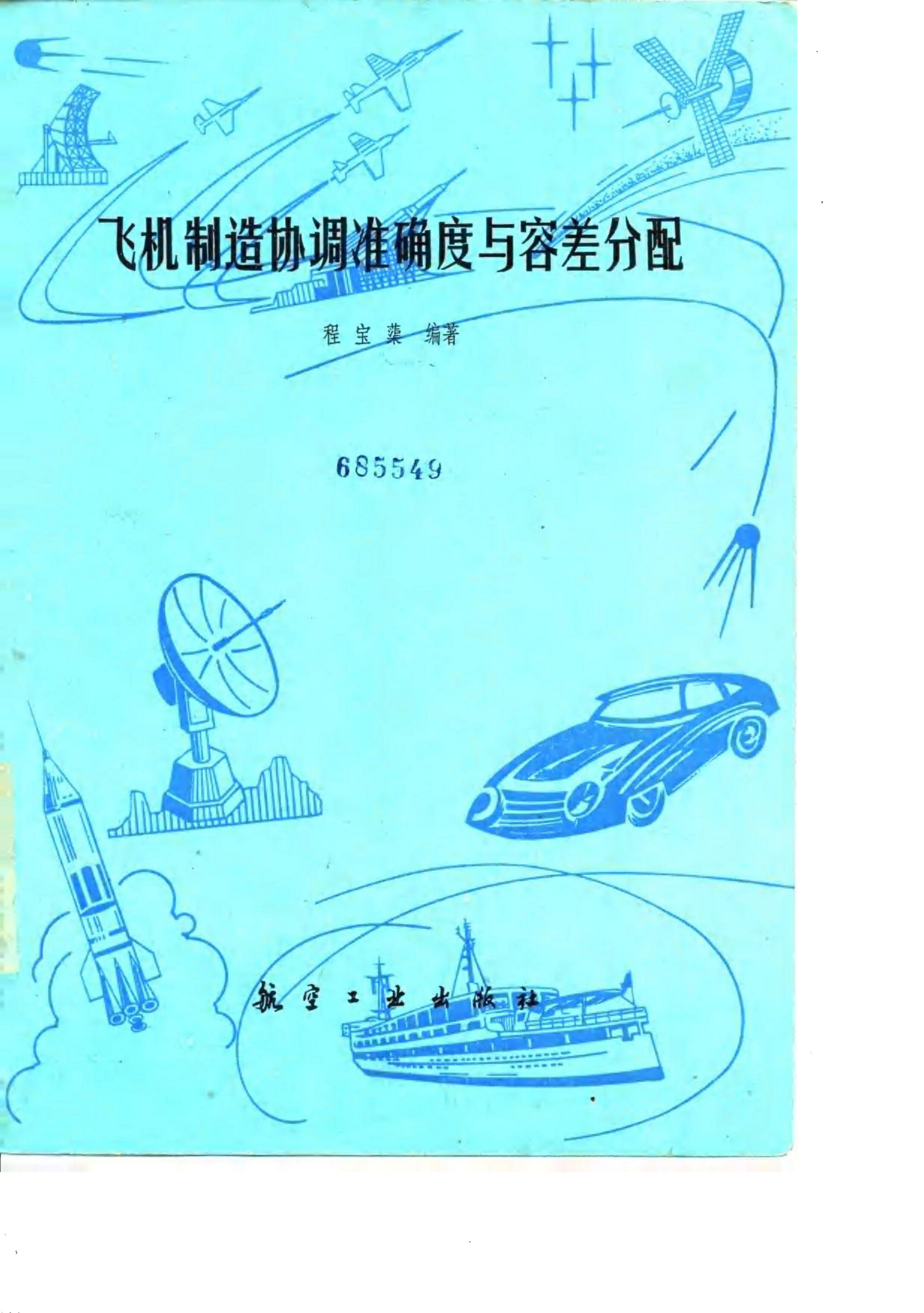




飞机制造协调准确度与容差分配

程宝藻 编著

685549

航空工业出版社

飞机制造协调准确度与容差分配

程宝藻 编著

航空工业出版社

内 容 简 介

本书是航空高等院校飞行器制造工程专业的专业教材之一，其内容为飞机制造互换协调技术的理论基础及其应用。其中系统地分析了与飞机制造准确度有关的系统误差和随机误差，总结了控制系统误差和综合随机误差的方法，介绍了一系列计算协调准确度和分配公差（容差）的实用公式及其应用实例，既为飞机设计中确定产品几何尺寸和形位参数的公差，又为飞机制造中分配工艺路线各基本环的容差奠定了科学的基础。此外，还提出了准确度理论的普遍意义。各章后所附习题是读者掌握和应用本书内容解决实际问题所应解答的。

本书可供从事飞行器、汽车和船舶结构设计和制造工艺的工程技术人员学习和参考，也可作为大专院校有关专业的教学参考书。

飞机制造协调准确度与容差分配

程宝冀 编著

※

航空工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

南京航空学院印刷厂印装

※

787×1092 1/16 印张11.1/4 275.6千字

1987年3月修订版 1987年3月第一次印刷 印数：0,001—1,000册

统一书号：15448·10 定价：1.90元

再 版 前 言

飞机制造工艺的主要特点之一,是在生产工艺准备工作和生产中要解决大量的互换协调问题,即飞机制造准确度问题。这个问题解决得好与不好,严重影响产品质量及其制造周期和生产成本。而这个问题涉及飞机设计和制造的各个方面,过去又多凭经验处理,存在的问题很多。六十年代初苏联航空工业部工艺和生产组织研究院的第88号研究报告《飞机制造中工艺装备协调路线的设计》传入我国,引起了我国飞机制造厂和航空院校的重视。该报告提出了一些重要概念,但缺乏具体解决问题的方法和适于实用的计算公式。我国飞机设计和制造的实践深感单纯凭经验不能很好地解决飞机制造准确度的问题,要求在解决问题时不仅能知其然而且知其所以然,适应自行设计和研制的开创性任务。飞机制造工艺的教学实践也要求把工艺技术的经验上升到能指导实践的技术科学水平。通过许多具有丰富实际经验的同志的大力帮助和热情的支持,作者于七十年代前期摸索出一套分析解决飞机制造协调准确度与容差分配问题的方法,选用和补充提出了成套的实用计算公式,并在生产实例中反复应用、修订和提高。

1974年这套公式用于编制《歼击机工艺容差分配手册》。1978~1983年用于指导编制部定标准《飞机气动外缘公差》和《飞机水平测量公差》。1979年本书初版问世后,在院校教学中使用了六届,并在飞机、导弹、汽车、船舶设计和制造工艺方面的工程技术人员的学习班中使用过多次。通过使用中发现的问题和近年来国内、外有关技术的发展,不断进行了修改和补充。本版的内容基本体现了这些改进,并在第二到第十一章各章之后增加了习题。

为改正书中存在的缺点和错误,热切地希望读者批评指正。

编 著 者

本书中常用符号的索引

- $\triangle$ ——误差或随机误差；
 $\bar{\Delta}$ (或 $E(\Delta)$)——随机误差 Δ 的均值；
 Δ_0 ——随机误差 Δ 的分布带中点值；
 Δ' ——剩余随机误差 (或中心化的随机误差)；
 Δ_s ——随机误差 Δ 的上边界；
 Δ_x ——随机误差 Δ 的下边界；
 Δ_Σ ——累积误差或尺寸链封闭环尺寸的误差；
 ∇ ——协调误差或同轴度误差， ∇_{AB} 表示工件 A 与 B 的协调误差；
 $\triangleleft$ ——叉耳配合或孔-轴-孔配合中心位置的相对误差；
 $\triangleup$ ——深孔的轴线对端面的垂直度误差；
 ω, ω_Σ ——分别表示误差和累积误差的分布带半带宽；
 δ ——公差带半带宽；
 δ_0 ——公差带中点值；
 δ_s ——公差带的上偏差；
 δ_x ——公差带的下偏差；
 δ ——孔-轴-孔配合和叉耳配合中心位置的相对误差分布带半带宽，或深孔垂直度误差分布带半带宽；
 γ ——叉耳配合和孔-轴-孔配合中心位置相对误差的检验公差 (半带宽)，或在多交点协调问题中交点的同轴度误差的分布带半带宽；
 ρ ——叉耳配合和孔-轴-孔配合中心距协调误差的检验公差 (半带宽)；
 $D(\Delta)$ 或 D ——随机误差 Δ 的方差；
 $\sigma(\Delta)$ 或 σ ——随机误差 Δ 的均方差；
 $\varphi(\Delta)$ ——随机误差 Δ 分布的概率密度函数；
 k ——随机误差分布的相对离散系数；
 α ——随机误差分布的相对不对称系数；但 α $1/^\circ\text{C}$ 表示材料的线膨胀系数；
 f ——随机误差在某一区间出现的频率；
 $P(A)$ ——事件 A 出现的概率；
 z ——随机误差 Δ 与均方差的比值，即 $z = \frac{\Delta}{\sigma}$ ；
 Z —— z 的取值上限；如 $-\infty < z \leq Z$ 或 $0 \leq z \leq Z$ ；
 $\Phi_1(Z), \Phi(Z)$ ——标准正态分布函数；
 N ——随机试验的总次数或生产的批量；但用作下标时表示公称值；
 J ——叉耳配合或孔-轴配合之间的间隙；

- a ——叉耳配合中的耳子厚度或孔-轴配合中的轴径;
- b ——叉耳配合中的叉子宽度或孔-轴配合中的孔径;
- H ——计算累积随机误差分布带半带宽 ω_{Σ} 用的修正系数;
- $f(n)$ ——计算累积随机误差分布带半带宽近似值 $\tilde{\omega}_{\Sigma}$ 用的修正系数;
- M ——考虑到轴在孔中的不同松紧程度计算孔位或孔距误差的修正系数;
- m ——深孔结合时考虑到有限约束情况对孔位协调误差乘的修正系数;
- L, l ——长度尺寸;
- θ ——角度;
- $t, \Delta t$ ——温度 ($^{\circ}\text{C}$) 和温差。

目 录

第一章 绪论	(1)
一、本课程之宏观.....	(1)
二、与准确度有关的基本概念.....	(1)
1. 公差和容差	(1)
2. 精确度、正确度和准确度	(2)
3. 制造准确度和协调准确度	(3)
4. 条件准确度	(4)
三、与误差有关的基本概念.....	(5)
1. 误差的来源	(5)
2. 误差按其性质分类	(9)
3. 系统误差和随机误差的并存与相互转化	(10)
四、尺寸链和尺寸链方程.....	(11)
1. 线尺寸链和角尺寸链	(11)
2. 面尺寸链	(12)
3. 空间尺寸链	(14)
4. 尺寸链矩阵	(14)
五、分析、解决制造准确度和协调准确度问题的一般过程.....	(16)
第二章 系统误差的分析	(19)
一、由温度变化产生的系统误差.....	(19)
1. 热平衡条件下温差对尺寸协调的影响	(20)
2. 热不平衡条件下温差对尺寸协调的影响	(22)
3. 地温和室温差的变化对设备、工艺装备和部件结合交点协调的影响	(24)
4. 解决温差影响装配协调的途径	(25)
二、制造过程中产生的变形.....	(27)
1. 工艺装备的变形	(27)
2. 零件制造过程中的变形	(30)
3. 装配变形和残余应力	(30)
(1) 连接变形	(30)
(2) 装配过程中结构自重变化使交点接头移位	(31)
(3) 强迫装配和加垫	(32)
(4) 残余应力的控制	(35)
(5) 残余应力的检测	(36)

(6) 强装应力的估计	(37)
习 题	(38)
第三章 随机误差的理论基础	(41)
一、概率的基本概念	(41)
二、概率的基本运算	(42)
1. 概率加法公式	(42)
2. 概率乘法公式	(43)
3. 应用示例	(43)
三、随机误差的分布特性	(47)
1. 均值	(49)
2. 方差	(50)
3. 均方差	(52)
4. 半带宽	(52)
5. 相对离散系数	(53)
6. 相对不对称系数	(53)
四、几种常见的随机误差的理论分布律	(55)
1. 正态分布	(55)
2. 均匀分布	(59)
3. 等腰三角形分布	(61)
4. 截断正态分布	(63)
5. 偏心分布	(63)
6. 双凸峰分布	(65)
7. Beta 分布	(65)
8. 二维均匀分布及其应用	(67)
五、随机误差的综合——解误差尺寸链方程的顺算方法	(73)
1. 极值法	(73)
2. 概率法	(75)
(1) 概率法的基本公式	(75)
(2) 基于均匀分布假设的公式	(77)
(3) 基于批量 N 的计算公式	(77)
(4) 实用经验公式	(77)
(5) 计算示例	(79)
习 题	(82)
第四章 外形协调准确度的计算与容差分配	(86)
一、用标准样件法协调的机加-钣金套合件的协调准确度与容差分配	(86)
二、副翼对机翼的吻合性准确度与容差分配	(89)
三、双曲面蒙皮零件和型架内型板的协调准确度与容差分配	(92)

四、型架卡板工作外形上相同百分点连线的直线度与容差分配	(95)
五、飞机制造中外形工艺容差分配方法的特点	(98)
习 题	(103)
第五章 叉耳配合交点中心距协调准确度计算与容差分配	(106)
一、叉耳中心位置的相对误差	(106)
二、两对叉耳配合交点的中心距协调误差	(108)
三、叉耳配合交点中心距的典型协调路线的准确度计算与容差分配	(108)
四、非基准叉耳最小公称间隙的确定	(111)
五、叉耳配合交点中心距工艺容差分配的试定标准	(112)
习 题	(114)
第六章 孔-轴-孔配合交点的孔位和孔中心距协调准确度的计算与容差分配	(116)
一、孔-轴-孔配合交点的孔位协调误差	(116)
二、交点孔位协调准确度计算与容差分配的实例	(117)
三、两对孔-轴-孔配合交点的孔中心距协调误差	(120)
四、孔-轴-孔配合交点的孔中心距协调准确度计算与容差分配的实例	(121)
1. 某型直升机旋翼桨叶数控加工的样板的基准孔协调问题	(121)
2. 某型机机身机翼交点孔-轴-孔配合的孔中心距(主交点)的协调准确度计算	(123)
五、孔-轴-孔与叉耳综合配合的交点中心距的协调误差	(125)
六、用带长圆孔的交点检验量规检验部件交点孔中心距的准确度	(126)
七、孔-轴-孔配合交点中心距工艺容差分配的试定标准	(127)
习 题	(129)
第七章 孔-轴-孔配合交点的同轴度计算与容差分配	(131)
一、多交点的同轴度误差分析	(131)
二、两部件结合时中部交点结合孔局部同轴度误差分析	(134)
习 题	(136)
第八章 孔-轴-孔配合交点的共面度计算与容差分配	(137)
一、四个交点孔中心的共面度误差分析	(137)
二、两部件对接时第四对叉耳接头交点孔的同轴度误差分析	(139)
习 题	(140)
第九章 深孔的协调问题与容差分配	(141)
一、单配合面上的深孔协调要求与容差分配	(141)
1. 自由定位时的销棒插孔条件	(142)
2. 约束定位时的销棒插孔条件	(144)
二、双配合面上的深孔协调要求与容差分配	(145)

1. 自由定位时的销棒插孔条件	(146)
2. 约束定位时的销棒插孔条件	(146)
三、深孔垂直度工艺容差分配的问题	(147)
习 题	(148)
第 十 章 孔和外形轮廓的综合协调问题与容差分配	(149)
一、孔位误差和孔-轴-孔配合对外形轮廓协调的影响	(149)
二、部件相对位置的协调准确度与容差分配	(151)
习 题	(156)
第十一章 准确度原理的其他应用	(158)
一、在某型激光准直自动调整型架安装机中光敏元件线路参数的准确度	(158)
二、副油箱前段容积及其准确度	(159)
三、间接测量重力加速度 g 的数值及其准确度	(160)
四、流体粘性系数 η 的测量准确度估算	(161)
习 题	(162)
附 录 一 飞机制造的准确度要求	(163)
附 录 二 标准正态分布表	(166)
附 录 三 χ^2 分布表	(169)
参考文献	(170)

据产品设计制定的公差和工厂生产条件来确定的。

在本书里为了方便起见，约定用公差（容差）带半带宽 δ 和公差（容差）带中点值 δ_0 来表示公差（容差）。由累计尺寸（封闭环尺寸）的公差（容差） δ_x 、 $(\delta_x)_0$ ，来确定各组成环尺寸的公差（容差） δ_i 、 $(\delta_i)_0$ ($i=1,2,\dots,n$)，叫作公差（容差）分配；反之叫作公差（容差）控制。

产品结构尺寸公差分配（控制）与工艺容差分配（控制）的相互关系如图 1-2 所示。图中 ω_x 和 $(\Delta_x)_0$ 分别表示累计尺寸（封闭环尺寸）误差 Δ_x 的分布带半带宽和分布带中点值。

2. 精确度、正确度和准确度

这几个名词在现有技术书刊和教材中有多种不同的定义，为了不致混淆，在本书内参照国际法制计量学组织 ν 的名词来区分它们的含意。先以打靶为例说明其概念如下：

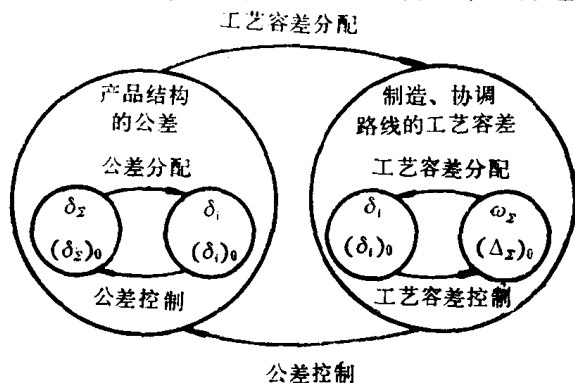


图1-2 公差分配（控制）与工艺容差分配（控制）的相互关系

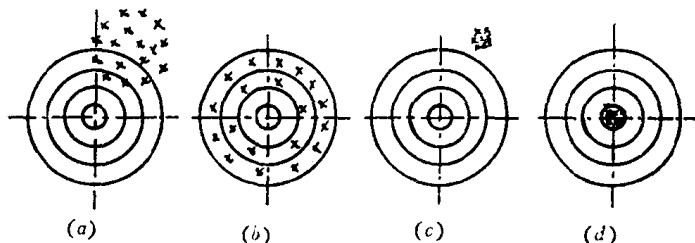


图1-3 打靶的精确度、正确度和准确度

打靶时靶心为理想的弹着点，弹着点离靶心越近，则射击的结果越准确。对一次射击，无精确度、正确度和准确度的概念。对多次射击打靶的成绩评价，是以平均弹着点离靶心的远近和弹着点分布区的大小来确定的。图 1-3(a) 所示打靶结果，其平均弹着点离靶心远，弹着点分布区大；前者说明射击的正确度低，后者说明射击的精确度低，两者共同说明射击的准确度低。同理，图 1-3(b) 所示打靶结果的正确度高，精确度低，准确度也低；图 1-3(c) 所示打靶结果的正确度低，精确度高，准确度低；图 1-3(d) 所示打靶结果的正确度、精确度和准确度均高。由此可见，评价打靶成绩的正确度，是用来说明打靶者控制射击系统误差能力的；精确度是用来说明打靶者控制射击随机误差能力的；准确度则可用于说明打靶者控制综合误差的能力。

在飞机制造中，产品的几何尺寸和形位参数也有精确度、正确度和准确度的问题。若以 L_N 表示某一产品的某个基本尺寸（或称公称尺寸，或名义尺寸）， L 表示该产品的一个实际尺寸，则该尺寸的实际偏差（简称偏差） Δ 为 $\Delta = L - L_N$ 。若该尺寸的公差为 $(\pm \delta)$ ，即公差带零线处于零位，则 L_N 即其理想尺寸。若该尺寸的公差为 $\begin{pmatrix} +\delta_s \\ +\delta_x \end{pmatrix}$ ，这时相当于靶心的理想尺寸不是 L_N ，而是

$$L_N + \frac{\delta_s + \delta_x}{2} = L_0$$

它是处于公差带中点的尺寸。

以 Δ' 表示实际尺寸 L 相对于理想尺寸 L_0 的误差, 则 $\Delta' = L - L_0 = \Delta - \delta_0$, 其中

$$\delta_0 = \frac{\delta_s + \delta_x}{2}$$

对于一批产品, Δ' 的均值 $\bar{\Delta}'$ 为

$$\bar{\Delta}' = \bar{\Delta} - \delta_0$$

它反映尺寸 L 的正确度。

Δ' 的分布带宽度 2ω 反映尺寸的精确度。 ω 和 $\bar{\Delta}'$ 共同反映尺寸 L 的准确度。

精确度、正确度和准确度都是建立在统计上的概念。试制某零件, 若仅试制出一、二件, 其尺寸符合公差要求, 并不能说达到了准确度的要求, 只能说试制结果是准确的、正确的。

对尺寸测量而言, 测量误差 Δ_M 为测量结果 L_M 与真实尺寸 L 之差, 即 $\Delta_M = L_M - L$ 。对反复多次测量, Δ_M 的均值 $\bar{\Delta}_M$ 及其分布带半带宽 ω_M 反映测量的准确度。

3. 制造准确度和协调准确度

在飞机结构制造和协调路线中, 以 Δ 表示其中的环节误差, 以 Δ_0 表示该误差分布带的中点值, 以 ω 表示其分布带半带宽。某尺寸 L 的制造和协调路线如图1-4所示。

工件 A 上尺寸 L_A 的制造误差 Δ_A 为

$$\Delta_A = \sum_{i=1}^l A_i \Delta_{0i} + \sum_{j=1}^m A_j \Delta_{1j}$$

工件 B 上尺寸 L_B 的制造误差 Δ_B 为

$$\Delta_B = \sum_{i=1}^l A_i \Delta_{0i} + \sum_{k=1}^n A_k \Delta_{2k}$$

式中 A_i 、 A_j 和 A_k 分别为各尺寸误差 Δ_{0i} 、 Δ_{1j} 和 Δ_{2k} 的传递系数。

工件 A 和 B 是需要相互协调的, L_A 和 L_B 是协调尺寸, 则其协调误差 ∇_{AB} 为

$$\begin{aligned} \nabla_{AB} &= L_A - L_B = \Delta_A - \Delta_B \\ &= \sum_{j=1}^m A_j \Delta_{1j} - \sum_{k=1}^n A_k \Delta_{2k} \end{aligned}$$

工件 A 和 B 的尺寸 L_A 和 L_B 的制造准确度分别为 $[(\Delta_A)_0, \omega_A]$ 和 $[(\Delta_B)_0, \omega_B]$, 其协调准确度为 $[(\nabla_{AB})_0, \omega_{AB}]$ 。

当诸 $|A_i|\omega_i$ 、 $|A_j|\omega_j$ 和 $|A_k|\omega_k$ 均相等或接近相等时, 环节数 l 、 m 和 n 对 ω_A 、 ω_B 和 ω_{AB} 起主要作用。在 $|A_i|\omega_i$ 、 $|A_j|\omega_j$ 和 $|A_k|\omega_k$ 诸项不等且其中有特大项时, 该项误差对尺寸准确度起主要影响。

在工件 A 和 B 分别独立制造时, $l=0$,

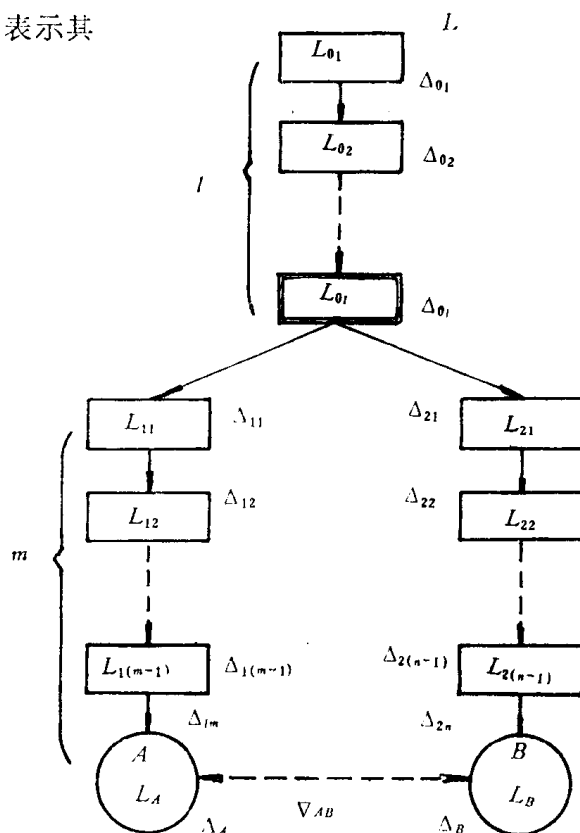


图1-4 某尺寸 L 的制造和协调路线

$$\Delta_A = \sum_{j=1}^m A_j \Delta_{1j}$$

$$\Delta_B = \sum_{k=1}^n A_k \Delta_{2k}$$

而

$$\nabla_{AB} = \sum_{j=1}^m A_j \Delta_{1j} - \sum_{k=1}^n A_k \Delta_{2k}$$

这时 $\omega_{AB} > \omega_A$, $\omega_{AB} > \omega_B$, 即工件 A 和 B 的尺寸 L_A 和 L_B 之间的协调准确度低于它们分别制造的制造准确度。飞行器结构制造中常有协调准确度要求高于制造准确度要求的情况, 这就要求减少协调路线中非共同环的环节数 (m 和 n) 和 (或) 提高各非共同环的准确度。

对相互联系制造的协调过程, 如果 $l > m(n)$ 且 $|A_i| \omega_i$ 、 $|A_j| \omega_j$ 和 $|A_k| \omega_k$ 均大约相等, 则可能使 $\omega_{AB} < \omega_A(\omega_B)$, 即尺寸 L_A 和 L_B 之间的协调准确度高于它们各自的制造准确度。

飞行器批量生产要求结构零、构件具有一定的互换性和严格的协调性。互换性指同名零、构件在几何尺寸、形位参数和物理、机械性能诸方面具有的一致性; 协调性则指有协调关系的几何尺寸和形位参数的一致性, 它可用协调准确度与协调要求的对比来衡量。

4. 条件准确度

为了确切而合理地提出产品的准确度要求, 以便更好地控制产品质量, 常应用条件准确度的概念。精密机械制造中有环境温度条件。如 $20 \pm 2^\circ\text{C}$; 非金属材料制品的工艺过程中, 有时要求环境相对湿度不超过一定值, 如 $75\% \psi$ 等。

在飞行器制造中应用较广的条件准确度有:

(1) 力和力场条件

例如蒙皮零件贴模检验时要规定施力的大小及施力处, 强迫装配时要规定限用的外力和力场, 部件交点孔中检验销棒的紧涩状态也常有限制。在这些限制条件下的准确度要求, 即条件准确度的一种形式。

(2) 按概率确定准确度要求

条件准确度的另一种形式, 是按概率把公差 (容差) 划分为基本公差 (容差) 和局部公差 (容差), 并对超出基本公差 (容差) 但不超出局部公差 (容差) 范围的几何尺寸或形位参数给定其最大允许出现概率。

设某一几何尺寸的公差按常规办法确定其上、下偏差为 δ_s 和 δ_x , 不附带出现区的出现概率, 如果该尺寸的误差均靠近上偏差或下偏差, 而不超出公差范围, 亦应认为是合格的, 但这对多次出现的几何尺寸的准确度要求, 并不是完善的。这时, 取 δ_s 和 δ_x 为局部公差的上、下偏差, 再取 $(\delta_b)_s$ 和 $(\delta_b)_x$ 为基本公差的上、下偏差, 并要求该尺寸的误差出现在 $[(\delta_b)_s, (\delta_b)_x]$ 范围之外而不超出 $[\delta_s, \delta_x]$ 范围的概率不超过 P ,

$$P = P \left\{ \begin{array}{l} \delta_x \leq \Delta < (\delta_b)_x \\ (\delta_b)_s < \Delta \leq \delta_s \end{array} \right\}$$

如果条件公差要求 $P \leq 0.30$, 图 1-5 中左图所示误差分布情况是符合公差要求的, 右图所示误差分布情况反映超差情况。

我国航空工业部编制的指导性技术

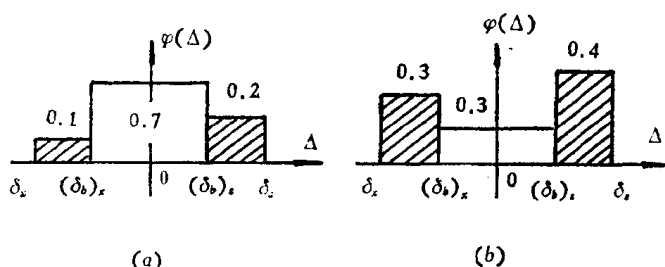


图1-5 按概率确定条件公差

文件《飞机气动外缘公差 HB/Z 23-80》, 对气动外缘型值公差、操纵面的吻合性公差、部件蒙皮对缝间隙及阶差的公差等都是按概率确定的条件公差(见附录一)。所规定的公差值, 是在满足飞机气动力性能要求的前提下, 考虑了机体结构特点和工艺上的合理性而定的。

目前飞机制造中虽然广泛地应用了条件准确度的概念, 但对条件准确度的掌握还不够完善。在技术条件中对条件准确度规定不明确和不严格的情况是常见的, 在生产中和检验时, 往往凭当事人的主观判断。解决这方面的问题有待进一步总结实践经验和提高技术水平。

三、与误差有关的基本概念

工件的制造准确度决定于工件几何尺寸和形位参数误差的分布特征; 工件之间的协调准确度则决定于相互协调的尺寸和形位参数的相对误差的分布特征。要研究准确度问题, 就得从产生误差的来源、形成误差的过程和误差的性质着手。

1. 误差的来源

生产过程(包括加工、装配、检验或测量等)是工作者(人—Man)在一定的环境(Environment)中, 用一定的方法(Method), 通过一定的机床设备和工具、量仪(Machine & Measuring Tool), 对工件(工作对象, Material)进行生产的过程。如果用有关的英文单词第一个字母归纳生产过程的话, 可说生产过程一般是由 5M1E 组成的。在 5M1E 条件下, 误差的来源有:

(1) 方法误差

它是与加工、装配或检测方法有关的误差。零件制造所用的加工方法不同, 所能达到的准确度一般也不同, 如表 1-1 所列举的例子。装配时所用的定位方法不同, 所达到的定位准确度也可能不同, 如表 1-2 所列举的例子。工艺装备的工作外形加工, 有按模线或样板锉修, 有按样件或模型塑造等方法, 它们一般达到的准确度如表 1-3 所列举的例子。型架安装方法有拉线吊线法、安装标准样件法、型架装配机法和光学工具法等, 每类安装方法又有具体应用的不同, 所产生的误差都可能差别, 所达到的准确度有所不同。这些由方法不同而产生的准确度差别, 都可称为方法误差。

表1-1 不同加工方法的准确度

加工种类	加工方法	公差 (mm)	备注
切削加工	小零件精铣 (尺寸 = 30~360 mm)	0.05~0.1 0.17~0.2	IT 9 IT 10
	大行程铣切	0.3~0.5	
	化学铣	0.01~0.05	对铣切深度
	电火花加工	0.006~0.01	

续表1-1

加工种类	加工方法		公差 (mm)	备 注
钻 孔	台钻钻孔	孔 径 孔 距 垂直度	IT 11~IT 13 ± 0.2 0.5/100	用精孔钻可提高孔径精度 到 IT 9~IT 10
		孔 径 坐标镗床镗孔 孔 距 垂直度	IT 6 0.005~0.01 0.02/100	先进的数控坐标镗床, 其 加工孔距精度可达 0.001 ~0.002
钣金零件成形	单曲面蒙皮零件成形	滚 曲率半径	0.1~0.2	
		筒形蒙皮零件的直线度	0.2	
		弯 锥形蒙皮零件的直线度	0.9	
	双曲面蒙皮零件成形	拉 铝合金(退火或新淬火)	0.5~3.0	
		钛合金	1.5~10.0	上限相当于无适当校形
		形 钛合金(加热)	0.5~2.5	
	橡皮成形	外 形 波 纹 度 弯边斜角	$\pm 0.2 \sim \pm 2.0$ 0.5~1.0/500 $\pm 30' \sim \pm 1^\circ$	同 上
		型材拉弯 外形	0.5~5.0	同 上
		落锤成形 外形	0.5~1.0	
		工具模成形 外形	一般按 IT 14	
整体壁板加工	机械加工	壁厚	+0.5 -0	
		加强肋厚	+0.4 -0	
	电化学加工	壁厚	+0.2 -0	
		加强肋厚	+0.2 -0	
	化学铣切	壁厚	+0.3 -0	
		加强肋厚	+0.3 -0	

表1-2 不同定位方法的定位准确度

定 位 方 法	定 位 准 确 度 (mm)
用通用量具画线	0.4~1.0 (最大可达 2~3 mm)
用装配孔	0.5~1.2
用夹具	0.3~0.5

表1-3 工艺装备的不同外形加工方法的准确度

工艺装备	其外形的加工方法	外形准确度 (mm)
夹具样板	按模线锉修	+0 -0.1~-0.2
	按数模数据数控铣切	$\pm 0.05 \sim \pm 0.10$
	按数模数据数控线切割	± 0.01
型架卡板	按夹具样板锉修	+0.1~+0.2 -0
	按标准样件或模型塑造	+0.1 -0
	按数模数据数控铣切	$\pm 0.05 \sim \pm 0.10$
成 形 模	按外形样板锉修	+0 -0.2
	按模型加工	工作面贴合, 局部间隙可达 0.2
	数控线切割	± 0.01
标准样件	按反样板锉修	+0 -0.1~-0.15
	数控铣切	$\pm 0.075 \sim \pm 0.1$

(2) 机床设备或工具、量仪的误差

它是由于机床设备或工具、量仪的准确度及尺寸、形位的稳定性有一定的限制, 以及构造上和技术上的缺陷所引起的误差。表 1-4 中列举了飞机制造中常用的部分工具、设备和量仪的精度, 以供参考。

美国波音飞机公司所编该公司的《数控设备图册》, 对每项机床设备按其准确度条件提供了选用定位公差图表, 这对正确选用数控设备保证产品质量是很有意义的。

以上两种误差往往相互联系, 要减少或避免它们对产品质量的影响, 需要正确选择和掌握工艺方法和所用的机床设备或工具、量仪。

(3) 环境误差

它是与加工、装配或检测时的周围客观环境条件(如温度、湿度、外力、地基沉降、振动等)有关的误差。例如绘制模线用的一种英制明胶片, 其热膨胀系数 $\alpha = 27 \times 10^{-6} 1/^\circ\text{C}$, 其湿度膨胀系数 $\beta = 9 \times 10^{-6} 1/(\Delta\psi\%)$ (即环境的相对湿度 ψ 变化 1% 时, 明胶片单位长度