

超临界锅炉高温受热面氧化皮形成与脱落原因分析及控制措施

富恩亮

中国神华胜利发电厂 内蒙古 锡林浩特 026000

摘要: 随着我国的经济在快速的发展, 社会在不断的进步, 我国的综合国力在不断的加强, 随着超临界锅炉和超超临界锅炉的大面积投入使用, 其故障和安全问题也受到越来越多人的重视。超超临界锅炉高温受热面的氧化皮问题对锅炉本身的危害非常大, 不仅会引发锅炉爆管, 同时还会导致锅炉的传热能力下降, 汽轮机出现固体颗粒侵蚀的现象, 进而导致锅炉无法正常使用。电厂相关技术维修人员要深入剖析氧化皮产生的具体原因以及脱落特性, 从整体和细节角度同时出发, 切实解决锅炉氧化皮的相关问题, 使超超临界锅炉始终处于稳定的运行状态当中。

关键词: 超临界锅炉; 高温受热面; 氧化皮; 脱落; 控制措施

1 超临界锅炉高温受热面的重要性

超临界锅炉高温受热面是锅炉系统中的核心部件之一, 其重要性不言而喻。高温受热面能够将进入锅炉的热量有效吸收, 转化为水蒸汽的潜能, 使锅炉的蒸汽产生量和温度得到有效控制, 同时也能够实现不同受热面的热量合理分配。在超临界锅炉中, 高温受热面的工作条件更加苛刻, 其表面温度通常达到500℃以上, 同时还需要承受高温高压的介质作用, 因此其结构和材料选择十分关键。超临界锅炉高温受热面的稳定性、安全性和经济性对整个锅炉系统的性能和可靠性产生着重要影响。高温受热面的良好设计可以保障锅炉的安全稳定和经济运行。例如, 合理的受热面结构可以减少介质流动阻力, 避免受热面出现局部过热等现象, 提高锅炉的热效率和使用寿命。高温受热面的材料选择也是至关重要的。超临界锅炉高温受热面通常采用耐高温高压、抗腐蚀、高导热材料制造而成, 如不锈钢、镍基合金等。这些材料能够在高温高压的环境下保持稳定的物理和化学性质, 保障受热面的长期稳定运行。超临界锅炉高温受热面对于锅炉的安全、稳定和经济运行具有至关重要的作用。其结构形式和设计参数的选择以及材料的选择直接影响着锅炉的性能和可靠性^[1]。因此, 高温受热面的研究是锅炉领域的重要研究方向之一, 对于提高超临界锅炉的运行水平和技术水平、保障锅炉行业的科技进步和提升锅炉行业的整体竞争力具有重要意义。

2 氧化皮形成与脱落问题的严重性

超临界锅炉高温受热面氧化皮形成与脱落问题具有严重的潜在危害。第一, 氧化皮脱落可能导致受热面的堵塞, 从而影响锅炉的热交换效率, 甚至引发传热恶

化。这可能导致锅炉运行不稳定, 甚至发生故障, 严重影响电厂的安全生产和经济效益。第二, 氧化皮脱落可能导致锅炉内部的流体动力学特性发生变化。在高温高压的条件下, 脱落的氧化皮可能对流体产生扰动, 影响流体的流动和热交换, 进一步影响锅炉的运行性能。第三, 氧化皮的形成和脱落对金属材料的力学性能产生负面影响。高温受热面长期处于高温高压的环境中, 氧化皮的形成和脱落可能导致金属材料的疲劳和腐蚀, 降低其使用寿命和可靠性^[2]。第四, 氧化皮的形成与脱落问题可能导致锅炉维护成本的增加。为确保锅炉的安全稳定运行, 需要定期对高温受热面进行清洗和维护。由于氧化皮的脱落可能会导致受热面的频繁堵塞, 因此需要更加频繁地进行清洗和维护工作, 从而增加了锅炉的维护成本。因此, 超临界锅炉高温受热面氧化皮形成与脱落问题的严重性不容忽视, 对于这一问题的深入研究和攻关显得尤为重要。只有通过深入探讨氧化皮的形成和脱落机制, 并采取有效的控制措施, 才能确保锅炉的安全、稳定和经济运行, 为电力工业的可持续发展提供坚实的保障。

3 超临界锅炉高温受热面氧化皮形成机制

3.1 氧化皮组成及结构

超临界锅炉高温受热面氧化皮的形成机制是一个复杂的过程, 涉及到材料科学、热力学和流体动力学等多个方面。在高温高压蒸汽的作用下, 受热面材料表面会发生氧化反应, 形成一层氧化皮。氧化皮主要由三部分组成: 最外层是氧化物, 如 Fe_2O_3 、 Cr_2O_3 等, 中间是金属基体, 如 Fe 、 Cr 等, 最内层是合金元素贫化区。这些氧化物是在高温高压蒸汽的作用下, 由金属基体中的

元素与蒸汽中的氧发生反应而形成的。在高温受热面氧化皮形成的过程中,氧化物的结构与金属基体的成分和结构密切相关。随着温度的升高,金属基体中的合金元素会发生不同程度的挥发和扩散,导致合金元素贫化区的形成。同时,蒸汽中的氧也会通过氧化层扩散到金属基体中,与金属元素发生反应形成氧化物。在这个过程中,高温高压蒸汽的氧化性对氧化皮的形成起着关键作用。从400℃以上开始,蒸汽的氧化性逐渐增强,随着温度的升高,氧化速度逐渐加快。特别是在500℃-700℃范围内,蒸汽的氧化性最强,氧化速度达到最大值。在600℃以上,蒸汽的氧化速度开始逐渐减慢,但仍保持较高的氧化速率。此外,高温受热面材料本身的性质也对氧化皮的形成产生影响^[3]。例如,在奥氏体钢中,当温度高于500℃时,奥氏体钢开始与水蒸汽发生反应生成氧化层。当温度达到570℃以上时,氧化层中增加了FeO相,使材料的氧化速度加快。

3.2 氧化皮形成的影响因素

超临界锅炉高温受热面氧化皮形成机制受到多种因素的影响,主要包括:(1)温度和压力:随着温度的升高,金属基体中的合金元素会发生不同程度的挥发和扩散,导致合金元素贫化区的形成。同时,蒸汽中的氧也会通过氧化层扩散到金属基体中,与金属元素发生反应形成氧化物。在高温高压蒸汽的作用下,这些氧化物会进一步聚集形成氧化皮。(2)蒸汽的氧化性:高温高压蒸汽具有氧化性,从400℃以上开始具有较强氧化性,500℃-700℃具有最强氧化性,600℃以上氧化速度加快。因此,蒸汽的氧化性对氧化皮的形成起着关键作用。(3)受热面材料的性质:受热面材料的性质对氧化皮的形成也有重要影响。例如,奥氏体钢在高温下与水蒸汽发生反应生成氧化层,当温度达到570℃以上时,氧化层中增加了FeO相,使材料的氧化速度加快。(4)机组启停和温度大幅波动:机组启停或温度大幅波动所产生的温差热应力会导致受热面管内的蒸汽流速变化,少量剥落的氧化皮容易被汽流破碎带走,不会对锅炉的运行产生危害。但是,大量剥落的氧化皮在底部堆积,在遇有蒸汽冷凝存有积水情况下,氧化皮粘结在一起,在下次锅炉启动时锅炉蒸汽流量不大,流通蒸汽很难将其带走,极易引发受热面管过热爆管^[4]。

4 超临界锅炉高温受热面氧化皮脱落原因分析

4.1 温度波动与氧化皮脱落

超临界锅炉高温受热面氧化皮脱落的原因与温度波动密切相关。在机组启动和停运时,锅炉受热面的温度会发生大幅度波动。在温度波动的情况下,氧化皮与金

属基体的热膨胀系数不同,会导致氧化皮与金属基体的剥离。此外,温度波动也会引起氧化皮内应力的变化,导致氧化皮破裂和脱落。另外,氧化皮的脱落还与蒸汽的氧化性有关。在高温高压蒸汽的作用下,金属基体表面会形成一层氧化皮。如果蒸汽的氧化性过高,氧化皮的形成速度会加快,导致氧化皮过厚,容易脱落^[1]。相反,如果蒸汽的氧化性过低,氧化皮的形成速度会减慢,但氧化皮的内应力会增大,也容易导致脱落。除此之外,炉管材质也是影响氧化皮脱落的重要因素。超临界直流锅炉炉管大多以合金为主,其中Cr的含量不同决定了不同炉管的耐热性和抗氧化性也存在较大的差异。在使用炉管时,如果没有根据炉管的使用环境进行合理的设计,就会使炉管在运行过程中发生温度过高、氧化过快等问题,加速氧化皮的生成,进而造成氧化皮脱落。

4.2 流体动力学特性与氧化皮脱落

在锅炉受热面中,蒸汽的流动和传热过程是复杂的流体动力学过程。蒸汽在受热面中流动时,如果流速过快或受热不均,会导致蒸汽与受热面之间的摩擦和冲击,这种摩擦和冲击会使受热面上的氧化皮受到破坏和脱落。此外,蒸汽中的杂质和水分也是导致氧化皮脱落的重要因素。蒸汽中的杂质和水分与受热面表面发生化学反应,使氧化皮变得疏松和脆弱,从而导致氧化皮的脱落。受热面的设计和加工质量也是影响氧化皮脱落的重要因素。如果受热面的表面粗糙度不够、材料加工不当等,会导致受热面与蒸汽之间的传热效果不佳,从而使得氧化皮容易脱落^[2]。

4.3 金属材料力学性能与氧化皮脱落

金属材料的力学性能包括硬度、韧性、抗拉强度、延展性和疲劳强度等,这些因素都会影响氧化皮在金属材料表面的附着程度。如果金属材料的硬度过高、韧性不足或抗拉强度低,会导致氧化皮在运行过程中容易破裂和脱落。金属材料在高温下的力学性能也会发生变化。随着温度的升高,金属材料的屈服强度和抗拉强度会降低,延展性和蠕变性能也会发生变化,这些因素都会影响氧化皮的稳定性和脱落情况。另外,金属材料表面的氧化皮与金属基体之间的结合强度也是影响氧化皮脱落的重要因素。如果氧化皮与金属基体之间的结合强度不足,会导致氧化皮在运行过程中容易脱落。

5 超临界锅炉高温受热面氧化皮控制措施

5.1 控制温度波动

超临界锅炉高温受热面氧化皮控制措施主要是通过控制温度波动来实现的。首先,在机组启动和停运过程中,应严格控制蒸汽温度的变化速率,避免温度波动过

大。同时,在正常运行期间,也应密切关注蒸汽温度的变化情况,及时调整燃烧和水量等参数,确保蒸汽温度在正常范围内波动。其次,可以采用特殊的受热面材料和结构,如氧化皮较难形成的材料、受热面表面涂层、受热面结构改进等,以降低氧化皮的形成和脱落速度。另外,在机组启动前和大修时,应对受热面进行全面的检测和清理^[3]。可以对受热面的氧化皮进行射线检测和厚度测量,对堆积氧化皮的弯头进行割管清理和更换,同时对管材进行寿命评估并及时更换氧化比较严重的管材。最后,可以采取一些运行措施来降低氧化皮的形成和脱落速度。例如,可以控制蒸汽中的氧气含量和水分含量,避免长期超温运行,定期对受热面进行吹扫和清洗等。

5.2 优化流体动力学特性

首先,可以改变蒸汽在受热面中的流速。流速过高会导致蒸汽对受热面产生较大的冲击和摩擦力,从而破坏氧化皮;流速过低则会导致蒸汽与受热面之间的传热效果不佳,从而影响锅炉效率。因此,需要根据实际情况合理选择蒸汽流速。其次,可以优化受热面的管道设计。管道设计不合理会导致蒸汽在受热面中流动不均匀,从而影响氧化皮的稳定性。因此,需要对受热面管道进行优化设计,以改善蒸汽的流动性能。另外,可以采取一些措施来减少蒸汽中的杂质和水分。例如,可以在蒸汽管道中安装过滤器和干燥器,以减少蒸汽中的杂质和水分含量,从而降低对受热面氧化皮的影响。最后,可以根据实际情况选择合适的受热面材料和加工质量。受热面材料和加工质量也会影响氧化皮的稳定性和脱落速度。因此,需要根据实际情况选择合适的材料和加工质量,以确保受热面的稳定性和延长其使用寿命。

5.3 改善金属材料力学性能

超临界锅炉高温受热面氧化皮控制措施也可以从改善金属材料力学性能方面入手。首先,可以选用具有高温抗氧化性能较好的金属材料。高温抗氧化金属材料能够在高温下形成致密的氧化膜,从而减缓氧化皮的生长

速度和脱落程度。例如,选用具有较好高温抗氧化性能的镍基合金、铬基合金等材料,能够提高受热面的抗氧化性能和使用寿命^[4]。可以通过热处理和冷加工等方法改善金属材料的力学性能。热处理可以提高金属材料的硬度、抗拉强度、疲劳强度等力学性能,使金属材料具有更好的耐高温性能和抗氧化性能。冷加工则可以通过改变金属材料的内部结构和机械性能,提高其抗蠕变性和耐疲劳性,从而延长受热面的使用寿命。另外,可以采用表面涂层、表面合金化等方法对金属材料进行表面处理。表面涂层可以保护金属材料表面不受氧化,从而提高其抗氧化性能和使用寿命。表面合金化则可以通过在金属材料表面形成具有抗氧化性能的合金层,从而减缓氧化皮的生长速度和脱落程度。最后,需要加强金属材料的质量控制和监督。在材料采购、加工、安装等环节加强质量控制,确保金属材料的各项性能指标符合要求,从而为受热面的稳定运行提供保障。

结束语

超临界锅炉高温受热面氧化皮的形成的脱落是影响锅炉运行稳定性和安全性的重要问题之一。本文从多个角度探讨了氧化皮形成与脱落的原因,并提出了针对性的控制措施。这些措施包括控制温度波动、优化流体动力学特性、改善金属材料力学性能和加强材料质量控制等方面。这些措施有助于降低氧化皮的形成和脱落速度,从而提高超临界锅炉的稳定性和使用寿命。对于保障电站锅炉的安全稳定运行具有重要意义。

参考文献

- [1]陈志刚,袁丹珏,黎华,等.超临界锅炉管内氧化皮脱落的安全控制研究[J].中国安全科学学报,2018(08):57-58.
- [2]王文斌.锅炉氧化皮脱落原因及防治措施的相关探讨[J].中国高新区,2020(19):63-64.
- [3]赵志渊.锅炉受热面管内氧化物生成及剥落机理的研究[D].保定:华北电力大学,2019.
- [4]刘定平.超(超)临界电站锅炉氧化皮生成剥落机理及其防爆关键技术研究[D].广州:华南理工大学,2019.