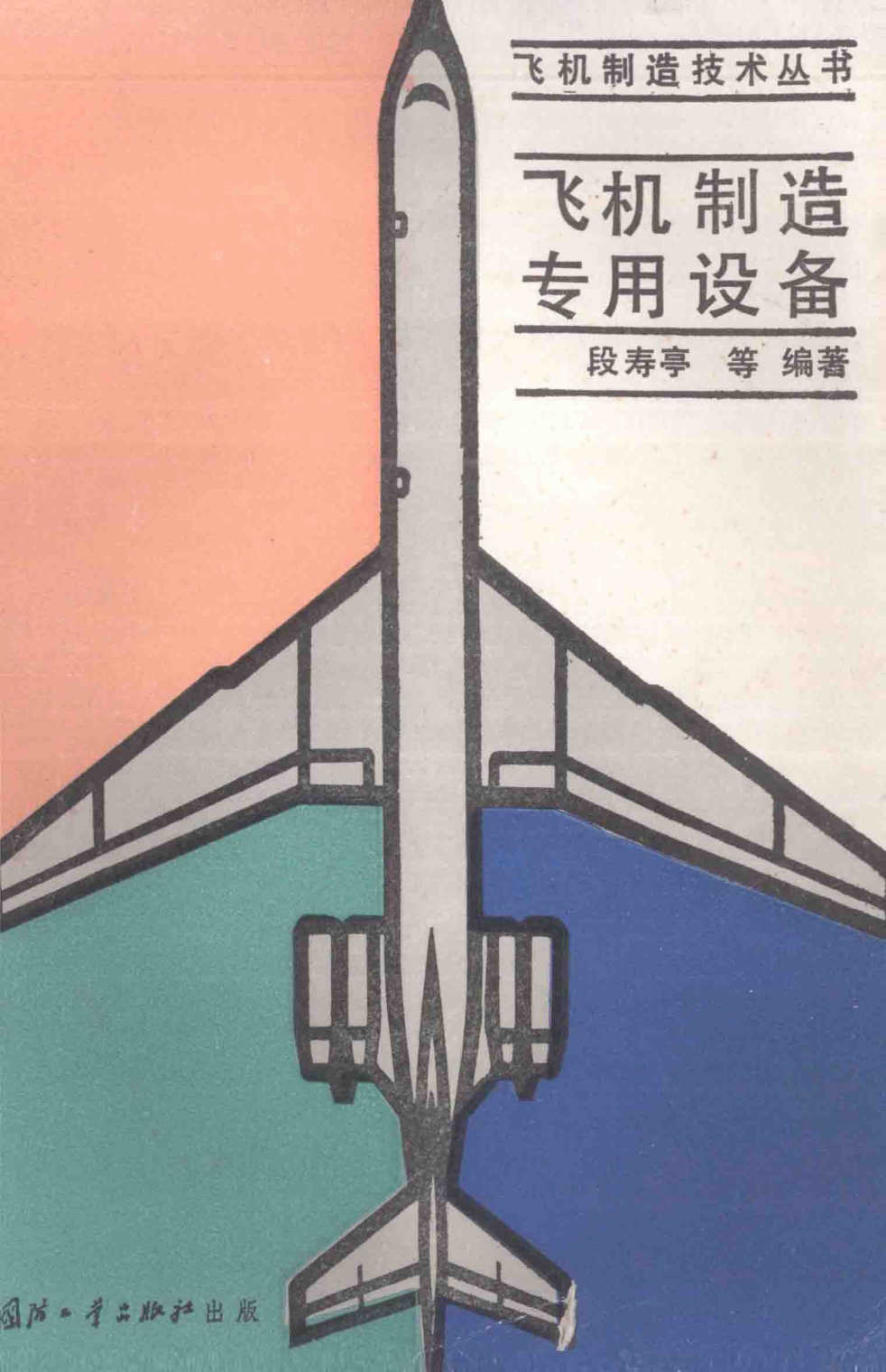


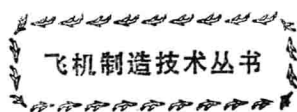
飞机制造技术丛书

# 飞机制造 专用设备

段寿亭 等 编著



国防工业出版社出版



飞机制造技术丛书

# 飞机制造专用设备

段寿亭 等编著

国防工业出版社

(京)新登字106号

## 内 容 简 介

本分册介绍了飞机制造中的专用设备。共分四章：第一章介绍了飞机专用设备的分类、设计和制造的原则、制造程序；第二章介绍了钣金设备；第三章介绍了机械加工设备；第四章介绍了热处理设备等。内容丰富，文字简练，图文并茂。

本分册可供航空航天部门的生产、科研、教学等单位的科技工作人员参考。

《飞机制造技术丛书》

飞机制造专用设备

段寿亭 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

北京昌平长城印刷厂印装

\*

850×1168毫米 32开本 印张6<sup>1</sup>/<sub>8</sub> 157千字

1993年6月第一版 1993年6月第一次印刷 印数：0001—1000册

---

ISBN 7-118-01071-5/V·89 定价：5.80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 屠德彰 陆颂善  
唐荣锡 郭兴中 戴世然 董德馨 孙肇卿  
武厚忠 黄道宏

**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》编委会是由中国航空学会组成的。编委们都是飞机制造技术专业的学者和专家，他们毕生致力于飞机的生产、科研、教学、管理工作，有丰富的实践经验。在此基础上，组织、指导、编写了这套《丛书》。

《丛书》的编写目的是：既要总结我国 30 多年来飞机制造的经验，又要有选择地吸取国外先进的飞机制造技术，为积累资料、总结经验、培育人才、发展新技术打下基础，探索出一套具有中国特色的飞机制造技术的基本经验。可以说，这是一项重要的基础工程建设，具有重大的现实意义。

《丛书》共有 15 个分册。本分册是《丛书》中的一个分册。

本分册由沈阳飞机制造公司段寿亭高级工程师担任主编；罗时大总工程师担任主审，由北京 625 研究所、北京第 4 设计院、沈阳航空工业学院、北京航空航天大学、北京 628 研究所参加编写。北京 303 研究所、西安飞机制造公司等单位提供了不少资料。参加编写的人有段寿亭、黄华煜、费汉安、平申、张振邦、赵树森、周桂、罗小玲、张樟贤、梁凤仙、郁宗佩、陆倩、朱光伟、苏秀玲。

本分册共分四章：第一章介绍了飞机专用设备的分类、设计制造原则和程序；第二章介绍了钣金设备；第三章介绍了机械加工设备；第四章介绍了热表处理设备。复合材料结构制造专用设备和飞机装配设备因和其他分册重复，故未列入。

由于编者水平有限，本分册难免有错误之处，请读者多多批评指正。

## 目 录

|                           |     |
|---------------------------|-----|
| 第一章 绪论 .....              | 1   |
| 一、飞机制造专用设备概况 .....        | 1   |
| 二、飞机制造专用设备的分类 .....       | 3   |
| 三、飞机制造专用设备设计制造的基本原则 ..... | 5   |
| 四、专用设备设计制造程序 .....        | 10  |
| 第二章 钣金设备 .....            | 14  |
| 一、我国飞机钣金设备发展概况 .....      | 14  |
| 二、蒙皮拉伸下凹成形设备 .....        | 15  |
| 三、立、卧式橡皮囊液压机 .....        | 25  |
| 四、钛合金热成形设备、SDF/DB设备 ..... | 42  |
| 五、弯管设备 .....              | 58  |
| 第三章 机械加工设备 .....          | 80  |
| 一、仿形设备 .....              | 80  |
| 二、龙门移动式铣床 .....           | 101 |
| 三、金属蜂窝夹层结构机械加工设备 .....    | 125 |
| 四、缓进给磨床 .....             | 146 |
| 第四章 热表处理设备 .....          | 159 |
| 一、热表处理设备在飞机制造中的地位 .....   | 159 |
| 二、热空气循环电炉 .....           | 161 |
| 三、阳极化装置 .....             | 173 |

# 第一章 绪 论

## 一、飞机制造专用设备概况

### 1. 飞机制造专用设备包含的内容

飞机制造专用设备亦称飞机制造专业设备，是指飞机制造过程中特定的设备，或为某种零件制造、完成某道工序、装配、测试所用的设备。这些设备能实现某种零件的制造方法、保证飞机制造质量、减轻劳动强度、提高劳动生产率。根据飞机零件特殊性的要求，例如：根据零件尺寸、外形、精度、粗糙度、材料工艺等特点对普通万能设备加以变型，减少过剩功能，提高或降低零部件精度，达到保证产品质量，提高效益的目的，称“变型设备”，也属于飞机制造专用设备范畴。

### 2. 飞机制造专用设备特点

- (1) 主要的能满足飞机制造业的工艺要求；
- (2) 飞机型号变更能继续使用；
- (3) 采用中间适用技术，如：仿形技术、经济数控、微机控制、数显装置、静动压技术、可控硅无级调速、恒速切削、刀具自动调整、故障诊断、滚动丝杠副、气浮导轨、滚滑动结合导轨、导轨粘接等可靠技术；
- (4) 操作简便，不需要很高技术水平的工人就能操作。易维修；
- (5) 投资少，经济效益好。

### 3. 飞机制造专用设备发展简要情况

众所周知，设备是为制造技术服务的，随着工艺技术发展而发展的。

在50年代飞机制造业中，专用设备主要指制造飞机钣金件的特定设备和专用的测试设备而言，其他种类的专用设备甚少。

其历史背景是由于钣金件形状杂、要求光滑流线制造难度大所致，并且钣金零件在整个飞机中所占比重也比较大，这也是主因。试验飞机液气系统及其附件用的试验台、装配用的试验器等也是普通测试设备所不能代替的。

科学技术的突飞猛进，促使飞机性能日新月异地进步；飞机结构发生了质的变化，对飞机制造技术提出越来越高的要求，并且涉及的范围也越来越广泛。

飞机制造技术发展到今天，50年代所指的状况发生了很大变化。现代飞机制造专用设备不仅仅是制造飞机钣金零件的专用设备、特定的测试设备和其他少数的专用设备了，而是普及到飞机制造全过程的各个专业和整个飞机制造领域。

首先，飞机制造劳动量增加很多。例如以50年代制造米格-15比斯飞机，每架飞机制造工时为100%，60年代制造J6飞机工时是165%，而今天J7、J8飞机制造工时是821%~1056%，有人估计，未来的新歼击机，每架制造工时30万小时左右，上述都是小飞机，而大飞机、巨型客机，每架制造工时还要多的多。国内外的实践经验证实：都是用高效率的专用设备提高劳动生产率的；今天，专用设备在飞机制造过程中，处处皆是，得到广泛应用和发展。

其次，飞机采用大量新结构。飞机设计要求强度高、刚度大，故其趋势由薄蒙皮向厚蒙皮、整体壁板、整体骨架等整体结构发展。以整体壁板、大型结构件为例：我国50年代制造的歼击机上是没有的；发展到J6飞机，其上有一项二块整体壁板、有40个大型结构件；而J3飞机上就有9项36块整体壁板、118项大型结构件。

国外的情况亦是如此，统计了美国27种飞机中，有20种飞机采用整体壁板，占74%；英国20种飞机中有8种飞机采用整体壁板占40%。由于飞机大量采用整体壁板、整体框架，故制造整体壁板的预拉形设备、化铣设备、壁板铣床、加工整体骨架的专用设备等相应发展起来。

蜂窝夹层结构轻而比强度大，国内外现代飞机都广泛用于飞机操纵面、襟翼、副翼、方向舵等，制造蜂窝夹层用的专用设备，如铝箔、非金属清洗、涂胶、干燥、外形加工、无损检测等专用设备应运而生。

再其次，飞机设计要求材料比强度越来越高，故飞机零件大量采用新材料。例如：钢的比强度是 12.9，铝的是 16.8，70 年代前的情况，整架飞机用铝占 80%，钢占 15%，钛合金的比强度是 20.91 碳素纤维复合材料是 96.2~105，今后钛合金代替钢，大量采用复合材料是发展趋势。由于新材料的性能与钢、铝材料在制造加工方面发生质的变化，为了突破新材料加工与应用关键，诸如钛合金加工设备、钛板超塑成形设备、复合材料切割、铺层等设备和相应的检测等设备也发展起来了。

最末，飞机制造业中，新技术的应用，如：数控、计算机技术、柔性制造技术、工装设计制造一体化、光弹技术测量应力形变、激光应用于装配检测、声发技术检查材料缺陷、胶接连接、机器人在飞机制造中的应用等，这都为专用设备的发展展现了更加广泛的前景。

## 二、飞机制造专用设备的分类

飞机制造专用设备一般可归纳为 7 大类。

### 1. 生产准备用设备

如圆弧铣床、带立式磨头的龙门刨床、型架装配机、模胎、样件仿形铣床等；

### 2. 飞机钣金设备

(1) 黑色钣金设备；

(2) 钛合金板材成形设备；

(3) 有色钣金设备。由于有色钣金件在飞机结构中的历史地位，有色钣金加工设备历史久远，发展快，种类多，数量也大，在飞机制造专用设备中占有很大比重。有色钣金设备又分：

- ① 下料设备：a. 直线下料设备；b. 曲线下料设备。
- ② 成形设备：a. 冲压成形设备；b. 轧压成形设备；  
c. 拉形设备；d. 落压成形设备；e. 旋压成形设备；  
f. 液压橡皮成形设备；g. 喷丸成形设备。
- ③ 型材制备设备。如压弯、滚弯、拉弯等设备。

### 3. 金属切削设备

- (1) 梁、框类零件加工设备；
- (2) 起落架零件加工设备；
- (3) 骨架类零件加工设备；
- (4) 型材零件加工设备；
- (5) 整体壁板加工设备；
- (6) 接头、叉形件加工设备等。

### 4. 非金属零件加工设备

- (1) 橡胶件制造设备；
- (2) 有机玻璃制造设备；
- (3) 塑料件制造设备；
- (4) 蜂窝夹层结构制造设备；
- (5) 复合材料制造设备等。

### 5. 热加工设备

- (1) 热处理设备；
- (2) 化学铣切设备；
- (3) 锻造设备；
- (4) 铸造设备；
- (5) 焊接设备等。

### 6. 装配设备

- (1) 机械连接设备；
- (2) 胶接设备；
- (3) 油箱、导管制造设备；
- (4) 部、总装设备等。

### 7. 测试设备

### 三、飞机制造专用设备设计制造的基本原则

#### 1. 专用设备总体设计要保证实现工艺方案。

由飞机制造专用设备包含的内容可知，它是为飞机制造工艺服务的，故首先应对工艺方法有透澈了解，并要研究工艺方案是否合理，有无错误，如能否保证产品质量、提高劳动生产率和获得经济效益等。要做到这一点，首先要对零件的装配进行分析研究，熟悉零件的用途、性能和工作条件，然后对零件图进行分析和工艺性审查，此时一般应检查图纸是否完整，即是否有足够的投影和剖面图，所有尺寸、公差、表面粗糙度、表面几何形状和相互位置的允差是否标注齐全；再应检查其准确性，即技术条件、要求及其它说明零件特性的资料、从工艺观点出发，分析其结构的工艺性是否合理。如果发现图纸完整性、准确性有错误应及时提出，并同飞机工艺、设计人员讨论，以便求得合理的解决。

在上述工艺方案正确合理的前提下，专用设备的总体设计必须保证工艺方案的实现。

#### 2. 专用设备设计、制造要充分考虑产品的批量生产。

批量是生产规模大小的标志，一般可分单件生产、成批生产和大批量生产；飞机制造业属于成批生产，而且属于中、小批量生产，这一特点在专用设备设计中要充分考虑，不能盲目追求专用设备的自动化程度而提高专用设备的制造成本，否则，就会使专用设备生产能力过多剩余，设备利用率太低，大部分时间闲置，形成浪费。

有些专用设备是为新机研制、或课题预研需要设计制造的。为此目的设计制造的专用设备，主要是能把产品研制出来、完成和验证预研课题，在这种情况下，专用设备的效率高低程度是次要的。

为新机研制、或课题预研设计制造的专用设备本身也是专用设备的试制和科研；对上述性质的专用设备设计时，可有针对性、适当的采用些新结构、新技术项目进行预研，为设计新的专

用设备进行技术储备。

### 3. 专用设备设计要和制造条件相结合。

在飞机制造企业中，一般都具有专用设备的制造能力，但由于各自的客观原因，它们的能力大小、设备配备情况、技术水平等是不尽相同的。设计专用设备时，要充分结合自己的制造条件，例如：若自己没有大吨位的铸造能力时，一些大结构件尽可能采用焊接件，若没有大规格的金属切削机床时，在设计时应考虑分成小件机械加工后再组合成大件如此等等。总之，要充分发挥自己的专用设备制造能力和优势，尽可能避免设计的专用设备自己不能制造大部分要外协加工。

### 4. 专用设备的设计制造要采用成熟技术。

零件必须进行完善的强度、刚度、稳定性、可靠性的设计计算，专用设备的构成应采用经过生产反复验证成功的部件机构。

零件的加工、部件的装配、整机的试验调整，都必须按专用设备的图纸和技术要求进行；制造专用设备工艺措施必须保证专用设备的制造质量。根据上述情况，没有十分把握的新技术一般是不能用于专用设备设计的。专用设备设计一般都采用中间适用技术，其含义：虽然是新技术，但在国内已经过科研、生产阶段的验证。另外，为专用设备打基础，除了结合新飞机研制或课题预研在设计制造的专用设备上适当采用新技术项目，达到技术储备目的外，也可参照国内外飞机制造业中专用设备技术发展趋势，参考通用设备发展趋势的有关部分，订出科研规划，有计划、有步骤地进行课题预研，只有这样，才能保持住专用设备的技术水平。

### 5. 大力推广专用设备的系列化、部件的通用化、零件的标准化是设计制造经济性的主要途径。

专用设备的“三化”是缩短设计制造周期、降低成本、保证质量的主要途径，是避免飞机制造业中各厂、所、院、校专用设备重复设计的重大措施，从而避免人力、物力、时间的浪费和科研课题的重复研究。

关于专用设备的系列化问题，本章提出将飞机制造业专用设备归纳 7 大类，这是为系列化打基础的一个尝试供研究讨论，从而希望能导致拟定出一个合理的、科学的飞机制造专用设备系列谱出来。

关于专用设备部件通用化问题，在系列化基础上进行，可以使同类型的设备的若干部件相互通用，如同组合机床通用部件那样。

专用设备的零件，一般有专用件、通用件、标准件和外购成品件等。专用件是专用设备所特有的零件，要尽量少用，但不可避免地一定要有一些专用件。

通用部件，特别是标准化的零件，要尽可能多的采用；对组合机床的通用部件，提倡在专用设备中大量采用，在这方面有产品样本可查阅，可以订到货。

应当指出，过去飞机制造业，对专用设备设计制造，借用通用设备的部件和零件是很少的，其原因是多方面的，如我国通用设备的制造厂家仅售整机，不售零部件，随着企业搞活和市场经济的发展，这一问题是不难解决的。

每个飞机制造厂都有上千台通用设备，为这些设备的正常运转、修理，自制或外购了大量的备件，存放在备件库里。在拟定专用设备的总体设计或进行部件设计时，要充分利用这些备件。

标准化了的零件，可以大批量生产，有成套的工艺装备和工艺文件可以保证质量、降低成本。以我们常用的标准紧固件为例：单件或小批量生产，材料利用率仅 30%，而大批量生产，可提高到 80~95%，而成本则是单件或小批量生产的  $1/8 \sim 1/4$ 。除此之外，零件标准化的效果，也表现在减少设计绘图的工作量方面。

6. 专用设备的设计制造也要满足其它方面要求，如：设备的易维修性、可靠性、易拆卸搬运、环保设施、保证操作者的安全、力求减少工人的体力、脑力消耗等。

特别值得指出的是：专用设备设计工作者一般说来，对上述

方面的要求是重视不够的，认为只要实现工艺方案、满足功能要求就万事大吉，这是片面的观点。上面所提到的要求，并不是特殊地额外要求，而是专用设备设计工作者职责范围内的事，如设备的易维修性、易拆卸搬运性等；工程设计的可靠性已形成一门科学，国内外有大量专著可参阅。

近年来，国家对设备的环境保护、节能提出了严格要求，设计专用设备时，要力求减少设备的振动、噪音。若不能避免时，也要有隔音、吸音、减振设施；有效地净化或排除产后的废液、废气、灰尘或切屑；对设备中危害工人安全部位加安全罩，传动机构设计成封闭式的，工人接触的外露部位不应有锋利的锐角或灼热，有害的介质采用各种可靠的安全保险装置和信号警报系统等；专用设备上用的成品要选用节能成品；液压、润滑系统用的液体要能返回到液压站和应有防漏设施，要力求避免能源的跑、冒、滴、漏；专用设备所需功率要认真核算，保险系数不宜过大；热加工设备要选用节能保温材料，最大限度地减少热能的扩散损失等。

联系到上面提到的保证操作者安全，减少操作者体力、脑力消耗的要求，附带谈谈专用设备设计艺术造型问题。

飞机制造业中，虽然积累了不少科学技术与艺术风格结合的造型美的专用设备，但为数较少，与通用设备相比是有差距的。

设备造型美也是一种设计艺术，是在满足设备功能的前提下，根据工业生产中的物质技术条件和艺术法则，设计实用、经济美观的专用设备外型。

专用设备的造型美是对设备功能的运用、对结构的精确表达、对材料合理使用、对工业化生产与现代科学技术的确切表现。

对专用设备造型设计一般应：

第一，要有总体的观点。专用设备有一定的体积，因而占有一定的空间，它是环境中的一个构成因素。要从总体出发，充分考虑专用设备的使用条件及所处的环境相协调，要树立“环境——人——设备”的整体观点，创造一个良好的舒适的环境，改善工

人的劳动条件，从而保证了产品质量，提高了效率。

第二，要满足物质功能和精神功能两方面要求。设备功能包括两个方面：物质功能即专用设备的技术性能和使用要求；精神功能即专用设备的外形美观、大方、看上去美感化的要求。例如：在使用要求方面，人们在操作设备时，一般处于直立状态，因此操作控制的装置、指示仪表等应在人直立的视野以内；按钮、操作手柄、手轮等要适当减少，并应尽量使操作者不必来回走动和弯腰的状态下进行操作；常用的和精确控制尺寸等的操纵件的布置，应适应于右手操作；各部件的布置高度应符合人体部位的高度等，总之，在专用设备总体设计时，要以设备功能为依据进行外观造型，要注意把人机工程学所研究的问题与专用设备设计有机地结合起来，设计结构要讲究宜人学，从而发挥“人——机”系统的效率。

第三，要体现现代物质技术条件。

材料、结构、工艺等物质技术条件是专用设备造型设计的物质基础。造型美主要是通过形体美、材料美、结构美、工艺美等因素来表达的，但也严格地受到物质条件的约束，专用设备造型设计不可脱离现有技术水平，要善于通过用各种物质手段满足现代制造工艺要求，准确地表达现代化工业生产的特征，专用设备造型体现新的艺术感，用简洁明快的构图，给人以新颖的艺术感觉。

专用设备，通常是由几个不同功能的部件组成，它们既有内在联系又有区别。就其各部件的内在联系，是实现整体设备总功能的要求，外观造型设计要表现艺术的统一性，否则显得杂乱，在服从外观造型的统一性前提下，也要有所变化和多样性，否则呆板单调。要注意各部件的格局和整机的格局一致，要适当美化零部件的外形和表面，使形体、面、线在服从整体格局的前提下有所变化。

#### 四、专用设备设计制造程序

飞机制造专用设备设计制造程序一般分两种情况：

常规的专用设备，一般由飞机制造企业的使用车间根据飞机图纸、技术文件和拟定的工艺方案，按专用设备设计制造部门制订的技术条件格式规定的内容，提出专用设备设计制造技术条件，送交专用设备设计制造部门。专用设备的主管设计师会同使用车间、工艺部门的主管人员，就专用设备设计制造技术条件实现的可能性逐条进行认真探讨，共同确认后填写专用设备设计制造技术条件协议书，作为未来专用设备验收的首要文件，双方有关负责人共同履行会签手续，并对文件完全负责。专用设备设计部门根据协议书中的技术条件内容，着手设计工作，大体可分三个阶段：

1. 设计方案的制定阶段。设计人员进行技术调研及设计方案的论证，在此期间使用部门有责任根据部门的要求，派出有经验的技术人员、使用工人和维修人员参加。

2. 工作图的设计阶段。方案论证后，设计部门根据已确定的方案进行工作图的设计、校对、审查和描图。

3. 底图的会签阶段。描后的底图，设计部门有关人员和部门的技术领导在总图上会签，必要时需经总工程师批准。

设计部门对图纸的正确性和制造成的专用设备能否满足协议书的技术要求负责。使用部门要审查设计图纸是否满足协议书的技术要求，并对将要制造成的专用设备能否满足生产使用要求负责。

专用设备制造车间根据设计部门发的图纸做好生产准备和组织生产。生产准备的主要内容：首先，制造车间的工艺部门消化图纸，按图纸编写制造零件工序卡片、装配、试车的工艺性文件，准备工艺装备。

其次，制造车间的计划调度部门，按工艺部门的工艺文件和图纸，提出锻铸件、外协件、成品件的申请单，编制材料、工时定额和安排作业计划。

大型复杂的专用设备，其设计制造程序较复杂，设计制造周期也长，因为涉及到航空航天部有关厂、所、院、校以及机械电子工业部有关研究单位和制造厂家，有的需要这些单位协作，有的全部由他们承担。从专用设备需用单位同科研设计制造单位签定专用设备设计制造协议书开始，一般分两个大阶段即设计阶段和制造阶段。

设计过程大体可分三个阶段：方案设计、技术设计和工作图设计，简称“三阶段设计法”。

方案设计的主要任务是正确进行选型，确定专用设备的基本结构和基本参数，这是设计的基础。专用设备方案设计应包括如下内容：专用设备用途、使用范围、总体方案设计和外观造型设计；专用设备的参数及技术数据计算；外观图、传动系统图、原理结构图等。若采用新技术、新机构和关键技术，应提出预研课题和解决办法。设计方案完成后，要进行初步的技术经济评价，由设计、制造和使用部门三方进行评审。

技术设计是在方案设计完成后进行。技术设计的主要任务是确定专用设备的具体结构和型式，以确保结构的工艺性和经济性，是把方案设计中已定的基本结构和主要参数具体化，进一步确定专用设备的技术经济指标。技术设计的具体内容包括：绘制总图、部件装配图、主要零件图、传动系统、冷却系统图，提供详细的设计说明书，包括各种计算数据和技术经济指标；制定专用设备技术规格、制造、验收技术条件等。技术设计是专用设备的基本定型阶段。

工作图设计或称施工图设计。此阶段的主要任务是绘制专用设备试制、生产所需要的全套图纸，提供有关制造工艺所需要的全部技术文件，为专用设备制造、装配、使用提供正确的依据，它是技术设计的具体化。工作图设计的具体内容包括：总图、部件图、零件图、安装图、材料明细表、通用件、专用件、标准件、成品件明细表、使用说明书等。工作图设计阶段，设计人员要与制造部门的工艺人员一起研究工艺措施，工作图是制造的依据。