

基于动态冲击试验的通勤类飞机座椅符合性验证技术

孙金波

(中国民用航空沈阳航空器适航审定中心, 沈阳 110043)

摘要:国产某型民用通勤类飞机为了取得欧洲航空安全局(EASA)型号合格证,机上座椅需进行设计更改并补充进行应急着陆情况下的动态要求符合性验证。通过对适航条款及相应标准的解读,研究了基于动态试验的航空座椅动态要求适航验证技术,其主要包括座椅动态性能基本要求、试验构型及工况筛选、试验规划、合格判据和试验结果分析等内容。结果表明,该型机旅客座椅满足适航规章对座椅的动态性能要求。该项旅客座椅动态性能试验的成功为型号取得 EASA 型号合格证奠定了良好的基础,该型飞机也即将成为第一个取得欧洲型号合格证的国产飞机。

关键词:通勤类飞机;旅客座椅;动态冲击试验;适航

中图分类号:V223 **文献标志码:**A **文章编号:**1671-1807(2021)04-0284-06

旅客座椅是通勤类飞机主要机载设备之一。旅客进入客舱后,绝大部分活动都在座椅上进行,座椅对旅客在客舱内的舒适性和安全性^[1]起到至关重要的作用。旅客座椅不仅是飞机的必不可少的组成设备,同时也直接影响着客舱的安全^[2],是保护乘员不受致命伤害的最后一道屏障^[3],进而影响到飞机的适航性^[4]。座椅主结构通过吸能系统等的设计,可有效保证旅客在应急情况下承受的过载不超过人体生理耐限,座椅约束系统可保证在应急情况下,将旅客牢固地固定在座椅上,避免与机上设备发生碰撞而受到二次伤害。

某型通勤类飞机客舱采取 19 座布局,座舱通道左侧布置 5 个单人旅客座椅,右侧布置 7 个双人旅客座椅。该型机在取得中国民用航空局(CAAC)颁发的型号合格证之后,申请欧洲航空安全局(EASA)型号合格证。EASA 通过颁发编号为 CRI-A-01 的审定评审项(CRI)确定了审定基础为 CS-23 Amendment3。与原审定基础 CCAR-23-R3^[5]相比,增加了 CS23.562 条款作为审定基础,明确了该型飞机旅客座椅必须满足相应的动态要求,并通过 CRI-A-08 将其定义为重大规章差异项(SRD),确定为 EASA 的认可审查项(VI),并且作为 EASA 直接审查项目。经过分析及科研试验,原旅客座椅无法满足 CS23.562 的动态要求,因此,首先对该型机原有旅客座椅进行了改型设计,然后再通过动态冲击试验对改型后的旅客座椅进行符合

性验证。

动态试验对完成人椅约束系统在动载环境下使用安全性评估具有不可替代性^[6]。本研究通过解读相应适航条款及标准,确定其符合性方法及验证试验方案,开展基于加速型水平冲击滑车的航空座椅动态要求适航验证试验,以此表明对相关适航条款的符合性。

1 座椅动态性能基本要求

1.1 适用规章及标准

对通勤类飞机旅客座椅的动态要求来源于 CS23.562 条款,该条款要求:飞机上的座椅和约束系统,必须设计成在应急着陆时能保护乘员。每一个座椅和约束系统,必须按照规章规定的每一条件成功地完成动力试验或者用有动力试验支持的合理分析来证明。

座椅属于技术标准规定(CTSO)项目,CTSO-C127b^[7]中也对小飞机的座椅提出了相应的动态要求,其主要内容源自于 SAE AS 8049B^[8]。

符合性验证过程比较复杂,且适航规章和技术标准规定中对一些试验细节描述不够详尽,在 CS-23 的 BOOK 2 中给出了推荐的局方可接受的符合性方法(AMC),其中 AMC 23.562 指出,FAA 的咨询通告 AC23.562-1^[9]可以作为表明符合 CS-23 关于座椅/约束系统动态要求的可接受的符合性方法。

相较于 AC23.562-1,AC25.562-1B^[10]的内容

收稿日期:2020-11-21

作者简介:孙金波(1969—),男,黑龙江哈尔滨人,中国民用航空沈阳航空器适航审定中心,高级工程师,硕士,研究方向为飞机结构强度适航审定。

更为完善、详细、可操作性强，因此，在满足 AC23.562-1 要求的前提下，本项目试验过程的具体实施细节主要参考 AC25.562-1B。

1.2 基本要求

根据适航规章要求，对于通勤类飞机座椅的动态要求主要包括垂直冲击和水平冲击两部分，主要参数要求如表 1 所示。

表 1 主要参数要求

序号	相对座舱地板的加载方向	加速度峰值/g	到达峰值时间/s	速度变化量/(m·s ⁻¹)
1	垂直冲击 第 1 排座椅	≥19	≤0.05	≥9.4
2	垂直冲击 其他排座椅	≥15	≤0.06	≥9.4
3	水平冲击 第 1 排座椅	≥26	≤0.05	≥12.8
4	水平冲击 其他排座椅	≥21	≤0.06	≥12.8

座椅试验件状态(含座椅垫和约束系统)必须代表最终产品的真实状态,此外由座椅或约束系统进行承担或定位的其他质量项目也必须模拟,如救生装置等。试验件的安装状态应能代表实际的安装状态,导轨也必须代表座椅导轨的实际安装特征。试验安装架应具备根据需要模拟地板变形的能力,除非型号装机规范中对应急着陆条件下的地板变形没有要求或不考虑。

另外非常重要的一点是,动态试验结果必须表明乘员不受到严重的头部损伤,如果乘员可能撞击附近任何设备^[11],则必须给乘员提供保护,并证明头部损伤判据(HIC)不超过 1 000,HIC 值计算公式^[12]为

$$HIC = \left\{ (t_2 - t_1) \left[\frac{1}{(t_2 - t_1)} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right]^{2.5} \right\}_{\max}$$

(1)

式中: t_1 为积分初始时间,s; t_2 为积分终止时间,s; $(t_2 - t_1)$ 为主要头部撞击持续时间,s; $a(t)$ 为头部重心处合成负加速度,以 g 的倍数表示。

2 计算分析

2.1 试验座椅构型筛选

该型机的单人旅客座椅和双人旅客座椅的椅腿、侧支板、安全带、椅背结构均完全相同,仅座位数量不同,两型座椅的主传力路径一致,参考 AC23.562-1 中的定义,该两型座椅为同一家族座椅。

AC23.562-1 中指出,对于构型相似的家族座椅,只需选择试验中受载最严酷的座椅构型进行试验。通过对座椅施加水平向前的静态载荷的计算分析,来选择座椅椅腿后连接件载荷最大的座椅作为水平冲击的试验对象。通过对座椅施加垂直向下的静态载荷的计算分析,然后选择不同座椅椅腿后连接件的载荷最大的座椅作为垂直冲击的试验对象。

综合考虑适航规章要求和某型飞机飞行载荷包线情况,在飞机满座状态下,计算得到座椅椅腿后连接件的载荷如表 2 所示。

表 2 椅腿后连接件载荷

加载工况	椅腿连接件位置	双人座椅载荷/N	单人座椅载荷/N
向前加载	左后	17 848.39	4 292.68
	右后	9 578.29	8 892.56
向下加载	左后	3 112.95	784.75
	右后	2 041.01	1 438.84

由表 2 可知,向前加载情况下,载荷最大值出现在双人旅客座椅的左后椅腿连接件,载荷为 17 848.39 N。向下加载情况下,载荷最大值出现在双人旅客座椅的左后椅腿连接件,载荷值为 3 112.95 N。因此,水平冲击试验和垂直冲击试验均应选择双人旅客座椅构型进行。

此外,对于家族座椅中,椅腿间距最小的座椅,还应进行水平冲击试验前的地板变形测试,因此,单人旅客座椅需要单独进行地板变形试验。

2.2 地板变形工况筛选

根据 SAE AS8049B 要求,在进行水平冲击试验前,应通过试验支架或工装来模拟产生地板变形,即通过工装使座椅一侧滑轨下俯或上仰 10°,另一侧滑轨顺时针或逆时针滚转 10°,以验证在坠撞力作用下虽然飞机及座椅已严重变形,但座椅仍然连接在飞机机体上。同时,试验时还应考虑偏航的影响,使座椅向左或向右偏航 10°。

根据表 2 计算结果,双人旅客座椅左后椅腿连接件载荷最大,所以右椅腿下俯 10°可使受拉载荷最严酷的左后椅腿连接件受拉趋势增大;左椅腿逆时针滚转 10°可背离因右椅腿下俯导致左椅腿向座椅中心翻转的趋势,使左后椅腿载荷更严酷;座椅左偏航 10°安装,可使冲击方向指向俯仰梁下俯的椅腿锁,加剧下俯趋势,并加剧滚转侧后椅腿锁的受拉程度,使座椅在地板变形时受载最严酷。综

所述,双位旅客座椅水平冲击试验地板变形工况确定为:右椅腿下俯 10°,左椅腿逆时针滚转 10°,座椅左偏航 10°。

根据表 2 计算结果,单人旅客座椅右后侧椅腿连接件载荷最大,同样道理可确定,其地板变形试验工况确定为:左椅腿下俯 10°,右椅腿顺时针滚转 10°,座椅右偏航 10°。

3 试验规划及合格判据

通过以上分析,为充分验证旅客座椅满足规章的动态要求,该型机旅客座椅共规划了 5 组动态试验,分别为垂直冲击试验、水平冲击试验、地板变形试验、C 区 HIC 试验和 AB 区 HIC 试验。

根据 SAE AS8049B 要求,如客舱第 1 排座椅的布置使乘员头部能够撞击到前部构件,则第 1 排座椅动态试验的主要参数将有别于其他排座椅,如表 1 所示,该型机客舱第 1 排座椅参考点距前隔板距离为 42.3 in(1 in=25.4 mm),大于 AC25.562-1B 中要求的 42 in,可以不单独考核第 1 排座椅的动态性能,所以该型机旅客座椅动态试验主要应符合表 1 中序号 2 和序号 4 所要求的参数。

动态试验的试验设备主要包括动态冲击试验台车系统(加速台)、摄像系统、测试系统等。对试验原始记录数据的处理采用低通数字滤波的方法,按照 SAE J211 标准执行,以保证满足试验要求。试验温度、湿度、座椅状态、假人脚踏板及变形测量等细节按 SAE AS8049B 要求执行。

3.1 垂直冲击试验

3.1.1 试验规划

垂直冲击试验使用双人旅客座椅安装 2 个假人进行,假人使用适航当局认可的拟人试验模型(ATD),其名义重量为 77 kg,坐在正常的向上位置。CS23.562 条款要求的冲击方向为下偏 30°,考虑到试验台现状和易操作性,通过三脚架,将下偏 30°转换为向前水平上仰 60°,如图 1 所示,转换后,试验座椅垂向仍然与冲击方向保持 30°。同时,在座椅试验件上配置 2 个 0.94 kg 的救生衣配重块和 2 个 1.38 kg 的杂志袋配重块,以模拟飞机座椅的实际状态。

3.1.2 合格判据

合格判据主要包括:①座椅结构的变形符合 SAE AS8049B 中第 3.5 节的要求;②在假人骨盆和腰椎之间测得的最大压缩载荷不超过 6.67 kN;③座椅结构与所有连接点保持连接,主要载荷传递

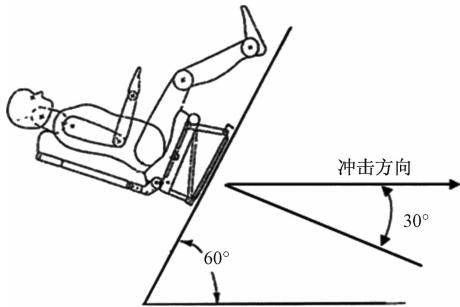


图 1 垂直冲击座椅安装示意图

路径保持完好;④约束系统能经受动态载荷,与所有连接点保持连接;⑤整个试验过程骨盆约束带保持在假人的骨盆上;⑥结构永久变形不致显著地妨碍乘员应急撤离。

3.2 水平冲击试验

3.2.1 试验规划

水平冲击试验使用双人旅客座椅安装 2 个假人进行,座椅沿冲击方向左偏 10°安装。冲击前,通过地板变形工装实现右椅腿下俯 10°,左椅腿逆时针滚转 10°,地板变形工装如图 2、图 3 所示,并配置 2 个 0.94 kg 的救生衣配重块、2 个 1.38 kg 的杂志袋配重块和 2 个 9.3 kg 的行李箱配重块。

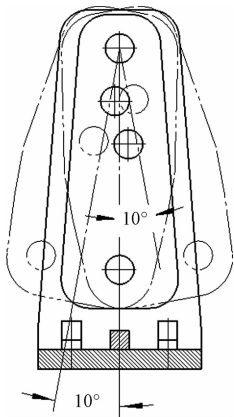


图 2 滚转变形工装示意

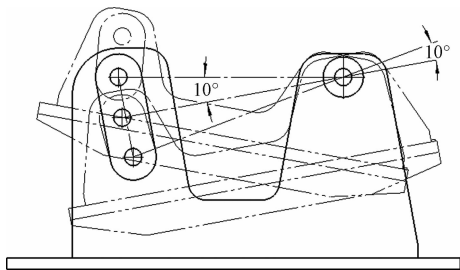


图 3 俯仰变形工装示意

3.2.2 合格判据

除不需测量假人骨盆和腰椎之间载荷外,水平

冲击试验的合格判据与垂直冲击试验相同。

3.3 地板变形试验

3.3.1 试验规划

地板变形试验使用单人旅客座椅安装 1 个假人进行,椅腿变形程序及使用工装与水平冲击试验相同,选用配重块与水平冲击试验相同,配重块数量均为 1。

3.3.2 合格判据

合格判据为:座椅结构与所有连接点保持连接,主要载荷传递路径保持完好。

3.4 HIC 试验

3.4.1 试验规划

HIC 试验主要参数与水平冲击试验相同,但不需要模拟地板变形和配重,采用前后 2 排双人座椅,座椅排距按该型飞机舱内布置要求为 32 in 固定排距。

C 区 HIC 试验时,座椅安装无须偏航,后排座

椅左侧安装 1 个假人,采集假人头部撞击前排座椅靠背中部的 HIC 值。

AB 区 HIC 试验时,座椅右偏航 10°安装,后排座椅安装 2 个假人,采集假人头部撞击前排座椅靠背左侧和右侧的 HIC 值。参考 AC25.562-1B,AB 区 HIC 试验的前排座椅进行了改装,将右座靠背结构进行了对称,以保证在右偏航 10°的情况下,后排安装 2 个假人撞击 1 次即可获得假人头部撞击靠背左侧和右侧的 2 个 HIC 值。

3.4.2 合格判据

HIC 试验合格判据为:座椅结构与所有连接点保持连接,主要载荷传递路径保持完好的情况下,采集到的 HIC 值不大于 1 000。

3.5 试验加载要求

根据上述分析,最终在座椅动态试验大纲中确定并得到局方批准的试验加载要求如表 3 所示。

表 3 试验加载要求

试验项目	俯仰角/ (°)	偏航角/ (°)	地板变 形角/(°)	加速度 峰值/g	到达峰 值时间/s	速度变化量/ (m·s ⁻¹)	脉冲 波形
垂直冲击	上仰 60	无	无	≥15	≤0.06	≥9.4	三角波
水平冲击	无	向左偏航 10	右椅腿下俯 10,左椅腿逆时针滚转 10	≥21	≤0.06	≥12.8	三角波
单座地板变形	无	无	左椅腿下俯 10,右椅腿顺时针滚转 10	无	无	无	无
C 区 HIC	无	无	无	≥21	≤0.06	≥12.8	三角波
AB 区 HIC	无	向右偏航 10	无	≥21	≤0.06	≥12.8	三角波

4 试验结果及分析评定

4.1 垂直冲击试验

垂直冲击试验后座椅及假人状态如图 4 所示,实测加载曲线如图 5 所示。

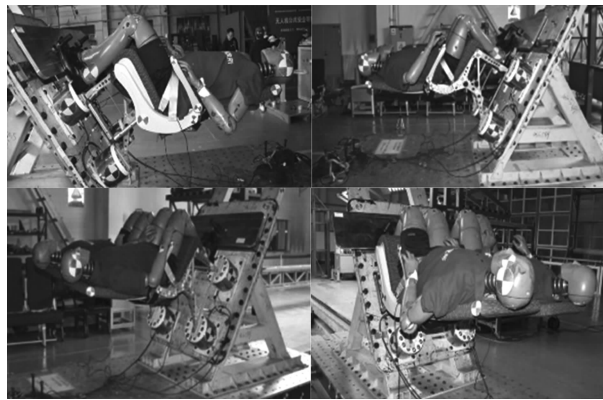


图 4 垂直冲击试验图

实测的主要数据如下:加速度峰值为 15.080g,加速度峰值上升时间为 0.057 s,速率变化最大值为 10.122 m/s,左侧假人腰推力峰值为 3.003 kN,右侧假人腰推力峰值为 4.817 kN。

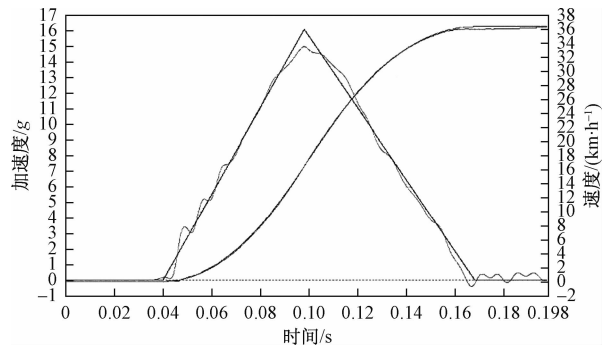


图 5 垂直冲击试验台车运动参数

垂直冲击试验后检查结果:座椅结构与所有连接点保持连接,主要载荷传递路径保持完好。乘员约束系统能经受动态载荷,与所有连接点保持连接。整个试验过程骨盆约束带保持在假人的骨盆上。

经分析,垂直冲击试验结果满足各项合格判据要求。

4.2 水平冲击试验

水平冲击试验后座椅及假人状态如图 6 所示,实测加载曲线如图 7 所示。

实测的主要数据如下:加速度峰值为 21.491g,加速度峰值上升时间为 0.056 s,速率变化最大值为 13.630 m/s。

水平冲击试验后检查结果:座椅结构与所有连接点保持连接,主要载荷传递路径保持完好。乘员约束系统能经受动态载荷,与所有连接点保持连接。整个试验过程骨盆约束带保持在假人的骨盆上。

经分析,水平冲击试验结果满足各项合格判据要求。

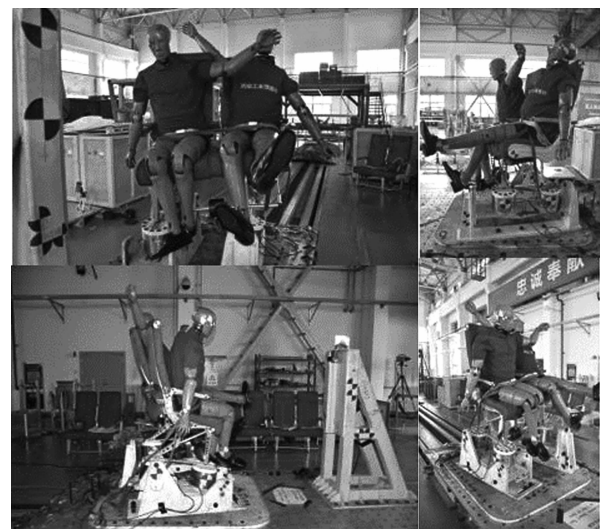


图 6 水平冲击试验图

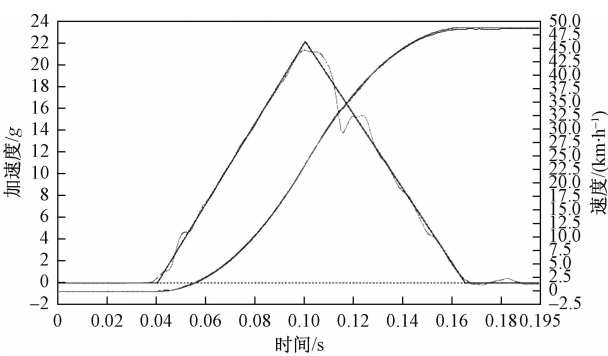


图 7 水平冲击试验台车运动参数

4.3 地板变形试验

在椅腿施加俯仰和滚转变形后,座椅结构与所有连接点保持连接,主要载荷传递路径保持完好,座椅结构无损伤,符合合格判据要求。

4.4 HIC 试验

HIC 试验后座椅及假人的状态如图 8、图 9 所示。

C 区 HIC 试验实测的主要数据如下:加速度峰

值为 21.541g,加速度峰值上升时间为 0.057 s,速率变化最大值为 13.404 m/s,假人头部 HIC 值为 873.36。

AB 区 HIC 试验实测的主要数据如下:加速度峰值为 21.443g,加速度峰值上升时间为 0.057 s,速率变化最大值为 13.394 m/s,左侧假人头部 HIC 值为 749.56,右侧假人头部 HIC 值为 552.58。

HIC 试验后检查结果:2 排座椅结构与所有连接点保持连接,主要载荷传递路径保持完好。

经分析,HIC 试验结果满足各项合格判据要求。



图 8 C 区 HIC 试验图



图 9 AB 区 HIC 试验图

5 结论

通过对相关适航规章条款的解读、分析,确定了座椅动态试验构型及工况,完成了 5 种状态的试验验证,并对试验结果进行了分析,得到以下结论。

1)提出了一种针对通勤类飞机座椅满足相关适航规章动态性能要求的符合性验证方法,结合型号实际规划了一套验证试验方案。

2)通过基于加速型水平冲击滑车的座椅动态冲击试验及其结果分析,表明该型机旅客座椅满足 CS23.562 对座椅的动态性能要求。

3)国内首次对通勤类飞机旅客座椅进行动态性能适航验证,并通过了审查,该验证思路可作为

不同结构形式座椅动态性能适航验证的参考。

以上成果均成功应用于国产某型通勤类飞机取得 EASA 型号合格证项目中,为型号取证奠定了良好的基础,该型飞机也即将成为第一个取得欧洲型号合格证的国产民用飞机。

参考文献

[1] 于海燕,李海涛.商用飞机旅客座椅产品的研发思路[J].民用飞机设计与研究,2015(3):83—86.

[2] 刘惠忠.浅谈民用飞机旅客座椅的适航取证[J].科技创新与应用,2016(27):78.

[3] 王亚锋,曹乐,刘继军.某型飞机双联座椅动态适航试验研究[C]//探索 创新 交流(第7集)——第七届中国航空学会青年科技论坛文集(下册).北京:中国航空学会,2016:211—216.

[4] 张维方.浅析运输类飞机经济舱头排旅客座椅头部损伤判据的影响因素[J].民用飞机设计与研究,2014(3):81—84.

[5] 正常类、实用类、特技类和通勤类飞机适航规定;CCAR-23-R3[S].北京:中国民用航空局,2004.

[6] 黄万甲,韩亮.某型航空座椅装机动态水平冲击试验临界状态选取[J].机械强度,2016,38(3):662—666.

[7] 中国民用航空技术标准规定——旋翼航空器、运输类飞机和小飞机座椅系统;CTSO-C127b[S].北京:中国民用航空局,2016.

[8] Performance standard for seats in civil rotorcraft, transport aircraft, and general aviation aircraft;SAE AS 8049B[S].SAE, 2005.

[9] Dynamic testing of part23 airplane seat/restraint systems and occupant protection;AC23.562-1[S].FAA, 1989.

[10] Dynamic evaluation of seat restraint systems and occupant protection on transport airplanes; AC25.562-1B [S].FAA, 2015.

[11] 王骁正.民用飞机座椅头部损伤判据符合性验证分析仿真方法[J].现代制造技术与装备,2017(5):56—58,63.

[12] Certification specifications for normal, utility, aerobatic, and commuter category aeroplanes;CS-23 Amendment 3 [S].EASA, 2012.

Compliance Demonstration Technology for Commuter Aircraft
Seat Based on Dynamic Impact Test

SUN Jin-bo

(ShenYang Aircraft Airworthiness Certification Center of CAAC,Shenyang 110043,China)

Abstract: In order to obtain the type certificate of European Aviation Safety Agency (EASA), it is necessary to change the design and carry out dynamic impact test on the passenger seat of a domestic civil commuter aircraft in the emergency conditions. Based on the interpretation of airworthiness requirements and corresponding standards, the airworthiness demonstration technology of aviation seat dynamic requirements was studied based on dynamic impact test. It mainly included the basic requirements of seat dynamic performance, selecting test configuration and condition, test planning, pass/fail criteria and test results. The results show that the passenger seat meets the dynamic impact requirement of airworthiness regulation. The success of the passenger seat dynamic impact test has laid a good foundation for the aircraft model to obtain the EASA type certificate. This type of aircraft is about to become the first domestic civil aircraft to obtain the European type certificate.

Key words: commuter aircraft;passenger seat;dynamic impact test;airworthiness