

现代民机新型灭火剂性能研究

Research on New-type Fire Extinguishing Agents Performance for Civil Aircraft

寇鸿飞 / Kou Hongfei

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘要:

对新型灭火剂研究背景和种类进行了简要介绍,对具有开发潜力的新型灭火剂的理化性能、毒性、腐蚀性、灭火性能、环保性能进行深入分析与研究。通过对新型灭火剂性能的研究,得出每种灭火剂的优缺点,筛选出适用于现代民机灭火系统的灭火剂。

关键词:新型灭火剂;理化性能;毒性;腐蚀性;灭火性能;环保性能

中图分类号:V244.1+2

文献标识码:A

[Abstract] The research background and varieties of new-type fire extinguishing agent were introduced. Physical and chemical performance, toxicity, causticity, fire extinguishing performance and environmental protection performance of the potential new-type fire extinguishing agent were deeply analyzed and studied. The varieties of fire extinguishing agents which are suited to be used in civil aircraft were confirmed and the advantages and disadvantages of fire extinguishing agent were obtained through researching new-type fire extinguishing agent performance.

[Key words] New-type Fire Extinguishing Agent; Physical and Chemical Performance; Toxicity; Causticity; Fire Extinguishing Performance; Environmental Protection Performance

0 引言

20世纪70年代以来,经科学家研究证实,世界上广泛使用的氯氟烃对臭氧层造成了极其严重的破坏,众所周知,臭氧层的破坏会降低大气对地球生物的保护作用,对生物会产生不利影响。为了解决这一全球性问题,联合国环境规划署(UNEP)召开了两次重要的会议,会议上通过对氯氟烃物质和哈龙物质生产以及使用进行严格控制的《关于消耗臭氧层物质的蒙特利尔议定书》^[1]。哈龙灭火剂与氯氟烃性能相似,对臭氧层具有相同的破坏作用,因此这类灭火剂也作为禁止物质赫然在列。

民用飞机在发动机舱、APU舱和货舱等五个区域布置灭火系统,所使用的灭火剂以哈龙1301和哈龙1211为主。鉴于哈龙灭火剂对环境具有严重的破坏作用,其被新型环保的灭火剂取代已成为必然趋势。目前,民用航空界正在积极开展新型灭火剂的研发,并针对新型灭火剂的性能进行了深入研究,希望找出各方面性能与哈龙灭火剂相媲美而又

环保的新型灭火剂。

1 新型灭火剂的种类

国际上新型灭火剂主要有卤代烃类灭火剂、超细干粉灭火剂、细水雾和惰性气体灭火剂四类。其中,惰性气体灭火剂灭火效率较低,在民用飞机上使用的可能性较小。下面对四类新型灭火剂进行简要介绍。

1.1 新型卤代烃灭火剂

多数卤代烃都具有高效的火焰抑制能力,其抑制能力的大小与所含卤元素的种类有关,表1列出了四种卤素原子烃类灭火剂的相对灭火效率。

表1 卤代烃类灭火剂相对灭火效率

卤素原子	F	Cl	Br	I
相对灭火效率	1	2	10	16

新型卤代烃灭火剂为不含有Cl和Br的含氟卤代烃,如HFC-227ea、HFC-236fa、全氟己酮(Novec1230)等,此类灭火剂化学性能稳定,紫外光

UV-B 作用下并不分解,因此对臭氧层没有破坏作用。世界上氟化工业发达国家纷纷开展了新型卤代烃灭火剂的研发,如美国的杜邦公司、日本大金公司、日本综合技术研究所等。目前,部分新型卤代烃灭火剂已作为哈龙替代型灭火剂充装于灭火器,在 FAA 组织下进行了各类性能测试和民机应用的评估。

1.2 超细干粉灭火剂

传统干粉灭火剂是一类干燥、流动性好的微细固体粉末,主要由一种或多种具有灭火能力的微细无机粉末和各类添加剂构成。超细干粉灭火剂是在传统干粉灭火剂的基础上经过超细化所得到的灭火效能更高的一类灭火剂,其主要特点是单位空间灭火剂使用量低、着火空间内均匀分散、灭火效率更高^[2]。目前,未发现任何民用飞机的灭火系统使用超细干粉灭火剂,据悉仅有美国波音与凯德公司(KAD)对该类灭火剂进行了联合研究,并准备将其作为基本灭火剂在民机上使用。FAA 对超细干粉灭火剂未曾发布相关的适航标准。

1.3 细水雾

细水雾是用高压或气流将流过喷嘴的水形成滴径为 $20\mu\text{m} \sim 120\mu\text{m}$ 之间的小水滴,细水雾灭火系统有单流体系统和双流体系统两个基本类型。单流体系统是利用高压下储存的水和雾化喷嘴输出滴径为 $10\mu\text{m} \sim 100\mu\text{m}$ 的水雾;双流体系统是使用空气、氮气或其它气体使水在喷嘴处雾化^[3]。细水雾具有清洁高效、对环境无污染、且对被保护对象破坏小等诸多优点,作为哈龙的理想替代技术之一而备受青睐。围绕细水雾的发生技术、灭火机理以及应用的相关研究非常广泛,在航空灭火系统的应用方面,人们也已开展了大量的研究工作,研究范围主要包括客舱、货舱灭火系统应用研究。

1.4 惰性气体灭火剂

惰性气体灭火剂主要有 CO_2 和烟烙尽灭火剂,其灭火原理是稀释氧气,窒息灭火,通过减少火灾燃烧区空气中的氧气体积百分比来达到灭火目的。惰性气体的优点是环保性,对环境十分友好,缺点是灭火效率低,例如烟烙尽灭火剂设计体积浓度为 $37.5\% \sim 42.8\%$,远远低于其它类型的灭火剂^[3]。惰性气体灭火效率低,气体排放时间较长,因此不适用于民用飞机的火灾保护。

2 新型灭火剂的性能分析与研究

结合灭火剂的环保要求以及评价灭火剂性能

的标准,新型灭火剂是否可以取代哈龙灭火剂在民机上应用主要从四方面考虑:(1)理化性能;(2)毒性及腐蚀性;(3)灭火性能;(4)环保性能。通过广泛的调研,获得了目前世界上具有研究潜力的新型灭火剂基本性能信息,将这些新型灭火剂的性能进行分析与研究,可以作为进一步研究民用飞机上新型灭火剂替代技术的依据,为哈龙灭火剂的替代研究工作提供帮助。具有研究潜力的新型灭火剂如下:

(1) 卤代烃类灭火剂:HFC-227ea、Novec1230、FIC-1311、HFC-125、FC-218 和 HFC-236fa;

(2) 超细干粉灭火剂:BC 超细干粉(NaHCO_3), ABC 超细干粉($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)

(3) 细水雾。

2.1 理化性能分析与研究

2.1.1 新型卤代烃灭火剂理化性能分析与研究

下面对新型卤代烃灭火剂的理化性能进行分析,具体数据如表 2 所示^[4-5]。

由沸点分析可知,除 Novec1230 沸点为 49.2°C 以外,其它 5 类灭火剂沸点均低于 0°C ,在常温下为气体。Novec1230 沸点最高,HFC-125 与 FC-218 的沸点最低,接近于 Halon1301。Novec1230 沸点较高,但其蒸发热仅是水的 $1/25$,蒸汽压却是水的 12 倍。由汽化热数据分析发现,Novec1230 与 FC-218 汽化热最低,低于 Halon1301 的汽化热,然后是 HFC-227ea,最后是 HFC-125 与 HFC-236fa。结合沸点和汽化热数据的分析结果可知,HFC-125 挥发性最接近于 Halon1301,其它灭火剂与 Halon1301 相比差距较大。对于灭火剂而言,挥发性能越好,扩散性能越强,越能有效地发挥灭火作用。

2.1.2 超细干粉灭火剂理化性能分析与研究

超细干粉灭火剂分为两类,包括 BC 干粉和 ABC 干粉。BC 干粉主要以 NaHCO_3 为基料,ABC 干粉主要以 $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ 和硫酸铵的混合物为基料。超细干粉灭火剂的理化性能指标与气体灭火剂完全不同,衡量超细干粉的物理性能指标有:主要组分含量、松密度、含水率、吸湿率、抗结块性等。两种超细干粉灭火剂的物理性能如表 3 所示。从表 3 分析发现,两类灭火剂的物理性能基本相同。

相同物质的化学性能基本相同,只是随着粒度的差别,分解温度有所不同,相关研究结果表明,灭火剂粒度越小,分解温度越低。超细 NaHCO_3 干粉灭火剂呈白色细小粉末,受热易发生分解。固体

表2 新型卤代烃灭火剂理化性能

灭火剂	HFC-227ea	Novec1230	FIC-1311	HFC-125	FC-218	HFC-236fa	Halon1301
分子式	CF ₃ CHFCF ₃	CF ₃ CF ₂ COCF(CF ₃) ₂	CF ₃ I	C ₂ HF ₅	C ₃ F ₈	C ₃ H ₂ F ₆	CF ₃ Cl
沸点/°C	-16.4	49.2	-22.5	-48.14	-36.7	-1.4	-57.8
冰点/°C	-131	-108	-110	-103	-147.69	-103	-168
液体密度/g·mL ⁻¹	1.4	1.6	2.096	1.19	1.317	1.36	1.57
气体密度/g·mL ⁻¹	0.03	0.013 6	0.008	0.004 98	0.007 787	0.006 481	0.006 29
临界温度/°C	101.7	168.7	122	66.25	71.9	124.9	67
临界压力/MPa	2.912	1.865	4.04	3.631	2.68	3.2	4.01
汽化热(在沸点时)/(kJ/kg)	132.6	88	N/A	164.4	104.78	160	117
灭火浓度/%	5.8~6.6	4~6	3.0~3.2	8.1~9.4	6.1~7.3	5.6~6.5	5
NOAEL/%	9.0	10	0.2	7.5	30	10	5
LOAEL/%	10.5	>10	0.4	10	>30	15	7.5
LC50/%	80	>10	27.4	70	>80	13.5	>80

50℃以上开始逐渐分解,270℃时完全分解。超细NH₄H₂PO₄干粉灭火剂在100℃就开始分解,且随温度升高,分解反应不断加深,分解产物为氨气。

表3 超细干粉灭火剂物理性能

物理性能	BC 超细干粉 (超细 NaHCO ₃)	ABC 超细干粉 (超细 NH ₄ H ₂ PO ₄)
主要组分含量/%	≥82%	≥75%
松密度/(g/mL)	±30%	±30%
含水率/%	≤0.25	≤0.25
吸湿率/%	≤3	≤3
抗结块性 (针入度)/mm	≥16	≥16
斥水性	无明显吸水,不结块	无明显吸水,不结块
耐低温性/s	≤5.0	≤5.0
粒度	90% 粒径/μm: ≤20	90% 粒径/μm: ≤20

2.1.3 细水雾理化性能分析与研究

细水雾为经过工艺处理,雾化成一定粒径的水滴,其理化性能与水相同。用于雾化的水中常常还加入一些性能添加剂,如表面活性剂、盐类等,这些物质对水雾化学性能带来一些影响,主要体现在腐蚀性、沸点、粘度等。

2.2 毒性及腐蚀性分析与研究

气体灭火剂的毒性分析需要结合灭火剂浓度,根据表2^[4-5]分析发现,FIC-1311与HFC-125的毒性最高,且其灭火剂浓度高于NOAEL值,因此不宜作为载人舱灭火使用。其余四类灭火剂毒性均较

低,在毒性方面,新型卤代烃灭火剂比Halon1301有更大的优势。其中,毒性安全余量最大的是FC-218和Novec1230,其次是HFC-236fa和HFC-227ea。

NaHCO₃及其分解产物对人体无毒,对呼吸道有刺激作用,目前未见对其毒性研究的相关报道。NaHCO₃干粉灭火剂在高温下会对金属产生一定的腐蚀性。NH₄H₂PO₄干粉灭火剂自身无毒,高温分解产物氨气属于一般性有毒气体,对人体呼吸道有刺激作用。超细NH₄H₂PO₄干粉灭火剂在高温下同样会对金属产生一定的腐蚀性。

2.3 灭火性能分析与研究

新型卤代烃灭火剂的灭火浓度数据如表4所示^[6,7]。由数据分析发现,与传统Halon1301灭火剂相比,新型卤代烃灭火剂均具有较高的灭火效率,其中FIC-1311灭火效率最高,其次是Novec1230,再依次是HFC-236fa、HFC-227ea、FC-218和HFC-125。

超细干粉灭火浓度数据如表5所示,由数据分析发现,两类超细干粉灭火剂灭火效率相同。根据Halon1301质量百分比灭火浓度330g/m³可知,超细干粉灭火剂比Halon1301灭火效率更高,是目前已知灭火效率最高的灭火剂。

细水雾的粒度对水雾的灭火效能有较大影响,粒度越小,灭火效率越高。细水雾灭火效率低于卤代烃类灭火剂和超细干粉灭火剂灭火效率,民用飞机上应用的经济性较低。

表4 新型卤代烃灭火剂灭火性能

灭火剂	HFC-227ea	Novec1230	FIC-1311	HFC-125	FC-218	HFC-236fa	Halon1301
分子式	CF ₃ CHFCF ₃	CF ₃ CF ₂ COCF (CF ₃) ₂	CF ₃ I	C ₂ HF ₅	C ₃ F ₈	C ₃ H ₂ F ₆	CF ₃ Cl
灭火浓度	5.8~6.6(%)	4~6(%)	3.0~3.2(%)	8.1~9.4(%)	6.1~7.3(%)	5.6~6.5(%)	5%

表5 超细干粉灭火剂灭火性能

灭火性能		BC 超细干粉 (超细 NaHCO ₃)	ABC 超细干粉 (超细 NH ₄ H ₂ PO ₄)
灭 B、C 类火效能 /(g/m ³)		≤150	≤150
灭 A 类 火效能	木垛火 /(g/m ³)	N/A	≤150
	聚丙烯火 /(g/m ³)	N/A	≤150

注: N/A 表示不适用

2.4 环保性能分析与研究

环保性能是评价新型灭火剂的另一项重要指标,主要包括:臭氧耗损潜能值(ODP)、温室效应潜能值(GWP)、大气存留时间(ALT)。臭氧层损耗指数用于表征灭火剂对大气臭氧层的损耗程度,以CFC-11作为参考标准(CFC-11的ODP定义为1),

数值越大,对臭氧层的消耗越剧烈。温室效应指数用于表征灭火剂对温室效应的影响,以二氧化碳为参考标准(二氧化碳的GWP值定义为1),数值越大,温室效应越强烈。大气存留时间即大气寿命周期,用于表征灭火剂的稳定性,某种灭火剂的大气寿命周期越长表明这种灭火剂越稳定,对于大气的损害时间也越长。

新型卤代烃灭火剂的环保性能数据如表6所示。由数据分析发现,新型卤代烃灭火剂ODP值均为0,对臭氧层无破坏作用,这是哈龙灭火剂替代物共有的优势;GWP值相差较大,GWP值最小的是Novec1230和FIC-1311,其次是HFC-125和HFC-227ea;在大气中存在寿命最短的是Novec1230和FIC-1311,然后是HFC-227ea和HFC-125。

超细干粉灭火剂的环保性能数据如表7所示。

表6 新型卤代烃灭火剂环保性能

灭火剂	HFC-227ea	Novec1230	FIC-1311	HFC-125	FC-218	HFC-236fa
分子式	CF ₃ CHFCF ₃	CF ₃ CF ₂ COCF (CF ₃) ₂	CF ₃ I	C ₂ HF ₅	C ₃ F ₈	C ₃ H ₂ F ₆
耗臭氧潜能值(ODP)	<<0.001	0.0	0.008	<<0.001	0	<<0.001
全球变暖系数(GWP)	3 500	1	<1	3 400	6 100	8 000
大气中寿命(年数)	33	0.014	0.003	41	3 200	240

表7 超细干粉灭火剂环保性能

性能	普通干粉灭火剂		超细干粉灭火剂	
	BC 干粉	ABC 干粉	BC 超细干粉	ABC 超细干粉
耗臭氧潜能值(ODP)	0	0	0	0
全球变暖系数(GWP)	0	0	0	0
大气中寿命(年数)	0	0	0	0

由表7数据分析可以发现,超细干粉灭火剂对环境非常友好,对大气臭氧层耗减潜能值(ODP)为零,温室效应潜能值(GWP)为零,更不存在大气存留的问题,因此超细干粉灭火剂环保性能要优于新型卤代烃灭火剂。

细水雾成分为水,不会对环境产生任何影响,

环保性能优异。

3 结论

随着环境日益被破坏,开发出高效环保的新型灭火剂刻不容缓。根据前文分析结果可知,部分灭火剂基本性能已经满足民机灭火剂的使用要求,可以作为现代民机防火系统基本灭火剂进行应用。主要结论如下:

(1)超细干粉灭火剂相对于其它新型灭火剂具有灭火效率高,对环境无污染的优点,是民用飞机灭火系统理想候选灭火剂,适用于发动机舱和APU舱等防火区域。目前,需开展相关适航标准制定工作,完善适用于超细干粉的新型灭火系统技术,使其尽快应用到民用飞机上。

(下转第87页)

应急照明触发电路的设计原理如图 1 所示。

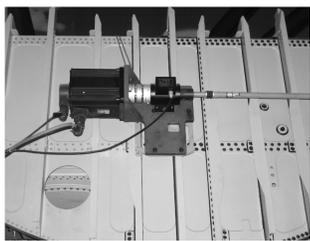


图 1 应急照明触发电路的设计原理

图 1 中,28V 重要直流汇流条通过继电器给应急照明电源充电,继电器由 115V 重要交流汇流条控制,同时部分客舱照明顶灯由 115V 重要交流汇流条供电。当 115V 重要交流汇流条掉电时,继电器将切断应急照明电源的充电线路,此时若驾驶舱内的控制开关置于“准备”位置,应急照明电源就会自动转为供电模式,应急灯自动点亮。考虑在正常电源中断后 115V 重要交流汇流条的供电能力,可选择客舱照明顶灯总数的 20%~25% 由 115V 重要交流汇流条供电,并按每隔一定距离的间隔来选择。如此,在正常电源中断后,保证了客舱仍有均匀照明的同时,这部分工作的客舱照明顶灯不会给 115V 重要交流汇流条增加太大的负担。

2.3 适航符合性分析

飞机起飞前驾驶舱内的控制开关要求置于“准备”位置。按照图 1 中应急照明触发电路的设计原理,当飞机正常电源(115V 一般交流汇流条和 28V 一般直流汇流条)中断后,RAT 发电机会给 115V 重要交流汇流条提供电源,此时仍有部分客舱照明灯继续工作,该部分客舱照明灯此时起应急照明的作

用;当 RAT 由于空速不足使 115V 重要交流汇流条失效后,客舱照明灯全部熄灭,同时应急照明电源受触发转为供电模式,应急灯自动点亮。因此,该设计方法满足适航关于“一旦飞机正常电源中断,应急灯必须自动点亮”的要求。

现在民用飞机上普遍使用的应急照明电源充满电后在最大输出电流下一般能持续供电 15min 左右。在双发和 APU 失效时,RAT 会自动放下开始发电,一般只有在飞机着陆后,RAT 由于空速不足使发电量无法满足用电需求时,115V 重要交流汇流条才会掉电并触发应急照明,此时飞机即将着陆,着陆后应急照明电源剩余的电量可以保证应急照明工作 10min 以上,满足适航关于“应急照明着陆后需工作 10min 以上”的要求。

3 结论

本文提出的应急照明触发电路的设计简单,可靠性高,可以大幅降低飞机的研发成本和适航取证风险,并可简化应急照明电源的内部控制电路,具有很强的实用性,并对民用飞机在研发阶段的应急照明系统的电路设计具有一定的指导作用。

参考文献:

- [1] 李杰. 大型民用飞机应急撤离模型与仿真方法研究[J]. 西北工业大学航空学院, 2010, 40(2): 41-42.
- [2] 任仁良. 飞机应急照明电源原理及校验方法[J]. 中国民航学院学报, 1999, 17(5): 12-16.
- [3] 王正华. 直升机应急逃生照明系统及其效能研究[J]. 海军医学杂志, 1997, 15(3): 196-197.
- [4] SAE-ARP503F. Emergency Evacuation Illumination[S]. USA: SAE Aerospace, 2004.

(上接第 80 页)

(2) 新型卤代烃灭火剂中 Novec1230 和 FIC-1311 可以作为民用飞机灭火系统使用的灭火剂,这两类灭火剂的特点是灭火效率高,对环境污染较低,但也存在一定缺陷。Novec1230 的缺点是挥发性差,飞机在高空低温的环境下工作,具有一定的特殊性,只有解决雾化技术提高了释放效率才可以应用;FIC-1311 的缺点是毒性较高,只能应用于受保护的无人区域。

(3) 细水雾是环保、无毒的灭火剂,其灭火效率较低,但冷却能力和防止复燃效果强,适用于民航客舱和货舱等空间较大的场所。

参考文献:

- [1] 国家环保总局. 国家环保总局保护臭氧层项目完成工作目标并开拓新的领域[J]. 中国环保产业, 1998, 5: 20-21.
- [2] 周文英, 邵宝州, 等. 新型干粉灭火剂研究[J]. 消防技术与产品信息, 2004, 5: 62-64.
- [3] 曹勇, 李强, 等. 几种清洁环保型灭火剂的性能及灭火原理[J]. 辽宁化工, 2002, 31(6): 254-256.
- [4] 杨霞, 马克辛, 肖建桥. HFC-227ea 灭火剂与哈龙 1301 灭火剂的有关性能比较[J]. 消防科学与技术, 2004(23): 44-45.
- [5] 张国壁. 新一代哈龙替代灭火剂[J]. 消防科学与技术, 2004, 23(4): 369-371.
- [6] GB 50370-2005, 气体灭火系统设计规范[S].
- [7] ISO/FDIS 14520-5(2005). Gaseous fire extinguishing systems - Physical properties - Part 5: FK-5-1-12 extinguishant.