

660MW超超临界循环流化床锅炉防磨防爆对策

路培瑛 刘鹤源

国家能源集团陕西彬长发电有限公司 陕西 咸阳 712000

摘要：660MW超超临界循环流化床锅炉作为高效节能的发电设备，在热电联产领域得到广泛应用。其受热面磨损爆管问题频发，严重影响锅炉的安全稳定运行。本文通过分析660MW超超临界循环流化床锅炉的磨损原因，提出了一系列防磨防爆对策，包括优化受热面设计、采用耐磨材料、加强运行监控与维护等，旨在提高锅炉的可靠性和使用寿命，为电厂的安全生产提供有力保障。

关键词：660MW超超临界循环流化床锅炉；防磨；防爆；对策

引言：660MW超超临界循环流化床锅炉以其环保、高效的特点，在电力行业中占据重要地位。锅炉受热面的磨损爆管问题一直是困扰电厂运行的一大难题。磨损不仅导致锅炉频繁停机检修，增加运行成本，还可能引发安全事故。因此研究并实施有效的防磨防爆对策，对于确保锅炉的安全稳定运行具有重要意义。

1 660MW 超超临界循环流化床锅炉概述

1.1 循环流化床锅炉工作原理

循环流化床锅炉是一种采用流态化燃烧方式的锅炉，其工作原理主要包括几个方面：（1）流化原理。当气体或液体以一定的速度向上流过固体颗粒层时，固体颗粒层会呈现出类似液体状态的现象，称为流态化现象。在循环流化床锅炉中，一次风和二次风通过布风装置送入炉膛，使床料（通常是煤、石灰石等固体颗粒）流化，形成半悬浮状态；（2）燃烧原理。循环流化床锅炉的燃烧过程是在流态化的床料中进行的。燃料与床料一起被送入炉膛，在流化状态下进行燃烧。燃烧过程中，燃料释放出热量，同时产生大量的烟气和固体颗粒；（3）脱硫原理。在燃烧过程中，煤中的硫会被氧化成 SO_2 。为了降低 SO_2 的排放，循环流化床锅炉通常采用炉内脱硫技术。石灰石作为脱硫剂被送入炉膛，在高温下煅烧生成多孔疏松的 CaO ， CaO 吸收 SO_2 并生成 CaSO_4 ，从而达到脱硫的目的；（4）传热原理：循环流化床锅炉的传热过程主要通过颗粒对流换热、气体对流换热和辐射传热来实现。床料和烟气在炉膛内流动，将热量传递给受热面（如水冷壁、过热器等），使水蒸发并最后成为规定压力和温度的过热蒸汽。

1.2 锅炉磨损与爆管问题概述

循环流化床锅炉在运行过程中，由于大量的烟气和固体颗粒对受热面的冲刷和撞击，会导致受热面（特别是水冷壁、过热器等）的磨损问题。磨损主要集中在几

个区域；水冷壁磨损：循环流化床锅炉的水冷壁管受到大量烟气和固体颗粒的冲刷和撞击，导致磨损。磨损的严重程度受到烟气流速、燃料性质、安装及检修质量以及锅炉本身动力场的影响。特别是水冷壁和耐火材料层过渡区的凸出部位，由于形成涡流，磨损更为严重^[1]。过热器爆管：循环流化床锅炉的过热器是锅炉的重要受热面之一，由于管内流动的工质压力高、管外烟气温度高，因此容易发生爆管问题。在高温过热器中，由于管材长期受到高温高压的作用，容易发生材料老化、组织变化等问题，从而引发爆管。

2 660MW 超超临界循环流化床锅炉磨损机理分析

2.1 磨损的主要部位

660MW超超临界循环流化床锅炉在运行过程中，炉膛水冷壁是锅炉的主要受热面之一，由于大量烟气和固体颗粒在炉膛内流动，对水冷壁管进行冲刷和撞击，导致磨损。特别是炉膛出口两侧墙管壁、中下部四角区域管壁、下部密相区浇注料与水冷壁管过渡区以及不规则区域（如穿墙管、热电偶、看火孔等）的管壁，磨损情况尤为严重。旋风分离器是循环流化床锅炉的重要部件，用于分离烟气中的固体颗粒。靶区位于旋风筒弧面与入口烟道相交部位，由于烟气发生旋转，物料方向改变，速度高且灰浓度大，因此靶区很容易发生磨损。立管和返料器是循环流化床锅炉的物料循环系统中的重要部件，由于颗粒循环量的周期性变化和热冲击的影响，立管和返料器也很容易发生磨损。

2.2 磨损的影响因素

660MW超超临界循环流化床锅炉磨损的影响因素主要包括几个方面；（1）燃料特性：不同种类的燃料对受热面的磨损程度不同。燃料的硬度、灰分含量以及颗粒形状和大小都会影响磨损情况。硬度大、灰分含量高、颗粒形状不规则且粒度大的燃料更容易导致磨损。（2）

床料特性：床料粒径、形状、成分以及浓度等特性也会影响磨损情况。床料粒径越大、形状越不规则、成分中硬度高的成分越多，磨损情况越严重。（3）运行参数：运行参数如烟气速度、床温以及物料循环方式等也会影响磨损情况。烟气速度越高，磨损量越大；床温越高，颗粒的硬度和撞击力也会增加，从而加剧磨损；物料循环方式的不同也会导致磨损部位的差异。（4）受热面结构与布置方式：受热面的材质、结构以及布置方式也会影响磨损情况。材质硬度高、结构合理的受热面更耐磨损；布置方式不当（如存在凸台扰流现象）会加剧磨损。

2.3 磨损的机理探讨

660MW超超临界循环流化床锅炉磨损的机理主要包括几个方面：大量烟气和固体颗粒在炉膛内流动时，对受热面进行冲刷和撞击，导致磨损。冲刷磨损的严重程度与烟气流速、颗粒浓度以及颗粒的撞击频率有关。固体颗粒在炉膛内运动时，由于惯性作用会撞击到受热面上，导致磨损。撞击磨损的严重程度与颗粒的硬度、撞击速度以及撞击角度有关。在水冷壁和耐火材料层过渡区的凸出部位，由于形成涡流，固体颗粒会对局部水冷壁进行剧烈的冲刷和刨削作用，导致磨损。涡流磨损的严重程度与涡流的大小、强度以及持续时间有关^[2]。

3 660MW 超超临界循环流化床锅炉防磨对策

3.1 设计优化

在660MW超超临界循环流化床锅炉的设计阶段，通过优化锅炉结构可以有效减少磨损。合理设计水冷壁、过热器等受热面的布置方式，避免凸台扰流现象，减少涡流磨损。优化旋风分离器、立管和返料器等物料循环系统的结构，减少颗粒对受热面的冲刷和撞击。通过调整物料循环方式，降低颗粒的循环速度和浓度，从而减轻磨损。在水冷壁、过热器等易磨损部位采用防磨结构，如防磨瓦、防磨梁等，增加受热面的耐磨性。合理设计炉膛出口、旋风分离器入口等关键部位的几何形状，减少颗粒的撞击和冲刷。

3.2 材料选择与强化

选择合适的材料和进行材料强化是提高660MW超超临界循环流化床锅炉耐磨损性能的关键。针对易磨损部位，选用具有高硬度、高耐磨性的材料，如高铬铸铁、合金钢等。这些材料具有良好的抗冲刷和抗撞击性能，能够有效延长受热面的使用寿命。对受热面进行表面强化处理，如堆焊、喷涂等，提高表面的硬度和耐磨性。复合材料结合了不同材料的优点，具有更高的耐磨损性能。

3.3 运行调整与维护

合理的运行调整和维护措施对于减少660MW超超临

界循环流化床锅炉的磨损至关重要。根据锅炉的实际运行情况，合理调整烟气速度、床温等运行参数，降低颗粒的冲刷和撞击速度，减少磨损。优化物料循环方式，降低颗粒的循环速度和浓度。建立完善的锅炉监控系统，实时监测锅炉的运行状态和磨损情况。通过数据分析，及时发现并处理潜在的磨损问题，避免磨损加剧。定期对锅炉进行维护和检修，检查受热面的磨损情况，及时更换磨损严重的部件。同时对锅炉进行清灰、除焦等工作，保持锅炉的清洁和畅通。

3.4 新技术应用

随着科技的不断进步，新技术在660MW超超临界循环流化床锅炉防磨方面的应用日益广泛。在受热面表面涂覆耐磨涂层，提高表面的耐磨损性能。耐磨涂层具有优异的抗冲刷和抗撞击性能，能够有效延长受热面的使用寿命。利用数值模拟技术对锅炉内的流场和颗粒运动进行模拟分析，优化锅炉结构和运行参数，减少磨损。数值模拟技术能够提供准确的流场和颗粒运动信息，为锅炉设计和运行调整提供科学依据。通过智能化手段对锅炉进行实时监测和预警，及时发现并处理磨损问题。智能化防磨技术能够实现对锅炉磨损情况的动态监测和分析，提高防磨效率和准确性。

4 660MW 超超临界循环流化床锅炉防爆对策

4.1 高温氧化与硫化物热腐蚀的防护

660MW超超临界循环流化床锅炉在运行过程中，高温氧化与硫化物热腐蚀是引发锅炉部件损坏和爆炸的重要风险之一。为了有效防护这些风险，需要采取一系列针对性措施。在高温环境下，锅炉部件的金属表面容易与氧气发生反应，形成氧化物层，这不仅会削弱金属的机械性能，还可能导致部件因热应力过大而损坏^[3]。为了防止高温氧化，首先要选用具有优异抗氧化性能金属材料，如高铬、高镍合金钢等，这些材料能在高温下形成致密的氧化膜，有效阻止氧气的进一步侵入。还可以通过表面处理技术，如渗铝、渗铬等，提高金属表面的抗氧化能力。硫化物热腐蚀也是循环流化床锅炉运行中不可忽视的问题，燃料中的硫元素在高温下会与金属部件发生化学反应，生成硫化物，这些硫化物在高温下会进一步与氧气反应，形成具有腐蚀性的物质，对锅炉部件造成严重的热腐蚀。为了防止硫化物热腐蚀，需要严格控制燃料中的硫含量，并采用低硫燃料。在锅炉设计和运行时，要合理布置受热面，避免局部过热和烟气中的腐蚀性物质在受热面上积聚。除了选用合适的材料和严格控制燃料质量外，还可以通过调整锅炉的运行参数来减轻高温氧化和硫化物热腐蚀的影响。

4.2 锅炉压力与温度控制

锅炉压力与温度是循环流化床锅炉安全运行的关键参数，也是防爆对策中的重要环节。在锅炉运行过程中，要实时监测锅炉的压力和温度变化，并根据实际情况进行及时调整。对于660MW超超临界循环流化床锅炉而言，其运行压力和温度通常较高，因此需要采用先进的压力与温度监测技术，确保数据的准确性和实时性。还要建立完善的报警和联锁保护系统，一旦锅炉压力或温度超过设定值，能够立即发出报警信号，并采取相应的联锁保护措施，防止事故进一步扩大。在控制锅炉压力和温度时，还需要注意几点：一是要确保锅炉的给水质和流量稳定，避免因水质问题导致的受热面结垢和腐蚀；二是要合理调整锅炉的燃烧过程，保持适当的床温和氧量，避免局部过热和缺氧燃烧；三是要加强锅炉的维护和检修工作，及时发现并处理受热面的磨损、腐蚀等问题，防止因部件损坏而引发的超温超压事故。另外，对于循环流化床锅炉而言，其压力与温度控制还与锅炉的物料循环系统和汽水系统密切相关。在设计和运行时，要充分考虑这些系统的特点和要求，确保锅炉的整体性能和安全性。

4.3 安全防护系统的完善

为了确保660MW超超临界循环流化床锅炉的安全运行，必须建立完善的安全防护系统。首先，燃烧系统监控是安全防护系统的重要组成部分，通过对燃烧过程的实时监测和分析，可以及时发现燃烧异常和潜在的安全隐患。例如，当燃料供应不足或燃烧不充分时，燃烧系统监控装置可以发出报警信号，提醒操作人员采取相应措施进行调整。燃烧系统监控还可以对锅炉的排放物进行监测，确保排放符合环保标准^[4]。其次，压力温度保护是防止锅炉爆炸的关键措施之一，在锅炉运行过程中，要实时监测锅炉的压力和温度变化，并设置合理的保护

值。一旦锅炉压力或温度超过设定值，保护系统应立即启动，采取相应的联锁保护措施，如切断燃料供应、开启安全阀等，以防止事故进一步扩大。紧急停机装置也是安全防护系统中不可或缺的一部分，当锅炉发生故障或异常情况时，紧急停机装置可以迅速切断锅炉的电源和燃料供应，使锅炉迅速停止运行。这不仅可以防止事故进一步扩大，还可以保护操作人员的安全。另外，人员培训和应急响应也是安全防护系统中的重要环节。通过对操作人员进行定期的培训和教育，可以提高他们的安全意识和操作技能水平。建立完善的应急响应机制，确保在锅炉发生故障或异常情况时能够迅速有效地进行处置和救援工作。这不仅可以减少事故造成的损失和影响，还可以保障人员的生命安全和身体健康。

结束语

综上所述，660MW超超临界循环流化床锅炉的防磨防爆对策是一个系统工程，需要从设计优化、材料选择、运行监控与维护等多个方面入手。通过实施这些对策，可以显著提高锅炉的耐磨损性能和防爆能力，延长锅炉的使用寿命，降低运行成本，为电厂的安全生产提供坚实保障。未来，随着技术的不断进步和创新，将继续探索更加高效、环保的锅炉防磨防爆技术，为电力行业的可持续发展贡献力量。

参考文献

- [1]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.
- [2]邢延宏.循环流化床锅炉磨损及防磨方法探讨[J].科技创新导报.新型工业化,2020,10(05):63-64.
- [3]李卫东.循环流化床锅炉防磨防爆检查重点及技术改进措施[J].清洗世界,2023,39(8):175-177.
- [4]陈谈谈,王冠桥,潘玉奎.电厂循环流化床锅炉防磨防爆检查及改进措施[J].应用能源技术,2023(5):25-29.