

环境试验与评价

基于任务剖面的机载外挂温度试验条件探讨

郭迅, 郭强岭, 张艳辉, 刘新佳

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

摘要: **目的** 获取一种合理的温度试验条件用以考核机载外挂对温度环境的适应性。**方法** 针对影响机载外挂温度的自然或诱发环境因素, 分别分析自然环境、气动加热以及设备工作发热的三种典型因素的不同特点, 并结合机载外挂的空中挂飞使用状态, 给出相应的温度计算方法。**结果** 通过对某载机的典型任务剖面的计算, 指出了现有机载外挂基于地面使用温度制定的试验条件无法完全覆盖空中挂飞时的温度环境, 并由此提出了基于任务剖面的温度试验条件, 以更好地考核机载外挂温度环境适应性。**结论** 给出了一种用于考核机载外挂温度环境适应性的温度试验条件及其计算方法。

关键词: 机载外挂; 任务剖面; 温度试验

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2017.04.010

中图分类号: TJ85

文献标识码: A

文章编号: 1672-9242(2017)05-0044-04

Conditions for Temperature Test of Aircraft Store based on Mission Profile

GUO Xun, GUO Qiang-ling, ZHANG Yan-hui, LIU Xin-jia
(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

ABSTRACT: Objective To obtain a reasonable temperature test condition to evaluate the temperature environment adaptability of airborne store. **Methods** Environmental factors, which influence airborne store's temperature such as natural environment, aerodynamic heating and equipment working heating, were analyzed on their different features. The calculation method, which is related to aircraft's flight conditions, was given. **Results** According to typical mission profile of an aircraft, the temperature profile is calculated. Based on the temperature profile, the ground temperature can't cover the temperature of flight, thus a temperature test method based on mission profile was given to evaluate the temperature environment adaptability of airborne stores better. **Conclusion** Reasonable test conditions and calculation methods for airborne store's temperature test are given.

KEY WORDS: aircraft store; mission profile; temperature test

机载外挂是挂装在飞机上随载机飞行并完成各种复杂工作的设备, 如光电侦察吊舱、空空导弹等。温度环境是装备寿命期内不可避免的环境因素, 会直接或间接地影响机载外挂物的性能, 因此在机载外挂的研制过程中, 为满足预期的使用要求, 产品必须进行相应的温度试验, 以验证其对温度环境的适应性^[1]。

温度环境的考核一般参照 GJB 150.3A 以及 GJB 150.4A 来制定相应的环境试验条件^[2-3], 但这些标准

中无一例外地都只考虑了地面的高低温情况^[4-6]。机载外挂由于其工作的特殊性, 除贮存、运输所经历的自然温度环境外, 还会经历挂机飞行时高空中极低的环境温度、气动加热环境等自然和诱发环境因素, 若只按地面使用环境制定温度试验条件可能无法考核挂机飞行时诱发的温度环境。GJB 899A 中虽然给出基于任务剖面的可靠性评估方法^[7-9], 但对于环境试验, 目前国内少有机载外挂按温度剖面进行试验。虽

然某些国外机载外挂类产品（如 AIM-9X）除采用地面极值进行温度试验外，同时也给出了空中挂飞时的温度工况用于产品设计，但由于温度试验条件与载机类型直接相关，无法直接借鉴。GJB 150.24A 借鉴了美军标 MIL-STD-810F 给出综合试验剖面的简要确定方法，但其试验程序较复杂，并且在试验程序中直接采用产品预计最高、最低工作温度来进行热稳定试验，与机载外挂的实际工作情况存在差异。因此文中针对机载外挂的典型使用特点，结合载机的典型任务剖面，探讨机载外挂应如何进行此项试验的考核。

1 温度环境因素分析

机载外挂挂飞时的环境因素主要由三部分组成：自然环境空气温度、气动加热恢复温度、内部设备工作发热。下面针对这些典型环境进行分析^[10-12]。

1.1 自然环境温度

机载外挂除经历地面温度环境外，还需经历空中的环境。一般来说，海拔越高，气温越低，这是因为对流层大气的直接热源是地面，离地面越远，得到的地面辐射越少，气温也就越低。不同气层的气温随高度变化常用气温垂直递减率来表示，即在垂直于地面每升高 100 m 气温的变化值。对于干空气，海拔大约平均每上升 100 m，气温就下降约 1 °C。含有水汽的较湿空气，就会受到水气凝结时所释放的潜热影响，因此平均每上升 100 m 气温约下降 0.6 °C，且不同于干空气。对于湿空气来说，气温垂直递减率还会受温度与压强的影响，使其值位于 0.4~0.9 之间，因此空气中的气温不能直接用地面温度来预估，特别是环境试验需考核装备预期的极值环境。查 GJB 1172 《军用设备气候极值》中地面气温和空中温度^[13-14]，分别取高温时间风险率 1% 和低温时间风险率 1%，即可得到气温的极值环境，如图 1 所示。

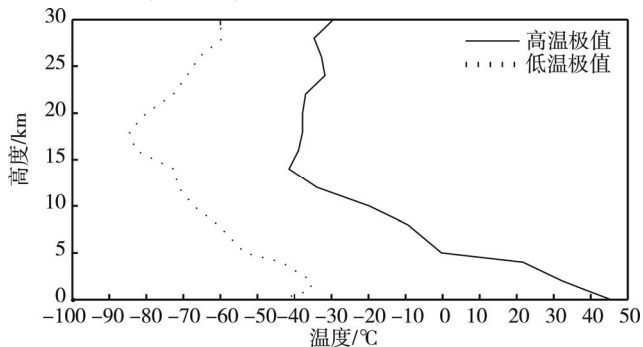


图 1 高度与温度极值

1.2 气动加热

气动加热是指物理与空气作高速相对运动时所产生的摩擦力转为热力的过程，这是机载外挂物挂机

飞行时必须经历的环境因素。由于气动加热效应与飞行速度有直接关系，因此载机高速飞行时机载外挂会产生很高的恢复温度，气动加热的恢复温度一般可按式（1）确定^[15]：

$$t_{\text{eff}} = (t_{\text{amb}} + 273)[1 + 0.18M^2] - 273 \quad (1)$$

式中： t_{eff} 是指被流动空气冷却效应改变后的温度，即气动加热的恢复温度； t_{amb} 是指飞行时的外界环境空气温度； M 是指飞行马赫数。

1.3 内部设备工作发热

机载外挂挂在挂机飞行时可能存在通电工作的情况。这种情况下，机载外挂的内部设备由于电子元器件阻抗的存在，必然会导致发热，特别是功率器件，若连续工作将产生大量的热量，这些热量会在机载外挂的某些局部集中存在。同时机载外挂内部若存在运动机构，则运动机构的摩擦也将产生热量。因此内部设备的发热情况与机载外挂的工作状态直接相关，即在分析制定温度试验条件时应考虑机载外挂预期的工作状态，如连续通电工作、间歇工作、部分部件工作等情况。

2 基于任务剖面的温度计算

针对某载机的典型任务剖面开展分析，以确定其搭载的机载外挂温度试验条件。

2.1 典型任务剖面

某机载外挂需挂装某高性能喷气式战斗机上使用，其典型任务剖面如图 2 所示。虽然飞行员不可能

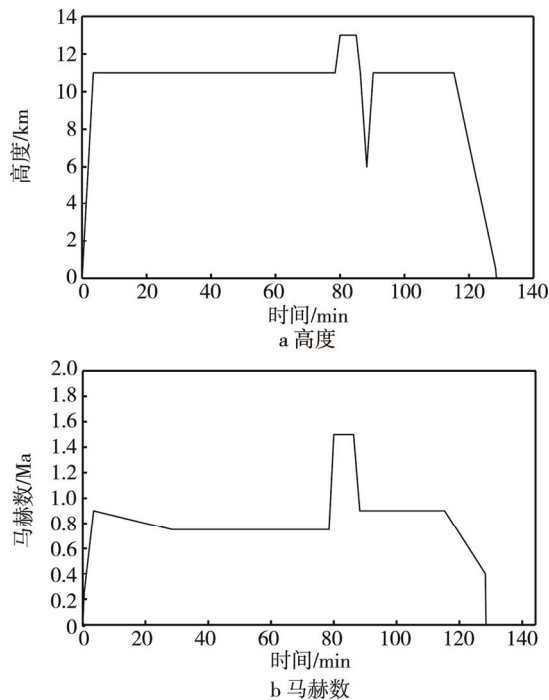


图 2 典型任务剖面的高度及马赫数

每次都以相同的方式执行任务,给出的任务剖面仅仅是估计数值,但典型的任务剖面包含了与温度分析有关的显著的飞行条件。

2.2 气动加热恢复温度的确定

根据式(1),要计算气动加热恢复温度,首先需确定外部空气温度,由于通过 GJB 1172 只能查得典型高度下的极值温度,因此若计算任一高度点的外部温度,则需按下述公式进行插值,计算得到预知高度的极值温度。

$$t_h = t_{h_1} - \frac{(h - h_1)}{(h_2 - h_1)} \cdot (t_{h_1} - t_{h_2}) \quad (2)$$

式中: h 为已知高度, m; t_h 为预求 h 高度上的气温, $^{\circ}\text{C}$; h_1 已知, 为 h 下一层高度, m; h_2 已知, 为 h 上一层高度, m; t_{h_1} 已知, 为 h_1 高度上的气温, $^{\circ}\text{C}$; t_{h_2} 已知, 为 h_2 高度上的气温, $^{\circ}\text{C}$ 。

分别将典型任务剖面中的高度值代入式(2), 可计算得到 t_h , 将 t_h 和剖面中对应的马赫数代入式(1), 可计算得到任务剖面相应点的极值温度, 对高温极值和低温极值分别进行计算, 可得到相应的温度极值剖面, 见图3。

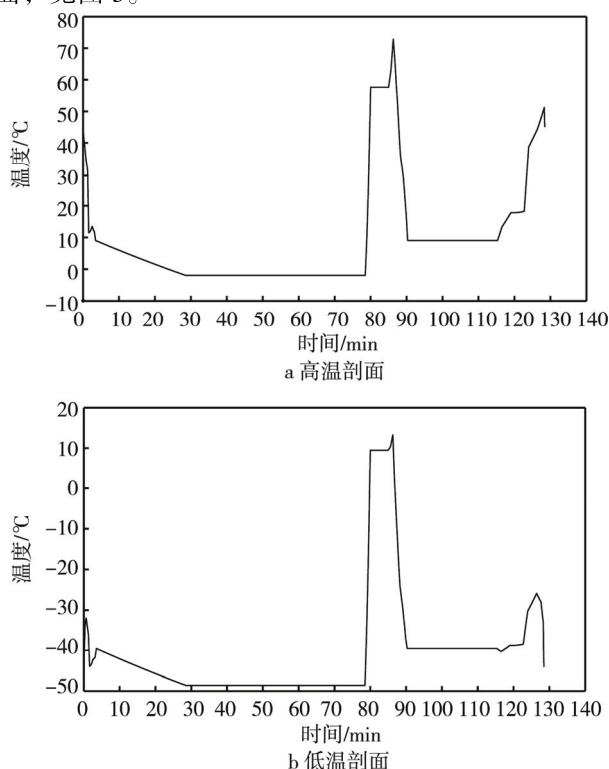


图3 温度剖面

从图3可以看出,极冷环境下,最低温度出现在载机高度为11 km,速度为0.75 Ma状态,温度最低为 -48.6°C ,最长持续时间为50 min;极热环境下,最高温度出现在11 km,速度为1.5 Ma状态,温度最

高为 72.8°C ,持续时间仅一个时间点,处于剖面的“作战2”任务段中,任务时间总长仅1.3 min。

2.3 某机载外挂试验条件设计

目前某机载外挂的试验条件为高温 60°C ,低温 -45°C ,试验方法采取产品达到温度稳定后加电测试。可以看出,挂飞时可能存在最低温度和气动加热的最高温度,均超出了产品的高、低温试验条件,存在未考核的高低温环境。GJB 150.3A和GJB 150.4A均要求产品达到温度稳定,GJB 150.24A也在试验程序中明确要求“系统达到热稳定或4 h,以长者为准”,但在挂机飞行时的最高温度及最低温度下使产品达到温度稳定,若再同时考虑电应力,则产品很有可能超出其承受极限,造成产品损坏。实际飞行时,通过任务剖面可看出,在极值高温条件下,机载外挂表面的恢复温度绝大部分时间都处于 20°C 以下,而 72.8°C 的极值高温仅存在一个时间点。考虑到机载外挂一般尺寸较大,存在较大的热容量,且外表面可能存在隔热层,产品达到温度稳定时间可能长达5 h以上,在极限高温下不存在产品达到温度稳定的可能。采用飞行的极值温度制定高低温工作条件存在严重的过试验风险,因此采用任务剖面模拟实际工作情况,是一种合理的解决方案。

电应力方面,由于机载外挂的通电状态不确定,可能存在整个飞行架次全程通电的可能,也可能在飞行过程中才进行产品上电工作。一般需考核两方面的内容:产品低温下的启动能力以及产品连续工作时的热量积累。因此应考核高温极值剖面下的产品连接工作能力和低温极值剖面下的产品启动能力(产品启动点选取最低温环境结束时刻)。

由于目前机载外挂是根据其典型使用环境制定的地面试验条件,外场服役时飞机也存在地面停放等环境,因此在按计算得到的温度剖面进行试验时,必须进行预处理,使产品在地面极值温度环境达到温度稳定。一般选取机载外挂正常高低温工作条件。

某机载外挂的热稳定时间为5 h,若采用高温极值环境进行试验,同时考虑电应力,则通电2 h后内部电路局部温度可高达 85°C ,超出元器件的高温工作极限,造成产品故障。载机实际执行飞行任务时不可能长时间保持极值飞行,且实测数据表明,产品内部温度远低于 85°C ,因此采用计算得到的极值任务剖面进行试验,能够更好地模拟实际使用工况,更加符合实际情况。

3 结语

文中基于机载外挂自身的使用特点,并结合载机的典型任务剖面,提出了一种基于任务剖面的温度试

验条件制定方法。目前机载外挂除进行按 GJB 150 等标准制定的温度试验外,可补充进行此项温度试验,以更加合理地验证机载外挂空中挂机飞行时的温度环境适应性,同时也可直接作为 GJB 150.24A 的温度试验剖面,结合高度、振动等环境因素对机载外挂进行综合试验考核。

参考文献:

- [1] 祝耀昌. 产品环境工程概论[M]. 北京: 航空工业出版社, 2003.
- [2] GJB 150.3A—2009, 军用装备实验室环境试验方法 第3部分: 高温试验[S].
- [3] GJB 150.4A—2009, 军用装备实验室环境试验方法 第4部分: 低温试验[S].
- [4] 蔡良续, 龙德中, 宋小燕, 等. 温度环境试验及其标准综述(一)温度对装备的影响及温度试验的重要性[J]. 环境技术, 2014(4): 93—96.
- [5] 翟波, 蔡良续, 李宝哈, 等. 温度环境试验及其标准综述(二)典型温度试验程控[J]. 环境技术, 2014(5): 89—91.
- [6] 蔡良续, 祝耀昌, 于江波, 等. 温度环境试验及其标准综述(三)温度试验的试验条件和剪裁方法[J]. 环境技术, 2015(1): 98—101.
- [7] GJB 899A—2009, 可靠性鉴定和验收试验[S].
- [8] 樊西龙, 赵晓东. 军用喷气式飞机一种可靠性综合应力条件中温度应力的确定方法[J]. 航空科学技术, 2014, 25(9): 52—55.
- [9] 刘震宇, 马小兵, 洪东跑, 等. 基于飞行剖面的作战飞机任务可靠性评估方法[J]. 北京航空航天大学学报, 2012, 38(1): 59—63.
- [10] 张艳辉, 史明丽. 空空导弹工作温度分析[J]. 装备环境工程, 2015, 12(2): 99—103.
- [11] 刘新佳, 郭强岭. 空空导弹高温试验实施研究[J]. 河南科技, 2015, 12(2): 99—103.
- [12] 李尧. 飞机温度环境适应性要求分析和确定技术探讨[J]. 装备环境工程, 2008, 5(6): 60—64.
- [13] GJB 1172.2—1991, 军用设备气候极值: 地面气温[S].
- [14] GJB 1172.12—1991, 军用设备气候极值: 空中气温[S].
- [15] GJB 150.24A—2009, 军用装备实验室环境试验方法 第24部分: 温度-湿度-振动-高度试验[S]