

# 苯乙烯储运过程泄漏检测技术与应急处理研究

李政 赵桐 徐帅 (青岛海湾化学股份有限公司, 山东 青岛 266409)

**摘要:** 乙烯是重要的石油化工基础原料, 在储存以及运输时可能发生泄漏, 容易引起火灾、爆炸以及环境污染等严重事故。文章分析苯乙烯的物理化学性质及其聚合反应过程, 研究红外热成像、光纤传感等先进检测技术在储存运输中的使用情况并提出结合氮封系统、温度控制以及阻聚剂管理的综合防控方法, 研究发现把多种检测技术和科学应急处理措施结合起来, 能够有效减少苯乙烯储运中的安全风险, 为石化行业的安全生产提供技术支持。

**关键词:** 苯乙烯; 泄漏检测; 应急处理; 储运; 聚合反应; 红外热成像

**中图分类号:** TQ241.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-5167 (2026) 012-0136-03

## Study on leakage detection technology and emergency treatment of styrene storage and transportation process

Li Zheng, Zhao Tong, Xu Shuai (Qingdao Gulf Chemical Co., Ltd., Qingdao Shandong 266409, China)

**Abstract:** As an important basic petrochemical raw material, ethylene has the risk of leakage during storage and transportation, which may cause serious accidents such as fire, explosion and environmental pollution. In this paper, the physical and chemical properties of styrene and its polymerization mechanism were systematically analyzed. The application of advanced leakage detection technologies such as infrared thermal imaging and optical fiber sensing in the field of storage and transportation was studied. A comprehensive prevention and control strategy based on nitrogen sealing system, temperature control and polymerization inhibitor management was proposed. The research shows that the combination of multi technology integration detection means and scientific emergency management can effectively reduce the safety risk of styrene storage and transportation process, and provide technical support for the safety production of petrochemical industry.

**Keywords:** styrene; Leak detection; Emergency treatment; Storage and transportation; Polymerization reaction; Infrared thermography

苯乙烯 (Styrene,  $C_8H_8$ ) 是一种重要的有机化工原料同时用在聚苯乙烯、ABS 树脂、丁苯橡胶等合成材料生产中。我国石化工业发展快, 苯乙烯的产量以及运输储存数量每年都在增长, 安全问题越来越受到重视, 苯乙烯容易燃烧、容易聚合、有毒, 在储存以及运输时如果发生泄漏, 不仅仅带来经济损失, 还可能引起火灾爆炸、环境污染事故。

在近些年里, 国内外出现多起苯乙烯储存、运输事故。2020 年 8 月, 唐山一家公司的苯乙烯储罐因为发生聚合反应而出现凹陷变形; 2012 年 5 月, 惠州大亚湾石化区的苯乙烯储罐发生火灾, 这些事件显示出传统检测方式存在不够并暴露出应急处理措施不够完善, 因此研究更先进的泄漏检测技术以及更合理的应急处理办法, 对于确保石化行业安全运行具有重要作用。

### 1 苯乙烯物化特性与危险性分析

#### 1.1 物理化学性质

苯乙烯分子量为 104.14, 是无色透明油状液体, 具有特殊的芳香气味。其主要物理化学参数如表 1 所示。

表 1 苯乙烯主要物理化学参数

参数名称	数值	参数名称	数值
分子式	$C_8H_8$	分子量	104.14
外观	无色透明液体	密度	$0.909g/cm^3$
沸点	$145.2^{\circ}C$	闪点	$31^{\circ}C$
爆炸上限	6.1%	爆炸下限	1.1%
自燃温度	$490^{\circ}C$	适宜储存温度	$18^{\circ}C$

#### 1.2 危险特性分析

苯乙烯的危险性主要体现在以下三个方面: 一是易燃易爆性, 如图 1 所示, 其蒸气与空气可形成爆炸性混合物, 爆炸极限为 1.1%~6.1% (体积分数), 闪点  $31^{\circ}C$ , 遇明火、高热或氧化剂接触有燃烧爆炸危险; 二是聚合反应性, 苯乙烯分子中含有活泼的双键, 在常温下即可发生缓慢的热激发聚合反应, 该反应为放热反应, 若热量不能及时散发, 将导致温度升高、反应加速, 形成恶性循环; 三是毒性危害, 苯乙烯对眼及上呼吸道有刺激作用, 长期接触可引起神经衰弱综合征。

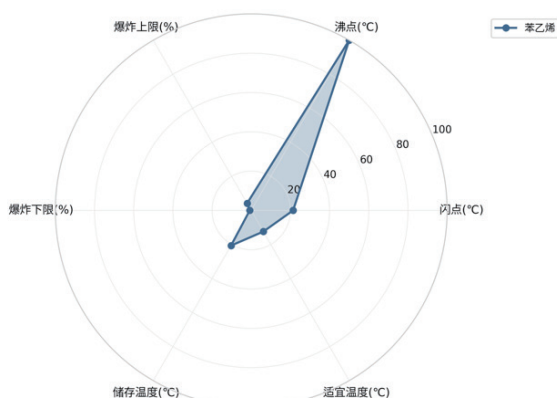


图1 苯乙烯关键物性参数分析

## 2 泄漏检测技术研究

### 2.1 传统检测技术

传统的苯乙烯泄漏检测技术主要包括催化燃烧传感器、电化学传感器和PID光离子检测器等。催化燃烧传感器利用可燃气体在催化剂表面燃烧产生的热量变化进行检测，具有成本低、稳定性好的优点，但存在选择性差、易受干扰等缺点。电化学传感器基于气体在电极表面的氧化还原反应产生电流信号，具有灵敏度高的特点，但使用寿命有限，需要定期校准。PID检测器利用紫外光离子化原理，对VOCs具有较高的检测灵敏度，响应速度快，但检测范围受限。

### 2.2 红外热成像检测技术

红外热成像气体检测技术(Optical Gas Imaging, OGI)是近年来发展迅速的先进检测手段。该技术基于气体分子对特定红外波段的特征吸收原理，利用高灵敏度制冷型中波红外探测器(T2SL)，在 $3.2\text{--}3.5\ \mu\text{m}$ 波段对苯乙烯等VOCs气体进行成像检测。如图2当泄漏气体存在时，会吸收背景辐射的红外能量，在热成像图上呈现为与周围环境有明显温差的“烟羽”状区域，实现泄漏点的可视化定位。

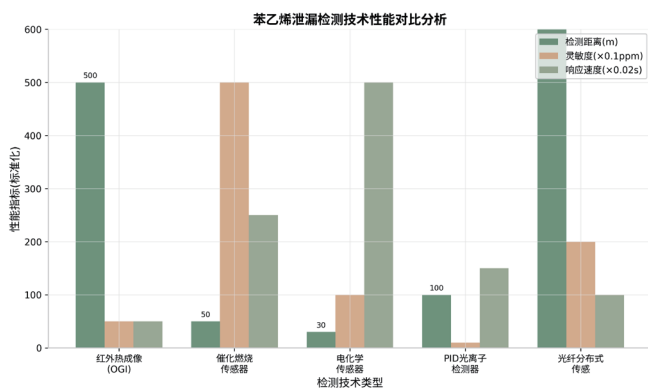


图2 苯乙烯泄漏检测技术性能对比

### 2.3 LDAR 泄漏检测与修复

泄漏检测与修复(Leak Detection and Repair, LDAR)是目前国际上通用的VOCs无组织排放控制技术。根

据《工业企业挥发性有机物泄漏检测与修复技术指南》(HJ 1230-2021)要求,石化企业应定期对泵、阀门、法兰等密封点进行定量检测,及时发现并修复泄漏点。研究表明,实施LDAR后石化企业VOCs排放量可降低56%以上。对于苯乙烯储运设施,LDAR检测应重点关注储罐呼吸阀、装卸口、管道连接处等易泄漏部位。

## 3 聚合反应防控技术

### 3.1 聚合反应机理

苯乙烯的聚合反应是一种自由基链式反应,涵盖链引发、链增长以及链终止三个步骤。在储存时如图3所示:苯乙烯受热激发生成自由基因此引发聚合反应,这个反应是放热的,每摩尔释放约73千焦热量,当温度超过 $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,聚合速度明显变快;温度升到 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上后,反应变得剧烈,可能在很短时间内丢失控制。

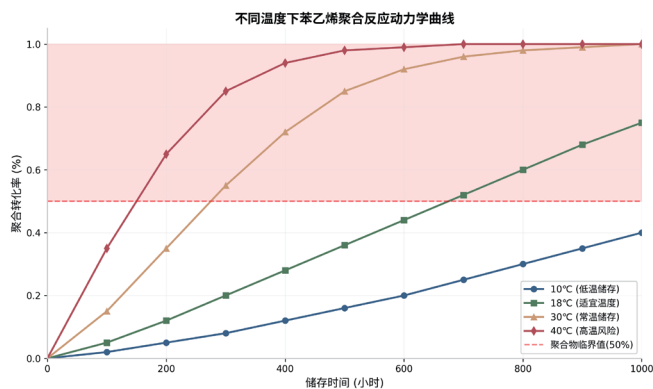


图3 不同温度下苯乙烯聚合反应动力学曲线

### 3.2 阻聚剂技术

对叔丁基邻苯二酚(TBC)是苯乙烯储存时最常用的阻聚剂。TBC通过捕捉聚合反应中引发的自由基,打断链增长过程因此阻止聚合反应发生,工业上一般把TBC的浓度控制在10到50ppm之间,实验结果显示含有0.005% TBC的苯乙烯在 $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下存放三个月,其聚合程度可以保持在0.2%以下,需要特别注意的是,TBC只有在有氧气存在的情况下能力发挥最好的阻聚作用因此储罐内必须维持一定量的气相氧气。

### 3.3 温度控制与氮封系统

控制温度是防止苯乙烯发生聚合的重要方法。按照行业标准,苯乙烯适合在大约 $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的温度下储存,储罐需要安装冷冻循环水冷却系统,把罐内温度保持在安全范围之内,氮封系统通过向储罐顶部空间注入氮气如图4所示,使内部保持轻微正压(0.2到0.5kPa),这样可以阻止空气进入引发聚合反应同时也能减少苯乙烯蒸汽的逸出。

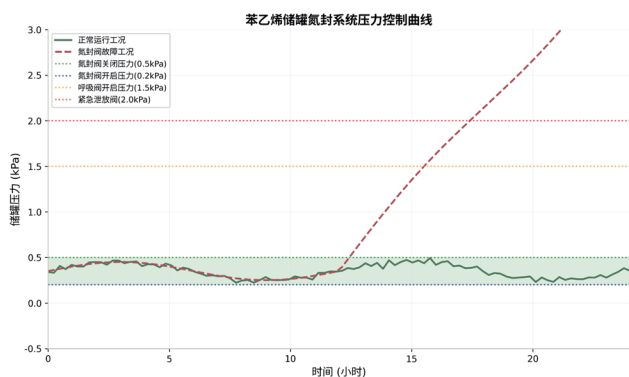


图4 苯乙烯储罐氮封系统压力控制曲线

## 4 泄漏应急处理技术

### 4.1 应急响应分级

按照泄漏数量以及危险程度，苯乙烯泄漏事故可以分为四级响应：I级（特别重大）是储罐破裂造成大量泄漏；II级（重大）是管道断裂或阀门损坏或失效导致持续泄漏；III级（较大）是设备密封处发生泄漏；IV级（一般）是出现轻微渗漏。不同等级对应不同的应急处理办法、资源安排方案。

### 4.2 关键处置措施

苯乙烯泄漏的应急处理应按照‘先控制、后处理’的原则进行如图5所示，关键措施涵盖：

- ①切断泄漏源头：立刻关闭相关阀门，停止物料输送，必要时启动 ESD 紧急切断系统。
- ②氮气惰化：向泄漏区域充入氮气，降低氧气浓度，防止形成爆炸性混合物。
- ③冷却降温：用水雾或泡沫对泄漏设备、周边环境进行降温处理，避免聚合反应导致温度升高。
- ④泡沫覆盖：用抗溶性泡沫覆盖泄漏液体表面，控制蒸汽挥发。
- ⑤人员疏散：根据泄漏范围以及风向情况，及时让下风向人员撤离并设置警戒区。

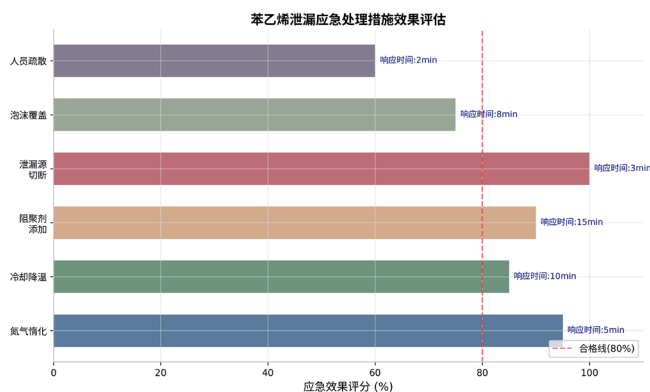


图5 苯乙烯泄漏应急处理措施效果评估

### 4.3 消防与灭火

苯乙烯火灾扑救要用泡沫、干粉、二氧化碳或砂土等灭火材料，无法直接用水灭火。用水灭火效果不

好，还可能让苯乙烯伴随水流扩散，扩大污染区域，消防人员要在有遮挡的地方操作同时戴上自给式呼吸器、防化服，对于正在燃烧的储罐，要连续喷水冷却罐体，防止因为温度过高导致变形或破裂。

## 5 结束语

本文对苯乙烯产品在储存、运输过程中的泄漏检测与应急处理方法进行系统研究，得出的主要结论如下：

苯乙烯容易燃烧、容易聚合同时还有毒性等多种危险性质。储存时温度要控制在 18℃ 附近并加入一定量的阻聚剂 TBC 来防止发生聚合反应。红外热成像技术可以用来检测苯乙烯泄漏情况，检测距离超过 500m，响应时间不到 1s，是检查储运设施的有效方式。氮封系统是避免苯乙烯聚合的重要设备，应该把储罐气相空间担子控制在 0.2 到 0.5kPa 之间并配备完整负担监测、报警装置。泄漏应急处理要把控制放在前面，再进行处置。用切断泄漏源、氮气惰化、冷却降温、泡沫覆盖等方法，把事故危害降到最低。建议石化企业建立完善的苯乙烯储运安全管理机制，加强日常检查以及设备保养，定期组织应急演练，提升事故预防以及应急处理能力。

### 参考文献：

- [1] 国务院. 危险化学品安全管理条例 [Z]. 2011.
- [2] HJ 1230-2021. 工业企业挥发性有机物泄漏检测与修复技术指南 [S]. 北京：生态环境部, 2021.
- [3] SH/T 3184-2017. 石油化工罐区自动化系统设计规范 [S]. 北京：工业和信息化部, 2017.
- [4] 吕祖鹏. 苯乙烯储罐的安全性分析 [J]. 化工管理, 2023, (26): 128-130.
- [5] 祁洪胜, 杨克. 苯乙烯产品储罐聚合物含量超标原因分析与对策 [J]. 炼油技术与工程, 2023, 53(06): 45-49.
- [6] 于国鹏. 浅析苯乙烯储罐 VOCs 排放影响因素及保冷施工方法 [J]. 石油化工设备技术, 2022, 43(02): 43-47+62+6.
- [7] 梁健, 刘克朝, 邢辉辉, 等. 关于苯乙烯储存预防聚合物上涨的措施 [J]. 精细与专用化学品, 2021, 29(07): 55-57.
- [8] 周建文. 浅析苯乙烯储存设施的安全设计 [J]. 江西化工, 2021, 37(02): 38-40.
- [9] 胡佳宇. 苯乙烯储存聚合原因分析及控制措施 [J]. 化工管理, 2024, (02): 130-133.
- [10] 周召方, 王友金, 张轩. 产品苯乙烯中聚合物增长因素分析及对策 [J]. 乙烯工业, 2021, 33(01): 21-22+28+4.
- [11] 陈丽. 信息化背景下县级档案馆公共服务研究 [D]. 云南财经大学, 2020.