

# 智能电网推动发电厂节能减排的策略研究

马静<sup>1</sup>, 汪颖<sup>1,2</sup>

(1. 四川大学电气信息学院, 四川 成都 610065; 2. 智能电网四川省重点实验室, 四川 成都 610065)

**摘要:** 提高发电环节的能源效率是全面推进“坚强智能电网”发展规划的必要环节, 提高发电厂的能源效率, 是每个发电企业应遵守的起码道德标准和基本社会责任, 也是实现企业经济效益的必由之路。分析了智能电网背景下发电厂的节能技术, 包括电动机节能技术、照明节能技术、空调和热水的节能减排技术等。在智能电网方案下, 通过环境监测与评估, 应用传感器和通信系统优化发电厂的运行性能, 能更好地提高电厂的管理和维护水平。

**关键词:** 智能电网; 发电厂; 厂用电; 节能技术; 能源效率

**Abstract:** Improving the energy efficiency of power plants is the necessary part of constructing "a strong smart grid". It is the minimum ethical standards and the basic social responsibility of every power generation enterprise to enhance the energy efficiency of power plant. It is also the only way to achieve the economic efficiency of the plants. The energy conservation technologies of power plant are analyzed in the smart grid, including the energy conservation technologies of motors and lighting, the energy conservation and emission reduction technology of air conditioning and hot water and so on. Under the scheme of smart grid, sensors and communication system are used to optimize the running performance by means of environmental monitoring and assessment, which will improve the management and maintenance level of power plant better.

**Key words:** smart grid; power plant; service power; energy conservation technology; energy efficiency

中图分类号: TM711 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2011)04-0004-05

## 0 引言

国家电网公司2009年5月21日首次公布“坚强智能电网”的发展规划。国家电网公司副总经理舒印彪说,“中国的智能电网包含电力系统的发电、输电、变电、配电、用电和调度共6个环节,具有信息化、数字化、自动化、互动化的‘智能’技术特征。”提高发电环节的能源效率是全面推进“坚强智能电网”发展规划的必要环节,提高发电厂的能源效率,实现清洁、文明生产,也是每个发电企业应遵守的起码道德标准和基本社会责任,更是企业自身获得可持续发展的必备条件。

智能电网中高效发电的一个基本要素与环境监测评估有关。大多数发电厂都采取了一些形式的运行状态监测。在美国,许多电厂运行人员赞成采用商业化数据服务的方式对发电厂的运行状态数据等进行监测,这样可将单个电厂的运行特性与中央数据库的数据进行比较,许多发电厂的运行人员致力于数据采集和监测。在现有监测和数据采集的基础上,进一步利用传感器技术、通信技术和计算能力,是实施智能电网战略的重要组成部分。

真正的智能电网应包括整个电力生产、输送和使用等各环节。下面针对发电厂厂用电的特点,分析智能电网背景下的发电厂厂用电节能减排技术。发电厂厂用电主要有几种方式,包括电动机提供动力,驱动泵、风扇和输煤带;其他用途包括信息技术设备(如计算机、通信与办公设备)、楼宇照明、加热、生活热水等。发电厂厂用电率是电厂在发电过程中的厂用电量占总发电量的百分比,是厂用电消耗水平的具体反应。通过节能降耗,降低发电成本,提高上网电价的竞争力,已成为各发电企业提高经济效益的重要手段<sup>[1]</sup>。如何实现节能降耗,提高发电厂的经济效益和社会效益,是发电企业始终面临的实际问题。

## 1 厂用电主要节能技术

中国火力发电厂厂用电机的耗电量约占厂用电的80%以上,其中,各种风机耗电总量约占厂用电的20%~30%,各种水泵、油泵耗电总量约占厂用电的50%以上,提高厂用电机的节能降耗效果,是降低厂用电率的最佳选择<sup>[5]</sup>。

目前,在发电厂的各种动力设备中,风机、水泵类

负载多,负荷变化范围很大,所以必须实时调节风机、水泵等的流量。目前调节流量的方法多为节流阀调节,由于这种调节方法仅仅改变了通道的通流阻抗,而驱动源的输出功率并没有改变,所以浪费了大量的能源。采取变频调速技术对这些辅机设备进行改造是比较适合的,节能效果明显<sup>[4]</sup>。文献[6]针对发电厂电动机的改造,提出更换磁性槽楔、采用节能型风扇、采用新的绝缘材料增大导线截面积等方法,来减少发电厂厂用电中电力拖动系统的损耗。引风机的风量需要随着发电负荷的变化而改变,采用高压变频技术能减少能源消耗,同时控制实时变化的风量,电厂引风机的变频改造在工程实践中证明了节能效果明显<sup>[7]</sup>。文献[8]推荐了一种6.6 kV无变压器五电平逆变器脉宽调制晶闸管变频调速装置,电动机采用该装置,能为泵机运行节约能量。文献[9]提出了在风机上采用VSD的方法,验证结果证明比传统节能技术更有效。文献[11]提出了一种清洁发展机制CDM(clean development mechanism),在中国北方某热电厂验证了节能效率。文献[12]结合了两种传统液压变压器再生电路,为液压变压器设计了一种新的液压回路,相比于传统变压器,可以提高整体能效。针对复杂多元的、非线性、时变的复合体涡轮机,文献[2]提出在涡轮机上使用模糊推理和自动调谐技术,文献[3]将使用神经网络识别器的模糊假设规律应用到涡轮机上,来降低涡轮机的能耗。

照明领域的节能策略,主要源于更高效电灯的使用,如高压钠灯和金属卤化物灯等<sup>[10]</sup>。随着照明技术的发展,新技术已经在众多电厂得到应用。

在智能电网建设的大背景下,发电厂中针对电动机、照明等环节的节能措施,已经越来越得到关注。提高发电厂能源效率,不仅要通过电动机等的设备研发,还包括更高效的环境监测与评估,将传感器和通信系统用于监测电厂的性能、校正历史数据的特性、建立相应的理论模型、比较电厂性能,其目的是为了优化发电厂的运行性能,提高电厂的管理和维护水平。

## 2 发电厂照明技术的提高

许多老电厂仍使用水银灯或旧式金属卤化物照明系统。新式金属卤化物系统能从根本上改进照明,减少能量需要。电厂的办公室、实验室和控制室等大量采用高效荧光灯,锅炉房和汽轮机室一般采用高压

钠灯、金属卤化物灯和其他高强度放电灯。在发电厂的照明中,发光二极管(light-emitting diodes, LEDs)正在很多地方得到应用,如出口标志、指示仪表,可以改进照明水平的范围包括:能量效率、灯的质量、美观性、自动化、寿命、方便性以及波形因数等。

照明系统的效率是几个因素的函数,照明系统效率取决于发光源的效率(用每单位瓦输入功率输出的光通量来度量)、向希望区域发射的发光效力,以及调节发光水平的控制水平或能力。发光水平可用一些参数表示,如光照位置、日照、安全性和个人喜好指数等,照明效率的最大化就是对这些参数进行最优化,此外,综合控制是对智能电网的扩展。

灯泡必然会经历逐步老化的过程——灯泡连续使用的时间越长,每瓦特电所产生的亮度越少。灯的亮度的降低是决定需进行维护的部分因素,这是进行灯泡发光计算和照明设计时需考虑的重要一步,灯泡输出亮度的变化通常与灯的亮度保持水平有关,新的照明技术提高了灯的亮度维持系数(lumen maintenance factor)。

在发电厂里,照明技术必须在一个或更多特性上体现出相应的进步,以满足电厂运行人员对照明的要求和期望(如发光效率、光线质量、美观性、自动化水平、灯泡寿命、波形系数、方便性等),可用于发电厂以减少电能消耗的一些照明技术:感应灯、多光子发射荧光粉荧光灯、T-5型荧光灯、金属卤化高强度气体放电灯、高压钠高强度气体放电灯。

## 3 发电厂空调和生活热水技术的提高

### 3.1 空调和生活热水的应用与能量的损耗

电能广泛应用于发电厂的空调和生活热水方面。在空调领域,主要用途是制热、制冷、除湿、增湿以及提供空气混合和通风。为达到上述功能,还需采用一些电力驱动装置,如风机、空调、冷却器、冷却塔、泵、增湿机、抽湿机、电阻加热器、热泵和电锅炉等,电力也用于为空调设备的各种控制器提供动力。在提供生活热水方面,电力用于电阻热水器、热泵热水器、泵和其他一些新设备如微波热水器。

发电厂的空调系统可采用屋顶式或地面装配式方式,或采用中央空调。发电厂空调设备的电力消耗主要是用于制冷设备而非制热设备,电厂最一般的空调系统是一体化空调系统,而不是单机系统或独立式

空调系统。在美国的发电厂中,需要空调设备用以制冷的空间,占了发电厂总空间的2/3。对于发电厂内大量的办公大楼,可采用直接蒸发冷却系统、吸收冷却器或厂用中央冷却器等。

传统的电热水器内配置了一个或两个浸没式加热器,每个加热器的额定功率为2~6 kW,具体功率取决于水箱的大小,这些热水系统在水箱内储存热水,以保证在被需要时可使用,智能电网下的新型热水系统则按实际需要量产生热水。

在过去几十年里,在空调器和热水器的能量效率的提高方面已取得了巨大进步。在空间制冷设备领域取得的进步最为明显——主要是采用蒸汽压缩技术进行制冷。在空间制冷设备的能源效率方面的进步,对于有重要办公室和实验室的发电厂的厂用电量有很大的影响,因为这些空调设备的用电量占整个发电厂用电量的很大一部分。空间制冷技术的许多进步得益于美国联邦标准,这些标准对新空调系统的最低效率作出了明确规定。虽然机械制冷空间的范围在扩大,相应增加的电量消耗已被空调系统的效率提高和建筑物热隔离技术所抵消。

在大型办公室空调系统中,制冷机组是最大的单个电力用户,因此,提高办公室空调系统的制冷效率,对于节约办公用电量有很大的影响。空调的制冷效率用产生每吨冷气所消耗的功率来度量。无论带满负荷或部分载荷,一般都根据空调系统所带负荷的情况来度量其性能。满空调系统负荷时,制冷机负荷量最大,且相对稳定(即制冷机的底线),满负荷效率也用来度量制冷机组性能,而空调系统仅带部分载荷的情况更为普遍,制冷机的负荷是可变的,仅带部分载荷时的能量效率用来衡量制冷机组的性能,更具实际意义。所选择的压缩机和冷凝机都会影响制冷器的总效率,一些制冷机使用空气冷却压缩机,但更多大型空调机采用蒸汽冷却塔,采用冷却塔的优点在于,借助于环境空气中的干球温度与露点温度差,通过水与空气之间的热湿交换来获取冷却量,防止热量向低温区传递,因此,空气冷却压缩机需要更高的冷却温度,降低了冷凝器的能量效率。在空调系统带满负荷时,空气冷却空调需要消耗1~1.3 kW/t或更大的功率,而冷却塔在满负荷时消耗的功率为0.4~0.9 kW/t。由于空气冷凝机的保养频率比冷却塔低,维护费用也更少,所以,空气冷凝机也得到一定范围的使用。基于此,在水资源稀缺的地区,或水处理费用

很高的地区,人们一般不会采用水处理方式,空气冷凝机在这些地区很受青睐。

热水器的效率用能量系数EF(energy factor, EF)值来度量,EF值越大,热水器的效率就越高。电阻热水器的EF值范围大约为0.7~9.5,天然气热水器能量系数值EF范围是0.5~0.8,燃油热水器的能量系数值EF是0.7~0.85,热泵热水器的能量系数值EF是1.5~2.0(Smith等,2008)。因为,电热水器的火焰或堆积损耗,影响电热水器效率的主要因素是存储热水用的箱体壁和管道上的热量损失,热量损耗的多少与箱体和周围环境的温度差成比例,新的水热系统可按需求量产生相应的热水,减少了存储热水的箱体和管道损耗,从而达到了提高能源效率的目的。

### 3.2 空调和热水的节能减排技术

由于环境方面的压力,人们对空调系统和生活用热水系统已进行了一系列改造。如传统的制冷技术依靠蒸汽压缩循环,使用的是臭氧制冷剂,如CFCs、氟利昂和替代氟利昂的过渡产品氢氯氟碳化合物HCFCs,这些制冷剂将被逐步淘汰(在很多发达国家,CFCs、氟利昂最多可合法生产到1995年;HCFC制冷剂最多可生产到2030年)。《京都协议书(Kyoto Protocol)》大力提倡采用对环境更友好的空气制冷技术,这类技术已在日本、斯堪的纳维亚(Scandinavia)等国得到了应用。在未来,制冷技术将更多依靠与环境友好的纯天然制冷剂(一个可能的替代物是二氧化碳)或采用一种全新的制冷技术(磁制冷技术或热隧道技术)。

现有暖气系统和热水系统主要是依靠石化能源的燃烧释放热量,在未来,这些燃料也会被清洁能源所替代。电能不仅是一种高效能源,还是目前所使用的能源中最清洁的能源,可用于驱动空气调节系统和生活热水系统的热泵,也可用于诸如微波热水器等新型加热装置。

表1列出了一些发电厂空调系统和生活热水系统中用以提高能源效率的技术。

## 4 电动机节能技术的提高

发电厂内由电动机驱动的生产过程所消耗的电量通常占整个电厂厂用电量的80%。由泵或风机所驱动的生产过程,通常通过进口导向叶片、节流阀或

表1 空调和生活热水系统技术列表

空气调节	电热窗
干燥剂连续循环先进除湿技术	电热层
液体循环加热干燥层	民用两级炉内气体冷凝
冷凝机加热先进除湿技术	智能温控
基于斯特林发动机的制冷技术	主动可再生磁制冷
冷气机绕组的紫外线辐射杀菌	斯特林发动机
需求控制通风口	生活热水
微波水热系统和净化系统	集中太阳能
生活用热水与空气调节	二氧化碳制冷制空调和/或热水
热泵热水/空调	

液态离合器等进行机械式的控制,电动机按固定速度转动,实际上,这样的控制不可能在整个被控制范围内达到最优的运行效率,如果采用变速驱动装置,可以通过改变电动机的转速来改变系统的机械输出,这样可以实现节能、降低二氧化碳和其他污染物的排放量,并最小化设备运行成本。

电动机可通过采用变频调速装置 (adjustable speed drives, ASDs),提高生产过程的生产效率,提高热耗比(heat rate),通过改进生产过程的控制、减少污染物排放和降低维护成本,ASDs可提高设备的可用性和灵活性。ASDs在发电厂可用作锅炉给水泵、冷却水、循环水泵、强制通风(forced draft, FD)和进气通风(induced draft, ID)等设备的控制装置,在燃气轮机发电厂,ASDs也被广泛地应用于各生产环节,如燃气轮机(gas turbine, GT)的起动机、增压泵的驱动器、锅炉余热蒸汽发生器(heat recovery steam generators, HRSG)、供水泵和冷却水泵等。

由于风机和泵等通常仅带部分负载,通过采用变频调速装置来控制电动机的转速,可达到节能的目的,转速的很小降低,能减少很多电能消耗,风机或泵,对比其半速运行与全速运行时的电能消耗,半速运行的能耗仅是1/8,如根据ABB公司(www.abb.com)发布的信息,采用有离心力的风机或泵来驱动可调变速,而不采用进口导向叶片或节流阀,能量消耗可降低60%。

虽然已有大量ASD技术被应用于商业化大型电动机上,但在残酷的竞争中,美国提出了3项技术,这3项技术为:①电流型逆变器;②改进负载换流逆变器(modified load commutated inverter, modified LCI);③电流源型门极可关断脉宽调制晶闸管(GTO-PWM)。

在这3项技术中,后两项技术已被成功地应用于大型电动机(如2000马力或更大的电动机),电流源

系统已被证明具有很多突出的性能,当采用12脉波输入/输出时,有很好的谐波抑制能力,不需配置输出滤波电容器,且可用于全反馈制动模式。

改进负载换流逆变器,电流源技术的另一种形式,提供了一种低成本的ASD系统,已证明,这样的系统在带电子速度控制的很多电动机中应用,可节省发电厂的燃料成本。通过整流器、逆变器采用相同的元件,使改进负载换流逆变器系统得到了简化,当输出滤波电容对驱动电机不再提供励磁时,直流链接分换器可提供逆变器触发,使LCI运行。该系统已与电力电子器件的水冷系统进行封装,这样简化了整个冷却系统。对于很多发电厂来说,当空气被煤炭和灰烬污染时,水冷是非常重要的。

## 5 结 论

建设中国特色坚强智能电网,是中国可预见的未来电网,甚至是电力系统全部环节的必然趋势。围绕中国智能电网的核心理念,研究电力资源的开发、输送、存储、转换(发电)、输电、配电、供电、售电、服务等各环节的关键问题具有重要意义。故提出了智能电网背景下的发电厂的节能减排技术,包括电动机节能技术、照明节能技术、空调和热水的节能减排技术等。在智能电网方案下,通过环境监测与评估,应用传感器和通信系统优化发电厂的运行性能,能更好地提高电厂的管理和维护水平,推动发电厂节能减排。

### 参考文献

- [1] 李晓玲. 昆明发电厂厂用电节能改造研究[D]. 昆明: 昆明理工大学, 2008.
- [2] Shaoyuan Li, Hongbo Liu. A New Coordinated Control Strategy for Boiler - Turbine System of Coal - Fired Power Plant[J]. IEEE Transactions on Control Systems Technology, 2005, 13(6): 943 - 953.
- [3] S. Pourmohammad, Ali A. Afzalian. Extracting Fuzzy If - Then Rules Using a Neural Network Identifier with Application to Boiler - Turbine System [C]. 18th IEEE International Conference on Control Applications Part of 2009 IEEE Multi - conference on Systems and Control Saint Petersburg, Russia, 2009: 1580 - 1585.
- [4] 黄波. 变频调速技术简介及其在电厂中的应用[J]. 山西建筑, 2010, 36(10): 163 - 164.
- [5] 叶国华. 电动机调速在厂用电节能中的应用[J]. 山东

电力技术 2008 ( 1 ) : 24 - 29.

[6] 刘琨,刘念,冉立,等. 发电厂电力拖动系统的节能研究 [J]. 四川电力技术 2009, 32(2) : 88 - 91.

[7] 胡炫,朱虎,杨志. 高压变频器在发电厂引风机上的应用与节能分析 [J]. 电机与控制应用 2010, 37(2) : 37 - 39.

[8] Natchpong Hatti, Kazunori Hasegawa, Hirofumi Akagi. A 6.6 kV Transformerless Motor Drive Using a Five - Level Diode - Clamped PWM Inverter for Energy Savings of Pumps and Blowers [J]. IEEE Transactions on Power Electronics, 2009, 24(3) : 796 - 803.

[9] Kalyana S. Bandara, W. G. L. Karunarathne, Arulampalam. Energy Saving by Controlling the Inlet Air Flow of a Oil Fired Boiler Using a VSD Driven Blower Fan - Case Study [C]. TENCON 2008 - 2008 IEEE Region 10 Conference, 2008: 1 - 5.

[10] Kao Chen, Melvin C. Unglert, Richard L. Malafa. Energy

- Saving Lighting for Industrial Applications [J]. IEEE Transactions on Industry Applications, 1978, IA - 14 (3) : 242 - 246.

[11] Jun Zhao. Greenhouse Gas Abatement Analysis of the Energy Saving Retrofit in Pulverized Coal Power Plants [C]. Power and Energy Engineering Conference ( APPEEC ), 2010: 1 - 4.

[12] Triet Hung Ho, Kyoung Kwan Ahn. Saving Energy Control of Cylinder Drive Using Hydraulic Transformer Combined with An Assisted Hydraulic Circuit [C]. ICROS - SICE International Joint Conference 2009, Japan. 2009: 2115 - 2120.

[13] 国网公司“坚强智能电网体系研究”技术综合组. 坚强智能电网综合研究报告 [Z]. 2009.

( 收稿日期: 2011 - 02 - 10)

( 上接第 3 页)

申请、分析、评估、统计( 上行)。具体数据逻辑关系见图 6。

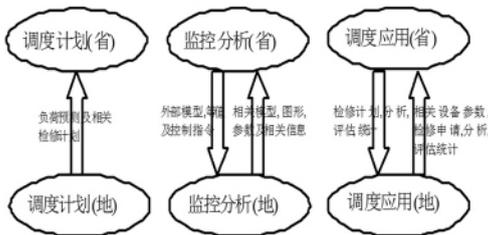


图 6 与上级类间数据流结构图

## 4 结 语

基于智能电网条件下, 从未来电力调度支持系统的发展趋势出发, 提出了智能电网地区调度支持系统框架结构, 并阐述了总体结构、应用分类及系统数据逻辑关系等关键技术环节, 指出了智能电网下调度支持系统的系统构成要求, 形成具有主动思考能力的智能电网地区调度支持系统。

### 参考文献

[1] 康重庆, 陈启鑫, 夏清. 低碳电力技术的研究展望 [J]. 电网技术, 2009, 33(2) : 1 - 7.

[2] 王明君. 自愈电网与分布式电源 [J]. 2007, 31(6) : 1 - 7.

[3] 余贻鑫, 栾文鹏. 智能电网 [J]. 电网与水力发电进展. 2009, 25(1) : 7 - 11.

[4] 辛耀中. 新世纪电网调度自动化技术发展趋势 [J]. 电网技术, 2001, 25(12) : 1 - 10.

[5] 谢开, 刘永奇, 朱治中, 等. 面向未来的智能电网 [J]. 中国电力 2008, 41(6) : 19 - 22.

[6] 薛禹胜. 时空协调的大停电防御框架(二) 广域信息、在线量化分析和自适应优化控制 [J]. 电力系统自动化, 2006, 30(2) : 1 - 10.

[7] 张伯明, 孙宏斌, 吴文传. 3 维协调的新一代电网能量管理系统 [J]. 电力系统自动化 2007, 31(13) : 1 - 6.

[8] EPRI. IntelliGrid: Smart Power for the 21st Century. Palo Alto, CA, USA: EPRI, 2006.

[9] JIANG Zhenhua, LI Fangxing, QIAO Wei, et al. A Vision of Smart Transmission Grids // Proceedings of IEEE PowerEngineering Society General Meeting, July, 2009, Calgary, Alberta, Canada.

[10] U. S. Department of Energy, National Energy Technology Laboratory. Modern Grid Initiative A Vision for Modern Grid [EB/OL] ( 2007 - 03 - 01) [2008 - 10 - 10] http://www.netl.doe.gov/modern\_grid/.

[11] European Commission. European Technology Platform Smart Grids: Vision and Strategy for Europe's Electricity Networks of Future [ EB/OL ].

作者简介:

郝文斌(1976) 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护、变电所综合自动化及调度管理系统等;

洪行旅(1956) 男, 研究生, 高级工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护及调度管理系统等;

陈立(1967) 男, 博士, 高级工程师, 主要研究方向为变电所综合自动化、电力系统继电保护及调度管理系统等;

车嘉(1979) 女, 硕士研究生, 助理工程师, 主要研究方向为电力系统继电保护。

( 收稿日期: 2011 - 03 - 01)