



节能环保产业系列丛书

上海能效

电机系统节能 技术 实用手册

上海市能效中心 编

上海科学技术出版社

节能环保产业系列丛书

电机系统节能技术实用手册

上海市能效中心 编



上海科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

电机系统节能技术实用手册 / 上海市能效中心编. —上海:
上海科学技术出版社, 2014. 4

(节能环保产业系列丛书)

ISBN 978 - 7 - 5478 - 2091 - 9

I. ①电… II. ①上… III. ①电机—节能—技术手册
IV. ①TM3 - 62

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2013)第 272923 号

电机系统节能技术实用手册

上海市能效中心 编

上海世纪出版股份有限公司
上海科学技术出版社^{出版}

(上海钦州南路 71 号 邮政编码 200235)

上海世纪出版股份有限公司发行中心发行

200001 上海福建中路 193 号 www. ewen. cc

常熟市兴达印刷有限公司印刷

开本 889 × 1194 1/32 印张: 4. 875

字数: 115 千字

2014 年 4 月第 1 版 2014 年 4 月第 1 次印刷

ISBN 978 - 7 - 5478 - 2091 - 9/TK · 12

定价: 36.00 元

本书如有缺页、错装或坏损等严重质量问题,
请向承印厂联系调换

内容提要

国家电机能效提升计划已将电机系统节能列为重点工作,本书是在总结了上海电机系统节能技术改造案例的基础上编写而成,是企业节能与综合利用系列丛书之一。编写者主要来自于研究机构、节能服务公司专业技术人员,积累了丰富的电机系统节能改造方面的实践经验。

本书主要介绍目前常用的电机系统节能技术,分为五章,内容包括电机系统概述、电动机节能技术、风机水泵系统节能技术、空压机系统节能技术和制冷空调系统节能技术。

本书针对每个系统总结了多种节能改造技术,可作为企业和节能服务公司实施电机系统改造或开展节能培训的参考用书。

编写委员会

主 编	原清海			
副主编	秦宏波	刘卫星	魏玉剑	张 麒
编 委	刘 洋	俞增盛	丁永青	许用权
	宋丹丹	周 渭	汪国兴	向勇涛
	张 浩	刘东阳		

前 言

节能环保产业是指为节约能源资源、发展循环经济、保护生态环境提供物质基础和技术保障的产业,是国家加快培育和发展的七个战略性新兴产业之一。节能环保产业是先进制造业和现代服务业紧密结合且极具发展潜力的综合性产业,具有科研、人才高度密集的特性和对其他产业的渗透、带动和引领作用,已成为新一轮国际竞争中的重要组成部分。培育发展节能环保产业,对加快经济发展方式转变、促进产业结构优化升级,实现绿色发展、循环发展、低碳发展具有重要意义。

2012年6月,国务院发布《“十二五”节能环保产业发展规划》;同年12月,上海市经济和信息化委员会发布《上海市节能环保产业发展“十二五”规划》;2013年8月国务院出台《关于加快发展节能环保产业的意见》,再次提出节能环保产业是打造中国经济升级版的一项重要而紧迫的任务。为认真贯彻落实国务院意见,进一步推广普及节能环保产业相关知识,培育发展本市节能环保产业,加快城市生态文明建设,上海市能效中心组织编写了“节能环保产业系列丛书”,包括政策法规、实用手册、培训教材等类别。本套丛书涉及面广、内容丰富,希望对从事节能环保事业的各位读者有所助益。

本书作为“节能环保产业系列丛书”组成之一,全面介绍了电机系统节能领域的主要技术,包括电机系统能效状况、电动机节能技术、风机水泵系统节能技术、空压机系统节能技术和制冷空调系统节能技术等内容,对于全国重点用电企业按照国家《电机能效提升计划(2013—2015年)》要求,开展电机系统节能改造,提升电机系统能效具有指导意义。

电机系统节能涉及面广,技术性强,囿于丛书编写时间和水平,书中难免有疏漏之处,敬请批评指正。

编 者

目 录

第 1 章 电机系统能效现状和节能对策综述	1
1.1 概述	1
1.2 我国电机系统能效现状	1
1.3 各国电机系统节能推进措施	3
1.4 电机系统节能潜力分析方法	4
1.5 电机系统节能技术	5
1.6 展望	5
第 2 章 电动机节能技术	7
2.1 永磁同步电动机技术	7
2.2 高效电机替换技术	11
2.3 变极调速技术	13
2.4 变频调速技术	16
2.5 相控调压技术	17
2.6 低压大功率三相异步电动机节能技术	21
2.7 铸铜转子电动机节能技术	24
2.8 有源滤波技术	27
第 3 章 风机水泵系统节能技术	32
3.1 高效水泵置换技术	32
3.2 三元流叶轮置换技术	36

3.3	叶轮切削技术	41
3.4	高压大功率变频调速技术	44
3.5	泵与风机管路优化技术	46
3.6	双速电机节能技术	51
3.7	永磁调速技术	54
3.8	水轮机技术	58

第4章 空压机系统节能技术 62

4.1	压缩空气系统泄漏量测定及控制技术	62
4.2	消除压缩空气的不正当使用	66
4.3	无油螺杆式空压机转子替换技术	70
4.4	双级压缩螺杆式空压机置换技术	73
4.5	高电压螺杆式空压机变频调速技术	77
4.6	超级管路技术	80
4.7	MD 型干燥机节能技术	82
4.8	喷油螺杆式空压机热回收技术	85
4.9	高压空气回收技术	88
4.10	往复式压缩机气量控制节能技术	91
4.11	电子液位传感技术	95
4.12	压缩空气系统集中控制技术	98

第5章 制冷空调系统节能技术 102

5.1	高效空调主机技术	102
5.2	蒸发式冷凝技术	105
5.3	一次泵变流量系统的节能技术	109
5.4	冷冻水系统大温差小流量节能技术	113
5.5	新风自然冷却技术	116
5.6	极化冷冻油技术	118
5.7	水载式冷凝器自动清洗技术	122
5.8	空调系统冷凝热回收技术	125
5.9	新风换热器节能技术	129

5.10	地/水源热泵技术	133
5.11	水蓄冷技术	136
5.12	双源三工况热泵蓄冰集中式空调技术	140

第1章 电机系统能效现状和节能对策综述

1.1 概述

电动机广泛应用于工业、商业、农业、公用设施和家用电器的各个领域,用于拖动风机、泵、压缩机等各种设备。电机系统包括电动机、被拖动装置、传动控制系统及管网负荷,其用电量在各个国家的总用电量中均占有相当大的比重。根据美国能源部的统计数据,电机系统用电量占全美用电量的50%,占其工业用电量的70%。根据欧盟的统计数据,电机系统占欧盟总用电量的42%,占其工业用电量的69%。据统计,2010年我国各类电动机年耗电量达2.38万亿kW·h以上,约占全国用电量的57%,其中,风机、泵类、压缩机和空调制冷机的用电量分别占10.4%、20.9%、9.4%和6%。

由于电机系统消耗了大部分的工业用电,因此提高电机系统的能效水平对于节约能源和限制温室气体排放具有重要的意义。欧盟预测,对不同功率的电机效率平均提高3%,每年可节约电能276亿kW·h,相当于5座100万kW电站的供电能力。根据中小型电机行业协会统计,我国各类电动机装机总容量约为15亿kW,耗电量约为19566亿kW·h。在我国通过提高电动机的能效标准和推广高效电动机的应用,可累计节电764亿kW·h,减排二氧化碳7640万t。

1.2 我国电机系统能效现状

改革开放以来,我国制造业有了长足发展,近些年企业通过

自主研发和消化吸收,电动机及其拖动设备等相关产品性能及质量均有了显著提高,对推动电机系统的节能起了很大的促进作用。但与发达国家相比,我国的电机系统尚存在很大的节能潜力,主要表现为如下。

(1) 电动机及拖动设备效率低

我国目前生产和存量电动机以 Y 系列为主,占据了近 90% 的市场份额,其效率平均值为 87.3%。美国高效电动机效率平均值为 90.3%,且为美国能源政策法令所规定的市场准入水平。因此,我国存量电动机效率比美国等先进国家平均低 3%,比美国超高效水平低 4.4%。虽然目前国内已经有 80 多家企业能够生产高效电动机,但高效电动机的生产规模依然较小,仅占整个市场的 10.4%,且相当一部分高效电动机出口海外,真正在国内使用的较少。

虽然风机、泵、压缩机产品设计水平与国外先进水平相当,但由于制造技术和工艺有差距,效率比国外先进水平低 2%~4%。

(2) 系统运行效率低

系统匹配不合理,“大马拉小车”现象严重,设备长期低负荷运行。系统调节方式落后,大部分风机、泵类采用机械节流方式调节。电机系统运行效率比国外先进水平低 10%~20%。

(3) 节能技术和装备相对落后

电机传动调速及系统控制技术与国外相比差距较大,电力电子变频调速技术与国际先进水平相差 5~10 年,国外变频调速技术和产品主导我国电机系统市场,采用 IGBT/IGCT 电力电子器件的高压变频器及技术主要靠国外进口,价格较贵,因此采用变频调速的电机系统仍为少数,不到总量的 10%。

根据美国和欧盟电机挑战计划以及近年来进行的大量电机系统节能测试评估和节能改造项目经验,目前国内的空气压缩机系统的节能潜力多在 10%~50%,泵系统的节能潜力为 20%~40%,风机系统的节能潜力为 20%~60%。由于这三个系统就占了全国耗电量的 40.7%,因此开展电机系统节能对于提高能源使用效率、建设节约型企业具有重要意义。

1.3 各国电机系统节能推进措施

由于电机系统用电量在各国均占有相当大的比重,随着世界能源形势的日益紧张,各国尤其是发达国家均开展了电机系统节能工作。美国于1999年启动了“电机挑战计划”,美国能源部成立了工业技术办公室和工业评估中心,并成立了专家组,工业技术办公室致力于开展电机系统节能的推进,组织编写了大量有关泵、风机和空压机系统节能的技术资料并开发 MotorMater、PSAT、FSAT、AirMaster 等系统分析软件,为企业提供技术培训、节能评估和开发示范项目等服务。

欧盟于2003年启动了“电机挑战计划”,促进其电机系统节能工作的开展。除此之外,欧美等发达国家还通过制定相关的财税政策,利用合同能源管理等市场机制来推动企业实施电机系统节能项目。

在联合国工业发展组织(UNIDO)的支持下,我国于2001年底以上海市和江苏省为试点实施了为期三年的中国电机系统节能项目,其目的是将美国电机挑战计划的成功经验引入我国,通过开展专家培训、现场测试评估、开发示范项目等措施,提高我国电机系统节能诊断、评估和项目的实施能力。在项目期间,上海市能效中心于2002年6月成功完成了上海第一个以合同能源管理方式实施的节能改造项目,通过对上海新亚药业有限公司的循环水系统的节能改造,系统节能率超过60%,投资回收期为两年,具有良好的经济效益。随后,通过项目复制完成了上海虹港大酒店、永安百货、上海南方商城等中央空调系统的系统节能改造,节能效果均非常显著。

2005年6月,在联合国开发署(UNDP)和全球环境基金(GEF)的支持下,我国启动了为期12年的终端能效项目,项目中涉及电机系统的子项目有C01(开发电机系统节能培训教材)、A06(制定和示范实施现有和新增电机系统优化设计准则)、A07(电机系统节能服务机构的能力建设)和A15(企业电机系统节能

的培训和教育)四个子项目。

除此之外,国家能源标准化委员会近两年还修订了电机系统的产品能效限定值和节能评价标准、电机系统的经济运行标准、监测标准等相关标准,并制定了电动机的能效标识,从标准制订上促进我国电机系统节能的推进工作。

1.4 电机系统节能潜力分析方法

电能电机系统的流向依次为电机启动器、供电线路、电机速度控制装置、电动机、联轴器、拖动设备(泵、风机等)、流体系统,一直到终端负载,每个环节均有效率损失。所以,电机系统节能的目的是要达到整个系统效率的提高,它不仅追求电机和拖动设备等各个环节效率的最大化,而且要达到整体效率的最大化。由于电机系统是服务于终端负载的,因此对电机系统节能潜力的分析应与电能的流向相反,以终端负载为起点进行逆向分析,具体如图 1-1 所示。

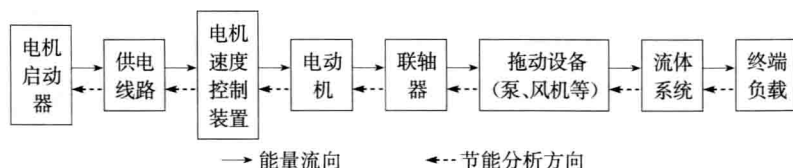


图 1-1 电机系统电能流向和节能分析方向图

目前,针对电机系统节能可以选择的技术有很多,但是并不是每一项节能技术用在系统中都会起到很好的节能效果。提高电机系统效率的最有效的方法就是应用系统的方法对系统进行评估,不仅需要分析系统的供应端和使用端,而且要分析两者之间的相互作用,把关注的重点从单一设备转移到整个系统。典型的系统分析方法通常需要进行以下工作:

- ① 分析当前的工艺生产需求以及未来的生产发展需求。
- ② 了解系统当前的运行状态和参数。
- ③ 收集系统运行数据并对其进行分析。

④ 提出节能方案并进行比较,确定技术可行、投资回报合理的方案。

⑤ 方案实施并检测和优化系统。

⑥ 加强系统运行维护,保证系统高效运行。

1.5 电机系统节能技术

对于电机系统节能,可用的系统节能技术和措施,总的来讲可分为两类。

① 提高系统中单台设备的运行效率。如选用高效的机电设备、电动机加装节能控制器、更换容量过大的设备、加强设备运行管理等。提高设备效率的本质在于降低设备自身的损失,当系统已经比较符合节能要求时,只要对这些设备进行简单的更换调整,就可使系统成为一个较佳系统,收到良好的节能效果。但提高单体设备效率在技术上毕竟有限,对一个具体系统来说,其实际带来的经济效益往往也不是很可观。

② 提高系统整体运行效率。因结构不合理、设备不配套、调节方式不恰当等原因导致系统低效率运行时,则需要对其进行系统改造。系统改造的目的在于实现系统的经济运行,即降低总的输入能量,以及尽可能多地回收多余能量,而较少考虑单台设备本身的效率。如改变工艺流程结构、选择合适的调节方法、减少调节损失、改变操作条件、确定最佳运行参数、使设备发挥最大效能、调整系统结构和设备的组合方式、合理配套、降低不必要的能耗等。

对于一个电机系统而言,可能有多个节能方案可供选择,但不可片面追求节能效果,而应该综合考虑各方面因素,包括技术因素、环境因素和经济因素等,在此基础上对各方案进行综合评估,并确定最佳的节能改造方案。

1.6 展望

通过上述分析可以看出,电机系统不仅在电力消耗中占据较

大的比重,而且具有非常大的节能潜力和可复制性,已成为世界各国政府和企业关注的重点。要全面推进电机系统节能工作,需要政府主管部门、企业、供应商、节能评估机构和第三方节能检测机构等多方的共同努力。

第2章 电动机节能技术

2.1 永磁同步电动机技术

2.1.1 概述

近年来,随着社会的发展和科学技术的进步,钕铁硼永磁材料的性能不断提高和完善,价格的逐步下降,再加上永磁同步电动机关键技术的突破,高效节能的永磁同步电动机产品得到越来越广泛的应用。与普通的三相异步电动机相比,永磁同步电动机具有效率高、功率因数高以及过载能力强等特点,完全能够满足纺织机械的运行工况。将永磁同步电动机应用于棉纺行业中的细纱机,将大大提高该系统的运行效率和功率因数。

2.1.2 技术原理

稀土永磁是一种高性能的功能材料,它的高剩磁密度、高矫顽力、高磁能积等优异磁性能特别适合于制造电机。充磁后,无需外加能量就能在电机内部建立进行机电能量转换所必需的磁场,用它制成的永磁同步电动机与异步电动机相比,不需要用以产生磁场的无功励磁电流,可以显著提高功率因数,能够使永磁同步电动机的功率因数接近1,甚至达到容性。

(1) 永磁电动机节能的原理

异步电动机和稀土永磁同步电动机的功率流程图如下。

如图2-1所示,与异步电动机相比,永磁同步电动机转子无铜损耗 P_{Cu2} 。永磁同步电动机一般极弧系数较大,在相同的 E_0 或电压 U 时,磁密小,铁损 P_{Fe} 较异步电动机小。由于永磁同步电动机气隙较大,其杂散损耗较小;损耗的较少和功率因数的增加,