

文章编号: 1006-1355(2014)03-0082-04

# 确定切入飞行等效剖面的方法研究

闫国华, 段子瑜

(中国民航大学 航空工程学院, 天津 300300)

**摘要:** 在飞机噪声适航审定过程中, 基准飞行试验耗时费力, 对试验场地要求严苛, 使用切入飞行程序能够有效地节约运营成本, 大幅降低所需的试验时间。使用切入飞行程序进行飞行试验时, 需要确定切入飞行与基准飞行轨迹有效的结合点来作为切入点, 飞行切入点的确定将影响整个飞行试验数据的获得以及飞机的飞行成本。通过对某型飞机的基准飞行数据分析以及基于基准飞行剖面几何求解得到切入点的位置, 确定整个切入飞行的等效剖面。

**关键词:** 声学; 切入飞行程序; 最大纯音修正感觉噪声级; 切入点

中图分类号: V216.5<sup>4</sup>

文献标识码: A

DOI编码: 10.3969/j.issn.1006-1355.2014.03.017

## Study on Cutting Flight Equivalent Profile Method

YAN Guo-hua, DUAN Zi-yu

(College of Aeronautical Engineering, Civil Aviation University of China, Tianjin 300300, China)

**Abstract:** In the process of aircraft noise certification, reference flight test procedure is time-consuming and costly, and has a strict demand of test site. While using the cutting flight procedure can save operating cost, and significantly reduce the time required for the testing. However, when using the cutting flight procedure, it is necessary to determine the valid combination of reference flight path and cutting flight path as an entry cutting point, which will affect the entire data and the cost of the test. In this article, according to the reference flight data analysis and geometric calculation of the reference flight profile, the position of the cutting point is obtained, and the entire cutting flight equivalent profile is determined.

**Key words:** acoustics; cutting flight procedure; maximum tone corrected perceived noise level; cutting point

随着民航事业的蓬勃发展以及人们环保意识的普遍提高, 飞机噪声<sup>[1]</sup>问题逐渐引起了各国政府以及环保组织的重视, 国际民航组织制定了航空器噪声审定的建议标准——《环境保护国际标准和措施》<sup>[2]</sup>, 把航空器按噪声水平分成第一、二、三标准的飞机。为了促进国内航空工业的健康发展并避免发达国家和地区淘汰的不符合3阶段标准的飞机流入我国而受到运行限制, 造成更大的经济损失和环境压力, 中国民用航空总局制定并颁布了中国民用航空规章《航空器型号和适航合格审定噪声规定》(CCAR-36)<sup>[3]</sup>。

航空器噪声合格审定程序<sup>[4]</sup>中规定, 进行有效的噪声合格审定, 必须测量航空器的进场、横侧和起飞噪声级, 而且测量点的位置也有严格的要求。如

图1, 进场基准噪声测量点位于跑道中心线延长线上离跑道入口2 000 m处, 起飞基准噪声测量点位于跑道中心线延长线离开始起飞滑跑点6 500 m处, 横侧基准噪声测量点位于与跑道中心线延长线平行并距该延长线450 m的边线上的一点, 起飞时飞机离地后在该点的噪声级最大。

图2说明了一个典型的基准飞机起飞剖面图<sup>[5, 6]</sup>, 飞机从A点松开刹车开始在地面滑跑到B点, 从B点开始离地加油以恒定的爬升角持续爬升, 直到到达F点实验结束。C点为10 dB降区间外前点, 也是下文中所述的切入飞行程序切入点, F点为10 dB降区间外后点。

但是使用基准飞行程序测量飞机噪声对试验场地的要求严苛, 且单次飞行耗费的人力、物力资源高, 试验时间长, 如果使用切入飞行程序, 则无需进行实际起飞和着陆, 从而在总质量较高时具有很大的成本和运营上的优势, 并可大幅降低所需的试验时间。场地选择问题可得到缓解, 同时试验时间较

收稿日期: 2013-06-25

作者简介: 闫国华(1964-), 男, 天津人, 中国民航大学航空工程学院教授, 主要从事飞机噪声及排放的研究。

E-mail: ghyan@cauc.edu.cn

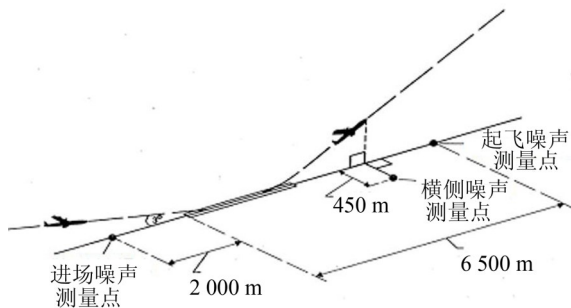


图1 基准航迹程序

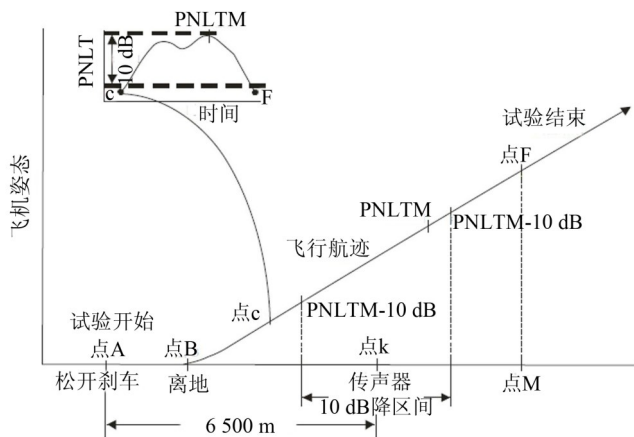


图2 基准起飞航迹程序

短使试验期间气象条件稳定的可能性更高。降低飞机磨损和油耗,而使噪声数据的一致性和质量提高。

在包含全推力起飞和减推力(功率)的各种推力(功率)情况下,飞机根据切入程序飞经横侧的和位于飞行航迹下方的传声器。图3是起飞试验等效起飞航迹程序,其中点C为等效切入点,飞机从A点保持恒定的高度飞到B点,从B点开始加油持续爬升,到C点后以恒定的爬升角爬升,在C点与起飞基准航迹交汇一直持续到噪声评审起飞基准航迹的终点。D点是理论起飞离地点,用来建立基准航迹。如果采用减推力,那么E点就是减推力起始点。F点为噪声评审起飞航迹的终点。

噪声合格审定试验期间,飞机在经批准的位于点C和点F之间的飞行航迹范围(见图2)之外飞行时所获得的噪声测量值被视为是无效的,要重复进行噪声测量。

在确定切入点C之前首先需要了解PNLTM(最大纯音修正感觉噪声级)的计算方法以及10 dB降的概念。

## 1 最大纯音修正感觉噪声级

### 1.1 瞬时感觉噪声级

在得到最大纯音修正感觉噪声级之前需要先计

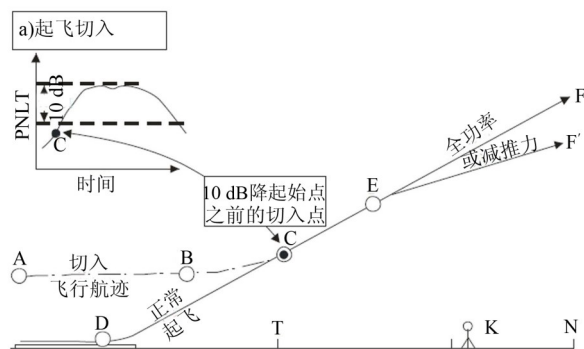


图3 切入飞行程序

算出瞬时感觉噪声级  $PNL(k)$ , 必须由各三分之一倍频程的瞬时声压级  $SPL(i, k)$  算出:

(1) 使用呐表的数学公式, 将 50 Hz 至 10 kHz 范围内的各三分之一倍频程的  $SPL(i, k)$  换算成感觉噪声度  $n(i, k)$ ;

(2) 用下列公式, 将第一步求得的感觉噪声度值  $n(i, k)$  相加

$$N(k) = n(k) + 0.15 \left\{ \left[ \sum_{i=1}^{24} n(i, k) \right] - n(k) \right\} =$$

$$0.85n(k) + 0.15 \sum_{i=1}^{24} n(i, k)$$

式中  $n(k)$  是 24 个  $n(i, k)$  值中的最大值,  $N(k)$  为总感觉噪声度;

(3) 用下列公式, 将总感觉噪声度  $N(k)$  换算成感觉噪声级  $PNL(k)$

$$PNL(k) = 40.0 + \frac{10}{\log 2} \log N(k) \quad (2)$$

### 1.2 纯音修正

考虑到人们对频谱不规则性的主观反应, 对每一个频谱都要计算纯音修正因子  $C(k)$ 。

在每 0.5 s 时间段上, 将纯音修正因子与感觉噪声级相加, 得到纯音修正感觉噪声级为

$$PNLT(k) = PNL(k) + C(k) \quad (3)$$

计算出所有纯音修正感觉噪声级的瞬时值, 并确定其最大值  $PNLTM$ 。

## 2 噪声持续时间(10 dB 降区间)

该期间为航空器起飞越顶时所测噪声级与  $PNLTM$  的差值在 10 dB 以内的这段时间 (即用于计算 EPNL 的这段持续时间)。当第一个传感器所处位置处的噪声级估计比预计的  $L_{A_{max}}$  大约低 20 dB(A) 时, 为了确保所记录噪声的持续时间足够长, 应启动记录系统, 并且航空器保持一个稳定的状态。在使

用飞行航迹切入方法期间,应注意确保在启动飞行航迹复飞程序之前,噪声级就已经下降到比  $L_{A\max}$  大约低 20 dB。

在确定对噪声持续时间内的界限加以规定的各个记录时,应该使用那些与实际 PNLTM - 10 dB 值最接近的 PNLTM 值的记录。因此,PNLTM - 10 dB 各点处的 PNLTM 值可能并不会总是大于或者等于 PNLTM - 10 dB。

为了说明如何正确地确定各个 10 dB 降点,图 4、图 5 中对 PNLTM 时间历程做了举例。该时间历程根据 1/2 s SPL 测量值计算出的各记录组成。阴影部分的记录  $K_M$  表示与 PNLTM 相关的记录。阴影部分的记录  $K_F$  和  $K_L$  分别表示第一个和最后一个 10 dB 降点。

在第一个例子中,与  $K_F$  相关的 PNLTM 值大于 PNLTM - 10。与  $K_L$  相关的 PNLTM 值小于 PNLTM - 10。

在第二个例子中,在  $K_M$  后有两个记录的值等于 PNLTM - 10。在此情况下,  $K_L$  为这两个记录的最后一个。第一个 10 dB 降点  $K_F$  为与 PNLTM - 10 之值最为接近的记录,可忽略位于该点之前的数值更大但却小于 PNLTM - 10 之值的任何记录。

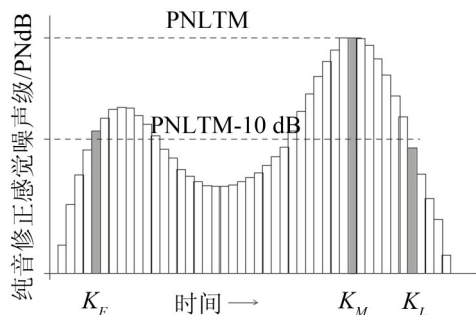


图 4 10 dB 降示例 1

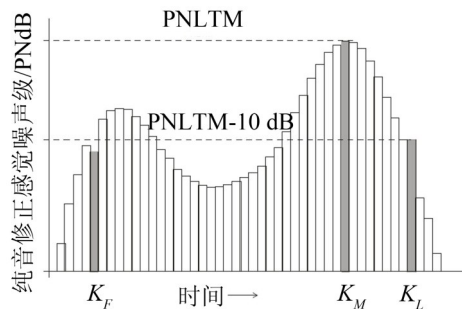


图 5 10 dB 降示例 2

### 3 确定飞行切入点 C

为了更好的了解等效飞行程序飞行切入点的获得,下面举一个实例,详细说明如何确定等效飞行切入点 C。首先试验场地和大气环境均达到噪声试验规定要求,试验仪器和设备满足 CCAR-36 规定。表一为测得的某型飞机基准起飞数据。

如图 6 所示,  $T_0$  为飞机离地点,  $T_1$  为最大纯音修正感觉噪声级测量时间,  $V$  为飞机起飞速度,  $V_1$  为起飞速度的水平投影速度,  $C$  为飞机飞行程序切入点,  $H$  为测量得到最大纯音修正感觉噪声级对应飞机的高度。

由于人为因素以及环境影响,每次飞行试验存在一定的误差,造成数据在允许范围内的变动,根据表 1 中的数据,对于 3.3.10 c。

飞机起飞地面投影速度

$$V_1 = V \cdot \cos \theta \quad (4)$$

已知飞机的爬升角度

$$\theta = 9.66 \text{ deg}$$

$$V = 160.63 \times 1.852 \text{ km/h} = 297.49 \text{ km/h} \quad (5)$$

$$V_1 = 297.49 \times \cos 9.66 = 293.27 \text{ km/h} \quad (6)$$

$$H = 1\,277.25 \times 0.3048 \text{ m} = 389.31 \text{ m} \quad (7)$$

表 1 某型飞机基准起飞数据

飞行编号	PNLTM 时间 $T_1$	PNLTM / dB	速度 / KIAS	高度 / 英尺
3.3.10c	14:36:36:500	94.63	160.63	1 277.25
3.3.11c	14:03:45:500	95.28	159.72	1 408.50
3.3.12c	14:23:58:300	93.58	159.89	1 488.50
3.3.13c	13:04:12:300	94.73	160.59	1 478.25
3.3.14c	14:13:48:300	94.28	157.75	1 534.75
3.3.17c	14:18:48:000	93.17	157.75	1 583.75
3.3.8c	14:41:40:000	97.14	156.02	1 413.00
3.3.9c	14:08:42:300	95.58	157.61	1 351.75

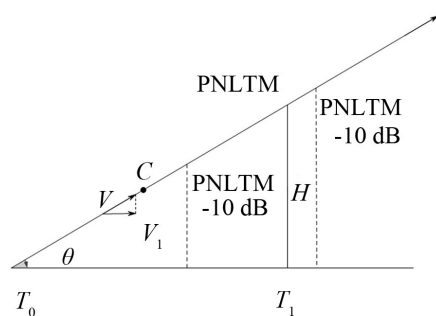


图6 基准起飞剖面

根据几何关系可以得到 PNLTM 距离飞机起飞地点的长度  $\overline{T_0T_1}$

$$\overline{T_0T_1} = \frac{H}{\tan \theta} = 2\,290.05 \text{ m} \quad (8)$$

由最大纯音修正感觉噪声级 PNLTM 可计算出第一个 10 dB 降和最后一个 10 dB 降对应的测量点及测量时间,由于切入点 C 应选在第一个 10 dB 降之前且在启动飞行航迹复飞程序之前,噪声级需下降到比  $L_{A \max}$  大约低 20 dB,再根据几何关系便可以求出 3.3.10 c 对应的切入点 C 的位置。通过分别计算表中各个飞行编号所对应的 C 的位置便可以得到切入点 C 的空间范围,切入点确定之后,便可以得出整个切入飞行的等效剖面。

(上接第 81 页)

噪声水平的高低,较高的隔声性能可有效隔绝发动机透过音,提高车内驾乘人员声品质。通过前述分析可得出如下结论:

(1) 泄漏量对高频隔声性能影响明显,当泄漏量为结构面积的 1/1 000 000 时,结构的隔声性能不会高于 60 dB,依此类推。另外,随泄漏量的增大,隔声性能的衰减向中频扩展;

(2) 覆盖率会限制材料的隔声水平,99 % 的覆盖率已能使隔声性能降低近 10 dB。同样,覆盖率对高频隔声性能影响较大,随覆盖率的减小,隔声性能的衰减向中频扩展;

(3) 材料隔声性能与材料的密度成正比,在控制泄漏及确保覆盖率的情况下,材料密度越大,则其隔声性能越佳;

(4) 整车内饰设计时,不能仅仅从材料的质量或平板样件隔声性能来确定内饰选材,还需充分考虑到内饰件的装配工艺及相关钣金件的加工工艺,只有如此,才能达到满足设计要求的隔声效果。否则,如不能控制泄漏、保证覆盖率时,更高隔声性能

## 4 结 语

通过对切入飞程序的研究着重介绍了最大纯音修正感觉噪声级 PNLTM 的计算方法以及通过最大纯音修正感觉噪声级如何确定 10 dB 降区间,利用几何关系求出切入点 C 的位置,最终确定整个切入飞行等效剖面。等效剖面的确定为噪声适航审定试验提供了重要的参考依据。

### 参考文献:

- [1] 唐狄毅,李文兰,乔渭阳. 飞机噪声基础[M]. 西安:西北工业大学出版社,1995.
- [2] ICAO, ANNEX 16 VOLUME I. International standards and recommended practices, aircraft noise[S]. Montreal, 1993.
- [3] CCAR-36-AC. 中国民航规章 36 部咨询通告[S]. 2008.
- [4] CCAR-36-AC (附件). 中国民航规章 36 部咨询通告(附件)[S]. 2008.
- [5] FAA, FAR 36, Noise standards: aircraft type and airworthiness certification[S]. 2003.
- [6] ECAC, CEAC. Report on standard method of computing noise contours around civil airports, volume 2: technical guide[S]. ECAC. CEAC, 3rd Edition, 2005.

的材料(更重)不但起不到应有的作用,反而会大大增加材料成本,适得其反。

### 文献参考:

- [1] Freeman Todd, Pickering D J. Analytical and experimental approach to acoustic package design[C]. SAE2009-01-2119.
- [2] 李晓政,黄其柏,等. 车辆室内噪声的统计能量分析优化仿真[J]. 噪声与振动控制, 2005(3): 29-32.
- [3] Claudio Bertolini, Theophane Courtois. An SEA-based procedure for the optimal definition of the balance between absorption and insulation of lightweight sound package parts[C]. SAE 2012-01-1527.
- [4] Chadwyck Musser, Jerome Manning, George Chaoying Peng. Prediction of vehicle interior sound pressure distribution with sea[C]. SAE 2011-01-1705.
- [5] Gerard Borello, Laurent Gagliardini. Virtual SEA: towards an industrial process[C]. SEA 2007-01-2302.
- [6] Wentzel Richard E, Aubert Allan C. An interactive approach to the design of an acoustically balanced vehicle sound package[C]. SAE 2007-01-2314.