油田胜利动力机械集团有限公司

电力需求侧管理是综合资源规划(integrated resource planning, IRP)的重要组成部分,通过提高终端用电效率和优化用电方式,达到节约资源和保护环境的目的。为深入开展电力需求侧管理工作,增强全社会参与需求侧能效项目的能力,国家发展和改革委员会经济运行调节局会同南方电网公司市场营销部、国家电网公司营销部组织有关单位和专家编写出版了《电力需求侧管理资源调查系列丛书》,用于指导电网企业需求侧管理人员更好承担需求侧管理实施主体职责,指导用能企业切实了解自身的能效水平,指导节能服务公司便捷地完成节能诊断。

本套丛书尝试为读者建立一种电力需求侧管理资源调查与评估的方法,从用能客户的微观层面获取需求侧资源的潜力和解决方案。为便于了解文中的主要内容和逻辑关系,对有关概念做如下说明。

一、电力需求侧管理资源的定义

电力需求侧管理(demand side management, DSM)是指为提高电力资源利用效率,改进用电方式,实现科学用电、节约用电、有序用电所开展的相关活动。实施电力需求侧管理具有显著的经济效益和社会效益。对于电力用户,可以降低用电负荷和用电量,减少电费支出,提高用电安全性、可靠性,从而降低企业经营成本、提高产品竞争力,还可以通过在线监测有效提升管理水平。对于电网企业,可以削减高峰用电负荷,在电力供应紧张时有效缓解限电压力;可以提高电网设备利用率,促进电网安全、经济运行,延缓或减少电网建设所需投资。对于社会,可以减少一次能源的消耗,减少对发供电资源的占用,从而促进环境保护与资源节约。

电力需求侧管理资源指终端用电领域的节电和转移电力的资源,凡是有用电的地方都存在潜在的节电和转移电力的资源。概括起来大致包括:

(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

效率后可以节约的电力和电量。

(2) 蓄冷、蓄热、蓄电等改变用电方式可以转移的电力和电量。

(3) 能源替代、余能回收可以减少和节约的电力和电量。

(4) 合同约定可中断负荷可以转移或节约的电力和电量。

(5) 建筑物保温等改善用电环境可以节约的电力和电量。

(6) 用户改变消费行为减少或转移用电可以节约的电力和电量。

(7) 自备电厂参与调度后电网可以减供的电力和电量。

二、电力需求侧管理资源的界定和分类

需求侧管理资源按照其可开发情况可分为技术可开发资源、经济可开发资源。

(1) 技术可开发资源。即在一定时期内，对于技术而言存在可行性的节电资源，即只要以更高效率的技术替换现有技术，便可能获得的资源节约量。

(2) 经济可开发资源。即不仅存在技术可行性，也同时满足经济要求的节电资源，具体做法是在满足技术可行性的基础上进行成本效益分析，从而得出具有经济效益的节电资源。

电力需求侧管理资源按照其资源属性，可以分为三类：可节约的电力资源、可节约的能量资源以及可替代的资源。

(1) 可节约的电力资源。指电功率(kW)的节约量，根据电力系统的负荷特性，以某种方式将用户的电力需求从电网负荷高峰期削减，或将其转移到电网负荷低谷期，减少日或季节性的电网峰荷，促使电力需求在不同时序上合理分布，增加低谷期设备利用率，提高系统运行的可靠性和经济性。

(2) 可节约的能量资源。指电量(kWh)的节约量，是指以提高电能利用效率为目的，通过各种节电改造项目、技术、产品、工艺等挖掘的节约电能消耗量，从而减少因发电而消耗的一次能源以及其他社会资源，是一种可循环的资源。典型的电力需求侧可节约能量资源开发范例为能效电厂，即以电量节约的方式满足用户的用电需求，实现供需平衡，同时还能带来其他效益，如减少污染物的排放、减少对煤的需求、提高电力系统运行的经济性和可靠性等。

(3) 可替代的资源。指被清洁能源替代的能量(kWh)，从广义上讲，电力替代也是电力需求侧资源之一，是节能、节电的重要措施。电力产品面临的替代品主要有天然气、风能、太阳能等，尤其是天然气在发电、民用方面

有着良好的替代性，可以减轻缺电压力，更加清洁，并提高能源利用效率。

三、电力需求侧管理资源调查对象及方法

本套丛书所称调查方法是对电力需求侧管理节电资源调查一般方法的阐述，是典型调查、一般调查和抽样调查方法的结合，根据每个特定节电领域的具体特点而灵活开展。调查评估机构接到某一节电资源调查评估任务后，可按照以下工作程序完成相关任务：收集前期资料、准备相关调查测试器材、办理入场许可、开展现场调查、编制调查评估报告。

电力需求侧管理资源具体的调查对象为：

(1) 各供配电单位。通过供配电单位以往的运行数据，得到电力系统的负荷特性，从而可以用某种方式将用户的电力需求从电网负荷高峰期削减，或将其转移到电网负荷低谷期，减少日或季节性的电网峰荷，促使电力需求在不同时序上合理分布，增加低谷期设备利用率，提高系统运行的可靠性和经济性。

根据调查供配电单位的变压器、线路和无功补偿装置的现状，相关厂家改造的费用等基本情况，进而分析供配电系统经济运行、节电改造和改善电能质量所节省的电力与电量资源，进行相关的电力需求侧管理项目。

(2) 各用电单位。电力需求侧管理资源调查工作展开的主体可以是政府、电力公司或用户本身，对于政府相关决策机构，电力需求侧管理资源调查要整合全社会需求侧管理资源，制定需求侧管理资源调查工作机制，因此调查对象需要包含全社会各行业。对于用户本身，需求侧管理资源调查工作旨在挖掘本身潜力，达到节电，降低经济运行和企业的经营成本，提高产品竞争力。

电力需求侧管理资源调查可以采用抽样调查与典型用户调查结合的方法，具体流程图如图 I 所示。

根据电力需求侧管理目标，分析电力需求侧管理资源调查需要得到的用户信息，主要包括用户用电潜力信息以及用户价值信息。通常来说，用户电力需求侧资源的潜力信息需要深入了解用户负荷特性、开展实地调研；用户价值信息可以采取文案调研的方法。

开展电力需求侧资源实地调研需要借助调查表。需要根据信息需求，合理设计调查表。根据电力需求侧资源调查方案编制的需要，调查表需要涉及以下几方面的信息：用户基本信息，主要设备的负荷及运行特点、重要程度，企业生产班次和厂休情况，企业生产设备检修计划，可中断负荷控制对企业

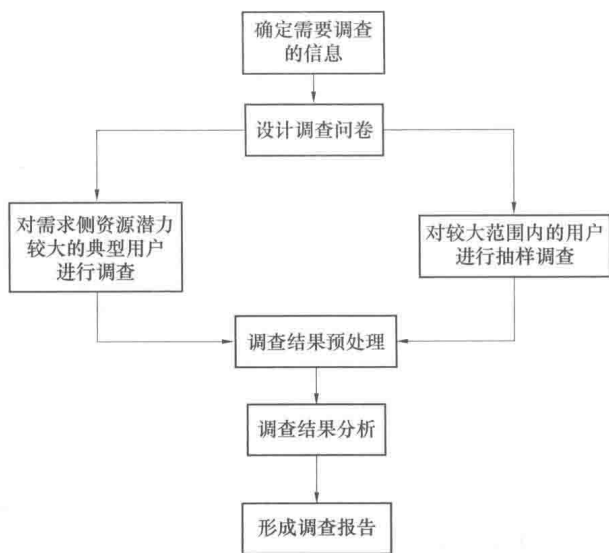


图 I 电力需求侧资源调查工作流程

生产安全、生产成本、代工范围等方面的影响，蓄能技术的情况等。同时，调查表应当具备信息完备、简洁易懂、操作性强等特点。

可节约电力资源调查采用文案调研与实地调研相结合的方法。对于用户电力需求侧资源潜力信息，主要采用实地调研的方法。对于重点行业、重点用户负荷特性调查，实地调研可以以调查表为主要调研依据，采用现场调查、问卷调查和交流访谈等方法，提出具体的实地调研方案，并就相关注意事项做出说明。

此外，文案调研方法也是节电资源调查的重要方法。用户信息（尤其是用户价值信息）如单位产值电耗、电费收益率、对于经济的促进作用等，可能来自于不同的信息渠道。在对信息搜集渠道进行分析的基础上，提出各类信息的获取途径和方法。

本套丛书按照通用设备节电资源的分类，包括《节约电力与蓄能系统资源调查与评估》《供配电节电资源调查与评估》《电机系统节电资源调查与评估》《中央空调节电资源调查与评估》《热泵系统节能资源调查与评估》《照明节电资源调查与评估》《分布式发电资源调查与评估》等 7 个分册，分别从需求响应节约电力、空调蓄能、供配电系统、电机系统、中央空调、热泵系统、分布式光伏发电、天然气分布式能源、煤层气综合利用和余热余压发电等方面对需求侧管理资源调查与评估方法体系进行了论述，站在电力需求侧管理

的角度，从市场需求出发，系统阐释电力需求侧管理资源潜力调查的内容和方法体系，具有较强的操作性与实用性，可以为电力用户、能源服务机构等能源管理人员提供能源服务项目的初步可行性评估，同时为各地政府电力需求侧管理主管部门、电网企业开展电力需求侧管理工作提供方法参考。

丛书的编写得到了南方电网综合能源有限公司、东南大学、国家发展和改革委员会能源研究所、中国电力科学研究院等单位、机构和专家的大力支持，尤其南方电网综合能源有限公司结合自身节能业务开展情况提供了大量调查表及案例支持，在此一并表示感谢。

限于编者水平，书中难免有欠妥之处，诚恳欢迎读者批评指正。

编 者

2017年2月

电机系统节能是当今国际高度关注和重点研究的领域，属于国家十大节能工程之一，工信部也出台了专项政策推动电机能效提升工程。据统计测算，电动机是用电量最大的耗电机械，广泛应用于冶金、石化、化工、煤炭、建材、公用设施等多个行业和领域，约占全社会总用电量的 65%，工业用电的 75%，是名副其实的“用电大户”。因此，电机系统节能是需求侧管理资源调查工作的一个重要方面，也是成效最显著的一大领域。

随着电机能效技术和标准的不断进步，电机系统节能逐渐向着电动机系统的优化匹配、节能和绿色设计等方面发展，最大限度提高系统能源利用效率。本分册根据当前电机能效水平现状及政策措施，通过电机系统设备用电情况调查表及必要的测试的形式，对企业客户电机系统节电资源情况进行调查，评估其节约电量和经济效益，并提出了一些电机拖动典型负载系统的节电资源调查评估的方法和案例，为企业客户开展电机系统节电改造工作提供了借鉴。

本分册由上海电机系统节能工程技术研究中心有限公司刘憬奇主编，其中姚鹏编写了第一章，琚长江编写了第四章，刘憬奇编写了第二章、第三章和第五章，全书由东南大学电力需求侧管理研究所高赐威教授主审。南方电网综合能源有限公司凌猛等节能服务事业部人员对本书提供了内容支持，一并表示感谢。

由于编者水平有限，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

2016 年 12 月

丛书前言

本书前言

第一章 概述	1
第一节 电机系统节能概述	2
第二节 电机系统的现状、能耗水平及发展趋势	3
第三节 电机系统节电资源调查的相关概念和要求	7
第四节 我国电机系统节电资源调查的潜力估计	10
第五节 电机系统节能和需求侧管理之间的关系	10
第二章 电机及其系统节能技术	12
第一节 影响电机系统运行效率的因素	12
第二节 电机与系统的节能技术	16
第三节 电机本体节能技术	23
第四节 电机系统节能技术	27
第五节 电机系统与拖动设备、运行工况匹配技术节能技术	41
第六节 电机系统其他节能技术	44
第三章 电机系统电耗调查	50
第一节 电机系统电耗调查的主要对象及其确定依据	50
第二节 电机系统电耗调查工作流程	51
第三节 电机系统电耗调查表设计	52
第四节 电机系统电耗数据现场测试记录	59
第四章 电机系统节电资源潜力评估方法	62
第一节 电机系统节电技术的选择	62
第二节 电机系统节电潜力评估的基本注意事项	63

第三节	电机系统节电潜力评估的其他注意事项	64
第四节	高效电机置换的节电资源潜力计算方法与模型	66
第五节	电机系统改造的节电资源潜力计算方法与模型	68
第六节	电机系统节电资源开发经济性分析	70
第五章	电机拖动典型负载系统节电资源调查案例	73
第一节	泵系统节电资源调查案例	73
第二节	风机系统节电资源调查案例	87
第三节	空气压缩机系统节电资源调查案例	97
第四节	传动系统节电资源调查案例	108
参考文献		136

电机系统节能是当今国际高度关注和重点研究的领域，也是我国“十一五”“十二五”乃至“十三五”期间实施节能减排既定国策的重点关注领域。随着全球能源消耗的逐年快速增长，节能降耗、减排、减少温室气体排放已成为全球共同关注的重大焦点问题，而中小型电机系统本身占能源消耗比例较高，节能潜力巨大，已经成为世界各国政府和国际组织的共识。

据测算，我国中小型电机用电量约占总发电量的 60% 左右，而其产量的增长速度最能反映国民经济的增长速度，是国民经济中的重要产业。在交流电动机产能中，普通三相异步电动机所占比例最高，为 87%，单相异步电动机占 4%，同步电动机占 5%，交直流两用电动机占 4%。而三相异步电动机又分笼型和绕线型转子两种，但其中绕线型转子异步电动机的使用范围和应用场所较笼型异步电动机少得多，因此国内电机行业的主要产能和应用均集中在中小型三相交流笼型异步电动机中（因此本书将中小型交流笼型异步电机作为主要的电机系统来介绍）。中小型电机产业市场巨大，充分表明了中小型电机及系统在国民经济和社会发展中不可替代的重要地位和作用。

因此，本书是基于工业用途的中小型三相交流笼型异步电动机及其拖动的典型负载系统（如风机、水泵、空气压缩机等）组成的电机系统，提出了适用于这些典型系统的节电资源调查和评估的方法和依据，根据负载类型和负载运行的特点，有针对性地推荐采取不同的电机系统节能技术。据测算，在工业系统领域中电机能效每提高一个百分点，可年节约用电量 260 亿 kWh 左右；而如果采用系统匹配或者调速节能等其他方法，可节约用电量更为巨大。

第一节 电机系统节能概述

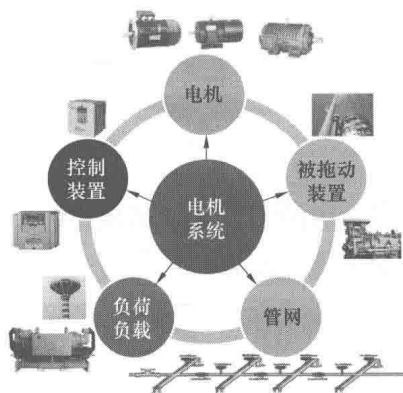


图 1-1 电机系统的构成

一、电机系统的概念和组成

电机系统包括电动机、被拖动装置、电机、控制装置以及管网负荷等，是一个涉及多学科、多专业、多领域的复杂系统。电机系统首先是通过电动机将电能转化为机械能，再通过被拖动装置（如风机、水泵、空气压缩机、机床、传送带等）做功，并通过管网对负荷实现所需的各种功能，如图 1-1 所示。

二、电机系统节能面临的问题及挑战

工业领域的节能潜力最大，但由于涉及各行业、复杂多样的工况、千差万别的工艺过程、各种各样的电机系统、不同的负载特性，因此，电机系统节能工程是一个综合考虑电动机本体、拖动设备、电动机的控制装置、管网系统以及各子系统、部件间最佳或较佳匹配等多种因素的复杂系统节能工程。

对电机系统节能的认识存在不少误区，实现也还存在许多困难，一定程度上限制了电机系统节能工程的开展，使得电机系统节能工程实施相比其他节能工程的实施进展来说十分缓慢。

电机系统节能技术研究和推广本身面临很多挑战，急需深入开展电机及其系统节能技术研究（重点是研发高效节能电机；高效风机、泵、空气压缩机系统；高效传动系统；电机系统的合理匹配；电机系统节能的系统集成方案、系统集成产品等）、制订电机系统节能相关导则、标准（如系统节能改造导则、专用领域的电机系统节能检测、评价标准等）以及建立电机系统节能认证机构（包括市场准入认证、节能产品认证、各类高效电机系统节能认证等）。

三、电机系统节能的概念和要求

如图 1-2 所示，电动机通过电气连接线路和电机控制器从电源吸收电能，在