

研究报告

# HEAE 气溶胶出口温度控制的实验研究

张永丰<sup>1</sup>, 廖光焯<sup>1</sup>, 周晓猛<sup>1</sup>, 潘仁明<sup>2</sup>, 王 华<sup>2</sup>

(1. 中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室, 合肥 230026; 2. 南京理工大学, 南京 210094)

**[摘要]** 高效气溶胶灭火剂 (HEAE) 是由固体推进剂技术发展而成, 属于烟火类药剂。当 HEAE 灭火剂生成气溶胶, 出口气溶胶温度很高, 会对被保护空间形成二次危害, 影响灭火效果, 因此灭火装置喷射时需作降温处理。针对灭火装置的特点, 采用外冷却方法, 利用固化的化学冷却剂, 对高温 HEAE 燃烧产物实施冷却处理。重点考察了冷却块中冷却剂的含量、冷却块的孔径以及冷却块与 HEAE 灭火剂重量比对冷却降温效果的影响。结果表明, 通过合理调节冷却块中冷却剂的含量、冷却块的孔径以及冷却块与 HEAE 灭火剂质量比, 能有效地降低灭火装置喷口处的气溶胶灭火介质的温度。

**[关键词]** 气溶胶灭火剂; 哈龙替代; 冷却

**[中图分类号]** P7 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)03-0079-04

## 1 引言

近年来由于臭氧层的破坏, 人类生存环境已经受到严重破坏。为此, 联合国环境保护公约——蒙特利尔公约 (1987 年) 已明确对各签约国提出具体目标, 要求在 21 世纪初取代卤代烷系列灭火剂<sup>[1-5]</sup>。哈龙替代品技术的研究成为消防行业的研究热点之一。气溶胶灭火剂具有灭火效率高, 灭火装置简单, 无需耐压容器, 装配维修简便, 成本低廉等优点而备受各国政府和市场的关注<sup>[6,7]</sup>。

笔者所在课题组研究的高效气溶胶灭火剂 (HEAE) 是由固体推进剂技术发展而成。HEAE 热气溶胶灭火剂是固态混合物, 本身不能灭火, 它是通过有控制的燃烧反应产生大量的直径小于 1  $\mu\text{m}$  的活性气溶胶固体微粒、水汽和  $\text{CO}_2$  等惰性气体, 利用活性固态微粒, 中断燃烧链反应的化学抑制作用和惰性气体的物理窒息来达到灭火目的的。但是燃烧生成的气溶胶产物温度很高, 如不采取降温措施, 则会带来以下不利效应:

1) 气溶胶产物的温度很高, 若不采取降温措

施, 则在灭火装置喷口会形成外喷火焰, 引起被保护空间温度升高, 可能引燃未燃的可燃物;

2) 高温气溶胶会对保护空间内的人和物造成伤害或损坏;

3) 灭火介质温度高, 易造成空间分布不均, 影响灭火效果。

显然, 在灭火过程中必需采取措施降低 HEAE 气溶胶的温度。但气溶胶出口温度过低, 固体微粒会凝聚, 微粒变大, 弥散性变差, 从而降低灭火效能, 甚至不能扑灭、遮挡火。因此, 控制适当的气溶胶出口温度是课题组研究的目标<sup>[6-15]</sup>。

热气溶胶灭火剂的特征之一就是温度, 要把气溶胶的温度降得很低或者接近室温是不现实的。不管采用物理或是化学的方法, 都会在一定程度上降低气溶胶的灭火效能。澳大利亚的新标准规定了气溶胶出口温度不大于 250  $^{\circ}\text{C}$ , 在距出口处 0.5 m 处的温度不大于 75  $^{\circ}\text{C}$ , 这是比较现实的指标<sup>[16]</sup>。根据中华人民共和国公共安全行业标准, 灭火装置充装额定的灭火剂量, 在  $20 \pm 0.5$   $^{\circ}\text{C}$  的条件下, 其喷口温度要求不超过 180  $^{\circ}\text{C}$ <sup>[17]</sup>。为此选择 180  $^{\circ}\text{C}$  作为

[收稿日期] 2004-11-09; 修回日期 2005-02-27

[基金项目] 国家重点基础研究发展计划“九七三”资助项目 (2001CB409600)

[作者简介] 张永丰 (1977-), 男, 江苏昆山市人, 中国科学技术大学火灾科学国家重点实验室博士研究生

出口处气溶胶温度的目标。

## 2 实验装置和方法

笔者采用化学冷却剂，将冷却剂与 AH 粘合剂混合后，在模具中进行“固化”，形成类似蜂窝煤状的冷却块。这样既可增加换热面积，提高了降温效率，又能阻隔燃烧产物中的固体残渣进入被保护空间<sup>[17]</sup>。实验装置如图 1 所示，它由燃烧器、冷却元件、喷口及壳体组成。燃烧器中灭火剂燃烧生成的气溶胶经冷却块降温后由喷口喷出。测温仪由热电偶导线、记录仪等组成。热电偶量程上限为 800℃，其感温探头置于喷口切面正中，距喷口 12 cm 测定气溶胶灭火介质的温度。实验分别考察冷却块中冷却剂的含量、冷却块的孔径以及冷却块与 HEAE 灭火剂质量比对降温效果的影响。

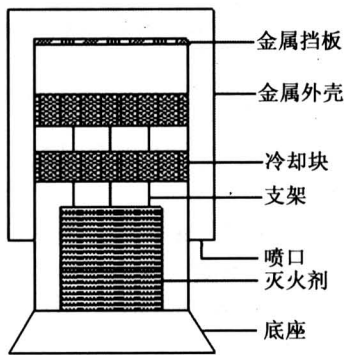


图 1 灭火装置示意图

Fig.1 Diagram of extinguisher

## 3 实验结果及讨论

### 3.1 冷却剂含量对降温效果的影响

由于在冷却块中起降温作用的主要是冷却剂，所以冷却剂含量越高，降温效果越好。但是随着冷却块中无机胶的减少，冷却块的强度及耐高温性能变差，在热气溶胶灭火剂燃烧生成的高温灭火介质作用下，冷却块会“风化”，大量粉尘被气溶胶带出，影响气溶胶的质量。笔者设计了 5 种冷却剂质量分数分别为 50%，60%，66.7%，75% 和 80% 的冷却块。实验时测量灭火剂燃烧时喷口灭火介质温度  $t$ ，每种测 3 次，取平均值（下同）。具体实验条件为：环境温度  $26 \pm 2$ ℃，冷却块与灭火剂重量比 3:1，冷却块孔径 12 mm，结果见图 2。

由图 2 可知，反应开始时，由于 HEAE 气溶胶燃烧而产生大量的热，喷口处温度迅速升高，达到

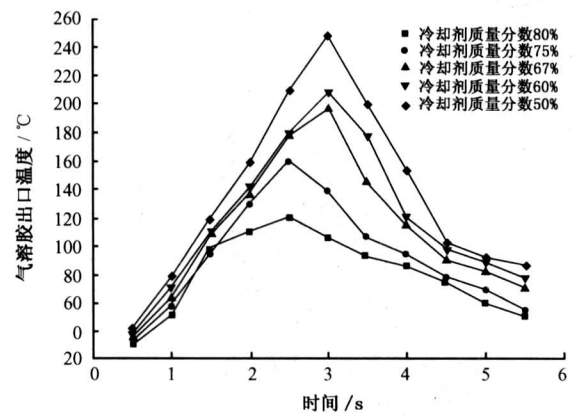


图 2 喷口处气溶胶灭火介质温度与冷却剂含量的关系曲线

Fig.2 Relation between  $T$  of the spout aerosol medium and time with different refrigerant content

最高点后慢慢回落。随着冷却剂含量的增加，最高温度逐渐降低，温度时间曲线趋于平稳。当质量分数为 75% ~ 80% 时，这种趋势更加明显。由此可以看出：冷却块中冷却剂质量分数越高，冷却块的降温效果越好。但是随着冷却剂的增加，冷却块的强度越来越差。当冷却剂质量分数为 80% 时，观察到冷却块受热“风化”。为此将冷却块中冷却剂质量分数设计为 75%，这样既达到了良好的冷却效果，又保证冷却块不“风化”。

### 3.2 冷却块孔径大小对降温效果的影响

根据换热理论知：当冷却块孔总截面积一定时，冷却块的孔径越小，冷却块与生成的气溶胶灭火介质的接触面积越大，降温效果越好。然而冷却块孔径越小，加工难度越大。为了研究冷却块孔径大小对降温效果的影响，实验时分别将冷却块孔径设计为 16 mm，14 mm，12 mm 和 10 mm 4 种，并测量不同孔径对应喷口的灭火介质温度  $t$ 。实验条件如下：环境温度为  $24 \pm 2$ ℃，冷却块与灭火剂质量比为 3:1，冷却剂质量分数为 75%，结果见图 3。

如图 3 所示，喷口处气溶胶灭火介质的最高温度在冷却块孔径为 12 mm 时最低，并且温度时间曲线最为平稳。在冷却块孔径大于 12 mm 时，气溶胶的温度随着冷却块孔径增大而升高。但是在冷却块孔径小于 12 mm 时，气溶胶的温度随着冷却块孔径减小而升高。因为当冷却块的孔径小到一定程度时，气溶胶灭火介质不能很顺畅地通过冷却块，容易引起压力的积聚，导致气溶胶灭火剂剧烈燃烧，使气溶胶燃烧产物温度升高，但这种变化没

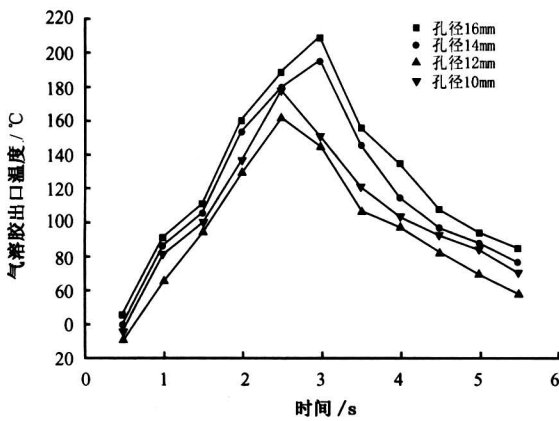


图3 喷口处气溶胶灭火介质温度与孔径的关系曲线

Fig.3 Relation between  $T$  of the spout aerosol medium and time with different aperture

有规律性。所以，为了达到最佳的降温效果，一定要采用合适的冷却块孔径。

### 3.3 冷却块与 HEAE 质量比对降温效果的影响

相对一定含量的灭火剂，冷却块量越多，降温效果越好，但是过量的冷却块会使装置的体积和质量增加。因此，需研究合理的冷却块与灭火剂的比例使其既保证出口处气溶胶的温度不太高，又不过多增加装置质量，笔者设计了冷却块与 HEAE 灭火剂质量比分别为 4:1, 3:1, 2:1 和 1.5:1，并测量不同质量比对应喷口灭火介质的最高温度  $t$ 。具体实验条件如下：环境温度为  $20 \pm 2$  °C，冷却剂质量分数为 75%，孔径为 12 mm，结果见图 4。

由图 4 可知：随着冷却块与灭火剂质量比的增大，最高温度逐渐减小，当这种质量比为 3:1 时，喷口气溶胶的最高温度为 160 °C，低于 180 °C。当质量比为 4:1 时，虽然最高温度为 139 °C，但冷却块用量过多，不利于装置的机动性。为此笔者将质量比定为 3:1。

### 3.4 综合实验

由上述实验可知：冷却块中冷却剂含量为 75%，冷却块的孔径为 12 mm，冷却剂与灭火剂的质量比为 3:1 时的降温效果比较理想。以此条件来考察冷却块的降温效果。具体实验条件：环境温度为 202 °C，灭火剂量为 250 g。结果见图 5。

由图 5 可知，开始时喷口处气溶胶灭火介质的温度很快升高，在 3 s 左右达到最高温度 160 °C，之后温度迅速回落。出口处气溶胶的温度都在

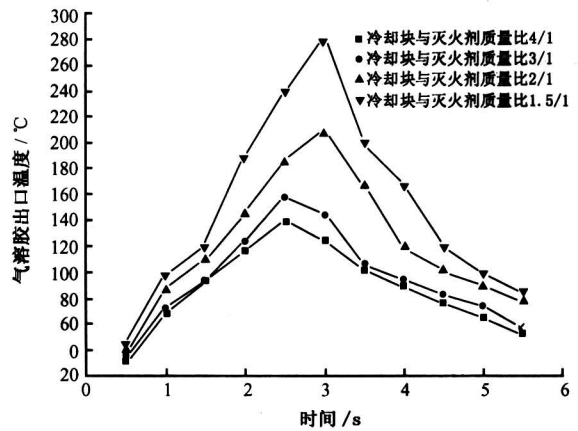


图4 喷口处最高温度与不同冷却块/灭火剂的关系曲线

Fig.4 Relation between  $T$  of the spout aerosol medium and time with different proportion of refrigerant and HEAE

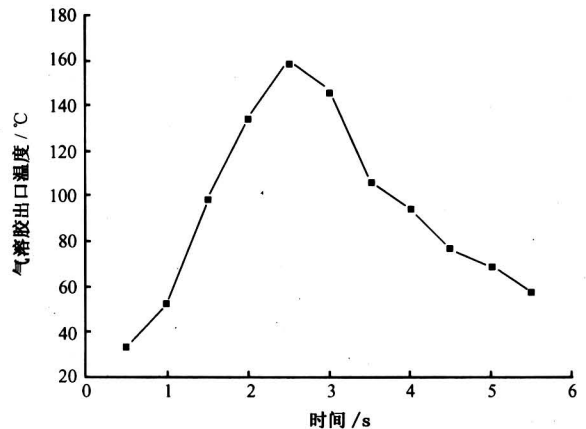


图5 出口处气溶胶温度与时间的关系曲线

Fig.5 Relation between  $T$  of the spout aerosol medium and time

160 °C 以下，说明在上述条件下冷却块的降温效果较好，达到了该装置对气溶胶温度的要求。

## 4 结论

1) 随着冷却块中冷却剂含量的增加，冷却块的降温效果得到改善。考虑到冷却块强度的要求，冷却剂含量在 75% 时，既获得良好的冷却效果，又保证了冷却块的强度。

2) 随着冷却块中的孔径大小的变化，冷却块的降温效果差别较大，所以在冷却块加工成型时，应当尽可能地选用合适的冷却块孔径尺寸。

3) 随着冷却块与灭火剂的质量比增加, 冷却块的降温效果变得更佳。综合考虑降温效果和灭火装置质量、尺寸等因素, 冷却剂与灭火剂质量比设计为 3:1。

总之, 可以通过合理的调节冷却块中冷却剂的含量、冷却块的孔径以及冷却块与 HEAE 灭火剂质量比, 有效地降低灭火装置喷口处的气溶胶灭火介质的温度, 为达到最佳的灭火效果提供了参考依据。

#### 参考文献

- [1] 曹风中. 臭氧层空洞的报告[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990
- [2] Casias C R, Mckinnon J, Thomos A. Modeling study of the mechanisms of flame inhibition by  $\text{CH}_3\text{Br}$  fire suppression agent [A]. 27th Symp. (Int.) combustion (vol. 2)[C]. Washington, 1998. 2731 ~ 2739
- [3] Andersen Stephen O, Methis Karen L. The history of Halon phaseout and regulation of Halon alternative [A]. ACS Symp (Halon replacement)[C]. Washington, 1995. 8 ~ 15
- [4] Molina M J, Rowland F S. CFCs in the environment [J]. Nature, 1974, (8)
- [5] 陈继承, 等. 中国哈龙淘汰行动 [M]. 北京: 中国环境出版社, 2000
- [6] 乔海涛, 杨荣杰. 气溶胶灭火剂的研究概况 [J]. 消防技术与产品信息, 1998, (3)
- [7] 瓦列里·尼古拉耶维奇·科涅列夫, 瓦列里·尼洛维奇·埃梅科亚列夫. 用于灭火形成气溶胶的组合物及其制备方法 [P]. 中国专利, CN1166996A. 1997 - 12 - 10
- [8] Zhegrov, Evgeny Fedrovish. Multicomponent aerosol-forming fire extinguishers containing flame suppressants and combustion inhibitors [P]. PCT Int. Appl. WO 0015, 305
- [9] Drakin Nikolaj, Vasi' evic. Process and apparatus for extinguishing fires by a gas-aerosol mixture [P]. Eur. Pat. Appl. EP 976423
- [10] Filipczak R A. Comparative extinguishments performance and thermal decomposition products of Halon alternative agents [R]. Gov. Rep. Announce Index (U. S), 1995, 95(20). Abtr. No. 20 ~ 02, 087
- [11] Moore Ted A, Shkaggs Stephanie R, Tapscitt Tapscott Rober E. Field-scale testing of Halon replacement [A]. ACS Symp (Halon replacement)[C]. Washington. 1995. 110 ~ 121
- [12] Filipczak A K. Comparative extinguishments performance and thermal decomposition products of Halon alternative agents [R]. Gov. Rep. Announce index (U. S) 1995, 95 (20), Abstr. No 20 ~ 22, 087
- [13] Grosshandle W L, Gmurczyk G, Presser C. Effectiveness of Halon alternatives in suppressing dynamic combustion processes [A]. ACS Symp (Halon replacement) [C]. Washington, 1995. 204 ~ 224
- [14] Tapscott Robert E, Skaggs Stephanie R, Dierdorf Douglas. Perfluoroalkyl iodides and other new-generation Halon replacement [A]. ACS Symp (Halon replacement) [C]. Washington, 1995. 151 ~ 160
- [15] Schmid, Helmut, Eisenrein, Norbert, Weser Volker. Gas generator development for fire protection purpose [J]. Propellants Explos, 1999, 24(3): 144 ~ 148
- [16] Linteris G T. Acid gas production in inhibited propane-air diffusion flame [A]. ACS Symp (Halon replacement) [C]. Washington, 1995. 225 ~ 242
- [17] 中华人民共和国公共安全行业标准. 热气溶胶灭火装置(征求意见稿) [S]
- [18] 徐复铭, 等. 能源火炸药在工农业中的应用——气体发生剂及气体发生器 [M]. 北京: 国防工业出版社, 1988

## The Experimental Study of Controlling the Spout Temperature of HEAE

Zhang Yongfeng<sup>1</sup>, Liao Guangxuan<sup>1</sup>, Zhou Xiaomeng<sup>1</sup>, Pan Renming<sup>2</sup>, Wang Hua<sup>2</sup>

(1. State Key Laboratory of Fire Science, USTC, Hefei 230027, China;

2. Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

[Abstract] Highly effective aerosol fire-extinguishing agent (HEAE) is a safe and practical alternative to Halon which developed from pyrotechnics. When HEAE starts up, it generates aerosol products with high temperature so that its temperature must be lowered to not harmful to person and material. Aerosol products are cooled with exterior cooling by use of chemical coolant. This article mainly discussed the influences of refrigerant contents, apertures, proportion of refrigerant on the spout temperature of HEAE.

[Key words] aerosol fire extinguishing agent; Halon replacement; cooling