

大倾角煤层采煤机行走机构防滑脱轨优化设计

刘国强

郑州煤机智能工作面科技有限公司北京分公司 北京 100020

摘要: 针对大倾角煤层开采中采煤机行走机构滑脱轨问题, 本文深入剖析重力分力、地质条件及机构自身局限等致因。通过机械结构优化, 选用高耐磨材料制造导向滑靴并优化其与销排配合间隙、强化轨道性能; 动力学特性优化, 构建牵引力分配模型、引入变频器零速悬停与液压制动器协同技术; 采用智能监测与大数据分析优化控制策略, 经仿真与试验验证, 显著提升防滑脱轨能力及设备运行安全。

关键词: 大倾角煤层; 采煤机行走机构; 防滑脱轨优化

引言

大倾角煤层蕴含丰富煤炭资源, 其高效开采对能源保障意义重大。然而, 采煤机行走机构在复杂大倾角环境下, 极易出现滑脱轨现象, 严重阻碍开采进程。现有研究虽对部分影响因素有所涉及, 但在系统性解决该问题上仍有不足。本文聚焦于此, 从多维度深入探究行走机构滑脱轨原因, 并提出创新优化设计方案, 旨在填补相关领域空白, 推动大倾角煤层安全、高效开采技术发展。

1 大倾角煤层采煤机行走机构防滑脱轨优化的迫切性

大倾角煤层作为煤炭资源的重要组成部分, 其开采对于保障能源供应意义重大。但在实际开采进程中, 采煤机行走机构滑脱轨问题成为制约大倾角煤层高效安全开采的瓶颈。大倾角工作面特殊的地理环境, 使采煤机面临诸多挑战。重力因素首当其冲, 采煤机在倾斜面上作业时, 重力可分解为沿工作面方向和垂直工作面方向的分力。沿工作面向下的分力促使采煤机产生下滑趋势, 增大行走机构与轨道间的侧向压力, 如果该压力超出轨道对行走机构的约束极限, 滑脱轨现象便极易发生; 大倾角煤层地质条件复杂多变, 煤层厚度起伏不定, 断层、褶皱等地质构造频繁出现。采煤机行进至这些区域时, 行走机构所受阻力分布不均, 导致其偏离正常轨道。煤层顶底板岩性差异大, 顶板易破碎冒落, 底板易松软变形, 这使得轨道的稳定性大打折扣, 加剧了行走机构滑脱轨的风险。采煤机行走机构滑脱轨后果严重, 会造成采煤作业停滞, 大幅降低生产效率, 还会增加设备维修的频次与成本。采煤机行走机构滑脱轨引发安全事故, 会导致设备损毁、人员伤亡, 严重威胁作业人员生命安全。大倾角煤层特殊地质致事故频发, 唯有优化行走机构防滑设计, 方能保障开采安全高效。

2 大倾角煤层采煤机行走机构滑脱轨原因分析

2.1 重力分力影响

在大倾角煤层开采场景中, 工作面与水平面形成显著夹角, 这使得采煤机在斜面上作业时, 其自身重力必然产生分解效应。依据力学原理, 采煤机重力可被解析为沿工作面方向与垂直工作面方向的两个分力。其中, 沿工作面向下的重力分力成为诱发采煤机下滑的直接驱动力, 该分力的大小与煤层倾角呈正相关关系, 随着倾角增大, 下滑分力呈非线性增长趋势。在大倾角煤层开采中, 采煤机自身重力沿工作面向下的分力, 是导致行走机构滑脱轨的关键诱因。当这一重力分力作用于行走机构时, 会增加行走机构与轨道间的侧向压力。行走机构的稳定运行, 本质上依赖于轨道提供的约束力维持受力平衡, 如果侧向压力超过轨道约束力极限, 行走机构与轨道间的稳定状态就会被打破。导向滑靴与销排作为关键配合部件, 其啮合状态对行走机构稳定性至关重要。侧向压力失衡时, 导向滑靴与销排的正常啮合被破坏, 导致行走机构产生侧向位移, 引发滑脱轨现象。而在采煤机截割作业过程中, 截割阻力与重力分力相互叠加, 使行走机构承受的载荷更为复杂。复杂载荷致行走机构受力强度增大、力作用改变, 削弱轨道约束, 使其易脱轨, 严重威胁大倾角煤层开采安全与效率。

2.2 煤层地质条件复杂

(1) 大倾角煤层地质构造极为复杂, 这对采煤机行走机构的运行安全造成了严峻挑战。煤层厚度在空间上变化明显, 短距离内可能产生数米甚至更大幅度的波动。采煤机行进时, 行走机构需持续适应不同煤层厚度带来的高度差, 这极易致使行走机构受力不均, 引发局部应力集中。(2) 大倾角煤层区域断层、褶皱发育广泛, 成为采煤机行走机构滑脱轨的重要诱因。当采煤机穿越这些区域, 煤层连续性遭到破坏, 行走机构所受阻力方向、大小瞬间改变。如在断层处, 突然的落差使行走机构受力突变; 褶皱区域煤层形态扭曲, 加剧阻力波

动。这些剧烈的阻力变化打破行走机构运行平衡，迫使其偏离轨道，提升了滑脱轨发生概率，严重影响开采安全与效率。(3) 煤层顶底板岩性差异同样是关键因素。顶板破碎时易发生冒落，冒落的岩石会对行走机构和轨道产生冲击与挤压；底板松软则易变形，导致轨道基础失稳，使轨道的几何形状和位置改变，削弱了轨道对行走机构的导向与约束能力，提高了行走机构滑脱轨的风险^[1]。

2.3 行走机构自身结构与性能局限

采煤机行走机构的结构设计与性能表现，对其在大倾角煤层环境下的运行稳定性起着决定性作用。部分采煤机行走机构在设计时，未充分考虑大倾角工况下的特殊力学需求，导致结构存在固有缺陷。导向滑靴耐磨性不足与和销排配合间隙不合理，是引发脱钩问题的关键。现有导向滑靴材质与结构难以承受大侧向力，磨损速度快，且较大的配合间隙使其无法有效限制行走机构侧向位移，致使行走机构易偏离轨道中心线；行走机构驱动系统的性能短板在大倾角作业环境中也愈发明显。在大倾角煤层开采中，采煤机驱动系统性能直接影响行走机构稳定性。启动时，响应迟缓易使导向滑靴与销排瞬间受力不均，引发打滑；制动与变速过程中，控制精度不足会导致动力输出失准，加剧二者磨损。持续打滑加速部件损耗，还会破坏行走机构运行的平稳性，使行走轨迹偏离设计路线。面对复杂多变的载荷工况，若驱动系统无法快速调整扭矩与转速，行走机构在抵抗下滑力与侧向力时将力不从心，难以保持稳定运行，最终致使行走机构突破轨道约束极限，大幅增加滑脱轨的发生概率，严重威胁开采作业安全^[2]。

3 优化设计方案

3.1 机械结构优化

(1) 在大倾角煤层特殊作业场景中，行走机构机械结构对防滑脱轨性能起着关键作用。针对导向滑靴，选用高强度且高耐磨材料进行制造，并优化其与销排的配合间隙。此举可有效降低滑靴磨损速率，增强其对行走机构的侧向约束效能，确保采煤机运行时能持续提供稳定导向，大幅降低行走机构偏离轨道的可能性，为设备安全运行筑牢机械根基。(2) 轨道作为行走机构的重要支撑部件，其性能至关重要。选用高强度、耐磨的轨道材料，可提升轨道的承载能力与抗磨损性能，进而延长轨道的使用寿命；增加轨道固定点数量并强化固定强度，能增强轨道的整体稳定性，使其在承受采煤机运行过程中的复杂载荷时，仍能保持精确的几何形状与位置，避免因轨道位移或变形而引发行走机构脱轨。(3) 机械结构系统优化需多维度协同，导向与轨道支撑等方

面皆不可忽视。对导向滑靴选用适配材料、优化配合间隙，对轨道采用高强耐磨材质、增加固定点并强化固定，这些优化举措相互配合，构成完整方案，为行走机构于大倾角煤层环境稳定运行筑牢根基。

3.2 动力学特性优化

动力学特性的优化是提升行走机构在大倾角煤层复杂工况下稳定性的核心途径。通过对采煤机牵引系统进行深入研究与改进，结合工作面倾斜角度与煤层地质条件的实时数据，构建智能化的牵引力分配模型。该模型能动态调整牵引力的大小与方向，确保在不同工况下，行走机构获得合理的牵引力输出。在地质条件复杂区域时，系统可自动调整输出，使行走机构保持平稳的行走状态，避免因牵引力不均导致的打滑或跑偏现象，在电控系统中引入变频器零速悬停技术，并与液压制动器协同工作。当采煤机停止运行时，变频器迅速实现零速悬停，液压制动器同步启动，提供可靠制动力，有效抵御重力分力产生的下滑趋势，降低行走机构下滑风险。依据动力学原理，该协同控制通过精准调节力的输出，减小传递到行走机构的不稳定作用力，降低行走机构零部件的疲劳损伤，提高其可靠性，增强行走机构运行的平稳性与安全性。动力学特性的优化，从力的分配与制动控制两个层面，全面提升行走机构在复杂工况下的运行性能^[3]。

3.3 控制策略优化

(1) 行走机构防滑脱轨智能化以控制策略优化为关键。借助高精度传感器实时采集运行数据，监测行走状态，还重点追踪导向滑靴与销排的磨损及配合情况，经智能分析预判滑脱轨趋势与异常磨损风险。如果监测到危险状况，智能防滑控制系统迅速响应，除自动调节牵引力与制动力主动干预行走状态外，还根据导向滑靴磨损数据，优化驱动系统输出，减少异常受力，降低磨损速度，于危险初期达成精准管控，切实避免滑脱轨事故。(2) 建立远程监控与故障诊断系统，借助数据传输技术，实时采集行走机构温度、压力、磨损等数据至地面监控中心。利用大数据与人工智能算法，重点分析导向滑靴和销排的配合间隙变化、磨损速率，精准预判异常磨损等潜在隐患。如果发现问题，系统立即预警，并生成故障诊断报告与处理建议，助力维修人员快速处置，保障采煤机安全稳定运行。(3) 借助智能化技术手段优化控制策略，实现对行走机构的精准控制与高效管理，提升其防滑脱轨能力。比如运用传感器实时监测采煤机运行状态，收集数据并反馈至控制系统，系统依此快速调整行走机构参数，同时根据导向滑靴与销排的实

际工况,动态优化两者配合状态,确保采煤机在复杂大倾角煤层环境下稳定运行,有效降低防滑脱轨风险。

4 仿真模拟与现场试验验证

4.1 仿真模拟

仿真模拟作为优化设计方案验证的重要手段,依托有限元分析软件与动力学仿真软件展开。首先基于三维建模技术,构建包含导向滑靴、销排等关键部件的采煤机行走机构精细化模型,精准还原各组件几何尺寸、装配关系及材料属性。通过设置 15° - 60° 梯度变化的工作面倾斜角度,结合实测的煤层硬度、起伏形态等地质参数,模拟不同复杂工况下的运行场景。在有限元分析中,对行走机构施加重力、截割阻力、侧向力等复合载荷,采用网格细化技术对导向滑靴与销排接触点等应力集中区域进行局部加密处理,获取应力分布云图与变形数据。动力学仿真则通过建立多体动力学模型,模拟行走机构与轨道、煤层底板的接触力学行为,分析导向滑靴与销排啮合状态等防滑性能指标。对比优化前后的仿真结果发现,优化后的行走机构最大应力值降低22%,关键部件变形量减少18%,验证了结构改进、材料优化对提升力学性能与防滑能力的效果。仿真过程中还通过参数敏感性分析,确定了影响行走机构稳定性的关键因素,为后续设计优化提供量化依据^[4]。

4.2 现场试验

(1)现场试验选取 35° - 50° 典型大倾角复杂地质煤层工作面,构建全面监测体系。于行走机构关键处安装激光位移、应变片等传感器,实时采集导向滑靴位移、构件应力与牵引力数据,结合IMU与高清摄像,记录姿态与运行轨迹,覆盖多工况采集300小时数据,为方案验证提供可靠依据。(2)针对试验数据,运用时域与频域分

析结合之法,提取行走速度波动、侧向位移幅值、牵引力突变等特征参数。统计结果显示,经优化后的行走机构在相同工况下表现优异,滑脱轨次数大幅降低,从优化前平均每周4.8次减少至0.7次;设备因滑脱导致的非计划停机时间锐减82%;对比关键部件磨损量发现,导向滑靴磨损量减少28%,充分验证了优化方案的有效性。

(3)运用试验数据对仿真模型开展参数校准工作,修正材料摩擦系数、接触刚度等关键参数,使仿真结果与实测数据误差缩小至5%以内。现场试验验证了优化设计方案在实际工况中的有效性,还为仿真模型的完善提供了工程数据支持,达成了仿真分析与现场应用的闭环验证。

结束语

本文通过对大倾角煤层采煤机行走机构防滑脱轨的深入研究,提出的优化设计方案在仿真模拟与现场试验中均取得良好效果。机械结构、动力学特性及控制策略的协同优化,显著降低了行走机构滑脱轨风险,提高了采煤机运行稳定性。随着技术的不断发展,应深化对复杂工况的研究,持续完善优化方案,提升其在大倾角煤层环境下的适应性,为煤炭行业的安全、高效生产提供更坚实的技术支撑。

参考文献

- [1]王涛,孟岩.大倾角采煤机可靠性分析[J].煤矿机械,2025,46(3):101-103.
- [2]佟友.大倾角综放开采配套技术及液压支架结构优化设计[J].煤矿机械,2023,44(10):129-131.
- [3]张宝义,纪磊,史华伟,吴合忠.大倾角煤层设备稳定性控制技术研究与应用[J].煤矿机械,2023,44(9):148-151.
- [4]蒲海峰,王国清,樊成向.大倾角薄煤层链牵引采煤机及主动防滑技术[J].煤矿机电,2021,42(2):54-57.