



[苏] 依·特·别里亚科夫 尤·德·巴里索夫 著

# 飞行器设计的工艺问题

国防工业出版社

V22  
1007

+ V421

# 飞行器设计的工艺问题

[苏] 依·特·别里亚科夫 著  
尤·德·巴里索夫

苗学敏 译

徐振渠 校



30267197

国防工业出版社

454584

## 内 容 简 介

作者为了把飞行器设计的工艺问题解决在设计阶段，根据他多年来研究的成果编写了本书，书中给出的结论的形式便于采用电子计算机辅助设计。

书中表明，在飞行器设计的开始阶段实际解决综合性工艺问题，在原理上是可能的。

本书末尾，给出了具体例子，以评价所运用的各种解决办法的效果。

本书适用于与研究飞行器的计算机辅助设计有关的设计和制造单位的科学工作者和工程技术人员。

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ

И. Т. Беляков, Ю. Д. Борисов

Машиностроение 1978

\*

### 飞行器设计的工艺问题

[苏] 依·特·别里亚科夫 著  
尤·德·巴里索夫

苗学敏 译

徐振渠 校

\*

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

\*

850×1168 1/32 印张·8<sup>1</sup>/<sub>8</sub> 205 千字

1982年7月第一版 1982年7月第一次印刷 印数：0,001—1,200册

统一书号：15034·2348 定价：1.05元



## 序 言

依·特·别里亚科夫教授和尤·德·巴里索夫副教授的《飞行器设计的工艺问题》一书，是为了解决设计飞行器壳体时选择有效结构-工艺方案的有关问题而写的，它评价了各种结构的工艺性，提供了在飞行器具体型号的草图设计阶段借助电子计算机设计工艺过程的指导。本书是作者在他们自己的研究工作和在他们直接指导下进行的研究工作的基础上，对国内外大量科研成果进行分析和综合而写成的。

现代科学和技术的发展，把如何提高产品设计，其中包括航空和火箭产品的有效性和质量的研究工作推到了技术进步的前沿。众所周知，飞行器以及任何其它产品的质量和有效性，在很大程度上取决于产品各部分在早期设计阶段所采用的结构-工艺方案的正确性。根据在实践中提出的并经过实践检验的有效结构-工艺方案的选择方法，并借助于计算技术，有可能在飞行器的草图设计阶段就评价这些方案中任一方案的有效性。本书作者指出，在飞行器的电子计算机辅助设计的总系统中，建立所谓《工艺》分程序的根本可能性。这种分程序实际上能够解决工艺性能的全部问题（从在草图设计阶段有效结构-工艺方案的选择，到在施工设计阶段飞行器壳体部件制造工艺规程的编制）。

作者欲在飞行器生产工艺的某些领域，如同一门学科那样建立理论基础的试图取得了成功。由于有了所提供的方法，一些工艺问题在飞行器的早期研制阶段即可获得解决，而不是象在实际工作中经常遇到的那样，一直到最后阶段才得到解决。

迄今，多数有关工艺问题的著名专题论文，基本上都是阐述具体工艺方法的理论问题（例如：金属压力加工理论、焊接及钎

焊工艺等等)。而这篇专题论文,首次对全套工艺问题的解决奠定了理论基础。这样,就建立了一种理论,据此,在设计具体产品时可以衡量综合采用具有不同物理特性的工艺方法的结果。

我认为,依·特·别里亚科夫和尤·德·巴里索夫这本书对于飞行器研制专家们,特别是对负责编制飞行器计算机辅助设计系统的专家们是有益的。

苏联科学院院士沃·姆·格鲁什科夫

## 作者序

这篇论文基本上是根据作者在设计飞行器壳体部件时（草图设计阶段）选择有效结构-工艺方案方面，以及用电子计算机设计这些部件的制造工艺规程方面进行多年研究所积累的材料编写而成的。

飞行器部件制造工艺问题的研究，考虑了其国民经济效果。

在第1章中写了飞行器总体设计的各基本阶段，其中包括计算机辅助设计系统。指出了在研制飞行器时用电子计算机解决所有工艺问题的根本可能性。

在第2与第3章中，从有效性的一般准则出发，在设计飞机和液体火箭的壳体部件时，根据该级飞行器的具体设计条件来确定供选择这种或那种结构-工艺方案用的计算公式（算法）。建立了核算该飞行器的生产与使用费用的关系式，这些关系式是表征制造和使用该飞行器各部件的工艺过程参数的函数。

在第4章中，阐述了根据已阐明的准则来选择飞行器壳体部件有效结构-工艺方案的具体示例。指出了确定这种或那种制造飞行器壳体部件工艺方法的有效使用范围的可能性，并指出了揭示这些工艺方法的发展前景的可能性。

在写稿及定稿工作中作者得到了同事们很大的帮助，作者在此对阿·沃·列文科夫和沃·波·巴那先科夫助教所给予的帮助表示感谢。

## 译校者的话

《飞行器设计的工艺问题》是本较新的书。它反映了苏联近年来航空工艺研究的新水平、新情况，具有现实的参考价值。故译成中文，供有关方面的有关人员参考。

这本书也有不足之处：

1. 原著的文字叙述不够简练，书中有的公式和数学模型是以结论的形式直接引用的，未作详细推导，会给初学者带来一定困难。

2. 在译校过程中发现原著在排版印刷上的错误较多，译校时已尽可能地作了校正。

专业术语带有约定俗成的性质。用不同的术语表达同一个内容的现象在任何一种语言中都是屡见不鲜的，本书中也有这种情况。在译校过程中对于专业术语的处理，我们尽量采用习惯用法。但对其中少量的专用术语，也作了特殊处理。如《сухие》 отсеки 一词，从原文看实际上指的是“结构舱段”，但我们没有使用“结构舱段”这个术语，而是译成《净》舱段并加了译者注。这样处理可能还会反过来加深对“结构舱段”的理解。又如《наседающая》 нагрузка 一词，考虑到原文已把含意讲清楚了，我们就直接译成《重压》载荷了。余不赘及，请读者注意。

在译校中，尽管我们作了很大努力，但由于水平所限，错误和不当之处在所难免，敬请读者批评指正。

本书译校稿请赵世愚同志作了审阅，特此致谢。

译校者

## 目 录

绪论	1
第 1 章 设计飞行器时解决工艺问题的基本原则	
1.1 飞行器设计的基本阶段及其有效性的判别准则	4
1.2 结构-工艺方案的有效性	27
1.3 确定结构-工艺方案有效性的基本结构参数	40
1.4 确定结构-工艺方案有效性的一般原则	67
1.5 关于产品结构的《工艺性》问题	73
第 2 章 在飞机设计中对结构-工艺方案有效性的评价	
2.1 选择飞机部件的结构-工艺方案的基本任务	78
2.2 在飞机有效功能不变的条件下改变 1 公斤重量所需的费用	79
2.3 在飞机有效功能变化的条件下改变 1 公斤重量所需的费用	98
2.4 飞机部件结构-工艺方案的有效性	112
第 3 章 在火箭设计中对结构-工艺方案有效性的评价	
3.1 选择火箭壳体部件的结构-工艺方案的基本任务	123
3.2 在有效功能不变的条件下选择火箭壳体部件的有效结构-工艺方案	127
3.3 在增加有效载荷重量的情况下火箭壳体部件的有效结构-工艺方案的选择	150
3.4 在增加射程的情况下火箭壳体部件的有效结构-工艺方案的选择	174
3.5 火箭壳体部件有效结构-工艺方案选择的总方块图	188
第 4 章 在飞行器的草图设计阶段解决工艺问题	
4.1 解决工艺问题的基本阶段和飞行器的计算机辅助设计系统中的《工艺》分程序	191
4.2 电子计算机选择飞行器壳体部件有效结构-工艺方案用的数学模型的建立	195
4.3 格子式壳体的各种加工方法有效使用范围的确定	212
4.4 飞机机体采用整体壁板的有效性的确定	237



## 绪 论

飞行器的应用愈来愈广泛，在飞行器的制造与使用中耗费巨大的人力、物力和技术资源，这就是宇航技术现代发展水平的标志。

众所周知，每一种飞行器、通常均是为了完成一定的任务而研制的。然而，完成这一任务的成效是各不相同的。在现阶段，这就对飞行器的设计和生产提出了一个非常重要的问题：研制这样的飞行器，不只是简单地完成一项既定任务，而且要在完成既定任务的同时，在生产及使用中要用尽可能小的代价收到尽可能大的效果。

拟订能满足上述要求的飞行器制造问题的途径与方法，需要综合研究飞行器的设计、制造工艺、维修和使用问题，并要考虑到飞行器在国民经济中的作用。

在解决飞行器研制问题中，选择合理的基本结构参数、如重量参数、几何尺寸参数、能量参数以及可靠性和寿命等，具有重要的意义。因为这些参数不仅决定飞行器的特性，而且决定其制造方法及在生产和使用中所耗费的物力、人力与技术资源。

由上述要求所引起的矛盾，是飞行器结构设计中产生的特殊问题。要求延长寿命、增加强度、提高可靠性、降低生产成本和要求重量最轻之间的矛盾是最主要的矛盾。同样，要求降低生产成本这一点，又对飞行器的制造工艺及所采用的结构材料提出了一定的要求。

也就是说，一方面在生产成本与制造工艺之间，另一方面在生产成本与寿命和可靠性之间也存在着矛盾。因为改进上述结构参数，要求采用更昂贵的工艺方法和更贵重的材料。

现在，当工艺水平已经发展到可以采用不同的工艺方案来制造飞行器同一部件的情况下，很自然地就提出了选择最合理的结构-工艺方案的问题。

飞行器的生产工艺包括很多不同的方法（切削加工、压力加工、焊接、铆接、钎焊和非金属材料加工等等）。有关这些工艺方法的知识，构成了很多学科的内容：切削理论、压力加工理论等等。

工艺与飞行器设计这门学科有着不可分割的联系，后者又同样地和一系列学科结合为一个整体。但是，所有这些学科都是为了一个目的——研制飞行器。从这个观点来看，可以认为，对专门学科进行一定的总结，并对飞行器制造中采用特种工艺的可能性进行总结的条件已经成熟。为了更好地了解和利用各种专门学科，必须设法找出它们之间的总的联系和相互依从关系。

在任何技术部门都要求寻找最佳的和最有利的方案，而在宇航部门这种要求显得最为突出。在空气动力学、飞行力学和强度方面寻找最佳方案的试图，在过去和现在对于这些学科的发展均有重要的意义。

在这篇论文中，综合了大量的问题，其中包括飞行器的制造工艺、设计、使用、维护以及国民经济问题。

依·波·舍库诺夫<sup>[58]</sup>曾在较小的范围内做过这种综合。此外，他还进行了有关把机身合理地划分为壁板块的技术-经济论证工作<sup>[7]</sup>。

德·勒·达马舍维奇<sup>[20]</sup>，阿·阿·巴贾根和依·阿·阿夫鲁斯基<sup>[4]</sup>，依·依·得拉肯<sup>[22]</sup>，斯·阿·维哥多尔奇科<sup>[11, 12, 13]</sup>，阿·沃·格里切夫<sup>[16]</sup>和其他人的著作，对最佳结构方案选择问题的研究有很大的指导意义。

把经济因素考虑在内的最佳结构选择问题，无论在国内还是在外国都给予了很大的注意。

许多科学家认为，工艺工程师应该是设计班子的成员，并能确切回答为减轻结构重量需要增加多少费用。以便根据这一准则

选择不同的结构，并进而完成零件设计。

飞行器壳体采用整体结构代替铆接-装配结构，是选择合理结构的典型例子。

研究表明，整体结构比类似的铆接-装配结构轻些，但是它昂贵得多，所以采用整体结构的效果很不明显，要求对每种情况作具体分析。因此，在设计结构时必须了解并考虑各种工艺方法的费用。设计和使用飞行器所积累的经验表明：在一些情况下采用整体结构比较好，在另外一些情况下采用装配结构比较好，而且结构的选择要从费用观点出发，这要根据对结构的分析而定。

比较、分析和选择最有效的结构-工艺方案问题，越来越经常地摆在设计单位的面前。

设计局制订并研究大量的结构方案，这些方案的重量、使用可靠性、寿命以及制造费用各不相同。

具体方案的正确选择，不仅要求全面地、综合地考虑结构因素，而且要考虑生产经济因素。

确定结构-工艺方案有效性的问题，越来越引起设计局从事新飞行器设计的工作人员的注意。

选择有效的结构-工艺方案，是研制飞行器时解决各种工艺问题的基本阶段之一。这一任务解决以后，拟订出对整个飞行器质量有影响的壳体零件、部件的制造工艺方法的指导性文件。当然，从对整个飞行器质量的影响上看，有些零件（部件）不太重要，可以不从结构-工艺有效性的观点进行评价。在这种情况下，这些零件（部件）的制造工艺过程按本书中所列举的其它方法设计，其中包括电子计算机辅助设计。这样，在制订飞行器壳体部件结构-工艺方案有效性的评价方法时，便有可能解决全部工艺问题，同时每次都对飞行器所有研制阶段中所采用方案的有效性进行定量的评价。现在计算技术的发展，已有可能在飞行器的计算机辅助设计的总系统中建立《工艺》分程序，以便实际地解决所有工艺问题。

# 第1章 设计飞行器时解决工艺问题的基本原则

## 1.1 飞行器设计的基本阶段及其有效性的判别准则

### 1.1.1 飞行器设计的基本阶段

在设计飞行器的过程中，必须进行大量的工作，它由下列基本阶段所组成：

- 1) 拟订未来总体设计的战术技术任务书，飞行器是这个总体的一个组成部分；
- 2) 为研制所要求的飞行器拟订技术建议（初步草图设计）；
- 3) 草图设计；
- 4) 施工设计。

在第一阶段，以所设计的整个飞行器的有效性为准则，确定其基本的飞行战术特性。其中，对于一次使用的无人驾驶飞机，要确定飞行距离  $L_{max}$ 、装填能量  $q$ （及与之相应的重量）和发射时的散射  $\sigma$  等等。

当经过设计计算，选择能满足战术技术要求的飞行器的最理想基本设计参数并进行最优化时，所得到的飞行器的基本飞行特性，就成了拟订技术建议的原始数据。

在这一阶段，用第一次近似值确定所设计产品的几何特性、重量特性和能量特性。对于弹道式火箭，还要确定火箭的级数、推进剂成份和相应的发动机的单位推力、各级燃料的装填系数  $\mu_r$ 、各级的重量、各级的起始推重比  $n_{0i}$ ，飞行器的长度及直径等等。正是在这个阶段用第一次近似值确立飞行器的轮廓并绘制其

总图。

在草图设计阶段，要使前面确定的飞行器的参数更加准确并变成具体结构布局。在这个阶段，选择基本部件的结构形式，并考虑到一定的生产和使用条件、计算飞行器及其各舱段的外廓尺寸。

在分析飞行过程中作用到飞行器每一部分上的载荷的基础上，选择飞行器的结构受力图，并确定各部件结构的截面图。

在第一次近似值的设计计算中，根据重量 $G$ 与结构参数之间所具有的经验统计关系，以及成本 $C$ 与飞行器的基本结构及重量参数之间的关系 $C = KG^\alpha$ （ $K$ 和 $\alpha$ ——表示所选材料、工艺过程及生产规模等等的系数）建立重量汇总表。这时便可以预先选择结构参数，并拟制飞行器的布局图。为了拟制部位安排图并对飞行器的重量及重量中心位置进行更准确的计算，必须从所确定的任务及完成这一任务所需要的费用出发，选择飞行器壳体每一部分的有效结构-工艺方案。在这种情况下，必须详细分析所研制的飞行器结构的重量特性，详细分析各舱段的每一种结构-工艺方案的制造工艺等等。例如，在研制飞行器时，在由设计要求所决定的各种不同条件下，为了获得飞行器的基本飞行技术特性，增大飞行器的飞行距离或有效负载，用于制造产品的最低费用 $C_{\text{изд}}$ 应是选择火箭每一部分的有效结构-工艺方案的准则。

在比较结构-工艺方案的时候，最好只考虑劳动量、成本、舱段重量和其它等等的变化部分，这样可以显著地提高最有效结构-工艺方案选择的计算精度、可靠性和客观性。这种方法可以考虑到具体工厂的特点，并可拟订出用于设计各个构件制造工艺过程的指导文件。

飞行器的施工设计阶段，首先是为了把草图设计阶段得到的结果加以详细确定。在这个阶段，绘制施工图纸，确定工艺流程，制造并考核试验部件和产品样品。

施工设计确定后，详细拟订用于批生产的结构-工艺文件，进

行生产技术准备：选择并制造工艺装备；在保证设计质量及最小费用的条件下，按给定的零件图拟订加工工艺过程；选择工艺设备等等。

因此，正是在飞行器的草图设计阶段，在选择飞行器壳体某部件的结构-工艺方案时，首先是飞行器设计时必须全部解决飞行器各部件的结构及制造工艺问题。

在草图设计阶段，工艺师、结构设计师和设计师面临的主要任务之一，就是确定飞行器有效结构-工艺方案的选择准则，这样即可确定对飞行器壳体部件的各种结构-工艺方案的有效性进行客观评价的方法。

此外，无论在飞行器研制，还是在作进一步改进时，都必须制订出可提高飞行器特性的最佳结构-工艺方案的选择方法。

应着重指出，问题就在于选择一种能满足整个飞行器工艺性要求的结构-工艺方案，即在一定的生产条件下，消耗劳力、资金、材料和其它器材最少而又符合质量要求。

另外，还必须指出，随着在设计-结构工作中日益广泛地使用电子计算机，就有可能不仅对某些方案而且对几十个或几百个结构-工艺方案进行比较。所以，研究工作的主要任务之一，就是建立起数学模型，用以计算结构制造工艺过程的技术-经济指标，就是制订一种方法，以使用电子计算机比较各种结构-工艺方案。

### 1.1.2 飞行器有效性准则的选择

有效性就是某种东西的效能和效率指标。对于飞行器则分为飞行器所起作用的有效性和研制飞行器所耗费劳动的有效性。

为了定量地评价有效性，采用这样或那样的一些准则（指标）。

众所周知，通常把完成既定任务的概率作为飞行器的有效性指标。

例如，可以把在一定时间内将有效载荷投送到给定距离的数学期望值，作为运载有效性的指标。

可能不把上述指标看成是有效性指标，而看成是效果指标（作用结果）更正确一些，但在专业文献中，第一种叫法已相沿成习。

设计局和企业的工作人员研制飞行器（广义地说是研制机器）工作的有效性标志着他们劳动的成效。那么，应该用什么指标来评价飞行器研制的有效性呢？

这个问题，可以从研究政治经济学最重要的规律（提高劳动生产率规律）得到回答。卡尔·马克思在揭示这一规律的内容时指出，随着劳动生产率的逐步提高，生产费用将逐步下降，并把这一规律称之为普遍的经济规律。

劳动生产率的不断提高以及由此而引起的用于生产单位产品的社会费用的不断下降，实质上是同一过程的两个方面。在此过程中，体现着最普遍的节省时间的原则。实质上，节省时间的原则及与其相一致的提高劳动生产率的普遍规律，在社会主义和共产主义条件下，不仅保持着它自身的意义，而且意义更大了<sup>[41]</sup>。

马克思列宁主义的经典作家曾指出了定量地描述这个规律的可能性。如果劳动生产率提高了，那么在较短的时间内就能生产出同样的使用价值（反之亦然）。

提高生产率规律的数学表达式可表示如下

$$t = \frac{t_1 + t_2}{R} \rightarrow \text{减少} \quad (1.1)$$

或

$$\bar{\eta} = \frac{R}{t_1 + t_2} \rightarrow \text{提高} \quad (1.2)$$

式中  $t$  —— 生产单位使用价值所必需的时间，

$\bar{\eta}$  —— 劳动生产率指标，

$t_1$  和  $t_2$  —— 耗费在研制飞行器上及在使用期限内耗费在维持飞行器工作能力上的活劳动和物化劳动的

数量；

$R$ ——确定该飞行器的社会效用或使用价值量。

公式中所指出的活劳动和物化劳动的总和，可用劳动价值代替。但鉴于目前计算劳动价值有困难，所以通常仍用成本核算，因为成本足能反映劳动费用。所以公式 (1.1) 和 (1.2) 可以写成下式

$$b = \frac{B}{R} \rightarrow \text{减少} \quad (1.3)$$

$$\eta = \frac{R}{B} \rightarrow \text{提高} \quad (1.4)$$

式中  $B$ ——用于制造飞行器和在使用期限内为保持飞行器工作能力的活劳动和过去劳动的费用（以卢布计）；

$b$ ——获得该飞行器单位使用价值所需的费用（以卢布计）；

$\eta$ ——研制飞行器时的劳动生产率指标。

费用  $B$  可用如下方程式表示

$$B = B_{np} + B_s + B_n \quad (1.5)$$

式中  $B_{np}$ ——生产飞行器所需的费用；

$B_s$ ——在有效使用期限内保持飞行器工作能力的使用费用；

$B_n$ ——有效载荷的制造（购置）费用。

生产费用可用下式表示

$$B_{np} = B_k + B_{os} + B_{n,y} \quad (1.6)$$

式中  $B_k$ ——机体结构、起落装置以及辅助部件（客舱设备等）的制造费用；

$B_{os}$ ——设备的制造（购置）及安装费用；

$B_{n,y}$ ——动力装置的制造（购置）及安装费用，包括一次飞行所必需的推进剂费用。

费用  $B$  应该包括研制该飞行器时的设计及试验工作的费用。



但采用准则 (1.3) 和 (1.4) 不是为了弄清  $b$  与  $\eta$  的绝对值, 而只是为了评价该飞行器及其各部件的不同方案, 那么, 考虑到在多数情况下用于各被比较方案的设计费用大致相同, 故不考虑设计费用并不影响评价的结果。

指标  $b$  和  $\eta$  完全可以表示人们在研制飞行器中的工作效果, 因此可作为评价人们在研制飞行器时的工作有效性或劳动有效性的指标。

$b$  越小或  $\eta$  越大, 则人们的劳动越有成效。因为, 为了创造同一个使用价值  $R$  所需要的总费用  $B$  少。

数值  $R$  是衡量该产品社会效益的尺度。当然, 社会效益要根据研制飞行器时对该飞行器所提出的任务而定。从这个观点出发, 可以把完成该任务的有效性指标作为飞行器的使用价值指标。对于民航飞机来说, 就是要看它的运输有效性。

有效性准则  $\eta$  可以用来比较相同或不同型号的飞行器, 但必须是同一用途的飞行器。这意味着被评价的飞行器应该用于完成同一任务, 即在外界条件相同的情况下, 为了同一目的, 把同一重量的载荷投送到空间的同一位置。

不同用途的飞行器, 具有不同性质的使用价值, 不能按上述准则进行比较。当这些飞行器起商品作用时, 彼此之间可按它们所包含的物化了的劳动量进行比较。

因此, 研制飞行器的有效性  $b$  是一个比值, 即制造飞行器所耗费的人力、物力资源加上在使用期限内用于保持其工作能力的费用, 比上飞行器所起作用的有效性, 或者把  $b$  看成是  $\eta$  的倒数。

德·勒·达马舍维奇在文献[46]中首先将按公式 (1.4) 确定的准则  $\eta$  用到飞行器上, 并被称《飞机的有效性》。数值  $R$ —称谓飞行器的《有效功能》(在本书中沿用这种叫法)。

费用值  $B$  与很多因素有关: 飞行器结构方案的特点、工艺方案的特点以及计划产量的特点; 生产准备的总技术管理水平及生产过程本身; 使用过程中维护修理的技术管理水平; 其它一些