

# 某型飞机球形灭火瓶设计改进

## Design Improvements of Ball Fire Extinguisher for Aircraft

驻陕西飞机工业(集团)有限公司军事代表室 胡愈刚 王晓平 周亮

**[摘要]** 本文对某型飞机球形灭火瓶失效情况进行统计分析,初步确定了故障原因。通过环境适应性摸底试验进一步验证分析,进行了设计改进。改进后的灭火瓶满足使用要求。

**关键词:** 球形灭火瓶 泄漏 环境适应性摸底试验 设计改进

**[ABSTRACT]** In this paper, a statistical analysis of invalidation of the ball fire extinguisher for an aircraft is made and the cause of malfunction are primarily identified. Further verification and analysis are accomplished via the environment adaptation test and design improvements are performed. The improved extinguisher can meet all the needs.

**Keywords:** Ball fire extinguisher Leakage Environment adaptation test Design improvements

自某型飞机球形灭火瓶装机以来,经常出现充填物泄漏故障,导致飞机发动机灭火系统失效的情况,构成了重大的安全隐患,严重影响了飞机飞行和部队作战训练任务的完成。大量故障灭火瓶的返厂返修,既增加了劳动强度,又造成了资源的严重浪费。为此进行了改进,虽然故障率有所降低,但泄露故障仍未根除。因此,找准所有故障点及其失效模式,进一步改进完善,显得尤为重要。

### 1 球形灭火瓶简介

#### 1.1 功用和组成

球形灭火瓶是某型飞机发动机内部灭火系统附件,用于扑灭发动机中、后轴承滑油腔及附件传动机匣腔内最易起火区域的火源。每台发动机装 2 件,每架飞机共装 8 件<sup>[1]</sup>。

球形灭火瓶由锁机、瓶体、灭火剂等组成。而锁机是灭火瓶的重要组成部分,它由锁机壳体、引火器、传爆管、起动杠杆、灭火活门组件、安全阀和压力表等组成,如图 1 所示。

#### 1.2 主要技术指标

某型飞机球形灭火瓶的主要技术指标如表 1 所示。

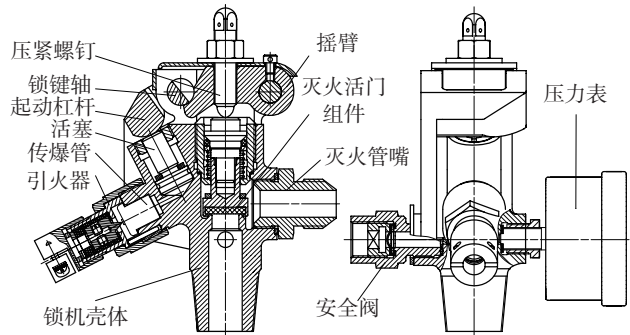


图1 锁机结构图

Fig.1 Structure of the lock machine

表1 某型飞机球形灭火瓶主要技术指标

项目	技术数据
灭火瓶容积/L	2
工作环境温度/°C	-55 ~ +60
充填物	氟里昂(1211)、氮气
充填压力(20±5°C)/MPa	9.8±0.5
安全阀保险膜的爆破压力/MPa	19.6±1.96
充填物重量/kg	氟里昂 2.29±0.1
充填后总重/kg	≤ 6.63

### 2 故障原因分析

#### 2.1 产品泄露故障现象

根据产品外场质量信息反馈和产品返厂复试结果,可总结出球形灭火瓶的泄露故障现象,如图 2 所示。

#### 2.2 产品泄露故障现象统计情况

为找准灭火瓶泄漏的主要原因,对泄漏故障现象进行了跟踪统计:从 2008 年 2 月~2010 年 10 月已装机的 285 件球形灭火瓶,共出现泄露故障 49 件次,故障率为 17.2%,详细情况如表 2 所示。

#### 2.3 产品故障原因初步分析

由表 2 可知,灭火瓶压力表泄露故障占故障总数的 42.9%,而安全阀膜片自爆故障占 38.8%,两者共占 81.7%。显然压力表泄露和安全阀膜片自爆是导致该

型灭火器泄漏的主要原因。

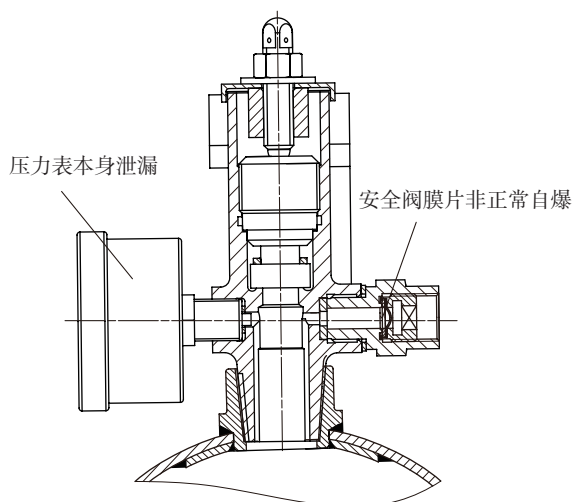


图2 灭火器泄漏故障现象

Fig.2 Phenomenons of extinguisher leakage

表2 球形灭火器不同故障情况比例统计

序号	故障情况	件数	占故障总数比例 /%
1	压力表本身泄漏	21	42.9
2	安全阀膜片自爆	19	38.8
3	其他密封处泄漏	9	18.3
	合计	49	100

该型灭火器的压力表也用在运7、轰6、苏27等飞机灭火器上,但它们的质量一直都比较稳定。通过表3对比这4种飞机球形灭火器的主要技术参数,可看出某型飞机灭火器的充填压力最大,而且该型飞机球形灭火器的工作环境(温度环境、振动环境等)比其他飞机更恶劣,这些很可能是造成灭火器压力表泄漏的重要原因。

表3 某型飞机、轰6、运7、苏27球形灭火器主要技术参数对比

技术参数	某型飞机球形灭火器	H6、Y7球形灭火器	S27球形灭火器
灭火器结构	结构相同		不同
灭火器容积 / L	2	2	6
工作环境温度 / °C	-55~+60	-60~+60	-60~+80
灭火剂	1211、氮气	1211、氮气	114B2、氮气
20°C的充填压力 / MPa	9.8 ± 0.5	6.9 ± 0.5	4.2
安全阀爆破压力 / MPa	19.6 ± 1.96		

某型飞机球形灭火器安全阀由专业厂家研制生产,且入厂复试合格后才能使用。即使安全阀装入灭火器后,每年还会抽取2件灭火器进行振动、冲击试验,试验结果都正常。因此,安全阀装机后膜片自爆,与安全阀

本身质量无关。这可能是由于安全阀的工作环境与试验条件不一致造成的。

## 2.4 环境适应性摸底试验

为进一步摸清某型灭火器主要泄漏故障的内在原因,进行了温度-压力试验和高温环境下的振动试验。

### 2.4.1 温度-压力试验

对6件球形灭火器进行了温度-压力试验,以找出压力随温度的变化规律以及高温环境下安全阀膜片爆破压力的变化规律,进而验证球形灭火器的温度适应性。试验过程中,为准确测量灭火器内压力,将灭火器压力表换成了压力传感器,其安装位置如图3所示。

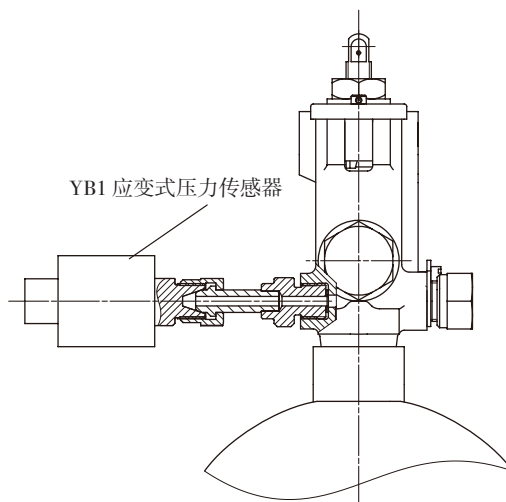


图3 压力传感器安装位置

Fig.3 Installation position for pressure transducer

#### (1) 正常充填压力下的温度-压力试验。

按技术条件,在常温下将4件球形灭火器(试件1~4)充填至 $9.8 \pm 0.5$  MPa,然后放置在高温试验箱内升温试验,直至灭火器安全阀膜片自爆为止。

#### (2) 超常充填压力下的温度-压力试验。

在常温下将2件球形灭火器(试件5~6)充填至11.3 MPa(高出正常充填压力1 MPa),不装安全阀,用工艺堵帽将安全阀安装孔堵死,然后放置在高温试验箱内,进行升温试验。

以上两组试验的试验结果如表4所示。

### 2.4.2 高温环境下的振动试验

按现行技术条件充填4件球形灭火器后,按照GJB150.16-86《军用设备环境试验方法振动试验》进行高温环境下的振动试验,试验分为功能振动试验和耐久性振动试验,以验证球形灭火器的高温振动适应性。

#### (1) 功能振动试验。

将试件固定在振动试验台上,然后在常温下按图4振动谱型和量值依次分别沿Z轴、X轴、Y轴方向(见图

表4 温度-压力试验结果记录表

温度 /℃	常温	40	50	60	65	70	75	80	82	84	85	89	90	95	96	
保温时间 /min		120	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
瓶内压力 /MPa	试件 1	9.8	11.5	12.2	13.1	13.4	13.9	14.5	14.9	15.1*						
	试件 2	10.0	11.8	12.5	13.3	13.8	14.3	14.8	15.3	15.4	15.6	15.8	16.1*			
	试件 3	10.3	12.2	12.9	13.7	14.2	14.7	15.2	15.7	15.8	16.0	16.1	16.3	16.4	16.6	16.7*
	试件 4	10.3	12.4	13.1	13.8	14.3	14.8	15.4	15.8	15.9	16.2*					
	试件 5	11.3					17.1	17.8								
	试件 6	11.3					17.3	18.0								

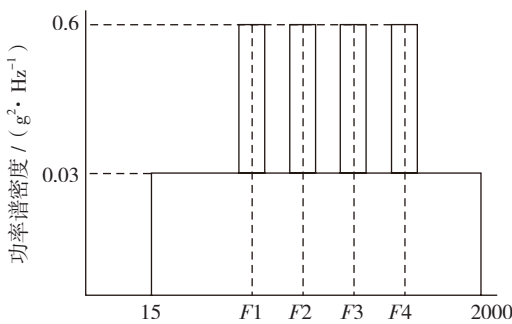
注: 1. 球形灭火瓶常温压力即充压压力。2. 表中带有“\*”的压力为灭火瓶安全阀膜片自爆压力。3. 试验件 5 和 6 只在 70℃和 75℃试验。

4) 振动 1h, 轴向规定如图 5 所示。

每个轴向的振动结束后对灭火瓶进行外观、密封性及重量检查, 最终的试验结果如表 5 所示。

(2) 耐久性振动试验。

耐久性振动试验的谱型与功能振动试验相同, 而量值增大到 1.6 倍。在  $70 \pm 2^\circ\text{C}$  的环境下分别沿 Z、X、Y



注: 1. F1—某型飞机桨叶通过频率(螺旋桨转数乘桨叶数)  
 $F1=107.5\text{Hz}$ ,  $F2=2F1=215\text{Hz}$ ,  $F3=3F1=322.5\text{Hz}$ ,  $F4=4F1=430\text{Hz}$ 。  
 2. 尖峰带宽为中心频率的  $\pm 5\%$ 。

图4 灭火瓶功能振动试验谱型和量值

Fig.4 Type and value of vibration test for fire extinguisher

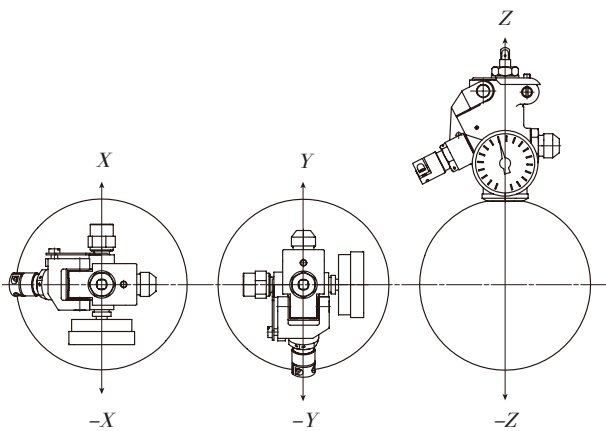


图5 灭火瓶振动轴向定义图

Fig.5 Axial vibration definitions of fire extinguisher

轴向振动 9h, 每个轴向振动结束后对灭火瓶进行外观、密封性及重量检查, 试验结果如表 6 所示。

表5 功能振动试验后灭火瓶的状态

试件	Z轴方向振动	X轴方向振动	Y轴方向振动
A	压力表指针发生偏移无泄漏, 重量未变化	压力表指针发生偏移无泄漏, 重量未变化	压力表指针严重偏移无泄漏, 重量未变化
B	压力表指针发生偏移无泄漏, 重量未变化	压力表指针发生偏移无泄漏, 重量未变化	压力表指针松动失控无泄漏, 重量未变化
C	压力表指针基本正常无泄漏, 重量未变化	压力表指针发生偏移无泄漏, 重量未变化	压力表指针发生偏移无泄漏, 重量未变化
D	无泄漏, 重量未变化	无泄漏, 重量未变化	无泄漏, 重量未变化

注: 试件 C 未安装安全阀, 试件 D 未安装压力表。

表6 耐久性振动试验后灭火瓶的状态

试件	Z轴方向振动	X轴方向振动	Y轴方向振动后
A	压力表壳体松动, 指针失控, 但无泄漏灭火瓶其他部位无泄漏, 重量未变化	压力表壳体松动, 指针失控, 但无泄漏灭火瓶其他部位无泄漏, 重量未变化	压力表壳体松动, 指针失控, 但无泄漏灭火瓶其他部位无泄漏, 重量未变化
B	压力表壳体松动, 指针失控, 但无泄漏灭火瓶其他部位无泄漏, 重量未变化	压力表壳体松动, 指针失控, 但无泄漏灭火瓶其他部位无泄漏, 重量未变化	压力表壳体松动, 指针失控, 但无泄漏灭火瓶其他部位无泄漏, 重量未变化
C	压力表壳体松动, 指针失控, 但无泄漏灭火瓶其他部位无泄漏, 重量未变化	压力表严重泄漏, 充填物全部泄出灭火瓶其他部位正常	因试验件故障, 未进行试验
D	无泄漏, 重量未变化	无泄漏, 重量未变化	无泄漏, 重量未变化

注: 试验件 C 未安装安全阀, 试验件 D 未安装压力表, 相应安装孔用堵帽堵住。

## 2.5 环境适应性摸底试验结果分析

从摸底试验的结果可以得出以下分析结论:

(1) 安全阀膜片的自爆压力与环境温度存在较大关系。

从表7可以看出,高温环境下安全阀的实际爆破压力远小于其常温设计爆破压力。因为随着温度升高,安全阀膜片的塑性增强,强度降低,实际爆破压力降低,最终导致灭火瓶内压力还未达到安全阀设计爆破压力时,安全阀就自爆泄漏了。所以安全阀的设计爆破压力应该根据灭火瓶的高温环境重新设定。

表7 高温环境下安全阀膜片的爆破压力

试件	自爆压 /MPa	自爆温 /℃	备注
1	15.1	82	常温(20±5℃)下安全阀的设计爆破压力为19.6±1.96MPa
2	16.1	89	
3	16.7	96	
4	16.2	84	

(2) 超常充填压力下的灭火瓶在高温环境下的压力易接近甚至超出安全阀膜片的自爆压力,从而引起膜片自爆。

从图6可以看出,在70℃和75℃时试件5~6的压力就会非常接近甚至超出安全阀常温下的设计爆破压力,且根据上述分析,高温下安全阀的实际爆破压力还会变得更小。不仅如此,在实际操作中,为补偿因灭火瓶泄漏造成的压力降低,往往将充填压力控制在设计允许值上限,再加上压力表误差因素,实际充填压力很可能超出允许值1MPa,这样灭火瓶在高温环境下工作时,瓶内压力就极易达到安全阀的实际爆破压力,从而导致安全阀自爆。

(3) 正常充填的灭火瓶配套的安全阀具备高温和

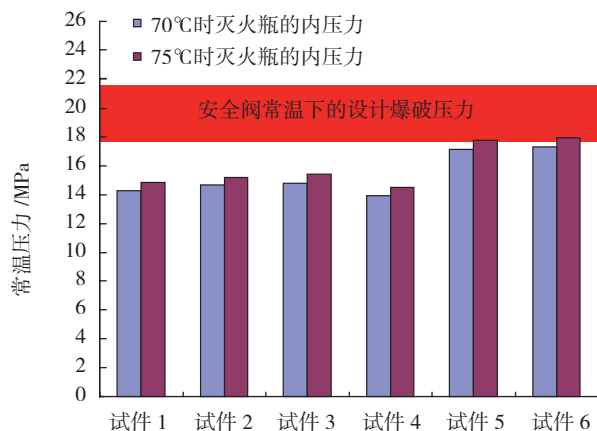


图6 不同充填状态的灭火瓶高温(70℃、75℃)压力柱状图

Fig.6 Pressure chart of the extinguishers in different stuffing states at high temperature(70℃、75℃)

振动综合环境条件的适应能力。

进行高温振动试验的4件灭火瓶中有3件安装了安全阀。这3件安全阀在经受了常温功能振动试验和高温耐久性振动试验后,均未出现泄漏和自爆现象。振动试验后,在常温下对这3件安全阀进行爆破压力测试,测得其爆破压力分别为:19.6MPa、19.8MPa、20.2MPa。因此,按设计允许压力值充填的灭火瓶在高温环境下,其安全阀具备足够的抗振性能。

(4) 灭火瓶压力表BY250A不适应某型飞机的振动环境。

从振动试验的结果可知,灭火瓶配套的压力表BY250A均出现了较严重的故障,说明压力表BY250A不具备足够的抗振性能。

## 3 改进措施

结合球形灭火瓶环境适应性摸底试验结果分析,可从以下4方面着手解决成品压力表泄漏和安全阀非正常自爆泄漏故障:

(1) 必须结合灭火瓶的高温工作环境重新设定安全阀的设计爆破压力和设计爆破温度。安全阀改进后的技术参数如表8所示。

(2) 应严格控制灭火瓶的初始充填压力上限。为

表8 安全阀技术参数改进方案

改进项目	改进前技术参数	改进后技术参数	备注
安全阀设计爆破压力 /MPa	17.64~21.56	19~22	其余技术参数不变
安全阀设计爆破温度 /℃	20±5	70±2	

尽量不改变灭火瓶的灭火性能,只对灭火瓶充填压力公差进行控制。改进前后不同环境温度下灭火瓶的充填压力如表9所示。

(3) 重新选型适应某型飞机高温和振动综合作用

表9 改进前后不同环境温度下灭火瓶的充填压力

环境温度 /℃	5~15	15~25	25~35	35~45	45~55
改进前的充填压力 /MPa	9.3±0.5	9.8±0.5	10.3±0.5	10.8±0.5	11.3±0.5
改进后的充填压力 /MPa	9.3+0.2 -0.5	9.8+0.2 -0.5	10.3+0.2 -0.5	10.8+0.2 -0.5	11.3+0.2 -0.5

工作环境的压力表。经调研,为某型喷气式飞机灭火瓶配套的压力表BYQ-21满足该型飞机球形灭火瓶的工作条件和接口要求。因此,将选用压力表BYQ-21为球形灭火瓶配套,其主要技术参数如表10所示。

(下转第80页)

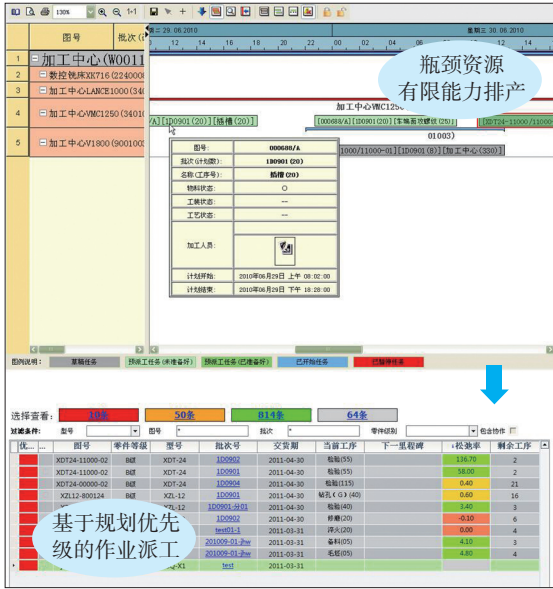


图 6 MES中的车间计划与调度子系统典型界面  
Fig.6 Typical interface of workshop planning and dispatch subsystem in MES

## 5 结束语

本文分析了复杂产品制造系统的生产计划与控制的应用现状,总结了在实际应用方面的难点与不足;尝试建立基于 TOC 及启发式规则的复杂产品制造系统生产计划与控制方法;设计实现了相关计划与调度系统(或软件模块)并在工厂得到了应用。经实践证明,该方法对解决多品种、小批量离散制造企业在基础数据缺乏、数据样本庞大、扰动因素繁多环境下的车间计划与控制问题具有较好的应用前景和价值。

### 参考文献

[1] 刘亮,齐二石.基于 APS 与 MES 集成的车间生产计划和调度方法研究.制造技术与机床,2006(9),24-28.  
 [2] Sehrageheim E, Cox J, Ronen B. Process flow industry scheduling and control using theory of constraints. International Journal of Production Research, 1994, 32 (8): 1867-1877.  
 [3] Wiendahl H P. 面向负荷的生产控制.肖田元,范玉顺,姚小冬,译.北京:清华大学出版社,1999.  
 [4] 蔡颖.ERP 高级计划:APS 供应链优化引擎.广州:广东经济出版社,2004.  
 [5] Rondeau P J, Litteral L A. Evolution of manufacturing planning and control systems: From reorder point to enterprise resource planning. Production and Inventory Management Journal, 2001, 42(2): 1-7.  
 [6] 李爱华,尹柳营.DBR 技术中确定缓冲大小的模型.中国管理科学,1998,6(1):16-20.  
 [7] Sehrageheim E, Ronen B. Drum-buffer-rope shop floor control. Production and Inventory Management Journal, 1990 (3): 18-22.  
 [8] 吴秀丽.柔性作业车间动态调度问题研究.系统仿真学报,2008,20(14):3828-3829.

(责编 深蓝)

(上接第 75 页)

表 10 压力表 BYQ-21 主要技术参数

序号	项目	技术参数值
1	压力测量范围	0~25MPa
2	使用温度	-55~80℃
3	寿命指标	8 年 /2500 飞行小时
4	保证期	2 年 /250 飞行小时
5	常温时检测点上的允许误差	检测点为 10MPa 时为 ± 1MPa
6	环境适应性	通过了 GJB150 规定的环境试验

(4)按照 GJB150 要求,结合灭火瓶的实际工作环境,完善灭火瓶的试验技术条件,完善结果如表 11 所示。

表 11 改进前后球形灭火瓶的试验技术条件

项目	原技术条件	改进后技术条件	备注
工作温度	-55 ~ +60 ℃ (不符合 GJB)	按 GJB150 要求改为 -55 ~ +70 ℃	
冲击试验	不符合 GJB150.18-1986	按 GJB150.18-1986 要求 确定试验条件	每年抽 2 件 进行
振动试验	不符合 GJB150.16-1986	按 GJB150.16-1986 要求 确定试验条件	每年抽 2 件 进行
停放试验	常温下停放 72h 后进行重量和压力 检查	常温下停放 72h 后进行 重量和压力检查;增加高 低温环境下的停放检查 要求	每批抽 2 件, 高低温停放 时间分别不 少于 4h

## 4 设计改进验证结果

按设计改进后的新结构新标准生产球形灭火瓶,进行地面验证试验和装机验证试验。

### 4.1 地面验证试验

用 2 件改进后的球形灭火瓶,进行地面验证试验。试验项目包括:常温、高温、低温环境下的密封性能试验,高温工作性能试验,冲击试验,振动试验。试验过程及试验后灭火瓶状态正常,未出现安全阀自爆和压力表泄漏等故障。

### 4.2 装机验证试验

将 24 件(3 架机)改进后的球形灭火瓶装机使用,连续 6 个月跟踪检查它们的工作情况。截至目前,外场反映改进后的灭火瓶装机工作良好,未出现泄漏故障。

通过以上各项试验验证说明某型飞机球形灭火瓶设计改进合理。

### 参考文献

[1] 李鹏,王晓平,周亮.某型飞机球形灭火瓶设计改进.航空维修工程,2010,46(4):30-31.

(责编 小城)