

电厂电气系统节能降耗技术改造路径研究

杨涛

华电阜康热电有限公司

DOI:10.32629/pe.v4i4.21759

[摘要] 由于设备老化、调控模式落后等原因,国内存量火电厂电气系统普遍存在能效低、厂用电损耗大的问题,不能满足低碳运行和能耗控制的要求。本文以大容量火电机组为研究对象,对电气系统能耗分布特点和存在的不足进行分析,对辅机变频、配电升级、电能治理、智能监控这四种节能改造技术进行剖析,构建出集能耗诊断、分段施工、运维保障为一体的电气节能改造路径,可以给同类型火电厂电气节能改造提供理论依据和工程参考。

[关键词] 电厂电气系统; 节能降耗; 技术改造; 改造路径; 厂用电优化

中图分类号: TK018 **文献标识码:** A

Research on Energy-Saving and Consumption-Reducing Technological Transformation Paths for Power Plant Electrical Systems

Tao Yang

Huadian Fukang Thermal Power Co., Ltd.

[Abstract] Due to aging equipment and outdated control modes, the electrical systems of existing thermal power plants in China generally suffer from low energy efficiency and high power consumption losses, failing to meet the requirements of low-carbon operation and energy consumption control. This paper takes large-capacity thermal power units as the research object, analyzes the characteristics and shortcomings of the energy consumption distribution of the electrical system, and dissects four energy-saving renovation technologies: auxiliary equipment frequency conversion, power distribution upgrade, power management, and intelligent monitoring. It constructs an electrical energy-saving renovation path integrating energy consumption diagnosis, segmented construction, and operation and maintenance support, providing theoretical basis and engineering reference for electrical energy-saving renovations in similar thermal power plants.

[Key words] power plant electrical system; energy conservation and consumption reduction; technological transformation; transformation path; plant power optimization

新型电力系统和“双碳”目标之下,火电要兼顾调峰保供和能耗控制的要求,存量机组的电气设备普遍存在着能效问题。目前电厂单点式节能改造缺少全局规划,实施规范性欠缺。本文根据能耗现状整理出主流节能技术,提出分层分步的改造实施途径,保证机组的安全运行和节能效益,给出可复制的电气技改方案,促进火电行业的低碳转型。

1 电气系统能耗现状研判与改造必要性分析

1.1 电厂电气系统组成结构与能耗分布特征

现代化火力发电厂电气系统为多层级一体化供电配电架构,主流600MW、1000MW大容量机组可以分成厂高变分支、6kV高压辅机、380V低压负荷和辅助回路四个单元,依靠断路器和联络开关调节负荷,搭配变压器、异步电机、无功补偿装置,形成完整的电能传输和消耗体系。

从能耗分布上来说,高压辅机驱动电机的能耗占全厂厂用电损耗的68%,是主要的耗能部分;配电变压器综合损耗占17%,线路传输损耗占9%,其余6%的能耗来自于照明、检修等辅助负荷。机组负荷工况会导致能耗结构发生变化,满负荷时辅机的能耗占比较小,低负荷调峰时变压器和线路的固定损耗所占比例会增大。

以国内投产12年的660MW超临界火电机组为研究对象,该机组设计厂用电率4.2%,实际运行区间为4.8%~5.1%;四台核心辅机电量消耗占全部电量的66.3%,高压厂变年综合损耗216万kWh,配电线路年损耗112万kWh,佐证辅机和变配电设备是节能改造的主要控制对象。

1.2 电厂电气系统能耗问题及改造必要性

根据运行数据和运维记录可知,存量火电厂老旧电气设

备能效低,不能满足低碳运行的要求,具有较大的节能改造潜力。目前电厂普遍存在的四大能耗问题就是辅机多采用工频驱动、节流调节的方式造成大量的流体势能浪费、超十年老旧变压器能效等级低、系统无功调节能力差、传统的人工巡检模式滞后不能及时发现能耗异常点位等,多重问题叠加使厂用电能耗升高^[1]。

根据“双碳”战略、行业管控、企业发展等多方面因素来分析,开展电气节能改造具有很高的现实意义。国家能耗双控政策对火电机组厂用电率下达硬性管控指标,节能改造是企业达标的重要手段,可以减少厂用电消耗,提高上网电量,增加企业经济效益,设备更新和电能治理工作可以降低电气设备故障风险,延长设备使用寿命,智能化改造可以革新传统的运维模式,使机组适应新型电力系统深度调峰的运行要求。

2 电气系统节能降耗改造关键技术与工程应用解析

2.1 辅机设备变频调速节能改造技术

火电厂风机、水泵类流体输送辅机传统的工频节流调节方式存在着大量的无能耗,变频调速技术通过电力电子变流装置改变电机供电频率来满足介质流量的要求,从原理上消除了节流损耗,是应用最广、节能效果最明显的电气改造方式^[2]。变频装置通过整流、逆变输出可以得到可调压调频的电源,驱动异步电机,电机转速和输送流量呈线性关系,机组低负荷工况下可以减小输出功率,减少电机铜损和铁损。

结合国内600MW、1000MW机组工程实践,一次风机、引风机、循环水泵、凝结水泵四类高耗能辅机匹配三电平高压变频设备,加装无源滤波单元抑制谐波,防止电能质量变差,施工时对电机绝缘进行复测、电缆做耐压试验、变频柜做标准化接地,保证长期稳定运行。根据机组长期运行数据可知,单台大容量辅机变频改造年节电可达百万千瓦时,深度调峰工况节电效果更好,工程应用价值高。

2.2 高效变压器及配电系统优化改造技术

配电变压器是火电厂厂用电系统电压变换的枢纽设备,其能效等级的好坏直接关系到变压器中空载、负载损耗的大小。将厂区服役年限长的S11、S13常规能效变压器全部更换成新一代一级能效变压器,是目前电厂降低变电损耗最成熟、通用的标准化改造方案。一级能效变压器使用高导磁硅钢片材料,改进铁芯叠片和绕组布置方式,从结构上减少设备空载损耗,改善内部散热风道,抑制高负荷时绕组温升,减弱负载损耗,在机组深度调峰的轻载运行情况下,节能效果可以得到充分发挥。

在此基础上同步进行全厂配电系统专项优化,更换高低压动力电缆和母线组件,减小线路接触电阻和传输发热损耗;根据历史运行数据重新分配三相负荷,消除负荷不平衡造成的中性线附加损耗;为分段母线安装智能联络开关,在低负荷时自动切除空载变压器。多项技术联合使用可以全面削减变配电全链条电能消耗,稳步提高厂用电系统整体能效。

2.3 厂用电系统无功补偿与电能质量治理技术

火电厂的异步电机、高压变频装置都属于感性非线性负荷,

设备正常运转时会不断消耗无功功率,容易造成母线功率因数下降、线路有功损耗增大、供电电压偏离等问题,间接增加厂用电能耗。因此该行业普遍采取集中补偿和就地分散补偿相结合的方式改造,以达到无功供需平衡和电能质量缺陷治理的目的。集中补偿装置装设在6kV高压厂用母线上,调节全厂无功功率;就地补偿装置直接装在大中型辅机端子处,实现无功就地消纳,避免无功电流远距离传输带来的额外损耗。

对于变频设备集中的地方,安装SVG动态无功补偿装置和无源滤波支路,依靠毫秒级的响应速度来匹配机组的调峰负荷变化,准确滤除5次、7次、11次典型的谐波,消除谐波造成的设备发热损耗。整套综合治理体系可以把母线功率因数稳定保持在0.95以上,降低线路能耗的同时,也加强了厂用电系统电压运行的稳定性。

2.4 智能化电气节能监控与自动化优化技术

传统的电气能耗管理依靠人工抄表、定期巡检,数据采集滞后、异常损耗查找慢、负荷调节被动,不能适应现代化电厂精细化节能控制的要求。智能化节能改造依靠边缘传感终端、工业以太网、专用能效管理平台这三个主要部分来创建起一体化的数字化监测体系,全天候地搜集变压器、配电回路、动力辅机等各个方面的能耗以及电气运行参数^[3]。在配电间隔、电气设备处加装智能电表和监测传感器,把实时运行数据上传到后台平台,系统依靠内置分析算法,自行识别高损耗设备和异常损耗回路,及时发出预警提示。

另外打通能效管理平台同机组DCS集散控制系统数据交互通道,依靠实时能耗数据智能产生负荷优化方案,自动执行辅机转速调节、变压器投切、无功补偿容量调配,创建起集数据搜集、智能剖析、策略改良、自动操控为一体的闭环管控体系,深入挖掘隐性节能潜能,给电气系统长久节能运作赋予数字化支撑。

3 电气系统节能降耗一体化改造流程与实施路径构建

3.1 开展能耗诊断,制定前期改造筹备方案

电气节能改造开工前要全面开展能耗诊断工作,确定改造重点,编制实施方案,支撑项目立项。诊断工作分为数据采集、潜力测算、方案比选三个阶段,可以给后续施工提供量化的依据。现场数据采集阶段选取机组满负荷、75%额定负荷、50%深度调峰三种典型运行工况,连续72小时不间断地对全厂所有电气设备的运行电流、母线电压、有功耗电量、实时功率因数、设备外壳温升等主要运行参数进行采集,并调取企业近三年厂用电月度统计台账、电气设备历年检修缺陷记录、变压器损耗特性试验报告,全面整理出不同负荷区间内各种电气设备的损耗分布规律,准确找到高损耗设备和损耗异常配电回路。

依靠完整的采集到的多维度运行数据,分别计算出辅机变频改造、高效变压器更换、动态无功补偿、智能能效平台搭建这四个技术所对应的理论节电量、设备采购和施工总投资、静态投资回收期等数据,并按照测算结果将这些技术分为高、中、常规三个等级的改造潜力项目,从而得到一个有明确实施优先

级的改造清单^[4]。同步设计多套差异化改造组合方案,做横向经济性对比,选择投资回收期短、节电收益稳定、机组停机改造时长可控的成套方案作为落地蓝本。

确定改造实施方案之后,联动运行、电气检修、安全、财务、物资等多个专业同步开展前期筹备工作,依次完成项目立项备案、专项资金预算审批、设备公开招标、施工单位资质核验、机组检修停机窗口统筹、现场专项安全方案编制等工作,组织多方完成图纸会审和技术交底,扫清前期流程障碍,保证现场施工的顺利进行。

3.2 划分改造层级,推行分阶段模块化改造

根据机组发电计划、检修时间、施工难易程度、多专业协调等因素,将电气节能改造分成短期、中期、长期三级,采用模块化的方式推进。

短期紧急改造侧重于损耗明显、施工周期短、不需要长时间停机的简易改造项目,包括老旧低效变压器更换、低压配电三相负荷平衡调整、单台辅机就地无功补偿装置加装等,只需机组月度短时临修窗口就可以进行模块化施工,改造完成后可以迅速降低基础电能损耗,即时释放阶段性节电收益。中期专项改造依靠机组年度大修全停机窗口期展开,主要针对四大主力辅机高压变频成套改造、6kV厂用母线集中SVG动态补偿及谐波综合治理工程进行施工,此类改造设备体积大、电缆接线和系统调试工序多,利用大修整机停运时机完成设备吊装、布线、单体空载试验和整机带负荷联动调试,保证改造装置长期稳定可靠运行^[5]。长期数字化智能改造和全厂新型电力系统数字化升级同时进行,不需要机组长时间停机,在机组正常带负荷运行的情况下分批次完成能耗采集终端的布置、厂级电气能效管控平台的部署、DCS优化控制逻辑的迭代升级。

分阶段模块化改造可以分散资源投入的压力,避免多项目同时进行造成的矛盾,逐渐释放节能收益,符合电厂常态化不停机技改的要求。

3.3 健全管控体系,完善长效节能保障机制

改造效果受施工质量、后期运维水平的影响较大,所以要创建全流程管控体系和长效运维机制,保证设备正常运转、节能效益长久发挥。改造施工全流程管控以作业安全、设备安装工艺、系统联合调试三个主要方面为基础建立管理标准,施工全过程严格按照电力高压作业安全规范执行,规范执行工作票办理、停电、验电、装设接地线的标准化操作流程,从源头上杜绝电气施工触电、短路等安全隐患,安排专职电气技术人员全程旁站监督设备就位、电缆接线、接地网络敷设等关键工序,对照施工图纸逐项核验安装工艺和技术参数,施工完成后依次进行单台设备

空载试验、局部带负荷试验、全厂电气系统联动调试,全面排查接线错误、参数匹配偏差等调试缺陷,保证所有改造设备运行指标满足设计规范。

改造工程竣工验收投运之后,创建起专门的节能设备运维管理台账,对变频装置、SVG补偿设备、智能采集终端等设备的定期巡检、维护、精度校准周期作出明确规定,并且定时开展设备损耗性能的复测工作,及时解决由于设备老化偏移造成的能效衰减状况。依靠智能能效监控平台建立月度能耗对标分析制度,横向比较改造前后同期厂用电消耗数据,准确计算各个设备、各个回路实际节电成果,不断寻找剩余的隐性优化潜力并制订小型优化调整方案^[6]。

同步创建运维人员常态化技能培训体系,定时举办变频调速、电能质量改善、智能能耗平台运维专项实操培训,全面加强一线人员的精细化能耗控制水平,依靠标准化长效运维来巩固电气系统改造成果,达成机组全生命周期低能耗稳定运行。

4 结语

本文从火电厂电气系统能耗现状出发,对节能改造技术进行拆解,并提出电气一体化的实施路径,为存量电厂电气降耗提供方向。采用多类型节能技术协同配合、分阶段分层次有序推进、完善全过程质量运维保障体系,可以有效地降低厂用电综合损耗,从技术、管理两方面提高电气系统的运行能效。该路径具有较好的普适性以及可复制性,可以结合机组的容量属性和负荷运行特点进行差异化的微调,挖掘出电气系统精细化节能的空间,给火电企业的长效化节能降耗工作提供新的思路。

[参考文献]

- [1]赵永平,肖学明,黄治乾,等.火电厂厂用电系统节能降耗技术的应用与效果评估[J].电力设备管理,2025,(18):264-266.
- [2]邹林.火电厂电气运行优化与节能降耗的技术研究[J].锅炉制造,2025,(5):38-39+43.
- [3]蒋易航.1000MW大型火力发电厂电气节能降耗技术分析[J].电力设备管理,2025,(16):268-270.
- [4]李冰浪.火电厂集控运行中电气系统节能优化研究[J].电子元器件与信息技术,2024,8(10):170-172.
- [5]王会宝.火电厂电气运行优化与节能降耗的技术探索[J].工程与建设,2024,38(4):938-940.
- [6]孟肖楠.火力发电厂电气节能降耗技术研究[J].科技资讯,2024,22(2):94-96.

作者简介:

杨涛(1986—),男,汉族,新疆人,大学本科,工程师,研究方向:电气工程。