

# 国外战斗机燃油系统防火、防爆技术选材现状与趋势

杨大灼 李建华

本文介绍并评述了目前国外战斗机防火、防爆技术选材的现状,特别是对较先进的Halon惰性系统进行了较详细的叙述,对减少战斗机、轰炸机在作战环境中由于中弹引起燃油系统着火、爆炸事故的损失,提高飞机生存力和确保人身安全具有重要的意义,对飞机设计和选材有一定参考价值。

## 一、前言

由于美国空军在侵略东南亚战争中,数以千计的固定翼和旋翼飞机损失于对方的地-空火力中,其火力范围从0.30英寸口径小型武器、大型的高射炮直至地-空导弹。根据分析表明,飞机损失的主要原因是由于中弹引起燃油系统着火和爆炸的结果。因此,对飞机燃油箱惰性化的要求极为迫切。1968年美国空军曾采用在油箱内填充带格栅的聚氨酯泡沫材料,由于它的吸热和机械干扰,能消除燃烧过程所产生的能量,从而防止燃油系统爆炸,并曾在F-105、C-130和F-4等飞机上进行这种改进,但因战争结束,其实战效果尚未得到考验。后来,填充泡沫塑料这种技术也在F-18、A-10等飞机上得到应用。由于它在一定程度上影响了飞机的性能,因此,近年来发展了一些新的油箱惰性概念。本文将简略地进行评述。

## 二、几种主要防火、防爆技术的比较

目前,关于燃油箱惰性防护概念的最新技术包括:填充不同类型的格栅状泡沫材料;液氮惰性系统;化学灭火系统和Halon油箱惰性系统。虽然Halon已经作为灭火剂应用,但Halon燃油箱惰性系统却是一种防止飞机油箱

爆炸的较新技术。

美国通用动力公司为了解决F-16油箱防护问题,曾对这几种惰性技术进行了研究,其评价结果见表1<sup>[1]</sup>。

表1 防止燃油箱爆炸方法的比较

方 法	全部填充泡沫塑料	填充泡沫塑料70%	化学灭火剂+泡沫塑料	液氮	氮气	Halon 1301
增加重量, 磅	166	116	84	55	93	25
减少贮油量, 磅	341	238	51	0	25	0
性能等级*	6	5	4	2	3	1
成本等级	3	2	6	5	4	1
效能等级	1	5	6	3	2	4

\* 飞机性能损失(最小影响到最大影响)

### 1. 泡沫塑料

试验了两种结构,一种是在油箱内用符合MIL-B-83054Ⅲ型(红色)聚氨酯泡沫塑料,按70%填充比填入;另一种是按100%填充比填入,单从效能看后者为好。

这种防护技术是利用燃油贮存在油箱中的泡沫塑料格栅内,因泡沫塑料能阻止火焰扩散,而起灭火作用,从起飞至着陆过程均起防护作用,它已在某些军用飞机上得到应用<sup>[2]</sup>,如F-15的机翼和机身油箱都是用这种泡沫塑料格栅填充的<sup>[3-5]</sup>(见图1、表2)。F-18的机

翼油箱以及A-10油箱内填充2~3%泡沫塑料, 试验证明, 油箱经20毫米机关炮以初速击中, 甚至在高速气流中吹过, 也不爆炸<sup>[6,7]</sup>。其不足之处, 在于增加了重量, 减少了燃油贮存量, 飞机性能损失严重, 以及要求对燃油系统额外维护, 每隔2~5年必须更换。

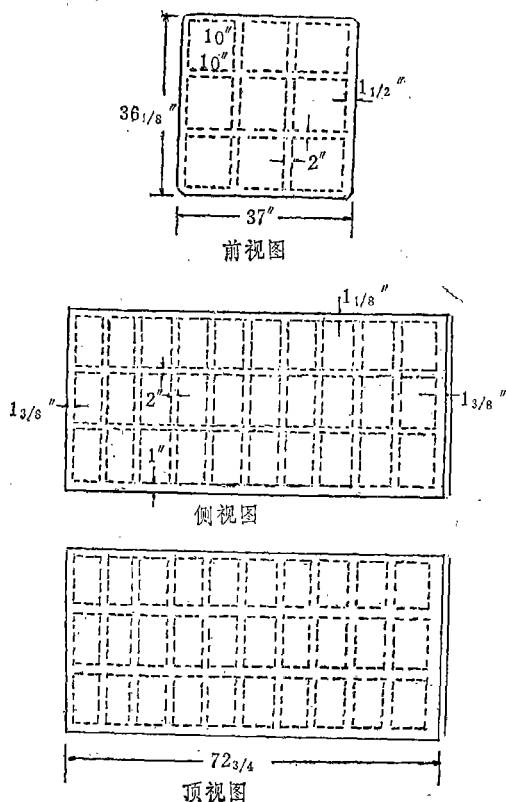


图 1 F-15一号机身油箱结构示意图

## 2. 化学灭火系统

这是一种有效的防护装置, 它由一个红外线检测仪、一个化学容器和一个自测试电子装置所组成。此检测仪可以检测燃烧弹或起爆药的闪光, 并引发爆炸帽, 使容器释放出一种化学物质 (Halon2402) 以达到灭火目的。这种系统已用于机身油箱 (如F-16)。由于大约需要十个传感器和十五个化学容器才能起到保护油箱的作用, 因此对于结构紧凑和缺少检查窗的机翼油箱, 显然不太合适。所担心的是该系统的经常性维修、假燃可能性, 以及此系统对抗

表 2 F-15一号油箱结构

体积, 加仑	442.86
泡沫塑料体积, 加仑/%	221.43/50
空隙体积, 加仑/%	221.43/50
泡沫塑料类型	红色聚氨酯
泡沫塑料结构	格栅空隙尺寸 $\leq 10'' \times 10'' \times 5''$
铝油箱衬套厚度, 英寸	0.016~0.133
介于空隙间泡沫塑料 最小厚度, 英寸	2

燃烧弹威胁作用次数的能力。

## 3. 液氮系统

它必须设有专门连接装置, 以便与地面加注装置中的软管接头相连接, 籍调节器使氮流入辅助热交换器内, 直到真空瓶的压力升高达200磅/英寸<sup>2</sup>时为止。当开启油箱惰性选择器开关时, 真空瓶的高压力迫使液氮进入燃油/氮的热交换器内, 氮被蒸发, 然后氮气经过控制阀使油箱增压至工作压力, 从而获得有效的惰性气体。这种系统已为C-5A飞机所采用。其缺点是: 部件多, 投资大(需要液氮加注车), 飞机定期再加注的几天内要求处于警戒状态, 飞行员在飞机起飞前必须测定其惰性

## 4. 氮气系统

这种系统包括四个450英寸<sup>3</sup>的贮气器, 充气为3000磅/英寸<sup>2</sup>, 相互间用单向活门隔开, 每个贮气器靠近单相供应接头备有一个压力表。最好用一个双级调节器以降低管路压力并设计一种较低压力的管路。

## 5. Halon1301惰性系统

该系统包括一个300英寸<sup>3</sup>的储存器, 由飞机座舱内的油箱惰性选择器开关启动。根据表1中全面性能比较结果, 可以看出这种系统的主要特点是, 重量最轻, 性能损失最小, 成本也较低, 下面将作重点介绍。

### 三、Halon1301惰性系统简介

#### 1. 系统结构

Halon1301燃油箱惰性系统结构及主要部件的重量见图2。其主要结构包括一个Halon储存器，一个Halon流量控制阀，电磁启动关闭阀及有关管道、配线和开关。

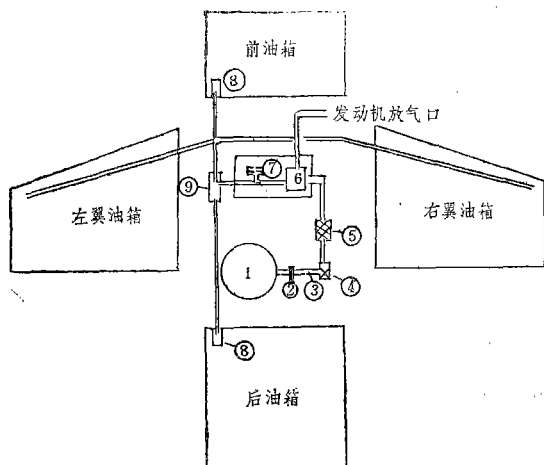


图2 Halon1301惰性系统示意图

- 1—Halon储存器（5磅）；2—可卸接头；  
3—软管；4—电磁阀；5—火焰抑制器；  
6—Halon流量控制阀（1.5磅）；7—喷嘴；  
8—单向阀；9—电磁阀（0.5磅）。

#### 2. Halon的特性

Halon1301的化学分子式为 $\text{CF}_3\text{Br}$ （溴三氟甲烷），符合军用规范MIL—B—12218。它是一种无色无味的气体，具有广泛商业和军事用途的高效能的灭火剂，适于电气事故、发动机、一般推进剂和液态及气态易燃材料的防护。为了便于贮存和运输，通常压缩成液化气体，其液体密度70°F为13.1磅/加仑。它是一种低沸点物质，在一个大气压力下冰点为-270°F，沸点为-72°F。蒸气压力随温度而变化。

它的灭火机理尚未完全弄清，一种理论认为 $\text{CF}_3\text{Br}$ 可以化学地干扰燃烧过程。当碳氢化合物和空气的混合物由于火源的导入而产生化

学变化，生成一种复杂的、不稳定的燃烧产物，而Halon1301在热分解过程中所游离出的溴自由基可以同这种不稳定产物发生反应，并干扰中间燃烧过程，从而阻止爆炸的发生，极少量的Halon即能引起这种反应。

#### 3. 试验评定

首先对Halon与材料的相容性进行了评定，将符合MIL-S-83430的燃油箱密封剂在浓度为10%和100%的Halon中暴露100小时，其剥离强度或附着力没有降低；MIL-C-27725聚氨酯燃油箱涂层经在10%和100%浓度Halon中暴露后，进行盐水喷雾试验，没有明显的腐蚀现象；当氟硅O形圈暴露在100%浓度的Halon中时，其体积从0.5%增至0.7%，在10%浓度时，其体积平均增加0.14%，并随时间延长而减小；Halon1301对JP-4或JP-8燃油的介电常数没有改变，对加油关阀活门浮子材料、氟密封圈、油量计量系统的电缆组件等材料也没有影响。

同时，考察了Halon受环境同温层臭氧的影响，对地面工作人员和飞行员的毒性及排烟的能见度，均认为满意。

还通过了F-100发动机部件试验和持久试验。前者，除了JP-4燃油闪点有所增加和蒸气压力从2.4增到3.9磅/英寸<sup>2</sup>以外，其它使用性能无明显的影响；后者，没有发现功能方面的问题和其他磨损问题。

在枪炮射击试验时，对一个105加仑的矩形金属油箱，用0.50英寸穿甲燃烧弹射击试验，结果表明：欲防止由于23毫米高效爆炸燃烧弹威胁引起的剧烈燃烧超压，所需Halon1301的浓度应为20%（体积）。

飞行试验时，共出动飞机22架次，结果表明：Halon系统对F-16燃油系统操作性能无影响，对飞行员的影响和人身安全也满意。

### 四、应用与展望

Halon惰性系统与其他防火、防爆技术比

较,的确具有重量轻、效率高、安全可靠、维护简便等优点,适合于F-16燃油系统和发动机的工作。

由于战斗机的重量问题是首要的,而要求平时全工作时的惰性状态则是次要的。因此,这种Halon惰性系统很有希望应用到其他战斗机上。

鉴于惰性系统的使用对发动机和飞机性能影响极小,Halon惰性系统的尺寸和重量决定于任务的变化和所预料受威胁的程度,一般可以设计出有效而重量轻的系统,这种系统,目

前已准备推广应用到战术轰炸机上。

## 主要参考文献

- [1] AIAA-81-1638.
- [2] AD920984.
- [3] Air pictorial, 1974.8.
- [4] SAE Transaction, 1974.Vol.83,Sec.3, 740525-740863, P.2883.
- [5] ASD-TR-74-15.
- [6] 《国外航空》,1977.1, P.16.
- [7] 《外国空军资料》,第6期,1976.10.10.

××××××××××××××  
× 瞬时耐高温弹簧不锈 ×  
× 钢通过技术鉴定 ×  
××××××××××××××

1983年5月17日至18日,冶金工业部军工办和航空工业部物资局在庐山联合主持召开了瞬时耐高温弹簧不锈钢技术鉴定会。与该新钢种科研、试制、使用有关的14个单位,27名代表参加了会议。会上,冶金部钢铁研究总院作了该钢种的研究报告,江西钢厂作了试制生产的报告,航空工业部六〇一所作了用新钢种制造飞机火箭挂架弹射器筒体和回收弹簧实弹模拟弹射试验情况的报告。

代表们经过认真讨论认为,我国自行研制的00Cr12Ni8Cu2AlNb及00Cr13Ni8Mo2TiNbAl马氏体时效不锈钢(简称瞬时耐高温弹簧不锈钢),其综合机械性能基本达到了美国名牌Custom455(00Cr12Ni8Cu2TiNb)的性能水平,新钢种在强韧性、耐腐蚀性、工艺性等主要性能方面基本上达到了国际同类材料的先进水平。它是我国目前研制强度级别最高( $\sigma_b=150\sim160$ 公斤/毫米<sup>2</sup>)、强韧性配合较好的马氏体时效不锈钢,因而具有很大的使用潜力。会议推荐新钢种可在航空、航天、航海兵器等有关部门使用。

与会代表一致同意对该新钢种的鉴定意见并签署了技术鉴定证书。

(六〇一所孔宪贵)

◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆  
◆ 高温微型悬臂弯曲疲劳试验机 ◆  
◆ 鉴定会在一七〇厂召开 ◆  
◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆◆

根据航空工业部科技局技字[1983]77号文的通知,1983年6月15~18日,航空工业部科技局在国营一七〇厂召开了“高温微型悬臂弯曲疲劳试验机鉴定会”。参加会议的有六二一所、四二〇厂、四三〇厂、三三一厂、一二〇厂、一七二厂、北京钢铁学院等共十八个单位二十四名代表。航空工业部贵州管理局受部的委托主持了这次会议。

为做好鉴定工作,部决定由六二一所任鉴定组组长,与会代表对样机进行了测试验收和资料审查工作。对此结果,代表们经过认真讨论,共同认为:①该试验机的各项技术性能指标经过检查均符合HB5153-80试验方法和鉴定大纲的要求,达到了原设计的技术指标;②试验机设计上采用了微调杠杆、电子计数器等先进技术,使试验机的载荷精度范围都高于设计指标,并增加了记数的可靠性;③试验机的结构合理,操作方便,易于维修,长时间工作稳定可靠;④该试验机的主要技术指标都明显地优于国内同类型的试验机,达到国内先进水平。该试验机为故障分析,从小零件上取样,新材料、新工艺的研究,提供了很好的试验手段。该试验机在试样材料的节约和生产过程中质量控制等方面均有较好的经济效益;⑤鉴定小组经全面鉴定,各项技术指标均合格,会议认为具备了投入批生产的条件。

(一七〇厂 刘庆琼)