

煤矿机械磨损机理及耐磨材料应用研究

胡照钊 吴皓亮 毛鹏程 胡爱琴 周梦翔 何涟漪 曾亨

浙江宝通工程机械有限公司

DOI:10.12238/etd.v6i8.17098

[摘要] 随着煤矿机械化程度攀升,机械磨损问题日益凸显。本文聚焦煤矿机械磨损机理及耐磨材料应用研究。首先剖析煤矿机械工作特点,深入分析磨料磨损、黏着磨损、疲劳磨损和冲蚀磨损等磨损机理。接着详细阐述耐磨材料在采煤机、掘进机、输送机及其他煤矿机械中的具体应用情况。通过研究,旨在为降低煤矿机械磨损、延长设备使用寿命提供理论依据与实践指导,提升煤矿生产的效率与经济效益,推动煤矿机械领域的技术进步与发展。

[关键词] 煤矿机械; 磨损机理; 耐磨材料应用

中图分类号: TD421 **文献标识码:** A

Research on Wear Mechanisms of Coal Mining Machinery and Application of Wear-Resistant Materials

Zhaoju Hu Haoliang Wu Pengcheng Mao Aiqin Hu Mengxiang Zhou Lianyi He Heng Zeng
Zhejiang Baotong Engineering Machinery Co., Ltd.

[Abstract] With the increasing mechanization of coal mining, mechanical wear issues have become increasingly prominent. This study focuses on the wear mechanisms of coal mining machinery and the application of wear-resistant materials. It begins by analyzing the working characteristics of coal mining machinery and delves into wear mechanisms such as abrasive wear, adhesive wear, fatigue wear, and erosive wear. The specific applications of wear-resistant materials in shearers, roadheaders, conveyors, and other coal mining machinery are then elaborated in detail. Through this research, the study aims to provide theoretical foundations and practical guidance for reducing wear in coal mining machinery, extending equipment service life, improving the efficiency and economic benefits of coal production, and promoting technological progress and development in the field of coal mining machinery.

[Key words] Coal Mining Machinery; Wear Mechanisms; Application of Wear-Resistant Materials

引言

煤矿作为我国重要的能源产业,煤矿机械的正常运行对于保障煤炭稳定供应至关重要。在煤矿生产过程中,机械面临着复杂恶劣的工作环境,磨损问题极为突出。机械磨损不仅会导致设备性能下降、故障频发,还会增加维修成本和生产停机时间,严重影响煤矿的生产效率和经济效益。深入研究煤矿机械磨损机理,明确不同磨损形式产生的原因和特点,进而有针对性地应用耐磨材料,成为提升煤矿机械可靠性和使用寿命的关键。本文将围绕煤矿机械磨损机理及耐磨材料应用展开系统研究。

1 煤矿机械工作特点

(1) 煤矿机械面临着极其恶劣且复杂的工作环境。煤矿井下空间狭小,通风条件有限,存在大量的煤尘、岩尘等粉尘颗粒。这些粉尘不仅会附着在机械表面,影响其散热和正常运行,还会侵入机械内部的关键部件,如轴承、齿轮等,加剧磨损,降低机械的

使用寿命。同时,井下湿度较大,部分区域甚至存在积水,容易导致机械部件生锈腐蚀,影响机械的精度和性能。(2) 煤矿机械承受的工作负荷大且变化频繁。在煤炭开采过程中,机械需要长时间连续作业,承受巨大的压力和冲击力。例如,采煤机在切割煤层时,要克服煤层的硬度和阻力,其截割部的电机、减速器等部件承受着高强度的扭矩和振动。而且,随着开采工作面的推进,地质条件不断变化,机械所承受的负荷也会随之改变,这种频繁的负荷变化对机械的结构强度和稳定性提出了极高的要求。(3) 煤矿机械的工作对象具有多样性和不确定性。煤矿开采涉及不同硬度和性质的煤层、岩层,其物理和力学性质差异较大。有些煤层较软,容易切割,但可能含有夹矸等杂质;而有些岩层则非常坚硬,对机械的切割和破碎能力是巨大的考验。此外,工作过程中还可能遇到断层、褶皱等地质构造,进一步增加了机械工作的复杂性和难度,要求煤矿机械具备更强的适应性和可靠性^[1]。

2 煤矿机械磨损机理分析

2.1 磨料磨损机理

磨料磨损是煤矿机械常见的磨损形式之一,其产生源于硬质颗粒与机械表面间的相互作用。在煤矿作业环境里,煤尘、岩尘以及开采过程中产生的碎屑等硬质颗粒广泛存在。当这些磨料处于机械相对运动表面之间时,便会引发磨损。从微观角度看,磨料颗粒的形状、尺寸和硬度对磨损过程起着关键作用。尖锐且硬度高的磨料颗粒,如同微小的刀具,会在机械表面产生划痕和切削作用,直接去除材料。而尺寸较大的磨料颗粒,可能因冲击力导致表面产生塑性变形,长期积累会引发疲劳剥落。磨料磨损过程还与接触应力密切相关。当磨料颗粒与机械表面接触时,接触区域会产生局部高应力。若应力超过材料的屈服强度,就会使表面材料发生塑性流动,随着磨料的持续作用,材料逐渐被磨损掉。此外,工作环境中的湿度、温度等因素也会对磨料磨损产生影响。湿度较大时,可能形成磨料与表面间的液膜,改变摩擦状态;温度升高则可能使材料硬度降低,加剧磨损程度。了解磨料磨损机理,有助于针对性地采取措施,如优化机械表面处理工艺、选用耐磨材料等,以减少煤矿机械的磨料磨损,延长设备使用寿命。

2.2 黏着磨损机理

黏着磨损是煤矿机械磨损中不可忽视的一种类型,它主要源于机械接触表面间的黏着效应。在煤矿机械运转时,其接触表面尽管经过加工,但从微观层面看,依然存在粗糙不平的峰谷。当两个接触表面相互滑动或滚动时,这些微观凸起会因承受较大的接触应力而发生塑性变形,进而使接触点的温度急剧升高。在高温高压的共同作用下,接触点处的金属会发生软化甚至熔化,导致不同表面的材料相互黏着在一起。随着相对运动的持续进行,黏着点会被破坏。破坏可能发生在两种材料的界面处,此时黏着点会从一个表面转移到另一个表面;也可能发生在黏着点内部,造成材料从其中一个表面被撕裂下来,形成磨屑。这些磨屑在后续的运动中,又会作为磨料进一步加剧磨损。煤矿机械工作环境的恶劣性,如高负荷、低润滑等条件,会大大增加黏着磨损发生的概率和严重程度。高负荷会使接触应力增大,促进黏着点的形成;而低润滑状态则无法有效降低摩擦和散热,使得接触点温度更容易升高。因此,深入研究黏着磨损机理,对于改进煤矿机械的设计、选用合适的润滑材料和采取有效的表面处理技术,以减少黏着磨损、提高机械的可靠性和使用寿命具有重要意义^[2]。

2.3 疲劳磨损机理

疲劳磨损是煤矿机械在交变应力作用下出现的一种典型磨损形式,对机械的稳定运行和使用寿命影响显著。煤矿机械在工作过程中,其接触表面会持续承受大小和方向不断变化的交变应力。比如,采煤机的截割部件在切割煤层时,会因煤层硬度的不均匀以及工作过程中的冲击,使表面应力反复变化。这种交变应力会使材料内部的晶粒发生变形和位错运动。随着交变应力作用次数的增加,材料内部会逐渐形成微小的裂纹。这些裂纹通

常起始于表面应力集中区域,如加工留下的刀痕、划伤处或材料内部的缺陷部位。裂纹一旦形成,在后续交变应力的持续作用下,会不断扩展和延伸。当裂纹扩展到一定程度,相邻的裂纹可能会相互连接,或者裂纹前沿的材料因无法承受应力而发生断裂,从而导致材料从表面脱落,形成磨屑。煤矿机械的工作环境复杂恶劣,高负荷、频繁启停等因素会加剧交变应力的作用,使疲劳磨损更容易发生且更为严重。了解疲劳磨损机理,有助于在煤矿机械的设计阶段优化结构,减少应力集中;在制造过程中提高表面质量,降低缺陷产生的概率;同时,合理选择材料,增强材料的抗疲劳性能,从而有效延长煤矿机械的使用寿命。

2.4 冲蚀磨损机理

冲蚀磨损是煤矿机械在含固体颗粒的流体冲击下,表面材料逐渐损失的一种磨损形式,在煤矿复杂工况中较为常见。当含有煤尘、岩尘等固体颗粒的气流或液流以一定速度和角度冲击煤矿机械表面时,冲蚀磨损过程便开始发生。从微观角度看,固体颗粒犹如微小的“弹丸”,其冲击动能会对表面材料产生作用。若颗粒以接近垂直的角度冲击表面,主要引发塑性变形。材料在颗粒冲击下产生压痕,周围材料发生塑性流动,多次冲击后,材料因疲劳而逐渐剥落。当颗粒以较小角度冲击时,切削作用成为主导。尖锐的颗粒如同刀具,在表面划出沟槽,直接去除材料。而且,颗粒的形状、尺寸和硬度对冲蚀磨损影响显著。尖锐且硬度高的颗粒,造成的切削和破坏更严重;较大尺寸的颗粒,冲击能量大,更易使材料受损。煤矿机械工作环境中,流体速度、颗粒浓度等参数也会改变冲蚀磨损程度。高速流体携带颗粒具有更大动能,加剧磨损;高浓度颗粒意味着单位时间内有更多“弹丸”冲击表面。深入研究冲蚀磨损机理,能为煤矿机械选材、表面防护设计提供依据,通过选用耐磨材料、优化结构减少颗粒堆积等措施,降低冲蚀磨损带来的危害。

3 耐磨材料在煤矿机械中的应用

3.1 采煤机耐磨材料应用

采煤机作为煤矿开采的核心设备,其工作部件长期处于高负荷、强磨损的恶劣环境中,耐磨材料的应用对保障设备性能与生产效率至关重要。滚筒是采煤机直接接触煤层的关键部件,需承受煤块的切割、挤压与摩擦。当前多采用高硬度合金耐磨板焊接工艺,在滚筒叶片及端盘表面堆焊硬质合金层,如瑞典萨博HARDOX系列耐磨钢,其硬度可达HB400以上,可有效抵抗煤岩的犁削式磨损,延长滚筒使用寿命至传统材料的2-3倍。截齿作为采煤机的“牙齿”,需同时具备高硬度与抗冲击性能。新型截齿采用碳化钨基复合材料,通过粉末冶金工艺制成,其硬度达到HRC65以上,配合激光熔覆技术强化齿体过渡区,可显著降低截齿在破碎硬煤层时的崩刃率,单齿过煤量提升至8000吨以上。滑靴与导向块等支撑部件,需在煤壁与顶板间频繁滑动。采用氮化硅结合碳化硅陶瓷衬板,其耐磨性是高铬铸铁的10倍以上,同时通过稀土活化剂改善材料韧性,可有效抵抗煤矸石的划擦与冲击,使滑靴检修周期延长至12个月以上,大幅降低设备停机时间^[3]。

3.2 掘进机耐磨材料应用

掘进机在煤矿巷道掘进中发挥着关键作用,其工作部件长期处于高应力、强磨损的恶劣环境,耐磨材料的应用对提升设备可靠性与掘进效率意义重大。截割头是掘进机直接破碎岩层的核心部件,承受着巨大的冲击与摩擦。目前多采用高强度耐磨合金钢制造,如添加了铬、钼、镍等元素的合金钢,其硬度与韧性达到良好平衡。部分截割头还通过表面淬火工艺,使表面硬度大幅提升,可有效抵抗硬岩的犁削磨损,延长截割头使用寿命,减少更换频率。铲板负责收集和输送破碎后的岩渣,其表面易被尖锐的岩块划伤。为此,在铲板表面堆焊耐磨焊条,形成一层高硬度的耐磨层。这种耐磨层不仅能抵御岩渣的磨损,还能防止铲板因磨损而变薄,保证其结构强度。履带板是掘进机行走的关键部件,在复杂地形中频繁与地面摩擦。采用高锰钢制造履带板,利用其良好的加工硬化性能,在受到冲击时表面迅速硬化,提高耐磨性。同时,对履带板表面进行喷丸处理,增强表面残余压应力,进一步降低磨损速率,确保掘进机稳定行走。

3.3 输送机耐磨材料应用

输送机在煤矿运输环节承担着煤炭及矸石等物料的连续输送任务,其关键部件长期与物料摩擦,磨损问题突出,合理应用耐磨材料对保障输送机稳定运行至关重要。托辊是输送机的重要支撑部件,与输送带直接接触并承受物料重量。传统托辊易因磨损导致转动不灵活,增加能耗甚至引发输送带跑偏。如今,采用高分子聚乙烯等耐磨材料制造托辊辊套,其自润滑性能良好,可有效降低与输送带间的摩擦系数,减少磨损。同时,这种材料还具备耐腐蚀、抗冲击等特性,能适应煤矿复杂恶劣的工作环境,延长托辊使用寿命。输送带作为输送机的承载构件,其耐磨性直接影响运输效率与成本。在输送带表面覆盖一层橡胶耐磨层,可增强其抗磨损能力。一些高端输送带还会添加炭黑等耐磨增强剂,进一步提高耐磨性能。此外,对于输送坚硬物料的输送机,还会采用钢丝绳芯输送带,其内部钢丝绳提供高强度支撑,外部耐磨橡胶层抵御物料磨损,确保输送带在重载条件下长期稳定运行。

3.4 其他煤矿机械耐磨材料应用

除采煤机、掘进机和输送机外,煤矿中还有诸多机械同样面

临严峻的磨损问题,耐磨材料的应用对其正常运行与寿命延长十分关键。在提升机的应用方面,提升机的卷筒和天轮等部件,长期承受钢丝绳的摩擦与挤压。为减少磨损,常采用高锰钢制造这些部件。高锰钢在受到强烈冲击和压力时,表面会迅速产生加工硬化现象,硬度大幅提高,从而有效抵抗钢丝绳的磨损,保证提升机的安全稳定运行。刮板输送机的中部槽,是煤炭运输过程中磨损较为严重的部位。目前多采用耐磨复合钢板对其进行处理,这种钢板由基层和耐磨层组成,基层提供足够的强度和韧性,耐磨层则采用高铬铸铁等高硬度材料,能显著降低煤炭对中部槽的磨损,延长中部槽的使用周期。另外,煤矿中的破碎机,其锤头、衬板等部件在破碎物料时承受着巨大的冲击力和摩擦力。选用新型耐磨合金材料制造锤头和衬板,如含钨、钼等元素的合金钢,可提高其硬度和耐磨性,减少锤头和衬板的更换次数,降低破碎机的维护成本,提升破碎效率^[4]。

4 结束语

通过对煤矿机械磨损机理的深入剖析,我们清晰认识到磨料磨损、黏着磨损、疲劳磨损以及冲蚀磨损等不同机理,各自在煤矿复杂工况下对机械部件造成的损害特点和形成原因。而耐磨材料在煤矿机械中的广泛应用,为应对磨损问题提供了有效解决方案,显著提升了机械的可靠性与使用寿命,降低了设备维护成本与生产中断风险。未来,随着材料科学的持续进步,更多高性能、低成本的耐磨材料将不断涌现,进一步推动煤矿机械向高效、耐用方向发展,助力煤矿行业实现安全、绿色、可持续的生产目标。

[参考文献]

- [1]李正平,林兴奎.选矿机械磨损机理与耐磨材料研究[J].建筑技术科学,2024.123-124.
- [2]齐斌.选矿设备磨损机理及耐磨材料的应用研究[J].建筑技术科学,2025.145-146.
- [3]黄伟.耐火耐磨材料的磨损与对策[J].建筑科学,2023.178-179.
- [4]侯胜光.煤矿机械耐磨材料的研究与应用[J].建筑理论,2025.210-211.