

# Fault diagnosis of rotary mechanism of KY-310A type roller cone drilling rig

Xueping Chai Jianhui Wang Baolong Zhou Dongxu Su

Baotou Iron and Steel (Group) Co., Ltd., Baotou, Inner Mongolia, 014080, China

## Abstract

In response to the high failure rate of the KY-310A roller cone drill's rotary mechanism in harsh environments during open-pit mining operations, this study thoroughly analyzes two common fault types: water ingress in the rotary intake device and leakage at the rotary shock absorber joint. To address these issues, an innovative modification strategy is proposed, which involves adopting a new structural design with steel sleeves combined with Y-shaped flexible skeleton seals, as well as adding elastic rubber pads to the rotary shock absorber joint to enhance sealing performance. After implementing the modification, equipment operational efficiency has improved, the failure rate has significantly decreased, and the service life of the equipment has been extended. This provides valuable reference and practical guidance for fault diagnosis and improvement of similar equipment.

## Keywords

KY-310A; roller cone drilling rig; rotary mechanism; fault diagnosis; improvement scheme

## KY-310A 型牙轮钻机回转机构故障诊断

柴雪平 王建辉 周宝龙 苏东旭

包头钢铁(集团)有限责任公司, 中国·内蒙古 包头 014080

## 摘要

针对露天矿山采掘作业中KY-310A型牙轮钻机回转机构在恶劣环境下高故障率的难题,本研究深入分析旋转进气装置串水与回转减震接头漏水两种常见故障类型。为此,本研究提出创新的改造策略,即采用钢套结合Y型软骨架密封的新结构设计以及在回转减震接头中增设弹性胶垫来增强密封性能。改造方案实施后,设备运行效率提升、故障率明显降低,并且设备作业时间延长,这为同类设备的故障诊断与改进提供了有益参考与实践指导。

## 关键词

KY-310A; 牙轮钻机; 回转机构; 故障诊断; 改进方案

## 1 引言

KY-310A 型牙轮钻机的回转机构涵盖回转减震接头、变频电机、回转减速器、导轮、滚轮及齿轮等关键组件。其依靠变频电机驱动回转减速器来带动钻具旋转,以此实现核心功能。回转机构滑动动作依赖于导轮、滚轮及齿轮的协同作用,进给与提升动作借助加压封闭链条来实现。现有研究指出,回转机构故障占钻机总故障比例高达 30%,加之其结构复杂、精度要求高等,一定程度上增加了维修工作的难度。由此深入探讨其常见回转机构故障,成为提升设备作业时间与运行效率、减轻维修负担并降低故障率的有效途径。

## 2 常见故障类型及其原因分析

### 2.1 旋转进气装置串水

旋转进气装置作为 KY-310A 型牙轮钻机回转机构的核

心组件,主要由弹性尼龙机械密封与支撑盘构成。原设计旨在应对露天矿场高粉尘、强振动等极端作业环境,然而,在实际运行中,旋转进气装置表现出一定的磨损失效特征,即机械密封件的工作寿命远低于预期,频繁出现的密封失效造成串水问题,一定程度上影响了 KY-310A 型牙轮钻机回转机构的可靠稳定运行。串水故障引发的连锁反应会严重破坏设备润滑系统。具体来说,渗入减速机的水分导致润滑油乳化变质,油液的物理化学性能发生显著劣化,会直接削弱润滑膜的承载能力。润滑失效现象集中表现为齿轮副与轴承的异常磨损,齿轮齿面出现大面积胶合与点蚀,轴承滚道产生剥落损伤,部件工作温度持续异常升高。从设备运行指标来看,串水故障将导致单台钻机的非计划停机频次明显增加,减速机核心部件的更换周期大幅缩短,设备综合作业效率较设计标准明显下降<sup>[1]</sup>。在矿山开采高峰期,全采场多台钻机可能同时面临密封件与润滑油的高频更换需求。频繁检修作业一方面致使设备长时间停机,另一方面造成巨大的材料资源消耗与维护成本的提升,从而严重影响矿山开采作业的连

【作者简介】柴雪平(1975-),男,中国山西省洪洞人,本科,从事矿山机械研究。

续性与经济性。

旋转进气装置串水故障通常是设计缺陷、材料选型失配及装配工艺偏差等多因素耦合作用的结果。设计方面,现有密封结构采用平面接触式弹性尼龙密封,其有限的径向补偿能力不能很好地匹配钻机运行中轴系的动态偏移。当设备在复杂地质条件下作业时,轴系的不规则振动与偏移造成密封面接触应力分布不均,局部应力集中现象显著。与此同时,支撑盘的刚性不足使其固有频率与钻机振动频率形成共振效应,会进一步加剧密封件的疲劳损伤。材料选型方面,PA66尼龙材质尽管具备一定弹性,但在富含石英砂等硬质颗粒的粉尘环境中,其耐磨性能不能较好地满足长期运行需求。该材料的吸水性使得尺寸稳定性欠佳,吸水膨胀后密封唇口过盈量大幅降低,微观间隙的扩大为水分渗入提供了通道。装配工艺方面,现场安装过程存在一定的规范性缺失。密封件安装角度偏差与支撑盘螺栓预紧力不均现象普遍存在,致使密封副实际接触面积大幅缩减。装配误差使密封件在实际运行中承受非对称载荷,这加速了单边磨损进程,为串水故障频发埋下隐患。

## 2.2 回转减震接头漏水

回转减震接头漏水故障初期表现为接头缝隙出现微量渗水,伴随运行时间增加逐渐发展成连续性滴漏,侵入的水体与润滑系统中的润滑油产生乳化反应,形成乳白色胶状混合物。这种变化直接造成润滑油膜强度骤降,不能有效隔离齿轮副啮合面与轴承运转部位的金属接触,进一步引起齿面胶合、点蚀等疲劳损伤,并且轴承滚道逐渐出现剥落性磨损。在露天矿场复杂作业环境下,KY-310A型牙轮钻机需持续应对岩石硬度梯度变化带来的冲击载荷与爆破震动引发的系统共振。这种工况下,回转减震接头的机械密封组件将长期承受径向偏移与轴向振动的复合作用,与此同时,连接盘与旋转空心轴的相对运动进一步增加了密封面的剪切应力<sup>[2]</sup>。减震接头垫作为密封系统的关键元件,因其材料弹性模量与工况载荷特性间匹配度低,受到高频次冲击会迅速塑性变形,促使密封唇口与轴表面的过盈配合逐渐失效,进而导致密封界面完整性丧失。频繁的漏水故障迫使KY-310A型牙轮钻机进入非计划停机检修流程,并且单次故障处理需要拆解传动部件来更换密封件并清洗润滑系统,这大幅度压缩了有效作业时间。

回转减震接头漏水故障出现原因分析如下:结构设计方面,现有密封系统采用的唇形密封结构尽管具备基础的弹性补偿能力,然而,其缺乏动态自适应调节机制,不能较好地应对钻机运行中轴系 $\pm 0.3\text{mm}$ 级别的动态偏移量,导致密封面局部接触压力超过材料许用应力,加速磨损进程<sup>[3]</sup>。同时,支撑盘的刚度分布不均进一步引发模态耦合振动,使密封件承受周期性疲劳载荷。环境侵蚀方面,矿山现场循环冷却水普遍含有金属氧化物、石英砂等硬质颗粒,在水流冲刷作用下形成三体磨粒磨损效应;水体中溶解的硫化物与氯

化物通过电化学腐蚀,削弱了密封材料的分子链结构,使其硬度下降、弹性丧失。另外,实际运用过程中,钻机回转机构在穿孔作业时需克服一定的扭矩波动,减震接头在周期性扭转变形中会产生应力集中,密封件在反复的压缩与回弹循环中发生粘弹性耗损,其密封唇口的微观裂纹伴随运行时间扩展贯通,最终形成明显的泄漏通道。

## 3 KY-310A型牙轮钻机回转机构改造方案

### 3.1 旋转进气装置改造

针对旋转进气装置密封性能下降的问题,本研究从结构与材料选择两方面入手,旨在提升旋转进气装置的密封性能,进而降低设备故障率、延长设备使用寿命。在结构设计方面,本研究对旋转进气装置的定环实施了加固处理,在其表面焊接钢套,同时镶嵌四道Y型软骨架密封,形成一个多层复合密封结构<sup>[4]</sup>。此设计一方面增强了密封结构的整体强度,另一方面凭借Y型软骨架的弹性变形特性,大幅提高了密封的可靠性与耐磨性。为确保密封效果,本研究还引入密封冲压注油孔技术,利用冲压作用将四道Y型软骨架密封稳固地压紧在旋转空心轴上,以此替代原有的弹性尼龙机械密封与支撑盘密封结构。在材料选择方面,本研究选用高强度、耐磨损的材料来制造钢套与Y型软骨架密封,用以保障密封结构在恶劣作业环境下仍可保持稳定的性能。为进一步提高密封性能,本研究也对旋转进气装置装配工艺进行相应优化,通过改进装配过程中的细节,如确保装配密封面润滑油的均匀涂抹、保证风帽的对中度等,有助于明显提升密封件的使用寿命与密封效果。改造后旋转进气装置如图1所示。

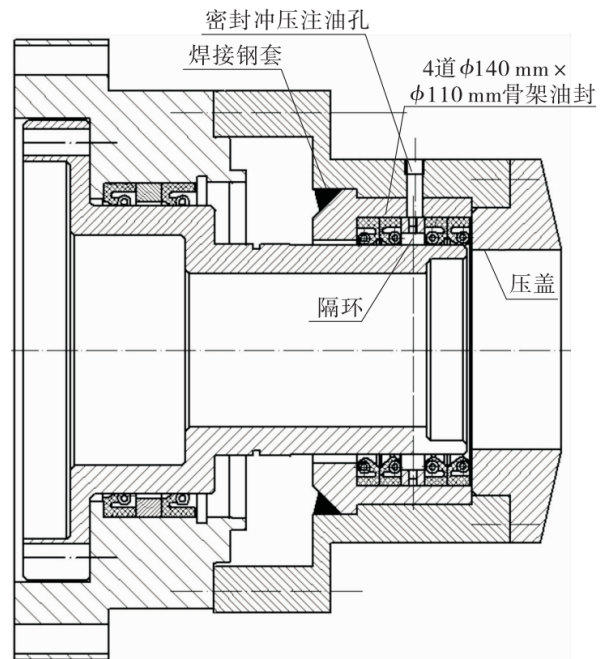


图1 改造后旋转进气装置

改造方案实施后,旋转进气装置的密封性能得到了显

著提升。据现场监测数据显示,改造后的 KY-310A 型牙轮钻机在运行过程中串水现象得到了有效遏制,润滑油被稀释与零部件过早磨损的问题也得到了明显改善。具体来说,改造后的旋转进气装置每月平均可减少 24 小时的维修时间,极大地提高了设备的完好率与运行效率。同时,由于减少了故障停机时间,设备的整体使用寿命也得到了显著延长。这不仅为 KY-310A 型牙轮钻机的故障诊断与改进提供了重要的参考依据,也为未来矿山采掘设备的维护与优化提供了新的思路及方向。

### 3.2 回转减震接头改造

针对原有回转减震接头存在的密封性不足问题,本研究在保留原有回转减震接头基本结构的基础上,通过增加两道弹性胶垫来增强其密封性能。具体而言,本研究在回转减震接头的上下结合体之间,分别增加一道外圈弹性胶垫与一道内圈弹性胶垫。其中,外圈弹性胶垫的直径是 285 毫米,厚度是 28 毫米;内圈弹性胶垫的直径是 218 毫米,厚度同样为 28 毫米。两道弹性胶垫使用减震接头螺栓被稳固地夹持在上结合体与下结合体之间,这有效缩小了结合处的间隙,由原先的 40 毫米减小到 13 毫米。此设计一方面显著增强了结合处的密封效果,有效减少了漏水现象的发生,另一方面借助弹性胶垫的减震作用,大幅度提升了回转减震接头的整体耐用性。具体实施过程中,本研究充分考虑了接头的结构特点与工作环境,确保改造后的接头可以轻松适应矿山钻机设备高强度、高负荷运行需求。改造后回转减震接头如图 2 所示。

改造后的回转减震接头在矿山钻机中得到了成功应用,并取得了显著的效果。密封性能的提升直接使设备故障率大幅度下降。由于漏水现象得到有效控制,设备的维护成本及维修时间均得到了大幅降低。同时,改造后的接头更换更为便捷、维修时间大幅减少,进一步提高了设备的运行效率。该改造方案不仅在技术上具有可行性,更在实际应用中表现出良好的经济效益与社会效益。伴随矿山采掘设备朝着智能化、自动化方向持续发展, KY-310A 型牙轮钻机回转机构的改造及优化将成为未来重要的研究方向。通过引入先进的传感器技术与大数据分析技术,能够实现对牙轮钻机回转机构运行状态的实时监测与故障预警,从而有效提升设备的可靠性与工作效率,如此一来,将有助于进一步推动矿山采掘行业的健康、可持续发展,并为矿山采掘行业的转型升级提

供有力的技术保障。

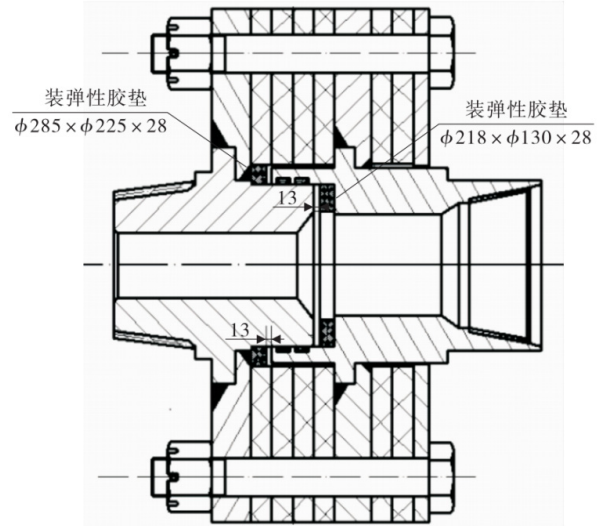


图 2 改造后回转减震接头

## 4 结语

本研究针对 KY-310A 型牙轮钻机回转机构的两大主要故障类型,提出了有效的改造策略,成功降低了设备故障率与维修负担,并显著提高了作业时间及运行效率。随着矿山设备自动化、智能化趋势的推进,未来回转机构将更侧重故障预测与智能维护,积极引入先进信息技术,实现机构运行状态的实时监测与故障预警,将成为未来研究的重点。未来,研究将持续探索更多新技术并不断改进回转机构,使得牙轮钻机更好地适应矿山的复杂环境,为矿山采掘行业的高效可持续发展奠定坚实基础。

### 参考文献

- [1] 宋世姣. KY-250型牙轮钻机回转机构故障分析及改进方案[J]. 中国科技期刊数据库工业A, 2024(9):0112-0115.
- [2] 韩俊峰. 牙轮钻机液压系统的故障分析[J]. 中国科技期刊数据库工业A, 2023(1):161-164.
- [3] 贾利平. 露天煤矿牙轮钻机液压故障研究与应用[J]. 中国科技期刊数据库(全文版)工程技术, 2021(9):65-66.
- [4] 邹筱瑜,孙国庆,王忠宾,潘杰,刘新华,李鑫. 基于时频融合深度网络的矿用钻机轴承故障诊断[J]. 中国机械工程, 2024, 35(8):1405-1413.1448.