

建筑工程塔吊安全风险分级管控体系构建与实践

陈良豪 李津 秦晓睿 罗佳瑞 石亚光

中冶南方工程技术有限公司

摘要：塔式起重机（以下简称“塔吊”）是建筑施工现场的核心起重设备，其安全风险管控水平直接关系到施工人员的安全和工程进度。本文针对当前住宅建筑工程中塔吊安全管理存在的风险识别不系统、管控措施不分级、责任落实不到位等突出问题，结合工程实践，构建了“识别—分级—管控—预警—改进”五位一体的塔吊安全风险分级管控体系。通过风险矩阵法对塔吊全生命周期风险进行科学分级，制定差异化的管控措施，并在某9栋7~11层住宅群项目中应用验证。实践表明，该体系能够有效提升塔吊安全管理精细化水平，降低事故发生率，为同类住宅建筑施工企业塔吊安全管理提供可复制的经验参考。

关键词：塔式起重机；风险分级管控；双重预防机制；住宅建筑；安全管理

DOI：10.65976/3078-8145.2026.03.005

引言

塔吊作为建筑施工不可或缺的垂直运输设备，具有起升高度大、覆盖范围广、作业效率高等特点，在住宅建筑工程中承担着钢筋、模板、混凝土等大宗材料的吊运任务。然而，塔吊结构复杂、工况多变，一旦发生事故往往造成群死群伤的严重后果^[1]。据统计，2020年至2025年全国房屋市政工程生产安全事故中，起重机械伤害事故占比约为8%~12%，其中塔吊事故占起重机械事故的60%以上，暴露出风险识别不全面、管控措施粗放、隐患排查流于形式等突出问题^[2]。

住宅工程塔吊管理面临四大挑战：群塔密集作业防碰撞难度大；地下室施工场地狭窄；装配式及铝模工艺吊运频次高、精度要求严；施工周期长，设备历经恶劣气候易疲劳累积^[3]。新《中华人民共和国安全生产法》明确要求生产经营单位建立安全风险分级管控和隐患排查治理双重预防机制^[4]。2022年住房和城乡建设部印发《房屋市政工程生产安全重大事故隐患判定标准（2022版）》^[5]，将起重机械安全装置等情形列为重大事故隐患，进一步强化了安全管理的刚性约束^[6]。在此背景下构建系统化的塔吊安全风险分级管控体系，实现从“被动应对”向“主动预防”的转变，已成为住宅施工安全管理的迫切需求。

本文结合某住宅小区工程实践，系统阐述塔吊安全风险分级管控体系的构建方法、实施路径和应用效果，以为同类住宅建筑工程提供借鉴。

1 塔吊安全风险识别与分级方法

1.1 风险识别

塔式起重机全生命周期风险贯穿于安装、顶升、

使用及拆卸四个阶段^[7]。

安装阶段风险主要源于区域地基处理不当引发的不均匀沉降，基础混凝土强度不足、预埋件偏差及排水缺失导致的塔身倾斜或倾覆，群塔专项方案缺失或论证不足诱发的经验式施工，汽车吊选型及支腿设置不当引发的设备失稳，以及基坑周边狭窄场地与临边防护缺位叠加的高处坠落和物体打击风险。

顶升阶段风险集中于液压系统不稳或横梁滑脱引发的塔身失稳，螺栓预紧力不足或销轴防脱失效导致的连接节点承载力退化，附着点偏差及杆件调节不当产生的附加应力，以及顶升平台防护缺位与人员未系挂安全带构成的坠落隐患。

使用阶段风险涵盖钢筋及预制构件频繁吊运中的超载作业，力矩限制器、起重重量限制器及高度限位器被人为短接或调试不当导致的安全连锁失效，长期高频使用诱发的焊缝开裂及标准节塑性变形，电缆磨损、漏电保护失效等电气故障，塔吊覆盖重叠且指挥不畅的碰撞风险，以及雨季积水、大风、高温等气象因素。

拆卸阶段风险体现于起重臂分段绑扎不牢或标准节堆放超高引发的坠落倒塌，汽车吊支腿下陷或拆卸顺序错误导致的重心偏移倾覆，后期交叉作业密集造成的警戒隔离困难，以及塔吊部件临时堆放于顶板薄弱区域超出设计荷载的结构安全风险。

1.2 风险分级方法

采用风险矩阵法（Risk Matrix），综合考虑事故发生的可能性（L）和后果严重性（C），计算风险值 $R=L \times C$ 。可能性等级和后果严重性等级划分如表1、表2所示。

表 1 可能性等级 (L) 分级表

分值	等级	判定标准
1	极不可能	行业未发生过类似事故
2	很不可能	本企业未发生过, 行业偶有发生
3	可能	项目存在类似条件, 行业时有发生
4	很可能	经常发生, 项目已出现过征兆
5	几乎确定	持续发生, 若无措施必然发生

表 2 后果严重性等级 (C) 分级表

分值	等级	判定标准
1	轻微	无人员伤亡, 经济损失 < 1 万元
2	一般	轻伤 1~2 人, 经济损失 1~5 万元
3	较大	重伤 1~2 人或轻伤 3 人以上, 经济损失 5~20 万元
4	重大	死亡 1~2 人或重伤 3 人以上, 经济损失 20~100 万元
5	特别重大	死亡 3 人以上, 经济损失 > 100 万元

以“群塔作业碰撞”为例: 住宅项目 4 台塔吊覆盖范围高度重叠, 可能性 L 取 4 (很可能), 后果严重性 C 取 4 (重大), 风险值 R=16, 判定为重大风险 (红色)。

2 塔吊安全风险分级管控体系构建

2.1 体系架构设计

塔吊安全风险分级管控体系采用“五位一体”架构, 由风险识别、科学分级、分级管控、监测预警及持续改进五个核心模块构成。首先需建立覆盖塔吊全生命周期的风险清单数据库, 并结合住宅工程特点动态更新; 其次采用风险矩阵法明确分级标准、判定规则及动态调整机制, 按照“红橙黄蓝”四级匹配差异化管控资源、责任主体及检查频次, 通过监测预警模块实现关键参数采集与异常预警; 最后通过持续改进模块, 结合案例与检查发现问题不断完善, 形成闭环优化机制。

2.2 分级管控措施

项目在实施过程中根据风险等级情况, 建立了分级管控措施及要点, 详见表 3、表 4、表 5。

3 工程实践应用

3.1 项目概况

某住宅小区位于北方某市临海区域, 项目总建筑面积约 5.96 万 m², 包含 9 栋住宅楼 (其中 3 栋 11 层、2 栋 9 层、4 栋 7 层), 均设 1 层地下室, 地下室总面

积约 2.15 万 m², 基坑开挖深度 4.95m。施工现场布置 1 台中联 TCT7015-10E, 1 台中联 W6015-8A, 2 台徐工 XGT6015A-8S 塔吊, 每个塔吊分别覆盖 3~4 栋主楼及相应地下室区域, 塔吊计划使用周期是 2025 年 5 月—2026 年 1 月, 总平面图如图 1 所示。

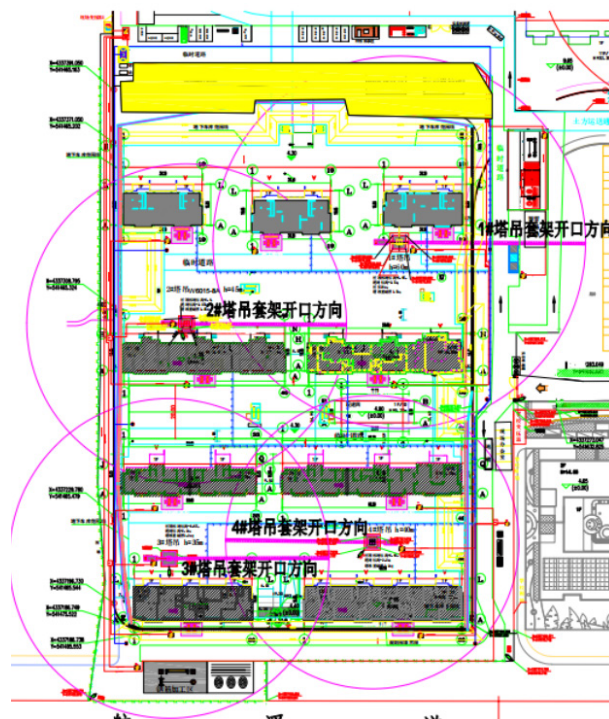


图 1 项目总平面布置图

表 3 风险等级分级及管控表

风险等级	风险值范围	颜色标识	管控要求
重大风险	$R \geq 15$	红色	立即停止作业, 制定专项方案, 企业级重点管控
较大风险	$8 \leq R < 15$	橙色	限期整改, 项目部重点管控, 监理旁站监督
一般风险	$4 \leq R < 8$	黄色	加强监测, 班组日常管控, 定期复查评估
低风险	$R < 4$	蓝色	常规管理, 作业人员自主管控, 保持关注

3.2 体系实施过程

3.2.1 风险清单建立

本项目塔吊运行具有显著的工程特异性:4台塔吊覆盖范围高度重叠,群塔防碰撞要求高;地下室为全人防地库,施工周期长导致基础与底板连接滞后,影响基础稳定性;9栋主楼流水施工,模板、钢筋、混凝土及砌体材料吊运频繁,日均约200余吊次;加之项目所在地夏季高温炎热、雨季阵雨频繁、秋冬季大风频发,气象条件对设备性能及人员状态影响显著。

项目开工前,项目部组织各相关技术人员,结合本项目住宅工程特点,识别出塔吊主要相关风险因素24项,其中重大风险4项、较大风险6项、一般风险10项、低风险4项(见表6)。

3.2.2 分级管控落地

选取四级风险中各一条典型风险,阐述分级管控落地措施。

群塔碰撞事故是本项目的重大风险类型,属企业级重点管控。项目4台塔吊覆盖范围高度重叠,

表4 塔吊分级管控措施表

风险等级	管控主体	管控要点	频次要求	应急响应
重大风险(红色)	企业主要负责人 企业安全总监 项目总监理工程师	专项方案专家论证 企业安全部条件验收 企业安全总监监督 专项应急预案	作业前验收 关键工序全程跟踪 定期演练	立即停工 启动应急预案 企业级响应
较大风险(橙色)	项目经理 项目技术负责人 项目安全总监	详细安全技术交底 全过程旁站监督 每日巡查记录 关键部位数据监测	按方案实施 每日巡查 数据日分析	限期整改 项目重点督办 监理跟踪
一般风险(黄色)	项目机械管理员 专职安全员 塔吊班组长	每日班前操作交底 定期维护保养 异常立即报告	每周检查 每日班前会 定期维保	班组整改 安全员复查 记录存档
低风险(蓝色)	塔吊司机 信号工 司索工	作业前进行设备自检 遵守“十不吊” 填写运行记录 微小异常及时报告	每班自检 持续执行	自主整改 及时报告

表5 项目塔吊风险分级类型表

风险等级	使用阶段	风险类型	风险等级	使用阶段	风险类型
重大风险	安装/拆卸	基础沉降倾覆	一般风险	顶升	液压油黏下降
重大风险	使用	群塔碰撞事故	一般风险	使用	限位器冲顶
重大风险	使用	大风吊物失控	一般风险	使用	吊钩脱钩坠落
重大风险	使用	超载整机倾覆	一般风险	使用	信号工配备少
较大风险	安装	基础强度不足	一般风险	使用	低温启动困难
较大风险	顶升	附着连接失效	一般风险	使用	维保标准不一
较大风险	使用	电气漏电失效	一般风险	使用	大风前未加固
较大风险	使用	指挥信号混乱	一般风险	拆卸	构件绑扎不牢
较大风险	使用	钢丝绳断超标	低风险	使用	玻璃盐雾模糊
较大风险	拆卸	底板承载不足	低风险	使用	手柄标识磨损
一般风险	安装	基础积水浸泡	低风险	使用	电缆挂钩脱落
一般风险	安装	安装设备下陷	低风险	使用	台账记录混乱

表6 项目塔吊风险分级汇总表

风险等级	数量	占比	主要分布阶段	风险特征
重大风险(红色)	4	16.7%	安装/使用	临海软土/群塔碰撞/冬季大风/大吨位超载
较大风险(橙色)	6	25.0%	安装/顶升/使用/拆卸	沿海腐蚀/气候影响/群塔协调
一般风险(黄色)	10	41.7%	使用阶段为主	日常管控重点
低风险(蓝色)	4	16.7%	使用阶段	班组自主管控
合计	24	100%	—	—

其中TCT7015-10E臂长70m,回转半径大,与相邻W6015-8A及2台徐工XGT6015A-8S交叉作业频繁,存在起重臂碰撞、吊物摆动撞击等风险。塔吊安装前已完成群塔防碰撞专项方案编制并组织专家论证,方案中划定回转禁区与作业时段,配备塔吊交叉预警及风速联动装置,建立日作业计划与专职协调机制。企业安全总监按月核查数据并实施问责,每季度开展碰撞应急演练。

指挥信号混乱是本项目较大风险类型,属项目级重点管控,高峰期同时运行3台,仅配备4名信号工,存在1人指挥多台塔吊、对讲机频道混乱、手势不统一等问题。加之当地大风天气多,吊物摆动加剧,信号传递延误或错误易导致误操作。项目督促租赁单位按照“一司两指”进行配置,人员固定严禁跨塔指挥,统一对讲频道与手势标准,实现信号工与司机一对一绑定;班前进行指挥要点交底,大风天气增设口头确认环节。

吊钩脱钩坠落是本项目一般风险类型,属班组级重点管控。本项目吊运频次高,日均达120~200余吊次,吊钩防脱装置因高频使用易磨损失效,加上海边大风天气多,吊物摆动加剧脱钩风险。项目已建立吊钩防脱装置周期性检查与维保机制,机械管理员每周专项检查并记录,缺陷及时更换;班前交底要求司索工绑扎后确认装置闭合。按说明书每半月润滑保养、每季度探伤检测。发现异常立即停机报告,严禁带病运行。

玻璃盐雾模糊是本项目低风险类型,属司机个人自主管控范围。临海高湿度、盐雾浓度高,塔吊司机室玻璃易腐蚀模糊,影响司机视线,长期累积可能导致操作误判。项目已建立塔吊司机室视野管理机制,每班前及2小时进行玻璃清晰度自检并留存影像,下班前淡水擦拭清除盐雾残留,遇到异常立即报修,严禁带病作业。

3.3 实施效果

分级管控落地实践过程中体现了“风险越高、管控层级越高、资源投入越多”的核心原则。重大风险由企业直控、技术防控与应急演练并重;较大风险由项目督办、人员增配与旁站监督结合;一般风险由班组落实、日常检查与班前提醒常态化;低风险由个人自律、自主整改与即时报告闭环。

该体系在塔吊运行周期(2025年4月至2026年1月)内运行,取得显著成效,实施后隐患排查效能显著提升,月均隐患发现量较使用前期有一定提升,但整改率为100%。一般违章行为有较大降幅,无严重违章。设备在运行周期内仅在维保期间内进行简单保养维修,没有因故障而导致的停工维修。项目全周期实现塔吊安全事故、群塔碰撞及基础沉降超标停机“三

零”目标,并通过了市级安全文明工地验收并获评安全生产标准化示范工地。

4 经验总结与建议

塔吊安全风险分级管控组织需要施工企业高层统筹与资金保障,根据每个项目实际情况进行系统化风险辨识与动态分级评估,重大风险应由企业直控并落实责任人、措施、资金、时限及预案,对于部分关键运行参数需要进行数字化监测,同时须加强与现场结合,避免技术替代管理。根据前期不同项目总结进行周期性运行情况分析,并总结形成企业标准推广应用。

后续建议将塔吊风险分级管控融入所有施工企业安全生产标准化及双重预防机制,构建一体化管理模式;建议塔吊厂商出厂预留标准化监测接口,有利于使用企业进行塔吊运行情况检测管理,并降低后期加装成本并提升数据兼容性。风险识别与应急处置纳入相关从业人员继续教育与考核体系,并接受监管部门的监督检查体系。

5 结语

塔吊安全管理是一项系统工程,风险分级管控为实现精细化管理提供了科学路径。本文针对住宅建筑工程特点,构建的“五位一体”塔吊安全风险分级管控体系,通过全面识别、科学分级、精准管控、智能预警、持续改进的闭环管理,有效提升了塔吊安全管控水平。在某9栋住宅群项目中的实践应用表明,该体系具有可操作、可复制、可推广的特点,对于预防和减少塔吊事故、保障住宅建筑施工安全具有积极意义。随着建筑工业化、智能化的深入推进,塔吊安全管理将向更加精准化、智能化方向发展。企业应主动采取先进运用技术及管理措施,用于塔吊的风险预测和智能调度,不断完善塔吊的风险管控体系,切实守护施工人员的生命安全,为建筑业高质量发展提供坚实保障。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国建设部令第166号 建筑起重机械安全监督管理规定[S].
- [2] JGJ/T 429-2018 建筑施工易发事故防治安全标准[S].
- [3] 中华人民共和国住房和城乡建设部令第37号 危险性较大的分部分项工程安全管理规定[S].
- [4] 中华人民共和国安全生产法(2021年修订)[Z].2021.
- [5] 建质规〔2022〕2号 房屋市政工程生产安全重大事故隐患判定标准(2022版)[S].
- [6] 国务院安委会办公室.关于实施遏制重特大事故工作指南构建双重预防机制的意见[Z].2016.
- [7] JGJ 196-2010 建筑施工塔式起重机安装、使用、拆卸安全技术规程[S].