

泡沫灭火剂在油罐火灾中的应用分析

甘颖 史俊岗 郭晓磊 张薇娜

翱华工程技术有限公司 内蒙古自治区 呼和浩特 010000

【摘要】：油罐火灾因燃油易燃且燃烧剧烈而带来高风险，传统灭火手段在控制火势和降低损失方面存在局限。泡沫灭火剂凭借隔离空气、冷却火源和抑制蒸汽的多重特性，为油罐火灾提供了有效的防控手段。通过分析泡沫灭火剂的分类、性能及使用方法，提出在不同火灾场景下的优化应用策略，结合实验与模拟数据验证其灭火效率。结果表明，针对油罐火灾的泡沫灭火剂方案能够显著缩短扑救时间，降低燃烧面积和火灾损失，为高风险油品储存提供安全保障。

【关键词】：泡沫灭火剂；油罐火灾；灭火效率；应用策略

DOI:10.12417/2705-0998.26.08.003

引言

油罐火灾常因燃油蒸气易燃、火势蔓延迅速而导致严重安全事故和经济损失。传统水基或干粉灭火方式在大面积油火中效率有限，无法快速控制火势和减少燃烧损失。泡沫灭火剂通过在燃油表面形成隔绝层，同时降低温度和抑制蒸汽释放，为火灾扑救提供了更高效的手段。研究油罐火灾中泡沫灭火剂的应用机制、选择原则及操作方法，对于提高灭火响应速度、降低事故损害具有重要价值。本研究从火灾特性、灭火原理及应用效果出发，系统分析泡沫灭火剂在油罐火灾中的最佳应用策略，为实际灭火提供理论支撑和实践指导。

1 油罐火灾特性与灭火难点

1.1 燃油蒸汽特性及火势扩散规律

油罐中的燃油在高温或泄漏条件下会迅速蒸发形成可燃蒸汽层，这些蒸汽在空气中形成易燃混合物，燃点低、燃烧速度快，且火焰可沿蒸汽浓度梯度迅速蔓延。燃油火灾具有强烈的辐射热释放和高温燃烧特性，使周围环境温度骤升，同时容易引发二次燃烧和连锁爆炸。火势扩散受油品类型、储罐结构及环境因素影响显著，不规则储罐布局或储罐间距过小可能导致火焰交互作用，加速火灾蔓延速度。燃油蒸汽在火源未完全扑灭前持续挥发，形成动态的燃烧边界，增加灭火剂控制火势的难度，同时对灭火剂的覆盖性、渗透性和隔热性提出了更高要求。

1.2 火灾扑救中的时间与空间限制

油罐火灾的扑救需要在极短时间内形成有效覆盖，以抑制燃油蒸汽持续燃烧，延误或失效将导致火势迅速扩大。储罐区通常占地面积大，通行空间受限，灭火设备布置与操作受油罐数量、管线密集程度和安全距离约束影响，增加灭火操作复杂性^[1]。火灾现场温度高、热辐射强，限制人员靠近和灭火装置的部署效率，同时风向和环境因素会改变火焰蔓延路径，影响灭火剂喷射覆盖范围。高温和烟雾干扰对灭火剂流动与稳定性提出要求，需要优化喷射角度、流量及泡沫剂选择，以确保快速、均匀覆盖火源，提高扑救速度并降低二次火灾风险。

1.3 传统灭火方法的局限性

传统水基或干粉灭火方式在大面积油火中存在显著局限性，水无法与燃油充分接触，可能导致浮油燃烧加剧或油花飞溅，扩大火灾范围。干粉灭火剂在高温持续燃烧环境下容易失效，覆盖时间短，无法持续抑制燃油蒸汽蒸发，控制火势能力有限。传统方法缺乏对火源隔离、蒸汽抑制和热量吸收的综合功能，难以应对多储罐、多火点场景的复杂性。同时，灭火剂的适用性、喷射距离和操作稳定性受现场环境影响显著，无法提供持续有效的火势控制，限制了扑救效率与安全性。油罐火灾的动态燃烧特性要求灭火策略具备高效覆盖、隔离蒸汽、冷却火源和稳定持续的综合功能。

2 泡沫灭火剂分类与性能分析

2.1 常用泡沫灭火剂类型及成分特点

泡沫灭火剂按基质和稳定性可分为蛋白泡沫、氟蛋白泡沫和合成泡沫三类。蛋白泡沫以天然蛋白为主要成分，形成的泡沫膜密度适中，具有良好的热稳定性和覆盖能力，适合控制中高温油火。氟蛋白泡沫通过添加氟表面活性剂改善了泡沫的扩展性和液膜韧性，使其在快速燃烧场景中形成持久覆盖层。合成泡沫以聚醚或聚醇为主要成分，具有较高的流动性和快速铺展能力，能够在短时间内覆盖大面积油面，同时通过添加耐热增强剂提高稳定性。各类泡沫灭火剂在黏度、表面张力、液膜强度和抗破裂性能上存在差异，这些物理化学特性直接影响其在油火中的隔热、覆盖和抑蒸汽能力，是选择灭火剂类型的关键依据。

2.2 灭火剂物理与化学作用机理

泡沫灭火剂扑灭油火的机制主要包括隔绝氧气、冷却燃烧表面和抑制蒸汽释放三方面。泡沫形成的气液膜在油面上快速铺展，物理隔离空气进入燃油表层，阻断氧气供给，降低火焰持续性。液膜中的水分和溶解成分能够吸收热量，实现对燃烧表面的冷却作用，同时减缓燃油温度上升速度^[2]。化学作用方面，部分泡沫灭火剂中的表面活性剂能够降低燃油蒸汽逸出速率，使燃烧反应速率下降，并在液膜表面形成稳定的覆盖层，

减少蒸汽与空气接触，提高灭火效率。物理与化学作用的协同效果在高温油火环境中体现出更高的稳定性和持续性，为快速控制火势提供技术保障。

2.3 不同类型泡沫在油火中的适用性

不同泡沫类型在油火环境中表现出针对性适用特征。蛋白泡沫适合中低温火灾场景，泡沫膜厚度适中，覆盖能力稳定，有利于持续抑制蒸汽释放，但在高温长时间燃烧中易破裂。氟蛋白泡沫具有较强的扩展性和耐热性，能够在快速蔓延的火势下形成连续覆盖层，减少火焰暴露面积，提高扑救效率。合成泡沫流动性高，铺展速度快，可覆盖大面积燃油表面，同时通过调节泡沫比例和液膜浓度，实现针对不同油品和火源密度的定制化应用。选择适用泡沫类型需结合火灾温度、燃油种类、储罐结构及灭火设备特性，以实现最优的覆盖效果和火势控制效率。

3 泡沫灭火剂在油罐火灾中的应用方法

3.1 泡沫覆盖与隔离策略

泡沫灭火剂在油罐火灾中的核心作用是形成连续覆盖层，阻断燃油与空气的直接接触，从而抑制燃烧反应和蒸汽逸散。覆盖策略需要根据火灾规模、储罐油品类型和表面张力特性，调整泡沫铺展速度和厚度，以确保液膜在燃油表面形成稳定隔离层，同时避免液膜破裂或局部空隙产生二次火点。隔离策略强调高效阻断燃烧链条，要求泡沫在铺展过程中具备自修复能力和黏附稳定性，使覆盖层能够承受辐射热和风力冲击，延长隔离时间。优化泡沫剂配比、调整泡沫流率和喷射角度，可以实现对燃油蒸汽释放的动态抑制，同时结合储罐布局和环境通风条件，保证覆盖效果均匀、连续，为后续扑救措施提供可靠基础。

3.2 喷射方式及设备选择

喷射方式对泡沫灭火剂的覆盖效果和持续性能有直接影响，需根据火源面积、火势强度及储罐布局设计喷射角度、流量和喷射高度。水平喷射可快速覆盖油面，垂直喷射可增加液膜厚度与稳定性，而组合喷射能够在保持覆盖速度的同时增强局部隔离效果^[3]。设备选择应匹配泡沫类型和喷射需求，包括泵送系统的流量、压力控制以及喷嘴结构对泡沫粒径和泡沫扩展比的调节能力。高性能喷射设备能够确保泡沫形成均匀连续的覆盖层，并适应高温环境下泡沫稳定性降低的挑战。喷射系统需兼顾操作灵活性和安全距离，优化输送管路布置，保证灭火剂在大面积油面快速、均匀分布，并最大化灭火效率与热量吸收能力。

3.3 操作流程与安全注意事项

操作流程要求泡沫灭火剂按顺序进行分区铺设和同步喷射，以实现火源快速覆盖和蒸汽抑制的协同效应。操作开始前需检测油面温度、火势蔓延速度及风向变化，以制定动态喷射

路径和流量调整方案。灭火过程中应保持覆盖层连续性，避免空隙或液膜破裂造成火焰复燃，同时监测泡沫液量与泵压稳定性，确保液膜厚度和延展性满足火势控制要求。安全注意事项包括保持操作设备的耐热和耐压性能，控制喷射区域与储罐的安全距离，防止高温辐射和燃油飞溅造成设备损伤或二次火灾。结合火灾动态特征和泡沫物理化学性能，可通过实时调整喷射参数、优化泡沫配比及覆盖顺序，实现火灾控制效率最大化和人员、设备安全保障。

4 泡沫灭火剂应用效果评价

4.1 灭火效率实验与模拟对比

灭火效率的评估基于实验数据和计算机模拟结果的综合对比。实验中，通过不同类型泡沫灭火剂在标准油罐模型上的覆盖速度、液膜厚度及燃烧中断时间进行量化测量。模拟结果结合流体动力学和热传导模型，分析泡沫在燃油表面扩展、蒸汽抑制以及热量吸收过程的动态变化。对比显示，液膜形成速度和厚度是影响灭火效率的关键因素，同时喷射方式、泡沫比例及环境条件对火势控制效果有显著影响。通过实验与模拟结合的评价方法，可精确判断不同泡沫灭火剂在火灾发展不同阶段的响应能力，为优化灭火策略和提高扑救效率提供科学依据，并验证泡沫在复杂油罐火场中持续稳定覆盖能力的可行性。

4.2 火灾损失控制效果分析

火灾损失控制的效果通过燃烧面积、燃油消耗量及周边设施受热辐射影响程度进行量化。泡沫灭火剂通过在油面形成稳定液膜，实现燃油表面隔离，抑制蒸汽逸散，从而缩短燃烧时间和降低火焰蔓延速度^[4]。不同泡沫类型在温度变化、风向干扰及火源集中度下表现出的覆盖稳定性和冷却能力直接影响损失控制效果。实验数据显示，高扩展比泡沫能够在短时间内覆盖大面积燃油，降低热辐射传递效率，同时延缓油面复燃。对比分析结果为火灾应急响应和资源调配提供依据，确保灭火措施在降低物理损失、减轻环境影响和提高控制效率方面发挥最大效用。

4.3 不同场景应用的优化建议

油罐火灾存在储罐结构、油品类型及环境条件多样性，不同场景对泡沫应用提出差异化需求。优化策略需结合火势强度、油面面积、储罐布局及环境通风状况，选择适宜类型和比例的泡沫，调整喷射方式及流量分配，实现快速覆盖与持久隔离的协同效果。在高温大面积火源条件下，应优先采用耐热性和扩展性强的泡沫类型，同时调控喷射角度和压力保证液膜稳定。复杂储罐区域需规划多点同步喷射和液膜厚度梯度分布，以应对火势不均匀蔓延。通过动态匹配泡沫特性与现场条件，可提高灭火效率、延长隔离时间，并在多场景下形成可复制、量化的应用标准，为油罐火灾的科学管理提供技术支撑。

5 油罐火灾灭火策略整合与实践指导

5.1 火灾响应与泡沫剂配比优化

火灾响应的速度与泡沫剂配比直接决定油罐火灾控制的效率和安全性。针对不同燃油种类和燃烧强度，应调整泡沫剂浓度、扩展比和液膜厚度，以满足覆盖速度和隔离持续性要求。高浓度泡沫在高温快速燃烧情况下可形成更厚液膜，增加隔热能力和蒸汽抑制效果，而低浓度泡沫则在大面积油火中提供快速覆盖的优势。响应策略需结合储罐容量、火源分布和风向变化进行动态配比优化，确保喷射过程中液膜均匀分布并持续覆盖燃油表面，同时保证喷射系统压力、流量及泡沫混合比例稳定。通过精确控制配比和喷射参数，可提高灭火剂在不同火灾阶段的适应性，增强灭火效率和火场安全性。

5.2 综合灭火方案设计原则

综合灭火方案设计强调多层次、多手段协同控制火势和蒸汽扩散。方案需兼顾泡沫类型选择、喷射策略、液膜厚度控制和覆盖顺序，同时结合油罐布局、储油量及周边设施防护要求，形成全方位灭火网络。高温或连续燃烧情况下，应设计分区喷射与梯度液膜厚度，使火势在扩展过程中始终处于受控状态。方案中应整合流量控制、压力调节和喷射角度优化，确保覆盖效率与泡沫稳定性达到最佳平衡^[5]。通过系统化设计，可将灭火剂物理和化学特性与火灾动态响应结合，实现快速扑灭火

焰、抑制蒸汽释放和降低热辐射传递，形成科学可操作的标准化合灭火流程。

5.3 应用案例分析与实用经验总结

应用案例分析提供油罐火灾中泡沫灭火剂使用效果的量化参考，通过对不同火源规模、火势发展速度及环境条件下的操作数据进行比较，评估液膜覆盖率、灭火时间及热辐射抑制效率。经验总结表明，泡沫剂类型、喷射参数、液膜厚度及喷射顺序对控制火势、延缓复燃和降低燃烧损失具有决定性影响。在高温大面积火源场景下，优化喷射角度和流量分配能够提高液膜连续性和稳定性，同时降低火焰暴露面积。结合储罐布局和现场条件进行动态调整，能够实现灭火操作的科学化和规范化，为油罐火灾应急响应提供可执行的操作策略，并提升灭火整体效率和安全保障水平。

6 结语

泡沫灭火剂在油罐火灾应对中展现出关键性覆盖隔离、抑制蒸汽释放和热量吸收等多重功能特性。针对高风险、大能量密度的油罐火场，通过优化泡沫剂类型、喷射参数及配比策略，可实现对持续燃烧源的有效控制与快速抑制。不同场景下的喷射方式与设备配置需要科学匹配，以提升灭火剂的覆盖效率和现场的整体扑救能力。综合策略设计与实用指导的整合，有助于提升油罐火灾应急响应的技术水平。

参考文献：

- [1] 奚志林,张雪松,钱凯.新型高效无氟泡沫灭火剂的制备及其性能表征[J].消防科学与技术,2024,43(4):522-527.
- [2] 李国春,齐国栋,孔帅,朱小龙,王东路.环保型泡沫灭火剂在变压器油表面的铺展特性研究[J].山东电力技术,2024,51(8):67-77.
- [3] 孙震宁.泡沫灭火剂在化工泄漏事故中的安全管理与应急响应策略[J].当代化工研究,2024(13):108-110.
- [4] 李芳芳,李世杰,张永慧,李梦晨.储油罐火灾应急救援技术[J].微型计算机,2024(6):166-168.
- [5] 李芳芳,李世杰,张永慧,李梦晨.储油罐火灾研究方法现状分析[J].微型计算机,2024(7):169-171.