

化工园区建筑工程全生命周期安全风险识别与管控体系研究

鲍朱慧

绍兴市中小企业服务中心 浙江绍兴 312099

DOI: 10.32629/ems.v8i4.19680

[摘要] 化工园区建筑工程安全是园区安全生产体系的核心支撑, 关乎产业运行稳定与公共安全底线, 文章把化工园区建筑工程全生命周期当作研究对象, 深入剖析决策规划、建设实施、运营维护这三个阶段的风险诱因和表现形式, 并从技术、管理、平台三个维度提出了优化对策, 目的是解决阶段化管控制割裂的难题, 实现对建筑工程安全风险从源头防控、过程管控制到动态治理的全程把控, 进而提升园区的本质安全水平。

[关键词] 化工园区; 建筑工程; 全生命周期; 安全风险识别; 管控体系; 动态监测

引言:

随着我国化工产业向集约化、园区化方向转型升级, 化工园区已成为推动区域经济发展和产业结构优化的重要引擎, 然而频发的安全事故警示我们, 化工园区建筑工程安全管理仍存在诸多短板。传统的阶段性、碎片化风险管控模式难以适应化工园区复杂系统的安全需求, 事故致因往往源于设计缺陷、施工偏差、运维失当等跨阶段因素的叠加效应, 这就要求必须树立全生命周期管理理念, 将风险防控关口前移, 实现从源头设计到末端运营的全链条、全要素安全管控。

1 化工园区建筑工程全生命周期安全风险识别

1.1 决策规划阶段潜在风险

化工园区建筑工程在决策规划阶段的风险源主要集中在选址布局、功能定位、安全间距设置等基础性环节, 选址过程中若未充分考虑区域地质条件、气象特征、水文环境及周边敏感目标分布, 可能导致后续建设与运营中遭遇地质灾害、极端天气等不可抗力的概率显著增加, 同时园区功能分区不合理将造成危险化学品储运设施与生产装置、办公生活区交叉混杂, 安全防护距离不足的问题突出。此外, 规划阶段对未来产业发展趋势预判偏差, 会引发园区承载能力与实际需求错配, 基础设施配套滞后或超前建设均会埋下安全隐患, 而前期安全评价深度不够、专家论证流于形式等现象, 使得潜在风险难以在源头得到有效识别与化解^[1]。

1.2 建设实施阶段工程风险

建设实施阶段涵盖设计、采购、施工、监理等多个专业领域, 各环节技术标准执行偏差、质量管控不严都可能转化为实质性安全风险, 设计环节中防爆、防火、防泄漏等安全技术措施不到位, 特别是涉及特殊作业区域的通风系统、应急疏散通道、消防给水系统设计缺陷, 将在后续使用中引发连锁反应。施工过程存在交叉作业频繁、临时用电不规范、高处作业防护缺失等突出问题, 施工队伍安全意识薄弱、专业技能不足加剧了人因失误风险, 而施工现场材料堆放混乱、危险化学品临时储存不当、动火作业审批流程缺失等管理漏洞, 构成引发火灾爆炸事故的直接诱因。

1.3 运营维护阶段使用风险

化工园区建筑工程进入运营阶段后, 设施设备老化、工艺变更、人员流动等因素交织作用, 使得风险呈现出动态性、隐蔽性特征, 长期运行导致建筑结构承载能力衰减、防腐防渗层失效、电气线路绝缘性能下降, 若缺乏定期检测评估与及时维修更新, 设备设施带病运行将成为常态。工艺技术升级改造过程中, 新增设备与原有系统兼容性问题、自动化控制系统故障、安全联锁装置失灵等技术风险显现。人员方面, 操作工违章作业、维修工冒险蛮干、管理层安全投入不足等人因风险始终存在, 而外部环境变化如周边企业新建项目、市政基础设施改造、自然灾害侵袭等外源性

风险同样不容忽视^[2]。

2 化工园区建筑工程全生命周期管控体系

某国家级化工园区综合管廊项目全长 12.3 km, 建设内容包括燃气舱、电力舱、综合舱及消防、通风、监控等配套设施, 项目投资额达 8.7 亿元, 服务园区内 42 家化工企业, 2019 年开工建设, 2022 年投入使用。该工程采用全生命周期管控模式, 建立了涵盖规划决策、设计施工、运维管理各阶段的一体化安全管控体系, 运行三年来未发生安全责任事故, 为化工园区基础设施建设提供了可复制推广的实践样板。

2.1 决策阶段风险管控机制

该综合管廊项目在决策阶段建立了多维度风险评估机制, 组织地质勘察、环境影响评价、安全预评价等专项研究团队进行交叉论证, 针对园区地下管线复杂、地质条件多变的特点, 采用三维地质雷达探测技术摸清地下空间分布状况, 结合历史地震数据、气象灾害记录开展情景模拟分析, 识别出软土地基沉降、地下水渗漏、燃气泄漏扩散等 23 项关键风险源。决策层面建立了由园区管委会、安监部门、行业专家、企业代表构成的联审机制, 召开 9 次专题论证会对选线方案、舱室布局、安全间距进行优化调整, 将原计划穿越化工装置区的线路调整为绕行方案, 增设 3 处应急逃生出口, 预留了未来扩容改造的技术接口。此外, 决策阶段即明确了全生命周期管控责任主体, 将设计、施工、运维单位纳入前期策划, 确保安全理念贯穿始终, 在投资预算中专项列支安全措施费用占总投资的 7.2%, 为后续各阶段风险管控提供了资金保障。

2.2 实施阶段过程管控策略

施工实施阶段建立了“总包负总责、专业分包各负其责、监理单位严格把关”的三级管控架构, 推行施工过程数字化监管, 在 12 个重点作业区域安装视频监控、环境监测、人员定位等智能感知设备, 实时采集温湿度、可燃气体浓度、粉尘浓度等环境参数, 数据自动上传至安全管理云平台进行智能研判。针对管廊内部空间狭小、通风不良的特点, 制定了严格的受限空间作业管理制度, 作业前必须进行气体检测、强制通风、设置监护人员, 作业过程实行“一作业一审批一

监护”闭环管理, 三年施工期内共实施受限空间作业 1247 次, 未发生中毒窒息事件。质量管控方面, 关键工序实行旁站监理与第三方检测双重验证, 混凝土浇筑、防水施工、管线焊接等隐蔽工程留存影像资料, 建立质量追溯档案, 施工单位每周组织安全例会、每月开展应急演练, 培育了一支熟悉化工园区安全特点的专业施工队伍^[3]。

2.3 使用阶段动态管控模式

管廊投入运营后建立了智慧化运维管理体系, 部署了包含 1036 个传感器节点的物联网监测系统, 对舱内温湿度、燃气浓度、电缆温度、结构沉降等关键指标进行 7×24 小时在线监测, 系统设置三级预警阈值, 当监测数据超过预设值时自动触发声光报警并推送至值班人员移动终端。运维单位制定了涵盖日常巡检、定期保养、专项检测、应急处置的全流程管理制度, 巡检人员配备手持终端扫描电子标签记录巡查轨迹与发现问题, 实现巡检工作可追溯、可考核。针对入廊管线涉及多家产权单位的复杂情况, 建立了联席会议机制与应急联动机制, 定期组织管线产权单位开展联合演练, 模拟燃气泄漏、电缆着火等突发情况的协同处置流程。运营三年来累计开展综合检测 38 次、专项维护 217 次, 及时发现并消除防水层破损、支架锈蚀、监测设备故障等各类隐患 89 项, 通过持续优化管控策略, 管廊设施完好率始终保持在 98% 以上, 有力保障了园区能源供应安全。

3 化工园区建筑工程全生命周期安全管控优化对策

3.1 构建全过程动态风险监测预警系统

化工园区建筑工程安全管控的核心在于建立覆盖全生命周期的动态监测预警机制, 这需从技术层面和管理层面双向发力构建智能化监控网络。技术层面应整合物联网、大数据、人工智能等新一代信息技术, 在建筑工程关键部位部署多参数传感器阵列, 包括结构健康监测传感器用于实时采集建筑物沉降、倾斜、裂缝等结构安全数据, 环境监测传感器追踪温湿度、有毒有害气体浓度、粉尘浓度等环境参数变化, 设备运行监测装置记录关键设备的振动、温度、电流等工况信息, 视频智能识别系统监控人员不安全行为与物的不安全状态, 通过 5G 网络将海量监测数据实时传输至云端安全管理

平台进行融合分析。平台应用机器学习算法对历史数据进行深度挖掘,建立不同工程阶段、不同风险类型的特征模型与演化规律图谱,当监测数据出现异常波动或组合特征符合事故前兆模式时,系统自动生成分级预警信息并推送给相关责任人,同时联动启动应急响应程序,实现从被动应对向主动预防的转变。管理层需要建立预警信息快速响应机制,明确各级预警状态下的处置权限、响应时限、处置流程,定期组织预警响应演练检验机制有效性,形成监测、预警、响应、处置的闭环管理体系。

3.2 完善多方协同的全链条责任落实机制

化工园区建筑工程涉及业主单位、设计单位、施工单位、监理单位、运维单位等多元主体,各方在不同阶段承担差异化安全职责,传统的条块分割管理模式导致责任链条断裂、信息传递失真、风险管控脱节等问题突出。针对这一现状,应建立全生命周期一体化责任机制,在项目启动阶段即组建包含各参建方代表的安全管理委员会,制定覆盖全生命周期的总体安全管控方案,明确各方在风险识别、隐患治理、应急处置等环节的具体职责与协作要求,通过签订安全生产责任书将责任层层分解、逐级传导。建立常态化沟通协调机制,定期召开安全专题会议通报各阶段风险管控情况、协调解决跨界面安全问题、共享安全管理经验,利用BIM技术搭建协同工作平台,实现设计模型、施工方案、运维数据的无缝对接与信息共享,设计变更、工艺调整等关键决策必须经过多方安全评估论证。强化责任追溯机制,建立涵盖人员、设备、材料、工艺全要素的数字化档案,每个构件、每道工序都有清晰的责任主体标识,一旦发生质量安全问题可快速追溯至责任源头,倒逼各方切实履行安全主体责任^[4]。

3.3 优化基于数字孪生的智慧管控平台建设

数字孪生技术为化工园区建筑工程全生命周期管控提供了全新范式,通过构建物理实体与数字模型的动态映射关系,实现工程状态的可视化呈现、风险态势的预测推演以及管控措施的仿真验证。平台建设应以高精度三维建模为基础,整合地理信息系统、建筑信息模型、工艺流程模拟等多源数据,

构建包含建筑结构、工艺管线、设备设施、周边环境的数字孪生体,模型精度应达到设备级甚至零部件级,确保数字世界对物理世界的精准映射。在此基础上,接入实时监测数据流,通过数据驱动的方式持续更新数字孪生体状态,使虚拟模型能够同步反映真实工程的动态变化过程,当传感器捕捉到异常信号时,平台可在数字空间模拟故障扩散路径、影响范围、次生灾害风险,为应急决策提供科学依据。平台还应具备智能辅助决策功能,基于历史数据与实时状态进行设备剩余寿命预测、维护计划优化、资源配置建议,推动安全管理从经验驱动向数据驱动、智能驱动转型升级,最终实现化工园区建筑工程安全管控的精准化、智能化、高效化。

4 结语

化工园区建筑工程全生命周期的安全风险管控作为一项系统性工程,须具备全局观念和长远眼光,把安全理念贯穿于规划决策、工程建设、运营维护的全过程当中。在未来实践中,可对数字孪生与风险推演技术的融合适配进行更深层次的深化,让跨主体协同管控的标准体系得以完善,推动管控模式朝着全域智能、全链闭环的方向实现升级,从而为化工园区建筑工程的安全管控提供更为坚实的技术支撑与制度支撑。

[参考文献]

- [1] 聂荣亮. 大型建筑工程项目全生命周期成本管控体系优化研究[C]//智慧建筑与智能经济建设学术研讨会论文集(一). 2025.
 - [2] 郭经瑞. 建筑工程项目全生命周期碳排放管控与绿色设计策略研究[J]. 安家, 2025(3): 0262-0264.
 - [3] 许嘉鹏, 陶攀, 刘通等. “管控集成化, 监管体系化”全生命周期合规风险管控实践[J]. 企业家, 2024(S1): 387-390.
 - [4] 马舒琳. 建筑工程项目全过程成本动态管控体系构建[J]. 中国住宅设施, 2025(4): 116-118.
- 作者简介: 鲍朱慧, 女, 1981.9, 汉族, 浙江绍兴, 本科, 高级工程师, 研究方向: 建筑工程管理。