

文章编号:1674-8190(2015)01-099-06

民用飞机应急离机舱门打开过程分析研究

马大卫, 汪洋, 卢燧钧

(中国商用飞机有限责任公司 上海飞机设计研究院, 上海 201210)

摘要: 应急离机舱门作为民用飞机试飞过程中唯一的专用逃生出口,其舱门能否顺利打开直接影响着机组人员的逃生。针对某民用飞机应急离机舱门机构的特点,从锁定、解锁两方面对其运动原理进行分析;分别考虑有无增压载荷两种情况,通过 Lms. Virtual. Lab Motion 建立其虚拟样机模型,对其打开过程进行仿真分析。结果表明:该套舱门机构在锁定、解锁方面具备良好的保护措施;有增压情况下解开过中心保护机构所需的操纵力远大于无增压情况,但其解开后对舱门的打开起到有效助力作用,且外载越大打开响应越快。

关键词: 民用飞机;应急离机舱门;过中心保护机构;虚拟样机;仿真

中图分类号: V223+.4

文献标识码: A

Research on the Opening Process of the Emergency Evacuation Door for Civil Airplane

Ma Dawei, Wang Yang, Lu Yijun

(Shanghai Aircraft Design and Research Institute, Commercial Aircraft Corporation of China, Ltd., Shanghai 201210, China)

Abstract: Emergency evacuation door(EED) is the only exits in a flight test airplane, whether the EED can open smoothly or not directly affects the flight crew evacuation. The motion principle of the EED in a certain type of flight test airplane from two aspects(lock and unlock) based on the characteristics of its mechanism is analyzed. In addition, virtual prototypes of the mechanism are established with Lms. Virtual. Lab Motion software to simulate and analyze the motion of EED, with and without pressure load respectively. The result shows the mechanism performs well in terms of operation protection during unlocking and locking. The operating force to unlock the protection mechanism in pressurized condition is larger than that in non-pressurized condition. However, once the protection mechanism is unlocked, the pressure load can assist in opening the door, greater pressure load will result in faster response.

Key words: civil airplane; emergency evacuation door; over center protection mechanism; virtual prototype; simulation

0 引言

目前国外对应急离机舱门的设计主要有两种思路:(1) 发动机尾吊的飞机多借用飞机客舱门或服务门作为外部出口,采用机械或爆破方式在空中

开辟离机通道。例如 MD 公司各类试飞机的应急泄压和应急出口装置均由应急舱门、登机门或服务门改装而成,机长通过引爆预设炸药,在舱门位置炸出泄压孔进行泄压,泄压完成后,引爆舱门连接处炸药,将舱门打开并向外抛出,开辟逃生通道,供试飞组成员跳伞离机^[1-2]。(2) 发动机翼吊的飞机多在前货舱位置设置向下的外部出口,采用机械或爆破方式在空中开辟离机通道。例如 Ty-204 试飞机的应急出口布置在客舱前段右侧位置,通过液

收稿日期:2014-10-10; 修回日期:2014-11-15

通信作者:马大卫, madawei@comac. cc

压作动筒驱动舱内口盖向下开启,试飞组成员可通过舱内口盖进入飞机货舱,舱外口盖向外开启呈 90° 后闭锁,使之具备防气流吹袭功能,供试飞组成员携带降落伞包安全离机^[3-4]。

目前国内在试飞客机上借鉴第二种方式,在前机身客舱地板下开辟独立的应急离机通道及舱门^[5-8],但对于此类舱门的设计在国内尚属首次,无成熟的经验可以借鉴,故对其进行详细的机构动力学分析以验证其锁定、打开效果很有必要。

本文分析此类舱门机构的锁定、解锁原理,利用 Lms. Virtual. Lab Motion 建立其完善的动力学模型,分别考虑有无增压载荷两种情况,进行仿真分析,模拟其打开过程。

1 舱门运动原理分析

1.1 舱门主结构介绍

应急离机舱门结构如图1所示,骨架结构由蒙皮和门框构成,在飞行中主要承受机身内部增压载荷;机构部分由作动器摇臂、锁轴、门轴、锁钩驱动轴、锁钩等构成,用以舱门的锁定和解锁。增压载荷通过四个爪形锁钩传递给固定于机身的支座,门框横向方向设置四个导向槽,相应机身位置设有止动件,起到垂直方向限位的作用。

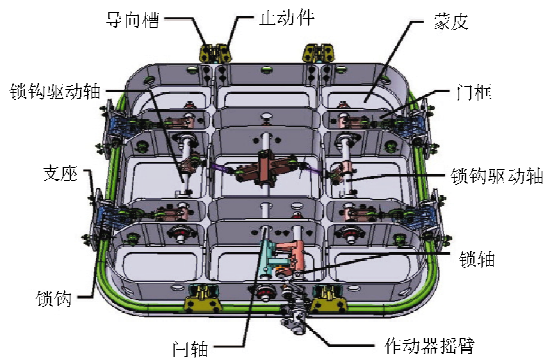


图1 应急离机舱门主要结构

Fig.1 Main structure of EED

1.2 机构锁定、解锁原理分析

飞机正常飞行过程中,锁钩与支座相接触以支撑舱门,连接锁钩的拉杆与连接锁钩驱动轴的摇臂之间采用过中心设计,即两者中轴线之间留有 3° 的初始角度,在舱门关闭状态下,拉杆上的力会通过摇臂驱使锁钩驱动轴逆时针转动,而锁钩驱动轴

与门框腹板之间设计有保险块,可阻碍该轴的逆时针转动,从而起到锁定作用。需要打开锁钩时,锁钩驱动轴驱使摇臂顺时针转动,这需要克服其过中心的力,当摇臂与拉杆中心线成 180° 时,对应锁钩开始脱钩的初始时刻,往后拉杆上的力将驱使摇臂做顺时针运动,帮助锁钩打开。

锁轴与门轴之间采用凹凸月牙口设计,正常飞行状态下锁轴不运动,此时门轴若发生转动,则门轴上的凹台会顶上锁轴上的凸台,锁轴的凸台圆心与轴心同心,由于两者是点接触,其作用力必通过锁轴轴心位置,故不会造成锁轴转动,进而对门轴起到锁定作用;而在需要打开锁钩时,锁轴首先转动,锁轴上的凸台不会接触门轴上的凹台。通过上述锁定措施,可以保证舱门在关闭状态下锁钩能牢牢抓住支座,而在打开舱门时又不会阻碍机构的正常运动。

在需要应急打开舱门时,通过外部作动器推动作动器摇臂,使其顺时针转动,作动器摇臂通过滚轮接触来驱动锁轴,使之顺时针转动,当锁轴上的凸台转过门轴凹台,互锁机构打开,形成对门轴的解锁;解锁完成后,锁轴再通过滚轮接触来驱动门轴驱动摇臂,门轴随之发生逆时针转动,运动通过拉杆传递给锁钩驱动轴,使之亦发生顺时针转动,机构过中心后驱动锁钩完成解锁。过中心保护机构、互锁机构及解门过程分别如图2~图4所示。

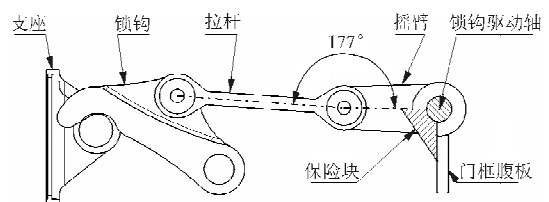


图2 过中心保护机构示意图

Fig.2 Schematic diagram of over center protection mechanism

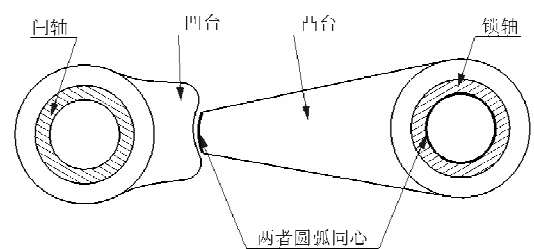


图3 互锁机构示意图

Fig.3 Schematic diagram of interlocking mechanism

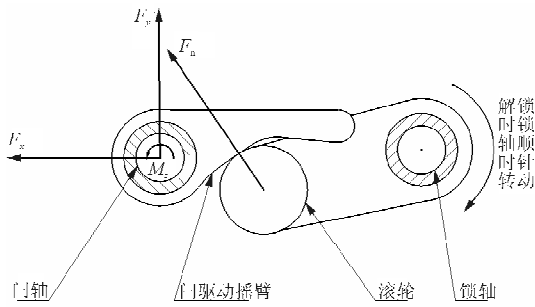


图 4 解锁过程示意图

Fig. 4 Schematic diagram of the unlocking process

2 舱门打开过程动力学仿真分析

2.1 机构动力学模型建立

基于对机构运动原理的分析,利用 Lms. Virtual Lab Motion 软件建立应急离机舱门的动力学模型^[9-11],如图 5 所示。

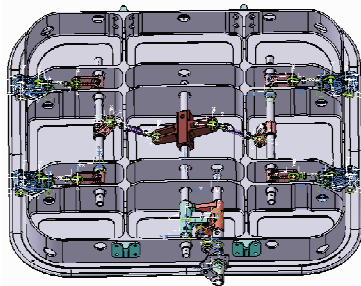


图 5 舱门机构动力学模型

Fig. 5 Dynamic model of EED

建模过程中对机构进行简化,根据其实际连接形式,采用相应的运动副来代替连接用的螺栓和轴承,需要限位的地方采用单方向的弹簧模型模拟,并在机构运动中将接触的地方(例如锁钩与支座的接触、转轴上滚轮与摇臂之间的接触等)根据构件材料划分接触力单元,模拟其接触传递过程。

2.2 仿真参数设定

飞机正常停靠地面,舱门仅受重力作用;而高空飞行时,由于整扇舱门处于增压区,必须考虑其所受的增压载荷。

飞机飞行中,整扇舱门所受的最大增压载荷约为 28 644 N,模型中将此分布力以集中力的形式加在舱门的质心处,模拟舱门所受的增压载荷。舱

门打开过程中,在对应作动器摇臂的转动副上施加“角度-时间”驱动,角度为负表示其转动方向为顺时针,如图 6 所示。在该驱动场合,驱动约束反力即为使机构按给定规律运动所需施加的力,通过仿真便可以得到不同负载下作动器所提供的力。

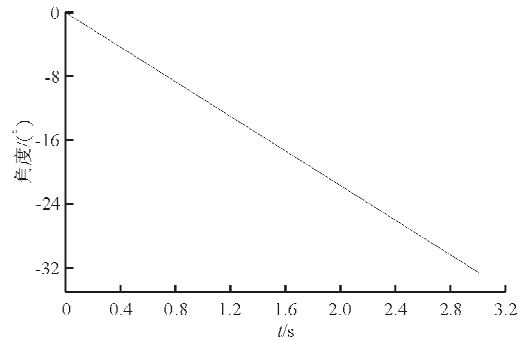


图 6 “角度-时间”驱动

Fig. 6 “Angle-time” driving

2.3 仿真结果与分析

根据所建立的仿真模型,分别考虑有无增压载荷两种情况,对舱门机构打开过程进行仿真计算,仿真结果如图 7~图 15 所示。

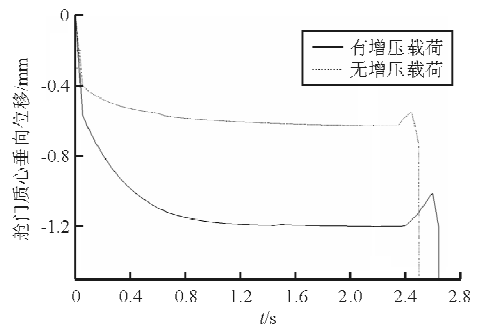


图 7 舱门质心垂向位移

Fig. 7 Centroid of aircraft door's vertical displacements

从图 7 可以看出:初始状态,在重力和增压载荷的作用下,舱门质心有下移的趋势,随后由于锁钩力的存在逐渐趋于恒定;锁轴与门轴于 2.35 s 开始接触时,锁轴对门驱动摇臂的接触力 F_n 可以分解为绕门轴的力矩 M_x 、竖直向上的力 F_y 和水平向前的力 F_x (如图 4 所示),其中 F_y 会对舱门产生上举的力,引起舱门质心的上移;随后机构过中心解锁完成,舱门立即下落。

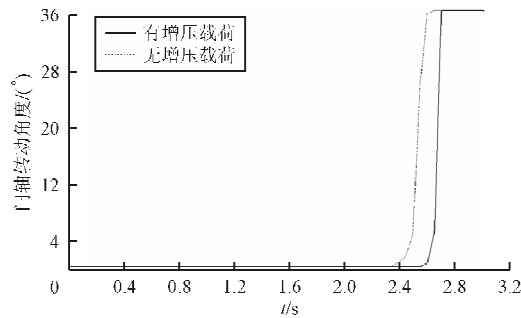


图8 闩轴转动角度

Fig. 8 Rotational angle of latch axis

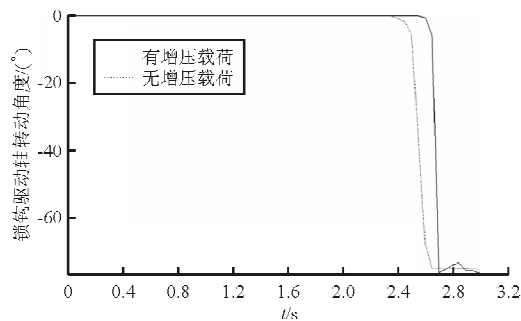


图9 锁钩驱动轴转动角度

Fig. 9 Rotational angle of clavicle hook driving shaft

从图8~图9可以看出:有增压情况下,两轴发生转动的时刻均延后于无增压情况,无增压情况下2.35 s轴开始转动,2.65 s解锁完成,有增压情况下2.55 s轴开始转动,2.70 s解锁完成;在无增压情况下,两轴接触后上举舱门的同时也引起闩轴的转动,而在有增压情况下,接触后0.2 s内仅上举舱门,随后才会引起闩轴的转动。这是因为驱动闩轴和锁钩驱动轴的力是通过接触来传递的,力的大小与接触嵌入量成正比,有增压载荷时所需克服机构的旋转力矩更大,需要更多的嵌入量来获得推动闩轴转动的力矩 M_z ,从而造成有增压情况下解锁的延迟。两图曲线斜率急剧加大区域表示过中心后两轴将迅速发生转动,完成解锁动作,有增压情况下曲线变化比无增压情况更为陡峭,表明有增压情况下过中心后解锁更迅速。

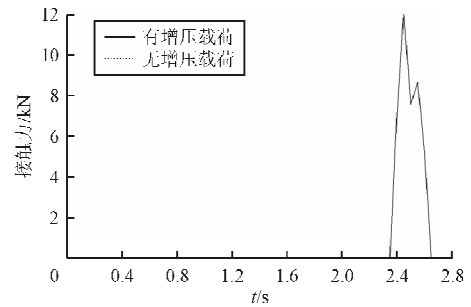


图10 锁轴与闩轴接触力

Fig. 10 Contact force of lock axis and latch axis

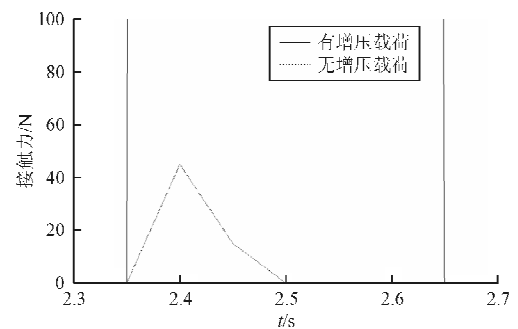


图11 锁轴与闩轴接触力(局部放大)

Fig. 11 Contact force of lock axis and latch axis(local amplification)

从图10~图11可以看出:无增压载荷时接触中产生的最大力为45 N,对应机构过中心时所克服的力;而有增压载荷时接触力出现两个峰值点,第一个峰值点对应上举舱门时接触力的最大值,为12 028 N,第二个峰值点对应机构过中心时所克服的力,为8 566 N。

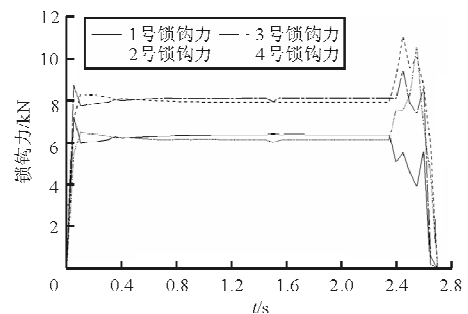


图12 有增压载荷时的锁钩受力

Fig. 12 Locking hook force with turbocharged load

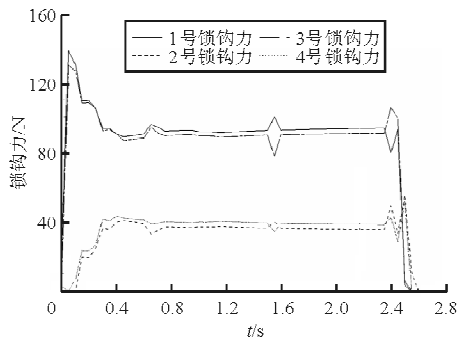


图 13 无增压载荷时的锁钩受力

Fig. 13 Locking hook force without turbocharged load

从图 12~图 13 可以看出:解锁前锁钩力基本保持在一个恒定值,解锁开始时,由于接触中有 F_a 及过中心机构的存在,会使锁钩力发生短时震荡,随着过中心解锁完成,锁钩上的力急剧下降,舱门自动打开掉落。

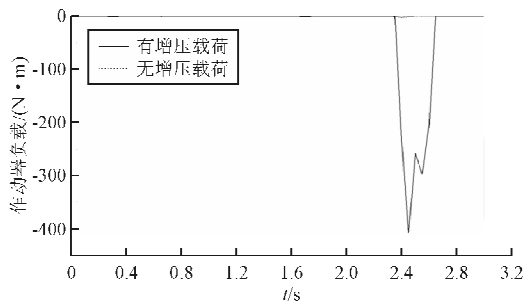


图 14 作动器所提供的驱动力

Fig. 14 Driving force provided by actuator

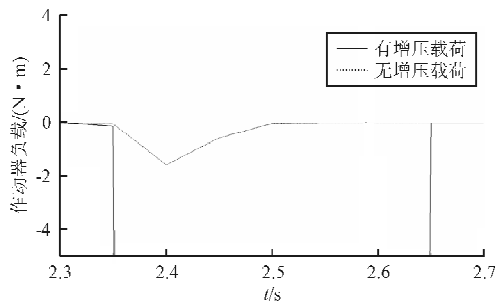


图 15 作动器所提供的驱动力(局部放大)

Fig. 15 Driving force provided by actuator (local amplification)

图 14~图 15 为施加驱动处的约束反力,表示完成舱门打开过程作动器所需提供的驱动力。可以看出,其趋势同锁轴与门轴接触力的变化情况一致,有增压载荷时,作动器需提供的最大力矩为

410 N·m,无增压载荷时,作动器需提供的最大力矩则为 1.6 N·m。

3 结 论

(1) 舱门过中心保护机构及互锁机构的设计对机构的锁定起到有效作用,且过中心保护机构在舱门打开过程中会产生一个较大的过中心力,与舱门负载成正比,可以防止舱门由于人为或环境因素而意外打开。

(2) 过中心保护机构解开后对舱门打开起到有效助力作用,且外载越大打开响应越快。

(3) 有增压情况下打开舱门所需的操纵力远大于无增压情况,有增压载荷时计算得出的最大驱动力矩为 410 N·m,为后续工程上对作动器的采购提供一定的理论参考。

(4) 滚轮对门驱动摇臂接触产生的 M_e 大小直接影响机构的打开时间和解锁力,可对锁驱动摇臂和门驱动摇臂进行结构优化,使滚轮与门驱动摇臂的初始接触点后移,保证 F_a 处于垂向位置以增大 M_e ,从而减小增压情况下舱门的打开时间和解锁力。

参考文献

- [1] Luft U C, Bancroft R W. Transthoracic pressure in man during rapid decompression[J]. The Journal of Aviation Medicine, 1956, 27(3): 208.
- [2] 金兴. 民用飞机空中应急离机系统探讨[J]. 飞行试验, 2013, 13(5): 226-228.
Jin Xing. The air escape test system discussion of civil aircraft[J]. Flight Test, 2013, 13(5): 226-228. (in Chinese)
- [3] 陈增江. 民用飞机试飞安全要求[J]. 飞行试验, 1993, 9(3): 37-42.
Chen Zengjiang. Civil aircraft flight safety requirements [J]. Flight Test, 1993, 9(3): 37-42. (in Chinese)
- [4] 孙庆元. 军用运输机空中应急离机试验验证方案探讨[J]. 飞行试验, 2004, 20(1): 25-29.
Sun Qingyuan. The air escape test plan discussion of military transport aircraft[J]. Flight Test, 2004, 20(1): 25-29. (in Chinese)
- [5] Robert Z Shmerling, F Necati Catbas. Load rating and reliability analysis of an aerial guideway structure for condition assessment[J]. Journal of Bridge Engineering, 2009, 14(4): 474-486.
- [6] Iiu Taibin. Movement reliability of rotation joint of umbrella antenna[J]. Chinese Journal of Space Science, 2005,

- 25(6): 552-557.
- [7] Hsu Bi-Min. Reliability assessment and replacement for machine tools under wear deterioration[J]. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2010, 48(1/4): 355-365.
- [8] 张浩, 冯蕴雯, 薛小锋. 基于气密载荷作用的飞机舱门可靠性分析[J]. 航空计算技术, 2012, 42(1): 46-49.
Zhang Hao, Feng Yunwen, Xue Xiaofeng. Reliability analysis of door system on the airplane considering the effect of sealing load[J]. Aeronautical Computing Technique, 2012, 42(1): 46-49. (in Chinese)
- [9] Huston R L. 多体动力学—模拟和分析方法[J]. 力学进展, 1992, 22(3): 426-432.
R L Huston. Multi-body dynamics-simulation and analysis method[J]. Advances in Mechanics, 1992, 22(3): 426-432. (in Chinese)
- [10] 刘延柱. 完全笛卡尔坐标描述的多体系统动力学[J]. 力学学报, 1997, 29(1): 84-94.
Liu Yanzhu. On dynamics of multibody system described by fully cartesian coordinates[J]. Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 1997, 29(1): 84-94. (in Chinese)
- [11] 冯志华, 胡海岩. 高速机构动力学研究进展[J]. 力学进展, 2002, 32(2): 196-204.
Feng Zhihua, Hu Haiyan. Advances in dynamics of high-speed mechanisms[J]. Advances in Mechanics, 2002, 32(2): 196-204. (in Chinese)

作者简介:

马大卫(1987—),男,工程师。主要研究方向:飞行器舱门系统动力学。

汪洋(1985—),男,高级工程师。主要研究方向:飞行器舱门总体系统设计。

卢懿钧(1985—),男,工程师。主要研究方向:飞行器舱门结构优化设计。

(编辑:马文静)