

深度调峰工况下电力锅炉燃烧稳定性分析及优化

李俊杰

(辽宁大唐国际新能源有限公司锦州热电分公司, 辽宁 锦州 121000)

摘要 为了提高深度调峰工况下电力锅炉的运行效率与安全性, 本文从电力锅炉深度调峰概述出发, 深入分析了该工况对锅炉燃烧稳定性的影响。通过对燃烧过程中燃料特性、炉内动力场、燃烧器工作状态等多方面因素的研究, 剖析了导致燃烧不稳定的关键问题。在此基础上, 提出了一系列针对性的优化策略, 如调整燃料供给方式、优化燃烧器运行参数、改进燃烧器结构等。通过这些优化措施能有效增强锅炉燃烧稳定性, 降低能耗, 提升发电质量, 为电力企业在深度调峰工况下的稳定运行提供参考。

关键词 深度调峰; 电力锅炉; 炉内动力场; 热工控制系统

中图分类号: TK22

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.36.023

0 引言

随着电力系统峰谷差的不断加大, 深度调峰已成为电力锅炉的一种运行工况。在深度调峰的工况下, 锅炉的运行工况、燃烧工况与燃烧稳定性受到较大影响, 燃烧不稳定现象将导致锅炉效率下降、耗能增加, 并引发一系列的安全问题, 影响电力企业的稳定供电^[1]。深入地开展深度调峰工况下电力锅炉燃烧稳定性的研究具有重要的现实意义。

1 电力锅炉深度调峰概述

电力锅炉深度调峰是指电力系统运行需要配合电网负荷的较大变化而要求锅炉安全、稳定、经济在低于正常的稳定运行负荷下能够运行的手段。电力锅炉深度调峰的基本原理包括了燃烧调整、汽水系统控制等方面。在燃烧调整方面, 应该准确控制燃料供给量、燃烧速度, 当锅炉处于深度调峰的状态时, 其燃料量减少很大, 就需要优化燃烧器配风方式, 使燃料能够稳定、充分地燃烧, 如采用分级配风手段, 合理搭配一次风和二次风, 既可确保煤粉的着火稳定, 又可提升燃烧效率^[2]。

汽水系统的控制即控制锅炉在低负荷运行时, 由于蒸发量降低、汽水循环特性变化, 将无法避免水循环故障的发生, 此时需要精准调给水流量和水位。可以利用先进的水位控制系统实时测控水位的变化, 利用负荷波的出现及时改变给水泵的转速, 将水位调整到安全范围内。

此外, 深度调峰对锅炉装置的功能方面也提高了需求。长期以来的深度低负荷运行极易造成受热面磨损和结焦等缺陷, 需要对锅炉受热面专门设计, 如受热面采用耐磨型材进行制造, 或者采用吹灰设备进行受热面上的结焦、积灰等处理, 确保锅炉受热面积灰结焦等问题不发生。

2 深度调峰工况下电力锅炉燃烧稳定性分析

2.1 燃料特征稳定性

在电力锅炉燃烧时, 不同的燃料在电力锅炉燃烧期间具有挥发分、固定碳、水分以及灰分等特性, 这些特性都将对深度调峰期间电力锅炉的燃烧状态起到关键性的作用。

挥发分含量高的燃料可以在较低温度条件下挥发析出并快速燃烧, 为燃烧提供起始热, 有利于炉膛燃烧的稳定性。但深度调峰时, 锅炉负荷低, 炉内温度降低, 挥发分的析出与燃烧速率将受到影响, 若挥发分未能及时充分燃烧, 将导致燃烧火不稳甚至熄灭现象。

固定碳是燃料燃烧的主要热源, 但它的着火温度较高, 燃烧速度相对较慢。在深度调峰工况下, 由于炉内温度降低, 固定碳的着火和燃烧变得更加困难。此时, 需要合理调整燃烧器的配风方式和煤粉细度, 以提高固定碳的燃烧效率, 保证燃烧的稳定性^[3]。

水分、灰分的存在会降低燃料发热量, 增加排烟热损失, 在深调峰过程中水的蒸发带走大量热量, 降低炉内温度, 不利于燃料着火燃烧。而灰分容易在受

热面上沉积，降低受热面传热效果，不利于着火燃烧。故选用燃料时应尽可能减少水分和灰分含量。

此外，煤粉细度也会影响煤粉的燃烧稳定性。煤粉过粗，则煤粉在炉内的停留时间少，不能充分燃烧；煤粉过细，则煤粉容易被气流带走，增加飞灰含碳量。在深度调峰工况下，根据锅炉实际运行情况，要对锅炉煤粉细度进行调整，以便于燃料充分、稳定燃烧。

2.2 炉内动力场稳定性

炉内动力场是指炉内气流的运动状态，其影响着炉内燃料燃烧和换热，深度调峰工况炉内动力场稳定状况直接影响着燃烧和锅炉效率。

随着锅炉负荷的减少，会使炉内的气流速度减小，容易导致炉内的气流偏斜不均匀，气流分布不均会造成燃烧器区域分布的燃料与炉内燃料分布不均，使得炉内有的区域燃料过浓或者过稀，易造成锅炉燃烧不稳定，对保证炉内动力场稳定会造成不利的影响。应该合理设计炉膛结构、燃烧器布置形式，使炉膛内燃烧器区域内气流分布均匀。

同时，炉内二次风对炉内动力场有重要的影响。二次风为燃烧提供燃料燃烧时需要的氧气，调整炉内气流方向和速度。深度调峰工况时应根据锅炉实际运行情况调整二次风风量和风速，保证炉内动力场稳定。

炉内温度分布。深度调峰时炉内的冷却会导致气流密度、粘度的变化，进而引起气流状态的改变，此时应当调整燃烧器运行参数及配风方式，实现炉内温场分布的合理性，以减小温差对炉内动力场产生的影响。

2.3 热工控制系统稳定性

热工控制系统是电力锅炉安全、稳定运行的重要保证。热工控制系统在深度调峰工况下能否平稳工作，直接影响锅炉的燃烧稳定性与工作性能。热工控制系统主要是由燃料控制系统、风量控制系统、水位控制系统组成。在深度调峰过程中，热工控制系统能够及时、正确地根据锅炉负荷的变动，来改变锅炉燃烧所需的燃料量、风量以及水位的高低，以实现锅炉稳定运行。

燃料控制系统主要工作是跟随锅炉负荷需求来精确调节燃料供给量。在深度调峰工况下，燃料控制的燃烧过程有较大幅度的锅炉负荷变化，燃料控制系统在工况变化时需要有较快的响应和精控调节能力，采取先进的控制算法与传感器技术来精确控制燃烧过程的燃料供应量。

风量控制系统负责控制风的进气流量。适宜的风量控制能够使燃料与风充分混合，保证燃烧效果。在深度调峰中，风量控制系统必须结合燃料特点及锅炉

运行状态自动调节风量以实现稳定及经济的燃烧。

在深度调峰状态下，由于锅炉负荷的变化，使水位发生变化，水位控制系统必须及时、准确地进行控制，给水量自动调节，保持水位在正常范围内，不能形成缺水或满水事故。并且在热工控制系统中需要设置故障诊断及保护功能。当热工控制部分出现故障时，能及时发出报警信号，并进行保护操作，保证锅炉安全运行。

3 深度调峰工况下电力锅炉燃烧稳定性优化策略

3.1 调整燃料供给方式

在深度调峰工况下，电力锅炉燃烧稳定性可以采用分仓配煤的方式进行燃料供给，如图1所示。分仓配煤通过建立完善的数据库，收集不同种类煤炭的各项特性数据，如挥发分、固定碳、水分、灰分、颗粒度等。依据深度调峰工况下锅炉的实际运行需求，确定入炉煤掺配指标，明确不同特性煤炭的比例范围。

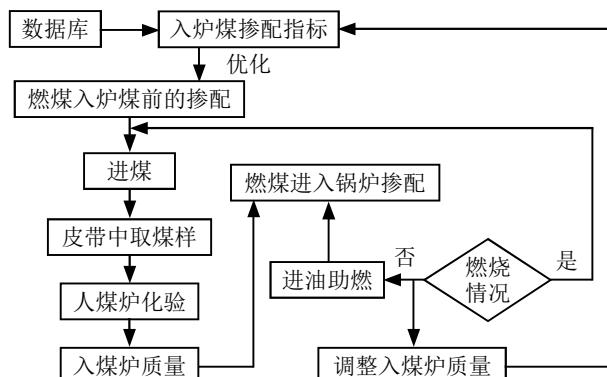


图1 电力锅炉燃烧分仓配煤流程

在燃煤入炉前进行掺配，利用专业的掺配设备将不同的煤炭按照既定指标均匀混合。进煤环节需要在皮带中取煤样、入煤炉化验、入煤炉质量分析，确保进入锅炉的煤炭质量符合掺配要求。当混合后的燃煤进入锅炉后，再次进行掺配，使燃料在炉内分布更加均匀^[4]。

在燃烧工况中，现场巡检控制燃烧工况，燃烧不稳定（如火焰闪动、炉温偏离等）时可以进行进油助燃操作，提高炉温，确保燃料着火燃烧，同时根据燃烧工况及时调整入炉煤品质，如掺配比例进行优化调整、煤粉粒度调整等。

除分仓配煤之外，还需考虑采用分层给煤，分层给煤可以使燃料在炉排上形成一个分层状态，让空气均匀地与燃料层接触，提高燃烧的效率。分层给煤时，严格控制煤层的厚度及均匀度，根据深度调峰时的负荷变化进行相应的调整。

此外，还可以结合智能控制装置，采用先进的传

感器对锅炉各种运行参数进行实时检测，比如炉内的温度、压力、氧量等，运用大数据及智能算法对上述运行参数自动进行调整（如调整供煤量、进风量等），对燃尽状况进行实时监控，进一步提高深度调峰工况下的电力锅炉燃烧的稳定性及经济性。

3.2 优化燃烧器运行参数

为了实现深度调峰工况下煤粉锅炉的稳定燃烧，在运行过程中，可以通过优化燃烧器的一次风、二次风、旋流强度、负荷分配等运行参数，促进稳定燃烧。一次风的主要作用是送风，为煤粉在炉内着火提供所需的氧气。因此，根据深度调峰运行工况的要求，应保证一次风的风速、风量较低。由于其一次风的风速较小，就可增加煤粉在炉内的滞留时间，有利于煤的充分燃烧；同时，降低了对火焰的冷却作用，维持炉内温度，但需要保证一次风煤粉混合物的煤粉浓度均匀，可通过磨煤机运行参数及煤粉分配器进行调整^[5]。二次风主要为燃料的燃烧提供补充氧气和对炉内气流流动方向及风速的调整，在调峰深度运行时要根据锅炉运行实际情况科学调整二次风的风量与风速。锅炉负荷降低时将二次风风量降低，但要注意维持足够的氧量供给，进而使得燃烧的稳定性得到维持，其次需做好二次风的旋流强度优化，提升二次风与一次风煤粉的混合效果，增加燃烧效率。

在旋流强度方面，适当加强旋流强度有助于煤粉与空气的掺混，形成回流区稳定燃烧，对煤粉的着火、燃尽有利，但过大的旋流强度会引起火焰中心上移、炉膛出口温度升高，加大过热器超温风险，因此在深度调峰工况中要视锅炉的具体情况合理调整旋流强度。

在负荷分配方面，要根据不同燃烧器的相对位置和特性情况，实现负荷分配，设置靠近炉膛中心的燃烧器负荷略大一些，设置炉膛边缘的燃烧器负荷略小一些，确保炉内温度场的均匀性，避免单一的燃烧器超负荷或欠负荷现象，确保稳定燃烧。

3.3 改进炉膛结构设计

合理的炉膛结构有利于优化炉内气流分布，强化燃料与空气的混合程度，提高深度调峰工况下电力锅炉的燃烧效率和稳定性。因此，可以对炉膛形状和尺寸进行适当优化。提高炉膛的高度和深度，可增加燃料在炉内的停留时间，使燃料得到更多的燃烧反应时间，减少未燃尽的燃料排出。同时，对炉膛截面形状进行优化，例如：在炉膛截面形状上，采用圆形或椭圆形等，可以实现气流在对称性和均匀性上的良好体

现，可实现炉内气流充分对称，有效避免局部高温、低温区域形成，切实实现燃烧过程的稳定性。

采用分层、分区分投燃烧器的布置方式，在深度调峰低负荷不同工况下，合理选择燃烧器数量与位置。在低负荷时只需投入部分燃烧器，并合理分配其负荷，让燃料集中在炉膛一定区域燃烧，可以确保较高的炉温，有利于维持燃烧的稳定性。同时合理调整燃烧器角度、方向等，以便燃料更准确地喷射到炉内的合适位置，从而增加燃料与空气的混合程度。

设定合理的二次风喷口。二次风喷口的位置、形状及数量对炉内动力场及燃烧有决定性的影响。在炉膛合适的部位布置二次风喷口可以适时地为燃料燃烧补充足够的空气，调节炉内气流运动的方向及速度。可以通过二次风喷口的优化设计，如可变的喷口结构来根据不同的工况进行二次风喷射方向及喷射速度的调节，从而保障炉内动力场良好的稳定性及燃烧效率。

4 结束语

针对深度调峰工况，电力锅炉燃烧稳定性主要受到锅炉燃料的特性、锅炉燃烧室的内动力场、锅炉的热工控制系统以及燃烧系统等多个因素的影响。为了保证电力锅炉的燃烧稳定性，可以通过改变锅炉的燃料类型，变单一供煤为分仓配煤、分层给煤和分层配煤并辅以智能控制，以此调节锅炉燃烧的稳定性，使锅炉拥有更稳定的燃烧程度。同时，也可以在燃烧器的运行过程中改变运行参数，合理更改参数，如一次风、二次风等。此外，还可以在实际运行中调节和改变锅炉炉膛结构，改变其形状尺寸、炉膛燃烧器布局、二次风喷口的位置等。在实际运行时，应综合考虑多个方面的原因，根据电力锅炉的类型和特点有针对性地选择相应措施。

参考文献：

- [1] 冷林诺,程星星,杨晓勤,等.锅炉燃烧稳定性判别方法研究分析 [J].洁净煤技术,2025,31(S1):323-330.
- [2] 田欢,郭艳平,王鹏,等.深度调峰背景下富氧燃烧对锅炉稳燃性能试验研究 [J].节能,2024,43(05):118-121.
- [3] 罗聪.深度调峰工况下锅炉燃烧优化控制 [D].北京:华北电力大学,2020.
- [4] 高兴,王鹏飞,王伟杰,等.电力企业锅炉燃烧智能优化控制策略探讨 [J].仪器仪表用户,2025,32(06):131-133.
- [5] 辛海,杨勇,闫玉麟,等.燃煤炉改烧燃气的炉膛结构改造研究 [J].化工管理,2025(04):141-144.