

石油工程施工现场智能化安全管理运用分析

文 峰

克拉玛依市三达有限责任公司, 新疆 克拉玛依 834000

[摘要]新疆是我国重要的能源战略基地,其油田地面工程建设肩负着保障国家能源安全以及推动区域经济发展的双重责任。新疆有着沙漠分布广泛、生态系统脆弱且极端气候时常出现等地理特点,再加上多民族协作以及新能源设施融合等管理方面的复杂情况,传统安全管理模式面临着十分严峻的考验。智能化技术的广泛应用给破解这些难题开辟了全新的途径,借助构建与边疆特殊场景相适应的安全管理体系,既能有效应对沙尘暴、剧烈温差等自然风险,又能促进多文化团队协作以及绿色低碳转型。文章着重关注地面工程的核心安全需求,全面分析智能化技术在风险预警、人员管控、生态保护等方面所开展的创新应用,探寻既契合行业技术发展前沿又与新疆地域特点相吻合的安全管理升级模式,为高寒沙漠地区油气田开发给予理论参考以及实践指导。

[关键词]智能化安全管理;地面工程;新疆油田;三维可视化;风险预警

DOI: 10.33142/sca.v8i6.16832

中图分类号: U665

文献标识码: A

Analysis of the Application of Intelligent Safety Management in Petroleum Engineering Construction Sites

WEN Feng

Xinjiang Karamay Sanda Co., Ltd., Karamay, Xinjiang, 834000, China

Abstract: Xinjiang is an important energy strategic base in China, and its oilfield surface engineering construction shoulders the dual responsibility of ensuring national energy security and promoting regional economic development. Xinjiang has geographical characteristics such as widespread desert distribution, fragile ecosystems, and frequent occurrence of extreme weather, coupled with complex management situations such as multi-ethnic cooperation and integration of new energy facilities. Traditional safety management models are facing severe challenges. The widespread application of intelligent technology has opened up a new way to solve these problems. By building a safety management system that is suitable for special border scenarios, it can effectively deal with natural risks such as sandstorms and severe temperature differences, promote multicultural team collaboration, and facilitate green and low-carbon transformation. The article focuses on the core safety requirements of ground engineering, comprehensively analyzes the innovative applications of intelligent technology in risk warning, personnel control, ecological protection, etc., and explores a safety management upgrade model that is both in line with the forefront of industry technology development and in line with the characteristics of Xinjiang region, providing theoretical reference and practical guidance for the development of oil and gas fields in high-altitude desert areas.

Keywords: intelligent security management; ground engineering; Xinjiang oilfield; 3D visualization; risk warning

引言

随着我国能源结构转型进程不断加快,新疆油气田开发逐渐朝着沙漠腹地拓展,其地面工程呈现出规模变得更为大型化、工艺变得更加复杂化以及环境愈发敏感化等一系列新的特点。传统安全管理往往依靠人工巡检以及凭借经验来做出判断,这种方式很难实时察觉长距离管网出现的腐蚀状况,也难以精准预测沙丘移动给站场所带来的影响,并且在面对多能源耦合系统风险叠加时,很难做到快速作出响应。由于极端气候所引发的设备失效风险、多民族团队协作过程中存在的文化壁垒以及新能源设施接入之后产生的界面管控难题,这些情况让现有管理体系在适应性方面的不足之处更加突出地显现了出来。在行业数字化转型这一趋势以及“双碳”目标这两大因素共同推动之

下,构建起基于物联网以及人工智能的智能化安全管理体系,已然成为提升地面工程本质安全水平的必要之举。这个体系借助数据融合以及智能决策,能够达成从原本的被动应急管理模式转变为如今的主动防控管理模式这样的一种转变,对于保障边疆能源基地实现可持续发展而言,有着十分重要的战略层面的意义。

1 石油工程智能化安全管理概述

石油工程智能化安全管理属于前沿实践范畴,它是新一代信息技术作为支撑来对传统安全管理范式加以重构。其核心在于借助物联网感知层来实时获取设备状态、环境参数以及人员行为方面的数据,依靠云计算和边缘计算达成多源异构信息的融合处理工作,并且利用机器学习算法去构建风险识别以及决策模型,进而形成能够贯穿工

程整个生命周期的动态防控体系。在新疆特殊作业场景当中,该体系得突破常规智能化框架所存在的局限,要充分契合沙漠环境呈现出的空间离散性、生态敏感性以及多民族文化特征,从而形成一个“感知-分析-响应-优化”的闭环管理机制^[1]。凭借数字孪生技术实现地面设施物理实体和虚拟模型的精准对应关系,使得像沙尘暴预警、管线应力监测、多语言指令传达这类关键环节具备超前预判以及自主决策的能力。智能化转型一方面革新了传统那种依赖人工经验来开展风险管控的模式,另一方面还通过构建天地空一体化监测网络,破解了沙漠区域作业面较为分散、极端天气造成干扰等原本就存在的难题,给地面工程安全管理赋予了环境适应力、文化包容性以及系统自愈力这三种属性,促使石油工程安全治理从碎片化的应对方式朝着系统性的防控方向实现质的飞跃式升级。

2 智能化技术体系在新疆油田的应用实践

2.1 三维可视化监控系统构建

融合倾斜摄影以及激光雷达技术,着手构建一个三维模型,该模型所涵盖的范围包含站场、管廊以及设备,并且其精度能够达到毫米级别。将 SCADA 系统的实时数据加以集成,进而形成所谓的数字孪生体。此系统可借助热力图来动态地呈现出压力出现异常的区域所在,同时还能凭借地质雷达数据去预测沙漠地基可能出现的沉降趋向。就地面工艺装置而言,专门为其开发出了碰撞检测方面的算法,该算法能够在吊装作业开展的过程中自动对其中存在的空间冲突风险发出预警,由此在很大程度上提升了沙漠地区复杂作业在安全管控层面的水准。

2.2 智能穿戴设备与人员定位系统

研发了可适应沙漠环境的防爆智能终端,该终端将有毒气体检测功能、体征监测功能以及语音对讲功能予以集成。运用 UWB 和蓝牙相融合的定位技术,在较为开阔的地带达成亚米级别的人员追踪效果,并且设置电子围栏以此来防止人员误入那些高危区域。设备当中内置有维汉双语的操作界面,还配备了振动报警模块,以便在存在风噪的环境下发挥作用,从而实实在在地保障多民族作业人员在作业现场的安全状况。

2.3 基于机器学习的风险预警平台

构建起将气象、地质以及设备运行数据相互融合的风险知识图谱,并且着手去开发具备时空特征的预警模型。该系统会深入分析历史事故方面的数据以及实时监测所获取到的信息,以此来动态地对沙漠风暴可能给地面设施造成的破坏概率加以评估,同时还能预测出管线冻胀风险所处的等级。建立起多层级的预警响应机制,能够自动生成包含有避灾具体路线以及应急物资分布情况在内的处置方案,进而提升在极端天气状况下应急管理工作的水平。

2.4 自动化施工装备集成应用

针对沙漠焊接作业所处的特殊环境,着手去开发能够自适应该环境的机器人。此机器人集成了视觉识别系统,该系

统可自动对焊缝的位置加以校正,另外还采用了防风沙的封装设计,以此来保障设备具备较高的可靠性。与此还着力研制了智能压实设备,这款设备能够依据沙土的实际湿度情况,实时地去调整自身的振动参数,从而切实保证地面基础施工的质量。这些装备借助 5G 网络和中央控制系统相互连接起来,进而实现了远程的监控以及作业的协同,如此一来便能够在很大程度上降低在高危环境下人工操作时所面临的风险。

2.5 无人机巡检网络建设

构建起多机型协同运作的无人机巡检体系,在该体系当中,固定翼无人机主要承担长距离管廊带的巡查任务,而多旋翼无人机则会搭载红外热像仪来检测地面设备是否存在温度异常的情况。此外还专门开发了适用于沙尘环境的视觉增强算法,以此来促使图像识别的准确率得以提升。同时建立起自动充电巢网络,从而在沙漠区域达成不间断巡检的目标,进而能够及时察觉到地面设施出现腐蚀、基础发生沉降等一系列的安全隐患。

3 新疆特色场景下的安全管理升级路径

3.1 极端气候适应性技术改进

新疆沙漠地带的极端气候给地面工程设备以及作业安全带来了持续不断的威胁。有必要构建起贯穿设计、施工、运维整个周期的气候适应性技术体系。在设备选型这个阶段,除了要达到 IP68 防护等级之外,还得着重去考量材料的热膨胀系数还有抗紫外线老化方面的性能,要选用能够耐受盐碱腐蚀的那种合金材质,并且要借助加速老化试验来确认设备在昼夜温差循环情况之下的结构稳定性。对于沙尘侵入这一问题,要去开发多级过滤通风系统,把正压防尘技术与之结合起来,以此来确保电气设备内部环境的洁净程度。自清洁太阳能供电系统得集成上静电除尘模块,依靠周期性的高压电场来吸附光伏板表面的沙粒,与此同时还要对电池储能配置加以优化,以便能够应对因沙尘天气而出现的连续阴天这样的工况。在智能调度系统的开发方面,应当将新疆气象局的沙尘暴预测模型深度融合进去,建立起施工机械、人员、物资的弹性调配机制,当风速超出 15m/s 这个阈值的时候,自动触发停工指令并且启动锚固装置来保护地面设施^[2]。对于那些已经建成的工程,需要凭借数字孪生平台去模拟不同风力等级之下的结构响应状况,动态地去调整管架支撑的间距以及混凝土的配比,进而形成沙漠地区地面工程抗风设计的自适应标准库。

3.2 多民族团队协同管理机制

跨文化作业团队安全管理要突破语言障碍和文化差异两重壁垒。双语安全知识库建设要包含维吾尔语、哈萨克语等主要民族语言,借助自然语言处理技术达成安全规程的实时语音互译,给手持终端配备 AR 眼镜实现作业指导书的可视化多语言展示。虚拟现实培训系统得植入典型民族文化场景,比如模拟巴扎集市周边的管线施工环境,助力不同民族员工理解特殊区域的安全管控要求。作业许可系统增加文化敏感度分析模块,自动识别涉及民族宗教场

所的施工区域,禁止在特定时段开展动火作业或者重型机械施工。智能监督机制依靠 UWB 定位数据构建人员动线热力图,结合机器学习算法识别跨民族作业组里的沟通迟滞现象,当团队协同效率低于阈值时自动推送协作优化建议。

3.3 地面工程数字化交付体系

基于 BIM 的数字化交付得要应对沙漠地形动态变化所引发的模型失真这一难题。去开发星-空-地一体化的测绘系统,借助合成孔径雷达卫星来监测沙丘的移动走向,并且凭借无人机 LiDAR 来获取达到厘米级别的地形变化数据,进而达成 BIM 模型每月都能进行动态更新的目标。沙漠地形自适应建模工具要把流体力学仿真模块整合进去,预测在不同季节风沙堆积形态给管廊埋深产生的影响,自动形成管基加固的方案。在工程设计阶段把安全仿真引擎嵌入其中,针对站场设备布局展开爆炸冲击波模拟以及火灾烟气扩散路径分析等一系列数字化的验证工作,以此保障本质安全设计得以实现。搭建起涵盖勘察、设计、施工以及运维各个环节的全要素数据库,制定出关键参数的地面工程数据字典,清楚界定沙漠环境专用数据采集的具体规范。

3.4 绿氢耦合项目安全管理创新

氢能设施的引入给传统油气地面工程带来了全新的安全要求。要构建氢-油-气多相流风险分析模型,深入研究氢气渗透对于 LNG 储罐材料产生的氢脆效应,同时还要开发基于声发射技术的储氢容器裂纹在线监测系统。在站场防爆改造方面,选用 Ex ia IIC T4 Ga 级防爆电气设备,于氢压缩机区域设置双层通风系统,其中下层通过强制排风来确保氢气浓度始终低于爆炸下限的 25%,并且界面管控标准应当明确规定新能源设备与原有设施之间的最小安全间距,在工艺联锁系统中增添氢气浓度-紧急切断-氮气置换的三重保护逻辑。还需研发氢泄漏立体防控体系,在地面上设置多光谱气体探测网格,同时在空中部署氢敏传感器无人机编队,以此形成三维浓度场实时重建的能力。

3.5 沙漠生态保护协同策略

沙漠生态本就脆弱,这便要求在开展地面工程建设时,得提前对生态影响加以管控。施工期间所涉及的污染监测网络,应当安排部署能够精准监测的设备,比如 μ 级激光雷达监测车,借此达成扬尘 $PM_{2.5}$ 浓度在百米级别网格上的监测效果,并且要和风向预测模型相互配合,当风向出现变化时,能够自动激活抑尘剂喷洒系统。还得去开发油污生物降解监测芯片,将其植入到关键管段周边的土壤当中,以此来实时回传烃类物质的降解速率以及微生物活性方面的相关数据^[3]。生态修复机器人务必要具备多种功能,像是沙障铺设、滴灌管网敷设还有种子喷播等等,其底盘要采用仿生足式设计,以便能够适应复杂的沙丘地形,靠着多台机器协同协作,进而能够在每亩沙地上实现 15min 的高效修复作业。生态影响动态评估模型需要将 24 项关键指标都纳入其中,像植被盖度、地表糙度以及土壤结皮厚度这些参数都要涵盖进去,借助遥感生态指数来量

化施工前后生态质量的变化情况。

4 新疆实践对行业发展的启示

4.1 智能化标准体系建设方向

新疆的经验说明,有必要构建一个智能化的标准框架,这个框架要把设备选型、数据接口以及应用场景都涵盖进去。着重去制定像沙漠地区智能装备可靠性方面的标准、多民族场景下人机交互的规范还有新能源耦合项目安全评估的指南这类行业标准,从而给相似区域给予能够拿来复制的管理方式。

4.2 边疆地区人才培育新模式

构建起“技术+语言+管理”这样一种复合型人才和培养体系,同时着手去开发智能化的安全管理仿真训练平台。积极推动学校和企业展开合作,以此来建立沙漠作业方面的实训基地,进而培育出那些既对数字技术有所了解,又对边疆特点较为熟悉的专门人才队伍,从而有效破解在智能化转型进程当中所面临的人才瓶颈问题。

4.3 地面-地下全流程协同管理方式

突破了传统那种地面和地下各自为政的管理模式,着手构建起一个将井筒、管线以及站场融为一体的监测系统^[4]。另外还着力开发地质力学模型和地面设施状态之间的关联分析算法,进而达成对地下资源开采过程以及地面工程安全状况的协同管理,最终形成一个完整的油田安全生态系统,实现了对地面和地下生产活动的实时监控和预警。

5 结束语

新疆油田在智能化安全管理方面的实践清晰地说明,当技术创新和管理变革相互融合且程度较深的时候,能够有效地破解沙漠地区地面工程在安全管控方面所面临的难题,不仅大幅提升了新疆油田的安全管理水平,更为整个石油工程行业树立了标杆。在未来的发展进程中,需要不断地去优化智能算法在复杂环境之中的适应能力,同时要强化针对多能源系统安全协同展开的研究工作,以此来促使石油工程安全管理朝着预测型以及自主决策型的模式不断进化,进而为边疆能源基地的建设筑牢坚固的安全屏障。

【参考文献】

- [1]赵瑛,迟化昌,王康,等.浅析智能化及新能源融合在石油化工企业节能提质中的应用[J].电气应用,2025,44(1):70-75.
 - [2]王玉春,孙志民,马锋.智能化石油分离设备设计研究[J].中国高新科技,2025(4):36-38.
 - [3]贾宁,王俊.石油化工企业智能化规划研究[J].石化技术,2025,32(4):326-328.
 - [4]黄光德.石油化工建设工程项目施工现场管理及优化措施[J].中国石油和化工标准与质量,2022,42(7):77-79.
- 作者简介:文峰(1987.7—)毕业院校:西南石油大学,所学专业:石油工程,当前就职单位名称:克拉玛依市三达有限责任公司,就职单位职务:总经理助理,职称级别:工程师。