

锅炉燃烧调整对集控运行效率的影响研究

黄耀

国投钦州发电有限公司，广西壮族自治区钦州市，535000；

摘要：锅炉燃烧调节对火力发电厂集控运行效率的影响不容忽视，本文在 1000MW 热电联产超超临界机组实际运行中，通过分析锅炉燃烧调整的技术要点及其对集控系统运行效率的影响机制。通过研究发现，科学的燃烧调整能大大提高机组运行的安全性，降低锅炉发生爆燃的风险；从经济的角度看，可以使锅炉效率提高 0.8%-2.5%，供电煤耗降低 2-6g/kWh，供热煤耗也能得到相应的改善；环保方面可以实现 NOX 排放浓度控制在 180mg/m³ 以下。文章从大容量热电联产机组的运行特点出发，提出了燃料调控、配风优化、燃烧器调整、智能监控等一系列系统化的策略，并对智能控制、多目标优化等新技术在锅炉燃烧调控中的应用前景进行了展望，为类似机组的安全、经济、环保运行提供了参考。

关键词：锅炉燃烧调整；热电联产；运行安全；经济性分析；智能控制

DOI：10.69979/3041-0673.26.02.044

伴随着能源结构转型以及环保要求日益严格，在此状况下火力发电厂特别是大容量热电联产机组需面对既要提高运行效率又要减少排放物两大方面问题。国家发改委、能源局最近印发的《全国煤电“三改联动”典型案例及技术指南》里面提出要着重开展热电联产机组节能降碳改造和灵活性改造工作。锅炉作为热电联产机组的能量转换设备，燃烧调整的好坏直接影响到该发电机组供热供电综合能力。本文结合国投钦州发电有限公司 1000MWW 超超临界机组实际情况，探讨锅炉燃烧调整如何帮助提高集控运行效率，并提出相应的调整思路，希望能够为同类热电联产机组的安、稳、经济、环保运行积累一些实践经验。

1 锅炉燃烧调整理论基础

1.1 基本概念与目标体系

锅炉燃烧调整就是按照机组负荷和供热需求，对入炉燃料量，配风参数，燃烧工况等展开动态调节，从而做到燃料在炉内充分，稳定，高效地燃烧。其目标体系涵盖安全、经济、环保、稳定这四个方面：锅炉不爆燃，不灭火；提高锅炉的热效率；控制污染物的排放量；维持主蒸汽参数的稳定^[1]。对热电联产机组而言，还要统筹供热和发电的负荷匹配，做到综合能效最优。

1.2 调整内容与技术要点

要对燃料加以调节，依照煤质特性与供热或者发电的负荷状况来定给煤量，煤粉细度这些参数，供暖期间首先要保证热负荷稳定才行。对配风进行调整，使其保

持过量空气系数 1.15-1.25 左右，从而可以实现完全燃烧减少排烟损失。燃烧器调整包括角度、旋流强度等参数优化，提高火焰充满度及稳定性。对于热电联产机组需要重点考虑在热电解耦时的风煤配比优化，提升低负荷稳燃能力。关键技术参数煤粉细度 R90 在 18%-22%，一次风率 18%-28%，二次风配比根据供热负荷动态调整。

2 燃烧调整对集控运行影响机制的研究

2.1 安全性影响分析

科学的燃烧调整能够有效提升机组的安全性，炉膛负压应控制在 -50~-100Pa 范围内，避免出现正压或负压过大的情况造成爆燃。合理控制风煤比，防止受热面超温，屏过、高再管壁温度 $\leq 600^{\circ}\text{C}$ 、 $\leq 620^{\circ}\text{C}$ ^[2]。经由实践表明，把烟气含氧量稳定在 2.0%-4.5% 之间时，可以做到完全燃烧并控制好高温腐蚀现象。某厂 1000MW 机组做燃烧优化之后，锅炉的灭火次数减少了 80% 以上，设备可靠性提高。

2.2 经济性影响评估

燃烧调整对经济性影响主要是锅炉效率提高，热损失下降。改善燃烧可使锅炉效率提高 0.8%-2.5%，相应地供电煤耗下降 2-6g/kWh。排烟温度 130 - 140℃，可降低排烟损失 0.3% - 0.8%。飞灰含碳量 $\leq 4.5\%$ ，炉渣含碳量 $\leq 2.5\%$ 。机组实施系统优化后供热标准煤耗率同步降低 0.8-1.5kg/GJ。按 1000MW 机组年运行 5500 小时、供热 120 万 GJ，年节约标煤约 3500 吨。

2.3 运行稳定性作用

稳定的燃烧状态是机组安全经济运行的保证,通过对燃料及风量的准确调节,以提高机组负荷适应性。经验证明,做好燃烧调整可使非计划停运次数减少 25%以上,并能延长设备的使用寿命。热电联产模式下燃烧调整要符合热、电负荷的快速改变,提升机组调峰调频能力。

3 提升集控运行效率的系统优化策略研究

3.1 燃料供应系统的精细化控制管理

3.1.1 燃料质量全程监控体系的构建

在燃料管理环节,要形成从进场到进炉的全程质量把控体系,经由安装在线煤质分析设备,随时检测入炉煤的热值,水分,灰分等重要数据,从而给燃烧调整给予精确的信息依据^[3]。尤其是重载供热时更要加强对燃料质量监控频次,保证热负荷稳定供应。经实际证明,只要把煤质热值波动控制在 300kJ/kg 以内,锅炉燃烧稳定性就可以提高 25%以上。

3.1.2 精准配煤及给料控制技术

按照机组负荷需求和环保要求来制定合理的配煤方案,针对热电联产机组来说,在供热期间要优先保障供热的稳定,可以适当提升高热值煤种所占比例。采用变频调速技术,使给煤机出力波动控制在 $\pm 1.5\%$ 以内,调整中速磨煤机运行参数,保证均匀性指数在 1.1-1.25 之间,使煤粉细度满足燃煤要求。

3.1.3 燃料特性数据库的构建与应用研究

建立完善的燃料特性数据库,记载各种煤种的燃烧特性曲线以及优化运行数据,在供热期间高负荷工况下可为值班人员快速、精准地调节提供参考。如在烧高水分煤种,系统则会自动提示增加一次风温建议以防止燃烧不稳定情况发生。

3.2 配风系统的智能化调控

3.2.1 风量精确计量与控制系统的优化升级

采用智能风量控制、高精度氧化锆氧量计,对烟气含氧量进行实时精准检测,自动调节送风机转速及风门开度,使过量空气系数保持在 1.15-1.25 最佳范围^[4]。某 1000MW 机组表明,采用智能风控系统之后,锅炉效率提高大约是 0.8%,排烟损失下降了 0.3%。

3.2.2 风煤配比的协同优化方案

建立风煤交叉限制逻辑保护,保证任何时候风量都要大于煤量,防止出现风煤配比失调。低负荷及供热工况下,采用分层配风,通过调节各层二次风门开度(30%-60%)改善炉内空气动力场。定期进行风量标定、

调平试验,使大风箱差压控制在 200Pa~300Pa 之间,保证各燃烧器配风均匀。

3.2.3 特殊工况下配风优化策略

热电联产机组的热电解耦工况需要制定特殊配风策略。当机组进行深度调峰时,改变二次风配比、调整氧量设定值,在低负荷工况下保持燃烧稳定。供热期高负荷运行的时候,稍稍加大二次风量,防止出现局部高温区,掌控 NO_x 的形成。

3.3 燃烧器系统的运行优化

3.3.1 燃烧模式的选择与调整策略

根据负荷变化采用不同燃烧模式。低负荷时段采取集中燃烧方式,降低投运燃烧器数量,提升单只燃烧器热负荷,加强火焰稳定性。对于高负荷段使用均等配燃式,合理分配各燃烧器煤量,不造成局部超温,在实践上提高锅炉效率可达 1.2%~1.8%。

3.3.2 燃烧器维护及参数优化研究

要定时查看燃烧器旋流片的角度以及磨损情况,维持气流分布均匀,经由热态调整试验找出最好的二次风比例(45%-65%),来改善旋流强度的设定情况。某 1000MW 机组通过燃烧器改造,NO_x 排放浓度降低到 170mg/m³ 以下,飞灰含碳量减少 0.6 个百分点。

3.3.3 低负荷稳燃技术的应用研究

针对热电联产机组调峰的需求,应用等离子稳燃以提升低负荷工况时的燃烧稳定性。通过对燃烧器结构的改造,使机组最低稳燃负荷由原来的 45%降到 35%,极大提高了机组的调峰能力^[5]。

3.4 智能化监控与调整系统

3.4.1 多层次监控平台的构建

构建集 DCS、把 SIS 以及专家系统融合在一起的智能监控平台,做到对燃烧参数全方位监测,它有智能诊断的功能,可以自动察觉燃烧出现异常,并且给出相应的调整意见。通过对大数据的分析,建立不同的工况下优化运行模型,为运行人员提供决策支持。

3.4.2 热电协同优化策略研究与开发

根据热电联产机组特点,探索供热-发电工协同优化策略,利用热电解耦模型,实现供热与发电的协调调度,在提高机组总体效率的同时实现供热。保证供热的前提下,尽量提高机组的经济性。

3.4.3 运行人员培训与经验传递

加强对运行人员的专业技能培训,提升判断处置复杂工况的能力,建立“师带徒”机制以实现经验传授。

定期举行燃烧调整赛事和案例分析,优化全体成员的专业水平,创建完善的参数档案管理系统,记录下以往的运行数据与改良经验,给以后的改进工作给予借鉴依据。

3.4.4 建立持续优化机制

制定季度燃烧调整试验计划,定期对锅炉做性能检测并进行调整改进,形成指标考核体系,并将燃烧效果和运行人员的绩效考核挂钩。持续改进,提升机组运行水平。

4 创新技术应用展望

4.1 智能控制技术应用

依托大数据及机器学习的燃烧改善系统可以做到运行参数自行寻优,改良调节精确度和响应速率。预测控制技术可提前识别供热发电负荷变化趋势,实现燃烧工况预调,数字孪生技术构建高精度虚拟锅炉,为燃烧调整提供仿真实验场。实践证明智能控制系统可提高锅炉效率 1.2%以上、缩短调节时间 25%以及适应煤质变化。

4.2 多目标优化技术

采用多目标优化算法,对安全、经济、环保等指标进行统筹,以达到综合性能最优的效果,利用自适应控制技术根据燃料特性和负荷变化来改变系统的工作模式。新能源占比上升时,锅炉要更灵活、宽负荷范围调节,以后会混合模糊控制,神经网络之类算法,在复杂工况下适应能力得到加强。

4.3 先进测量技术应用

可调谐激光吸收光谱技术可以对炉内的温度场和组分浓度实施实时监测,从而能够为燃烧调整提供准确依据。高速摄像、图像处理技术可对火焰形态进行分析,评价燃烧稳定性。光纤传感技术可监测受热面温度分布,为调整热负荷提供依据。这些技术会使燃烧调控从经验型朝着科学化,可视化方向迈进。

5 实践案例分析

5.1 1000MW 超超临界热电联产机组燃烧优化研究

某 1000MW 机组供热期存在效率低、NO_x 排放高的问题。优化制粉系统,将煤粉细度 R₉₀ 从 25%降至 18%,在配风系统中增设高精度氧量测点,精度控制到 ±0.2%,采用分层+分段配风技术,改善二次风配比^[6]。同步改造燃烧器、采用低氮燃烧并调节旋流强度实现分级燃烧,在此之后锅炉效率提高 2.1%、供电煤耗减少

4.8g/kWh、供热煤耗削减了 1.2kg/GJ,一年大概可节省 4200 吨标煤左右。NO_x 排放浓度由 320mg/m³ 降到 165mg/m³ 以下,年减排氮氧化物约 250 吨。

5.2 1000MW 机组低负荷供热稳燃优化研究

为解决电网调峰与供热的矛盾,对 1000MW 机组进行低负荷燃烧,采用等离子稳燃装置,优化燃烧器结构,提高煤粉气流着火能力。利用分段配风结合提升一次风温的方法使最低稳燃负荷由 45%下降到 35%,设置炉膛温度检测点 16 个,可实时掌握燃烧情况。优化后机组在 35%负荷下稳定运行,锅炉效率提升 1.4%,供热调节能力增强,年参与深度调峰时长增加约 600 小时,调峰收益大幅提高。

6 结束语

锅炉燃烧调整是热电联产机组集控运行效率提升的重要环节,燃料的优化搭配、配风的精准控制、燃烧器的调节和智能监控等一整套系统化的手段能够有效改善其安全程度以及经济性与环保性。未来随着智能控制、多目标优化等相关技术的不断深化应用,锅炉燃烧调整将会更加精确、高效、协同,并能为热电联产机组实现清洁灵活高效运行提供重要支撑。

参考文献

- [1] 马楠,由聪.火力发电厂锅炉燃烧优化技术的研究探讨[J].电站系统工程,2017,33(02):37-38.
- [2] 杨希刚,陈国庆,黄林滨,等.尿素法 SNCR 对大型电站煤粉锅炉运行影响的工业试验[J].化工进展,2022,41(07):3573-3581.
- [3] 王永凯.适应深度调峰的锅炉低负荷稳燃智能控制技术的研究[D].华北电力大学(北京),2024.
- [4] 郭宝群,岳嘉豪,丛茂展,等.600MW 超临界低热值褐煤八角切圆锅炉低负荷稳燃技术[J/OL].发电技术,1-9[2025-10-13].
- [5] 张宁,陈伟,刘角星,等.1000MW 燃煤锅炉掺烧印尼煤燃烧优化调整及成果[J].安徽电气工程职业技术学院学报,2025,30(02):67-74.
- [6] 陈辉,黄林滨,李朝兵,等.二次再热锅炉 30%负荷下燃烧优化调整研究[J].电力科技与环保,2023,39(02):129-137.

作者简介:黄耀(1992.05-),男,汉族,广西钦州人,本科,工程师,研究方向:火电厂集控运行。