

通过材质升级与结构优化提升 660MW 锅炉 末级过热器安全性与经济性

翟云飞

马鞍山当涂发电有限公司 安徽马鞍山 243000

DOI: 10.12238/ems.v7i2.11679

[摘要] 本文深入探讨了马鞍山当涂发电有限公司 2×660MW 超临界机组中 1 号机组末级过热器存在的复杂问题, 包括氧化皮脱落、金相组织老化、爆管隐患以及降参数运行的经济性损失。针对这些问题, 本文提出了一套详尽的改造方案, 包括受热面管屏与进口集箱的材质升级、异种钢焊口的特殊处理以及管屏的整体更换与安装要求。改造后的效果分析显示, 这一方案不仅显著提升了锅炉的安全性, 还带来了经济性的改善、运行参数的优化以及环保效益的提升。

[关键词] 末级过热器; 氧化皮脱落; 金相组织老化; 爆管隐患

引言

在电力行业中超临界机组的高效与安全运行至关重要。从氧化皮脱落至金相组织老化, 再到潜在的爆管隐患, 这些问题不仅威胁着锅炉的安全运行, 还对企业的经济效益和环保形象造成了严重影响。本文旨在深入剖析这些问题并提出一套切实可行的改造方案, 以期为同类机组的优化改造提供有益的参考。

一、工程背景

(一) 末级过热器存在的主要问题

马鞍山当涂发电有限公司 1 号机组 660MW 超临界锅炉的末级过热器目前面临着严重的问题。该末级过热器采用的管材包括 TP347、T91 和 T23, 这些管材在长期高温高压的运行环境下, 表面形成了较厚的氧化皮层, 增加了脱落的风险。一旦氧化皮脱落不仅会堵塞管道, 影响锅炉的正常运行, 还会对锅炉设备造成严重的磨损和损坏。末级过热器的金相组织也出现了严重的老化现象。T91 管材的金相组织老化达到了 4 级, T23 管材的老化更是达到了 4-5 级, 而 TP347H 管材也出现了 2-3 级的老化, 晶粒度也达到了 5-6 级。这种金相组织的老化现象导致了管材的力学性能和热性能大幅下降, 使得末级过热器在运行过程中更容易出现裂纹、变形等安全隐患^[1]。

(二) 氧化皮脱落及金相组织老化现象

氧化皮脱落是末级过热器面临的一个严重问题。在高温高压的环境下, 管材表面容易形成一层致密的氧化皮。随着时间的推移和运行条件的恶化, 这层氧化皮会逐渐增厚并出现脱落的现象。氧化皮的脱落不仅会导致管道堵塞和磨损, 还对锅炉的热效率产生负面影响。金相组织的老化也是末级过热器面临的一个严峻挑战。金相组织的老化会导致管材的力学性能和热性能大幅下降, 使得管材更容易出现裂纹、变形等安全隐患。这种老化现象不仅影响了末级过热器的使用寿命, 也对锅炉的整体安全性构成了威胁。

(三) 爆管隐患及降参数运行的影响

末级过热器的爆管隐患是锅炉安全运行的一大威胁。由于管材氧化皮较厚、金相组织老化严重等问题, 末级过热器

在运行过程中存在爆管的风险。一旦爆管发生不仅会导致锅炉停机检修, 影响发电效率, 还会造成人员伤亡和设备损坏等严重后果。为了降低爆管风险, 当涂公司采取了降参数运行的方式。这种运行方式虽然在一定程度上减小了爆管的风险, 但也带来了显著的经济损失。降参数运行会导致锅炉的热效率降低, 发电效率下降, 同时还会增加燃料消耗和维修成本。据统计采用降参数运行后, 锅炉的发电效率降低了约 3%, 燃料消耗增加了约 5%, 维修成本也显著上升^[2]。降参数运行并不能完全消除爆管的隐患。由于管材的氧化皮脱落和金相组织老化现象仍在持续进行, 爆管的风险仍然存在。

二、改造方案

(一) 受热面管屏材质升级方案

受热面管屏是末级过热器核心部件, 其材质的选择直接关系到锅炉的安全运行和经济效益。针对当前存在的管材氧化皮较厚、金相组织老化等问题, 本次改造将对受热面管屏进行整体材质升级。

1. 材质选择

前段管屏: 考虑到前段管屏承受较高的温度和压力且需要良好的抗氧化性和抗蠕变性, 因此选用 SA213-S304H SB 材料。该材料具有较高的强度和韧性, 同时具有良好的耐腐蚀性和抗氧化性, 能够满足前段管屏的运行要求。后段管屏: 后段管屏的温度和压力相对较低, 但仍然需要承受一定的负荷。为了降低成本并保证性能, 选用 SA213-T91 材料。该材料具有较高的强度和抗蠕变性, 同时具有较好的经济性, 适用于后段管屏。

2. 材质升级方案实施

拆除旧管屏: 在停机检修期间, 首先将旧管屏进行拆除, 确保拆除过程中不损伤周围部件。新管屏安装: 根据设计要求将新管屏进行精确安装。在安装过程中, 需确保管屏与过渡段之间的连接紧密可靠, 避免漏风或漏水现象的发生。焊接与检验: 新管屏与周围部件的焊接需采用高质量的焊接技术, 确保焊缝的强度和密封性。焊接完成后, 需进行严格的检验和测试, 确保焊接质量符合相关标准。

受热面管屏材质升级方案如表 1 所示:

表 1 受热面管屏材质升级方案

部件名称	旧材质	新材质	升级原因
前段管屏	TP347、T91	SA213-S304H SB	提高抗氧化性和抗蠕变性, 降低氧化皮脱落风险
后段管屏	T23	SA213-T91	提高强度和抗蠕变性, 降低成本, 满足运行要求

(二) 进口集箱材质与结构优化方案

进口集箱是末级过热器的重要组成部分, 其材质和结构的选择对锅炉的安全运行至关重要。针对当前存在的管接头根部及对接焊口处产生裂纹的风险, 本次改造将对进口集箱进行整体材质升级和结构优化。

1. 材质选择

集箱本体: 选用 P91 材料。该材料具有较高的强度和抗蠕变性, 同时具有良好的耐腐蚀性, 能够满足集箱的运行要求。连接散管: 同样选用 T91 材料, 确保与集箱本体的材质

2. 结构优化方案

去除旧集箱: 在停机检修期间, 将旧集箱进行拆除, 确保拆除过程中不损伤周围部件。新集箱安装: 根据设计要求, 将新集箱进行精确安装。在安装过程中需确保集箱与周围部件的连接紧密可靠, 避免漏风或漏水现象的发生^[3]。管接头优化: 优化管接头的结构设计, 避免应力集中和裂纹的产生。采用高质量的焊接技术, 确保焊缝的强度和密封性。

进口集箱材质与结构优化方案如表 2 所示:

表 2 进口集箱材质与结构优化方案

部件名称	旧材质组合	新材质组合	优化原因
集箱本体	SA335-P91+SA213-T23	P91+T91	避免异种钢焊接带来的裂纹风险, 提高集箱的强度和耐腐蚀性
连接散管	T23	T91	与集箱本体材质一致, 确保整体性能的稳定性和可靠性

(三) 异种钢焊口处理措施

在末级过热器的改造过程中需要特别注意异种钢焊口的处理。由于不同材质的焊接性能和热膨胀系数存在差异, 异种钢焊口容易出现裂纹和泄漏等问题。因此, 本次改造将采取以下措施来处理异种钢焊口。一是选择合适的焊接材料, 根据焊接接头的材质和性能要求, 选择合适的焊接材料。确保焊接材料的强度和韧性满足要求, 同时具有良好的耐腐蚀性和抗氧化性。二是采用先进的焊接技术: 采用高质量的焊接技术, 如 TIG 焊、MIG 焊等, 确保焊缝的强度和密封性。严格控制焊接过程中的温度和焊接速度, 避免产生焊接缺陷。三是进行严格的焊后检验: 焊接完成后需进行严格的检验和测试。包括焊缝的外观检查、无损检测 (如 X 射线检测、超声波检测等) 以及力学性能测试等。确保焊缝的质量符合相关标准。

(四) 管屏整体更换与安装要求

为了确保末级过热器改造的成功实施, 管屏的整体更换与安装过程需要严格遵守以下要求。一是精确测量与定位: 在拆除旧管屏之前, 需对锅炉的整体结构进行精确测量和定位。确保新管屏的安装位置和尺寸与设计要求一致。二是严格控制安装质量: 在安装过程中需严格控制安装质量。包括管屏的垂直度、水平度以及相邻管屏之间的间距等。确保安装过程中不损伤管材和周围部件^[4]。三是进行严格的检验与测试: 安装完成后需进行严格的检验和测试。包括管屏的密封性测试、强度测试以及热态运行测试等。确保新管屏的性能满足设计要求。

三、改造效果分析

(一) 安全性提升

1. 管材氧化皮脱落风险降低

改造前 1 号机组末级过热器使用的 TP347、T91、T23 等管材存在氧化皮较厚且易脱落的问题, 严重威胁着锅炉的安全运行。改造后前段管屏全部更换为 SA213-S304H SB 材料, 后段管屏更换为 SA213-T91 材料。这两种新材料均具有良好的抗氧化性和抗蠕变性, 能够有效减少氧化皮的生成和脱落, 从而降低管材因氧化皮脱落而引发的爆管风险。

2. 金相组织老化问题得到解决

改造前 T91、T23 和 TP347H 等管材的金相组织老化严重, 其中 T91 组织老化达到 4 级, T23 组织老化达到 4-5 级, TP347H 老化达到 2-3 级且晶粒度达到 5-6 级。这些老化现象导致管材的强度和韧性下降, 增加了爆管的风险。改造后由于采用了新材料, 金相组织老化问题得到了根本解决, 管材的强度和韧性得到了显著提升, 从而提高了锅炉的安全性和可靠性。

3. 管接头根部及对接焊口裂纹风险消除

改造前末级进口集箱采用 SA335-P91+SA213-T23 的组合结构, 存在管接头根部及对接焊口处产生裂纹的风险。这种材料组合方式在新标准中已被禁止使用。改造后进口集箱及连接管更换为 P91+T91 的组合形式, 避免了异种钢焊接带来的裂纹风险。新集箱的设计更加合理, 减少了应力集中和裂纹产生的可能性, 进一步提高了锅炉的安全性。

(二) 经济性改善

1. 降低维修成本

改造前由于管材老化严重和爆管事故频发, 1 号机组末级过热器的维修成本居高不下。改造后由于采用了新材料和优化的结构设计, 减少了因管材老化而导致的维修需求^[5]。新材料的抗氧化性和抗蠕变性更强, 延长了管材的使用寿命, 进一步降低了维修成本。

2. 提高发电效率

改造前由于管材老化导致的热损失和爆管事故造成的停机损失, 严重影响了 1 号机组的发电效率。改造后由于新材料的导热性能更好、热损失更少, 同时避免了因爆管而导致的停机损失, 使得机组的发电效率得到了显著提升。根据运行数据对比, 改造后机组的发电效率提高了约 2%, 为企业带来了显著的经济效益。

3. 减少能耗和排放

改造后由于锅炉的安全性和可靠性得到了提升, 机组的运行更加稳定。这有助于减少因故障停机而导致的能耗增加和排放增加。新材料的导热性能更好, 使得锅炉的热效率更高, 进一步减少了能耗和排放。根据环保部门的监测数据, 改造后机组的排放指标均符合国家环保标准, 且部分指标优

于国家标准。

4. 经济效益分析

综合考虑维修成本降低、发电效率提升以及能耗和排放减少等因素, 本次改造为马鞍山当涂发电有限公司带来了显著的经济效益。根据初步估算, 改造后每年可为企业节省维修成本约数百万元, 同时增加发电收入数千万元。由于减少了能耗和排放, 还为企业带来了良好的社会形象和环保效益。

(三) 运行参数优化

1. 蒸汽温度和压力稳定

改造前由于管材老化导致的热损失和爆管事故, 使得 1 号机组末级过热器的蒸汽温度和压力波动较大。这不仅影响了机组的稳定运行, 还降低了发电效率。改造后由于采用了新材料和优化的结构设计, 蒸汽温度和压力得到了有效控制。根据运行数据对比, 改造后蒸汽温度和压力的波动范围显著减小, 确保了机组的稳定运行和高效发电。

2. 锅炉负荷适应性增强

改造前由于管材老化导致的热损失和爆管事故, 使得 1 号机组在高负荷运行时容易出现过热现象, 而在低负荷运行时则容易出现热效率下降的问题。改造后由于新材料的导热性能更好且热损失更少, 使得锅炉的负荷适应性得到了显著增强。无论是在高负荷还是低负荷运行下, 锅炉都能保持稳定的蒸汽温度和压力输出, 确保了机组的稳定运行和高效发电。

3. 自动化水平提升

本次改造还结合了现代化的控制技术, 对锅炉的控制系统进行了升级和优化。通过引入先进的传感器和执行器等技术手段, 实现了对锅炉运行参数的实时监测和自动调节。这不仅提高了锅炉的自动化水平, 还降低了操作人员的劳动强度和工作风险。通过实时监测和调节锅炉的运行参数, 可以及时发现并解决潜在的安全隐患和问题, 确保锅炉的安全稳定运行。

(四) 环保效益

1. 减少污染物排放

改造后由于锅炉的安全性和可靠性得到了提升, 机组的运行更加稳定且高效。这有助于减少因故障停机而导致的污染物排放增加。新材料的导热性能更好且热损失更少, 使得锅炉的热效率更高且燃烧更充分, 进一步减少了污染物的排放。根据环保部门的监测数据, 改造后机组的排放指标均符合国家环保标准且部分指标优于国家标准。

2. 促进可持续发展

本次改造不仅解决了当前存在的安全隐患和经济问题, 还为企业的可持续发展奠定了坚实基础。通过采用新材料和优化的结构设计以及现代化的控制技术等手段, 提高了锅炉的安全性和可靠性以及发电效率和环保性能。这不仅有助于企业降低成本、增加收入并提升竞争力, 还有助于企业履行社会责任并推动行业的可持续发展。

总结

马鞍山当涂发电有限公司 1 号机组 660MW 超临界锅炉末级过热器的改造工程是一项复杂而艰巨的任务。通过深入剖析问题、制定详尽的改造方案并严格实施成功地解决了这些难题。改造后的锅炉不仅在安全性、经济性、运行参数优化以及环保效益等方面取得了显著的成效, 还为同类机组的优化改造提供了有益的借鉴和参考。

【参考文献】

- [1]董琨. 600MW 超临界锅炉安全性和经济性分析[D]. 华北电力大学; 华北电力大学(北京), 2009.
 - [2]成志红. 超临界 600MW 机组锅炉末级过热器爆管原因分析及预防措施[J]. 热力发电, 2011, 40(7): 3.
 - [3]林琳, 唐勇, 殷尊, 等. 超超临界锅炉末级过热器异种钢焊接接头断裂原因分析与预防[J]. 热加工工艺, 2023, 52(7): 142-145.
 - [4]王万里, 刘俊建, 王齐宏, 等. 某超超临界机组末级过热器泄漏原因分析[J]. 锅炉技术, 2023, 54(6): 58-61.
 - [5]洪卫林. 300MW 机组锅炉高温受热面氧化皮剥落特性分析[J]. 锅炉制造, 2024(2): 56-59.
- 作者简介: 翟云飞(1989.4-), 男, 汉, 安徽泾县人, 本科, 高级工程师, 研究方向: 燃煤火电厂生产技术研究。