

AR技术在采煤机远程工况诊断与维护指导中的应用探索

许正芳 户建平 马晨园 曹正祥 邵伟伟

新疆大学交通运输工程学院, 新疆乌鲁木齐, 830017;

摘要: 露天作业采煤机是煤炭智能开采核心装备, 远程诊断与维护始终是制约高效运行的关键难题, AR技术在信息可视化、交互指导和实时反馈方面具有独特优势, 为采煤机运维赋能提供新路径。结合采煤机运转典型工况, 依托AR设备与传感数据交互机制, 构建远程可视诊断模型, 探索沉浸式维护指导流程, 以提升维护效率与安全性, 实践显示, AR技术显著增强煤矿智能化作业水平, 为智慧矿山建设提供技术支撑。

关键词: 增强现实技术; 采煤机; 远程诊断; 运维指导; 智慧矿山

DOI: 10.64216/3080-1508.25.04.056

引言

煤炭行业智能化转型中, 设备运维效率是提升安全水平的重要因素, 露天作业采煤机作为高频运行设备, 常因环境复杂、空间狭小及故障诊断滞后, 造成维护困难和停机损失, 增强现实技术凭借实时感知、三维可视和人机互动能力, 为远程维护提供全新视角。在复杂地质与生产环境里, 把AR技术嵌入采煤机工况诊断系统, 既能实现问题部位精准定位, 又能提供分步骤、图像叠加的维修引导, 切实达成“看得见、修得准”, 该技术深度融合将推动煤矿运维从经验型向数据驱动型转变, 成为智慧矿山建设的重要支撑力量。

1 采煤机远程诊断维护中存在的典型问题与技术瓶颈分析

1.1 采煤机故障隐蔽性高致远程识别难度大

露天作业采煤机属高负载、高频运行重型装备, 其滚筒、牵引机构、截割部等关键部位长期处于高粉尘、高湿、高振动环境, 易产生隐蔽性微损伤或深层故障, 因设备结构复杂、部件交错, 部分区域难通过常规视频监控或传感手段有效覆盖, 致远程识别存在盲区。电缆磨损、液压波动等早期异常信号变化微弱, 难通过单一数据源准确反映, 进一步增加诊断难度。这些因素制约传统远程诊断的精准性与实时性, 影响故障响应效率。

1.2 传统远程指导方式存在反馈延迟与误判问题

煤矿运维传统远程支持多依赖单向数据上传与语音对讲, 指导人员无法同步感知现场具体操作场景, 易因信息理解偏差、操作视角不同等因素导致维修建议不准确, 尤其在紧急故障处理中, 作业人员现场反馈往往难精准表达复杂部位实际情况, 导致远程专家对设备状态的判断存在主观猜测。这种基于语音文字交流为主的指导方式, 在环境噪声大、无线信号不稳定时, 易出现通信中断或反馈延迟, 严重影响问题处理效率, 指令难

图形化表达, 操作人员理解成本高, 执行过程依赖其经验水平, 缺乏标准化流程控制机制。反馈链条长时间闭环使维修效率不高, 甚至可能出现重复拆装、误判维修目标等操作失误。

1.3 复杂地质环境下可视化诊断信息获取受限

露天煤矿地质条件多变, 区域内存在粉尘浓度高(露天作业扬尘)、强光/低光交替(昼夜、天气影响)、雨雪水汽重等不利因素, 严重制约图像采集与可视化识别的清晰度与稳定性, 在露天矿设备密集分布背景下, 传统监控探头布置受限(需覆盖大范围露天区域), 无法实现多角度、立体化监测。煤层倾角、断层活动频繁会对固定传感设备造成干扰, 甚至导致采集失真或中断, 在此环境下, 图像模糊、关键部位遮挡成为常态, 严重影响远程端对现场状况的准确把控。露天复杂环境(如雨雪、强振动)对采集设备的防护性能提出高要求, 使普通监控系统难以兼容, 进一步限制视频流的实时传输与数据质量保障, 综合来看, 复杂地质环境构成阻碍可视化诊断落地的关键现实壁垒。

2 增强现实技术赋能煤矿设备维护的关键功能机制探讨

2.1 三维建模与工况实时叠加增强诊断直观性

增强现实技术将三维模型与露天作业采煤现场实际工况无缝叠加, 精准还原设备运行状态及空间布局, 显著提升远程诊断的直观感知能力, 采煤机运转时, 基于CAD数据生成的数字孪生模型可实时映射至AR眼镜或终端设备界面, 运维人员能直观查看设备部位结构、运行路径及故障点定位。结合振动、电流、温度变化等实时传感器数据, 三维模型动态调整颜色或状态提示, 快速引导诊断人员聚焦异常区域, 此类叠加可视化打破传统平面信息表达局限, 提高故障识别效率与精度, 使远程端拥有“身临其境”式观察体验, 为复杂问题定位

与预警提供可靠技术支撑。

2.2 远程交互与语音控制提高操作指导响应效率

AR系统搭载的远程交互功能支持作业人员与后端专家多模态通信,如语音讲解同步图像标注、手势控制设备响应等,大幅缩短指令传达路径,作业人员佩戴AR头显,在作业现场可接收远端专家在其视野中投射的操作提示,专家也可基于前方画面进行圈点、标记、虚拟指引,辅助一线完成复杂步骤操作。语音控制功能实现在操作双手被占用场景下的高效指令下达,如开启设备分解图、调取维保记录、定位部件编号等,提升操作流畅性与准确性,这种即时、交互式沟通机制有效避免传统手动记录与语音理解偏差导致的信息滞后和执行误差,在露天煤矿高危场景(如边坡区域、大型设备交叉作业)中尤为关键。

2.3 AR设备融合多源感知技术实现精准识别与定位

当前AR设备可集成惯性测量单元(IMU)、红外摄像、深度感知、温湿度与振动传感模块等多类型传感器,通过多源数据融合处理,实现对采煤机状态的高精度实时感知与定位,当AR系统检测到截割部微幅振动变化或表面温度异常,自动触发诊断模块并将该部位在三维界面中高亮展示。系统还能依据定位芯片和环境扫描功能,匹配设备当前工况与历史运行轨迹,判别故障发展趋势。

3 基于AR平台构建采煤机故障诊断与运维指导系统的实施路径

3.1 系统构成模块设计及AR与矿用终端的协同应用

在数字孪生架构中,物理感知层负责收集物理实体的实时数据,这是整个系统运作的基础。物理感知层需要对接交互的系统包括综采工作面地质系统和智采工作面装备状态监控系统。通过安装在物理设备上的各类传感器与测量设备(如温度、压力和位置传感器等)持续采集关键数据。AR平台在采煤机远程诊断的应用,需依托坚实数据基础,依赖硬件载体、软件算法与通信网络协同配合,系统架构涵盖数据采集模块、AR交互模块、专家远程控制端与现场作业终端等功能单元,各单元通过标准化协议实现数据互通与指令交互,矿用本安型设备需设有与AR终端的兼容接口,接口采用防尘防水、抗紫外线(露天强光)设计,确保在露天高粉尘、高湿(雨雪)、高干扰环境中持续稳定运行。采集到的设备状态数据经工业无线网络实时传输至AR平台,传输过程采用加密协议保障数据安全,后端系统随机加载匹配

的三维模型,并将故障视图以分层标注形式推送至作业人员终端显示界面,终端设备须具备高亮度、抗干扰与强环境适应能力,屏幕采用抗眩光材质,以保障图像信息清晰、指令执行无阻碍。

3.2 采煤机核心部件典型故障AR可视化处理流程设计

典型故障处理流程针对截割部断齿、液压系统泄漏、电控模块异常等高频问题开展标准化建模,建模过程纳入各故障的常见诱因、特征参数阈值及关联部件影响范围,系统预设多类故障情景模拟路径,路径覆盖从故障触发到处理完成的全环节,作业人员在AR界面可查看部件结构分解图、故障标注点及操作步骤动画指引,分解图支持层级缩放,标注点附带故障成因简要说明,动画指引按实际维修顺序分步演示。设备运行中参数出现异常时,平台自动加载对应故障模型并高亮风险部位,高亮区域随操作进程动态更新,引导人员按图定位故障核心区域,每步操作配备视觉强化提示,提示采用颜色对比鲜明的图标与文字组合形式,保障维修精准性,平台还能依据历史数据和故障等级推送相应应急处理方案,方案包含备件更换清单与安全注意事项,同时自动记录操作时间、执行人员及处理结果,实现流程闭环及任务可追溯管理。

3.3 远程支持与本地协同的运维场景适配方案

AR系统在露天矿实际作业中需适配定期巡检、应急故障处理(如露天暴雨后设备检查)及新工人技能培训等多种场景,针对不同场景优化界面布局与功能优先级,远程专家端基于实时视频流可同步发送文字、语音及图像指令,图像指令支持直接叠加在现场画面特定区域,与现场作业形成即时联动机制。系统设计支持多任务切换、断点续传与异常恢复,当网络短暂中断后可自动续传未完成数据,确保协同作业不中断,通过融合地理信息与设备定位模块,实时更新作业人员位置与设备分布状态,实现本地作业进度同步汇报及远端专家状态响应优化,减少指令等待时间,在此基础上构建“远程指导—现场执行—反馈确认”三位一体作业闭环,每个环节设置明确的状态标识与确认节点,提升协同效率与响应速度。

4 智慧矿山视域下AR远程维护系统的实地应用成效分析

4.1 试点煤矿远程维护效率与维修周期变化对比数据

智慧矿山示范场景部署AR远程维护系统,采煤机日常维护效率大幅提高,以往人工观察和文字交流处理

故障,表达不清、判断错误导致反复作业,AR系统让专家实时看现场画面,直接标注设备故障部位,可视化指导操作。作业人员据此定位问题,复杂条件下也能高质量作业,流程紧凑,任务完成更好,减少重复检修和等待,维护高效稳定。

4.2 安全隐患识别与操作规范性提升的实际反馈

传统巡检因人工经验和环境限制,很多隐患难以及时发现,AR系统叠加历史高风险区域信息和设备实时运行状态,作业人员靠近故障点前就收到预警,避免多数危险操作。系统规范操作步骤,杜绝擅自改流程或跳步,使用中人员养成标准化作业习惯,安全意识和纪律性增强,复杂任务里操作更准,事故防范能力显著提高。

4.3 一线技术人员对AR指导系统接受度与实操体验

多数设备维护人员接触AR技术后,觉得系统界面易懂、操作顺手,能减轻作业判断压力,图像化操作指令比传统手册、口头指导更好理解,应对陌生设备优势明显。年轻员工乐于接受图像和交互功能,依赖系统作业;年长员工适应后,也认可其效率,系统动态演示、语音引导在低光、嘈杂或复杂环境很实用,提升现场工作连贯性和可控性。

5 融合智慧交通理念拓展AR在露天矿运维调度系统中的应用潜能

5.1 基于AR可视化路径规划优化露天矿作业的维护调度路线

露天矿作业道路、采场台阶纵横交错,空间构造复杂,传统纸质调度图难以进行实时更新与定位,AR系统结合智慧交通路径算法,将作业任务与露天实际环境相互叠加展示,帮助维修人员沿着最优路线抵达目标设备。系统依据露天矿交通流量(如运输卡车、铲运机)、人员分布及设备位置,对路线规划进行动态调整,有效减少因路径选择不当造成的运维延误,头戴式终端通过箭头指示、色彩标记的方式,清晰呈现路径信息,大幅提升调度效率,保障运行安全。

5.2 露天作业交通与设备移动状态的实时监测与指引

AR平台与传感网络相结合,能够实时获取露天矿车辆(运输卡车、装载机)、人员及移动设备的位置与运动状态,并将这些信息可视化地呈现在维护人员视野中,在运维任务执行过程中,一旦有车辆靠近,或者其他

人员活动接近高危区域,系统便会发出声光报警,同时进行画面提示,避免出现交叉作业风险。系统还可为运输设备规划运行路线,优化设备通行先后顺序,减少拥堵状况的发生,在同时调度多项任务的情况下,该功能能够防止调度出现混乱,避免运维工作受到干扰。

5.3 构建AR驱动下设备运维与人员调度的协同管理模型

AR系统借鉴智慧交通理念,构建起设备状态、人员分布和调度命令相互联动的协同机制,管理平台可以实时查看所有作业点的状态、任务完成进度以及人员行进路径,达成全过程可视化管理。设备维护任务发布后,系统会自动将任务推送给距离最近的可用技术人员,规划出最短路径,同时调取相关维修记录与操作指引,实现高效调度与辅助决策同步进行,这一模型实现了从设备故障预警,到人员调配、操作执行,再到结果回传的全流程闭环管理。

6 结语

AR技术用于采煤机远程诊断维护,打破传统运维信息不畅、操作受限的局面,大幅提高诊断精度和作业效率,三维可视化、多源数据整合及智能交互共同作用,让复杂环境下设备维护精准又规范,这项技术在智慧矿山推广开来,为煤矿智能运维提供方法和技术,未来应用前景好、发展潜力大。

参考文献

- [1]李义军.基于虚拟现实技术的矿用采煤机姿态仿真与试验研究[J].山西煤炭,2025,45(03):120-128.
- [2]周建建.采煤机液压拉杆预紧组合结构及其优化改进研究[J].机械管理开发,2025,40(07):212-214.
- [3]尹宇航.基于数字孪生的煤矿智能化开采工作面采煤机动态联控技术研究[D].华北科技学院,2025.
- [4]苗丙,葛世荣.采煤机数字孪生导航截割运动规划理论与方法[J].工矿自动化,2024,50(08):1-13.
- [5]朱怀森.基于M-CPS的采煤机自主截割系统若干关键技术研究[D].太原理工大学,2024.
- [6]郝梓翔.采煤机视角下点云数据驱动的液压支架群位姿虚实融合重构方法[D].太原理工大学,2024.
- [7]耿家麒.综采工作面采煤机摇臂智能调高方法研究[D].中国矿业大学,2024.
- [8]王翔翔.面向硬件在环的采煤机作业视景仿真系统研究[D].中国矿业大学,2024.