

双金属复合衬板在龙桥矿业球磨机中的应用及性能优化

于海涛

(安徽庐江龙桥矿业股份有限公司)

摘要 龙桥矿业为了提升球磨机的运行效率及设备稳定性,针对传统高锰钢衬板在使用过程中存在的寿命短、维护频繁、漏浆现象频发等问题,自 2010 年起在一段磨矿系统中引入了双金属复合衬板,并持续开展了结构优化与安装工艺改进。生产实践表明:双金属复合衬板在耐磨性、抗冲击性及使用寿命等方面均展现出了显著优势,平均使用寿命可达 24 个月,是高锰钢衬板的近 5 倍,年均更换次数由 2.4 次降至 0.5 次,大幅减少了非计划停机时间,提升了设备运行的连续性与可靠性,提升了选矿效率;同时,维护成本显著下降,年节约综合费用达 24.9 万元,推动了绿色矿山建设,为矿山企业降本增效提供了有效路径。

关键词 双金属复合衬板 球磨机 性能优化 经济效益

DOI:10.3969/j.issn.1674-6082.2025.09.038

Application and Performance Optimization of Bimetallic Composite Liner in Ball Mill of Longqiao Mining Industry

YU Haitao

(Anhui Lujiang Longqiao Mining Co., Ltd.)

Abstract In order to improve the operation efficiency and equipment stability of the ball mill of Longqiao Mining Industry, in view of the problems of short service life, frequent maintenance and frequent slurry leakage in the use of traditional high manganese steel liners, bimetallic composite liners have been introduced into the one-stage grinding system since 2010, and structural optimization and installation process improvement have been continuously carried out. The production practice shows that the bimetallic composite liner has shown significant advantages in wear resistance, impact resistance and service life. The average service life can reach 24 months, which is nearly 5 times that of high manganese steel liner. The average annual replacement times are reduced from 2.4 times to 0.5 times, which greatly reduces the unplanned shut-down time, improves the continuity and reliability of equipment operation, and improves the beneficiation efficiency. At the same time, the maintenance cost is significantly reduced, and the annual comprehensive cost is 249 000 yuan, which promotes the construction of green mines and provides an effective path for mining enterprises to reduce costs and increase efficiency.

Keywords bimetallic composite liners, ball mill, performance optimization, economic benefits

龙桥矿业位于安徽省合肥市庐江县东南部,是一家集采选于一体的大型矿山企业,年处理原矿能力达 300 万 t,主要产品包括品位 65% 以上的铁精矿、品位 45% 以上的硫精矿和品位 18% 以上的铜精矿,选矿流程采用先磁后浮工艺,其中一段磨矿系统是整个生产流程的关键环节。

随着矿石性质的变化和生产规模的扩大,原有高锰钢衬板在使用过程中暴露出寿命短、故障率高、维护频繁等问题,严重影响了生产的连续性和经济性。为提升设备运行效率,降低维护成本,保障安全生产,龙桥矿业于 2010 年启动了一段磨矿球磨机衬板改造工程,全面引入双金属复合衬板替代原有高

于海涛(1985—),男,副厂长,工程师,231551 安徽省合肥市。

锰钢衬板。为此,针对双金属复合衬板在龙桥矿业的应用情况,重点阐述其结构设计、安装流程、性能优化及经济效益,旨在为同类矿山企业提供经验借鉴和技术支持。

1 改造前后工艺流程

1.1 改造前工艺流程

原磨矿磁选流程采用常规两段闭路磨矿、阶磨阶选流程,原工艺流程见图 1。

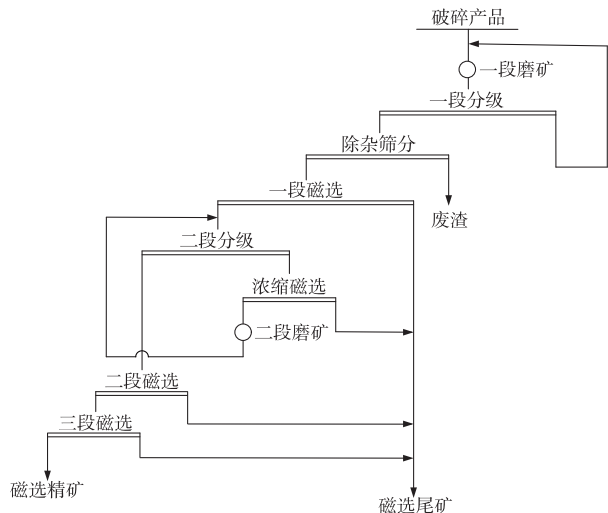


图 1 原磨矿磁选工艺流程

1.2 改造后工艺流程

为了优化生产流程,实现能抛早抛,2020 年对二、三系列一段磨矿工艺流程增加了磨前预选工艺,2022 年对一系列一段磨矿工艺流程增加了磨前预选工艺^[1],以减少入磨矿量,提高入磨矿石品位,降低矿石单位能耗和选矿成本。改造后工艺流程见图 2。

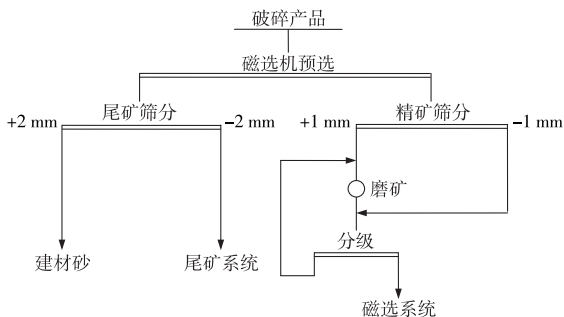


图 2 改造后磨前预选工艺流程

2 改造前设备运行现状与存在的问题

龙桥矿业一段磨矿系统共有 3 个系列,一系列采用 $\phi 3.2\text{ m} \times 4.5\text{ m}$ 格子型球磨机,二、三系列采用 $\phi 3.6\text{ m} \times 6.0\text{ m}$ 溢流型球磨机。改造前,所有系列磨机均采用传统高锰钢衬板,该类型衬板虽然具有一定的耐磨性和韧性,但在实际应用中仍存在以下问题^[2]。

(1)使用寿命短。高锰钢衬板在龙桥矿业的实际使用寿命仅为 5 个月,每年需更换 2~3 次,频繁更换影响正常生产计划。

(2)漏浆现象频发。衬板磨损后期,钢球易撞击

扁头螺栓尾部,导致筒体或端盖密封失效,出现漏浆现象。每次漏浆需停机处理,空转时间约 20 min,造成非计划停机损失。

(3)安全风险高。衬板更换作业涉及高空、动火、有限空间等多种高危操作,且需清理钢球与衬板混合物,存在较大安全隐患。

(4)维护成本高。频繁更换衬板不仅增加备件采购费用,还大幅提高了人工维护成本和设备损耗。

上述问题严重制约了龙桥矿业一段磨矿系统的稳定运行和经济效益的提升。

3 双金属复合衬板的引进与实施

3.1 结构设计

双金属复合衬板是一种由 2 层金属材料复合而成的新型耐磨衬板,广泛应用于球磨机等矿山设备中,其结构设计充分考虑了球磨机在运行过程中所承受的复杂工况,如高强度冲击、持续磨损和周期性振动^[3]。该衬板外层采用高硬度、高耐磨性的合金材料,主要承担抵抗钢球冲击和物料磨损;内层则选用具有良好韧性和焊接性能的基材,负责承受冲击能量,并保证衬板与筒体之间的牢固连接^[4]。这种双金属复合结构在保证耐磨性能的同时,也具备优异的抗冲击和抗断裂能力,有效延长了衬板的使用寿命,提升了设备运行的稳定性^[5]。

根据球磨机不同部位的功能和受力特点,双金属复合衬板被细分为多个组件,包括筒体衬板、端衬板、人孔门衬板、压条和波形压板等,各组件之间通过科学合理的连接方式组合安装,可确保整个衬板系统在长期运行中保持结构稳固及密封良好^[6]。

筒体衬板是球磨机中承受钢球冲击和物料磨损最严重的部位之一,其采用推拔角度安装方式,能够有效减少钢球与衬板之间的垂直冲击,降低磨损速率。每 1/4 圈设置 1 套压条,用于固定衬板并防止其在运行过程中发生位移或脱落。这种设计无需使用螺杆固定,简化了安装工艺,提高了整体结构的可靠性。

端衬板位于球磨机的进出料端,承受着较大的物料冲击力和压力,其上设有扁头螺栓孔,配合橡胶圈和碗型垫片进行密封处理,防止磨矿过程中矿浆泄漏,可确保设备运行的密封性和安全性。

人孔门衬板最初采用高锰钢材质,便于日常检查和维护作业;但实践发现其耐磨性能不足,使用寿命较短。为此,后期将其材质优化为双金属复合材料,不仅保留了良好的可拆卸性,还显著提升了耐磨性和使用寿命。

压条与波形压板作为连接和固定部件,主要用

于填充衬板之间的空隙,并通过焊接方式进行加固,防止衬板在运行过程中因振动或冲击而脱落,进一步提升整体结构的稳定性和安全性。

3.2 性能优化与持续改进

自2010年双金属复合衬板在龙桥矿业一段磨矿系统投入使用以来,经过多年的实际运行与持续跟踪,发现其在耐磨性、抗冲击性及整体结构稳定性方面均优于传统高锰钢衬板。然而,在实际应用过程中也暴露出一些设计和使用上的不足,如局部磨损不均、结构连接可靠性不足等问题^[7]。针对这些问题,经多次技术优化和工艺改进,逐步提升了双金属复合衬板的整体性能与运行可靠性,延长了使用寿命,降低了维护成本,其具体优化措施如下。

(1)对人孔门衬板材质进行优化。初期,考虑到人孔门需要频繁开启以进行设备检查和维护,人孔门衬板仍采用传统高锰钢材质,虽拆卸方便,但其耐磨性较差,实际使用寿命仅约6个月,远低于筒体衬板的使用周期,衬板更换频率高,维护工作量大。为解决该问题,将人孔门衬板材质由高锰钢更换为双金属复合材料。优化后的新型人孔门衬板不仅保留了原有的可拆卸特性,同时大幅提升了耐磨性能,使用寿命延长至24个月以上,与主衬板更换周期基本同步,有效减少了衬板更换频次,保障了设备运行的连续性。

(2)在结构连接方面,对压条和螺栓孔设计进行优化。初期设计中,筒体衬板的压条厚度较大,端衬板上预留的扁头螺栓孔较深且宽,在球磨机运行过程中,钢球抛落时易撞击螺栓尾部,造成螺栓松动甚至断裂,进而引发漏浆、衬板脱落等安全隐患。为解决该问题,对压条的厚度进行了减薄处理,并将螺栓孔的深度和直径进行合理缩小,采用浅而小的预留孔设计,有效避免了钢球与螺栓尾部的直接碰撞,显著提升了连接结构的稳定性和密封性,降低了漏浆事故的发生率,提高了设备运行的安全性。

(3)在衬板厚度设计方面,结合实际磨损数据,进行了差异化的厚度优化。通过对不同部位衬板的磨损速率进行长期监测和分析发现,进料端衬板的磨损速度明显快于出料端衬板和筒体衬板,这是由

于进料端承受的冲击力和物料浓度较大,该区域衬板磨损更为严重。为实现衬板各部位的同步磨损和统一更换,后续设计中适当增加了进料端衬板的厚度,使其与其他部位衬板的磨损周期趋于一致,该优化措施不仅延长了整体衬板的使用寿命,还减少了因局部衬板提前失效而引起的非计划停机和更换作业,进一步提升了设备运行效率和经济效益^[8]。

通过上述一系列持续的技术优化与结构改进,双金属复合衬板的整体性能得到了显著提升,不仅在耐磨性、抗冲击性方面表现优异,而且在结构稳定性、密封性能和维护便利性等方面也达到了更高的水平。双金属复合衬板在龙桥矿业球磨机系统中的应用,实现了更长的使用寿命、更低的维护成本和更高的运行安全性,为矿山企业的设备升级和技术进步提供了有力支撑^[9]。

3.3 实际运行效果与性能表现

双金属复合衬板在龙桥矿业投入运行后,展现出了优异的综合性能:①使用寿命显著延长,实际使用寿命可达24个月,是原高锰钢衬板的近5倍;②运行稳定性大幅提升,基本实现了免维护运行,减少了非计划停机次数;③运行成本显著下降,减少了衬板更换频率,降低了备件采购费用与人工维护成本;④安全风险有效控制,避免了频繁更换衬板带来的高危作业,提高了现场作业安全性;⑤双金属复合衬板的应用还减少了因漏浆、衬板脱落等故障引起的设备损坏,保障了磨矿工艺流程的连续性与高效性。

4 经济效益分析

为进一步量化双金属复合衬板带来的经济效益,基于龙桥矿业的实际运行数据,结合采购价格、使用寿命及维护成本等关键参数,对高锰钢衬板与双金属复合衬板进行系统性对比,对比结果见表1~表3。

表 1 高锰钢衬板与双金属复合衬板成本对比结果

衬板	单价 /(万元/t)	单套	单套	使用 寿命 /月	更换 次数 /(次/a)	年均采购 成本 /万元	年节约 成本 /万元
		质量 /t	成本 /万元				
高锰钢衬板	0.65	50	32.5	5	2.4	78	—
复合衬板	1.90	72	136.8	24	0.5	57	21

表 2 非计划停机与维护成本对比结果

衬板	年均停机次数	单次空磨时间	平均空磨时间	球磨机电机功率	运行电流	单位电价
	/次	/min	/min	/kW	/A	/[元/(kW·h)]
高锰钢衬板	4.0	20	80	1 250	52	0.6
复合衬板	0.5	2	1	1 250	52	0.6
衬板	年均电能损耗	年均电能费用	年均管理维护	年均非计划	年节约其他	
	/ (kW·h)	/元	成本/万元	总成本/元	成本/元	
高锰钢衬板	1 667	1 000	4.0	41 000	—	
复合衬板	25	15	0.2	2 015	38 985	

表 3 年度综合效益对比结果

衬板	采购 成本/万元	更换成本 /万元	非计划停机 损失/元	合计年均 成本/万元
高锰钢衬板	78	4.0	1 000	82.1
复合衬板	57	0.2	15	57.2

(1)直接采购成本。尽管双金属复合衬板单价明显高于高锰钢衬板,但其使用寿命长达 24 个月,远超高锰钢衬板的 5 个月。因此,年均采购成本由原来的 78 万元下降至 57 万元,年节约采购成本 21 万元。

(2)维护成本。由于衬板更换频率大幅减少,配套的人工及管理维护成本显著下降,由年均 4 万元降至 0.2 万元,年节约人工与维护费用高达 3.8 万元。

(3)非计划停机损失。双金属复合衬板运行稳定性更高,年均非计划停机次数由 4 次降至 0.5 次,空磨时间从 80 min 减至 1 min,电能损耗由 1 000 元降至 15 元,年节约电费 985 元;同时,年均非计划总成本由 4.1 万元降至 2 015 元,年节省 38 985 元。同时,减少了因漏浆、衬板脱落等故障导致的意外停机,保障了生产的连续性。

(4)综合经济效益。使用双金属复合衬板后,年均总成本由 82.1 万元降至 57.2 万元,年节约总成本 24.9 万元,经济效益显著。

(5)环保与可持续发展。衬板更换频率降低,减少了废料产生,符合绿色矿山建设要求。

综上所述,双金属复合衬板在龙桥矿业的应用不仅带来了显著的经济效益,在安全生产、节能环保等方面亦发挥了积极作用。

5 结 论

(1)龙桥矿业自 2010 年起引入双金属复合衬板以来,经过多年的实践应用与持续优化,成功解决了高锰钢衬板存在的诸多问题,显著提升了球磨机的运行效率与稳定性。双金属复合衬板凭借其优异的耐磨性、抗冲击性及良好的结构设计,成为龙桥矿业磨矿系统提质增效的重要支撑。

(2)未来,随着选矿工艺的不断进步与设备智能化的发展,龙桥矿业将继续深化与设备制造商的技术合作,探索更高效、更节能、更环保的衬板材料与结构形式,推动企业向高质量发展方向迈进。

参 考 文 献

[1] 刘金生.磨前预选工艺在龙桥矿业的应用[J].现代矿业,2021(10):135-136.

[2] 张谦,肖庆飞,赵福刚,等.球磨机衬板失效原因分析及优化对策研究[J].有色金属:选矿部分,2021(5):131-139,149.

[3] 向云贵,廖丕博.双金属复合铸造球磨机衬板工艺研究[J].南方金属,2007(1):28-30.

[4] 王嘉.矿用球磨机复合铸造衬板的结构分析[J].世界有色金属,2017(5):81-83.

[5] 王跃辉,吴佳佳,高建辉,等.双金属复合衬板在旋回破碎机耐磨腔中的应用研究[J].现代矿业,2020(7):198-201,235.

[6] 范保建,佐太东,庞玉明,等.中型溢流型球磨机筒体衬板形状及安装技术优化实践[J].黄金,2021,42(7):59-62.

[7] 王刚.溢流型球磨机研磨体及衬板合理磨损的研究[J].中国设备工程,2022(11):19-21.

[8] 马道明,李同清,尹自信,等.基于 Archard 磨损模型的二元颗粒球磨机衬板磨损分析[J].有色金属:选矿部分,2024(10):105-114.

[9] 黄芳,徐野.球磨机衬板加工工艺改进及其对设备性能的影响分析[J].有色矿冶,2024,40(3):40-42.

(收稿日期 2025-02-27)

(上接第 197 页)

ratric Republic of Congo), with Regional Implications[J].Journal of African Earth Sciences,2005,42:1-31.

[3] 陈兴海,刘运纪,杨焱,等.刚果(金)SICOMINES 铜钴矿床地质特征及成因探讨[J].有色金属:矿山部分,2012,64(6):36-42.

[4] DANIELLE SCHMANDT, DAVID BROUGHTON, MURRAY W, et al.The Kamoa Copper Deposit, Democratic Republic of Congo. Stratigraphy, Diagenetic and Hydrothermal Alteration, and Mineralization[J].Economic Geology, 2013(6):1301-1324.

[5] 刘洪微.刚果(金)KOLWEZI 铜钴矿床地质特征及成因分析[J].地质与勘探,2018,54(4):856-866.

[6] 李向前,姜玉平,赵锡岩,等.刚果(金)堪苏祁铜钴矿床地质特征及成因分析[J].地质与勘探,2010,46(1):175-182.

[7] 刘运纪,王纪昆,张泰.刚果(金)DIMMA 铜钴矿床地质特征及成因分析[J].地质找矿论丛,2011,26(4):446-452.

[8] 李向前.中非铜带刚果(金)段成矿系列和成矿规律[D].北京:中国地质大学(北京),2011.

[9] 李向前,毛景文,闫艳玲,等.中非刚果(金)加丹加铜钴矿带主要矿化类型及特征[J].矿床地质,2009,28(3):366-380.

[10] 王志刚,陈玉华,付小锦,等.刚果(金)加丹加省堪苏祁铜钴矿床地质特征及找矿方向[J].地质找矿论丛,2012,27(2):206-213.

[11] 陶则熙.刚果(金)加丹加铜矿带地质特征及成矿前景[J].地质与勘探,2016,52(2):392-398.

(收稿日期 2024-07-16)