

# Thinking about the application of safety systems engineering theory in safety evaluation of hazardous enterprises

Mingpeng Zheng

China Inspection Group Kangtai Safety Technology Co., Ltd., Hubei Branch, Wuhan, Hubei, 434400, China

## Abstract

In the production process of hazardous chemical enterprises, in order to ensure product quality and smooth production work, sufficient attention needs to be paid to safety management. In the process of continuous development of modern chemical production, there have been significant changes in the industrial scale and organizational management of hazardous chemical enterprises. In the safety evaluation of hazardous chemical enterprises, the effective application of safety system engineering theory can further improve the efficiency of safety management and have a certain positive effect on the overall internal safety evaluation environment. Based on this, this article mainly discusses the specific concepts of safety system engineering theory and its importance in the safety evaluation of hazardous chemical enterprises, and takes A hazardous chemical enterprise as an example for case analysis.

## Keywords

Safety Systems Engineering Theory; Hazardous chemical enterprises; Safety evaluation; application

# 安全系统工程理论在危化企业安全评价中的运用思考

郑明朋

中检集团康泰安全科技有限公司湖北分公司, 中国 · 湖北 武汉 434400

## 摘要

在危化企业的生产过程中, 为了保障产品质量和生产工作的顺利开展, 需要对安全管理工作给予足够的重视。在现代化工生产不断发展的过程当中, 危化企业的产业规模以及组织管理工作都出现了较大的变化。危化企业的安全评价中, 针对安全系统工程理论的有效应用, 可以进一步提高企业的安全管理效率, 在整体的内部安全评价环境提升上也有一定的积极作用。基于此, 本文主要论述了安全系统工程理论的具体概念以及其在危化企业安全评价当中的重要性, 并以A危化企业为例进行了案例分析。

## 关键词

安全系统工程理论; 危化企业; 安全评价; 运用

## 1 引言

随着时代发展的步伐, 化工行业不断扩张其生产版图, 然而这样的扩张同时也带来了安全隐患问题。在化工生产的全过程中, 无论是原料、中间产品还是最终产品, 都普遍具有易燃易爆和高度毒性的特性, 被归类为危险化学品。化工生产所采用的工艺流程极为繁杂, 高温、高压或是极低温度的操作环境都极易引发安全事故。鉴于此, 安全领域专家强调, 为了有效预防化工生产过程中的安全事故, 必须重视风险分析与评估工作, 尤其是对于危险化学品企业而言, 建立全面的危机风险安全评估机制至关重要。该机制需针对化工生产的各个环节, 如生产、仓储、物流等, 实施严格的安全评估, 以减少化工领域安全事故的发生<sup>[1]</sup>。

## 2 安全系统工程理论的概念

安全系统工程的理念是将系统化的思维融入安全工作中, 借助系统工程的策略与技术, 对安全问题和其影响因素进行深入的剖析与评估, 构建起一套全面的安全管理系统, 并确保其持久有效地运作。简而言之, 就是在系统化思维的引导下, 有意识地采用系统工程的原则和技术手段来完成安全管理整体任务。在危险化学品领域, 安全系统工程的应用能够整合多种分析手段, 深入研究那些频繁发生且危害巨大的事故背后的成因机制, 创建相应的伤害模型, 并通过定性与定量的评价策略进行系统的分析。这种方法能够对危化企业事故发生的直接原因和复杂系统进行细致的分析, 采取针对性的预防措施, 具备显著的实际应用价值。通过定量的计算手段, 可以明确事故的危险属性, 制定出有效的控制策略, 这不仅确保了控制计划的实施可行性, 还能进一步优化控制方案。依据危化企业的生产特性及其显著的危险性特征, 运用多样化的技术手段进行全面的风险识别和定性与定

【作者简介】郑明朋(1988-), 男, 中国湖北武汉人, 本科, 工程师, 从事工业企业安全研究。

量的评估,探讨危化企业危险化学品的危险性评估方法论,并依此打造出评估模型。

### 3 安全系统工程理论在危化企业安全评价的作用

随着化工产业规模的持续扩张,潜在的安全隐患也在逐渐增加。在化工领域,大部分生产活动都在高温高压的条件下对易燃易爆且具有毒性的化学品进行处理,导致安全隐患重重。频繁发生的安全事故已成为危险化学品企业最突出的特点。

对危化企业而言,安全评估构成了预防事故发生的核心环节,而安全系统工程则是在此评估过程中至关重要的策略。化工生产中的不同阶段和操作步骤紧密相连,彼此影响,安全系统工程的方法论在于通过全面的分析与评估,揭示企业安全隐患,实时进行安全措施的设计、调整和完善,预防性地解决生产安全问题,推动企业的整体系统性发展。此外,它还有助于积累企业运行的可靠性数据,确立行业标准,便于监管部门有效监控危化企业的生产活动,并且助力于理智地决策安全投资,提升安全技术人员的专业能力<sup>[2]</sup>。

## 4 案例分析

### 4.1 企业危险因素分析

在 A 类危险化学品企业,对生产、操作、储存及物流环节中的危害要素进行有效辨识是保障安全的核心。这些企业生产过程中使用的化学品往往具备易燃易爆、毒性等风险属性。比如,在制造阶段可能遇到极端的温度和压力条件,从而增加了化学品泄漏或爆炸的可能性。此外,在储存与运输阶段,同样存在着碰撞、泄露等安全风险。

物理性风险因素包括:极端温度、过高压力、放射性等。极端温度可能会加剧化学品的蒸发速度,从而提升爆炸的可能性;在高压条件下,一旦设备发生故障,极易造成严重的泄漏事件;而放射性物质对人体健康可能造成长期且严重的影响。

危险化学品的风险要素:涉及易燃易爆化学品、有毒化学品以及具有腐蚀性的化学品等类别。诸如汽油、天然气等易燃易爆物品,火灾及爆炸事故的风险较高;氰化物、苯等有毒化学品,对人体健康极具威胁,可引起中毒甚至窒息;而强酸、强碱等腐蚀性化学品,不仅对人体组织有害,同时对设备结构也有很大的损害力。

生物性危害元素:虽然在化工领域较为少见,但其潜在风险不容小觑。如某些化学品可能成为细菌、真菌等微生物的滋生源,对人类健康及生态环境构成潜在危害。

人为风险因素:人为的失误与管理疏漏同样是造成风险的关键因素。举例来说,操作人员若不遵循标准作业程序,易导致事故发生;而管理上的不足可能会导致安全措施不力,从而提高事故发生的可能性。

经过对这些风险和不利条件的辨识,能够为接下来的安全评审与风险抑制工作奠定基础,进而有力地减少意外发生的风险,确保员工的身心健康和公司的资产不受损害。

### 4.2 安全系统工程理论在 A 危化企业安全评价中的应用

#### 4.2.1 故障树分析 (FTA)

故障树分析技术 (FTA) 作为一种定性的评估手段,广泛应用于各类项目的风险评估之中,其通过构建一种由果溯因的逻辑树状图,对事故进行深入的品质与数量分析。该方法的核心宗旨在于探寻事故产生的根本因素及其组合,常用于事故的探究或假设推演。自 1978 年我国引入故障树分析技术以来,该技术已在危险化学品行业广泛应用并得到积极推广。故障树分析作为安全系统工程领域的关键分析工具,能够有效识别和评估各类系统的风险性,预测事故发生、潜在的不安全要素以及可能导致的后果,并探索成本效益最高的预防策略及措施。

各级别之间逻辑严密,“反应失控”源于“冷却系统故障”“搅拌故障”以及“温度监测失效”三者通过“与门”逻辑同时作用的结果;“物料泄漏遭遇火源”则是由“管道破裂或”“阀门密封不良”导致物料外泄,进而与外部火源通过“与门”逻辑搭配构成风险状况,最终导致设备发生爆炸。

故障树基本事件重要度排序见表 1

表 1

基本事件	重要度数值	排序
冷却系统失效	0.28	1
搅拌故障	0.22	2
温度监测失灵	0.2	3
管道破损	0.15	4
阀门密封损坏	0.1	5
外部明火源	0.05	6

#### 4.2.2 安全检查表分析法 (SCL)

依据危化企业法规标准、生产工艺、设备设施特性编制检查表。针对 A 企业危化品储罐区部分检查内容示例如下(表 2)。

在对危险化学品企业进行安全评估时,基于安全系统工程的理论,首要任务是掌握企业的安全状况基础信息。经过对安全状况的详细剖析,我们发现不少设备在安全间距的管控上存在疏漏,且参照的标准也不尽明确。目前,对危化企业设施的安全间距评估,大多依照《石油化工企业设计防火规范》和《精细化工企业工程设计防火标准》等文件,若这些文件未作规定,则会参考《建筑设计防火规范》等其他相关规范。然而,某些安全技术评估机构在进行评估时,仅片面地参考《建筑设计防火规范》,导致安全间距设置不当,为企业带来了潜在的安全风险<sup>[3]</sup>。

表 2 A 企业危化品储罐区部分检查内容

检查项目	检查标准	检查结果	风险评级	整改措施
储罐材质	符合防腐蚀、抗压设计要求,无明显破损、变形	部分储罐底部轻微腐蚀	中	立即安排修复,加强定期测厚检查
安全附件(安全阀)	定期校验,校验期内,起跳压力正常	某安全阀超期未校验	高	即刻送检,制定严格校验计划,增设校验提醒标识
防火堤	完整无裂缝、孔洞,高度满足规范	防火堤一处有小裂缝	低	限期修补裂缝,每周巡检

针对这种情况,危化企业在制定安全评估报告时,需要深入分析现有的安全问题,但目前普遍存在安全评估报告内容雷同的问题,反映出对评估对象和单元的深入分析不足,评估过程的针对性有待加强。因此,在编制安全评估报告时,不仅要全面考虑法律法规和安全评估标准,还需开展定量评估,运用多种定量评估手段,例如事故树分析、事故后果模拟、道化学火灾模型等,并在计算过程中科学选择参数,以确保安全评估结果的准确性和针对性。若采用事故树分析方法,应在定性分析的基础上,计算最小割集、最小径集以及基本事件结构的重要性,并进行量化分析。最终形成

的评估报告结论不应过于简化,而应详尽完整地表述。

#### 4.2.3 风险矩阵评估

风险评级矩阵分析法涉及在风险评估过程中,按照风险事件可能带来的影响严重度及其发生概率的不同层级进行分类。通过构建一个以影响程度作为列,以发生概率作为行的表格,该表格用于判定系统风险的可接受水平。此技术适用性广泛,能够针对多种危险情况进行预测与评价。这一方法有助于评估者做出更加客观的判断,并科学地预测潜在的风险,从而提升危险化学品企业安全评估的针对性和有效性<sup>[4]</sup>。

表 3 A 危化企业风险矩阵定位及管控措施

作业场景	发生可能性等级	后果严重程度等级	风险等级定位	管控措施
设备日常巡检	中	低	低风险	抽检记录,季训考核
危化品装卸	高	高	高风险	双人双岗,应急演练
受限空间作业	中	中	中风险	审批核查,专人监护

#### 4.3 对策建议

经过对储存于罐区内的物料进行物理与化学特性的深入研究,以及对爆炸事故特性的详尽剖析,可以明确罐区存在极高的风险。其中,火灾和爆炸是最主要的危险和有害要素。采用道化学公司的火灾和爆炸指数评估方法对三乙胺储罐进行风险评估,结果显示其DOW风险指数处于较高水平。再结合池火灾伤害模型分析,可知一旦发生事故,受影响的范围将相当广泛。通过运用多样化的评估技术对罐区进行综合性的风险评估。依据储罐的预先风险分析结果、安全审查清单数据,以及爆炸事故可能造成的伤害区域和破坏范围的估算,特制定以下安全策略和预防措施。

于罐区开展涉及明火的作业,须严格遵循相应的动火规程;未采取相应防火措施的汽车、拖拉机等机动车不得驶入罐区,同时禁止在区内吸烟或使用明火;还需预防铁质工具在罐区内产生火花,并禁止穿着带铁钉的鞋类进入。罐区内必须使用符合防爆标准的电气设备,并且安装可靠的防雷系统;装卸作业时,应控制物流流速,并采取接地措施以消除静电。在实施上述防火防爆措施的基础上,还需强化日常

安全管理,员工需严格遵循安全规章制度和操作流程,通过这些措施,可以有效地控制人的不安全行为和物的不安全状态,从而预防罐区火灾或爆炸事故的发生。

#### 5 结语

危化企业广泛采纳安全评估手段于生产和运营环节,这已成为安全评估的核心部分。在危化企业的安全评估过程中,运用安全系统工程理论显得尤为关键,目前该做法在行业内已获得广泛实施。展望未来,还需加大对这一方法的推广和运用力度。

#### 参考文献

- [1] 刘辉,单珣.安全系统工程理论在煤矿安全管理中的应用[J].内蒙古煤炭经济,2023,(06):92-94.
- [2] 魏巍,申铁军.基于钱学森系统工程理论的山西省公路安全系统微观分析[J].交通科技与管理,2023,4(05):165-167.
- [3] 钟俊.安全系统工程理论在危化企业安全评价中的应用策略[J].中国战略新兴产业,2022,(05):170-172.
- [4] 崔铁军,李莎莎.系统故障演化过程的可拓学原理[J].广东工业大学学报,2020,37(05):1-6.