

液氮泡沫灭火装备

牟小冬 郎需庆 吴京峰 尚祖政 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

本项目基于液氮常温常压下超过 1:600 的气化比，采用液氮替代空气压缩机、高压气瓶供气的方式技术思路，实现了超大流量正压式发泡，提升了泡沫发泡效果，提高了灭火效率。液氮在泡沫混合液中气化沸腾的剧烈搅动作用增强了气体与泡沫的混合发泡效果，所产生的液氮泡沫综合了正压式泡沫的均匀发泡、泡沫隔热、氮气窒息、液氮气化自增压及液氮低温冷却等多种技术优势。

形成了三项成果：

1. 固定式液氮泡沫系统

针对石化企业固定式泡沫系统升级，将泡沫液箱、泡沫比例混合器以及液氮混合装置相集成，开发了一套大流量固定式液氮泡沫产生装置。该装置内含有泡沫原液箱 4m³ 机械泵入式比例混合装置（泡沫混合比例 3%）、液氮泡沫混合装置。该套装置仅需外界提供水源及液氮，即可实现液氮泡沫的产生，通过与外接喷射装置实现液氮泡沫喷射。设计泡沫混合液流量为 30-160L/s，工作压力 0.6-1.2MPa。

2. 集成式液氮泡沫消防车

集成式液氮泡沫消防车由液氮杜瓦瓶、泡沫混合液罐及控制系统组成。设计容量以扑救 5000 立方储罐全面积火灾和 10 万立储罐全密封圈火灾为目标，也可用于施工防护及初期泄漏火灾等场所，无需外接泡沫与消防水，通过液氮压力实现液氮与泡沫混合液混合发泡及推动泡沫喷射。

基本配置：10m³ 泡沫罐（预充 5~7m³ 泡沫混合液），500L 液氮杜瓦瓶，泡沫液流量：4-40 L/s，泡沫枪与泡沫炮多模式喷射。

应用场景：5000m³ 及以下储罐火灾、罐区管线、油泵区、装置区、危化品装卸场、大型仓库等。

主要优势：操作简单，开阀即喷，快速扑救。

3. 大流量液氮泡沫消防车

大流量液氮供给发泡消防车由液氮罐、液氮泡沫混合发泡模块构成，可与远程供水系统、重型泡沫消防车和泡沫系统联合作战，以 2 万立以上储罐，乃至 10 万立储罐的全面积火灾为灭火目标，实现超大流量的液氮泡沫喷射。泡沫混合液处理流量可超过 200L/s。

灭火目标：20,000-150,000 立储罐全面积火灾
关键参数：泡沫混合液处理流量：30-200L/S
液氮供给时间：1.5-5h
主要配置：液氮罐、发泡装置及控制系统等。
主要优势：大型储罐全面积火灾、大面积流淌火池火、群罐火灾等重大火灾高扑救。

二、创新性

1. 提出了液氮在泡沫混合液内直接气化工艺，为实现大流量正压式发泡解决了大流量供气的问题。利用液氮在泡沫混合液中气化沸腾的剧烈搅动作用增强了气体与泡沫的混合发泡效果，所产生的液氮泡沫综合了正压式泡沫的均匀发泡、泡沫隔热、氮气窒息、液氮气化自增压及液氮低温冷却等多种技术优势。
2. 针对液氮与大流量泡沫液的实时匹配、快速响应、管路安全泄放等关键问题，提出了宽量程多相态流体协同的精准混合方法，建立了多参数协同驱动的泡沫生成与输出控制技术，提出了液氮系统故障预测及微调控技术。

三、实践应用成效

开展了大尺度灭火测试，液氮泡沫消防车与举高喷射车联用，在直径 26m 油盘（相当于 10,000m ³储罐）上开展了全面积火灾液氮泡沫和普通发泡泡沫的对比灭火测试。

直径 26m 油盘全面积火对比测试结果

序号	泡沫混合液流量, L/s	泡沫混合液供给强度, L/min.m²	泡沫类型	灭火时间, s
1	76	8.6	液氮泡沫	61
2	75	8.6	普通泡沫	215

- (1) 液氮泡沫层稳定性高，抗复燃能力强
- 在大尺度油盘的灭火实验中，液氮泡沫覆盖的着火区域未发生复燃，气泡小且均匀，耐热膨胀能力高，不易被高温破坏。
- (2) 氮气窒息与泡沫双重灭火作用
- 液氮泡沫落入的区域燃烧抑制明显，液氮泡沫破裂后释放出氮气，在火焰内形成了局部阻燃区。
- (3) 液氮泡沫温度低，冷却效果好
- 液氮在泡沫混合液内气化发泡时会大量吸热，使得泡沫液温度降低 1-2℃，泡沫层的吸热效果增强，提升了灭火作用。而吸气式泡沫设备吸收灭火现场的高温空气后发泡，泡沫温度高，泡沫层冷却效果低。
- (4) 液氮泡沫喷射流量大，灭火效能高
- 因为液氮气化比极高，因此极少的液氮气化后就会产生大量的氮气，这就能使得液氮泡沫灭火技术实现大流量高压喷射，解决了压缩空气泡沫无法大流量供气的问题。

四、推广应用情况

液氮泡装备在中石化青岛炼化、青岛石化、洛阳石化和国家管网集团黄岛油库开展了应用，应用情况良好。液氮泡沫灭火装备具有泡沫流量大、灭火效能高的特点，其与石化企业现有的消防装备，如高喷车、消防机器人、移动式消防炮、固定式泡沫系统等结合，可大大提高现有消防装备的灭火能力，提高罐区及装置区重大火灾的扑救能力，尤其是大型浮顶储罐的全面积火灾。满足了当前国内石化企业消防队尚未配置扑救大型储罐全面积火灾的消防装备，难以满足重大火灾的灭火需求缩短灭火时间，减少因灾损失。

该灭火技术在石化行业的广泛应用，可以加强我国在面临石化企业大型火灾时的应急能力，解决大型储罐全面积火灾无法灭火的难题，具有良好的社会效益、环境效益及经济效益。

五、成果产出情况

本成果曾获中国石化技术发明一等奖 1 项，科技进步一等 1 项。

本成果授权 PCT 专利 3 项（美国、澳大利亚、欧洲），中国发明专利 5 项，实用新型专利 5 项。

六、代表性图片





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