

空空导弹新研元器件振动试验条件探讨

赵青, 吴瑞轩

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

摘要: 空空导弹新研元器件是空空导弹重要组成部分, 振动试验是考核新研元器件环境适应性的一项重要环境试验, 目前的问题是如何制定合理可行的新研元器件的振动试验条件。为了研究空空导弹新研元器件开展多个振动试验时是否存在过试验考核或者重复试验考核问题, 对空空导弹新研元器件相关标准、规范及空空导弹要求的振动试验条件进行整理、归纳, 对比分析了振动量级、振动时间, 得出空空导弹新研元器件可以只按照有关标准、规范规定的振动试验条件考核其振动特性即可, 可以不开展空空导弹要求的振动试验。

关键词: 空空导弹; 新研元器件; 振动量级; 振动时间

DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2020.08.018

中图分类号: TJ76 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2020)08-0115-04

Analysis of Vibration Test Condition of New Developed Components of Air-to-air Missile

ZHAO Qing, WU Rui-xuan

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

ABSTRACT: The new developed components of air-to-air missile is an important part of air-to-air missile. Vibration test is an important environmental test, to assess the environmental adaptability of the new developed components. The work aims to study whether over-test examination or repeated examination was carried out in several vibration tests for new developed components of air-to-air missile. Relevant standards and regulations about new developed components of air-to-air missile and vibration test conditions required by air-to-air missile were sorted out and summarized. Vibration level and vibration time were compared and analyzed. The result shows that the vibration features of new developed components of air-to-air missile can be evaluated only according to the vibration test conditions as specified in relevant standards and regulations, and there is no need to conduct a vibration test required by air-to-air missile.

KEY WORDS: air-to-air missile; new developed components; vibration level; vibration time

空空导弹新研元器件振动试验条件的设计是空空导弹系统总体设计工作的重要组成部分, 贯穿于空空导弹论证、方案制定以及工程研制等各阶段, 其设计是否合理, 将直接影响飞行的成败和空空导弹系统的先进性。

目前, 空空导弹新研元器件既按照相关标准/规范中的规定条件开展振动试验, 又按照型号要求的振动条件开展振动试验, 并且振动试验量级是在型号条件基础上放大 1.5~2 倍。这有可能造成过试验或者重复试验, 加长了试验周期, 增加了试验成本。

收稿日期: 2019-11-21; 修订日期: 2020-07-28

Received: 2019-11-21; Revised: 2020-07-28

作者简介: 赵青(1988—), 女, 硕士研究生, 工程师, 主要研究方向为环境试验。

Biography: ZHAO Qing(1988—), Female, Master, Engineer, Research focus: environmental test.

另外, GJB 150.16A—2009《军用装备实验室环境试验方法 振动试验》附录 B 中规定对某一特定装备,并不一定要做所有类型的振动试验,因为所有的试验都会消耗疲劳寿命,最重要的是通过试验方法剪裁获得预期的试验结果^[1]。制定合理的新研元器件振动试验条件,是空空导弹研制过程中一项急需解决的技术关键。

1 新研元器件相关标准规定的振动试验条件

1.1 振动量级

空空导弹用新研元器件包括电子及电气元件、微电子器件、电连接器、控制电机、半导体分立器件等,其所依据标准及标准中规定的振动条件见表 1、表 2。

表 1 元器件依据标准
Tab.1 Component standard

元器件类型	依据标准	振动要求
电子及电气元件	GJB 360B—2009 电子及电气元件试验方法方法 214 ^[2]	具体见表 2
微电子器件	GJB 548B—2005 微电子器件试验方法和程序方法 2026.1 ^[3]	GJB 360B—2009 电子及电气元件试验方法方法 214
电连接器	GJB 1217A—2009 电连接器试验方法方法 2005 ^[4]	GJB 360B—2009 电子及电气元件试验方法方法 214
控制电机	GJB 361A—1997 控制电机通用规范 3.25 ^[5]	GJB 360B—2009 电子及电气元件试验方法方法 214 试验条件 I 中 B、F、G
半导体分立器件	GJB 128A—1997 半导体分立器件试验方法 ^[6]	没有规定随机振动试验

本文只讨论新研元器件的随机振动试验条件。从表 1 可以看出,新研元器件相关标准中规定的振动试验条件都指向 GJB 360B—2009《电子及电气元件试验方法》方法 214。本文以该标准中的振动试验条件为例进行讨论。

从表 2 可以看出,该标准规定了两组试验条件:试验条件 I (振动试验谱见图 1a)、试验条件 II (振动试验谱见图 1b),每组条件都包括“A—K”10 种试验条件。而从振动试验谱看出,试验条件 I 从 1000 Hz 以上按 6 dB/倍频程衰减,对新研元器件高频考核不充分;试验条件 II 从 1000~2000 Hz 没有衰减,考核较严格,型号研制中一般采用试验条件 II。试验条件 II 中的频率范围为 50~2000 Hz,其 10 种试验条件对应的振动量级为 0.2~1.5 g²/Hz。目前,空空导弹对新研元器件质量等级要求较高,通常选用 II-E (加速度

均方根值 20 g)、II-G (加速度均方根值 28.3 g) 进行考核。

表 2 GJB 360B—2009 电子及电气元件试验方法方法 214 的随机振动试验条件

Tab.2 Vibration test conditions of GJB 360B—2009 the methods for electronic and electrical component parts Method 214

	试验条件 I	试验条件 II
试验条件 A	2 (m/s ²) ² /Hz、 53.5 m/s ²	2 (m/s ²) ² /Hz、 62.1 m/s ²
试验条件 B	4 (m/s ²) ² /Hz、 75.6 m/s ²	4 (m/s ²) ² /Hz、 87.8 m/s ²
试验条件 C	6 (m/s ²) ² /Hz、 92.6 m/s ²	6 (m/s ²) ² /Hz、 107.6 m/s ²
试验条件 D	10 (m/s ²) ² /Hz、 119.5 m/s ²	10 (m/s ²) ² /Hz、 138.9 m/s ²
试验条件 E	20 (m/s ²) ² /Hz、 169.1 m/s ²	20 (m/s ²) ² /Hz、 196.4 m/s ²
试验条件 F	30 (m/s ²) ² /Hz、 207.1 m/s ²	30 (m/s ²) ² /Hz、 240.6 m/s ²
试验条件 G	40 (m/s ²) ² /Hz、 239.1 m/s ²	40 (m/s ²) ² /Hz、 277.8 m/s ²
试验条件 H	60 (m/s ²) ² /Hz、 292.8 m/s ²	60 (m/s ²) ² /Hz、 340.2 m/s ²
试验条件 J	100 (m/s ²) ² /Hz、 378 m/s ²	100 (m/s ²) ² /Hz、 439.2 m/s ²
试验条件 K	150 (m/s ²) ² /Hz、 463 m/s ²	150 (m/s ²) ² /Hz、 537.9 m/s ²

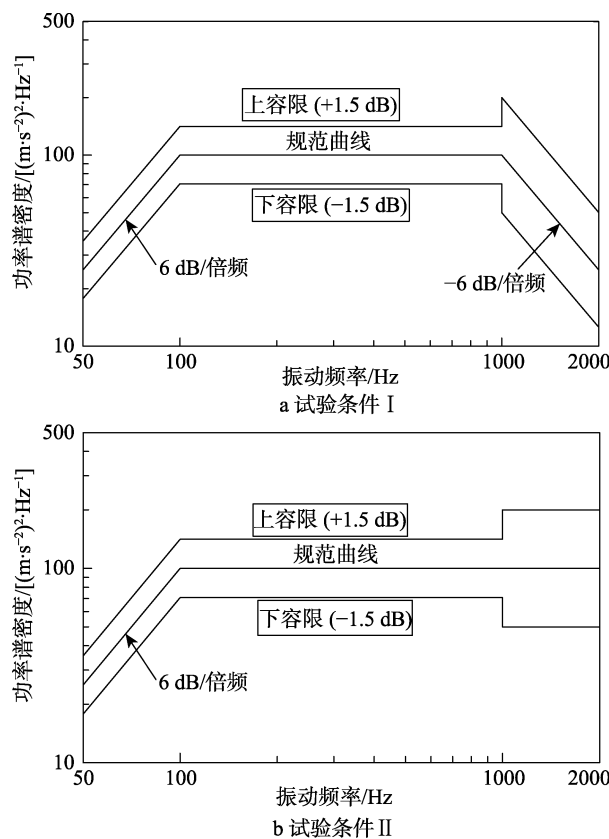


图 1 GJB 360B 方法 214 中的试验条件

Fig.1 Test conditions of method 214 in GJB 360B: a) test condition I, b) test condition II

1.2 振动时间

该标准规定的振动时间有 4 类：3、15、90、480 min，具体试验时间按照相关文件或从上述时间中选取。

2 空空导弹要求振动试验条件

目前，空空导弹根据寿命期经历环境，一般开展挂飞振动、自由飞振动、机动抖振等振动试验。空空导弹用新研元器件也要依次开展上述振动试验，而且振动量级是在型号要求的振动条件基础上进行 1.5~2 倍加严。现以某型空空导弹某部件用新研元器件振动试验条件为例。

2.1 振动量级

某型空空导弹挂飞、自由飞、机动抖振振动谱型见图 2、图 3。其中，挂飞、自由飞频率范围为 20~2000 Hz，机动抖振频率范围为 20~100 Hz。 f_1 、 f_2 、 f_n 与空空导弹质量特性、弯曲模态等有关。挂飞、自由飞振动量级可根据 GJB 150.16A—2009《军用装备实验室环境试验方法 振动试验》中表 C.5 推荐的振动公式及实测数据推算得出，机动抖振振动量级为推荐值 $2.0 g^2/Hz$ 。

某型空空导弹某部件用新研元器件振动量级是在型号振动基础上放大 1.5~2 倍，得出其挂飞、自由飞、机动抖振振动量级，具体见表 3。

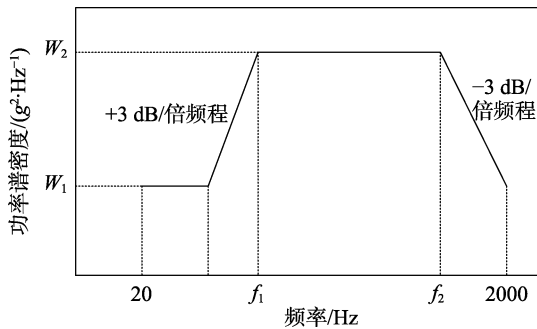


图 2 挂飞、自由飞振动试验谱

Fig.2 Captive carriage and free flight vibration test exposure.

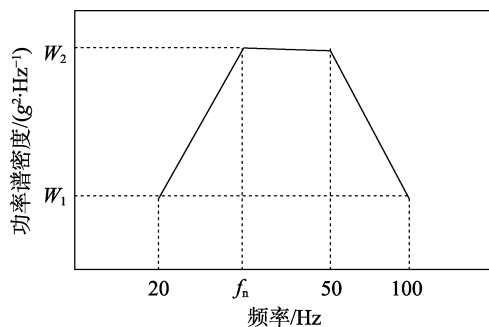


图 3 机动抖振试验谱

Fig.3 Buffet response

表 3 空空导弹某部件用新研元器件振动条件
Tab.3 Vibration test conditions of new developed components of air-to-air missile

振动类型	挂飞振动		自由飞振动	机动抖振
	功能	耐久 (量级调高 1.6 倍)		
振动量级 / ($g^2 \cdot Hz^{-1}$)	0.1	0.16	0.4	3.0
振动时间/min	60	46	0.5	10
提高量级后对应振动时间/min	0.234	1.18	—	—

2.2 振动时间

空空导弹挂飞振动根据试验目的分为功能试验、耐久试验。功能试验是为了验证产品在使用环境下的功能是否令人满意。耐久试验是为了保证产品在规定的寿命期内是否可以可靠地工作^[7]。功能振动时间一般为 1 次测试所需要的时间，耐久振动时间与挂飞寿命有关。按照 GJB 150.16A—2009《军用装备实验室环境试验方法 振动试验》^[8]规定，某型空空导弹某部件的挂飞功能振动时间为 1 h。当挂飞寿命为 150 飞行小时，试验量值为 1.6 倍功能试验量值时，耐久振动试验时间为 46 min，机动抖振试验时间为 10 min，自由飞振动试验时间为 30 s，具体见表 3。

3 振动试验比对分析

3.1 振动量级

某型空空导弹某部件用新研元器件采用 GJB 360B—2009《电子及电气元件试验方法》方法 214 试验条件 II-G (以下简称 II-G)，其与空空导弹某部件用新研元器件的挂飞、自由飞、机动抖振 (以下简称挂飞、自由飞、机动抖振) 试验条件进行包络，其中，挂飞振动以试验量值为 1.6 倍功能试验量值的耐久振动为例，具体见图 4。

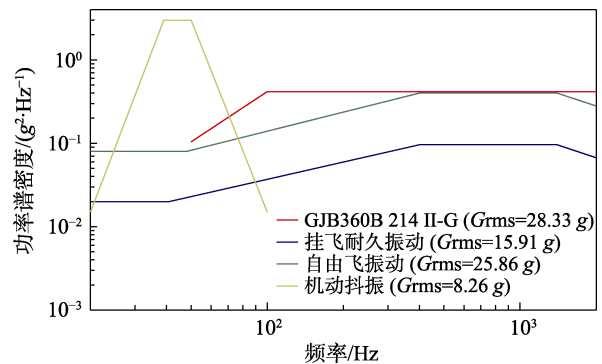


图 4 挂飞、自由飞、机动抖振、II-G 振动条件对比图

Fig.4 The comparison picture of captive carriage, free flight, buffet response and II-G vibration test condition

从图4中可以看出, 50~2000 Hz, II-G覆盖挂飞、自由飞振动试验条件, 在频率 $f_1 \sim f_2$, II-G比挂飞振动试验条件大近4倍。且频率 f_2 以后, 挂飞、自由飞振动试验条件以3 dB/倍频程衰减, 没有II-G考核充分。20~50 Hz, II-G没有覆盖挂飞、自由飞、机动抖振试验条件。

空空导弹上安装的新研元器件的固有频率通常>100 Hz, 低频振动对其影响较小^[9]。机动抖振是考核产品的低频响应, 因此空空导弹新研元器件不考虑100 Hz以下的低频振动响应。II-G可以对空空导弹某部件用新研元器件振动响应进行充分考核。

同理可得, 对于空空导弹振动响应较小的某部件用新研元器件可以用GJB 360B—2009《电子及电气元件试验方法》方法214试验条件II-E进行考核。

综上, 空空导弹用新研元器件可以用GJB 360B—2009《电子及电气元件试验方法》方法214试验条件II-E/G进行振动试验。

3.2 振动时间

从2.2部分可以看出, 挂飞耐久振动时间很长, 即使将试验量级提高1.6倍, 也需要46 min, 再加上功能振动时间1 h, 一个方向的振动时间接近2 h。考虑到产品准备、安装、测试等问题, 有可能一天只考核一个方向, 严重影响试验进度, 进而影响空空导弹的生产交付^[10]。

根据GJB 150.16A—2009《军用装备实验室环境试验方法 振动试验》中的疲劳关系(见公式(1))可知, 增加试验量值可以缩短试验时间。现在用式(1)计算当挂飞功能、挂飞耐久量级提高到II-G的 $0.4 g^2/Hz$ 时, 其对应的振动时间见表3(与机动抖振振动时间不做比较)。

$$\frac{W_0}{W_1} = \left(\frac{T_1}{T_0} \right)^{\frac{1}{4}} \quad (1)$$

由表3可以看出, 挂飞+自由飞等效振动时间约为2 min。所以, 在GJB 360B—2009《电子及电气元件试验方法》方法214中选取15 min就可以覆盖挂飞功能、挂飞耐久、自由飞振动时间。

4 结论

对空空导弹新研元器件相应标准规范规定的振动试验条件进行了整理归纳, 与型号要求的振动试验量级、试验时间对比分析, 得出新研元器件相应标准规范规定的振动试验条件覆盖型号要求的振动试验条件。空空导弹新研元器件可以只按照标准/规范中规定的振动条件开展随机振动试验, 型号要求的挂飞、自由飞、机动抖振等振动试验可以不开展, 避免了试验重复, 大大缩短了研制周期, 减少了研制试验成本。另外, 对于关键新研元器件, 建议通过振动响应测试来确定振动试验条件^[11]。

参考文献:

- [1] 中国人民解放军总装备部. GJB 150A—2009 军用装备实验室环境试验方法[S]. PLA General Armament Department. GJB 150A—2009 Laboratory environmental test methods for military materiel[S].
- [2] 中国人民解放军总装备部. GJB 360B—2009 电子及电气元件试验方法[S]. PLA General Armament Department. GJB 360B—2009 Test methods for electronic and electrical component parts[S].
- [3] 中国人民解放军总装备部. GJB 548B—2005 微电子器件试验方法和程序[S]. PLA General Armament Department. GJB 548B—2005 Test methods and procedures for microelectronic device[S].
- [4] 中国人民解放军总装备部. GJB 1217A—2009 电连接器试验方法[S]. PLA General Armament Department. GJB 1217A—2009, Test methods for electrical connectors[S].
- [5] 国防科学技术工业委员会. GJB 361A—1997, 控制电机通用规范[S]. Commission on Science, Technology, and Industry for National Defense. GJB 361A—1997 General specification for control motors and feedback components[S].
- [6] 国防科学技术工业委员会. GJB 128A—1997, 半导体分立器件试验方法[S]. Commission on Science, Technology, and Industry for National Defense. GJB 128A—1997, Test methods for semiconductor discrete devices[S].
- [7] 张艳辉, 吴瑞轩. 空空导弹环境试验顺序研究[J]. 装备环境工程, 2012(4): 89-92. ZHANG Yan-hui, WU Rui-xuan. Research on Environmental Test Sequence for Air-to-air Missiles[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012(4): 89-92.
- [8] 国防科学技术工业委员会. GJB 150—1986, 军用设备环境试验方法[S]. Commission on Science, Technology, and Industry for National Defense. GJB 150—1986 Environmental test methods for military equipments General[S].
- [9] 陈瑜轩. 元器件在整机应用中的若干问题[J]. 仪表技术, 2019(6): 42-45. CHEN Yu-xuan. Some Problems in the Application of Components in the Whole Machine[J]. Instrumentation Technology, 2019(6): 42-45.
- [10] 郭迅, 郭强岭. 空空导弹振动试验条件分析[J]. 装备环境工程, 2012(6): 99-103. GUO Xun, GUO Qiang-ling. Analysis of Vibration Test Condition of Air-to-air Missile[J]. Equipment Environmental Engineering, 2012(6): 99-103.
- [11] 鲍华, 刘万远. 某型发射装置电路板随机振动响应分析[J]. 航空兵器, 2015(6): 66-68. BAO Hua, LIU Wan-yuan. Random Vibration Response Analysis of PCB Used in the Certain Launcher[J]. Aero Weaponry, 2015(6): 66-68.