

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

Effect of Head Injury Criterion on Front Row Passenger Seats in Economy Class for Transport Aircraft

张维方 / Zhang Weifang

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Shanghai 201210, China)

摘要:

介绍了头部损伤判据 HIC 的概念、适航要求及影响运输类飞机客舱头排旅客座椅 HIC 的相关参数;叙述了旅客座椅头排距、头部撞击壁板的刚度、安全带织带伸长率、乘坐摩擦系数等参数的影响和重要程度;对如何设计符合 HIC 要求的经济舱头排旅客座椅和壁板提出了建议。

关键词: HIC(头部损伤判据); 分舱板/端板; 头部运动轨迹; 座椅头排距

中图分类号: V223

文献标识码: A

[Abstract] This paper introduces the concept of head injury criterion (HIC), airworthiness requirements and the HIC related parameters which effected front row passenger seats in economy class cabin of transport aircraft. Effect of parameters on Seat Setback Distance with Bulkhead panel, bulkhead panel stiffness, safety belt webbing elongation, the friction coefficient between the ATD and surface of the seat is presented. HIC compliant design of the front row passenger seats in economy class and bulkhead panel is suggested.

[Key words] Head Injury Criterion (HIC); Class Divider/Bulkhead Panel; Head Path; Seat Setback Distance with Bulkhead Panel

0 引言

早在第一次世界大战时的某些航空事件中,就发现了飞行员头部损伤是飞机坠机致命事件中的主要因素之一。据统计,仅美国 2005 年通用类和运输类飞机就发生了 3 448 起事故,其中 655 起为死亡事故,共造成 1 150 人死亡,这些死亡几乎百分百和头部损伤有关。由于飞机座舱内难免会有些物体处于乘员的头部冲击运动轨迹范围内,这样坠机时机上乘员就容易因头部受到撞击而丧命。

现在,FAA、EASA 以及 CAAC 等局方颁布的法规中已经明确规定了头部损伤防护的验证标准,也称头部损伤判据(Head Injury Criteria,简称 HIC)。

虽然运输类飞机客舱 HIC 验证通常可以分为头排与排间两大类,但是实际验证 HIC 值的符合性

要比预期困难得多。主要原因是:一方面 HIC 试验本身就比较复杂,需要建立专用的试验平台、购买昂贵的假人和测试设备,对测试人员的要求也很高,试验属于破坏性试验,测试用的座椅和机上物品基本无法重复使用;另一方面是由于飞机客舱构型灵活多变引起的,不同航空公司客舱肯定不同,即使是同一款飞机同一家航空公司,客舱也不一定一样,甚至不同航班季节客舱布局也要进行调整。可见对很多飞机制造商和航空公司来说,贯彻该要求是相当困难的,尤其是,要花费的成本和时间是他们不愿接受的。为此,FAA 颁布修正案后,开展了大量研究,对 HIC 的验证也做了大量简化,比如验证试验仅需完成 50 百分位仿真试验假人的试验,5 百分位到 95 百分位仅需进行补充分析。也因为这个原因,FAA 虽然在 1988 年就顺利通过修正案

在新研的飞机上贯彻该要求,但对修正案生效之前已经取得 TC 的飞机追溯推迟到 2009 年。

1 头部损伤判据

1960 年,为了评估交通事故中撞击钝物引起的人体头部损伤程度,美国 Icy Lissner 等人提出了韦恩州立大学耐限曲线(WSTC, Wayne State University Tolerance Curve)。Gadd 等用双对数坐标来画 WSTC 曲线,发现可以用一条直线来近似拟合。为了提高头部撞击总加速度的权重, Gadd 在此基础上提出了用严重程度指数(GSI, Gadd Severity Index),即用头部撞击总加速度 2.5 幂次方对时间的积分,规定的损伤标准是积分的结果不超过 1 000。Versace 后来认为总加速度应该定义成有效加速度,这就是众所周知的 HIC 计算公式。

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

式中: t_1 为积分起始时间(s); t_2 为积分终止时间(s); $a(t)$ 为头部撞击总加速度对时间的关系曲线(a 用 g 的倍数表示)。 t_2 和 t_1 为头部撞击期间任意两个时间点。

1972 年,美国国家公路交通安全管理局(National Highway Traffic Safety Administration, 简称 NHTSA)将该研究成果作为评估机动车冲撞试验的方法列入联邦机动车安全标准(FMVSS208)中。1988 年,FAA 也通过 25-64 修正案将其纳入运输类适航规章中。但与汽车行业不同,FAA 没有像汽车行业那样对最大时间间隔(36ms)作出限定,而是定义成在 49CFR 572 部 B 分部定义的仿真试验假人(Anthropomorphic Test Dummy, 简称 ATD)的头部与飞机内部除飞机地板和 ATD 自身以外的任何物体撞击接触的整个时间间隔内。EASA 和 CAAC 等局方都相继采纳了 FAA 的规定。

2 HIC 测试条件

FAA 在 FAR25.562(b) 条中定义了正前向座椅的两种 HIC 评估的测试条件,即常说的向前 16g 和向下 14g 动态测试条件。通常情况下,在评估 HIC 时,向前 16g 比向下 14g 严酷,故可以仅考虑向前 16g 的情况,向前 16g 动态测试条件如表 1 和图 1 所示。

理想的飞机地板负加速和时间关系为如图 2 虚线所示的等边三角形脉冲波,但实际脉冲一般为如

图 2 所示的实线曲线。

表 1 向前动态测试条件

航向向前速度变化率(v)	$\geq 13.41 \text{ m/s/(44ft/s)}$
地板处最大负加速度出现时间	$\leq 0.09\text{s}$
最大负加速度	$\geq 16\text{g}$
滚转角度	-10° 或 10°
俯仰角度	-10° 或 10°
偏航角度	-10° 到 10°

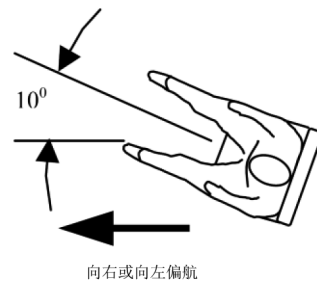


图 1 向前测试条件示意图

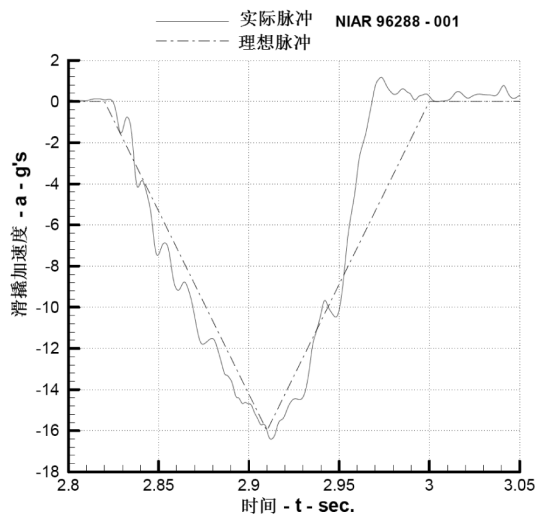


图 2 理想的三角波形和实际加速度脉冲

3 头排 HIC 评估的相关参数

3.1 普通经济舱旅客座椅尺寸

虽然不同厂家普通经济舱旅客座椅的几何尺寸是不同的,但根据 FAA 的研究,在评估头排旅客座椅的 HIC 时可以采用如图 3 所示的刚性座椅试验件代替普通经济舱旅客座椅。

3.2 经济舱头排旅客座椅安装设计参数

与 HIC 密切相关的经济舱头排旅客座椅安装设计参数,也就是座椅头排距,其测量方法如图 4 所示。

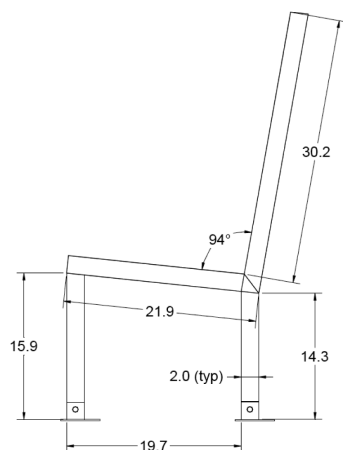


图3 座椅试验件(单位:in)

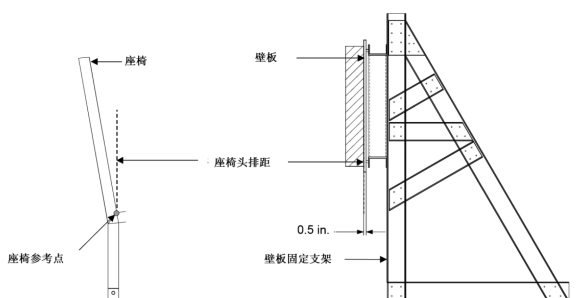


图4 经济舱旅客座椅头排距的测量方法

3.3 经济舱头排旅客座椅头部碰撞参数

仿真试验假人头部碰撞参数主要包括头部轨迹、头部撞击角度和假人尺寸等,分别如图5、图6和图7所示。

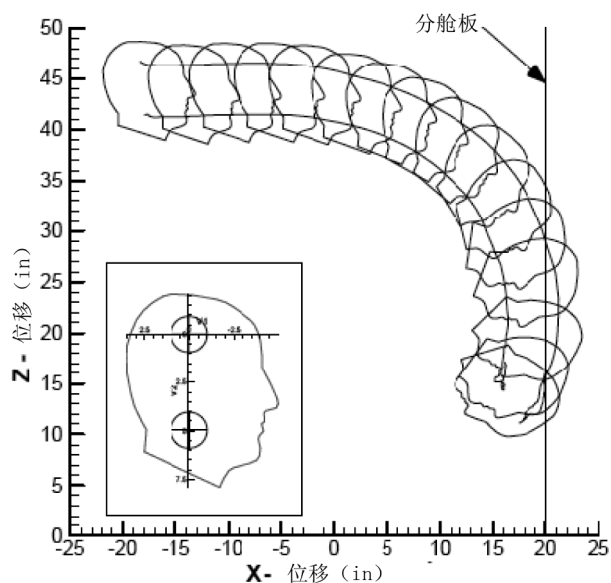


图5 仿真试验假人头部轨迹包线

从图3~图7的内容中很容易得出,头排旅客

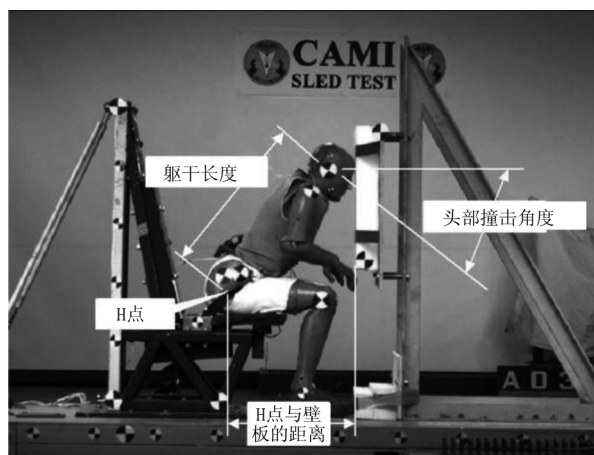


图6 仿真试验假人撞击壁面示意图

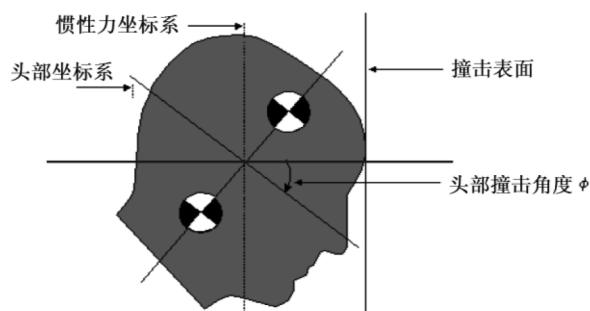


图7 头部撞击角度测量方法

座椅的 HIC 值与头部撞击角度和壁面的刚度密切相关。在仿真试验假人躯干长度固定的条件下,头部撞击角度和 H 点(仿真试验假人髋关节点)与撞击壁面的距离相关,H 点与撞击壁面的距离则由座椅头排距、安全带的伸长率、乘坐摩擦系数、座椅刚度等座椅参数决定。座椅刚度需满足其他适航规章的要求,故一般无法通过调整座椅刚度来降低 HIC。

4 头排 HIC 相关参数的影响

根据 FAA 以及授权发布的咨询通告、动静载试验和 MADYMO 程序模型分析数据,可以得出运输类飞机经济舱头排旅客头部损伤判据(HIC)的影响如下。

4.1 座椅头排距和壁板刚度对 HIC 影响

(1)FAA 在咨询通告中给出:如果普通经济舱座椅安装时的座椅头排距大于 42in,公务舱和头等舱座椅头排距大于 45in 时就可以因仿真试验假人头部碰不到壁板而认为 HIC 满足要求,不需要通过专门的试验来表明符合性。

(2)对于头排距小于 42in 的普通经济舱旅客座

椅,FAA也在相关研究报告中给出了以下结论:经济舱头排旅客座椅的HIC值与头部撞击壁板的刚度成正比,与座椅头排距成反比。并建议在头排距为33in时壁板的刚度控制在480lb/in以下或头排距为35in时控制在709lb/in以下。而且作为一个理想的吸能头部撞击壁板,仿真试验假人头部与其撞击时至少要有2in以上的塑性变形,或有3.5in以上的弹性变形。在模拟头部撞击载荷作用下,能符合HIC的壁板通常需要有2in~4in的永久变形。为确保能满足HIC的要求,建议经济舱旅客座椅头排距应不小于37in。

(3)从FAA试验和MADYMO程序分析也可以得出,头排距在32in~36in时,仅通过在撞击壁面上包覆一层厚度为2in~6in的、在座椅垫和易碎品包装上常用的聚氨酯泡沫层是无法保证满足HIC的要求。不同密度和厚度泡沫层组合以及在泡沫层上钻孔也起不到明显的作用。

4.2 安全带和乘坐摩擦系数的影响

(1)从FAA试验和MADYMO程序分析也可以得出,虽然从吸能的角度看,选择伸长率比聚酯安全带大的尼龙织带有利于降低HIC值,但由于空间的限制如头排距为32in或34in时,尼龙带无法在假人撞击壁板时吸收足够的能量使HIC值减到规定值以下,反而因伸长率大,使假人在碰撞时H点更靠近壁面从而增大HIC值。因此,选用什么材质带的安全带需和头排距、壁面刚度结合起来考虑。通常只有头排距在37in及以上时,选用聚酯安全带才更有助于满足HIC的要求。

(2)从FAA的研究也可以看出乘坐摩擦系数对HIC值的影响不大,通常可以不考虑。

(上接第24页)

4 结论

原25.1309条款对于EWIS安全性评估而言是不充分的,而25.1709条款的发布,对于EWIS安全性提出了更完全和结构化的评估要求,它并不要求独立于25.1309开发出一套全新的评估体系,而是借鉴了25.1309的评估理念,结合和利用了25.1309的评估结果,有机地融合入25.1309评估过程中。本文针对25.1709的条款要求,结合我国具体的民用飞机设计过程经验,从EWIS失效产生的功能性影响和物理性影响两方面,探讨了EWIS符合

5 结论

本文从FAA的公开资料中分析和总结出了经济舱头排旅客座椅HIC值的影响因素,有助于加深国内民用飞机设计人员、航空公司对头部损伤判据HIC的了解。虽然无法直接作为适航验证的依据,但可以为国内民用飞机制造商、航空公司等在飞机客舱布置以及与头排旅客座椅HIC密切相关的客舱分舱板、端板、厨房、盥洗室、衣帽间和储藏室的设计提供参考。也可以为国内民用飞机制造商和航空公司在进行软件建模分析时提供参考。

参考文献:

- [1] FAA. Title 14 Code of Federal Regulations, Part 25, Amendment 25-64, Section 562[S]. Federal Register. 1988.
- [2] 中国民用航空局. CCAR-25 R4 中国民用航空规章第25部:运输类飞机适航标准[S]. 北京:中国民用航空局,2011.
- [3] EASA. CS25 Amendment 12. Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Aeroplanes[S]. 2012.
- [4] H. M. Lankarani and M. G. Mirza. DOT/FAA/AR-02/103. Parametric Study of Crashworthy Bulkhead Designs[R]. U. S. Department of Transportation Federal Aviation Administration Office of Aviation Research, Washington. 2002.
- [5] Ghanashyam Prabhu. Parametric Study of Head Paths and HIC Data For Aircraft Seat and Cabin Interior Certification [D]. Wichita State University, Kansas. 2006.
- [6] Hanid Lankarani. Design and Fabrication of a HIC Compliant Bulkhead[Z]. Professor of Mechanical Engineering and NIAR Senior Fellow National Institute for Aviation Research Wichita State University. 2006.
- [7] FAA ANM-110. AC 25.562-1B. Dynamic Evaluation of Seat Restraint Systems and Occupant Protection on Transport Airplanes[S]. 2006.

性设计和分析过程与方法,对于我国民用飞机EWIS设计与验证具有工程化的指导意义。

参考文献:

- [1] AC 25.1701-1. Certification of Electrical Wiring Interconnection Systems on Transport Category Airplanes, 12/4/07.
- [2] DOT/FAA/AR-09/47. Development of the Electrical Wiring Interconnection System Risk Assessment Tool, January 2010.
- [3] SAE ARP4754A. Guidelines for Development of Civil Aircraft and Systems, 2010,12.
- [4] SAE AS50881D. Wiring Aerospace Vehicle, 2010,07.
- [5] MIL-HDBK-217F Reliability Prediction of Electronic Equipment, December 1991.