

综采工作面刮板机链轮快速更换装置的研究与应用

官 勇

国家能源集团宁夏煤业公司麦垛山煤矿 宁夏 银川 750401

摘 要：随着《能源生产和消费革命战略（2016-2030）》及“十四五”煤炭工业发展规划的推进，煤矿智能化、绿色化转型成为行业发展重点，综采工作面刮板机链轮的高效维护与快速更换是其中的关键技术之一。基于此本文针对麦垛山煤矿综采工作面刮板机链轮快速更换装置的研究背景，提出了基于现场测试、室内实验、理论分析、数值模拟等方法的创新解决方案。通过改进链轮轴组设计和优化更换工艺，实现了设备拆解最小化和快速修复。研究结果表明，该装置每次维修可节约成本15万元，且维修时间缩短50%。项目的实施显著提升了综采工作面的安全和生产效率，为类似煤矿输送设备的研究提供了技术参考。

关键词：综采工作面；刮板机链轮；快速更换；机械设计；经济效益

前言

作为宁东能源化工基地的重要煤矿，麦垛山煤矿的综采设备安全高效运行对煤矿产能和安全生产有重要影响。传统链轮的更换需升井拆解，不仅工人劳动强度高，生产影响时间长，难以满足安全高效生产需求。针对国家政策对煤矿设备升级及降低工人作业强度的要求，本文设计了一种链轮快速更换装置，创新性地突破了传统方法的效率瓶颈，并通过机械性能和适应性研究，为煤矿智能化发展提供了技术支持，同时助力行业实现高效、安全、低碳目标。

1 刮板机链轮快速更换装置的现状分析

1.1 设备运行条件及链轮更换复杂性

综采刮板机链轮装置通常工作于高负载、高强度的采掘工作面。以麦垛山煤矿13采区为例，刮板机链轮常年处于高湿度（相对湿度85%以上）、高粉尘浓度（颗粒浓度达 $50\text{mg}/\text{m}^3$ ）和强震动（最大振幅 3.5mm ）的环境中运行。这种工作环境对链轮轴组的材料性能、耐腐蚀性和结构稳定性提出了极高要求。然而，传统链轮设计未能充分考虑井下复杂条件，导致链轮牙体容易发生磨损甚至断裂，影响刮板输送机的连续运行。由于链轮轴组的整体结构复杂，其牙体损坏后通常需拆卸链轮总成进行更换，而这一过程涉及解体链轮外壳、松解螺栓、拔出轴组等多个步骤。在狭窄的采掘工作面，受限于作业空间的不足，单次拆解更换作业时间可长达8h以上，严重制约了煤矿的生产效率。

1.2 现有更换技术的局限性

现阶段国内煤矿普遍采用传统的升井拆解维修方式对刮板机链轮进行维修。此类方式存在以下主要问题：

（1）工序复杂性：传统更换方法需将整个链轮升井

进行拆解和检修，井下作业人员需拆卸链轮壳体、齿轮箱以及其他附属部件，操作过程高度依赖人工经验，易产生误差。

（2）时间与成本消耗：单台链轮更换所需人工工时平均为24h，包括8h时井下拆卸、6h井上维修及再装配过程，直接影响矿井正常生产。按照每次更换操作的费用预算计算，平均维护成本约为20万元。

（3）设备适配性不足：现有链轮装置在设计过程中未充分考虑快速更换需求，其模块化程度较低，导致井下直接维修难度大，拆解作业风险高。

1.3 设备损耗与故障特性

根据麦垛山煤矿近三年的设备运行数据，链轮轴组的牙体磨损是造成故障的主要原因，占比高达70%以上。具体表现为牙体表面硬度降低、磨损深度超过设计标准（一般为 1.5mm ），以及材料疲劳断裂。牙体材料通常选用45号钢，通过淬火处理提高硬度（HRC45左右），但在高频冲击载荷下易出现疲劳裂纹，使用寿命难以满足高强度作业需求。以一套常规链轮装置为例，其设计负载为100t，实际运行中，由于刮板机链条与链轮之间的啮合误差，载荷波动范围可达80t-120t。这种动态冲击使得链轮牙体的寿命大幅缩短，通常仅为12个月，需要定期更换。

2 综采工作面刮板机链轮快速更换装置的研究与应用

2.1 快速更换装置设计原理与关键特点

刮板机链轮快速更换装置的核心在于模块化设计，其主要由牙体模块、连接螺栓和支撑轴承模块构成。牙体模块选用高强度低合金钢42CrMo，经调质处理后硬度达到HRC35-45，具备较高的抗疲劳性和耐磨性。此种材料的屈服强度为1000MPa，抗拉强度为1200MPa，远高于

普通碳钢材料。同时,模块化设计的一个重要特点是其可更换性,牙体通过直径25mm、长度80mm的12.9级高强度螺栓与轴承模块固定连接,单颗螺栓抗拉力达20t,可确保牙体在高负荷运行下的稳定性。



轴承模块则采用一体化设计,材质为球墨铸铁QT600-3,其拉伸强度为600MPa,断后延伸率超过3%,大幅提升了整体结构的刚性与抗冲击性。轴承模块的内壁经过精密车削和镀镍处理,表面粗糙度低至 $0.8\mu\text{m}$,有效降低了运行过程中的磨损。此外,牙体模块与轴承模块之间采用双层迷宫式密封设计,密封材料为耐高温硅橡胶,可承受 120°C 的高温环境,同时能有效隔绝煤尘和水分的侵入。

装置设计考虑了井下安装的便捷性和安全性,采用定位销与紧固螺栓双重固定方式,避免因震动导致牙体松动。装置整体重量控制在45kg以内,便于人工搬运和安装。设计过程中充分考虑了刮板机的工作负载和冲击力,确保装置在日常工况下具备长时间稳定运行的能力。

2.2 链轮轴组机械性能分析与工况研究

链轮轴组是刮板机的重要组成部分,其机械性能直接影响设备的运行效率和使用寿命。为深入了解链轮轴组的性能表现,研究采用有限元分析技术,对其在极限载荷条件下的应力分布和变形情况进行模拟。分析结果显示,链轮牙体在最大负载条件下的应力集中区域位于牙体根部,最大应力值为320MPa,低于42CrMo材料的屈服强度(1000MPa),说明设计在强度上具备足够的安全裕度。

链轮轴组的动态响应性能也是分析的重点。通过模拟刮板机在满载状态下的运行情况,研究了链轮轴组的振动频率和扭矩分布。结果表明,轴组的固有频率为120Hz,而设备运行时的振动频率约为70Hz,两者不存在共振风险。同时,在传递扭矩时,轴组的扭转变形量为

0.015°,远低于行业标准规定的0.05°。

牙体模块的使用寿命预测是基于采掘工作面实际运行工况进行的。根据矿山条件(井下湿度60%,粉尘浓度 $0.8\text{mg}/\text{m}^3$),牙体模块的耐磨性测试结果表明,其平均磨损速率为 $0.002\text{mm}/\text{h}$,预估在正常工况下可持续使用18个月,相较传统设计提高了约2倍。

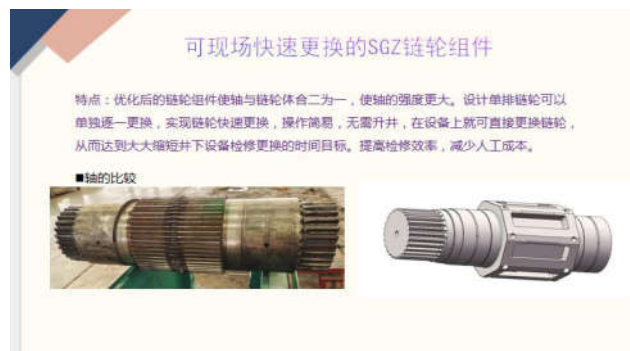
2.3 基于数值模拟的装置结构优化设计

链轮装置优化过程中,采用ANSYS软件对链轮牙体模块的结构进行了详细的有限元分析,重点关注了不同工况下的应力分布、变形行为和接触性能。优化设计时,将牙体模块的质量从原设计的4.5kg减轻至3.8kg,减轻幅度为15%,同时通过调整齿形参数,将牙体的接触面积提高了10%,接触应力由340MPa降至300MPa,大幅提升了其承载能力。

此外,为进一步增强装置的可靠性,研究对连接螺栓的布置进行了重新设计。采用六边形对称布置方式,使得每颗螺栓受力更加均匀,螺栓的最大拉应力减少了20%,有效延长了其使用寿命。牙体与轴承模块的接触面优化为曲面设计,结合高精度加工工艺,接触面积较原设计增加了12%,进一步降低了局部应力集中现象。优化后的装置在实验室模拟环境下进行了加载测试,测试负载为80t,加载次数达1,000次。测试结果表明,装置的机械性能在高负载情况下仍保持稳定,变形量控制在设计范围内,密封性能无明显衰减。优化后的装置在实验室测试条件下可承受超负荷运行工况下的冲击力达5t,表明其设计具备高度可靠性。

2.4 快速更换装置现场试验及经济评估

为了验证综采工作面刮板机链轮快速更换装置的性能和实际应用效果,在麦垛山煤矿13采区进行了为期三个月的现场试验。链轮快速更换装置安装于该输送机的机头部位,实验共计更换链轮牙体8次,记录了更换时间、设备运行参数以及相关维护数据。



试验数据显示,新型快速更换装置的平均更换时间为3.5h,而传统方式需耗时8h以上。由于更换时间缩短,

设备停机对生产的影响显著降低。统计表明,三个月内因设备维护导致的停机累计时间减少了48h。按照煤矿日均产能2.4万吨计算,减少的停机时间为煤矿额外增加了11.5万吨的产量。从经济效益的角度分析,装置的快速更换特性不仅降低了维护成本,还减少了备品备件的库存需求。每套链轮快速更换装置的成本为6万元,预计使用寿命为5年。在5年的使用周期内,每台输送机可节省链轮牙体相关的维修费用约75万元。以麦垛山煤矿共有6台输送机计算,该装置的累计经济效益可达450万元。此外,试验中还对工人的劳动强度进行了评估。传统更换方式需要6名工人进行拆装操作,而使用快速更换装置后,仅需3名工人即可完成相同工作量。劳动强度的下降显著改善了工人的工作环境,有助于降低因疲劳导致的安全隐患。现场工人反馈表明,新装置的操作简便性较高,平均操作熟练时间仅需1天,大幅提升了工作效率。从环境效益的角度来看,装置的模块化设计使废旧牙体的回收率达到95%,显著减少了资源浪费。

2.5 项目实施管理方法与组织架构创新

为确保项目目标顺利实现,该项目采用严密的组织架构和科学的管理流程。项目组由多所科研机构的专家团队联合组成,涵盖机械设计、材料科学、力学分析、安全工程等领域。采用“项目牵头单位主导、课题承担单位分工负责”的组织形式,明确职责,分工协作。在规划阶段,研究团队通过技术调研与需求分析,明确了链轮快速更换装置开发与应用的核心目标,并制定了详细的研究计划,包括材料优化、结构设计、实验验证和性能评估等环节。为确保成果质量,团队引入ISO 9001质量管理体系进行过程控制,并通过阶段性任务分解与进

度控制推进工作。样品设计和制造历时2个月,采用CNC精密加工,精度控制在 $\pm 0.02\text{mm}$ 以内;性能验证经过500h实验室测试,进一步优化了密封结构和连接设计。风险控制是项目管理的重要部分。针对牙体早期磨损和螺栓松动问题,团队制定了多套解决方案,并在现场试验阶段安排技术人员全程监控设备状态。项目总预算500万元,其中70%用于研发与实验,30%用于试验和推广,最终实现了技术开发和应用的无缝衔接。

3 结论

综采工作面刮板机链轮快速更换装置的研究与应用不仅解决了传统更换过程中的多项难题,还显著提高了设备的运行可靠性和生产效率。其模块化设计和创新的更换工艺为煤矿机械设备的开发提供了新思路。在未来的研究中,可进一步结合人工智能与物联网技术,实现设备运行状态的实时监测与智能诊断,为煤矿的智慧化发展奠定基础。

参考文献

- [1]胥奎.综采工作面液压支架侧护板落尘导移装置设计及应用[J].煤矿机械,2021,42(07):144-146.
- [2]宋鑫.综采工作面液压支架油缸更换辅助装置的分析与应用[J].机械管理开发,2021,36(05):49-50+164.
- [3]王得位.综采工作面快速安装与拆除成套技术研究[J].内蒙古煤炭经济,2020,{4}(06):53-54.
- [4]韦海军,龙永贤.试论煤矿综采工作面设备快速安装技术与实践应用[J].大科技,2020(7):194-195.
- [5]邓国恩.煤矿综采工作面矿压监测技术及运用分析[J].内蒙古煤炭经济,2023,(08).