

# 露天煤矿开采用轮斗挖掘机防倾翻安全性能技术研究

李惠泽 宋春雨

DOI:10.12238/gmsm.v7i11.2003

**[摘要]** 随着我国露天矿开采技术的不断进步,轮斗挖掘机作为其核心设备,其安全性能的优化已成为保障露天煤矿高效安全生产的关键。近几年,我国轮斗挖掘机的研制与应用取得了长足的进步。然而,轮斗挖掘机复杂工况下的防倾翻能力还存在较大挑战,特别是高寒地区、复杂地质条件下,装备稳定性有待进一步提高。

**[关键词]** 露天煤矿; 轮斗挖掘机; 防倾翻安全性能

**中图分类号:** TD82 **文献标识码:** A

## Research on safety performance of wheel bucket excavator in open pit coal mine

Huize Li Chunyu Song

**[Abstract]** With the continuous progress of open-pit mining technology in China, as the core equipment, the optimization of its safety performance has become the key to ensure the efficient and safe production of open-pit coal mine. In recent years, the development and application of wheel bucket excavator in China has made great progress. However, there are still great challenges in the anti-dumping capacity of the wheel bucket excavator under complex working conditions, especially in the high and cold areas and complex geological conditions, and the equipment stability needs to be further improved.

**[Key words]** open pit coal mine; wheel bucket excavator; anti-tipping safety performance

轮斗挖掘机安全性能优化对保证露天矿安全高效生产具有重要作用,因此,优化轮斗挖掘机防倾翻技术具有十分重要的意义。目前国内轮斗挖掘机防倾翻技术主要集中于重心稳定性分析、结构优化和智能预警系统三个方面。通过优化轮斗挖掘机的工作参数及流程,使其工作稳定性及工作效率明显提高。同时,结合有限元分析与智能控制技术,研制出一种新型的轮斗挖掘机防倾翻系统,使轮斗挖掘机的安全性得到进一步提高。

### 1 轮斗挖掘机防倾翻安全性能优化必要性

#### 1.1 提高施工效率与精确度

轮斗挖掘机是现代工程中不可缺少的一种重型机械,其工作效率和精度直接影响着整个工程的进度和质量(轮斗挖掘机如图1)。轮斗挖掘机防倾翻安全性能的优化是提高轮斗挖掘机作业水平的关键。通过强化防倾系统,保证挖掘机能够在复杂多变的地形环境下保持稳定,避免因倾翻造成的作业中断。这种稳定性不但可提高挖掘机的连续工作能力,而且使操作人员更能集中精力在挖掘过程中,提高了施工效率。同时,防倾翻性能的优化对提高挖掘精度具有重要意义。在精细操作领域,如采矿、建筑物地基开挖等,挖掘机的轻微晃动都会影响操作精度。加强防倾翻系统能有效地降低挖掘机工作时的晃动,保证挖掘位置和深度的准确控制,从而提高工程质量。



图1 轮斗挖掘机

#### 1.2 增强安全管理能力

在建设项目中,安全永远是重中之重。轮斗式挖掘机防翻作业安全性优化对提高施工现场安全管理水平意义重大。一方面,加强防倾翻系统可有效地降低挖掘机倾翻事故的危险性,降低因倾翻事故造成的人员伤亡及财产损失。这对保证施工人员的生命安全,维护设备的完好性,降低事故造成的经济损失,都是十分重要的。另外,防倾性能的优化对提高施工现场的安全管理水平具有重要意义。采用先进的防倾翻技术,可使施工单位更加

重视安全管理, 加强安全培训, 提高操作人员的安全意识, 营造安全有序的施工环境。

### 1.3 优化成本控制与预算管理

轮斗式挖掘机防倾安全性能的优化是成本控制和成本控制的关键, 提升防倾翻能力可降低因倾翻引起的设备损坏, 降低维修费用。倾翻事故不仅直接对挖掘机造成损害, 而且可能引起其它设备的损坏, 甚至造成施工中断, 从而增加维护成本, 造成停工损失。对防倾系统进行优化设计, 可减少此类事故发生的概率, 有效地控制维修费用。此外, 最佳的防倾翻特性对延长挖掘机使用寿命具有重要意义。稳定的工作状态能降低挖掘机的磨损与老化, 延长其使用寿命, 从而减少设备更新次数, 降低成本。对建设单位而言, 既能保证工程质量, 又能对预算进行更合理的规划, 达到有效控制造价的目的。

## 2 轮斗挖掘机防倾翻安全性能优化有效策略

### 2.1 增强结构稳定性与重心优化设计

(1) 应对挖掘机整体进行全面分析, 找出可能引起倾翻的关键部位, 采用高强度轻质材料替代传统材料, 在提高结构强度的前提下, 实现了整机的轻量化。

(2) 对挖掘机重心位置进行优化设计, 保证挖掘机工作时重心保持在一个很低很稳的位置上。

(3) 要合理布置发动机、液压泵等部件, 避免重心偏高或偏斜等问题。

(4) 进一步优化底盘设计, 增强底盘刚度及承载力, 优化底盘-履带连接结构, 以适应不平地面环境对底盘稳定性的影响。

例如, 应开展挖掘机整体受力分析, 利用有限元分析法, 识别挖掘臂、旋转平台和底盘等关键部位的应力集中区, 并对其进行分析。研究表明, 在原设计方案中, 挖掘臂与回转平台连接部位存在较大应力, 是翻倾的潜在危险点。为解决这一问题, 项目组决定将原有的钢结构部件改为高强度、轻量化的钛合金复合材料。该材料不仅拉伸强度达到1200MPa, 而且密度只有钢材的一半, 在降低整机重量的同时, 还能提高结构强度。具体更换部分由挖掘臂的主支撑梁、旋转平台连接框架和部分底盘构件组成, 经严格检测, 在整体重量仅增加5%的情况下, 其承载能力提高30%以上, 达到减轻重量和提高强度的目的。在重心优化设计中, 对发动机和液压泵等重型零件进行了重布置, 并对各零件的质量分布进行准确的计算。原设计时, 挖掘机发动机位置偏后, 重心偏高, 容易发生倾斜。在新的设计中, 发动机向前移动, 降低液压泵等较重部件的重心, 从而保证了挖掘机工作过程中的重心保持在较低的中心位置。此外, 通过增加纵、横向加强筋, 提升底盘刚度及承载能力, 优化底盘与履带的连接结构, 采用更宽更厚的履带板, 提高不平整路面的稳定性与通过性。具体参数方面, 新型挖掘臂主支撑杆采用钛合金复合材料制造, 截面尺寸200×150毫米, 壁厚12毫米, 比原来的钢构件减轻了40%左右; 转台连接架采用同一种材料, 整体重量降低25%, 强度提高20%。底盘肋条设计使车体刚性提高20%, 履带板宽度由600毫米增至700

毫米, 厚度由30毫米增至40毫米, 地面适应性与稳定性得到明显改善。(如表一所示)

表1 轮斗挖掘机关键部件优化前后对比

部件名称	优化前材料	优化后材料	重量变化	强度变化	其他优化措施及效果
挖掘臂主支撑梁	钢材	钛合金复合材料	减轻40%	提高20%	采用高强度轻量化材料, 承载能力提升30%, 整体重量仅增加5%。
旋转平台连接框架	钢材	钛合金复合材料	降低25%	提高20%	重心优化, 发动机和液压泵位置调整, 重心降低, 稳定性提升
底盘构件	钢材	钛合金复合材料	降低25%	提高20%	增加纵、横向加强筋, 车体刚性提高20%
履带板	钢材	钢材	增加25%	-	宽度由600mm增至700mm, 厚度由30mm增至40mm, 地面适应性与稳定性明显改善

### 2.2 智能作业规划与路径优化

(1) 轮斗挖掘机作业规划和路径优化是提高轮斗挖掘机防倾翻作业安全性的关键, 可借助全球定位系统 (GPS)、激光雷达 (LiDAR) 等先进传感技术, 实现挖掘机周边环境的实时感知与建模。

(2) 利用智能算法规划挖掘作业, 选择最佳作业路径, 避免挖掘机误入危险区域或采取不正确的姿态。

(3) 智能系统可根据土质、地形等因素, 对挖掘机工作参数 (如挖深、挖速、挖力等) 进行动态调整, 以保证挖掘过程的稳定与安全。在此基础上, 实现多台挖掘机的协同作业, 实现信息共享, 优化资源配置, 提高整体施工进度与安全水平。

例如, 为提高轮斗式挖掘机作业安全高效性, 可采用基于GPS/LiDAR的智能作业规划系统。需要利用GPS对挖掘机进行精确定位, 并结合高精度地图数据, 对挖掘机工作环境进行数字化建模。同时, 激光雷达可以360度扫描地采集周边地形、障碍、工作面等三维点云数据, 精度可达厘米级。智能算法根据所获得的环境信息, 规划最佳挖掘路径及操作策略。如当遇到复杂地形时, 该算法能够自动确定最佳行驶路径, 避免挖掘机在不平整的地形和松软的土地上翻倒。在挖掘过程中, 算法根据土壤的硬度、挖掘深度等参数, 对挖掘机的挖掘深度、挖掘速度、挖掘力等进行动态调整, 以保证作业过程的稳定与安全。另外, 该系统还支持多台挖掘机协同作业, 实现信息共享, 优化资源分配, 提高整体施工进度。在具体参数上, 可采用双频接收机, 定位精度可达±5厘米, 更新频率为10Hz; 激光雷达传感器采用HDL-64E, 可实现360度扫描, 最大可达200米/秒的点云数据密度。该算法在高性能工业计算机上运行, 处理器采用英特尔至强E-2276M, 32GB内存, 1TB固态硬盘, 可保证算法的高效运行与数据处理能力。

### 2.3 操作员培训与辅助驾驶系统

(1) 在使用方法方面, 要对操作人员进行定期的安全操作培训, 使其对挖掘机的结构原理、操作技术有较深的了解, 懂得防倾翻的原理及处理方法。

(2) 应为挖掘机安装姿态传感器、力传感器等辅助驾驶系统,实现对挖掘机姿态及受力状态的实时监测。

(3) 利用智能控制系统对监测数据进行处理与分析,及时发出预警,并采取相应的控制措施,如挖掘机姿态的自动调整、操作参数的限制等,以保证挖掘机的安全稳定运行。

(4) 另外,通过引入虚拟现实(VR)、增强现实(AR)等技术,为操作人员提供更直观的操作指导与训练体验。

例如,为提高作业人员的安全意识及作业技巧,可为轮斗车配备了一套先进的行车辅助系统。系统集成多种传感器,如位姿传感器和力传感器,对挖掘机的工作状态和工作环境进行实时监控。采用六轴陀螺与加速度计相结合的姿态传感器,可实现 $\pm 0.1^\circ$ 的精度,并能对挖掘机的倾斜角、转速等进行实时反馈。智能控制系统将采集到的传感器数据通过内置算法对挖掘机的稳定状况进行分析,当发现潜在的倾翻危险时,系统会立即发出声光报警,从而实现对挖掘机姿态的自动调整,或者采取减速、调整挖掘角度等措施来避免发生倾翻事故。同时,可将虚拟现实(VR)技术引入到挖掘机操作过程中,为操作人员提供模拟训练环境,帮助驾驶员熟悉挖掘机作业过程及防倾翻技术。具体参数方面,导航辅助系统采用MPU-9250型号,频率1000Hz;采用应变片式测力传感器,量程为 $\pm 500\text{kN}$ ,精度 $\pm 0.5\%\text{FS}$ 。系统以ARM Cortex-A72处理器为核心,采用Linux操作系统,具有数据处理速度快、实时性强的特点。VR训练系统可使用HTC Vive Pro,分辨率为 $2880 \times 1600$ ,刷新率为90Hz,给人以身临其境的感觉。

### 3 结束语

综上所述,轮斗挖掘机防倒翻安全性的优化是露天矿高效安全开采的关键。轮斗挖掘机结构优化,重心稳定分析,可提高安全性和工作效率。未来,随着轮斗挖掘机智能化程度的提高,其防倾翻能力也将向智能化和自动化方向发展。还可结合大数据、物联网等技术,对露天矿设备进行实时监控与故障预警,进一步降低事故风险,促进我国露天煤矿开采技术向更高层次发展。

#### [参考文献]

[1]刘玲.轮斗挖掘机+自卸卡车连续采煤开采工艺在哈密一矿的应用[J].露天采矿技术,2024,39(04):46-49.

[2]周帅.轮斗挖掘机冬季作业问题探讨[J].中国设备工程,2022,(18):191-193.

[3]刘金强,张波,潘博.伊敏露天矿轮斗挖掘机工作面参数确定[J].露天采矿技术,2020,35(04):79-81.

[4]李英.DWY系列全液压轮斗挖掘机在煤矿的使用现状及建议[J].采矿技术,2019,19(04):105-107+111.

#### [作者简介]

李惠泽(1996--),女,汉族,辽宁沈阳人,研究生,助理工程师,主要从事露天煤矿装备技术研发工作。

宋春雨(1995--),男,汉族,辽宁阜新,研究生,助理工程师,主要从事露天煤矿装备技术研发工作。身份证号码:2101031996\*\*\*\*4828。