

# 高原环境对水成膜泡沫灭火剂 灭火性能影响

陈现涛 应炳松 孟亚伟 贺元骅\*

(中国民用航空飞行学院民航安全工程学院,广汉 618307)

**摘要** 使用水成膜泡沫灭火剂(AFFF)分别在都江堰(海拔700 m)和康定机场(海拔4 290 m)进行灭航空煤油池火实验,研究高原低压低氧环境对水成膜泡沫灭火剂灭火性能影响。实验研究发现高原环境下航空煤油池火火功率减小,燃烧速率降低,水成膜泡沫灭火剂的灭火性能增强。

**关键词** 水成膜泡沫灭火剂 高原 航空煤油池火 灭火性能

**中图法分类号** TQ569; **文献标志码** B

我国高原地区面积辽阔,现拥有15个高高原机场(海拔高度在2 438 m或8 000 ft及以上的机场称之为高高原机场),且高高原机场数量和运输量近年来呈快速增长的趋势<sup>[1,2]</sup>。随着高高原航空运输量的迅猛发展,高高原机场发生航空事故的风险在不断增大;同时,为维持航班的正常运行,大量航空煤油等燃料在高高原机场的储存、运输和使用,增加了发生燃油火灾的危险。

由于水成膜泡沫灭火剂(AFFF)在扑灭B类火上的显著优势,国际民航组织要求机场消防救援把水成膜泡沫灭火剂作为主用灭火剂。目前,国内高高原机场和平原机场的消防配置标准并无差异,所配备灭火剂为普通AFFF。考虑高高原机场低压、低氧的特殊环境对AFFF理化性能有影响;且罕见对AFFF灭火性能影响的研究。因此对低压低氧环境对AFFF灭火性能影响研究十分重要<sup>[3—5]</sup>。此研究在真实高高原机场环境下进行,不但进一步验证了之前很多学者在模拟低压环境下池火研究的结论,还得出了AFFF在低压低氧环

境中的灭火规律。

## 1 实验系统及测试仪器

实验分别在都江堰(海拔700 m)和康定机场(海拔4 290 m)的实验室室内进行。实验系统主要由泡沫发生系统、泡沫喷射系统和测实系统组成<sup>[6]</sup>。其中泡沫发生系统由空压机、储气罐、干燥机、过滤器、压力调节阀和泡沫罐组成。喷射系统由压力阀、手动阀、流量计和泡沫枪组成。油盘采用的是0.8 m<sup>2</sup>的圆形油盘,深度为15 cm。图1为整个实验系统的仪器布置图,图2为热电偶布置图。1~12是热电偶,其中1、4、7、10号热电偶距离油面200 mm,热电偶间距为300 mm。无纸记录仪每1 s采集一次热电偶数据。

## 2 实验内容

实验样本为市场上常见的6%型水成膜泡沫灭火剂,燃料为我国民航运输机使用的航空煤油。参照GB 15308—2006的灭火实验标准,在平原(都江堰)和高原(康定机场)测实了水成膜泡沫灭火剂灭火性能<sup>[7]</sup>。

油盘水平放置在地面上,先加入40 L水将盘底全部覆盖,然后加入8 L航空煤油,保证油的厚度大于等于1 cm,并在5 min之内点燃航空煤油。为保证航空煤油燃烧达到最大功率再进行灭火,都江堰实验时航空煤油预燃90 s喷射泡沫,并开始记录灭火时间;而考虑高高原机场低压低氧环境下航空煤油的燃烧速率降低,为保证航空煤油达到最大燃烧功率,预燃120 s喷射泡沫,并记录灭火时间。都江堰和康定机场实验室的实验条件如表1。

2017年1月6日收到

民航安全能力建设项目和

国家自然科学基金重点项目(U1633203)资助  
第一作者简介:陈现涛(1982—),男,讲师。研究方向:航空安全工程与应急救援。E-mail:mycafuc@163.com。

\*通信作者简介:贺元骅(1965—),男,教授。研究方向:航空安全工程与应急救援。E-mail:154041157@qq.com。

引用格式:陈现涛,应炳松,孟亚伟,等.高原环境对水成膜泡沫灭火剂灭火性能影响[J].科学技术与工程,2017,17(20):201—204  
Chen Xiantao, Ying Bingsong, Meng Yawei, et al. The affects of plateau environment on the aqueous film-forming foam extinguishing agent fire extinguishing performance [J]. Science Technology and Engineering, 2017, 17(20): 201—204

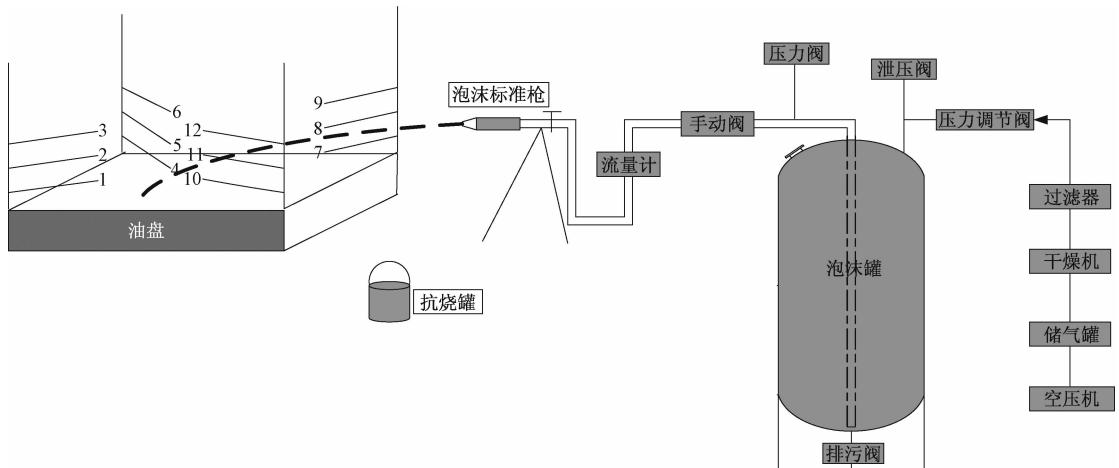


图 1 实验系统布置图

Fig. 1 The arrangement of experiment system

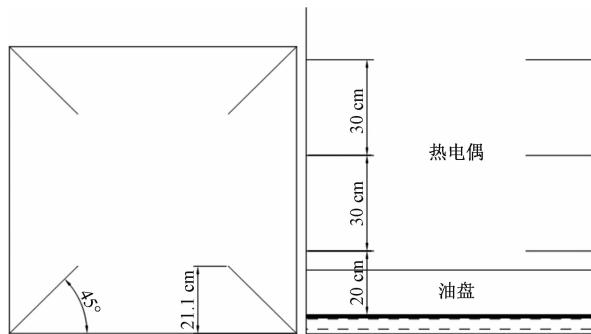


图 2 热电偶位置图

Fig. 2 The location of thermocouple

表 1 都江堰和康定机场实验条件

Table 1 The experiment condition of Dujiangyan and Kangting

实验地点	海拔高度/m	大气压力/kPa	环境温度/℃
都江堰	700	92.8	12~15
康定机场	4 290	61.0	10~14

### 3 实验结果及分析

实验中分别选取 AFFF 灭火效果较好的发泡倍数 8 倍、11 倍进行灭火实验。实验重复至少 3 次且实验过程全程录像,实验过程中,1、3、7、10 号热电偶温度最高。由图 1 可得热电偶对称布置。实验过程中选取 1 号热电偶温度低于 150 ℃时刻作为灭火时刻<sup>[8]</sup>。

#### 3.1 实验结果

分析选用多次实验的平均数据。整个过程测量曲线分为 3 个阶段,从点火开始到喷射泡沫为预燃阶段,从喷射泡沫开始到火焰温度下降为控火阶段,从温度下降到火焰熄灭为灭火阶段。

如图 3 所示为 0.8 m<sup>2</sup> 油盘的航空煤油空白实验温度曲线图,可以看出,在都江堰常压环境下航空煤油燃烧的火功率更大,表现出来的最高温度明显高于康定机场低压环境下的最高温度,但康定机场低压低氧环境下航空煤油的燃烧时间更长。

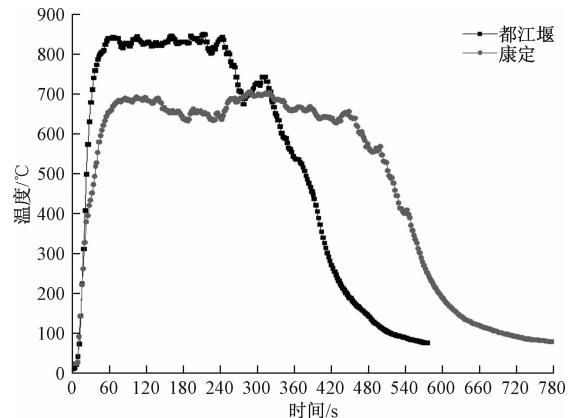


图 3 空白实验温度曲线

Fig. 3 Temperature curve of blank experiment

图 4 和图 5 所示为 AFFF 发泡倍数 8 倍和 11 倍时都江堰和康定灭火实验的温度曲线对比。图 4、图 5 中的竖直实线和虚线分别表示都江堰实验和康定实验中喷射泡沫的时间点,都江堰为点火 90 s 后喷射泡沫,而康定机场为点火 120 s 后喷射泡沫。从图 4、图 5 中可以看出,相同的泡沫和相同的发泡倍数情况下,都江堰常压状态下的航空煤油火的灭火时间明显长于康定机场低压低氧状态下的灭火时间,且从灭火曲线上可以看出在康定低压低氧环境下水成膜泡沫灭火剂的降温速率更快。表 2 所示为 AFFF 发泡倍数分别在 8、11 倍时灭火时间数据。

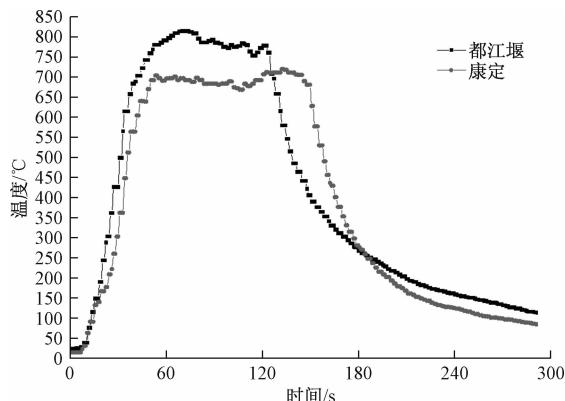


图4 发泡倍数8倍时灭火温度曲线

Fig. 4 Temperature curve of extinguishing fire by AFFF under the foam times eight

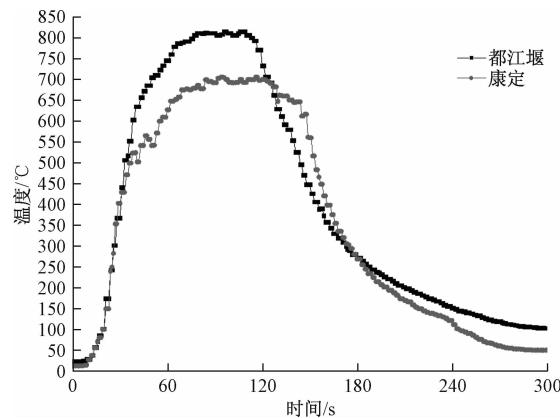


图5 发泡倍数11倍时灭火温度曲线

Fig. 5 Temperature curve of extinguishing fire by AFFF under the foam times eleven

表2 AFFF 灭火时间

Table 2 Extinguishing time by AFFF

发泡倍数	实验地点	
	都江堰	康定
8	172	107
11	154	104

### 3.2 实验分析

康定实验时预燃阶段的时间为120 s,而都江堰实验时预燃阶段时间为90 s。从图3可以看出在都江堰预燃90 s和康定预燃120 s,燃烧都进入到了稳定状态,均保证了油盘火的火功率到达峰值阶段。在空白实验中都江堰燃烧488 s,康定燃烧了641 s均大于两地预燃时间加上灭火时间,说明灭火过程中有足够的油量保证燃烧进行,灭火真实有效而非航空煤油耗尽熄灭。

由于压力和氧含量的不同,高原地区池火呈现出和平原地区不同的规律,低压对池火发展过程影响很大,燃烧速率和环境压力的 $2/3$ 次方成正比。

对于相同尺寸的油盘相同高度的油池火连续火焰温度低于平原地区,质量燃烧率变低,燃烧时间变长,对周围的热辐射通量也降低<sup>[9-11]</sup>。从图3中可以看出在0.8 m<sup>2</sup>的油盘中8 L的航空煤油在康定比在都江堰多燃烧了153 s。两地空白燃烧实验中最高温度康定也比都江堰低了108 °C。对于相同尺寸的航空煤油池火在高高原地区最高温度降低,火功率下降,燃烧速率也降低。根据水成膜泡沫灭火剂灭火的降温和覆盖的灭火机理可以得出,高原低压低氧环境下的低功率火相比较平原常压环境下的火更容易扑灭。

其次,本研究中所用的灭火装置中的泡沫枪为主动供气、倍数可调的新型泡沫枪,基本上避免了外界环境对泡沫发泡倍数的影响。同时,国内其他学者的研究表明,在高原低压低氧环境下,自然吸气式泡沫枪在喷射泡沫时吸入的空气量减小,导致发泡倍数会有略微的降低,但是不明显<sup>[12-14]</sup>。低压低氧环境使得泡沫的理化性能影响并不大且泡沫单个体积减小,壁厚增加抗破碎能力增强,25%的析液时间增长<sup>[14-16]</sup>。

综合以上分析可得,高原低压低氧环境下水成膜泡沫灭火剂的灭火效能受环境影响很小,泡沫的灭火能力并没有实质性下降,而航空煤油池火由于热释放速率下降,火功率降低,所以变得易于被扑灭,使得水成膜泡沫灭火剂的灭火效果增强。

## 4 结论和展望

(1)高原环境下由于压力和氧含量的降低,抑制了航空煤油池火的燃烧。对于相同尺寸的航空煤油池火,热释放速率减小,火功率降低,燃烧时间更长。

(2)高原环境下水成膜泡沫灭火剂理化性能无明显变化,灭火性能与常压环境下差异不大,扑灭相同尺寸油盘火时,用时更短,降温速率快。

(3)通过GB 15308—2006测实合格的普通水成膜泡沫灭火剂在高高原机场的灭火性能优于平原机场,仅考虑灭火效果的情况下无须担心水成膜泡沫灭火剂在高原的适用性。

## 参 考 文 献

- 贾旭宏,贾乐强,陈现涛.海拔高度对水成膜泡沫灭火剂性能的影响.消防科学与技术,2016;(4):556—558  
Jia Xuhong, Jia Leqiang, Chen Xiantao. Effect of the altitude on the property of AFFF. Fire Science and Technology, 2016; (4): 556—558
- 李刚.高高原机场的航油供应.中国民用航空,2015;(1):88—89

- Li Gang. High plateau airport aviation fuel supply. China Civil Aviation, 2015; (1): 88—89
- 3 公安部天津消防科学研究所. 成膜氟蛋白泡沫灭火剂(FFFP)的研究. 消防技术与产品信息, 2001; (1): 47  
Tianjin Fire Research Institute of MPS. The research of FFFP. Fire, Technique and Products Information, 2001; (1): 47
- 4 叶洪烈, 傅学成, 胡英年. SD-AFFF型水成膜泡沫灭火剂的研究. 消防科学与技术, 2001; (4): 36—38  
Ye Honglie, Fu Xuecheng, Hu Yingnian. The research of SD-AFFF aqueous film forming foam extinguishing agent. Fire Science and Technology, 2001; (4): 36—38
- 5 刘祖鹏, 李兆敏, 郑伟博, 等. 多相泡沫体系稳定性研究. 石油化工高等学校学报, 2012; 25(4): 42—46  
Liu Zupeng, Li Zhaomin, Zheng Weibo, et al. Stability of multi-phase foam systems. Journal of Petrochemical Universities, 2012; 25 (4): 42—46
- 6 泡沫灭火剂: GB 25202—2010. 北京: 中国标准出版社, 2010  
Foam extinguishing agent: GB 25202—2010. Beijing: Standards Press of China, 2010
- 7 泡沫灭火剂: GB 15308—2006. 北京: 中国标准出版社, 2006  
Foam extinguishing agent: GB 15308—2006. Beijing: Standards Press of China, 2006
- 8 杨立军, 王向东, 廖圣洁, 等. 油面距油盘沿口高度对细水雾灭火效果的影响. 北京航空航天大学学报, 2008; 34(10): 1139—1142  
Yang Lijun, Wang Xiangdong, Liao Shengjie, et al. Effect of heptane-to-brim of pool distance on water mist fire suppression. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2008; 34 ( 10 ): 1139—1142
- 9 徐伯乐, 李元洲, 任彬彬, 等. 高原与平原地区油池火燃烧特性对比试验研究. 安全与环境学报, 2011; 11(1): 206—210  
Xu Bole, Li Yuanzhou, Ren Binbin, et al. Contrast experimental study on the combustion characteristics of the pool fire in the plateau and plain areas. Journal of Safety and Environment, 2011; 11 ( 1 ): 206—210
- 206—210
- 10 周志辉. 低气压环境对池火灾行为及羽流特性的影响机理研究. 合肥: 中国科学技术大学, 2014  
Zhou Zhihui. Effects of low ambient pressure on pool fire behavior and plume characteristics. Hefei: University of Science and Technology of China, 2014
- 11 徐伯乐. 高原环境下油池火的火焰及羽流特性研究. 合肥: 中国科学技术大学, 2010  
Xu Bole. The characteristics study of flame and plume of oil pool fire in plateau environment. Hefei: Science and Technology of China, 2010
- 12 Xiao J X, Yao J, Gao Z. Fluorocarbon surfactants and aqueous film-forming foam fire fighting agents. Chemical Research and Application, 2002; 14(4): 391—393
- 13 Hagenaars A, Meyer I J, Herzke D, et al. The search for alternative aqueous film forming foams (AFFF) with a low environmental impact: physiological and transcriptomic effects of two Forafac, fluorosurfactants in turbot. Aquatic Toxicology, 2011; 104(3—4): 168—176
- 14 陈现涛. 低压低氧对水成膜泡沫灭火剂性能影响研究. 消防科学与技术, 2016; (7): 990—993  
Chen Xiantao. Study on the effects of low pressure on aqueous film-forming foam extinguishing agent performance. Fire Science and Technology, 2016; (7): 990—993
- 15 Jun F, Yu C Y, Ran T, et al. The influence of low atmospheric pressure on carbon monoxide of n-heptane pool fires. Journal of Hazardous Materials, 2008; 154(1—3): 476—483
- 16 陈现涛, 贾井运, 贺元骅, 等. 气液比对水成膜泡沫灭火剂性能影响的实验研究. 消防科学与技术, 2016; (3): 405—407  
Chen Xiantao, Jia Jingyun, He Yuanhua, et al. Experiment study of the influence of gas-Hiquid ratio on the performance of aqueous film-forming foam extinguishing agent. Fire Science and Technology, 2016; (3): 405—407

## The Affects of Plateau Environment on the Aqueous Film-forming Foam Extinguishing Agent Fire Extinguishing Performance

CHEN Xian-tao, YING Bing-song, MENG Ya-wei, HE Yuan-hua<sup>\*</sup>

(Civil Aviation Safety Engineering Institute, Civil Aviation Flight University of China, Guanghan 618307, P. R. China)

**[Abstract]** It extinguishes aviation kerosene pool fire by aqueous film-forming foam extinguishing agent (AFFF) in Dujiangyan (700 m) and Kangting (4 290 m) city respectively, aiming at studying the plateau environment was affected on the aqueous film-forming foam extinguishing agent fire extinguishing performance. The experiments show that in the plateau environment the fire power of aviation kerosene pool fire and the burning rate decrease and the extinguishing performance of AFFF enhances.

**[Key words]** aqueous film-forming foam extinguishing agent      plateau      aviation kerosene pool fire      extinguishing performance