

Application analysis of repair technology for the middle groove of scraper conveyor

Zhongli Ai

Liaoning Coal Machinery Equipment Manufacturing (Group) Co., Ltd., Tieling, Liaoning 112000, China

Abstract

As the core component of scraper conveyors, the central slot's wear and failure directly impact operational efficiency and equipment lifespan. This analysis systematically explores four mainstream repair reinforcement technologies based on structural analysis and failure mechanisms. Laser cladding technology, characterized by high precision, low deformation, and superior coating performance, is suitable for precision areas such as chain tracks. Automated wear-resistant overlay welding, with its high efficiency and cost-effectiveness, serves as the primary solution for large-area repairs. High-performance composite liner embedding technology provides a modular protection solution that eliminates thermal input and enables rapid replacement. Plasma cladding technology strikes a balance between efficiency and cost, making it ideal for thick-layer repairs. The selection of these technologies requires comprehensive decision-making based on wear patterns, cost considerations, and operational conditions, playing a significant role in advancing intelligent remanufacturing of mining equipment and implementing green circular economy development.

Keywords

scraper conveyor; central trough; wear failure; laser cladding

刮板输送机中部槽修复技术应用分析

艾中利

辽宁煤机装备制造(集团)有限责任公司, 中国·辽宁 铁岭 112000

摘要

中部槽作为刮板输送机的核心部件,其磨损失效直接影响设备运行效率与寿命。本分析在解析其结构与失效机理的基础上,系统探讨了四种主流修复强化技术。激光熔覆技术以高精度、低变形和优异涂层性能,适用于链道等精密部位。自动化耐磨堆焊凭借高效率与高性价比,是大面积修复的主力。高性能复合衬板镶嵌技术提供了一种无热输入、快速更换的模块化防护方案。等离子熔覆技术则在效率与成本间取得平衡,适合厚层修复。这些技术的选择需依据磨损形式、成本与工况进行综合决策,对推动矿山设备智能再制造、落实绿色循环经济发展具有重要意义。

关键词

刮板输送机; 中部槽; 磨损失效; 激光熔覆

1 引言

随着《“十四五”原材料工业发展规划》与《关于加快废旧物资循环利用体系建设的指导意见》等国家政策的深入实施,推动重大技术装备的再制造与延寿,促进资源节约集约利用已成为制造业绿色发展的重要方向。刮板输送机作为煤矿开采的关键设备,其核心部件中部槽的磨损失效是导致设备停机与维护成本攀升的主要原因。传统更换新槽的方式成本高且周期长。因此,发展高效、可靠的中部槽修复与强化技术,不仅是保障煤炭连续生产的迫切需求,也是落实国家循环经济与可持续发展战略,推动矿山机械行业向绿

色、智能再制造转型的必然技术路径。

2 刮板输送机中部槽的结构与功能解析

刮板输送机的机体,主要由封闭的矩形断面槽体构成,而中部槽正是这延绵槽体的标准节段单元,是完成物料装载、运输与卸载功能的核心载体。其结构设计精密而坚固,通常由高强度低合金钢板焊接而成,主要包括两个相向对称布置的槽帮(或称铲煤板)、连接左右槽帮的封底式或开底式中板、以及安装于槽体两端的端头(分为凸端和凹端,用于节段间的连接)。槽帮上缘通常设计有可供刮板链条平稳运行的链道,其内侧与中板共同围成了煤炭的输送空间。在工作时,绕过机头、机尾链轮的封闭刮板链,在中部槽构成的轨道内循环运行,拖动刮板将槽底的煤炭源源不断地推向卸载端。中部槽并非孤立存在,它们通过端头处的精密连接

【作者简介】艾中利(1977-),男,中国辽宁灯塔人,本科,从事机械或矿山机械研究。

部件（如哑铃销、螺栓等）首尾相接，形成一条刚柔并济的连续运输线，能够在一定程度上适应工作面的推进和底板的起伏。其结构强度、几何精度尤其是链道与中板的耐磨性能，直接决定了输送机运行的平稳性、阻力大小以及最终的运输能力与使用寿命。因此，对中部槽的理解，必须将其置于动态的、受力的、摩擦的完整系统之中，其每一处结构特征都与其功能实现和失效模式紧密相连。

3 刮板输送机中部槽磨损失效的主要原因

3.1 输送物料的直接磨损与腐蚀作用

中部槽的磨损失效主要源于所输送物料的直接作用。煤炭及其中的硬质夹矸（如石英、长石等矿物），在输送过程中对槽体中板及槽帮内侧产生持续的滑动、滚动与冲击，形成典型的磨料磨损。物料硬度、粒度、形状及含水率直接影响磨损速率。当物料含水或矿井水侵入时，磨损机制常演变为更为剧烈的湿磨料磨损或冲蚀磨损（如图1）。矿井水通常呈弱酸性或含氯离子等腐蚀成分，与机械磨损协同作用，形成磨损-腐蚀交互效应。腐蚀会软化金属表面或产生疏松腐蚀产物，使其更易被磨料剥离；而磨损不断去除表层，暴露出新鲜金属，又加速了腐蚀进程，形成材料损失速度远超单纯磨损或腐蚀的恶性循环。槽体底部，尤其是中板区域，承受物料最大正压力与主要滑动摩擦，是该类磨损最为严重的部位。



图1 刮板输送机输磨磨损与腐蚀图

3.2 链条与槽体间的机械摩擦与冲击损伤

刮板链条与中部槽之间的机械相互作用是另一关键磨损原因。链条在运行中与槽帮上缘的链道持续滑动摩擦，这种金属对金属的接触磨损因煤粉、水汽等杂质侵入而加剧，形成三体磨料磨损，显著提高磨损速率。链道过度磨损会导致链条运行轨迹改变，增加阻力并可能引发跳链故障。更为严重的是，链条在启动、制动、负载变化及通过弯曲段时产生的抖动、拍击，以及刮板卡滞释放带来的瞬时冲击，会对槽体形成周期性冲击载荷。这种冲击不仅加速接触点的疲劳磨损，还可能引发微观裂纹萌生与扩展，特别是在焊缝、截面过渡等应力集中区域，易导致疲劳断裂。因此，链条系统带来的磨损是链道区域的接触疲劳磨损与槽体整体的冲击

磨损、微动磨损的综合体现，与物料磨损共同导致槽体几何尺寸破坏、强度削弱与功能失效。

3.3 焊接残余应力与结构应力集中的影响

中部槽的结构完整性及抗磨损能力，不仅受到外部物料与链条的直接作用，也与其内部固有的应力状态密切相关。焊接作为中部槽制造与维修的核心工艺，不可避免地会引入残余应力。在焊接快速加热和冷却过程中，焊缝及热影响区因不均匀的热膨胀与收缩，会产生高达材料屈服强度的拉应力。这种残余拉应力会显著降低材料的疲劳强度，在交变载荷下成为微观裂纹的起源点，加速裂纹的萌生与扩展，使得磨损过程从单纯的表面材料损失演变为更危险的磨损-疲劳复合失效。因此，焊接残余应力与结构应力集中的存在，实质上降低了材料的有效承载能力和耐磨性，是导致中部槽早期失效与局部异常磨损不可忽视的内在因素。

4 刮板输送机中部槽修复关键技术应用分析

4.1 激光熔覆技术

激光熔覆技术是一种利用高能量密度激光束作为热源，在工件表面快速熔化一层特殊合金粉末并与基体形成冶金结合的先进表面工程方法。其核心是激光与材料的相互作用，功率密度通常可达每平方厘米1万瓦以上，能在毫秒级时间内将基体表层与合金粉末共同熔化形成微小熔池，随后以每秒高达1百万摄氏度以上的冷却速度急速凝固。

这种超快的加热与冷却过程，使得熔覆层组织极为致密，晶粒尺寸可细化至微米乃至纳米级别，如马氏体、残余奥氏体与多种碳化物的复合组织，宏观硬度普遍可达HRC55-65，耐磨性可比基体材料提升5倍以上。其热输入集中，热影响区宽度通常可控制在1-2mm以内，工件的整体热变形量极小，变形量通常小于0.1%。该技术的关键优势在于其极低的稀释率，可控制在5%以内，这确保了高性能粉末（如含碳化钨60%的镍基复合粉末）的优异性能得以在覆层中充分保留，而不过多受基体成分冲淡。在中部槽修复中，激光熔覆以其高精度（轨迹重复精度可达 $\pm 0.1\text{mm}$ ）和低热影响的特点，成为修复精密链道、中板接合面等尺寸敏感和易变形部位的首选工艺。尽管其设备初期投资较高，单台大功率激光加工系统价格可达数百万元，且对工件装卡定位有一定精度要求，但其修复后的部件寿命延长效果显著，是追求高可靠性、长寿命修复方案的理想选择。

4.2 自动化耐磨堆焊技术

自动化耐磨堆焊技术是通过集成化机械系统与数字化控制，实现焊接过程全自动化的高效修复工艺。该技术利用电弧作为热源，熔化连续输送的耐磨合金焊丝或焊带，在磨损表面精确堆积形成强化层。其自动化核心体现在对焊接电流、电压、行走速度、摆动幅度与频率等关键参数的精准闭环控制，例如电流波动可控制在设定值的 $\pm 2\%$ 以内，确保了工艺的极端稳定性。

广泛应用的药芯焊丝,如高铬铸铁型,其堆焊层组织中以初生碳化铬为主,硬度可达 HRC58-65,抗磨料磨损性能优异。单道堆焊宽度通常为 20-50mm,单层堆焊厚度可达 3-8mm,通过多层多道搭接可快速覆盖大面积磨损区域。工艺优化的关键在于热输入与层间温度的控制。对于高碳高铬材料,通常需将层间温度严格控制在 150-250℃ 范围内,以抑制裂纹产生。采用多丝或宽带极(带宽可达 60-150mm)技术,能够将熔敷效率提升至每小时 20kg 以上,显著提高修复效率。其设备系统(包括电源、控制柜、行走机构)的一次性投资远低于激光设备,且日常耗材(焊丝、气体)成本相对低廉,使其在大型结构件、如中部槽的中板、槽帮等大平面磨损区域的批量化修复中占据了主导地位,综合性价比极高,是当前煤矿、矿山等工业现场应用最广泛的核心修复手段。

4.3 高性能复合衬板镶嵌技术

高性能复合衬板镶嵌技术是一种非焊接式的模块化防护技术。其工艺核心是,在经处理的磨损基体表面,通过钻孔、攻丝,使用高强度螺栓(如性能等级 8.8 级以上)将预先成型的耐磨衬板牢固地机械连接在基体上。衬板作为独立的易损件,承受全部磨损,从而保护中部槽本体。

该技术的关键在于衬板材料的选择与连接设计。常见的超高分子量聚乙烯衬板,其分子量通常超过 150 万,具有极低的摩擦系数,动态摩擦系数可低至 0.1-0.22,且具有自润滑性,能有效降低运行阻力达 30% 以上,其抗冲击强度可超过 150kJ/m²。安装时,为保证连接的长期可靠性,螺栓紧固扭矩需严格按设计执行,例如 M16 的高强螺栓,扭矩通常需达到 200-250 牛·米,并配合防松垫片或螺纹锁固剂使用。这种技术允许快速更换,单块衬板的更换时间可控制在 1-2h 内。其施工对现场环境要求极低,无需大型专用设备,无热输入,不产生焊接变形或残余应力。它特别适用于槽体侧帮、受料冲击点、卸载曲线段等冲击磨损严重的局部区域,或作为新设备的预防性保护措施。然而,在长期承受超过衬板材料剪切强度的强冲击载荷(如超过 30 兆帕的持续冲击压力)或工作温度长期超过 80℃ 的环境下,其可靠性会下降,需谨慎选用或进行特殊设计。

4.4 等离子熔覆技术

等离子熔覆技术是以高能等离子弧为热源的表面熔覆工艺。其等离子弧由电弧经特殊喷嘴压缩获得,电弧中心温度可达 15000-30000 摄氏度,能量密度比常规电弧焊高出一个数量级,可达每平方厘米 10 的四次方瓦量级。在工作过程中,转移弧在工件上形成稳定熔池,粉末输送系统(送粉率精度可达 $\pm 1.5\%$)将合金粉末精确送入弧柱或熔池,实

现粉末的高效熔化与冶金结合。该技术熔覆速率高,单道熔覆宽度在 5-15mm 范围内可调,单道熔覆厚度可达 2-5mm,粉末利用率通常高达 90% 以上。通过选用不同的合金粉末体系,可以获得性能各异的涂层。

例如,使用镍基碳化钨复合粉末,可获得硬度在 HRC55-60 之间、耐磨性优良的涂层;而铁基合金粉末则具有更好的经济性。与激光熔覆相比,等离子熔覆的设备投资成本通常仅为前者的三分之一到二分之一,但生产效率却可与之相当甚至在某些厚层修复场景中更高。其热输入和热影响区(宽度约 3-6 毫米)比激光熔覆大,但远小于传统电弧堆焊,对工件的装配间隙和表面状态(允许一定的锈蚀和氧化皮)的适应性更强。在中部槽修复领域,等离子熔覆技术特别适用于槽帮、底板等大面积均匀磨损或需快速增厚修复的区域。它能够在保证涂层与基体牢固结合和良好耐磨性能的前提下,以较高的性价比和现场工艺适应性,实现重型部件的快速修复与长效强化。

5 结语

面对中部槽的严峻磨损挑战,单一的修复技术难以应对所有复杂工况。激光熔覆、自动化堆焊、等离子熔覆与复合衬板镶嵌这四种关键技术各有其优势与适用场景。未来的技术发展将更加注重修复方案的定制化与复合化,即基于精准的磨损诊断,将多种技术优势结合,并融入智能化工艺控制与寿命预测。通过科学选择与优化应用这些技术,不仅能显著恢复甚至提升中部槽的性能,大幅延长设备服役周期,降低全生命周期成本,更能有效减少资源消耗与废件产生,有力支撑矿山装备的绿色、低碳、高效运行,为行业的高质量发展提供坚实的技术保障。

参考文献

- [1] 李俊.基于模拟分析的刮板输送机中部槽结构优化[J].机械管理开发, 2023, 38(5):120-122.
- [2] 赵毛毛.基于刮板链速度的带式输送机中部槽磨损性能的分析[J].煤炭与化工, 2023, 46(2):89-91.
- [3] 王浩.直线截割工况下刮板输送机中部槽疲劳失效特征分析研究[J].机械管理开发, 2025(8).
- [4] 张育萌.刮板输送机中部槽参数化力学分析及设计系统研究与开发[D].太原理工大学,2023.
- [5] 杨向峰.刮板输送机中部槽结构设计优化研究[J].机械管理开发, 2023.
- [6] 张育萌.刮板输送机中部槽参数化力学分析及设计系统研究与开发[D].太原理工大学,2023.
- [7] 夏蕊,李博,王学文,等.刮板输送机中部槽磨粒磨损试验装置研制与应用[J].实验室研究与探索, 2023, 42(2):192-195.