

# 火电厂热工自动化设计中节能减排分析

李麟章,王健

(江苏省电力设计院,江苏南京 211102)

**摘要:**针对火电厂热工自动化设计中关联节能减排的主要问题进行分析并提出了看法,包括强化热力设备安全性控制、优化热力系统运行经济性、提高节能减排新技术可靠性、开发应用新颖节能减排检测仪表、关注热工自动化设计中隐性节能降耗因素等。

**关键词:**火电厂;热工自动化;节能减排

**中图分类号:**TK39

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2010)01-0065-04

节能减排是我国当前的一项基本国策,火力发电厂则是节能减排的重点对象,牵涉到规划、设计、管理、运行、设备优化很多方面,其中仪表和控制系统即热工自动化设计的内容也和其密切相关。本文针对热工自动化设计关联节能减排的一些主要问题进行分析,并提出一些看法。

## 1 强化热力设备安全性控制

### 1.1 安全运行是实现节能减排的前提

在机组连锁保护逻辑设计中,除基本的紧急保护外,还应进一步完善诸如超驰控制、辅机故障自动减负荷(Run Back)、燃烧器管理(BMS)等的逻辑设计,以使机组适应各种可能出现的非常工况,尽量避免或减少故障停机,确保机组长周期运行。例如,在超驰逻辑中设置对闭环回路发散的参数监测,一旦条件因素成立,将能越权处理系统故障,使系统调节品质不再继续变坏;又例如,在BMS逻辑中考虑锅炉低负荷时自动投入等离子点火或微油点火,使锅炉负荷适应变化范围更大。

保证热力设备长周期安全运行是节能减排的基本体现,以300 MW机组为例,若发生一次故障停机,平均停机时间按8 h计算,从重新点火到带150 MW负荷耗时以4 h计,则少发电约330万kW·h,消耗燃油20 t左右,损失很大<sup>[1]</sup>。

### 1.2 强化设备状态监测和故障诊断

在厂级监控信息系统(SIS)中配置设备状态监测和故障诊断功能模块,并且在机组投入生产时要求配合投用,发挥效能。在设计阶段就应配合增设必要的监测点,例如补列一些辅机轴承振动监测等,以不牺牲设备安全、经济运行为原则,在保证安全基础上延长机组检修间隔,改变固有的计划检修模式。同样以300 MW机组为例,如果把机组每年一次的小修延长至一年半至两年,就可以有效地降低检修费用1/3~1/2,从而降低营运成本,按300 MW机

组计算年节省费用可达200~300万元<sup>[1]</sup>。

## 2 优化热力系统运行经济性

### 2.1 采用优化控制软件

目前,各类优化软件充斥市场,应该进行一番调查、梳理、评审和推荐。在分散控制系统(DCS)技术规范书中及在设计联络会上应将软件应用和优化作为重点内容予以讨论落实,有条件应列入考核。

某研究表明,当过热器出口温度采用神经网络模型的串级预测控制时,其和常规串级控制阶跃响应相比调节速度快2倍,而超调量仅是常规的30%左右<sup>[2]</sup>。

采用实用且有效的先进算法的控制软件,例如神经网络、遗传算法、模糊算法、非线性协调等,确实能显著改善火电厂热力系统中大量存在的大时延、非线性、多重耦合、多输入多输出等控制回路的调节特性,对常规比例—积分—微分控制器(PID)控制进行改造能达到提高机组经济运行的目的,其效益是提高了机组效率、降低煤耗、减少污染物的排放。

### 2.2 建立机组经济指标评价体系

借助SIS平台,构建能够全面反映机组热力性能特点的数学模型,利用机组性能计算功能模块的采集计算,展开机组性能和耗差分析计算,建立机组经济指标评价体系。

某300 MW电厂把机组诸多经济指标按重要性大小分级,建立三级机组经济指标评价体系<sup>[1]</sup>,如一级指标有:供电煤耗、厂用电率、机组燃油消耗等;二级指标有:锅炉效率、汽机热耗、烟气排放等;三级指标有主汽和再热汽温、飞灰可燃物、补水率、加热器端差等。每一指标都明确责任人,可以通过SIS的运行指导,采取措施缩小或消除偏差,最终使指标受控,实现经济运行。

### 2.3 实行机组负荷经济分配

目前,机组控制系统中设计的自动发电控制

(AGC)是指电网调度针对每台单元机组直接目标负荷的控制。它是通过设在电厂端的远程终端(RTU)和机组DCS用硬接线方式相连实现的。当电厂中有多台单元机组时,每台机组都需要按上述方式用硬接线将信号和RTU相连。目前的AGC方式主要为保证电网安全调度和负荷的平衡,和机组运行的经济性无多大联系。

厂网分开、竞价上网新营运模式下,电网调度AGC指令应该是对一个独立发电公司的实时负荷指令,需要经过电厂经济负荷分配再落实到每台机组。AGC是和机组经济运行相连系的,这就体现了整个电网营运的经济性。

负荷经济分配一般配置在厂级SIS中,通过对单元机组实时性能计算与耗差分析结果应用,获取机组负荷特性实时曲线,同时要有手段来鉴别负荷经济分配的实时效果。对负荷经济分配软件的研究也越来越受到人们的重视,除较经典的等微增率原理、二次规划分配原理等外,还提出了许多优化方法,例如线型规划法<sup>[3]</sup>、微粒群算法<sup>[4]</sup>等。

#### 2.4 构筑性能优化知识库

目前电厂都已设置厂级管理信息系统MIS,它可以通过SIS采集到机组运行的实时信息,这就为通过网络平台信息交流提供了条件。可以以发电集团甚至由发电行业出面组织对同类型机组运行专家经验数据的采集,构筑机组性能优化专家知识库。需要时用户可以通过主题词和特征参数的提取,快速检索同类机组性能问题,提出解决措施<sup>[1]</sup>。也可以凭借专家知识库,各电厂再建立自己的专家系统,用于指导实时运行,提高经济运行效果。

### 3 提高节能减排新技术可靠性

#### 3.1 提高启动及低负荷时等离子点火和微油点火安全性

等离子点火和微油点火技术以其节省燃油、环保效益明显等优点正在被重点推广使用。但是,在冷炉点火阶段和低负荷时,由于煤粉燃烬延迟,导致炉膛上部屏底烟温升高,高温受热面存在超温风险。若点火偏于一侧,还会引起锅炉膨胀不均匀。另外,由于此时烟气中飞灰可燃物含量高,很容易在空预器等尾部烟道沉积,引起自燃<sup>[5]</sup>。

针对上述不安全因素,一则应该在点火控制逻辑设计中重点加强对煤粉研磨细度、一次风速、风粉浓度、空预器吹灰及省煤器灰斗除灰等的控制设计。二则应加强开发可靠的飞灰可燃物检测仪表,满足实时检测的要求。当前市面上生产的飞灰测碳仪,实际使用的可靠性和精确度都很难满足要求。

#### 3.2 脱硫和单元机组控制的融合

目前,发电厂大多采用烟气石灰石湿法脱硫,控制采用独立的控制系统,尽管其控制系统的硬件和单元机组控制DCS可能是一致的,然后两者间通过不多的硬接线把必须的交换信号互联起来,实现运行中的联动和保护。

随着环保要求越来越严格,当前已要求基建项目的脱硫要和机组同步投入使用,并且将取消烟气脱硫系统旁路挡板和气-气交换器(GGH),进而取消增压风机。这样一来,脱硫系统烟气通道的控制和锅炉控制已密不可分,将脱硫控制纳入机组DCS中监控必然成为一种趋势。这时,锅炉控制回路和保护逻辑设计中将包括对脱硫系统中烟道挡板开闭、吸收塔超温保护、烟气排放温度控制等的内容。此外,也要妥善安排脱硫浆液制备、浆液循环、石膏脱水、脱硫废水处理等公用系统的控制设计。

引风机和增压风机合一,引风机电机功率将增大很多,对电气设备造价影响较大,要关注采用3×35%引风机配置方式或采用汽动驱动引风机的可能性及其相关控制策略的变化。也要关注GGH若改用水-气交换器后的控制策略的变化。

#### 3.3 研究大型辅机采用变频控制的技术规范

变频器应用在负荷频繁调节或周期性大幅度变化的转动机械上具有显著的节能功效,因此在电厂中也越来越多地得到采用。某电厂320 MW机组两台凝结水泵采用一拖二高压变频器调速控制后,和原有定速泵相比,按全年平均负荷80%计,厂用电下降452.5 kW,若按年运行5 000 h计算,全年可节电22 652 kW·h<sup>[6]</sup>,效果明显。

但变频器尤其是高压变频器的设备投资费用较大,还要考虑设置变频器专用的房间,安装设计中要考虑防止其高次谐波对周围信号干扰的措施。因此,电厂中哪些辅机最适宜采用变频控制应有深入的可行性分析,最好编制行业性的推荐意见和技术规范。那些基本以额定负荷运行、转速调节范围不大的辅机宜作技术经济比较后再予确定,应慎选变频。

采用变频方式,设计中除了选定变频器电压等级外,还应按照辅机类型、负荷变化特点、调速范围、负载转矩特性等选定变频器的控制方式。

#### 3.4 主蒸汽流量的获取

现今大容量机组的主蒸汽流量测量,基本上都采用汽轮机调节级后压力或压力级组前后压力加温度修正的间接换算法,该方法源于汽轮机理论中著名的弗留格尔(FLUGEL)公式。在实际使用中只要针对限制公式使用条件的影响因素,例如再热器喷水、对外供汽等作一定的修正,其计算值将具有一定

的精度,完全能满足机组运行监视、性能监测和过程控制的需要。

上海汽轮机有限公司引进西门子技术生产的超超临界汽轮机由于没有第一级压力级,无法采用间接换算法,最近投用的该机型机组例如华能玉环电厂 1 000 MW 机组、华能金陵电厂 1 000 MW 机组等,都在锅炉一级过热器出口装设主蒸汽流量测量装置,由于是装设在高温高压环境,设备费用昂贵。同时,装设流量测量装置后会造成节流损失,对大机组而言该损失已不容忽视,对于运行参数已接近上限的某些机组,主蒸汽的压力损失将直接影响机组的出力。另外,机组出力在大幅度滑参数变动工况下运行时,引起蒸汽雷诺数变化过大,影响流量测量的流量系数的稳定,导致低负荷时误差变大,也很难获得满意的测量结果<sup>[7]</sup>。

超(超)临界直流锅炉的主蒸汽温度调节,主要是调节煤水比及过热段喷水量,给水流量等于蒸汽流量,在调节回路设计中可以不需要主蒸汽流量的参与,如若在数字电液(DEH)控制中也不需要或者内部能够计算主蒸汽流量(上汽公司可以提供机组第 5 级抽汽压力对应主蒸汽流量的对应曲线),则应尽可能不要装设主蒸汽流量测量装置<sup>[8]</sup>。

## 4 开发应用新颖节能减排检测仪表

### 4.1 快速热电偶

常规的蒸汽管道疏水袋液位都采用液位开关检测,要设置高、低两只。液位开关价格较贵,且易卡涩或泄漏,安装时对应液位设定点误差较大,介质排放难以准确控制。

可以采用快速热电偶检测疏水袋中温度,当温度低至管道压力对应蒸汽饱和温度时,说明袋中积水应该疏水,当温度高于对应蒸汽饱和温度时关闭疏水。该方法设备费用省,可靠性高。GE 公司提供的大型燃气—蒸汽联合循环机组中,就是应用的此方式,效果良好。目前国产产品最快响应时间约 15 s,应开发响应时间更快的秒级的产品。

### 4.2 阀门或管道超声检漏

正常运行中常关闭的控制阀,如疏水阀、旁路阀、再循环阀、喷水减温阀等及其相应管道,目前也可采用快速热电偶检测泄漏。但若装设超声检漏则可更快速报警,采取措施减少工质损失,体现节能。国外已有采用无线超声检漏设备的较多工程实例,国内还未见报道。

### 4.3 大型圆筒煤场安全监测仪表

大型圆筒煤场具有节地、环保兼干煤棚的优点,目前已推广采用。但是其内部是否要装设安全监测

仪表还没有明确要求,例如是否需要装设可燃气体监测仪?如何检测煤中自燃?如何联动消防设施?都值得研讨。现在有的工程设计在一圈筒壁上沿煤堆中间高度设置约一百多支热电阻,探测煤堆中的温度,以期及早发现煤堆内部自燃。

### 4.4 露天仪表导管电伴热防冻的温度控制

由于露天仪表导管和变送器都分散布置,大多采用电伴热防冻。目前电伴热的电源控制有采用测量被伴热导管保温层内部温度来定点开通的,但一般只是单点控制,例如温度开关被设定在 10℃,到达该温度时电源被切断,而低下来又合上。也有电厂不装设温控器,完全是由人工操作的,冬天气温一低则全部通电,一直让伴热带伴热。

将电伴热电源控制设计成节能的方式,即采用两位式温度控制,开发一种两位式微型温包式温控器,节点开断容量要大,使电伴热电源可在较宽的范围内通断。以 2 台 600 MW 超临界机组为例,其露天锅炉加其他露天场所电伴热带的用量约 4 000~5 000 m,功率按 16 W/m 计,若冬天伴热每天能少通电 4 h,则粗略估算每天可节电 260~320 kW·h。

### 4.5 锅炉炉膛温度声波监测

声学锅炉炉膛温度测量方法是近年来发展起来的一项新技术,该方法在国外已有一定的应用,但尚未见国内电站锅炉上应用的报道。声学测温方法的基本原理是基于声波在气体介质中的传播速度是该气体组分和绝对温度的函数。在大多数实际情况下,气体组分对声波传播速度的影响较小,且在很小的范围内变化。因此,声波传播速度可以看作气体介质绝对温度的单值函数<sup>[9]</sup>。

声波测温可以连续监测炉膛内烟气温度的时间和空间上的变化,对锅炉燃烧调节极为有利:

(1) 控制火焰中心,矫正炉内燃烧不均匀,减少水冷壁磨损和结焦,改善汽水循环。

(2) 监控炉膛出口温度,合理分配辐射热和对流热的比例,减少过热器和再热器喷水量,提高回热效率。

(3) 优化风煤比,提高燃烧效率。

(4) 降低污染物排放。通过减小火焰峰值温度,可以在燃烧后期降低 NO<sub>x</sub> 生成,同时降低锅炉脱硝装置运行费用。

### 4.6 重金属浓度在线监测仪表

#### 4.6.1 烟气中重金属浓度在线监测

重金属元素(主要指 Cd, Pb, Zn, As, Sb, Hg 等)在煤粉燃烧过程中会分解释放出来,经历一系列物理化学变化,一部分挥发的重金属元素将富集在飞灰(尤其是亚微米级细小颗粒)上,随着烟气或炉渣

排出。它们在大气中有很长的驻留时间,不为微生物降解,并转化为毒性很大的金属有机化合物,从而对人类健康和环境产生很大危害。

从环保发展来看,发电厂烟气排放对重金属的监测或直接要求烟气脱重金属是指日可待的,因此烟气中重金属浓度在线监测仪表的开发应用具有良好的前景。

#### 4.6.2 废水中重金属浓度在线监测

发电厂工业废水排放前针对重金属的监测主要采用采样分析,尚未见在线实时分析的应用介绍。采样分析的缺点主要是成本高、效率低,如果不能及时检测则样品的变化或污染还会影响到检测结果的客观性。如果能开发采用一种实用的在线检测仪,也将会获得良好的应用。

#### 4.7 无线传感器网络

无线传感器网络(WSN)是继现场总线后推出的一种新型由无线传感器组成的网状网络,1978年美国军方就已开始研究,1999年美国商业周刊将之列为21世纪最具影响的21项技术之一,2003年美国商业周刊又在其“未来技术专版”中指出WSN是全球未来的四大高新技术产业之一<sup>[10]</sup>。美国能源部(DOE)在2004年发布“未来工业计划”(IOF)中指出:基于工业无线技术的低成本测控系统是实现到2020年美国工业整体能耗降低5%目标的主要手段,代表着工业自动化系统技术的发展方向。

在工业自动化仪表产品方面,Emerson, Honeywell, Siemens 等公司已经推出了无线温度、压力、流量、物位变送器及相关产品,并且有了一些应用范例。我国也有仪表厂已经生产出了无线变送器和无线执行器的样机。采用无线传感器网络产品,可以节省大量电缆,减小安装施工工作量,低功耗运行,体现节能,经济效益显著。

### 5 关注热工自动化设计中隐性节能降耗因素

#### 5.1 仪用压缩空气耗量

仪用压缩空气耗量的大小,决定了压缩空气机组配置的容量及今后日常运行的费用。工程设计前期,气动装置(例如各类气动阀门)的不确定性较大,对仪用压缩空气耗量的准确统计比较困难,因而往往将仪用压缩空气机组容量配置较大,裕量大则日常运行成本消耗大。

#### 5.2 不停电电源 UPS 负荷

目前工程设计中 UPS 容量选择都较大,有的每台大型机组还配置全容量两套,但是投运后实际负荷率却很低,甚至小于50%。宜通过调查统计,归纳不同容量机组仪用 UPS 实际负荷,对 UPS 选型提出

推荐意见。

#### 5.3 电子设备间空调

电子设备间对空调的要求应该没有集中控制室那么高,没有对人舒适性的要求,其内部安装的电子设备机柜(主要为DCS, DEH, MEH, TSI, PLC等)对环境温度的适应性也较宽,只要控制住温度变化率,不使电子板件产生结露,也不产生有害程度的静电即可。如EMERSON公司OVATION系统的控制器机柜,其运行时可适应环境温度规定为0~50℃<sup>[11]</sup>。因此可以配合暖通专业确定电子设备间可行的空调技术条件,减少电子设备间空调运行费用。

#### 5.4 传感器冗余配置

大机组控制回路及保护逻辑设计中各类传感器(包括变送器、热电偶、热电阻、参数开关等)冗余配置的数量很大,目前还缺少一个规范或规定来统一参照实施。总的来看冗余被采用得过多,例如有的工程凡闭环调节被调量检测全部配置三冗余传感器,为满足调节和保护分开,每台高压加热器液位检测要配置3台液位变送器和3台液位开关。传感器的过多配备增加了设备投资、电缆消耗,也增加了控制系统资源消耗、能量消耗和日常维护消耗,是否必要值得深究。

### 6 结束语

火电厂热工自动化设计中和节能减排关联的因素是多方面的,需要我们加强挖掘、聚沙成塔。在关注的同时,希望在一些明朗的控制设备、控制系统及控制技术应用方面采取切实可行的措施,取得实效。

#### 参考文献:

- [1] 潘志强. 嘉兴发电厂节能减排之路[J]. 中国人口·资源与环境, 2008(18)专刊: 678-680.
- [2] 陈绍炳. 优化控制技术在热工过程控制中的应用研究[D]. 南京: 东南大学, 2006.
- [3] 李素芳, 沈胜强. 机组经济运行的负荷优化分配方法研究[J]. 热科学与技术, 2004(12): 293-296.
- [4] 张俊娇. 智能控制优化理论在火电厂监控信息系统中的应用研究[D]. 南京: 东南大学, 2005.
- [5] 姚少勇, 王金良. 锅炉等离子点火与气化微油点火技术的安全性分析[J]. 河北电力技术, 2008, 2(4): 28-30.
- [6] 包春雨, 李建河. 凝结水泵高压变频调速控制策略与应用[J]. 广东电力, 2008, 8(8): 49-52.
- [7] 赵晶晴, 林中达. 电厂主蒸汽流量测量与计算方法分析比较[J]. 燃气轮机技术, 2007, 12(4): 39-42.
- [8] 金黔军. 1 000 MW 超超临界机组热控设计特点[J]. 中国电力, 2006, 3(3): 78-81.
- [9] 宋志强, 樊旭. 声学法锅炉温度场检测技术及应用[J]. 锅炉技术, 2005, 1(1): 20-23.
- [10] 曾鹏. 无线传感器网络与工业无线测控系统[J]. 中国控制工程, 2007(10): 44-47.

# 660 MW 超超临界汽轮机自启动控制策略及其热应力计算

钱庆生<sup>1</sup>,洪超<sup>2</sup>

(1.江苏方天电力技术有限公司,江苏南京211102;2.景德镇陶瓷学院,江西景德镇333403)

**摘要:**以华电望亭发电厂3号机组为例,介绍上海汽轮机厂引进的德国西门子公司超超临界汽轮机自启动控制系统策略,详细阐述了数字电液(DEH)控制系统自启动的控制步骤,X准则、Z准则和控制裕度的计算方法以及相应的控制策略,为国内同类型机组的自启动控制设计提供了一个可借鉴的思路。

**关键词:**660 MW 超超临界汽轮机;自启动控制;X准则;Z准则;裕度

中图分类号:TK39

文献标志码:B

文章编号:1009-0665(2010)01-0069-04

目前我国几乎所有电站的机组启停均靠人工判断和控制,这种方式存在的缺点包括:(1)严重依赖运行人员的经验和水平;(2)人工控制费时费力,延长了启停过程的时间;(3)有时候仅靠运行人员的经验判断,缺乏科学依据和数据支持,为了追求运行的方便,难免存在设备热应力过大、减少设备寿命、甚至设备损害的现象。上海汽轮机厂引进的德国西门子公司超超临界汽轮机技术,采用一系列热应力计算,实时监视汽轮机应力变化,数字电液(DEH)控制系统自启停顺控步骤的执行,不仅大大减轻了运行人员的负担,提高了机组启停速度,而且也保证了机组的安全使用寿命。这项技术已在几个电厂得到成功应用,本文以华电望亭发电厂3号机组为例,进行详细介绍。

## 1 西门子超超临界汽轮机 DEH 控制系统特点

### 1.1 DEH 控制系统硬件配置

收稿日期:2009-10-12;修回日期:2009-11-20

望亭3号机组DEH控制系统采用西门子T3000控制系统,该系统集成了超高速处理器以及与之相配合的专用输入输出模件,和西门子标准处理器以及输入输出模件,以满足DEH控制各个子系统对处理器运算速度的不同要求。

(1) 控制器。在1号控制柜中,采用了2对冗余的处理器417H和FM458,实现双控制器冗余切换,切换时间为毫秒级。417H为西门子的标准处理器,而FM458即为超高速处理器。FM458具有高性能闭环控制和运算处理,高速响应能力以及高分辨率的特点,最小运算周期达到0.1ms的水平,正常控制逻辑运算处理周期一般选取几毫秒。DEH控制系统的转速控制、ETS紧急遮断和甩负荷预测及控制等要求快速处理能力的控制系统均由FM458实现,因此,1号控制柜也被称为核心控制柜。2、3号控制柜主要用于辅助系统控制和一些对处理速度要求不高的运算控制。

(2) I/O 模件。除了常规的通用模件ET200M之

[11] 李麟章,霍耀光.600 MW 火力发电机组培训教材(第2版)热工自动化[M].北京:中国电力出版社,2006.

李麟章(1944-),男,浙江余杭人,教授级高级工程师,从事发电厂热工自动化设计工作;

王健(1956-),男,江苏淮安人,高级工程师,从事发电厂热工自动化设计工作。

作者简介:

## Analysis of Energy Saving and Emission Reduction in the Design Process of Thermal Process Automation

LI Lin-zhang, WANG Jian

(Jiangsu Electric Power Design Institute, Nanjing 211102, China)

**Abstract:** Focusing on the main problems associated with the energy saving and emission reduction in the design process of thermal process automation, some aspects including strengthening the security controls of thermal power equipments, increasing operation economy, improving the reliability of energy saving and emission reduction technology, developing and using new energy saving and emission reduction Instrumentations and invisible factors in the design process of thermal process automation are analyzed in the paper.

**Key words:** thermal power plant; thermal process automation; energy saving and emission reduction