

工业施工现场高处作业安全风险识别与防控措施

王艺放

中核第四研究设计工程有限公司

DOI: 10.32629/ems.v8i7.21120

[摘 要] 工业厂区设备安装、钢结构搭建、管道检修等高处作业工况复杂、交叉作业密集，高处坠落、物体打击长期占据工业施工伤亡事故首位。相较于民用建筑，核工业、化工类工业施工现场设备管线密布、临时作业平台多、高危工序持续时间长，传统粗放式风险排查存在识别盲区、管控措施落地性不足等问题。本文结合近三年中核工程施工现场安全统计数据，通过表格量化梳理人、机、环、管四维度风险发生占比，区分显性、隐性两类风险隐患，构建事前分级预判、过程动态管控、事后闭环整改的一体化防控体系，配套适配工业项目的专项管理流程与技术防护手段。研究结论可为工业工程、核化工项目高处作业风险分级管控、隐患治理提供实操参考，降低高处作业事故发生率，提升施工现场本质安全水平。

[关键词] 工业施工现场；高处作业；风险识别；隐患分级；安全防护；核工程施工

一、前言

依据《高处作业分级》GB/T 3608-2008，坠落基准面 2m 及以上作业均划定为高处作业，工业项目钢结构、储罐、反应装置、厂房外立面施工多属于二级及以上高危高处作业。住建部 2024 年建筑施工安全统计数据显示，高处坠落事故占全部施工死亡事故 45.7%；结合笔者所在单位 2023—2025 年 12 项核工业配套工程现场安全台账统计，工业项目高处相关事故、隐患占施工现场总隐患的 52.3%，其中四级超高作业隐患致死风险是一级高处作业的 6.8 倍。

相较于普通房建工程，核工业及配套工业施工现场高处作业具备显著特殊性：一是施工精度要求高，大量设备吊装、管道对接、钢结构调校作业必须在高空完成，作业停留时间长；二是施工现场多存在易燃易爆、微量腐蚀介质，一旦发生坠落、设备晃动磕碰，极易引发次生安全事故；三是工业改造、检修类项目多为老旧厂区不停产或半停产施工，原有设备布局密集、改造空间狭小，临时防护设施布设难度远大于新建民用建筑。当前国内多数工业施工单位风险管控存在

短板：风险识别仅依靠安全员现场目视检查，隐蔽性设施缺陷、人员心理状态、极端环境等隐性风险难以提前预判；防控措施照搬民用建筑标准，未适配核化工、重型装备安装等特殊工业场景；安全技术交底流于纸面，未形成作业全过程动态监督机制。国内学者针对建筑高处作业风险开展大量研究，但针对工业、核工程施工现场的专项风险识别与成套防控方案研究偏少，现有成果通用性强、行业针对性弱。

本文立足中核工业施工现场 3 年安全管理实操台账数据，结合工业改造、新建厂区、核电配套设备安装多类工况，通过统计量化各类风险发生频次，细化分类识别方法，形成适配工业工程的标准化防控体系，填补工业特殊工况高处作业精细化管理的实践空白，对同类工业项目高处作业安全管控具备借鉴价值。

二、工业施工现场高处作业全维度安全风险识别

结合 2023—2025 年中核第四研究设计工程有限公司 12 项工业项目现场隐患排查数据，统计得出四大类风险隐患占比数据，见表 1。

表 1 工业施工现场高处作业各类风险隐患发生占比统计表（2023-2025）

| 风险分类     | 隐患总条数 | 占全部高处隐患比例 | 单次隐患致死风险等级 |
|----------|-------|-----------|------------|
| 人员人为风险   | 1268  | 61.2%     | 中高风险       |
| 设备设施硬件风险 | 432   | 20.8%     | 高风险        |
| 作业环境耦合风险 | 217   | 10.5%     | 中等风险       |
| 安全管理体系风险 | 155   | 7.5%      | 根源性长期风险    |

数据来源：中核第四研究设计工程有限公司在建工业项目安全隐患台账（2023.01—2025.12）

由表 1 可见，人员人为因素是工业高处作业最主要风险来源，占比超六成，设备设施缺陷次之；管理风险占比最低，但属于所有隐患产生的底层根源。下文结合统计数据分层拆

解各类风险特征。

2.1 人员人为风险

1268 条人员类隐患中，细分违规行为统计见表 2。

表 2 高处作业人员典型违规行为隐患数量统计

| 违规类型            | 隐患数量 | 占人员类隐患比例 | 事故诱发概率 |
|-----------------|------|----------|--------|
| 未规范佩戴 / 低挂高用安全带 | 521  | 41.1%    | 极高     |
| 侥幸简化操作、翻越临边防护   | 364  | 28.7%    | 高      |
| 疲劳、酒后、带病高空作业    | 237  | 18.7%    | 中高     |
| 特种作业无证上岗、技能不足   | 146  | 11.5%    | 中等     |

人为失误是高处坠落事故首要诱因，具备随机性、不可预判特征：一线务工人员学历普遍偏低，78%现场工人存在“2-3 米低空无危险”认知偏差；高空赶工期时，超四成工人主动省略安全带佩戴流程。高温、夜间加班时段疲劳作业隐患发生量较常态提升 116%。除此之外，工业项目高空作业多为精细化微调作业，工人长期保持单一僵硬作业姿势，肢体疲劳、注意力涣散问题更为突出，极易出现手脚打滑、身体失衡等危险状态，这也是工业高空作业区别于普通建筑粗放式施工的重要风险特征。同时，部分外包施工队伍人员流动性大，进场未完成工业专项安全交底即上岗作业，对厂区专属高危点位、禁作业区域、特殊介质风险一无所知，进一步放大人为事故概率。

2.2 设备设施硬件风险

432 条设备类隐患中，脚手架、安全防护用品失效占比 73%。工业施工现场临时设施多、特种高空设备集中，硬件缺陷隐蔽性强：安全带超期、卡扣破损、安全网锈蚀破损等问题无法肉眼快速识别，每年因防护用品失效引发的物体打击、坠落事故占工业高空事故 29.6%。核电管道临时检修支架未验算承载力隐患共 69 条，一旦坍塌单次可造成 2—3 人重伤。工业施工现场设备隐患具备长期性、累积性特点，厂区空气中微量腐蚀性介质会持续侵蚀钢管、扣件、防护网材，日常常规巡检难以发现细微锈蚀、裂纹隐患，长期累积极易引发突发性设施失效事故，相较于普通建筑工地，设备老化失效周期缩短 30%以上，隐患隐蔽性更强、危害更大。

2.3 现场作业环境耦合风险

217 条环境隐患中，六级大风、雨雪湿滑天气强行施工

占 43.3%，多层立体交叉作业无硬质隔离占 37.8%。数据显示，室外高空作业遇雨雪天气时，坠落风险提升 2.3 倍；多工序同步交叉施工场景，物体打击事故发生率为单一作业场景的 3.1 倍。核化工厂区腐蚀性介质长期附着钢管，脚手架锈蚀速度为普通房建工地 1.7 倍，加速设施失效。工业施工现场多为密闭、半密闭厂房结构，室内高空作业通风、采光条件受限，粉尘、悬浮颗粒物堆积不仅影响视线，还会降低作业面摩擦力，提升打滑坠落风险；同时厂区设备排布密集，高空坠落过程中极易撞击设备、管线，造成二次设备损毁、介质泄漏等连锁安全事故，事故危害性、损失规模远高于普通建筑施工。

2.4 安全管理体系风险

作业票审批流于形式、现场监护缺位两类隐患合计占管理类隐患 68.4%。四级超高特种高空作业未组织专家论证专项方案隐患共 42 条，属于重大安全隐患；单人监护多名分散高空作业点位场景，违规行为发现延迟率达 85%以上。当前多数工业项目安全管理制度照搬通用建筑规范，未结合核工业施工特殊要求细化条款，针对特种高空检修、老旧厂区改造、不停产施工等特殊工况无专属管理细则，导致现场管控无据可依。同时安全管理人员多侧重事后隐患整改，缺乏事前风险预判、动态过程管控思维，安全管理偏向被动补救，无法从根源遏制高处作业隐患滋生。

三、工业施工现场高处作业分级防控成套措施

按照“事前预防、过程管控、事后闭环”全流程构建管控体系，结合项目实际划分三级高处作业差异化管控标准，见表 3。

表 3 工业项目高处作业分级差异化管控标准

| 作业风险等级    | 坠落基准高度             | 审批要求               | 现场配置标准                 |
|-----------|--------------------|--------------------|------------------------|
| 一级高处作业    | 2m≤h<5m            | 班组班组长审批            | 1 名兼职监护，班前 5 分钟交底      |
| 二级、三级高处作业 | 5m≤h<15m；15m≤h<30m | 项目专职安全员 + 施工负责人双审批 | 专职安全员现场监护，每日设备验收       |
| 四级超高特种作业  | h≥30m / 核电设备高空安装   | 技术总工审批，专家论证方案      | 双人现场监护，配备高空救援器材，全程视频监控 |

### 3.1 事前源头预防

(1) 建立工业高处作业风险清单库: 针对储罐、核电钢结构、室外管廊、室内设备检修 4 类场景制定专属识别表, 作业前三方联合踏勘判定等级, 严格执行表 3 审批流程。

(2) 作业票刚性管控: 恶劣天气自动冻结审批, 近三年落实票证全流程管理后, 环境类高处隐患同比下降 57.2%。

(3) 分层实操培训: 新工人高空作业 7 天师傅陪同制度落地后, 新人违规行为下降 63.5%。针对工业特殊工况, 新增老旧厂区改造、不停产施工高空作业专项交底, 明确禁作业区域、介质防护要求、应急撤离路线, 从源头规避特殊场景风险。

### 3.2 事中动态管控: 人、机、环境实时监督

(1) 人员积分奖惩: 规范佩戴劳保、主动制止违规可累计安全积分, 推行三年以来, 安全带规范佩戴率由 62% 提升至 97.8%。

(2) 设备每日巡检台账: 脚手架、升降平台开工前验收, 安全带每月抽样送检, 到期强制报废, 设备类隐患年均下降 41.3%。针对工业设备腐蚀问题, 增设钢管扣件锈蚀专项检测项目, 采用测厚仪、探伤设备开展常态化检测, 杜绝隐性设备隐患。

(3) 数字化监控辅助: 超高钢结构点位布设监控, 违规行为抓拍实时推送安全员, 隐蔽区域违规发现效率提升 79%。同时依托项目安全管理系统, 实时上传作业票、巡检记录、隐患照片, 实现高处作业全过程可追溯管控。

### 3.3 事后闭环治理: 隐患整改与事故复盘机制

实行隐患分级销项, 一般隐患当日整改, 重大隐患停工复盘。每月组织事故案例学习, 每季度高空坠落应急演练。2023—2025 年落实闭环管理体系后, 项目高处作业事故起数同比下降 68.1%。针对工业项目特殊性, 每次演练后新增工况适配性复盘, 重点排查次生事故防控漏洞, 优化介质泄漏、设备碰撞等特殊场景应急处置流程, 全面提升现场应急处置能力。

## 四、结论

工业施工现场高处作业风险由人员、设备、环境、管理四类要素耦合形成, 人员侥幸操作占隐患总量 61.2%, 是事故主导诱因。区别于普通民用建筑, 核化工项目设备密集、

介质腐蚀加速设施老化、工况复杂多变, 通用防控方案适配性不足。本文依托 12 项工业项目三年真实隐患统计数据, 通过量化表格直观展示各类风险占比, 配套分级管控标准表格, 形成全流程防控体系, 贴合中核工业工程管理场景, 多重管控手段叠加可显著降低高空事故。后续可结合智能穿戴报警安全带、AI 视频违规识别等智能化设备进一步优化动态管控手段, 持续提升工业施工现场高处作业本质安全水平。

### [参考文献]

[1] 谢坚勋, 王要武. 建筑施工高处作业安全行为影响因素研究 [J]. 中国安全科学学报, 2023, 33 (06): 156-163.

DOI:10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2023.06.018

[2] Zhang L, Wang Y, Li J. A Spatiotemporal Coupling Model for Safety Risk Assessment of High-Altitude Operations in Construction [J]. Automation in Construction, 2023, 147: 104789. DOI:10.1016/j.autcon.2023.104789

[3] 刘青锋, 胡长明, 赵江平. 建筑施工交叉作业事故致因因素聚类及关联分析 [J]. 中国安全科学学报, 2025, 35 (03): 142-150. DOI:10.16265/j.cnki.issn1003-3033.2025.03.0717

[4] Briones-Bitar J, Pacheco-Bautista L. A Systematic Review of Occupational Health and Safety to Prevent Fall Accidents in Civil Works [J]. International Journal of Safety and Security Engineering, 2026, 15 (4): 819-833. DOI:10.18280/ijssse.150418

[5] 武田艳, 王乾, 夏清涛. 基于 EV 的建筑施工安全管理绩效评价研究 [J]. 应用技术学报, 2023, 23 (01): 73-80. DOI:10.3969/j.issn.2096-3424.2023.01.012

[6] Jansen T, Benken M V. Risk perception, barriers and working safely at height in construction: a psychological network approach [J]. BMC Public Health, 2025, 26 (1): 29. DOI:10.1186/s12889-025-25548-1

作者简介: 王艺放, 男, 汉族, 1990 年 12 月 1 日生于河北省衡水市安平县, 本科学历, 毕业于中南大学, 现任职于中核第四研究设计工程有限公司, 担任主管、工程师, 长期从事安全管理、工业施工安全相关工作。