

民机应急门口框上导向槽的设计

Design of Roller Guide on Emergency Door Surround Structure for Civil Aircraft

何 薇 / He Wei

(中航沈飞民用飞机有限责任公司, 沈阳, 110000)

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

摘 要:

民用飞机应急门口框结构受力较为复杂,是飞机结构疲劳设计重点关注的区域之一。门框上导向槽是确定应急门运动轨迹的关键构件。以某型民用飞机的应急门口框上的导向槽为主要研究对象,从导向槽的功能、结构、强度、制造、安装、材料等各个方面对该零件进行了分析,最终解决了该零件的关键几何特征定义的难点——孔径尺寸和齿形方向的形位公差。通过以上各方面介绍和分析,完整地提出了导向槽零件的设计思路和细节。

关键词: 口框; 导向槽; 应急门; 齿; 尺寸与公差

中图分类号: V244.21

文献标识码: A

[Abstract] It's relatively complicated for the loads of emergency door surround structure for civil aircraft, which is one important focus of aircraft structure design. The roller guide is the key part on emergency door surround structure, which has been taken as the main research object in this paper. The roller guide has been analyzed from the aspects of function, structure, stress, methods, installation and material, etc. At last, the hole diameter and the profile and position tolerance of serration has been settled, which is the difficulty of the definition of key geometrical features. Based on above analysis and introduction, the design and its details for the roller guide part has been presented completely.

[Key words] door surround; roller guide; emergency door; serration; dimension and tolerance

0 引言

民用飞机结构设计一般需要从结构布局入手,考虑结构方案、选材和工艺方法。在满足功能、可靠性、强度、刚度等要求的前提下,实现结构重量最轻、原材料采购及制造总成本最低的目标。民用飞机应急门口框结构复杂,而且有大量的界面(例如门、门止动销座及系统等),本文重点研究口框结构中的导向槽的结构设计。

1 应急门口框结构介绍

应急门是为了满足飞机安全性要求,在飞机发生紧急情况时给乘客提供安全的通道,使乘客能够在最短的时间内安全逃离。舱门需要承受客舱的增压载荷,不承受机身的总体载荷。这个部位机身上的总体载荷由舱门周围的结构,即门框承受。应

急门口框应具有一定的刚度,保证应急门打开方便;同时,应将在飞机轻度迫撞着陆时因机身变形卡住应急门的概率减到最小。

本文研究的某机型的应急门处于等机身直段的侧壁板上,属于机身较大开口。导向槽布置在开口内侧的两个主框上,左右各两个,如图1所示。

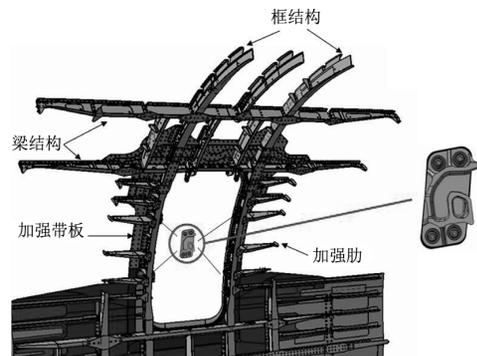


图1 某机型应急门口框结构

应急门打开过程中,整个打开过程划分为解锁、提升和推开三个阶段^[3]。其中的提升阶段,在该口框的楣梁结构上采用两个大的鹅颈铰链将舱门沿一定的轨迹向内再向上提升。先向内是为了将门从止动挡块的接触面上移开,这段轨迹主要靠门框上导向槽来控制,应急门上的滚子沿着导向槽的轨道移动使舱门打开和关闭。

2 导向槽的设计

2.1 载荷情况

理论上导向槽在舱门正常开闭下不承受机身载荷,它的主要设计载荷考虑以下几种工况:

(1) 失效-安全工况

在主框上临近导向槽的止动接头意外损坏时,导向槽零件要能代替止动接头承担部分座舱增压载荷。

(2) 导向载荷工况

在舱门打开和关闭时,滚子和导向槽内壁可能相接触。对导向槽内壁产生一个法向的挤压力,内壁任一点都可能是最大受力点,但一般在导槽的入口处。

(3) 轻微碰撞载荷工况

飞机横向突风时,滚子可能意外砸到轨道上沿或底面所产生的局部载荷。

其他例如疲劳载荷等对导向槽零件的影响不大,不作为主要设计载荷处理。经过强度计算,该机型应急门口框上的导向槽的最大载荷均为失效-安全载荷。

2.2 结构方案选择

为了避免滚子在移动时卡在轨道中,在导向槽的内表面与滚子之间保持一定的间隙,保证滚子单边接触导向槽轨道,如图2所示。

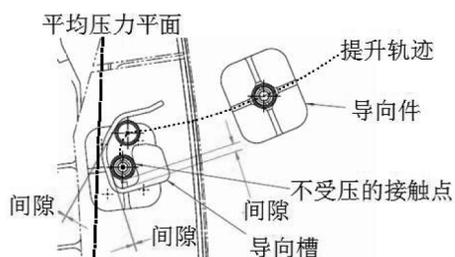


图2 导向槽界面图

其中,平均压力平面为止动挡块的连线。为了躲避止动挡块,导向槽的提升曲线与平均压力平面成一定角度。

另外,该机型的应急门有互换性要求,导向槽的安装需要在一定范围内可以调节。因此,导向槽不直接与框连接,而是在其下表面设计成一个互相垂直的双方向齿形的锯齿面,与门框上的齿形板配合使用,如图3所示。

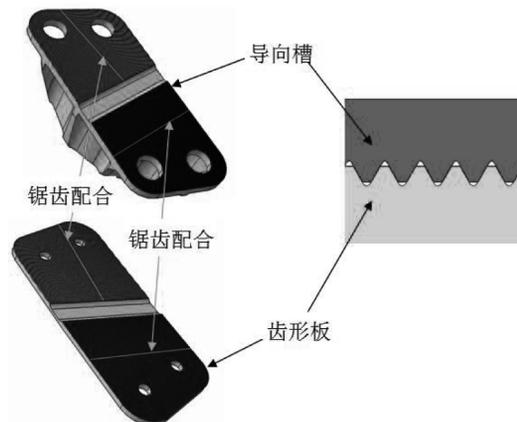


图3 锯齿配合

首先将螺栓穿过导向槽和齿形板预固定在框上,约束住齿形板和框在环向上的相对位置。在协调安装舱门时就可通过导向槽和齿形板之间的锯齿啮合在两个齿形方向上调整导向槽,直到满足界面配合要求,再将螺栓最终紧固,如图4所示。导向槽在齿形板上可以按照锯齿的齿距进行上下左右调节。因此,为了保证调节量,导向槽上与齿形板和主框进行螺栓连接的孔也应比螺栓的直径大一些。通常可以开方孔、圆孔或长圆孔。几种孔的方案对比如表1所示。

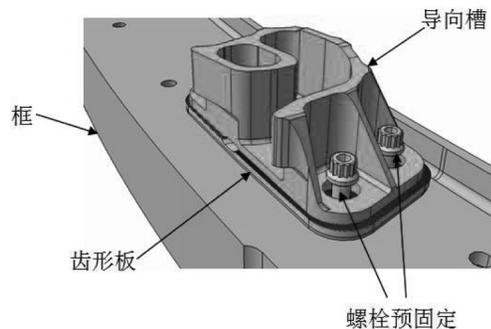


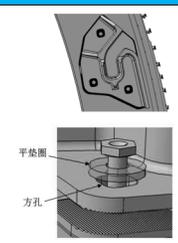
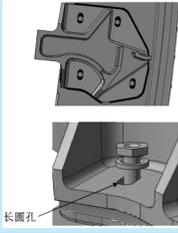
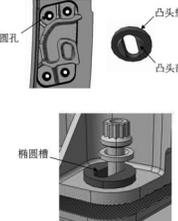
图4 结构概念示意图

可以看出,开圆孔搭配使用椭圆槽垫圈这种方案调节精确方便,满足设计和安装要求,因此选择这种形式的孔来进行设计。

2.3 制造及安装方法确定

导向槽、齿形板、主框等通过共同的紧固件进行连接,为了确保紧固件的安装,要求它们的组合孔之间满足一定的孔位精度。框是主要的安装件,

表 1 孔的形状方案对比

方案	图示	优点	缺点
方孔		方孔的直边与调整的两个方向相同。调整后用一个比孔大的平垫圈和螺栓压紧导向槽和齿形板,再配合底部的锯齿啮合即可固定零件,调节自由。	孔的两个直边方向都要有调整量,则孔的尺寸势必要大;孔的直边就决定了调整方向,则孔侧边与底面锯齿方向的平行度定义要严格;方孔给螺栓留出了很大的空隙,当调整完第一个方向要向第二个方向调整时,调整完的方向无法锁定,可能窜动,需要二次校准。
长圆孔		长圆孔大径的方向相对螺栓留有空隙,可以调节,单方向齿形易加工,零件尺寸小。	只有一个长边,只能在一个方向调节。
圆孔		特制一个凸头垫圈插入到导向槽的圆孔中,凸头部分与导向槽的圆孔配合,垫圈中间开一个椭圆槽,要将导向槽向哪个方向调整就将垫圈椭圆槽的大径对准哪个方向。向任一方调整的同时可确保其他方向的运动锁死,调节精确。	需要特制椭圆槽垫圈

因此导向槽和齿形板的孔的形位公差定义以框上的孔为基准。框同时与几个零件连接,并且主框上的零件布置紧密,因此采用某公司生产的定位器(结构形式如图 5 所示)可减小安装难度并节省安装空间。先将该定位器凸头部分与框上的孔通过干涉或过渡配合固定住,再将螺栓从框的另一侧穿过导向槽和齿形板等,定位器的卡紧装置会将螺栓杆固定,更换零件只需将螺栓取出即可。

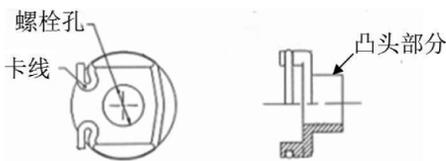
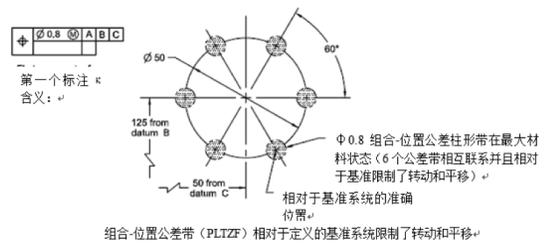


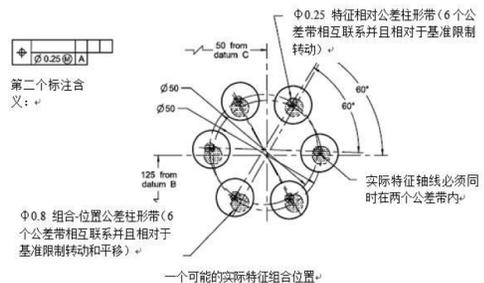
图 5 定位器结构形式

理论上导向槽的孔径应为螺栓的直径加上调整量,孔尺寸精度不是关键问题,重点是要保证孔群的相对位置的精度。因此需定义孔群的综合公差,例如 $\begin{matrix} \phi 0.025 & \text{A} & \text{B} & \text{C} \\ \phi 0.005 & \text{A} & & \end{matrix}$ (英制)。

组合位置度上面的公差约束相对于基准的转动和平移,限定了特征整体的位置,如图 6(a) 所示。下面的公差限定的是特征间的相对位置,一般公差带较紧。用于关联组合-位置公差带和基准的基本尺寸不应用到特征相对公差带的位置度^[4],如图 6(b) 所示。



(a) 组合孔的组合位置度定义 1



(b) 组合孔的组合位置度定义 2

图 6 组合孔的组合位置度定义

不仅导向槽上的组合孔有位置度要求,与它用共同紧固件连接的齿形板和框等也要满足各自的螺栓孔相对于它们自身基准的位置关系。在不同零件上保证相同孔尺寸及公差的最直接的方法是将这样的零件在装配现场配钻。在这里框作为主要装配件,因此选择在零件加工阶段框钻终孔,齿形板钻初孔,配钻时以框上的孔为基准。

2.4 齿形公差分配

导向槽和齿形板的锯齿采用的是 AS8879 标准文件中定义的 60° 螺纹, 如图 7 所示, 滚齿加工。若零件锯齿相对基准的角度偏差过大会阻碍滚子在导向槽内平滑滚动。

将导向槽上相互垂直的某一方向锯齿定义为第一方向, 垂直于它的另一个锯齿定义为第二方向。假设第一方向角度公差为 $\square 0.010 \text{ A B}$, 根据尺寸通过公差运算得出第一方向齿形的最大偏斜角度为 0.266° , 还可以满足与滚子的界面配合要求, 因此该倾斜度定义是合适的。

然而, 若导向槽和齿形板上各自的第二方向相对第一方向的垂直度偏差过大, 即使两个零件第一方向正常啮合, 导向槽第二方向的锯齿会出现不能完全卡入齿形板的情况, 其后果是导向槽将会悬在齿形板上, 这是不允许的情况, 如图 8 所示。

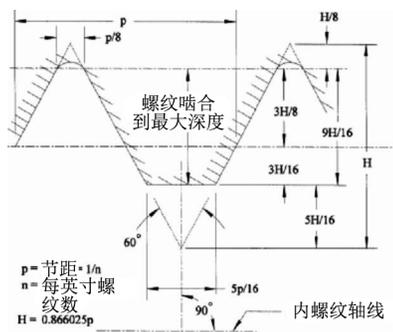


图 7 内螺纹最大材料状态

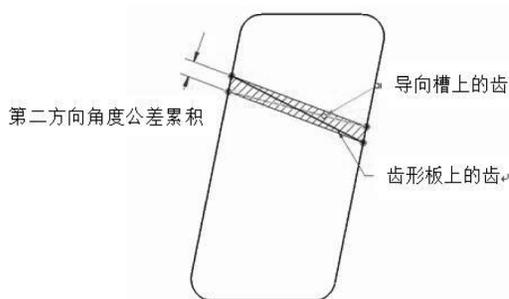


图 8 最坏情况

因此, 为了保证锯齿的正常啮合, 当导向槽和齿形板各自第二方向相对第一方向同时达到最大垂直度偏差时, 导向槽仍能与齿形板上保持一定的配合效率, 这是对锯齿配合的公差要求。

根据以上结论, 计算理论最大啮合深度过程如下:

$$p = \text{pitch} = 1/n = 1/32 = .03125 \quad (1)$$

$$H = 0.866025p = 0.02706 \quad (2)$$

$$9H/16 = 0.01522 \quad (3)$$

在两个零件第二方向各自处于最大垂直度的状态下, 齿面贴合效率应不小于理论状态的 75% (经验数据)。假设第二方向相对于第一方向的垂直度为 $\square 0.005 \text{ D}$, 根据尺寸运算得出定义的公差满足要求。

2.5 孔径尺寸计算

根据界面安装需要, 在导向槽相互垂直的锯齿方向上均定义 3 个齿距作为调节量, 约为 0.1 in。

孔径大小的定义原则: 在保证调节量的基础上, 还要满足当各种制造偏差累积达到最坏情况时螺杆不能碰到孔壁, 如图 9 所示。

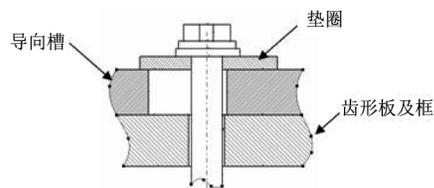


图 9 极限情况

实际需要限定的是孔的半径和轴线位置, 配合后孔单侧间隙减去最大累积误差应大于调节量。具体参数如表 2 所示, 计算过程如下。

表 2 输入参数表 (单位: in)

参数项	最大值	最小值	名义值
导向槽孔初始直径	0.474	0.462	0.468
导向槽孔直径的公差	+0.006	-0.006	
螺栓直径	0.249 5	0.248 5	
框上孔的直径	0.343 2	0.341 8	
框上孔直径的公差	+0.000 7	-0.000 7	
框上孔的位置度公差	+0.007 5	-0.007 5	
导向槽上孔的位置度公差	+0.012 5	-0.012 5	

可得孔单侧间隙为,

$$(0.462 - 0.2495) \div 2 - (0.006 + 0.0007) - (0.0075 + 0.0125) = 0.07955 \quad (4)$$

由上可知, 在初始参数条件下, 达到最大误差累积后孔单侧间隙调整量不足, 孔半径应至少增加 0.020 45 in, 最终孔直径应不小于 0.508 45 in。于是取最接近的标准钻孔尺寸值 33/64 (0.516 in) 作为孔径尺寸。

2.6 材料纤维方向定义

材料有三个纤维方向, L (Longitudinal) 向是平行于工作方向或者是金属上纤维流动的主方向, 是 (下转第 82 页)

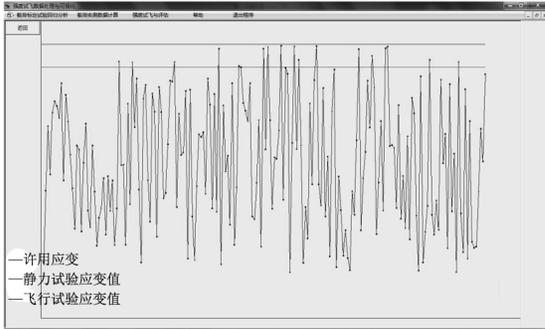


图 17 观测点试验曲线

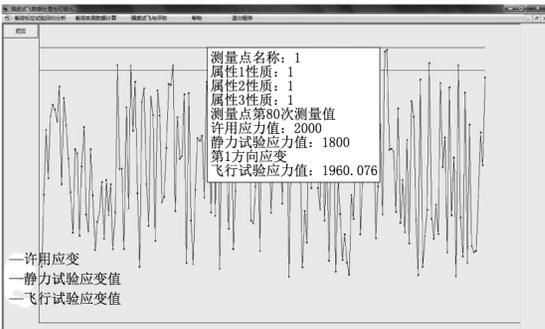


图 18 观察点任一采样时刻的详细信息

(上接第 75 页)
强度最高的方向^[5]。

出于结构需求,采用不锈钢 PH13-8Mo 方形棒材作为原材料。理论上应选材料的 L 向(长度方向)作为应力最高的方向,现实中受到了材料采购规格的限制。经强度校核最弱的 ST 方向亦可满足强度要求。最终的纤维方向定义如图 10 所示,L 方向同时垂直于 LT (Long Transverse) 与 ST (Short Transverse) 纤维方向。

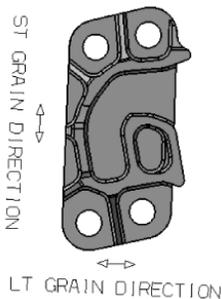


图 10 导向槽纤维方向

3 结论

本文介绍的某机型应急门口框结构上的典型零件——导向槽的设计实例,体现了先提升后翻转式打开的应急门的口框结构的支持方式与界面配

4 结论

本文利用 Visual Basic 编程语言高效的计算能力和强大的可视化显示能力,通过开发相应的数据处理与可视化程序,对飞机强度/试飞试验中产生的庞大数据进行处理,实现了数据处理的自动化与可视化,大大减轻了试验人员的工作量,提高了试验数据处理效率,并通过以可视化曲线的方式来表征测量数据的变化,便于试验人员对比、评估,该软件在未来的飞机试验中具有广阔的应用前景。

参考文献:

- [1] M. П 克利亚奇科(苏),等著,杨吉晨译. 飞机强度飞行试验(静载荷)[M]. 航空航天部《ASST》系统工程办公室, 1992. 8. 18.
- [2] 阎楚良等编. 大型结构部件载荷试验方法研究[M]. 北京:北京机械结构强度研究中心,1998.
- [3] 明日科技等编著. Visual Basic 开发技术大全[M]. 北京:人民邮电出版社,2007.

合要求。该导向槽结构在同类民用飞机的半堵塞式舱门的口框结构中有一定通用性,对相似功能的零件设计有指导意义,同时,导向槽零件的齿形符合国际行业标准,飞机结构中的齿形配合设计均可以此作为参考。

在实现设计意图的基础上,怎样合理地定义尺寸和公差是设计工作的重要内容,尤其装配间的公差分配更是一项值得研究的课题。其定义的合理性是设计重点考虑的问题,它能为制造和整个工程带来方便和效益。

参考文献:

- [1] 牛春匀. 实用飞机结构工程设计[M]. 北京:航空工业出版社,2008.
- [2] 《飞机设计手册》总编委会. 飞机设计手册第 10 册:结构设计[M]. 北京:航空工业出版社,2001.
- [3] 许清清. 大型客机应急门运动机构仿真技术研究[D]. 南京:南京航空航天大学,2012.
- [4] ASME Y14. 5-2009. The American Society of Mechanical Engineers (ASME)[S]. 2009.
- [5] 牛春匀. 实用飞机结构应力分析及尺寸设计[M]. 北京:航空工业出版社,2009.