

电厂锅炉燃烧器改造对炉膛结焦影响的专题研究与分析

丁喜银

内蒙古华电腾格里绿色能源有限公司巴彦浩特发电分公司, 内蒙古阿拉善盟阿拉善左旗, 750300;

摘要: 燃煤锅炉作为能源转换的核心设备, 在工业生产与供热领域应用广泛。然而, 锅炉结焦问题及燃烧器运行状态不佳一直是制约其安全稳定高效运行的关键瓶颈。本文系统分析锅炉结焦对设备安全、热效率及出力的多重危害, 深入探讨燃烧器改造过程中涉及多系统协同的关键注意事项, 详细阐述燃烧器安装的技术要点与质量控制措施, 并结合相关专利技术与工程研究成果, 提出针对性优化建议。研究结果可为燃煤锅炉的安全运行、技术改造及安装施工提供理论支撑与实践指导, 对提升锅炉运行经济性与可靠性具有重要意义。

关键词: 燃煤锅炉; 结焦危害; 燃烧器改造; 安装技术; 安全运行

DOI: 10.64216/3080-1508.25.12.048

引言

在能源结构转型的大背景下, 燃煤锅炉依然承担着重要的能源供给任务, 其运行状态直接关系到生产效率、能源消耗与安全保障。锅炉结焦是燃煤锅炉运行过程中普遍存在的问题, 多由煤质特性、燃烧工况、受热面结构等多种因素共同作用引发; 而燃烧器作为锅炉燃烧系统的核心部件, 其改造质量与安装精度直接影响燃烧效率、污染物排放及设备使用寿命。近年来, 随着超超临界等先进发电技术的推广, 对锅炉运行的安全性与经济性提出了更高要求。因此, 深入研究结焦危害, 优化燃烧器改造与安装技术, 成为保障燃煤锅炉高效稳定运行的重要课题。本文基于工程实践经验与相关研究成果, 对上述问题展开系统探讨, 为行业技术升级提供参考。

1 锅炉结焦的危害分析

1.1 导致受热面损坏

受热面损坏是结焦最直接的危害之一, 其中以水冷壁爆破和过热器爆管最为常见。水冷壁作为锅炉的主要受热面, 直接与炉膛内高温火焰接触, 若管壁表面结焦, 会导致结焦区域与非结焦区域的传热条件产生显著差异。结焦层的导热系数极低, 使得结焦部位管壁无法有效散热, 温度急剧升高, 而未结焦部位则正常吸热, 这种局部受热不均会引发管壁热应力集中, 长期作用下导致管壁材质疲劳, 最终出现裂纹甚至爆破。此外, 炉膛上部的大块焦渣在重力作用下突然脱落, 会对下方水冷壁管造成强烈冲击, 直接砸坏管壁; 在人工打焦过程中, 若操作不当, 也可能因机械撞击导致水冷壁管破损。

过热器的超温爆管与结焦密切相关。炉内结焦后, 炉膛出口烟温会显著升高, 导致过热器入口烟温超标, 同时结焦会造成受热面吸热不均, 引发热偏差。过热器

管的材质耐高温性能有限, 当局部温度超过其设计允许值时, 管壁强度会大幅下降, 在内部蒸汽压力作用下极易发生爆管事故。据统计, 在锅炉受热面损坏事故中, 因结焦引发的占比超过 30%, 严重影响锅炉的连续运行。

1.2 引发锅炉灭火事故

锅炉灭火是结焦导致的重大安全隐患之一, 可能造成炉膛正压爆燃等严重后果。在除焦作业过程中, 若除焦时间过长, 炉膛负压会将大量冷风吸入炉内, 导致炉内温度急剧下降, 破坏燃料的稳定燃烧条件, 最终引发灭火。此外, 炉膛内积聚的大块焦渣若突然脱落, 会瞬间压迫火焰, 导致燃烧空间局部缺氧, 同时焦渣下落过程中会带走大量热量, 使火焰温度低于燃料着火点, 从而将火压灭。锅炉灭火后, 若处理不当, 炉膛内积聚的可燃气体可能在再次点火时发生爆燃, 对锅炉本体及操作人员的安全构成严重威胁。

1.3 降低锅炉热效率

结焦会通过多种途径增加锅炉的热损失, 导致热效率显著下降。当受热面结焦时, 结焦层会形成一层隔热屏障, 阻碍火焰与管壁之间的热量传递, 使得受热面内工质的吸热量减少, 炉内烟温升高, 最终导致排烟温度上升, 排烟热损失大幅增加。相关数据表明, 受热面结焦厚度每增加 1mm, 排烟热损失可增加 0.5%~1%。

1.4 降低锅炉出力

锅炉出力下降是结焦对生产效率的直接影响。一方面, 水冷壁结焦会直接减少受热面的有效传热面积, 降低锅炉的吸热能力, 导致蒸发量不足, 无法满足设计出力要求; 另一方面, 炉内结焦导致烟温升高, 会使过热汽温超过额定值, 为避免过热器超温损坏, 运行人员需

被迫降低锅炉负荷，间接降低锅炉出力。当结焦情况极为严重时，如炉膛出口被大量焦渣堵塞、冷灰斗完全封死，会导致锅炉无法正常通风和排渣，被迫停机清焦，不仅影响生产连续性，还会增加停机损失。某电厂300MW机组曾因炉膛出口结焦导致出力下降至额定值的70%，造成严重的经济损失。

2 燃烧器改造注意事项

2.1 改造前系统现状评估

改造前需对锅炉相关系统进行全面评估，明确改造目标与重点。在输煤系统方面，需分析煤质特性（如灰分、挥发分、发热量）对燃烧的影响，若煤质与原燃烧器设计煤种偏差较大，需针对性调整燃烧器结构参数，避免因煤质不匹配导致结焦和燃烧不完全；在燃烧系统方面，需检测当前燃烧器的燃烧稳定性、火焰形态、热负荷分布等指标，排查燃烧不稳、烟温偏差等问题的根源；在烟风系统方面，需测试炉膛通风阻力、烟气流通特性，确保改造后的燃烧器与烟风系统匹配，避免因通风不足或气流紊乱引发燃烧问题。

同时，需结合锅炉运行历史数据，梳理结焦、超温、灰渣含碳量大等问题的发生规律，明确改造需解决的核心问题，为改造方案设计提供依据。例如，针对四角切圆燃烧锅炉的烟温偏差问题，需通过冷态空气动力场试验，分析切圆直径与气流偏斜程度，为燃烧器改造提供数据支撑。

2.2 设计阶段的关键把控

燃烧器改造设计需兼顾燃烧效率、运行稳定性与防结焦性能。在燃烧器结构设计上，需优化喷口角度、数量及布置方式，确保燃料与空气充分混合，形成稳定的燃烧火焰，避免局部高温导致结焦。对于四角切圆燃烧器，需合理设计喷口水平角度与垂直倾角，控制假想切圆直径，减少气流偏斜引发的烟温偏差和结焦问题。

设计过程中需充分考虑多系统协同性，确保燃烧器改造与输煤系统、烟风系统适配。例如，调整燃烧器喷口尺寸时，需同步优化给煤量调节机制，避免燃料供给与喷口出力不匹配；优化燃烧器配风方式时，需结合烟风系统的通风能力，合理分配一次风、二次风比例，确保燃烧所需空气量充足，同时减少漏风损失。此外，设计方案需预留必要的调节空间，以便后续根据运行情况进行参数优化。

2.3 制造与安装环节的质量控制

燃烧器的制造精度直接影响改造效果，需严格把控

制造质量。在制造过程中，需按照设计图纸要求控制燃烧器喷口的加工精度，确保喷口角度、尺寸偏差符合标准，避免因喷口加工误差导致气流紊乱；加强燃烧器材质量检验，确保高温部位部件选用耐高温、耐腐蚀材质，提高燃烧器使用寿命。

安装环节需重点关注燃烧器的定位精度与密封性能。安装前需清理燃烧器安装区域的杂物与积灰，确保安装面平整；按照安装图纸要求精准定位燃烧器，控制喷口中心标高、水平角度和垂直倾角的偏差在允许范围内，对于四角切圆燃烧器，需保证四个燃烧器喷口的指向一致，确保形成稳定的切圆火焰。同时，加强燃烧器与炉膛的密封处理，避免漏风导致炉内温度下降和燃烧不稳。安装完成后需进行严格的验收测试，包括冷态空气动力场试验、密封性试验等，确保燃烧器安装质量符合要求。

2.4 改造后的燃烧调整

燃烧器改造完成后，需进行系统的燃烧调整，优化运行参数。通过调整给煤量、配风比例、喷口角度等参数，改善燃烧工况，解决改造前存在的结焦、超温、燃烧不稳等问题。例如，针对结焦问题，可适当增大二次风风量，降低炉膛局部温度，抑制灰渣熔融；针对烟温偏差问题，可通过调整单侧燃烧器喷口角度，纠正气流偏斜，均衡炉膛热负荷分布。

燃烧调整过程中需加强运行参数监测，实时跟踪炉膛温度、烟气成分、过热汽温等指标，根据监测数据逐步优化调整方案，确保燃烧器运行在最佳工况。同时，需建立燃烧调整档案，记录不同负荷下的最优运行参数，为锅炉后续运行维护提供参考。

3 燃烧器安装注意事项

3.1 安装前的准备工作

安装前需做好充分的准备工作，确保安装顺利进行。首先，需对燃烧器设备进行开箱检验，核对设备型号、规格、数量是否与设计图纸一致，检查设备外观有无损坏，部件是否齐全，重点检验喷口、调节机构等关键部件的质量；其次，需熟悉安装图纸与技术要求，明确燃烧器的安装位置、定位尺寸及连接方式，制定详细的安装方案与安全措施；最后，需清理安装现场，确保炉膛内部、燃烧器安装接口处无杂物、积灰及障碍物，检查安装用的测量工具（如角度测量仪、水准仪）是否校准合格，为安装精度控制提供保障。

对于四角切圆燃烧器，安装前需通过专业测量工具

(如激光式燃烧器角度测量仪)对安装基准进行校准,确保四个燃烧器的安装基准一致,为后续精准定位奠定基础。

3.2 安装精度的控制措施

燃烧器安装精度直接影响燃烧效果,需从定位、固定等环节进行严格控制。在水平方向定位上,需确保燃烧器喷口中心与炉膛设计中心对齐,四角切圆燃烧器需保证四个喷口的水平角度偏差不超过 $\pm 0.5^\circ$,避免因喷口偏移导致切圆变形,引发气流紊乱和烟温偏差。在垂直方向定位上,需控制燃烧器喷口的标高偏差,确保各喷口在同一水平面上,避免火焰中心偏移导致局部高温结焦。

安装过程中可采用专用测量工具提升精度,如利用多功能锅炉燃烧器角度测量仪监测喷口角度,通过四角切圆燃烧器喷口水平角度测量方法,精准控制喷口指向;对于超超临界锅炉的四角切圆燃烧器,可采用改进的安装及找正方法,结合冷态空气动力场试验数据,调整燃烧器位置,确保切圆直径符合设计要求。固定环节需采用可靠的固定方式,避免燃烧器在运行过程中因振动发生位移,影响燃烧稳定性。

3.3 密封与保温处理

燃烧器与炉膛的密封性能至关重要,密封不严会导致漏风,影响燃烧效率和运行稳定性。安装过程中需在燃烧器与炉膛接口处加装密封垫片,确保接口紧密贴合,无间隙;对于法兰连接部位,需均匀紧固螺栓,避免因螺栓受力不均导致密封失效。安装完成后需进行密封性试验,通过监测炉膛负压变化,检查密封效果,若发现漏风部位,及时进行修补。

同时,需做好燃烧器的保温处理,尤其是喷口及连接管道等高温部位,采用耐高温保温材料进行包裹,减少热量损失,避免局部温度过低导致结露和腐蚀,同时可防止操作人员烫伤,提升设备运行安全性。

3.4 安装后的检验与调试

燃烧器安装完成后,需进行全面的检验与调试,确保安装质量符合运行要求。检验内容包括安装尺寸偏差、密封性能、固定牢固性等,所有指标需符合设计标准和规范要求。调试阶段需进行冷态调试和热态调试,冷态调试主要通过冷态空气动力场试验,观察气流分布、火焰形态模拟情况,排查气流偏斜、回流等问题;热态调试需在锅炉点火后,监测燃烧稳定性、炉膛温度分布、

烟气成分等指标,调整燃烧器运行参数,确保燃烧效率达标,无结焦、超温等问题。

调试过程中需记录相关数据,对比设计指标,对存在的问题及时整改,确保燃烧器安装质量满足锅炉安全高效运行的要求。例如,参考超超临界二次再热机组锅炉冷态空气动力场试验方法,通过测试风速、风压分布,优化燃烧器安装精度,提升燃烧稳定性。

4 结论与建议

4.1 结论

锅炉结焦会引发受热面损坏、锅炉灭火、热效率下降、出力降低等多重危害,严重影响燃煤锅炉的安全稳定运行和经济性;燃烧器改造需从系统评估、设计、制造、安装全流程把控,解决结焦、超温、燃烧不稳等问题;燃烧器安装精度、密封性能及调试质量直接决定其运行效果,需采用专业测量工具和科学方法,确保安装质量符合要求。

4.2 建议

为进一步提升锅炉运行性能,针对结焦防控与燃烧器改造安装,提出以下建议:一是加强煤质管理,优化配煤方案,减少易结焦煤种的使用,从源头降低结焦风险;二是在燃烧器改造设计中,引入数值模拟技术,精准优化燃烧器结构与运行参数,提升改造方案的科学性;三是推广应用先进的安装测量技术,如激光测量、智能定位等,提高燃烧器安装精度;四是建立锅炉运行状态在线监测系统,实时跟踪结焦情况与燃烧器运行参数,实现预测性维护,减少故障停机时间。

参考文献

- [1] 李军喜.超超临界锅炉四角切圆燃烧器安装及找正方法改进[J].热力发电,2019,48(5):112-117.
- [2] 白昊.四角切圆锅炉冷态空气动力场试验研究[J].中国电力,2020,53(8):156-162.
- [3] 王亚欧.超超临界二次再热机组锅炉冷态空气动力场试验浅析[J].热能动力工程,2021,36(2):89-94.
- [4] 多功能锅炉燃烧器角度测量仪:中国,CN200620082517[P].2007-05-23.
- [5] 激光式燃烧器角度测量仪:中国,CN201620323116[P].2016-11-16..

作者简介:丁喜银(1987.11—),男,蒙古族,工程师,本科,学士,电力生产。