飞机制造技术丛书

飞机构造工艺性

FEIJI ZHIZAO JISHU CONGSHU

程宝蕖 赵谦仁 等编著

航空工业出版社出版

飞机制造技术丛书

飞机构造工艺性

国防工业出版社

内容简介

本书以丰富的实例系统地阐明保证飞机构造工艺性的重要意义、基本概念和原理；总结了飞机设计和制造中为改善飞机构造工艺性而积累的经验。着重介绍飞机设计各阶段的工艺性问题、飞机装配与安装的工艺性问题、飞机钣金零件和机械加工零件的结构工艺性问题以及解决这些问题的有效方法。

本书可供从事飞机、导弹的设计和制造的技术人员参考，也可作为大专院校有关专业的教学参考书。

飞机制造技术丛书

飞机构造工艺性

程宝蕖　赵谦仁　等编著

*

国防工业出版社出版、发行

（北京市车公庄西路老虎庙七号）

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168 1/32　印张$5^1/_2$　141千字

1990年4月第一版　1990年4月第一次印刷　印数：001—6500册

ISBN 7-118-00445-6/V37　　定价：3.50元

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

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　程宝蕖　杨彭基
屠德彰　陆颂善　唐荣锡
郭兴中　戴世然　黄道宏　董德馨
孙肇卿　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飞机制造技术专业的学者和专家。他们毕生致力于飞机制造的生产、科研、教学、管理工作，具有丰富的实践经验，在此基础上组织、编写了这套《丛书》。《丛书》的编写目的是：既要总结我国三十多年的飞机制造技术的经验，又要有选择地吸取外国先进的飞机制造技术，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，具有重大的现实意义。

《丛书》共有 17 个分册。《飞机构造工艺性》是其中一个分册。

保证良好的飞机构造工艺性，对于提高飞机设计、制造技术水平、节约劳动量和缩短飞机制造周期都具有重大的意义。但我国制造的飞机，其构造工艺性与国外先进飞机比较，存在相当大的差距。我国航空工业建设的初期属于仿制阶段，对飞机构造工艺性研究甚少；在逐渐转入自行设计的过程中，工艺性的重要性就很突出。沈阳飞机制造公司于 1974 年组织了调研组，对国内、外制造的多种飞机做了一系列构造工艺性的调查研究，积累了丰富的资料。1981 年 10 月，中国航空学会工艺专业委员会的飞机工艺专业组在江西庐山召开了一次以“飞机构造工艺性”为专题的学术交流会，与会代表一致认为必须大力开展改善飞机构造工艺性的研究，并建议航空工业部组织、落实编写我国《飞机构造工艺性指南》一书的任务。

由于《飞机构造工艺性》分册的作用主要是阐明飞机构造工艺性的基本概念和原理，分析论证改善构造工艺性的方法，引导从事飞机设计工作与制造工艺工作的技术人员正确使用《飞机构造工艺性指南》和其它有关手册，所以分册的内容突出重点，编成

五章。

本分册由程宝蕖教授、赵谦仁担任主编。参加编写的还有崔赞斌、宋明海、郭明、易修培、沈慧中。本分册由罗时大高级工程师主审，并通过编委会评审。许多同志为本书的编写提供了热情的帮助，我们衷心地表示感谢。

为改正书中存在的缺点和错误，请读者批评指正。

编　者

目　录

第一章　飞机构造工艺性的一般概念 ……1
一、飞机构造工艺性的意义 ……1
二、对飞机构造的一般工艺性要求 ……3
三、对构造工艺性的评价方法 ……3
四、飞机设计各阶段中解决的工艺性问题 ……8
五、飞机构造工艺性和飞机社会效益的关系 ……21
第二章　飞机构造的装配、安装工艺性 ……23
一、部件结构的对接工艺性 ……23
二、飞机系统设备的安装、使用工艺性 ……46
三、结构补偿件和补偿设计的合理应用 ……53
第三章　飞机钣金零件的结构工艺性 ……70
一、飞机钣金零件按其结构-工艺特点分类 ……71
二、钣金零件的成形性能 ……71
三、蒙皮零件的结构工艺性 ……73
四、型材零件的结构工艺性 ……84
五、框、肋零件的结构工艺性 ……89
六、复杂异形零件的结构工艺性 ……99
七、平板工件及冲压加工件的结构工艺性 ……106
第四章　机械加工零件的结构工艺性 ……116
一、飞机机械加工零件按其结构-工艺特点分类 ……116
二、合理选用毛坯材料 ……118
三、对机械加工零件结构工艺性的一般要求 ……121
四、对机械加工零件表面设计的工艺要求 ……124
五、典型机械加工零件的结构工艺性 ……141
第五章　复合材料构件的结构工艺性 ……157
一、复合材料的结构工艺性 ……157
二、复合材料在飞机和直升机结构中的应用 ……162
三、复合材料构件制造的技术关键 ……164
四、改善复合材料构件结构工艺性的方向 ……168

第一章　飞机构造工艺性的一般概念

一、飞机构造工艺性的意义

飞机构造是飞机机体结构及飞机中各系统和装置的总称。

设计、制造的飞机，有研制型和验证型的原准机，也有生产型的飞机。前者采用非互换性的单件生产法，后者采用有一定互换性要求的批量生产法。对它们评价构造工艺性的角度是不同的。

批量生产中有小批量生产和大批量生产，前者宜采用较少的专用工艺装备，允许较多的手工操作；后者应提高机械化、自动化水平，需要采用较多的专用工艺装备和生产率高的工艺方法。例如，当产量较大时，在飞机结构中采用模锻件、精锻件、特种轧制件和精密铸件等，其结构工艺性好。而在产量较小时，这些零件用自由锻件或标准轧制件，并以机械加工方法进行制造，以及工艺分离面少取一些，就比较有利。F-14 型战斗机批量生产时，其 75%的机械加工件由精锻件、精铸件代替。为了考虑到实际产量的变化对工艺性的要求，在新机研制时不仅要提出飞机的战术性能要求，还应规划出以后的产量。因此，研究工艺性应该考虑制品的生产类型和产量，以及预定生产该制品的工厂的具体生产条件。

在飞机研制中，有时为了很快地投入生产，可采用一些简易的工艺方法，如某机为此采用了较多的钳焊件；而在批量生产时，为了保证零件质量的稳定性和避免钳焊工作量超负荷，便将一些黑色钣金钳焊件改为机械加工件。

评价飞机构造工艺性还应按承制厂的生产条件进行。工厂的物质基础、技术力量和机械化、自动化水平都是重要条件。例如

机械加工的套合件，按传统的模线样板或标准样件协调法进行制造，所用专用工艺装备多、生产准备周期长，协调准确度低，其结构工艺性显然是不好的。但是在采用了数控加工技术后，只要按数据加工就能保证良好的配合，这类套合件的结构工艺性是好的。

飞机构造工艺性受飞机性能要求和定货方具体要求的影响，往往使工厂原有的基础和通常的工艺方法不能适应新机的研制。这时，新机的构造工艺性对原有生产条件和传统的生产技术而言是不好的。若工厂经过技术改造，引进和发展新技术，又可使新机的构造工艺性在新的条件下是好的。

评价飞机构造工艺性不仅要考虑其上述的相对性，还应以全局观点考虑其综合性。从飞机生产的全过程看，不应只强调某一生产阶段对构造工艺性的要求，而必须从飞机制造的全过程作通盘考虑。要综合考虑材料及标准件的选用、毛坯制造、零件加工以及各装配阶段和安装工作方面的要求。这些要求也很可能互相矛盾。例如，机身隔框的缘条切面形状，从零件制造角度看，Π形的较好，但从部件装配角度看，则选Z形的为好。对此就需分清矛盾的主次，首先解决主要矛盾，使生产的全过程合理。

保证制品构造工艺性的工作，设计部门应在承制工厂和航空工艺研究所参与下，由设计和工艺文件的拟订者承担。在飞机设计过程中，深入研究并及时解决其构造工艺性问题，常常可以获得显著的技术-经济效果。

复合材料在飞机结构中的应用是现代飞机结构的发展趋势之一，它有减轻结构重量的作用。它可根据结构强度、寿命、抗振和气动弹性的要求进行优化设计，还可按耐温、透波（减少对雷达波的反射）等特殊性能的需要进行设计。如果说在保证金属结构的工艺性工作中，材料、设计和工艺三方面的工作具有相当大的独立性的话，那么，在保证复合材料结构的工艺性工作中，材料、设计和工艺三方面的工作就是紧密结合的。两种或两种以上不同性质的原材料的复合过程，常常是结构的制造过程，它们的组成和复合方式（如纤维增强复合材料结构中各铺叠层的纤维方

向等）都是根据设计需要严格规定的。

二、对飞机构造的一般工艺性要求

对飞机构造的一般工艺性要求，是用来控制那些经常影响飞机构造工艺性的构造因素。

从飞机构造的总体来看，一般工艺性要求主要有：

1）各部件表面形状简单；

2）构造上可进行合理的分解。

从减少设计、制造和生产管理中的重复劳动的观点来看，一般工艺性要求主要有：

3）在构造中尽可能广泛地采用标准构件和零件；

4）合理地减少功能相同的零、组件的品种；

5）构造的继承性尽可能大。

从零件制造的角度来看，一般要求：

6）在构造中最大程度地采用工艺性（可焊性、可切削性、冲压性等）好的材料；

7）限制所用材料的牌号及其规格的数量；

8）对构造元件的尺寸准确度和表面加工粗糙度要求较低。

从装配的角度来看，一般要求：

9）部件的对接形式和结合交点的结构应容易保证协调互换；

10）适当地采用补偿件；

11）开敞性好，有良好的工艺通路等。

三、对构造工艺性的评价方法

对构造工艺性的评价方法有定性评价法和定量评价法。定性评价法主要凭经验按“好”、“可”和“不好”三级在各个设计阶段对构造工艺性进行评价。这时只是选择比较好的构造方案，最少也是可以认可的构造方案，而不要求确定各方案之间的差异程度。定量评价法可用一系列技术-经济指标来对构造工艺性进行评价。

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com

1．主要的工艺性指标

表示构造工艺性水平的主要指标为劳动量指标 K_l 和成本指标 K_c。

（1）劳动量指标

设制品的制造劳动量为 T_m（小时），其基准劳动量定额为 T_n（小时），以 T_n 作为该种制品的定额标准，则劳动量指标 K_l 为

$$K_l=\frac{T_m}{T_n}$$

（2）成本指标

设制品的成本为 C_m，其基准成本定额标准为 C_n，则成本指标 K_c 为

$$K_c=\frac{C_m}{C_n}$$

如果 K_l 和 K_c 都小于1，则构造工艺性是好的。T_m、C_m、K_l 和 K_c 是制品构造工艺性的主要指标。可惜在产品的早期设计阶段要准确决定这些指标是困难的，甚至是不可能的。因此，除了主要指标之外还可利用某些辅助的工艺性指标，这些指标在新的构造中反映了遵守各项一般工艺性要求的程度。

2．辅助的工艺性指标

（1）构造继承性系数 K_z

构造继承性系数是指产品设计中在不影响其使用性能的设计指标的前提下，使用已设计成功的老产品零件的程度。

$$K_z=\frac{N_z}{N}$$

式中　N_z——沿用已设计成功的老产品零件的数量；

　　N——该产品的零件总数。

沿用老产品的零件能减少设计它们和掌握其工艺过程的劳动费用，以及节省制造和调整其工艺装备的费用。

（2）零件重复性系数 K_d

这个系数反映制品结构中相同零件的比重，即

$$K_d = \sum_{i=1}^{p} N_{di}/N$$

式中 N_{di}——该产品中第 i 种零件的相同零件数；

p——具有相同零件的零件种类数；

N——该产品的零件总数。

零件的重复性可以在不改变制品产量的条件下，增加该种零件的产量。

（3）制品标准化系数 K_B

$$K_B = \frac{N_B + n_B}{N + n}$$

式中 N_B 和 n_B——分别为制品中标准装配单元和标准零件数；

N 和 n——分别为制品中装配单元和零件总数。

以上辅助指标还可按技术经济效益进一步详细计算，即给继承件、重复件、标准化件按其制造劳动量或结构重量等因素加权（乘以一定的系数）后进行计算。

（4）材料利用系数 K_j

$$K_j = G_j/G$$

式中 G_j——制品的净重（kg）；

G——该制品中零件毛坯重量的总和。

材料利用系数对产品成本的高低有很大的影响。

（5）结构的整体化系数 K_w

$$K_w = \sum_{i=1}^{a} W_i/W$$

式中 W_i——结构中第 i 个整体件的重量（kg）；

W——结构的总重（kg）；

a——结构中整体件的数量。

结构的整体化系数也可按制造劳动量或按零件数来计算。整体化系数对产品的制造和协调过程影响较大。现代飞机结构的整体化系数有增长的趋势。

（6）铆接结构的壁板化系数K_p

$$K_p=\sum_{i=1}^{a} S_{pi}/S$$

式中 S_{pi}——制品中第 i 块壁板的表面面积；

a——制品结构划分出的壁板数量；

S——该制品表面面积的总和。

（7）压铆系数 K_y

$$K_y=N_{Ry}/N_R$$

式中 N_{Ry}——制品中能压铆的铆钉总数；

N_R——制品中铆钉的总数。

类似的辅助性指标还有一些，这里不再一一赘述。

3．生产工艺性指标的应用

在分析不同构造方案的生产工艺性时，有两种应用工艺性指标的方法：

（1）一主余从法

用一个在给定条件下是最重要的工艺性指标作为最佳化的标准，将其余指标作为约束，当其余指标不超过允许限度时，宁可选用主要指标有最佳值的方案。

（2）总体最优法

用一系列辅助指标 K_1、K_2、…、K_n 的综合指标 K_Σ 来评价制品的构造工艺性。各辅助指标的重要性用加权的方法在综合指标中加以反映。

$$K_\Sigma=\sum_{i=1}^{n} \alpha_i K_i$$

式中 α_i——第 i 个辅助指标的重要性影响系数，

$$\sum_{i=1}^{n} \alpha_i=1.0$$

重要性影响系数的大小，可根据经验决定，或者根据统计数据确定，此时应考虑每个指标的变化对一个主要指标（如制品成

本）的影响。

4. 使用工艺性指标

设计飞机构造时不仅要求其生产工艺性好，而且要求其使用工艺性也好。因为用于保持飞机正常飞行的维护费用达到生产费用的 250～350%。飞机构造越复杂，寿命越长，维修费用越高。

使用工艺性的基本指标主要有：

（1）定期检查维护的相对劳动量系数 K_s

$$K_s=\frac{T_s}{T_m}$$

式中 T_s——在规定的使用期内定期检查维护的劳动量；

T_m——制品的制造劳动量。

（2）制品修理的相对劳动量系数 K_R

$$K_R=\frac{T_R}{T_m}$$

式中 T_R——在规定的使用期内制品的计划修理劳动量。

（3）制品的相对维修费用系数 K_M

$$K_M=\frac{C_M}{C_D}$$

式中 C_D——制品的直接成本；

C_M——制品的维修费用。

根据 1979 年的统计数据，波音-707 型飞机的 K_M 系数为 13.7%，三叉戟飞机的为 28%，伊尔-18 型飞机的为 25%，安-24 型飞机的为 27%。

此外，还有许多辅助指标，如：

（4）平均每飞行小时的维修工时 t_M

例如：F4E 型机的 t_M 为 27 小时。F-5A 型机的为 16 小时，F-16 型机的降到 12 小时，而米格-19 型的高达 80 小时。

（5）平均每飞行小时的维修费用 C_m

（6）飞机的开敞率 K_O

$$K_O=\frac{\Sigma S_i}{S_\Sigma}$$

式中 S_i——飞机表面上的第 i 块窗盖或口盖的面积；

S_Σ——飞机表面总面积。

国外使用工艺性好的飞机，其 K_o 一般在 30～40%之间，个别飞机如“F-16”高达 60%，而“米格-19”等则低于 20%。

（7）每架飞机的维修人数；

（8）更换发动机的时间；

（9）飞机再次出动所需的准备时间；

（10）良好飞机的持续停放时限等。

提高各辅助生产工艺性指标的系数值，可以缩短生产准备周期和产品制造周期，减少制造劳动量和降低生产成本，并且可以提高产品的质量。降低使用工艺性指标的系数值和某些绝对值，主要靠制品构造的可修性、易修性和可靠性来达到。

在上述各项生产工艺性指标中，提高其系数值的目的大部分在于简化装配、安装工作，小部分在于简化零件制造工作。因为，在飞机制造的总工时内装配、安装工作约占 45～55%（一般机器制造中，仅占 20%左右），机械加工约占 20～30%，冲压成形工作约占 12～18%。所以降低装配、安装工作的劳动量能获得良好的经济效益。

四、飞机设计各阶段中解决的工艺性问题

飞机设计、制造的实践证明：飞机构造工艺性问题应在飞机设计一开始就要注意，而不是在设计工作的后期，更不能在设计发图之后才去做工艺性审查工作，才去研究工艺方案。在设计发出生产图纸后，结构安排都已进行完毕，已不允许作较大的实质性的更改，只能局部更改，对解决其工艺性问题收效不大。若在开始设计时就注意到工艺性要求，合理安排结构，就有很大的效果。

飞机研制的全过程包括：飞机战术技术要求和技术经济可行性论证阶段、总体研制方案论证阶段、技术设计和样机审查阶段、飞机研制和设计定型阶段，以及试用和生产定型阶段。飞机

设计工作贯穿于飞机研制的各个阶段，而主要集中在中间的三个阶段中。因此，可按惯例把设计工作划分为总体设计（或称初步设计或草图设计）、打样图设计（或称详细初步设计或技术设计）和工作图设计（或称详细设计）三个阶段，并分别研究其中的构造工艺性问题。

如果以飞机整个设计过程中改善构造工艺性的全部措施所获得的总效果（劳动量的减少，生产周期的缩短，产品成本的降低等）为100%，根据苏联实验设计局的工作经验，各个设计阶段对改善构造工艺性的作用分别为：总体设计阶段可达35%，打样图设计阶段可达40%，试验机工作图设计阶段约为20%，成批生产图纸设计阶段约为5%。美国格鲁门飞机公司也对构造工艺性问题进行了类似的分析，认为构造工艺性对产品成本的影响与设计过程的阶段有关，如图1-1的曲线所示。

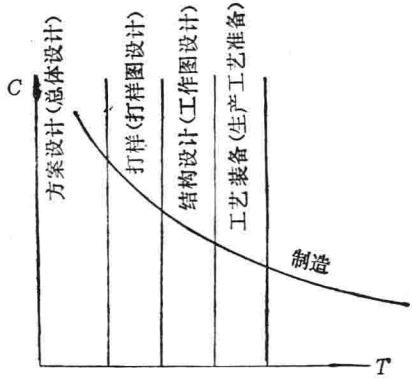

图1-1　构造工艺性对产品成本的影响
T—时间；C—构造工艺性对产品成本的影响。

上面所述表明：在飞机设计的各个阶段中都存在许多飞机构造工艺性问题。但在各个阶段中要研究和解决的工艺性问题是不一样的，工艺性工作的作用大小也是不同的。

1．飞机总体设计阶段中解决的工艺性问题

飞机总体设计阶段包括飞机性能技术要求和技术经济可行性论证阶段、飞机总体研制方案论证阶段。在这个阶段中设计部门要进行总体设计，绘制总体图纸（包括飞机三面图、内部装置布置图）和重要部件的理论图（外形及结构的主要轴线），编制总体技术条件，确定新产品、新材料和新技术项目。这个阶段虽然

不发正式图纸，但它对全机重大的工艺性问题起决定性的影响。在这个阶段中，对飞机的构造工艺性应着重考虑以下几个方面的问题。

（1）飞机各部件的理论外形设计

在设计飞机各部件的理论外形时，常常不重视构造工艺性。

飞机各部件中与其理论外形有关的零、组件很多。部件外形决定这些零、组件的形状、尺寸和弯边角度。生产过程中常出现不协调的地方，往往是外形复杂而且变化比较大的部位。如飞机的机头罩、机尾罩、整流罩等的零、组件，它们经常要用立体协调依据。用常规的加工方法加工这些立体工艺装备也较困难。在外形规则的部位，协调容易，只需用样板作制造依据，加工也方便。如机身的外形若为旋转体，则其隔框的弯边斜角为一个定值。在机身外形设计时，应尽可能采用简单外形（如圆柱表面、圆锥表面和旋转表面）的组合来代替复杂的双曲面（图1-2）。

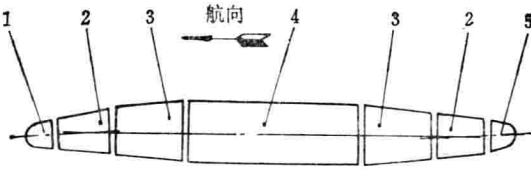

图1-2　机身分解成外形简单的段件

1、5—旋转表面；2—圆锥表面；3—双曲面；4—圆柱表面。

段、部件外形简单时，其工艺装备的制造就简单。某型机前机身的理论外形为旋转体；在研制时，机身侧壁蒙皮零件模胎左右可通用，左、右侧壁蒙皮零件均按它成形。左、右侧壁的装配夹具也可以通用，节省了工艺装备和生产面积。

对于机翼外形，希望尽可能用单曲面，工艺装备制造简单，外形协调容易。如某机的水平尾面外形，原设计的翼剖面外形复杂，给工艺上造成很大的困难。经工艺性审查后，改成大圆头对

此为试读，需要完整PDF请访问：www.ertongbook.com