

电厂 CFB 锅炉磨损问题分析及防护措施研究

常建新

国家能源集团郭家湾电厂, 陕西 府谷 719400

摘要 : 磨损是 CFB 锅炉长期运行中不可避免的问题, 直接影响其性能和寿命, 这就需要予以充分的重视。本文对电厂 CFB 锅炉的磨损进行了一定论述, 明确了磨损类型和影响因素, 在此基础上, 分别对 CFB 锅炉主要受热面的磨损及原因进行了比较深入的分析, 并结合 CFB 锅炉磨损的特点, 提出了设计时的预控、喷涂防磨损层以及物料粒度控制等防护措施, 有助于改善锅炉的磨损情况, 进而为电厂 CFB 锅炉的安全稳定运行提供可靠保障。

关键词 : CFB 锅炉; 磨损; 防护

Analysis of CFB Boiler Wear Problems in Power Plant and Research on Protective Measures

Chang Jianxin

Guojiawan Power Plant, China Energy Group, Shaanxi, Fugu 719400

Abstract : Wear is an inevitable problem in the long-term operation of CFB boiler, which directly affects its performance and life, which needs to be paid full attention to. In this paper, the wear of CFB boiler in power plant is discussed to some extent, and the wear types and influencing factors are defined. On this basis, the wear and the causes of the main heating surface of CFB boiler are analyzed in depth. Combined with the wear characteristics of CFB boiler, protective measures such as pre-control during design, anti-wear coating and material particle size control are proposed. It is helpful to improve the wear condition of boiler and provide reliable guarantee for the safe and stable operation of CFB boiler in power plant.

Key words : CFB boiler; wear and tear; defense

一、前言

循环流化床锅炉 (CFB 锅炉) 作为一种先进的燃烧设备, 已经在电厂等能源领域广泛应用。与传统的煤粉锅炉相比, CFB 锅炉采用了特殊的燃烧方式, 具有燃烧效率高、环保性好等诸多优势。然而, 随着 CFB 锅炉的大规模应用, 磨损问题逐渐凸显, 直接影响了锅炉的安全运行和经济性。因此, 进行电厂 CFB 锅炉磨损问题分析及防护措施研究对于保障 CFB 锅炉的安全平稳运行具有十分重要的现实意义。

二、电厂 CFB 锅炉磨损概述

(一) 磨损分类

在循环流化床锅炉中, 磨损问题是一个复杂而重要的因素, 影响着锅炉的长期运行和性能。根据机理的不同, 可以将磨损划分为: 腐蚀磨损、冲蚀磨损、黏着磨损以及疲劳磨损等类型, 其中, CFB 锅炉的磨损形式主要为冲蚀磨损, 又可以进一步划分为以下两种类型。

(1) 平行冲蚀磨损。当固体颗粒的运动方向与受热面的夹角较小 (平行) 时, 固体颗粒会产生刨削作用, 类似于砂纸磨损的效应。这种磨损的特点是磨损速率随时间变化不大, 但会逐渐降低受热面的表面质量。

(2) 垂直冲蚀磨损。当固体颗粒的运动方向与受热面的夹角较大 (垂直) 时, 固体颗粒会在长期的、反复的作用下导致受热面表面产生疲劳破坏, 磨损速率会随着时间的推移呈现增长趋势。这种磨损形式对受热面造成的损害更加严重^[1]。

(二) 磨损的影响因素

(1) 粒径。一般来说, 当物料粒径较小时, 受热面所受的冲蚀磨损相对较小, 因为固体颗粒的动能较低, 对受热面的撞击能量有限。然而, 当物料粒径增大时, 固体颗粒的动能增加, 磨损也随之增加。但要注意的是, 当粒径大到一定程度时 (临界粒径), 磨损速率不会继续增加, 因为颗粒在撞击受热面时会发生弹性碰撞而不是磨损性碰撞, 减少了磨损的可能性, 如图 1 所示^[2]。

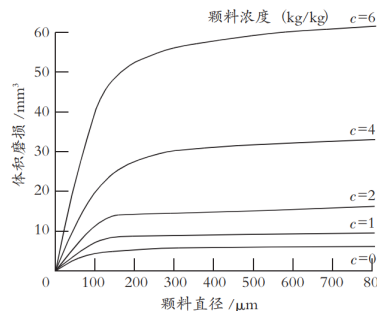


图 1 磨损与颗粒直径关系曲线图

(2) 浓度。高浓度的固体颗粒流动会导致颗粒之间的间隙

减小，相互之间的碰撞和摩擦增加，从而加剧了磨损。此外，高浓度还可能导致颗粒之间发生湍流，进一步加大了磨损程度。因此，控制固体颗粒的浓度是减轻磨损的一种方式。

(3) 硬度。物料的硬度对磨损的影响取决于与受热面材料的硬度比较。一般认为，当物料硬度接近或高于受热面材料硬度时，磨损情况会急剧增加。这是因为硬度较高的物料会更容易剥离受热面的表层，导致磨损加剧。因此，在选择物料时，需要考虑其硬度与受热面材料硬度的匹配^[3]。

(4) 壁温。当壁温低于400℃时，由于氧化膜没有形成，磨损速率较大。当壁温超过400℃并继续增加时，会产生热应力，因氧化膜与受热面金属的膨胀系数不同，导致部分氧化膜脱落，再加上高温腐蚀等因素的影响，会导致磨损的速率有所增加，如图2所示。

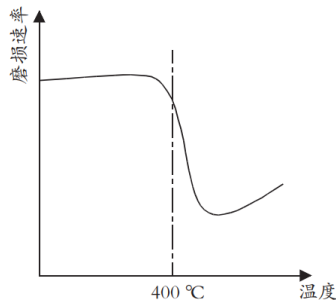


图2 磨损与温度关系曲线图

三、CFB 锅炉主要受热面的磨损及原因分析

(一) 炉膛水冷壁的磨损

(1) 炉膛下部耐火材料过渡区域水冷壁管的磨损

首先，炉膛下部是床料密度较高的区域，这里的固体颗粒相对较多，且具有较高的流速。当这些颗粒遇到炉膛下部水冷壁管时，它们会对管壁产生强烈的冲击和摩擦作用。这种冲击和摩擦会导致水冷壁管的表面磨损，特别是在过渡区域，因为颗粒在这里的运动方向和速度发生显著变化。其次，床料中的颗粒不仅具有速度，还受到床料流动的动力影响，这使得它们对水冷壁管的冲刷和磨损更加明显。在炉膛下部，床料流动可能受到床料分布、炉膛结构和床层高度等因素的影响，这些因素可能导致颗粒在水冷壁管附近形成局部的高速流动或涡流现象，进一步加剧了磨损^[4]。

(2) 不规则水冷壁管的磨损

在锅炉内，不规则水冷壁管包括炉墙开孔处的弯管、穿墙管、水冷壁管上的焊缝等。

首先，不规则水冷壁管的形状和几何尺寸与普通的直管不同，这导致了固体颗粒在流动时会受到扰动，改变了颗粒的运动方向。这种运动方向的改变会导致颗粒在管壁上产生冲击和摩擦，引发磨损。其次，不规则水冷壁管通常位于炉膛内的特定位置，这些位置可能在床料流动时会受到更大的固体颗粒影响。即使不规则的几何尺寸较小，也可能引发严重的磨损，因为床料中的颗粒在流动时具有一定的速度和能量，这会增加与水冷壁管接触的力度，从而导致管壁的磨损^[5]。

(3) 炉膛四角区域水冷壁管的磨损

首先，炉膛四角区域通常是固体颗粒下落的集中区域，因为在这些区域内，床料床层的高度较低，固体颗粒相对较多。当这些颗粒下落时，它们具有较高的速度和能量，并且会在四角区域内相互碰撞和摩擦。这种高速的颗粒运动会对炉膛四角区域水冷壁管的表面产生冲击和磨损。其次，炉膛四角区域的水冷壁管位置相对较靠近床料流动路径，因此更容易受到固体颗粒的直接影响。固体颗粒在流动时会对管壁产生冲刷作用，这种冲刷作用会导致管壁的磨损。此外，四角区域的管道通常具有不规则形状，这使得固体颗粒在与管壁接触时更容易受到扰动，从而增加了磨损的可能性^[6]。

(二) 炉膛其他受热面的磨损

(1) 过热器和再热器的磨损

首先，过热器和再热器位于炉内高速流动的烟气路径上，特别是在炉膛顶部。在这些位置，烟气中的固体颗粒密度较高，对受热面造成了冲刷和磨损。烟气中的灰分颗粒对过热器和再热器管道表面产生冲击，导致磨损。其次，过热器和再热器的受热面通常布置在高温高压环境下，同时又需要承受高速烟气的冲刷。这种高温和高速度的烟气使得管道表面容易受到热膨胀的影响，与管材的热膨胀系数不同，可能导致部分氧化膜脱落，进一步增加磨损速率。最后，烟气中的灰分颗粒也可能引发高温腐蚀，这会加速过热器和再热器的磨损。高温腐蚀通常发生在烟气中存在硫化物或氯化物的情况下，这些化合物可以与受热面的材料发生反应，造成材料的腐蚀和损坏^[7]。

(2) 炉膛顶部受热面的磨损

首先，炉膛顶部是烟气流动的必经通道之一，烟气在炉膛内上升并经过顶部受热面时，具有相当高的流速。这种高速烟气会对顶部受热面上的管道和设备产生冲击和摩擦，导致表面磨损。其次，受热面顶部通常处于烟气流动的弯曲部位，这种位置在高速烟气作用下容易产生离心力效应，使固体颗粒被甩向顶部受热面。这些固体颗粒的冲击和摩擦作用会导致受热面的磨损。最后，由于炉膛内烟气携带高浓度的灰分，使得经过顶部受热面的烟气中的灰分浓度较高。这些灰分颗粒在烟气中的高速流动下，会对受热面产生冲刷和磨损作用，加速了磨损的发生^[8]。

(三) 尾部烟道对流受热面的磨损

通常，对流受热面由过热器、省煤器和空预器组成，这些部件位于尾部烟道中，与炉内的高温高浓度烟气直接接触。磨损问题的主要原因包括以下几个方面：

首先，尾部烟道中的烟气携带着高浓度的灰分颗粒。虽然循环流化床锅炉的分离器通常能够高效分离大部分固体颗粒，但仍然有一定数量的灰分颗粒进入尾部烟道。这些颗粒随着烟气向下流动，受到重力加速度的作用，导致颗粒的绝对速度增加。高速度的固体颗粒对对流受热面产生冲击和摩擦，引发磨损。其次，磨损速率与颗粒的运动速度和粒径有关。通常，磨损速率与运动速度呈三次方关系，与颗粒直径呈二次方关系。因此，高速度的颗粒和较大的颗粒直径都会导致更严重的磨损。最后，尾部烟道受热面位于高温高压环境下，同时需要承受高速烟气的冲刷，这增加了受热面的磨损。在这种环境下，受热面可能受到高温膨胀的影响，与管材的

热膨胀系数不同,导致氧化膜脱落,加剧磨损^[9]。

四、CFB 锅炉磨损防护措施

(一) 设计时的预控

在循环流化床锅炉的防磨方法与措施中,设计阶段的预控措施起着至关重要的作用,涵盖了水冷壁、过热器、省热器、风帽和放渣管的防磨设计。

首先,对于水冷壁的防磨设计,需要考虑密相过渡区的合理设计。这个区域容易发生“面壁流”和卷带现象,因此设计时可以采用多种手段,如设计合适的料层浇注、管道口的涡流控制结构等,以减少固体颗粒对水冷壁管道的冲刷磨损。此外,还可以通过提高水冷壁的材料硬度和耐磨性来增强其抵抗磨损的能力^[10]。其次,过热器和省热器的防磨设计要侧重于提高分离器的分离效率,从而减少烟气中的灰尘颗粒对受热面的冲刷磨损。通过合理设计和操作,可以减少灰分颗粒在这些受热面上的沉积和冲刷,延长受热面的使用寿命。同时,还可以采取措施来降低烟气中灰分颗粒的浓度,如优化煤粉粒度和燃烧控制。最后,风帽和放渣管的防磨设计需要将落煤口与放渣口分开设计,以避免大颗粒进入炉膛后与热料充分混合,从而降低锅炉内部燃烧不完全的情况。通过合理的设计和操作,可以降低这些受热面的磨损程度,延长其使用寿命,还可以选择耐磨材料来制造受热面,以增加其抵抗磨损的能力^[11]。

(二) 喷涂防磨涂层

喷涂防磨涂层是循环流化床锅炉中一种常见的防磨方法,其效果取决于涂层的硬度和稳定性以及喷涂工艺和操作方法的合理性。

首先,涂层的硬度和稳定性对防磨起着至关重要的作用。涂层应具有足够的硬度,以抵抗冲刷和摩擦引起的磨损。硬度通常通过选择合适的喷涂材料来实现,这些材料通常是硬度较高的合金或陶瓷材料。涂层的稳定性也很重要,它应能在高温环境下保持其硬度和附着力,以确保长期有效地防止受热面的磨损。其次,喷涂工艺和操作方法对涂层的质量和效果至关重要。喷涂工艺应精确控制涂层的厚度,通常控制在1毫米以下,以防止过度增加受热面的热阻。操作方法需要专业培训和技能,以确保涂层均匀且黏附牢固。涂层的表面准备也是关键步骤,通常包括除锈和清洁,以确保涂层能够牢固附着在受热面上^[12]。

(三) 物料粒度控制

首先,物料颗粒的浓度对受热面的磨损产生直接影响。当物料颗粒浓度过高时,颗粒之间的间隙变小,颗粒与受热面之间的碰撞和摩擦增加,导致受热面的磨损加剧。这种情况下,颗粒的冲击力度和摩擦力会显著增加,对受热面造成更多的损伤。因此,控制物料颗粒的浓度是减轻磨损的关键之一。其次,控制物料的大小也是防磨损的重要考虑因素。当煤料颗粒的大小适中时,它们更容易在炉内均匀分布,减少了颗粒之间的碰撞和摩擦,降低了磨损的程度。此外,较小的颗粒在受热面上产生的冲击力也较小,对受热面的磨损影响较小。因此,控制物料的大小可以有效地减轻受热面的磨损^[13]。

(四) 运行方式调整

首先,需要关注一次风和二次风的调节。一次风主要负责将燃料(通常是煤粉)送入炉膛,而二次风则主要用于提供燃烧所需的氧气。合理调节一次风和二次风的比例和流量可以影响燃烧过程的稳定性。如果一次风量不足,燃料无法充分燃烧,导致煤粉在受热面上沉积和磨损。如果一次风量过大,煤粉可能被吹散,同样会导致磨损问题。因此,通过精确控制一次风和二次风的比例和流量,可以实现燃烧的最佳条件,减少磨损^[14]。其次,控制过量空气系数的重要性也不可忽视。过量空气系数是指燃烧中氧气供应量与理论所需氧气量的比值。过多的过量空气会导致燃烧温度降低,燃烧不完全,产生大量未燃烧的碳粉,这些碳粉可能在受热面上沉积,加剧磨损。因此,精确控制过量空气系数可以提高燃烧效率,减少未燃烧物质的生成,从而减轻磨损问题^[15]。

五、结语

综上所述,CFB 锅炉的磨损分析与防护是一个系统问题,需要多方面的综合措施来解决。通过对 CFB 锅炉的磨损进行系统全面的分析,并制定有针对性的防护措施,有助于延长锅炉的使用寿命,确保电厂的稳定运行。未来的研究可以进一步深入探讨防磨措施的实施效果和经济效益,以不断提高 CFB 锅炉的性能和可靠性。

参考文献:

- [1] 徐成兴.循环流化床锅炉炉膛受热面的磨损分析[J].当代化工研究,2023,(14): 52-54.
- [2] 李红春.循环流化床锅炉水冷壁磨损原因分析及防磨措施实践与应用[J].盐科学与化工,2023,52(06): 52-54.
- [3] 黄杰辉.循环流化床脱硫塔磨损处理措施及防治[J].四川水泥,2023,(06): 37-39.
- [4] 张茂珍.循环流化床锅炉水冷壁磨损原因分析及对策[J].自动化应用,2023,64(08): 109-110+115.
- [5] 李其其.浅析循环流化床锅炉水冷壁磨损与防磨经济性[J].安徽化工,2023,49(02): 105-108.
- [6] 张永胜.循环流化床锅炉水冷壁磨损原因分析[J].现代工业经济和信化,2022,12(10): 198-199.
- [7] 鲁跃峰.520t/h 循环流化床锅炉炉内水冷壁磨损原因分析及研究[J].内蒙古科技与经济,2022,(19): 109-111+119.
- [8] 曹洋如,龚炳林.浅析循环流化床锅炉磨损及防止措施[J].中国盐业,2022,(12): 52-54.
- [9] 陈翰,姚禹歌,张国庆,等.循环流化床锅炉炉内受热面磨损防护技术与应用进展[J].洁净煤技术,2022,28(12): 18-29.
- [10] 赵芳芳,黄儒斌,谌莉.基于 CFD 数值模拟的循环流化床水冷壁磨损分析及防治[J].红水河,2022,41(02): 106-110+116.
- [11] 马喜成.循环流化床锅炉磨损机理分析及防磨研究[J].科技创新与生产力,2022,(04): 142-144.
- [12] 马亚雪.浅析循环流化床锅炉磨损与预防[J].中国盐业,2021,(24): 43-45.
- [13] 王家兴,高全,彭建升,等.循环流化床锅炉炉膛受热面磨损爆管分析与解决措施[J].工业锅炉,2021,(05): 55-60.
- [14] 林志恒,钱进,赵威,等.循环流化床锅炉水冷壁磨损研究进展[J].新能源进展,2021,9(04): 351-358.
- [15] 赵保生.循环流化床锅炉安装检修质量对部件磨损的影响及预防措施[J].机械管理开发,2021,36(06): 305-306.