

机载导弹特殊环境分析

史明丽, 毛剑晖

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471000)

摘要: 目的 为避免由于设计阶段环境适应性要求涵盖范围的缩小造成使用风险, 对机载导弹特殊环境进行分析。方法 梳理机载导弹寿命期内除典型环境外的特殊气候、力学和综合应力环境, 深入分析每项特殊环境产生的机理和应力特点, 以及其对机载导弹功能、性能产生的不利影响和在这些特殊环境下使用的风险。结果 在此基础上对机载导弹适应这些特殊环境需开展的工作进行了梳理, 提出了综合解决方案。结论 机载导弹研制中应尽快开展针对特殊环境的设计和试验验证工作。

关键词: 导弹; 特殊环境; 环境适应性; 振动; 载荷

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.01.014

中图分类号: TJ76 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2017)01-0057-04

Special Environment of External-store Missile

SHI Ming-li, MAO Jian-hui

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471000, China)

ABSTRACT: Objective To avoid functional risks due to narrowed covering range required by environment suitability in development stage and analyze special environment of external-store missile. **Methods** Special climate, mechanics and complex stress environment except typical environment in the service life of external-store missile were analyzed. Mechanism and stress features generated in each special environment, their adverse effects on functions and performances of external-store missile and risks on using in special environment were also analyzed in depth. **Results** Jobs to be completed for external-store missile to adapt to special environment were combined and comprehensive solutions were proposed. **Conclusion** It is necessary to start design and experimental tests of special environment as early as possible in development of external-store missile.

KEY WORDS: missile; special environment; environmental adaptability; vibration; load

目前, 机载导弹的环境适应性要求制定的主要依据是 GJB 150A《军用装备实验室环境试验方法》系列标准^[1-3], 同时参考已定型或在研产品的环境要求和实测数据, 以及载机平台的要求^[4]。其中未包含以下特殊环境: GJB 150A 有规定但本产品未考虑的环境; GJB 150A 明确指出未包含的环境; 自然界发生概率极低的环境; 由导弹设计决定的、与环境相关的其他情况。

为避免由于环境适应性要求涵盖范围的缩小造

成使用风险, 有必要在产品典型环境适应性要求的基础上, 对机载导弹寿命期内除典型气候环境、力学环境和生物环境外可能经历的特殊环境进行分析, 并对这些环境对导弹服役可能产生的风险进行分析, 提出综合解决方案。

1 寿命期环境剖面分析

机载导弹从出厂到寿命终结要经历六个典型环

收稿日期: 2016-07-22; 修订日期: 2016-08-24

作者简介: 史明丽 (1980—), 女, 陕西人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为装备环境工程。

通讯作者: 毛剑晖 (1964—), 男, 河南人, 硕士, 高级工程师, 主要研究方向为装备环境工程。

境事件,见表1,经历多种自然和诱发环境。

表1 机载导弹寿命期环境剖面

序号	环境事件	环境因素
1	运输/装卸 (到库房)	温度、湿度、运输振动、跌落冲击
2	空调库房贮存	温度、湿度
3	出箱/转运/挂装	温度、湿度、运输振动、意外跌落
4	库房贮存	温度、湿度、盐雾、霉菌
5	挂机停放/飞行	温度、湿度、盐雾、霉菌、沙尘、淋雨、雪、冰、冰雹、雾、雾霾、有害气体、挂机振动、着陆冲击、加速度、噪声
6	发射/自主飞行	温度、湿度、雾、雾霾、自由飞振动、发射冲击、加速度

通过寿命期剖面分析,发现雪、冰、冰雹、雾、雾霾、有害气体通常在机载导弹研制的环境工程工作中未予考虑。随着我国环境污染的加重和极端天气的多次出现,这些特殊气候环境对机载导弹的影响问题已无法回避,有必要对其进行分析。温度、湿度、力学环境(含振动、加速度、冲击)通常在研制中开展了大量的设计和试验验证工作,但在实际使用中由它们诱发的故障仍时有发生,分析原因主要是按标准进行了设计和考核,但仍有部分特殊情况和与机载导弹自身使用方式相关的特殊环境未予考虑,必须对这些特殊环境进行分析。以下从气候、力学、综合应力三方面对特殊环境进行分析。

2 特殊气候环境

2.1 温度

典型温度环境已包含了地面和挂飞高低温环境,未包含以下特殊状态下的温度环境。

1) 自主飞气动加热造成的局部温度环境。由自主飞气动加热具有温度高(300℃以上)、持续时间短(数十秒)、不同区域差别大、与产品气动热紧密相关等特点,弹内温度是与弹体热防护相关的一个快速变化的动态过程,很难给出传统意义上通用的温度环境要求,需开展结合气动热的专项分析。

2) 发动机燃烧造成的局部温度环境。发动机燃烧造成的局部温度虽然很高(500℃以上),但其持续时间更短(几秒)、影响范围仅限于发动机上/旁边安装的设备,因此可结合地面和空中的发动机点火试验对其环境进行测试、分析和考核。

3) 设备工作发热造成的局部温度环境。机载导弹寿命期内存在在空中长时间加电的情况,导弹内大功率电子设备工作时散发热量,热量的累积造成局部温度逐渐升高,而在空中低气压的环境下,热量将更不容易散出、温升更大,弹内温度会上升10~30℃,

这使得其他组部件的工作环境温度高于导弹的工作温度^[5]。因此,需要进行长期加电状态下的热分析和测试,适当提高组部件高温工作温度要求。

2.2 湿热

典型湿度环境包含了自然界地面最恶劣的高湿环境,以及在高湿环境下的凝露、渗透、吸收和呼吸效应,不包含以下特殊状态下的湿热环境。

1) 压力和温度变化导致的凝露。在飞机挂弹执行训练或巡航任务的过程中,压力和温度同时变化造成凝露出现^[1-3]。机载导弹有淋雨试验要求,外部凝露不会造成导弹工作异常。内部凝露一般不会很多,在水不大量积聚的情况下,经过湿热试验考核的产品应该可以正常工作。

2) 呼吸效应造成积水。密封或半密封产品内部留存的液态水一般很难再自然释放出来,时间一长必然会对产品功能性能造成影响^[1-3]。机载导弹生产过程中严格控制厂房湿度,温度试验后也进行产品烘干,所以生产环节可避免积聚液态水。服役后国防仓库贮存温湿度也受控,也不会积聚液态水。地面贮存、挂机飞行的内部凝露虽然比较少,但也存在留存液态水的概率,所以还需加强密封设计以避免这种情况的发生。

2.3 雾、雾霾

雾是由大量悬浮在近地面空气中的微小水滴或冰晶组成的气溶胶系统,是水汽凝结(或凝华)的产物,多出现于秋冬季节。霾是空气中的灰尘、硫酸、硝酸等颗粒物组成的气溶胶系统。雾霾是雾和霾的混合物,早晚湿度大时雾的成分多,白天湿度小时霾占主力。雾的厚度只有10~200m,霾则有1~3km。雾和雾霾的存在会降低空气透明度,光线在传播的过程受微小水滴、冰晶和颗粒物的散射作用而强度变弱,造成光学系统从背景中识别目标的能力降低,甚至功能丧失。

目前,标准中未规定装备雾、雾霾天气的考核评估方法,但随着我国自然环境污染的加剧,雾霾天气出现的频次增多、持续时间加长,有必要开展机载导弹对雾、雾霾环境适应能力的评估,给出针对不同强度雾、雾霾环境限用或禁用的使用要求和建议。

2.4 有害气体

车辆、船舶、飞机的尾气、工业企业生产排放、居民生活和取暖、垃圾焚烧、火山爆发等活动排出大量有害气体,其中的氮氧化物(NO_x)、硫氧化物、臭氧、氢氟酸等与装备的材料发生化学反应,由此带来材料外观变化、强度降低、电性能变化等一系列问题。如造成金属表面腐蚀、失去光泽,造成漆层褪色、

软化或龟裂,造成陶瓷制品表面光泽损失、反射率下降,造成橡胶制品脆化、发黏、裂纹,造成电接触点氧化、导电率降低。

目前的装备设计中,都会考虑盐雾环境,有害气体环境一般都未予以考虑,但自然界的盐雾和有害气体环境经常会同时出现,它们的共同作用会造成腐蚀的加速和加剧。因此仅对盐雾环境开展适应性设计和试验验证无法满足实际使用的需求,需在此基础上开展针对有害气体的设计和试验验证工作。

3 特殊力学环境

3.1 加速度

典型加速度环境不包括:导弹挂机飞行时,暴露在气流中的机载导弹表面除承受惯性载荷外还承受气动载荷,机载导弹承受气动载荷应按照这些载荷的最严重组合情况来设计和试验,这需要开展结构强度(静力和疲劳)分析和验证^[2-3,6]。

3.2 冲击

典型冲击环境包含了机载导弹寿命期的跌落冲击、基本设计冲击等环境,用于考核飞行器在使用和装卸中预期可能遭受的非重复性冲击,不包含着陆冲击环境。着陆冲击是机载外挂寿命期内遇到的典型动力学环境,应力量级大、重复次数多,易造成外挂物结构疲劳和损伤,威胁飞行安全,必须进行考核。该环境是外挂在特定安装状态和特定任务下的典型结构响应,试验时必须模拟实际安装状态和激励,才能得到比较贴合实际的响应,使产品受到恰当考核。

由于基本设计冲击无法在低频段覆盖着陆冲击环境,且作用次数远小于着陆冲击环境实际出现的次数,无法考核产品的着陆冲击环境,所以机载导弹研制过程除了进行基本设计冲击试验外,欢迎开展针对着陆冲击环境的适应性设计和考核^[7]。

3.3 振动

机载导弹现行的外部挂飞振动要求按 GJB 150.16/GJB 150.16A 制定,包含了随机振动和机动抖振,属于一般意义上的振动。标准中同时指出,外部悬臂在流场中由气流扰动引起的强迫振动可以产生极其恶劣的振动环境,有时会造成机载导弹快速失效。悬臂振动动态特性有以下特点:悬臂受激励作用的表面积相对于支撑结构和截面积要大;悬臂容易出现大幅值的运动响应,并在支撑基座上出现大的根部应力;当悬臂的形状为“翼型”时,会产生气动升力和拉力并叠加在波动压力载荷上^[2-3]。带舵翼面飞行的机载导弹完全满足这种动态特征。强烈的气动扰动产生的强迫振动有两种重要的激励类型。

1) 一个是宽带随机扰动造成的宽带随机振动,产生在相对钝的流场障碍后面或薄片后面,外挂的尾舵/翼一般暴露在挂架或前方外挂的后部扰动中,强烈的宽带扰动向下游方向运动,可以在扰动部件后方维持 3~5 倍扰动部件最大截面尺寸的距离。

2) 另一个是涡流,在一个“翼”两侧的压力不同时形成,速度和方向不断变化的流体翻滚形成的扰动产生了这些气动力,这些变化以攻角和流场速度的变化对翼施加影响,涡流造成的低频振动,这个问题一般与机载导弹的某个振动模态有关,有时会引起快速的疲劳和磨损失效^[7-9]。

局部扰动是无法预测的,在研制过程中应首先尽量避免发生这种情况,标准中给出的具体做法为:机载导弹安装在已知的扰动区域外,在平台规定的使用包络线内操作平台,如果出现了问题要评估这些问题等。对于机载导弹来说,要随战斗机进行全包线的飞行,且挂装飞机、挂点等均不应受限。因此解决该问题可行的办法只能是预示这种环境的应力特征和量级并开展针对性设计,使导弹适应这种环境。目前,业内这方面开展的工作比较有限,对这种典型环境的知识储备并不多。要解决这个问题需开展不同载机、不同挂点的气动力和扰动情况分析,以确定是否存在出现外挂悬臂气动扰动的情况,同时开展飞机边界条件飞行时的振动环境实测。

4 综合应力环境

机载导弹经受的实际环境一般都是几个因素共同作用,需对典型环境中未包含、共同出现概率高、共同作用会造成产品失效或失效加速的综合应力环境进行分析。

4.1 温度-湿度-振动-高度/振动-噪声-温度

GJB 150.24A, GJB 150.25A 规定了温度-湿度-振动-高度四综合试验和振动-噪声-温度三综合试验。其中温度-湿度和温度-高度综合已在典型环境中进行了分析和考核,暂不作考虑。噪声对产品的作用机理是诱发振动,振动的产品再向外辐射噪声,所以它们对产品的作用机理和失效模式基本相同,但考虑到振动试验的频率(一般为 5~2 000 Hz)不能覆盖噪声试验的频率(一般为 5~10 000 Hz),从试验考核来说它们还是有区别的,但由于作用机理,振动和噪声的耦合作用可通过提高单个应力的量级来近似考核^[13]。高低温会使得材料的物理特性(例如结构尺寸、强度、刚度等)改变,造成产品耐振性能的变化、进而造成产品功能性能的劣化,在高低温下施加振动对产品考核非常必要。导弹和弹上设备的温度-振动综合应力可结合可靠性试验进行。

4.2 加速度-气动-振动载荷

在飞机作机动(含大机动、复杂特技、战斗特技)飞行时,强烈的低频气流扰动会造成导弹低频的大量级振动响应,时域的峰值有时会超过 $10g^{[7]}$ 。同时弹身还要承受飞机机动的加速度过载,飞机整机的加速度过载能达到 $8g$,而机载导弹由于挂载在翼尖或外翼远离飞机中心线,同时要考虑机动情况所引起的附加角速度对线加速度的影响,因此量值较整机大很多。按标准给出的方法计算,对于一般飞机量值为 $(13.5 \sim 23)g^{[2-3]}$ 。机动飞行时,弹身/舵翼面承受的气动力载荷也达到最大,这三种载荷同时作用在导弹上,加上挂飞状态导弹的悬臂梁结构,将在悬臂的根部-吊挂附加造成高量级的应力集中,存在很大的

风险。需在导弹强度分析时考虑这三种应力同时作用的情况^[12-13]。

5 结论

综上所述,由于特殊环境与产品结构、工作状态等紧密相关的,暂时无法给出通用的技术要求,需在产品设计方案和仿真模型的基础上同步开展环境分析、适应性设计并结合科研试验的验证,解决方案见表2。只有通过特殊环境系统全面的分析,得到真实全面的环境数据,并开展针对性的设计和试验验证工作,才能确保机载导弹寿命期内的环境的适应性、可靠性和安全性满足使用需求。

表2 特殊环境及综合解决方案

	特殊环境名称	解决方案
气候环境	自主飞气动加热	开展自主飞气动热分析和防护设计
	发动机燃烧	结合地面发动机点火试验对其环境进行测试、分析和考核
	电子产品连续加电散热	进行长期加电状态下的热分析和测试,适当提高组部件高温工作温度要求
	压力和温度变化造成凝露	结合湿热环境要求进行分析考核
	呼吸效应造成积水	加强密封设计
	雾、雾霾	给出不同强度雾、雾霾环境下限用或禁用的使用要求
	有害气体	开展针对有害气体的设计和试验验证工作
力学环境	气动载荷	同“加速度-气动-振动载荷”
	着陆冲击	开展适应设计和考核
	外挂悬臂的气流扰动	开展不同载机、不同挂点的气动力和扰动情况分析,考虑进行边界飞行下的振动环境测试
综合应力环境	温度-湿度-振动-高度/振动-噪声-温度	结合可靠性试验进行考核验证
	加速度-气动-振动载荷	在强度模型上进行仿真分析

参考文献:

- [1] GJB 150—1986, 军用设备环境试验方法[S].
- [2] GJB 150A—2009, 军用装备实验室环境试验方法[S].
- [3] MIL-STD-810F, Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests[S].
- [4] GJB 4239—2001, 装备环境工程通用要[S].
- [5] 吴清才. 航天电子产品热环境试验策略研究[J]. 装备环境工程, 2015, 12(3): 80—84.
- [6] GJB 1C—2006, 机载悬挂物和悬挂装置接合部位的通用设计准则[S].
- [7] DEF STAN 00-35-1999, Handbook of National Defense Equipment Environment-Induced Mechanical Environment[S].
- [8] 张海涛, 周占廷. 飞行试验抖振载荷统计技术[J]. 飞行力学, 2013, 31(3): 277—280.
- [9] ROBERT W M, GAUTAM H S. Spatial Characteristics of F/A-18 Vertical Tail Buffet Pressures Measured in Flight[R]. AIAA-98-1956, 1998.
- [10] CHRISTOPHER L B, SURESH R P. Buffet Fatigue Sequence Generation from F/A 22 Flight Test Data Using Frequency Domain Methods[R]. AIAA-007-765, 2007.
- [11] 姚建军, 余盛强. 噪声环境对弹上电子设备的作用机理研究[J]. 导航定位与授时, 2015, 2(3): 120—127.
- [12] 李春枝, 牛宝良, 黎启胜. 振动离心复合环境下结构响应试验研究[J]. 装备环境工程, 2015, 12(5): 83—87.
- [13] 宫晓春, 朱曦全, 胡彦平. 离心振动复合环境试验系统的动力学建模[J]. 强度与环境, 2013, 40(3): 15—16.