

Design and Application of AI-driven Safety Closed-Loop Management System for Large-scale Mechanical Operations in New Energy Infrastructure

Feng Ding Yanfei Hao Yahui Li Xixiong Wu Xiaoxia Jia

Guoneng Shanxi New Energy Industry Investment and Development Co., Ltd., Taiyuan, Shanxi, 030006, China

Abstract

With the continuous expansion of the scale of new energy infrastructure projects, the safety management of large-scale mechanical operations is facing complexity and high-risk challenges. The traditional manual management mode is difficult to achieve real-time monitoring and precise early warning, and intelligent solutions are urgently needed. Based on this, this paper takes artificial intelligence as the entry point and designs an AI-driven closed-loop management system for the safety of large-scale mechanical operations in new energy infrastructure. The system covers data collection and real-time monitoring, risk identification and intelligent analysis, closed-loop emergency response and automatic control, as well as visualization and decision support modules. Through application cases of wind power construction and photovoltaic mechanical operations, the operation effect of the system is analyzed to verify its effectiveness in reducing the accident rate, improving operation efficiency and strengthening the closed loop of safety management. By integrating the promotion path of technology and management and the intelligent optimization strategy, it aims to provide references and inspirations for the medium and long-term safety management of new energy infrastructure.

Keywords

New energy infrastructure Large-scale mechanical operations; Safety closed-loop management Artificial intelligence

AI 驱动的新能源基建大型机械作业安全闭环管理系统设计与应用

丁锋 郝艳飞 李亚辉 吴希雄 贾晓霞

国能山西新能源产业投资开发有限公司, 中国·山西太原 030006

摘 要

随着新能源基建项目规模的不断扩大,大型机械作业的安全管理面临复杂性和高风险挑战,传统人工管理模式难以实现实时监控与精准预警,亟需智能化解决方案。基于此,本文以人工智能为切入点,设计AI驱动的新能源基建大型机械作业安全闭环管理系统,系统涵盖数据采集与实时监控、风险识别与智能分析、闭环应急响应与自动控制,以及可视化与决策支持模块。通过风电施工和光伏机械作业的应用案例,分析系统运行效果,验证其在降低事故发生率、提升作业效率和强化安全管理闭环方面的有效性;结合技术与管理结合的推广路径和智能优化策略,旨在为中长期新能源基建安全管理提供参考和启示。

关键词

新能源基建;大型机械作业;安全闭环管理;人工智能

1 引言

我国新能源产业发展速度不断加快,大型机械在风电、光伏及储能等基建项目中的应用日益广泛。然而,这类机械作业涉及高空、高负荷、复杂环境等多重风险,传统安全管理手段难以实现实时监控和闭环管理,存在隐患识别滞后、应急响应缓慢以及管理效率低下的问题^[1]。人工智能(AI)

技术的发展,为新能源基建大型机械作业的安全管理提供了新的解决方案。本文积极进行探究,为新能源基建项目提供可行的智能安全管理模式寻找新的方向。

2 新能源基建大型机械作业安全风险分析

2.1 机械作业中的主要安全隐患类型

施工大型机械用于风塔塔筒安装、光伏支架施工作业、储能运储作业等施工时存在机械风险、人为风险及作业环境风险,其中机械设备出现故障即存在液压故障、电气控制故障、传动故障等机械故障风险,作业过程中操作人员出现违

【作者简介】丁锋(1985-)男,中国山西河曲人,本科,工程师,从事发电厂生产运行研究。

章,属于人为风险,造成设备失控及停机的风险;人员在高空作业风险,机械施工区域存在障碍物的风险、地地质不稳定的风险等等。

2.2 环境因素对作业安全的影响

新能源建项目通常处于特殊或者偏远区域,自然环境对于机械施工安全属于大的干扰。比如较高的风速会增加对在施工中风电机组的吊装,一旦风速过高会提高机械的稳定性,降低安全系数;降雨、降雪则造成地面泥泞或者打滑,地面湿滑程度会大大增加机械行驶和安装精度;现场空间的制约性及大机或多机的交叉作业,存在机械交叉或互碰风险,也提高了机械安全施工的管理难度。

2.3 传统安全管理模式存在的问题

在传统的大型机械施工作业安全管理中,往往采用人工巡检、作业日志录入以及事故之后的应急处置进行安全管理,存在滞后性和局限性。一是隐患无法及时发现,机械故障以及异常征兆难以获取,极易造成隐患风险的累计。二是预警薄弱,人工监测无法实现连续、实时的数据分析,无法及时应急处置,三是作业数据独立分散,无法基于数据建立风险分析及决策的支撑,无法形成风险管控的闭环。可见,智能化安全闭环管理体系能够弥补新能源基建大型机械施工作业中无法解决的安全管理问题,实现对其运行的风险监测、预警及快速响应^[2]。

3 AI 驱动的新能源基建大型机械作业安全闭环管理系统设计

为更好的解决新能源施工大设备安全管理的问题,人工智能赋能的大设备安全的闭环管理系统,应从大设备作业过程中的感知监测、风险预警、闭环应对以及辅助决策等四个主要环节对大设备的作业安全加以监管。

3.1 数据采集与实时监控模块

首先需要采集数据,这是整个系统成立的前提条件。利用各类传感器网络系统、高清视频监控设备、无人机监控技术以及物联网监控技术来监测机械设备的工作情况、工作环境数据以及相关操作人员活动情况,如针对大型起重吊装机械采集机械振动、工作转速、工作负载、电流以及液压压力和温度等信息,通过环境传感器进行风速、温度、湿度、地质突变的变化数据的采集,通过物联网平台进行处理,从而获得一系列数据,进而对施工过程进行动态管理。该模块可以监控机械设备出现的故障、突发环境变化或者操作错误,并且上传到中央监控平台,用于后续风险数据分析处理^[3]。

3.2 风险识别与智能分析模块

智能化分析是闭环安全风险管理的核心模块。利用智能化算法(如机器学习、深度学习、预测性建模等)对所采集数据进行在线分析,发现风险并作出相应的风险评估,如通过对振动信号、能耗信息和以往的故障记录等信息进行实时分析,自动判断出机械的刀具损耗、传动系统的故障、机械的液压泄漏等情况,结合施工现场环境信息(风速、地

形、施工高度等)分析环境要素对设备运行安全的风险影响情况,进而形成风险评分模型,进行风险等级(低、中、高、严重)划分,并对风险状况及时进行预警分析,为闭环的应急处置提供决策支持。

3.3 闭环应急响应与自动控制模块

系统闭环应急响应模块实现系统的防控功能。针对系统识别的风险,按照风险分级制定系统应急响应机制,如遇机械振动过大、风速过大时,可通过系统应急机制控制机械自动调整作业速度、优化工作轨迹或暂停作业,并且可一键启动现场紧急制动设备、声光报警设备、消防设备和远程遥控设备进行干预。结合自适应控制和智能优化算法在系统出现异常状态时,可以控制机械自动化调整作业轨迹,偏航、打滑等,使得机械作业安全运行。

3.4 可视化与决策支持模块

基于三维可视化模型、二维的热力图、图表、动画等方式对各种数据进行采集和分析之后,从而对数据采集和分析的结果进行直观展现,增强管理人员对现场施工的安全感。比如施工管理人员能够通过界面实时了解大型机械、重大作业环节、作业风险等级、环境监测结果和历史变化情况,有效了解并掌握施工安全状况。基于历史数据、风险预估、现场数据和智能算法实现智慧工程下的施工调度、应急调度和施工安全管理决策支持,对各种不同作业方案产生的作业影响进行模拟,最终辅助施工管理人员进行作业方案决策^[4]。

4 系统应用案例与效果分析

本部分基于风电、光伏工程实际案例应用,对平台运行效果和安全提升效果做进一步应用结果与安全提升评价。

4.1 风电施工机械安全管理实践

吊装阶段的大型吊车、履带吊、塔筒吊装设备,是风电项目施工安全控制的重点。智能化、自动化的安全闭环管理可以在整个吊车吊装作业前、后以及起吊运行阶段对这些设备进行全面监管。包括施工现场与塔筒、吊车等多个位置安装的各类数据传感元件对吊机的负载、臂长、风速、振动、温度等状态数据进行监测;将这些数据传输至云端的智能数据监测系统自动识别吊车吊装作业出现超载、倾覆、风速超限等超警戒状态,自动发送闭合的应急响应对策;关闭警戒状态下自动调整吊车机械操作参数或停止作业防止安全生产事故的发生,并将监测到的三维位置、吊装负载状态、风险水平等信息状态通过可视化手段呈现给施工管理者,以便工作人员及时应对、有效施策,避免安全生产事故。

4.2 光伏大型机械作业应用实例

施工现场光伏板吊装、支架吊装、土建机械的作业过程属于光伏施工安全管理过程中关注的核心环节,无人机航拍、物联网传感器等收集的现场施工数据覆盖了整个光伏现场。

以光伏施工现场支架吊装机械为例, AI 安全闭环管理系统将实时采集机械轨迹、倾角、机械载荷及环境参数等数

据,并通过智能分析模块中的异常振动检测、机械超载识别等,及时触发闭环应急响应模块,进行机械作业速度、路径等参数的优化,减少机械的作业风险,而在实际光伏施工现场,也可以通过可视化平台将各个现场光伏施工机械的作业、施工风险等级以及施工环境等数据展示出来,从而为光伏施工现场安全管理提供科学依据。经实际应用发现,采用 AI 安全闭环管理系统大大减少了光伏施工现场的机械碰撞、支架倾角的调整以及误差等问题,大大提高了光伏施工现场的机械作业安全等级以及效率。

4.3 系统运行效果与安全改进分析

在风电机组建设与光伏场站建设过程中,利用人工智能安全闭环管控平台将机械与机器学习实现闭环,在风险辨识的准确度、事前预警时间上均具有提升空间,能够在风险事件发生前采取控制措施降低风险的发生率。在风险事件发生时,能够在最短时间内执行自动或制动等操作降低风险发生影响;风险可视化与智能决策模块能够帮助管理人员提升对施工安全风险的感性认识,帮助管理人员更加科学客观地作出安全决策^[5];同时,在系统运行的过程中积累了丰富的施工过程数据,能够帮助企业后期开展机械维护工作以及开展场站建设和人员培训工作,进一步构建起企业对安全施工管控闭环的良好机制。

5 推广与优化建议

为最大化实现 AI 赋能新能源智慧建造大型装备作业风险闭环管控系统的效益,推动应用和可持续升级,本文提出技术层、管理层和中远期发展三个方面的推广与完善意见。

5.1 技术与管理结合的推广路径

除了技术上的成熟,更要与施工单位管理制度相结合。一是建立完善的作业推行规范,在项目上推行过程闭环的 AI 管理,同时建立基于管理施工的安全管理制度,将 AI 智能闭环管理的内容与方法进行管理制度化,确保智能化工具顺利纳入传统管理方式。二是建立分阶段应用试点,一方面重点从关注危险作业的小范围项目,从作业的重点环节作为切入,逐步推广覆盖至项目,进而推广应用至各型机械。三是加强作业应用培训,监督实施制度化,结合员工使用及第三方平台,明确智能化工具设备的工作应用流程,健全人员操作、数据分析、异常判断等基础培训学习,切实将智能化管理融入作业中去,同时将作业监管、安全员等人员的基础工作熟练化,培训熟练后严格执行管理制度,提高作业全员的安全防范和处置意识。四是将数据的存储和标准和逻辑制度化。充分结合行业管理制度规范、应用当地标准,确保在原有基础上的互接和兼容。

5.2 系统优化与智能升级策略

持续优化提升以确保其在整个运行过程中可靠、高效、

智能化,一是强化多源数据融合能力,结合传感器数据信息、无人机影像数据、气象数据、历史事故数据分析风险,进一步提升风险预判精准度和预判提前量;二是强化智能分析算法,通过机器学习、深度学习等手段对复杂作业风险场景的风险预判、决策建议,提高系统自主判断能力;三是可采用数字孪生技术,结合施工机械等数据信息及作业环境建立施工机械等数字孪生模拟模型,可实现实时仿真、风险评估,并直观展现给安全管理人员以辅助安全决策;四是完善闭环控制模块,优化调整机械参数策略、应急策略,确保系统在不同场景下快速正确实施安全干预。

5.3 对中长期新能源基建安全管理的启示

智慧封闭式管理系统的推广和完善,不仅有解决目前工程建设安全存在的问题,而且对于中长期的新能源新基建工程管理具有积极的指导借鉴作用。一是新基建工程安全管理依赖人、数据和技术的管理将会成为行业发展趋势。二是安全管理系统要在基建工程前期设计、工程设备采购及使用、工程施工及人员培训、企业文化建设等各方面进行资源整合和协同应用,打造施工、运营全流程全生命周期的安全闭环管理体系。三是安全数据和管理经验可以作为行业政策和标准制定、安全培训教育等提供科学有效的参考,进而可以全面推升全国新能源基础设施安全建设及发展速度,实现安全、高效、智能化的发展目标。

6 结语

目前,新能源大型机械作业安全问题日益凸显,传统人工管理模式已难以满足高效、精准的安全需求。AI 驱动的安全闭环管理系统通过实时监控、智能分析与闭环应急响应,为施工现场提供了全方位、多维度的安全保障,有效降低了事故发生率,提高了作业效率。未来,随着数据采集技术、人工智能算法和数字孪生等技术的不断发展,安全闭环管理系统将更具预测性、智能性和自主化,为新能源基建大型机械作业提供持续、安全保障。

参考文献

- [1] 宗彩梅.大型农业机械的安全使用与维修保养方法分析[J].河北农机,2025,(12):73-75.
- [2] 周晓磊,马保,靳莹莹,等.基于激光测距的变电站机械作业安全预警系统[J].电器工业,2024,(04):78-82.
- [3] 韩进权,胡俊.建筑大型起重机械吊装作业安全管理策略研究[J].工程技术研究,2024,9(06):160-162.
- [4] 高慧来,周宇群.民用机场地面新能源设备安全运营机制探析[J].民航管理,2022,(11):43-47.
- [5] 山彤欣,王震坡,洪吉超,等.新能源汽车动力电池“机械滥用-热失控”及其安全防控技术综述[J].机械工程学报,2022,58(14):252-275.