

大型石油化工建设项目现场安全风险辨识与分级管控实践

张鹏飞

天津兴辰工程技术服务有限公司 天津 300270

摘要:大型石油化工建设项目具有施工周期长、参建单位多、作业环境复杂、高危作业集中等特征,现场安全风险呈现出多源叠加、动态演化与耦合放大的复合属性。本文立足于项目现场安全管理实践需求,系统梳理了大型石油化工建设项目现场安全风险的主要类型与生成机理,构建了涵盖风险辨识、评估分级、管控实施与动态更新的闭环管理框架。在风险辨识层面,提出以作业活动分解、能量释放路径追溯与时空交叉分析为核心的三维辨识方法;在分级管控层面,建立基于可能性—后果严重度—暴露频率—管控能力的四维评估模型,并据此划分风险等级与管控层级。在此基础上,从组织保障、制度设计、技术支撑与文化培育四个维度提出分级管控的实施路径,强调风险管控责任与层级的精准匹配以及动态复评机制的常态化运行。研究表明,将系统性辨识方法与分级管控逻辑嵌入项目现场日常管理流程,能够有效提升安全风险治理的针对性与资源配置效率,为同类大型石化建设项目的现场安全管理提供可参照的实践框架。

关键词:石油化工建设项目;现场安全;风险辨识;分级管控;动态管理

引言

大型石油化工建设项目通常涉及装置规模大、工艺链条长、施工工序密集、多专业交叉作业频繁等特征,其现场安全管理面临的挑战远高于一般工业建设项目。在有限的时间与空间内,土建施工、设备安装、管道焊接、电气仪表调试、防腐保温等多类作业并行推进,高处作业、动火作业、受限空间作业、起重吊装作业等高危活动集中出现,人员、机械、物料与能量高度聚集,任何一个环节的管控失效都可能引发连锁性事故后果。近年来,随着国内石化产业向大型化、集约化方向持续发展,单个项目的现场作业人员峰值可达数千人,参建单位多达数十家,安全管理的复杂程度与协调难度显著上升。在此背景下,传统的以经验判断为主、以事后整改为核心的安全管理模式已难以适应项目现场风险动态变化的现实要求。风险辨识的全面性不足、分级管控的精准性欠缺、管控措施与风险等级之间的匹配关系模糊等问题,成为制约现场安全管理效能提升的关键瓶颈。如何在项目现场构建一套既符合系统工程逻辑又具备实践可操作性的风险辨识与分级管控体系,是当前大型石化建设项目安全管理领域亟待解决的重要课题。

1 大型石油化工建设项目现场安全风险的特征与生成机理

1.1 现场安全风险的基本特征

大型石油化工建设项目现场安全风险首先表现为多

源性。风险来源既包括施工活动本身固有的物理性危险,如高处坠落、物体打击、机械伤害、触电等,也包括化学性危险,如可燃气体泄漏、有毒介质逸散、粉尘暴露等,还包括管理性风险,如信息传递不畅、指令执行偏差、交叉作业协调缺失等。多种风险源在同一时空范围内交织并存,使得现场风险结构呈现出显著的复合特征。其次是动态演化性。项目现场的风险状态随施工阶段推进而不断变化。基础施工阶段以土方开挖、基坑支护、桩基作业风险为主;设备安装阶段以起重吊装、高处作业、焊接动火风险为主;管道试压与仪表调试阶段则以高压介质、临时用电、联调联试风险为主。风险的类型、强度与分布随工序转换而持续调整,静态的风险清单难以覆盖动态的现场实际。再次是耦合放大性。在交叉作业密集的区域,单一风险事件可能触发次生风险,形成耦合放大效应。例如,动火作业产生的火花若遇可燃气体聚集,可能引发火灾甚至爆炸;起重吊装过程中的物体坠落若同时存在下方交叉作业人员,则后果严重度将成倍增加。这种耦合关系使得风险管控不能仅着眼于单项作业的独立控制,而须关注风险之间的关联性与传导路径。

1.2 风险生成的主要机理

从系统安全的角度审视,现场安全风险的生成可归结为能量释放与管控失效两个基本维度的交互作用。一方面,施工活动中不可避免地存在势能、动能、化学

能、电能等多种能量的集聚与转换,能量载体一旦失去有效约束,即可能以事故形式释放。另一方面,管控失效源于技术措施、组织措施与行为措施中某一环节或某几个环节的缺失或弱化。当能量释放路径与管控薄弱环节在时空上重合时,事故便具备发生的充分条件^[1]。进一步而言,项目现场的组织复杂性加剧了管控失效的概率。多参建单位之间的管理界面划分不清、安全责任交叉或真空、信息沟通层级过多导致传递衰减、工期压力下安全投入被压缩等因素,均可能使原本设计的管控措施在现场执行层面出现偏差。因此,风险辨识不仅要识别危险源本身,还须关注管控链条中的薄弱节点。

2 现场安全风险辨识的系统方法

2.1 作业活动分解与危险源识别

风险辨识的首要任务是将项目现场复杂的施工活动分解为可辨识、可分析的作业单元。实践中可采用工作分解结构(WBS)与作业条件危险性分析相结合的方法,按照单位工程、分部工程、分项工程、工序、作业步骤的层级逐级分解,直至每一具体作业活动。在此基础上,针对每一作业步骤,从人员、设备、材料、方法、环境五个维度识别潜在危险源,形成结构化的危险源清单。这一过程的要点在于分解的颗粒度控制。分解过粗则危险源识别不充分,分解过细则管理成本过高且难以聚焦关键风险。一般而言,以“一项作业活动对应一个作业班组在一个作业班次内完成的工作”为基本单元较为适宜,既能保证辨识的覆盖度,又能与现场班前安全交底制度相衔接。

2.2 能量释放路径追溯

在危险源识别的基础上,须进一步追溯能量或危险物质的释放路径。这一分析借鉴能量意外释放理论,将每一危险源视为一个能量载体,分析其在正常受控状态下如何被约束、在失控状态下可能通过何种路径释放、释放后可能影响的范围与对象。通过绘制能量释放路径图,可以直观呈现风险传导链条,识别路径上的关键控制节点。对于石油化工建设项目而言,能量释放路径追溯尤其适用于可燃气体、有毒介质、高压系统等化学性与物理性危险源的管控分析^[2]。例如,在对管道试压作业进行风险辨识时,须追溯高压水或气体从试压泵至管道末端全路径中可能出现的密封失效点、阀门误操作点与泄压失控点,并据此确定巡查监控的重点部位。

2.3 时空交叉分析

大型石化项目现场多专业、多队伍同时作业的常态,决定了风险辨识必须引入时空维度的交叉分析。具体而言,须在同一时间坐标与空间坐标下,识别不同作

业活动之间可能产生的相互干扰与风险叠加。例如,某一区域上方进行焊接动火作业的同时,下方进行防腐涂装作业,则火花坠落与有机溶剂挥发之间即构成火灾风险的交叉叠加;又如,起重机械回转半径覆盖区域内同时存在其他专业的施工作业,则吊物坠落风险与人员暴露风险形成耦合。时空交叉分析的实施可借助现场作业计划与平面布置图的叠加比对,按日或按班次动态编制交叉作业风险提示图,明确各作业面的风险等级与相互影响关系,为作业许可审批与现场协调提供依据。

3 安全风险分级评估模型与管控层级划分

3.1 四维评估模型的构建

风险分级评估的合理性直接决定了管控资源配置的精准性。本文在借鉴作业条件危险性分析法(LEC法)与风险矩阵法的基础上,结合大型石化建设项目现场特点,构建可能性(L)、后果严重度(S)、暴露频率(E)与管控能力(C)四个维度的评估模型。其中,可能性表征风险事件发生的概率水平;后果严重度表征一旦发生可能造成的人员伤亡、财产损失与环境影响程度;暴露频率表征人员或设备处于风险影响范围内的频次与持续时间;管控能力则表征现有管理措施、技术措施与应急能力对风险的控制效能,其取值方向与前三者相反,管控能力越强则综合风险值越低。综合风险值R可表示为: $R = L \times S \times E / C$ 。该模型相较于传统三维评估的优势在于引入了管控能力维度,使评估结果不仅反映风险的客观属性,也体现管理主体的主观能动性,从而避免了对高风险作业“一刀切”式的管控资源配置。

3.2 风险等级划分与管控层级对应

根据综合风险值R的大小,将现场安全风险划分为重大风险、较大风险、一般风险与低风险四个等级,分别以红、橙、黄、蓝四色标识。等级划分阈值的确定须结合项目实际与行业规范,并在项目初期通过专家论证予以校准。分级管控的核心逻辑在于风险等级与管控层级的匹配。重大风险应由项目级管理层直接管控,由项目经理或安全总监牵头制定专项管控方案,实施作业许可与全程旁站监督;较大风险由部门级或区域级管控,由专业工程师与安全管理人员共同审核管控措施并实施定期巡查;一般风险由班组级管控,纳入班前会交底与班中自查内容;低风险则由岗位人员按标准操作规程自主管控^[3]。这种层级对应关系确保了管控资源向高风险环节集中,同时避免了管理层级对低风险事项的过度介入。

3.3 动态复评与等级调整机制

项目现场风险的动态性要求分级结果不能一成不变。须建立以周为周期的动态复评机制,结合施工阶段

转换、作业条件变化、人员与设备状态变动、外部环境因素（如恶劣天气）等触发条件，对风险等级进行实时调整。当风险等级上升时，同步提升管控层级并追加管控措施；当风险等级下降时，可适当降低管控频次与强度，实现管控资源的弹性配置。动态复评的实施应与现场安全巡检、作业许可审批、班前安全交底等日常管理活动嵌入融合，避免形成独立于现场流程之外的额外负担。复评结果应及时更新至现场风险公示牌与信息管理平台，确保各层级管理人员与作业人员获取一致的风险信息。

4 分级管控的实践路径与保障机制

4.1 组织保障：责任体系与协调机制

分级管控的落地首先依赖于清晰的安全责任体系。项目现场应建立以项目经理为第一责任人、安全总监为专业统筹、各参建单位负责人为区域责任人、班组长为作业单元责任人的四级责任链条，形成网格化管理并将风险等级与责任层级明确对应。同时建立“专业安全专班”如（吊装专班、架设专班、临电专班等）以专业人干专业事为导向形成检查验收专业化、管控标准化的良性循环。针对多单位交叉作业区域，须建立联合安全协调机制，通过每日协调会、作业许可联审、交叉作业风险交底等方式，消除管理界面盲区。

4.2 制度保障：作业许可与变更管理

作业许可制度是高风险作业管控的核心抓手。须将风险分级结果与作业许可审批权限挂钩，重大风险作业的许可审批须经项目级安全管理部门会签，较大风险作业须经区域安全负责人审批^[4]。此外，变更管理同样关键。当施工方案、作业环境、人员组织或设备状态发生变更时，须重新进行风险辨识与分级评估，防止因变更引入未被识别的风险。同时，须将作业前工作安全分析（JSA）作为作业许可签批的前置条件：作业班组须在作业前对施工任务进行逐步分解，辨识每一步骤的潜在危害，评估风险等级并制定针对性管控措施。

4.3 技术保障：信息化手段与智能监测

借助信息化手段提升分级管控的执行效率与透明度，是当前实践的重要方向。可通过安全管理信息平台实现风险清单的在线维护、分级结果的实时更新、管控措施的闭环跟踪与预警提醒。对于重大风险作业区域，可部署视频监控、气体检测、人员定位等智能感知设备，实现风险状态的实时监测与异常自动报警，为分级管控提供数据支撑。

4.4 文化保障：安全培训与行为引导

分级管控的最终执行者是现场每一位作业人员。须通过分层分类的安全培训，使各层级人员理解自身在风险管控链条中的角色与责任。对管理人员侧重风险辨识方法与分级管控逻辑的培训，对作业人员侧重高危作业风险认知与自我防护技能的培训。同时，通过强化新人管理、安全观察、行为安全审核、隐患报告激励等方式，引导现场人员形成主动识别风险、主动报告隐患的行为习惯，使分级管控从制度要求转化为现场自觉。

结束语

大型石油化工建设项目现场安全风险的辨识与分级管控，是一项兼具系统性与实践性的管理工程。本文从风险特征与生成机理出发，构建了以作业活动分解、能量释放路径追溯与时空交叉分析为核心的辨识方法，提出了基于可能性、后果严重度、暴露频率与管控能力的四维评估模型，并阐述了风险等级与管控层级匹配、动态复评与弹性配置的实施逻辑。在实践路径层面，从组织、制度、技术与文化四个维度提出了保障机制。需要指出的是，风险辨识与分级管控并非一次性完成的静态工作，而是贯穿项目全周期的持续过程。其有效性取决于方法体系与现场日常管理流程的嵌入深度，取决于各层级人员对风险信息的共享程度与响应速度。未来，随着数字化技术与安全管理理念的进一步融合，大型石化建设项目现场的风险管控有望向实时化、智能化与自适应化方向持续演进，但无论技术如何发展，对风险的科学认知与对管控责任的切实履行，始终是现场安全管理的根本所在。

参考文献

- [1] 王建民, 李海涛. 大型石化建设项目施工安全风险耦合机理与管控策略研究 [J]. 中国安全科学学报, 2022, 32(6): 145-152.
- [2] 张明辉, 陈晓东. 石油化工工程建设现场多源风险叠加效应分析与分级管控方法 [J]. 安全与环境工程, 2023, 30(2): 88-95.
- [3] 刘志强, 赵文博. 基于信息化平台的大型石化项目现场安全风险动态管控实践 [J]. 工业安全与环保, 2024, 50(1): 62-68.
- [4] 孙立新, 周海燕. 石油化工建设项目安全文化培育与行为安全管理的协同机制 [J]. 中国安全生产科学技术, 2021, 17(9): 176-182.