

文章编号: 1003-1480 (2021) 01-0056-05

# 军机机上火工品适航性研究

高成金, 高贺松, 宋金雷

(北京航空工程技术研究中心, 北京, 100076)

**摘要:** 为进一步提升军机安全性水平, 进行了军机机上火工品适航性研究。首先, 通过介绍火工品在军机上的分布, 明确其安全性水平对飞行安全的重要影响; 然后, 对军机机上火工品适航性进行了定义, 提出军机机上火工品适航性审查准则的制定原则; 最后, 举例说明了军机机上火工品适航条款的内容。本研究为开展军机机上火工品适航性设计、制造、验证及审查工作提供支持。

**关键词:** 火工品; 适航性; 军机; 安全; 标准

中图分类号: TJ450 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1003-1480.2021.01.015

## Research on Airworthiness of Initiating Explosive Devices on the Military Aircraft

GAO Cheng-jin, GAO He-song, SONG Jin-lei

(Beijing Aeronautical Engineering and Technology Research Center, Beijing, 100076)

**Abstract:** In order to further improve the safety level of military aircraft, the airworthiness research of military aircraft initiating explosive devices was carried out. Firstly, the distribution of initiating explosive devices on military aircraft was introduced, which makes clearly the important influence of its safety level on flight safety. Then, the airworthiness of the initiating explosive devices was defined and the principles of establishing the airworthiness review criteria were put forward. Finally, some examples were given to illustrate the content of the airworthiness provisions of initiating explosive devices on military aircraft. Through the research of this paper, it can provide support to the development of airworthiness design, manufacture, validation and review of the initiating explosive devices on military aircraft.

**Key words:** Initiating explosive device; Airworthiness; Military aircraft; Safety; Standard

火工品作为引燃、起爆、做功元件是军机不可或缺的组成部分, 被广泛应用于机载武器系统、机载乘员逃逸系统、抛放式飞行参数记录系统、机载红外诱饵干扰装置等方面, 火工品的安全性高低直接关系到飞机的安全性水平<sup>[1]</sup>。2008年以来, 我国空军已经在多型飞机、发动机研制中开展了适航工作, 规划编制了多项法规, 从设计、制造源头控制了许多影响飞行安全的重要因素, 保证了型号安全性水平的不断提升。但目前并没有专门针对机上火工品的约束条款,

导致在火工品相关产品的适航审查过程中, 存在无标可依、无规可循的问题。因此, 开展机上火工品适航性研究非常有必要。

## 1 军机机上火工品的分布及安全性

### 1.1 机载武器系统

机载武器系统主要包括机载武器、机载悬挂物/悬挂装置, 如图1所示。

收稿日期: 2020-08-03

作者简介: 高成金(1982-), 男, 助理研究员, 主要从事军机适航技术研究。

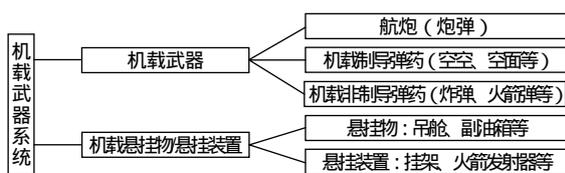


图1 机载武器系统组成

Fig.1 Composition of airborne weapon system

图1中航炮炮弹的底火,机载制导弹药的引信、战斗部、热电池、发动机,机载非制导弹药的引信、战斗部,机载悬挂装置的抛放弹等都采用火工品进行工作<sup>[2-3]</sup>,如果这些火工品出现安全性问题,有可能出现航炮炸膛、弹药发射不离梁、弹药早炸等影响载机飞行安全的严重后果。

## 1.2 机载乘员逃逸系统

机载乘员逃逸系统<sup>[4]</sup>如图2所示,主要由5部分组成:弹射通道清理分系统、弹射座椅分系统、弹射救生控制分系统、信号传递分系统,当多乘员逃逸时一般还有轨迹发散分系统。

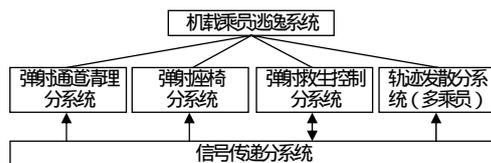


图2 机载乘员逃逸系统组成

Fig.2 Composition of airborne crew escape system

弹射通道清理分系统是乘员逃逸的第1步,主要实现舱盖切割与抛放,由切割索和抛放火箭等组成。弹射座椅分系统主要负责从座椅弹射启动到飞行员救生伞打开之间的一系列功能。轨迹发散分系统为了保证各乘员弹射过程中不会相撞,通过点火控制安装在座椅上的小火箭,将各成员弹射座椅发散弹射入不同的轨迹。弹射救生控制分系统是多乘员逃逸的关键,与弹射通道清理分系统、弹射座椅及轨迹发散分系统上的终端火工品连接,按照一定时序对各乘员弹射座椅发出弹射指令,为弹射救生提供逻辑与时序控制。信号传递分系统与各分系统相连,是机载乘员逃逸系统的神经网络,通过接收弹射救生控制分系统下达的弹射时序指令,利用机械、燃气、爆轰或其他形式传递到其他各分系统中,完成弹射功能任务。由此可见,机载乘员逃逸系统中输入与输出端含有大量的火工品,任何一个火工品出现安全问题,都会影响到飞行员的生命安全。

## 1.3 抛放式飞行参数记录系统

抛放式飞行参数记录系统<sup>[5]</sup>能够弥补常规黑匣子在飞机失事时有可能沉入海底或被飞机残骸击毁方面的不足,有利于飞机失事地点定位以及黑匣子打捞,极大缩短失事飞机的搜索定位时间,提高黑匣子的水上生存能力和寻回机会。目前,抛放式飞行参数记录系统已经在多种国产型号飞机上进行应用。抛放式飞行参数记录系统的基本工作原理是在飞机坠地(海)的瞬间,引爆爆炸螺栓等火工品,将飞机蒙皮顶起,利用风速将黑匣子从飞机中吹出。可见,火工品如果出现安全性问题,一方面可能造成正常飞行中的误炸,影响飞行安全;另一方面,在紧急时刻,直接影响到飞行参数记录系统抛放的成功与否。

## 1.4 机载红外诱饵干扰装置

为了增强军机在红外制导导弹攻击下的生存能力,机载红外诱饵干扰装置得到大量应用,如点源红外诱饵、光谱匹配型诱饵、轨迹优化型诱饵、面源红外诱饵系统等<sup>[6]</sup>。目前机载红外诱饵干扰装置大量采用自燃液体、自燃箔片等火工品,如果这些装置发生安全问题,过早爆炸或者方向控制不好落在飞机燃料舱等关键部位,可能对载机飞行安全产生重大影响。

## 2 军机机上火工品适航性

适航性(Airworthiness)的早期定义是“航空器宜于空中飞行的性质”,MIL-HDBK-516C美国军用航空器适航性审查准则把适航性定义为“航空器系统在规定的使用范围和限制内能够安全的开始、保持和完成飞行的特性”。

借鉴军机适航的定义,军机机上火工品适航性可定义为:“火工品保证载机在开始、保持和完成飞行期间安全的特性”。结合火工品的功能特点,军机机上火工品适航性工作可分为以下几步:(1)军方制定《军机机上火工品适航性审查准则》(以下简称《准则》),《准则》中应包含军机机上火工品需要遵循的所有适航性条款;(2)火工品研制单位对《准则》中的条款进行裁剪,编制《XX型飞机机上火工品适航审查基础》,并在方案设计阶段细化形成《XX型飞机

机上火工品适航设计要求》(以下简称《要求》);(3) 研制单位针对《要求》，确定各项条款的符合性验证方法，形成《XX型飞机机上火工品适航支持计划》(以下简称《计划》);(4) 研制单位在产品工程研制阶段，将适航各项条款落实到设计、制造和验证工作；(5) 根据军机研制进度，按照《计划》开展火工品适航审查工作，形成《XX型飞机机上火工品适航符合性验证报告》；(6) 结合军机研制总结，形成《XX型飞机机上火工品适航工作总结报告》，给出适航性综合评估结论和后续工作建议；(7) 军方根据产品《计划》开展适航审查过程监控，并在鉴定阶段完成适航审查工作，给出最终适航审查结论。该结论是产品开展状态鉴定的基本依据。其中，《准则》的制定是军机机上火工品适航工作的基础、核心和难点。

### 3 军机机上火工品适航性审查准则的制定原则

适航条款基本都是案例型条款，每一个条款制定都要有所依据，与军机相比，火工品可依据的案例不多、且难以收集。因此，《准则》的制定可考虑从以下两方面展开。

#### 3.1 借鉴国外相关准则

国外相关准则可借鉴 MIL-HDBK-516C 美国军用航空器适航性审查准则，MIL-HDBK-516C 也是欧洲军用航空器审查准则的制定基础。虽然 MIL-HDBK-516C 中没有火工品相关的具体条款，但 MIL-HDBK-516C 的整个行文、写法可供参考。

MIL-HDBK-516C 的每个条款基本包括“Criterion”、“Standard”、“Method of Compliance”和“References”4部分。其中，“Criterion”是条款的定性要求，“Standard”是为满足条款要求所必须达到的标准，“Method of Compliance”是为满足条款要求所需要采用的验证方法，“References”是条款产生的背景及引用的各类参考文献(如国际标准、美国国防部规范、联邦航空法典等)。MIL-HDBK-516C 条款的这种编写方法，有准则、有要求、有验证、有指南，能够帮助研制单位对条款进行充分的理解，便于条款在型号设

计、研制中的贯彻落实。

因此，《军机机上火工品适航性审查准则》可以参考 MIL-HDBK-516C 中条款的写法，也包括“准则”、“标准”、“符合性方法”和“参考资料”4部分。

#### 3.2 参考国内相关标准

国内相关标准主要参考与机上火工品相关的国军标和行业标准(航空、航天、兵器等行业)，例如：GJB 344A-2005 钝感电起爆器通用规范、GJB 347-2005 火工品分类和命名规则、GJB 357-1987 空空导弹最低安全要求、GJB 373A-1997 引信安全性设计准则、GJB 2001-1994 火工品包装、运输、贮存安全要求、GJB 2399A-2006 机载红外干扰弹通用规范、GJB 3653-1999 火工品检验验收规则、GJB 3686A-2015 航空座椅弹射弹通用规范、GJB 7517-2012 航空救生弹射座椅弹射火箭通用规范、HB 6628-1992 机载弹射挂弹钩通用设计准则、HB 7250-1995 乘员应急离机救生系统弹射动力装置通用规范等。

研究各标准中相关的设计要求和安全性要求，并对其进行分析、归类、提炼，一方面将这些要求转化为《准则》的条款，另一方面可将这些标准列入条款的“参考资料”供研制单位参考。

### 4 军机机上火工品适航性审查准则部分条款示例

#### 4.1 军机机上火工品适航性审查准则框架

军机机上火工品种类繁多，广泛应用于机载武器系统、机载乘员逃逸系统等不同系统，普遍分布在机身悬挂装置/悬挂物、机舱座椅等不同部位。机上火工品的复杂性使《准则》中条款的制定，需要综合考虑火工品的种类、应用和分布等情形。因此，经分析归类，将《准则》条款分为一般要求和专用要求2部分，《准则》框架如图3所示。一般要求是火工品适航性设计的最低要求，包括设计准则、材料选择、制造和质量、操作和维修手册等方面的条款；专用要求是火工品为更好地实现挂飞安全需满足的要求，包括结构、强度、环境、相容性等方面的条款。限于篇幅，本文仅举例说明部分条款内容。

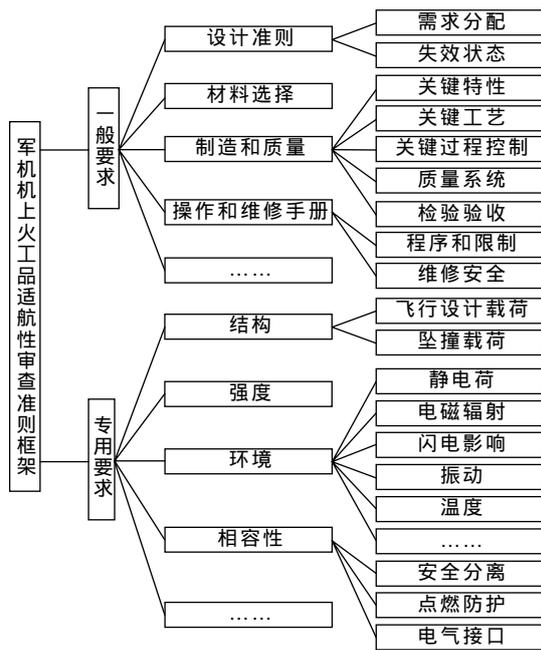


图3 军机机上火工品适航性审查准则框架  
Fig.3 Framework of airworthiness review criteria for initiating explosive devices on military aircraft

#### 4.2 一般要求

以“设计准则”为例，“设计准则”包括需求分配和失效状态2个条款。

##### 4.2.1 需求分配

准则：验证设计准则，在任务用途、所有被许可的飞行包线、工作接口、诱发和自然环境、检测和维修等方面，充分反映了适航性和安全性要求。

标准：将适航性和安全性需求分配到设计的各个层级。所有组件分配到的设计准则，涵盖任务用途、飞行包线、环境和生命周期内所需的各层级的适航性和安全性需求。

符合性方法：通过检查设计文件、工艺文件、过程文件等相关材料，来验证适航性和安全性需求以及设计准则的分配。通过文件检查，确认设计准则与适航性和安全性要求的一致性。

参考资料：GJB 373A-1997 引信安全性设计准则、GJB 900A-2012 装备安全性工作通用要求、GJB 1244-1991 电引信和电子引信安全设计准则、GJB 2865-1997 火箭和导弹固体发动机点火系统安全性设计准则、GJB 6456-2008 引信电子安全与解除保险装置设计准则等。

##### 4.2.2 失效状态

准则：验证设计准则充分考虑了与飞行安全相关

的失效状态。

标准：明确影响飞行安全的失效状态（包括单点故障）。单点故障导致发生灾难性事件（例如，机组人员的受伤、死亡，飞机的坠毁）的概率极低。

符合性方法：通过危害分析，验证影响飞行安全的关键危害已被识别。对设计进行分析，验证已经达到所需的安全级别。明确操作限制。

参考资料：GJB 373A-1997 引信安全性设计准则、GJB 900A-2012 装备安全性工作通用要求、GJB 1244-1991 电引信和电子引信安全设计准则、GJB 2865-1997 火箭和导弹固体发动机点火系统安全性设计准则、GJB 6456-2008 引信电子安全与解除保险装置设计准则等。

#### 4.3 专用要求

以“环境”为例，“环境”包括多个条款，本文对“静电荷”、“电磁辐射”和“闪电影响”进行介绍。

##### 4.3.1 静电荷

准则：验证火工品在飞机出现静电荷聚积时不发生危险。

标准：确保火工品与飞机的结构面进行了电搭接，并提供了静电接地路径；确保飞机能够控制和驱散静电荷聚积，使火工品不发生危险。

符合性方法：通过检查电搭接措施或电搭接装配说明进行验证。通过检查飞机/火工品电磁兼容试验报告进行验证。

参考资料：GJB 344A-2005 钝感电起爆器通用规范、GJB 345A-2005 引信用电起爆爆炸元件的鉴定试验、GJB 358-1987 军用飞机电搭接技术要求、GJB 573A-1998 引信环境与性能试验方法、GJB 1389A-2005 系统电磁兼容性要求、GJB 2527-1995 弹药防静电要求、GJB 4377-2002 弹药、导弹用火工品安全性要求、GJB 5309-2004 火工品试验方法、GJB 8848-2016 系统电磁环境效应试验方法等。

##### 4.3.2 电磁辐射

准则：验证火工品在机上和机外电磁辐射源的影响下不会发生危险。

标准：当火工品处于飞机产生的电磁场或外部射频电磁环境时，在其性能降低的情况下不能意外启

动。在上述环境下，为了保证安全，火工品应具有GJB 1389A 所要求的安全裕度。

符合性方法：通过对火工品和相关电路进行电磁辐射试验，验证其安全裕度满足要求。

参考资料：GJB 573A-1998 引信环境与性能试验方法、GJB 786-1989 预防电磁场对军械危害的一般要求、GJB 1389A-2005 系统电磁兼容性要求、GJB 2865-1997 火箭和导弹固体发动机点火系统安全性设计准则、GJB 4377-2002 弹药、导弹用火工品安全性要求、GJB 5309-2004 火工品试验方法、GJB 8848-2016 系统电磁环境效应试验方法 等。

#### 4.3.3 闪电影响

准则：验证火工品在雷电直接和间接效应的影响下不会发生危险。

标准：在飞行中，当火工品处于外部雷电环境条件下时，或者处于等效外部雷电环境条件下时，火工品应能经受住雷电效应，包括耦合到布线和系统上的瞬态电流和电压。

符合性方法：通过飞机系统级的雷电试验和符合性验证，来证明雷电效应对火工品不产生危害。

参考资料：GJB 1389A-2005 系统电磁兼容性要求、GJB 2639-1996 军用飞机雷电防护、GJB 3567-1999 军用飞机雷电防护鉴定试验方法、GJB 8848-2016 系统电磁环境效应试验方法、HB 6129-

1987 飞机雷电防护要求及试验方法等。

## 5 结语

通过开展军机机上火工品适航性研究，制定《军机机上火工品适航性审查准则》，将对具体飞机型号研制中涉及到的火工品的适航性工作提供指导，从设计、制造源头上提升火工品与载机的相容性，从而保证飞机安全性水平的提升。

#### 参考文献：

- [1] 叶淑琴. 电火工品钝感技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2008.
- [2] 李伟军. 空空导弹发射装置安全性设计浅析[J]. 科技信息, 2013(443): 79-80, 153.
- [3] 向红. 新型抛放弹技术研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2008.
- [4] 王浩宇. 面向机载乘员逃逸的激光火工及控制关键技术研究[D]. 合肥: 中国科学技术大学, 2019.
- [5] 李啸宇. 抛放式飞行记录系统研究[C]//2018(第七届)民用飞机航电国际论坛论文集, 2018.
- [6] 李石川, 王刚, 陈元泰, 马榜, 倪凯捷, 王鹏. 机载红外诱饵技术及干扰策略研究[J]. 航天电子对抗, 2018, 34(167): 40-43, 46.