

飞机结构装配间隙超差分析与对策^{*}

Analysis and Countermeasure for Out-of-Tolerance Clearance in Structural Assembly of Aircraft

中国商飞上海飞机制造有限公司 岳胜 代多兵
南京航空航天大学机电学院 安鲁陵

[摘要] 飞机结构装配过程中,间隙、阶差超差类问题比较普遍,如机身部段之间、舵面与结构之间、相邻整流罩壁板之间等。通过对典型的间隙、阶差超差案例进行分析,总结造成间隙、阶差超差的主要原因,并提出解决间隙及阶差超差类问题的系统思路及指导方法。

关键词: 飞机 结构装配 间隙 阶差 超差

[ABSTRACT] In assembly process of aircraft structural parts, it is common that the clearances and gradients between components exceed the tolerance, e.g. the clearances between the fuselage segments, rudders and structural parts, fairing panels, etc. As for the problems of over limit, through analyzing the typical cases in practical production, the main causes are analyzed, and the solution and operational methods are proposed.

Keywords: Aircraft Structural assembly Clearance Gradient Over limit

在飞机制造领域,为了保证飞机的飞行性能,设计时对零部件间的间隙和阶差都提出了具体要求。由于飞机零部件尺寸大,钣金件和复合材料零件易变形,结构形状和装配关系复杂^[1],导致由多个零件装配而成的部件之间的间隙和阶差经常超出设计容限,影响飞机制造质量和生产进度。本文结合实例,对飞机装配中遇到的典型间隙、阶差超差问题进行分析,归纳出超差的主要原因,提出相应对策,以期为解决飞机装配中的此类问题提供思路或方法。

1 间隙超差现象与原因分析

通过对在飞机装配过程中的4个典型间隙超差问题进行分析,举一反三,归纳总结出造成间隙或阶差超差的原因种类和对应的解决措施。

(1) 案例1: 雷达罩(图1)。

某机型飞机雷达罩通过2个铰链和2个锁扣与机

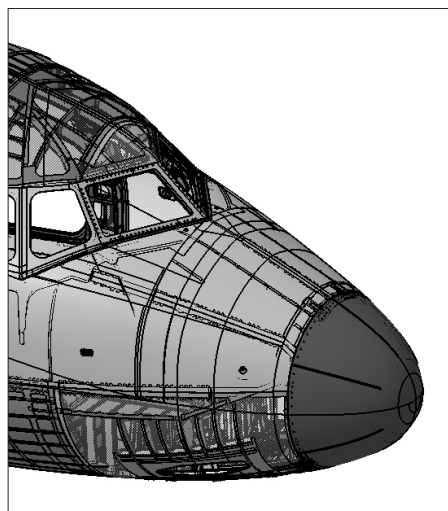


图1 雷达罩示意图

Fig.1 Diagram of radome

头相连接,按照设计,雷达罩与机头组件对接处的间隙和阶差均有要求。雷达罩在装配时,其与机头组件之间间隙、阶差易出现超差。

首先,雷达罩与机头分离面处外形尺寸分别通过2套标准工装保证,2套标准工装的容差分配等制造要求必须统一。另外,机头与雷达罩对接处隔框框缘为钣金件,雷达罩壳体为复合材料零件,2零件的制造及外形控制均比较困难,易发生变形。

为避免该问题,首先要加强对2套标准工装的控制,确保其制造标准一致,并根据标准工装制造配套的零件接收检验夹具。此外,可更改隔框框缘为机加件,以提高零件精度。采取上述措施后,该处间隙和阶差一次性提交合格率达98%以上,经过调整和补偿,可完全满足设计要求,产品合格率达到100%。

(2) 案例2: 主起舱门(图2)。

某机型的主起落架舱门在收起时,按照设计,舱门和主起舱整流罩之间有间隙和阶差要求。

舱门组件安装在起落架摇臂上,安装时是以起落架组件为装配定位基准,而主起舱整流罩组件是以机身隔

^{*} 中国商飞上海飞机制造有限公司科技创新基金项目(821206-13)资助。

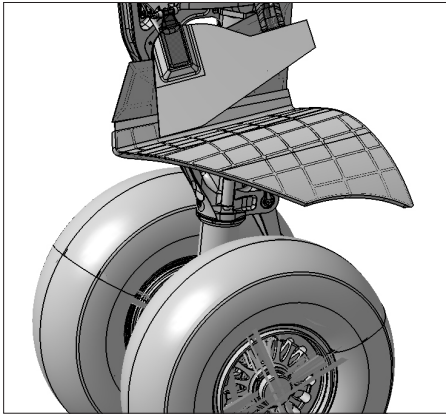


图2 主起舱门示意图

Fig.2 Diagram of landing gear hatch

框及龙骨梁下纵梁为定位基准。由于二者在装配时定位基准不统一,相对位置是通过型架间接保证,因而间隙和阶差容易出现超差。

为保证该处设计要求,首先须调整主起落架舱门定位基准,在装配舱门时,其与摇臂相连接的孔暂不制,待与主起舱整流罩协调间隙后再配钻。其次要改进工装设计,提高舱门定位型架定位精度。另外还可通过放宽主起舱整流罩工艺余量来对间隙进行补偿调整。实践证明,采取上述措施后该处装配效果得到明显改善,装配精度由原来的2mm提高到0.5~1mm。

(3) 案例3: 内襟翼端板(图3)。

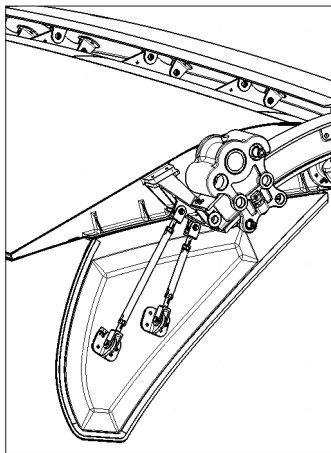


图3 内襟翼端板示意图

Fig.3 Diagram of flap board

某型号飞机内襟翼端板安装在内襟翼一号肋上,随内襟翼舵面一起运动。按照设计,端板与翼身整流罩之间间隙和阶差须满足要求。

在安装内襟翼端板时,如果翼身整流罩相关零部件在之前工序已经完成安装,则只能通过调整端板在内襟翼一号肋上的位置来保证其与翼身整流罩之间的间隙和阶差,而固定端板与内襟翼一号肋的角材上孔较多,

且孔的定位精度要求高,容易出现孔的干涉问题,导致端板在内襟翼一号肋上的位置可调性非常小。

为避免该处间隙或阶差超差,须保证翼身整流罩上与内襟翼端板相配合的挡圈、压条和垫块在端板装配之后再行安装,通过调整挡圈、压条和垫块的装配顺序和锉修其工艺余量,该处间隙即可得到保证。实践证明,采取上述措施后,该处间隙和阶差超差问题得到完全解决,装配精度由原来的3mm提高到0.5~1mm,产品一次性提交合格率达到100%。

(4) 案例4: 平尾翼根整流罩(图4)。

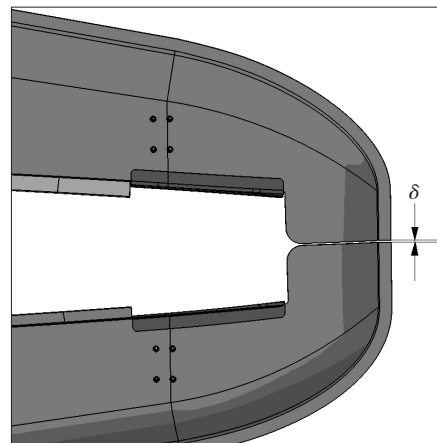


图4 平尾翼根整流罩

Fig.4 Diagram of tailplane root cowl

平尾翼根整流罩安装在平尾与垂尾交接处,分为左右两侧,单侧由上侧组件和下侧组件组成,其通过安装在平尾根部的支架进行固定,随平尾转动进行联动,上下组件之间有间隙要求。

整流罩组件由角材、胶条和蒙皮组装而成。整流罩罩体外形曲面较复杂,上下组件为复合材料,制造误差较大。组件后部角材安装时的定位精度也较低。这些误差的积累容易导致最后上下组件之间间隙出现超差。

该机型平尾整流罩组件外包制造,对外厂制造过程必须严格控制。首先,技术协议中必须含有对外形尺寸、定位尺寸等的详细的检验和验收标准,要明确整流罩制造外形控制的模具、型架精度。此外,在现场生产时需对每道工序及时做出检验和反馈,以做到有效控制和预防超差。

2 原因归纳与对策

通过对以上4个典型案例的分析,总结出造成间隙或阶差超差的主要原因以及预防或解决该类问题的对策(图5)。

2.1 引起间隙超差的因素

在飞机制造过程中,引起间隙及阶差超差的原因有

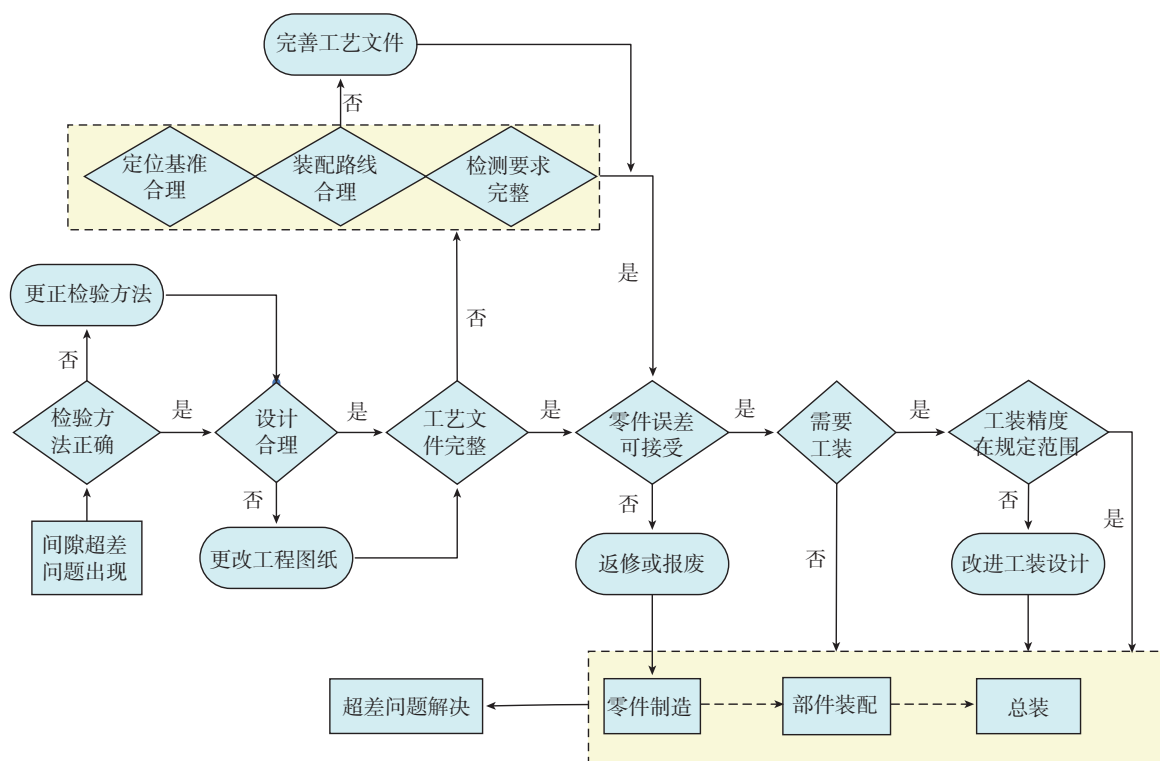


图5 间隙/阶差超差分析及解决逻辑图

Fig.5 Analysis and solution logic diagram for out-of-tolerance clearance and gradient

很多。从飞机设计到最后完成总装的各个阶段,均含有可能造成间隙或阶差超差的因素。具体有以下几类:

- (1) 零件制造误差;
- (2) 部件装配积累误差;
- (3) 装配定位基准不统一;
- (4) 装配工艺路线不合理;
- (5) 检验工具工装存在问题;
- (6) 外厂供应商零件制造技术协议不完善。

2.2 预防或解决间隙超差问题措施

分析解决间隙/阶差超差问题可参考图5进行。对应造成间隙或阶差超差的主要原因,整理出避免和解决间隙超差类问题的几个要点:

- (1) 提高零部件制造、装配精度。

可通过改进零件制造工艺或更改零件加工方法提高零件制造精度,但零件精度要求提高往往意味着制造成本的增加,因此目前精密机构多数采用的是结构与公差同步设计的思路,在满足功能的前提下确定最合适的精度要求。由于飞机零件多,只有严格控制零件的制造精度,才能有效降低累积误差的产生。

装配积累误差是造成结构间隙超差的主要原因之一。配合零件间,配合公差不仅影响配合部件的质量,而且涉及制造成本。目前在飞机结构装配中采用的方

法有分组装配技术、数字化装配技术、模块化装配、柔性装配技术等,其中柔性装配技术已开始越来越多地应用于飞机舵面吊装等大部件装配中。近些年随着计算机技术的发展,虚拟装配技术的应用已经非常广泛,如波音777、X-32战斗机、波音737等。这些装配技术的发展应用,极大地缩短了研制周期,提高了装配精度。

- (2) 统一装配定位基准。

对于有相互位置要求的零部件,应尽可能使用统一的装配定位基准。在无法直接使用同一定位基准的情况下,再考虑通过使用工装间接实现定位基准的统一。装配定位基准的确定应遵循以下原则:

- 装配定位基准与设计基准统一的原则。结构件定位尽可能直接利用设计基准作为装配定位基准。

- 装配定位基准与零件加工基准统一的原则。尽量做到装配定位基准与零件加工基准统一,否则应进行协调。如整体肋在数控加工时的定位基孔,在装配夹具内定位时也采用该孔作为装配定位基准,这样能保证较高的位置准确度。

- 装配基准与定位基准重合的原则。在部件或分部件为叉耳对接时,这些接头或平面在部件(分部件)装配时是定位基准,在部件对接时作为装配基准,亦即装配基准与定位基准统一。

· 基准不变原则。在部件的整个装配过程中,每道工序及每一个装配阶段(装配单元)都用同一个基准进行定位。如在机翼后梁装配时以起落架接头作为定位基准,则在机翼部件装配及部件对合时均以起落架接头作为定位基准。

(3) 优化装配工艺路线可以避免某些间隙超差问题的出现。

装配间隙是否可以满足要求与装配工艺准备工作是否合理有着密切的关系,而装配工艺路线是否合理将直接影响装配工作的难易程度和产品的最终质量。在零部件装配过程中,对于有相互协调要求的零部件,应通过合理的装配工艺顺序,优先保证其相对位置,以避免超差问题出现。

在制定装配路线时,不但应充分考虑不同结构件之间的先后装配位置关系,而且还要考虑系统件、成品件等其他系统对机体局部结构件安装位置、操作空间的影响,并要根据在实际装配过程中的工作任务划分、飞机装配单元的分布情况不断协调完善。比如机头蜂窝挡板与气象雷达系统之间有位置要求,在装完蜂窝挡板后,就无法连接线缆。再比如舵面与结构件之间有间隙要求,而舵面均为互换件,因此与舵面相配合的整流罩壁板一般要在舵面吊装之后再行安装和铰修。

(4) 预留设计或工艺余量。

对于相互有间隙或阶差要求的零部件,必须有相应的保证措施,一般须留有设计补偿或工艺补偿^[2],避免由于间隙过大而造成零部件报废。如飞机活动面与固定结构间有严格的间隙要求,活动面一般为复合材料制成的大部件,工艺技术复杂、造价昂贵,且会因重力产生扭曲变形,因此该类间隙往往不易直接保证,只能通过调整结构余量来实现。再比如飞机表面的整流罩,多为薄板形状,主要作用是保证飞机表面的流线型,减小空气阻力,因此整流罩相互间有间隙和阶差要求,目前多数飞机的整流罩采用的是玻璃纤维或碳纤维复合材料,由于以上特点,整流罩组件一般易发生弹性变形,因此整流罩相互间的间隙也主要是通过保留工艺余量来保证。工艺余量的确定须遵循以下原则:

· 余量补偿会增加工作量,因此必须对不同装配方法进行综合技术分析,再采用余量补偿。

· 采用余量补偿方法,不得影响产品的性能,如重量、强度、表面保护等,且铰修后的表面必须采取防护措施。

· 合理确定留余量的零件和余量部位,以方便修配或加工,一般余量留在外侧、易于加工的材料上。

· 留余量大小,应考虑修切余量的加工方法。

(5) 注意检查零部件检验工具工装是否存在问题。

实际工作中,部分间隙及阶差超差可能是由于零部件检验工具工装本身有误或者检测者操作错误造成的。目前,三维坐标测量仪、激光测量法等先进的测量设备和方法已普遍应用于飞机装配领域。与传统测量工具工装相比,对这些仪器的操作和维护要求也相对较高。实际工作中必须重视对使用这些测量设备的相关人员的培训,以确保仪器的状态和使用者的操作无误。另外,需要注意有相互配合要求的零部件的检验工具工装的制造标准是否一致,必须确保同一飞机部位的多套标准工装的容差分配一致等^[3]。

(6) 制造技术协议的编写。

制造技术协议必须包含零部件制造的依据、交付状态、检验标准、运输保护措施等各个方面^[4],并且应尽可能的细化。特别是对于由不同供应商分别制造的且有配合要求的零部件,必须加强对其容差分配、工装或模具外形精度、验收标准等的控制,并且在制造过程中,要及时对它们的相关数据状态做出检验和反馈,以对可能出现的超差问题做出有效的预防。

在实际装配中,由于飞机结构的复杂性,间隙及阶差超差往往是由多种原因共同造成的。以上提供的是一种避免或解决超差问题的思路,在实际工作中,我们应结合以上总结的几个要点,尽量做到避免超差问题的出现。当需要解决该类超差问题时,我们还要结合实际问题具体分析,找出造成间隙超差的最主要原因,再寻找最合适的解决方案。

3 结束语

本文通过对飞机装配生产中的典型间隙、阶差超差案例进行分析,总结了造成间隙超差的主要原因,并提出解决间隙超差类问题的系统思路及指导方法。随着国内民用飞机研制技术的发展,把飞机研制中的问题进行总结,系统地归纳、分类并深入研究,将其成果应用到今后飞机的研制过程中,可以有效避免或减少诸如间隙超差问题的出现,对提高飞机质量和生产效率、减少飞机研制成本、缩短生产周期具有重要的促进作用。

参 考 文 献

- [1] 杜鹃. 飞机装配不协调问题的原因分析及解决方法. 中国高新技术企业, 2011(7): 114-116.
- [2] 《航空制造工程手册》总编委会. 航空制造工程手册: 飞机装配(2版)北京: 航空工业出版社, 2010.
- [3] 程宝蓁. 飞机制造协调准确度与容差分配. 北京: 航空工业出版社, 1987.
- [4] 范玉青. 现代飞机制造技术, 北京: 北京航空航天大学出版社, 2001.

(责编 亦非)