

# 空空导弹工作温度分析

张艳辉, 史明丽

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

**摘要:** **目的** 分析空空导弹高低温工作温度的考核要求。**方法** 基于空空导弹的特点, 给出其寿命期内预期经历的高低温工作环境, 并对在这些环境下遭遇的极端温度进行分析。**结果** 以空空导弹挂载某两型载机为例, 综合考虑了寿命期内各阶段工作环境, 给出了高低温工作温度的确定方法以及考核建议。**结论** 由于各型号空空导弹的部署区域和挂装载机不同, 文中提供的高低温工作温度参考值并不能覆盖所有型号的空空导弹, 仍需具体问题具体分析, 以获得相对准确的工作温度, 对其环境适应性做出合理评价。

**关键词:** 空空导弹; 高低温; 工作温度

**DOI:** 10.7643/issn.1672-9242.2015.02.021

**中图分类号:** TJ760 **文献标识码:** A

**文章编号:** 1672-9242(2015)02-0099-05

## Analysis on Operating Temperature for Air-to-Air Missiles

ZHANG Yan-hui, SHI Ming-li

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

**ABSTRACT: Objective** To analyze the assessment requirements of high and low operating temperature for air-to-air missiles. **Methods** Based on the characteristics of air-to-air missile, the expected high and low operating environments throughout its life cycle were given, and the extreme temperatures under these environments were analyzed. **Results** A two-type carrier aircraft with air-to-air missile was taken as an example, the operating environments at different stages of the life cycle were comprehensively considered and the determination method as well as assessment suggestions for high and low operating temperature were given. **Conclusion** As different air-to-air missiles have different deployment area and carrier aircraft, the reference values of high and low operating temperature given in this paper could not cover all types of air-to-air missiles, so we should make a concrete analysis of each specific question to obtain relatively accurate operating temperature and to reasonably judge the environmental adaptability.

**KEY WORDS:** air-to-air missile; high and low temperature; operating temperature

自从20世纪40年代空空导弹问世以来, 在空战中起着越来越重要的作用。随着战争需求的变化和科学技术突飞猛进的发展, 空空导弹部署区域已由传统的陆地拓展到海洋, 挂装载机的性能也在不断提

收稿日期: 2014-08-31; 修订日期: 2014-12-23

Received: 2014-08-31; Revised: 2014-12-23

作者简介: 张艳辉(1985—), 女, 工程师, 主要研究方向为机载设备环境工程。

Biography: ZHANG Yan-hui(1985—), Female, Engineer, Research focus: environmental engineering of airborne equipment.

高。这样,空空导弹所经受的环境也较以往更为复杂和严酷,因此对其环境适应性的要求也越来越高。

据统计,在由环境影响造成的产品故障中,温度故障大约占40%,可见,温度应力造成的产品故障是很多的<sup>[1]</sup>。因此,为了保证产品能适应未来寿命期环境,温度试验是产品研制定型和批生产阶段用得最多的、最广泛的试验,同时也是最重要的试验。温度试验一般包括高温贮存和工作试验、低温贮存和工作试验、温度冲击试验。高低温贮存试验和温度冲击试验温度在GJB 150—86《军用设备环境试验方法》相应章节中有明确规定,而高低温工作试验温度暂未有标准或相关资料来统一规定。基于上述原因,文中以空空导弹为例,分别从其在陆地部署和海洋部署两个角度出发,给出了其寿命周期内的高低温工作温度的确定方法和考核建议。

### 1 空空导弹主要高低温工作环境

空空导弹是由飞机携带,从飞机上发射,攻击并摧毁空中目标的导弹。飞机起飞前,一般要利用机载火控系统的供电、参数装订等实现空空导弹的地面自检,自检正常后转入空中挂机飞行状态。空中挂机飞行状态是指空空导弹在挂机飞行条件下,从武器系统准备、载机占位开始到导弹离机时的工作状态。空空导弹离机后,便转入自由飞行状态。可见,空空导弹寿命期内的工作环境主要出现在地面挂机工作、空中挂机飞行工作以及自由飞行等3个状态<sup>[2]</sup>。

在自由飞行期间,由于气动加热,空空导弹表面温度非常高,可达450℃左右,但其持续时间较短,一般为10~120 s,而且弹身结构都会采取热防护措施,短时间内导弹不会达到热平衡。因此,一般情况下,不把空空导弹自由飞行状态的高温工作环境看作温度环境的一部分,而是把它看作导弹的性能<sup>[3]</sup>。因此,文中暂不考虑自由飞行期间的温度环境。

## 2 空空导弹工作温度分析

空空导弹工作温度范围很宽,极端的温度环境能引起空空导弹局部尺寸发生改变、导引头罩和光学引信等破坏、电子部件性能劣化、发动机药柱产生裂纹、密封部件泄露、零部件和表面涂层破裂、有机材料褪色裂开或出现裂纹、工作寿命缩短等<sup>[4-6]</sup>。为了保证空空导弹在预期的温度环境能够正常工作,必须开展一系列高低温试验对其进行考核,以为环境适应性设计提供依据。

试验温度是温度试验的重要因素,空空导弹工作温度是指空空导弹能够正常工作的温度,超过这一温度空空导弹将不能完成规定的功能。我国幅员辽阔,气候条件复杂,而空空导弹部署范围广泛,所处自然环境基础温度差异较大,空空导弹工作温度不仅与我国气候区的工作极值有关,还受平台微气候环境的影响,如载体种类和热源、相邻设备发热情况、产品周围通风和传热情况以及产品本身冷却方式等<sup>[7]</sup>。以下分别从陆地部署和海洋部署两个方面对空空导弹工作温度进行分析。

### 2.1 陆地部署

在大多数情况下,空空导弹是从陆地部署到飞机,然后由飞机携带在空中执行任务。陆地部署空空导弹工作环境包括了地面挂机工作状态和空中挂机飞行工作状态,因此工作温度按地面挂机工作温度和空中挂机飞行工作温度进行分析。

#### 2.1.1 地面挂机

高低温工作温度通常采用时间风险率工作极值,而工作极值是依据极端地区极端月内逐时(或逐次)测得的数据和时间风险率确定的值。中国范围和世界范围的地面高低温工作极值以及出现地点见表1<sup>[8-9]</sup>。

表1 地面高低温工作极值

Table 1 The extreme values of high and low operating temperature on ground

温度	地域	出现地点	时间风险率			
			1%	5%	10%	20%
高温	中国范围	新疆吐鲁番	45.5	42.9	41.1	40
	世界范围	非洲撒哈拉沙漠	49	46	45	
低温	中国范围	黑龙江漠河	-48.8	-46.1	-44.1	-41.3
	世界范围	格陵兰冰帽中部和北纬62°到68°、东经125°到145°之间,海拔高度低于800 m的西伯利亚	-61	-57	-54	-51

℃

中国范围的地面高低温工作温度通常均选取1%的时间风险率极值<sup>[8]</sup>。世界范围的地面高温工作温度一般取1%的时间风险率极值,地面低温工作温度一般取20%的时间风险率极值<sup>[9]</sup>,即中国范围和世界范围的高温工作极值分别为45.5℃和49℃,低温工作极值分别为-48.8℃和-51℃。地面高低温工作极值是从距地面1.5 m高度处百叶箱中温度表测量的大气温度,但由于空空导弹地面挂机工作状态下直接暴露于大气环境中,高温极值出现的同时还会经受强烈的太阳辐射,这样,空空导弹工作环境温度要比高温工作极值要高。我国在20世纪70年代对飞机进行温度实测的数据表明,处于阳光直接照射下的飞机,其周围的温度要高于高温工作极值15~20℃<sup>[10-11]</sup>。空空导弹主要挂载在飞机机翼下使用,因此,空空导弹在中国范围地面挂机高温工作温度范围为60.5~65.5℃。世界范围的高温极值条件下,附加太阳辐射环境的影响后,GJB 150.3A—2009中规定此时的诱发温度为71℃<sup>[5]</sup>。因此,空空导弹在世界范围地面挂机高温工作温度为71℃。低温极值条件下,黑夜很长,太阳辐射可以忽

略不计,温度在一天24 h保持不变,有充足的时间建立温度平衡,这样,诱发温度和低温极值基本相同。因此,中国范围和世界范围的地面挂机低温工作温度分别为-48.8℃和-51℃。

### 2.1.2 空中挂机飞行

空空导弹空中温度环境是由载机飞行引起的诱发环境,它与载机飞行任务剖面紧密相关。空中挂机工作温度可根据载机典型任务剖面数据和式(1)计算确定:

$$T_r = T_e(1 + 0.178V^2) \quad (1)$$

式中: $T_r$ 为导弹表面恢复温度,K; $T_e$ 为大气温度,K; $V$ 为飞行马赫数,Ma。

空中气温均取1%的时间风险率极值<sup>[8-9]</sup>,分别查阅GJB 1172.12—91《军用设备气候极值 空中气温》和MIL-STD-210C,得到相应高度下中国范围和世界范围的温度极值。现以空空导弹挂载某两型载机为例,依据式(1)进行空中挂机飞行工作状态下的导弹表面恢复温度计算,计算结果见表2。

由表2可知,弹体表面的恢复温度在绝大多数飞

表2 典型飞行参数下的导弹表面恢复温度

Table 2 The recovery temperature on missile surface under typical flight parameters

载机	飞行参数		持续时间/min	中国范围		中国范围	
	H/km	V/Ma		温度极值/℃	恢复温度/℃	温度极值/℃	恢复温度/℃
载机A	0.5	0.6	45	40	60	40	60
	1	0.8	2	38.8	74.3	38.8	74.3
	3	0.8	3	27	61.2	27	61.2
	5	0.9	30	10.7	51.6	10.7	51.6
	9	0.8	52	-64	-40.2	-64	-40.2
	10	0.8	80	-67.2	-43.8	-67.2	-43.8
	11	0.85	72	-69.3	-43.1	-69.3	-43.1
	11	1.6	2	-26.9	85.2	-26.9	85.2
	17	1.5	5	-38.4	55.6	-38.4	55.6
载机B	0.5	0.7	5	40	67.3	40	67.3
	6	0.5	55	-53.4	-43.6	-53.4	-43.6
	3	0.75	60	27	57	27	57
	5	0.8	100	10.7	43	10.7	43
	5	0.5	30	-48.5	-38.5	-48.5	-38.5
	11	1.4	3	-26.9	59	-26.9	59
	13	1.5	5	-37.7	56.5	-37.7	56.5
	15	1.35	5	-40.2	35.3	-40.2	35.3

行时间内高温不高于70℃,仅有极少数飞行时间内超过70℃,主要发生在低空高速飞行和高空超音速飞行状态,且每次飞行持续时间较短(一般不超过5 min)。温度的影响主要取决于它的持续时间,大多数空空导

弹的加热时间常数在1~2 h之间<sup>[3]</sup>,故弹体表面的高温很难在短时间内传递到弹内并达到热平衡,人们常常把这种短时高温环境由挂飞气动加热试验单独考核。弹体表面的低温恢复温度按中国范围的温度极

值计算,一般不低于 $-45\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。在相同飞行参数下,按世界范围的温度极值计算得到的弹体表面的低温恢复温度要更低,可达 $-51.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,且持续一定时间。考虑到空空导弹全球部署的可能性,需对空空导弹在该温度下的环境适应性进行考核。

结合陆地部署空空导弹地面挂机工作温度和空中挂机飞行工作温度分析结果,挂装该两型载机的空空导弹高温工作温度建议圆整化为 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,低温工作温度建议圆整化为 $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。

## 2.2 海洋部署

我国第一艘航母——辽宁舰已经交付部队使用,这对我海军维护海洋主权、保护航道自由等均有重大意义。航母之所以成为舰艇编队最核心的作战力量,主要依赖于其特有的武器装备——舰载机,空空导弹正是舰载机升空后夺取制空权和进行远程打击的关键,可以说空空导弹的列装对航母至关重要。

我国海洋边界线漫长、海域辽阔,海洋环境条件复杂多变,空空导弹随航母在海洋航行、训练和执行作战任务时所遇到的海洋环境十分恶劣。温度是空空导弹随航母服役时首先必须面对的一项环境因素,如果航母在热带(或夏季)航行、或遇到海洋暖流时,空空导弹会遇到高温环境。如果航母在冬季航行,尤其是在高纬度海域航行时,空空导弹会遇到低温环境<sup>[12-13]</sup>。

海洋部署空空导弹工作环境包括舰面挂机工作和空中挂机飞行,但空中挂机飞行时所遇到的温度环境与陆地部署空空导弹基本相同,这里不再分析,而仅对舰面挂机工作状态下的工作环境进行分析。

GJB 1060.2—91《舰船环境条件要求 气候环境》中规定,舰船露天部位设备高温工作温度按1%风险率取值,低温工作温度按5%风险率取值。这样,海面环境高温工作极值则为 $48\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,但由于空空导弹舰面挂机工作状态下直接暴露于大气环境中,则应在高温工作极值的基础上再加上 $1110\text{ W/m}^2$ 太阳辐射热产生的温升(相当于 $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ ),则高温工作温度为 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。对于低温,非极区航行的舰船露天部位设备低温工作极值按5%风险率取值为 $-28\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,极区航行的舰船露天部位设备低温工作极值为 $-54\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,但我国航母在极区航行的可能性极小,故该环境可暂不考虑。《英国国防装备环境手册》中规定全球比较寒冷的海洋地区的诱发温度最低为 $-34\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,故低温工作按 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 考核即可满足海洋低温环境要求<sup>[14-15]</sup>。

综上所述,海洋部署空空导弹高低温工作环境较

陆地部署空空导弹温和,高温工作温度取 $65\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,低温工作温度取 $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$ 即可满足航母服役要求。

## 3 结语

文中基于地面(或海洋)极端温度环境和空中典型飞行参数进行分析,给出了空空导弹高低温工作温度的确定方法,并提供了适应文中两型载机的高低温工作温度参考值,即高温为 $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和低温为 $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。事实上,我国空空导弹型号多样,各个型号的空空导弹由于部署区域、挂装载机的不同,所遇到的温度环境也是千差万别的。这就需要具体问题具体分析,以获得相对准确的工作温度,对其环境适应性做出合理评价。

### 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.  
ZHU Yao-chang. Product Environmental Engineering Con-spectus[M]. Beijing: Aviation Industry Press, 2003.
- [2] 樊会涛,吕长起,林忠贤,等. 空空导弹系统总体设计[M]. 北京:国防工业出版社, 2007.  
FAN Hun-tao, LYV Chang-qi, LIN Zhong-xian, et al. Air-to-Air Missile Systems Overall Design[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2007.
- [3] EMIL J, EICHLBLATT Jr. Test and Evaluation of the Tactical Missile[M]. Washington: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc, 1989.
- [4] 樊会涛,杨晨,周颐,等. 空空导弹系统试验与鉴定[M]. 北京:国防工业出版社, 2007.  
FAN Hun-tao, YANG Chen, ZHOU Yi, et al. Air-to-Air Mis-sile Systems Test and Evaluation[M]. Beijing: National De-fense Industry Press, 2007.
- [5] 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].  
GJB 150.3A—2009, Laboratory Environmental Test Methods for Military Materiel—Part 3: High Temperature Test[S].
- [6] 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].  
GJB 150.4A—2009, Laboratory Environmental Test Methods for Military Materiel—Part4: Low Temperature Test[S].
- [7] 程丛高. GJB 150.3A 高温试验方法的应用及分析[J]. 装备环境工程, 2012, 9(6): 91—96.  
CHENG Cong-gao. Application and Analysis of GJB 150.3A High Temperature Test Method[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012, 9 (6): 91—96.
- [8] GJB 1172.12—91, 军用设备气候极值 空气中气温[S].

- GJB 1172.12—91, Climatic Extremes for military Equipment Upper Air Temperature[S].
- [9] MIL-STD-210C Climatic Information to Determine Design and Test Requirements for Military Systems and Equipment[S].
- [10] 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.  
LI Yao. Analysis and Confirmation Techniques for Requirements of Temperature Environmental Worthiness of Aircraft [J]. Equipment Environmental Engineering, 2008, 5(6): 60—64.
- [11] 祝耀昌, 薛振夷. GJB150《军用设备环境试验方法》实施指南[M]. 北京: 中国航空综合技术研究所, 1996.  
ZHU Yao-chang, XUE Zhen-yi. GJB150《Environmental Test Methods for Military Equipments》Implement Guide[M]. Beijing: China Aeropoly Technology Establishment, 1996.
- [12] 吴红光, 董洪远, 齐强, 等. 舰载武器装备海洋环境适应性研究[J]. 海军航空工程学报, 2007, 22(1): 161—165.  
WU Hong-guang, DONG Hong-yuan, QI Qiang, et al. Research on the Environmental Worthiness of Shipborne Weapons in Marine Environment[J]. Journal of Naval Aeronautical Engineering Institute, 2007, 22(1): 161—165.
- [13] 曲晓燕, 邓力. 舰载武器海洋环境适应性分析[J]. 舰船电子工程, 2011, 31(4): 138—142.  
QU Xiao-yan, DENG Li. Analysis of the Environmental Worthiness of Shipborne Weapons in Marine Environment[J]. Ship Electronic Engineering, 2011, 31(4): 138—142.
- [14] GJB 1060.2—91, 舰船环境条件要求 气候环境[S].  
GJB 1060.2—91, The General Requirement for Environmental Condition of Naval Ships Climate[S].
- [15] QRMS-09, 英国国防部标准 国防装备环境手册 第四部分 自然环境[S].  
QRMS-09, Department of Defense Standard Department of Defense Environmental Manual Part 4: Natural Environment[S].

(上接第90页)

- WANG Yu-feng, ZHANG Yong, QU Kai, et al. Analysis of Cumulative Damage of HTPB Propellant Grain under Temperature Changing Condition[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2010, 30(6): 136—139.
- [5] 赵建忠, 叶文, 田建海. 舰载环境对导弹武器装备可靠性的影响分析及对策[J]. 质量与可靠性, 2014(2): 5—9.  
ZHAO Jian-zhong, YE Wen, TIAN Jian-hai. Analysis of Shipboard Environmental Effect on Missile Weapon Equipment Reliability and Countermeasures[J]. Quality and Reliability, 2014(2): 5—9.
- [6] 高福麒. 环境气象条件对产品的影响[J]. 表面技术(原防腐消息), 1978(2): 35—42.  
GAO Fu-qi. The Influence of Environmental Meteorological Conditions on Product[J]. Surface Technology, 1978(2): 35—42.
- [7] MIL-STD-810G, Department of Defense Test Method Standard—Environmental Engineering Considerations and Laboratory Tests[S].
- [8] DEF STAN 00-35. General Specification for Aircraft Gas Turbine Engines[S].
- [9] 林琳, 张熙川, 叶涛. MIL-STD-810F 低温试验方法研究[J]. 电子产品可靠性与环境试验, 2010, 28(2): 5—8.  
LIN Lin, ZHANG Xi-chuan, YE Tao. Research on the Low Temperature Test in MIL-STD-810F[J]. Electronic Product Reliability and Environmental Testing, 2010, 28(2): 5—8.

(上接第98页)

验中较少经历沙尘环境, 可以把雷达转移至西北沙漠附近, 在沙尘天气时进行开机试验, 完成沙尘环境试验的考核。另外, 也可以建造能容纳雷达装备整机或方舱的大型多应力试验设备, 人工模拟温度、雨、雪、太阳辐射等自然环境条件, 使试验的环境应力可控, 雷达的环境适应性考核量化、规范化。在加拿大有大型多应力试验室, 可以模拟雨、雪、冰、雾、日照等条件, 基本包括了四季典型的极端恶劣环境, 试验箱内部空间宽6 m、高6 m、长达30 m, 可以容纳大部分地面运输工具包括雷达方舱。此类试验设备可较全面地考核雷达整机环境适应性, 但目前国内尚缺。

### 3 结语

在军用地面雷达的研制、生产及使用中, 应按

GJB 4239 的要求严格规范地执行装备环境工程的各项任务。包括制定具体详细的总体计划, 认真仔细地进行环境分析, 有针对性地实施环境适应性设计, 全面合理地开展环境试验与评价, 在试验与评价过程中及时有效地做到持续改进, 以此得到良好环境适应性的雷达装备, 保证其效能有效发挥。

### 参考文献:

- [1] GJB 4239—2001, 装备环境工程通用要求[S].  
GJB 4239—2001, General Requirement of Materiel Environmental Engineering[S].
- [2] MIL-STD-810G, Environmental Engineering Consideration and Laboratory Tests[S].
- [3] GJB 1362A—2007, 军工产品定型程序和要求[S].  
GJB 1362A—2007, Procedure and Requirements for Finalization of Military Products[S].