

# 基于双碳背景下化工园区循环经济模式 对区域安全风险的影响

海云军 (宁夏石化银骏安全技术咨询有限公司, 宁夏回族自治区 固原 756000)

**摘要:** 在加快推动绿色低碳发展、持续改善环境质量等要求持续提高的背景下, 未来资源环境约束问题将日益凸显, 因此, 发展循环经济从而推动资源能源利用效率提升, 成为实现高质量发展的重要手段。本文从产业结构、规划布局、安全管理匹配性等方面分析循环经济对园区安全的潜在作用, 提出动态监测和应急响应机制构建的路径, 为园区绿色低碳转型中高效循环和系统安全提供理论支持和借鉴。

**关键词:** 化工园区; 循环经济; 区域安全风险

中图分类号: X921 文献标识码: A 文章编号: 1674-5167 (2025) 035-0013-03

## The impact of the circular economy model of chemical industrial parks on regional security risks under the background of carbon peaking and carbon neutrality

Haiyunjun (Ningxia Petrochemical Yinjun Safety Technology Consulting Co., Ltd., Guyuan Ningxia Hui Autonomous Region 756000, China)

**Abstract:** Against the backdrop of continuously rising requirements for accelerating green and low-carbon development and constantly improving environmental quality, resource and environmental constraints will become increasingly prominent in the future. Therefore, developing a circular economy to enhance the efficiency of resource and energy utilization has become an important means to achieve high-quality development. This article analyzes the potential role of circular economy in the safety of industrial parks from aspects such as industrial structure, planning layout, and the matching of safety management, and proposes the path for the construction of dynamic monitoring and emergency response mechanisms, providing theoretical support and reference for efficient circulation and system safety in the green and low-carbon transformation of industrial parks.

**Key words:** Chemical industrial park; Circular economy; Regional security risk

新时期随着国家对化工行业环境保护以及生态建设方面提出的要求越来越高, 作为化工行业的聚集地和发展趋势, 化工园区必须积极响应“双碳”战略, 通过构建低碳高效的循环经济体系完善绿色转型路径<sup>[1]</sup>。这种转变有益于改善能源资源的利用效率, 推动高质量发展, 而且需要园区在产业结构、基础设施以及管理机制方面展开全面重塑, 有效防范因这种转变所引发的区域安全风险。

### 1 双碳背景下循环经济和区域安全风险概述

#### 1.1 循环经济

在“双碳”战略引领之下, 循环经济渐渐成为化工园区转型的关键途径, 它把节约资源、回收再利用以及废物最小化当作核心要素, 重视原材料、能量和副产物在园区内部或者跨企业之间的循环流动。循环经济依靠产业共生、余热余压回用、碳捕集利用等方式来提高资源能源利用率, 降低环境负荷<sup>[2]</sup>。该模式既符合绿色低碳发展的要求, 又创建起高质量、可持续发展的产业生态系统。

#### 1.2 区域安全风险

化工园区的区域安全风险与单个生产单位、危险源

的安全风险不同, 其区域安全风险具有系统性, 即从整个园区的角度出发, 对园区内多个聚集点之间的相互作用、叠加效应等进行识别和评价。风险表现为高危单元之间的联动、多米诺连锁反应、公共基础设施的不确定性影响。2019年国务院安委会办公厅首次在《化工园区安全风险排查治理导则(试行)》中明确提出要开展区域安全风险评估, 地方政府也相继出台了相应的规定<sup>[3]</sup>。2025年国家发布的GB/T 45233-2025《化工园区安全风险评估导则》正式提出统一评估流程和方法。但是, 目前还没有把循环经济纳入到风险评价中, 区域安全风险理念在我国还处于探索阶段。系统化评估有助于园区管理者从产业规划、企业布局与运营管理等维度, 形成综合性的风险辨识、定量评估与管控路径, 为区域安全管控一体化提供支撑。

### 2 双碳背景下化工园区循环经济模式对区域安全风险的影响

#### 2.1 产业链结构安全影响分析

循环经济模式在化工园区中本质上依靠的是产业链的高度整合与协同, 该结构既提高了资源利用率, 也加大了系统性安全风险。当上游企业和下游企业存

在紧密的循环关系，既有产品链（上游的产品供给下游的原料），又有工业链（上游的副产物、废弃物、余能被下游重复利用）时，整个园区就是一个高度耦合的网络。该种耦合资源消耗和物质循环效率极高，但是网络中任何一个节点出现故障，都会对全局安全造成连锁反应。

在产业链高度关联的背景下，产业关联度成了衡量结构合理性的一个重要指标。关联度越高，园区内企业之间的互补性就越强，物质和能量的循环就越完整，越有利于减少危险物质的外部排放和跨企业物流风险，但是也会造成安全超载。如果关联度过大，某一环节的安全设施建设、运行或者管理上出了问题，它的风险传播途径就会变得更加复杂。产业多样化在一定程度上能够分散风险。虽然多样性减小了某一环节断裂造成的冲击，但是过度分散会降低循环效率和规模经济效应，反之，过度集中会增大安全风险。当产业链单一或者重复性高的时候，整个循环系统对于单点故障的敏感性就变强了。因此，在循环经济发展模式下，必须在“紧密循环”和“风险冗余”之间找到平衡。

园区管理者要对产业链结构实施定量分析并展开持续监测。通过画出产业链网络图、算出产业关联度、分析节点风险贡献，从而找到重点的风险环节与节点。此类结构分析有益于判定循环系统是否具备经济可行性，也为展开系统性安全风险评定赋予了基本条件。构建产业链结构安全评价模型的时候，可以采用网络理论、复杂系统分析等手段，把产业关联度、安全设施建设能力、物质流量以及耦合度等要素纳入到综合评价体系当中。由此，决策者可以在规划阶段对关联度控制、节点冗余设计、安全备份机制进行引导，从而达到循环目标的同时，避免因产业链过度依赖而产生的系统性安全风险。在循环经济的推动下，化工园区还要关注供应链的弹性与恢复能力。即使循环网络结构紧密，如果没有灵活性以及恢复机制，在遇到突发事件（环保事故、设备故障、原料短缺等）时也会造成严重的安全问题。为此，园区应该建立多层次冗余（备用生产线、应急物资中转站、多路径物流网络等），并通过定期演练和情景分析（故障传播模拟等）来评价整个循环链条的稳定性。

## 2.2 产业规划布局安全影响分析

### 2.2.1 选址环境协调性影响

循环经济在区域上运作，不只是园区内部物质和能量的循环，还要与周边更大的系统形成生态和产业链网络。开放式循环即园区不能孤立考虑内部循环效率，还要考虑与外部环境、周边产业、基础设施的协同<sup>[4]</sup>。若园区规划与周边环境协调性欠佳，循环路径

可能被迫绕道或中断，降低资源回收效率，同时增加跨界风险。

选址阶段要对园区与周边产业、生态系统、交通基础设施等的协调性进行系统的分析。选址要顾及及安全距离、管廊、公共基础设施配置等，也要顾及产业链循环网络的空间连通性。若园区能够融入周边产业生态，通过战略联盟构建跨区域循环体系，则可以提升整体资源利用效率。但是规划不考虑外部系统对接的话，循环经济内部的闭环就会局限于园区内部，规模和效率优势就会降低，还会产生外部风险，比如运输过程中转运事故、跨区废物泄漏、跨界污染等。

规划时要对园区周围敏感目标（居民区、生态敏感区、交通干道等）及其对循环设施的影响进行风险辨识。循环设施，例如废物处理厂、公共管廊、储存设施等如果布置不当，就会给敏感区域造成严重的安全隐患。所以，园区选址环境协调性评价要把空间分析、格局改进、风险仿真融合起来，对园区整体循环系统展开动态观察，使得循环网络既高效又安全。

### 2.2.2 功能区布局合理性影响

在循环经济逻辑下，化工园区的功能区不再仅仅是企业之间物质、能量交换的传统划分，而是承担起企业之间物质、能量交换的关键节点。公共设施（公共管廊、能量回收装置、废物集中处理中心）、应急设施、道路系统、绿地等都成了循环系统中起到重要作用的部分。由于功能区的集成性、公共性，所以它们在安全网络中的权重极高。

功能区布局合理性评价，需要对不同的功能角色进行风险分类和标准设定。按照《危险化学品生产装置和储存设施风险基准》（GB 36894—2018）等规范的要求，应该针对办公生活区、生产装置区、仓储物流区、公共设施区、道路运输区等不同类型功能区，设置可接受的风险水平。例如，办公生活区风险容忍度低，生产区或仓储区可以承受较高的风险水平。循环经济模式下，公共设施区由于可能长期承担物质交换、中转任务，其风险高于传统纯生产区，因此对公共设施区的安全标准应更高。另外，功能区之间空间关系以及物质流路径也需设计。园区内部物质流应该优先通过低风险路径，如公共管廊、管道网络等，减少暴露和运输风险。功能区之间隔离、缓冲的策略也十分重要。循环设施（余热回收站、废物中转站）与敏感区相邻时，应设置安全缓冲区、隔离带、监测预警系统。

### 2.3 产业经济安全管理匹配性分析

循环经济提出了一种多主体、多部门、多层次协同发展的系统性经济模式，它的复杂性要大于传统的单一生产结构。园区从规划期开始就要建立完整的安

全生产体系,保证循环体系在高效运转的同时具有系统性的安全保障。园区要设立独立的安全职能部门,并配备专职、安全专业人员。此部门除了传统的危险源管理之外,还要对循环经济中涉及的废物回收、余能利用、跨企业物流、公共设施等环节进行安全评价和监督。其职责要贯穿整个产业生命周期,即从企业入驻、项目准入、设施建设、运营管理、废物处理、退出机制。安全管理部门要在产业管控决策里提前参与,包含项目准入审查、安全设计论证、循环链条风险辨识等等。只有在规划阶段介入,才能对循环设计中可能产生的安全不对称、链条耦合风险,提出改善建议或者补救设计。园区还要建立多部门协同机制,从社会、产业、安全、环境等角度出发。安全管理不能孤立地进行,必须同环保、规划、应急、运输等部门合作。在循环经济链条中,废物运输、安全储存、公用管廊建设等事项,各个部门需要联合制订统一标准和应急措施。协同治理机制还要建立定期会商、联合巡查、共建预警等制度,来保证跨部门风险识别和管控的动态性。

管理制度需要系统设计,包含安全准入制度、日常监测制度、信息共享制度以及应急响应制度等。准入制度保证只有符合安全标准的循环经济项目才能进入园区;监测制度依靠智能化平台对过程危险性、泄漏风险、物质流向等实施实时监控;信息共享制度让园区管理方、企业、监管部门可以及时获取到安全隐患的信息;应急制度要求对循环设施(公共中转站、管廊、再利用装置等)制定专门的应急预案,并定期进行演练。园区可以尝试安全管理与数字化融合,例如,通过建立智能化管控平台,完成重大危险源在线监测、预警推送、隐患管理以及跨部门协作。该平台既可以提高园区对于单点危险源的监控能力,又可以加强系统性风险识别和应对的能力,是循环经济安全管控的重要支撑。

### 3 循环经济实施过程中的安全风险动态监测与应急响应机制

#### 3.1 风险动态监测机制构建

在循环经济模式下,化工园区的物质流、能量流和物料耦合网络具有高度的动态性、复杂性,必须建立系统性的在线监测机制来保证安全稳定运行。依靠覆盖重要节点的传感器网络,对温度、压力、化学浓度、流量、泄漏速率等重要参数进行实时采集,将数据上传至智能化管控平台。平台对物质循环路径进行数字化追踪,可以发现流转异常、积累异常、循环中断,还可以对耦合度、节点冗余、预留备份能力等耦合安全指标进行分析。监测系统应当使用阈值触发的方法,当参数即将或者已经超过预警阈值的时候,自动发出

警报并通知园区管理机构以及相关企业<sup>[5]</sup>。该机制还要兼顾网络延迟和响应效率,实现高频数据更新、快速反馈,以便尽早发现潜在的失衡并及时干预。

#### 3.2 应急响应机制设计

在高度耦合的循环经济系统中,任何一个节点出现故障都有可能引发企业间的连锁反应,因此,应急响应的设计需要体现出系统的整体性、灵活性和联动性。园区还应该形成园区级、企业级以及政府监管级的多层次联动机制,在事故发生之初根据风险等级采取不同的应对措施;预案中应包含故障传播模型,利用复杂网络分析和事故传播模拟来确定不同情景下的应对路径。应急体系要包含演练机制,定时开展联动演练仿真典型故障场景(如管廊泄漏、循环中断、公共中转站事故等),检验预警触发、信息通报、资源调配、指挥调度的效率和效果。指挥平台要有统一调度的功能,把监测数据、资源分布、处置方案汇聚起来,还要支撑迅速切换备用循环路径或者备用设施。恢复阶段要有复工流程,包含确认危险源消除、核实循环链条恢复、重新检查安全设施状况及重启生产。该响应机制在保证循环效率的同时,提高了系统的弹性和韧性,为化工园区低碳循环转型构筑起可靠的防线。

### 4 结语

化工园区在“双碳”背景下践行循环经济模式是绿色发展和产业升级的必由之路,而这条路径也对区域安全治理提出了更高的要求。应当矫正过度耦合的产业结构,改良功能区空间布局,加强安全管理的匹配,于从而在提升资源循环效率的同时防范系统性事故。未来,园区要继续把循环经济同安全风险识别、监测、应对结合起来,打造高效且韧性较强的安全治理体系。

#### 参考文献:

- [1] 黄文宏,冯洋洋,姜珊珊,等. “双碳”背景下循环经济发展模式对化工园区区域安全风险影响研究[J]. 工业安全与环保,2025,51(09):108-112.
- [2] 荣燕燕. 化工园区循环经济发展经验探析[J]. 上海节能,2022(07):818-820.
- [3] 刘凤,杨志华. 关于建设化工区内循环经济发展模式的研究[J]. 福建化工,2015(8):203-206.
- [4] 郭燕敏. 循环经济在化工园区规划中的应用策略[J]. 中国商界,2025(02):138-139.
- [5] 张帅,任寒寒,王晓晨. 化工园区循环经济产业链分析与优化[J]. 化工管理,2025(18):13-16.

#### 作者简介:

海云军(1985-),男,回族,宁夏吴忠人,本科,中级职称,研究方向:安全评价。