

船舶全氟己酮灭火技术研究现状与应用展望

徐永超, 彭云峰

南通吉海消防科技有限公司, 江苏南通 226100

DOI: 10.61369/VDE.2025220015

摘要 : 全氟己酮灭火技术因其洁净, 高效, 绿色环保等优点越来越受到船舶消防领域的关注和重视。为了拓展全氟己酮灭火技术在船舶领域应用, 本文阐述了全氟己酮灭火剂的灭火机理, 结合船舶动力机舱对灭火系统性能需求, 分析了全氟己酮灭火技术在动力机舱火灾保护中的应用优势, 并指出未来研究方向, 为全氟己酮灭火技术在船舶消防领域的应用提供借鉴。

关键词 : 全氟己酮; 船舶消防; 动力机舱

Research Status and Application Prospects of Perfluorohexane Fire Extinguishing Technology for Ships

Xu Yongchao, Peng Yunfeng

Nantong Jihai Fire Protection Technology Co., Ltd, Nantong, Jiangsu 226100

Abstract : Perfluorohexane fire extinguishing technology is receiving increasing attention and importance in the field of ship firefighting due to its advantages of cleanliness, efficiency, and environmental friendliness. In order to expand the application of perfluorohexane fire extinguishing technology in the field of ships, this article elaborates on the fire extinguishing mechanism of perfluorohexane fire extinguishing agent, analyzes the application advantages of perfluorohexane fire extinguishing technology in the protection of fire in power engine rooms based on the performance requirements of fire extinguishing systems in ship engine rooms, and points out future research directions, providing reference for the application of perfluorohexane fire extinguishing technology in the field of ship fire protection.

Keywords : perfluorohexane; ship firefighting; engine compartment

引言

以哈龙灭火剂为代表的洁净气体灭火剂曾广泛应用于船舶消防领域, 然而研究表明, 哈龙类灭火剂解离出的卤素自由基会消耗大气臭氧层, 对臭氧层造成严重破坏^[1,2], 于是寻找新型高效环保的洁净气体灭火剂成为消防安全领域的研究热点。以液氮加压储存的全氟己酮, 通过雾化装置释放, 可迅速汽化并扩散至保护区, 达到一定浓度后, 抑制扑灭火灾, 防止火灾复燃并保护物体。因其具有高效, 洁净, 且大气留存时间短, 对环境友好等优势, 被视为非常有潜力的哈龙类灭火剂替代物。当前全氟己酮已被列入入 ISO14520、NFPA2001相关国际与国家标准中, 已应用于航空、电气设备间、计算机机房、图书馆等场所^[3]。

动力机舱是船舶的主要危险场所, 不仅有各种运转的重要设备, 还有大量油料及其他可燃物, 很容易引起火灾。据统计, 动力机舱火灾约占到船舶火灾的75%, 因此在船舶动力机舱配置清洁、高效灭火系统极为必要^[4]。

一、灭火机理

全氟己酮的灭火机理主要包括物理降温, 化学热分解降温, 稀释与隔离, 和抑制链式反应。

(一) 物理降温

全氟己酮的物理降温过程可分为汽化相变吸热以及与空气混合形成高热容量混合气体吸热两部分, 全氟己酮灭火剂的汽化相变吸热为其在释放以及接近火焰的过程中汽化时对火场热量的吸

收。全氟己酮的沸点为49.2°C, 常温下为液体, 释放时也由液体形态喷出。液态的全氟己酮在接近火焰时迅速吸热汽化, 达到降低火场温度的效果。全氟己酮的蒸发热为88KJ/kg, 与当前应用广泛的七氟丙烷, 二氧化碳等灭火剂相比, 蒸发热较低, 因此全氟己酮虽具备一定汽化吸热性能, 但相比其他灭火剂相变吸热的性能并不突出。3M公司的报告表明^[5], 全氟己酮主要通过汽化后与空气混合形成高热容量混合气体吸收火场能量。该类混合气体可吸收大量火场能量, 从而有效降低火场温度, 是全氟己酮主

要的降温方式之一。相对于其他的哈龙替代灭火剂，全氟己酮汽化后与空气形成的混合气体热容量高，具备更好物理吸热降温能力^[6]。

(二) 化学热分解降温

全氟己酮的化学热分解降温效果主要通过吸收火场热量以断裂化学键这一过程实现。对于全氟己酮灭火过程中的热解过程研究，崔凤霞^[7]等研究了全氟己酮在管式反应器中的热解过程，研究表明，全氟己酮在500℃开始热解，在650~750℃之间热解剧烈。热解的主要气体产物包括全氟异戊烷、六氟丙烯和十氟丁烷，且热解的气体产物含量与热解温度以及滞留时间有关。在全氟己酮热分解降温能力与其他哈龙替代灭火剂的对比研究方面，邓军^[8]指出全氟己酮的初分解温度更低，温度对全氟己酮的热分解作用促进更大，因而更易热分解，在热分解降温性能上更为优越。同时也指出全氟己酮的热解也会具有一定的抑爆作用。

(三) 稀释和隔离作用

全氟己酮的隔离与稀释作用主要体现在应用于全淹没系统时。3M公司在全氟己酮的技术报告^[5]中指出，在25℃和标准大气压条件下，全氟己酮的蒸发热仅为水的1/25，汽化速度比水要快50倍。因此全氟己酮在释放后可迅速汽化并在防护区内扩散达到灭火浓度。因防护区内全氟己酮蒸汽的浓度迅速上升，火焰周围的氧气及可燃气体被全氟己酮替代，使氧气和可燃气体在火焰区域的浓度降至燃烧所需的浓度以下，进而使火焰因缺乏燃料和氧气而熄灭。因此稀释和隔离作用包括全氟己酮对火焰周围氧气的置换和对其他可燃气体的稀释两个方面。

(四) 抑制链式反应

全氟己酮与火焰作用过程中，其自身或分解产物，可与燃烧产生的自由基反应。全氟己酮通过消耗链式反应中的自由基，抑制中断燃烧的链式反应过程，从而达到抑制燃烧及灭火的目的。Linteris^[9]等通过类比修正已有模型的相似物质，构建出包含四个反应过程的全氟己酮与碳氢火焰反应模型。研究表明，全氟己酮抑制链式反应的机理包括两种：一是全氟己酮与火焰作用时分解产生的包含3个碳原子的C3类物质（如七氟丙烷），此时对火焰的抑制作用机理与七氟丙烷等物质类似；二是全氟己酮与火焰作用分解产生C1-C2氟碳类物质对火焰的抑制作用。而发挥较大抑制链式反应效果的正是C1-C2氟碳类物质。

二、全氟己酮灭火技术在船舶动力机舱的应用分析

动力机舱内机械电子设备密集，电路复杂等原因，往往形成的火灾场景中存在较多障碍物。因此在IMO等国际组织对船舶动力机舱灭火系统进行性能评价的实验中，设有障碍物的机舱火灾场景表现是其主要场景之一。

动力机舱内环境高温高湿，且粉尘，油气等有害气体较多，为保证机舱内的人体处于相对适宜工作环境及保证柴油机，锅炉等设备燃烧所需的空气量，通常利用通风系统使机舱维持在较为适宜的环境条件。而在抑制熄灭船舶机舱火灾的过程中，虽然在理想状态下应封舱灭火，但往往由于关闭所有通风设施需要一定

时间，在这期间如不对火灾进行抑制，将错过尽早抑制火灾的机会。因此在实际机舱灭火场景，考虑通风状况对灭火系统灭火性能的影响极为必要。

在现有机舱灭火系统灭火性能方面，泡沫灭火系统可有效扑灭固体表面及可燃液体火灾，是船舶机舱火灾扑救手段之一。但泡沫灭火系统的实质是一种水基灭火系统，它是通过泡沫比例混合装置将水与泡沫液按要求的比例混合，然后经泡沫产生装置产生泡沫，利用泡沫覆盖燃烧物或将保护对象淹没实现灭火。泡沫的覆盖可能损害对机舱内电子设备，因此应用范围受限。

细水雾灭火技术因具备灭火效率高，清洁无污染，低毒或无毒等优点当前作为哈龙替代灭火剂广泛应用于船舶机舱灭火领域。然而细水雾的灭火性能受障碍物情况影响较大，对于机舱内可能发生深位火灾的灭火能力不足。细水雾灭火系统对于水的洁净程度要求较高，并且存在因水质不够纯净等原因，阻塞喷嘴，致使灭火系统无法正常使用的情况。

二氧化碳灭火技术当前广泛应用于船舶机舱的火灾防护中。由于二氧化碳的灭火机理主要为窒息作用和部分冷却作用，无法在有人场景中使用，因此往往当船舶机舱撤出全部机舱内人员，并做好封舱处理后，才可释放二氧化碳灭火。而为达到这样的释放前提条件，需要较长的准备时间，从而错过在更早期抑制火灾的机会。二氧化碳气体一旦泄漏，也存在极大的危险性，可能造成在场人员的重大伤亡。2019年，福建籍一艘货轮在山东省某船厂修理期间，因修理工人操作失误致使二氧化碳灭火剂泄漏至机舱，造成机舱内作业的10人中毒窒息死亡、19人受伤。此外，二氧化碳在喷射过程中可能造成极端低温，损害机舱内的设备，因此应用存在限制。

超细干粉灭火剂是气溶胶型灭火剂。超细干粉灭火效率高，然而超细干粉释放形成的微粒具有一定重量，在空气中漂浮时间有限，一旦沉降下来将不会运动，灭火剂在防护区的有效持续时间较短，且灭火后沉降的灰尘微粒需要及时清理，否则也将对设备造成损害。此外，与细水雾类似，遮挡物也对于超细干粉的灭火效能影响较大，对于机舱中遮挡较多的深位火灾灭火能力不足。

相对于上述灭火系统存在的不足，全氟己酮显示了其优越性。在泄漏安全性方面，由于全氟己酮沸点较高，当灭火系统发生泄露时，一般仅充装气体发生泄漏，而气体灭火剂本身不会逃逸，储存安全性高。在存储稳定性方面，氮气加压时所需存储压力随温度的变化低，全氟己酮在-40~80℃范围内的最大填充密度是其他低沸点气体灭火剂的1.8倍。对比在氮气加压下全氟己酮与七氟丙烷，Halon 1301的存储性能表现，全氟己酮具有更优越的存储性能。实验中全氟己酮的存储压力仅当充装密度或初始充装较大时有所变化。因此，全氟己酮所需存储装置压力随温度变化小，易于在不同温度的场景间存储与运输，这在穿越极寒与热带地区的远洋船舶等工作温度范围变化大的领域有重要应用前景^[10]。在环保性方面，全氟己酮的灭火效率相对于七氟丙烷相仿，但对环境更加友好，在应对突发的局部火灾时，全氟己酮可通过手提式灭火等局部应用形式，在有人状态下，迅速抑制早期

火灾。

三、总结

全氟己酮性能优越，可应用于船舶动力机舱的消防保护，但目前针对性研究较少，未来可从下列方面开展深入研究，促进全氟己酮灭火技术在船舶消防领域的应用。

(1) 抑制不同类型火源机舱火灾时全氟己酮的灭火性能表现及提升途径。

(2) 在具备较大空间，自然通风等工况的机舱内的浓度扩散规律及影响因素。

(3) 全氟己酮在抑制机舱火灾过程中产生的有毒气体水平等负面影响评价。

(4) 全氟己酮与其他灭火系统对机舱火灾的协同灭火表现与规律。

参考文献

- [1] Protocol M.Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer.Washington, DC : US Government Printing Office, 1987 ,26:128–136.
- [2] Velders G J M, Andersen S O, Daniel J S, et al.The Importance of the Montreal Protocol in Protecting Climate[J].Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2007, 104(12):4814–4819.
- [3] 邢浩然, 张和平, 陆松等. 全氟己酮灭火剂研究进展综述 [C]. 中国航空学会第四届飞机防火系统学术研讨会 ,2019:188–199.
- [4] 黄全进 . 浅议船舶机舱火灾的成因及预防 [J]. 中国水运 (下半月),2008(05):44–45.
- [5] 3M Company.3M Novec1230 Fire Protection Fluid[R].2018.
- [6] 米欣, 张杰, 王晓文 . 新型洁净灭火剂 Novec1230 介绍及应用 [J]. 消防技术与产品信息 ,2012(04):32–34.
- [7] 崔凤霞, 覃况 , 石磊 , 张品 , 潘仁明 . 全氟己酮灭火剂高温热裂解性能研究 [J]. 爆破器材 ,2015, 44(06):5–8+14.
- [8] 邓军 , 朱熹 , 程方明 . 氟化酮灭火剂用于瓦斯抑爆研究综述 [J]. 煤矿“安全 ,2017, 48(07):181–183.
- [9] Linteris G T, Babushok V I, Sunderland P B, et al.Unwanted combustion enhancement by C6F12O fire suppressant[J].Proceedings of the Combustion Institute, 2013, 34(2): 2683–2690
- [10] 黄安 . 一种船用全氟己酮灭火装置 :,CN112237698A[P].2021.