

发电厂节能减排控制技术的应用

高爱民，顾兴俊

(江苏方天电力技术有限公司，江苏 南京 211102)

摘 要：文中对自动控制在发电厂节能减排中的作用进行了概述，列举在发电厂中与节能减排密切相关的主要自动控制技术。结合发电厂节能降耗，指出测量技术、先进控制策略的研究和应用是发电厂节能减排的重要环节之一。

关键词：软测量；预测控制；顺序阀；变频

0 引言

传统的自动化控制技术较少关注节能与环保问题，随着社会和经济的发展，绿色电厂、绿色楼宇以及绿色化工等与节能环保相关概念被提出，节能能源、减少原材料消耗以及绿色环保等新的约束对自动化技术提出了更高的要求。当前的节能已不是简单意义的节约和少用能源，而是要靠使用先进科学技术，先进管理理念等来提高能源的利用效率。在现代发电厂中，先进控制与优化技术对于发电厂的节能减排、高效运行起着十分重要的作用，具有许多显著的优点。先进的自动化控制在发电厂“节能降耗”领域里将发挥越来越大的作用。现代火电厂生产过程正向复杂化、大型化方向发展，节能、降耗、安全、环保是自动化控制的首要目标，发电厂热力过程面临多变量、强耦合、非线性、大时滞、不确定性、多控制目标等问题，给先进控制技术的实现带来很大困难，而燃烧、汽温等热力系统恰恰是影响生产效率，降低能耗的关键点。

1 软测量技术

软测量技术主要由辅助变量的选择、数据采集与处理、软测量模型几部分组成。基本思想是把自动控制理论与生产过程知识有机的结合起来，应用计算机技术对难以测量或者暂时不能测量的重要变量，选择另外一些容易测量的变量，通过构成某种数学关系来推断或者估计，以软件来替代硬件的功能。应用软测量技术实现信号检测不但经济可靠，且动态响应迅速。相对于硬件检测设备，软仪表开发成本低，配置灵活，维护相对容易，各种变量检

测可以集中于一台工控机上，无需为每个待测变量配置独立的硬件，具有较高的经济性。软测量技术可取代常规测量元件，也可降低测量元件造成的系统热力损失，提高热力系统运行的经济性。如弗雷格尔计算公式较好的取代长颈喷嘴（孔板）直接测量元件来检测蒸汽流量，不仅减少了测量元件的成本支出，还可以完全消除长颈喷嘴（孔板）造成的节流损失。软测量技术还可以检测不能直接测量的信号，以使有效地控制手段成为可能。如锅炉热量信号，利用锅炉汽包压力和汽轮机调节级压力，拟合出锅炉发热量，使直接能量平衡控制策略成功运用于汽包锅炉的控制。

2 准确可靠的检测技术

发电厂运行过程中，热控测量仪表对整个热力过程参数进行连续监测。部分重要参数运用于机组自动控制和保护连锁之中。一些重要参数的可靠性在机组启动、运行过程中与机组的节能减排密切相关。准确可靠的信号将在机组启动点火、锅炉运行控制以及脱硫脱销控制等环节发挥重要作用。在锅炉点火阶段，油、煤火焰检测关系到锅炉能否点火成功的关键。运用启动油系统点火的锅炉，由于油火焰检测信号丧失将导致油系统点火失败，连续点火失败还会触发锅炉 OFT、MFT 保护动作，锅炉需重新吹扫点火，不仅延长了锅炉点火时间，增加了辅机设备的能耗，而且导致点火燃油浪费，不利于机组节能减排。采用等离子技术点火时，火检信号可靠性将与锅炉点火是否成功关系密切，火检信号丢失也将导致点火失败，点火煤层跳闸，延误锅炉点火时间。锅炉氧量是锅炉安全经济运行的重要指

标之一, 测量信号的准确性严重影响锅炉的风量调整。氧量测量信号偏低时, 将会导致锅炉实际风量偏大, 导致辅机出力超出正常需求, 使相关辅机运行能耗上升, 加大了锅炉烟气排放量。随着环境保护的日益重视, 发电厂均逐步开展脱硫、脱硝改造工作, 脱硫、脱硝系统的检测信号是相关系统控制的关键指标。如脱硫系统中 pH 值发生偏差时, 将影响脱硫系统的有效控制, 有可能增加酸、碱用量。在脱硝控制系统中, 反应器进、出口 NO_x 浓度参与氨流量的控制。反应器入口 NO_x 浓度作为前馈作用, 反应器出口 NO_x 浓度作为被控参数纳入氨流量自动控制策略中。NO_x 浓度信号偏大将导致用氨量过剩, 不仅不节能环保, 还将影响空预器等其它设备的长期稳定运行。

虽然, 热控测量包括电厂整个热力系统的连续有效监视, 但如火检信号、氧量信号、风量信号、pH 值、NO_x 等测量信号的准确性将直接影响机组节能减排的有效控制, 相关信号的准确性为机组在燃油、风、煤、水、酸、碱以及氨精确控制中发挥至关重要的作用。在电厂实际应用过程中, 火检信号、氧量信号、风量信号、pH 值、NO_x 等信号的准确性仍有提升的必要, 需加大对现有测量仪表设备的维护之外, 还应积极探索更有为准确有效的测量技术。

3 先进控制策略

制粉系统是火力发电厂最重要的系统之一, 而磨煤机则是制粉系统中的主要设备, 同时, 它又是厂用设备中的耗电大户, 耗电量占到厂用电量的四分之一。目前国内绝大部分中小型火电厂中, 磨煤机的运行仍处于人为判断和手工操作的原始状态, 耗电量大, 经济效益差。因此, 改善磨煤机的运行状况, 开发行之有效的磨煤机控制技术, 将会产生很好的社会、经济效益。磨煤机运行具有纯滞后、大惯性和非线性的显著特点, 动态特性复杂, 数学模型难以准确建立, 且由于煤质变化等原因, 数学模型随时间变化缓慢。因此, 采用常规的 PID 调节, 其实际控制效果很难满足要求。因此, 在常规控制策略的前提下, 应开展与之相适应的先进控制策略的研究。在现阶段应用中, 将 Smith 控制和解耦控制相结合, 给出了一种实用的解耦设计方法, 具有

较强的解耦效果和抗干扰能力, 大大改善磨煤机出口温度和一次风量控制。

采用预测控制技术改善过热汽温和再热汽温控制。过热汽温和再热汽温控制的最大难点在于其被控过程具有大的纯滞后和惯性时间, 且在不同的机组负荷下, 汽温被控对象的动态特性会发生较大的变化, 而各种扰动(如变负荷、启停磨及吹灰等)对汽温的影响又较快, 从而导致较大的汽温偏差。传统的过热汽温和再热汽温控制方案均采用了基于 PID 控制策略的串级控制方案, 但对于大滞后的被控对象, PID 控制策略很难协调好控制系统快速性和稳定性之间的矛盾, 即, 为了要抑制汽温偏差, 控制系统必须要快速动作, 但动作一快, PID 控制系统就会振荡, 这是由 PID 的本质特点所决定的。因此, 只有采用先进的基于大滞后控制理论的汽温控制策略, 才能对过热汽温和再热汽温进行有效控制。在控制系统的反馈回路中, 将多种大滞后控制技术如广义预测控制技术、相位补偿技术及状态变量控制技术有机地融合起来, 在确保控制系统稳定性的前提条件下, 加快喷水的调节速度。而在控制系统的前馈通道中, 采用了基于操作经验的模糊智能前馈技术, 更进一步加快喷水的调节速度, 有效地抑制过热和再热汽温的动态偏差。再热汽温控制科增加自适应 SMITH 特性补偿回路, 以补偿再热汽温被控对象中可变的纯滞后时间, 改善再热汽温的特性, 减少喷水流量, 提高锅炉的经济性。

依据热力系统的结构特点, 设置合理的控制策略, 提升热力系统控制的整体性, 减少分散控制造成的不合理调节作用。一般电厂将凝汽器水位、除氧器水位作为两台独立的自动调节回路。凝汽器补水阀调节凝汽器水位, 除氧器上水阀(凝结水泵变频)调节除氧器水位。当除氧器、凝汽器水容积处于平衡状态, 但除氧器、凝汽器中水容积分配发生偏差时, 将导致凝结水补水门的不当调节。即当除氧器水位调节时, 将造成凝结水流量的变化, 引起凝汽器水位变化, 导致凝汽器补水阀参与不必要的控制, 造成补水门不必要的动作过程。因此, 将凝汽器、除氧器作为整体控制, 凝汽器补水阀调节除氧器与凝汽器的水位和, 除氧器上水门调节除氧器与凝汽器的水位差, 既可以消除单个被控对象控制的局限性, 使热力系统控制更加完整。消除独立分散的对象控制带来的工质不合理分配, 使热力系统

的运行效率提高。

锅炉目前采用的 DCS 控制往往无法完全针对锅炉燃烧的特点控制最佳运行工况,运行人员的经验和操作水平在很大程度上决定了机组的运行性能。建立锅炉燃烧优化系统来提高锅炉 DCS 的控制调节能力,减少操作人员的人为影响,正受到越来越多的关注和应用。锅炉燃烧的优化调整是机组优化运行的重要组成部分,锅炉效率和污染物(氮氧化物 NO_x)是 2 个要首先考虑的优化控制目标。结合锅炉的多输入多输出动态特性,并兼顾输入输出的约束条件,采用先进控制方法,实现锅炉热效率的提高、煤耗的减少。

4 汽轮机节能控制技术

现代大、中型发电机组中汽轮机均采用数字电气控制系统即 DEH 进行控制。各进汽阀门是由电信号控制、高压油动机驱动,其中进汽阀门的管理显然是 DEH 系统的重要控制功能。早期新建机组或刚投产机组一般投用单阀控制,汽轮机采用全周进汽,调门节流损失大,汽轮机运行经济性差。在正常商运机组中,通常投用顺序阀控制,依据机组负荷工况,顺序开启各调阀,通常仅保留一个调阀进行节流控制,大大降低了调阀的节流损失,提高汽轮机运行效率。汽轮机顺序阀控制是汽轮机一项关键的节能控制,在顺序阀运行时,由于节流损失减小、主汽流量明显降低、机组供电煤耗减小,因此,汽轮机顺序阀控制是发电厂节能减排的一项关键措施。汽轮机滑压控制是机组节能控制的有效手段。通常需对滑压曲线进行修正,以获取汽轮机最佳的节能控制效果。在滑压曲线应用时,引入机组重要运行参数偏差和热力系统运行状态参数,分别对滑压曲线的负荷和主汽压力进行修正,保证汽轮机始终处于“最佳滑压阀位”运行,从而确保汽轮机在滑压运行过程中节能降耗的效果。

5 节能型协调控制系统

节能型协调控制策略的主体思想是通过汽轮机滑压曲线优化,保持汽轮机调门处于较大开度或全开运行,减少汽轮机高压调节汽门的节流损失,提高汽轮机运行效率。同时利用凝结水节流控制策略,弥补汽轮机负荷调节能力的下降,辅助实现机组的负荷调节功能,满足电网调节需求。通过试验获取

汽轮机调门开度对机组各相关运行特性参数的影响关系,结合试验结果进行综合推算和比较。根据滑压曲线的设定,保证汽机调门维持在经济运行开度附近,并兼顾机组 AGC 及调频能力。当汽轮机调门优化至较大开度后,无法利用锅炉蓄热,升负荷调节能力不足。此时,需采取凝结水节流控制策略加以辅助。在变负荷初期,在凝汽器和除氧器允许的水位变化范围内,改变凝泵出口调门的开度,快速减小凝结水流量,改变汽轮机低压抽汽量,暂时增加一部分机组的输出负荷。节能型协调控制系统能较好的兼顾机组变负荷与汽轮机经济性运行的要求,是机组在协调方式下,维持机组经济运行的有效控制策略,该控制策略正逐步替代常规协调控制而运用于发电厂机组协调控制当中。

6 变频控制技术

中压变频调速技术已经在发电厂中得到广泛应用,其高可靠性、高经济效益及高智能的运行方式将成为电机控制的新发展方向。发电厂辅机设备中,风机、给水泵等重要辅机设备的综合能耗是电厂厂用电率的重要影响因素。送风机、引风机、一次风机、凝结水泵、电动给水泵等采用定速结合挡板或阀门调节时,系统节流损失较大,电机能耗较高。现中压变频调速技术广泛用于电厂重要辅机设备传动系统的改造,变频驱动以其优良的调速性能,方便的调节手段,较高的电能利用率等优势,在电厂节能降耗技改中得到广泛深入的应用,取得显著的经济效益。除应用变频驱动改造以外,运用汽动旋转设备取代定速电机的有益探索正在进行积极地探索和尝试,也将成为一项节能降耗控制技术。

7 结束语

在发电厂节能降耗过程中,自动化控制系统必将发挥更显著的作用。发电厂通过先进的自动化控制技术的有效运用也可以达到高效节能的目的。在自动化系统及仪表使用正常的条件下,先进控制策略的应用将收到较好的节能降耗的效果。先进可靠的软测量技术、智能控制技术、多变量智能解耦控制技术的研究已成为发电厂节能降耗的手段之一,也将得到越来越广泛的应用。

参考文献:

[1] 尹峰.火电行业自动化的技术需求和发展预见[R]. 绍兴:
热控系统典型故障应急处理预案与可靠性评估技术导
则宣贯会, 2012.

E-mail: gamnj@tom.com;

顾兴俊(1970—), 男, 江苏海安人, 高级工程师, 长期从
事火电厂环境保护技术监督及污染物减排技术研究,

E-mail: ft6902@163.com。

作者简介:

高爱民(1969—), 男, 江苏宝应人, 高级工程师, 长期从
事发电厂热控自动化控制系统调试与技术监督工作,