

高效环保型消防灭火材料研发与性能对比研究

何茂

成都市消防救援支队 四川成都 610000

【摘要】随着消防安全需求的日益提升和环保理念的深入普及,高效环保型消防灭火材料成为消防领域的研究热点。传统灭火材料在发挥灭火作用的同时,常存在灭火效率有限、二次污染严重、对人体或设备有害等问题。例如,含氟蛋白泡沫灭火剂虽灭火迅速,但氟化物难以降解,会造成土壤和水体污染;传统干粉灭火剂灭火后残留粉尘多,清理困难且可能腐蚀精密设备。基于此,本文围绕高效环保型消防灭火材料的研发方向,系统梳理了新型灭火材料的技术特征与研发进展,为高效环保型灭火材料的技术创新与应用推广提供理论参考。

【关键词】消防灭火材料; 高效环保; 研发进展; 性能对比; 材料创新

【中图分类号】TD752

【文献标识码】A

Research on Development and Performance Comparison of High-Efficiency Eco-Friendly Firefighting Materials by

He Mao

Chengdu Fire Rescue Detachment, Chengdu City, Sichuan Province 610000

【Abstract】With the increasing emphasis on fire safety and the growing acceptance of environmental protection concepts, high-efficiency eco-friendly firefighting materials have become a key research focus in the fire protection field. Traditional firefighting materials, while effective in extinguishing fires, often suffer from limitations such as low efficiency, severe secondary pollution, and potential harm to personnel or equipment. For instance, fluorinated protein foam extinguishing agents, though rapid in fire suppression, produce fluorides that are difficult to degrade, leading to soil and water contamination. Traditional dry powder extinguishing agents leave excessive dust residue after fire suppression, posing challenges for cleanup and potential corrosion of precision equipment. This paper systematically reviews the technical characteristics and R&D progress of new firefighting materials, aiming to provide theoretical references for technological innovation and practical application of high-efficiency eco-friendly firefighting solutions.

【Key words】Firefighting materials; High-efficiency eco-friendliness; R&D progress; Performance comparison; Material innovation

引言

火灾作为威胁公共安全和生态环境的重要风险因素,其防控依赖于高效可靠的灭火材料。在“双碳”目标与绿色发展理念的推动下,研发兼具高效灭火性能与环境友好特性的新型材料成为消防领域的核心任务。高效环保型消防灭火材料的核心要求是:在快速抑制火灾蔓延、降低火灾损失的同时,减少对生态环境的破坏,避免对人体健康造成危害,且材料本身具有可降解性或可回收性。目前,这类材料的研发已涵盖水基、干粉、气体、复合等多个体系,其性能优化与技术突破对提升消防安全水平、推动消防行业绿色转型具有重要意义。

1 高效环保型消防灭火材料的研发方向与技术特征

1.1 水基灭火材料

水基灭火材料以水为基础载体,通过添加环保型添加剂提升灭火效率与稳定性,具有成本低、来源广、污染小的特

点,是当前研发的重点方向之一。

1.1.1 环保型泡沫灭火剂

传统泡沫灭火剂常含氟碳表面活性剂,虽能快速覆盖火焰,但氟元素的生物累积性会造成长期环境危害。新型环保泡沫灭火剂通过研发无氟或低氟表面活性剂,如植物基表面活性剂、生物降解型氟碳替代品,在保证泡沫稳定性和隔热性的同时,实现材料的可降解性。例如,以棕榈油衍生物为原料合成的表面活性剂,能降低泡沫的表面张力,增强其在油类火灾表面的铺展能力,且在自然环境中可快速降解,对水生生物毒性极低。

1.1.2 功能性水系灭火剂

通过添加阻燃剂、增稠剂等功能性成分,提升水的灭火效率。例如,添加纳米级黏土颗粒的水系灭火剂,可利用纳米颗粒的高比表面积形成稳定的胶体结构,延长水在燃烧物表面的滞留时间,增强吸热降温效果;添加天然高分子材料,如改性淀粉、壳聚糖等增稠型水系灭火剂,能在高温下形成凝胶层,阻隔氧气与燃烧物接触,适用于木材、布料等固体火灾。

1.2 干粉灭火材料

干粉灭火材料通过化学抑制作用中断燃烧链式反应,具有灭火速度快、适用范围广的优势。传统干粉虽高效,但残留粉尘难以清理且可能对电气设备造成腐蚀。新型环保干粉的研发聚焦于低残留、可降解及对设备友好的配方优化。

1.2.1 可降解干粉灭火剂

以天然矿物或生物材料为基材,如改性碳酸氢钠、磷酸二氢铵与淀粉复合粉体。通过表面改性技术,如包覆可降解聚合物,减少干粉的吸湿性,提升储存稳定性,同时使其在灭火后能被微生物分解,降低对环境的残留污染。例如,以壳聚糖包覆的磷酸二氢铵干粉,不仅灭火效率与传统ABC干粉相当,其残留物在土壤中3个月内可降解率达80%以上。

1.2.2 洁净型干粉灭火剂

针对精密仪器、电子设备火灾,研发无腐蚀、低导电性的洁净干粉。例如,以氢氧化镁、氢氧化铝等无机阻燃剂为主要成分,辅以少量抗结块剂,其灭火后残留粉体易清扫,且不会对电路造成短路或腐蚀,适用于数据中心、实验室等场所。

1.3 气体灭火材料

气体灭火材料通过降低保护区内氧气浓度或抑制燃烧反应实现灭火,适用于不宜用水或干粉的封闭空间。传统气体灭火剂因破坏臭氧层已被淘汰,新型环保气体灭火剂需满足零臭氧消耗潜能值(ODP)、低全球变暖潜能值(GWP)的要求。

1.3.1 惰性气体灭火剂

以氮气、氩气、二氧化碳等天然气或其混合物为主体,通过稀释氧气浓度灭火。这类气体无色无味、不导电、不产生残留,对环境无危害,且可自然降解。例如,氩气与氮气的混合气体,灭火时氧气浓度可降至12.5%以下,适用于文物库房、博物馆等对环境要求极高的场所。

1.3.2 氟化酮类灭火剂

作为哈龙替代品,氟化酮类灭火剂具有灭火效率高、ODP为零的特点,但其GWP值仍需进一步降低。新型研发的短链氟化酮,通过优化分子结构,将大气停留时间缩短至几天,显著降低GWP值,且灭火浓度低,对人体安全性更高。

1.4 复合灭火材料

复合灭火材料结合两种或多种单一材料的优势,通过协同作用提升灭火性能,是应对复杂火灾场景的创新方向。

1.4.1 粉-气复合灭火剂

将干粉与惰性气体结合,利用气体的快速扩散性携带干粉均匀分布,增强灭火的均匀性和效率。例如,二氧化碳驱动的超细干粉复合系统,超细干粉可深入燃烧物缝隙,而二氧化碳快速降低氧气浓度,两者协同作用适用于密闭空间的立体火灾。

1.4.2 水-粉复合灭火剂

以水为载体悬浮超细干粉颗粒,兼具水的冷却作用与干粉的化学抑制作用。例如,水系悬浮超细磷酸二氢铵粉体,在扑灭油类火灾时,水相快速降温,干粉颗粒在油表面形成覆盖层,双重作用提升灭火效率,且减少干粉的总用量,降低残留污染。

2 高效环保型消防灭火材料的性能对比

2.1 灭火效率

不同类型的高效环保型灭火材料在灭火效率上呈现显著的场景适应性差异。水基灭火材料对固体火灾和油类火灾的扑灭效果突出。环保型泡沫灭火剂能通过快速铺展形成密封覆盖层,高效阻隔氧气并抑制复燃,但其对带电设备火灾的适用性有限,需依赖特殊抗溶配方才能保障安全。干粉灭火材料依托化学抑制作用,对固体、液体、气体及电气火灾均能发挥作用,灭火响应速度快。但受粉体穿透力限制,对深位火灾的扑灭效果较弱,难以彻底消除隐火。气体灭火材料在封闭空间中灭火效率优势显著,能通过快速扩散均匀充满保护区域,迅速降低氧气浓度或中断燃烧链式反应。但在开放空间中,气体易扩散流失,灭火效果大幅衰减,且需严格保证保护区的密封性以避免灭火剂泄漏。复合灭火材料通过多组分协同作用实现效率跃升,例如粉-气复合材料借助气体的强扩散性携带超细干粉深入火灾缝隙,对立体复杂火灾的扑灭速度比单一干粉提升30%以上,尤其适用于存在多重燃烧源的场景。

2.2 环保性能

环保性是衡量新型灭火材料的核心指标,各类材料的环境影响呈现梯度差异。水基灭火材料整体环保性最优,无氟泡沫灭火剂和功能性水系灭火剂可通过微生物自然降解,对土壤和水体的污染风险极低。需注意的是,部分含磷添加剂需控制用量,以避免引发水体富营养化问题。干粉灭火材料可降解干粉和洁净型干粉的环保表现突出,残留物对环境的影响小;而传统干粉的粉尘残留易造成空气污染,应用时需结合场景选择性使用。气体灭火材料惰性气体灭火剂的环保性堪称标杆,臭氧消耗潜能值(ODP)和全球变暖潜能值(GWP)均为零;氟化酮类灭火剂虽ODP为零,但GWP值仍高于惰性气体,需在应用中权衡其长期大气影响。复合灭火材料环保性能取决于各组分的协同效应,以惰性气体为载体的复合材料环保性优于含氟化物的复合体系,其环境风险需通过全组分环保性评估综合判定。

2.3 适用场景

材料的适用场景与火灾类型、环境特征密切相关。水基灭火材料适用于建筑、森林、油库等开放或半开放场景,尤其在油类火灾中,环保型泡沫的覆盖抑制作用可快速控制火势蔓延,是大型室外火灾的优选。干粉灭火材料擅长初期火

灾的快速处置,在电气设备、汽车火灾等场景中应用广泛。需注意的是,精密仪器场所应避免大量使用普通干粉,以防残留粉尘造成设备腐蚀或短路。气体灭火材料是封闭空间的专属选择,特别适用于数据中心、档案馆、配电室等对水渍和残留物敏感的场所,能在灭火后保持环境洁净。复合灭火材料针对复杂多元火灾场景设计,如化工储罐区、大型立体仓库等,可通过多机制协同应对复合型火灾风险。

2.4 储存与使用性能

储存稳定性和使用便捷性直接影响材料的实战效能。水基灭火材料储存需重点防控低温冻结和容器腐蚀,适宜温度范围为 0–40℃,保质期相对较短,通常 2–3 年,但使用时可适配常规消防设备,操作便捷性高。干粉灭火材料储存稳定性强,保质期可达 5–10 年,对温度波动不敏感,但粉体易吸潮结块,需定期干燥维护以保证分散性,避免堵塞喷射装置。气体灭火材料以高压状态储存于钢瓶中,需严格检测容器耐压性和密封性,储存环境需通风干燥。其保质期长达 5–10 年,但释放时可能产生瞬间低温,需避免人员直接接触以防冻伤。复合灭火材料储存条件要求更高,需保障组分相容性,例如粉–气复合材料需防止干粉沉降分层,水–粉复合材料需抑制颗粒团聚,通常需专用储存装置维持稳定性。

2.5 成本与经济性

成本因素直接影响材料的推广应用范围,各类材料的经济性呈现显著差异。水基灭火材料中原料成本低,生产工艺简单,整体经济性最优,适合大规模普及应用于常规消防场景。干粉灭火材料应用中,普通环保干粉成本适中,性价比突出;超细干粉因纳米级制备工艺复杂,成本相对较高,更适用于对灭火精度要求高的场景。气体灭火材料包含的惰性气体成本低廉,适合一般封闭空间;氟化酮类因合成工艺复杂,成本较高,主要应用于高价值场所。复合灭火材料因配方设计复杂、生产工艺精密,成本通常高于单一材料,但其高效灭火性能使其在高风险、高损失场景中仍具备经济合理性。

3 高效环保型消防灭火材料的发展趋势

3.1 原料与生产的全生命周期绿色化

未来研发将突破末端环保局限,实现从原料到废弃的全链条绿色管控。在原料选择上,优先采用可再生生物基材料

替代传统石油基化工原料,降低对不可再生资源的依赖;生产过程中引入低碳工艺,通过优化反应条件减少能耗与污染物排放。同时,材料废弃后需具备可降解性或循环利用价值,例如开发可被微生物分解为无害物质的泡沫基质,或设计可回收再生的干粉粉体,从源头规避“灭火即污染”的矛盾。

3.2 功能集成与场景适配的精准化

针对不同火灾场景的特殊性,材料将向一材多能与专材专用结合的方向发展。一方面,通过复合技术实现灭火、隔热、防复燃、报警等功能集成,例如在水基凝胶中嵌入温度感应变色颗粒,既通过凝胶层阻隔氧气,又能通过颜色变化实时反馈火灾温度;另一方面,针对新能源火灾、深位固体火灾等特殊场景,研发专用高效材料,如针对锂电池火灾的抗复燃灭火剂,可同时抑制电解液燃烧与电池热失控,解决传统材料难以扑灭内部高温火源的问题。

3.3 智能化与响应性的技术突破

借助智能材料技术,实现灭火材料的精准释放。例如,开发刺激响应型材料,在常温下保持稳定,遇高温、火焰或特定气体时自动触发灭火功能——如包覆型干粉微胶囊,遇火后外壳破裂释放干粉,减少非必要损耗;或利用纳米传感器与材料结合,通过实时监测火灾参数调节灭火剂量,避免过量使用造成的二次负担。此外,智能化还体现在与消防设备的协同上,如可远程控制的气体灭火系统,通过算法预判火灾蔓延路径,定向释放灭火剂以提高利用率。

4 结束语

高效环保型消防灭火材料的研发已从单一性能优化转向“高效灭火–环境友好–适用场景适配”的多目标协同。水基材料以其低成本和高环保性在常规场景中占据优势,干粉材料在快速灭火和广泛适用性上不可替代,气体材料是封闭空间精密设备的首选,复合材料则为复杂火灾提供了创新解决方案。各类材料在灭火效率、环保性能、适用场景等方面各有侧重,实际应用中需根据火灾类型、环境要求、经济成本等因素综合选择。未来,随着绿色化学、纳米技术和智能材料的发展,高效环保型消防灭火材料将向更绿色、更智能、更高效的方向迈进,为构建安全与环保并重的消防体系提供核心支撑。

参考文献

- [1]黄子君.新型水凝胶材料对煤的防火性能实验研究[D].中国地质大学(北京),2023.
- [2]白芸琳,袁伟.新型气体灭火剂对飞机用橡胶材料的腐蚀性能研究[J].中国安全生产科学技术,2022,18(02):159–164.
- [3]秦存利,刘袁昊,李军.新型高分子材料防火技术研究与安全评估[J].山东煤炭科技,2021,39(10):212–215+218+225.
- [4]赵亮,王旭,李洪杰,等.煤炭自燃防治高效环保新型防火材料实验研究[J].能源技术与管理,2021,46(04):129–131.
- [5]李进海,王兵,魏勋阔.矿用环保型防火材料—电石渣泡沫的实验研究[J].煤炭与化工,2021,44(02):97–100+104.