

DOI: 10.19416/j.cnki.1674-9804.2018.01.010

# 新型增压预防机构的设计与研究

## Design and Research on a New Type of Vent Flap Mechanism

吕国成 郭晓庆 / LYU Guocheng GUO Xiaoqing

(中航沈飞民用飞机有限责任公司, 沈阳 110013)

(AVIC Shenyang Aircraft Civil Commercial Aircraft Company Ltd., Shenyang 110013, China)

### 摘 要:

设计一套新型的增压预防机构,实现了监测舱门门锁机构、增压预防、快速泄压、机构破损安全、2 psi 锁定、破冰多项功能。利用 Adams 软件对增压预防机构进行动力学仿真,满足动力学要求。在动力学仿真的基础上对增压预防机构做了静强度分析,结果满足设计要求。研究成果表明该新型增压预防机构设计方案可行,既减轻了机构的重量,又增加了机构的安全性。所给出的完整的民用飞机舱门增压预防机构设计流程,为今后民用飞机舱门增压预防机构设计提供了必要的技术依据。

**关键词:** 舱门;增压预防机构;动力学分析;静强度分析

**中图分类号:** V223+.9

**文献标识码:** A

**[Abstract]** Designing a new type of vent flap mechanism could achieve monitor door latch and lock mechanism, prevention of pressure, quick release pressure function, fail-safe, 2 psi locking, icing and many other functions. Adams software is used to simulate the dynamic simulation of the vent flap mechanism to meet the requirement of dynamic. On the basis of the dynamic simulation, the static strength analysis is done for the vent flap mechanism, and the result meets the design requirements. Research results show that the new type of vent flap mechanism design is feasible. It not only reduces the weight of the mechanism, but also increases the safety of the mechanism, and the complete design flow of the vent flap mechanism of civil aircraft pressurized door was given. The research can provide the necessary technical base for the future vent flap mechanism of civil aircraft pressurized door.

**[Keywords]** door; vent flap mechanism; dynamic analysis; static analysis

## 0 引言

民用飞机舱门作为飞机的重要组成部分,对飞机安全有着直接影响,尤其是客舱门直接影响旅客安全和应急逃生<sup>[1]</sup>,因此舱门成为适航的重点。

在未完全关闭、锁闭和锁定的情况下,必须有措施防止任何承压的舱门将飞机增压到不安全的水平<sup>[2]</sup>。增压预防机构是舱门实现增压预防措施的一个重要的手段,为此在民用飞机增压舱门上布置一套增压预防机构是必需的。

传统的增压预防机构主要用于防止舱门在未完全关闭、锁闭和锁定的情况下把飞机增压到一个不安全水平,能够检测舱门的关闭、锁闭和锁定状

态,以及在飞机降落后卸除密封舱内的残留压差。设计一套具备监测舱门门锁机构、增压预防、快速泄压的功能,还能实现机构破损安全、2 psi 锁定、破冰等多项功能的增压预防机构,能够节省机构设计空间、减低机构设计难度、提高机构运动效率,还能够减轻机构的重量,提高飞机安全性能。

## 1 增压预防机构设计

本文所给出的增压预防机构采用单连杆叠加弹簧的形式以及分时凸轮带动连杆的机构驱动方式,实现增压预防机构的分时控制。分时凸轮与内手柄机构直接关联,凸轮机构和四杆机构通过连杆串联,四杆机构通过弹簧与增压预防门相连。在舱

门打开和关闭时,手柄机构带动分时凸轮转动,进而带动摇臂在分时凸轮槽内转动,摇臂通过连杆带动四杆机构运动,从而实现增压预防门的开启与关闭。

### 1.1 增压预防门尺寸设计

增压预防门作为增压预防机构的重要组成部分,其开启面积和打开角度直接影响增压预防机构的功能,因此,在设计增压预防机构之前,需先确定增压预防门的尺寸。

飞机增压舱作为具有一定容积的空间,其压力控制主要通过调整增压舱内空气量来实现。以某飞机为例,飞机设计要求开启舱门的压差为 0.125 psi,座舱泄漏量为 150 lb/min,座舱的热力学温度为 15 °C 及飞机周围大气压力为 101 325 Pa,根据在规定的座舱压力、温度和飞行高度的条件下,不可压缩气体流量方程,即:

$$q_{mc} = 0.083\,49 \cdot CA \sqrt{\frac{p_a(p_c - p_a)}{T}} \quad (1)$$

可知,飞机座舱残余压差全部泄量时所需的等效面积,

$$CA = \frac{q_{mc}}{0.083\,49} \times \sqrt{\frac{T}{p_a(p_c - p_a)}} \\ = \frac{150 \times 0.453\,6}{60 \times 0.083\,49} \times \sqrt{\frac{15 + 273}{101\,325 \times 0.125 \times 6.894\,757 \times 10^3}} = 0.024\,666 \, \text{m}^2 \quad (2)$$

式中,  $p_c - p_a$  即飞机设计要求开启舱门的压差,考虑气体的粘性,取流量系数为  $C = 0.7$ 。则增压预防门的面积为,

$$S = \frac{CA}{0.7} = \frac{0.024\,666}{0.7} = 0.035\,2 \, \text{m}^2 \quad (3)$$

### 1.2 舱门闩锁机构监测、增压预防与快速泄压设计

增压预防机构必须能够检测舱门的关闭、锁闭和锁定状态。对于飞机增压舱门,由于舱门手柄旋转角度不同,舱门机构的运动时效也不同,但舱门机构的运动顺序却基本相同。开启增压舱门的顺序为:开启增压预防门-解锁-解闭-提升-打开,关闭舱门的顺序与开启舱门的顺序相反。

关闭舱门时,由于增压预防门处于最后顺位,如若舱门闩锁机构没有到位,则增压预防门不能完全关闭,此时可以对舱门上闩和锁定状态进行监测。同时,由于增压预防门没有完全关闭,导致增压预防门会有一定的打开角度,此时舱内无法增压

到不安全水平,起到了增压预防的作用,也进一步保证飞机安全。

在地面,当舱门被提升并打开时,如果飞机舱内存在一定的残余压差,很容易造成舱门在舱内压力的作用下快速打开,极易对舱门及机身造成破坏,也极易伤到操作者,所以在开启舱门之前需对舱内残余压力进行释放。增压预防门处于舱门开启的第一顺位,一旦操纵手柄开启舱门,增压预防门首先开启,完成对飞机舱内残余压力的释放,起到了快速泄压的目的,并保证了舱门、机身结构及操纵人员的安全。

### 1.3 2 psi 锁定设计

当飞机舱内压差小于 2 psi 时,增压预防门会被弹簧力驱动开启一定角度。在弹簧力的作用下,此时四连杆机构相对向上运动,带动连杆相对向上运动,使得摇臂上的滚轮紧贴分时凸轮外表面,由分时凸轮外表面控制增压预防门的打开角度。

当飞机舱内压差大于 2 psi 时,此时内外压差作用于增压预防门上的压力矩大于弹簧力矩,增压预防门完全关闭。在 2 psi 压力的作用下,此时四连杆机构相对向下运动,带动连杆相对向下运动,使得摇臂上的滚轮被打在分时凸轮内表面上。设计分时凸轮内表面的轮廓线,使分时凸轮与摇臂滚轮接触时,凸轮连杆机构的传动角趋近于 0°,机构卡死<sup>[3]</sup>。此时无论手柄上作用多大的外力,分时凸轮都不能驱动连杆转动,即不可能驱动增压预防门开启。通过这套机构,实现了舱门的压力锁定。

通风口凸轮的设计如图 1 所示。

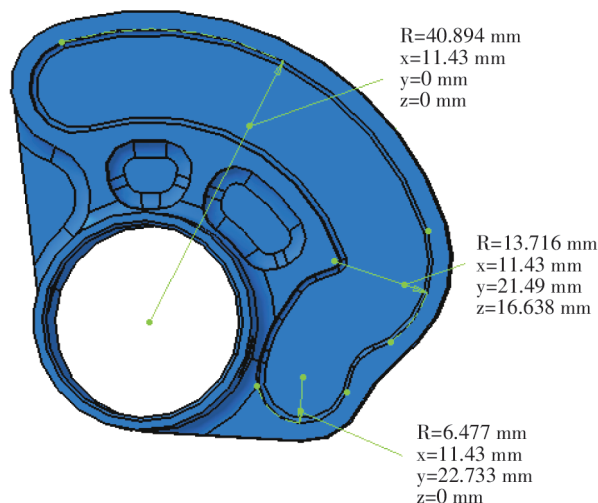


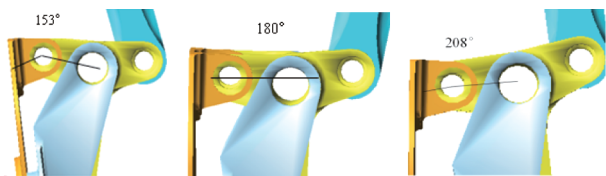
图 1 凸轮设计

### 1.4 破损安全设计

增压预防机构上的弹簧使增压预防门始终保持开启的趋势,当联动增压预防机构的任一机构件单一失效,增压预防门会在弹簧力的作用下使增压预防门处于开启状态,以避免非安全增压。增压预防机构上的弹簧起到了破损安全的作用<sup>[4-5]</sup>。

### 1.5 破冰设计

当增压预防门门周结冰时,如果不能很好地进行破冰设计,将导致开启舱门的手柄力加大,甚至无法正常开启舱门,为此需要对增压预防机构增加破冰功能设计。增压预防门密封条接触的加强部分连接在蒙皮上,当驱动增压预防门绕着旋转轴旋转打开之前,由于增压预防机构的驱动件与旋转轴支座相对旋转轴有  $153^\circ$  角,为此增压预防门首先会相对于蒙皮呈向上平移运动,剪切分量有利于破冰,使得破冰手柄力大大减少,实现了破冰的功能。当增压预防机构的驱动件与旋转轴支座相对旋转轴呈  $180^\circ$  夹角时,增压预防门将绕着旋转轴旋转打开,增压预防机构运动过程中角度变化如图 2 所示。



a)增压预防门关闭位 b)增压预防门旋转位 c)增压预防门打开位

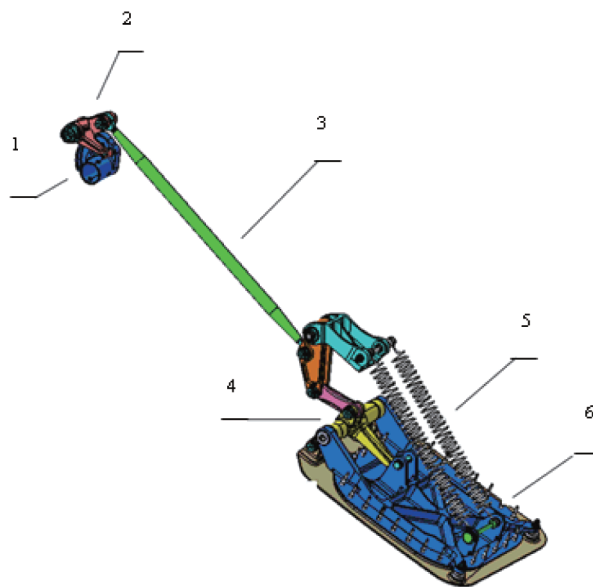
图2 增压预防门机构破冰原理图

### 1.6 机构设计

增压预防机构通过单连杆叠加弹簧形式的实现,能够在连杆失效的情况下,增压预防机构上的弹簧会使增压预防门有打开的趋势,当座舱压力小于弹簧力时,增压预防门会自动打开一定的角度。消除了双连杆形式不利于装配调整,且一个杆失效情况下,另一个杆件仍能完成增压预防门的开启,不利于及时发现连杆失效,存在一定的安全隐患。

增压预防机构采用分时凸轮的驱动形式,充分运用了分时凸轮机构结构简单、占用空间小、运动控制精度高、可设计性强的优点。如果消除了四连杆机构,增压预防机构运动必须经过中间构件进行传递,传动路线较长,易产生较大的误差积累,同时降低机械效率。

新型增压预防机构如图 3 所示。



1. 分时凸轮;2. 摇臂;3. 连杆;4. 驱动件;5. 弹簧;6. 增压预防门

图3 新型增压预防机构

该套创新的新型增压预防机构具有占用空间小、重量轻、传动效率高、可设计性强等优点,是传统增压预防机构无法比拟的。

## 2 增压预防门机构分析

### 2.1 增压预防机构动力学仿真

通过 Adams 软件<sup>[6]</sup>对舱门增压预防机构进行仿真分析,建立增压预防机构动力学仿真模型,模型中各组件包括分时凸轮、摇臂、连杆、弹簧、增压预防门等。模型中除连杆及弹簧外其余零件均取自 Catia 数模中的三维实体单元,模型中材料属性通过添加零件质量和惯性矩获得,模型中共添加 7 个固定副、8 个旋转副、2 个球铰以及 4 个接触约束,一个旋转驱动添加到分时凸轮与门周结构的旋转副上,旋转驱动的定义如下,实现对增压预防机构的打开驱动。

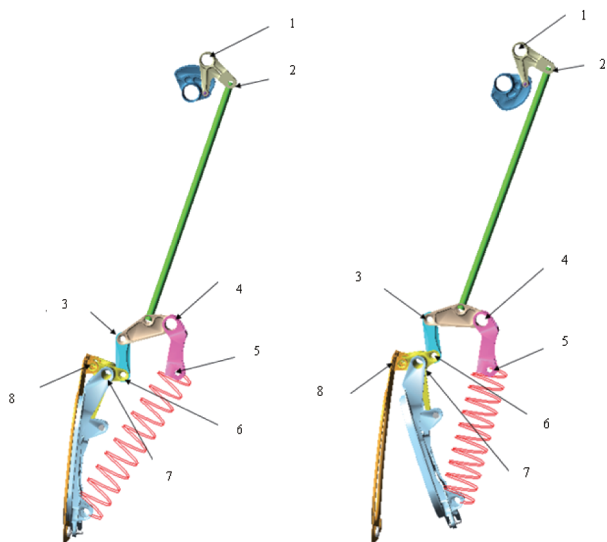
$$\text{Step}(\text{time}, 0, 0\text{d}, 5, 119\text{d}) \quad (4)$$

增压预防机构仿真前后的对比图如图 4 所示。

根据增压预防机构动力学仿真模型可知,所给出的增压预防机构运动平缓、接触载荷合理。

### 2.2 增压预防机构静强度分析

增压预防机构的主要载荷工况为两倍增压载荷及卡滞载荷<sup>[7-8]</sup>。两倍增压载荷用于计算增压预防门的强度,卡滞载荷用于计算增压预防机构上分时凸轮、摇臂、连杆、弹簧等零件的强度。



a) 增压预防机构关闭状态 b) 增压预防机构开启状态  
1. Joint 3; 2. Joint 4; 3. Joint 6; 4. Joint 7; 5. Joint 8; 6. Joint 9;  
7. Joint 10; 8. Joint 13

图 4 增压预防机构动力学仿真模型

### 2.2.1 两倍增压载荷

7475 铝合金因具有高强度、高断裂韧性等特点而被广泛用于航空、航天等领域,增压预防门选用 7475 铝合金,材料属性如表 1 所示<sup>[9]</sup>。

表 1 7475 铝合金参数

	密度 /g · cm <sup>3</sup>	杨氏模量 /Gpa	抗拉强度 /Mpa	泊松比
数值	2.79	68.9	482	0.33

增压预防门细节有限元网格划分采用 Tet4 单元类型,可以减少网格数量,还可以提高求解精度。选取自适应网格划分,网格尺寸定义为 5 mm。网格划分的单元数为 128 335 个,节点数为 328 980 个。

弹簧力带动增压预防门转动,增压预防门上部两个挡块限制增压预防门向外运动,在增压预防门与门体结构连接处定义旋转副,在挡块限制处定义平移副。增压预防门所承受的增压载荷通过 Pressure 施加到其内表面上。飞机座舱释压活门最大调定值为 9.0 psi,考虑 1.5 倍安全系数,则增压舱气密工况极限载荷,即两倍增压载荷为,

$$1.5 \times 1.33 \times 9.0 \text{ psi} = 18.0 \text{ psi} = 0.124 \text{ MPa} \quad (5)$$

增压预防门材料 7475 铝合金的抗拉强度为 482 MPa,由图 5 所示的增压预防门范米塞斯应力云图可知,增压预防门范米塞斯应力为 82.9 MPa。经

计算,增压预防门在两倍增压载荷下其安全裕度大于 0,满足强度要求。

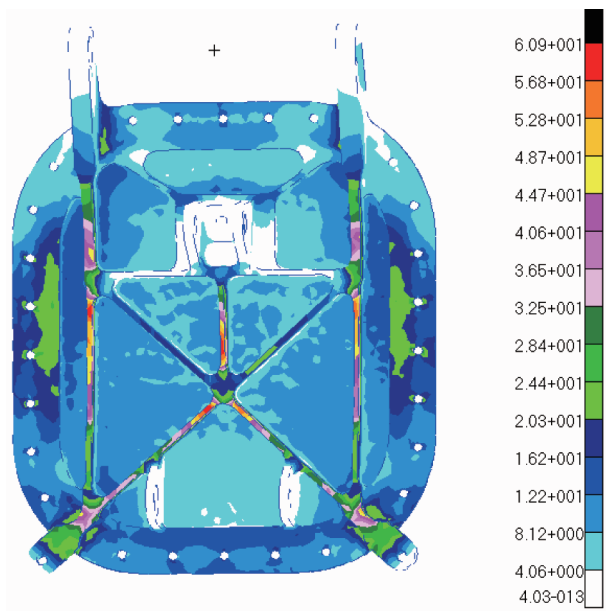


图 5 增压预防门范米塞斯应力云图 (MPa)

### 2.2.2 卡滞载荷

通过 Adams 软件模拟,得到增压预防机构在增压预防门卡滞、舱门手柄上作用 300 lb 极限载荷时,全局坐标下的机构内力,如表 2 所示。

表 2 增压预防机构内力

卡滞载荷	X 向 / N	Y 向 / N	Z 向 / N	合力 / N
Joint 3	-66.78	-903.3	1 098	1 423
Joint 4	-39.4	-581.1	-142.6	1 540
Joint 6	-26.55	-1.4	499.8	500.5
Joint 7	-22.98	21.19	-514.8	515.8
Joint 8	-16.35	114.4	-499.8	513.0
Joint 9	27.79	18.73	-471.0	472.2
Joint 10	-49.72	-326.8	-211.5	329.5
Joint 13	-15.37	-215.9	-586.8	625.4
Contact 1	-108.39	-1 515.60	-346.80	1 558.54

通过对增压预防机构的分时凸轮、摇臂、连杆、弹簧等零件分析发现,增压预防机构满足强度要求。

## 3 结论

根据民用舱门大小、门机构和锁机构分布及舱门结构布局的不同,导致增压预防门所处的位置也

有所不同,但实现增压预防机构的原理是相同的。一套新型的增压预防机构,能够同时实现监测舱门门闩锁机构、增压预防、快速泄压、破损安全、2 psi 锁定、破冰等多项功能,一套机构多样用途,既减轻了机构的重量,又提高了机构的安全性。对于民用飞机舱门增压预防机构的设计具有一定参考价值。

### 参考文献:

- [1] 吕国成,陈瑞东,刘可佳,等. 民用飞机半堵塞式舱门细节有限元模型[J]. 沈阳航空航天大学学报,2015,32(2): 80-84.
- [2] European Aviation Safety Agency. CS-25 Certification Specifications and Acceptable Means of Compliance for Large Airplanes [S].
- [3] 秦强,姚雄华,冯蕴雯,等. 空间四连杆机构过中心锁定可靠性分析[J]. 机械强度,2014,36(5):710-715.
- [4] 沈培良. 破损安全结构在损伤容限设计原则下的应用

[J]. 科学技术与工程,2012,12(31):8339-8343.

[5] NIU Michael Chun-Yung. Airframe Structural Design [M]. Hong Kong Conmilit Press Ltd. , 1988:554-561.

[6] 张伟,陶金库. MSC. ADAMS 虚拟仿真在应急门打开机构中的应用[J]. 飞机设计,2014,34(6):28-31.

[7] NIU Michael Chun-Yung. Airframe Stress Analysis and Sizing [M]. Hong Kong Conmilit Press Ltd. , 1999:27-54.

[8] 张伟,吕国成,袁强飞,等. 飞机登机门提升机构卡滞工况仿真与试验[J]. 航空计算技术,2014,44(4):37-39.

[9] FAA. Metallic Materials Properties Development and Standardization (MMPDS) [S].

### 作者简介

吕国成 男,硕士。主要研究方向:飞机强度分析;E-mail: lvguocheng401@163.com

郭晓庆 女,硕士。主要研究方向:飞机结构设计;E-mail: guoxiaoqing@sacc.com