

航空高等院校教材

飞机制造工艺学

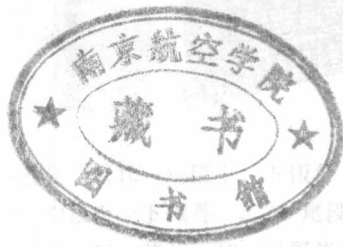
程宝藻 张麟 合编
黄良 余公藩



航空专业教材编审组

飞机制造工艺学

程宝藻 张麟 合编
黄良 余公藩



30119706

航空专业教材编审组

511385

内 容 简 介

本书系统地介绍从建立飞机外形数学模型、绘制模线开始，到工艺装备设计与制造、飞机零件制造、装配试验等为止的飞机制造全过程及所采用的主要工艺方法，突出飞机结构及其制造工艺的特点，兼顾传统工艺及计算机辅助设计与制造技术，并有一章专门阐述飞机构造工艺性。它是飞机和直升机设计专业的专业教材，也可供有关设计人员、工艺人员和其他专业的师生参考。

学 艺 工 装 师 师

程宝藻 张麟 合编
黄良 余公藩



飞 机 制 造 工 艺 学

程宝藻 张麟 合编
黄良 余公藩

*

航空专业教材编审组出版
南京航空学院印刷厂印装

*

787×1092 1/16 印张 14.25 插图 2 字数 378.84 千字
1984年7月第一版 1984年7月第一次印刷 印数 0001—1500 册

统一书号：32165j 定价：1.53 元

前 言

优秀的飞机结构设计师必须具备飞机制造工艺学的基本知识，而飞机制造工艺学又是一门范围广，综合性强，技术密集，近二十年来发展迅速的一门工艺学。本书的目的是利用有限篇幅系统地扼要介绍飞机制造工艺学的主要内容，包括飞机外形数学模型的建立，计算机辅助绘图及制造，飞机零件的制造技术，飞机结构的装配技术，保证互换协调的方法，以及飞机构造工艺性的分析等。

本书的主要内容曾在南京航空学院和西北工业大学开设的“飞机制造工艺学”课程中讲授过，效果良好。编成本书时，又经过修改和补充。

本书由南京航空学院教授程宝堃担任主编，第一、二、三、五章由南京航空学院张麟同志编写，第四章由西北工业大学副教授余公藩编写，第六、七章由南京航空学院副教授黄良编写。最后由西北工业大学教授扬彭基全面审校。

限于编者水平，本书内容难免有不妥之处，热切地希望读者批评指正。

目 录

前 言

第一章 飞机制造工艺的特点与互换协调的基本概念

- 第一节 飞机制造工艺的特点.....(1)
- 第二节 飞机制造中的互换与协调的基本概念.....(2)
- 第三节 飞机制造中应用的“模线一样板工作法”.....(8)
- 第四节 飞机部件外形的数学描述与数控绘图.....(15)
 - 一、飞机部件外形的数学描述—数学模型的建立.....(15)
 - 二、数控绘图.....(23)

第二章 飞机钣金零件制造工艺

- 第一节 概述.....(27)
- 第二节 平板零件和毛料的制造—剪裁、铣切、冲裁.....(28)
- 第三节 飞机型材零件的制造—压弯、拉弯、滚弯.....(35)
- 第四节 飞机回转体零件及中小型器皿性零件的制造—旋压、胀形与拉深.....(45)
- 第五节 框肋类零件的制造—弹性般成型.....(52)
- 第六节 飞机蒙皮零件的制造—滚弯、拉形.....(58)
- 第七节 飞机复杂壳形零件的制造—落锤成形.....(63)
- 第八节 飞机钣金工艺中一些新工艺的应用.....(65)
 - 一、激光切割零件.....(65)
 - 二、加热成形.....(65)
 - 三、真空蠕变成形与超塑性成形.....(69)
- 第九节 零件分类、编码与成组工艺在飞机制造领域中的应用.....(70)

第三章 飞机整体结构机械加工件的制造工艺

- 第一节 概述.....(76)
- 第二节 整体壁板的制造.....(76)
 - 一、毛坯供应.....(78)
 - 二、整体壁板的切削加工及其设备.....(79)
 - 三、整体壁板的化学铣切.....(84)
 - 四、整体壁板的成形.....(86)
- 第三节 梁框类整体零件的制造.....(87)
- 第四节 大型骨架零件的制造.....(90)
- 第五节 挤压型材和桁条零件的机械加工.....(92)

第四章 飞机装配工艺

第一节 飞机装配工作概述	(97)
一、机体结构分解与分离面	(97)
二、飞机部件的装配方案	(98)
三、飞机装配的定位方法	(99)
第二节 飞机装配中的连接工艺	(105)
一、铆接	(105)
二、螺栓连接	(114)
三、胶粘连接	(119)
四、复合材料连接	(127)
五、点焊	(130)
第三节 飞机部件装配过程	(133)
一、薄壁结构部件的铆接装配	(134)
二、夹层结构部件的装配	(141)
三、部件装配的检验工作	(143)
第四节 飞机总装配	(145)
一、飞机总装配工作内容	(145)
二、统筹法在飞机总装配工作中的作用	(148)

第五章 飞机部件的计算机辅助制造与设计制造的“一体化”

第一节 飞机部件外形数模的建立和外形计算	(152)
一、翼面类部件数学模型的建立	(153)
1. 翼型曲线的拟合	(153)
2. 建立翼面的数学方程	(156)
3. 旋翼桨叶的曲面方程	(158)
二、计算程序系统的编制	(159)
第二节 工艺装备的数控加工	(162)
一、样板的数控加工	(162)
二、平面工艺装备的数控加工	(164)
三、立体工艺装备的数控加工	(166)
第三节 数控检测技术的应用	(166)
第四节 飞机设计制造“一体化”概念的形成	(169)
第五节 中心计算机数学模型系统的应用	(171)
一、中心计算机数模系统的建立	(171)
二、采用中心计算机数模系统的效果	(171)
第六节 交互式计算机图象仪系统在飞机设计、制造中的应用	(172)
一、概述	(172)
二、交互式计算机图形显示工作站	(173)

三、人机“对话”的主要过程·····	(175)
第七节 “一体化”的发展与飞机制造系统工程·····	(177)
第八节 “一体化”技术实施的主要内容·····	(179)
第九节 “一体化”的技术经济效果·····	(182)

第六章 工艺装备的协调

第一节 概述·····	(184)
第二节 工艺装备的制造依据·····	(188)
第三节 工艺装备的协调方法·····	(196)

第七章 飞机构造的工艺性问题

第一节 飞机构造工艺性的一些基本概念·····	(201)
第二节 飞机设计各阶段的工艺性问题·····	(202)
第三节 飞机设计中主要的构造工艺性问题·····	(203)

第一章 飞机(直升机)制造工艺的特点

与互换协调的基本概念

第一节 飞机工艺的特点

新飞机的诞生,包括一系列的设计、制造和试验的综合工作,需要完成复杂的生产准备。综合而言,新机的生产准备可分设计、工艺和组织三方面,三者之间有科学的分工,又有着相互间的密切联系。即使当一种试验飞机被鉴定合格,证明符合设计要求,可以投入“0”批试制,和成批生产以后,根据实际使用情况,设计、制造和试验工作三者之间也有着密不可分的紧密联系。

将原材料及半成品转变为成品——飞机的一切劳动过程的综合称为生产过程。生产过程包括工艺过程及其辅助过程,如生产准备、设备维修、厂内运输、统计、核算等等。

工艺过程是生产过程的主体,是指直接改变所加工零件的尺寸形状或材料性能,将零件装配成组合件、部件和飞机的过程。

飞机的制造过程和一般机器相同,可以划分为毛坯制造、零件加工、装配和试验四个阶段。飞机制造所用的毛坯和半成品,如锻件、铸件、板料、型材等种类繁多,根据现代化生产的协作原则,主要由外厂供应。飞机装配、安装所需要的大量标准零件,以及发动机、特种设备、仪表等等成品也由专门工厂组织生产。即使这样,由于飞机的构造复杂,制造的劳动量大,为满足国民经济的需要和国防战备要求,往往还有几个工厂分工协作生产同一型别的飞机的情况。应该注意到飞机的整个制造过程和国家的工业化体系有着千丝万缕的联系。而飞机制造的水平,生产组织的基本形式也不可能脱离国家整个工业体系当前发展水平而孤立发展,但是飞机的制造工艺过程有它本身的特点。

飞机整个制造工艺过程的特点,是与飞机产品的使用要求,飞机产品设计结构特点紧密不可分的。

一、飞机产品使用要求的特点

1. 质量要求高:任何产品的质量决定于其多方面性能的综合。飞机的质量指标主要有:飞机的飞行战术性能,强度和可靠性,使用寿命,以及互换性等。要满足要求且稳定可靠。

2. 结构不断改进:由于使用特点,飞机构造经常修改、变动。要求飞机从研制起到投入生产的周期要短,而且要适应设计更改频繁、结构不断变化、改进的要求。

3. 要适应产量大小的变化:尤其是军用机,研制中批量小,战时要求迅速扩大产量,这是在产品设计、工艺过程设计中都必须考虑的问题。

4. 要努力降低耗费:飞机成本很高,耗费巨大,在确保质量,完成数量任务的同时必须努力降低耗费。

二、飞机产品结构的特点

它不同于一般机械产品，归纳起来主要有：

1. 构造复杂，零件多：一辆载重汽车包括发动机在内大约有三千多个零件，而一架现代飞机仅壳体零件就有一万五千至十万件不等，其中还不包括几百万件螺钉、铆钉等标准件。如某型轰炸机仅重要附件就有 8 1 0 0 种，3 2 5 台电子电气装置，2 4 0 0 米液压管路和长约 97.6 公里的导线。
2. 外形复杂，尺寸大：飞机的骨架和蒙皮零件大多具有不规则的曲面外形，根据机型的不同，如大型运输机 C—5A 飞机翼展达 68 米，机身全长 75 米，因此决定了零件、组合件、部件的尺寸也较大。如波音 7 4 7 机翼上一块整体壁板零件长达 34 米。
3. 精度要求高，刚度小：如 L—1011 飞机的复杂曲面蒙皮壁板，最大尺寸 2.5 米×1.2 米，成形误差要求小于 0.3 毫米。而机体绝大多数零件刚度均很小，一些零件在自重下都会引起变形。

三、飞机工艺特点

针对以上特点，飞机工艺的特点是：

1. 要采用新的保证互换性方法：仅采用一般机器制造业的公差配合制度，不能保证各零件、部件间的相互协调与互换要求，而要采用飞机工业中一套特有的保证互换协调的方法。
2. 生产准备工作量大：由于零件数量多、外形复杂，成形需要模具工装，而由于零件刚度小，装配时又需要大量夹具、型架，以及一些必要的标准工装，使飞机生产准备工作量很大，而要求周期尽量短。
3. 批量小，手工劳动量大：由于飞机型号、构造改动频繁，要求生产方法要具有很大的机动性。飞机生产中必须尽量简化工艺装备构造，提高其通用化程度，采用通用化的设备等等。但即使如此，还往往需要大量采用手工劳动。生产的“机动性”要求和“机械化”、“自动化”之间的矛盾是摆在我们面前需要解决的任务。
4. 零件加工方法多种多样，装配劳动量比重大；工艺过程中要努力引进新技术、新材料和新工艺。技术新，涉及面宽，反应要快。

第二节 飞机制造中的互换与协调的基本概念

一、互换性的基本概念

一般互换零件（构件、部件）的特性是能与另一同样零件（构件、部件）互相代替，而代替的零件（构件、部件）能够象被代替的零件一样准确的完成本身的特定任务。

飞机工业中的互换性要求一般指：

1. 使用互换：飞机使用中局部损坏，要求更换某部分是常有的，互换的部件（段件）应具有相同的（在公差范围内）连接面尺寸和形状，相同的对接螺栓孔和管道孔的位置，一致的气动力特性、重量和重心，而敷设在其中的系统应当具有相同的技术特性。

2. 生产互换: 在成批生产中, 零件、构件等不经修配和补充加工就可以装配, 装配以后且能满足技术要求, 则这些零件和构件具有生产互换性。在大批和大量生产中主要是采用互换方法组织均衡有节奏的生产。在飞机的成批生产中也希望尽可能采用这种生产方式, 但由于实际工作很难达到或经济上极不合理。因此, 在飞机生产中实际并不要求完全互换, 而是局部互换。互换性项目要求越多, 对生产部门要求也愈高。

3. 厂际互换: 当同一型号飞机由几个工厂制造时, 各厂生产的飞机某些部分也应该是能够互换的。这就需要采取必要的技术措施和相应的技术文件来保证。

二、飞机生产中的协调问题

协调和互换是两个不同的概念。互换是指成批或大量生产中, 同一产品中任取其一, 其几何形状及物理机械性能在一定误差以内, 并在装配和安装过程中, 不需要任何修配和补充加工就能在装配以后完全满足设计时所规定的技术要求。而协调是指两个相互配合的零件之间, 或零件与工艺装备之间的对应尺寸和形状的一致性。

1. 飞机的制造准确度和协调准确度

a) 制造准确度: 飞机零件、组合件或部件的制造准确度是指实际工件和设计图纸上所确定的理想的几何尺寸和形状相近似的程度。

b) 协调准确度: 飞机零件、组合件或部件的协调准确度, 是指两个相配合的零件、组合件或部件之间配合的实际几何尺寸和形状相近似的程度。

(例如, 如图 1-1 所示, 机身前段和机身后段相接处, 图纸上规定为同一个理想直径 D 。在机身前段及后段分别制造时, 所得到的实际尺寸为 D_1 及 D_2 , 则 $(D_1 - D)$ 和 $(D_2 - D)$ 之数值分别为机身前段及后段的制造误差, 误差的统计特征数值分别说明各自的制造准确度。而 $(D_1 - D_2)$ 为机身两段之间的协调误差, 协调误差的统计特征数值也就说明了它们之间的协调准确度。)

在飞机生产中, 一般情况下, 对协调准确度的要求比对制造准确度的要求更高。

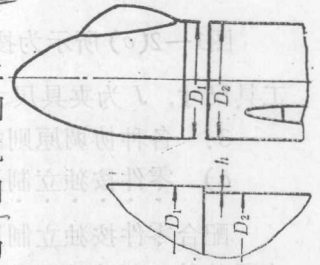


图1-1 两段机身的配合示意图

制造准确度只与各部分的本身制造过程有关, 它取决于飞机各部分单独制造过程中的生产误差。而飞机各部分相配合的表面或尺寸的协调准确度, 则取决于有关的两个部分单独制造过程中生产误差的综合数值, 也就是说与两个相配合部分制造过程之间的相互联系有关。下面我们就来仔细分析一下两个相配合零件制造过程的相互联系, 即协调原理。

2. 协调原理

任何产品或零件的制造, 其几何形状和尺寸的形成, 一般都是根据图纸所确定的理论形状和尺寸, 在生产中通过一定的量具、工艺装备或机床而获得的。在这一过程中, 首先需要根据标准的尺度量具制造出生产中使用的各种测量工具或仪器, 然后用这些量具制造各种工夹模具, 最后通过工装模具或机床加工出零件所需的形状或尺寸, 这一过程中包含尺寸传递的过程。

两个相互配合零件同名尺寸取得协调, 它们的尺寸传递过程之间一般存在一定的联系。

图 1—2 所示为按三种不同原则取得尺寸协调的协调过程。

如图 1—2 所示，两个相配合的零件 A 和 B 之间同名尺寸 L ，在尺寸传递过程中存在着一定的联系，即都是从总的原始标准尺寸开始。原始标准尺寸作为尺寸传递过程的公共环节，当采取一系列组织技术措施后，不仅原始标准尺寸可作为尺寸传递的公共环节，而且在以后的尺寸传递过程中亦可存在公共环节。

在生产过程中如欲提高两个配合零件之间的协调准确度，除了努力提高零件制造准确度（这往往受到限制）以外，减少制造环节或致力增加两个零件尺寸传递过程中的公共环节以缩短尺寸 L 的协调过程都是重要的。

图 1—2(a) 所示之协调过程，称为零件按独立制造的原则形成的协调过程。

图 1—2(b) 所示之协调过程，称为零件按相互联系制造原则形成的协调过程。

图 1—2(c) 所示为按补偿原则制造所形成的协调过程。图中 S 为标准尺寸， M 为测量工具尺寸， J 为夹具尺寸， L_A 、 L_B 分别为零件 A 及零件 B 的尺寸。

3. 各种协调原则的特点及其应用

a) 零件按独立制造的原则进行协调

配合零件按独立制造的原则进行协调时，形成协调准确度的尺寸传递的环节远远多于每个零件单独制造的环节。因此，所取得的协调准确度实际上要低于各个零件本身的制造准确度。

前已述及，飞机生产中，对协调准确度比制造准确度往往提出更高的要求。假定采用这一原则，那么为了保证互换性所必须达到的协调准确度，就必须对零件制造准确度提出更高的要求。

如图 1—3 检查口盖例。这是一个蒙皮上的圆片形口盖，采用独立制造原则制造，只要恰当规定盖与孔的允许误差范围，可以很容易地保证盖与孔的协调。

在一般机器制造业和仪表制造业中，普遍采用独立制造原则，零件之间的互换与协调由国家颁布的公差与配合制度来保证。这种方法具有一系列优点。首先是能够平行地制造各种工艺装备，可以扩大工作面，从而可以缩短生产周期。其次是不受限制地进行复制和协作。

对飞机制造来说，缩短生产准备期及广泛开展复制也具有特别重要的意义，因此，也很希望采用这一原则。

在一般机械制造中，所用的各种通用量具一般均为测量尺寸的量具。而制造任何一个工件时，需要加工的是连续的表面，也就是说需要从尺寸过渡到形状的过程。在一般机械制造

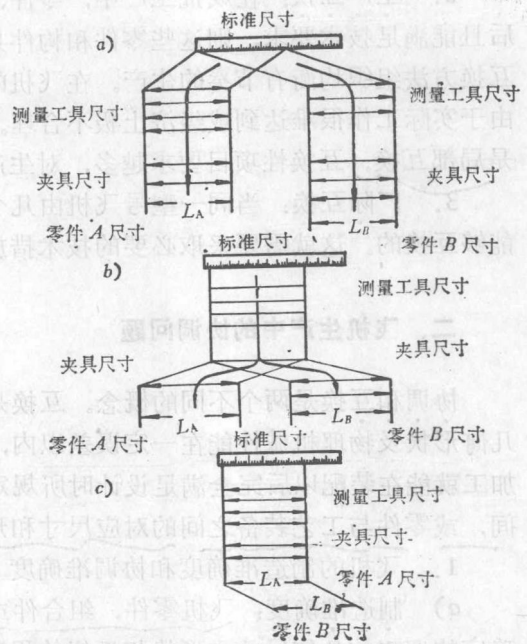


图 1—2 尺寸协调过程示意图

你
但是

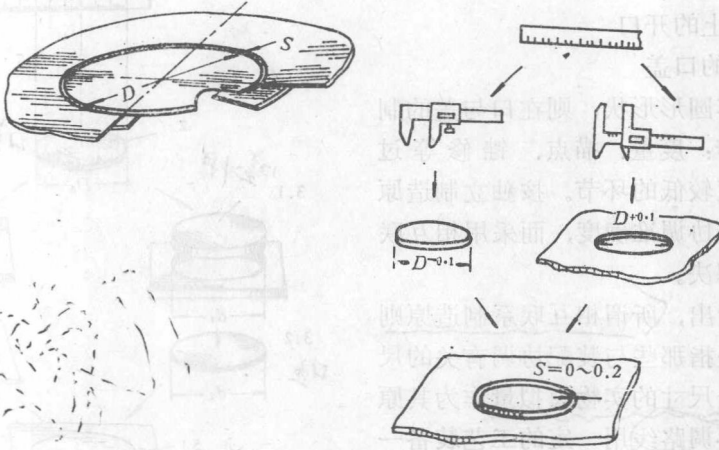


图1—3 检查口盖

中，对于简单形状的表面（平面、圆柱面、圆锥面、球面等）可以通过专门的金属切削机床，按图纸的尺寸准确地加工出工件的形状，以实现由尺寸到形状的过渡。

但是，在飞机生产中，由于飞机产品的特点即尺寸大、刚度小，尤其是对于复杂形状表面（机翼或双曲面机身等的表面）的加工，这种由尺寸确定零件表面，然后在生产过程中再根据实际需要，将零件表面形状准确地传递给模具、夹具等的这一过程要复杂得多。

过去，在飞机制造中，独立制造的原则采用得较少，仅用于那些形状比较简单的零件，如起落架、操纵系统上的零件。近年来，由于电子计算机和数控技术在飞机设计与制造中的广泛采用，独立制造的原则日益广泛地用于飞机其它部分的制造。

b) 零件按相互联系制造的原则进行协调

由于飞机的结构复杂，零件品种多、生产批量小，既有大量的外形协调问题，又有大量的交点协调问题，所以在不少的情况下，采用独立制造的原则进行协调，即以较高的制造准确度来保证较低的协调准确度要求，往往技术上无此必要，经济上也不合理，甚至是难以实现的。

由图1—2(b)可以看出，当零件按相互联系制造的原则进行协调时，零件之间的协调准确度只取决于各零件尺寸传递过程中单独进行的那些环节，尺寸传递中那些公共环节的准确度，并不影响零件之间的协调准确度。

因此，采用不同的协调原则，即使是相同的零件制造准确度，却能够得到不同的协调准确度。一般说，在尺寸传递过程中，公共环节的数量愈多，协调准确度也愈高。尤其要注意的是：应该努力把生产过程中制造准确度不高的工序，作为尺寸传递的公共环节，就能够大大提高零件之间的协调准确度。

图1—4中所示是一个蒙皮上的平面的非圆形口盖，其中：

1. 标准尺

2. 口盖样板

3.1 口盖冲模

4.1 在蒙皮上开口用的样板

3.2 口盖

4.2 在蒙皮上的开口

5. 安装后的口盖

由于口盖的非圆形形状，则在口与盖的制造中就必然存在着：度量、描点、锉修等过程，这是一个精度较低的环节。按独立制造原则，手工难于保证协调准确度，而采用相互联系制造原则较易解决。

从上例可以看出，所谓相互联系制造原则的协调方法，就是指那些与装配协调有关的尺寸和几何形状以全尺寸的实物模拟量作为其原始协调依据，沿协调路线用一定的工艺装备一环扣一环地传递这些模拟量，使它们最后在产品上体现出来。

按相互联系制造的原则进行协调，对飞机制造具有特别重要的意义。采用这种协调方法能以较低的制造准确度来达到较高的协调准确度要求。所以它是飞机工厂传统的协调方法，在今日的飞机工业中仍占有相当的地位。当采用独立制造的原则不能使飞机各部分达到足够的协调准确度时，或经济上很不合算，则采用相互联系制造的原则，以保证飞机制造的互换性。但它在组织生产等方面存在着严重的缺点，这在以后的几章中再详细讨论。

c) 按补偿原则进行协调

从图 1—2(c) 中可以看出，采用补偿原则进行协调时，协调准确度仅决定于将零件 A 的尺寸传递给零件 B 时这一个环节的准确度。因此，采用这种协调原则，在一般情况下，能达到更高的协调准确度。

我们仍然以图 1—4 所示的检查仓口盖为例，当采用补偿原则进行协调时，可以采用前述的方法，首先制造口盖，然后按制造好的口盖的实际形状加工蒙皮上的开口，采用这种方法可以保证很高的协调准确度。

上述按补偿原则进行修配的办法虽能够保证零件之间很好的协调，但零件之间却不能互换，而且增加了装配时的工作量，在成批生产中要尽量少用。只有在采用前面所述两种协调原则在技术上和经济上都不合理时，而且并不要求零件互换，和在飞机的单件试制时才有较多的应用。

4. 工艺补偿与设计补偿：飞机生产过程中，由于零件数量大、外形复杂，和精度要求高，生产中常会发生不协调现象。

在这里，要强调指出的是：保证产品之间很好的协调，并达到互换要求，决不仅仅是制造单位的事，设计者具有丰富的产品设计知识，综合的考虑以及对实际情况的掌握，往往能达到事半功倍的效果。

由于“补偿”协调的原则是一个零件按尺寸制造，而另一相配零件则按第一个零件实际

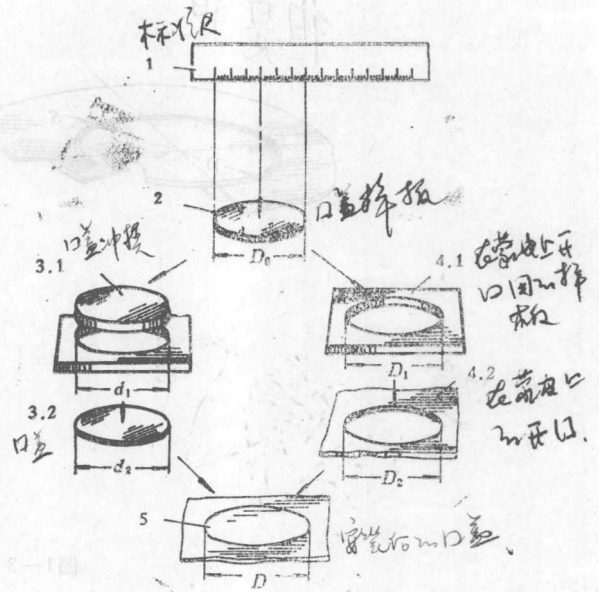


图1—4 按相互联系制造的原则制造非圆口盖和蒙皮的过程

尺寸去“配”。那么在生产中，例如一块刚度很大的蒙皮与另一个刚度也较大的隔框相配，并要用铆钉相联接，当二者形状尺寸不一致产生间隙时，有时生产中允许加“垫”，以满足连接要求。这种方法，是设计中有规定，而在工艺过程中根据实际情况采取的补偿措施，常称之为**工艺补偿**。

图1—5所示，即为由厚度0.05~0.1毫米金属箔(带)用胶粘剂粘合而成的“工艺厚度补偿垫片”(简称可剥垫片)。根据需要它可任意撕剥成一定的形状和不等的厚度。它用于补偿由于协调关系复杂和零件加工过程中的累积误差，而在装配连接处出现的间隙。以波音707为例，该机采用各种规格的可剥垫片，其定额面积达6.68米²，其中铝可剥垫片占95%，其余为不锈钢和铜可剥垫片。

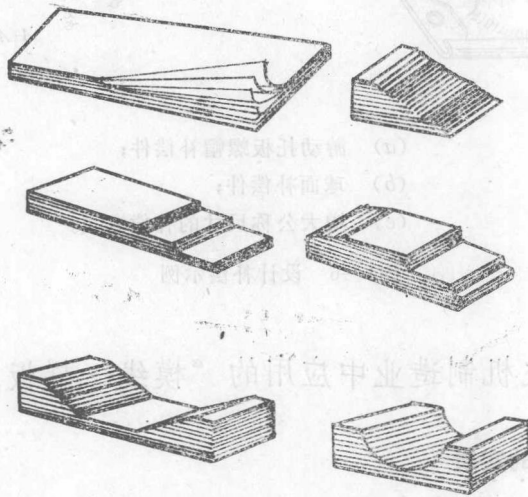
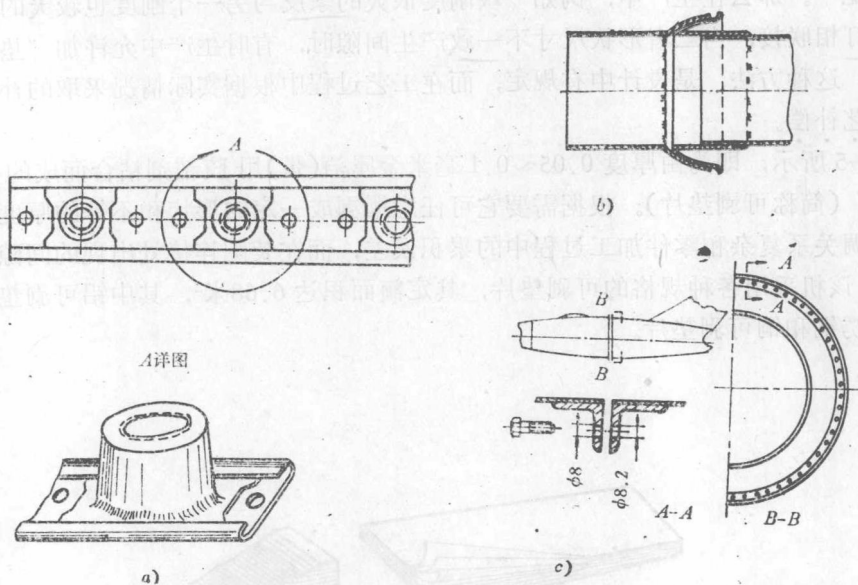


图1—5 工艺厚度补偿垫片

有时在飞机结构设计中，考虑到保证互换协调的要求，在不影响设计使用要求前提下，从结构设计上采取相应措施，保证两个相配零件中的一个可以在一定范围内调节相配尺寸，满足协调要求，这在一般工业产品及飞机结构中都应用得很多，如图1—6所示，称之为设计补偿。在飞机设计过程中，有一些补偿件的设计是设计员必须考虑到的，没有它飞机就不能正常工作。如直升机传动系统的方向接头与轴向补偿器；而另一些是为了简化装配与安装工作，在适当的地方采用补偿件。但无论是主动采取设计补偿，或允许在生产过程中在允许范围内进行工艺补偿，往往都能大大简化协调工艺装备，保证产品质量。当然一般说要稍微增加一些飞机结构重量，这就需要设计者有较丰富的知识，作全面衡量，作出周密的设计。

除如图1—6所示常用结构补偿件外，还有偏心衬套补偿件、螺纹调整补偿件，以及借用长圆孔的补偿方式等等。



- (a) 游动托板螺帽补偿件；
 (b) 球面补偿件；
 (c) 增大公称尺寸的补偿方式。

图1—6 设计补偿示例

第三节 飞机制造业中应用的“模线—样板工作法”

一、模线样板工作法的实质

模线样板工作法的原理是按相互联系制造的原则确立的。其原理是：首先根据飞机图纸将飞机部件及组合件的外形及结构按1:1的尺寸实际画出，称之为模线。在生产中，模线即作为飞机外形及结构形状的原始标准。由于飞机外形复杂，这一过程的制造准确度虽经很大努力还是很低的，人们即将它作为协调过程中的公共环节。然后根据模线制出代表工件真实形状的平面型刚性量具，这种刚性量具称为样板。在生产中样板即作为制造各种工艺装备及测量工件形状的量具。

在实际生产的准备工作中，模线和样板的设计和制造工作量是很大的。例如某型歼击机模线图板面积663平方米，其绘制周期约占生产总周期的九个月。样板共约两万块，其制造占周期七个月，仅这两项工作即占制造总周期13个月。

二、模线

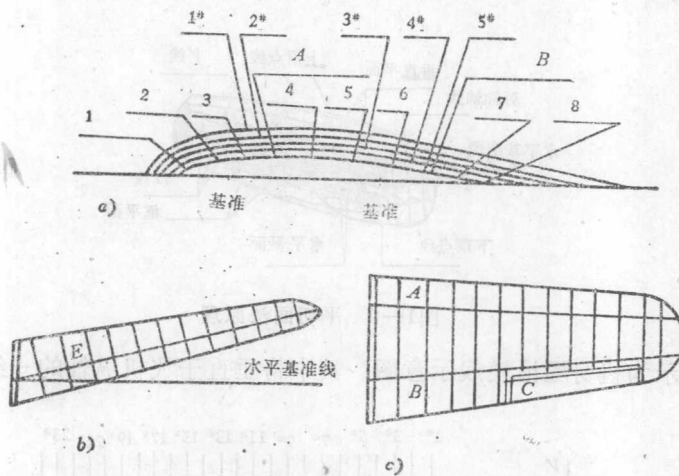
模线又分：理论模线、构造模线和运动模线。

1. 理论模线：理论模线是划在金属板上的1:1的飞机理论图，其绘制内容有飞机部件的设计基准、部件平面及各切面的理论外形以及部件的主要结构轴线（例如大梁、翼肋、长

桁等)。理论模线的作用是：协调部件平面及各切面的理论外形，并作为制造部件各切面基本样板的原始标准，以保证部件全套工艺装备沿各切面之间的协调。

由于飞机的外形是设计要求的气动力外形，而其内部结构形状和尺寸都必须以理论外形为基础。因此，飞机的形状和尺寸的确定首先应从理论外形开始，即首先绘制理论模线。理论模线确定以后才能绘制构造模线，然后再根据构造模线制造生产样板。按生产样板制造各种零件加工和装配用的工艺装备。最后制出飞机的各部件及整个飞机。因此，可以看出，飞机的制造环节很多，而每个环节均带来一定的制造误差，为了保证飞机最后的理论外形要求，必须严格控制各个环节的误差。为此，在理论模线绘制过程中，要保证模线的基准线、主要结构位置和外形线相对理论数据的误差不超过 ± 0.1 毫米。线条粗细 $0.1\sim 0.2$ 毫米，纵横切面同一尺寸的误差也应保持在 $0.1\sim 0.2$ 毫米以内，而且要绝对避免重复绘制，例如对称的形状只能画一半。

理论模线一般按部件分别绘制。图1—7所示为单曲面部件（机翼）的平面模线和综合切面模线的示意图，这类部件外形的共同点是：各翼肋在同一百分比弦长处的外形点连线呈一条直线，故根据基准翼剖面外形求中间翼剖面外形的方法可以用数学计算法或几何作图法。见图1—8。



(a) 机翼综合切面模线；(b) 机翼翼梁切面模线；(c) 机翼平面模线

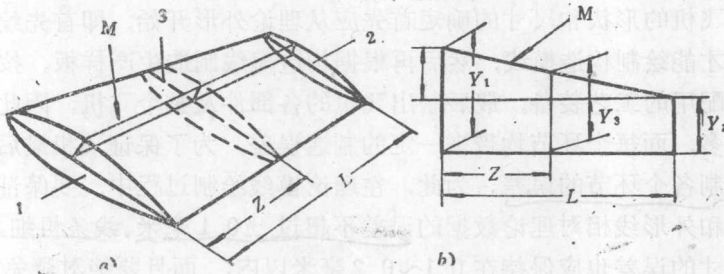
图1—7 机翼理论模线示意图

机翼的综合切面模线，是将各翼肋的切面外形按统一的弦线，重迭地绘制在模线底板上。这样做的目的是：所有各翼肋的外形均采用同一个设计基准，避免分别画数次设计基准线所引起的不一致性；一般机翼长桁轴线在综合切面上为直线，所以将翼肋外形按统一基准重迭画在一起，更易于保证长桁轴线的直线性。

机翼平面模线一般绘有翼肋轴线、大梁轴线、部件交点接头的中心线、平面投影的外形线等。

在模线的绘制过程中，应根据飞机外形的特点，注意节省模线图板的面积及绘制工作。如当大梁及长桁的外形线为直线时，可以省去不画。

对于双曲面部件（机身、发动机短舱等），一般采用平切面法或二次曲线法绘制机身综合切面模线及机身平面模线。



1—翼根肋； 2—翼尖肋； 3—中间肋；
L—翼展全长； Z—中间肋到翼根距离； M—等百分比线。

图1—8 求中间翼剖面外形的计算方法

平切面法是以投影几何的原理和作图法为基础的一种飞机外形绘制方法。它是用平行于三个互相垂直的坐标面的一系列平面来切割部件，并以所得一系列外形曲线来表达飞机外形表面的（图1—9）。

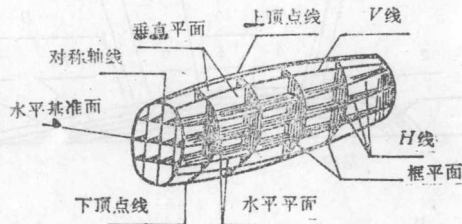
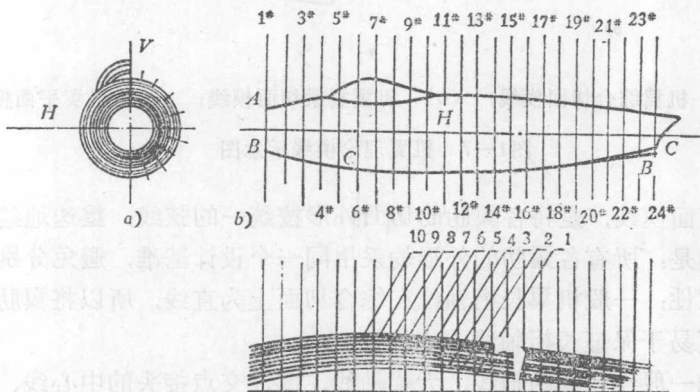


图1—9 平切面法原理

图1—10所示为机身理论模线示意图，其中将垂直于飞机纵轴的一组切面所切出的机身



(a)综合切面模线 (b)机身平面模线 (c)长桁曲线。

图1—10 机身理论模线示意图