

航空技工院校教材



—— *Feiji Zhuangpei Gongyixue* ——

# 飞机装配工艺学

下 册

王海宇 主 编

西北工业大学出版社

航空技工院校教材

# 飞机装配工艺学

下 册

主 编 王海宇

副主编 汉锦丽

编 者 王海宇

王晋涛

汉锦丽

贺 磊

康娟红

高 岚



西北工业大学出版社

**【内容简介】** 本书为《飞机装配工艺学》下册。主要内容包括飞机装配准确度有关知识、胶接和胶接结构装配复合材料结构与制造、点焊和胶焊结构装配的基本知识、飞机总装配和机场工作生产工艺准备、飞机构造工艺性和飞机数字化装配系统等。

本书可作为航空技工院校教材,也可供从事飞机装配的工人,技术人员以及大、中专和技工院校的飞机装配专业师生参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

飞机装配工艺学.下册/王海宇主编. —西安:西北工业大学出版社,2013.8  
ISBN 978-7-5612-3761-8

I. ①飞… II. ①王… III. ①飞机—装配(机械)—工艺学—高等学校—教材 IV. ①V262.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第196906号

出版发行:西北工业大学出版社

通信地址:西安市友谊西路127号 邮编:710072

电 话:(029)88493844 88491757

网 址:<http://www.nwpup.com>

印 刷 者:兴平市博闻印务有限公司

开 本:787 mm×1 092 mm 1/16

印 张:9.625

字 数:231千字

版 次:2013年8月第1版

2013年8月第1次印刷

定 价:22.00元

# 前 言

笔者多年来一直在航空技工院校从事“飞机装配工艺学”课程的教学工作。根据现今飞机装配技术的发展和技工院校学生对知识技能的实际需求,并结合教学实践,笔者体会到,编写一本适合于技工院校航空类专业教学的《飞机装配工艺学》教材是十分必要的。本书是以笔者多年使用讲义为基础,参考国内外一些教材、文献资料编写而成的。

本书分上、下两册。上册主要内容:绪论部分介绍了飞机结构的基本特点、飞机装配的工艺特点、飞机装配工作的要求、飞机构造和飞机装配工艺的发展趋势,让读者初步了解和认识飞机装配工艺技术的基本知识;第一章介绍了飞机的工艺分解及装配单元的划分、装配基准、装配定位与固定、工艺文件等内容;第二章对铆接技术进行了详细分析;第三章全面阐述了螺纹连接技术;第四章至第八章简单介绍了飞机装配中的补偿、互换与协调、装配型架、飞机结构装配图识读和飞机装配检测方法的基本知识。

下册主要内容:第一章简单介绍了飞机装配准确度有关知识;第二至四章主要阐述了胶接和胶接结构装配、复合材料结构与制造、点焊和胶焊结构装配的基本知识;第五至八章概括介绍了飞机总装配和机场工作生产工艺准备、飞机构造工艺性、飞机数字化装配系统等;附录对飞机生产的技术安全与环境保护的有关知识进行了简单说明。

在编写本书的过程中,笔者根据航空技工院校教学特点和学生的认知规律,坚持够用、实用的原则,力求使内容简明易懂。同时,为了增强内容的前瞻性,体现飞机装配技术的最新发展成果,本书涉及了中航工业西飞公司飞机装配的一些新技术、新工艺和新设备。

本书下册由王海宇任主编,汉锦丽任副主编。具体写作分工如下:第一章由高岚、贺磊、汉锦丽编写;第二至三章由康娟红编写;第四章由王海宇、汉锦丽编写;第五至八章、附录由王海宇、王晋涛编写。全书由汉锦丽统稿。

感谢西飞技师学院教务处对本书的编写进行了精心组织筹划和大量的协调工作。参加审稿的人员包括:中航工业西飞国际飞机制造总厂厂长骆学涛、中航工业西飞国际国航总厂厂长高晔、中航工业西飞国际飞机制造总厂厂长助理王建旗、中航工业西飞国际国航总厂“中华技能大奖”获得者万胜强、西飞技师学院司智渊和魏云山。

在编写本书过程中,笔者参考了部分国内外文献资料和高等院校的有关教材,在此谨对原作者深表感谢。

由于水平有限,书中不妥和疏漏之处在所难免,恳请读者不吝赐教。

编 者  
2013年3月

# 目 录

第一章 飞机装配准确度	1
第一节 基本概念	1
第二节 各种装配方法的装配准确度分析	5
第三节 装配误差中各环节的误差	6
第四节 提高装配准确度的补偿方法	8
思考题	14
第二章 胶接与胶接结构装配	16
第一节 金属胶接概述	16
第二节 结构胶粘剂	17
第三节 金属胶接工艺	19
第四节 磷酸阳极氧化	24
第五节 加温、加压设备与胶接夹具	27
第六节 胶接质量检测与控制	30
思考题	35
第三章 复合材料结构与制造	36
第一节 概述	36
第二节 树脂基体与增强材料	40
第三节 复合材料的成型工艺方法及特点	44
第四节 玻璃钢零件的成型工艺	48
第五节 复合材料结构件成型工艺	55
第六节 复合材料的机械加工	59
第七节 复合材料的质量检测与控制	65
思考题	69
第四章 点焊和胶焊结构装配	71
第一节 概述	71
第二节 点焊	72
第三节 胶接点焊	86
思考题	95

第五章 飞机总装配和机场工作 .....	96
第一节 飞机总装配 .....	96
第二节 机场车间工作 .....	111
思考题 .....	112
第六章 生产工艺准备 .....	113
第一节 概述 .....	113
第二节 新机研制阶段的生产工艺准备 .....	114
第三节 生产工艺准备各项工作的内容 .....	115
思考题 .....	119
第七章 飞机构造工艺性 .....	120
第一节 概述 .....	120
第二节 提高飞机构造工艺性的主要途径 .....	122
思考题 .....	129
第八章 飞机数字化装配系统 .....	130
第一节 概述 .....	130
第二节 飞机柔性装配系统 .....	132
第三节 数字化测量与定位技术 .....	135
思考题 .....	139
附录 飞机生产的技术安全与环境保护 .....	140
第一节 飞机生产的技术安全 .....	140
第二节 飞机生产的环境保护 .....	146
思考题 .....	147
参考文献 .....	148

# 第一章 飞机装配准确度

## 第一节 基本概念

### 一、飞机装配准确度要求

飞机装配好以后应达到对其规定的各项性能指标,其中包括飞机的空气动力性能(飞机零件的尺寸、刚度)、飞机的各种操纵性能、飞机结构的强度和耐久性能等。飞机装配的准确度除了对飞机的各种性能有直接影响外,还会影响产品的互换性能。为保证飞机产品的质量,对飞机装配的准确度提出了以下几个主要方面的要求。

#### 1. 飞机空气动力外形的准确度

飞机空气动力外形的准确度包括飞机外形准确度和外形表面平滑度。

(1)飞机外形准确度。飞机外形准确度是指飞机装配后的实际外形偏离设计给定的理论外形的程度。一般来说,飞机的最大飞行速度愈高,对飞机外形的准确度要求愈高;翼面类部件(机翼和尾翼)比机身部件的外形准确度要求高;各部件的最大剖面以前部分又比最大剖面以后部分的外形准确度要求高。如图 1.1 所示为飞机各部件外形准确度的要求。

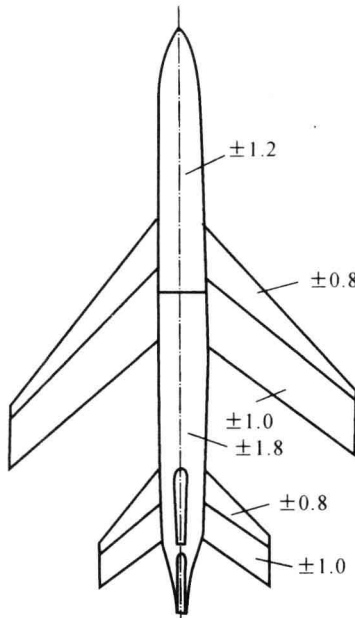


图 1.1 飞机各部件外形的准确度要求

此外,飞机外形的波纹度对飞机的空气动力性能有重要影响。因此,在飞机设计中还专门规定了外形波纹度要求。外形波纹度要求规定了在一定波长上所允许的波幅值(即波峰与波谷的高度差)。外形波纹度误差是两相邻波峰与波谷的高度差  $H$  和波长  $L$  的比值,即

$$\Delta\lambda = H/L \quad (1.1)$$

(2) 外形表面平滑度。飞机外形表面的局部凸起和凹陷对飞机的空气动力性能也有影响,因此,对飞机外形表面上的铆钉头、螺柱头、蒙皮对缝的阶差等局部凸凹不平度均有一定要求。垂直于气流方向的蒙皮对缝处的阶差,尤其是逆气流方向凸起的阶差,比顺气流方向的阶差要求更严格。图 1.2 所示为飞机表面的平滑度要求。

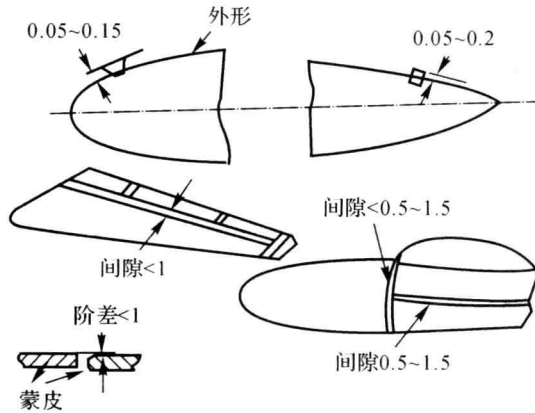


图 1.2 飞机表面的平滑度要求

## 2. 各部件之间对接的准确度

为保证飞机的飞行性能,设计飞机时,对各部件之间的相对位置准确度做出了一定的技术规定,具体要求如下:

(1) 机身各段的同轴度要求。

(2) 机翼和尾翼相对于机身的安装角  $\alpha$ 、上反角(下反角) $\beta$  和后掠角的准确度要求,如图 1.3 所示。允许的误差一般是将角度尺寸换算成线性尺寸,通过飞机的水平测量进行检查。

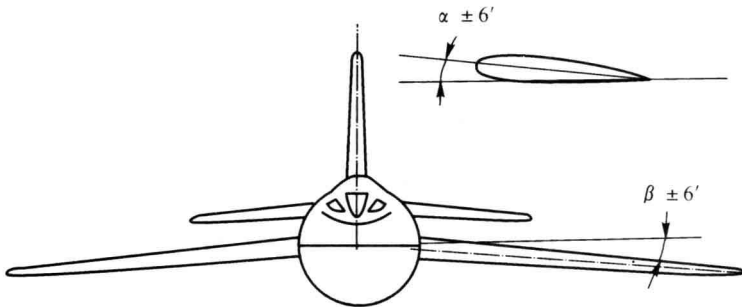
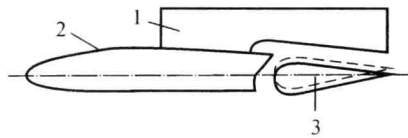


图 1.3 机翼相对于机身的位置准确度要求

(3) 对于飞机的各操纵面,包括副翼、升降舵和方向舵等,为了保证操纵灵活,除对多支点转轴的直线度提出准确度要求外,还规定了固定翼面和舵面外形之间须保证一定的间隙和外形阶差要求,如图 1.4 所示。





· 图 1.4 舵面相对于固定翼面的外形要求  
1—检验样板； 2—固定翼面； 3—舵面外形

(4)各部件之间对接的准确度取决于各部件对接接头之间和对接接头与外形之间的协调准确度。为了保证各部件的互换性,以及部件对接时因接头之间尺寸不协调用强迫连接而在结构中产生过大的残余应力,对各部件对接接头的配合尺寸和对接螺栓孔的协调准确度提出了比较严格的要求,如图 1.5 和图 1.6 所示。

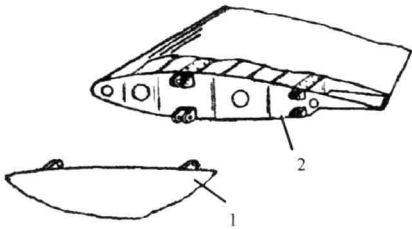


图 1.5 叉耳式接头

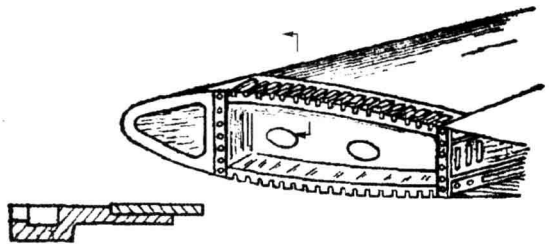


图 1.6 凸缘式接头

### 3. 部件内各零件的组件的位置准确度

部件内部各零件和组件的位置准确度一般容易保证,如大梁轴线位置允差和不平度允差一般为 $\pm(0.5\sim 1.0)$  mm;翼肋和隔框轴线位置允差一般为 $\pm(1.0\sim 2.0)$  mm;长桁轴线位置允差一般为 $\pm 2.0$  mm。

## 二、制造准确度和协调准确度

### 1. 制造准确度

飞机零件、组件或部件的制造准确度是指它们的实际形状和尺寸与飞机图纸上所定的公称尺寸相符合的程度,符合程度越高,则制造准确度越高,即制造误差越小。

### 2. 协调准确度

协调准确度是指两个相配合的零件、组件或部件之间配合部分的实际形状和尺寸相符合的程度,这种相符合的程度越高,协调误差就越小。

在飞机制造中,首要的是保证协调准确度。为保证零件、组件和部件之间的协调准确度,通过模线、样板和立体标准工艺装备(如标准量规和标准样件等),建立起相互联系的制造路线。在零件制造和装配中,零件和装配件最后的形状和尺寸的形成过程是,以飞机图纸为依据,通过模线、样板和标准工艺装备制造出模具、装配夹具,然后制造零件和进行装配等一系列形状和尺寸的传递过程。

### 3. 在飞机装配中,对装配协调准确度的要求

(1)工件与工件之间的协调准确度。如果工件与工件之间配合表面的协调误差大,在配合表面之间必然存在间隙或过盈,或螺栓孔的轴线不重合,连接时形成强迫连接,连接后在结构

中产生残余应力,影响结构强度。因此,工件与工件之间配合表面的形状和尺寸有一定的协调准确度要求。

(2)工件与工艺装配夹具之间的协调准确度。为保证飞机装配的准确度,重要的组合件、板件、段件和部件一般是在装配夹具(型架)中进行装配的。进入装配的各零件和组合件在装配夹具中是以定位件的定位面(或孔)定位的。如果工件和定位件的定位面(或孔)的协调误差大,装配时通过定位夹紧件的夹紧力使工件与定位件的定位面贴合,则在工件内同样要产生内应力。在装配完并松开夹紧件后,结构中的内应力重新分布而形成残余应力。为控制和减少结构中的残余应力和结构变形,需要对工件和装配夹具之间的协调准确度提出一定的要求。

要达到工件与工件,以及工件与装配夹具之间的协调准确度,还要保证有关工艺装备之间的协调准确度。

### 三、装配尺寸链

所谓尺寸链就是在零件或装配件上,各零件表面及其轴线之间的一组尺寸(或角度)按一定次序首尾相接形成的封闭的链。描述装配件中各零件尺寸相互关系的尺寸链称为装配尺寸链,如图 1.7 所示。

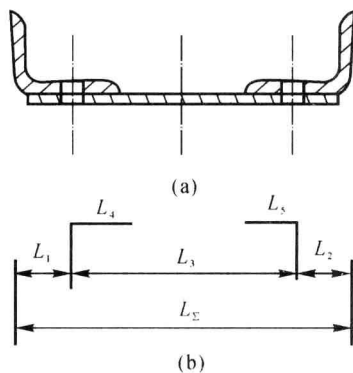


图 1.7 翼肋按装配孔装配时装配尺寸链的形成图

(a)翼肋; (b)装配尺寸链

在尺寸链中,将零件加工或装配完毕以后形成的尺寸称为封闭环,如图 1.7 所示中的  $L_{\Sigma}$ 。除封闭环以外所有的尺寸称为组成环。

在尺寸链中,当一部分组成环的尺寸增大时,封闭环的尺寸随之增大,这些组成环称为增环;而当另一部分组成环的尺寸增大时,封闭环的尺寸随之减小,这些组成环称为减环。

如果尺寸链中所有的尺寸是相互平行的,这种尺寸链称为线性尺寸链,如图 1.7 所示即为线性尺寸链。如果全部和一部分尺寸相互不平行,但都在一个平面或平行的平面内,形成封闭的多边形,这种尺寸链则称为平面尺寸链。

### 四、影响装配准确度各种误差的分类

影响装配准确度的各种误差可以分成两大类:一类是与装配时所采用的定位方法有关的各种误差,另一类是与定位方法无关的各种误差。

### 1. 与定位方法有关的各种误差

(1) 进入装配的零件、组合件的制造误差。其中包括装配时各定位面的尺寸误差。

(2) 装配夹具的误差。其中包括装配夹具的制造误差和使用时产生的变形误差。

(3) 工件和装配夹具之间的协调误差。其中包括零件、组合件之间的协调误差,零件、组合件与装配夹具定位面和定位孔之间的协调误差,各种装配夹具之间的协调误差。这些协调误差的存在,必然引起强迫装配,使工件产生弹性变形,在装配以后产生变形误差。

### 2. 与定位方法无关的各种误差

(1) 由于连接引起的变形误差。铆接时,由于钻孔力、铆接力以及铆钉沿全长膨胀不均匀等各种因素,均会使结构产生变形,并在结构中产生残余应力;焊接时,由于零件各处受热不均匀,以及焊缝在冷却时局部收缩会引起焊接变形误差。

(2) 由于车间温度变化引起的变形误差。飞机部件尺寸大,飞机零件、装配件与工艺装备的材料不同,因而热膨胀系数不同,并且车间的温度随季节和时间变化而异,必然使工艺装备和工件产生变形误差。

## 第二节 各种装配方法的装配准确度分析

### 一、在型架内以骨架外形为基准装配的准确度

当采用以骨架外形为基准装配时,产品装配的准确度主要取决于骨架装配的准确度。骨架装配的准确度又取决于骨架零件和组合件的准确度以及装配夹具(型架)的准确度。因此,以骨架外形为基准装配的准确度取决于以下几方面的误差:

- (1) 装配夹具的制造误差;
- (2) 骨架在装配夹具中的定位误差;
- (3) 蒙皮在骨架上的定位误差;
- (4) 蒙皮厚度的误差;
- (5) 由于连接和其他原因引起的变形误差。

### 二、在型架内以蒙皮外形为基准装配的准确度

当采用以蒙皮外形为基准进行装配时,可以显著提高飞机外形的准确度。装配后产品外形的准确度主要取决于以下方面:

- (1) 装配夹具的制造误差;
- (2) 蒙皮的定位误差;
- (3) 装配过程中产生的变形误差。

### 三、按装配孔装配的准确度

当按装配孔装配时,是以产品中的一个零件作为基准零件,其余零件则按装配孔在基准零件上进行装配定位。按装配孔装配的准确度取决于以下方面:

- (1) 基准零件的制造误差;
- (2) 在基准零件上定位的其他各零件的制造误差;

- (3)由于装配孔轴线不可能完全重合而形成的协调误差；
- (4)蒙皮厚度的误差；
- (5)蒙皮在骨架上的定位误差；
- (6)装配变形误差。

#### 四、在夹具内按坐标定位孔装配的准确度

在夹具内按坐标定位孔装配的方法适合于骨架零件和组合件刚度大的结构。这种装配方法的准确度取决于以下方面：

- (1)装配夹具中坐标定位孔位置的误差即夹具的误差；
- (2)骨架零件的制造误差；
- (3)在骨架零件和装配夹具的坐标定位孔之间的协调误差；
- (4)蒙皮厚度的误差；
- (5)蒙皮在骨架上的定位误差；
- (6)装配变形误差。

#### 五、按基准定位孔装配的准确度

当按基准定位孔装配时,是以一个或几个组合件为基准组合件的。基准组合件应是结构刚度最大,定位后不会改变其本身的几何形状,并与其他组合件联系最多的组合件。其他组合件则按基准定位孔在基准组合件上定位。按基准定位孔装配的误差取决于以下方面：

- (1)装配夹具的制造误差；
- (2)基准组合件装配夹具与产品装配夹具之间的协调误差；
- (3)其他组合件和基准组合件之间基准定位孔的协调误差；
- (4)组合件外形相对于组合件上基准定位孔的误差；
- (5)蒙皮的制造误差；
- (6)装配变形误差。

综上所述,通过对各种装配方法、装配准确度的分析可知,决定产品最后形状和尺寸准确度的各种误差中有系统误差和偶然误差;定位误差取决于装配夹具定位面和有关零件表面之间形状和尺寸的协调误差;装配过程中的变形误差对装配件最后的准确度有很大影响。

### 第三节 装配误差中各环节的误差

#### 一、装配夹具的误差

装配夹具的准确度对产品装配的准确度和两个装配件配合面之间的协调准确度有很大的影响。对装配夹具制造准确度的要求,主要是参照飞机的最大飞行速度来确定的。一般来说,飞机的最大飞行速度越高,对飞机装配的准确度要求就越高,因而对装配夹具制造的准确度要求也就越高。在实际生产中,对飞机装配的准确度要求和装配夹具制造准确度的要求,是按飞机的速度分成几个级别,如按低速飞机、亚声速飞机、超声速飞机和高超声速飞机几种类型分别制定对装配夹具制造准确度的要求。

装配夹具制造和安装的准确度还与装配夹具的制造和安装方法有关。在飞机制造中所采用的装配夹具的制造和安装方法及其所能达到的准确度可归纳如下:

- (1)按平面样板安装装配夹具定位件的准确度为 $\pm(0.3\sim 0.5)$  mm。
- (2)按安装标准样件安装定位中的准确度为 $\pm(0.3\sim 0.5)$  mm。
- (3)用划线钻孔台和型架装配机安装定位件的准确度为 $\pm(0.3\sim 0.7)$  mm。
- (4)用光学仪器安装定位件的准确度为 $\pm(0.15\sim 0.25)$  mm。
- (5)用激光准直仪安装定位件的准确度为 $\pm(0.05\sim 0.15)$  mm。

上面提到的装配夹具定位件的安装准确度是有一定范围的,因为在实际生产条件下所能达到的安装准确度取决于很多因素。因此,提高装配夹具制造准确度需要付出很大的劳动量和采取特殊的工艺措施。由于提高装配夹具的安装准确度所需增加的费用是一次性的,因此,为提高飞机装配的准确度和质量,在制造装配夹具时花费较大的一次性费用在经济上是合理的。

装配夹具的误差在装配总误差中属于系统误差。装配夹具制造好以后,通过测量装配夹具各定位件的实际尺寸,可以确定装配夹具误差的实际大小。在这种情况下,通过调整定位件可使其误差达到最小,还可以根据在装配夹具中装配出来的产品实际尺寸统计数据来调整装配夹具的定位件,以一批产品误差的平均值作为调整的修正值。

根据以上所述,可以得出以下结论:

- (1)装配夹具的制造误差在装配误差中属于系统误差,它可通过实际测量和调整使其显著减少,从而提高飞机装配的准确度。
- (2)为了便于提高装配夹具的准确度,在装配夹具的结构中,定位件应便于调整。
- (3)通过夹具的调整可以部分消除装配夹具误差以及其他系统误差,但对偶然误差没有多大影响。

为进一步分析装配夹具的制造误差,需要根据装配夹具的制造路线和协调路线,详尽列出装配夹具制造过程中尺寸传递的所有环节及其误差。将尺寸传递过程中各环节的误差均看做是相互独立的偶然误差,用累积误差的计算公式估算装配夹具制造的预期准确度。

## 二、零件制造误差

零件制造误差是装配误差中的重要成分,它对装配准确度有重要影响。

零件的几何形状和尺寸的误差以及零件上的定位孔和外形之间的相对位置误差在装配误差中属于偶然误差。

零件制造误差本身又取决于形成零件最后形状和尺寸的尺寸传递过程中各个环节的误差大小。在飞机的钣金零件制造中,获得零件最后形状和尺寸的尺寸传递过程,一般是模线一样板一模具一零件。对一些形状复杂和协调准确度要求高的钣金零件,还需要经过更多的立体形状的移形环节。有重要配合关系的零件之间的协调误差,则取决于有关零件之间的制造与协调路线。

钣金零件成形模具的误差与装配夹具的误差性质相同,属于系统误差,在零件制造的总误差中为固定的值。为提高零件制造的准确度,应力求减少模具制造的误差。模具制造误差的计算方法与装配夹具制造误差的计算方法相类似。

零件制造误差除取决于模具的制造误差外,还取决于零件成形时的很多因素。即使采用同样的成形方法和成形模具,也不可能获得形状和尺寸完全相同的零件。例如,用橡皮成形方

法获得的零件,其外形准确度除取决于模具的制造准确度以外,由于零件成形后有回弹,使零件的内表面不可能完全与模具的工作表面相贴合而出现间隙。而回弹量又取决于很多因素,如材料的性能差异、材料的各向异性、材料厚度的差异、成形时各种工艺参数等。

此外,零件外形最后的准确度还取决于零件毛料中的初始内应力和成形过程中产生的内应力综合的影响,这种影响会使零件产生扭曲变形。零件成形后的热处理还将产生热处理变形等。

因各种零件材料不同、成形方法不同、模具制造路线不同,以及零件的几何形状和尺寸大小不同,各种零件的制造准确度有很大的差异。当对零件制造误差进行理论分析时,需要对不同类型的零件按尺寸传递过程中各环节的允差或统计数据进行累积误差的计算。要做到这一点,需要对零件制造中各环节的误差进行大量的实验研究,取得所需要的各种数据。

### 三、在装配夹具中的定位误差

在装配夹具中进行装配时,零件按装配夹具的定位基准面定位。因为零件的定位表面与装配夹具的定位基准面的形状和尺寸都有误差,零件表面和定位夹具基准面之间不可能完全贴合,必然存在一些间隙,需要通过夹具夹紧件施加一定的夹紧力,迫使零件定位表面与夹具定位基准面相贴合。但在装配件装配连接完成并松开夹紧件后,由于结构内存在内应力,装配件将产生回弹变形,使装配件的形状相对于装配夹具定位基准面产生一定的误差。

例如,由蒙皮、长桁和翼肋组成的板件在装配夹具内装配时,假设在中间某个卡板处,零件表面与卡板定位基准面之间存在一定的协调误差 $\Delta$ ,如图 1.8 所示,需要通过夹紧力 $Q_i$ 使零件表面与卡板定位基准面相贴合。

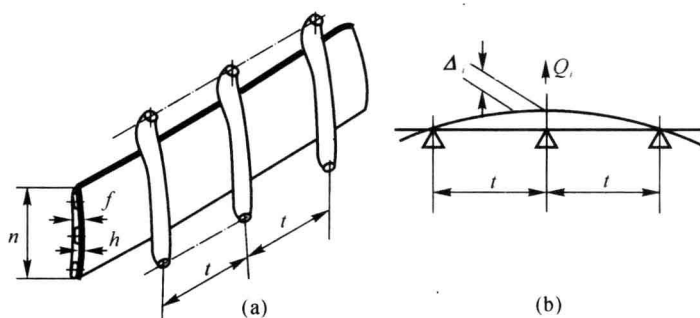


图 1.8 板件装配时在装配夹具内定位蒙皮  
(a)板件; (b)简化模型

由于零件定位时施加了夹紧力,因此,在零件中将产生内应力。而在板件装配好并松开夹紧件后,结构中的内应力将重新分布,形成残余力 $P_{\text{残余}}$ 。残余力肯定小于所施加的夹紧力 $Q_i$ ,而且残余力 $P_{\text{残余}}$ 应小于一定的允许值,以免在结构中存在过大的内应力而影响到结构的强度。同时,在松开夹紧件以后,板件将产生回弹变形。残余力 $P_{\text{残余}}$ 和回弹变形的大小取决于板件的刚度。

## 第四节 提高装配准确度的补偿方法

为使飞机装配能够顺利进行,希望进入装配的零件和组合件具有互换性。

所谓互换性是指零件和装配件的几何形状、尺寸及物理机械性能在一定的误差范围以内,装配时不需要经过修配、补充加工或调整,在装配以后能够完全满足规定的技术要求。具有互换性的零件和装配件对装配工作是十分有利的。因在装配过程中,不需要对进入装配的零件和装配件进行试装和修配,能减少手工修配工作量,缩短装配周期,故便于组织均衡的、有节奏的生产。实际上,在飞机成批生产中,许多钣金零件、机械加工件、装配件都是可以互换的,即在装配时不需要进行修配和补充加工。

但对一些复杂结构中准确度要求很高的某些重要尺寸,为了保证装配后能达到所要求的准确度,过分提高零件和装配件的制造准确度,在经济上不合理,在技术上也做不到。因此,在飞机装配中,对某些准确度要求很高的配合尺寸,则采用各种补偿的方法,以便最后能达到所要求的准确度。

所谓补偿方法就是零件或装配件中某些准确度要求高的尺寸,在装配时或装配后,通过修配、补充加工或调整,部分消除零件制造和装配误差,最后达到所要求的准确度。

采用补偿方法时,飞机装配的工作量将有所增加,但从整个制造过程来看,将取得更好的经济效果。

飞机装配中采用的补偿方法可以分为两类:一类是从工艺方面采取的补偿措施,称为工艺补偿;另一类是从结构设计方面采取的补偿措施,称为设计补偿。

### 一、工艺补偿方法

工艺补偿是从工艺方面采取的补偿措施,如装配时进行相互修配,或装配后进行最后精加工。

#### 1. 装配时相互修配

在飞机制造中,有些准确度要求高的配合尺寸,在零件加工中,当用一般的加工方法难以达到要求时,或者在零件加工时虽能达到要求,但在装配过程中由于有装配误差,在装配后难以达到给定的要求时,可以在装配时采用相互修配的方法来达到。由于修配工作一般是手工操作,相互修配时,有时要反复试装和修配,所以工作量比较大。而且,相互修配的零件或部件不具有互换性。因此,在成批生产中应尽量减少采用修配的方法。

例如,飞机外蒙皮之间的对缝间隙有时要求比较严格,甚至有时要求对缝间隙小于1 mm。机身和机翼蒙皮的尺寸一般比较大,有的长达5~6 m,如果单靠零件制造的准确度来保证这些蒙皮对缝间隙要求,在技术上是很难做到的。

解决方法。在蒙皮制造中,在蒙皮的边缘处留下一定的加工余量,当装配时,对蒙皮的边缘进行修配,最后达到蒙皮对缝间隙的要求。修配时,通过试装,按蒙皮对缝间隙要求确定修配余量大小,然后去掉加工余量。为使整个蒙皮对缝能达到要求的间隙,有时需要多次反复试装和锉修。

扩展应用。起落架护板、舱盖和舱门的边缘、长桁端头等,为了保证配合或间隙要求,有时也采用相互修配的方法。为了保证组合件或部件之间相对位置准确度要求,在试制或小批量生产时,有时也采用相互修配的方法。

#### 2. 装配后精加工

在飞机装配过程中,对准确度要求比较高的重要尺寸(一般为封闭环尺寸),由于零件加工和装配过程中误差积累的结果,因此,在装配以后达不到所要求的准确度。若采用相互修配的

方法,不仅手工劳动量大,而且还满足不了互换性要求。为了减少手工修配工作量并使产品达到互换要求,则应采用装配后进行精加工的工艺补偿方法。装配后精加工所用的设备属于专用设备,精加工设备的造价高、占用生产面积大,精加工工序增加了装配周期。因此,应设法改善飞机结构的工艺性,尽量避免采用装配后精加工的工艺补偿方法。

例如,歼击机的前机身与机翼和前起落架用叉耳式接头进行连接,各部件上这些叉耳式接头螺栓孔的位置尺寸准确度和配合精度要求都比较高,并且要求部件之间具有互换性。

解决方法。在零件加工和装配过程中,各叉耳接头上的螺栓孔均留有一定的加工余量,在部件装配好以后再对接头螺栓孔进行最后加工,以消除零件加工和装配过程中产生的积累误差。

装配后的精加工一般是在专用的精加工设备上进行。如图 1.9 所示就是上面提到的前机身上的各接头最后精加工用的设备。在前机身装配好以后,在前机身精加工台上进行定位,然后通过扩孔头上的扩孔刀和铰刀,按导向支架上的导向衬套导向,对各接头上的螺栓孔进行最后精加工。

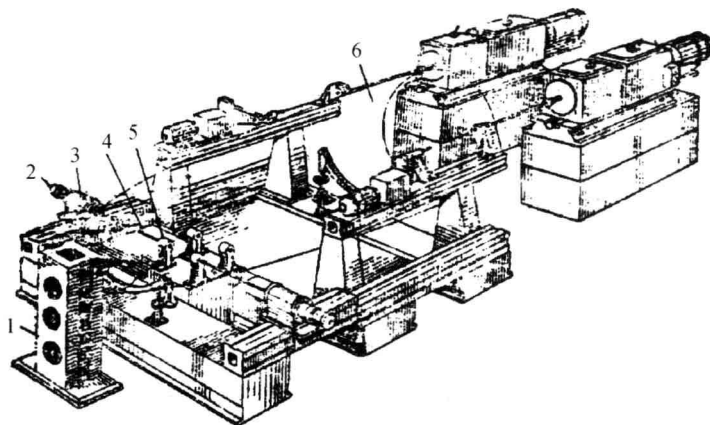


图 1.9 前机身对接接头精加工台

1—定位器支架； 2—扩孔头电机； 3—扩孔头； 4—扩孔刀加长杆；  
5—带导向衬套的导向支架； 6—前机身外轮廓

对于部件之间为凸缘式的连接接头,如果凸缘接头的刚度较大,对接平面之间的贴合度要求又比较高,为保证对接面的准确度和部件的互换性,需要对部件上的凸缘对接面进行最后精加工。如果各对接螺栓和螺栓孔之间的公称间隙比较小(如在 0.2 mm 以内),还需要对各螺栓孔进行最后精加工。

如图 1.10 所示为中翼凸缘对接接头精加工台,如图 1.11 所示为中翼凸缘对接接头精加工详图(在精加工台上对凸缘接头的对接面、螺栓头贴合面、螺栓槽和螺栓孔进行精加工等详图)。

扩展应用。为了保证机翼与起落架护板、副翼和襟翼之间对缝间隙和互换要求,机翼上的起落架护板舱、副翼舱和襟翼舱处的蒙皮边缘预先留有加工余量,在机翼装配好以后,在精加工台上按靠模板对蒙皮边缘进行最后的精加工。



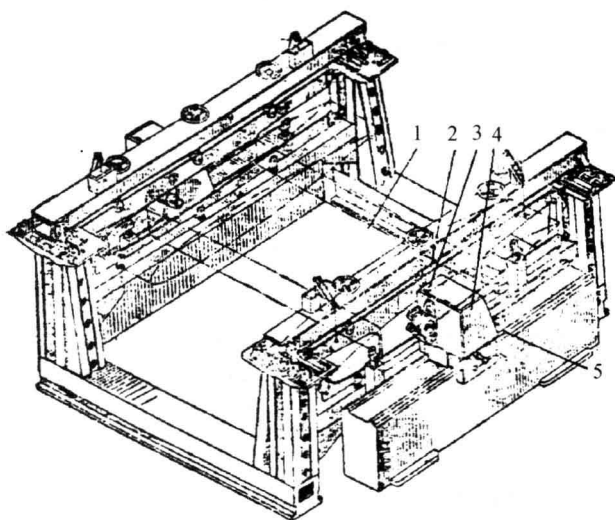


图 1.10 中翼凸缘对接接头精加工台

1—中翼外轮廓； 2—定位板； 3—铣切头； 4—铣切头移动座； 5—导向底座

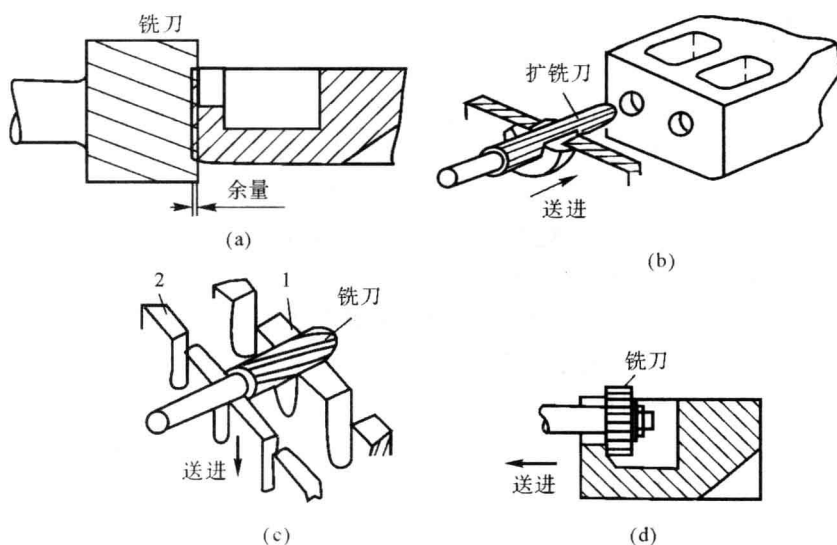


图 1.11 凸缘对接接头精加工详图

(a) 铣端面； (b) 扩孔和铰孔； (c) 铣螺栓槽； (d) 铣螺栓头贴合面

1—凸缘接头； 2—靠模板

## 二、设计补偿方法

设计补偿是从飞机结构设计方面采取的补偿措施，以保证产品的准确度。如在飞机结构中采用垫片补偿、间隙补偿、连接补偿件以及可调补偿件等。

### 1. 垫片补偿

垫片补偿是飞机制造中经常使用的补偿方法，用以补偿零件加工和装配过程中由于误差