

第 2 章 数控加工的工艺基础

本章知识点

- 1. 数控加工工艺的相关基本概念
- 2. 数控加工工艺规程的概念、作用、要求、依据、步骤及格式
- 3. 数控加工工艺的编制过程及要点分析
- 4. 加工余量的概念及计算
- 5. 工序尺寸及公差计算
- 6. 零件加工质量的相关概念、影响因素分析及改善措施

先导案例

如图 2-1 所示的轴类零件，使用性能要求一般，试根据零件图要求分析其加工工艺。

此案例考核数控加工技术工人和基层技术管理人员所必备的知识能力，本章将通过理论知识的学习帮助读者逐步学会零件的加工工艺分析。

2.1 基本概念

2.1.1 生产过程

1. 生产过程

生产过程是指产品由原材料转变为成品的全部过程。对机械产品的制造而言，其生产过

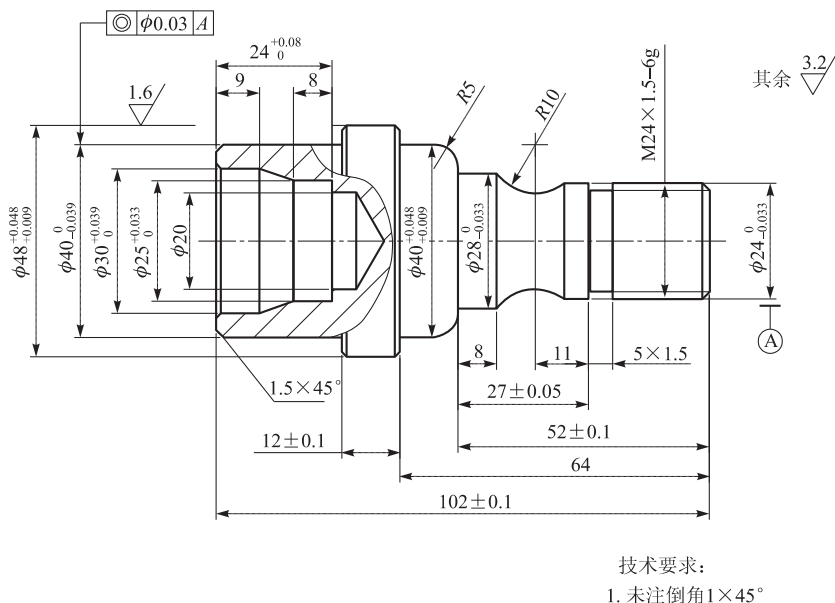


图 2-1 典型轴类零件

程主要包括下列过程:

(1) 生产技术准备过程

如产品的开发和设计、工艺设计、专用工艺装备的设计与制造、各种生产资料的准备以及生产组织等方面的准备工作。

(2) 毛坯的制造过程

如铸造、锻造、热轧、冲压和焊接等。

(3) 零件的机械加工与热处理过程

如机械加工、焊接、热处理和其他表面处理等。

(4) 产品的装配过程

包括组装、部装、总装、调试及油漆等工作。

(5) 辅助劳动过程

如工具的供应、设备的维修以及产品的包装、保管和发运等。

2. 工艺过程及机械加工工艺过程

由上述过程可以看出,机械产品的生产过程是相当复杂的。在这些过程中,改变原材料使其成为成品或半成品的过程称为工艺过程。它是生产过程的主要部分,如毛坯制造、机械加工、热处理和装配等。采用机械加工的方法,直接改变毛坯的形状、尺寸和表面质量等,使其成为零件的过程称为机械加工工艺过程。数控加工作为现代机械加工的发展方向,其工

艺过程与传统机械加工工艺相类似，只是其工艺特点和要求更为详细，更为严谨。

2.1.2 工艺过程的组成

机械加工工艺过程是由一个或若干个顺序排列的工序所组成，而每一个工序又可分为若干个安装、工位、工步、走刀。

1. 工序

一个或一组工人，在同一个工作地点，对一个或同时对一批工件连续完成的加工过程，称为一道工序。划分工序的主要依据一般为工作地点（或加工设备）的更换。需要注意的是，随着车间的生产条件和生产批量不同，同一种零件的工序划分及每一道工序所包含的内容也不同。如图 2-2 所示，当阶梯轴的生产类型为单件小批生产时，其加工工艺及工序划分见表 2-1；当生产类型为成批生产时，其加工工艺及工序划分见表 2-2。

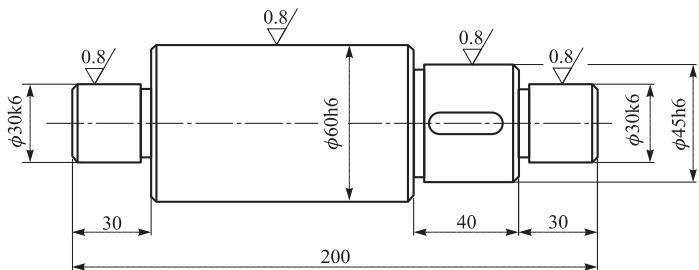


图 2-2 阶梯轴简图

表 2-1 单件小批生产阶梯轴的加工工艺过程

工序号	工 序 内 容	设备
1	车端面、钻中心孔、车全部外圆、切槽与倒角	车床
2	铣键槽、去毛刺	铣床
3	磨外圆	外圆磨床

表 2-2 成批生产阶梯轴的加工工艺过程

工序号	工 序 内 容	设备
1	铣端面、钻中心孔	组合机床
2	车外圆、切槽与倒角	车床
3	铣键槽	铣床
4	去毛刺	钳工台
5	磨外圆	外圆磨床

工序是组成机械加工工艺过程的基本单元，也是生产计划的基本单元。

2. 安装

加工之前，工件在机床上或夹具中占据某一正确位置的过程称为定位。工件定位后将其固定，使其在加工过程中保持定位位置不变的操作称为夹紧。工件经一次定位夹紧所完成的那一部分加工过程称为一次安装。在一道工序中，工件的加工可能要进行一次或多次安装。表2-1所列的工序1要进行两次安装：先定位夹紧工件一端，车端面、钻中心孔、车部分外圆，称为安装1；然后调头定位夹紧工件，车另一端面、钻中心孔、车其余外圆、切槽与倒角，称为安装2。

为了减少安装时间和安装误差，工件在加工中应尽量减少安装次数。

3. 工位

为了减少工件安装的次数，常采用各种回转工作台、回转夹具或移位夹具，使工件在一次安装中先后处于几个不同位置进行加工。

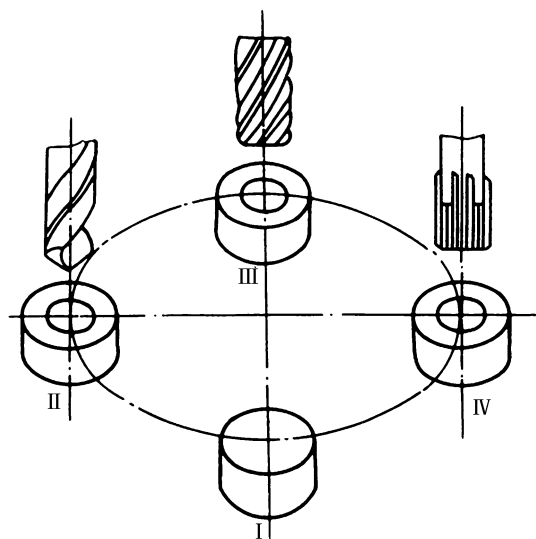


图 2-3 多工位加工实例

此时，工件相对于机床（刀具）每占据一个位置所完成的那部分加工过程称为一个工位。图2-3为一多工位机床，利用回转工作台在一次安装中完成工件装卸（I工位）、钻孔（II工位）、扩孔（III工位）、铰孔（IV工位）4个工位的加工。

4. 工步

在一个安装或工位中，加工表面、切削刀具及切削用量都不变的情况下所连续完成的加工内容称为一个工步。这里所指的切削用量是指主轴转速和进给量，不包括切深（或称背吃刀量）。构成工步的任一要素（加工表面、刀具及切削用量）改变后，一般即变为另一工步。表2-2所列的工序1中，铣端面、钻

中心孔应视为两个工步；工序3中铣键槽只有一个工步。再例如，工件同一表面的粗、精加工应视为两个工步。在自动、半自动机床上自动变更切削用量应为一个工步。

为了简化工艺文件，对于在一次安装中连续进行的若干个相同加工内容，通常看作一个工步。如图2-4所示，工件上进行4个 $\phi 15$ mm孔的钻削，可写成一个工步，即钻 $4 \times \phi 15$ mm孔。

有时为了提高生产效率，同时用几把刀具分别加工几个表面的工步，称为复合工步。复合工步应视为一个工步，如图2-5所示。

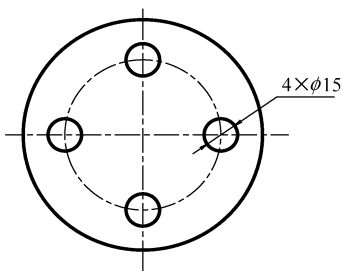


图 2-4 多个相同表面加工的工步实例

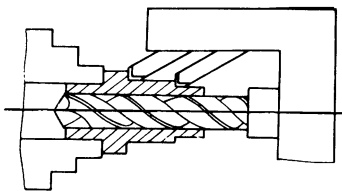


图 2-5 复合工步实例

5. 走刀

在一个工步内，若被加工表面需要切除的材料很厚，可分为几次切削，则每切削一次完成的加工内容为一次走刀。

图 2-6 为工序、安装、工位、工步和走刀的关系示意图。

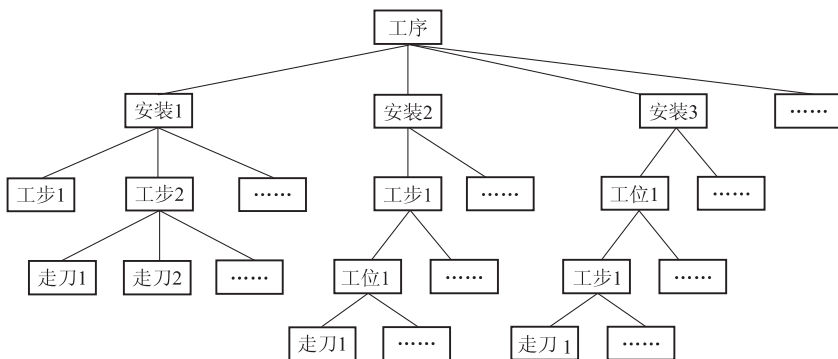


图 2-6 工序、安装、工位、工步和走刀间的关系

2.1.3 生产纲领、生产类型及其工艺特征

机械产品加工工艺过程取决于企业的生产类型，而企业的生产类型又由生产纲领决定。

1. 生产纲领

生产纲领是指企业在计划期内应当生产的产品的产量。计划期常定为 1 年，所以生产纲领也称年产量。零件的生产纲领要计入备品和废品的数量，其计算公式为

$$N = Qn(1 + a + b) \quad (2.1)$$

式中， N ——零件的年生产纲领，件/年；

Q ——产品的年生产纲领，台/年；

n ——每台产品中该零件的数量，件/台；

- a ——备品的百分率；
- b ——废品的百分率。

2. 生产类型

生产类型是指企业（或车间、工段、班组、工作地）生产专业化程度的分类。生产类型的划分一方面要考虑生产纲领，另一方面要考虑产品本身的大小和结构的复杂性，通常可分为单件生产、成批生产（包括小批生产、中批生产和大批生产）和大量生产3种类型。表2-3列出了生产纲领和生产类型的大致关系。

表 2-3 生产纲领和生产类型的关系

生产类型	零件的生产纲领/（件·年 ⁻¹ ）		
	重型零件	中型零件	轻型零件
单件生产	<5	<20	<100
小批生产	5 ~ 100	20 ~ 200	100 ~ 500
中批生产	100 ~ 300	200 ~ 500	500 ~ 5 000
大批生产	300 ~ 1 000	500 ~ 5 000	5 000 ~ 50 000
大量生产	>1 000	>5 000	>50 000

（1）单件生产

产品种类多，同一产品的产量少，各个工作地的加工对象经常改变，而且很少重复生产。例如重型机械产品制造，新产品试制和专用设备、工艺装备的制造。

（2）成批生产

产品品种较多，每种产品均有一定的数量，各种产品是分期分批地轮流进行生产。例如机床、机车、电机和纺织机械的制造。

同一产品（或零件）每批投入生产的数量称为批量。根据产品的特征和批量的大小，成批生产可分为小批生产、中批生产和大批生产。从工艺特点看，小批生产和单件生产工艺特点相似，大批生产和大量生产工艺特点相似，中批生产的工艺特点则介于两者之间。

（3）大量生产

产品产量大，品种少，大多数厂家按照一定的生产节拍进行某种零件的某道工序的重复加工。例如汽车、柴油机、轴承的制造。

表2-4列出了各类生产类型的工艺特点比较。由表可知，不同生产类型的零件的加工工艺有很大不同。产量大、产品固定时，可以采用各种高效率的专用机床和专用工艺装备，因此生产效率高、生产成本低；但在产量小、品种多时，不宜采用专用机床和专用工艺装

备，因为机床调整时间长、利用率低、折旧率高，成本反而增加。所以生产类型对工艺规程的制定影响很大。

表 2-4 各类生产类型的工艺特点

生产类型 特点	单件生产	成批生产	大量生产
加工对象	经常变换	周期性变化	固定不变
机床	通用机床、数控机床	通用、数控或专用机床	专用或自动机床
机床布局	机群式布置	流水线	流水线或自动线
夹具	通用夹具或组合夹具 必要时采用专用夹具	广泛使用专用夹具	高效率的专用夹具
刀具	通用刀具	通用或专用刀具	高效率的专用刀具
量具	通用量具	通用或专用量具	高效率的专用量具
毛坯制造精度	低	较高	高
安装方法	划线找正	划线找正或使用夹具	全部使用夹具
生产周期	不固定	周期性重复	长时间连续生产
生产效率	低	一般	高
成本	高	一般	低
工人技术水平要求	高	一般	低
工艺文件	简单，一般为工艺过程卡片	比较详细	详细编制

2.2 机械加工工艺规程的制定

用表格的形式规定机械零件制造工艺过程 and 操作方法等的工艺文件称为机械加工工艺规程。它是根据工厂具体的生产条件确定合理的工艺过程 and 操作方法，并按规定的格式书写成文件，经审批后用来指导生产的。

2.2.1 机械加工工艺规程制定的作用、基本要求、主要依据、步骤和格式

1. 机械加工工艺规程的作用

① 工艺规程是指导生产的主要技术文件。工艺规程是在总结广大工人和技术人员实践经验的基础上，依据工艺理论和必要的工艺试验而制定的。按照工艺规程组织生产可以实现高质、优产和最佳的经济效益。

② 工艺规程是生产、组织和管理工作的基本依据。从工艺规程所涉及的内容可以看出：在生产管理中，原材料和毛坯的供应，机床设备、工艺装备的调配，专用工艺装备的设计和制造，作业计划的编排，劳动力的组织以及生产成本的核算等都是以工艺规程作为基本依据的。

③ 工艺规程是生产准备和技术准备的基本依据。根据工艺规程能正确地确定生产所需的机床和其他设备的种类、规格、数量，车间的面积，机床的布置，工人的工种、等级和数量以及辅助部分的安排等。

2. 制定机械加工工艺规程的基本要求

制定工艺规程的基本要求是在保证产品质量的前提下，尽量提高生产效率和降低成本，使经济效益最大化。另外，还应在充分利用本企业现有生产条件的基础上，尽可能采用国内外的先进工艺技术和经验，并保证工人具有良好而安全的劳动条件。同时工艺规程还应做到正确、完整、统一和清晰，所用术语、符号、单位、编号等都要符合相应标准，并积极采用国际标准。

3. 制定机械加工工艺规程的主要依据

① 产品的全套装配图和零件图。

② 产品的技术设计说明书。它是针对技术设计中确定的产品结构、工作原理和技术性能等方面的说明性文件。

③ 产品的验收质量标准。

④ 产品的生产纲领及生产类型。

⑤ 工厂的生产条件。包括毛坯的生产条件或协作关系，工厂设备和工艺装备的情况，专用设备和专用工艺装备的制造能力，工人的技术等级，各种工艺资料，如工艺手册、图册和各种标准。

⑥ 国内外同类产品的有关工艺资料。

4. 制定机械加工工艺规程的步骤

① 收集和熟悉制定工艺规程的有关资料图纸，进行零件的结构工艺性分析。

② 确定毛坯的类型及制造方法。

③ 选择定位基准。

④ 拟定工艺路线。

- ⑤ 确定各工序的工序余量、工序尺寸及其公差。
- ⑥ 确定各工序的设备,刀、夹、量具和辅助工具。
- ⑦ 确定各工序的切削用量及时间定额。
- ⑧ 确定主要工序的技术要求及检验方法。
- ⑨ 进行技术经济分析,选择最佳方案。
- ⑩ 填写工艺文件。

5. 机械加工工艺规程的格式

1) 机械加工工艺规程的一般格式

① 机械加工工艺过程卡片描述整个零件加工所经过的工艺路线(包括毛坯、机械加工和热处理等)。它是制定其他工艺文件的基础,也是生产技术准备、编制作业计划和组织生产的依据。这种卡片由于各工序的说明不够具体,故一般不能直接指导工人操作,多作为生产管理方面使用。其格式见表2-5。

② 机械加工工艺卡片是以工序为单位详细说明整个工艺过程的工艺文件。它是用来指导工人生产和帮助车间管理人员和技术人员掌握整个零件加工过程的一种主要技术文件,广泛用于成批生产的零件和小批生产中的重要零件。其格式见表2-6。

③ 机械加工工序卡片是在工艺过程卡片的基础上按每道工序所编写的一种工艺文件,一般具有工序简图,并详细说明该工序的每一个工步的加工内容、工艺参数、操作要求以及所用设备和工艺装备等。主要用于大批大量生产中所有零件、中批生产中的重要零件和单件小批生产中的关键工序。其格式见表2-7。

2) 数控加工专用技术文件的格式

数控加工是由传统机械加工发展而来的,故加工工艺规程的制定及格式与传统机械加工相似。但根据数控加工的特点和需要,数控加工工艺规程需编制一些专用技术文件。这些专用技术文件既是数控加工及产品验收的依据,也是需要操作者遵守、执行的规程,有的则是加工程序的具体说明或附加说明,目的是让操作者更加明确程序的内容、装夹方式、各个加工部位所选用的刀具及其他问题。为加强技术文件管理,数控加工专用技术文件也应标准化、规范化,但目前国内尚无统一的标准,下面介绍几种数控加工专用技术文件,供参考使用。

(1) 数控加工工序卡

数控加工工序卡与普通加工工序卡有许多相似之处,只是所附的工艺草图应注明工件坐标系的位置、对刀点,要进行编程的简要说明,如所用机床型号、程序介质、程序编号、刀具编号、刀具补偿方式以及切削参数(即主轴转速、进给速度、最大切削深度等)的确定。表2-8为数控加工某工序卡例。

表 2-5 机械加工工艺过程卡片

(工厂)			机械加工工艺过程卡片					产品型号		零(部)件图号		共	页			
								产品名称		零(部)件名称		第	页			
材料牌号		毛坯种类	毛坯外形尺寸	工 序 内 容				每毛坯件数		每台件数	备注					
工序号	工序名称								车间	工段	设 备	工 艺 装 备		工 时	单件	
														准终		
标记	处记	更改文件号	签字	日期	标记	处记	更改文件号	签字	日期	编制(日期)	审核(日期)	会签(日期)				

表 2-6 机械加工工艺卡片

[illegible]

表 2-7 机械加工工序卡片

(工厂)		机械加工工序卡片				产品型号			零(部)件图号			共 页													
						产品名称			零(部)件名称			第 页													
材料牌号		毛坯种类		毛坯外形尺寸		每毛坯件数		每台件数		备注															
(工序草图)													车 间	工 序 号	工 序 名 称		材 料 牌 号								
													毛坯种类	毛坯外形尺寸	毛坯件数		每 台 件 数								
													设备名称	设备型号	设备编号		同时加工件数								
													夹具编号		夹具名称		冷 却 液								
																							工 序 工 时		
																							准 终		单 件

续表

[illegible]

表 2-8 数控加工某工序卡例

工厂	数控加工工序卡片		产品名称或代号		零件名称		材料	零件图号
	(图 略)				盖板		HT 200	
工序号	程序编号	夹具名称	夹具编号		使用设备		车 间	
		台钳	XH714					
工步	加工内容		加工面	刀具号	刀具规格 /mm	主轴转速/ (r · min ⁻¹)	进给速度/ (mm · min ⁻¹)	切削深度 /mm
1	粗铣 B 平面留余量 0.5 mm			T01	φ100	300	70	3.5
2	精铣 B 平面至尺寸			T13	φ100	350	50	0.5
3	粗镗 φ60H7 孔至 φ58 mm			T02	φ50	400	60	
4	半精镗 φ60H7 孔至 φ59.95 mm			T03	φ59.95	450	50	
5	精镗 φ60H7 孔至尺寸			T04	φ60H7	500	40	
6	钻 4 × φ12H8 及 4 × M16 中心孔			T05	φ3	1 000	50	
7	钻 4 × φ12H8 至 φ10 mm			T06	φ10	600	60	
8	扩 4 × φ12H8 至 φ11.85 mm			T07	φ11.85	300	40	
9	铰 4 × φ16 mm 至尺寸			T08	φ16	150	30	
10	铰 4 × 12H8 至尺寸			T09	φ12H8	100	40	
11	钻 4 × M16 底孔至 φ14 mm			T10	φ14	450	60	
12	倒 4 × M16 底孔端角			T11	φ18	300	40	
13	攻 4 × M16 螺纹孔			T12	M16	100	200	
编制		审核			批准		共 1 页	

（2）数控刀具调整单

数控刀具调整单主要包括数控刀具卡片（简称刀具卡）和数控刀具明细表（简称刀具表）两部分。

数控加工时，对刀具的要求十分严格，一般要在机外对刀仪上预先调整好刀具直径和长度。刀具卡主要反映刀具编号、刀具结构、刀柄规格、组合件名称代号、刀片型号和材料等，它是组装刀具和调整刀具的依据。

数控刀具卡片的格式见表 2-9。

数控刀具明细表是调刀人员调整刀具输入的主要依据，详见表 2-10。

表 2-9 数控刀具卡片例

零件图号		ISO102-4		数控刀具卡片			使用设备
刀具名称		镗刀					TC-30
刀具编号		T13003	换刀方式	自动	程序编号		
刀具组成	序号	编号		刀具名称	规格/mm	数量	备注
	1	7013960		拉钉		1	
	2	390.140-5063050		刀柄		1	
	3	391.35-4063110M		镗刀杆		1	
	4	448S-405628-II		镗刀体		1	
	5	2148C-33-1103		精镗单元	$\phi 50 \sim \phi 72$	1	
	6	TRMR110304-21SIP		刀片		1	

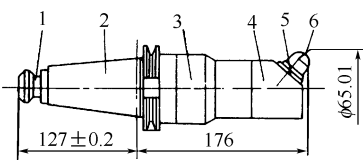


表 2-10 数控刀具明细表格式

产品名称 或代号		零件图号		材料	HT200	零件名称	盖板	
工步	刀具号	刀具名称	刀柄型号		直径 /mm	长度 /mm	补偿 /mm	备注
1	T01	面铣刀 $\phi 100$	BT40-XM32-75		$\phi 100$			
2	T13	面铣刀 $\phi 100$	BT40-XM32-75		$\phi 100$			
3	T02	镗刀 $\phi 58$	BT40-TQC50-180		$\phi 58$			
4	T03	镗刀 $\phi 59.95$	BT40-TQC50-180		$\phi 59.95$			
5	T04	镗刀 $\phi 60H7$	BT40-TW50-140		$\phi 60H7$			
6	T05	中心钻 $\phi 3$	BT40-Z10-45		$\phi 3$			
7	T06	麻花钻 $\phi 10$	BT40-M1-45		$\phi 10$			
8	T07	扩孔钻 $\phi 11.85$	BT40-M1-45		$\phi 11.85$			
9	T08	阶梯铣刀 $\phi 16$	BT40-MW2-55		$\phi 16$			
10	T09	铰刀 $\phi 12H8$	BT40-M1-45		$\phi 12H8$			
11	T10	麻花钻 $\phi 14$	BT40-M1-45		$\phi 14$			
12	T11	麻花钻 $\phi 18$	BT40-M2-50		$\phi 18$			
13	T12	机用丝锥 M16	BT40-G12-130		M16			

（3）数控加工程序说明卡

实践证明，仅依据加工程序单和工艺规程来进行实际加工还有许多不足之处。由于操作者对程序的内容不够清楚，对编程人员的意图不够理解，经常需要编程人员在现场进行口头解释、说明与指导，这种做法对单件加工情况还能应付，而对于长期批量的生产，会遇到许多麻烦。因此，对加工程序进行必要的详细说明是很有用的，特别是对于那些需要长时间保留和使用的程序尤其重要。

（4）数控加工走刀路线图

在数控加工中，常常要注意并防止刀具在运动中与夹具、工件等发生意外的碰撞，为此必须设法告诉操作者关于编程中的刀具运动路线，使操作者在加工前就有所了解，同时应计划好夹紧位置并控制夹紧元件的高度，这样可以减少事故的发生。此外，对有些被加工零件由于工艺性问题必须在加工中挪动夹紧位置的，也需要事先告诉操作者，以防出现安全问题。这些用程序说明卡和工序说明卡是难以说明或表达清楚的，而用走刀路线图加以说明效果会更好。

数控加工专用技术文件在生产中通常可指导操作工人按程序正确加工，同时也可对产品的质量起到保证作用，有的甚至是产品制造的重要依据。所以，在编写数控加工专用技术文件时，应保证准确、明了。需要长期使用的程序和文件要统一编号，办理存档手续，建立相应的管理制度。

实际生产中，并不需要各种文件样样俱全，企业一般根据各自工艺条件和产品需要有所增减。工艺规程经厂级工艺管理机构审定后，它就成为工厂生产中的法规，有关人员必须严格执行，不得随意变更。随着科学技术的进步和生产的发展，工艺规程在实施过程中会出现某些不相适应的问题，因而需定期整顿，及时采用合理的建议、技术革新成果、新技术和新工艺，使工艺规程更加完善和合理。

2.2.2 零件的工艺分析

在制定零件的机械加工工艺规程之前，要对零件进行深入细致的工艺分析。

- ① 结合装配图，了解零件在机器中的装配位置、装配方法及零件的作用。
- ② 根据零件的性能，分析零件图所规定的加工质量和技术要求指标是否合理，加工中如何保证。
 - a. 零件各加工表面的尺寸精度。
 - b. 零件各加工表面的几何形状精度。
 - c. 零件各加工表面之间的相互位置精度。
 - d. 零件各加工表面的表面质量。
 - e. 分析其他技术要求，如热处理、动平衡、探伤等。

如图2-7所示，汽车的吊耳内侧面与板弹簧要求是不接触的，所以吊耳侧面的粗糙度

可由原设计 $Ra = 3.2 \mu\text{m}$ 增大到 $Ra = 12.5 \mu\text{m}$, 这样就可以在铣削时增大进给量, 提高生产效率。

③ 分析零件所选用的材料是否恰当。如图 2-8 所示, 零件方销原选用的材料为 T8A, 方头部分要求淬硬到 HRC55~60, 但零件上有一个 $\phi 2\text{H7}$ 的孔是在装配时配作的。零件总长 15 mm, 方头部分长 4 mm, 淬火时势必全部淬硬, 以致 $\phi 2\text{H7}$ 孔不能配作。若材料改用 20Cr 渗碳淬火, 对方头以外部分进行去碳加工, 淬火时由于含碳量低而淬不硬, 这样就可以在装配时配作。

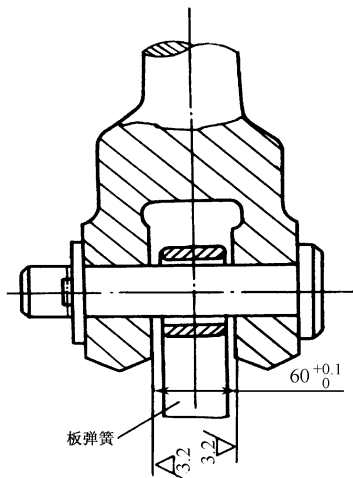


图 2-7 汽车吊耳与板弹簧的配合

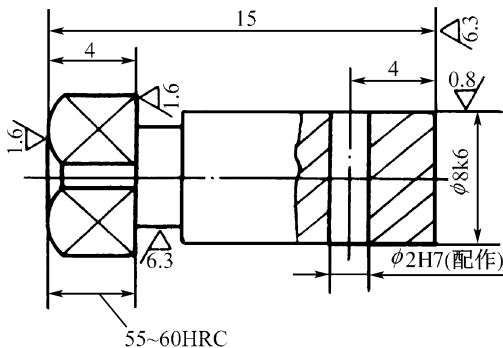


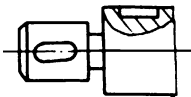
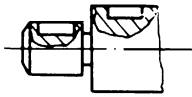
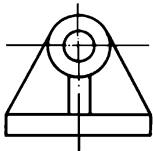
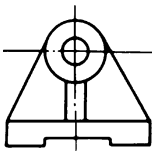
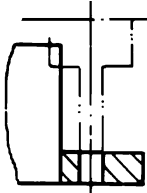
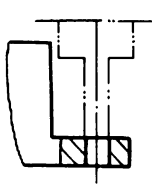
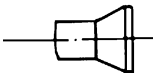
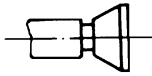
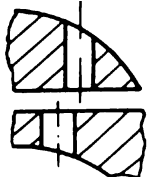
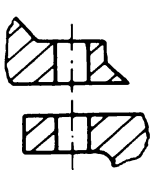
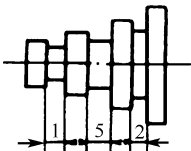
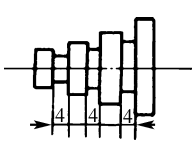
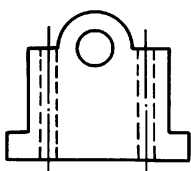
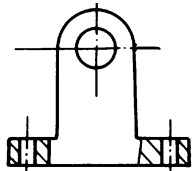
图 2-8 方销

④ 对零件的结构工艺性进行分析。所谓零件的结构工艺性, 是指所设计的零件在满足使用要求的前提下制造的可行性和经济性。它包括零件整个制造过程中的工艺性, 有铸造、锻造、冲压、焊接、热处理和切削加工等工艺性能。由此可见, 零件的结构工艺性涉及面很广, 必须进行全面、综合分析。

在机械加工工艺规程制定时, 主要进行零件切削加工工艺性分析。使用性能完全相同而结构不同的两个零件, 它们的加工方法与制造成本可能有较大的差别。表 2-11 列出了一些零件结构工艺性的实例, 供分析时参考。

零件的工艺分析是制定工艺规程中很重要的环节, 必须认真细致地进行, 不可有遗漏或疏忽之处。在分析过程中如有问题, 应会同有关设计人员共同商量, 经过审批予以必要的修改。

表 2-11 零件结构工艺性实例

序号	主要要求	结构工艺性		工艺性好的优点
		不好	好	
1	减少零件装夹次数			① 减少安装误差 ② 提高生产率
2	减少加工面积			① 减少加工量 ② 减少材料和刀具损耗 ③ 零件底面接触面积小，稳定性好
3	避免孔的位置与壁面太近			① 可采用标准刀具加工 ② 减少刀具长度 ③ 提高加工精度
4	设置退刀槽			① 便于加工； ② 保证加工精度
5	设置砂轮越程槽			① 便于加工 ② 保证加工精度
6	避免孔加工钻头引偏			① 避免刀具损坏 ② 提高孔的精度
7	加工尺寸尽量一致			① 减少刀具种类 ② 减少换刀时间
8	避免深孔加工			① 避免刀具损坏 ② 提高孔的精度 ③ 节省零件材料 ④ 提高生产效率

2.2.3 零件毛坯的选择

毛坯的形状和尺寸越接近成品零件（毛坯精度越高），则零件的机械加工劳动量越少，材料消耗率也越低，因而可提高生产效率，降低成本，但毛坯制造费用也提高了。所以，毛坯的选择应根据零件的生产纲领，综合考虑毛坯制造费用和零件加工费用来确定，以求得最佳方案。

1. 毛坯的种类

（1）铸件

形状复杂或尺寸较大的毛坯宜采用铸造方法，铸件的材料一般为铸铁（常用的有灰口铸铁、可锻铸铁、球墨铸铁）、铸钢、铜及铝合金，其中以灰口铸铁和铸钢最常用。目前生产中以砂型铸造为主，在精度要求和生产效率较高的场合，可采用金属型铸造和压力铸造，对于一些尺寸较小、精度较高的特殊形状铸件可采用熔模铸造、离心铸造等特种铸造。

（2）锻件

加工余量小、精度高、性能好的毛坯宜采用锻造方法，锻件的材料一般为碳钢及合金钢。常用的锻造方法有自由锻和模锻。自由锻锻件精度低，加工余量大，生产效率低，适用于单件小批生产及大型锻件；模锻精度高，加工余量小，生产效率高，适用于产量较大的中小型锻件。

（3）型材

型材有热加工和冷加工两大类。热加工型材尺寸较大、精度较低，多用于一般零件的毛坯；冷加工型材尺寸较小、精度较高，多用于精度要求高的中小型零件。

（4）焊接件

焊接件通过电焊、气焊、氩弧焊等焊接方式制造毛坯。焊接会造成零件的变形和切削加工困难，通常需通过时效热处理解决，一般用于大型零件的单件小批生产中。

2. 毛坯的选择

在选择零件毛坯时，主要考虑以下因素：

（1）零件的材料及其力学性能

零件的材料大致确定了毛坯的种类。例如，材料为铸铁的零件就用铸件毛坯。材料为钢材的零件，当形状不复杂而机械性能要求又不高时可选用型材；形状复杂、机械性能要求较高时可选用铸件；当机械性能要求高而形状较简单时可选用锻件。

（2）零件的结构形状及外形尺寸

阶梯轴零件各台阶的直径相差不大时，可用棒料（型材）；直径相差较大时，宜用锻件。零件尺寸较大时，一般采用自由锻；中小型零件可选用模锻。对于形状复杂的零件，毛坯常用铸造方法，尺寸大的铸件宜用砂型铸造，中小型零件可用较先进的压力铸造和特种铸造，薄壁零件则不宜用砂型铸造。

（3）生产纲领

大批量生产时应采用精度和生产效率都较高的毛坯制造方法。这时所增加的毛坯制造费用可由减少材料的消耗费用和机械加工费用来补偿。如铸件可采用金属模或精密铸造；锻件可采用模锻、冷轧等方式。单件小批生产则采用精度和生产效率都较低的毛坯制造方法，以降低生产成本。

（4）生产条件

选择毛坯时必须结合本厂毛坯制造的生产条件、生产能力、对外协作的可行性。有条件时应积极组织专业化生产，以保证毛坯质量和提高经济效益。

（5）积极推广应用新工艺、新技术和新材料

目前，毛坯制造方面的新工艺、新技术和新材料的发展很快。例如精铸、精锻、冷轧、冷挤压、粉末冶金和工程塑料等在机械制造中的应用日益广泛。应用这些方法后，可大大减少机械加工量，有时甚至可不再进行机械加工，其经济效益明显提高。

2.2.4 工件的定位和定位基准的选择

制定机械加工工艺规程时，正确选择定位基准对零件加工的尺寸精度和相互位置精度、加工顺序的安排、余量的合理分配、工艺装备的结构都有很大影响。

1. 零件加工的方法

为了保证零件加工面的尺寸、形状和相互位置精度，常用的加工方法有：

（1）试切法

操作工人在每一工步或走刀前进行对刀，然后试切一小段工件，退刀测量其尺寸，再根据测量尺寸调整好刀具位置，再次试切、测量、调整，直至达到尺寸精度要求后才加工这一尺寸的全部表面的方法，称为试切法。

试切法的生产效率低，对工人技术水平要求高，多用于单件、小批生产。

（2）调整法

先按规定尺寸调整好机床、夹具、刀具和工件的相对位置及进给行程，从而保证在加工时自动获得尺寸的加工方法，称为调整法。

根据加工方法的不同，调整法可以分为静调整法和动调整法两类。静调整法是指在不切削的情况下，用对刀块或样板来调整刀具的位置。动调整法是按试切零件进行调整，待所有试切零件合格后再进行批量加工。动调整法的加工精度要比静调整法高。

调整法的生产效率大大提高，但零件的加工精度取决于机床、夹具的精度和调整误差，多用于成批、大量生产中。

（3）尺寸刀具法

尺寸刀具法是用定尺寸刀具加工获得尺寸精度的方法。多用于孔加工，常用刀具为钻头、铰刀、镗刀块、拉刀及各种成形刀具等。

用尺寸刀具法加工可以获得较高的精度和生产效率，但由于刀具磨损后尺寸不能补偿，因此成本较高，多用于批量生产中。

（4）主动测量法

主动测量法是在加工过程中边加工边测量加工尺寸，达到要求时立即停止的加工方法。

主动测量法加工精度高，质量稳定，生产效率也高，但设备成本较高，一般用于大批量的生产中。

2. 工件定位的方法

（1）直接找正法

直接找正法是工件定位时由工人用百分表、划针或目测的方法在机床上直接找正某些表面，以保证被加工表面位置精度的一种方法。如图 2-9 所示，在磨床上磨削工件内孔前，用百分表找正工件外圆，以保证工件内孔与外圆同心。

直接找正法的定位精度和找正速度的快慢，取决于找正精度、找正方法、找正工具和工人的技术水平，一般要花费较多的时间，故生产效率低，多用于单件小批生产或位置精度要求特别高的工件。

（2）划线找正法

划线找正法是先在工件上用工具标出加工表面的位置，再在安装工件时用划针按划线找正工件的方法。一般划线由钳工完成。如图 2-10 所示。

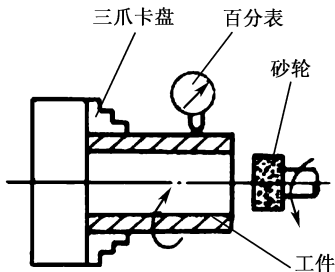


图 2-9 直接找正法实例

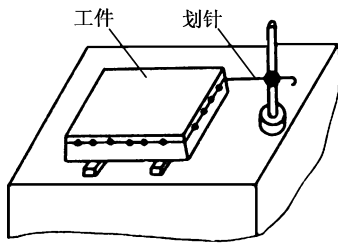


图 2-10 划线找正法实例

划线找正法由于受到划线精度和找正精度的限制，定位精度和生产效率都较低，多用于批量较小、毛坯精度较低以及不便于使用夹具的大型零件的粗加工中。

（3）夹具定位法

夹具定位法是用夹具上的定位元件使工件获得正确位置的方法。

采用夹具定位法时工件定位迅速可靠，定位精度和生产效率都较高，故应用广泛，尤其适用于成批和大量生产。

3. 定位基准的选择

在机械加工过程中，凡是用未经加工的毛坯表面作为定位基准，这种基准称为粗基准。

用加工过的表面作为定位基准，则称为精基准。为了满足工艺需要，在工件上专门设计的定位面称为辅助基准，如工艺台、工艺孔等。根据工件加工的工艺过程，下面分别阐述粗、精基准选择的基本原则。

（1）粗基准的选择

粗基准的选择主要应考虑到加工表面与不加工表面之间的位置要求、各加工表面加工余量的合理分配以及定位精度和装夹的可靠性。因此，在选择粗基准时一般要遵循下列原则：

① 相互位置要求原则。为了保证加工面和不加工面之间的相互位置要求，一般选择与加工面有相互位置要求的不加工面为粗基准。

如图 2-11 所示，毛坯铸造时内孔和外圆有偏心，若采用不加工的外圆表面为粗基准加工内孔，则内孔和外圆是同轴的，即壁厚均匀，而内孔的加工余量不均匀。

当工件上有多个不加工面与加工面之间有位置要求时，应选择其中位置要求较高的不加工面为粗基准。

② 毛坯余量最小原则。为了保证各加工面都有足够的加工余量，应选择毛坯余量最小的面为粗基准。

如图 2-12 所示，一阶梯轴需加工两外圆表面，因 $\phi 55$ mm 外圆的余量较小，故应选 $\phi 55$ mm 外圆为粗基准。如果选 $\phi 108$ mm 外圆为粗基准加工 $\phi 55$ mm 外圆，当两外圆轴线有 3 mm 的偏心时，加工后 $\phi 55$ mm 的外圆有一侧因余量不足（余量为 -0.5 mm）出现毛面，使工件报废。

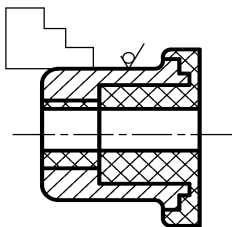


图 2-11 粗基准选择实例

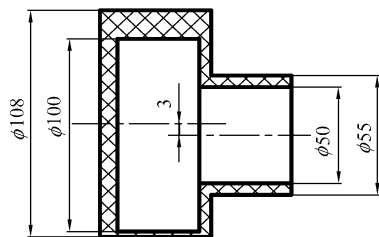


图 2-12 阶梯轴粗基准的选择

③ 重要加工表面原则。为保证重要加工表面的加工余量均匀，应选重要加工表面为粗基准。

如图 2-13（a）所示，为保证机床床身导轨面的组织均匀和耐磨性一致，应使其加工余量均匀。因此选择导轨面为粗基准加工床身底面，然后再以底面为精基准加工导轨面。当工件上有多个重要加工面要求保证余量均匀时，应选余量要求最高的面为粗基准。

对具有较多加工表面的零件，粗基准选择应使零件各加工表面总的金属切除量最少，故应选择零件上加工面积较大，形状比较复杂的表面为粗基准。仍以图 2-13 为例，当选择床身导轨面为粗基准加工床腿表面时，由于加工平面是一面积小的平面，金属切除量并不大。

再以床腿为精基准加工导轨面,可使导轨面加工余量小而均匀,这样总的金属切除量和加工劳动量都减少了许多,如图2-13(a)所示。而图2-13(b)所示零件总的金属切除量明显增多。

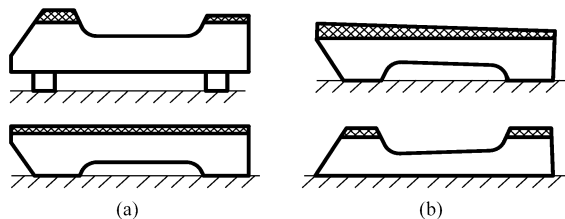


图2-13 机床床身粗基准的选择

④ 避免重复使用原则。粗基准精度低、表面粗糙,重复使用会造成较大的定位误差,从而引起相应加工表面间出现较大的位置误差,因此在同一尺寸方向上一般只允许使用一次。

如图2-14所示小轴,如重复使用毛坯面B定位加工表面A和C,则必然会使A与C表面的轴线产生较大的同轴度误差。

但在毛坯精度高,且不影响本工序加工精度和本工序表面与已加工表面相互位置精度的前提下,粗基准可适当重复使用。

⑤ 表面平整光洁原则。作为粗基准的表面,应平整光洁,要避开铸造浇冒口、分型面、锻造飞边等表面缺陷,以保证工件定位可靠,夹紧方便。

(2) 精基准的选择

精基准的选择应能保证零件的加工精度和装夹可靠方便。精基准的选择一般应遵循以下原则:

① 基准重合原则。

采用加工表面的设计基准作为定位基准,称为基准重合。采用基准重合原则可以避免由定位基准与设计基准不重合而引起的定位误差。一般情况下应尽量考虑。

如图2-15(a)所示的零件,表面A和B已加工,现在图2-15(b)中以B面定位、A面夹紧进行加工表面C,这样就符合基准重合原则,容易保证加工尺寸 b ,但工件定位夹紧和刀具调整都比较麻烦。若如图2-15(c)所示采用静调整法加工零件的表面C,方便起见以底面A为定位基准进行加工,即设计基准与定位基准不重合,加工时按尺寸 c 调整刀具。为保证设计尺寸 b 及其公差 T_b 的要求, T_b 需考虑本工序尺寸 c 的公差 T_c 和前工序尺寸 a 的公差 T_a ,即 $T_b \geq T_a + T_c$ 。所以,本工序加工尺寸 c 的公差 $T_c \leq T_b - T_a$ 。由此可见,采用静

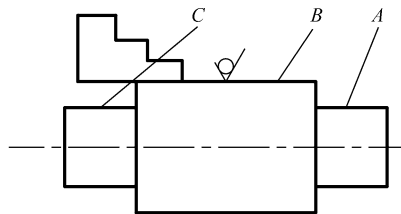


图2-14 重复使用粗基准实例

A、C—加工面; B—毛坯面

调整法加工时，为避免基准不重合误差，需缩小本工序的加工公差，提高加工精度，增加加工成本。

因此，在工件装夹不方便、夹具设计复杂等情况下，只要加工精度允许，为便于工件定位和加工，可适当考虑基准不重合的加工方法。

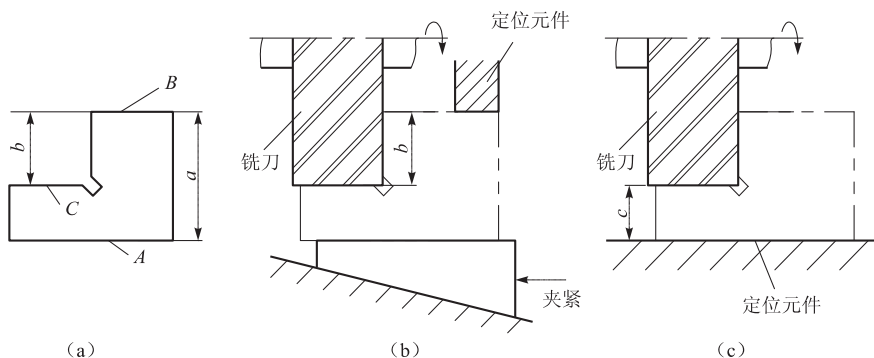


图 2-15 基准重合原则加工实例

上面分析了按静调整法加工一批工件时，因定位基准与设计基准不重合而产生基准不重合误差。若用试切法或动调整法直接保证每个零件的尺寸，就不存在这项误差，但会影响生产效率的提高。

② 基准统一原则。

同一零件的多道工序选择同一个定位基准，称为基准统一原则。采用基准统一原则既可避免因基准转换所产生的误差，提高各加工表面之间的相互位置精度，又可简化夹具的设计与制造工作量。

例如，在加工轴类零件时，常常采用两端中心孔作为定位基准加工各外圆表面，这样可以保证各表面之间较高的同轴度。又如箱体类零件加工时常采用一面两孔作为统一基准进行平面和孔系的加工。

基准重合和基准统一原则是选择精基准的两个重要原则，但在实际生产中，有时会遇到两者相互矛盾的情况。此时，若采用统一定位基准能够保证加工表面的尺寸精度，则应遵循基准统一的原则；若不能保证尺寸精度，则应遵循基准重合的原则，以免使工序尺寸的实际公差值减小，增加加工难度。

③ 自为基准原则。

对于某些精度要求很高的表面，在精加工或光整加工工序中要求加工余量小而均匀时，可以选择加工表面本身作为定位基准进行加工，这就是自为基准原则。如图 2-16 所示，无心磨床上磨外圆表面时，被磨削的工件由外圆表面本身定位进行加工。又如用浮动铰刀铰

孔, 用拉刀拉孔等, 都是利用内孔表面自身进行定位加工。

但须指出, 用自为基准原则加工时, 只能提高加工面本身的尺寸精度, 不能提高加工面的几何形状和相互位置精度, 其精度要求必须在前道工序加工时予以保证。

④ 互为基准原则。

为了使加工面间有较高的位置精度, 可采用互为定位基准、反复加工的原则。例如, 在平面磨床上磨削工件时, 为保证工件上下表面的平行度要求, 可先用底面定位磨削顶面, 再以顶面定位磨削底面。如图 2-17 所示, 为了保证车床主轴前后轴颈和前锥孔同轴, 加工时先采用前后轴颈定位加工主轴通孔及前锥孔, 再以前锥孔和后锥孔(附加定位基准)定位加工前后轴颈。在粗加工、半精加工和精加工中反复进行几次, 最后以前后轴颈定位加工前锥孔, 这样保证了两者较高的同轴度要求。

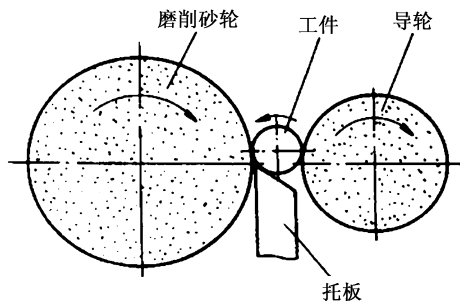


图 2-16 无心磨床磨削外圆

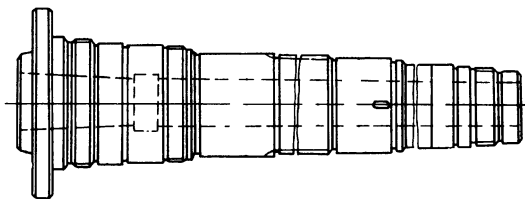


图 2-17 车床主轴加工

⑤ 便于装夹原则。

所选择的精基准应保证定位准确、可靠, 夹紧机构简单, 操作方便。

必须指出, 精基准的选择不能单考虑本工序定位夹紧是否合适, 而应结合整个工艺路线统一、全面考虑。

上述粗、精基准选择的各条原则, 都是在保证工件加工质量的前提下, 从不同角度提出的工艺要求和保证措施, 有时这些要求和措施会出现相互矛盾的情况, 在制定加工工艺规程时必须结合具体情况进行全面系统的分析, 分清主次, 着重解决主要矛盾。

(3) 辅助基准的应用

工件定位时, 为了保证加工表面的位置精度, 多优先选择设计基准或装配基准为定位基准, 这些基准一般均为零件上的重要工作表面。但有些零件的加工, 为了安装方便或易于实现基准统一, 人为地制造一种定位基准, 如图 2-18 所示, 零件上制出的工艺搭子, 以及轴类零件加工时所用的顶尖孔等。这些表面不是零件上的工作表面, 在零件的工作中不起任何作用, 只是由于工艺上的需要才做出的, 这种基准称为辅助基准。此外, 零件上的某些次要

表面，即非配合表面，因工艺上宜作为定位基准而提高它的加工精度和表面质量，以备定位时使用，这种表面也属于辅助基准。例如齿轮的齿顶圆、丝杠的外圆表面等。

2.2.5 工艺路线的拟定

在仔细分析研究了零件图纸和初步考虑零件的定位基准使用情况后，便可以进一步拟订零件的机械加工工艺路线。它主要包括确定各个表面的加工方法，确定如何划分加工阶段，确定工序集中与分散程度，确定各个表面的加工顺序和装夹方式，以及详细拟订工序的具体内容等。

1. 表面加工方法的选择

为了正确选择加工方法，应了解各种加工方法的特点和掌握加工经济精度及经济粗糙度的概念。

（1）加工经济精度

加工过程中影响精度的因素很多，同一种加工方法在不同的工作条件下所能达到的精度是不同的。例如精车工序，一般能达到尺寸精度 IT7 ~ 8 级、表面粗糙度 $Ra1.6 \sim 3.2 \mu\text{m}$ 。如果操作工人技术水平高，操作细心，并选择合适的刀具和切削用量，也能达到 IT6 ~ 7 级精度、表面粗糙度 $Ra0.8 \sim 1.6 \mu\text{m}$ ，但这样会降低生产效率、增加生产成本。因此便提出了加工经济精度的问题。

加工经济精度是指在正常的加工条件下（采用符合质量标准的设备、工艺装备及标准技术等级的工人），以最有利的时间消耗所能达到的加工精度（或表面粗糙度）。

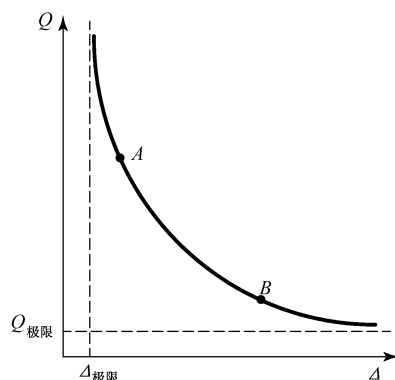


图 2-19 加工误差 Δ 与加工成本 Q 的关系

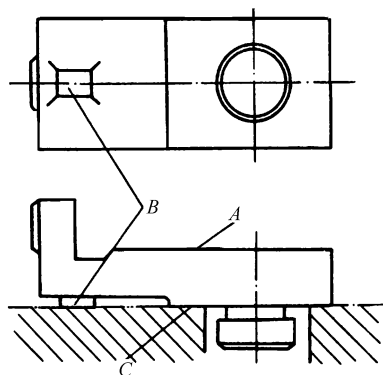


图 2-18 零件上的工艺搭子

大量统计资料表明，任何一种加工方法，其加工误差 Δ 与加工成本 Q 之间的关系呈负指数函数曲线形状，如图 2-19 所示。由图示曲线可知：

- ① 同一种加工方法，加工精度越高，生产成本越高；反之，加工精度降低，则生产成本下降。
- ② 同一种加工方法，加工精度有一定极限，超过 A 点，即使再增加生产成本，加工精度提高极少。
- ③ 同样，生产成本也有一定极限，超过 B 点，即使再降低加工精度，生产成本降低极少。

④ 曲线中的 AB 段，加工精度和加工成本是互相适应的，属于加工经济精度的范围。

⑤ 随着科技的不断发展，新技术、新工艺、新材料的不断推广和应用，加工精度不断提高，生产成本不断降低。因此，各种加工方法的加工

精度不是一成不变的，而会逐步提高。

各种典型表面的加工方法所能达到的经济精度及表面粗糙度等级均已制定表格，在机械加工工艺手册中都能查到。现摘录部分加工方法及其经济精度等内容列于表2-12、表2-13和表2-14，表2-15列出轴线平行的孔的位置经济精度，供选用时参考。

表2-12 外圆柱面加工方法

序号	加工方法	经济精度 (公差等级)	经济粗糙度 $Ra/\mu m$	适用范围
1	粗车	IT11 ~ 13	12.5 ~ 50.0	适用于淬火钢以外的各种金属
2	粗车→半精车	IT8 ~ 10	3.2 ~ 6.3	
3	粗车→半精车→精车	IT7 ~ 8	0.8 ~ 1.6	
4	粗车→半精车→精车→滚压(或抛光)	IT7 ~ 8	0.025 ~ 0.200	
5	粗车→半精车→磨削	IT7 ~ 8	0.4 ~ 0.8	主要用于淬火钢，也可用于未淬火钢，但不宜加工有色金属
6	粗车→半精车→粗磨→精磨	IT6 ~ 7	0.1 ~ 0.4	
7	粗车→半精车→粗磨→精磨→超精加工 (或轮式超精磨)	IT5	0.012 ~ 0.100	
8	粗车→半精车→精车→精细车(金刚车)	IT6 ~ 7	0.025 ~ 0.400	用于要求较高的有色金属加工
9	粗车→半精车→粗磨→精磨→超精磨 (或镜面磨)	IT5 以上	0.006 ~ 0.025	用于极高精度的外圆加工
10	粗车→半精车→粗磨→精磨→研磨	IT5 以上	0.006 ~ 0.100	

表2-13 孔加工方法

序号	加工方法	经济精度 (公差等级)	经济粗糙度 $Ra/\mu m$	适用范围
1	钻	IT11 ~ 13	12.5	加工未淬火钢及铸铁的实心毛坯，可用于加工有色金属。孔径小于 15 ~ 20 mm
2	钻→铰	IT8 ~ 10	1.6 ~ 6.3	
3	钻→粗铰→精铰	IT7 ~ 8	0.8 ~ 1.6	
4	钻→扩	IT10 ~ 11	6.3 ~ 12.5	
5	钻→扩→铰	IT8 ~ 9	1.6 ~ 3.2	加工未淬火钢及铸铁的实心毛坯，可用于加工有色金属。孔径大于 15 ~ 20 mm
6	钻→扩→粗铰→精铰	IT7	0.8 ~ 1.6	
7	钻→扩→机铰→手铰	IT6 ~ 7	0.2 ~ 0.4	

续表

序号	加工方法	经济精度 (公差等级)	经济粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
8	钻→扩→拉	IT7 ~ 9	0.1 ~ 1.6	大批量生产，精度由拉刀的精度而定
9	粗镗（或扩孔）	IT11 ~ 13	6.3 ~ 12.5	除淬火钢外各种材料， 毛坯有铸出孔或锻出孔
10	粗镗（粗扩）→半精镗（精扩）	IT9 ~ 10	1.6 ~ 3.2	
11	粗镗（粗扩）→半精镗（精扩）→精镗（铰）	IT7 ~ 8	0.8 ~ 1.6	
12	粗镗（粗扩）→半精镗（精扩）→精镗→浮动镗刀精镗	IT6 ~ 7	0.4 ~ 0.8	
13	粗镗（扩）→半精镗→磨孔	IT7 ~ 8	0.2 ~ 0.8	主要用于淬火钢，也可用于未淬火钢，但不宜用于有色金属
14	粗镗（扩）→半精镗→粗磨孔→精磨孔	IT6 ~ 7	0.1 ~ 0.2	
15	粗镗→半精镗→精镗→精细镗（金刚镗）	IT6 ~ 7	0.05 ~ 0.40	用于要求较高的有色金属加工
16	钻→（扩）→粗铰→精铰→珩磨 钻→（扩）→拉→珩磨 粗镗→半精镗→精镗→珩磨	IT6 ~ 7	0.025 ~ 0.200	精度要求很高的孔
	钻→（扩）→粗铰→精铰→研磨 钻→（扩）→拉→研磨 粗镗→半精镗→精镗→研磨			
17	钻→（扩）→粗铰→精铰→研磨 钻→（扩）→拉→研磨 粗镗→半精镗→精镗→研磨	IT5 ~ 6	0.006 ~ 0.100	

表 2-14 平面加工方法

序号	加工方法	经济精度 (公差等级)	经济粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
1	粗车	IT11 ~ 13	12.5 ~ 50.0	端面
2	粗车→半精车	IT8 ~ 10	3.2 ~ 6.3	
3	粗车→半精车→精车	IT7 ~ 8	0.8 ~ 1.6	
4	粗车→半精车→磨削	IT6 ~ 8	0.2 ~ 0.8	
5	粗刨（或粗铣）	IT11 ~ 13	6.3 ~ 25.0	一般不淬硬平面（端铣表面粗糙度较小）
6	粗刨（或粗铣）→精刨（或精铣）	IT8 ~ 10	1.6 ~ 6.3	

续表

序号	加工方法	经济精度 (公差等级)	经济粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$	适用范围
7	粗刨 (或粗铣) → 精刨 (或精铣) → 刮研	IT6 ~ 7	0.1 ~ 0.8	精度要求较高的不淬硬平面, 批量较大时宜采用宽刃方案精刨
8	粗刨 (或粗铣) → 精刨 (或精铣) → 宽刃精刨	IT7	0.2 ~ 0.8	
9	粗刨 (或粗铣) → 精刨 (或精铣) → 磨削	IT7	0.2 ~ 0.8	精度要求较高的淬硬平面或不淬硬平面
10	粗刨 (或粗铣) → 精刨 (或精铣) → 粗磨 → 精磨	IT6 ~ 7	0.025 ~ 0.400	
11	粗铣 → 拉削	IT7 ~ 9	0.2 ~ 0.8	大量生产, 较小的平面, 精度视拉刀精度而定
12	粗铣 → 精铣 → 磨削 → 研磨	IT5 以上	0.006 ~ 0.100	高精度平面

表 2-15 轴线平行的孔的位置精度 (经济精度)

加工方法	工具的定位	两孔轴线间的距离误差或孔轴线到平面的距离误差/mm	加工方法	工具的定位	两孔轴线间的距离误差或孔轴线到平面的距离误差/mm
立钻或摇臂钻上钻孔	用钻模	0.1 ~ 0.2	卧式镗床上镗孔	用镗模	0.05 ~ 0.08
	按划线	1.0 ~ 3.0		定位样板	0.08 ~ 0.20
立钻或摇臂钻上镗孔	用镗模	0.05 ~ 0.08		按定位器的指示读数	0.04 ~ 0.06
车床上镗孔	按划线	1.0 ~ 2.0		用块规	0.05 ~ 0.10
	用带滑座的角尺	0.1 ~ 0.3		用内径规或塞尺	0.05 ~ 0.25
坐标镗床上镗孔	用光学仪器	0.004 ~ 0.015		用程序控制的坐标装置	0.04 ~ 0.05
金刚镗床上镗孔		0.008 ~ 0.020		用游标卡尺	0.2 ~ 0.4
多轴组合机床上镗孔	用镗模	0.03 ~ 0.05		按划线	0.4 ~ 0.6

(2) 选择加工方法时需考虑的主要因素

①工件的加工精度、表面粗糙度和其他技术要求。在分析研究零件图的基础上, 根据各加工表面的加工质量要求, 选择合适的加工方法。一般可以通过查表或按经验来确定, 有时还要根据实际情况进行工艺验证。

② 工件材料的性质。例如, 淬火钢的精加工常用磨削; 有色金属的精加工为避免磨削时堵塞砂轮, 则要用高速精细车 (金刚车) 或精细镗 (金刚镗)。

③ 工件的形状和尺寸。例如, 对于加工精度为 IT7 级、表面粗糙度为 $Ra1.6\ \mu\text{m}$ 的孔采用镗、铰、拉或磨削等都可以; 但对于箱体上同样要求的孔, 常用镗孔 (大孔) 或铰孔 (小孔), 一般不采用拉削或磨削。

④ 结合生产类型考虑生产效率和经济性。选择加工方法应与生产类型相适应。例如平面和孔的加工, 在大批大量生产中可选用高效率的拉削加工; 单件小批生产时则采用刨、铣平面和钻、扩、铰孔。同时, 大批大量生产中可以采用精密毛坯, 从根本上改变毛坯的形态, 大大减少切削加工量。例如, 用粉末冶金制造油泵齿轮; 用熔模浇铸制造柴油机上的小零件。

⑤ 根据现有生产条件因地制宜。选择加工方法时应首先考虑充分利用本厂现有的设备, 挖掘企业潜力、发挥工人的积极性和创造性。

2. 加工阶段的划分

零件的加工质量要求较高时, 应划分成若干个加工阶段。

(1) 加工阶段的划分

① 粗加工阶段。切除各加工表面大部分的加工余量, 并做出精基准。此时零件加工精度和表面质量都较低, 加工余量大, 因此应采取措施尽可能提高生产效率。

② 半精加工阶段。通过切削加工消除主要表面粗加工留下来的较大误差, 为精加工做好准备 (达到一定的加工精度, 并保证一定的精加工余量), 同时完成一些次要表面的加工 (如钻孔、攻丝、铣键槽等)。

③ 精加工阶段。保证各主要表面达到图纸规定的质量要求。

④ 光整加工阶段。进一步提高尺寸精度和降低表面粗糙度, 提高表面层的物理机械性能, 一般不能用来提高位置精度。

有时若毛坯余量特别大, 表面极其粗糙 (如自由锻), 在粗加工前应有去皮加工, 称为荒加工阶段, 常在毛坯准备车间进行。

(2) 划分加工阶段的目的

① 保证加工质量。工件划分加工阶段后, 粗加工阶段因切削用量大, 产生较大的切削力和切削热以及加工时夹紧力共同作用引起工件的变形, 可在后续加工阶段逐步得到纠正。粗、精加工分开后, 一方面各阶段之间的时间间隙相当于自然时效, 有利于内应力消除; 另一方面不会破坏已加工表面的质量。

② 合理使用机床设备。粗加工时可采用功率大、刚性好、精度不高的高效率机床; 精加工时可采用小功率的高精度机床。这样能充分发挥机床设备各自的性能特点, 并且能延长高精度机床的使用寿命。

③ 及时发现毛坯缺陷。毛坯的各种缺陷如气孔、砂眼、裂纹和加工余量不足等, 在粗

加工后即可发现,便于及时修补或决定报废,以免后期加工才发现而造成工时浪费。

④ 便于安排热处理工序。例如,粗加工前可安排预备热处理——退火或正火,消除毛坯的内应力,改善零件切削加工性能;粗加工后可安排时效或调质,消除粗加工的内应力或提高零件的综合机械性能;半精加工之后安排淬火处理,淬硬后安排精加工工序。热处理引起的变形可通过后续切削加工消除。这样冷、热加工工序交替进行,配合协调,有利于保证加工质量和提高生产效率。

上述加工阶段的划分并不是一成不变的,在应用时要灵活掌握。当加工质量要求不高、工件刚性足够、毛坯质量好、加工余量小时,可以少划分或不划分加工阶段。因为加工阶段的划分会增加工序的数目,使加工成本提高。例如在数控机床上加工零件,通常在一次装夹下完成全部加工,以提高生产效率。又如对于安装运输费时的重型零件,考虑到工件变形对加工质量的影响,在粗加工后适当减小夹紧力,继续进行精加工。

3. 加工顺序的安排

工件各表面的加工顺序,除依据加工阶段的划分外还应分别考虑以下因素:

(1) 机械加工工序的安排

① 先基面后其他表面。

零件加工时,定位基准的精确与否,将直接影响零件的加工精度。所以零件一般在起始几道工序先进行精基准表面的加工,以便尽快为后续工序的加工提供精基准。例如,车床上加工轴类零件一般先车端面打顶尖孔,然后再以两中心孔为精基准定位加工外圆、端面等各表面;对于箱体零件,一般先以重要孔为粗基准加工主要平面,再以平面为精基准加工孔系。

零件上主要表面在精加工之前,一般还必须安排对精基准进行修整,以进一步提高定位精度。若基准不统一,则应以按基准转换顺序逐步提高精度的原则安排基准面的加工。

② 先粗后精。

根据零件加工阶段划分的原则和依据,先安排粗加工,中间安排半精加工,最后安排精加工或光整加工。这种方法尤其适用于粗精加工间需要穿插热处理工序或容易发生加工变形的薄壳类及细长零件。

③ 先主后次。

先考虑和安排主要表面的加工,再将次要表面的加工适当穿插在其前后。主要表面一般为装配表面、工作表面和定位基面等重要表面,其加工精度和表面质量要求都比较高。次要表面包括键槽、紧固用的光孔或螺纹孔等,由于其加工余量较少,而且又和主要表面有位置精度要求,因此一般应放在主要表面半精加工结束后、最后精加工或光整加工之前完成。例如,箱体零件中主轴孔、孔系和底平面一般是主要表面,应首先考虑它们的加工顺序;而端面和侧面可以在加工底面和顶面时一起完成,固定用的光孔和螺纹孔可安排在精加工主轴孔前加工。

④ 先面后孔。

对于箱体、支架和连杆等工件应先加工平面后加工孔。这是因为先加工平面，再以平面定位加工孔，能保证平面和孔的相互位置精度。另外，由于先加工好平面，能防止孔加工时刀具引偏，使刀具的初始工作条件得到改善。

此外，在数控机床上加工零件还应适当考虑按所用刀具划分工序，即用同一把刀具加工完成所有可以加工的内容，再进行换刀加工。这种方法可以减少换刀次数，减少刀具的空行程移动量，缩短辅助加工时间，提高生产效率，尤其是在不具备自动换刀功能的数控机床上加工零件，可以减少不必要的定位误差，提高加工精度。

（2）热处理工序的安排

热处理的目的是提高材料的力学性能、消除毛坯制造及加工过程中的内应力、改善材料的切削加工性能。根据目的不同，可以分为预备热处理和最终热处理工序。

① 预备热处理。

一般安排在机械加工粗加工前后，主要目的是改善零件的切削加工性能，消除毛坯制造和粗加工切削产生的内应力，并为最终热处理做好金相组织准备。常用的预备热处理有退火、正火、时效和调质等。例如，为了改善切削加工性能，一般在粗加工前对含碳量大于0.7%的碳钢和合金钢，采用退火以降低硬度；含碳量小于0.5%的碳钢和合金钢，采用正火以提高材料的硬度，使切削时切屑不粘刀、工件表面较光滑。为了使零件获得良好的综合力学性能，并为最终热处理做好准备，可以在零件粗加工后安排调质热处理，即淬火加高温回火，得到组织细致、均匀的回火索氏体，以减小后续淬火或氮化热处理工序的变形。调质有时也作为硬度和耐磨性要求不高的零件的最终热处理。对于形状复杂的铸铁件、锻件及焊接件，常在粗加工之前进行人工时效或去应力退火，以消除毛坯的内应力。另外，对一些刚性差的精密零件，为消除切削加工中产生的内应力，可在各工序间多次安排时效热处理。

② 最终热处理。

最终热处理的主要目的是提高零件的硬度和耐磨性，一般包括淬火、回火及表面热处理（表面淬火、渗碳淬火、氮化处理、碳氮共渗）等，它应安排在精加工前后。例如，变形较大的热处理如淬火、渗碳淬火等应安排在精加工磨削前进行，以便在磨削时纠正热处理变形。变形较小或热处理层较薄的热处理如氮化等，应安排在半精磨后、精磨前进行。为消除淬火内应力，或满足零件的特殊要求，可安排低温或中温回火。

（3）辅助工序的安排

辅助工序包括检验、去毛刺、倒角、退磁、清洗、防锈等。辅助工序也是必要的工序，若安排不当或遗漏，会给后续工序和装配带来困难，甚至影响产品质量。其中检验工序是最主要的，它对保证产品质量、防止产生废品起到重要作用。除每道工序结束操作者自检外，还必须在下列情况下安排单独的检验工序：

① 粗加工阶段结束后。

- ② 关键工序前后。
- ③ 转换车间的前后，特别是热处理工序前后。
- ④ 零件全部加工结束之后。

(4) 数控加工工序与普通加工工序的衔接

数控加工工序前后一般都穿插有其他普通加工工序，如衔接得不好就容易产生问题。因此，在熟悉整个加工工艺的同时，要清楚数控加工与普通加工工序各自的技术要求、加工目的和特点。例如，要不要留加工余量，留多少余量合适；定位面与孔的精度要求及形位公差；对校形工序的技术要求；对毛坯的热处理状态等。这样才能使各工序相互能满足加工需要，且质量目标及技术要求明确，交接验收有依据。

4. 工序的集中与分散

安排好零件的加工顺序后，就可以按不同的加工阶段和加工表面的先后顺序将零件的加工工艺路线划分成若干道工序。工序的组合可采用工序集中或分散的原则，其实质是决定工艺路线中工序数目多少的问题。决定工序集中与分散的因素主要是零件的生产类型、加工精度要求、零件的结构刚性以及工序选用机床的形式与功能。

(1) 工序分散

工序分散是指整个工艺过程安排的工序数较多，而每道工序的加工内容较少。其特点是：

- ① 设备和工艺装备比较简单，调整方便，生产适应性好，便于产品的变换。
- ② 有利于选择最合理的切削用量和高效的工艺装备，提高生产率。
- ③ 设备数量多，操作工人多，生产面积大。

(2) 工序集中

工序集中则正好相反，即整个工艺过程集中在几个工序中，每道工序的加工内容较多。其特点是：

- ① 工件安装次数减少，不仅可以缩短辅助时间，而且易于保证加工表面之间的相互位置精度。
- ② 设备数量减少，并相应地减少操作工人人数和生产面积，缩短了工艺流程，简化了生产计划工作和生产组织工作。

(3) 工序集中与分散的应用

工序集中与分散各有其特点，应根据生产纲领、零件结构特点及技术要求条件和产品的发展情况等因素来综合分析。例如，大批量生产结构较复杂的零件，适合采用工序集中的原则，可以采用改装通用设备或采用专用机床或多刀、多轴自动机床以提高生产效率；对一些结构简单的产品如轴承生产，也可采用工序分散的原则。单件小批生产通常采用工序集中的原则。零件加工质量、技术要求较高时一般采用工序分散的原则，可以选用高精度机床在精加工时保证零件的质量要求。对于尺寸、质量较大且不易运输和安装的零件，应采用工序集中的原则。数控机床加工零件一般采用工序集中的原则。

随着机械加工设备的精度和自动化程度的不断提高，成组加工技术的推广和应用，机械加工更趋向于工序集中的原则。

2.2.6 机床与工艺装备的选择

1. 机床的选择

机床的选择一般应考虑下列问题：

- ① 机床的精度与工序要求的精度相适应。
- ② 机床的规格与工件的外形尺寸、本工序的切削用量相适应。
- ③ 机床的生产效率与被加工零件或产品的生产类型相适应。
- ④ 选择的机床应尽可能与工厂现有的条件相适应。

2. 工艺装备的选择

选择工艺装备就是确定各工序所需的刀具、夹具和量具等。

（1）夹具的选择

单件小批生产应尽量选用通用夹具，有条件的可采用组合夹具或可调式夹具。成批生产时可采用专用夹具，但应力求结构简单。大批大量生产应采用液压或气动夹具、多工位夹具等，保证装卸零件方便、可靠、迅速，以提高生产效率。

在数控机床上使用夹具时，由于夹具确定了零件在机床坐标系中的位置，因而要求夹具能保证零件在机床坐标系中的正确坐标方向，同时协调零件与机床坐标系的尺寸。

另外，夹具要开敞，其定位、夹紧机构元件在加工中不能与刀具产生干涉。如图2-20所示，用立铣刀铣削零件的六边形，若采用压板机构压住工件的A面，则压板易与铣刀发生干涉，若压

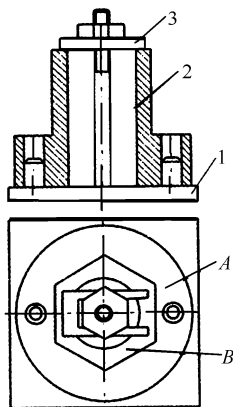


图2-20 不影响进给的装夹实例
1—定位装置；2—工件；3—夹紧装置

住工件的B面，就不影响刀具进给。图2-21为箱体零件加工，为使其加工表面开敞，可以利用内部空间安排夹紧机构。

（2）刀具的选择

刀具的选择主要取决于各工序所采用的加工方法、加工表面尺寸、工件材料、加工精度和表面粗糙度要求、生产效率和经济性等因素。因此刀具必须具有较高的精度、刚度和耐磨性，应尽量采用新型高效的刀具，并使刀具标准化和通用化，以减少刀具的种类，便于刀具管理。同时要注重推广新型刀具材料和

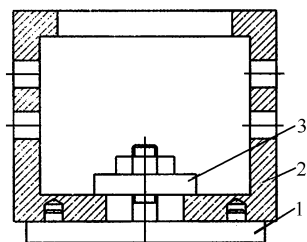


图2-21 敞开加工表面的装夹实例
1—定位装置；2—工件；3—夹紧装置

先进的刀具。

(3) 量具的选择

量具主要根据生产类型和工件的加工精度来选取。单件小批生产中，应尽量选用通用量具；大批大量生产应采用各种量规和高效的专用检具。

2.2.7 切削用量与工时定额的确定

1. 切削用量

切削用量包括主轴转速、进给速度和背吃刀量（切深）。正确、合理选择切削用量，对保证零件的加工精度、提高生产效率和降低刀具的损耗都有很大的意义。在一般工厂中，由于工件材料、毛坯状况、刀具材料和几何角度以及机床的刚度等许多工艺因素变化较大，故在工艺文件上不规定切削用量，而由操作者根据实际情况自己确定。但是，在大批大量生产中，特别是在流水线或自动线上必须合理地确定每一道工序的切削用量。具体选用可以通过机械加工工艺手册查取或计算，也可根据单位实际情况和实际参数计算确定。切削用量的选择原则可以参照第一章中相关内容。

2. 工时定额

工时定额就是完成一个工序所需要的时间，它不仅是衡量劳动生产效率的指标，也是安排生产作业计划、进行成本核算、确定设备数量和人员编制、规划生产面积的重要依据，因此工时定额是工艺规程中的重要组成部分。工时定额由以下几部分组成：

(1) 基本时间 T_i

基本时间是直接改变生产对象的尺寸、形状、相对位置、表面状态或材料性质等工艺过程所消耗的时间。对切削加工来说，就是直接用于切除工序余量所消耗的时间（包括刀具的切入和切出时间）。

基本时间可由计算公式求出。不同的切削加工方法，其计算公式有所不同，详细计算可查阅机械加工工艺手册等有关资料。

(2) 辅助时间 T_j

辅助时间是工人在完成工序加工时所必须进行的各种辅助动作的时间。它包括装卸工件、开停机床、改变切削用量、手动进刀和退刀、测量工件等所消耗的时间。

辅助时间的确定应考虑切削方式和生产类型。大批大量生产时，常将辅助动作进行分解逐项确定，最后予以综合，各种辅助动作所消耗的时间可从有关机械加工工艺手册中查到。单件小批生产则常用基本时间的百分比进行估算。

基本时间和辅助时间之和称为工序时间，以 T_g 表示，即： $T_g = T_i + T_j$ 。

(3) 服务时间 T_{fw}

服务时间是为使加工正常进行，工人照管工作场地（如更换刀具、润滑机床、清理切屑、收拾工具等）所消耗的时间。一般按工序时间的百分数来计算。

（4）休息与自然需要时间 T_{xz}

休息与自然需要时间是工人在工作班内为恢复体力和满足生理上的需要所消耗的时间。一般按工序时间的百分数来计算。

以上四部分时间的总和称为单件时间，用 T_D 表示，即： $T_D = T_i + T_j + T_{fw} + T_{xz}$

（5）准备与终结时间 T_{zz} （简称准终时间）

准终时间是工人为了生产一批产品或零部件，进行准备和结束工作所消耗的时间。如在单件或成批生产中，加工开始时工人熟悉工艺文件、领取毛坯、安装刀具和夹具、调整机床，以及在加工一批零件终结时所需要拆下和归还工艺装备、发送成品等所消耗的时间。

准终时间对一批零件只需安排一次。批量越大，分摊到每个工件上的准终时间（ T_{zz}/N ）越少。因此，在大量生产中，产品终年不变，可不计准终时间。



知识拓展

提高机械加工生产效率的工艺途径

现代机械制造业正朝着高精度、高效率 and 低成本的方向发展。在制定机械加工工艺规程时，必须在保证和提高产品质量的同时，认真考虑提高劳动生产效率和降低产品成本。这里主要分析提高劳动生产效率的措施。

1. 缩短时间定额

① 缩短基本时间。一是提高切削用量：增大切削速度、进给量和背吃刀量，它是广泛采用的提高劳动生产效率的有效措施。例如，近年来发展的高速切削，不仅缩短了基本时间，而且能提高加工质量，降低成本和能源消耗。二是减少切削行程长度。减少切削行程长度的工艺方法很多，常用的有采用多刀加工、多件加工、改变进给方法等措施。

② 缩短辅助时间。辅助时间在单件小批生产中占有较大的时间比例。在有些情况下，提高切削用量对提高生产效率没有显著的效果，因此必须考虑缩短辅助时间，一般有以下两条基本途径：一是直接缩短辅助时间，比如采用先进夹具装夹工件，提高机床的自动化加工程度，采用先进的检测手段等。二是使基本时间与辅助时间重合，比如用主动检测来控制加工尺寸；在机床和夹具上采取措施，使基本时间与辅助时间完全重合或部分重合。

③ 减少服务时间。应用各种快换刀夹、自动换刀装置换刀，加工时采用可转位硬质合金刀片和立方氮化硼刀片，配置专用对刀装置在机外进行对刀。这些措施总的目的是减少换刀次数、换刀时间和调整刀具的时间。

④ 缩短准终时间。缩短准终时间的主要方法是扩大零件的批量和减少调整机床、刀具、夹具的时间。可采取先进加工设备，采用成组技术进行设计夹具和刀具，提高夹具和刀具的

通用化程度,尽可能减少调整时间。

2. 采用先进的工艺方法

采用先进的工艺可以大大提高劳动生产效率,具体有以下几个方面:

① 在毛坯制造中采用新工艺。例如粉末冶金、熔模铸造、精锻和爆炸成型等新工艺。

② 采用少、无切削新工艺。例如采用冷挤压、冷轧、液压等加工方法,不仅能提高生产效率,而且工件的表面质量和精度也明显改善。

③ 应用特种加工新工艺。可采用线切割、电火花加工、电解加工等特种加工方法完成对一些特硬、特脆、特韧材料及复杂型面的加工。

④ 改进传统的加工方法。例如,在大批大量生产中对于内表面常以拉削代替钻、铰孔,平面常用强力磨削代替刨削和铣削等。

3. 提高机械加工的自动化程度

加工过程自动化是提高劳动生产效率的最理想手段,要针对不同的生产类型,采取相应的自动化程度。

对于大批大量生产,可采用流水线、自动线的生产方式。这时,广泛应用专用自动机床、组合机床以及工件运输装置,可以达到较高的生产效率。

对于中小批生产,多采用数控机床、加工中心、柔性制造单元及柔性制造系统等进行。它们的共同特点就是用计算机或微型计算机来进行控制,进行部分或全面的自动化生产,提高生产效率。

无论是何种生产类型,进行计算机辅助制造(CAM)是一个大方向,其中包括计算机数字控制(CNC)、直接数字控制(DNC)及适应控制(AC)等。实现计算机辅助制造不仅可以提高生产效率,而且可以提高加工质量。

2.3 加工余量的确定

2.3.1 加工余量的概念

加工余量是指零件在加工过程中从加工表面所切除的金属层厚度。加工余量可分为总加工余量和工序加工余量。

1. 工序加工余量

工序加工余量是相邻两工序的工序尺寸之差。对于外圆和孔等回转表面,加工余量是从直径方向考虑的,故称为双边余量,即实际切除的金属层厚度是加工余量的一半。平面的加工余量是单边余量,它等于实际切除的金属层厚度。

对于图2-22(a)、(c)所示被包容面(轴)

$$Z_b = A - B \quad (2.2)$$

对于图 2-22 (b)、(d) 所示包容面（孔）

$$Z_b = B - A \quad (2.3)$$

式中, Z_b ——工序加工余量;

A ——前工序基本尺寸;

B ——本工序基本尺寸。

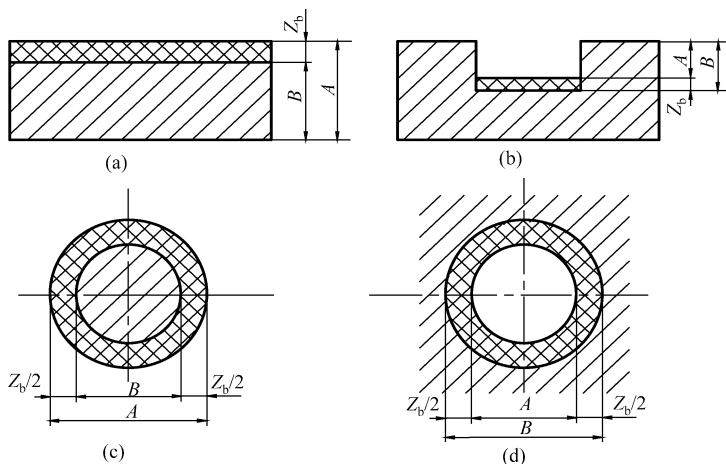


图 2-22 工序加工余量实例

2. 总加工余量

总加工余量也叫毛坯余量, 是零件上同一表面的毛坯尺寸与零件尺寸之差。总加工余量等于各工序加工余量之和, 即

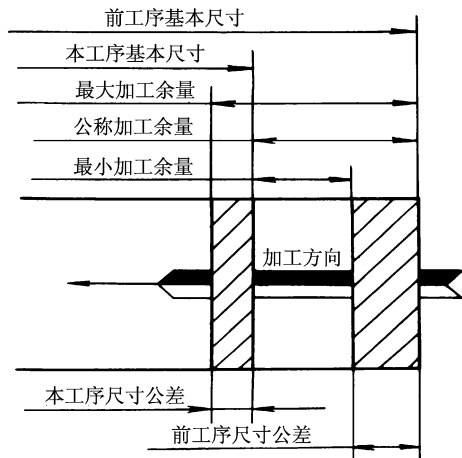


图 2-23 工序加工余量与工序尺寸关系

$$Z_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n z_i \quad (2.4)$$

式中, Z_{Σ} ——总加工余量;

z_i ——第 i 道工序的工序加工余量;

n ——该表面总共加工的工序数。

3. 工序加工余量与工序尺寸的关系

由于毛坯制造和各个工序尺寸都不可避免地存在着误差, 因而无论总加工余量还是工序加工余量都是个变动值, 即有最大加工余量和最小加工余量之分, 只标基本尺寸的加工余量称为公称加工余量。以图 2-23 为例, 工序加工余量与工序尺寸与公差的关系为: 工序公称加工余量是相邻两工序基

本尺寸之差；工序最小加工余量是前工序最小工序尺寸和本工序最大工序尺寸之差；工序最大加工余量是前工序最大工序尺寸和本工序最小工序尺寸之差。工序加工余量的变动范围等于前工序与本工序两工序尺寸公差之和。

工序尺寸的公差带，一般采用“入体原则”标注，故对于被包容面（轴），基本尺寸即最大工序尺寸（上偏差等于零）；对于包容面（孔），基本尺寸则是最小工序尺寸（下偏差等于零）。毛坯尺寸的公差一般采用“对称原则”。如图2-24所示。

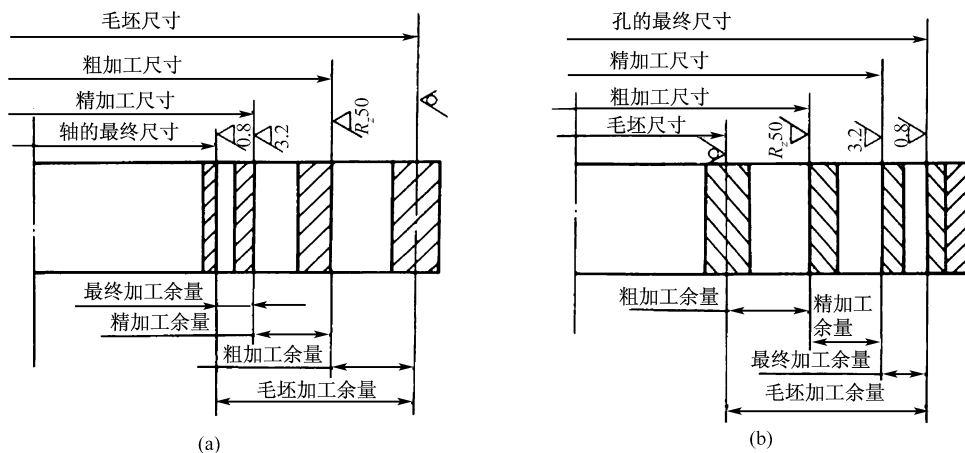


图2-24 加工余量和加工尺寸的分布图

(a) 被包容面（轴）；(b) 包容面（孔）

2.3.2 确定加工余量的方法

1. 分析计算法

根据工序加工余量的计算公式和一定的试验资料，对影响工序加工余量的各项因素进行分析，通过计算确定其值。

分析计算法确定的工序加工余量最经济合理，但必须有比较全面和可靠的相关资料，适用于大批大量生产或毛坯材料比较贵重的场合。

2. 查表法

这种方法主要以工厂生产实践和试验研究积累的经验制成的表格为基础，参照有关机械加工工艺手册，并结合本厂的实际加工情况加以修正而确定工序加工余量，这种方法应用广泛。

3. 经验估计法

根据工艺人员的经验确定工序加工余量。一般情况下，需防止因余量过小而产生废品，所以经验估计法确定的余量常常偏大，这种方法常用于单件小批生产。



知识拓展

工序加工余量的影响因素

加工余量的大小对零件的加工质量、生产效率和生产成本均有较大影响。若零件的加工余量过大，则不能保留零件最耐磨的表面层，降低了被加工表面的机械性能；同时增加了材料的损耗，提高了生产成本；增加了机械加工工时，降低了生产效率。若零件的加工余量过小，则不能保证去除零件表面的缺陷层；如果加工余量不够，就有可能造成零件报废。因此，加工余量要合理确定。

在确保加工质量的前提下，工序加工余量应尽量选取小值。下面以图 2-25 为例分析影响工序加工余量的各个因素。

1. 前工序的各种表面缺陷和误差因素

图 2-25 (a) 为内孔需要镗削的工件，图 2-25 (b) 为前工序加工产生的各种表面缺陷和误差。

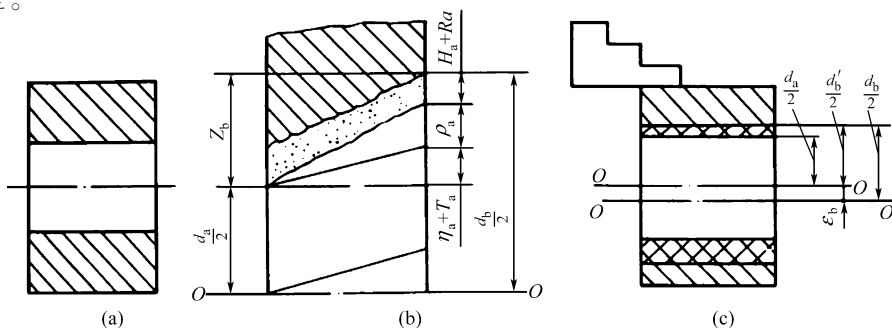


图 2-25 最小加工余量的构成要素

 (1) 表面粗糙度 Ra 和缺陷层 H_a

本工序必须把前工序留下的表面粗糙度 Ra 和金属组织已遭破坏的缺陷层 H_a 全部切除。

 (2) 前工序的尺寸公差 T_a

前工序加工后，表面存在尺寸误差和形位误差，这些误差的总和一般不超过前工序的尺寸公差 T_a ，为了纠正这些误差，本工序加工余量应考虑切除。

 (3) 前工序的形状误差 η_a 和位置误差 ρ_a

当前工序形位公差形状误差 η_a 和位置误差 ρ_a 是按独立原则或最大实体原则给出时，形位误差 η_a 和 ρ_a 不受（或不全部受）工序尺寸公差的控制，此时本工序加工余量应考虑前工序形位公差 η_a 和 ρ_a 的影响， η_a 和 ρ_a 具有矢量性质。

 2. 本工序加工时的安装误差 ϵ_b

安装误差包括工件的定位误差和夹紧误差，若用夹具装夹工件时，还要考虑夹具的安装

误差。这些误差会使工件在加工时的位置发生偏移,所以确定工序加工余量还必须考虑安装误差的影响。如图2-25(c)所示,用三爪卡盘装夹工件外圆镗内孔,由于三爪卡盘定心不准,使工件轴线偏离机床主轴轴线,从而造成孔的镗削余量不均匀。安装误差 ε_b 也具有矢量性质。

此外,还要适当考虑进行热处理的零件热处理后的变形量。

3. 工序基本余量的计算

通过上面的分析,可以得出工序基本余量的计算公式:

工序基本余量为单边余量时

$$Z_b = Ra + H_a + T_a + |P_a + \varepsilon_b| \quad (2.5)$$

工序基本余量为双边余量时

$$2Z_b = Ra + 2(H_a + T_a) + 2|P_a + \varepsilon_b| \quad (2.6)$$

对不同的零件和不同的工序,上述误差的数值与表现形式也各有不同。在决定工序加工余量时要区别对待。

2.4 工序尺寸及公差的确定

通过基准的选择、工艺路线的拟定,以及确定了各工序使用的机床设备、工艺装备和工序基本余量之后,就要确定各工序的工序尺寸及其公差。在制定机械加工工艺规程中,常常会遇到两种情况:一种是工艺基准与设计基准重合时工序尺寸及公差的确定;另一种是工艺基准与设计基准不重合时的工序尺寸及公差的确定。下面分别讨论这两种情况。

2.4.1 工艺基准与设计基准重合时

在设计基准、定位基准、测量基准都重合的情况下,某一表面需要经过多次加工才能达到设计要求,因而必须确定各工序的工序尺寸及其公差。其步骤为:

① 先确定各工序的加工余量。根据各工序的加工性质,参照有关机械加工工艺手册,查表得出各加工方法的加工余量。

② 计算各工序的基本尺寸。根据查表得到的各工序的加工余量,由该表面的设计尺寸开始,即由最后一道工序开始逐一向推算各工序的基本尺寸,直到毛坯的基本尺寸。

③ 确定各工序的尺寸公差和表面粗糙度值。根据各工序的加工方法,查表求出所能达到的经济精度和表面粗糙度,并查表转换成尺寸公差。

④ 标注各工序的尺寸公差和表面粗糙度。各工序尺寸公差按“人体原则”确定上下偏差;毛坯尺寸公差按“对称原则”确定上下偏差。

例2-1 如图2-26(a)所示为某法兰盘零件上的一个孔,孔径为 $\phi 60^{+0.03}_0$ mm,表面

粗糙度值为 $Ra0.8\ \mu\text{m}$ ，毛坯采用铸钢件，需要淬火热处理。试确定其各工序尺寸及公差。

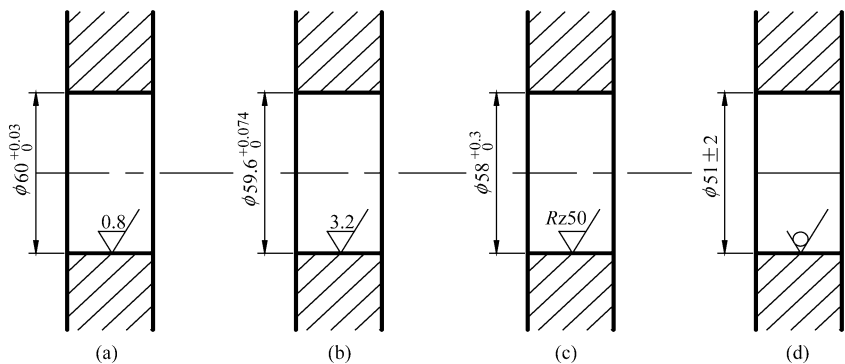


图 2-26 工艺基准与设计基准重合时工序尺寸及公差计算实例

解：根据题意要求， $\phi60\text{ mm}$ 的孔径可以直接铸出，零件精度为 IT7 级，查表 2-13 孔加工方法确定工艺路线为：粗镗孔→半精镗孔→磨孔。从机械加工工艺手册查出各工序的基本余量、加工经济精度和经济粗糙度，填入表 2-16 第 2~4 列内，计算各工序基本尺寸并填入表 2-16 第 5 列内，再按“入体原则”和“对称原则”确定各工序尺寸的上下偏差，填入表 2-16 中的第 6 列内。工序图标注如图 2-26（a）、（b）、（c）、（d）所示。

表 2-16 基准重合时工序尺寸及其公差计算

工序名称	工序加工余量 /mm	加工经济精度 /mm	经济粗糙度 / μm	工序基本尺寸 /mm	工序尺寸及公差 /mm
磨孔	0.4	H7 ($\begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix}$)	$Ra0.8$	60	$\phi60 \begin{smallmatrix} +0.03 \\ 0 \end{smallmatrix}$
半精镗孔	1.6	H9 ($\begin{smallmatrix} +0.074 \\ 0 \end{smallmatrix}$)	$Ra3.2$	$60 - 0.4 = 59.6$	$\phi59.6 \begin{smallmatrix} +0.074 \\ 0 \end{smallmatrix}$
粗镗孔	7.0	H12 ($\begin{smallmatrix} +0.3 \\ 0 \end{smallmatrix}$)	$Ra50$	$59.6 - 1.6 = 58$	$\phi58 \begin{smallmatrix} +0.3 \\ 0 \end{smallmatrix}$
毛坯孔	—	± 2	—	$58 - 7 = 51$	$\phi51 \pm 2$

2.4.2 工艺基准与设计基准不重合时

工艺基准与设计基准不重合时，为确保零件加工质量要求，工序尺寸及公差计算比较复杂，一般需要用工艺尺寸链来分析计算。

1. 工艺尺寸链的概念和计算

1) 工艺尺寸链的定义

在加工过程中由相互联系的工艺尺寸按一定顺序首尾相连形成的封闭尺寸系统称为工艺尺寸链。如图 2-27（a）所示，某一台阶零件前道工序已完成表面 1 和 2 的加工，工序尺

寸为 A_1 ，本工序要求加工表面 3，工序尺寸为 A_0 。但考虑加工方便和提高生产效率，需采用调整法加工，定位基准选择表面 1，工序尺寸 A_0 由 A_2 间接保证。这样，尺寸 A_1 、 A_2 和 A_0 在加工过程中组成了工艺尺寸链，如图 2-27 (b) 所示。

2) 工艺尺寸链的组成

(1) 环

环是指列入工艺尺寸链中的每一个尺寸。如图 2-27 (b) 所示，尺寸 A_1 、 A_2 和 A_0 均称为工艺尺寸链的环。环一般用大写拉丁字母表示。

(2) 封闭环

封闭环是在加工过程中最后自然形成或间接保证的尺寸。如图 2-27 (b) 所示，设计尺寸 A_0 由工序尺寸 A_2 间接保证，所以是封闭环。封闭环一般用加下角标“0”的大写拉丁字母表示。

(3) 组成环

组成环是在工艺尺寸链中除封闭环以外的其他环，这些环中任意一环的变动将引起封闭环的变动。如图 2-27 (b) 所示，尺寸 A_1 、 A_2 均为组成环，组成环一般用加下角标为阿拉伯数字的大写拉丁字母表示。根据对封闭环影响的不同，组成环分为增环和减环。

(4) 增环

环的变动引起封闭环同向变动的组成环称为增环，即该环增大时封闭环也增大，该环减小时封闭环也减小。如图 2-27 (b) 中尺寸 A_1 ，增环的表示一般在组成环的字母上方用上标“ $\rightarrow$ ”表示，即 $\overrightarrow{A_1}$ 。

(5) 减环

环的变动引起封闭环反向变动的组成环称为减环，即该环增大时封闭环减小，该环减小时封闭环增大。如图 2-27 (b) 中尺寸 A_2 ，减环的表示一般在组成环的字母上方用上标“ $\leftarrow$ ”表示，即 $\overleftarrow{A_2}$ 。

3) 工艺尺寸链的建立

(1) 确定封闭环

封闭环是在加工过程中最后自然形成或间接保证的尺寸，一般根据工艺过程或加工方法确定。实际加工中，封闭环的尺寸往往是已知的。

(2) 查找组成环

根据工艺尺寸链的两个特征——封闭性和关联性，在确定封闭环之后，先从封闭环的一端开始，依次找出影响封闭环变动的相互连接的各个尺寸，直到最后一个尺寸与封闭环的另一端连接为止。其中每一个关联的尺寸就是一个组成环，它们与封闭环连接形成一个封闭的

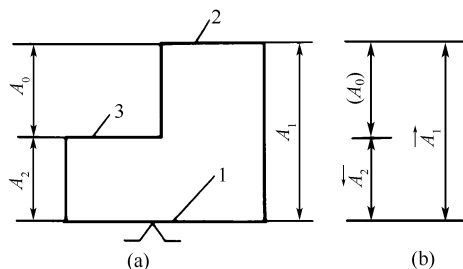


图 2-27 工艺尺寸链示例

尺寸链即工艺尺寸链。

（3）画出工艺尺寸链图

将封闭环和各个组成环相互连接的关系单独用简图表示，称为工艺尺寸链图，如图2-27（b）所示。画工艺尺寸链图时，为了能迅速判别各组成环的性质，可用首尾相连带单向箭头的线段来表示尺寸链的各环，线段一端的箭头仅表示查找组成环的方向。凡与封闭环线段箭头方向一致的组成环为减环，与封闭环线段箭头方向相反的组成环为增环，如图2-27（c）所示。

在建立工艺尺寸链时，应遵循“最短尺寸链原则”。对于某一封闭环，若存在多个尺寸链，则应选取组成环数最少的那一个尺寸链。这是因为在封闭环精度要求一定的条件下，尺寸链中组成环的环数越少，则对组成环的精度要求越低，从而可以降低产品的加工成本。

4）工艺尺寸链的计算公式

工艺尺寸链的计算，是指计算封闭环与组成环的基本尺寸及极限偏差。计算方法分为极值法和统计（概率）法两种，这里介绍极值法。

极值法是各组成环误差处于极端的情况下，确定封闭环与组成环关系的一种计算方法。这种方法适用于零件的完全互换，其特点是计算简单、加工可靠，因此工艺尺寸链计算一般都用极值法。但在封闭环公差较小且组成环较多时，各组成环的公差将会更小，使加工困难，成本增加。

图2-28为工艺尺寸链计算中各种尺寸与偏差的关系，表2-17列出了计算所用的符号。

表 2-17 工艺尺寸链计算所用的符号

环 名	符 号 名 称							
	基本尺寸	最大尺寸	最小尺寸	上偏差	下偏差	公差	平均尺寸	平均偏差
封闭环	A_0	$A_{0\max}$	$A_{0\min}$	ES_0	EI_0	T_0	A_{m0}	Δ_0
增 环	$\overrightarrow{A}$	$\overrightarrow{A_{\max}}$	$\overrightarrow{A_{\min}}$	$\overrightarrow{ES}$	$\overrightarrow{EI}$	$\overrightarrow{T}$	$\overrightarrow{A_m}$	$\overrightarrow{\Delta}$
减 环	$\overleftarrow{A}$	$\overleftarrow{A_{\max}}$	$\overleftarrow{A_{\min}}$	$\overleftarrow{ES}$	$\overleftarrow{EI}$	$\overleftarrow{T}$	$\overleftarrow{A_m}$	$\overleftarrow{\Delta}$

极值法的基本计算公式为：

（1）封闭环基本尺寸的计算公式

$$A_0 = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{A_i} - \sum_{i=m+1}^{n-1} \overleftarrow{A_i} \quad (2.7)$$

（2）封闭环最大、最小尺寸的计算公式

$$A_{0\max} = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{A_{i\max}} - \sum_{i=m+1}^{n-1} \overleftarrow{A_{i\min}} \quad (2.8)$$

$$A_{0\min} = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{A_{i\min}} - \sum_{i=m+1}^{n-1} \overleftarrow{A_{i\max}} \quad (2.9)$$

(3) 封闭环上、下偏差的计算公式

$$ES_0 = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{ES_i} - \sum_{i=m+1}^{n-1} \overleftarrow{EI_i} \quad (2.10)$$

$$EI_0 = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{EI_i} - \sum_{i=m+1}^{n-1} \overleftarrow{ES_i} \quad (2.11)$$

(4) 封闭环公差计算公式

$$T_0 = \sum_{i=1}^m T_i \quad (2.12)$$

(5) 封闭环平均尺寸的计算公式

$$A_{m0} = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{A_{mi}} - \sum_{i=m+1}^{n-1} \overleftarrow{A_{mi}} \quad (2.13)$$

(6) 封闭环平均偏差的计算公式

$$\Delta_0 = \sum_{i=1}^m \overrightarrow{\Delta_i} - \sum_{i=m+1}^{n-1} \overleftarrow{\Delta_i} \quad (2.14)$$

式中, n ——工艺尺寸链的总环数(包括封闭环和所有组成环);

$n-1$ ——工艺尺寸链组成环的数目;

m ——工艺尺寸链增环的数目;

各环的平均尺寸计算公式

$$A_{mi} = (A_{i\max} + A_{i\min}) / 2;$$

各环的平均偏差计算公式

$$\Delta_i = (A_{mi} - A_i) = (ES_i + EI_i) / 2。$$

2. 工序尺寸及公差计算

1) 定位基准与设计基准不重合时工序尺寸及公差计算

例2-2 如图2-29(a)所示的零件, 镗孔 D 前表面 A 、 B 、 C 已经过加工。镗孔时, 为使工件装夹方便, 选择表面 A 为定位基准进行加工, 为了保证镗孔后间接获得的设计尺寸 A_0 符合图纸要求, 需对工序尺寸 A_3 进行工艺尺寸链换算。

解: 首先建立工艺尺寸链。从加工工艺过程和工艺方法可知, 上道工序已保证尺寸 A_1 ($280^{+0.1}_0$ mm) 和尺寸 A_2 ($80^{+0.05}_0$ mm), 本工序加工直接保证尺寸 A_3 , 因此设计尺寸 A_0 (100 ± 0.15 mm) 为自然形成的尺寸, 即为封闭环。根据组成环的查找方法, 可以确定 A_1 、 A_2 、 A_3 3个尺寸为组成环。画出工艺尺寸链图, 根据增减环的判别方法确定增环为 A_2 、 A_3 , 减环为 A_1 , 如图2-29(b)所示。

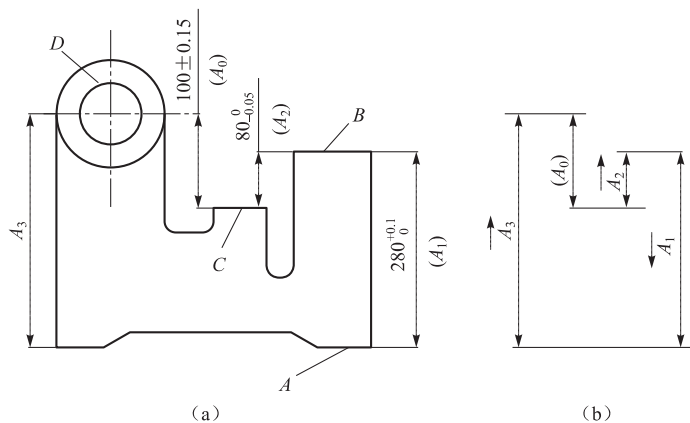


图 2-29 定位基准与设计基准不重合的尺寸计算

然后按极值法计算工序尺寸 A_3 及其公差。

按公式 (2.7) 计算基本尺寸

$$A_0 = A_2 + A_3 - A_1$$

$$\text{故 } A_3 = A_0 + A_1 - A_2 = 100 + 280 - 80 = 300 \text{ (mm)}$$

按公式 (2.10) 计算上偏差

$$ES_0 = ES_2 + ES_3 - EI_1$$

$$\text{故 } ES_3 = ES_0 + EI_1 - ES_2 = +0.15 + 0 - 0 = +0.15 \text{ (mm)}$$

按公式 (2.11) 计算下偏差

$$EI_0 = EI_2 + EI_3 - ES_1$$

$$\text{故 } EI_3 = EI_0 + ES_1 - EI_2 = -0.15 + 0.1 + 0.05 = 0$$

按公式 (2.12) 计算公差

$$T_0 = T_1 + T_2 + T_3$$

$$\text{故 } T_3 = T_0 - T_1 - T_2 = 0.3 - 0.1 - 0.05 = 0.15 \text{ (mm)}$$

$$\text{所以, } A_3 = 300^{+0.15}_0 \text{ mm。}$$

从计算结果可以看出：虽然设计尺寸 A_0 的尺寸公差为 0.3 mm。但是因定位基准与设计基准不重合，使本工序尺寸 A_3 的尺寸公差减小到 0.15 mm，这样提高了加工精度，增加了加工成本。但是采用上述加工方案，工件定位方便、夹具设计结构简单。因此，在工艺设计时应全面考虑问题，以求得到最佳方案。

在本例中，如果设计尺寸 A_0 的尺寸公差等于或小于 0.15 mm，则其公差等于或小于前道工序的两工序尺寸公差之和，这样本工序尺寸 A_3 的尺寸公差为零或负值，这是不可能的。因此要重新选择定位基准，或者提高前道工序的加工精度，即减小其工序尺寸公差，才能保

证本工序加工方案的可行性。

2) 测量基准与设计基准不重合时工序尺寸及其公差计算

(1) 测量尺寸及其公差计算

例 2-3 如图 2-30 所示一零件，当以端面 B 定位加工内孔端面 C 时，图中标注的设计尺寸 A_0 不便直接测量。如果先按尺寸 A_1 的要求车出端面 A，然后以 A 面为测量基准去控制尺寸 A_2 ，则设计尺寸 A_0 可间接得到保证。因此，必须求出测量尺寸 A_2 的尺寸及其公差。

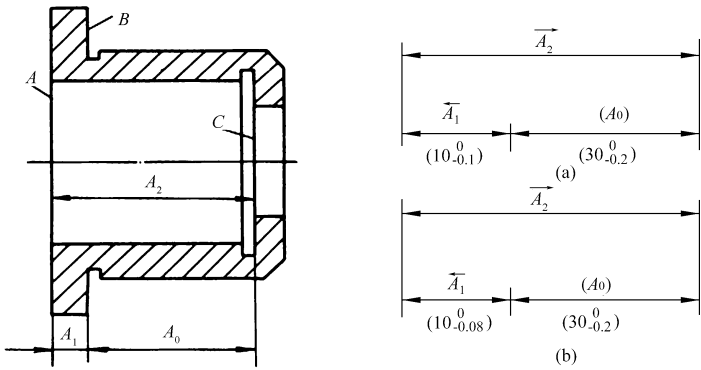


图 2-30 测量基准与设计基准不重合的尺寸计算

解：首先建立工艺尺寸链。根据题意，设计尺寸 A_0 ($30_{-0.2}^0$ mm) 为间接保证的尺寸，即为封闭环， A_2 为增环， A_1 ($10_{-0.1}^0$ mm) 为减环，如图 2-30 (a) 所示。

然后按极值法计算工序尺寸及其公差，计算方法除前面介绍的利用公式求解外，还可以采用竖式法求解，如表 2-18 所示。

表 2-18 竖式（极值）法求解工艺尺寸链

环名 \ 尺寸及偏差	基本尺寸 A/mm	上偏差 ES/mm	下偏差 EI/mm
增 环	$+A_i$	$+ES_i$	$+EI_i$
...	...	...	...
减 环	$-A_j$	$-EI_j$	$-ES_j$
...	...	...	...
封闭环	代数和	代数和	代数和

竖式法实际上就是应用极值法公式 (2.7)、(2.10)、(2.11) 求解工艺尺寸链。为了方便使用，可编一口诀增强记忆：增环，基本尺寸、上下偏差照抄；减环，基本尺寸取负，上下偏差对调、变号；封闭环，求增、减环代数和。需要注意的是：利用竖式法求解某一减环

的尺寸及公差时，所得结果应是表中基本尺寸取正，上下偏差对调、变号的数值。

表 2-19 所示为竖式法求解增环 A_2 的尺寸及公差： $A_2 = 40_{-0.2}^{+0.1}\text{mm}$ 。

表 2-19 竖式法求解 A_2 的尺寸及公差（之一）

环名 \ 尺寸及偏差	基本尺寸 A/mm	上偏差 ES/mm	下偏差 EI/mm
$\overrightarrow{A_2}$	40	-0.1	-0.2
$\overleftarrow{A_1}$	-10	+0.1	0
A_0	30	0	-0.2

若设计尺寸 A_0 为 $30_{-0.2}^0\text{mm}$ ， A_1 为 $10_{-0.2}^0\text{mm}$ ，则 A_2 的尺寸及公差如表 2-20 所示： $A_2 = 40_{-0.2}^{+0.2}\text{mm}$ 。

表 2-20 竖式法求解 A_2 的尺寸及公差（之二）

环名 \ 尺寸及偏差	基本尺寸 A/mm	上偏差 ES/mm	下偏差 EI/mm
$\overrightarrow{A_2}$	40	-0.2	-0.2
$\overleftarrow{A_1}$	-10	+0.2	0
A_0	30	0	-0.2

该尺寸公差为零，即尺寸要求加工绝对正确，这实际上是不可能实现的。因此，为了保证封闭环 A_0 （设计尺寸）的公差要求，必须压缩组成环 A_1 的公差，组成环公差压缩的原则可采用等公差值（所有组成环公差值均相等）或等公差级法（所有组成环的精度等级均相等）进行。前者计算方便，但实际加工中对尺寸大的组成环需提高加工精度，增加加工成本；后者实际加工中各组成环的加工精度一致，成本接近，但需查表计算。实际应用中也可采用折中办法，即尺寸大或加工测量不便的组成环取较大公差值，尺寸小或加工测量方便的组成环取较小公差值。现按表 2-21 重新计算，即 $A_2 = 40_{-0.2}^{+0.08}\text{mm}$ ，如图 2-30（b）所示。

表 2-21 竖式法求解 A_2 的尺寸及公差（之三）

环名 \ 尺寸及偏差	基本尺寸 A/mm	上偏差 ES/mm	下偏差 EI/mm
$\overrightarrow{A_2}$	40	-0.08	-0.2
$\overleftarrow{A_1}$	-10	+0.08	0
A_0	30	0	-0.2

(2) 假废品的分析

在图 2-30 (a) 中, 按计算结果 $A_2 = 40 \begin{smallmatrix} -0.1 \\ -0.2 \end{smallmatrix} \text{mm}$ 测量工件时, 若某一零件测得实际尺寸为 39.95 mm, 即大于最大极限尺寸, 则认为该零件为废品。但检验人员还需测量另一个组成环 A_1 的尺寸, 如果 A_1 为最大极限尺寸 10 mm, 此时封闭环的实际尺寸为: $A_0 = 39.95 - 10 = 29.95$ (mm), 满足 $30 \begin{smallmatrix} 0 \\ -0.2 \end{smallmatrix} \text{mm}$ 的要求, 故零件仍合格。

同理, 当 A_2 的实际尺寸小于最小极限尺寸, 例如测得 A_2 为 39.7 mm, 此时 A_1 为最小极限尺寸 9.9 mm, 此时封闭环 $A_0 = 39.7 - 9.9 = 29.8$ (mm), 零件仍合格。

通过上述讨论, 可以看出在实际加工中, 如果测得换算后的测量尺寸超差, 但只要它的超过量小于另一组成环的公差, 则有可能是假废品, 应对零件进行复检。

3) 待加工表面工序尺寸及其公差计算

在零件加工中, 有些加工表面的测量基准或定位基准是一些待加工的表面。当加工这些表面时, 不仅要保证本工序对该表面的一些精度要求, 而且同时要保证原加工表面的要求, 即一次加工后要同时保证两个尺寸的要求。

例 2-4 如图 2-31 (a) 所示为一齿轮内孔的局部简图, 设计尺寸为内孔 $\phi 85 \begin{smallmatrix} +0.035 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$, 键槽尺寸深度为 $\phi 90.4 \begin{smallmatrix} +0.20 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$ 。内孔和键槽的加工顺序是:

工序 1: 拉内孔至 $\phi 84.8 \begin{smallmatrix} +0.07 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$, 即半径尺寸 $A_2 = 42.4 \begin{smallmatrix} +0.035 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$;

工序 2: 插键槽至尺寸 A_3 (通过计算确定);

工序 3: 淬火热处理 (为简化分析不考虑热处理后内孔的变形误差);

工序 4: 磨内孔至 $\phi 85 \begin{smallmatrix} +0.035 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$, 即半径尺寸 $A_1 = 42.5 \begin{smallmatrix} +0.0175 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$, 同时间接保证键槽深度尺寸 $\phi 90.4 \begin{smallmatrix} +0.20 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$ 。

试求: 插键槽的工序尺寸及其公差。

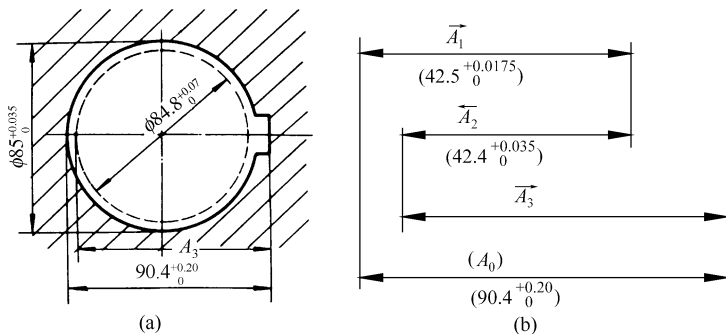


图 2-31 内孔键槽加工尺寸换算

解: 首先建立工艺尺寸链。由于键槽深度尺寸 A_0 ($\phi 90.4 \begin{smallmatrix} +0.20 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$) 是间接保证 (或自然形成) 的, 故为封闭环。尺寸 A_3 、 $\phi 84.8 \begin{smallmatrix} +0.07 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$ 及 $\phi 85 \begin{smallmatrix} +0.035 \\ 0 \end{smallmatrix} \text{mm}$ 对封闭环尺寸均有影响,

所以是组成环。但在画工艺尺寸链图时发现图形无法封闭，考虑零件为回转表面，关于中心对称，故可以采用半径值，即两内孔尺寸的中心线重合，建立工艺尺寸链，如图 2-31（b）所示。据增、减环判别方法判断： A_1 、 A_3 为增环， A_2 为减环。

计算工序尺寸 A_3 及上、下偏差，如表 2-22 所示， $A_3 = 90.3^{+0.183}_{+0.035}$ mm。

表 2-22 竖式法求解 A_3 的尺寸及公差

环名 \ 尺寸及偏差	基本尺寸 A/mm	上偏差 ES/mm	下偏差 EI/mm
$\overrightarrow{A_1}$	42.5	+0.017 5	0
$\overrightarrow{A_3}$	90.3	+0.182 5	+0.035
$\overleftarrow{A_2}$	-42.4	0	-0.035
A_0	90.4	+0.20	0

机械产品中有些零件需进行表面处理，如渗氮、渗碳等，表面处理一般需继续精加工，为了保持氮化层或渗碳层的深度，就应控制加工前的渗氮或渗碳层深度。这也属于待加工表面工序尺寸及其公差

的计算。

例 2-5 如图 2-32（a）所示一轴颈衬套，材料为 38CrMoAlA，要求内孔表面渗氮，磨削后，控制渗氮层深度单边为 $0.3^{+0.2}_0$ mm（即双边为 $\phi 0.6^{+0.4}_0$ mm），其工艺过程如下：

工序 1：磨内孔至尺寸 $\phi 144.76^{+0.04}_0$ mm（见图 2-32（c））。

工序 2：渗氮。

工序 3：磨内孔到尺寸 $\phi 145^{+0.04}_0$ mm（见图 2-32（b））。

求：磨前渗氮层厚度的工序尺寸及公差。

解：首先建立工艺尺寸链。根据上述工艺过程分析可知，磨削后渗氮层深度 t_0 （ $\phi 0.6^{+0.4}_0$ mm）是间接获得的尺寸，是封闭环。内孔尺寸 A_1 （ $\phi 144.76^{+0.04}_0$ mm）、渗氮深度 t_1 、内孔尺寸 A_2 （ $\phi 145^{+0.04}_0$ mm）是直接保证尺寸，这些尺寸的变化对封闭环 t_0 均有影响，因此是组成环，画出工艺尺寸链图，如图 2-32（d）所示。

计算渗氮工序尺寸 t_1 及上、下偏差： $t_1 = 0.84^{+0.36}_{+0.04}$ mm，如表 2-23 所示。

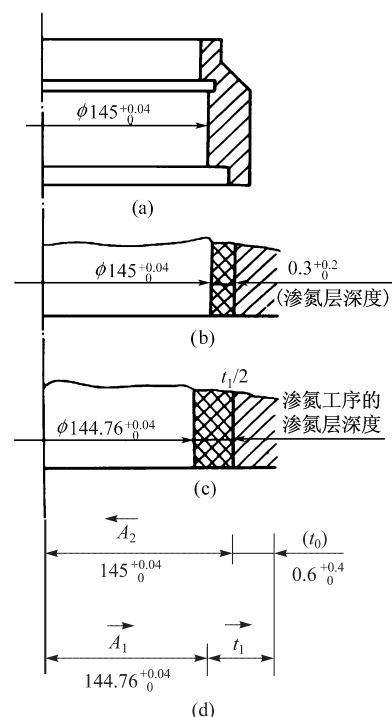


图 2-32 保证渗氮深度的尺寸计算