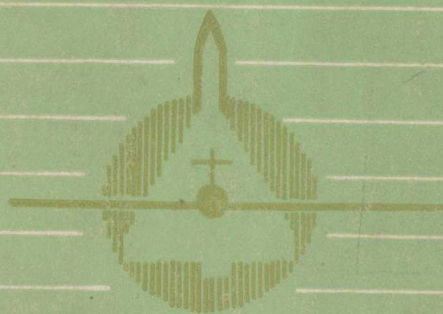


飞机装配工艺学

王云渤 等编



国防工业出版社

飞机装配工艺学

王云渤 等编

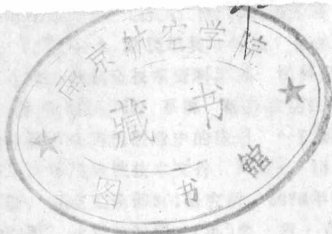
12.

五
八

三十
二
〇
三



30168334



陸

国防工业出版社

503566

学 艺 工 艺 学 内 容 简 介

本书的主要内容包括：飞机装配的基本问题，飞机装配中的连接技术，各类典型结构的装配，飞机的总装配和安装工作，装配型架的设计与制造，保证互换与协调的方法等。

本书是为航空院校飞行器制造专业的学生学习《飞机装配工艺学》课程编写的，可作为飞机设计专业的参考书，也可供从事飞机设计和飞机装配的技术人员参考。



飞机装配工艺学

王云渤 等编
责任编辑 余发棣

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
国防工业出版社印刷厂印装

787×1092¹/₁₆ 印张17³/₄ 411千字

1984年6月第一版 1984年6月第一次印刷 印数：0,001—2,000册

统一书号：15034·2741 定价：1.85元

809288

序 言

飞机制造过程可划分为毛坯制造、零件加工、装配安装和试验四个阶段。

飞机的装配过程是，将大量的飞机零件，按一定的组合和顺序，逐步装成组合件、板件、段件和部件，最后将各部件对接成整架飞机的机体。在装配时，要准确地确定零件或装配件之间的相互位置，用一定的连接方法（铆接、螺栓、胶接或焊接等）进行连接。

在装配过程中，或在装配以后，还要进行安装工作，即将各专业厂提供的发动机、各种设备、仪表和附件等安装在飞机上，用各种导管、电缆、拉杆等连接成系统。

飞机的装配和安装工作在飞机制造中占有重要的地位。在一般的机器制造中，装配和安装工作的劳动量只占产品制造总劳动量的 20% 左右。而在飞机制造中，装配和安装工作的劳动量占 50~60%。首先，因为飞机构造复杂，零件和连接件的数量大。例如，一架歼击机就有将近 2 万个零件，有将近 20 万个铆钉和螺栓连接件；一架大型飞机有将近 10 万个零件，200 多万铆钉和螺栓连接件。其次，因为装配和安装工作的机械化和自动化程度比较低，手工劳动量占很大比重，劳动生产率低。飞机的装配和安装，不仅劳动量大，而且质量要求高、技术难度大。因此，提高飞机装配和安装的技术水平在飞机制造中具有重要意义。

飞机装配工艺学主要研究：如何合理地划分装配单元和制定装配路线，装配时工件的定位和保证装配准确度的方法，装配中所采用的各种连接技术，装配型架（夹具）的构造与制造技术，保证工艺装备之间的协调方法等。

本书主要讲述飞机装配方面的问题，但对飞机的总装配和安装工作，对飞机的地面试验和空中试飞检验也做了简要的概述。

本书首先论述了飞机装配的一些基本问题，包括装配单元划分的原则，合理地确定装配的分散程度，装配的定位方法，保证装配准确度和产品互换性的方法等。

连接技术在飞机装配工艺中占有重要的地位。

目前，飞机装配中所采用的连接方法，仍然是以机械连接为主，大量地采用铆接，并使用一部分螺栓连接。因铆接适用范围广，质量比较稳定，便于排除故障，费用低，故仍得到广泛应用。铆接的机械化和自动化的程度也在不断提高，已达到 60% 以上。为提高铆接的疲劳寿命和密封性能，在飞机制造中发展了干涉配合的连接技术。故本书对铆接及铆接结构装配作了较详细的讲述。

为了提高飞机结构的抗疲劳性能和减轻结构重量，胶接应用的比重在不断增加，在有些飞机上（如 B-58、L-1011、三叉戟等）胶接应用的比重较大。本书对胶接和胶接结构装配的一些主要问题进行了阐述。

目前，飞机结构上所用的材料主要是硬铝合金，因其焊接性能不好，只能采用点焊。点焊的生产率虽比铆接高，但焊点的疲劳强度比铆接还低。而且，单纯用点焊，硬铝合金的防腐蚀问题不好解决。因此，在飞机制造中发展了胶接点焊复合连接技术，这种连

接方法在有的飞机上应用较多。熔化焊在飞机的结构上应用较少，钎焊的应用则更少。

飞机装配的另一个重要特点是在装配中使用了許多复杂的装配型架(夹具)。在一般机器制造中,由于绝大部分零件是刚度大的机械加工件,机器制造的准确度主要决定于零件制造的准确度。在装配时,零件之间的定位主要靠它们之间的配合表面,一般不需要用装配夹具。而在飞机制造中,由于大部分飞机结构零件是钣金件,这些零件形状复杂、尺寸大、刚度小,很容易产生变形。飞机制造的准确度在很大程度上决定于装配的准确度。在装配时,必须使用复杂的装配型架来保证装配的准确度。而制造这些装配型架,又需要使用许多所谓标准工艺装备,以保证装配型架之间以及和零件工艺装备之间的协调。因此,装配型架的设计、制造,以及保证装配型架之间协调的方法,是飞机制造中所特有的技术问题。

本书是在北京航空学院飞行器制造教研室装配教学组历次编写的讲义的基础上重新编写的。在这次编写过程中,还参考了有关书刊和资料,主要参考书目见参考资料目录。

本书系集体编写,第一、五两章由张关康编写,第二章由冯宗律编写,第三章由胡凌云编写,第四、六章由郭忠信编写,第八章由王人骅编写,序言、第七、九、十章由王云渤编写。本书由王云渤主编,书中的插图绝大部分是由门长华同志描的。

在本书编写的过程中,有关院校和工厂的许多同志提供了宝贵意见,有的提供了资料,在此表示感谢。

由于我们的水平有限,错误很难避免,请读者提出批评指正。

编者

部件装配工艺过程

V

型架设计和装配

目 录

第一章	飞机装配的基本问题	1
第一节	飞机结构的分解	1
第二节	装配准确度	3
第三节	装配基准	13
第四节	装配定位	15
第五节	装配工艺过程设计	18
第二章	铆接和铆接结构装配	26
第一节	普通铆接	27
第二节	密封铆接	38
第三节	无头铆钉铆接	45
第四节	自动铆接	50
第五节	特种铆接	64
第六节	螺栓连接	71
第七节	组合件、板件装配	74
第八节	段件、部件装配	78
第三章	胶接和胶接结构装配	82
第一节	胶接接头的形成和特性	83
第二节	胶粘剂	88
第三节	典型胶接工艺过程	93
第四节	加温加压设备与胶接夹具	95
第五节	铝蜂窝夹层结构的制造	98
第六节	胶接质量无损检测	103
第七节	胶接质量控制	105
第四章	点焊和胶焊结构装配	107
第一节	概述	107
第二节	点焊原理	109
第三节	点焊质量控制与检验	114
第四节	胶接点焊	117
第五节	点焊及胶焊结构装配	122
第五章	飞机总装配及机场工作	128
第一节	飞机总装配	128
第二节	机场车间工作	134
第六章	装配型架的设计	136
第一节	装配型架的功用及技术要求	136
第二节	装配型架设计的一般问题	139
第三节	型架骨架的构造	146

航空工业手册

144	第四节	型架骨架的刚度	152
145	第五节	型架定位件及夹紧件	157
146	第六节	温度变化对型架准确度的影响	172
147	第七节	型架基础的设计	174
148	第八节	型架结构的简化及元件的标准化	176
149	第七章	装配型架的安装	182
150	第一节	用通用测量工具安装型架	183
151	第二节	用标准样件安装型架	184
152	第三节	用型架装配机安装型架	189
153	第四节	用光学仪器安装型架	195
154	第五节	用激光准直仪安装型架	206
155	第八章	飞机制造中保证互换性的方法	211
156	第一节	飞机制造中互换性的基本概念	211
157	第二节	保证协调准确度的基本方法	213
158	第三节	理论模线和结构模线	218
159	第四节	样板	234
160	第五节	模线绘制和样板加工工作的自动化	237
161	第六节	标准工艺装备	240
162	第七节	典型协调系统	245
163	第八节	协调系统的技术经济评价	250
164	第九章	生产工艺准备	254
165	第一节	概述	254
166	第二节	试验机试制的生产工艺准备	255
167	第三节	成批生产的工艺准备	257
168	第十章	飞机结构工艺性	263
169	第一节	结构工艺性的一般概念	263
170	第二节	飞机机体结构的工艺性	264
171	参考资料		273

不加装配过程 { 结构复杂, 零件数量多, 刚度小, 外形要求严格 } 零件 → 组合件 → 板件 → 段件 → 飞机

厚件 → 组合件 → 板件 → 段件 → 部件 → 飞机

第一章 飞机装配的基本问题

飞机装配过程就是将大量的飞机零件按图纸、技术条件进行组合、连接的过程。由于飞机结构复杂、零件及连接件数量多，而大多数零件在自身重量下刚度较小，而组成的外形又有严格的技术要求，故飞机装配除有一般机械产品装配的共同性原理外，还有一些特点。

第一节 飞机结构的分解

飞机装配过程一般是由零件先装配成比较简单的**组合件和板件**，然后逐步地装配成比较复杂的**段件和部件**，最后将各部件对接成整架飞机。显然，飞机的装配过程，取决于飞机的结构。

根据飞机的结构和使用上的需要，飞机是由许多部件及可卸件组成的。图 1-1 为歼击机的部件分解图，由于机翼和机身具有不同的功能，故有不同的结构，所以将机翼和机身设计成两个单独的部件；又如发动机装在机身内，为便于更换、维护和修理，将机身分为前机身和后机身；又如舵面相对于固定翼面要作相对运动，因此划分为单独部件；另外因使用上的需要，在某些部位需设计有可卸件，以便于维护、检查及装填用，如各种检查、装填舱口等。

What's this? →
This's a plane.

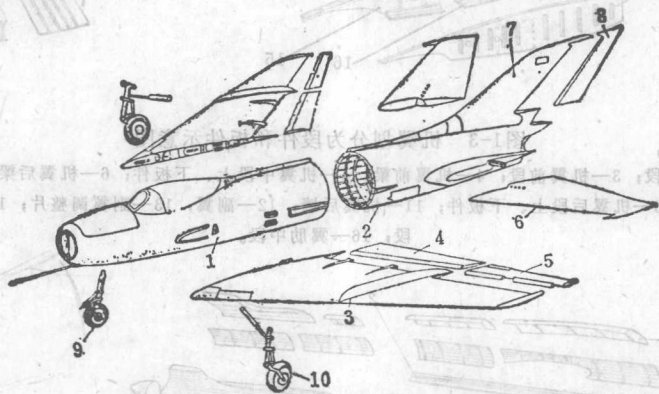


图 1-1 飞机结构划分为部件

- 1—前机身；2—后机身；3—机翼；4—襟翼；5—副翼；6—水平尾翼；7—垂直安定面；8—方向舵；9—前起落架；10—主起落架。

飞机结构划分成许多部件和可卸件后，在部件与部件间、部件与可卸件之间在结构上形成了分离面，因这种分离面是为结构和使用需要而取的，故称为设计或使用分离面。设计分离面一般采用可卸连接，以便于在使用和维修过程中迅速拆卸和重新安装。

飞机仅划分为部件，不能满足装配过程的要求。为了生产需要，需将飞机结构进一步划分，即将部件进一步划分为段件，段件进一步划分为板件及组合件，如图 1-2、图

1-3 及图 1-4。为满足工艺过程的要求而将飞机结构进一步划分，此种分离面称工艺分离面。工艺分离面一般采用不可卸连接。

工艺分离面的合理划分，其技术经济效果是很明显的。部件划分为段件后：

- (一) 增加了平行装配工作面，可缩短装配周期；
- (二) 减少了复杂的部件或段件的装配型架数量；
- (三) 由于改善了装配工作的开敞性，因而提高装配质量。

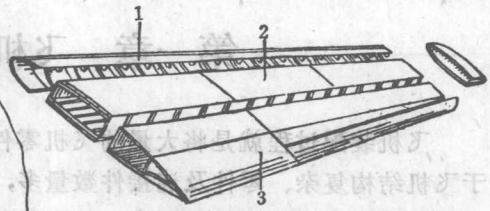


图1-2 机翼划分成段件示意图

1—前段；2—中段；3—后段。

部件、段件进一步划分为板件时，具有特别重要的技术经济意义。

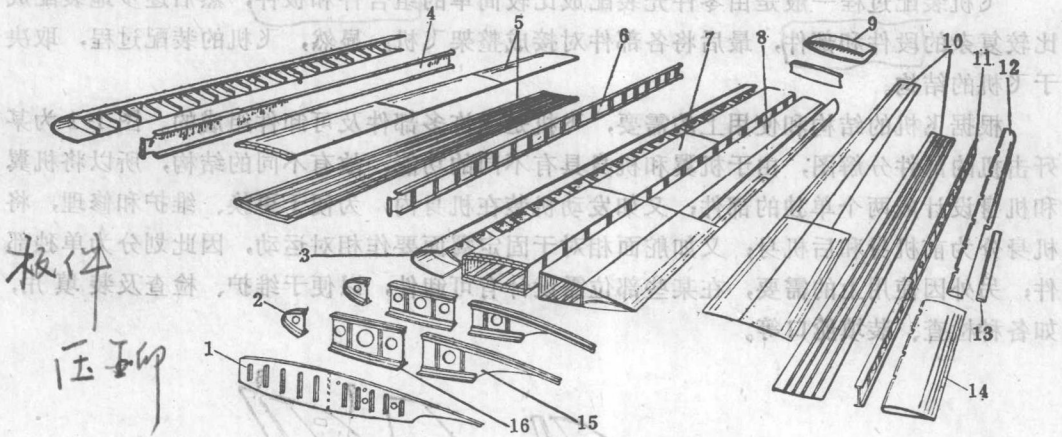


图1-3 机翼划分为段件和板件示意图

1—翼肋；2—翼肋前段；3—机翼前段；4—机翼前梁；5—机翼中段上、下板件；6—机翼后梁；7—机翼中段；8—机翼后段；9—翼尖；10—机翼后段上、下板件；11—机翼后墙；12—副翼；13—副翼调整片；14—襟翼；15—翼肋后段；16—翼肋中段。

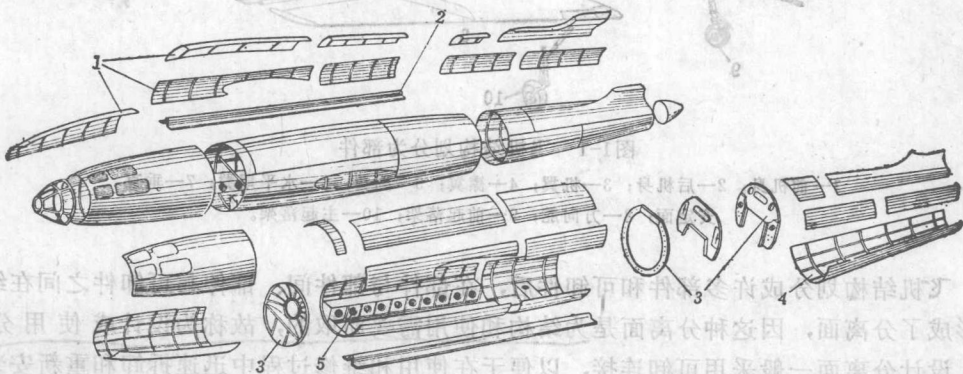


图1-4 机身各段划分为板件和组合件示意图

1—侧板件；2—中段大梁；3—隔框；4—机身前段下板件；5—机身中段下板件。

现以铆接结构为例，当结构划分为板件后：

一、为提高装配工作的机械化和自动化程度创造了条件。

现国内外已设计有各种型式的自动铆接机。有的铆接机自动化程度很高，如可钻孔、划窝、送铆钉、铆接以及铣平埋头铆钉钉头等。在铆接机上若配置专用托架及计算机控制装置，可以自动调平，自动确定钉孔位置，进一步还可自动调整工艺参数。但现有铆接机一般只适用于板件结构，故部件板件化的程度已成为评定结构工艺性的重要指标之一。

二、有利于提高连接质量。

当部件划分为板件后，装配工作的开敞性好，连接工作可以采用机械化设备。以铆接为例，可用压铆代替锤铆，因而改善劳动条件，提高产品质量，缩短装配周期。

因此，在结构设计中应尽量提高板件化程度。

在现代飞机结构中，有些部件的板件化程度高达90%，根据统计资料，这可将劳动生产率提高到1.35~3.3倍，装配周期缩短为2/3~3/4，连接工作的机械化系数提高到80%。

从上可知，飞机结构的划分工作在飞机设计过程中，应周密地进行考虑和研究，以求求出最合理的划分方案，这是一项极为重要的设计任务，因为它不仅要满足结构上和使用上的要求，而且同时还要满足生产上的要求。

飞机结构的划分，其重要意义不仅仅表现在需要综合考虑结构、使用和生产上的要求，而且由于划分的结果，必然会涉及强度、重量和气动方面的问题。因此，在决定划分方案时，必须综合研究上述各方面的因素，分析矛盾的各个方面，以求得合理的结构划分方案。

应当指出的是在飞机设计时，考虑工艺分离面的部位、形式和数量，必须从成批生产的要求出发。固然在试验飞机设计时，还不能肯定投入成批生产，但在设计阶段如不考虑成批生产时对飞机划分所提出的要求，那么在试制以后，若转入成批生产，此时再要增减或修改各种分离面的部位和形式，将会发生很大的困难，甚至是不可能的。

对于飞机结构上已具备的工艺分离面，在生产中是否加以利用，也就是在生产上是否按此分离面将工件分散装配，这取决于综合的技术经济分析结果。例如在机翼装配时，若结构上前、后梁处存在工艺分离面，当产量大时，可将前、后两段分别在两个装配型架上装配，然后将此两段在机翼总装型架上与机翼中段的板件及翼肋等装配成机翼。如在试造或产量小时，为减少装配夹具及型架的品种和数量，各段的装配都在机翼总装型架上完成，无需分段装配。换言之，也就是结构上固然有工艺分离面，但考虑到具体的生产情况，也可以不加利用。大批量利用，小批量不利用。

第二节 装配准确度

一、飞机装配准确度要求

部件准确度的技术要求，一般包括以下几个方面：

1. 部件气动力外形准确度

(1) 外形要求

不同型别的飞机，其要求是不同的。图 1-5 为高速歼击机各部件的外形要求。由图

精确是歼击机的
必要条件

HB/Z 23-80
飞机气动力外形

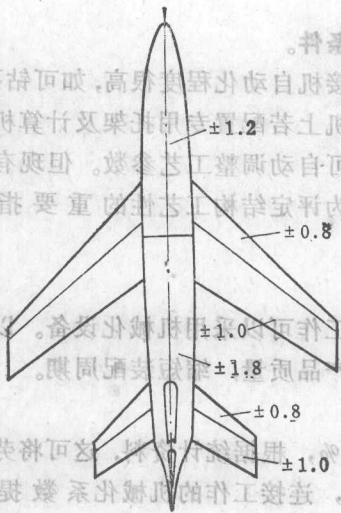


图1-5 飞机各部件外形要求

可见，翼面部件比机身部件的外形准确度要求高，部件最大剖面前比最大剖面后要求高。

外形波紋度是指一定范围内的波高误差，即图 1-6 相邻两波峰与波谷的平均高度值 H 和波长 L 的比值，即

$$\Delta\lambda = \frac{H}{L}$$

式中

$$H = y_{n+1} - \frac{y_n + y_{n+2}}{2}$$

高速歼击机允许的翼面展向波紋度不大于 0.5/400 毫米/毫米。由于机翼一般为单曲度部件，可用直尺沿各百分比弦线，如在 5%、10%、15%、20%、40%、60% 和 80% 处进行检查。用直尺检查波紋度时， $y_n = y_{n+2} = 0$ ，故 $H = y_{n+1}$ 。

由于要检查出外形的正向误差，必须使用等距样板。当要检查各截面间的相对扭转和相对位移时，则必须用部件检验型架或在装配型架上安装检验卡板（即各截面的等距检验卡板）进行检验，这时检验出的外形误差，是外形的综合误差。

(2) 表面平滑度要求

表面不平滑度误差包括铆钉、螺钉、焊点处的局部凸凹缺陷，蒙皮对缝间隙和阶差等，见图 1-7。

蒙皮间隙允许值是按平行和垂直气流方向分别规定的，对缝阶差允许值是按顺气流和逆气流方向分别规定的。

对结构较比复杂、难以保证精密配合的部位，根据具体情况制定允许值。如“三

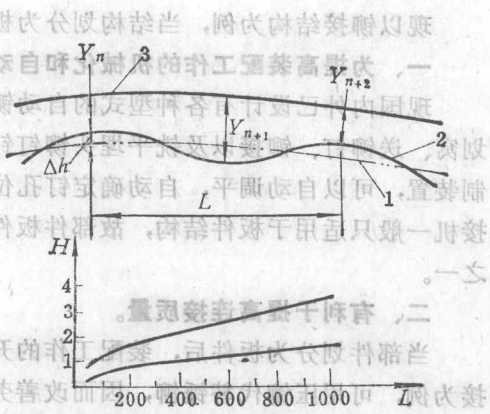


图1-6 部件外形波紋度

1—理论外形；2—实际外形；3—等距样板或等距卡板的工作外缘； Δh —外形误差； L —波长； H —波深； y_n, y_{n+1}, y_{n+2} —在相邻波峰波谷处蒙皮外形与等距样板或等距卡板的间距。

局外由四
向港
阶差

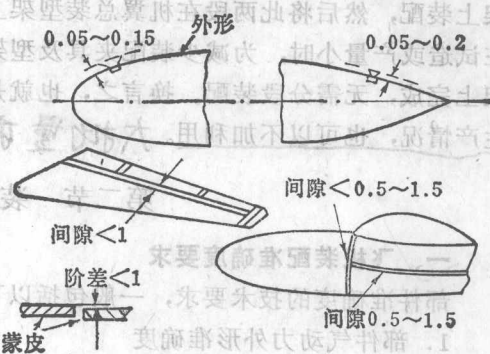


图1-7 表面平滑度要求

$$\frac{y_{n+1} - y_n}{2} + \frac{y_{n+1} - y_{n+2}}{2}$$

叉戟”型旅客机的乘客舱门与机身配合处周围的间隙是：上部为 7.0 ± 1.9 毫米、侧部为 4.4 ± 1.9 毫米、下部为 3.8 ± 2.5 毫米，允许与机身的阶差为凸出 2.5 毫米，凹进 5.0 毫米。

2. 部件内部组合件和零件的位置准确度

如大梁轴线、翼肋轴线、隔框轴线、长桁轴线等的实际装配位置相对于理论轴线的位置偏差。一般规定梁轴线允许的位置偏差和不平度为 $\pm 0.5 \sim \pm 1.0$ 毫米，普通肋轴线的位置偏差为 $\pm 1 \sim \pm 2$ 毫米，长桁的位置偏差为 ± 2 毫米等。

3. 部件间相对位置的准确度

表示机尾翼相对于机身位置准确度参数是上反角 β （或下反角）、安装角 α 和后掠角，见图 1-8。其允差值一般换算成线性尺寸在飞机水平测量时检验。

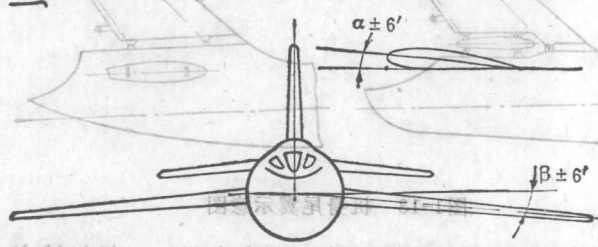


图1-8 部件间相对位置准确度要求

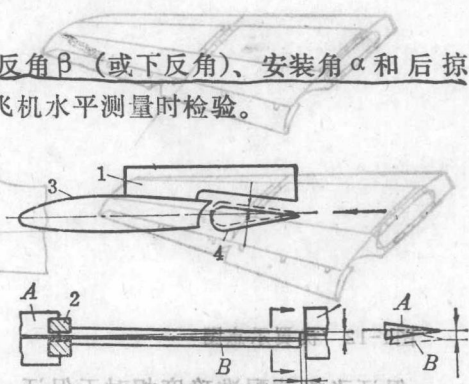


图1-9 副翼相对于机翼的位置准确度要求

- 1—检验样板；2—型架；3—机翼外形；
- 4—副翼外形；A—机翼；B—副翼。

表示各操纵面相对于固定翼面位置的准确度参数是阶差、剪刀差和间隙，见图 1-9。

表示机身各段间相对位置准确度参数是同轴度。同轴度本身的要求并不高，一般在几毫米以内，但必须保证各段对接处的阶差不超过表面平滑度的要求。

在机体分解中已经介绍过，部件与部件之间一般采用可卸连接，故在保证上述部件间相对位置准确度的同时，还必须保证设计分离面，即对接接合的准确度要求。

部件设计分离面，如机身与机翼、机身与机身间，一般采用叉耳式接头或围框式（凸缘式）接头，见图 1-10 及图 1-11。

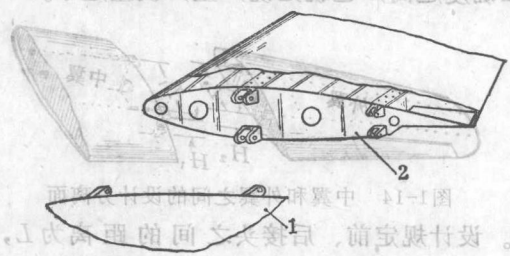


图1-10 叉耳式接头型式

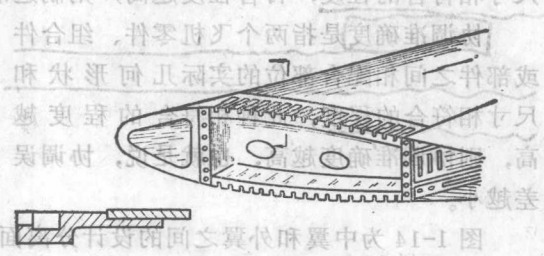


图1-11 凸缘接头型式

1—外翼；2—中翼。

叉耳式接头的配合要求为：孔与螺栓一般为间隙配合 H_8/h_7 或 H_8/f_7 等。叉耳宽度方向上当配合尺寸有公称间隙时，一般为 0.2~1.0 毫米；当无公称间隙时，一般为间隙配合。

围框式接头的技术要求为：孔与螺栓的配合通常留有间隙，即孔径公称尺寸比螺栓直径公称尺寸一般大 0.2~0.5 毫米。接头对接面允许局部存在 0.1~0.2 毫米的间隙，

但接触总面积占总面积的百分率一般不低于70%。可见, 部件装配完后, 当部件对接时, 既要符合部件间相对位置的准确度要求, 又要符合对接接合的准确度要求, 这在工艺上一般是较困难的。所以在结构设计时, 应仔细地考虑结合面的工艺性。图1-12为襟翼布置图, 显然下图比上图工艺性好。图1-13为尾翼布置图, 显然右图比左图工艺性好。

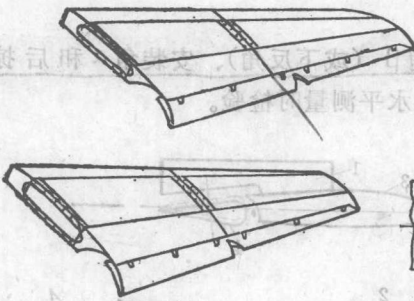


图1-12 机翼示意图

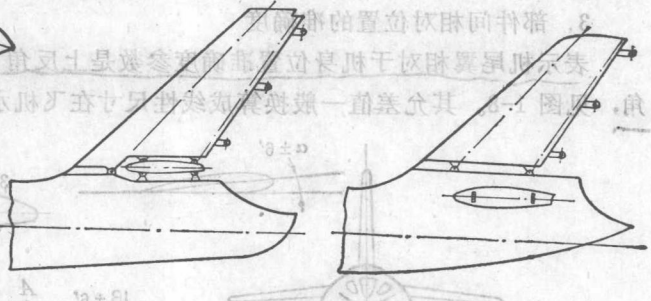


图1-13 机身尾翼示意图

保证飞机装配准确度相对于保证一般机械产品装配准确度的难点在于, 一般机械产品零件刚度大, 连接产生的变形小, 故装配准确度主要取决于零件制造准确度, 其装配误差用尺寸链理论由零件制造误差积累而成。而飞机零件一般为钣金零件或薄壁机械加工作件, 一般刚度较小, 所以飞机装配是由大量刚度较小的零件在空间组合、连接的结果, 故飞机装配准确度很大程度上取决于装配型架(夹具)的准确度。此外在飞机装配中还有定位和连接产生的应力和变形(如铆接应力和变形、焊接应力和变形), 加上装配件从装配型架上取下后还要产生变形等。因此在飞机制造中要采取一定的方法和措施, 以保证飞机装配的准确度。

二、制造准确度和协调准确度的基本概念

飞机零件、组合件或部件的制造准确度是指产品的实际尺寸与图纸上所规定的名义尺寸相符合的程度, 符合程度越高, 则制造准确度越高, 也就是说, 生产误差越小。

协调准确度是指两个飞机零件、组合件或部件之间相配合部位的实际几何形状和尺寸相符合的程度, 此种相符合的程度越高, 则协调准确度越高, 也就是说, 协调误差越小。

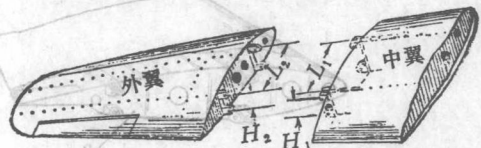


图1-14 中翼和外翼之间的设计分离面

图1-14为中翼和外翼之间的设计分离面。设计规定前、后接头之间的距离为 L , 而中翼和外翼制成后实际尺寸分别为 L_1 及 L_2 , 两者制造误差分别为 $\Delta_1 = L_1 - L$ 和 $\Delta_2 = L_2 - L$ 。把中翼和外翼对接在一起, 接头间的协调误差 $\nabla = L_1 - L_2 = \Delta_1 - \Delta_2$ 。在这个例子里, L 一般为自由尺寸, 制造误差 Δ_1 及 Δ_2 一般比较大, 协调误差 ∇ 也较大。但协调误差 ∇ 大就不能满足前、后接头在叉耳宽度方向上的间隙要求, 可见协调准确度的要求一般要高于制造准确度的要求。

互换和协调是两个概念。互换是指同一种工件之间的一致性。协调是指相配合的工件之间, 其配合尺寸、形状的一致性。协调可以通过相互修配来达到, 也可以通过控制

制造误差来达到。所以说互换的一定是相协调的，但协调的并不一定是互换的。

在成批生产中，采用分散装配的原则，固然带来了一系列优越性，但同时也增加了协调问题。装配过程中，其协调内容一般为：

1. 工件与工件之间的协调

图 1-15 为机身隔框结构，是上、下两个零件相连接的。这两个零件一般是用橡皮成形模在液压机上成形的。显然，若两个零件相配合处协调误差过大，或则无法连接，或则不能符合连接处的间隙要求。为保证上述的协调要求，必须使制造这两个零件的模具也是相互协调的。

又如机翼骨架装配时，要求纵向骨架和横向骨架（如翼梁和翼肋）外形在交点处协调一致，否则蒙皮与骨架就不能很好地贴合，为此，制造翼肋的模具和加工翼梁的模具、夹具必须是相互协调的。

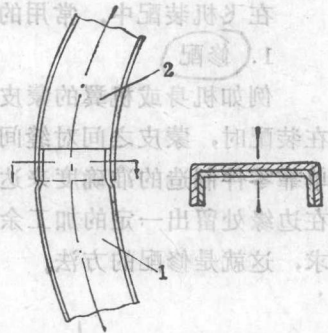


图 1-15 隔框结构
1—上框缘；2—下框缘。

2. 工件与装配夹具（型架）之间的协调

在机翼装配中，如其装配过程是：前梁由前梁夹具装配成组合件。前梁、前肋及前段蒙皮由机翼前段型架组装成机翼前段。再将机翼前段、后梁及其他零件和组合件在机翼总装型架内组装成机翼。为保证前梁组合件与机翼前段型架的定位器相贴合，为保证机翼前段与机翼总装型架的定位器相贴合，则三个夹具（型架）之间应当是相互协调的。

可见，为保证装配工作的顺利进行，则有共同协调尺寸的各个工艺装备之间必须是相互协调的，即工艺装备之间的协调。

在生产实践中，往往由于尺寸和形状的不协调，延误了装配进度，故在制定工艺总方案时，对协调问题应予以高度重视。

三、提高装配准确度的补偿方法

为保证飞机装配工作顺利进行，希望进入装配各阶段的零件、组合件及部件具有生产互换性。生产互换性是指这些零件、组合件及部件具有这样一种性能，其几何形状及物理机械性能能保持在一定误差之内，在装配时不需任何修配和补充加工，而装配后完全满足规定的技术要求。可见，具有生产互换性的零件、组合件及部件对组织装配工作是十分有利的。因为在装配过程中，可以不要对工件进行试装和修配，能减少大量的手工修配工作量，节省大量工时，缩短装配周期，有利于组织均衡的有节奏的生产。因此，在一般机械制造的大批或大量生产中，主要是采用生产互换的方法。在飞机成批生产中，也希望尽可能多地采用这种方法，实际上，在飞机成批生产中，许多钣金零件、机械加工件、装配各阶段的装配单元、部件都是采用生产互换的方法的，即在装配中不需要修配及补充加工。

但对结构复杂、协调尺寸较多的部位，或零件、组合件的刚度较小而且装配变形又无法预先估计的情况下，过份提高零件、组合件的制造准确度及协调准确度，在经济上是不合理的，技术上也难以达到。因此，在飞机制造中，也采用了各种补偿的方法。

补偿的方法就是零件、组合件或部件的某些尺寸在装配时可进行加工或调整，可以部分抵消零件制造和装配的误差，最后能够达到技术条件所规定的准确度要求。

在产品准确度要求比较高的情况下，采用补偿的方法，可以在不过分提高零件、组合件准确度的条件下，在装配以后使装配件获得比较高的准确度。这样，装配工作量可能要增加一些，但从零件制造及装配工作综合来看，其技术经济效果还是有利的。

在飞机装配中，常用的补偿方法有以下几种：

1. **修配**

例如机身或机翼的蒙皮，一般尺寸比较大，有时长达5~6米，零件刚度又小，而在装配时，蒙皮之间对缝间隙有时要求又很严，一般小于1.5毫米，见图1-16。如果单靠零件制造的准确度来达到这样的间隙要求，实际上是很困难的。因此在蒙皮制造时，在边缘处留出一定的加工余量，在装配时和相邻的蒙皮相互修配，以达到预定的间隙要求，这就是修配的方法。

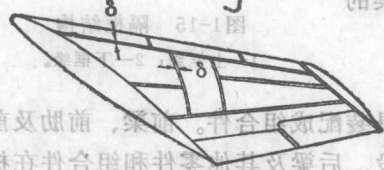


图1-16 机翼蒙皮对缝间隙示意图

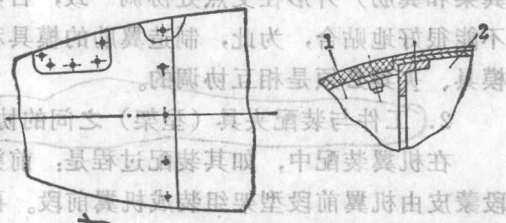


图1-17 天线舱与机身连接示意图

在飞机装配中，凡是准确度要求较高的配合尺寸，在零件加工中，用一般方法难以达到时，或者在零件制造时虽能达到，但预计由于零件、组合件变形，难以在装配后达到预定的要求时，多半是在装配时利用修配的方法来达到。如蒙皮边缘、桁条端头、整流罩边缘、舱盖和舱门边缘等。

图1-17为多卜勒雷达天线舱与机身的连接图。由于天线预先要在舱内准确定位，故舱相对于机身要保证其位置准确度。在试制或小批生产时，它们之间的对接可采用修配的方法，其过程如下：首先根据水平测量点借光学仪器把它们调整到应有的位置上，在对接处一起钻孔，然后拆开，分别划窝和铆托板螺帽。

图1-14为中翼和外翼部件。为保证这二个部件相对位置准确度，在试造或小批生产时，也可以通过修配的方法来达到，其方法如下：由于考虑到前梁和后梁在叉耳宽度方向上的间隙容易达到，难点在孔和螺栓的配合上，所以对对接头上的孔都留有加工余量，用水平测量点用光学仪器把两部件调整到应有位置上，将两个部件对接接头的孔一起加工到最后尺寸。

修配方法多半是手工操作，在相互修配时，要反复试装和修合，工作量比较大。在成批生产中，应尽量少用修配方法。

2. 装配后精加工

采用上述相互修配的方法来达到配合要求时，在修配好以后，零件、组合件或部件不具有互换性。如要求互换，则应在装配时分别单独的按样板或在精加工台上进行加工。

图1-18为歼击机机翼的梁的布置图，由于主梁和前梁不布置在等百分比弦线上，其外缘是双曲面，要在零件加工中使其外形符合技术要求较比困难，在设计时其外缘

表面上附加了几根硬铝条，在工艺上预先在硬铝条上留有加工余量，待梁架装配完后，在精加工台上用靠模铣切加工硬铝条，这样加工出来的梁架外缘是互换的。

图 1-19 为加工机翼的副翼、襟翼和起落架护板舱对合边缘用的精加工台。

图 1-20 为飞机机翼接头精加工示意图。对接平面和对接孔预先留一定的加工余量，部件装配完后在精加工台上根据靠模铣切对接平面及扩孔和铰孔等。

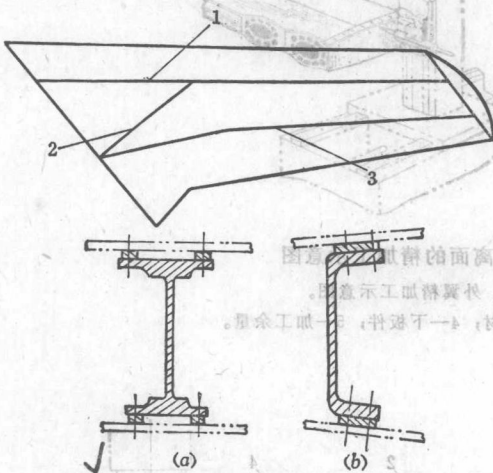


图1-18 机翼翼梁布置示意图

(a) 主梁剖面；(b) 前梁剖面。
1—前梁；2—主梁；3—后梁。

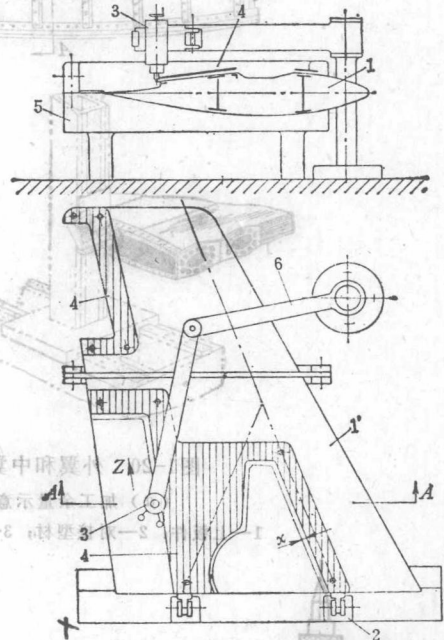


图1-19 机翼的副翼、襟翼和起落架护板舱对合边缘加工用的精加工台

1—机翼；2—接头定位器；3—主轴；4—样板；
5—卡板；6—转臂。

精加工台是专用设备，在该设备内除按钻模、样板加工对接接头外，一般不进行其它装配工作。由于精加工是部件装配的最后关键工作，必须慎重进行。

为确保部件间相对位置准确度，部件在精加工台内的状态应尽量与全机水平测量时的状态相一致。定位时应注意避免产生强迫应力，并用图 1-21 游动指示器检查水平测量点沿指示器轴向和与轴向相垂直平面内的差值，定位夹紧可靠后，用如图 1-22 的钻模进行加工。

图 1-23 为飞机机翼和机身的对接接头。主梁接头材料为 $30\text{CrMnSiNi}2\text{A}$ 钢，螺栓孔工艺余量 4 毫米，初孔 $\phi 36$ 经扩铰至 $\phi 40\text{H}8$ ；前梁接头压合衬套孔（机身为 30CrMnSiA 钢，机翼为 LC4 超硬铝）工艺余量 8 毫米，初孔 $\phi 20$ 经扩铰至 $\phi 28\text{H}8$ ，端面工艺余量 2 毫米。

精加工用的动力头和围框式接头精加工工作如图 1-24 所示。

至于一架飞机，那些组合件和部件需要精加工，应根据飞机结构、产量、零件加工和装配等实际情况而定。

应当指出的是，采用修配方法和装配后精加工，虽然都能达到装配准确度要求，但这两种方法是有本质区别的。修配方法是两个相配合的零件、组合件或部件相互进行修配，相互修配后不具有互换性，而装配后精加工是工件在装配后在专用设备上单独地依

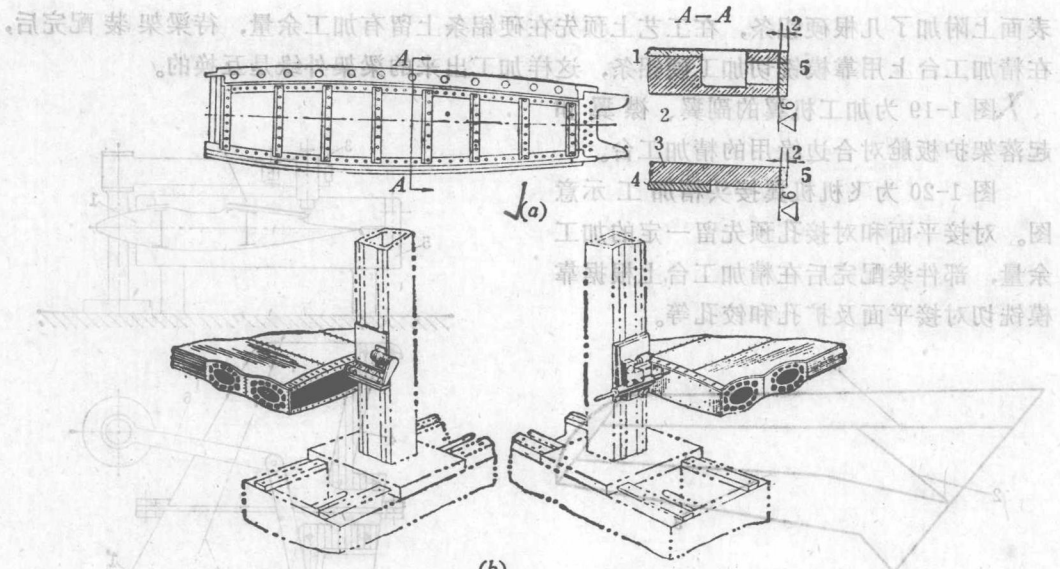


图1-20 外翼和中翼对接分离面的精加工示意图

(a) 加工余量示意图; (b) 外翼精加工示意图。

1—上板件; 2—对接型材; 3—对接型材; 4—下板件; 5—加工余量。

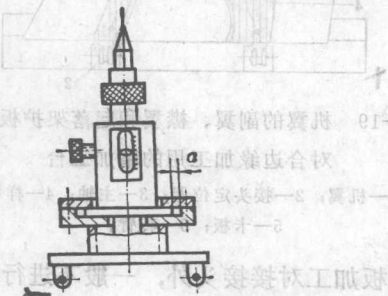


图1-21 游动指示器

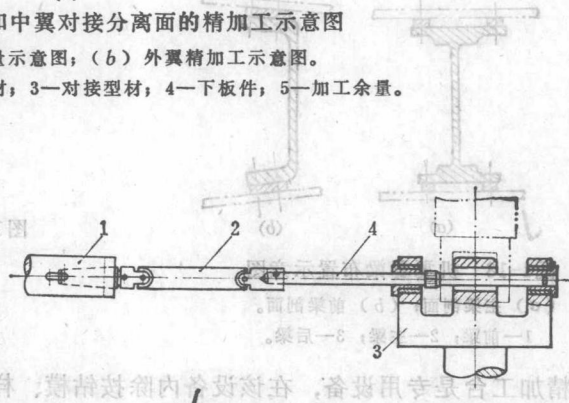


图1-22 通过钻模进行孔的精加工

1—动力头主轴; 2—万向接头; 3—导向装置(钻模); 4—铰刀。

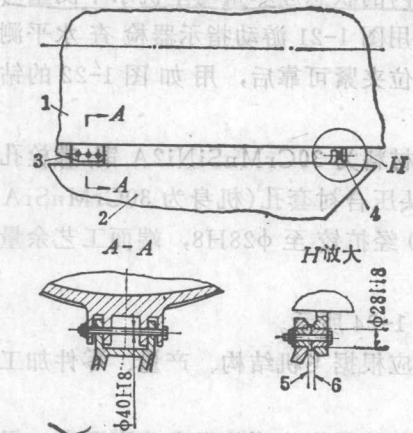


图1-23 某机机翼和机身对接接头

1—机身; 2—机翼; 3—主梁接头; 4—前接头;
5—机翼前接头凸台端面; 6—机身前接头凸台端面。

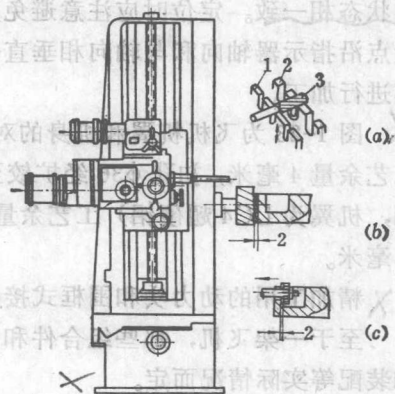


图1-24 围框式接头精加工示意图

(a) 槽口铣削; (b) 端面铣削; (c) 德窝。

1—导向装置; 2—工件; 3—铰刀。