

KM6水平舱消防灭火系统介绍

余谦虚¹, 陈金明¹, 崔俊峰¹, 童靖宇¹, 海继臣²

(1. 北京卫星环境工程研究所, 北京 100094; 2. 首安工业消防股份有限公司, 北京 100096)

摘要: 消防灭火系统是KM6水平舱的重要组成系统之一。由于舱内环境的特殊性, 使得该系统不同于普通的消防灭火系统。针对KM6水平舱舱内的特殊环境, 文章分析了消防灭火系统的关键问题, 结合目前国际上先进的消防灭火技术, 提出了适合KM6水平舱特殊环境的消防灭火系统具体方案。经过调试后表明: 该系统设计理念先进, 能很好地满足水平舱“人-船-服”联合试验的需要。

关键词: 消防灭火系统; KM6; 水平舱; 环境模拟

中图分类号: V445

文献标识码: B

文章编号: 1673-1379(2007)04-0218-05

1 前言

火灾危害是载人航天试验的主要安全隐患之一。国外在这方面曾有过惨痛的教训^[1]。目前, 随着载人二期工程的启动, 飞船和航天员联合试验的频率会日益增多, 内容日趋复杂, 火灾隐患的威胁将变得突出。因此, 在KM6水平舱中考虑消防灭火问题是非常必要的。同时, 在消防灭火系统的研制过程中要充分考虑舱内环境的特殊性。

2 系统概况及特殊性

图1为KM6水平舱3舱位置的布局: 其消防保护区分为两块独立的区域, 分别是A舱和B舱; 同时, 试验期间飞船轨道舱放置在C舱。C舱需要配置救援灭火手段, 在飞船轨道舱发生较严重火灾时, 救援人员可以从A、B舱进入C舱进行灭火救援。

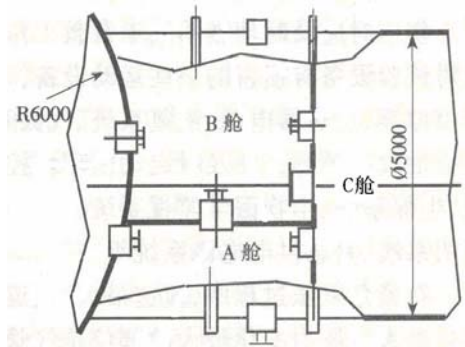


图1 KM6水平舱舱体布局示意图

Fig.1 Schematic diagram of KM6 horizontal cabin

在试验期间, A、B舱为低压富氧状态(含氧量50%~20%, 压力为40~100 kPa)。A、B舱结构形式为: 中间为救援人员活动空间, 上、下为夹层。3个舱的结构尺寸见表1。

表1 KM6水平舱消防区域结构尺寸

Table 1 The structure size of fire protection area of KM6 horizontal cabins

区域	容积/m ³	水平最大截面积/m ²	高度/m
C舱	216.00	55.00 (5.0×11.0)	5.00
B舱	43.00	15.00 (3.0×5.0)	5.00
A舱	25.70	7.00 (2.0×3.5)	5.00

主要火灾危险源为舱内的工艺设备、电线电缆、仪器仪表、训练人员衣服及所带可燃物。

KM6水平舱特殊性表现在:

(1) A、B舱因其结构形式为独立密封, 火灾发生时, 人员难以及时逃生, 因此要求消防灭火系统必须以人为本, 灭火介质的选择必须考虑最大限度地降低对人体的危害;

(2) A、B舱为低压富氧状态, 在试验期间, 氧气含量可以达到50%, 舱内相应压力为40 kPa, 不同于普通消防建筑和设施的灭火环境。目前国内还没有设备、环境相类似的消防灭火系统, 更没有此类特殊环境及设备的消防标准和规范;

(3) 由于试验期间A、B舱内为低压真空, 外界对舱门有一个很大的内压, 一旦火灾发生, 舱门无法及时打开, 快速灭火就是关键;

(4) 舱体设计定型后设备布置不易更换, 因此, 报警系统的设置与主体舱体结构要一次形成,

收稿日期: 2007-03-08; 修回日期: 2007-07-04

作者简介: 余谦虚(1975-), 男, 硕士学位, 工程师, 主要从事空间环境模拟技术的研究。联系电话: (010)68746578-602。

避免更换,产品运行要求安全可靠。

3 KM6水平舱消防灭火的关键问题

3.1 富氧条件下的灭火问题

燃烧的三要素是可燃物、温度和氧气。针对这三要素,扑灭和控制火灾的主要机理在于打破燃烧链、冷却作用和窒息作用。由于A、B舱内为低压富氧状态,因此基于窒息和打破燃烧链的灭火原理缺乏可靠的技术参数和依据,只有主要基于冷却作用的灭火系统才能保证可靠灭火。

3.2 灭火介质的安全问题

鉴于A、B舱为封闭舱体,内部有仪器设备,并且有人员活动,因此对灭火介质的安全环保特性有较高的要求。目前的各类灭火介质中,卤代烷对人员有伤害,有的卤代烷(如FM200)还存在酸类热解产物,对仪器设备有较大损害^[2];二氧化碳灭火介质对人员有致命伤害;惰性气体灭

火介质对人体和设备损害均较小,但其窒息作用原理完全不适宜于本项目的富氧舱内;“蓝宝石1230”(Novec 1230)灭火介质对人体和设备无损害;细水雾灭火介质对人体无害,环保性最好。

3.3 快速可靠的火灾探测与识别问题

由于KM6水平舱的重要性,要充分保护参试人员的安全,为此要求消防灭火系统反应快速可靠,避免灾害扩大。

4 关键问题的解决方案

4.1 常用灭火介质性能的比较

表2列出了目前常用的几种灭火介质,并且从灭火机理、安全环保特性、灭火有效性等方面进行了比较。根据上面对消防灭火的关键问题论述不难看出,具有强冷却效能和安全环保功效的灭火介质才适用于KM6水平舱。

表2 常用灭火介质适用性及性能比较
Table 2 A comparison of adaptability and performance of common fire extinguishers

灭火介质名称	灭火机理	无毒性反应最高浓度(NOVEL)	设计浓度	最大安全余量	对设备危害程度	对大气危害
“蓝宝石1230”	介质喷射时迅速挥发淹没整个保护区域,主要利用冷却作用灭火。	10%(V/V)	4%~6%(V/V)	67%~150%	不产生任何有害分解物质	无
细水雾	大量40~300 μm的雾滴充满保护区,主要利用冷却,热量隔绝作用灭火	无毒	无要求(满足灭火强度)	最大	不产生任何有害分解物质	无
烟络烬	窒息作用,降低保护区氧浓度	无毒	无要求	将氧气控制在10%以上的浓度	不产生任何有害分解物质	无
惰性气体	窒息作用,降低保护区氧浓度	43%	38%~40%	7%~13%	无	无
CO ₂	窒息作用,降低保护区氧浓度	5%	30%~75%	设计浓度致命	无	有损害
七氟丙烷(FM200)	惰化火焰中的活性自由基,实现断链灭火	9%	7.5%~8.7%	3%~20%	热解形成氢氟酸,危害人身及设备安全	有损害
哈龙1301	惰化火焰中的活性自由基,实现断链灭火	5%	30%~75%	0	无	破坏臭氧层

4.2 基于强冷却效能的灭火方案

根据表2的比较可以看出,以冷却作用为主要灭火机理的介质包括“蓝宝石1230”和细水雾。“蓝宝石1230”常压下呈液态储存,具有快速挥

发性,吸热效能很高。细水雾灭火介质的冷却效果很好,图2是细水雾的实际冷却效能电气火灾案例图。因此,采用“蓝宝石1230”灭火介质或细水雾灭火介质是首选的可靠灭火手段。

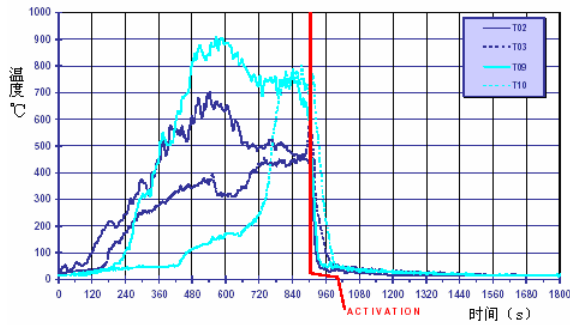


图2 细水雾灭火系统冷却效能电气火灾案例图
Fig.2 The cooling effect of water mist in the case of electrical fire

4.3 基于安全环保功效的灭火方案

根据表2的比较,对人体和环境危害最小的是细水雾、惰性气体和“蓝宝石1230”灭火介质,对设备影响最小的是“蓝宝石1230”、惰性气体和其他气体灭火介质。综合富氧条件下的灭火效能要求,“蓝宝石1230”和细水雾灭火介质是本设计的首选。

4.4 多探测器互备和关联算法

根据KM6水平舱对探测系统可靠性的要求(即探测器应在不更换情况保证可靠良好工作,且能快速可靠探测火灾,避免误报),本设计采取如下措施:

(1) 采用多探测器关联算法,可以有效避免误报警。具体特点为:在火灾判断过程中,增加了距离因素,避免了假火源造成的误报;对于真火源造成的均衡扩散烟雾反应快;使用先进的复合探测技术,而系统造价并不提高。

(2) 每个舱体内设置3只感烟探测器,两主一备。即当一只探测器损坏时,无需更换即可隔离故障探测器,而采用备用探测器进入主机系统计算报警。

4.5 图像监控系统

图像监控系统是安全技术防范体系中的一个重要组成部分,同时也是消防报警系统的一个较为人性化的组成部分。通过图像监控系统,在控制室内的工作人员可以随时观察舱体内人员活动情况及有可能引起火灾的行为,从而早期提醒、规范现场操作人员的动作和行为,以达到预防火灾发生的目的。

4.6 吸气式烟雾探测器

火情的发展一般分为4个阶段:不可见烟(阴燃)阶段、可见烟阶段、可见火光阶段和剧烈燃烧阶段。传统的火灾报警系统通常是在可见烟阶段才能探测到烟雾,而本设计采用VESDA吸气式烟雾探测器,其在火灾的不可见烟阶段就可提供多达3级的警报信号,并可以根据需要进行设置,使其在火警1或火警2时启动灭火装置,从而遏止火灾的进程。

VESDA有两个主要特性:

(1) 主动采样的探测方式:依靠这种探测方式,VESDA可以突破气流屏障,最大限度地接近保护对象,甚至可以深入到保护对象内部,确保在最早时间发现火灾隐患;

(2) 高精度激光探测器:VESDA采用了VISION公司独创的三维观测技术,可以发现小到 $0.01\mu\text{m}$ 、大到 $20\mu\text{m}$ 的烟雾粒子。其探测灵敏度高达 0.0015% obs/m,比传统点式探测器高1000倍,而且对绝大多数物质燃烧产生的烟雾都一样敏感。

4.7 舱体夹层及重点电气设备的探测

舱体夹层是不便于采用普通感烟和图像探测器进行探测的;另外,电气设备在产生烟雾前会有一个热量积聚、异常升温的过程。因此为了可靠探测电气设备以及夹层内设备的异常温升和火灾,本设计采用类似飞机中选用的模拟量缆式线型差定温探测器。该探测器可以敷设于夹层或沿重要电气设备敷设,对异常温升速率和温度进行探测和报警,响应速度快,工作可靠。

5 系统配置与集成

5.1 系统的总体构成及工艺流程

系统由以下子系统构成:火灾自动报警及联动子系统、“蓝宝石1230”灭火子系统、细水雾灭火子系统以及其他辅助灭火子系统。系统工艺流程如图3所示。

系统具有自动、手动、机械手动3种运行方式。

(1) 系统置于自动状态

当保护空间火灾参数达到探测器反应阈值

时, 探测器动作, 向报警控制器发出火灾信号; 或救援人员现场发现火灾按下手动报警按钮, 向报警控制器发出火灾信号。系统联动打开相关阀门, 自动启动灭火系统。

(2) 系统置于手动状态

A、B舱内设置紧急启/停按钮。救援人员现场发现火灾按下启动按钮, 或通过对讲、图像监视系统通知相关舱外人员按下控制器上的手动启动按钮, 或机械手动启动灭火系统。

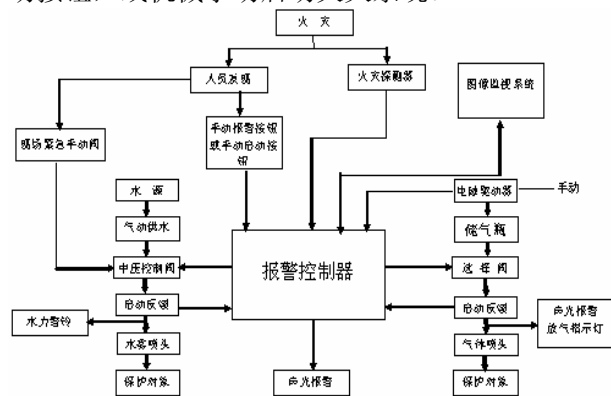


图 3 自动消防系统工艺流程图

Fig.3 The flow chart of automatic fire protection system

5.2 “蓝宝石1230”灭火子系统

“蓝宝石1230”是一种新型哈龙替代物, 名称为全氟已酮。其优点为: 在常压下液态储存, 具有快速挥发性, 吸热效能很高; 基于物理灭火原理, 具有优良的灭火性能; 对环境、人体的危害近为零; 为洁净灭火剂, 在释放后不遗留残留物。

根据舱体的结构形式, 共分为两个灭火区, 其中A舱及上下夹层为一个灭火区; B舱及上下夹层为另一灭火区。A、B舱灭火区既设置蓝宝石灭火系统, 也设置细水雾灭火系统, 两种系统互为备用。

5.3 细水雾灭火子系统

根据舱体的结构形式, 采用单相流全淹没中压细水雾灭火子系统。

单相流中压细水雾灭火子系统由储水容器、供水设备、雨淋阀、细水雾喷头、连接管件、管道及探测器、报警控制器等部件组成, 另外设置一套人工灭火细水雾消防枪。发生火灾时, 可以直接启动固定的喷头灭火, 也可由人员持细水雾消防枪

进入舱内灭火。在C舱中的轨道舱一旦着火, 救护人员可以持细水雾消防枪进入C舱对其灭火。

5.4 火灾自动报警及联动子系统

火灾自动报警子系统由一台报警控制器、一台图像探测主机、点型感烟探测器、图像监视摄像头、缆式线型感温探测器、输入输出模块、手动报警按钮等组成。

5.5 其他辅助消防子系统

A、B 舱设置MSWZ6P型手提式水喷雾灭火器, C舱设置MFZL手提式干粉灭火器。

在A、B舱中各设一部对讲机, 控制室内设一部对讲机, 两部对讲机可以及时相互通信。

系统电源要求为不间断电源, 由一路电源(6kW)供电至消防报警主机。

6 系统调试结果

6.1 A、B舱外细水雾的调试

首先通过高压气瓶向储水罐增压, 至1.8 MPa后完成增压过程; 打开储水罐出口处的阀门, 中压细水雾喷出, 现场观察中压细水雾的喷淋状态良好; 关闭储水罐的出水阀门, 完成该项功能的调试。调试结果表明手动细水雾满足要求。

6.2 感烟探测器、感温探测器、手动报警, 可视对讲的调试

使用香烟在A、B舱内人为制造一些烟雾, 感烟探测器报警, 火灾报警控制器及时收到报警反馈信号; 使用电吹风对A、B舱内部的感温电缆的任意一段进行局部加热, 火灾报警控制器及时收到报警反馈信号; 手动按下A、B舱内部的两处报警, 火灾报警控制器及时收到报警反馈信号。使用A、B舱内部的两路可视对讲机进行通话, 结果表明通话质量以及图像画面清晰。整个调试结果表明: 感烟探测器、感温探测器、手动报警、可视对讲均满足要求。

6.3 在A、B舱外作系统联动功能调试

首先将系统转入自动状态。使用香烟人为制造一些烟雾, 触发一个火灾报警。系统首先向“蓝宝石1230”灭火系统发出启动命令, 同时向细水雾灭火系统发出40s延时启动命令, 经过火灾报警

控制器；在不启动实际的喷淋过程（由于“蓝宝石1230”气体昂贵，运输周期长，为了避免不必要的浪费，调试不真正喷出气体）的前提下，“蓝宝石1230”灭火系统的控制动作正确，经过30 s接收到“蓝宝石1230”系统反馈信号，同时取消中压细水雾灭火系统动作；在人为不接受“蓝宝石1230系统”反馈信号时（实际灭火过程中如出现此情况，表明气体灭火系统失效），经过40 s的延时，中压细水雾的控制动作正常发出。再将系统转入手动状态，单独控制各个子系统操作阀门，各系统阀门控制动作正常，从而完成报警联动功能的调试，结果表明联动功能满足要求。

7 结论

(1) KM6水平舱舱内处于富氧、低压、密闭的特殊环境下，对于舱内灭火应采用基于冷却作用的灭火介质。由于“蓝宝石1230”和细水雾就是基于高效冷却作用来灭火的，因此采用这两种灭

火手段来满足KM6水平舱舱内灭火的需要。

(2) 火灾探测报警系统采用两主一备和关联算法的探测模式和算法，并结合图像监控系统可以保证快速可靠探测，整体反应时间为3 s。

(3) 调试结果表明，该系统设计理念先进，功能上可以满足灭火的需要，同时很好地解决了传统灭火系统敏捷性和可靠性两者不可兼得的矛盾，系统操作直观方便。

参考文献 (References)

- [1] 王奇. 研制空间实验室烟火检测和消防系统[J]. 航天器环境工程, 2004(4): 44-50 [Wang Qi. Development of smoke/fire detection and suppression system of space laboratory[J]. Spacecraft Environment Engineering, 2004,(4): 44-50]
- [2] 任岩冰, 李亚峰, 张国军. 七氟丙烷灭火剂及应用[J]. 当代化工, 2002(3) [Ren Yanbing, Li Yafeng, Zhang Guojun. Heptafluoro-propane fire extinguishing agent and its application[J]. Contemporary Chemical Industry, 2002(3)]