

# 化工园区安全风险分区与分级防控策略研究

任海

广州市万聘人力资源服务有限公司 广东广州 510000

**摘要:** 在化工产业集聚化与规模化发展的趋势下,化工园区已成为承载危险化学品生产、储运与加工的重要空间单元。然而,园区内产业链高度耦合、物料种类繁多、能源输送系统复杂,使得安全风险呈现出多源叠加、空间集中与事故链式放大的特征。一旦发生事故,其后果不仅涉及局部装置破坏,更可能通过物理和化学的传导途径引发区域性灾害,造成重大人员伤亡与环境污染。本文从化工园区的产业布局与危险源特征入手,系统阐述了风险分区的理论基础、指标体系与技术路径,并在此基础上提出了分级防控策略体系。研究引入GIS空间分析与定量风险分析(QRA)方法,实现了园区风险空间化、量化与动态化的管理模式。案例验证结果表明,科学的风险分区结合差异化防控措施,可显著降低事故发生概率并提高应急响应效率,对提升化工园区本质安全水平具有重要现实意义。  
**关键词:** 化工园区;安全风险;分区管理;分级防控;风险评估

## 引言

化工园区在我国化工产业结构中具有重要地位,不仅集聚了基础化工、精细化工、新材料等高附加值产业,还通过上下游产业链协同,实现了规模效益与资源共享。然而,高密度的危险化学品生产、储运与加工活动,使园区安全风险呈现高度复杂性。一方面,危险源的空间分布往往与产业链布局高度耦合,易形成跨装置、跨企业的事故链;另一方面,管道、道路及能源输送系统的互联互通,使得局部事故具有区域扩展的潜在可能。江苏响水“3·21”特别重大爆炸事故等案例表明,风险分区不科学、分级防控不足和动态管理缺位,是事故造成重大损失的重要原因。因此,建立基于科学评估的风险分区体系,并配套实施差异化的分级防控策略,不仅有助于实现园区安全管理的精准化与系统化,还可在事故应对中实现资源的最优配置与响应效率的最大化。

### 一、化工园区安全风险特征

化工园区的整体布局通常呈现功能高度集成与产业链深度耦合的特征,主要包括生产装置区、储运区、公用工程区、研发与办公区以及生活服务区等功能单元。各功能区通过管廊、道路和能源输送管网相互连接,形成高密度、高关联度的产业网络。这种布局模式在提高物料转运效率、缩短物流时间和降低运营成本的同时,也使危险源呈现明显的空间集中性与事故传导快捷性。一旦某一节点发生故障,风险可能沿着能源或物料输送

路径迅速扩散,造成多点、多类次生事故,形成“局部失稳—系统放大—区域扩展”的风险链条。尤其在核心生产区和储运设施密集区,危险源分布的重叠效应更加显著,安全管理的难度远高于分散式布局的单体化工企业。

这种风险的集聚性不仅源于物理空间的紧凑,更与园区产业链的高度关联密切相关。原料、半成品与成品在园区内部频繁流动,使得各生产单元在能源供应、物料传输及工艺运行上形成相互依赖。一旦其中某一环节失效,极易引发工艺中断、能量失衡甚至化学反应失控,从而触发跨装置乃至跨企业的事故放大过程。由于化工园区的生产模式强调规模化与连续化,这种风险的传导速度往往超过应急干预的反应时间,进一步放大了潜在危害的严重程度。

## 二、化工园区安全风险分区方法

### 1. 分区理论基础与指标体系构建

化工园区安全风险分区的核心在于基于风险的空间异质性,实现分区管理与差异化防控的有机结合。这一过程依托于风险科学与空间规划的交叉理论,既需要遵循事故后果模型与概率分析的定量框架,也需结合土地利用安全距离、环境敏感性和社会可接受风险水平等综合因素。理论基础主要来源于定量风险分析(Quantitative Risk Assessment, QRA)、危险与可操作性分析(Hazard and Operability Analysis, HAZOP)以及区域灾害脆弱性理论。其中,QRA提供了事故发生概率与

后果严重程度的量化依据, HAZOP则有助于系统识别生产环节潜在的偏差及其触发条件, 而脆弱性分析则确保分区结果能够反映人口密度、基础设施承载能力及应急资源分布的差异。在此基础上, 构建科学的风险分区指标体系是实现分区精确性与适应性的前提。本文提出的指标体系涵盖三大维度: 其一是危险源特征, 包括危险化学品种类、储存与使用数量、物理化学性质及操作频率; 其二是事故后果影响, 涉及潜在影响半径、受影响人口数量、环境敏感区分布及基础设施重要性; 其三是防控与应急能力, 涵盖消防设施布局、疏散通道条件、在线监测覆盖率及应急物资储备水平。通过对上述指标进行权重设定与综合评分, 可在保证科学性的同时兼顾实用性, 为后续的空间分区提供数据支撑。

## 2. 技术路径与应用实践

风险分区的实施需遵循“数据采集—风险计算—空间分析—分区界定—规划衔接”的技术路径。第一, 在数据采集阶段, 应整合园区内各类危险源的基础信息、地理位置、运行状态以及事故历史记录, 同时获取人口分布、交通网络、环境敏感区等外部数据。这一过程需依托统一的数据标准与共享平台, 以确保数据的完整性与可比性。第二, 在风险计算环节, 采用QRA模型对不同危险源的事故发生概率与后果严重程度进行量化, 并结合多情景模拟方法(如TNT等效法、有毒气体扩散模型、火灾热辐射模型)评估潜在的影响范围与强度。通过对不同危险源的风险值进行标准化与叠加分析, 可获得园区整体的风险分布格局。第三, 利用GIS空间分析技术, 将风险计算结果与园区地理信息叠加, 生成风险分布图。在此过程中, 可通过空间插值、缓冲区分析和叠加分析等方法, 精确识别高风险集中区、中风险过渡区和低风险控制区。随后, 根据风险等级划定分区界线, 并将其与园区土地利用规划、建设许可管理及安全监管制度相衔接, 实现分区成果的制度化落地。在应用实践中, 以某沿海化工园区为例, 按照本文方法, 将园区划分为高风险区、中风险区和低风险区。高风险区集中在重大危险源密集、工艺耦合度高且应急通道受限的区域, 采取最严格的防控措施与实时监控; 中风险区虽存在一定数量的危险源, 但具有较强的防控与隔离能力, 采取强化管理与定期巡检措施; 低风险区危险源数量少且分布分散, 维持常规监管即可。实践结果表明, 该分区方案不仅有助于优化园区的安全资源配置, 还为应急演练与事故处置提供了精确的空间指引, 从而提升了整体安

全管理的针对性与有效性。

## 三、化工园区安全风险分级防控策略

### 1. 分级原则与防控体系构建

化工园区的风险分级防控应以“风险等级决定防控深度”为核心原则, 将有限的安全资源优先配置于高风险区域与关键环节, 实现防控措施差异化与精准化。分级原则的制定需兼顾风险的概率性与后果严重性, 既要考虑重大事故发生的可能性, 也要权衡其对人员、环境与经济的综合影响。在分级标准上, 可参考国际通行的风险矩阵方法, 将风险值划分为高、较高、中、低四个等级。其中, 高风险等级对应重大危险源密集、工艺高度耦合且事故后果可能跨越园区边界的区域; 较高风险等级涵盖危险源数量多但具备一定防控与隔离条件的区域; 中风险等级多为事故概率低或后果影响相对有限的区域; 低风险等级则为危险源稀疏且防控能力充足的区域。

在此基础上, 构建分级防控体系应涵盖工程防护、管理制度与应急响应三大支柱。工程防护侧重于从物理与技术层面降低风险, 例如在高风险区采用本质安全化设计、防爆隔离、自动化控制系统和多重泄漏收集处理装置; 管理制度则应通过完善的操作规程、人员培训、承包商准入管理及定期安全审计, 确保操作的规范性与可追溯性; 应急响应方面, 高风险区需配置专用应急物资与救援力量, 并建立跨企业、跨部门的联动机制, 实现事故处置的快速启动与高效协同。通过多层次、全覆盖的分级防控体系, 可在源头预防、过程控制与事后处置三个环节形成闭环管理。

### 2. 智能化与动态化分级防控实施路径

随着物联网、大数据与人工智能技术的发展, 化工园区的分级防控正逐步向智能化与动态化方向演进。智能化防控的核心是基于实时监测与数据分析的风险状态感知与预测。通过在高、中风险区布设多类型传感器, 实时采集温度、压力、流量、浓度等关键运行参数, 并结合视频监控系统与可穿戴检测设备, 实现对危险源状态的全时覆盖与多维感知。采集的数据在传输至园区安全信息平台后, 可通过大数据分析与机器学习算法进行趋势预测与异常识别, 从而在事故发生前触发预警与联动响应。动态化防控则强调防控措施随风险状态的变化而调整。在实际运行中, 风险等级并非一成不变, 而是受生产负荷、工艺调整、设备检修、气象条件等多因素影响。为此, 园区应建立基于风险实时评估的动态分级

机制，将静态分区成果与动态监测数据相结合，实现“风险变化—等级调整—防控措施优化”的闭环管理。例如，当监测数据表明某中风险区域出现温度异常或压力波动趋势时，可临时将其提升为较高风险等级，增派巡检力量、限制相关作业，并在必要时启动局部停产或隔离措施。这种动态调整不仅提高了防控措施的时效性与针对性，还能在风险上升的早期阶段避免事故的发生与升级。

#### 四、实施保障

##### 1. 法规与管理体系保障

化工园区安全风险分区与分级防控的有效落地，首先依赖于制度和法规的完善。我国现行的安全生产法律法规虽已涵盖危险化学品管理、环境保护和应急响应等方面，但在园区层面仍缺乏针对风险分区与分级防控的系统化技术规范 and 标准体系。这种缺位使得分区方法、分级标准以及实施细则在不同园区间存在较大差异，难以形成统一、可复制的管理模式。因此，应在国家和地方层面出台专门法规，将风险分区与分级防控纳入园区规划、建设、运行和改扩建的全生命周期管理要求，并与环评、安全评价、应急预案备案等制度相衔接，形成多部门协同的法律约束机制。

在管理体系方面，建议园区设立由政府主管部门牵头、园区管理机构与入园企业共同参与的安全管理委员会，统一协调风险评估、数据管理、监测预警、事故应对等事务。该委员会应建立跨企业的信息共享与联合执法机制，实现风险信息的透明化与防控措施的协同性。同时，应引入第三方安全技术服务机构，定期对分区成果和分级措施的执行情况进行独立评估与审核，确保制度落实不流于形式。通过法律规范的强制性约束与管理体系的统筹协调，可为分区与分级防控的持续有效实施提供制度保障。

##### 2. 技术平台与资源配置保障

分区与分级防控的执行还必须依托先进的技术平台与科学的资源配置。技术平台的建设应以园区安全信息化系统为核心，将GIS空间分析、QRA风险计算、物联网监测、视频巡检、应急指挥等功能集成于统一的数字化平台，实现风险分布的可视化、运行状态的实时监控以及应急资源的快速调度。该平台应支持多源数据的自动采集与融合，包括生产工艺参数、设备运行状态、气象条件、交通状况等，并具备基于模型的风险预测与情

景模拟功能，为分区调整与分级决策提供数据支撑和方案推演能力。

在资源配置方面，应依据分区结果与风险等级，科学布局消防站点、应急物资储备库、疏散通道及集结点等关键安全设施，高风险区优先配置反应速度快、机动性强的应急力量，并在中低风险区建立可快速支援的备用资源池。人员配备上，应在高风险区安排经验丰富的专职安全管理人员和应急队伍，并定期开展跨区域、跨企业的联合演练，以提高协同应对能力。资金投入则应遵循“重点倾斜、动态调整”的原则，将更多预算用于高风险区的本质安全化改造和智能化防控系统升级，同时建立基于风险评估结果的资金使用绩效考核机制，确保投资产生实质性安全效益。

通过制度规范的刚性约束、管理体系的高效运作、技术平台的全面支撑以及资源配置的科学优化，化工园区的安全风险分区与分级防控才能在实践中形成稳定、可持续的闭环运行模式，从而显著提升园区整体的本质安全水平和事故防御能力。

#### 结论

本文提出了基于风险分区与分级防控的化工园区安全管理模式，构建了指标体系与技术路径，并通过案例验证了其可行性。研究表明，该模式能够实现园区风险识别的精准化、防控措施的差异化和手段的动态化。未来，随着人工智能、数字孪生等技术的发展，化工园区风险评估与防控将向实时化预测、虚拟演练和智能决策方向演进，从而进一步提升园区的本质安全水平与可持续发展能力。

#### 参考文献

- [1] 波拉. 城镇化与化工园区安全风险的影响研究——以阿尔及利亚斯基克达工业园区周边地区为例[D]. 江苏省: 东南大学, 2023. DOI: 10.27014/d.cnki.gdnau.2023.005638.
- [2] 蒋敏, 赵平. GIS重大危险源风险监测预警系统在化工园区的应用[J]. 化工管理, 2024, (26): 63-65+85. DOI: 10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2024.26.017.
- [3] 钱锋, 丁明, 严强. 江阴临港化工园区: 打造国企协同的安全监管新模式[J]. 中国安全生产, 2022, (03): 38-39.