

# 工艺过程设计原理

V261/02

# 工 艺 过 程 设 计 原 理

(航空机械加工工艺学之一)

柯明扬 唐梓荣 编

航空专业教材编审组

## 内 容 简 介

本书为航空机械加工专业的专业教材，由于篇幅较大，分为三册出版，各分册均可单独使用。第一分册为机械加工工艺过程设计原理，第二分册为机床夹具设计，第三分册为数控加工程序编制。

本分册共有六章，包括制订工艺路线的原则和方法、工序尺寸的计算和尺寸图表的应用、影响加工精度的因素和确定加工误差的方法、表面层的物理机械性能和表面光洁度以及计算机辅助制造系统等内容。书末还附有习题等。

本书除作为高等院校的教学用书外，也可供从事有关专业的技术人员参考。

## 工 艺 过 程 设 计 原 理

(航空机械加工工艺学之一)

柯明扬 唐梓荣 编

\*

航空专业教材编审组出版

南京航空学院印刷厂印装

\*

787×1092 1/16 印张 10.75 273.64 千字

1984年4月第一版 1984年第一次印刷 印数 0,001~12,000 册

统一书号：32177j 定价：1.13 元

# 目 录

绪论	( 1 )
<b>第一章 工艺过程概述</b>	<b>( 2 )</b>
§ 1—1 工艺过程的组成	( 2 )
§ 1—2 制订工艺过程的基本要求	( 4 )
§ 1—3 制订工艺过程的技术依据	( 5 )
§ 1—4 机械加工精度	( 7 )
§ 1—5 基准与定位	( 8 )
§ 1—6 尺寸链及计算方法	( 10 )
§ 1—7 工艺过程的技术经济分析	( 14 )
<b>第二章 工艺路线制订</b>	<b>( 16 )</b>
§ 2—1 零件图的工艺分析	( 16 )
§ 2—2 加工方法的选择	( 19 )
§ 2—3 阶段的划分	( 21 )
§ 2—4 工序的集中与分散	( 22 )
§ 2—5 基准选择	( 22 )
§ 2—6 热处理工序位置的安排	( 32 )
§ 2—7 辅助工序的安排	( 34 )
§ 2—8 轴套工艺路线分析	( 34 )
<b>第三章 机床工序的设计</b>	<b>( 37 )</b>
§ 3—1 设备和工艺装备的选择	( 37 )
§ 3—2 加工余量的确定	( 38 )
§ 3—3 工序尺寸的确定	( 41 )
§ 3—4 工艺尺寸换算	( 43 )
§ 3—5 尺寸图表	( 48 )
§ 3—6 切削用量与时间定额	( 57 )
<b>第四章 加工精度</b>	<b>( 59 )</b>
§ 4—1 概述	( 59 )
§ 4—2 加工误差产生的原因	( 59 )
§ 4—3 加工误差的统计分析	( 70 )

§ 4—4	工艺试验的正交设计法	( 82 )
§ 4—5	提高加工精度的途径	( 86 )
<b>第五章</b>	<b>机械加工的表面质量</b>	<b>( 88 )</b>
§ 5—1	表面质量的基本概念	( 88 )
§ 5—2	机械加工后的表面光洁度及其影响因素	( 89 )
§ 5—3	机械加工后表面物理机械性能的变化及其改善的途径	( 92 )
§ 5—4	工艺系统的振动及其控制途径	( 97 )
§ 5—5	表面质量对零件使用性能的影响	( 101 )
<b>第六章</b>	<b>计算机辅助制造概论</b>	<b>( 104 )</b>
§ 6—1	成组技术 ( GT )	( 104 )
§ 6—2	计算机辅助工艺过程制订 ( CAPP )	( 123 )
§ 6—3	计算机辅助制造系统 ( CAM系统 )	( 126 )
<b>附录</b>		<b>( 135 )</b>
一、	工艺过程制订示例——压气机盘	( 135 )
二、	工艺文件	( 145 )
三、	加工方法及经济精度	( 147 )
四、	余量简表	( 150 )
<b>习题</b>		<b>( 154 )</b>

## 绪 论

中国共产党第十二次全国代表大会确定了新的历史时期的总任务，要求逐步实现工业、农业、国防和科学技术现代化，把我国建设成为高度文明、高度民主的社会主义国家。

机器制造业在国民经济中起着重要的作用。机器制造业要为国民经济的许多部门提供先进的技术装备，所以它又是技术改造的先行部门。

航空产品制造包括飞机制造、发动机制造和仪表附件制造等，它是机器制造的一个专门部分。

机器制造工艺学是一门综合性的应用学科，是研究在机器制造中各种工艺过程的规律，以及合理选择过程的参数和控制这些参数的方法和手段的科学，简言之是研究制造过程的本质、相互联系和发展规律的科学。

和一般机器制造过程一样，航空产品制造过程大致可分为毛坯制造、零件的机械加工、装配和试验四个阶段。航空机械加工工艺学是研究航空产品零件的机械加工工艺过程的学科。航空机械加工工艺学是航空产品制造工艺的重要组成部分，它以一般机器制造工艺学为基础，同时又有其自己的突出特点。这些特点是由航空产品本身及其生产特点，以及航空技术发展的要求所决定的。

现代航空产品的特点，主要表现在下列几个方面：

1. 零件和整机的制造质量要求都非常高，技术条件复杂、严格。
2. 许多零件构形复杂、壁薄。
3. 使用的材料品种多，质量要求高，其中包括很难加工的高温材料和钛合金等。
4. 要求采用各种高效率的先进工艺方法和手段，工艺过程细致而严密。
5. 要求高度的专业化和广泛的协作。
6. 产品经常变动而产量并不很大。

随着科学技术的迅速发展，特别是计算机和数控技术的发展，大大推动了航空机械加工工艺的进步。数控加工（NC）、计算机数字控制（CNC）、直接数字控制（DNC）、自适应控制等系统的推广使用，正在逐步形成一个完整的计算机辅助制造（CAM）系统。计算机辅助设计（CAD）和计算机辅助制造的逐步结合，更促进了航空工业科学技术的加速发展。

现代航空产品的制造是一个极其复杂的过程，它所涉及的方面很多很广，必须深入总结和利用丰富的生产经验，进行大量的科学实验，结合运用有关部门科学技术的最新成就，才能得到合理的解决。

本课程包括工艺过程设计原理、机床夹具设计和数控加工的程序编制三大部分。

学习本课程时应该联系以前学习过的技术基础课程和工艺课程，联系生产实际，注意有关科学技术的新成就，掌握工艺分析、工艺计算、工艺设计和工艺实验的基本技能和方法，培养综合解决工艺问题的能力。

# 第一章 工艺过程概述

## § 1—1 工艺过程的组成

### 一、生产过程与工艺过程

工厂的生产过程是将原材料或半成品转变为成品所进行的全部过程。

工厂的生产过程可以分为几个主要阶段。如在航空发动机制造工厂中，这些阶段是：

1. 毛坯制造（在锻压车间、铸造车间进行）。
2. 将毛坯加工成发动机零件（在机械加工、冲压、焊接、热处理、表面处理等车间进行）。
3. 将零件装配成发动机（在装配车间进行）。
4. 将发动机进行试验（在试验车间进行）。

工厂的生产过程是一个十分复杂的过程，它不仅包括那些直接作用到生产对象上去的工作，而且也包括许多生产准备工作（生产计划的制订、工艺规程的编制、生产工具的准备等等）和生产辅助工作（设备的维修、工具的刃磨、原材料和半成品的供应、保管和运输，以及生产中的统计、核算等等）。

然而，在工厂的生产过程中占重要地位的是工艺过程。工艺过程是与改变原材料或半成品成为成品直接有关的过程。工艺学的主要任务也就在于研究生产过程中的工艺过程。

工艺过程有锻压、铸造、机械加工、冲压、焊接、热处理、表面处理、装配和试车等。

机械加工工艺过程在航空和航天产品生产的整个工艺过程中占重要地位。它是指用机械加工方法逐步改变毛坯的状态（形状、尺寸和表面质量），使之成为合格的零件所进行的全部过程。

按照规定的工艺过程组织生产，对保证产品的质量、产量以及成本有着重要的作用。生产中的各种生产准备工作和生产辅助工作，也都以规定的工艺过程为依据。同时，执行规定的工艺过程能够建立正常的生产秩序，对不断提高航空和航天工业的生产水平有着十分重要的意义。因此，正确地制订合理的工艺过程是一项十分重要的工作。

### 二、工艺过程的组成

机械加工工艺过程是由一系列工序组成的，毛坯依次通过这些工序而变为成品。

工序是工艺过程的基本组成部分。

工序是在一个工作地点上，对一个工件（或一组工件）进行加工所连续进行的工作。

如图 1—1a 所示的零件，孔 1 需要进行钻和铰，如果一批工件中，每个工件都是在一台机床上依次地先钻孔，而后接着铰孔，这就构成一个工序。如果将全批工件都先进行钻孔，

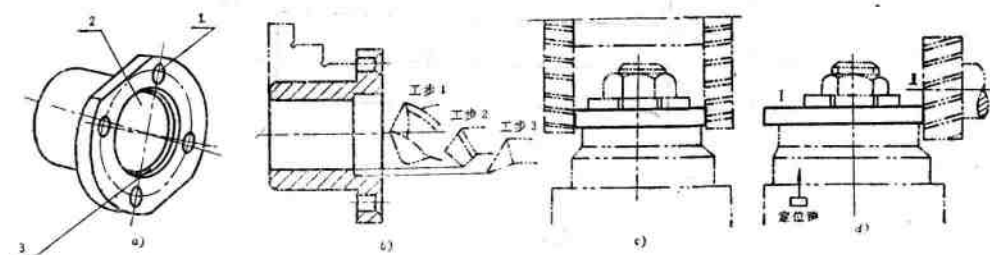


图1-1 工艺过程的组成

然后全批工件再进行铰孔，这样就成为两个工序了。

工序在组织计划工作中是工艺过程的基本单元。

**工步** 是指在被加工表面、切削工具和机床的工作用量（转速和进给量）均保持不变的条件下所进行的工作。

如图 1—1b 所示加工中间大孔的工序，这一工序中包括三个工步：①钻孔2；②镗孔2；③镗环槽3。

为了提高生产率，常常将几个工步合并成为一个**复合工步**，这种复合工步的特点是用几个工具同时加工几个表面，如图 1—1c 所示用两把铣刀同时铣几个平面的情况。在多刀、多轴机床上加工时，主要是利用这一特点来提高劳动生产率。

**走刀** 在一个工步中，工具从被加工表面上每切去一层金属所进行的工作。

当工件表面上需要切去的金属太厚，不可能或不宜以一次切下时，就需要分几次走刀来进行加工。

完成一个工序，常需要进行许多工作。这些工作可分为基本工作（切削）和辅助工作（装卸工件、开动机床、引进工具和测量工件等）两部分。在辅助工作中，工件的安装占有很重要的地位。

**安装** 是使工件在机床上占据应有的位置，并夹紧使之固定在这个位置上。

由此，安装包括定位和夹紧两个内容。在工序中，可以用一次安装或几次安装来进行加工。如图 1—1c 所示，用一对铣刀同时加工两侧平面，这是一次安装。若用一把铣刀，先铣一边，然后将工件松开，旋转 $180^\circ$ ，并重新夹紧，再加工另一边，这就成了两次安装。

工件几次安装，常常会降低加工质量，而且还要花费很多时间。因此，当工件必须在不同的位置加工时，常利用夹具来改变工件的位置。

**工位** 是工件在一次夹紧后，在机床上所占有的各个位置。

图 1—1d 所示为利用夹具在两个工位上铣削平面的情况。工件的Ⅱ端加工后，不必卸下工件，只需拔出定位销，使夹具的上半部分带着工件一起旋转 $180^\circ$ ，再插入定位销，使工件的Ⅰ端占据Ⅱ端原有的位置。亦即使夹具的上半部和底部之间改变角向相对位置，从而使工件由第一工位转到第二工位。

最后再通过六角螺钉的机械加工工艺过程来说明上述这些术语的应用。零件图见图 1—2，工艺过程见表 1—1。



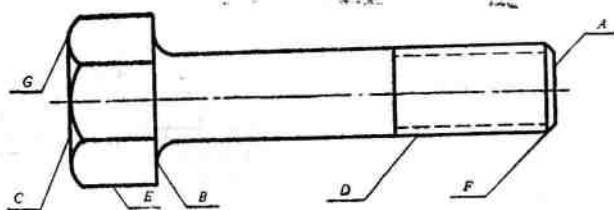


图1—2 螺钉

表1—1 螺钉机械加工工艺过程

工 序	安 装	工 步	工 位	走 刀
I 车	1 (三爪卡盘)	1) 车端面A	1	1
		2) 车外圆E		1
		3) 车螺纹外径D		3
		4) 车端面B		1
		5) 倒角F		1
		6) 车螺纹		6
		7) 切断		1
II 车	1 (三爪卡盘)	1) 车端面C	1	1
		2) 倒棱G		1
III 铣	1 (旋转夹具)	1) 铣六方 (复合工步)	3	3

## § 1—2 制订工艺过程的基本要求

制订零件的机械加工工艺过程是生产技术准备工作的一个重要组成部分。

制订工艺过程，必须有正确的设计观点和方法。一个零件可以采用各种不同的工艺过程制造出来，但正确与合理的工艺过程，应满足下列基本要求：

1. 保证产品的质量符合图纸和技术条件所规定的要求；
2. 保证高的生产率和改善劳动条件；
3. 保证经济的合理性。

质量、生产率和经济性，通常就构成了制订工艺过程所必须满足的技术和经济要求。保证航空、航天产品的质量是最重要的，而生产率和经济性，对国防工业来说，也具有特殊的意义。

新技术、新工艺的发展，如毛坯的精化，特种工艺和超精工艺的发展，以及计算机技术的应用等等，都对产品质量和生产周期有很大的影响。因此，随着生产技术的发展，工艺过程也要不断的改进。

此外，制订工艺过程要能够保证产品质量的稳定，即工艺过程要能够可靠地实现图纸和技术条件所规定的要求，亦即产品质量，尽可能不依赖操作者的技艺，而要决定于设备、工具和工艺方法的完善速度。

总之，工艺过程的制订是要合理地解决技术和经济问题。为了选择合理的工艺方案，就必须对各种可能的方案进行分析比较，使工艺过程能全面地符合质量、生产率和经济性的要求。

### § 1—3 制订工艺过程的技术依据

零件机械加工的工艺过程，取决于零件的要求；毛坯的性质；产量的大小和现场的生产条件。在制订工艺过程时，必须掌握下列资料作为基本的技术依据。

#### 一、零件图及技术条件

零件图及其技术条件是制造零件的主要技术依据。在零件图上应包括：

1. **构形** 有必要和充分的投影、剖视和剖面以及确定构形大小的尺寸；
2. **技术要求** 有关尺寸、形状所允许的偏差、表面光洁度以及某些特殊的技术要求（平衡、音频和重量等）；
3. **材料** 有关材料牌号、热处理及硬度、材料的无损探伤、毛坯的种类及检验等级等。

在制订工艺过程时，首先应对零件的构造要求进行详细的工艺分析，以便掌握加工要求和保证质量应采取的措施。

#### 二、毛坯图

毛坯图是根据零件图设计的。由于航空及航天产品零件的构形复杂，机械性能要求高，故大部分毛坯采用锻造、铸造或锻材制造。对于一些标准件或强度要求不高的零件，可选用型材作毛坯。

为提高优质材料的利用率和减少加工时的劳动量，以及保证零件内部的质量，常采用较先进的方法来制造毛坯（如小余量或无余量毛坯的辗压，空心锻造等）。

在毛坯图中，应注明毛坯的尺寸及制造公差，标出加工面的加工余量及验收条件等。用型材作毛坯时，则只需写明型材的规格尺寸及制造一个零件所需的长度。

#### 三、生产量

工艺过程必须根据给定的生产量的大小来制订。产品的产量及劳动量的大小，是影响生产类型的主要因素。根据航空及航天产品制造业的特点，与一般机械制造业一样，生产可分为三种基本类型：单件生产、成批生产和大量生产。

1. **单件生产** 这种生产类型的特点是产品的品种多,产量小(一件、几件或几十件),而且不再重复或不定期重复的生产。

由于这种类型的产量小,所以常采用通用的设备及工具。按照这种方式组织生产的一般有工具制造、专用设备制造、以及新产品试制等。

2. **成批生产** 这种生产类型的特点是产品分批地进行生产,按一定时期交替地重复。因批量的不同,成批生产可分为大批生产、中批生产和小批生产三种。大批生产的产品品种有限而产量较大,故常采用接近于大量生产的方式进行。而小批生产则产品的品种繁多而产量不大,其生产方式较接近于单件生产。航空与航天工业的零件生产,按其性质来说一般是属于中小批生产的类型。

成批生产一般采用通用设备及部分专用设备,并广泛地采用专用夹具和工具。

3. **大量生产** 这种生产类型的特点是产品的产量大,大多数工作经常重复进行某一工件的一个工序的加工。常采用专用设备及工艺装备,并广泛采用高生产率率的专用机床、组合机床、自动机床和自动线。航空发动机工厂的叶片车间,一般是按大量生产的类型来组织生产的。

在同一工厂内,甚至在同一车间中,各个工段也可能按照不同的生产类型来组织生产。

生产类型不同,制订工艺过程的详细程度也就不同。在单件生产时,一般只制订工艺路线;在成批和大量生产中,就需要详细地制订工艺过程。由于生产类型不同,无论在生产组织、生产管理、车间布置、工艺装备、设备、工艺方法以及工人的技术等级等各方面的要求,也都有所不同。所以,在制订工艺过程时,必须注意与生产类型相适应。

在制订流水生产的工艺过程时,必须使完成每一工序所需要的时间,等于节律或者为节律的整倍数,以便使机床得到充分的负荷。

**节律** 为加工一个工件时完成一个工序所需的时间,可按下式计算:

$$t = T_1 / Q$$

式中  $T_1$ ——某一段时间;

$Q$ ——在此时间内所加工的工件数。

#### 四、生产条件

工艺过程的制订,可能是在现有工厂的条件下,或者是在新设计的工厂条件下进行。在后一种情况下,可以根据需要并考虑我国当前可能的条件来选择设备,因而可采用较为先进的设备。而在前一种情况下,主要应从现有的机床设备出发来制订较为合理的工艺过程,使现有的设备得到充分利用。

为了发挥现有生产设备的潜力,以提高产品的质量和生产率,机床设备的改装具有十分重要的技术和经济意义。

新技术、新工艺的发展,新设备的不断出现,标志着生产工艺水平的不断提高。因此,为了更好地保证质量、提高劳动生产率、降低生产成本,在制订工艺过程时,也要注意新技术的引用。

## § 1—4 机械加工精度

精度是航空、航天产品制造业中的主要质量指标之一。保证零件规定的加工精度是制订零件加工工艺过程的首要任务。

机械加工精度，是指工件在机械加工后的尺寸、几何形状以及表面间的相对位置等实际几何参数，与设计图所规定的数值相符合的程度。而它们之间不相符合的程度，则称为加工误差。

### 一、零件精度的标志

由分析零件的构形可知，任何零件都是由各种表面组合而成的。在大多数情况下，这些表面都是些很简单的表面，如平面、圆柱面等。另外，简单的直线型面和回转型面，如锥面、球面及螺纹、齿形表面等，应用也较多。更复杂的立体型面，如叶片的叶型等，则应用较少。

零件的精度可以从下列两方面来表示：

#### 1. 表面本身精度：

1) 表面本身的尺寸精度，如圆柱面和球面的直径、锥面的锥角等；  
2) 表面本身的形状精度，如平面度、圆度、圆柱度等（见国标 GB1183-80 中所规定的形状精度）；

#### 3) 表面光洁度。

#### 2. 表面间相对位置精度：

1) 表面间的位置尺寸精度；  
2) 表面间的位置关系精度，如平行度、垂直度、同轴度、圆跳动等（见国标 GB1183-80 中所规定的位置精度）。

任何一种加工方法都不可能加工出绝对准确的零件，总是会产生一些误差的。因此，在制订工艺过程时，应考虑加工的需要与可能来适当规定加工精度。

### 二、零件规定精度的获得方法

零件在加工时，要获得规定精度的方法主要有试削法和自动获得法。

#### 1. 试削法

试削法是经过几次试切走刀而获得规定精度的。每次试切走刀后，进行测量，然后校正切削工具对工件的位置，直到获得所需要的精度时为止。图 1—3a 所示即为在车床上采用试削法加工外圆的情况。

采用试削法加工，往往要进行多次的试切与测量，生产率较低，一般只适用于单件或小批生产。

#### 2. 自动获得精度法

##### 1) 用定尺寸切削工具加工

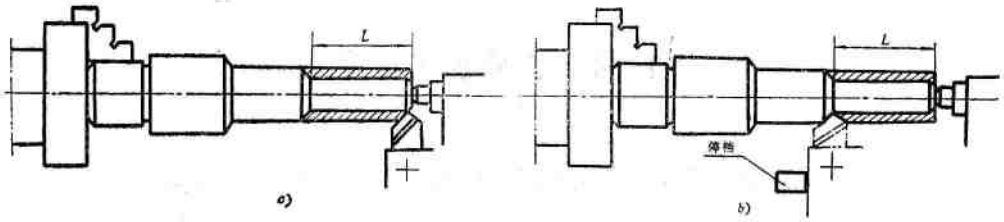


图1-3 获得规定精度的方法

a—试削法加工；

b—定距装刀法加工。

这种方法是采用有一定尺寸和形状的切削工具进行加工，使获得所规定的精度。如用铰刀、拉刀加工孔，用丝锥加工螺孔等。

### 2) 用定距装刀法加工

用定距装刀法获得规定的精度是指利用行程控制装置（挡块、凸轮等）将切削工具调整好，以取得切削工具对加工表面的正确位置，然后加工一批零件，获得所规定的精度。这种方法广泛应用于多刀车床、转塔车床、龙门铣床等半自动和自动机床上。某些通用机床也可进行定距加工，如图1—3b所示即为在车床上采用定距装刀法加工的情况。

这种方法所能得到的加工精度，不仅取决于设备（包括夹具、刀具）调整精度，而且还和加工过程中各因素的稳定性有关。

### 3) 由设备本身保证

由设备本身保证获得规定的精度是指工件在加工后，被加工表面所要求的精度，取决于设备的精度。如在车床上加工端面和外圆，其垂直度就取决于机床的精度。数字程序控制机床的加工，也是由设备本身保证精度的方法。

自动获得精度的方法，是成批生产和大量生产中采用的主要方法，也是机械加工过程自动化的必要条件。因此，关于基准、尺寸和精度等问题的研究，都是以自动获得精度法作为前提条件的。

## § 1—5 基准与定位

在制订工艺过程时，不但要考虑获得表面本身的精度，而且还必须保证表面间的位置精度的要求。这就需要考虑工件在加工过程中的定位、测量等基准问题。

**基准** 是指零件上某些点、线或面，据此以确定零件上其它点、线或面的位置。

### 1. 设计基准

设计基准是零件图上的一个点、线或面，据以标定其它点、线或面的位置。

在零件图上，按零件在产品中的工作要求，用一定的尺寸或位置关系来确定各表面间的相对位置。图1—4所示是三个零件图的部分要求。对平面A来说，平面B是它的设计基准。对平面B来说，A是它的设计基准。它们是互为设计基准的（图1—4a）。D是平面C的设计基准（图1—4b）。在图1—4c上，虽然G和H面之间没有标出一定的尺寸，但有一定的位置关系精度的要求，因此，H是G面的设计基准。

对于整个零件来说，有很多个位置尺寸精度和位置关系精度的要求。但是，在各个方向上，往往有一个主要的设计基准。如图 1—4c 所示的零件， $F$  是轴向的主设计基准。

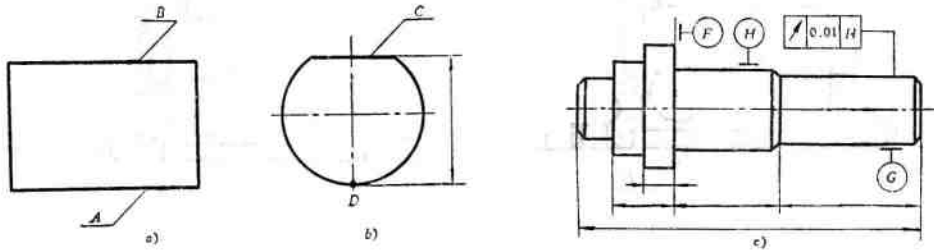


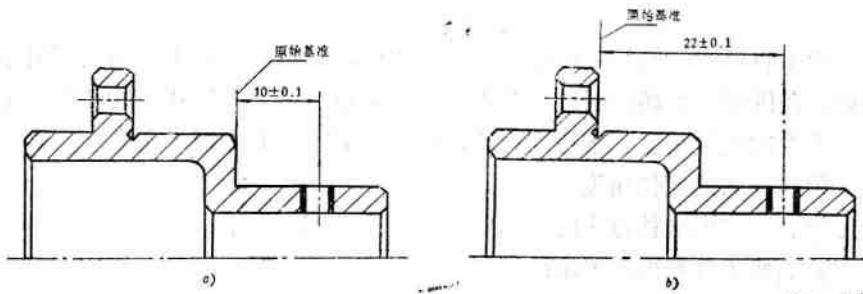
图1—4 设计基准

在制订工艺过程时，要考虑在加工过程中如何获得表面间的位置精度，因此，需要分析工艺基准问题。最常用的工艺基准有原始基准、定位基准和测量基准。

## 2. 原始基准

原始基准是在工序单（或其它工艺文件）中，据以标定被加工表面位置的点、线或面。标定被加工表面位置的尺寸，称为原始尺寸。

图 1—5 所示为钻孔工序的简图。这两种方案对被加工孔的原始基准选择不同，原始尺寸也因之而异。



1—5 原始基准及原始尺寸

## 3. 定位基准

定位基准是工件上的一个面，当工件在夹具上（或直接在设备上）定位时，它使工件在原始尺寸方向上获得确定的位置。

图 1—6 所示为加工某工件的两个工序简图。由于原始尺寸方向的不同，因此要求定位基准的表面也就不同。

## 4. 测量基准

测量基准是工件上的一个表面、表面的母线或表面上的一个点，据以测量被加工表面的位置。

图 1—7 所示为检测被加工平面时所选择的测量基准的两种方案。

零件在机床上的定位，一般有两种不同的方法：校正定位法和非校正定位法。

**校正定位法** 用这种方法定位时，工件在机床上是靠找正的方法来获得所要求的位置。

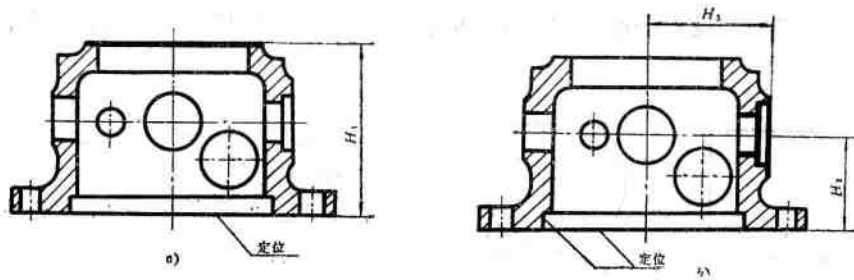


图1—6 定位基准

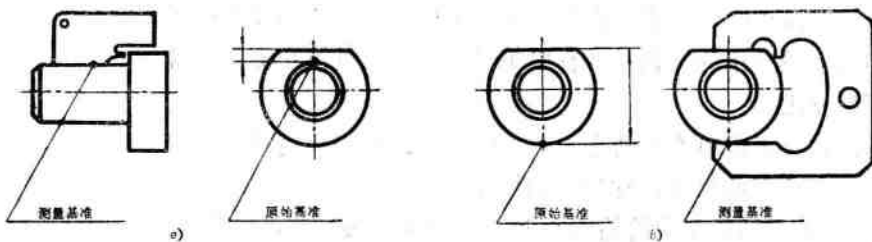


图1—7 测量基准

这种方法的生产率较低，一般只是在单件或小批生产中使用。但对于一些大型复杂的工件，由于毛坯制造比较困难，毛坯的制造精度不高，所以也常采用划线找正的办法。另外，校正定位法还用于工件的定位精度要求特别高的情况（0.01~0.005毫米左右），因为使用夹具很难经济地保证这样高的定位精度。

**非校正定位法** 使用这种方法时，只要使工件上的定位基准和夹具（或设备）上的定位表面相接触，就能使工件获得所要求的位置。这种方法的生产率较高，因此在成批及大量生产时，主要使用这种方法。必须指出，使用这种方法定位时，要求工件的定位基准有一定的精度。

## § 1—6 尺寸链及计算方法

在设计与制造过程中，需要确定表面间的相互位置，因而经常遇到尺寸和精度的计算问题。所以，首先要掌握尺寸链及其计算方法。

### 一、尺寸链

用来决定某些表面间相互位置的一组尺寸，按照一定次序排列成为封闭的链环，称为尺寸链。

在零件图或工艺文件上，为了确定某些表面间的相互位置，可以列出一些尺寸链，在设计图上的称为设计尺寸链，在工艺文件上的称为工艺尺寸链。图 1—8a 所示为某一零件的轴



向尺寸图, 底的厚度  $F_1$  由设计尺寸  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  所确定。尺寸  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  加上  $F_1$  就组成一个设计尺寸链。图 1—8b 所示为该零件的两个工序图, 凸缘厚度  $A_3$  由  $H_1$ 、 $H_3$  所确定, 尺寸  $H_1$ 、 $H_3$  和  $A_3$  组成一个工艺尺寸链。 $H_1$ 、 $H_2$  则与  $F_1$  组成另一个工艺尺寸链。

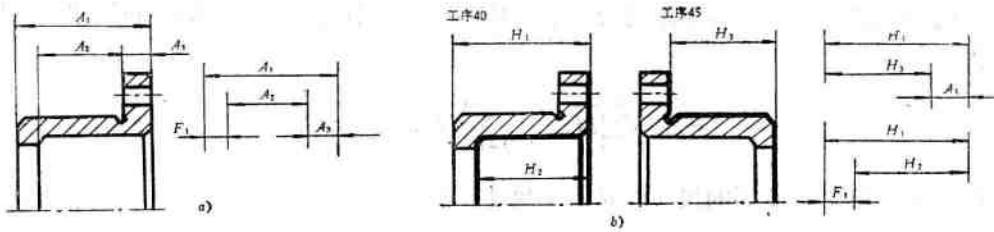


图1—8 设计尺寸链和工艺尺寸链

尺寸链中的每一个尺寸称为尺寸链的环。每个尺寸链环按其性质可分为两类：组成环和封闭环。

**组成环** 直接形成的尺寸称组成环，如设计图上直接给定的尺寸  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  等，在工序图上直接加工保证的尺寸  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $H_3$  等。

**封闭环** 由其他尺寸间接形成的尺寸称为封闭环。如设计尺寸链中， $F_1$  是由  $A_1$ 、 $A_2$ 、 $A_3$  所确定的，所以  $F_1$  是间接形成的，是这个设计尺寸链的封闭环。在工艺尺寸链中， $A_3$  是由  $H_1$ 、 $H_3$  所确定的，所以  $A_3$  是该工艺尺寸链的封闭环。同理，在  $H_1$ 、 $H_2$ 、 $F_1$  的工艺尺寸链中， $F_1$  是封闭环。

组成环按其对封闭环的影响又可分为增环和减环。当组成环增大时，若封闭环也增大，则该组成环称为增环，而当组成环增大反而使封闭环减小时，则该组成环称为减环。如在  $H_1$ 、 $H_3$ 、 $A_3$  三个尺寸组成的尺寸链中， $H_1$  增大会使  $A_3$  也增大，所以  $H_1$  是增环，而  $H_3$  增大时反而使  $A_3$  减小，所以  $H_3$  是减环。

在一个尺寸链中，只有一个封闭环。由于尺寸在图纸上一般均不应标注成封闭的，所以一般都不标注封闭环。如设计尺寸链中， $F_1$  不在图纸上标注。 $A_3$  也不在工艺图纸上标注。

在一个尺寸链中，可以有两个或两个以上的组成环，可以没有减环，但不能没有增环。

封闭环、组成环（增环或减环）是指在一个尺寸链中来说的，某一尺寸在一个尺寸链中是组成环，而在另一个尺寸链中，有可能是封闭环。如尺寸  $A_3$ ，它在设计尺寸链中，对  $F_1$  来讲是组成环（减环），而在  $H_1$ 、 $H_3$  和  $A_3$  组成的工艺尺寸链中，它就是封闭环。

## 二、尺寸链的计算

由于航空、航天工业的特点，对产品的可靠性要求特别高，以及生产类型属于中、小批生产，所以尺寸链常用极值解法，亦即按最不利的情况进行计算。

### 1. 尺寸链的计算方程

根据尺寸链的封闭性，封闭环的基本尺寸应等于各组成环基本尺寸的代数和，即

$$F = \sum_{i=1}^m \vec{H}_i - \sum_{j=1}^{n-m+1} \overleftarrow{H}_j \quad (1-1)$$

式中  $F$ ——封闭环的基本尺寸；  
 $\vec{H}_i$ ——增环的基本尺寸；



$\overleftarrow{H}_j$ ——减环的基本尺寸；

$m$ ——增环的环数；

$n$ ——尺寸链的总环数。

由(1-1)式知，当增环都是最大尺寸，减环都是最小尺寸时，封闭环的尺寸应是最大尺寸，即

$$F_{\max} = \sum_{i=1}^m \vec{H}_{i\max} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \overleftarrow{H}_{j\min}$$

在相反的情况下，封闭环的尺寸应是最小尺寸，即

$$F_{\min} = \sum_{i=1}^m \vec{H}_{i\min} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \overleftarrow{H}_{j\max}$$

由封闭环的最大极限尺寸减去其基本尺寸就是封闭环的上偏差，即

$$\Delta f_s = \sum_{i=1}^m \vec{\Delta}h_{is} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \overleftarrow{\Delta}h_{js} \quad (1-2)$$

同理，由封闭环的最小极限尺寸减去其基本尺寸就是封闭环的下偏差，即

$$\Delta f_x = \sum_{i=1}^m \overleftarrow{\Delta}h_{ix} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \vec{\Delta}h_{jx} \quad (1-3)$$

式中  $\Delta f_s$ 、 $\Delta f_x$ ——封闭环的上、下偏差。

$\vec{\Delta}h_{is}$ 、 $\vec{\Delta}h_{ix}$ ——增环的上、下偏差。

$\overleftarrow{\Delta}h_{is}$ 、 $\overleftarrow{\Delta}h_{ix}$ ——减环的上、下偏差。

(1-1)、(1-2)、(1-3)三式称为尺寸链计算方程，这三式表示的意义是：

封闭环的基本尺寸等于各增环的基本尺寸之和减去各减环的基本尺寸之和。

封闭环的上偏差等于各增环的上偏差之和减去各减环的下偏差之和。

封闭环的下偏差等于各增环的下偏差之和减去各减环的上偏差之和。

由封闭环的极限尺寸（或上、下偏差）即可求出封闭环的公差：

$$\begin{aligned} \Delta f &= F_{\max} - F_{\min} \\ &= \sum_{i=1}^m \vec{H}_{i\max} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \overleftarrow{H}_{j\min} - \left( \sum_{i=1}^m \vec{H}_{i\min} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \overleftarrow{H}_{j\max} \right) \\ &= \sum_{i=1}^m \vec{H}_{i\max} - \sum_{i=1}^m \vec{H}_{i\min} + \left( \sum_{j=m+1}^{n-1} \overleftarrow{H}_{j\max} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \overleftarrow{H}_{j\min} \right) \\ &= \sum_{i=1}^m \vec{\Delta}h_i + \sum_{j=m+1}^{n-1} \overleftarrow{\Delta}h_j \\ &= \sum_{k=1}^{n-1} \Delta h_k \end{aligned}$$

式中  $\Delta f$ ——封闭环的尺寸公差；

$\vec{\Delta}h_i$ ——增环的尺寸公差；

$\overleftarrow{\Delta}h_j$ ——减环的尺寸公差；

$\Delta h_k$ ——组成环的尺寸公差。