

民用飞机噪声合格审定的切入飞行试验方法

闫国华, 周利敏

中国民航大学航空工程学院, 天津 300300

摘要 针对民用飞机噪声合格审定中重复多次进行相关飞行试验造成的成本高、耗时长问题, 为进一步降低民用飞机噪声合格审定成本、缩短审定周期, 基于国际民航组织规定的飞机噪声合格审定等效程序建立原则, 通过对飞机起飞和进场的噪声测量试验建立飞机噪声合格审定中的切入飞行程序, 从而构建完整的切入飞行试验方法。以某型喷气式飞机为例, 概述了10 dB降区间的确定方法; 设计了切入飞行试验方法, 对于未来ARJ21-700的衍生机型及C919的噪声合格审定具有重要的工程应用价值。

关键词 民用飞机; 噪声试验; 合格审定; 切入程序; 10 dB降区间

中图分类号 X593; V217*.1

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2014.24.011

Intercept Flight Test Method of Civil Aircraft Noise Certification

YAN Guohua, ZHOU Limin

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

Abstract Civil aircraft noise certification usually requires repeated flight tests, which is costly and time-consuming. This paper proposes a complete intercept flight test method to reduce the costs and shorten the certification period. The intercept flight procedures of take-off and approach noise measurement test were established based on the establishment principle of equivalent aircraft noise certification procedures approved by International Civil Aviation Organization. The method for determining 10 dB-down period is summarized with a specific type of jet as example. The intercept flight test method is of high application value for the noise certification of future ARJ21-700 derivative types and C919.

Keywords civil aircraft; noise test; certification; intercept procedures; 10 dB-down period

随着国际航空运输业的迅速发展及人们对民机环保性能的要求提高, 民航界对民机的噪声水平要求越来越高。过去50多年来, 由于民用航空发动机降噪技术的使用及民机设计水平的提高, 使得飞机的有效感觉噪声级持续降低, 尤其是高涵道比涡轮风扇发动机的广泛使用, 使民机的噪声水平大幅降低^[1]。这些技术取得进步的一个重要推动力来自于国际民航组织(international civil aviation organization, ICAO)、美国联邦航空局(federal aviation administration, FAA)等制定的民机噪声适航标准^[2,3], 并将其作为飞机适航取证的强制性标

准。在持续地修订中逐步提高强制性标准, 使民用飞机适应日益提高的环保要求。与此同时, 民用飞机噪声适航审定的成本也成了商用飞机公司必须面对的一个重要问题^[4], 降低飞机噪声合格审定的成本对于商用飞机公司具有重要的经济意义。

为了降低飞机适航审定的成本, 探究飞机合格审定的新方法, Duane等^[5]、Leissling等^[6]基于机体设计性能分析对飞机机体适航性审定方法进行了研究, Galea^[7]基于计算机模拟提出了飞机疏散适航性审定方法, Takahashi^[8]通过改变适航审

收稿日期: 2014-04-25; 修回日期: 2014-06-03

基金项目: 中国民用航空局适航技术研究项目(205001180109); 中央高校基本科研业务费项目(SY1451)

作者简介: 闫国华, 教授, 研究方向为发动机噪声与排放、噪声与振动控制, 电子信箱: ghyan@cauc.edu.cn; 周利敏(共同第一作者), 硕士研究生, 研究方向为飞机噪声适航、发动机噪声与排放, 电子信箱: zhou_limmin1988@163.com

引用格式: 闫国华, 周利敏. 民用飞机噪声合格审定的切入飞行试验方法[J]. 科技导报, 2014, 32(24): 68-72.

定要求提出了促进民用飞机效率和环保性能提高的相关方法。噪声合格审定是飞机适航审定的重要组成部分,尽管中国民用航空总局(civil aviation administration of China, CAAC)已颁布飞机噪声适航审定标准CCAR36部^[9],并开展了新舟60及ARJ700-21飞机的噪声合格审定工作,为国产大飞机C919的噪声合格审定工作积累了部分技术基础,但是在国内噪声合格审定相关的研究还比较欠缺,国外对飞机噪声和排放性能进行验证的虚拟仿真方法以及数值分析方法等进行了深入研究^[10-12],此外,对建立一种符合FAA实际飞行测试要求的虚拟飞行模拟器的可行性进行了探究^[13,14],这些研究对于降低飞机噪声合格审定的成本具有重要价值。针对飞机噪声合格审定中飞行试验次数多造成的审定时间过长和成本增加等问题,本文结合ICAO对喷气式飞机噪声合格审定等效程序的相关要求,建立一种民用飞机噪声合格审定的切入飞行试验方法。

1 10 dB降区间

10 dB降区间是飞机噪声合格审定中的重要概念,ICAO在附件16中规定^[3],航空器起飞越顶和进场时所测噪声级与最大纯音修正感觉噪声级(maximum tone corrected perceived noise level, PNLTM)的差值在10 dB以内的这段时间,即用于计算有效感觉噪声级(effective perceived noise level, EPNL)的这段持续时间,称为10 dB降区间。如果飞行试验中测量的数据不包含整个10 dB降区间,则这些数据不能用于计算飞机噪声合格审定中的有效感觉噪声级。为了使测量数据覆盖整个10 dB降区间,当飞机飞越第一个传感器所处位置的噪声级比预计的最大噪声级(maximum a-weighted sound pressure level, L_{Amax})大约低20 dB时,应启动噪声记录系统,并且使飞机保持稳定的状态,从而确保在启动飞行航迹的复飞程序之前,噪声级就已下降到比 L_{Amax} 大约低20 dB,符合使用切入飞行试验方法的要求。

为了得到有效的10 dB降区间,尽量使用在噪声测量中纯音修正感觉噪声级(tone corrected perceived noise level, PNLT)与实际PNLTM-10 dB最接近的测量记录,因为实际测量中PNLTM-10 dB处的PNLT值可能并非总是大于或者等于PNLTM-10 dB。图1和图2对如何确定10 dB降区间的第一个和最后一个10 dB降位置进行了示例。该时间历程由每隔0.5秒的声压级(sound pressure level, SPL)测量值计算所得PNLT值组成,详细的计算方法可见文献[3]的附件16,其中 K_M 表示与PNLTM相关的记录, K_F 和 K_L 分别表示第一个和最后一个10 dB降点。

从图1可知,与 K_F 相关的PNLT值大于PNLTM-10,与 K_L 相关的PNLT值小于PNLTM-10。对于图2的情况,在 K_M 后有2个值等于PNLTM-10,此时, K_L 为这2个记录的最后一个,第一个10 dB降点 K_F 为与PNLTM-10值最接近的记录,忽略位于该点之前数值更大且小于PNLTM-10的任何测量记录。

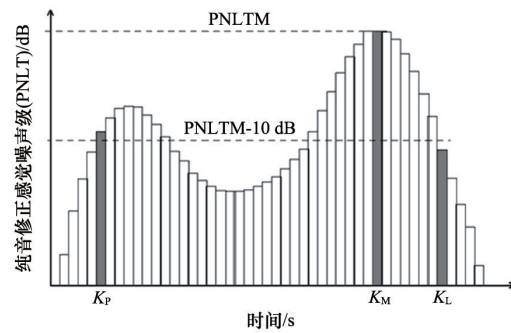


图1 10 dB降区间示例1

Fig. 1 Example one of 10 dB-down period

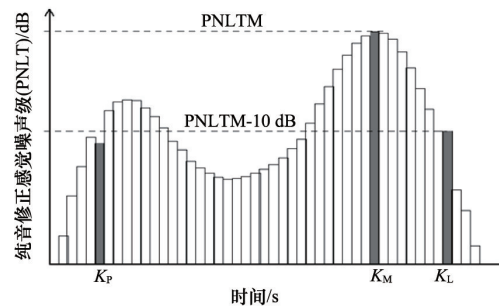


图2 10 dB降区间示例2

Fig. 2 Example two of 10 dB-down period

2 切入飞行试验方法

2.1 等效程序

等效程序是一种试验或分析程序。按照审定当局的技术判断,等效程序不同于文献[3]附件16中规定的程序,但实际上可得出与规定程序相同的噪声级^[15],这也是等效程序的建立原则。目前ICAO将等效程序分为两大类:普遍适用的等效程序和适用于某一特殊机型的等效程序。例如,一些等效程序可用于各种机型;但是某一给定试验程序可能仅适用于喷气式飞机,而不适用于涡轮螺旋桨飞机,即切入飞行试验方法是一种只适用于喷气式飞机的等效程序。

通常情况下,在型号飞机噪声合格审定中,商用飞机制造商向适航审定当局申请适用相关等效程序的主要目的,是尽量减少飞机试验时间、机场的使用,以及设备和人员费用,从而将适航审定的时间和费用降至最低。

2.2 基准飞行航迹

航空器噪声合格审定标准中规定,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(图3),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2000 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6500 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。

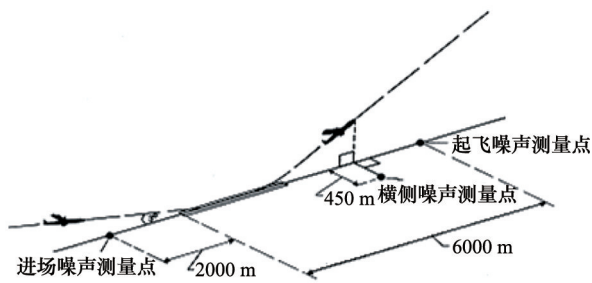


图3 基准航迹程序

Fig. 3 Reference flight path procedure

对于民用飞机噪声合格审定中的飞机噪声测量试验, ICAO对试验中的飞机起飞和进场航迹给定了基准程序^[15],图4就是典型的基准飞机起飞剖面图,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点试验结束,C点为10 dB降区间外前点,可作为起飞切入飞行试验的有效切入点。图5是典型的基准飞机进场剖面图,飞机从G点开始进入10 dB降区间,直到到达O点试验结束,O点也是10 dB降区间外后点,可作为进场切入飞行等效程序的中断点。

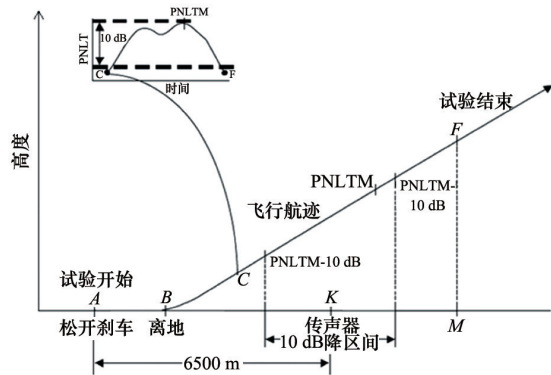


图4 基准起飞航迹程序

Fig. 4 Reference take-off flight path procedure

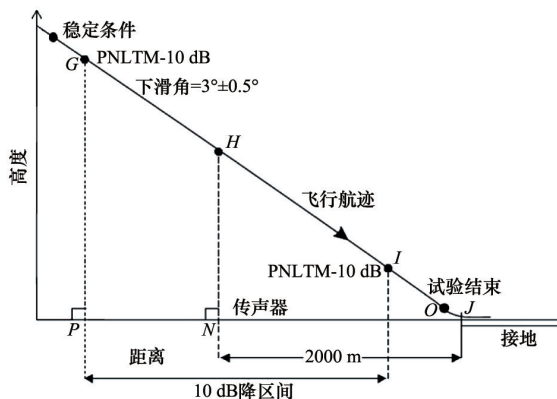


图5 基准进场航迹程序

Fig. 5 Reference approach flight path procedure

按照审定标准,要求至少在每个噪声测量点进行6次噪声测量,对于不同的测量点重复进行飞行试验,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,因此为了获得同样的测量结果,对于亚音速喷气式飞机,使用切入飞行试验方法是很好的替代方法。

在切入飞行时无需进行实际起飞和着陆,从而在总质量较高时具有很大运营成本优势,并可大幅降低所需的试验时间。场地选择问题可得到缓解,同时试验时间较短使试验期间气象条件稳定的可能性更高,还可降低飞机磨损和油耗,提高所测噪声数据质量。

2.3 切入飞行程序

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和位于飞行航迹下方的传声器。图6是起飞试验的等效切入程序,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F。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。

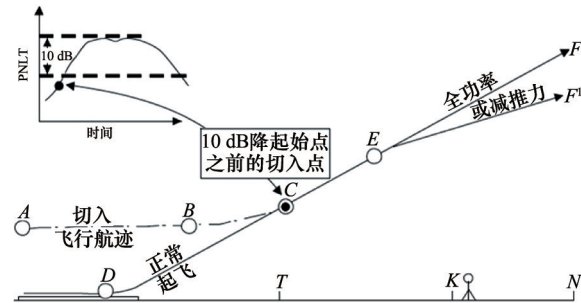


图6 起飞切入飞行程序

Fig. 6 Take-off intercept flight procedure

在飞机噪声合格审定的试验中,只有10 dB降区间内飞机的噪声值是有效的,飞机在经批准的位于点C和点F之间的飞行航迹范围(图6)之外飞行时,所获得的噪声测量值被视为是无效的,并且要重复进行噪声测量;经过多次复飞可测得不同的PNLTM值,进而依据10 dB降区间的要求确定对应的切入点C的位置,可得到起飞试验时对应的切入飞行剖面。

对于飞机进场试验,使用常规测量试验方法时飞机进场后将要着陆,重新准备下次飞行试验,而使用切入飞行试验方法时,飞机将不需要着陆直接进入下次飞行试验,直接从10 dB降终点后的中断点切入进行复飞,如图7所示,飞机进场的稳定飞行航迹覆盖整个10 dB降区间,符合噪声合格审定的要求,依据进场试验测量得到的声压级数据可求得飞机进场的PNLTM及对应位置和时间,进而确定中断点处的位

置;经过多次复飞可得到不同的PNLTM值,并确定对应的中断点的位置,从而得到进场试验时对应的中断切入飞行剖面。

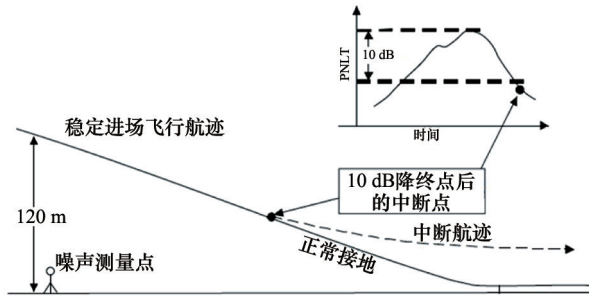


图7 进场切入飞行程序

Fig. 7 Approach intercept flight procedure

3 应用实例

为了充分说明切入飞行试验方法的使用方法及工程应用价值,以某型喷气式飞机在噪声合格审定中的测量噪声数据为例,详细说明如何确定起飞试验的飞行切入点和进场试验的中断点位置及相应切入飞行剖面。首先确认试验场地和大气环境均符合噪声试验规定要求,试验仪器和设备满足FAR36部及文献[3]附件16等的规定。表1和表2分别为某型飞机在噪声合格审定中的基准起飞数据和进场数据。

表1 某型飞机基准起飞数据

Table 1 Reference taking off data of an aircraft

飞行编号	PNLTM /dB	PNLTM 时间点 T_1	初始10 dB降 时间点 T_2	高度 H/m
3.1.1b	89.60	08:55:36.300	08:55:24.300	374.45
3.1.2a	89.90	09:09:01.000	09:08:55.000	352.43
3.1.3	89.93	09:14:12.000	09:14:00.500	336.96
3.1.4	88.85	09:25:26.500	09:25:18.500	362.71
3.1.5	88.08	09:30:10.000	09:30:00.500	399.90
3.1.6	89.26	13:12:03.800	13:11:56.800	346.94
3.1.7a	90.40	13:27:26.500	13:27:18.000	322.55
3.1.8	88.92	13:34:33.000	13:34:23.500	343.13

表2 某型飞机基准进场数据

Table 2 Reference approach data of an aircraft

飞行编号	PNLTM/dB	PNLTM 时间点 T_1	终止10 dB降时 间点 T_3	高度 H /m
3.4.1	93.16	15:46:02.500	15:46:08.000	127.41
3.4.2d	91.69	16:21:35.000	16:21:41.000	151.94
3.4.3	92.57	15:34:44.800	15:34:49.300	141.20
3.4.4	95.42	15:40:16.200	15:40:20.700	114.00
3.4.5d	94.60	10:19:19.000	10:19:24.500	144.55
3.4.6	93.56	10:56:29.000	10:56:38.500	146.91
3.4.7b	94.83	11:15:15.800	11:15:21.300	148.74
3.4.8a	95.05	15:28:24.500	15:28:28.500	117.42

对于飞机起飞过程,基准起飞剖面图如图8所示, S_0 为飞机离地点, S_1 为测量得到最大纯音修正感觉噪声级时飞机在地面的投影位置, 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;表1和表2中的 T_1 为最大纯音修正感觉噪声级PNLTM的测量时间点, T_2 为初始10 dB降位置的测量时间点, T_3 为终止10 dB降位置的测量时间点。只有确定了初始和终止10 dB降位置的测量时间点,才能获得完整的10 dB降区间,在确定使用切入飞行试验方法时的起飞切入和进场中断切入的飞行位置时,分别需要应用到初始10 dB降位置和终止10 dB降位置的测量时间点。

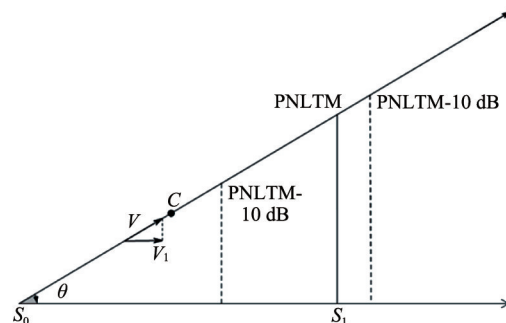


图8 基准起飞剖面

Fig. 8 Reference take-off profiles

由于飞行试验中的人为因素以及环境影响,每次飞行试验存在一定的偏差,造成数据在一定范围内的变动,只要符合局方批准的飞行航迹容差就有效。以编号为3.1.1b的飞行试验为例,为了确定该飞行试验的切入飞行位置,首先需要确定最大纯音修正感觉噪声级PNLTM的测量时间点 T_1 及初始10 dB降位置的测量时间点 T_2 。如表1所示,飞机噪声测量系统同时会得到对应时间下的飞机位置坐标,需采用ICAO接受的在飞机噪声适航审定中测量飞行航迹的方法。目前已有多种方法,比如雷达跟踪系统、经纬仪三角测量法、成像缩放比例技术和基于差分全球定位系统(differential global positioning system, DGPS)的时空位置信息跟踪系统等^[15]。

通常噪声合格审定时飞机的爬升角度 θ 是规定的,因此根据几何关系可以得到PNLTM距离飞机起飞离地点的长度 $\overline{S_0S_1}$ 等信息。依据10 dB降区间的确定方法,由最大纯音修正感觉噪声级PNLTM可计算出初始10 dB降点和终止10 dB降点对应的测量位置及测量时间,由于切入点 C 应选在初始10 dB降点之前,且在启动飞行航迹的复飞程序之前,要求噪声级下降到比 L_{Amax} 低大约20 dB,再根据几何关系便可求出编号为3.1.1b的飞行试验中对应的切入点 C 的位置。通过分别计算表1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,进而可得到该型飞机在起飞噪声合格审定中使用切入飞行试验方法时有效的等效飞行剖面。

同样,对于飞机进场过程,如图5所示,依据切入飞行试验方法的要求,首先需要确定最大纯音修正感觉噪声级

PNLTM 的测量时间点 T_1 及终止 10 dB 降位置的测量时间点 T_3 , 见表 2, 以编号为 3.4.1 的飞行试验为例, 进而根据测量系统可知对应时刻的飞机位置, 飞机进场中断切入飞行的位置必须在终止 10 dB 降位置点 I 之后, 从而覆盖整个 10 dB 降区间, 与飞机噪声合格审定中单次进场落地后重新试验等效。结合相应的几何关系便可以求得飞行试验 3.4.1 的进场中断点位置, 依据同样的方法可以得到其他飞行试验的进场中断点位置, 最后得到该型飞机在进场噪声合格审定中使用切入飞行试验方法时有效的等效飞行剖面。

在确定起飞和进场试验的切入飞行剖面的基础上, 该型号飞机只需要在一次飞行试验中按照切入飞行程序进行循环复飞 6 次以上就可以测量得到起飞噪声级和进场噪声级等数据, 然后对噪声测量结果进行纯音修正和持续时间修正就可以得到符合噪声合格审定要求的有效感觉噪声级数据, 相比于重复组织 6 次以上的飞行试验, 不仅可以有效降低试验的经济成本, 还能减少试验所需要的时间, 从而缩短民用飞机噪声合格审定的周期, 国产大飞机 C919 的型号适航取证工作即将开始, 因此切入飞行试验方法对于 C919 飞机的噪声合格审定具有重要的工程应用价值。

4 结论

1) 通过研究 10 dB 降区间, 介绍了通过最大纯音修正感觉噪声级 PNLTM 确定 10 dB 降区间的方法, 依据等效程序的建立原则建立了完整的切入飞行程序。

2) 依据切入飞行程序, 利用飞行试验中的几何关系可以求出起飞切入点和进场中断点位置, 最终通过多次飞行试验的数据可确定飞机在噪声合格审定中使用切入飞行试验方法时有效的等效飞行剖面。

3) 对于民用飞机噪声合格审定, 使用切入飞行试验方法时, 不需要重复进行多次飞行, 只需要在一次飞行试验中从起飞切入点和进场中断点进行切入循环复飞就可符合要求, 可降低噪声合格审定的成本, 并缩短审定的周期。

参考文献 (References)

- [1] 乔渭阳. 航空发动机气动声学[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2010: 1-8.
Qiao Weiyang. Aero-engine aeroacoustics[M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2010: 1-8.
- [2] Federal Aviation Administration. Federal Aviation Regulation 36-2003, Noise standards of aircraft type and airworthiness certification[S]. Washington: FAA, 2003.
- [3] International Civil Aviation Organization. Annex 16 Volume I 6th edition-2011, International standards and recommended practices of aircraft noise[S]. Montreal: ICAO, 2011.
- [4] Masters M. Modeling FAA certification costs for derivative commercial aircraft[C]. Aircraft Design Systems and Operations Meeting, Monterey CA, August 11-13, 1993.
- [5] Duane E V, Christopher L C. A perspective on design and certification [C]. 46th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures Structural Dynamics

& Materials Conference, Austin Texas, April 18-21, 2005.

- [6] Leissling D, Gestwa M, Bauschat J M. In-flight simulation in support of an aircraft certification process[C]. AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference and Exhibit, Austin Texas, August 11-14, 2003.
- [7] Galea E R. Proposed methodology for the use of computer simulation to enhance aircraft evacuation certification[J]. Journal of Aircraft, 2006, 43 (5): 1405-1413.
- [8] Takahashi T T. Regulatory changes to enable the development of more efficient transport category aircraft[J]. Journal of Aircraft, 2013, 50(5): 1353-1368.
- [9] 中国民用航空总局. CCAR-36-R1 第 182 号令-2007, 航空器型号和适航合格审定噪声规定[S]. 北京: 中国民用航空局, 2007.
Civil Aviation Administration of China. CCAR-36-R1 No.182-2007, Aircraft type and noise airworthiness certification regulations[S]. Beijing: CAAC, 2007.
- [10] Tabaste, Olivier. A route toward virtual certification of aircraft[C]// Proceedings of 27th Congress of the International Council of the Aeronautical Sciences. Stockholm, Sweden: ICAS Secretariat, 2010: 3924-3930.
- [11] Takahashi T T. Law and engineering: An alternative approach to develop more efficient transport category aircraft[C]. 50th AIAA Aerospace Sciences Meeting including the New Horizons Forum and Aerospace Exposition, Tennessee Nashville, January 9-12, 2012.
- [12] Damiano C, Swen N, Ehab F, et al. Towards numerical aircraft noise certification: Analysis of a full-scale landing gear in fly-over configuration[C]. 18th AIAA/CEAS Aeroacoustics Conference, Colorado Springs, June 04-06, 2012.
- [13] Perhinschi M G, Mullins S, Evans P, et al. Computational environment for the development of an FAA compliant flight simulator[C]. AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference, Ontario Toronto, August 02-05, 2010.
- [14] Cameron N, Webster M, Jump M, et al. Certification of a civil UAS: A virtual engineering approach[C]. AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference, Oregon Portland, August 8-11, 2011.
- [15] International Civil Aviation Organization. ICAO doc 9501-2010, Environmental technical manual, Volume I, Procedures for the noise certification of aircraft[S]. Montreal: ICAO, 2010.

(编辑 陈华姣)

《科技导报》“研究论文”栏目征稿

“研究论文”栏目专门发表自然科学、工程技术领域具有创新性的研究论文, 要求学术价值显著、实验数据完整、具有原始性和创造性, 同时应重点突出、文字精炼、引证及数据准确、图表清晰, 并附中、英文摘要以及作者姓名、所在单位、通信地址、关键词等信息。在线投稿: www.kjdb.org。