

适应多型直升机的外挂设备挂飞耐久寿命考核方法探讨

张江涛

(中国空空导弹研究院, 河南 洛阳 471009)

摘要: **目的** 制定合理的方法以考核外挂设备适应多型直升机的挂飞振动寿命。**方法** 根据直升机外挂设备挂飞振动环境的特点和相关标准所规定,提出将各型直升机的正弦频点叠加至同一随机谱型中,并结合现有振动控制仪能力,提出宽带随机叠加正弦扫频的综合振动频谱考核方法。**结果** 综合控制谱覆盖所有相关直升机引起的随机振动环境和正弦振动环境,组织1次试验即可满足所有载机的挂飞寿命考核要求。**结论** 综合振动频谱的考核方法解决了直升机外挂设备适应挂载多型直升机的挂飞耐久寿命考核问题。

关键词: 直升机载外挂; 挂飞耐久寿命; 综合振动谱

DOI:10.7643/issn.1672-9242.2014.04.011

中图分类号: V325 **文献标识码:** A

文章编号: 1672-9242(2014)04-0054-04

Discussion on Helicopter-carrier Equipment Needs to Equiped Different Helicopter Captive Flight Duration Life Evaluation

ZHANG Jiang-tao

(China Airborne Missile Academy, Luoyang 471009, China)

ABSTRACT: **Objective** To set up a reasonable captive-duration method to examine helicopter-carrier adapting polytype helicopters. **Methods** According to the helicopter-carrier's environment feature and the regulations of relative standard, combined with the ability of the existing vibration control instrument, the sine frequency point of polytype helicopters was stacked to a same random spectrum, and a comprehensive vibration spectrum assessment method about broadband random stacking spectrum with sine sweeping frequency was proposed. **Results** Comprehensive vibration spectrum covered the random vibration environment and the sine vibration environment causing by helicopter, organizing one testing could satisfy captive-durations requirement of all the helicopters. **Conclusion** The method of comprehensive spectrum resolve the captive-duration of the Helicopter-carrier equipped by different helicopters.

KEY WORDS: helicopter-carrier; captive flight duration life; comprehensive vibration spectrum

收稿日期: 2014-03-21; 修订日期: 2014-04-15

Received: 2014-03-21; Revised: 2014-04-15

作者简介: 张江涛(1980—),男,本科,工程师,主要研究方向为机载设备环境工程。

Biography: ZHANG Jiang-tao(1980—), Male, Bachelor, Engineer, Research focus: equipment environmental engineering

近年来,随着国内航空工业的迅速发展,涌现出越来越多的新型直升机和机载外挂设备,同一机载外挂设备往往需同时挂装多型直升机以提高其使用效率。机载外挂设备在挂装不同的直升机时会遇到不同的挂飞振动环境。目前国内相关标准并没有明确机载外挂设备挂装多型直升机的挂飞耐久寿命的考核方法,如何对适应多型直升机的机载外挂设备制定合理、可行的挂飞耐久寿命考核方法是亟需研究和解决的问题^[1-2]。

1 振动环境及特点

与固定翼飞机的振动环境相比,直升机的振动环境具有十分独特的一面。直升机依靠旋翼和尾桨产生的气动力来完成各种飞行动作,受气流的影响,桨叶在飞行过程中将同时产生挥舞、摆振以及扭转变形,在桨毂处产生周期性交变力和交变力矩,通过桨毂传至机身^[3-7],因此,直升机最主要的振源来自旋翼和尾桨系统。这些振源的振动频率相对较低,一般为 nP (P 为旋翼或尾桨的工作转速频率, n 为桨叶的片数)及其各阶倍频^[3-5]。同时发动机、传动系统等高速旋转部件也会产生相应频率的随机振动环境^[6-9]。这些振动可通过机身传到机体的各个部位,形成独特的以周期振动为主,并叠加有较低宽带随机振动的振动环境。某直升机的典型振动频谱图如图 1 所示^[10]。

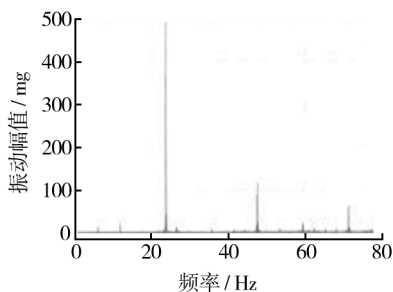


图 1 某直升机的典型振动频谱

Fig. 1 Typical vibration spectrum of a helicopter

直升机的振动环境大致可以划分为 3 个影响区:机身前半部主要为主旋翼振动影响区;主减、传动及发动机平台附近主要为动力传动系统影响区;尾梁及垂尾附近主要为尾桨影响区^[11-12]。直升机机载外挂设备挂装在机身两侧的短翼上,位于主旋

翼的垂直投影面上,受主旋翼影响较大,主要承受由主旋翼气动绕流产生的振动环境^[13-15]。由于直升机飞行速度较慢,气动绕流引起的随机环境很小,故直升机机载外挂设备挂飞振动环境主要是由直升机动动力部件、传递机构引起的随机环境叠加直升机旋翼引起的正弦环境的综合复杂环境,其特点是宽带随机叠加很强的正弦峰值^[13,16]。某直升机机载外挂的典型振动频谱图如图 2 所示。

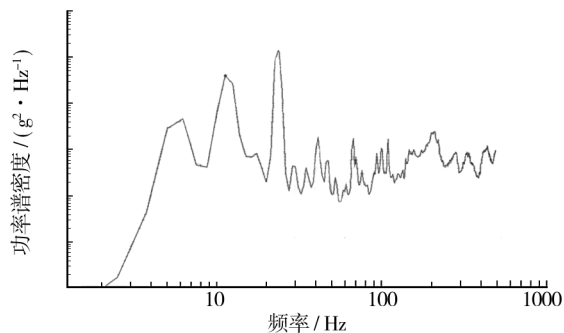


图 2 某直升机机载外挂设备的典型振动频谱

Fig. 2 Typical vibration spectrum of a helicopter-carrier equipment

2 寿命考核现状

因为直升机有着独特而严酷的振动环境,所以凡要适应挂装多型直升机的机载外挂设备均需通过相应的振动环境考核,以验证该机载外挂设备是否满足不同直升机挂飞振动环境的要求^[11]。

目前国内直升机外挂设备挂飞耐久寿命的考核方法主要依据 GJB 150.16—1986, GJB 150.16A—2009 以及对应的美国 810 系列标准进行考核,其中新研型号多依据 GJB 150.16A—2009 和 MIL-STD-810F 规定方法进行考核。以 GJB 150.16A—2009 规定的振动谱型为例,其谱型如图 3 所示,其中 $f_1 = P$, $f_2 = nP$, $f_3 = 2nP$, $f_4 = 3nP$ ^[3-5,14]。

若机载外挂设备只挂装一型直升机,可按 GJB 150.16A—2009 规定的谱型,根据对应直升机主旋翼的转速和桨叶数,通过标准计算或挂飞振动环境实测数据制定谱型的量级,并根据机载外挂设备的总挂飞时间(架次)进行挂飞耐久寿命考核即可。通常情况下,直升机载外挂设备需挂装多型直升机,主机单位在提考核要求时往往会给出除正弦频点外其他均相同的考核谱型。由于不同类型载机的旋翼

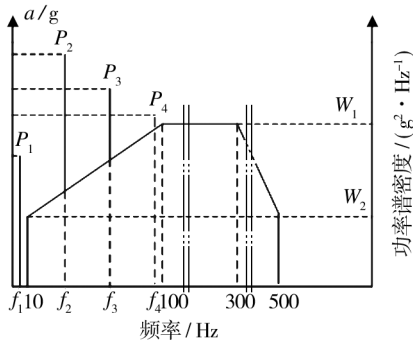


图3 GJB 150.16A—2009 规定机载外挂设备挂飞振动谱型
Fig.3 GJB 150.16A—2009 provides helicopter-carrier equipment flight vibration spectrum

频率不同,其挂飞振动考核谱型的正弦频点也不同,使得各自振动谱型之间不能用高考核量级的振动条件覆盖低考核量级的振动条件。GJB 150.16—1986, GJB 150.16A—2009 及 MIL-STD-810F 等标准只规定了适应单一机型挂飞振动耐久寿命的考核方法,没有规定适应多型载机挂飞耐久寿命的考核方法,使得适应多种不同直升机的机载外挂设备的挂飞振动寿命考核方法难以统一。

现行适应多型直升机外挂设备挂飞耐久寿命的考核方法主要有 2 种。

1) 根据各型载机的旋翼频率制定各自的挂飞振动谱型,外挂设备按不同的挂飞振动谱型分别进行全寿命(T)考核。

2) 根据各型载机的旋翼频率制定各自的挂飞振动谱型,对总挂飞寿命(T)根据挂装的载机数(N)进行等分,外挂设备对各种载机的谱型按等分寿命(T/N)分别进行考核。

这两种考核方法都存在一定的不足:

方法 1) 对产品挂飞寿命考核充分,通过该方法考核的外挂设备能适应各型载机,但分别按每种载机的挂飞振动频谱都进行全寿命的方法考核明显存在过试验(总考核寿命为 NT)。

方法 2) 的总考核寿命即其挂飞寿命(T),但对考核寿命进行等分的方法是以外挂设备交付使用后在每种载机上挂装的时间都相等为前提的,而外挂设备交付后挂装在不同载机的时间肯定不会相等,其在每种载机的挂装时间比例也无法确定,按平均挂装寿命(T/N)考核的方法不符合实际挂装情况。

3 综合谱

由于直升机机载外挂设备挂装不同直升机时其随机谱型均相同,可将各型直升机的正弦频点同时施加在同一随机谱型中。以某外挂设备挂装两型直升机为例,若两种载机对应的正弦频点分别为 f_1, f_3, f_5, f_7 和 f_2, f_4, f_6, f_8 ,其综合振动谱型如图 4 所示。由于该谱型同时包络了两种直升机的正弦频点,按此谱型进行考核后的直升机机载外挂设备即可同时满足两种直升机振动环境。

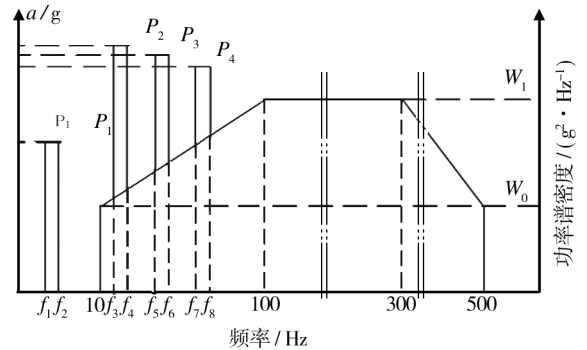


图4 直升机外挂综合振动频谱

Fig.4 Helicopter-carrier equipment comprehensive vibration spectrum

该谱型在试验实施过程中存在困难:不同直升机的同级频率(尤其是基频)相隔太近,由于实验室内现有振动控制软件线数的原因,该控制曲线无法在振动试验设备控制软件中进行设置。为解决此问题,可对同级正弦频点采用扫频的方法,同样可以达到对所有相关直升机正弦频点进行考核的目的,即采用随机叠加正弦扫频的综合振动谱,如图 5 所示。

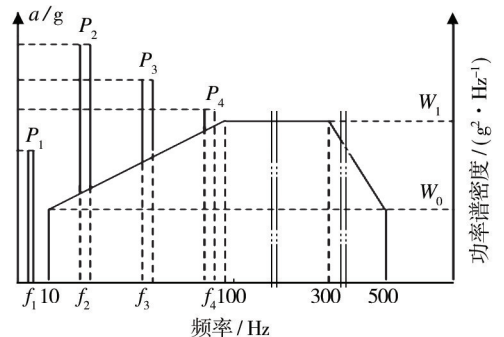


图5 直升机外挂综合振动频谱

Fig.5 Helicopter-carrier equipment comprehensive vibration spectrum

如某机载外挂设备要挂装 AH-1, CH-47D, OH-58A 三型直升机,考核的振动谱型如图 3 所示,其中正弦加速度峰值 $P_1=0.5\text{ g}$, $P_2=3\text{ g}$, $P_3=2\text{ g}$, $P_4=\text{g}$;随机谱功率谱密度 $W_i=0.001\text{ g}^2/\text{Hz}$, $W_0=0.01\text{ g}^2/\text{Hz}$ 。根据各载机的桨叶数和转速计算 AH-1, CH-47D, OH-58A 三型载机的正弦频点见表 1。

表 1 正弦振动频点
Table 1 Sine vibration frequency

机型	桨叶数	转速/Hz	正弦频点/Hz
AH-1	2	5.4	$f_1=5.4$
			$f_2=10.8$
			$f_3=21.6$
			$f_4=30.3$
CH-47D	3	3.75	$f_1=3.75$
			$f_2=11.3$
			$f_3=22.6$
			$f_4=33.8$
OH-58A	2	5.9	$f_1=5.9$
			$f_2=11.8$
			$f_3=23.6$
			$f_4=35.4$

采用综合谱后其随机谱型和量级均不变,只是正弦定频变为正弦扫频,其扫频范围: f_1 为 $3.8\sim 5.9$, f_2 为 $10.8\sim 11.8$, f_3 为 $21.6\sim 23.6$, f_4 为 $30.3\sim 35.4$ 。为保证在扫描范围内的每个正弦点上充分暴露可能对产品结构引起的共振,扫频速率不易过快,一般在 $0.5\sim 1\text{ oct}/\text{min}$,综合振动谱型如图 5 所示^[17]。

4 综合谱的分析

宽带随机叠加正弦扫频的综合振动频谱是以相关标准(如 GJB 150.16A—2009)为基础进行制定,本质上仍是标准规定的振动谱型。该综合谱对同级正弦频点进行扫频的方法可以覆盖所有相关直升机由于旋翼引起的正弦振动环境,组织 1 次试验即可考核所有载机的挂飞振动环境,达到了对所有载机的挂飞寿命考核目的,提高了试验效率,缩短试验周期。

若不同载机的振动考核量级要求不同,可将不同直升机的振动量级进行综合考量,折中为相同的量级,再使用综合谱进行考核^[17]。

5 结语

根据国军标规定的试验谱型和挂装多型直升机的实际需求,并结合在实验室内实施的情况,提出了宽带随机叠加正弦的试验实施方法,较好地解决了直升机适应挂装多型直升机挂飞耐久寿命考核问题。该方法已在某直升机外挂设的研制中得到应用和验证,可为同类直升机外挂设备提供参考。

参考文献:

- [1] 周堃,钱翰博.浅谈装备环境适应性与可靠性[J].装备环境工程,2014,11(2):25—27.
ZHOU Kun, QIAN Han-bo. Discussion on Environmental Worthiness and Reliability of Materiel[J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(2): 25—27.
- [2] 庞志兵,高强,魏赫.提高武器装备环境适应性对策研究[J].装备环境工程,2014,11(2):68—71.
PANG Zhi-bing, GAO Qiang, WEI He. Research on Environment Adaptive Countermeasures for Weapons and Equipment [J]. Equipment Environmental Engineering, 2014, 11(2): 68—71.
- [3] GJB 150.16—1986,军用设备环境试验方法 振动试验[S].
GJB 150.16—1986, Environmental Test Methods For Military Equipments Vibration Test[S].
- [4] GJB 150.16A—2009 军用装备实验室环境试验法 第 16 部分:振动试验[S].
GJB 150.16A—2009 Laboratory Environmental Test Methods for Military Materiel—Part 16: Vibration Test[S].
- [5] MIL-STD-810F,国防部试验方法标准 环境工程考虑和实验室试验[S].
MIL-STD-810F, Department Of Defense Test Method Standard—Environmental Engineering Considerations And Laboratory Tests[S].
- [6] ADS-51-HDBK, Aeronautical Design Standard Handbook—Rotorcraft and Aircraft Qualification(Raq) Handbook[S].
- [7] ADS-27-SP, Aeronautical Design Standard Standard Practice—Requirements for Rotorcraft Vibration Specifications, Modeling and Testing [S].

- and Real World Storage of HTPB Propellant[J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 2011, 19(1): 50—54.
- [9] 余淑华, 魏小琴, 刘彬, 等. 丁羟推进剂库房贮存与加速老化规律研究[J]. 装备环境工程, 2011, 8(6): 31—33.
YU Shu-hua, WEI Xiao-qin, LIU Bin, et al. Study of Storage and Accelerated Aging Rule of HTPB Propellant[J]. Equipment Environmental Engineering, 2011, 8(6): 31—33.
- [10] LIU C T. Fracture Mechanics and Service Life Prediction Research, ADA405750[R]. Arlington: PROI, 2003.
- [11] 常新龙, 简斌, 李俊, 等. 高低温循环下 HTPB 推进剂力学性能规律研究[J]. 弹箭与制导学报, 2010, 30(4): 117—122.
CHANG Xin-long, JIAN Bin, LI Jun, et al. The Changing Law in Mechanical Properties of HTPB Propellant under High-Low Temperature Cyclic Environment[J]. Journal of Projectiles, Rockets, Missiles and Guidance, 2010, 30(4): 117—122.
- [12] 王春华, 彭网大, 翁武军, 等. 丁羟推进剂的化学老化机理与改善老化性能的技术途径[J]. 含能材料, 1996, 4(3): 109—116.
WANG Chun-hua, PENG Wang-da, WENG Wu-jun, et al. Chemical Aging Mechanisms of HTPB Solid Propellants and the Ways to Improve Aging-resistance [J]. Chinese Journal of Energetic Materials, 1996, 4(3): 109—116.
- [13] 徐新琦, 袁书生, 隋玉堂. 贮存条件下推进剂药柱的应力、应变分析[J]. 海军航空工程学院学报, 2002, 17(3): 313—317.
XU Xin-qi, YUAN Shu-sheng, SUI Yu-tang. Stress-Strain Analysis of Propellant Grains in Storage [J]. Journal of Naval Aeronautical and Astronautical University, 2002, 17(3): 313—317.
- [14] BROUWER G K, KEIZERS H, BUSWELL J. Aging in Composite Propellant Grains. AIAA2004-4058 [R]. 2004.
- [15] QJ 2328A—2005, 复合固体推进剂高温加速老化试验方法[S].
QJ 2328A—2005, Accelerated Aging Test Method of Solid Propellant at High Temperature[S].
- (上接第 57 页)
- [8] GJB 4663—1994, 军用直升机悬挂装置通用要求[S].
GJB 4663—1994, General Requirement for Suspension Equipment of Military Helicopter[S].
- [9] GJB 4824—1998, 军用直升机振动特性要求[S].
GJB 4824—1998, Vibration Characteristics of Military Helicopters[S].
- [10] 张曾鎔, 章光裕. 直升机载设备飞行振动环境适应条件设计[J]. 直升机技术, 1996(4): 29—34.
ZHANG Zeng-chang, ZHANG Guang-yu. Helicopter Borne Equipment Flight Vibration Environment Adaptation Design [J]. Helicopter Technology, 1996(4): 29—34.
- [11] 孙东红, 郭光海. 直升机振动环境与机载设备振动环境试验若干问题的探讨[J]. 航空标准化与质量, 2004(4): 47—49.
SUN Dong-hong, GUO Guang-hai. Discussion on some Problems of the Helicopter Vibration Environment and Airborne Equipment Vibration Environment Test [J]. Aviation Standardization and Quality, 2004(4): 47—49.
- [12] GJB 1063—1991, 机载悬挂物悬挂装置试验通用要求和方法[S].
GJB 1063—1991, General Testing Requirements and Methods for Airborne Store Suspension Equipment [S].
- [13] GJB 150. 16—1986, 军用设备环境试验方法 振动试验实施指南[S].
GJB 150. 16—1986, Environmental Test Methods For Military Equipments Vibration Test Implementation Guide[S].
- [14] GJB 150. 16A—2009, 军用装备实验室环境试验法 第 16 部分: 振动试验 宣贯教程[S].
GJB 150. 16A—2009, Laboratory Environmental Test Methods for Military Materiel—Part 16: Vibration Test Implement Guideline Follow the Tutorial[S].
- [15] 孙之钊. 直升机动力学手册[M]. 北京: 航空工业出版社, 1991.
SUN Zhi-zhao. Handbook of Helicopter Dynamics [M]. Beijing: Aviation Industry Press, 1991.
- [16] 邹小玲. 直升机机载设备环境试验剪裁探讨[J]. 直升机技术, 2013(4): 25—27.
ZOU Xiao-ling, Helicopter Airborne Equipment to Environmental Test Tailoring[J]. Helicopter Technology, 2013(4): 25—27.
- [17] QRMS-10, 英国国防部标准 国防装备环境手册 第五部分 诱发机械环境[S].
QRMS-10, Department of Defense Standard-Department of Defense Environmental Manual Part 5: Induced Mechanical Environment[S].