

doi:10.3969/j.issn.1001-8352.2017.01.009

S 型气溶胶灭火剂灭火时间的影响因素研究^{*}

葛梦珠 黄寅生 王俊杰 张冬冬
南京理工大学化工学院(江苏南京,210094)

[摘 要] 为了更加高效经济地熄灭火灾,对于同一配方,研究了灭火剂用量、灭火剂用量分配、油池直径对 S 型气溶胶灭火剂灭火时间的影响。研究表明:随着灭火剂用量的增加,灭火时间迅速降低,一定程度后,用量对灭火时间影响不大;灭火剂总用量不变时,两个灭火装置的灭火效能要高于一个灭火装置,随着灭火室的增大,这种效果将更为明显;随着油池直径的增加,灭火时间呈现先逐渐增大后减小的趋势。

[关键词] 灭火时间;气溶胶灭火剂;影响因素

[分类号] X924.4;TQ569

Influencing Factors for Extinguishing Time of S Type Aerosol Fire Extinguishing Agent

GE Mengzhu, HUANG Yinsheng, WANG Junjie, ZHANG Dongdong
School of Chemical Engineering, Nanjing University of Science and Technology (Jiangsu Nanjing, 210094)

[ABSTRACT] For the purpose of effective and economical fire extinguish, influencing factors for extinguishing time were investigated for the S type aerosol fire extinguishing agents having same formulation, such as the amount of extinguishing agent, numbers of devices, and the diameter of oil pool. Results indicate that increasing the amount of extinguishing agent decreases extinguishing time rapidly. The amount has little influence on the extinguishing time when it reaches a certain extent. With the same amount, the efficiency of two fire extinguishing equipment is higher than that of one. With the increase of fire room, this effect will be more obvious. Extinguishing time shows a trend of increase first and then decrease with the increase of oil pool diameter.

[KEYWORDS] extinguishing time; aerosol fire extinguishing agent; influencing factors

引言

S 型气溶胶灭火剂因具有灭火效率高、成本低廉、对大气臭氧层无破坏作用、空气存留时间短、无污染等优点被广泛应用。

影响 S 型气溶胶灭火剂灭火时间的因素主要有灭火剂的组分、物理特性及加工工艺、温度、湿度、空间位置等。王鹏等^[1]研究了添加剂对气溶胶灭火剂灭火效能的影响,应用尺寸为 1 m×1 m×1 m 的灭火效能试验箱对二茂铁等 7 种添加剂对灭火效能的影响进行研究;结果表明,在气溶胶灭火剂中添加 6% 的二茂铁可以提高热气溶胶灭火剂的灭火效能 29%,灭火效能值达到 54.3 g/m³。王华等^[2]研究了配方组分对气溶胶灭火剂燃速的影响规律:将不

同的影响因素进行组合,共同作为气溶胶灭火剂的组分,得到不同的燃速,从而达到被保护场所对于灭火剂燃速的要求。杨杰^[3]研究了粒度、混合度、氧平衡值、药柱尺寸、药柱密度、药柱含水率对灭火效率的影响。谢晔等^[4]研究了温度、湿度对热气溶胶灭火剂灭火效能的影响;在环境温度基本相同的情况下,随着相对湿度的增大,灭火剂用量越来越少,灭火效能越高,但是当相对湿度超过 80% 时,其灭火效能反而降低;相对湿度不变的情况下,温度升高,灭火效能稍有增大,效果不显著。葛梦珠等^[5]研究了空间位置对气溶胶灭火时间的影响:灭火剂置于封闭空间的中心位置时,具有最快的灭火效率;灭火剂置于封闭空间角落位置时,灭火效率最慢。张磊等^[6]研究了热气溶胶灭火剂在开放空间中对油池火的灭火情况:采用灭火棒喷射的施放方式,控

^{*} 收稿日期:2016-07-01
作者简介:葛梦珠(1988 -),女,硕士研究生,主要从事消防安全技术方面的研究。E-mail:1020167946@qq.com
通信作者:黄寅生(1962 -),男,教授,主要从事军事化学、应用化学及消防安全技术方面的研究。E-mail:huangyinsheng@sina.com

制施放角度、施放距离、火焰作用位置及风速等条件,进行油池火的局部灭火试验,结果表明,热气溶胶灭火剂与火焰作用的瞬间会加剧火焰的燃烧,且只有当灭火剂作用于火焰根部时才能有效地抑制油池火。朱静丽等^[7]研究了可燃剂对气溶胶灭火剂燃烧温度的影响,结果表明:可燃剂对气溶胶灭火剂燃烧温度影响显著,增加可燃剂含量可降低气溶胶灭火剂的燃烧温度。占必文等^[8]研究了硬脂酸通过包覆对气溶胶灭火剂吸湿性的影响,结果表明:包覆后,灭火剂吸湿很小,质量增加不超过 2%,通过扫描电镜 SEM 测试,包覆后结块较小,分布均匀,对燃烧没有影响。气溶胶灭火剂燃烧生成的灭火介质,符合菲克扩散定律^[9],灭火介质质量浓度不同,灭火时间存在明显差异。为了表征灭火介质质量浓度、位置及灭火时间的关系,笔者从梯度增加灭火剂用量、平均分配后并放置不同位置以及油池尺寸 3 个方面,观察火焰是否熄灭和熄灭时间,以此来表征灭火介质的浓度和弥漫性。

1 试验

对于同一灭火室和火源,灭火剂位于角落时,产物达到均匀有效灭火浓度的时间最长^[5]。因此,为了减小空间位置对试验的影响,将灭火剂均置于角落位置,火源均位于灭火室底部中心位置。灭火时间^[10]是指火源熄灭时间与灭火装置喷射时间的比值。

试验使用的小灭火室尺寸为 22 cm × 22 cm × 44 cm,大灭火室尺寸为 70 cm × 45 cm × 55 cm。使用 97#汽油,灭火剂均装于直径 1.5 cm、高 4.0 cm 的圆柱模具中。药剂的制备过程均采用手工磨制,每次配制 20 g 药剂,均匀分散于模具中。每次药剂进行 3 次平行试验,取平均值作为结果。试验温度为 (25 ± 5) ℃,相对湿度为 30% ~ 50%。对试验灭火过程进行摄像机拍摄,通过视频图片转换软件进行转换,记录时间变化。选取其中一组灭火视频中典型气溶胶灭火剂的灭火过程,如图 1 所示。

2 试验结果与讨论

2.1 灭火剂用量对灭火时间的影响

油池和灭火剂在灭火室中的位置如图 2,油池均置于灭火室底部中心位置。大、小灭火室使用的油池直径分别为 5.0 cm 和 2.2 cm。灭火剂用量梯

度增加,研究气溶胶灭火剂用量对灭火时间的影响,灭火剂在灭火室中的灭火性能如表 1 和表 2 所示。

由试验数据可知,对于同一灭火室,随着灭火剂

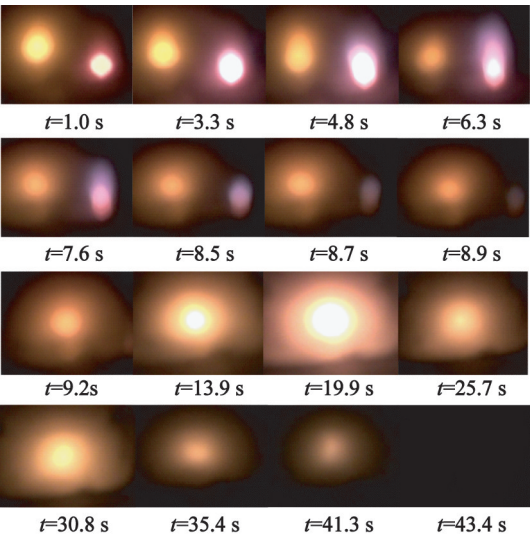


图 1 火焰随时间变化的过程

Fig. 1 Variation of flame in extinguish chamber

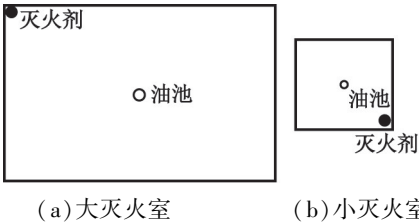


图 2 灭火室空间布局

Fig. 2 Spatial distribution of fire extinguish chamber

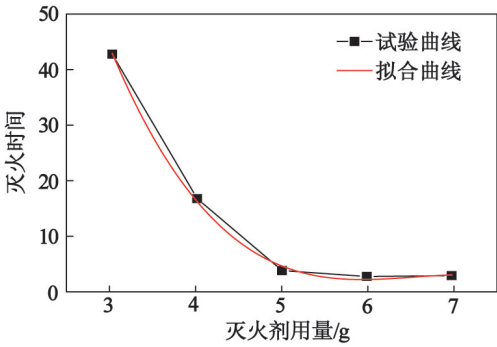
表 1 大灭火室气溶胶灭火性能

Tab. 1 Extinguish performances of aerosol in large extinguish chamber				
药量/ g	含水率/ %	线燃速/ (cm · s ⁻¹)	灭火时间	残渣率/ %
3.0	0.60	0.233	42.00	8.05
4.0	0.73	0.223	17.00	7.05
5.0	0.76	0.225	4.54	5.78
6.0	1.23	0.232	3.51	5.65
7.0	0.87	0.242	3.66	4.74

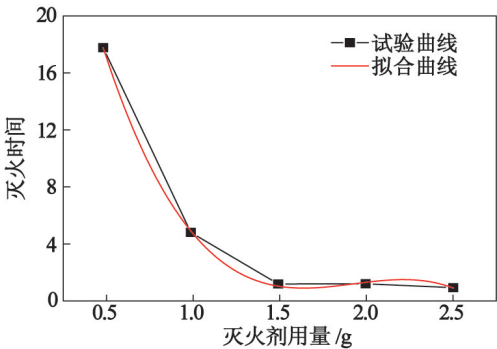
表 2 小灭火室气溶胶灭火性能

Tab. 2 Extinguish performances of aerosol in small extinguish chamber				
药量/ g	含水率/ %	线燃速/ (cm · s ⁻¹)	灭火时间	残渣率/ %
0.5	0.60	0.198	17.234	23.60
1.0	0.72	0.223	4.631	13.90
1.5	0.67	0.221	1.110	11.10
2.0	0.88	0.198	1.124	9.75
2.5	0.69	0.224	0.861	8.48

用量的增加,灭火时间迅速减少;当灭火剂用量达到一定程度后,继续增加药量,对灭火效果影响不大。对试验曲线进行多项式回归拟合,如图3所示。



(a)大灭火室



(b)小灭火室

图3 灭火剂用量与灭火时间的关系曲线
Fig.3 Relationship between quality of aerosol and extinguish time

大、小灭火室灭火剂用量与灭火时间的拟合方程如式(1)和式(2)所示。

$$y = -120.89x + 18.61x^2 - 0.95x^3 + 262.88; \tag{1}$$

$$y = -68.25x + 36.14x^2 - 6.24x^3 + 43.08. \tag{2}$$

2.2 灭火剂用量分配对灭火时间的影响

对于相同药量下多个灭火装置与单个灭火装置的情况,提出多个灭火装置效果优于单个灭火装置的猜想。由菲克扩散定律扩展到气溶胶灭火剂扩散三维模型^[9]。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right). \tag{3}$$

式中:(x, y, z)为空间中的某一点的位置; C 为气溶胶灭火剂的质量浓度; D 为烟气扩散系数。

将理想化的 C 和 $R^2 = x^2 + y^2 + z^2$ 作为烟气扩散蒸汽云球面的半径,引出方程:

$$C(R, t) = \frac{Q}{(4\pi Dt)^{\frac{3}{2}}} e^{-\frac{R^2}{4Dt}}. \tag{4}$$

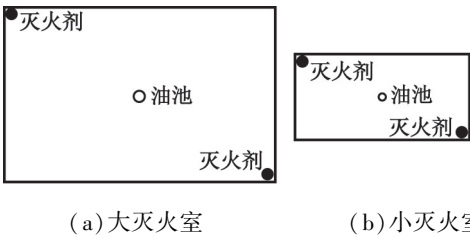
式中: Q 是气溶胶灭火剂质量。

将式(4)转化为

$$\frac{Q}{C(4\pi D)^{\frac{3}{2}} \cdot t^{\frac{3}{2}}} = e^{\frac{R^2}{4Dt}}. \tag{5}$$

由式(5)可知,质量 Q 、扩散系数 D 、半径 R 不变,灭火浓度越大,则灭火时间就越短。多个灭火装置同时燃烧相当于增大了灭火剂的灭火质量浓度,理论上多个灭火装置要优于单个灭火装置。

进行试验验证,将灭火剂用量均分成两份,油池直径与图2相同。油池与灭火剂在灭火室的位置如图4所示。灭火剂具体用量如表3和表4所示,比较单一灭火装置和两个灭火装置对灭火时间的影响,两个灭火装置的灭火性能如表3和表4所示。



(a)大灭火室 (b)小灭火室

图4 灭火室空间布局

Fig.4 Spatial distribution of fire extinguish chamber

表3 大灭火室气溶胶灭火性能

Tab.3 Extinguish performances of aerosol in large extinguish chamber

药量/ g	含水率/ %	线燃速/ (cm · s ⁻¹)	灭火时间	残渣率/ %
5.0	0.66	0.225	4.342	5.64
2.5 + 2.5	0.75	0.232	4.073	9.60

表4 小灭火室气溶胶灭火性能

Tab.4 Extinguish performances of aerosol in small extinguish chamber

药量/ g	含水率/ %	线燃速/ (cm · s ⁻¹)	灭火时间	残渣率/ %
1.5	0.50	0.243	3.368	11.2
0.75 + 0.75	0.65	0.223	3.208	17.2

由表3和表4可以看出,对于同一灭火室,灭火剂总量及位置相同时,两个灭火装置的灭火效能要优于单个灭火装置。随着灭火室的增大,这种效果将更为明显。验证了猜测的正确性。

2.3 油池大小对灭火时间的影响

根据2.2的试验结果,并考虑经济因素,选取最佳药量,小灭火室为1.5 g,大灭火室为5.0 g。试验采用单一灭火装置,灭火剂和油池的位置与图2相同。改变油池的大小,研究油池直径对灭火时间的影响。使用不同直径的油池时,灭火剂的灭火性能

如表 5 和表 6 所示。

表 5 大灭火室气溶胶灭火性能

Tab. 5 Extinguish performances of aerosol
in large extinguish chamber

油池直径/ mm	含水率/ %	线燃速/ (cm · s ⁻¹)	灭火时间	残渣率/ %
20	0.65	0.221	2.235	6.88
30	0.77	0.223	2.911	6.56
40	0.80	0.217	3.684	6.26
50	0.76	0.224	5.472	6.65
60	0.75	0.223	6.060	5.94
70	0.77	0.233	5.672	5.98
80	0.56	0.223	4.783	7.02
90	0.87	0.201	3.442	6.43
100	1.01	0.224	2.542	6.36
110	0.87	0.214	1.915	6.58
120	0.65	0.223	1.725	6.76

表 6 小灭火室气溶胶灭火性能

Tab. 6 Extinguish performances of aerosol
in small extinguish chamber

油池直径/ mm	含水率/ %	线燃速/ (cm · s ⁻¹)	灭火时间	残渣率/ %
20	0.75	0.243	1.000	11.6
25	0.77	0.230	1.222	14.5
30	0.75	0.214	1.803	13.1
35	0.96	0.196	4.670	12.2
40	1.05	0.223	8.217	10.9
45	0.77	0.223	4.580	10.5
50	0.86	0.234	1.300	10.8
55	0.58	0.216	1.160	11.2
60	0.97	0.223	1.100	10.9

由试验数据可知,当灭火剂位置和灭火剂总量相同时,随着油池直径的增加,灭火时间呈现先逐渐增大后逐渐减小的趋势。随着油池直径的增加,火势增大,单位时间燃烧产生的热量增加,温度降低速率减慢,离子结合时间延长,导致灭火时间延长;当油池的直径增大到一定程度时,油池燃烧单位时间的耗氧量增加,导致灭火室内氧气含量不足,灭火时间减小。分别对大、小灭火室最大直径油池火进行燃烧试验,得到的燃烧时间几乎是使用灭火剂的 3 倍,说明起到熄灭油池火作用的主要是灭火剂。采用 Gauss 函数对试验数据进行拟合,如图 5。

大、小灭火室灭火时间与油池直径的拟合方程分别如式(6)和式(7)所示。

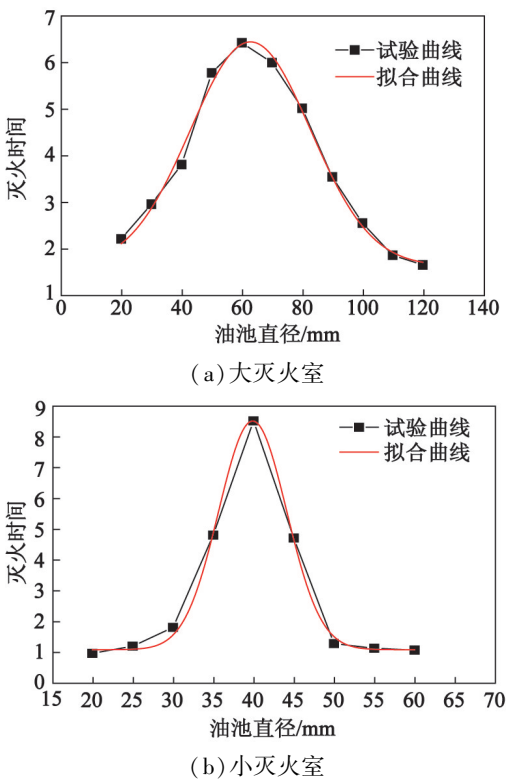


图 5 油池直径与灭火时间的关系曲线

Fig. 5 Relationship between quality of aerosol and extinguish time

$$y = 1.71 + \frac{5.48}{\sqrt{\frac{\pi}{2}}} e^{-\frac{2(x-62.82)^2}{39.9^2}}; \tag{6}$$

$$y = 1.11 + \frac{8.89}{\sqrt{\frac{\pi}{2}}} e^{-\frac{2(x-39.9)^2}{8.45^2}}. \tag{7}$$

3 结论

通过以上试验研究可以得出以下结论:

- 1)对于同一灭火室,随着灭火剂用量的增加,灭火时间迅速降低,当灭火剂用量到达一定程度后,继续增加用量,对灭火效果影响不大。
- 2)当灭火剂的用量不变时,两个灭火装置的灭火效能要高于一个灭火装置;随着灭火室尺寸的增大,这种效果将更为明显。
- 3)随着油池直径的增加,灭火时间呈现先逐渐增大后逐渐减小的趋势。

参 考 文 献

[1] 王鹏,李玉. 添加剂对热气溶胶灭火剂灭火效能的影响[J]. 消防科学与技术,2012,34(12):168-170.
WANG P,LI Y. Experiment study on extinguish efficiency

of heat aerosol extinguishing agent with additives [J]. Fire Science and Technology, 2012, 34(12): 168-170.

[2] 王华,潘仁明,张永丰. 配方组成对气溶胶灭火剂燃速的影响规律研究[J]. 化工时刊, 2003, 17(12): 51-53. WANG H, PAN R M, ZHANG Y F. Research on the influence of the speed of the different aerosol extinguishing agent compositions [J]. Chemical Industry Time, 2003, 17(12): 51-53.

[3] 杨杰. 气溶胶灭火剂的灭火机理及影响因素研究[J]. 江南大学学报(自然科学版), 2003, 2(3): 303-308. YANG J. Fire extinguishment mechanism and influence of aerosol fire extinguishment agent [J]. Journal of Southern Yangtze University (Nature Science Edition), 2003, 2(3): 303-308.

[4] 谢晔,周群,陈斌. 温度湿度对热气溶胶灭火剂灭火效能的影响探讨[J]. 消防技术与产品信息, 2011(6): 41-43. XIE Y, ZHOU Q, CHEN B. Research on the influence of the temperature and moisture on extinguish efficiency of heat aerosol extinguishing agent [J]. Fire Technique and Products Information, 2011(6): 41-43.

[5] 葛梦珠,黄寅生,王俊杰,等. 空间位置对S型气溶胶灭火剂灭火时间的影响[J]. 消防科学与技术, 2016, 35(4): 559-561. GE M Z, HUANG Y S, WANG J J, et al. The influence of space position on extinguishing time for S type aerosol fire extinguishing agent [J]. Fire Science and Technology, 2016, 35(4): 559-561.

[6] 张磊,朱静丽,潘仁明,等. 热气溶胶灭火剂抑制开放空间内油池火的试验研究[J]. 安全与环境学报, 2016, 16(4): 86-90. ZHANG L, ZHU J L, PAN R M, et al. Experimental study on the aerosol fire extinguishing agent for suppression oil pool fire in the open space [J]. Journal Safety and Environment, 2016, 16(4): 86-90.

[7] 朱静丽,潘仁明,郑文芳. 可燃剂对气溶胶灭火剂燃烧温度的影响[J]. 消防科学与技术, 2014, 33(2): 195-197. ZHU J L, PAN R M, ZHENG W F. Effect of combustible agent on combustion temperature of fire extinguishing agent [J]. Fire Science and Technology, 2014, 33(2): 195-197.

[8] 占必文,黄寅生,赵宇,等. 硬脂酸对气溶胶灭火剂包覆改善吸湿性的研究[J]. 爆破器材, 2013, 42(3): 25-28. ZHAN B W, HUANG Y S, ZHAO Y, et al. Research on the moisture absorption improvement of aerosol extinguisher by stearic acid coating [J]. Explosive Materials, 2013, 42(3): 25-28.

[9] ZHU C G, LÜ C X, WANG J. Evaluation of aerosol fire extinguishing agent using a simple diffusion model [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2012(2): 587-612.

[10] 江泉南. S型热气溶胶灭火剂出口温度抑制的研究[D]. 南京:南京理工大学, 2014. JIANG X N. Study on the outlet temperature control of S-type condensed aerosol extinguishing agent [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2014.



(上接第40页)

charge conditions on detonation property of flying plate detonator [J]. Initiators and Pyrotechnics, 2005(4): 13-16.

[7] 刘明全,高欣,李学平,等. 一种飞片式无起爆药电雷管激发药:CN102153427A[P]. 2010-12-17.

[8] 马宏昊,沈兆武,陈文川,等. PETN和RDX在无起爆药雷管中作为激发药的对比性研究[J]. 含能材料, 2008, 16(3): 285-289. MA H H, SHEN Z W, CHEN W C, et al. Research on the performance of PETN and RDX as the excitation powder [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2008, 16(3): 285-289.

[9] 蔡瑞娇. 火工品设计原理[M]. 北京:北京理工大学出版社, 1999.

[10] 贾祥瑞,杜霞,李冬香. 炸药热安定性的快速评定方法[J]. 军械工程学院学报, 1994, 6(2): 124-128. JIA X R, DU X, LI D X. A quick method evaluating of explosive thermal stability [J]. Journal of Ordnance Engineering College, 1994, 6(2): 124-128.

[11] 李艳春. 热分析动力学在含能材料中的应用[D]. 南京:南京理工大学, 2009. LI Y C. The application of thermal analysis kinetics on energetic materials [D]. Nanjing: Nanjing University of Science and Technology, 2009.

[12] 黄寅生. 炸药理论[M]. 北京:兵器工业出版社, 2009.

[13] 王凯民. 火工品工程[M]. 北京:国防工业出版社, 2014. WANG K M. Engineering of initiators and pyrotechnics [M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2014.