

Research on the Mechanism of Abnormal Temperature Rise of the Main Shaft Bearing Babbitt Lining of Ball Mill Equipment and Heat Dissipation Optimization

Wenming Yuan Anlong Li Zhiqiang Wang

Guotou Jincheng Metallurgy Co., Ltd., Sanmenxia, Henan, 472500, China

Abstract

As a highly efficient crushing equipment, the ball mill drives the interaction between the grinding media and the materials through the rotation of the cylinder body. It is widely used in fields such as ore processing and building materials production, providing powder raw materials that meet the particle size requirements for subsequent processes. The stability of the temperature of the main shaft bearing babbitt lining is crucial for the normal operation of the equipment. However, in actual production, the problem of high temperature of the main shaft bearing babbitt lining occurs frequently, which affects the service life of the equipment and production efficiency. This paper deeply analyzes various causes of this problem, covering aspects such as lubrication system failures, cooling system problems, improper assembly, and excessive load, discusses the relevant influencing factors, and provides targeted solutions, offering a reference for the safe operation of the ball mill.

Keywords

Ball mill; Main shaft bearing babbitt lining; High temperature; Lubrication system; Cooling system; Temperature monitoring technology

球磨设备主轴轴承衬瓦温升异常机理与散热优化研究

袁文明 李安龙 王志强

国投金城冶金有限责任公司, 中国·河南 三门峡 472500

摘 要

作为一种高效粉碎设备, 球磨机通过筒体旋转驱动研磨介质与物料相互作用, 广泛应用于矿石加工、建材生产等领域, 为后续工艺提供符合粒度要求的粉体原料, 其主轴瓦温度稳定对设备正常运行至关重要。然而实际生产中, 主轴瓦温度偏高问题频发, 影响设备寿命与生产效率。本文深入剖析该问题的多种成因, 涵盖润滑系统故障、冷却系统问题、装配不当、负荷过大等方面, 探讨相关影响因素, 并给出针对性解决措施, 为球磨机安全运行提供参考。

关键词

球磨机; 主轴瓦; 温度偏高; 润滑系统; 冷却系统; 温度监测技术

1 引言

球磨机的主轴瓦温度控制对设备稳定运行至关重要, 但实际生产中主轴瓦温度偏高问题常见, 主要与润滑、冷却系统有关。润滑系统中, 润滑油粘度过低、油路堵塞或供油压力及流量偏低会使轴瓦温度升高; 冷却系统里, 冷却水流量不足、冷却器结垢或管道堵塞影响散热。预防和解决该问题, 可优化润滑油选型、清洗油路, 加强冷却水水质管理、清理冷却器, 还可采用红外测温仪等技术实时监测预警, 确保球磨机安全运行。

【作者简介】袁文明(1986-), 男, 中国河南三门峡人, 助理工程师, 从事机电一体化研究。

2 概论

2.1 粉体制备装备技术特征

球磨机作为粉体制备领域的核心装备, 其破碎与粉磨功能在工业流程中具有不可替代性。具体表现为: 在矿物加工领域, 通过高压辊磨工艺实现赤铁矿解离度 $\geq 85\%$ 的技术指标; 在新型干法水泥生产线中, 实现生料均化与熟料微粉化(比表面积 $\geq 350\text{m}^2/\text{kg}$); 在精细化工领域, 确保纳米级催化剂载体粒径分布 $D_{90} \leq 5\mu\text{m}$ 。其动力学原理基于离心运动与抛落运动的复合作用, 通过优化筒体转速(通常为临界转速的 65-78%)与研磨介质级配, 形成有效的冲击-研磨双重粉碎机制。

2.2 主轴瓦在球磨机中的重要性

主轴瓦是球磨机的核心部件, 承担着支撑磨机重量、润滑主轴的重要职责。磨机运行时, 主轴在主轴瓦内高速旋

转,两者间形成的油膜可降低摩擦、减少磨损。同时,主轴瓦能及时传导磨机运转产生的热量,维持主轴和自身正常工作温度。一旦主轴瓦出现故障,如温度过高、磨损严重等,会导致球磨机停机,影响生产进度,增加维修成本。

2.3 主轴瓦热失效问题工程现状

工业现场数据显示,主轴瓦异常温升已成为制约磨机运转率的关键因素。根据 GB/T 25707-2022《矿山机械可靠性评估规范》,主轴瓦热故障在设备非计划停机案例中占比达 28.6%,直接经济损失达 150-300 元/吨·时。典型案例显示,当轴瓦温度超过 65℃时,巴氏合金层会出现细微裂纹;达到 80℃时,粘结失效风险指数增长至正常工况的 7.8 倍。这种现象促使学界提出基于熵产理论的摩擦副热失效判据,推动状态监测技术向多物理场耦合分析方向发展【1】。

3 球磨机主轴瓦热负荷异常成因分析

3.1 润滑失效(油膜破裂、供油异常)

3.1.1 润滑油氧化酸败致极压性能下降

润滑油是保障主轴瓦良好润滑的关键。若润滑油含杂质、水分或已变质,润滑性能会大幅降低。杂质会刮伤轴颈和主轴瓦表面,破坏油膜;水分会使润滑油乳化;变质的润滑油化学性质改变,无法有效润滑和散热,导致主轴瓦与轴颈间摩擦增加,温度升高。

3.1.2 润滑油供应不足

油泵故障、油管堵塞或油量不足等,都可能导致润滑油供应不足。油泵故障(如齿轮磨损、密封不严)会减少输出流量甚至无法供油;油管堵塞多因杂质沉积、润滑油结焦,阻碍润滑油输送;油量不足可能是未及时补充或油箱设计不合理。润滑油供应不充分,就无法有效带走摩擦产生的热量,使得主轴瓦温度上升。

3.1.3 润滑油压力异常

润滑油压力异常分为过高和过低,都会影响润滑效果。压力过高,易出现润滑油泄漏,既浪费资源又污染环境;压力过低,难以形成良好油膜,加剧主轴瓦磨损,致使温度不断上升。

3.2 冷却不足(流量/水质问题)

3.2.1 冷却水流量不足

冷却水是为主轴瓦降温的关键介质,若流量不达标,无法及时带走热量,会导致主轴瓦温度升高。冷却水管堵塞、水泵故障或阀门未全开等多种原因,都可能造成冷却水流量不足【2】。

3.2.2 冷却水温度过高

当冷却水温度过高时,它的冷却能力就会减弱,难以有效地降低主轴瓦的温度。这种情况可能是由多种因素导致的,如冷却水循环系统出现故障、冷却塔散热效果不佳、冷却水的压力或流量偏小等。

3.2.3 冷却系统设计不合理

冷却系统的设计不合理同样会对冷却效果造成影响,最终导致主轴瓦温度升高。举例来说,若冷却水管路过长,会增大流动阻力,使得冷却水的流速降低;若管径过小,无

法满足实际的流量需求;而如果冷却水分布不均匀,会造成部分主轴瓦冷却不充分,出现局部温度过高的情况。

3.3 装配偏差(间隙不当、安装错位)

3.3.1 主轴瓦与轴颈配合间隙不当

主轴瓦与轴颈的配合间隙对润滑和散热至关重要。间隙过小,润滑油难以流动,摩擦增大,温度上升;间隙过大,主轴瓦承载能力下降,运行不稳定,同样会使温度升高。国家标准对球磨机主轴瓦的装配精度有明确规定,例如轴瓦与轴颈的配合间隙需根据设备载荷与转速动态调整,通常设计值为 0.15~0.25mm(参考 GB/T 25708-2010)。

3.3.2 主轴瓦安装位置不正确

主轴瓦安装位置不正确,如倾斜、偏移或预留热膨胀间隙过小,会导致受力不均,局部摩擦增大,从而引起温度升高。安装时,需使用专业测量工具和工艺,严格按照设计图纸控制安装位置。

3.3.3 装配过程中的损伤

装配过程中,若对主轴瓦或轴颈造成划痕、磕碰等损伤,会影响润滑和散热性能,导致主轴瓦温度升高。装配人员应严格遵守操作规程,避免损伤零部件。装配前,还需仔细检查零部件表面质量。

3.4 超负荷运行(进料过量、转速过高)

磨机负荷过大时,主轴瓦承受的载荷增加,摩擦加剧,温度随之升高。这可能是进料量过多、物料粒度过大或磨机运行速度过快等原因导致的。进料量过多使磨机内物料堆积,增加主轴扭矩;物料粒度过大增加研磨难度,加大主轴瓦负荷;磨机运行速度过快,加剧主轴瓦与轴颈间的摩擦【3】。

4 球磨机主轴瓦温度偏高的影响因素分析

4.1 润滑系统的影响因素

4.1.1 润滑油的物理化学性质

润滑油的黏度、闪点、抗磨性等物理化学性质直接影响润滑效果。黏度过高,流动性差,难以形成均匀油膜,增加摩擦;黏度过低,油膜强度不足,易被破坏。闪点是衡量润滑油安全性的重要指标,闪点过低在高温下易着火。

4.1.2 润滑系统的密封性

润滑系统密封性不佳,会导致润滑油泄漏,减少供应量,影响润滑效果,使主轴瓦温度升高。润滑油泄漏还会浪费资源、污染环境,增加安全隐患。

4.1.3 润滑油的清洁度

润滑油的清洁程度至关重要,其中混入的杂质与水分严重破坏油膜,增大主轴瓦与轴颈之间的摩擦,进而促使主轴瓦温度上升。杂质来源广泛,像设备运转产生的磨损颗粒、从外界进入的灰尘等;而水分则多因设备密封存在缺陷,或者润滑油在储存环节出现问题混入其中。

4.2 冷却系统的影响因素

4.2.1 冷却水的水质

冷却水的水质优劣,对冷却效果起着决定性作用。一旦冷却水中含有过多杂质或微生物,就会引发冷却水管堵塞

问题,严重阻碍水的正常流动,进而削弱散热能力。杂质在管道内壁沉积会形成水垢,微生物大量繁殖产生的生物膜,都会使管道的有效流通截面积变小。

4.2.2 冷却介质循环效能

冷却介质的循环效能直接影响热交换系统除热能力。当循环动力不足时,热传导效率的衰减将导致轴瓦组件持续积聚热能。该效能指标受三要素制约:流体输送装置的动力特性、管路系统的流体动力学特性以及管阻压降系数【4】。

4.2.3 冷却装置运维体系

冷却系统的维护管理工作落实到位,定期利用超声波清洗技术清理冷却水管,能够有效防止水垢和杂质在管道内堆积;经常检查冷却水泵和冷却塔的运行状态,则有助于及时发现潜在问题并加以解决。

4.3 装配精度控制要素

4.3.1 工艺设计规范性

精密装配工艺是保证摩擦副稳定运行的核心。工艺参数的偏差将导致轴瓦间隙超标、接触应力分布不均等缺陷。需基于有限元分析建立装配应力模型,制定阶梯式装配流程:基准面定位→预紧力矩控制→接触斑点检测→动态跑合调试。特别要控制轴瓦背隙在 0.03-0.05mm 范围,接触角保持在 110° -130° 区间。

4.3.2 人员技能认证体系

装配作业人员的专业资质直接影响组件配合精度。实施分级技能认证制度:初级工掌握量具校准与基础装配,中级工具备间隙调整与接触检测能力,高级工可进行动态平衡修正。

4.3.3 过程质量管控节点

装配质量要做全过程追溯管理,要是装配把控不严格,易出现质量问题,使主轴瓦温度升高。质量控制包含零部件检验、装配过程监控、装配后调试检测。装配前,严格检查零部件尺寸、形状、表面质量;装配时,按工艺要求操作,监控关键装配参数;装配后,全面调试检测球磨机,保证性能达标。

4.4 运行工况调控策略

环境参数对热平衡系统影响大。环境温度超 35℃,启动二级冷却模式;相对湿度 > 80%,激活除湿装置。建议搭建环境补偿系统,在进风口装干球温度传感器,结合露点计算器动态调节冷却水流量,安装热管式余热回收装置实现能量梯级利用。

5 球磨机主轴瓦温度偏高的诊断方法

5.1 温度监测技术革新

智能监测系统提升了工业设备故障预判水平。如某水泥企业部署无线传感网络,实时采集回转窑主轴瓦振动频谱与热力学参数,用深度神经网络建模,实现温升异常提前 72 小时预警,维护费用下降 40%。

5.1.1 热电偶传感原理

热电偶是核心测温元件,常嵌入主轴瓦内部追踪动态热状态。基于塞贝克效应,两种异质导体构成的闭合回路中,

接触端温差产生电动势,电信号强度和温度梯度正相关。经精密电势测量系统反演温度,测量精度达 $\pm 0.5\%$,热响应速度 200ms,能灵敏监测设备异常发热。

5.1.2 红外热像仪测温

红外热像仪通过检测物体表面红外辐射来测量温度分布。可全面检测主轴瓦温度,快速定位异常区域,助力故障诊断。它将物体的不可见红外能量转化为可见热图像,不同颜色代表不同温度,分析热图像能直观掌握主轴瓦温度分布,判断是否存在高温区域。4.2 润滑系统检查

5.2 润滑油质量检查

定期查看润滑油外观,测量黏度、酸值,判断其是否变质或含杂质。通过观察颜色、透明度和有无沉淀来初步判断质量;用黏度计测黏度,看是否达标;检测酸值,若酸值过高,说明润滑油已变质,需及时更换,保障润滑系统正常运转。

5.2.1 润滑油供应系统检查

检查油泵工作状态、油管是否畅通以及润滑油的压力和流量。听声音、观察振动判断油泵运行状况;用压力测试、通球试验等方法检查油管;借助压力表和流量计检测压力和流量。若供应系统有问题,要及时维修或更换部件,保证主轴瓦能得到充足的润滑油供应。

5.2.2 润滑系统密封性检查

检查油管接头、油封等润滑系统密封点,查看有无润滑油泄漏。可用涂抹检漏剂、压力测试等方式查密封性。若发现泄漏,及时更换密封垫、紧固接头等进行修复,保障润滑系统正常运作。

6 结论

球磨机主轴瓦温升异常是多源耦合性故障,需从设备全生命周期综合治理。系统排查机械传动系统成因链后,建立分级管控机制:预防上,构建规范维护流程,落实润滑和冷却装置周期点检,用实时温控传感技术建预警网络;处置时,依振动频谱和热成像数据精准干预,优化轴瓦配合公差,改善润滑介质参数;管理中,强化岗位技能培训,明确操作规范和责任机制,建关键参数动态调控模型。实现设备预测性维护,提升粉磨系统运行可靠性与能效。

参考文献

- [1] 闻邦椿. 机械设计手册(第5版)[M]. 北京:机械工业出版社, 2018: 456-463. (主轴瓦设计标准与装配规范)
- [2] 王先会. 现代润滑技术[M]. 北京:化学工业出版社, 2020: 127-135.(润滑系统故障分析)
- [3] GB/T 25708-2010, 球磨机技术条件[S]. 北京:中国标准出版社, 2011. (设备技术参数要求)
- [4] 国家矿山机械质量监督检验中心 2022 年度球磨机故障统计分析报告[R]. 洛阳:矿山机械研究院, 2023: 28-33. (行业故障数据支撑)
- [5] 陈志刚, 球磨机主轴系统热力耦合特性研究[D]. 长沙:中南大学, 2020: 56-62. (热力学分析理论基础)