

易燃液体泄漏长效覆盖及高效灭火 多功能应急处置装备

郎需庆 牟小冬 吴京峰 崔芃雨 焦金庆

国家危险化学品应急救援技术指导中心 中石化安全工程研究院有限公司

一、技术特点

本项目提出了凝胶泡沫覆盖液体表面消除易燃有毒液体挥发有害气体风险及兼具灭火功能的技术思路。即研制凝胶泡沫与泡沫灭火剂兼容的复合组分溶液，通过正压式发泡技术产生高稳定性泡沫，在延迟交联反应条件下，在液面上迅速形成类似胶膜的固态泡沫层，对泄漏液体进行长效覆盖。研发专用应急处置装备，若发生火灾，该应急装备先进行灭火，在灭火结束后，由凝胶泡沫对液面实施长效覆盖保护，为易燃有毒液体的泄漏火灾处置提供技术与装备支持。

形成了三项成果：

1. 基于泡沫灭火剂的延迟交联凝胶泡沫

针对液体危化品液面长效覆盖需求，合成了交联剂与凝胶剂，通过改变支链结构调整延迟交联时间，创新形成了适用于液体危化品的凝胶剂与交联剂，可与水成膜泡沫液混合发泡形成凝胶泡沫，具备 1~3min 的延迟交联功能，适用于覆盖水溶性液体危化品和非水溶性液体危化品，抑蒸覆盖时间最长可达 269min（有效抑制易燃液体挥发浓度低于 25%LEL），满足液体危化品泄漏后的快速处置需求。

2. 基于多相多剂的宽混合比微泡沫发生器

针对延迟交联的凝胶泡沫应用需求，基于压缩空气泡沫原理，创新研制了“三段式”微泡沫发生器，通过内构件结构参数优化及反复测试，泡沫发生器配置了一次扰流器、二次混合腔，并根据气液流场均布规则设计了注入口，提出了微泡沫发生器的设计参数及工艺参数。本成果可应用于多个型号的泡沫发生装置，是凝胶泡沫喷射装置的核心组件。

3. 具备灭火与长效覆盖功能的移动式系列应急装备

基于凝胶泡沫药剂与“三段式”微泡沫发生器的应用条件，开发了具备灭火与长效覆盖功能的移动式系列应急装备，目前已形成三款移动式凝胶泡沫装置（1000L/100L/25L）。

二、创新性

1. 合成了低延迟时间的交联剂，复配开发了基于水成膜泡沫的凝胶泡沫，适用于水

溶性及非水溶性液体危化品的覆盖抑蒸，延迟交联时间控制在 1-3min，具备覆盖与灭火功能，除了满足灭火功能外，凝胶泡沫技术将传统的泡沫覆盖效果提升了 9 倍以上，弥补了现有泡沫灭火剂处置易燃有毒液体危化品泄漏的短板，大大提高了现场处置人员的安全性；

2. 开发了微泡沫产生器，建立了“三段式”微泡沫发生装置，针对凝胶泡沫发泡的特性，该装置增加了发泡稳定段，将微泡沫的平均直径控制在 100 μm 内，提升了泡沫稳定性，为凝胶泡沫的交联反应提供了条件；

3. 开发了多流体宽混合比例的混合装置，提出了控制方法，建立了凝胶泡沫喷射装置，实现了气液液三相比例精确控制。

三、实践应用成效

市售高稳定性泡沫灭火剂与凝胶泡沫对极性液体、非极性液体进行抑蒸测试。本项目所开发凝胶泡沫能够对极性液体有效抑蒸 100min 以上、对非极性液体有效抑蒸 300min，对比普通高稳定性泡沫灭火剂，凝胶泡沫的抑蒸时间提升了 9 倍，抑蒸效果（气体挥发量降低）抑有大幅提升。

针对汽油和乙醇两种易燃易挥发液体进行了凝胶泡沫抑蒸效果第三方测试。通过对不同时间点挥发性有机物检测可得出：凝胶泡沫抑蒸非极性液体汽油，在 269min 内挥发气体含量 < 2500ppm（汽油 25%LEL）；凝胶泡沫抑蒸极性液体乙醇，在 187min 内挥发气体含量 < 8250ppm（乙醇 25%LEL）。

开展了 3.6m 直径油罐（10.2m²）的灭火对比测试，灭火结果如表 1 所示。

自制凝胶泡沫灭火器的灭火能力大幅高于普通泡沫灭火器及干粉灭火器，单台 35L 即可扑灭 10.2m² 汽油火，而 3 台 25kg 干粉灭火器，2 台 50kg 干粉灭火器，2 台 135L 泡沫灭火器均无法扑灭 10.2m² 火灾。

表 1 灭火对比测试结果

灭火器种类	灭火器规格	灭火器台数	灭火结果
干粉	35kg/183B (5.75 m ²)	3 台同时喷射	失败，无控火
干粉	50kg/233B(7.32 m ²)	2 台同时喷射	失败，无控火
泡沫	135L/297B(9.32 m ²)	2 台同时喷射	失败，泡沫无覆盖层
凝胶泡沫	35L/297B(9.32 m ²)	1 台喷射	3min10s，灭火成功

拖车式 1000L 凝胶泡沫装置开展了第三方检测工作，完成了 20 m² 油盘灭火测试。该装置具备 2 档流量，可应对不同规模泄漏覆盖与火灾扑救，具体检测参数如表 2 所示。

表 2 拖车式 1000L 装置第三方检测结果

序号	检验项目	检验结果
1	泡沫罐容积 (L)	1080
2	气瓶规格	3x40L@15MPa
3	工作压力 (MPa)	0.85

序号	检验项目	检验结果
4	流量 1 (L/min)	66
	流量 2 (L/min)	132
5	喷射时间 (min)	流量 1: 12.12 流量 2: 6.06
6	发泡倍数	流量 1: 7.9 流量 2: 8.1
7	25%析液时间 (min)	流量 1: 180 流量 2: 190
8	喷射距离 (m)	流量 1: 18.4 流量 2: 21.3
9	灭火能力 (B 类火)	流量 2 下灭火, 能灭 21.2 m ² 钢制油盘火, 灭火时间为 58s。

四、推广应用情况

本项目形成了 2 类产品(适用于液体危化品的凝胶泡沫、三款移动式应急处置装置), 在青岛石化、中原油田、扬子石化、河南德威化工公司、天津格林泰格有限公司、河南德微化工科技有限公司等多家化工企业开展试用工作, 试用情况良好。

本项目成果主要应用于危化品的生产、储存及运输环节, 重点配置在生产装置的换热器、油泵、关键阀门组等区域; 配置在储罐区防火堤内、输油管线的阀门组、危化品存储车间等位置。在发生物料泄漏后即进行喷射覆盖, 为后续安全处置提供条件。针对有毒、易燃液体危险化学品的泄漏初期事故, 能够在液体危化品泄漏后进行长效覆盖, 消除危化品的中毒风险, 消除液体挥发, 避免可燃气的闪爆和着火事故, 从源头上保障人民生命安全, 保护生态环境, 减少危化品泄漏火灾事故对环境的影响, 具有良好的社会效益。

五、成果产出情况

本项目授权发明专利 5 项。

六、代表性图片

2022 年安全生产应急救援“五小”成果汇编（危化/油气类）



七、成果联系人

姓名：牟小冬

邮箱：muxd.qday@sinopec.com

座机：0532-83785159

手机：15898888797

地址：山东省青岛市崂山区松岭路 339 号