

飞机制造技术丛书

飞机工艺装备
设计与制造

薛振海 赵振亚 等编著





飞机工艺装备设计与制造

薛振海 赵振亚 等编著

国防工业出版社

(京)新登字106号

内 容 简 介

本书是《飞机制造技术丛书》中的一个分册。共分五章：第一章介绍飞机工艺装备的作用、分类、设计的原则；第二章介绍标准工艺装备的设计和制造；第三章介绍装配工艺装备设计和制造；第四章介绍零件工艺装备的设计和制造；第五章阐述飞机工艺装备设计和制造的发展趋势。

本书可供航空、航天工业部门的工厂、设计所、研究所的工程技术人员参考，也可供高等院校师生阅读和参考。

《飞机制造技术丛书》

飞机工艺装备设计与制造

薛振海 赵振亚 等编著

*

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23号)

(邮政编码 100044)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168毫米 32开本 印张 7³/₄ 200千字

1992年9月第一版 1992年9月第一次印刷 印数： 001—900册

ISBN 7-118-00951-2/V·72 定价：7.25元

中国航空学会
《飞机制造技术丛书》编委会

主 编: 罗时大

副主编: 马业广

编 委: 董 孝 程宝藻 杨彭基 唐荣锡 陆颂善 屠德彰

戴世然 董德馨 黄道宏 孙肇卿 郭兴中 武厚忠

责任编辑: 余发棣

秘书组: 梁国志 张士霖 杨奇光

前 言

《飞机制造技术丛书》是中国航空学会组织编写的。编委会的委员们都是中国飞机制造技术专业的学者和专家，他们毕生从事飞机的生产、研究、教学、管理工作，有丰富的实践经验，在此基础上组织编写了这套丛书。

丛书编写目的是：既要总结我国三十多年来飞机制造的经验，又要有选择地吸取国外飞机制造中的先进经验和技術，总结出一套具有中国特色的飞机制造技术的基本经验，为总结经验、积累资料、培育人才、发展新技术打下基础。可以说，这是一项基础工程建设，具有重大的意义。

在飞机生产过程中，要采用多种通用的机床、工具以及试验、测量设备；还要设计和制造大量专用的飞机工艺装备以适应各个生产阶段和生产准备阶段的要求。这些飞机工艺装备主要是：模线、样板、标准样件、量规、模具、装配夹具和型架以及机械加工夹具、检验夹具等。又可将其分为两大类：生产工艺装备——直接用于产品的加工、成形、装配和检验各个生产过程中。标准工艺装备——作为协调、移形的统一标准依据，并用来制造、安装、检查生产工艺装备。

飞机工艺装备的基本作用是保证产品质量、提高劳动生产率并减轻劳动强度、降低产品成本。由于工艺装备的品种、数量多，结构多样化且较复杂，设计、制造周期较长，且要耗费大量资金，所以，工艺装备设计与制造技术的研究就成为飞机制造技术中一个十分重要的任务。多年以来，我国的飞机制造业已经积累了很多的经验，理论和实践相结合逐步发展、提高。本书目的主要在于系统地全面地进行总结，研究在飞机工艺装备结构设计、计算及新技术、新材料应用方面的发展；包括计算机辅助工

艺装备设计和制造的技术进展等。

本书涉及的范围较广，与飞机制造技术丛书的其它几个分册有着密切的联系。在丛书编委会的指导下，确定了本书的主要内容。

提供各章初稿的人员有：第一章、第五章：郑叔芳；第二章：周雪昌、王烈武；第三章：关昌华、陈家富、徐克源；第四章：陈荣廉、杨押宝、孙主义、赵家鸿、孙绍志、郭西懋、陶本苞、杜先承。提供资料的有林辉福、戴美云、于升瀛。此外，陈宝荣同志曾通阅全书，提出了不少有益的建议。

本书由薛振海、赵振亚担任主编。周砥中负责主审。

全书的描图和抄写有王燕侠、王劲松、龚玉华、杨丽蓉。

本书得到了《飞机制造技术丛书》编委会的热情关怀和指导，在此表示衷心感谢。

由于我们的水平有限，错误缺点在所难免，希望读者批评指正。

编 者

目 录

第一章 概论	1
一、引言	1
二、飞机工艺装备的功用	2
三、飞机工艺装备的分类	6
四、飞机工艺装备选择和设计的基本原则	9
第二章 标准工艺装备的设计和制造	13
一、模线样板的设计	13
二、标准工艺装备的设计	76
三、标准工艺装备的制造	97
第三章 装配工艺装备	115
一、装配工艺装备的分类与功用	115
二、铆接工艺装备的设计	118
三、精加工型架的设计	162
第四章 零件工艺装备	172
一、钣金零件成形工艺装备	172
二、机加零件工艺装备	198
三、软油箱工艺装备设计	211
第五章 飞机工艺装备设计与制造的发展	222
一、引言	222
二、飞机工艺装备结构的改进与简化	223
三、飞机工艺装备采用计算机辅助设计与制造	231
四、飞机工艺装备设计中的计量分析	233

第一章 概 论

一、引 言

在飞机制造过程中，除了采用各种机床，工具、试验设备外，还需针对该机型的零件、组合件、部件设计，制造专用工艺装备。如型架、夹具、模具、标准样件、量规等。用以对工件进行装配、加工成形、检查以及在工艺装备之间进行协调移形。这些工艺装备对保证飞机零件，组合件的质量，提高劳动生产率和减轻工人劳动强度有重大的影响，在飞机研制，特别是成批生产中，飞机零件数量很大，结构复杂、要求高、相互间又有协调关系。因此，在设计制造工艺装备时要占用很多人力和很长周期，一般约占飞机研制周期的三分之一，要耗费大量资金，而且当生产机型改变时，这么多工艺装备基本上不能再用。这样，工艺装备的选用设计和制造当然就成为飞机制造中的一个十分重要的任务。

飞机工艺装备分为两个大类：生产工艺装备——直接用于零件的生产过程中，如模具用于成形零件，型架用于装配零件等。标准工艺装备——作为生产工艺装备的制造依据和统一的标准，如用于安装型架的标准样件和取制成形模具的标准模型（表面标准样件）等。

飞机工艺装备的设计、制造的主要内容已从原有的机械加工向机、电结合，光学测量方向发展。而飞机制造技术所涉及的领域相当广泛，它包括装配、铸造、锻造、成形、机械加工、特种加工、焊接、热处理和表面处理、工艺检测等方面。随着现代科学技术的最新成果不断涌现，飞机制造技术已向采用新的综合技术的协调工作法，建立以CAD/CAM技术为主导广泛采用新技术和综合化的完整工艺制造体系发展。新一代飞机将由新一代的制

造工艺来实现，这必然影响工艺装备设计制造技术的进一步发展。

本书将着重叙述标准工艺装备、装配工艺装备和零件工艺装备三大部分，而以装配工艺装备为主。

二、飞机工艺装备的功用

飞机工艺装备的功用是保证产品质量、提高劳动生产率、减轻劳动强度、降低产品成本。首先，保证产品质量非常重要。很多情况下，如果没有装配用的型架和成形用的模具，就无法生产出合格的产品，如果缺少某些标准工艺装备，就不能保证产品的准确度和互换协调要求。

1. 保证产品质量

(1) 几何参数准确度

飞机零件的几何参数多，形状复杂，要由多种的相互协调的工艺装备来保证。从几何参数的特征而言，又可分为：

① 外形准确度

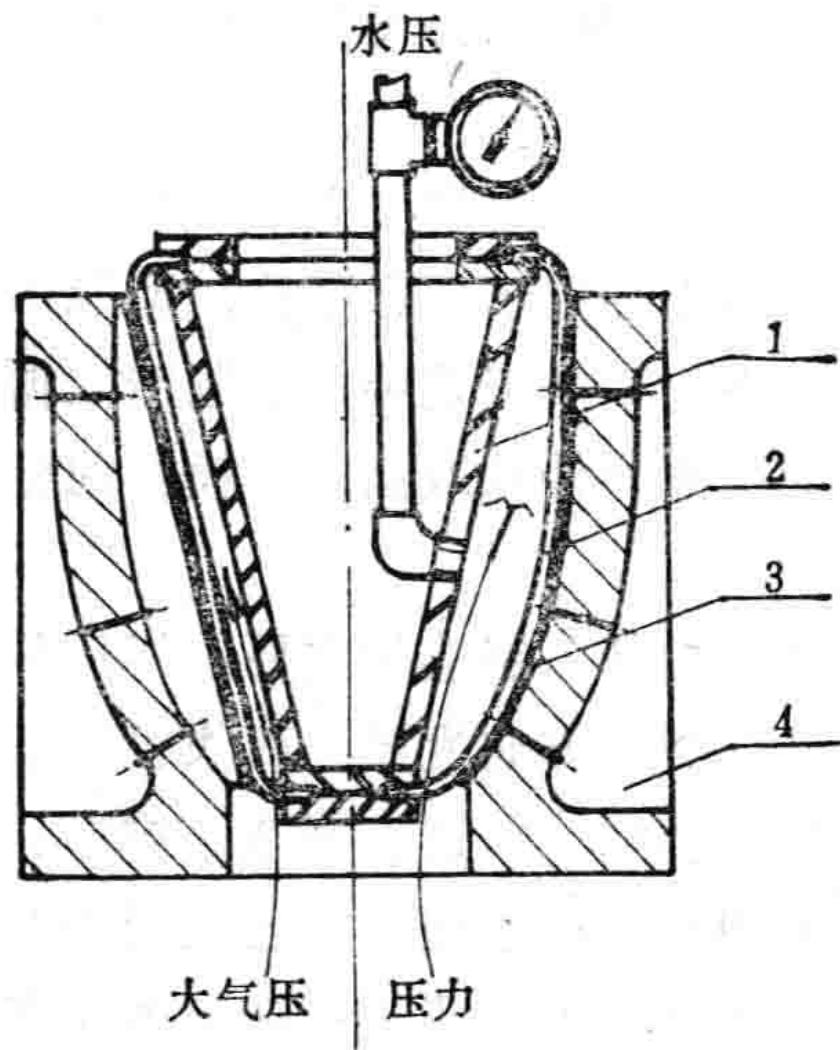


图1-1 水压胀形模

1—胀形模芯；2—胀形模胎；3—工件；4—凹模。

飞机零件多数是有曲度的。图1-1所示的水压胀形模的凹模内形决定了零件的外形。

② 相对位置准确度

i. 零件与零件之间的相对位置

在装配过程中要确定零件、组件之间的相对位置。如图1-2所示，在前机身总装配型架中，用型架平板1定位前后机身对接接头的位置，用定位器2、5定位机身机翼接头的位置，用卡板3、6、7来确定外形的位置，从而确定了前机身外形和各主要接头之间的相对位置。

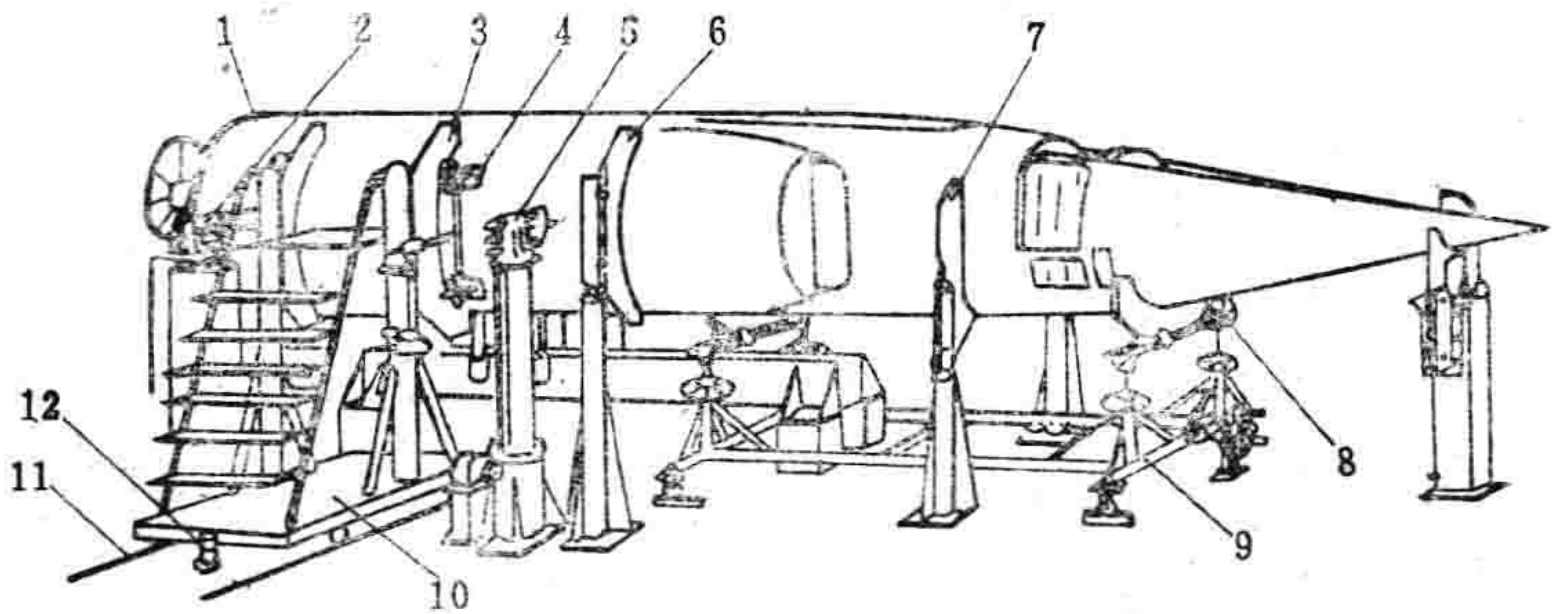


图1-2 前机身总装配型架

1—型架平板；2、5—机身机翼接头定位器；3、6、7—卡板；4—接头定位器；8—调整手轮；9、10—架车；11—导轨；12—架车定位销。

ii. 工件与刀具之间的相对位置

如图1-3，在钻床夹具中，定位销确定零件的位置，钻套1确定钻头的位置，从而确定了钻头相对零件的位置。用装配夹具上的钻模板钻孔时也有类似的情况。

iii. 工件与机床的相对位置

当夹具在机床上安装固定后，工件在机床上的初始位置就得到了确定，便于进行以后的加工工序。

iv. 工件与量具的相对位置

在检验夹具中，工件和量具分别按夹具定位，用专用的或通

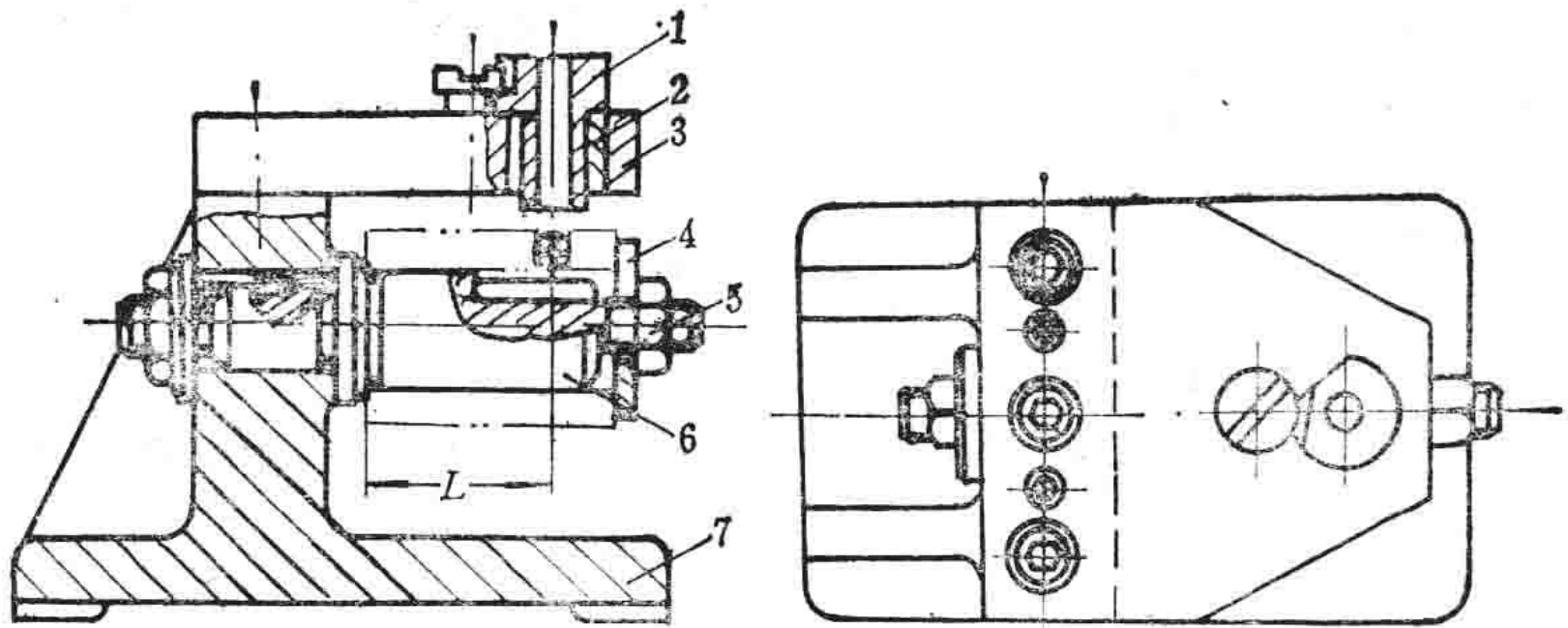


图1-3 钻孔夹具

1—钻套；2—衬套；3—钻模板；4—开口垫圈；5—螺母；
6—定位销；7—夹具体。

用的量具检查工件的几何参数。

还应该注意到，在加工过程中工件的几何形状和相对位置有时不一定符合要求。这是因为零件成形时可能有变形回弹和装配时可能产生较大的焊接或铆接变形。这就需要进行检查、测量、分析，找出原因，以调整工艺方法或修正工艺装备（模具、夹具）的尺寸，使得工件在成形或装配后，其形状、尺寸能符合要求，提高准确度。

保证产品几何参数准确度不仅限于工艺装备形状、尺寸的正确性，而且对于飞机零件中尺寸大、壁薄、低刚性的零件，工艺装备还有着提高其工艺刚度的效果。对于低刚性零件的定位，可以多于理论上所需的六个自由度的约束，即增加定位器、夹紧器的数量和接触面积以提高工艺刚度，从而减少工件的工艺变形。

工艺装备之间的移形，典型的方法是几何参数的模拟量传递，用以保证工艺装备几何参数的准确、协调。图1-4所示的飞机座舱盖标准样件是座舱盖工艺装备的制造、安装的尺寸依据。

采用数控加工的数字量传递方法以保证工艺装备制造准确度。目前国内已局部应用，正处于发展阶段。

(2) 物理参数准确度

近代飞机采用了多种多样的新结构、新工艺，如胶接、钎焊、

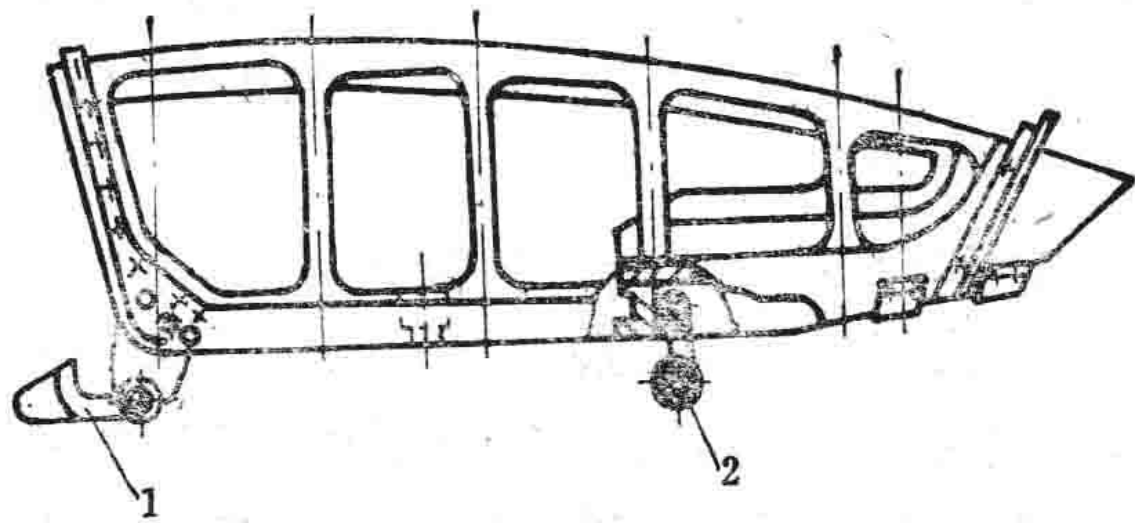
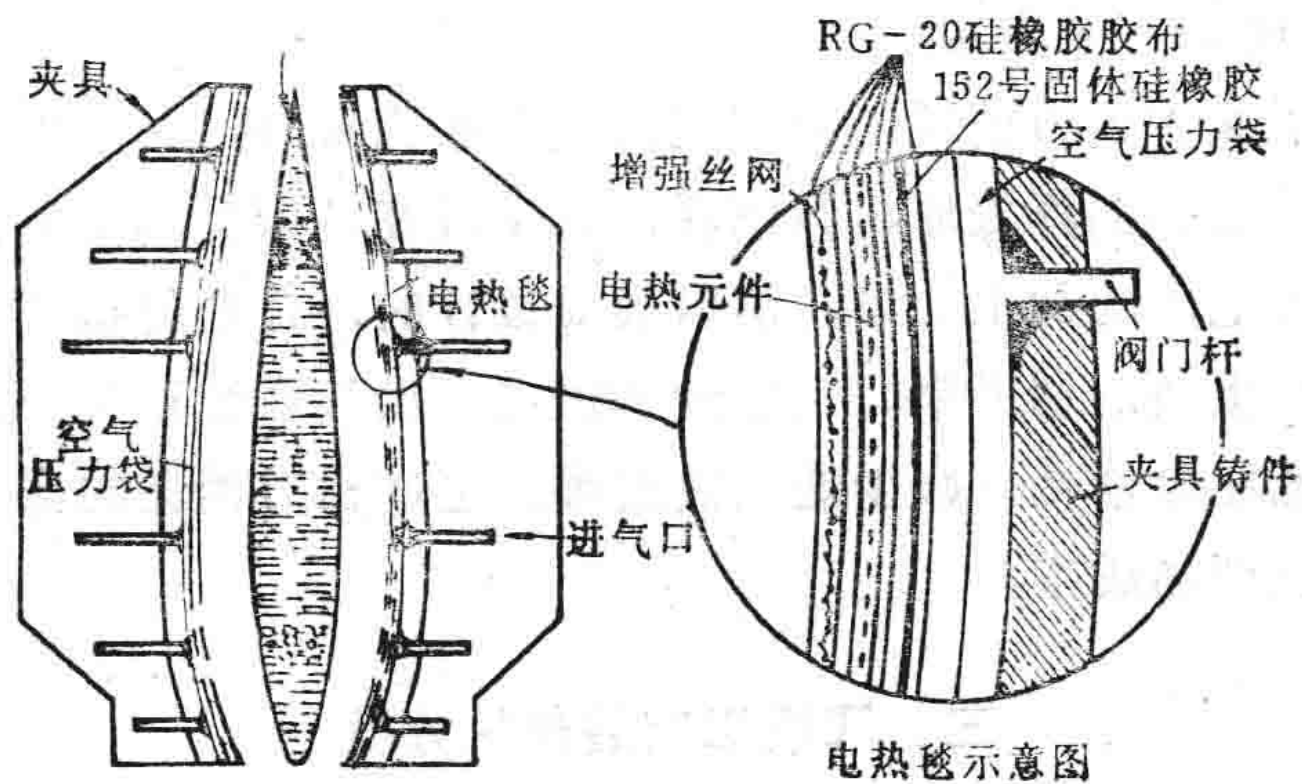


图1-4 座舱盖标准样件

1—锁钩；2—滑轮。

电子束焊、电加工、复合材料结构连接、激光切割等。这些工艺过程要求控制各种物理参数，如温度、压力、电流、时间、光照度等。对这些参数的控制，有一部分由机床设备完成，还有一部分需由工艺装备或由机床通过工艺装备来完成。因此，工艺装备在保证质量方面的第二项作用是产生、测量和控制物理参数。

如图1-5所示的胶接夹具的作用，除了确定弹翼剖面的几何形状外，还需控制胶接过程所需的温度和压力。热量由电热毯产生，夹具应设有供电装置、电流控制装置、温度测量和控制装置。胶接压力由空气压力袋产生，夹具应有供气管路阀门和压力测量和控制装置。



导弹—弹翼胶接夹具的横剖面

图1-5 胶接夹具

由上可见，随着工艺技术的发展，工艺装备正由单纯的机械装置向着包括机、电、液、气、光、计算机的综合装置发展，不断提出新的任务和研究课题。

2. 提高劳动生产率、减轻劳动强度

工艺装备上的定位器、夹紧器，应定位可靠，操作方便，迅速。如果采用气动、液压夹紧，机电控制则使工作效率会更高。型架卡板的升举用气动液压装置或机械平衡都可以减轻工人劳动强度，方便工作。对于笨重的工件，可以在型架上设有下架装置来吊挂、运送部件。工人的劳动工作姿态对提高劳动生产率、减轻劳动强度起着明显的影响，夹具有时作成可以转动的，在铆接和焊接时夹具设计的尺寸、高度也要适合工人的操作姿态要求和工具的可达性。现代的人机工程学研究人与机器（工艺装备）之间的关系，求得其间最佳的适应。在人体测量学的基础上研究工艺装备的尺寸和功能，以充分发挥人的因素，提高效率，确保安全。

此外，还有机械手的应用，以及自动化的研究等都是提高劳动生产率，减轻劳动强度的有效途径。

提高劳动生产率可以缩短飞机的生产周期。并且，劳动工时的减少也是飞机生产成本降低的主要因素。

3. 降低产品成本

除了减少人力消耗，提高工作效率的因素外，一个设计合理的工艺装备还能降低原材料消耗，如毛坯在机床夹具中定位合理可以减少毛坯的加工余量；落料模具设计时，合理的排样和定位可以提高板料的利用率。工艺装备供电、供气系统正确合理设计可以降低能源消耗、减少能量散失等。这些物力消耗的减少也降低了飞机产品成本。

三、飞机工艺装备的分类

在飞机生产过程中要用很多各种各样工艺装备和一定数量的必需的标准工艺装备。这是因为飞机结构件与一般机械产品有不

同的特点，工件外形多为复杂的曲面，连接接头的结构形式和空间相对关系也较特殊，精度要求高，钣金件尺寸大而刚度低；全机结构零件多等等，这些都决定了难以用一般通用量具去测量检查它的形状和尺寸。而必需用专用的标准工艺装备作为生产工艺装备的制造、检查和协调的依据。

1. 标准工艺装备的分类

标准工艺装备是飞机几何参数模拟量的标准。是 1:1 真实地表达了飞机结构的主要部分的形状和位置尺寸，具有较高的准确度和刚度，在规定的条件下妥善保存，并要定期地进行对合测量以保证处于良好状态。

通常可把标准工艺装备分为标准样件、对接量规、标准平板、外形模型等几种。而标准样件又可按其用途分为安装标准样件、反标准样件、外形（表面）标准样件。按结构来划分，除了部件、锻件的标准样件而外，还可以有组合件标准样件、零件标准样件。图 1-4 所示的飞机座舱标准样件可以分解出锁钩、滑轮等小组合件和零件标准样件。

2. 生产工艺装备

按其在生产中的用途可以分为：

(1) 毛坯工艺装备

如锻模、铸模等。虽然不一定都对产品的最后尺寸有影响，但往往对材料的物理、机械性能和劳动生产率影响较大。

(2) 零件工艺装备

主要有用于钣金零件成形的各种模具，机械加工零件的夹具以及非金属材料零件成形的工艺装备等。当采用某种加工工艺时，保证制造出来的零件形状、尺寸和材料性能都在规定要求的范围内。图 1-1 所示的水压胀形模和图 1-3 所示的钻孔夹具都属此类。

组合夹具是一种由通用化元件组成，可以根据需要组装的夹具，适用于试制或小批生产机械加工。它是由基础件、支撑件、定位件、导向件、压紧件、紧固件、连接件、合件和其它件组成的。分为孔系和槽系两大系列。

(3) 检验工艺装备

典型的有部件检验型架和零件检验夹具、检验模等。用于检查形状复杂、对接接头相对位置参数复杂的工件。即能保证要求的检验准确度，也使检查工作方便，提高劳动生产率；经过检验合格的工件能保证达到要求的互换、协调性。它们也是根据标准工艺装备制造。此类检验工艺装备数量不多。一般是采用简易的检验工具和样板，或者利用原有的装配夹具，在其上附加检验用的卡板、检验器等附件。

(4) 精加工型架

成批生产时，在部件装配车间中常采用部件的精加工型架（精加工台）以保证部件的互换、协调要求。工件在此专用的机床上定位夹紧后，用专用的动力头、刀具对于对接接头等零件的孔进行扩孔、铰孔，对端面铣切以消除装配过程中产生的变形等误差，达到最后的相对几何位置加工精度和光洁度。有的还铣切部件端面蒙皮余量以满足部件的对合要求。精加工型架对保证产品互换、协调的作用很大。

由于精加工工作是在部件装配车间中进行，而其作用又是要消除装配过程中的综合误差。所以，在飞机工厂中，有时也可将其划分为装配型架类。但其技术工作特性与铆接装配本身是不一样的。

(5) 辅助工艺装备

为了使工人操作方便，常设置一些工作梯、工作台以及专用的起重运输、吊挂装置等。一般

说来，只对它们提出了使用方便的要求，而不直接参与产品的制造和装配。辅助工艺装备对于提高劳动生产率往往起着相当大的作用的。图1-6所示为某飞机垂直尾翼的专用吊挂。

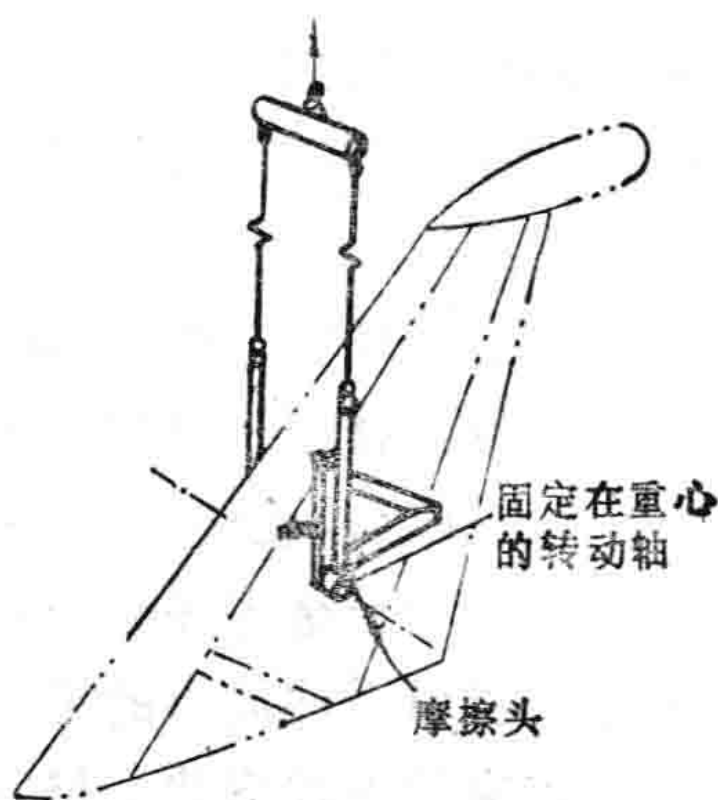


图1-6 垂直尾翼专用吊挂

四、飞机工艺装备选择和设计的基本原则

飞机工艺装备对保证飞机产品质量和批量生产起着重要作用，要合理的选用品种和数量，工装数量过多要耗用大量资金，占用很长的生产准备时间，造成浪费。数量过少又不能保证产品的质量和批量生产要求。在西方国家歼击机机体的研制过程中，工艺装备的费用占总研制经费（约近十亿美元）的16.5~19.5%。我国某型歼击机的制造，采用标准样件工作法，其工装总数为20700项，其中标准工装640，装配工装660，零件工装17750项，拼装夹具1650项，总造价为4000万元。工艺装备的设计、制造周期约为1.5年。

1. 飞机工艺装备选择的基本原则

在新机型试制时，选择工艺装备是一项非常重要的工作。通常，先制订试制工艺总方案，规定工艺原则，如产品工艺分离面的划分、互换协调方案，工艺装备选择系数等。并且在协调图表中表示了标准工艺装备和各类生产工艺装备之间的协调关系。

选择工艺装备的品种和数量，应根据满足产品的总产量、最高年产量的需要和保证产品质量，具体要考虑以下主要因素：

（1）产品结构的特点

产品的结构形式、工艺分离面的划分、连接形式和技术要求等是确定选择工艺装备品种和数量的重要因素。如采用整体框、肋，则零件工艺装备少。又如工艺分离面划分得少，则装配工艺装备品种和标准工艺装备也少。当技术要求高、对接接头形式复杂时，对工艺装备的技术要求也就较高且数量多。在对飞机结构进行工艺性审查时，也要同时考虑工艺方案、工艺装备选择的问题。

对于歼击机，其机体较小，外形准确度要求高，采用的标准样件种类和数量也就较多。相对而言，对于大型飞机的大部件则不采用安装标准样件，而其它标准工艺装备也用得少些。

（2）生产性质和产量

新机的研制、试制、小批生产、正常批量生产以至改型等等都有不同的周期要求和投资条件。

新机研制要尽快造出试验机，尽量少用标准工艺装备。试制并要转入不同产量的批生产时，工艺装备品种的数量就要恰当，既要能较快地研制出新机，又要为转入批量生产、增加工艺装备作出准备。当产量大时，工艺装备就要多一些。

(3) 互换协调的要求

对互换协调性要求高、协调关系复杂的工件，其标准工艺装备、检验工艺装备以及生产工艺装备都可能多些以保证协调要求。而对于互换性部件，如果没有结构的设计补偿，则常采用精加工设备以达到对接互换的要求。

(4) 工厂的技术条件和发展

工厂的技术水平高低，传统性特点，尤其是工艺装备协调的传统经验以及研究、发展的现实可能，都是应该考虑的主要因素。

2. 飞机工艺装备设计的基本原则

当飞机工艺装备选定后，由工艺人员拟定、发出工装设计任务书，提出对该工艺装备的技术要求，再由工艺装备设计人员进行设计、绘图。

设计中应遵守的基本原则是：

(1) 质量第一。在保证达到技术要求的前提下，力求降低物力、财力消耗。

(2) 设计、制造、使用相结合的原则

设计出一个好的工艺装备，除了要能满足工艺过程的要求，制出合格的产品外，还要考虑工艺装备的制造、协调、维修的方便。在有些具体问题上，设计、制造、使用要求可能相互间有矛盾，这时就需要分析情况，权衡利弊、恰当解决。

(3) 标准化的原则

标准化是现代工业生产中取得经济效益的一项科学管理、技术组织措施。飞机工艺装备标准化包括工艺装备结构和零件标准