

民用飞机舱门连杆支架优化研究

The Optimization Design of Door Connecting Rod Bracket Structure of Civil Aircraft

袁修起 / Yuan Xiuqi

(上海飞机设计研究院, 上海 201210)

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

摘要:

民用飞机舱门闭锁机构是防止舱门意外开启的机构部件。当机构发生卡阻且强制操作时,将产生较大的内力。在设备舱门闭锁机构中除连杆支架外都是杆形件且载荷较小,连杆支架结构形式复杂且载荷较大。在分析机构卡阻载荷的基础上使用有限元分析软件 HyperMesh 和 Opti-Struct 对三种结构形式的连杆支架进行了数值模拟。通过对比分析,得到了满足样机设备舱门功能要求和试验目的的连杆支架形式,为后续真实产品的设计提供参考。

关键词:民用飞机;结构设计;连杆支架

中图分类号:V223+.9

文献标识码:A

[Abstract] The cabin latch mechanism of civil aircraft is to prevent the door accidentally open parts. When a jam occurs forced operation, it will produce a greater internal force. The equipment door latch mechanism is all stem shape and load is small except the connecting rod bracket. Connecting rod bracket structure is complex and load is bigger. Based on analyzing resistance load, using the finite element analysis software HyperMesh and Opti-Struct, three kinds of structure forms of connecting rod bracket are simulated. With comparison and analysis, connecting rod bracket structure satisfied equipment doors functional requirements and prototype test purpose, which provides reference for the follow-up of the real product design.

[Key words] Civil Aircraft; Structure Design; Connecting Rod Bracket

0 引言

民用飞机设备舱门机构在正常开关情况下,手柄力比较小,在不计摩擦的情况下开门力为 24.5 N (2.5 kg)。在机构卡阻时,根据适航条款^[1]及设计准则,仍强制操作的手柄力 $F_{vio} = 300\text{lb} = 1\,335\text{N}$ 。经过换算后作用到摇臂的支撑结构—连杆支架上面的载荷最大为 5 033N。

连杆支架是设备舱门中比较典型的一个零件,对机构的正常可靠运行非常重要。本文对工程样机中设备舱门连杆支架的设计进行介绍。在设计过程中,采用设计和分析相结合的方法,借助于有限元仿真软件^[2],力求通过合理的应力分布、恰当的结构形式及选材,获得一个强度、刚度好而重量又轻的连杆支架结构。

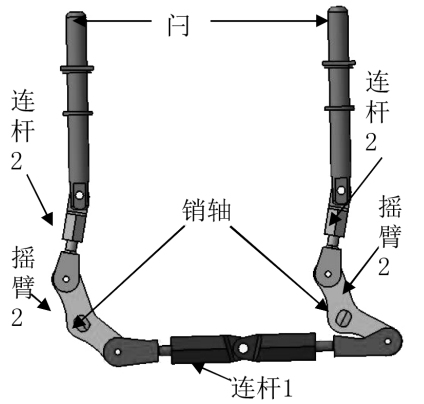
1 连杆支架的关联部件及受力分析

闭锁机构是可移动的机构部件,阻止舱门开启。当闭锁完全与结构组件配合并且通过闭锁操纵机构约束其位置称为上闭锁。闭锁机构包括闭锁操纵机构和闭锁。闭锁机构的运动主要是手柄机构上摇臂的转动带动闭锁机构中各连杆部件的转动。连杆支架是闭锁机构的重要组成部分,闭锁机构组成如图 1 所示。

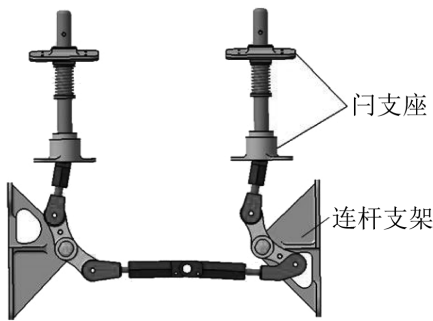
适航条款 25.783 指出:在门锁处于锁定位置的情况下,必须不可能使门闭锁脱开。门锁必须设计成能承受以下因素引起的载荷:手动操作门闭锁时,最大的操纵力。根据 AC 解释:手柄最大载荷为 300lbs,即 136kg,当手柄长度为 130mm 时,手柄轴上作用的力矩为 173 264N·mm。

正常操作时,最小解闭手柄力是 24.5 N

(2.5 kg)。对于机构发生卡阻,考虑以下 2 种情况:
(1)门关闭、左门卡阻;(2)门关闭、右门卡阻。



(a) 门机构零件



(b) 门机构与连杆支架的连接

图 1 门机构组成

当机构发生卡阻且强制操作时,将产生较大的内力。两个门之一发生卡阻时,其相应一侧的机构处于静定状态,因此可通过静力平衡计算求出机构零件及其支撑件的受力情况。下面针对左门卡阻和右门卡死两种情况进行静力学分析。

1.1 门关闭状态机构载荷

门关闭状态机构位置如图 2 所示。

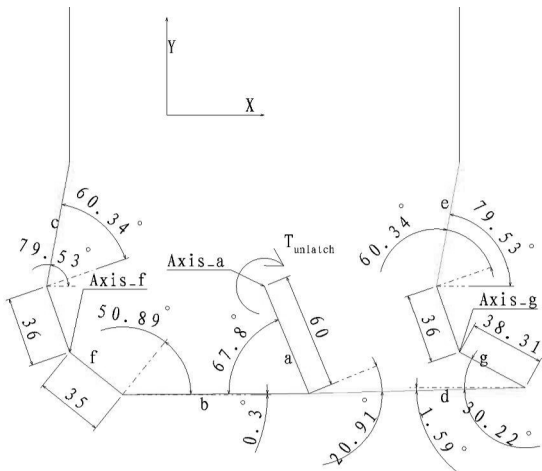


图 2 门关闭状态机构位置

1.1.1 左门卡死,忽略右门的弹簧力

由杆 a 对转轴 Axis_a 的平衡^[3]

$$60F_b \sin(67.8\text{deg}) + T_{\text{unlatch}} = 0 \quad (1)$$

得出:

$$F_b = -0.018T_{\text{unlatch}} \quad (2)$$

杆 a 的轴力:

$$F_a = -F_b \cos(67.8\text{deg}) = 0.007T_{\text{unlatch}} \quad (3)$$

由摇臂 f 对转轴 Axis_f 的平衡:

$$35F_b \cos(50.89\text{deg}) = 36 \times F_c \cos(60.34\text{deg}) \quad (4)$$

得出:

$$F_c = -0.022T_{\text{unlatch}} \quad (5)$$

摇臂 f 在转轴 Axis_f 处受到的力为 $F_{X_{\text{Axis}_f}}$ 、

$F_{Y_{\text{Axis}_f}}$,由摇臂 f 的平衡:

$$F_b \cos(0.3\text{deg}) + F_c \cos(79.53\text{deg}) + F_{X_{\text{Axis}_f}} = 0 \quad (6)$$

$$F_b \sin(0.3\text{deg}) + F_c \sin(79.53\text{deg}) + F_{Y_{\text{Axis}_f}} = 0 \quad (7)$$

得出:

$$F_{X_{\text{Axis}_f}} = 0.022T_{\text{unlatch}} \quad (8)$$

$$F_{Y_{\text{Axis}_f}} = 0.022T_{\text{unlatch}} \quad (9)$$

1.1.2 右门卡死,忽略左门的弹簧力

由杆 a 对转轴 Axis_a 的平衡:

$$-60F_d \cos(20.91\text{deg}) + T_{\text{unlatch}} = 0 \quad (10)$$

得出:

$$F_d = 0.018T_{\text{unlatch}} \quad (11)$$

杆 a 的轴力:

$$F_a = F_d \sin(20.91\text{deg}) = 0.006T_{\text{unlatch}} \quad (12)$$

由摇臂 g 对转轴 Axis_g 的平衡:

$$38.31F_d \sin(30.22\text{deg}) + 36F_e \times \cos(60.34\text{deg}) = 0 \quad (13)$$

得出:

$$F_e = -0.019T_{\text{unlatch}} \quad (14)$$

摇臂 g 在转轴 Axis_g 处受到的力为 $F_{X_{\text{Axis}_g}}$ 、

$F_{Y_{\text{Axis}_g}}$,由摇臂 g 的平衡:

$$-F_d \cos(1.59\text{deg}) + F_e \cos(79.53\text{deg}) + F_{X_{\text{Axis}_g}} = 0 \quad (15)$$

$$-F_d \sin(1.59\text{deg}) + F_e \sin(79.53\text{deg}) + F_{Y_{\text{Axis}_g}} = 0 \quad (16)$$

得出:

$$F_{X_{\text{Axis}_g}} = 0.021T_{\text{unlatch}} \quad (17)$$

$$F_{Y_{\text{Axis}_g}} = 0.020T_{\text{unlatch}} \quad (18)$$

手柄轴上作用的力矩 T_{unlatch} 为 173 550 N·mm,计算得杆 b、c、d、e 和摇臂 f、g 的受力结果,如表 1 所示。

表1 杆和摇臂的受力结果

	$F_b(N)$	$F_c(N)$	$F_d(N)$	$F_e(N)$	$f(N)$	$g(N)$
左门卡阻	-3 124	-3 818			5 009	
右门卡阻			3 124	-3 297		5 023

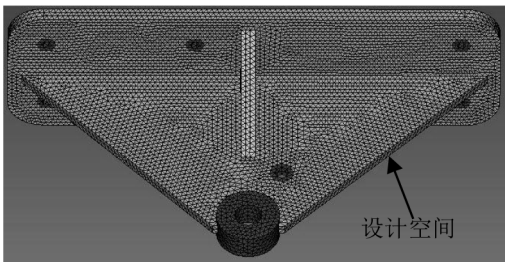
1.2 极限载荷比较

对比门关闭情况下机构卡阻时的载荷可知,机构载荷最大值是5 023N,作用在右摇臂上。摇臂所承受的卡阻载荷完全作用在右连杆支架上。在门机构中右连杆支架是受载最严重的零件,该零件的设计优化过程比较典型,本文对右连杆支架进行介绍。

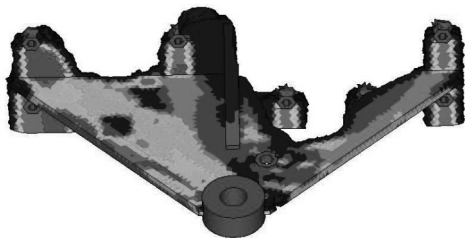
2 结构设计及优化

右连杆支架选用材料为7050-T7451 板材,材料弹性模量为71GPa,泊松比为0.33,抗拉强度为510MPa,屈服强度448MPa。支撑右连杆支架的纵梁材料也是7050-T7451 板材。作用在连杆支架上面的载荷为5 023N。采用Altair公司的Hyper-mesh11.0进行建模,用Optistruct求解器进行静力分析。

首先对连杆支架进行初步拓扑优化,优化模型及结果如图4所示。优化定义:在现有载荷情况下,定义非连接部位为设计空间;设计空间可拔模;约束:载荷作用点的总位移上限值为0.5mm;目标:最小化设计空间的体积。



(a) 优化设计模型

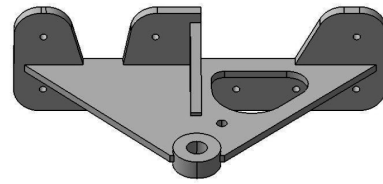


(b) 优化后等值面图

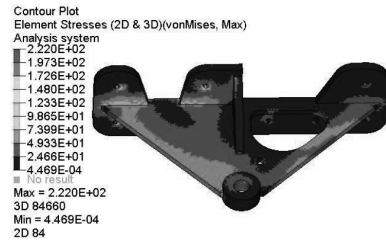
图4 拓扑优化模型

根据初步拓扑优化后的连杆支架模型,建立了

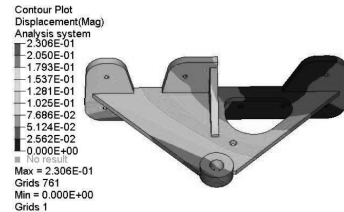
两种连杆支架的几何模型及其有限元分析模型,分别如图5、图6所示。



(a) 方案1 几何模型

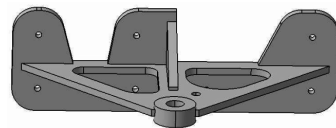


(b) 方案1 应力云图

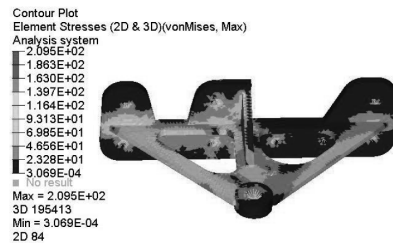


(c) 方案1 位移云图

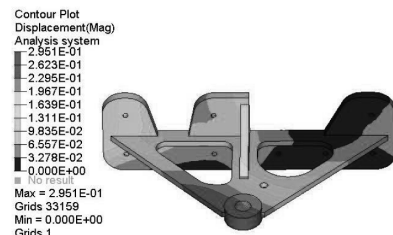
图5 方案1 模型及计算结果



(a) 方案2 几何模型



(b) 方案2 应力云图



(c) 方案2 位移云图

图6 方案2 模型及计算结果

图5中零件从应力分布图来看,单元应力最大为222MPa,与材料的屈服强度 σ_y 448MPa相比,有比较大的安全裕度。最大位移值为0.23mm,出现在载荷作用点处。零件变形比较小,整体刚度好。

图6中零件是在方案1的基础上增加减重孔,其余部位零件结构和方案1相同。在相同载荷工况下最大应力值是209.5MPa,小于材料的屈服强度 σ_y 448MPa,应力变化比较均匀,材料利用率比较高。最大位移为0.3mm,出现在载荷作用点处。零件变形比较小,整体刚度好。

方案2和1零件变形均较小,整体刚度好。但方案2比方案1多了个减重孔,重量更轻。

在拓扑优化前零件重量是0.12kg,依据拓扑优化结果所做的方案1零件重量是0.093kg,方案2零件重量是0.086kg。方案2和拓扑优化前相比,重量减轻了28%。以上设计过程是在拓扑优化基础上对零件进行尺寸优化的过程,经过逐步的设计优化,得出了比较理想的结构形式。

(上接第13页)

通风排液进口的布置不应使其他区域的火焰、易燃液体或蒸气进入本区域;通风排液出口的布置应防止排出的液体或蒸气再次进入机身区域或高温表面。

应合理采用电气搭接、屏蔽、闪电防护等措施,防止产生静电或火花。

3.4 非危险区

非危险区内的设备/部件应满足阻燃要求并能承受正常运行条件下舱内最高环境温度。

应避免在非危险区安装易燃油箱和携带易燃液体的组件,燃油管路应采用双层套管并通过排液管路通向机外,其他易燃液体管路应采用永久性接头。非危险区内携带易燃液体的组件应尽量布置在该区域的最下方。

应采取隔离措施防止其他区域的易燃液体或蒸气进入非危险区。

货舱、盥洗室必须设置符合要求的烟雾探测系统和灭火系统,驾驶舱和客舱应配备符合要求的灭火瓶。

应合理采用电气搭接、屏蔽、闪电防护等措施,防止产生静电或火花。

4 结论

本文的研究对民用飞机防火设计具有借鉴和

3 结论

本文对设备舱门机构组成及功能进行了介绍,分析了设备舱门机构非卡阻和卡阻两种情况下的受力情况,对卡阻工况下连杆支架结构的设计方案进行了阐述。借助于有限元分析软件,在拓扑优化的基础上通过尺寸优化对比分析应力和变形情况得到了应力分布均匀、刚度好、重量轻的连杆支架结构。该零件能够满足工程样机设备舱门的功能要求和试验目的,为后续真实产品设备舱门结构的设计打下了良好的基础。

参考文献:

- [1] 中国民航局. CCAR25-R3 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,2001.
- [2] 张洪武,关振群,李云鹏,等. 有限元分析与CAE技术基础[M]. 北京:清华大学出版社,2004.
- [3] 《飞机设计手册》总编委会编,飞机设计手册第9册:载荷、强度和刚度[M]. 北京:航空工业出版社,2001.

指导意义。飞机防火设计要求是基于工业技术发展水平的飞机安全性和经济性要求的平衡,制约于材料科学、机载系统和设备设计技术、火灾探测和灭火技术等航空工业技术发展水平,以及飞机重量、可靠性、环保性、运营成本等经济性要求,将随着科学发展和技术进步以及民众对安全性要求的不断提高而不断变化。

参考文献:

- [1] NTSB. Improve fire safety in transportation [EB/OL]. [2014-2-14]. http://www.ntsb.gov/safety/mwl6_2014.html.
- [2] 范维澄,刘乃安. 火灾安全科学——一个新兴交叉的工程科学领域[J]. 中国工程科学,2001,3(1):6-14.
- [3] 中国民航总局. CCAR25-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.
- [4] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册第13册:动力装置系统设计[M]. 北京:航空工业出版社,2006.
- [5] ANM-110, AC25-135. Powerplant Installation and Propulsion System Component Fire Protection Test Methods, Standards, and Criteria[S]. 1990.
- [6] RTCA Inc, DO-160G. Environmental Conditions and Test Procedures for Airborne Equipment[S], 2010.