

文章编号: 1001 - 893X(2012)06 - 1047 - 04

悬停回转试飞方法在直升机超短波天线 方向图测试中的应用*

尹建峰, 唐彩虹, 孟 超

(中国飞行试验研究院, 西安 710089)

摘要: 借鉴飞机天线方向图地面自由空间测试场测试方法, 利用直升机空中悬停特性进行天线方向图测试, 以达到节省试飞架次的目的。分析了如何进行直升机悬停位置的选择以及直升机到测试点的距离和垂直高度的计算, 总结了直升机超短波天线方向图测试中的定点悬停试飞驾驶技术。该试验方法在飞行试验中得到了验证, 与传统试飞方法进行对比, 工作效率提高 2 倍。

关键词: 直升机; 超短波天线; 方向图测试; 定点悬停

中图分类号: TN822.4 **文献标志码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1001-893x.2012.06.045

Application of Hovering Flight Test Method in Helicopter - borne VHF Antenna Radiation Pattern Measurement

YIN Jian-feng, TANG Cai-hong, MENG Chao

(Chinese Flight Test Establishment, Xi'an 710089, China)

Abstract: By learning from the aircraft antenna pattern ground free - space test method, helicopter's hovering character is applied to measure antenna radiation pattern, in order to save the flight test sorties. The methods for the selection of the hovering point and the calculation of the distance and the height from the instrument site to the helicopter are analysed. The fixed - point hovering flight driving techniques are summarized in helicopter - borne VHF antenna radiation pattern measurement. The test method is verified in the flight test, and compared with the traditional one, the work efficiency is tripled.

Key words: helicopter; VHF antenna; radiation pattern measurement; fixed - point hovering

1 引言

机载超短波天线在直升机上安装后, 其安装位置、总体布局对超短波电台的通信性能产生重要影响, 因此需要对天线的辐射特性有明确的了解, 而天线方向图则是衡量天线辐射特性最直观明晰的方法^[1]。

在直升机设计、制造过程中, 采用缩比模型试验的方法进行天线方向图测试^[2-3], 测试精度总要受到缩比模型的精度、地面反射、周围物体反射等方面

的影响。因此, 对直升机机载天线进行飞行试验, 以测试其方向图就显得更加重要。

固定翼飞机普遍使用梅花瓣或多边形试飞方法在等场强区域试飞^[4], 直升机也可以使用该方法, 但是由于直升机飞行速度慢、留空时间短, 试飞的效率就会很低。

本文利用直升机独特的低空悬停性能, 并借鉴地面自由空间测试场测试方法, 提出采用悬停回转的方法进行天线方向图试飞测试。文中探讨了直升机最小悬停距离和高度的计算方法, 并进行了悬停

* 收稿日期: 2011 - 11 - 01; 修回日期: 2012 - 04 - 06

位置的测量与分析,实现了直升机天线方向图的准确测试,同时在试飞过程中总结了试飞员驾驶技术及机组配合的要点。

2 直升机最小悬停距离和高度计算

图1为自由空间测试场示意图。

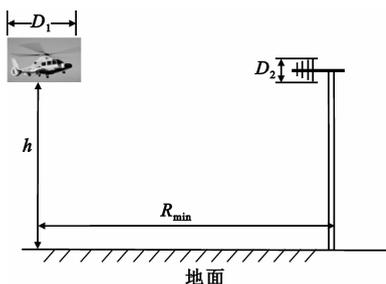


图1 自由空间测试场
Fig.1 Free space test field

辅助天线与被测天线之间的最小距离(R_{\min})应满足^[5]

$$R_{\min} \geq K D_1^2 / \lambda, D_2 \leq 0.4 D_1 \quad (1)$$

式中, D_1 为装有被测试天线的机体的最大线性尺寸; D_2 为辅助天线的最大线性尺寸; λ 为测试时天线工作的最小波长; K 为任选的常数, K 值越大测试精度越高,也就是说距离越远精度越高。

取 $D_1 = 15 \text{ m}$, $\lambda = 0.1 \text{ m}$, $K = 3$,计算结果 $R_{\min} = 6.75 \text{ km}$;取 $D_1 = 15 \text{ m}$, $\lambda = 0.1 \text{ m}$, $K = 2$,计算结果 $R_{\min} = 4.5 \text{ km}$,所以载机活动范围可以选择距离测试系统4~6 km。

选择好了位置,下一步选择悬停高度。因为直升机悬停高度不能太高,悬停高度受升限限制,而且高度越高操纵难度越大;此外,高高度悬停所需发动机功率大。然而,对于机载水平天线方向图测试,必须消除地面反射影响,所以被测天线的相位中心距地面的高度应为

$$h \geq \lambda R_{\min} / 2 D_2 \quad (2)$$

取 $D_2 = 2 \text{ m}$, $R_{\min} = 4 \text{ km}$,则 $h \geq 100 \text{ m}$,直升机悬停高度不能低于100 m。从式中可以看出 R_{\min} 越大,要求悬停高度越高。

根据理论计算,我们初步选择确定:悬停高度为100~150 m,距测试系统距离为4~5 km。

从以上计算中可以看出,直升机的尺寸和实验频率的波长决定直升机距测试系统的最小距离,该距离又决定直升机悬停高度,悬停高度又受限于直

升机的性能和驾驶员的技术。

3 悬停位置的测量与分析

我们已经初步选择好悬停位置与高度,但是否可行,需要进一步分析。

在空中测试天线方向图,要选择合适的空域,要求场强值变化平稳($\pm 1 \text{ dB}$)。使用梅花瓣或多边形试飞,要选择等场强区。

自由空间,场强 E 随距离 S 变化趋势见图2(5 000 m高度)。从图中可以看出在近距离区域场强变化剧烈,在150~200 km区域场强变化平坦,为等场强区域^[5]。

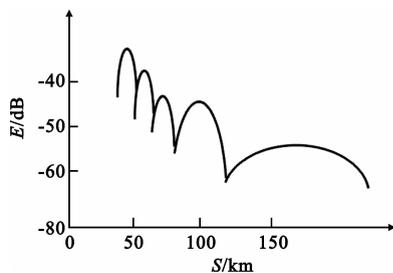


图2 场强随距离变化趋势
Fig.2 Variation trend of field intensity with distance

经多次测量,直升机100 m高度出航与归航过程中,25~30 km之间信号场强变化较为平坦(0.5 dB),12~20 km之间信号场强变化较为平坦(2 dB左右),4~6 km之间信号场强变化为5 dB。12~30 km之间,可以看出在中远距离处,信号变化较为平坦,但是从前面的分析可知,由于载机距离测试系统距离远,必须抬高直升机高度,从而超出了悬停高度,只能选择梅花瓣飞行方法。

因此,选择距离测试系统4~6 km处悬停,但是考虑到场强变化趋势较大,只能要求试飞员定点悬停,要求驾驶员寻找一明显地标点,确保直升机悬停位置误差不能超过200 m。

最终确定选择距离本场测试系统4~5 km处、100~130 m高度悬停,活动范围不超过100 m。

为满足上述要求可以按照以下条件进行:

- (1)选择一合适地标点,试飞员对其标定并存储;
- (2)空中气流变化较小,直升机不漂移,容易保持位置;
- (3)环境温度较低,发动机容易散热;
- (4)悬停位置下方及增速脱离的方向不应有铁塔、高压线等高大障碍物。

4 悬停回转试飞与梅花瓣试飞对比

梅花瓣试飞过程中,按照 10° 划分,相当于试飞员需要做 18 个“8”字盘旋,并且需要对准固定点,试飞员反映操作非常困难,整个架次不能完成一个完整的方向图,最终只能取到 24 个方位上的测试数据。

将试飞方法改为悬停回转后,试飞员操纵飞机在一个方位保持后,向地面报悬停方位并发射载波。在一个架次每悬停 18 个角度后,试飞员驾驶直升机脱离试验点,在指定空域盘旋,这样一方面可以降低发动机和减速器滑油温度,另一方面试飞员可以休息。这种飞行方式一个架次可以取到顺时针 36 个点、逆时针 36 个点,即完成两个完整的方向图数据,工作效率较梅花瓣方式提高 2 倍。如果选择寒冷的冬天,发动机散热时间减少,工作效率则可以提高 4 倍。

同时,空勤机组配合操纵、报告方位、发射载波的方法,得到大量的实时数据,使事后数据处理工作量大幅降低,从而提高了工作效率。

5 直升机天线方向图试飞驾驶技术

根据前面对于直升机超短波电台天线方向图试飞对于位置及高度的要求,试飞员通过空中勘察,对比选取在机场跑道附近,距离布置场强仪或频谱仪连接高增益定向天线的实验阵地 5 km 的位置进行试验。新的天线方向图根据前文所述主要是操纵直升机进行地效外悬停,这个试飞动作主要的难点在于以下几方面。

(1)悬停高度、位置要求精确。直升机悬停主要依靠试飞员目视判断地面参照物的相关位置改变情况,辅助参考机上指示。高高度悬停距离地面参照物远,判断相关位置改变较迟缓。在实际大气中,悬停所需功率受风等扰动因素影响会有所变化,所以,保持高度需要不断调整总距。

(2)试验要求直升机每间隔 10° 航向进行一次载波发射,在对于航向不够安定的直升机操纵比较困难。

(3)直升机高高度悬停,所需功率大,发动机滑油及 T45 温度会比较高,如何控制在发动机不超温情况下完成任务是个需要解决的问题。

(4)机上一部电台需按照要求发射载波,另一部电台向地面试验阵地报告当前航向同时保持塔台的联系,这对机组协同配合水平要求高,是项目试飞中的难点。

为此,试飞员应进行如下有针对性的准备。

(1)在平常试飞中有意识地增加一些高高度悬停动作,使试飞员适应高高度悬停动作。

(2)根据试飞内容,选择基本驾驶技术好、对直升机控制能力强的试飞员承担。

(3)对于空中直升机位置变化及高度变化能及早判断及早修正,对于航向控制要求平稳准确。

(4)由于直升机空气动力学的特点,周期变距杆、总距、脚蹬 3 项操纵相互耦合,试飞员应清楚掌握这一点。对于发动机温度,应由不参与操纵的试飞员密切关注,如果出现接近黄区,应及时提醒改变飞行状态,减小发动机功率。

(5)对于机组配合,主操纵试飞员负责控制直升机状态(高度、位置、航向)并按要求航向每变化 10° 发射一次载波,不参与操纵的试飞员需向试验阵地报告发射载波时直升机的航向,同时密切关注发动机的工作情况,并同塔台保持联络。

(6)每进行 18 个方向载波发射后,直升机应脱离悬停到空域以经济速度飞行 20 min,期间发动机散热,试飞员也可调整休息。

6 天线方向图试飞方法与结果

在机场架设高增益天线,载机距离场强测试点 4~5 km,在 110 m 高度上悬停,顺时针/逆时针水平旋转,航向每变化 10° ,载机电台发射一次载波信号,地面频谱仪测试接收场强,根据测试数据,绘制天线方向图。图 3 为某个频点天线方向图测试结果。

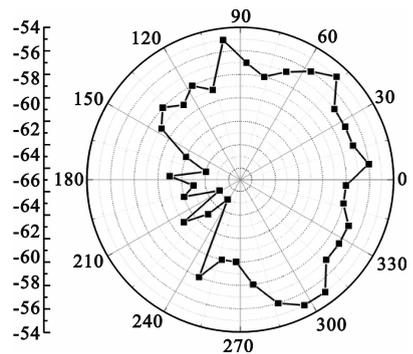


图 3 天线方向图测试结果
Fig. 3 Measured antenna pattern

地面试验中,天线厂家采用部件试验方法,模拟该直升机的某个部件,将天线固定在该部件对应的位置上,测得天线方向图圆度非常好,测量值之间相差 $1 \sim 2$ dB。天线在直升机体安装后,在视觉上没

有任何遮挡。但实际试飞结果表明,天线方向图在直升机机尾方向信号衰减严重。该结果很好地解释了通信距离试飞中直升机背台方向最大通信距离短的现象(背台与向台通信距离相差十多公里)。

7 结束语

本文利用直升机独特的低空悬停特性,探讨了直升机天线方向图试飞的新方法。在对该方法的技术难点进行分析的基础上,解决了直升机悬停高度、距离的选择问题,在试飞过程中摸索并掌握了一套适用于该试飞方法的驾驶技术。该试飞方法与传统的梅花瓣试飞方法相比具有更高的工作效率。悬停回转试飞方法适用于新一代直升机天线方向图的试飞和测试。

参考文献:

- [1] 李莉. 天线与电波传播[M]. 北京: 科学出版社, 2009.
LI Li. Antenna and Radio Wave Propagation[M]. Beijing: Science Press, 2009. (in Chinese)
- [2] 刘瑾, 王化吉. 基于 LabVIEW 的天线方向图测试系统设计[J]. 电子测量技术, 2011, 34(3): 62 - 65.
LIU Jin, WANG Hua - ji. Measure system for the antenna to get the patterns of the tested antennas based on LabVIEW [J]. Electronic Measurement Technology, 2011, 34(3): 62 - 65. (in Chinese)
- [3] 侯民胜, 问建. 天线方向图自动测量中的信号录取与数据处理[J]. 电子测量技术, 2007, 30(7): 47 - 50.
HOU Min - sheng, WEN Jian. Signal extraction and data processing of antenna pattern automatic measurement [J]. Electronic Measurement Technology, 2007, 30(7): 47 - 50. (in Chinese)
- [4] 王彩萍, 张长茂. 机载天线方向图飞行试验技术[J]. 飞行试验, 2009, 25(9): 3 - 5.
WANG Cai - ping, ZHANG Chang - mao. Airborne antenna pattern flight test technique [J]. Flight Test, 2009, 25(9): 3 - 5. (in Chinese)
- [5] 梁福生, 王广学. 飞机天线工程手册[M]. 北京: 中国民航出版社, 1997.
LIANG Fu - sheng, WANG Guang - xue. Aeroplane Antenna Project Manual [M]. Beijing: Chinese Civil Aviation Publishing House, 1997. (in Chinese)

作者简介:

尹建峰(1970—), 男, 河北邯郸人, 2000 年于西北工业大学获飞行器设计专业硕士学位, 现为特级试飞员、高级工程师, 主要从事科研试飞工作;

YIN Jian - feng was born in Handan, Hebei Province, in 1970. He received the M. S. degree from Northwestern Polytechnical University in 2000. He is now an ace test pilot and a senior engineer. He is engaged in flight test.

Email: yinjianfeng_70@sina.com

唐彩虹(1971—), 女, 陕西蒲城人, 1995 年于南京航空航天大学获学士学位, 现为高级工程师, 主要从事机载电子设备试飞工作;

TANG Cai - hong was born in Pucheng, Shaanxi Province, in 1971. She received the B. S. degree from Nanjing University of Aeronautics and Astronautics in 1995. She is now a senior engineer. She is engaged in flight test of airborne electronic equipment.

Email: tangpai1991@hotmail.com

孟超(1984—), 男, 陕西合阳人, 2006 年于南京理工大学获学士学位, 现为工程师, 主要从事机载电子设备试飞工作。

MENG Chao was born in Heyang, Shaanxi Province, in 1984. He received the B. S. degree from Nanjing University of Science and Technology in 2006. He is now an engineer. He is engaged in flight test of airborne electronic equipment.