

路面工程露天交叉施工安全风险分级管控实施路径探析

刘志才

新疆北新路桥集团股份有限公司 新疆 乌鲁木齐 830000

摘 要：路面工程露天交叉施工作业面集中、工序转换频繁、人机交互密集，安全风险具有显著的时变性、耦合性与高度不确定性，是公路建设安全生产事故的高发环节。本文立足于双重预防机制的理论框架，针对露天交叉施工的特殊作业环境，系统分析了安全风险的来源与演化规律，揭示了工序交叉、空间重叠与时段叠加三类典型风险耦合模式。在此基础上，提出了以风险点精准辨识为起点、以风险分级评价为核心、以管控措施分层落地为关键、以动态更新与持续改进为保障的“四位一体”实施路径，构建了适用于露天交叉施工场景的风险分级管控体系框架。研究认为，实现风险的有效管控不在于评价方法的复杂化，而在于管控责任的分层落实与作业行为的标准化约束，需将分级管控嵌入施工组织设计的全流程。本文旨在为路面工程露天交叉施工的安全风险管理提供系统化的实施指引。

关键词：路面工程；露天交叉施工；安全风险；分级管控；双重预防机制

引言

随着公路建设规模持续扩大与施工工期日趋紧缩，路面工程中的露天交叉施工已成为常态化的作业组织模式。基层摊铺、面层碾压、附属设施安装、绿化施工及交通标线作业等多道工序在同一开放空间内并行推进，施工机械往来穿梭，作业人员密集分布，使得安全风险不仅来源于单一作业环节，更多产生于工序之间、设备之间、人机之间的动态交叉干扰。据交通运输部施工安全统计数据显示，路面施工阶段的安全事故约占公路建设总事故起数的四分之一，其中超过六成与交叉作业环境下的防护缺失、指挥失当或空间冲突直接相关。近年来，国家层面大力推行安全生产双重预防机制，要求企业建立风险分级管控与隐患排查治理相结合的预防体系。然而，在路面工程露天交叉施工的具体场景中，风险分级管控的落地效果并不理想。究其原因，一方面在于露天交叉施工风险具有明显的临时性和随机性，静态的风险辨识结果难以覆盖动态变化的风险状态；另一方面，现有的分级标准多借鉴房建或矿山领域，未能充分体现路面施工的空间开放性与工序流动性特征。部分项目虽有风险评价台账，却未能将其有效转化为作业层面的管控行为，分级管控沦为形式化的填表存档。

1 露天交叉施工安全风险的特征与来源

1.1 作业环境的特殊性

路面工程露天交叉施工区别于一般的封闭厂区作业或地下施工，其作业环境具有四个鲜明特征。其一，作

业面完全暴露于自然环境中，受气象条件（降雨、高温、大风、雾霾）直接影响，恶劣天气不仅降低作业效率，更削弱了机械操作的可视性与路面附着力，增加倾覆与碰撞风险。其二，施工区域多为半开放或临时封闭状态，尽管设有围挡与警示标识，但仍存在社会车辆或人员误入的风险，尤其是在互通立交、平面交叉口等节点段落。其三，作业面呈线性延伸，施工战线长、管理跨度大，安全监管力量难以全程全覆盖。其四，多种大型机械（摊铺机、压路机、运输车辆、装载机）在同一平面内反复运行，机械盲区大、制动距离长，对周边作业人员构成持续威胁。

1.2 风险来源的多维性

露天交叉施工的安全风险可从“人-机-环-管”四个维度加以识别。人的维度，涉及多工种作业人员的空间交错，摊铺班、碾压班、运输班、测量班及附属班组在同一区域内同时作业，若缺乏统一的调度指挥，极易发生行进路线冲突。机械维度，不同类型的施工机械速度差异悬殊（运输车辆最高时速可达数十公里，而压路机作业速度仅为数公里），这种速度差在有限空间内频繁呈现，构成动态风险源^[1]。环境维度，除前述气象因素外，路面施工中沥青高温烟气、粉尘、燃油挥发物等职业健康危害因素长期存在，且随风向扩散，影响范围难以精确界定。管理维度，交叉作业的工序交接缺乏明确的界面划分和责任衔接，往往成为风险管理的真空地带。

1.3 风险的动态演化特性

与固定作业场所相比,露天交叉施工的风险状态随时间轴快速演化。同一施工段落,上午可能进行基层摊铺,下午转为面层碾压,夜间可能进行材料运输或设备转场,不同时段的风险构成完全不同。随着作业面推移,风险点的空间位置也在不断变化,固定式的安全防护设施难以持续发挥作用。此外,施工进度受材料供应、天气变化及机械故障等因素干扰,实际作业顺序常偏离原定计划,导致原本错开的工序意外重叠,形成不可预见的“突发性交叉风险”。这种动态演化特性要求风险管控体系具备足够的响应速度和调整弹性。

2 路面工程交叉施工典型风险类型与耦合模式

2.1 工序交叉导致的时序风险

工序交叉是露天交叉施工中最基本的风险形态。路面施工通常遵循“自下而上、先深后浅”的工艺顺序,但在工期压力下,往往出现上层作业提前插入、下层作业尚未完成的局面。例如,路缘石安装与面层碾压交叉进行,安装作业人员处于碾压机械的运行路径之内;又或者,检测取样人员在刚碾压完成的沥青面层上作业,与后续运输车辆共用通道。时序风险的核心在于工序衔接的时间间隔被压缩至低于安全作业所需的缓冲时间,使得前序作业未完全退出,后续作业已强行进入,在空间上形成重叠。

2.2 空间重叠引发的物理碰撞风险

空间重叠风险表现为同一坐标区域内同时存在多种作业活动。路面工程中,施工便道、材料堆场与作业主区域往往边界模糊,运输车辆往返于拌合站与摊铺现场之间,必然穿越其他作业班组的活动范围。压路机在碾压时需频繁转向和倒车,其尾部摆动区域属于典型的视觉盲区,若该区域内有其他作业人员,发生碰撞事故的概率极高^[2]。此外,吊装作业(如安装标志标牌基础、照明设施)的起重臂回转半径内,若未设警戒区,极易与空中管线或地面人员形成空间冲突。

2.3 时段叠加诱发的疲劳与误操作风险

时段叠加指多班制连续作业时,不同班次的作业人员在交接时段或夜班时段集中出现在同一区域内。交接班期间,信息传递易出现遗漏或失真,交班人员急于收工而降低安全警觉性,接班人员对现场风险状况掌握不足,形成安全管理的最薄弱窗口。夜间施工时,照明条件有限,机械操作员的视线距离和视野宽度大幅下降,加之人体生理节律导致的疲劳累积,反应时滞延长,误操作概率显著上升。时段叠加风险往往被项目管理者低

估,却在实际事故统计中占有相当比重。

2.4 三类风险的耦合放大效应

上述三类风险并非独立存在,而是常常相互交织、彼此强化。工序交叉使本不该共存的作业活动同台进行,空间重叠提供了物理接触的条件,时段叠加则叠加了人员状态的低可靠性——三者共同作用时,事故发生的概率不是简单相加,而是呈指数级上升。例如,夜间进行沥青上面层摊铺(时段叠加),同时路肩附属施工尚未结束(工序交叉),两者在同一断面并行作业(空间重叠),此时任何一方的微小失误都可能酿成严重事故。因此,分级管控的核心逻辑必须建立在对此类耦合风险的有效拆解与分层应对之上。

3 安全风险分级管控的四位一体实施路径

3.1 风险点精准辨识:网格化与动态化相结合

辨识是分级管控的第一道关口。针对露天交叉施工的空间线性特征,宜采用“网格化”划分方法,将全线施工区域按桩号划分为若干风险辨识单元,每个单元内再按作业层(基层作业区、面层作业区、运输通道区、附属作业区)进行纵向分层。网格化确保了辨识工作在空间上不留死角。在此基础上,按每日施工计划对每个网格内翌日将要开展的作业活动进行“动态预辨识”,明确不同时段内各网格的作业内容、机械配置、人员数量及交叉关系,形成动态风险清单。辨识主体应涵盖项目安全管理人员、技术人员、班组长及一线作业人员代表,充分发挥基层人员对现场风险的切身感知优势,避免辨识结果脱离实际。

3.2 风险分级评价:构建场景化的分级标准

当前多数项目采用的风险矩阵法(LS法)或作业条件危险性评价法(LEC法),在露天交叉施工场景中面临的主要问题是指标赋值的主观性强、不同评价人员对“可能性”和“后果严重度”的理解差异较大。本文建议针对露天交叉施工建立场景化的分级标准,将风险等级划分为重大风险、较大风险、一般风险和低风险四级,分级依据结合施工场景具体化。重大风险对应多工序大面积立体交叉、夜间施工且照明不足、机械密集程度超过设计通行能力的工况,此类风险必须停工或调整施工组织后方可作业^[3]。较大风险对应两种以上工序在同一平面交叉、存在机械盲区重叠的情况,需专职安全员全程旁站方可施工。一般风险对应单一工序内的人员与机械协同作业,按常规安全规程即可控制。低风险对应非作业时段或单一人员操作的辅助工作。该分级标准不追求数学上的精确,而追求

现场判定上的清晰与可操作。

3.3 分级管控措施落地：责任到人、措施到位

分级管控的核心在于“级级有责、责责有措”。针对不同等级的风险，应明确对应的管控主体、管控手段和验收要求。重大风险由项目经理直接负责管控，组织专项安全论证，制定专项施工方案和安全技术措施，经企业技术负责人审批后方可实施，施工期间项目部全员进入应急戒备状态。较大风险由项目安全总监牵头管控，编制专项安全交底，明确各交叉作业班组的进出场顺序、行走路线和避让规则，设置醒目的隔离警戒设施。一般风险由施工班组长负责日常管控，依托班前安全会进行风险告知，作业过程中实施互保联保。低风险由作业人员自主管控，依靠标准化操作规程约束个人行为。所有分级管控措施均应形成书面记录，并纳入日常安全检查的必查项，确保“有风险必有措施、有措施必有落实”。

3.4 动态更新与持续改进：施工组织设计与风险管控的协同

路面工程露天交叉施工的风险状态随施工推进而持续变化，一次性的辨识与分级远远不够。应将风险分级管控嵌入施工组织设计的动态调整流程中——每三日或每逢施工方案变更，由项目技术负责人召集安全、工程、物资等部门联合评审后续施工段落的交叉风险，更新风险清单与分级结果。同时，建立“作业前风险确认单”制度，每日开工前由现场负责人对照当日施工计划逐项确认风险管控措施已到位，方可签发作业许可^[4]。此外，应建立风险管控效果的后评估机制，将当月实际发生的不安全行为、未遂事件及轻伤事故与月初的风险预测进行比对分析，找出管控措施的薄弱环节，在下月的风险管控计划中有针对性地加以改进。

4 管理机制与支撑条件

分级管控的有效运行，离不开组织保障和制度配套。在组织架构上，宜设立专职的风险调度岗位，负责每日交叉作业计划的编制与冲突协调，该岗位有权根据风险状况调整作业顺序或暂停局部作业。在能力建设上，应对所有作业人员开展分级管控专项培训，确保每位员工都能理解本岗位涉及的风险等级及其对应的管控要求，尤其要强化一线操作手对机械盲区风险的认知。在制度层面，应将分级管控的执行情况纳入项目绩效考

核，对未按分级要求落实管控措施导致风险升级的行为视同隐患进行追责。在技术支撑上，可借助信息化手段（如施工区域人员定位系统、机械盲区预警装置）辅助人工管控，但需明确技术仅是辅助工具，不能替代管理责任和人员判断^[5]。

5 结语

路面工程露天交叉施工的安全风险管控，其本质不是在既有管理体系之外另起炉灶，而是要将风险分级管控的思想和方法内化于施工组织的每一个环节。本文提出的“精准辨识—分级评价—措施落地—动态更新”四位一体实施路径，核心在于三点认识：第一，辨识必须动态化，静态台账无法应对交叉施工的时变风险；第二，分级标准应服务于现场快速判定，而非追求复杂的数值计算；第三，管控的核心不在于文档的完备，而在于责任链条的清晰与作业行为的切实改变。值得注意的是，分级管控不是一劳永逸的工作，而是一个需要持续迭代的过程。施工条件在变、人员组合在变、外部环境在变，风险状态也随之而变，唯有保持对风险的高度敏感和管理机制的柔性适应，才能使分级管控真正成为预防事故的有效屏障。未来，可进一步探索将分级管控与智能预警系统深度融合，实现风险识别从“人工判断”向“人机协同”的逐步升级，但无论技术如何发展，管理者的责任意识与一线人员的操作素养始终是不可替代的安全基石。

参考文献

- [1] 吴超, 杨珊, 陈沅江. 安全生产风险分级管控与隐患排查治理双重预防机制建设研究 [J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(5): 1-8.
- [2] 李树刚, 成连华, 林海飞. 基于动态风险评估的公路施工安全管理体系构建 [J]. 安全与环境学报, 2021, 21(4): 1563-1570.
- [3] 佟瑞鹏, 刘林, 张磊. 露天作业场所机械伤害风险评价方法比较研究 [J]. 中国安全生产科学技术, 2023, 19(2): 112-118.
- [4] 王凯全, 邵辉, 袁雄军. 施工企业双重预防机制落地难点的诊断与对策 [J]. 建筑安全, 2022, 37(9): 54-59.
- [5] 许铭, 颜峻, 多英全. 风险矩阵法在施工安全分级管控中的适用性与改进 [J]. 安全与环境工程, 2023, 30(3): 189-196.