

# 指点信标结合试飞研究

## Research of Marker Beacon System Combine Flight Test

胥本涛 由立岩 梁远东 苏翼 / Xu Bentao You Liyan Liang Yuandong Su Yi  
(中国商飞民用飞机试飞中心,上海 200232)  
(COMAC Flight Test Center, Shanghai 200232, China)

### 摘要:

民用飞机航电系统复杂,试飞科目和架次繁多,为提高试飞效率,结合试飞是一个重要途径。深入研究了指点信标系统和 FAA 咨询通告(AC)对于指点信标建议的试飞方法,在此基础上,提出了一种新的结合试飞方案——从飞机正常着陆中获取需要的参数作为指点信标符合性分析,相比于独立的指点信标试飞,这样不仅获得的数据量大,试飞效率也更高。

**关键词:**指点信标;结合试飞;信标台

**中图分类号:**F56

**文献标识码:**A

[Abstract] Avionics system for modern civil aircraft is complicated and the amount of flight test project and sorties are very heavy, however the flight test efficiency is low and usually has to conduct too many sorties. This paper deeply researches marker beacon (MB) system and the flight test methods given by FAA Advisory Circular (AC). A new combine flight test was presented, which got data from normal landing for MB system consistence analysis. Compared to single MB, not only got more data, but also reduced flight sorties, and flight test efficiency was improved.

[Key words] marker beacon; combine flight test; MB station

## 0 引言

指点信标作为飞机无线电导航系统的一个部分,由地面台和机载设备组成,地面台安装在特定位置以一定的角度发射无线电信号,机载设备接收信号并发出语音和视觉的指示信息,从而完成飞机的位置识别。指点信标主要包括:内指点信标、中指点信标、外指点信标。外指点信标用于下滑道的截获点;中指点信标用来测量 I 类着陆标准的决断高度点,即下滑道通过中指点信标台上空高度(约为 60m);内指点信标用来测量 II 类着陆标准的决断高度点(约为 30m)。由于内指点信标持续时间短,作用效果不明显,很多机场没有安装内指点信标,飞机在实际飞行时更多的是采用无线电高度表数据作为 II 类着落决断高度。指点信标作用示意图如图 1 所示。

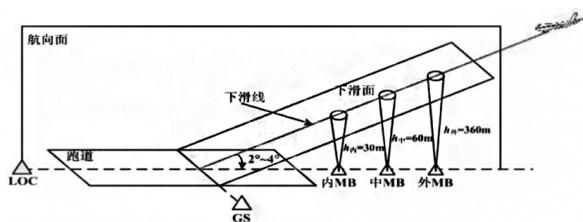


图 1 指点信标作用示意图

## 1 指点信标台几个关键特性

指点信标试飞与信标台关系非常紧密,为了便于理解,本文先阐述一下指点信标台的几个关键特性。

### 1.1 信标台安装位置

根据内、中、外指点信标台的作用,指点信标台必须安装在特定的位置,才能满足要求,但由于各个机场附近地形情况的复杂性,行业标准对安装位置给了一个参考范围和最佳值。具体如下:内指点信标距跑道入口 75m ~ 450m 处(300m 最佳),中指

指点标距跑道入口  $1\ 050 \pm 150\text{ m}$  (1 050 最佳), 外指点标距跑道入口  $6.5\text{ km} \sim 11.1\text{ km}$  (7.2 km 最佳)。垂直于延长线方向, 内指点标偏离不应超过  $30\text{ m}$ , 中指点标和外指点标偏离不超过  $75\text{ m}$  [2]。如图 2 所示。

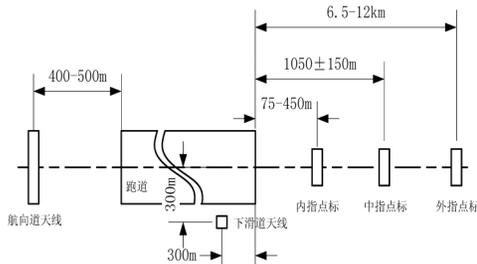


图 2 信标台安装位置

### 1.2 指点信标发射频率

指点信标台发射频率均为  $75\text{ MHz}$  (调制度  $95\%$ ), 这样飞机在飞行航线时, 连续经过指点信标上空不需要调谐接收设备, 带来很大的便利。调制频率和识别码各不相同, 这是为了完成对不同指点信标的识别 [1]。具体如表 1 所示。

表 1 指点信标发射和调制频率

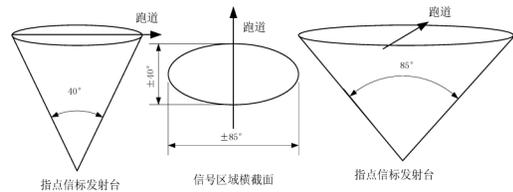
名称	载波频率	调制频率	识别码
内指点标	$75\text{ MHz}$	$3\ 000$	连续拍发, 每秒 2 划
中指点标	$75\text{ MHz}$	$1\ 300$	连续交替发拍点-划
外指点标	$75\text{ MHz}$	$4\ 000$	连续发发拍, 每秒 6 点

接收机在接收到信号后, 进行检波和滤波, 完成对信号频率的识别, 并激活相应的指示器, 从而告诉飞行员飞机的当前位置。

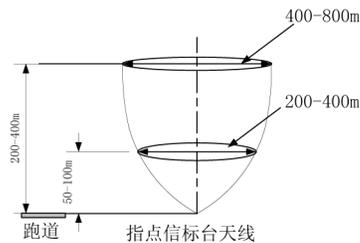
### 1.3 指点信标信号发射锥角

对于无线电指点信标发射的波束, 要求其方向特性在水平上是集中的, 而在垂直上是伸展的, 这样才能准确地提供安装点的信息, 同时保证有效的辐射。波束的横截面呈椭圆形, 沿跑道方向较窄, 宽了指示位置不准, 太窄了指示持续时间太短, 可能来不及判断位置, 一般锥角为  $40^\circ \sim 60^\circ$  [3]。波束垂直于跑道方向较宽, 以便飞机稍微偏离跑道时也能接收到信号, 如果偏离一点点就收不到信号, 可能对安全造成威胁。

关于发射角, Ian. Moir 在《Civil Avionics System》一书中却有着不同的描述 [4], 具体如图 3 (a) 所示。对此, 国家标准没有规定一个确定的锥角, 而是给出了一个大概的工作范围要求 [5], 如图 3 (b) 所示。



(a)



(b)

图 3 指点信标台信号发射锥角

### 1.4 指点信标信号纵向有效范围

指点信标在垂直延伸方向工作范围如表 2 所示, 在覆盖范围边界区场强不小于  $1.5\text{ mV/m}$  ( $-82\text{ dBm}^2$ ), 在覆盖区内的场强应至少升到  $3.0\text{ mV/m}$  ( $-76\text{ dBm}^2$ )。

表 2 指点信标垂直方向作用范围

指点信标	高度/m	宽度
内指点信标	$150 \pm 50$	整个航道宽度
中指点信标	$300 \pm 100$	整个航道宽度
外指点信标	$600 \pm 200$	整个航道宽度

## 2 咨询通告的解读

对于指点信标试飞, 咨询通告 (AC) 给了如下建议: 在  $1\ 000\text{ ft}$  的离地高度, 低灵敏度下, 飞机以任意的起落架和襟翼组合构型, 在指点信标上空  $2\ 000\text{ ft} \sim 3\ 000\text{ ft}$  的距离范围内, 指点信标指示器应亮起, 如图 4 (a) 所示。

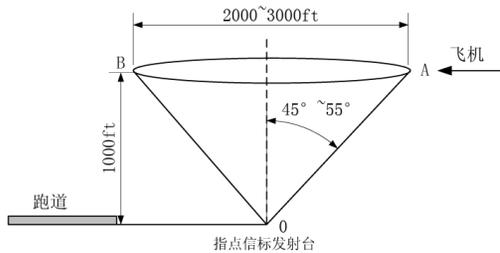
这是 AC 中对指点信标接收判据中最主要的一条, 其本质是验证接收能力, 在设定的灵敏度下, 其接收能力必须在一定范围内, 不能太强, 也不能太弱, 其结果是在指点信标上空一定范围内, 指点信标指示器亮起。但由于  $2\ 000\text{ ft} \sim 3\ 000\text{ ft}$  的这个距离很难测量, 因此执行时, 可结合飞机的地速, 将这个距离转换为时间, 作为符合性判据, 指示器持续的时间可以通过监控 PDF 画面和座舱语音记录器获取。

### 2.1 试飞高度

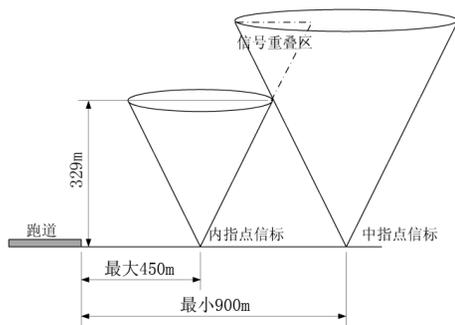
AC 中建议的试飞高度为  $1\ 000\text{ ft}$ , 对此笔者认

为有如下几点原因:(1)外指点信标一般安装在离跑道头 4nm 的地方,根据 3°下滑角,那么飞机经过外指点时的高度为: $H = \frac{4 \times 6076 \times 3 \times 3.14}{180} = 1271\text{ft}$ 。

(2)根据指点信标台的安装位置,内指和中指之间的最小距离为 450m(取内指信标的最大位置和中指点信标的最小位置即  $900\text{m} - 450\text{m} = 450\text{m}$ ),在高度较高时,中指点 and 内指点中间的某些点将同时收到内、中指点信标的信号,这将会造成不必要的混淆,如图 4(b)所示。如果试验高度过低,又会增加试验风险,综合考虑,将试飞高度定为 1000ft。



(a) AC 对指点信标的要求



(b) 内指点和中指点信标信号重合图

图 4 AC 对指点信标的要求及内、中指点信标信号重合图

## 2.2 试验点

指点信标包含内、中、外三个,试验是否需要一一飞越,这一点 AC 并未说清楚。根据表 2 指点信标的作用范围,内置点信标在垂直方向仅有  $150 \pm 50\text{m}$ ,那么在 1000ft 的高度,接收机应该是不能接收到有效信号的。另外并不是所有机场都有内、中、外三个指点信标。所以综合分析,给予的建议是:如果机场具有内、中、外三个指点信标,那么试验时可以一一飞越;如果在 1000ft 高度上,无法获取内指点信标信号,那么可以不将内指点纳入考核对象,中指点信号和外指点信标满足要求即可。

## 2.3 试飞构型

AC 要求飞机以起落架和襟翼构型组合进行多

次试验,一般来讲,指点信标天线安装在机腹中间位置,靠近主起落架,而襟翼对天线的接收性能不会有太大影响,因此试飞时可以以进近构型,起落架在一次收起、一次放下共进行两次试验即可。但按照正常程序飞机在 1500ft 高度时,起落架必须打开,这意味着 1000ft 高度起落架收起的平飞会有风险,因此要做好风险分析和相应的预案。

## 3 结合试飞分析

指点信标系统作为仪表着陆的一部分,在飞机每次着陆过程中都会被用到,为了指点信标而需要单独进行架次试飞,未免有些浪费,因此本文提出利用正常着陆时测试的参数来验证指点信标符合性。

### 3.1 可行性分析

指点信标系统属于仪表着陆(ILS)的一个子系统,在飞机着陆经过指点信标台上空时会自动激活给飞行员以相应的提示,因此利用监控的 PDF 画面和驾驶舱录音来获取指点信标视觉和音频持续时间,并结合飞机的地速和高度可以完成符合性判据的分析。对于 AC 中要求评估飞机构型对指点信标信号接收的影响(起落架和襟翼),可以在其他科目试飞的任务单中增加相应的操作来完成。因此指点信标结合试飞可行性很强。另外,由于指点信标结合试飞对飞机没有复杂的测试改装要求,在这个试飞周期中,几乎所有的着陆过程数据都可用于指点信标分析,所以执行简单,并且获得数据量可观。

### 3.2 结合试飞的难点

结合试飞最大的问题来自符合性判据的设计,AC 中给予的判据是针对 1000ft 下飞机以一定速度平飞时指点信标音频和视觉持续的时间,而正常着陆时飞机是以一定的下滑角下降的,那么飞机飞越每个指点信标上空的音频和视觉持续的时间都不一样,还会因为指点信号台的安装位置、飞机的下滑角和地速等不一样。由于指点信标台发射锥角的不确定性,按照指点信标信号发射锥角和飞机高度来设计判据不可行。按照等比例原理来设计符合性判据,即在 1000ft 高度下,指点上空 2000ft ~ 3000ft 范围内,指点信标指示器亮起,那么在 500ft 的高度下,等效的指示器亮起的飞行距离大约为 1000ft ~ 1500ft。

具体的计算方法如图 5 所示。

(下转第 104 页)

(A318、A319、A320、A321-100)模型预测误差几乎都是负的或是近乎是负的,而对于波音737系列飞机(737-600、737-700、737-800、737-900ER)来说,模型预测的结果偏向于正的相对误差,这个结果可能预示波音空客在各自产品上的定价策略有所不同,即A320系列的目录价定价较高,而737系列的目录价定价偏低。不同的定价策略各有利弊:较高的目录价可以给后续的合同谈判中留下较大的余地,方便飞机制造商根据客户的具体需求以及偏好制定不同的定价策略,从而获取尽可能高的利润;而较低的价格则是为了争抢市场份额,尽量扩大市场份额。空客在A320系列上偏高的定价和波音在竞争机型波音737系列上偏低的定价也许就体现出了两家公司为了争夺窄体机市场,分别采用了不同的定价策略。

## 5 结论

本文利用OLSR方法对波音公司和空客公司的大型客机目录价格进行了回归分析,确定了四个对价格具有重要影响的因子,分别是座级、航程、最大商载和货舱容积,并给出了四个解释变量对价格的影响程度。所得到的模型结构清晰,预测精度良

好,结论合理,对大型客机的目录价格定价提供了有力的参考依据,具有很强的实际应用价值。

### 参考文献:

- [1] 李寿安,张恒喜,等. 偏最小二乘回归在军用飞机价格预测中的应用[J]. 航空学报,2006,27(3):600-604.
- [2] 李寿安,张恒喜,等. 军用飞机采购价格预测研究[J]. 火力与指挥控制,2007,32(1):81.
- [3] Boren HE. DAPCA: a computer program for determining aircraft development and production costs[M]. RAND Cooperation,1967.
- [4] Marquardt D W. Generalized inverse, ridge regression and bias linear estimation [J]. Technometrics, 1970(12):591.
- [5] 贾晨,谢衷洁. 中国福利彩票销售额影响因素分析与基于残差主成分分析的预测[J]. 数理统计与管理,2009,28(2):191-203.
- [6] Catterjee S, Hadi A S. Regression analysis by example [M]. New York: John Wiley & Sons, 2006.
- [7] Mantel N. Why stepdown procedures in variable selection [J]. Technometrics, 1970(12):621.
- [8] 陈迎春,宋文滨,等. 民用飞机总体设计 [M]. 上海:上海交通大学出版社,2010.

(上接第71页)

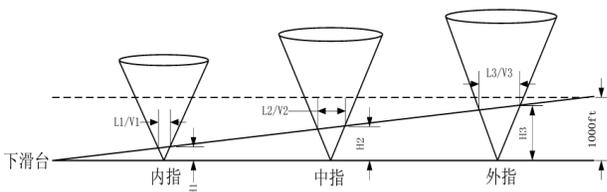


图5 结合试飞符合性判据设计

以外指点信标为例,利用GPS信息和信标台位置获取飞机经过外指点信标台中心时飞机的无线电高度 $H_3$ ,那么在这个高度指点信标有效距离 $L_3 = \frac{(2\ 000-3\ 000)}{1\ 000} H_3 = (2-3) H_3$ 。结合飞机当时的平均地速 $V_3$ ,那么理论上经过外指点信标时音频和视频持续的时间为 $t = \frac{L_3}{V_3}$ ,再将这个时间与理论上的时间相比即可。

## 4 结论

本文首先介绍了指点信标的功能和基本原理,

并对影响指点信标试飞的信标台发射锥角和信号覆盖范围进行了分析,然后依据AC建议的试飞方法,提出了完整的试飞方案,并分析了存在问题和风险。

结合上述分析,本文提出了一种新的结合试飞方案——从正常着陆中获取需要的参数作为指点信标符合性的分析,并设计了可接受判据,为民机指点信标试飞提供参考。

### 参考文献:

- [1] 陈高平,邓勇. 航空无线电原理(下册)[M]. 北京:国防工业出版社,2005:430.
- [2] 航空无线电导航设备第1部分:仪表着陆系统(ILS)技术要求[S]. MH/T 4006.1-1998.
- [3] 王世锦. 机载雷达与通信导航设备[M]. 北京:科学出版社,2010:264.
- [4] Lan Moir Allan Seabridge. Civil Avionics Systems [M]. London:St Edmundsbury Press,2003:131.
- [5] 航空无线电导航台站电磁环境要求[S]. GB 6364-86.