

## 港口危险化学品安全监管现状及对策

危险化学品,是指具有毒害、腐蚀、爆炸、燃烧、助燃等性质,对人体、设施、环境具有危害的剧毒化学品和其他化学品。危险化学品在其生产、储存、运输、使用和处理中,一旦操作或管理不当,就会对环境 and 人类造成极大伤害,并会导致难以修复的后果。随着世界经济一体化的不断发展,各大港口对能源燃料、化学化工原料集装箱的吞吐量不断加大,人们在享受其带来的各种功能和便利的同时,也面临着诸多安全隐患和事故。

虽然中国对危险化学品的安全监管越来越重视,但近年来安全监管工作仍存在一些纰漏和不足,尤其是在运输储存环节其安全监管相对更为薄弱,各种大小事故频发。因此,危险化学品的储运物流安全监管工作任重道远。现代国际物流的80%是通过海运来完成的,没有发达的航运业和港口建设就无法满足日益扩张的国际贸易需求。随着中国改革开放的不断深化和经济的飞速发展,中国的集装箱运输业发展迅速,其吞吐量已经超越美国,位居世界首位,加之高环境风险、高安全隐患的化学品制造业也在中国集聚,造成中国港口危险货物作业量在其装卸与储运过程中存在很高的风险。本文分析中国当前港口危险化学品安全监管情况,梳理装卸与储运危害因素并提出监管建议。

### 1 中国港口危险化学品事故发生情况

由于危险化学品本身具有易燃、易爆、毒害、腐蚀、放射性、污染性等特性,致使港口设施设备遭受损毁,并带来环境危害以及人员伤亡事故,港口危险化学品安全生产形势非常严峻。近十年来发生的港口危险化学品典型事故如下:2007年7月2日,盐田港集装箱危险化学品泄漏事故;2009年6月16日,洋口港液化天然气接收事故;2010年7月3日,青岛港集装箱自燃事故;2010年7月16日,大连港输油管道爆炸事故;2012年4月1日,上海洋山港船载危险品滴漏事故;2012年8月3日,盐田港集装箱毒气泄漏事故;2013年5月4日,青岛港危险品库起火爆炸事故;2013年10月12日,宁波港油船爆炸事故;2015年8月12日,天津东疆保税港区瑞海国际物流有限公司危险品仓库发生特别重大火灾爆炸事故。港口危险化学品现场安全管理是港口安全管理工作的重点,危化品的储存构成重大危险源,实现危化品的安全管理对构建和谐、促进企业稳定具有重大意义。

### 2 国内外研究现状

国内外关于危险化学品安全监管与应急处置方面的研究主要集中在运输风险评估与安全监管、运输路径选择与应急机制、危险化学品事故分析方法与处置技术、港口危险品码头安全监控与预警系统等方面。

#### 1) 危险化学品运输风险评估与安全监管。

首先,通过安全漏洞评估法识别危险品的运输风险以及分析不同运输方式中相对风险高低及其影响<sup>[1-2]</sup>;其次,通过评估危险品已运输模式以及多式联运风险特点以确认合理的安全运输能力和存储容量<sup>[3]</sup>;然后,基于层次分析和模糊综合评价、粗糙集等方法评估区域危险品道路运输以及海运事故主次因素<sup>[4]</sup>;再次,通过分析危险化学品安全监管网络中存在的法律法规、监管部门信息共享、合作协调机制等方面存在的突出问题,提出构建危险化学品全过程无缝隙安全监管体系。

#### 2) 危险化学品运输路径选择与应急机制。

首先,同时考虑运输时间限制与出发等待时间弹性,提出时变条件下危险品运输路径双层规划模型以及基于连通可靠性的危险品运输路径选择方法<sup>[5]</sup>;其次,根据顾客给定的时间窗需求建立危险品物流中多配送中心、多目标定位—路径问题优化并基于风险分布公平性对公路危险品运输全局路径进行优化;再次,为使地方政府所辖区域内的危险品运输风险最小化,通过建立线性规划模型求解其网络优化问题<sup>[6]</sup>。此外,研究多部门联合监管和应急管理中的府际合作问题,提出基于信息联网的统一危险化学品运输监管机制和实际运行模式。

#### 3) 危险化学品事故分析方法与处置技术。

首先,根据危险化学品物质特性分类和中间演化事件场景,构建常见的各类危险化学品发生泄漏初始事件后的通用事件树并对各种中间演化事件概率进行取值研究<sup>[7]</sup>;其次,考虑到传统的系统安全分析方法在风险评估中存在一定局限性,根据贝叶斯双向推理进行故障预测和诊断,快速、准确识别系统薄弱环节<sup>[8]</sup>;再次,为有效控制事故态势,应坚持行车单一指挥、调度统一指挥的“两个一”原则,从应急预防和准备、响应以及处置办法等方面提出陆域运输危险化学品应急处置方案。

#### 4) 港口危险品码头安全监控与预警系统。

首先,通过集成RFID、射线和中子探测系统以避免对集装箱内所有危险品货物进行进一步和不必要的安全检测<sup>[9]</sup>;然后,结合港口物流枢纽危险品作业特点构建港口危险品码头监控与预警系统并实现对于车船动态的全程监管<sup>[10]</sup>;再次,通过构建多代理结构的集装箱码头危险品实时码垛系统以实现每个危险品集装箱的精准定位和安全检查<sup>[11]</sup>。

#### 5) 其他典型性事故分析模型与方法借鉴。

在煤矿瓦斯爆炸事故方面,提出了行为安全“2-4”新型现代事故致因链模型,并运用混沌理论建立瓦斯爆炸事故综合论事故模型<sup>[12]</sup>。在高速铁路事故方面,通过建立人-机-环境系统可靠度数学模型分析高速铁路运营系统的可靠度并引入工业数据

分类方法来分析反向传播神经网络和灰色模型在高速铁路安全运营事故预测过程中的适应性。在飞行安全事故方面,针对复杂系统的故障安全风险将危险度评价法、HAZOP分析有机结合构建复杂工艺系统安全评价模型<sup>[13]</sup>。此外,在放射性物质港口事故分析方面,还通过引入时空数据并借助Sterne、Petri等工具预测分析放射性物质扩散及对海水和海洋物种污染<sup>[14]</sup>。

### 3 存在问题

综合国内外研究现状,发现国内外研究动态呈现如下特点。

首先,大多数文献重点研究了确定性条件下的危险化学品运输事故风险,但通常对于人的操作行为和日常管理等众多不确定因素作了简化处理。实际上,港口危险化学品事故的发生在很大程度上是受到不确定性因素的影响。因此,在研究过程中深入考虑不确定性因素以及适应性学习和系统涌现将使安全监管更符合实际。此外,港口危险化学品系统还具有复杂动态性和随机演化性的内在机理,需要在安全监管中进一步克服传统事故模型在确定函数上增加随机扰动项的不足。

其次,学术界对港口危险化学品安全监管与应急处置方面的研究日益重视,但目前还主要集中在港口内的某一环节和单一主体,如危险化学品集装箱堆场或仓库的规划布置和监控预警。实际上,港口危险化学品作业环节较多,如装卸、运输、堆垛、拆垛、存储等任何单一环节存在隐患就可能导致系统整体发生重大事故;而在某一作业环节中还涉及多个操作主体,如液化危险品装卸就至少包括船舶、码头和罐区3个相对独立的操作方。因此,港口危险化学品作业环节的通畅衔接和操作主体的沟通协调则是安全监管与应急处置的关键。

在环境污染和能源危机的新形势下,绿色港口是适应社会发展的必由之路。与国外绿色港口相比,中国绿色港口的建设起步较晚、进展较慢。要缩小与国外的差距,就要学习和借鉴国外绿色港口发展的经验与方法,找出一条适合中国绿色港口发展的新型之路。虽然近年来中国在化学品储运安全管理方面虽已取得一定成果,但与世界先进水平的安全管理规范体系仍存在不小的差距。目前,在危险化学品储存环节,中国缺少关于气体、可燃液体、氧化剂和有机过氧化物的相关储存标准;对于危险化学品的存储方式、隔离距离也没有明确规定;缺少对泄漏控制、室外储存、通风等具体要求。在危险化学品运输环节,中国交通运输部在2011年陆续发布了关于道路运输车辆卫星定位系统的标准,但是港口化学品储运的全程定位监控管理还未完全建立。因此中国危险化学品储运安全管理工作还是滞后于经济和社会的发展,尚不能为经济和社会发展及对外开放提供足够的支撑和保障。中国应尽快完善相关法规、标准和技术规范,使之与国际接轨,提高中国危险化学品的储运安全管理水平。

### 4 对策建议

危险化学品在其装卸与储运过程中的危害因素调研主要采取其危害性辨识和危险性分析相结合的方法。所谓危害性是指危险化学品因事故造成人身伤害、环境污染或财产损失的特性,危害性是其潜在的固有特性,只能通过预先辨识和采取有效措

施来加以防范。危险性指事故发生的可能性(事故概率),危险化学品的危险性大小除了与其固有的危害性有密切关系之外,还取决于它的蒸气压、水溶性、粘度、包装、装卸形式与工艺以及安全监管水平等客观因素。人们可以通过预先辨识化学品的危害性,并采取各种预防措施将其危险性降低到可接受的程度。鉴于危险化学品品种多达3000余种,作业方式多样,危害性各异,对港口危险化学品的监管和应急处置方案提出如下建议。

1) 探索建立重点监管危险化学品名单制度。

**包装危险化学品:**根据联合国和中国的危险化学品名单,结合近年来进出港化学品清单,对包装危险化学品的潜在危害性进行分析,通过危险性分级,筛选出拟重点监管的包装危险化学品名单。

**散装液体危险化学品:**根据交通与港口管理局颁发的散装液体危险化学品作业认可证认定的品种,通过潜在危险性鉴别评估,筛选出拟重点监管的液体散装危险化学品名单。

**重大危险化学品:**根据《联合国关于危险货物运输的建议书》中提出的有严重后果危险货物的定义,结合拟重点监管的包装与散装危险化学品名单,制定有严重后果的危险化学品名单。

2) 对港口有严重后果的危险化学品提出混放与存量建议。

对于可能造成燃烧爆炸范围超出港口作业场所和因泄漏产生的毒气云扩散至周围社区的重大事故的危险化学品,采用NF-PA的危险性分级和ERG2016版的毒气云扩散距离计算和比较危险性,从而对有严重后果的危险化学品提出混放与存量建议。

3) 对港口散落危险化学品进行风险鉴别并提出处置建议。

结合危险废弃物危险性鉴别技术和场地调查等相关技术,结合港口散落现场实际情况,建立港口散落危险化学品现场样品采集运转体系、散落危险化学品危害性鉴定评估体系和港口散落场地后期处理处置评估体系,并最终形成散落危险化学品处置建议。

4) 建立与国际接轨的港口危险化学品管理规范。

建立与国际接轨的电子标签体系,采用动态管理链模式对名单和电子标签进行定期补充、修订与更新,提供有效的手段帮助危险化学品港口作业经营单位和作业人员用快捷的方法获得有关信息,从而保证劳动者的知情权,以人为本,提高安全监管与应急反应的水平。

提升港口危险化学品安全监管与应急处置水平是实现中国“绿色港口”战略的重中之重,也是“安全港口”“智慧港口”“绿色港口”三大战略顺利实现的坚实基础和有力保障。针对危险化学品港口全程安全监管的深入研究是提升中国港口危险化学品事故预防控制的关键所在,通过对危险化学品危险性鉴别分级形成管理规范可以有效遏制港口重大事故。从进出港化学品清单和散落化学品鉴别复杂适应系统视角基于非常规事故情景推演技术并集成风险动态评估技术与危害分析控制技术实现危险化学品港口全程安全监管和应急处置一体化研究,并结合仿真实验为科学有效和迅速及时的应急处置提供决策依据,对于减少危险化学品事故造成人员伤亡、财产损失以及生态破坏具有重要意义。

参考文献(References)

- [1] Reniers G L L, Dullaert W. A method to assess multi-modal Hazmat transport security vulnerabilities: Hazmat transport SVA [J]. *Transport Policy*, 2013, 28(1): 103-113.
- [2] Kauker F, Kaminski T, Karcher M, et al. Model analysis of worst place scenarios for nuclear accidents in the northern marine environment[J]. *Environmental Modelling & Software*, 2016, 77: 13-18.
- [3] Chen G, Wang S, Tan X. Evaluation model for safety capacity of chemical industrial park based on acceptable regional risk [J]. *Chinese Journal of Chemical Engineering*, 2015, 23(1): 121-127.
- [4] 高举红, 赵天一. 基于粗糙集理论的危险品运输风险分析[J]. *安全与环境学报*, 2015, 15(1): 40-43.
- [5] 种鹏云, 帅斌, 尹惠, 等. 基于连通可靠性的危险品运输路径选择问题 [J]. *中国安全科学学报*, 2014, 24(5): 92-97.
- [6] Brown A A. Sea transport of irradiated nuclear fuel, plutonium and high-level radioactive wastes[J]. *Safe and Secure Transport and Storage of Radioactive Materials*, 2015, 11: 155-169.
- [7] 官云飞, 兰冬东, 李晔, 等. 大连市近岸海域溢油污染事故风险受体脆弱性评价研究[J]. *海洋开发与管理*, 2015, 32(10): 66-68.
- [8] 王贝贝, 许开立, 刘雨蒙, 等. 基于贝叶斯网络的生物质气化中毒事故分析[J]. *工业安全与环保*, 2015, 41(3): 75-77.
- [9] Avtonomov P, Kornienko V. Integrated system for detection of dangerous materials and illicit objects in cargoes[J]. *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 2015, 195: 2777-2785.
- [10] 史婧, 邵文渊, 谢清霞, 等. 基于车船动态的港口危险品全程监管 [J]. *港口科技*, 2015(11): 1-10.
- [11] Liu Y, Rausand M. Proof-testing strategies induced by dangerous detected failures of safety-instrumented system[J]. *Reliability Engineering & System Safety*, 2015, 145: 366-372.
- [12] 张津嘉, 许开立, 王贝贝, 等. 瓦斯爆炸事故演化机理的综合论事故模型研究[J]. *中国安全科学学报*, 2015, 25(4): 53-57.
- [13] 蒋平, 邢云燕, 王冬, 等. 复杂系统故障安全风险评价方法[J]. *国防科技大学学报*, 2014, 36(6): 117-122.
- [14] Babrauskas V. Explosions of ammonium nitrate fertilizer in storage or transportation are preventable accidents[J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2016, 304: 134-149.

文/王瑛, 商照聪, 武娟

作者简介: 王瑛, 上海应用技术大学, 教授; 商照聪, 上海化工研究院, 教授级高级工程师; 武娟, 上海化工研究院, 高级工程师。

(责任编辑 王丽娜)