

考虑环境适应性和环境防护的火灾黑匣子设计

宣金泉¹, 王晓红¹, 刘向宏²

(1. 北京航空航天大学, 可靠性与系统工程学院, 北京 100191; 2. 京昌代表局, 北京 100083)

摘要: **目的** 为了清楚记录火灾事故过程, 便于灾后调查分析及预防火灾。**方法** 对火灾现场的环境条件及其复杂性进行研究, 并在此基础上, 提出考虑环境适应性和环境防护的火灾黑匣子系统的设计思路, 进行初步设计。**结果** 火灾黑匣子的外部防护壳体采用了高强度的合金材料, 确保了外壳具有较高的硬度和强度, 保证了抗电磁干扰能力。内部是主要由二氧化硅凝聚物和石棉粉组成的多重复合结构, 具有较好的抗高温火烧性能。**结论** 该设计下的黑匣子实现了对日常使用和恶劣火场环境下的火灾数据的记录、存储与再现的问题。

关键词: 火灾黑匣子; 消防数据; 环境适应性设计; 环境防护设计

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2015.03.026

中图分类号: TJ02 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2015)03-0136-06

The Fire Black Box Design Considering Environmental Worthiness and Environmental Protection

XUAN Jin-quan¹, WANG Xiao-hong¹, LIU Xiang-hong²

(1. College of reliability and Systems Engineering, Beihang University, Beijing 100191, China;

2. Jingchang Representative Office, Beijing 100083, China)

ABSTRACT: Objective To clearly record fire processes to facilitate investigation analysis and prevent fire disaster. **Methods** Based on the studies of the environmental conditions and the complexity of fire scene, a design idea of taking environmental adaptability and environmental protection into account was proposed and a preliminary design was made. **Results** A high-strengthened alloy material was adopted for the external protective shell of the fire black box to ensure that the shell had high hardness and strength and the ability of anti-electromagnetic interference. The internal structure was the multiple composite structure mainly composed of silica aggregates and asbestos powder, with good performance of anti-burning at high temperatures. **Conclusion** The fire black box can record, store and reappear the fire data in daily use and harsh fire environment.

KEY WORDS: fire black box; fire data; environmental adaptability design; environmental protection design

收稿日期: 2015-01-21; 修订日期: 2015-02-11

Received: 2015-01-21; Revised: 2015-02-11

作者简介: 宣金泉(1991—), 男, 安徽人, 硕士, 主要研究方向为可靠性及环境适应性。

Biography: XUAN Jin-quan(1991—), Male, from Anhui, Master, Research focus: reliability and environmental adaptability.

通讯作者: 王晓红, 女, 副教授, 主要研究方向为产品环境工程、可靠性试验技术、加速试验技术。

Corresponding author: WANG Xiao-hong, Female, Associate Professor, Research focus: product environmental engineering, reliability testing technology, accelerated testing technology.

据《中国火灾统计年鉴》^[1]统计,我国每年都有上千起火灾事故的原因不明,主要是因为火灾现场没有记录设备,或是火灾报警监控系统遭到火灾的破坏,导致火灾数据没有得到有效的保护,从而无法为灾后的事故原因分析、火灾发生及蔓延过程提供调查数据。这些火灾数据既是确定火灾责任认定的有效证据,也是日后进行消防教育、避免同类事件发生最有说服力的教材。火灾报警监控系统因不能抵御火灾的破坏而无法完成数据记录和保护的功能,其实是其火灾环境适应性差的问题,因此要保证记录器过火后仍能完好有效地记录各种有用的数据。在研究火灾事故数据记录仪(借鉴航空飞行数据记录仪的称呼,俗称为火灾黑匣子)时必须研究火灾环境的特点,并在设计中考虑其火灾环境的适应性及耐环境能力设计。

考虑到火灾现场的环境条件的复杂性、破坏性,如浸水、高温火烧、强冲击等。文中充分研究了火灾环境条件的特点、各种环境的环境效应及危害性,将环境适应性和环境防护技术应用于火灾黑匣子系统的设计,初步设计出了一套能够适应火场极端环境条件的数据记录保护系统。

1 黑匣子的作用及功能模块

黑匣子(Black Box)原指飞机上的一种电子记录设备,全称航空飞行记录器。在很多特殊场合的需求牵引下,飞机黑匣子的基础上,目前研制出多种用于记录、存储数据的电子记录设备,为各类事件或事故(如汽车、煤矿、电梯等)的后期工作提供数据和事故场景再现。这些黑匣子都有一个共同的作用,即记录设备运行状态参数或采集记录环境条件状态参数,并对记录数据进行存储,为日常管理以及事故调查工作提供详实可靠的依据。

黑匣子的外观可以多种多样,但功能结构大体类似,常见的黑匣子大都含有以下几个功能模块:数据采集模块、数据存储模块、电源模块、防护壳体及信标模块。一般黑匣子都应用在特殊场合,因此要求其具有较高的强度、耐高压、耐高温、抗冲击、抗振动、抗电磁干扰、耐腐蚀、耐海水(或煤油)浸泡等性能,如此才能充分保证其可靠性和意外发生时数据的完整性。

2 火灾黑匣子系统的基本设计

2.1 定义与功能

火灾黑匣子是一种消防数据记录保护器,是一种

在极其特殊及严酷环境下使用的记录器。通过摄像头、麦克风以及与消防仪器仪表相连的传感器,监测并记录消防工作各个环节及主要设备的运行数据。通过记录的现场及消防控制室的音视频、消防数据等信息,既可在灾后为火灾事故的原因、经过和责任认定提供详实可靠的数据,日常还可以用于检验消防控制设备运行是否正常的作用^[2]。

2.2 系统及其组成

火灾消防数据记录保护系统是一个复杂的系统,一般由火灾黑匣子、数据管理主机、数据采集系统、显示器、外部传感器、消防控制柜、备用电源等几个部分组成。具体如图1所示。

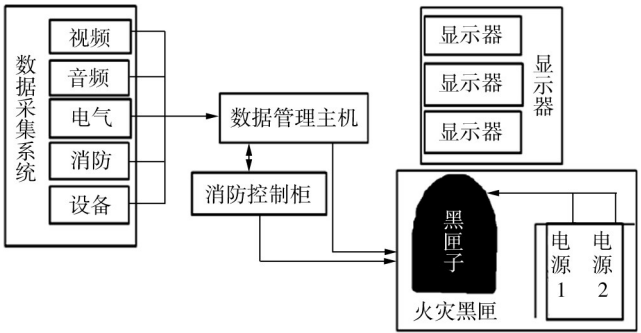


图1 火灾黑匣子系统组成
Fig.1 The diagram of fire black box

通过麦克风、摄像头、传感器等外部连接设备,将采集到的信号通过数据管理主机转换数据信息,再通过各个设备相应的显示器动态显示设备的信息,并将数据传送到黑匣子中保存。火灾黑匣子内部的电源系统,为提高可靠性,一般应采用冗余设计,对耗能元件应配备备用电源。

2.3 工作原理

火灾黑匣子存储了音视频数据、消防数据和电气数据等信息。其中,音视频数据来自终端的麦克风和摄像头;消防数据来自消防控制设备及传感器;电气数据来自各个电气采集模块。其典型工作原理如图2所示^[2]。

火灾报警控制器控制着各个烟感探测器、温感探测器、火灾报警器等设备,这些设备把采集到的数据通过火灾报警控制器传输到消防数据采集系统管理主机上。

消防设备检测仪连接着各种传感器,它们安装在消防管道、消防蓄水池、压力容器等设备中,时刻监测各设备状态信息,以及事故发生时的动作信息,并将

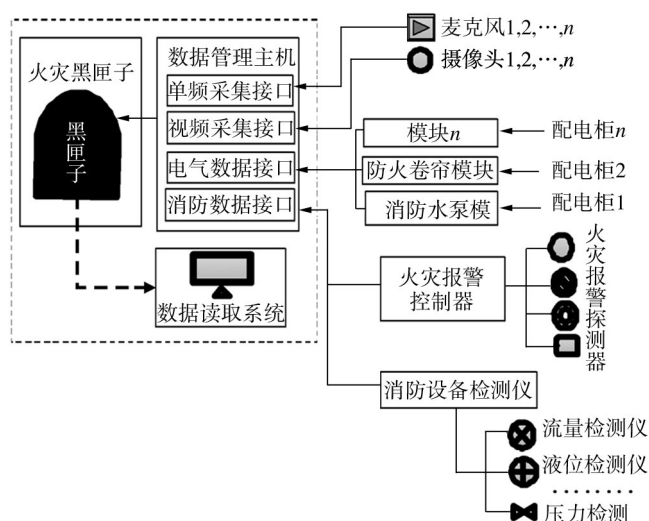


图2 火灾黑匣子工作原理

Fig.2 Working principle of fire black box

这些数据信息传送到黑匣子中。

电气数据是从各配电柜中引出的电压、电流信号,通过电气采集模块转换成数字信号并送入数据管理主机,再存储到黑匣子中。例如消防水泵模块,通

过对消防水泵专用配电柜的电流、电压信号的监测记录,便可对消防水泵的电气系统进行有效的管理,以及在灾后判断该模块是否存在问题。终端的麦克风、摄像机采集到的音频、视频数据通过接口传输到音视频采集卡,经过数据管理主机的处理,最后将数据存储在黑匣子。

2.4 安装位置

科学家通过对多起飞行事故分析的基础上,发现飞行器的机尾部分最不容易损坏,所以将飞机黑匣子安装在机尾。火灾黑匣子安装位置的设计思路也是以最大限度地保护火灾黑匣子不受到损坏为目标。要实现这个目标,首先需要对可能安装的场合进行归类分析,进而根据不同的场合,对火灾现场的环境进行分析、研究,对各种复杂环境对黑匣子可能造成的破坏效应进行分析和研究,对于不同场所的安装设计,需要根据环境不同,做出相应的设计。

分析研究表明,火灾黑匣子安装位置主要有以下几类,见表1。

表1 火灾黑匣子安装位置设计

Table 1 Tabulation of installation position of fire black box

场所类型	可能的环境条件	建议安装位置
大型商场	1、人为损坏、高温火烧、潮湿、浸水等	可以安装在消防控制室内,并且避免非相关人员接触,如黑匣子可安置在消防控制柜中;或者隐藏在墙壁保护柜中;或者安置在建筑物外部场所内;或其他掩体内部。
建筑类 办公楼	2、建筑物倒塌时的压力、冲击力和沙尘等	
场所 高层住宅		
教学楼、公寓		
易燃易爆 加油站	1、人为损坏、高温火烧、潮湿、浸水等	对于有爆炸危险的场所,需要安置在爆炸冲击不易破坏的地方,如远离油罐、加油机的地下建筑中、墙壁等地方。
爆类 油气储罐	2、火灾爆炸时的爆炸冲击波等	
场所 易燃易爆仓库		

总之,对于火灾黑匣子的安装位置,最终需要根据场所类型的不同,给出相应的安装设计准则,即将火灾黑匣子的安装位置作出统一的规定,这也有利于灾后寻找。

3 火灾黑匣子对环境适应性和环境保护设计

环境适应性设计是保证产品满足环境适应性要求的重要途径,GJB 4239—2001《装备环境工程通用要求》^[3]中定义的环境适应性是指:“装备(产品)在其寿命期预计可能遇到的各种环境的作用下,能实现其所有预定功能和性能和(或)不被破坏的能力。作为产品的质量特性之一”。环境适应性设计的定义是:

“为满足装备(产品)环境适应性要求而采取的一系列措施,包括改善环境或减缓环境影响的措施和提高装备(产品)对环境耐受能力的措施^[3]。”环境保护技术是指:研究和解决设备维持正常工作能力和设计性能而采取的防护措施和对策^[4]。环境适应性是产品的一个质量特性,而环境保护技术作为产品重要的保护措施,都越来越受到工业产品业的重视。

产品环境适应性主要取决于其选用的材料、构件、元器件耐环境的能力和其结构设计与工艺设计时采取的耐环境措施是否完整、有效^[5]。文中将从环境分析入手,通过改善环境或减缓环境影响及选用耐环境能力强的结构、材料、元器件和工艺这两个方面着手,同时结合防潮、防霉、防盐雾的“三防”设计,对火灾黑匣子系统的数据记录器、外壳结构、定位信标、数

据采集组件等进行环境适应性设计。

3.1 使用环境分析

环境条件是指:“在装备(产品)的运输、贮存和使用过程中可能会对其功能产生影响的环境应力”^[3]。

火灾黑匣子系统的使用环境条件分为火场环境和非火场环境两种情况。火场环境是指寿命期限内短时间、发生灾害时的工作环境。在这种情况下,灾害引起的环境变化使得黑匣子可能面临水浸、强冲

击、强振动、强电磁干扰以及高温火烧等极端环境,并且各种环境因素不是单一的,而是多个同时作用于设备。火灾黑匣子可能面临典型火场环境条件见表2。非火场环境是指寿命期限内大部分时间、无灾害发生时的工作环境。在这种情况下,黑匣子系统的数据采集设备以及安装在固定地点的黑匣子主要面临的环境条件有水浸、潮湿、腐蚀、振动、电磁干扰等。具体环境条件见表3。

综合以上对火灾黑匣子及部分数据采集装置环境

表2 典型火场环境条件
Table 2 Typical fire environmental conditions

火场环境因素	火场环境分析
温度	1、根据ISO—834标准火场温度,最高温度达1 100 ℃ 以上 2、一般家庭起居室相应设置,室内温度场在3 min27 s 内可达850 ℃ ^[6]
爆炸冲击	1、室内燃气爆炸产生的最大压力一般在:25 ~ 50 kN/m ² 2、油罐爆炸中心超压可达:100 000 Pa,破坏半径达600 m 以上 ^[7]
物体打击	建筑物内钢筋混凝土坠落产生的冲击能量一般在:70 ~ 120 kJ/m ³

表3 火灾黑匣子系统的环境条件
Table 3 Environmental conditions of fire black box system

火灾黑匣子系统	环境条件	
	非火场环境	火场环境
火灾黑匣子	腐蚀、潮湿、浸水、雷电、高温、粉尘、电磁干扰等	振动、冲击、高温、火烧、爆炸、浸水、沙尘等
温度检测仪	腐蚀、潮湿、雷电、粉尘等	振动、冲击、高温、火烧、爆炸、浸水、沙尘等
感烟探测器	雷电、高温、粉尘等	
流量检测仪	腐蚀、粉尘、雷电等	
液位检测仪	腐蚀、水生物、雷电等	振动、冲击、高温、火烧、爆炸等
压力检测仪	霉菌、腐蚀、雷电等	
有毒气体检测仪	粉尘、腐蚀、潮湿等	
火焰探测器	粉尘、潮湿等	浓烟雾、浸水、振动、冲击、火烧、爆炸、沙尘等
泄漏检测仪	腐蚀、粉尘、雷电等	
粉尘检测仪	潮湿、腐蚀等	沙尘、冲击、高温、火烧等
转速检测仪	振动、腐蚀、高温、粉尘等	浸水、冲击、高温、火烧等
风速测试仪	振动、腐蚀、高温、粉尘等	振动、冲击、高温、火烧、爆炸、沙尘等
数据传	有线传输线路	冲击、高温、火烧、爆炸、浸水等
输设备	无线传输设备	

条件的分析,对于火灾黑匣子系统的环境适应性设计主要需要应针对^[8]:防浸泡腐蚀设计、防冲击振动设计以及防电磁干扰设计。所以论文主要针对这三方面环境对火灾黑匣子系统进行适应性及环境防护设计。

3.2 防护壳体的设计

防护壳体设计是环境防护设计的重点。火灾黑匣子的壳体设计仿照飞行数据记录器的设计标准,按照ED-55,ED-56A,TSO-124A等防毁标准去设计。

它要求防护壳体在3400g冲击载荷作用下,仍能保护好内部的记录介质,即要求防护壳体能够保证自身和内部记录介质不发生塑性变形和断裂破坏^[9]。在经受冲击、穿刺、耐火强度与密封性试验后,其存储记录的消防监测原始数据完好并能读取。

考虑黑匣子壳体的环境适应性和环境防护设计,建议的设计方式主要有以下几方面。

1) 壳体材料建议采用合金材料,既确保了外壳具有较高的硬度和强度,同时形成良好的金属屏蔽,使

得电磁波和电磁脉冲很难到达设备内部的敏感元件和电路处,保证了抗电磁干扰能力。

2) 壳体结构建议为上下两部分分别整体浇铸的结构形式,总体为空心圆柱形,顶部为半球形,避免了点焊可能造成的缝隙腐蚀,具有良好的密封性,从而保证了设备的防尘性、防水性、防潮性及耐腐蚀性。建议圆弧边半径为7 mm,壁厚为3 mm,这在保证防护壳体在3400g冲击载荷用下不会发生塑性变形、断裂破坏的同时,也满足了质量最轻的原则^[9]。

3) 可在外部涂上耐潮、耐化学腐蚀性介质的防护材料,提高产品的“三防”性能。并且通常建议采用橙黄色涂料,便于被发现。

3.3 内部结构及组件的设计

结合表2、表3中对火灾黑匣子可能处在的环境条件分析,并参考文献[10],为了提高火灾黑匣子的防护性能,其内部主要采用了二氧化硅凝聚物和石棉粉两种材料。二氧化硅凝聚物具有较高的硬度和强度,并且是目前世界上热导率最小的固体材料,温室真空热导率可达 $0.001 \text{ W}/(\text{m} \cdot \text{K})$,最高能承受 $1400 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 的高温^[13]。石棉具有高抗张强度、高挠性、耐化学和热侵蚀、电绝缘,而石棉粉是含有石棉纤维的粉状非金属材料,在防水材料、隔热保温材料等领域广泛应用。

参考文献[10—12],对现有的消防黑匣子进行了环境适应性和环境防护的改进设计,上半部分结构自外向内依次是合金壳体、二氧化硅凝聚物、石棉粉、倒置真空杯、二氧化硅凝聚物、石棉粉、正置真空杯、石棉粉、金属壳体、电子集成电路。下半部分结构自外向内依次是合金壳体、二氧化硅凝聚物、石棉粉、金属壳体,并在外部附有定位信标。

对于火灾黑匣子内部结构及组件的环境适应性和环境防护设计,主要从以下几个方面进行了设计。

1) 内部主要采用了隔热性能良好的二氧化硅凝聚物、石棉粉、真空杯等材料,并且隔热层采用复合隔热技术,使得火灾黑匣子能经受相比文献[10]中 $260 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 低温火烧10 h及 $1100 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上高温火烧1 h更恶劣的火场环境,依然不会损坏数据存储模块,即确保其具有较好的抗高温火烧性能。

2) 采用了多重复合结构,保证壳体具有较强的抗刺穿能力,即确保在具有尖端物体高出坠落冲刺时,内部存储模块不受影响。

3) 最内层采用金属壳体保护数据存储模块,一方面采用了加固技术,使数据存储模块具有良好的抗振

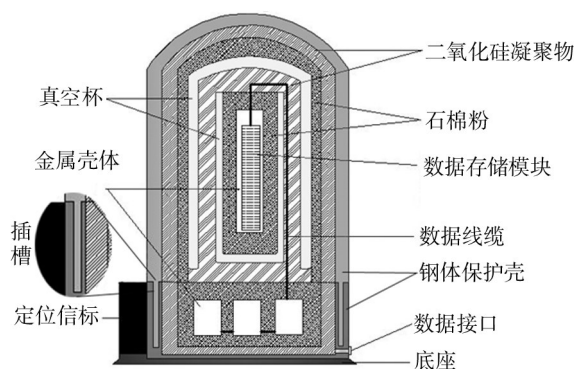


图3 火灾黑匣子内部结构

Fig.3 The internal diagram of fire black box

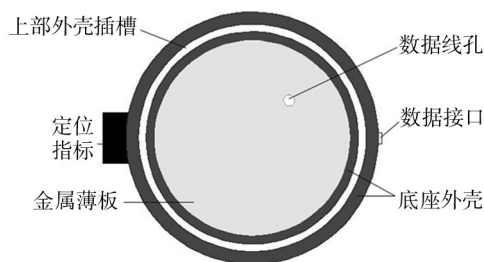


图4 火灾黑匣子下部俯视

Fig.4 Vertical view of the black box from the lower part

性;另一方面也利用了金属的电磁屏蔽性质,提高了内部的抗电磁干扰性能。

4) 采用了多层印制电路板,因其电磁辐射能量降低,可从结构上获得理想的电磁屏蔽效果^[14]。再通过合理地设计电气线路及元器件的布局,形成阻抗极低、接地良好的供电线路,一方面既可以有效解决传导干扰,又可以解决辐射干扰;另一方面有效地减少高频元件间的电磁干扰,提高了散热效率。

5) 采用滤波法^[15],抑制电磁波传导干扰和电磁脉冲的耦合。分别对电源线、信号线、控制线及印制板采取滤波措施,来抑制它们运行时产生的电磁能量,吸收线缆上的电磁能量并消除有害的电磁波。

6) 采用了电涌防护法^[14],在火灾黑匣子下半部分,线缆出入口处安装电涌保护器件,可防止电涌大电流的进入,提高了其抗强电流冲击性能。

7) 火灾黑匣子整体分为上、下两部分,接口采用“插槽式”的设计,外部通过橡胶圈和螺丝紧固。这样一方面提高了产品的可维修性,降低了成本;另一方面橡胶圈和“插槽式”的设计方式保证了产品的密封性能,同时也提高了接口处的抗塑性变形的性能。

8) 火灾黑匣子上、下两部分的内部接合处设有金属薄板,把上下两部分独立开。这样不仅提高了整体

的防潮性能,而且金属薄板的电磁屏蔽作用也提高了上部数据存储模块的抗电磁干扰性能。

9) 在火灾黑匣子底座内的3个金属壳体内部分别固定有备用电源、电涌保护器和滤波器。这样设计的目的是:金属壳体既对外部电磁波形成防护,同时也有效地屏蔽了内部元器件的电磁干扰;将备用电源和电气保护装置安装在底座,既降低了设备整体的重心,提高了抗振性,又便于拆卸,提高了可维修性。

4 结论

通过对火灾黑匣子环境适应性设计和环境防护设计技术,可以提高其环境耐受性能,解决火灾黑匣子在日常使用和极端火场环境中的可靠性问题。相比目前有关消防数据的采集设备,该火灾黑匣子具有的优点如下所述。

1) 能够与智能楼宇中的电梯、视频监控、排风、强电、弱电等设施,以及锅炉房燃气阀、燃气探测器、加油站油罐液位等,形成大黑匣子系统,从而解决了火灾危害后果高危场所(如写字楼、加油站、大型商场等)的消防数据的记录、存储及再现分析的问题。

2) 该火灾黑匣子具有很好的环境适应和环境防护性能,能够在复杂多变的火场环境下保证内部存储设备不受损坏,从而确保了数据的完整性和可靠性。

随着消防安全被逐渐地重视,以及先关法律法规的逐渐完善,火灾黑匣子必将会实现普及应用。为应对各种新的需求进行功能研发的同时,火灾黑匣子的可靠性必然是研究方向之一。

参考文献:

- [1] 公安部消防局. 中国火灾统计年鉴[M]. 北京:中国人事出版社,2002.
Public Security Fire Code. China Statistical Yearbook of Fire [M]. Beijing: China Personnel Press, 2002.
- [2] 陈刚,聂继雷,田佳. 消防数据保护系统的设计与实现[J]. 电脑开发与应用,2013(4):24—26.
CHEN Gang, NIE Ji-lei, TIAN Jia. Design and Implementation of Fire Protection Data Protection System[J]. Computer Development & Applications, 2013(4):24—26.
- [3] GJB 4239—2001, 装备环境工程通用要求[S].
GJB 4239—2001, Equipment Environmental Engineering General requirements[S].
- [4] 环境防护技术[J]. 环境技术,2006(5):51.
Environmental Protection Technology[J]. Environmental Technology, 2006(5):51.
- [5] 祝耀昌. 环境适应性与环境工程[J]. 航天器环境工程,2006(4):187—193.
- ZHU Yao-chang. Environmental Adaptability and Environmental Engineering[J]. Spacecraft Environment Engineering, 2006(4):187—193.
- [6] 张小良. 起居室典型材料的火灾温度场实验研究[J]. 中国安全生产科学技术,2011(9):28—34.
ZHANG Xiao-liang. Fire Temperature Field Living Typical Materials Experimental Study[J]. China Safety Science and Technology, 2011(9):28—34.
- [7] 杨光辉. 大型油罐火灾爆炸危害性研究[D]. 北京:中国石油大学,2007.
YANG Guang-hui. The Large Oil Tank Fire and Explosion Dangers of Research[D]. Beijing: China University of Petroleum, 2007.
- [8] 熊长武. 装备环境适应性设计思想变革与实践[J]. 装备环境工程,2014(2):20—25.
XIONG Chang-wu. Equipment Environmental Adaptability Design Change and Practice[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014(2):20—25.
- [9] 李寿安,李曙林,何卫锋. 某型飞行数据记录器防护壳体优化设计[J]. 沈阳航空工业学院学报,2002(2):8—9.
LI Shou-an, LI Shu-lin, HE Wei-feng. A Certain Type of Flight Data Recorder Protective Shell Optimized Design[J]. Shenyang Institute of Aeronautical Engineering, 2002(2):8—9.
- [10] 黄庆禄,刘国忠,张海涛,等. 消防黑匣子:中国, CN101110128[P]. 2008-01-23.
HUANG Qing-lu, LIU Guo-zhong, ZHANG Hai-tao, et al. Fire Black Box: China, CN101110128[P]. 2008-01-23.
- [11] 张霞. 隔热材料性能的影响因素[J]. 材料开发与应用,1994(2):7—10.
ZHANG Xia. Factors Insulation Properties[J]. Materials Development and Application, 1994(2):7—10.
- [12] 常新龙,姜帆. 高温、湿热环境下氟橡胶密封圈失效研究[J]. 装备环境工程,2012,9(1):23—25.
CHANG Xin-long, JIANG Fan. High Temperature, High Humidity Environment Viton Seals Fail Research[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012,9(1):23—25.
- [13] 毕海江. 二氧化硅气凝胶隔热材料制备及其隔热性能研究[D]. 合肥:中国科学技术大学,2014.
BI Hai-jiang. Silica Airlgel Insulation Material and Insulation Performance[D]. Hefei: University of Science and Technology of China, 2014.
- [14] 白同云. 电磁兼容设计[M]. 第2版. 北京:北京邮电大学出版社,2011.
BAI Tong-yun. EMC Design[M]. 2nd Edition. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2011.
- [15] 王敬斌. 开关电源的电磁干扰及抑制技术[J]. 电子测试,2009(3):86—90.
WANG Jing-bin. Switching Power Supply and Electromagnetic Interference Suppression Techniques[J]. Electronic Test, 2009(3):86—90.