

机械制造工艺



类目：机械类

书名：机械制造工艺

主编：陈素婷 周 航 张钊源

出版社：中国建材工业出版社

开本：大 16 开

书号：978-7-5160-4074-4

使用层次：通用

出版时间：2024 年 7 月

定价：49.80

印刷方式：双色

是否有资源：是

策划编辑:李亚博
责任编辑:汪永涛
封面设计:旗语书装

“互联网+”
机械类创新融合精品规划教材
“互联网+”
教育改革新理念教材



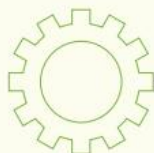
机械类创新融合精品规划教材
“互联网+”教育改革新理念教材

机械制造工艺



机械制造工艺

机械制造工艺



专·精·志·远
为您提供专业服务
编辑部:010-63567692
读者服务:010-63567692
网上书店:www.jcbs.com



主编◎陈素婷 周航 张钊源

中国建材工业出版社

主审◎王亚杰

主编◎陈素婷 周航 张钊源

中国建材工业出版社



机械类创新融合精品规划教材
“互联网+”教育改革新理念教材



<<< 机械制造工艺



主 审 © 王亚杰

主 编 © 陈素婷 周 航 张钊源



中国建材工业出版社
北 京

图书在版编目(CIP)数据

机械制造工艺/陈素婷,周航,张钊源主编. --北京:中国建材工业出版社,2024.7
ISBN 978-7-5160-4074-4

I. ①机… II. ①陈… ②周… ③张… III. ①机械制造工艺-高等学校-教材 IV. ①TH16

中国国家版本馆 CIP 数据核字(2024)第 050588 号

机械制造工艺

JIXIE ZHIZAO GONGYI

陈素婷 周 航 张钊源 主编

出版发行:中国建材工业出版社

地 址:北京市西城区白纸坊东街2号院6号楼

邮政编码:100054

经 销:全国各地新华书店

印 刷:涿州汇美亿浓印刷有限公司

开 本:880mm×1230mm 1/16

印 张:13

字 数:360千字

版 次:2024年7月第1版

印 次:2024年7月第1次

定 价:49.80元

本社网址: www.jccbs.com, 微信公众号: zgjcgyCBS

请选用正版图书, 采购、销售盗版图书属违法行为

版权专有, 盗版必究。本社法律顾问: 北京天驰君泰律师事务所, 张杰律师

举报信箱: zhangjie@tiantailaw.com 举报电话: (010) 63567684

编 委 会

主 审 王亚杰

主 编 陈素婷 周 航 张钊源

副主编 刘启蒙 马 飞 顾群锋 王丽艳

刘万辉 崔凯冬 曹彬然 孙万强

马莲芝 洪曼曼 王秀娟 邓力铨

杨 艳 李 兰



《机械制造工艺》参考教育部关于普通高等教育教材建设与改革的意见精神，基于机械类、机电类、仪器仪表类各专业的教学要求，依据“提高学生就业竞争力为导向，突出技能训练，培养技术技能型人才”的人才培养目标编写而成。全书内容坚持贯彻党的二十大精神，落实课程思政协同育人理念，系统性挖掘了职业道德、大国工匠精神、职业素养等思政元素，将立德树人有机贯穿在课程教学全过程和各环节。

本书以机械制造工艺原理、工艺方法及工艺过程为基础，内容涵盖机械加工制造工艺的基本概念、机械加工工艺规程、金属切削基本原理与刀具、金属切削机床、铸造工艺、锻压工艺、焊接工艺、机械加工精度、数控技术、特种材料加工 10 章内容，以图文并茂的形式、通俗易懂的语言介绍机械加工材料、制造工艺、加工方法、检验和装配调试等基础理论和基本技能。内容上力求做到“新”“精”“匠”。

1. 执行全新标准

社会在发展，科学在进步，国家标准也在不断更新。全书贯彻了新的国家标准，如对表面结构的图形符号贯彻标准《产品几何技术规范（GPS）技术产品文件中表面结构的表示法》（GB/T 131—2006）。

2. 耐心打磨精品

全书进行了精心校订，对一些不适当的提法、论述以及文字、图、表上的错误进行了认真修改，提高了教材质量。

3. 融入工匠精神

“匠心逐梦”精心选取大国工匠、全国劳模的先进事迹，不仅增加本书的可读性，而且是对读者进行的一次职业素养的精神洗礼。

本书在特色建设方面做出了许多努力，但由于编者水平有限，加之时间仓促，书中难免有欠妥之处，敬请各兄弟院校师生和读者批评指正。

编 者

2024 年

目 录 Contents

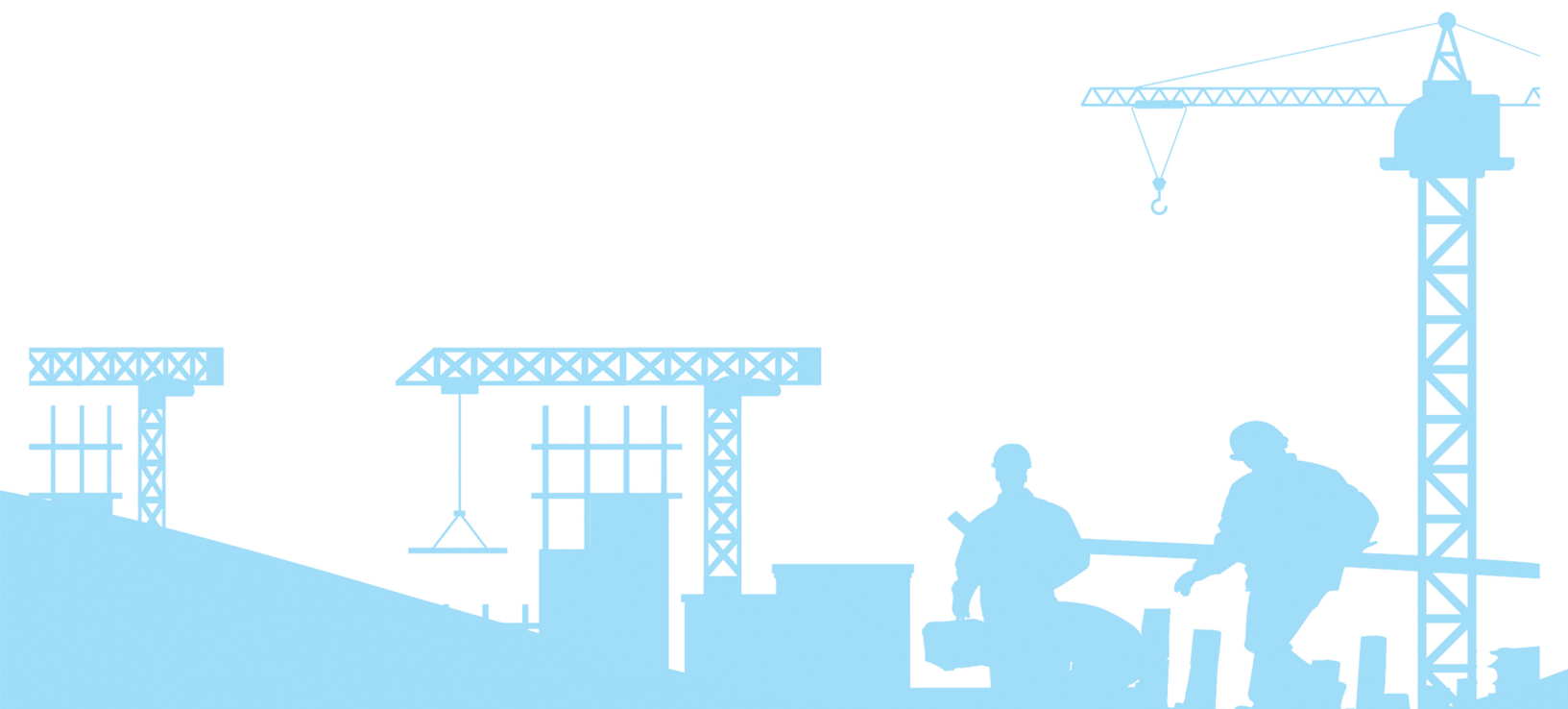
1	机械加工制造工艺的基本概念	1
1.1	产品的生产过程及工艺过程	2
1.2	生产纲领与生产类型	3
1.3	工艺规程的格式、内容及制订	6
1.4	机械制造工艺的发展趋势	9
2	机械加工工艺规程	13
2.1	零件结构及零件图的工艺分析	14
2.2	毛坯的选择	16
2.3	定位基准的选择	18
2.4	工艺路线的拟订	22
2.5	加工余量的确定	26
2.6	工序尺寸及公差的确 定	28
2.7	时间定额和提高生产率途径	34
3	金属切削基本原理与刀具	39
3.1	金属切削运动与切削用量	40
3.2	金属切削刀具的基本知识	42
3.3	刀具材料	44
3.4	常用刀具介绍	46
3.5	金属切削过程及规律	57
3.6	切削过程对刀具的影响	63
3.7	金属切削理论的应用	66
4	金属切削机床	72
4.1	金属切削机床的分类及型号	73
4.2	工件切削表面成型方法与机床运动分析	75
4.3	车削加工	80

4.4	铣削加工	89
4.5	钻削加工	94
5	铸造工艺	97
5.1	铸造概述	98
5.2	砂型铸造工艺	98
5.3	合金的浇注	108
6	锻压工艺	110
6.1	锻造概述	111
6.2	金属的加热与锻件的冷却	113
6.3	自由锻造	116
6.4	模型锻造	120
7	焊接工艺	124
7.1	焊接概述	125
7.2	手工电弧焊	126
7.3	其他焊接方法简介	133
8	机械加工精度	137
8.1	机械加工精度的相关概念	138
8.2	获得加工精度的方法	138
8.3	影响机械加工精度的主要因素	141
8.4	提高机械加工精度的途径	148
9	数控技术	151
9.1	数控车削加工	152
9.2	加工中心（数控铣）	171
10	特种材料加工工艺	186
10.1	电火花加工	187
10.2	激光加工技术	191
10.3	其他特种加工技术	194
	参考文献	200

1 机械加工制造工艺的基本概念

学习目标

知识目标	1. 了解机械加工工艺的基本概念 2. 掌握生产纲领与生产类型 3. 了解制定工艺规程的依据和步骤 4. 了解机械制造工艺发展趋势
能力目标	会制定工艺规程
素养目标	1. 培养学生吃苦耐劳的品德 2. 培养学生爱岗敬业，诚实守信的品质





1.1 产品的生产过程及工艺过程

1.1.1 产品的生产过程

机械产品制造是将原材料或半成品转变为成品所进行的全部过程，其生产过程主要包括四个阶段，如图 1-1 所示。



图 1-1 生产过程四个阶段

产品的生产过程是一个十分复杂的过程，不仅包括那些直接作用到生产对象上的工作，还包括许多生产准备工作和生产辅助工作，如生产计划的制定、工艺规程的编制、设备的维修，以及原材料和半成品的供应、运输和保管等。

随着自动化的普及，现代机械制造生产中的大多数机器或产品不再是单纯的机械产品，而是由机械装置、电气系统、液压传动装置、仪表等多部分构成，这些机器或产品的生产过程通常由多家工厂或工厂的多个车间合作完成。

1.1.2 工艺过程及其组成

零件的加工过程不同，其工艺过程也不同，常见的工艺过程有毛坯制造工艺、机械加工工艺、热处理工艺和装配工艺等。机械加工工艺过程是由一系列工序组成的，每道工序可分为若干个工位和工步，毛坯依次通过这些工序即可变为成品。

一个或一组工人在同一个工作地点（或同一台机床上），对同一个或同时对几个工件连续完成的那部分工艺过程，称为工序。工序是工艺过程的基本单元。由此可见，判别是否为同一工序的主要依据是：①工作地点和加工对象是否变动；②加工过程是否连续。这两个条件缺一不可。

一般来说，同一零件，同样的加工内容可以有不同的工序安排。如图 1-2 所示为某一阶梯轴，该零件的加工可安排在表 1-1 所示的两道工序中完成，也可安排在表 1-2 所示的四道工序中完成。显然，该零件在四道工序中完成时，其精度和生产效率均较高。

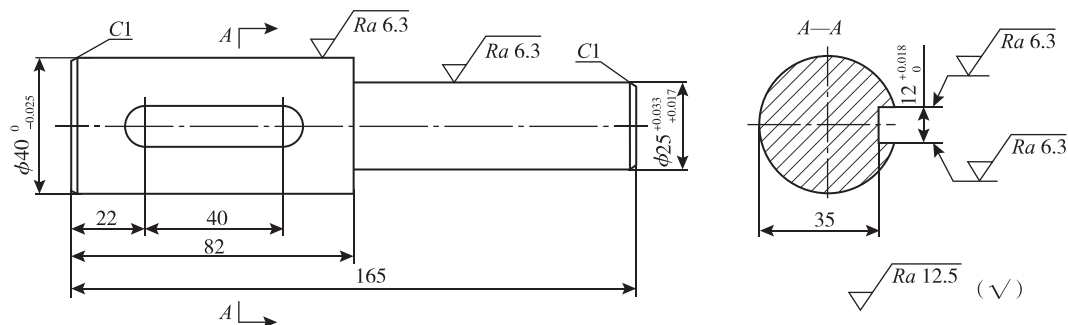


图 1-2 阶梯轴零件图

表 1-1 阶梯轴第一种工序安排方案

工序号	工序内容	设备
1	加工小端面，对小端面钻中心孔；粗车小端外圆，对小端倒角；加工大端面， 对大端面钻中心孔；粗车大端外圆，对大端倒角；精车外圆	车床
2	铣键槽，手工去毛刺	铣床

表 1-2 阶梯轴第二种工序安排方案

工序号	工序内容	设备
1	加工小端面，对小端面钻中心孔；粗车小端外圆，对小端倒角	车床
2	加工大端面，对大端面钻中心孔；粗车大端外圆，对大端倒角	车床
3	精车外圆	车床
4	铣键槽，手工去毛刺	铣床

1.2 生产纲领与生产类型

材料、结构和技术要求等完全相同的同一种机械产品，它们的制造工艺根据投入生产的批量不同而不同，而投入生产的批量取决于生产纲领。

1.2.1 生产纲领

生产纲领是指企业在计划期内应当生产的产品产量和进度计划。计划期通常定为一年，所以生产纲领也称为年生产纲领。年生产纲领是设计或修改工艺规程的重要依据，是车间设计的基本文件。

零件的产量除了要计入计划所需数量，还要计入备品和废品的数量。因此，零件的年产量应按下式计算：

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

式中 N ——零件的年产量，件/年；

Q ——产品的年产量，台/年；

n ——每台产品中该零件的数量，件/台；

$a\%$ ——零件的备品率，一般应 $<5\%$ ；

$b\%$ ——零件的废品率， $<3\%$ 。



1.2.2 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。根据产品的生产纲领和投入生产的批量，可将生产分为单件生产、批量生产和大量生产三种类型。

单件生产：产品的品种很多，但同一产品的产量很少，各工作地点的加工对象经常改变，而且很少重复生产。例如，专用夹具、刀具、量具，以及模具的生产都是单件生产。

批量生产：产品的种类较少，一年中分批轮流制造几种不同的产品，每种产品均有一定数量，加工对象周期性改变，加工过程周期性重复。按批量多少，批量生产又可分为小批、中批和大批生产三种。例如，机床、机车、电动机、纺织机械等的制造通常属于批量生产。

大量生产：大多数工作地点经常按一定节奏进行某种零件中某道工序的重复加工，同一产品的生产数量很大，工作地点较少改变，加工过程重复。例如，汽车、拖拉机、自行车的制造，以及轴承厂等专业化生产常属于大量生产。

生产类型的具体划分，可根据生产纲领、产品及零件的特征，或工作地每月担负的工序数，参照表 1-3 确定。

表 1-3 生产类型和生产纲领的关系

生产类型	生产纲领/（台/年或件/年）			工作地每月担负的工序数 /（工序数/月）
	小型机械或轻型零件	中型机械或中型零件	重型机械或重型零件	
单件生产	≤100	≤10	≤5	不作规定
小批生产	100~500	10~150	5~100	20~40
中批生产	500~5 000	150~500	100~300	10~20
大批生产	5 000~50 000	500~5 000	300~1 000	1~10
大量生产	50 000	5 000	1 000	1

注：表内数据含上限，不含下限。

在工艺上，小批生产与单件生产相似，常合称为单件小批生产；大批生产与大量生产相似，常合称为大批大量生产。因此，生产上常按单件小批生产、中批生产和大批大量生产来划分生产类型，并按这三种生产类型归纳它们的工艺特征，见表 1-4。

表 1-4 各种生产类型的工艺特征

工艺特征	生产类型		
	单件小批生产	中批生产	大批大量生产
加工对象	经常变换	周期性变换	固定不变
零件的互换性	用修配法进行钳工修配，缺乏互换性	大部分具有互换性。装配精度要求高时，应灵活应用分组装配法和调整法，必要时还可采用修配法	具有广泛的互换性。少数装配精度较高部位，可采用分组装配法和调整法
毛坯的制造方法与加工余量	木模手工造型或自由锻造，毛坯精度低，加工余量大	部分采用金属模铸造或模锻，毛坯精度和加工余量中等	广泛采用金属模机器、模锻或其他高效方法造型，毛坯精度高，加工余量小



续表

工艺特征	生产类型		
	单件小批生产	中批生产	大批大量生产
机床设备及其布置形式	采用通用机床,按机床类别和规格大小,采用机群式排列布置	部分采用通用和高效机床,按零件分类,部分布置成流水线,部分布置成机群式	广泛采用高效专用机床及自动机床,按流水线和自动线排列设备
工艺装备	大多采用通用夹具、标准附件、通用刀具和万能量具,依靠划线和试切法达到精度要求	广泛采用夹具,部分靠找正装夹达到精度要求,较多采用专用刀具和量具	广泛采用专用高效夹具、复合刀具、专用量具或自动检验装置,依靠调整法达到精度要求
对工人的技术要求	需要技术水平较高的工人	需要一定技术水平的工人	对调整工的技术水平要求较高,对操作工的技术水平要求较低
工艺文件	有简单的工艺过程卡,关键工序要有工序卡	有较详细的工艺过程卡,关键零件要有工序卡	有详细的工艺过程卡和工序卡,关键工序要有调整卡和检验卡
成本	较高	中等	较低

匠心逐梦

机械行业“拼命三娘”，填补国内一项空白

全国劳动模范、全国五一劳动奖章、湖南省优秀共产党员……这些荣誉的获得者叫邱宝珠，今年才33岁。

作为湖南三特机械制造有限公司的中级工程师，她在以男性居多的机械世界里已经打拼了14年。

从一个普通操作工成长为数控编程、模具设计专家，她被工友称为“拼命三娘”“铿锵玫瑰”。

时间回到2007年，18岁的福建姑娘邱宝珠刚刚中学毕业，受家庭条件限制，她无法继续求学。在那个烈日炎炎的夏季，她东奔西走，只为求得一份糊口的工作。虽然经过数次碰壁，但性格坚忍的邱宝珠没有放弃，最终获得了一个进入泉州生产力促进中心参加数控技术培训的机会。

培训期间，邱宝珠第一次接触到CAD图纸设计、CNC程序编写和CAM加工中心操作。

“老师对我们说过，做机械设计行业的女孩子特别少，工作也不轻松。因此，很多人不太看好我。”邱宝珠回忆，当时班里有40个人，只有3名女生。

女孩就做不好机械行业吗？不服输的邱宝珠，凭借坚持不懈的学习和超强的毅力，快速掌握了扎实的理论基础和基本工作流程，从同级学员中脱颖而出，并在2008年担任技术员兼培训导师的工作。

19岁时就拥有了稳定的工作，邱宝珠却不甘于此。当听说福建泉州三特公司（湖南三特机械制造有限公司前身）正在招收设计人员时，她毫不犹豫地选择前往应聘，她的人生版图也从福建转到了湖南。

邱宝珠这一干就是14年。在公司，只要工作需要，她总是随叫随到，毫无怨言。公司成立之初，作为公司唯一的设计人员，她身兼产品设计、模具设计、现场加工、学徒培训几项工作。曾经有一段时间，她白天设计产品图，晚上加工模具，凌晨两三点才休息，后来干脆住到了厂里。



“做机械行业，累是肯定的，特别是遇到技术攻关的时候，连续加班一个星期都是家常便饭，但是当成果出来的那一刻，所有的累和苦都是值得的。”邱宝珠说。

凭着强烈的求知欲望和脚踏实地的工作态度，邱宝珠被公司评为“最有价值的员工”。

自参加工作以来，她共申请专利 27 项，已授权 14 项，其中发明专利 5 项。特别是由她主导发明的高耐磨性易拆卸工业油链技术填补了国内该项技术的空白，极大提升了公司产品的核心竞争力；主导设计的先镗后钻工装，不仅保证了产品装配时橡胶圈的压缩量，还有效延长了产品的使用寿命。

她用爱岗敬业的实际行动诠释着专注创新的工匠精神。

“干一行爱一行，有付出就会有收获。”这是邱宝珠扎根机械行业 14 年的工作感悟。

潇湘女工匠之勇，勇在敢于挑战，勇在敢为事业远赴千里之外的担当。

（资料来源：今日女报，<https://baijiahao.baidu.com/s?id=1742810541785371068&wfr=spider&for=pc>，有修改）

1.3 工艺规程的格式、内容及制订

工艺规程是规定产品或零部件制造工艺过程和操作方法的工艺技术文件，包括零件加工工艺流程、加工工序内容、切削用量、所采用的设备及工艺装备、工时定额等。

1.3.1 工艺规程的作用

工艺规程是在总结实践经验的基础上，依据科学的理论和必要的工艺试验所制定的，它反映了加工中的客观规律。工艺规程是组织和管理生产的基本依据，其主要作用如下。

（1）工艺规程是指导生产的主要技术文件

生产中，产品的试制或产品的批量生产，都必须按照工艺规程提供的数据进行技术准备，生产准备，编制合理的生产计划，以及调度原材料、毛坯和设备，并及时设计制造工艺装备，从而科学地进行经济核算和技术考核。工人必须按照工艺规程中的要求进行生产，才能保证产品质量，提高生产效率。

（2）工艺规程是新建和扩建工厂的原始资料

根据工艺规程中所需要的生产面积、机械设备、技术工人及生产资源等，确定是扩建厂房还是新建工厂。

（3）工艺规程是进行技术交流，开展技术革新的基本资料

工艺规程是开展技术革新和技术交流必不可少的技术语言和基本资料，先进的工艺规程还起着交流和推广先进经验的作用。

1.3.2 机械加工工艺规程的格式

工艺规程没有规定的格式，各企业根据本企业产品的生产类型和零件的复杂程度自行确定，但其基本内容是相同的。通常，机械加工工艺规程被填写成卡片（表格）形式，以下三种形式可根据生产类型、零件的精密程度和工艺过程的自动化进行选择。

（1）机械加工工艺流程卡

机械加工工艺流程卡简要列出了整个零件加工所经过的工艺路线（毛坯、机械加工、热处理等）及工装设备，它是制订其他工艺文件的基础，也是生产准备、编排生产计划和组织生产的依据，见表 1-5。过程卡中各工序的内容不够具体，一般不能直接指导工人操作。



表 1-5 机械加工工艺过程卡

(厂名)		机械加工工艺过程卡				零件名称				共 页			
						零件编号				第 页			
材料牌号		毛坯种类		毛坯外形尺寸		毛坯件数		每台件数		备注			
工序号	工序名称	工序内容				车间	工段	设备	工艺设备		工时		
											准终	单件	
编写		完成日期		月 日		审查签名				日期		月 日	

(2) 机械加工工艺卡

机械加工工艺卡是以工序为单位，详细说明零件的整个加工工艺过程的工艺文件，也是指导生产和车间技术管理、人员管理的技术文件，广泛用于批量零件加工和重要零件的小批量生产，见表 1-6。

表 1-6 机械加工工艺卡

(厂名)		机械加工工艺卡				零件名称				共 页					
						零件编号				第 页					
材料牌号		毛坯种类		毛坯外形尺寸		毛坯件数		每台件数		备注					
工序	装夹	工步	工序内容	同时加工零件数	切削用量				设备名称及编号	工艺设备名称			技术等级	工时定额	
					切削深度 /mm	切削速度 / (m/min)	每分钟转数或往复次数	进给量 /mm		夹具	刀具	量具		准终	单件
编写		完成日期		月 日		审查签名				日期		月 日			

(3) 机械加工工序卡

机械加工工序卡的内容最详细，是用于具体指导工人操作的工艺文件，见表 1-7。工序卡中除了要有工艺卡中的所有内容外，还必须有该工序的工序简图。



表 1-7 机械加工工序卡

(厂名)		机械加工工序卡		零件名称				共 页	
				零件编号				第 页	
(工序简图)		车间		工序号		工序名称		材料牌号	
		每台件数		毛坯种类		毛坯外形尺寸		每坯件数	
		同时加工件数		冷却液		设备名称		设备型号	
		设备编号		夹具编号		夹具名称		工序工时	
						准终		单件	
工序号	工步内容	工艺装备	主轴转速 / (r/min)	切削速度 / (m/min)	进给量 /mm	切削深度 /mm	进给次数	工时定额	
								机动	辅助
编写		完成日期	月 日		审查签名		日期	月 日	

1.3.3 制定工艺规程的原则和依据

制定工艺规程的基本原则，是在保证加工出的零件符合零件图上的所有技术要求的前提下，尽量降低生产成本，提高生产效率。因此，在制定工艺规程时，应从工厂的实际条件出发，充分利用现有生产条件，尽可能采用国内外先进的工艺技术和经验。

制定工艺规程时，应主要依据下列基本原始资料。

- (1) 产品的装配图样和零件图样。
- (2) 产品及零件的质量验收标准。
- (3) 产品的生产纲领。
- (4) 企业现有生产条件，包括零件毛坯生产条件、机械加工技术水平、机床及其设备的性能，以及技术工人的水平。
- (5) 相关手册、图册、标准，以及类似产品的工艺资料。
- (6) 国内外同类产品的有关工艺资料。

工艺规程的制订，既要符合企业生产实际，又要考虑新工艺和新技术的应用，要积极引用先进的工艺技术，要有发展和创新意识，不能墨守成规。

1.3.4 制定工艺规程的步骤

制定工艺规程的一般步骤如下。

- (1) 熟悉和分析制定工艺规程的主要依据，确定零件的生产纲领和生产类型。
- (2) 分析零件工作图和产品装配图，进行零件结构工艺性分析。
- (3) 确定毛坯，包括选择毛坯类型及其制造方法。
- (4) 拟定工艺路线，即从毛坯到零件的加工走向，这是制定工艺规程的关键一步。
- (5) 确定各工序的主要内容，包括各工序需用的机床、工艺设备（如夹具、刀具、量具和量仪等）、



加工余量、工序尺寸及其公差。

- (6) 确定各主要工序的技术要求及检验方法。
- (7) 确定各工序的切削用量和时间定额，并进行技术经济分析，选择最佳工艺方案。
- (8) 填写工艺文件。

1.3.5 制定工艺规程的注意事项

选择机床和工艺装备时，应考虑：机床精度与工件精度应相适应；机床规格与工件的外形尺寸相适应；选择的机床应与现有加工条件相适应，如机床负荷的平衡状况等；如果没有现成机床可供选用，经过技术经济分析后，也可提出专用机床的设计任务书或改造旧机床。

此外，在确定工艺设备时，应注意以下几点。夹具的选择：单件和小批生产应首先选用各种通用夹具和机床附件，如卡盘、机床用平口虎钳、分度头等；对于大批大量生产，为提高生产率应采用专用高效夹具；对于多品种且需采用数控加工的中、小批量零件，可采用可调夹具或成组夹具。夹具的精度须与零件的加工精度相适应。刀具的选择：刀具的选择应考虑工件的加工方法、加工尺寸、精度要求、表面粗糙度、工件材料、生产率和经济性等因素，其原则是优先采用标准刀具。机械集中，应采用各种高效的专用刀具、复合刀具和多刃刀具等；数控加工、加工中心加工等，应考虑刀具寿命期内的可靠性。此外，还要注意刀具的类型、规格和精度等级应符合加工要求。量具和量仪的选择：选择量具和量仪的依据是其精度必须与加工精度相适应。单件、小批生产采用通用量具，如游标卡尺、百分尺和千分表等；大批大量生产应采用极限量规、高效的专用检验夹具和量仪。

1.4 机械制造工艺的发展趋势

1.4.1 机械制造工艺流程

机械制造工艺是指将各种原材料、半成品加工成为零件、产品的方法和过程。机械生产过程按其功能不同主要分为两类：一类是直接改变工件的形状、尺寸、性能及决定零件相互位置关系的加工过程，如毛坯制造、机械加工、热处理、表面保护、装配等，以材料制造工艺技术为主，它们直接创造附加价值；另一类是搬运、储存、检验、包装等辅助生产过程，它们间接创造附加价值。机械制造工艺流程如图 1-3 所示。

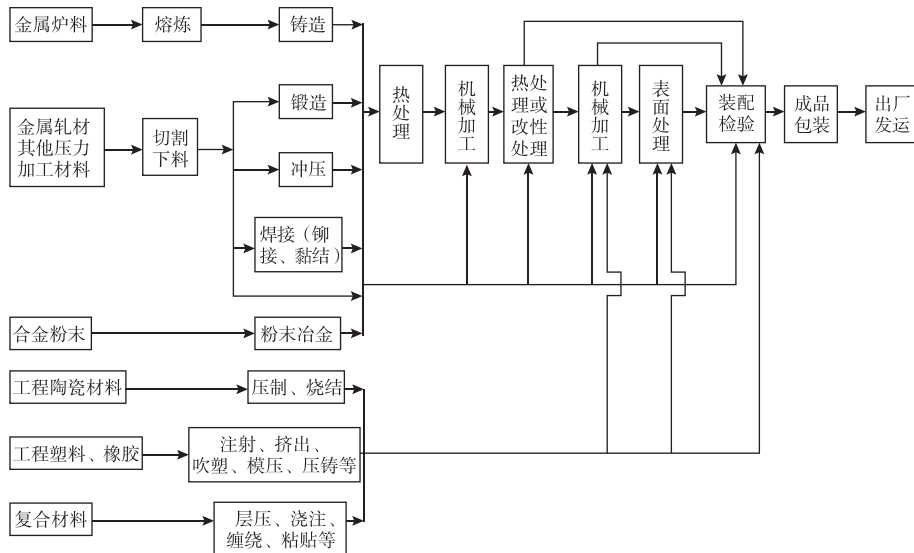


图 1-3 机械制造工艺流程图



(1) 工业生产的原材料

工业生产的原材料主要是以钢铁为主的金属结构材料,包括由冶金工厂直接供应的棒、板、管、线材、型材,进行切割、焊接、冲压、锻造或下料后直接进行机械加工;也包括生铁、废钢、铝锭、电解铜板等材料,进行二次熔化和加工(铸造、铸锭-锻造)。随着机械工程材料结构的不断调整,各种特种合金、金属粉末、工程塑料、复合材料和工程陶瓷材料的应用比例也不断扩大。

(2) 零件毛坯的制造方法

零件毛坯的制造方法一般有铸造、锻造、冲压、焊接和轧材下料五种常用方法(轧材下料也是锻压和焊接的准备工序);其他材料(合金粉末、工程陶瓷、工程塑料等)另有各自的特殊成型方法。

(3) 零件的机械加工

零件的机械加工指采用切削、磨削和特种加工等方法,逐步改变毛坯的形状、尺寸及表面质量,生产合格产品的过程。根据加工余量的大小及所能达到的精度,一般分为粗加工和精加工两种。

(4) 金属材料的热处理

金属材料的热处理可分为预备热处理和最终热处理。预备热处理一般在毛坯制造后粗加工前进行;最终热处理一般在粗加工后精加工前进行。部分热处理工艺(表面热处理和化学热处理)往往也作为表面保护的具体措施。

(5) 表面处理工艺

材料电镀、转化膜、气相沉积、热喷涂、涂装等表面处理工艺,一般在零件精加工后装配前进行,用以改变零件表面的力学性能及物理化学性能,使其具有符合要求的强韧性、耐磨性、耐蚀性及其他特种性能。

在机械加工过程中,有大量主体工序(如造型、熔化浇注、切削等),也有大量的辅助工序(如毛坯打磨、焊补等)。在工艺装备中要有相应的辅助工装(如砂箱、夹具等)和工艺材料(如造型原砂、焊条、切削液等)配合。辅助工序、辅助工装和工艺材料对产品质量也有重大影响。

在机械制造生产过程中,各种物料(原材料、工件、成品、工具、辅助材料、废品废料等)的搬运和储存,材料产品和工艺过程的检测和质量监控,生产过程中各种信息的传递和控制都是贯穿于整个机械制造工艺过程的,是保证生产工艺过程的正确实施、提高产品质量稳定性和提高经济效益的重要环节。

1.4.2 机械制造工艺的发展

铸造、锻压、注塑、热处理、机械加工等常规机械制造工艺至今仍是量大面广、经济适用的技术,因而常规工艺的不断改进、提高具有很大的技术经济意义。通过改进工艺设备、采用新型工艺材料、完善检测控制系统、改善工艺条件、优化工艺及其参数等途径,实现高效化、精密化、强韧化、轻量化,以形成优质、高效、低耗等先进适用工艺。如以涂层刀具、超硬刀具、机夹刀具代替普通刀具,以数控加工代替普通机床加工等。常规工艺经过优化后,能够扩展原有的工艺效果,使得如下料,毛坯制造和零件精、粗加工及热处理等工艺,在界限上趋于淡化,在功能上趋于交叉。如精密冲裁、精密切割的功能不只限于下料,一直扩展至粗加工甚至部分精加工领域。无余量精密制造、接近最终形状的精密塑性成型等基本可取代粗加工,甚至可以做到直接装配。常规工艺的不断优化,取得了非常明显的技术经济效果。

近些年来,机械产品更新换代的速度不断加快,对制造工艺提出了更高更新的要求;新能源、新材料、微电子、计算机等高新技术的不断引入,为新型加工方法的出现提供了技术储备。因此,机械制造加工方法不断出现和发展。新型材料的出现使传统的铸、锻、焊、热、切削加工工艺的技术构成逐渐发生变化。新型材料的应用也导致崭新加工技术的产生,如加工超塑性材料的超塑成型、加工陶瓷材料的热等静压、沉积 TiN、人造金刚石等。另外,激光、电子束、离子束、等离子体、超声波、高压水射流等新能源或能源载体的引入,形成了多种崭新的特种加工及高密度能切割、焊接、熔炼、锻压、热处理、



表面保护等加工工艺。激光、等离子、高压水射流切割技术与数控技术相结合使加工精度和生产效率大幅度提高。

随着机械加工精度不断提高,出现了精密加工和超精密加工,其主要方式有超精密切削、超精密磨削与磨料加工。制造超大规模集成电路、光电器件等的基本加工工艺是微细加工,它不仅加工精度极高,而且加工尺寸十分微小。微细加工的发展还导致一门崭新的学科——微机械的产生。应用微机械技术可制造出显微量级尺寸的机械器件,如微型传感器、静电驱动的微型马达、微型齿轮、微型轴承、微型机械手、微型机器人等。

将两种以上加工方法复合应用(工艺及设备复合)形成一些复合加工技术,如超声振动切削、液态模锻(铸造+热挤压)、连续铸挤(连续铸造+挤压)、超塑成型、扩散连接等加工方法。

计算机数值模拟技术和计算机辅助工艺设计(CAPP)在铸造、锻压、焊接等传统工艺中开始得到广泛应用。材料成型及处理各生产环节采用高效专用设备和先进工艺,普遍实现了工艺专业化和机械生产自动化。微电子、计算机、自动化技术与工艺及设备相结合,形成了从单机到系统、从刚性到柔性、从简单到复杂等不同档次的多种自动控制加工技术,使传统工艺面貌发生显著的本质的变化。应用新型传感器、无损检测等工艺过程自动监控技术及可编程控制器、微机等新型控制装置实现系统的自适应控制和自动化控制。适应产品更新换代周期短、品种规格多样化的需要,高效柔性加工系统获得较快发展。计算机集成制造系统(CIMS)借助计算机技术,将产品设计、制造工艺(CAD/CAM)和管理信息集成于交互式网络中,形成一个有机整体,实现机械制造过程高度自动化,极大地提高了劳动生产率和社会经济效益。



知识拓展

新材料的发展趋势

随着社会的发展和科学技术的进步,新材料的研究、制备和加工应用层出不穷。每一种重要的新材料的发现和应用,都把人类支配自然的能力提高到一个新的水平。工程材料目前正朝着高强度比(单位密度的强度)、高比模量(单位密度的模量)、耐高温、耐腐蚀的方向发展。如图1-4所示为材料比强度随时间的进展,今日先进材料强度比早期材料强度增长5倍。新材料主要在以下几方面获得发展。

(1) 先进复合材料

先进复合材料是由基体材料(高分子材料、金属或陶瓷)和增强材料(纤维、晶须、颗粒)复合而成的具有优异性能的新型材料。

(2) 光电子信息处理材料

光电子信息处理材料包括量子材料、生物光电子材料、非线性光电子材料等。

(3) 低维材料

低维材料是指超微粒子(零维)、纤维(一维)和薄膜(二维)材料,这是近年来发展最快的材料领域。

(4) 新型金属材料

新型金属材料,包括镍基高温合金、非晶态合金、微晶合金、Al-Li合金金属间化合物等。

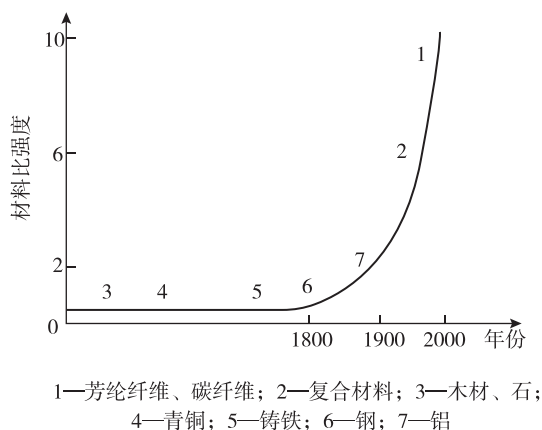


图 1-4 材料比强度随时间的进展



思政园地

高质量发展是新时代的硬道理，发展新质生产力是推动高质量发展的内在要求和重要着力点。而努力建设高素质劳动大军，对高质量发展以及新质生产力发展至关重要。当今世界，综合国力的竞争归根到底是人才的竞争、劳动者素质的竞争。习近平总书记在 2020 年全国劳动模范和先进工作者表彰大会上发表重要讲话强调，我国工人阶级和广大劳动群众要树立终身学习的理念，养成善于学习、勤于思考的习惯，实现学以养德、学以增智、学以致用。要适应新一轮科技革命和产业变革的需要，密切关注行业、产业前沿知识和技术进展，勤学苦练、深入钻研，不断提高技术技能水平。

要点回顾

1. 产品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的工作，还包括许多生产准备工作和生产辅助工作，如生产计划的制订、工艺规程的编制、设备的维修，以及原材料和半成品的供应、运输和保管等。

2. 生产纲领是指企业在计划期内应当生产的产品产量和进度计划。计划期通常定为一年，所以生产纲领也称为年生产纲领。年生产纲领是设计或修改工艺规程的重要依据，是车间设计的基本文件。

3. 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。根据产品的生产纲领和投入生产的批量，可将生产分为单件生产、批量生产和大量生产三种类型。

4. 机械加工工艺过程的基础知识

机械加工工艺过程是指在生产过程中，直接改变原材料或毛坯的形状、尺寸、性能以及相互位置关系，使之成为半成品或成品的过程。工艺过程主要包括毛坯的制造（铸造、锻造、冲压等）、热处理、机械加工和装配。机械加工工艺过程的基本单元是工序，一般由一道或若干道工序组成，而工序又可分为安装、工位、工步和走刀等。

5. 机械加工工艺规程

机械加工工艺规程是规定产品或零部件制造工艺流程和操作方法等的技术文件。主要包括零件加工工艺流程、加工工序内容、切削用量、采用设备及工艺装备、检测仪器及检测方法、工时定额等。机械加工工艺规程的类型有专用工艺规程和通用工艺规程。生产中常用的有机械加工工艺过程卡和机械加工工艺工序卡。

自我检验

1. 请简述装夹与安装，工位与工步之间的区别。

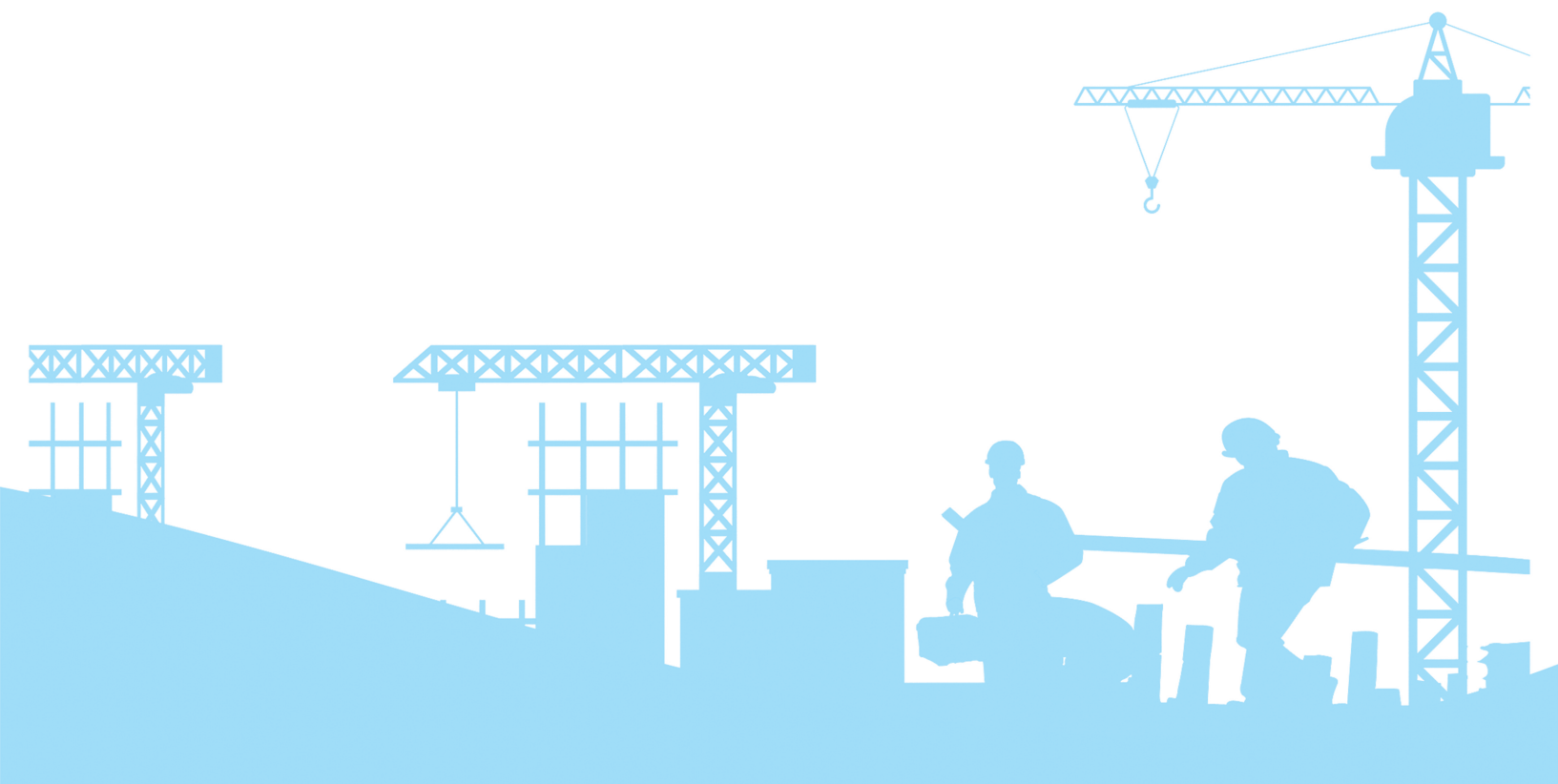
2. 简述制定工艺规程的原则和步骤。

3. 某机床厂年产 CA6140 车床 2000 台，每台车床只有一根主轴，主轴零件的备品率为 14%，机械加工废品率为 4%，试计算机床主轴零件的年生产纲领。从年产纲领来分析，试说明主轴零件属于哪种生产类型。

2 机械加工工艺流程

学习目标

知识目标	1. 掌握基准、加工余量尺寸链等各种基本概念 2. 了解零件结构工艺性分析 3. 掌握毛坯与定位基准的选择 4. 了解工艺路线的拟定以及工序尺寸和公差的确
能力目标	1. 能用尺寸链进行计算 2. 掌握加工余量的计算方法
素养目标	1. 培养学生善于动脑、勤于思考的学习习惯 2. 培养学生严格遵守工艺纪律、执行工作规范的工作习惯





2.1 零件结构及零件图的工艺分析

零件结构的工艺性是指零件在满足使用要求的前提下，制造毛坯、加工零件和装配产品时所具备的可行性和经济性，它反映零件在各个制造过程中的工艺性，如零件结构的铸造、锻造、冲压、焊接、热处理等工艺。

在不同的生产类型和生产条件下，结构相同的零件，其制造的可行性和经济性是不同的。因此，在确定零件机械加工工艺之前，必须先对零件结构的工艺性进行分析。

2.1.1 零件结构工艺性分析

零件结构工艺性分析主要包括零件要素是否合理、能否方便加工，以及零件的尺寸及公差标注是否合理等内容。

零件要素是指组成零件的各加工面，零件要素工艺性直接影响零件的工艺性。零件要素的工艺性具有综合性，必须全面、综合地分析。以零件要素的切削加工工艺性为例，其工艺要求归纳起来有以下几点。

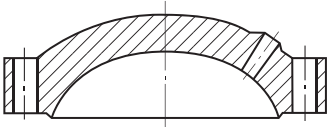
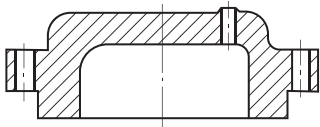
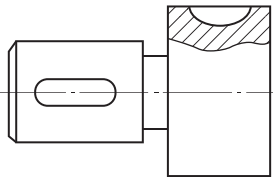
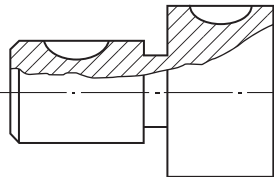
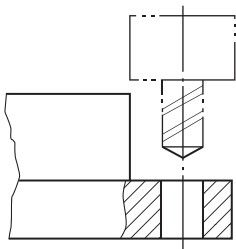
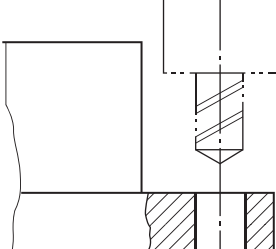
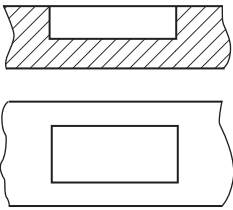
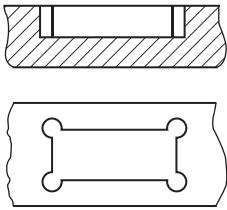
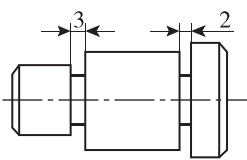
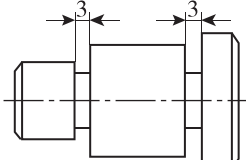
- (1) 各要素的形状应尽可能简单，加工面积尽可能小，规格应尽量统一。
 - (2) 组成要素不同，加工方法也不相同，但应尽可能采用通用设备和标准刀具，且保证刀具易进入、退出和顺利通过加工表面。
 - (3) 加工表面与非加工表面要明显分开。
 - (4) 零件外形应有便于装夹的基准。
 - (5) 零件要有足够的刚度，以便高速或强力切削，同时要注意节省材料。
- 表 2-1 列出了最常见的零件结构要素的工艺实例，以供工艺分析时参考。

表 2-1 零件的整体结构工艺性

主要要求	结构工艺性		良好工艺性的特点
	不好	好	
加工面积应尽量小			① 减少加工量； ② 减少材料及切削工具的消耗量
钻孔的入端和出端应避免斜面			① 避免刀具损坏； ② 提高孔的精度； ③ 提高生产率



续表

主要要求	结构工艺性		良好工艺性的特点
	不好	好	
避免斜孔			① 几个孔的轴线平行, 便于同时加工; ② 减少加工量; ③ 简化夹具结构
键槽的尺寸和方位应相同			① 可在一次装夹中加工出全部键槽; ② 提高生产率
结构应便于加工			小孔与其他表面的距离应适当, 便于引进刀具
尽量不要设计成方形凹坑			方形凹坑的四角加工时无法清角, 影响配合
退刀槽尺寸应相同			① 可减少刀具; ② 减少换刀时间

2.1.2 零件图的工艺分析

零件图样上的尺寸标注, 既要满足设计要求, 又要便于加工。零件的技术要求主要有以下几个方面。

(1) 加工表面的尺寸精度。加工表面的尺寸标注要合理, 应避免一道工序同时要求保证多个尺寸。

图 2-1 所示为齿轮轴零件的尺寸标注, 齿轮的端面 A 和 B 都要磨削。由图 2-1 (a) 所示的尺寸可知, 磨削 B 面可同时保证尺寸 150mm 和 30mm; 磨削 A 面可同时保证尺寸 50mm、30mm 和 150mm。由工



艺尺寸链的知识可知,这将增加加工的难度,提高零件的精度要求,因此工艺性不好。

若将零件的尺寸改成如图 2-1 (b) 所示,则磨削 *B* 面时仅保证尺寸 150mm;磨削 *A* 面时仅保证尺寸 50mm,没有多尺寸同时保证问题,不会增加零件的加工难度,故结构工艺性好。

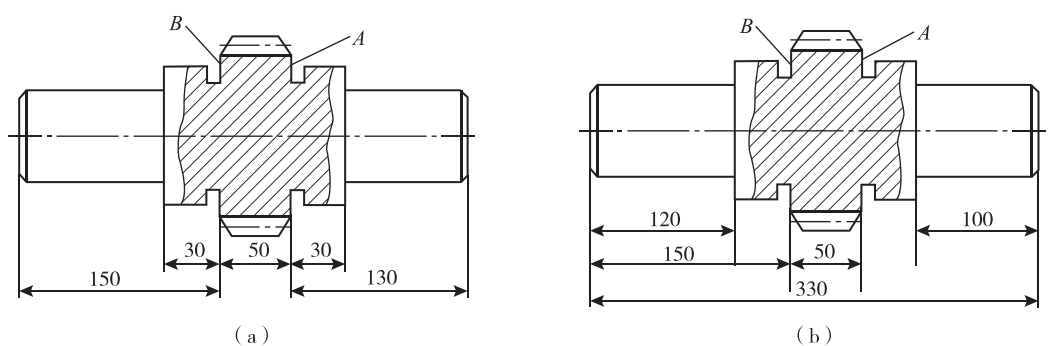


图 2-1 避免一道工序同时保证多个尺寸

- (2) 主要加工表面的形状精度。
- (3) 主要加工表面间的相互位置精度,它是确定零件装夹方法与工装的依据。
- (4) 各表面的粗糙度以及表面质量要求,如应力、裂纹等,应根据零件的功能而定,要力求经济、合理。
- (5) 热处理要求及其他要求,如对毛坯、未注圆角或倒角、去毛刺等方面提出要求。

零件图上所标注的技术要求,应根据零件的作用和功能经济、合理地确定。技术要求过低会影响零件的工作性能,过高则会增加零件的加工难度和加工成本。

2.2 毛坯的选择

在拟订零件加工工艺路线前,还需要确定毛坯。由于毛坯的类型、制造方法及其精度均会影响零件的机械加工工艺、生产效率和经济性,因此,正确选择毛坯需从毛坯制造和机械加工两方面综合考虑,兼顾热加工与冷加工的工艺要求,以便选择最佳毛坯。

2.2.1 常见毛坯的种类及适用范围

毛坯的种类有铸件、锻件、压制件、冲压件、焊接件、型材和板材等。其中,常见的铸件、锻件、型材和焊接件的特点及适用范围如下。

(1) 铸件

铸件适用于形状复杂的零件毛坯,其适用范围广,成本低,但铸件的机械性能、质量和生产条件差。根据铸造方法不同,铸件又可分为以下几种类型。

砂型铸造铸件:是应用最为广泛的一种铸件,有木模手工造型和金属模机器造型之分。

金属型铸造铸件:比砂型铸造铸件的精度高、表面质量和力学性能好,生产效率也较高,适用于铸造尺寸不大的大批量有色金属铸件。

离心铸造铸件:晶粒细、金属组织致密、零件的力学性能好、外圆精度及表面质量高,但内孔精度差,适用于铸造批量较大的黑色金属和有色金属的旋转体铸件。

压力铸造铸件:铸件精度高,可达 IT11~IT13;表面粗糙度值小,可达 $Ra3.2 \sim 0.4 \mu m$;铸件力学性能好,铸件上的各种孔、螺纹、文字及花纹图案均可铸出。因此,常用于铸造批量较大、形状复杂、尺寸较小的有色金属铸件。

精密铸造铸件:精度高,表面质量好,一般用于铸造形状复杂的铸钢件,是一项先进的毛坯制造工艺。



(2) 锻件

锻件是采用压力加工的方法,通过改变金属材料纤维组织的分布而形成的,其机械性能好,生产率也较高,适用于对机械性能要求较高的中、大型单件,或大批量生产的重要中、小零件。

(3) 型材

型材主要通过热轧或冷拉而成。其中,热轧的型材精度低,价格较冷拉的便宜,适用于一般零件的毛坯;冷拉的型材尺寸小,精度高,易于实现自动送料,但价格贵,多用于批量较大,且在自动机床上进行加工的情形。

按截面形状不同,型材可分为圆钢、方钢、六角钢、扁钢、角钢、槽钢,以及其他特殊截面型材。

(4) 焊接件

焊接件是根据需要将型材或钢板焊接而成的毛坯件,它制作方便、简单,但需要经过热处理才能进行机械加工,适用于单件小批量生产中制造大型毛坯,其优点是制造简便、加工周期短、毛坯质量小;缺点是焊接件抗振动性差,机械加工前需先经时效处理以消除内应力。

2.2.2 选择毛坯时应考虑的因素

(1) 零件的材料及其力学性能

当零件的材料选定后,毛坯的类型也就大致确定了。例如,铸铁的零件,应选择铸造毛坯;材料是钢材,且力学性能要求高时,可选锻造毛坯;当力学性能要求较低时,可选型材或铸钢。

(2) 零件的形状和尺寸

形状复杂的毛坯,常采用铸造方法。薄壁件一般不能用砂型铸造,尺寸大的铸件宜用砂型铸造。一般用途的阶梯轴,各段直径相差不大、力学性能要求不高时,可选棒料做毛坯;各段直径相差较大,为了节省材料,应选择锻件。

(3) 生产类型

大量生产应采用精度和生产率都比较高的毛坯制造方法。这时,毛坯制造增加的费用可由材料消耗的减少和机械加工费用的减少来补偿。单件小批生产则应采用木模手工造型。

(4) 现有生产条件

选择毛坯类型时,应结合本企业的具体生产条件,如现场毛坯制造的实际水平和能力、外协的可能性等。

(5) 充分考虑利用新技术、新工艺和新材料的可能性

尽量采用精密铸造、精密锻造、冷挤压、粉末冶金和工程塑料等新工艺、新技术和新材料,以节约材料和能源,减少机械加工余量,提高经济效益。

2.2.3 毛坯形状和尺寸的确定

毛坯形状和尺寸的确定原则是,尽可能使毛坯的形状及尺寸与零件的要求相符合,以减少不必要的加工量和材料成本。确定毛坯的形状和尺寸时,应注意以下几点:

(1) 为了便于工件的定位安装,有些铸件毛坯需铸出工艺凸台。如图 2-2 所示机件,当加工 A 面时,为了方便定位而设计了工艺凸台 B,该工艺凸台在零件加工完毕后一般要切除。若不影响零件的使用和外观,也可以不切除。

(2) 装配后需要形成同一工作表面的两个或两个以上的相关零件(如磨床主轴中的三瓦滑动轴承、曲轴的连杆等),为了保证加工质量和工作性能,常常将这些分离零件先在一个整体毛坯上加工,待加工到一定阶段后再切割分离,如图 2-3 所示车床进给系统中的开合螺母壳体。

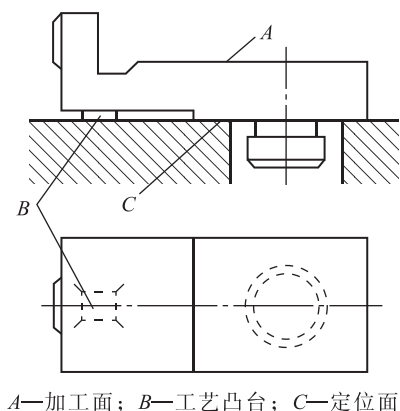


图 2-2 工艺凸台实例

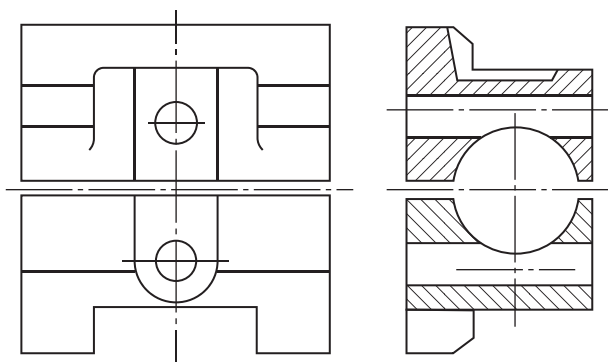


图 2-3 车床开合螺母壳体

(3) 为了提高机械加工的生产率, 常常将若干个形状规则的小零件先合在一个毛坯中铸造或锻造, 待加工到一定程度后, 再分别切割分离成为单个零件, 如图 2-4 (a) 所示的滑键, 就是在图 2-4 (b) 所示的毛坯中加工后切割分离出来的。值得注意的是, 在确定毛坯的长度 L 时, 应考虑切割零件所用锯片铣刀的厚度 B 和切割的零件数 n 。

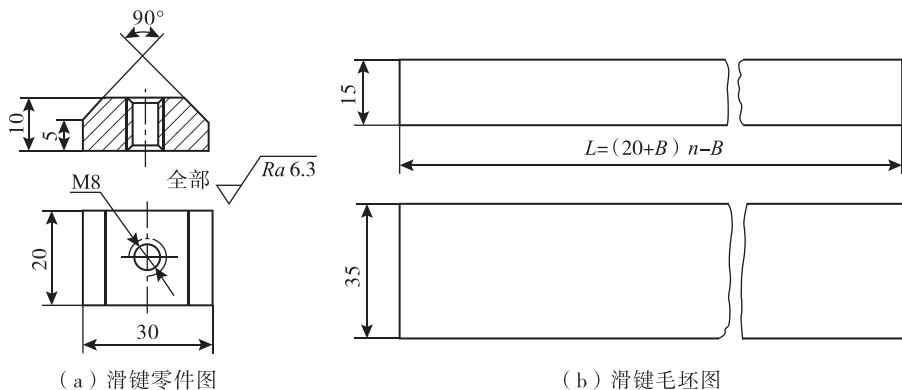


图 2-4 形状规则的零件及其毛坯

(4) 对于薄壁环形件的毛坯, 为减少装夹变形, 也常在同一个毛坯上同时加工多个工件, 如图 2-5 (a) 所示的薄环形零件, 是由图 2-5 (b) 所示的管状毛坯上同时加工多个而得到的。

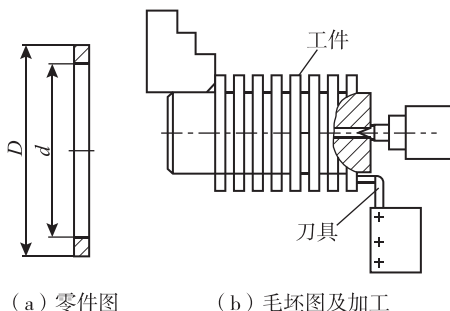


图 2-5 薄环形零件的毛坯

2.3 定位基准的选择

定位基准的选择对于保证零件的尺寸精度、位置精度, 以及合理安排加工顺序都有很大影响。当使用夹具安装工件时, 定位基准的选择还会影响夹具结构的复杂程度。因此, 定位基准的选择是制定工艺



规程时必须认真考虑的一个重要工艺问题。

2.3.1 设计基准和工艺基准

基准是用于确定零件上某些点、线、面位置时所依据的那些点、线、面。从设计和工艺两大方面来看,基准可分为设计基准和工艺基准两大类。

2.3.1.1 设计基准

设计基准是指零件图上用来确定其他点、线、面位置关系所采用的基准。如图 2-6 所示的轴套零件,其端面 A 是端面 B 和端面 C 的设计基准,轴线是外圆和内孔的设计基准。

2.3.1.2 工艺基准

工艺基准是指在加工或装配过程中所使用的基准。工艺基准按用途不同可分为工序基准、定位基准、测量基准和装配基准。

工序基准:工序图上用来确定本工序所加工表面加工后的尺寸、形状和位置的基准,即工序图上的基准。如图 2-7 所示零件,加工 B 面的工序基准是 C 面。

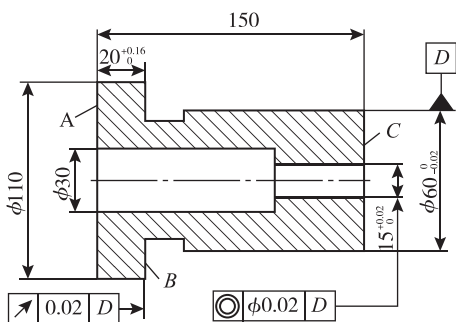


图 2-6 轴套零件的设计基准

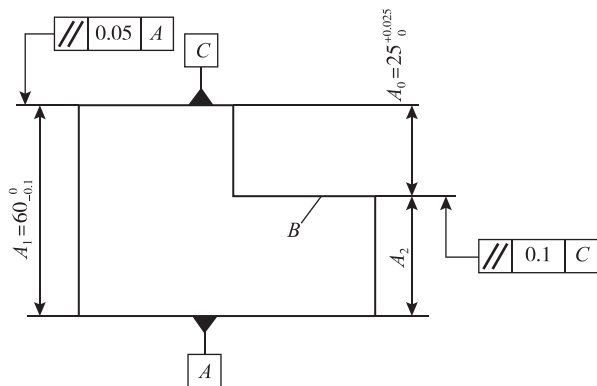


图 2-7 工序基准与定位基准

定位基准:加工时用于工件定位的基准,它是工件上与夹具定位元件直接接触的点、线、面。如图 2-7 所示,加工 B 面时若采用 C 面定位,则工件的装夹非常不方便;若采用 A 面定位,则工件很好装夹,故加工 B 面时的定位基准为 A 面。

测量基准:测量工件已加工表面的尺寸和位置时所采用的基准。

装配基准:装配时用来确定零件或部件在产品中相对位置的基准。

2.3.2 定位基准的选择

选择定位基准时应注意:各加工表面应有足够的加工余量,非加工表面的尺寸和位置应符合设计要求;为保证工件定位稳定、可靠,定位基面应有足够大的接触面积和分布面积。

在选择定位基准时,通常是从保证加工精度要求出发的。因此,定位基准的选择应先考虑精基准,再考虑粗基准。

2.3.2.1 精基准的选择

精基准是指用已加工过的表面作为定位基准。精基准考虑的重点是如何减少误差,可按以下原则选取。

(1) 基准重合原则。

应尽可能选择设计基准作为定位基准,即基准重合,这样可以避免基准不重合引起的误差。如图 2-7 所示工件, B 面的设计基准为 C 面,若以 C 面定位加工 B 面,则设计基准与定位基准重合,产生的误差为对刀误差,该误差较小。



如果工件以 A 面定位加工 B 面, 则装夹方便、夹具结构简单, 但基准不重合, 其误差由两部分合成。一部分是由于尺寸 A_1 的变动会对 A_0 产生影响, 另一部分误差为对刀引起的误差, 故增大了加工误差。这种增大误差的定位方法, 有可能造成该工件不能满足其工作性能的问题。

(2) 基准统一原则。

尽可能采用同一个定位基准加工工件上的各个表面, 即基准统一。例如, 轴类零件大多数工序都采用两端中心孔定位 (即以轴心线为定位基准), 以保证各主要加工表面的尺寸精度和位置精度。如图 2-8 所示飞机传动盘零件的加工, 在加工过程中始终以轴线和端面 B 为定位基准。

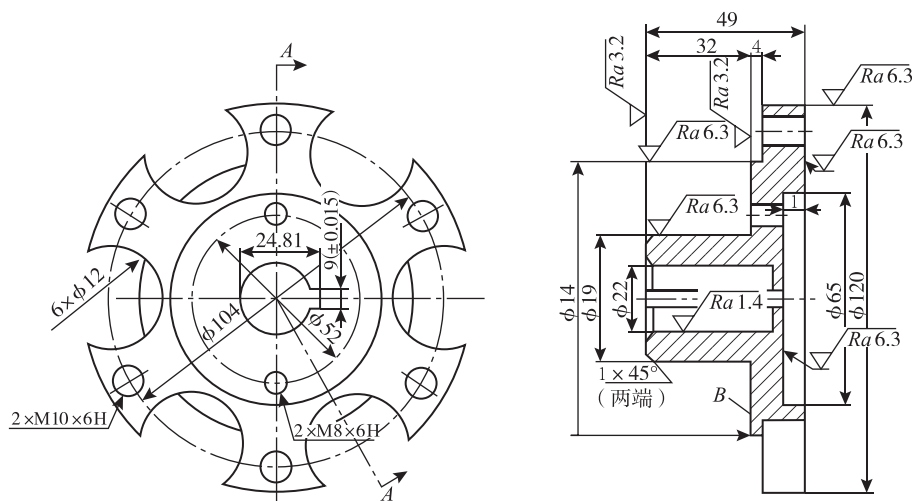


图 2-8 飞机传动盘零件图

采用基准统一原则的优点是可以简化工艺规程的制定、减少夹具数量、节约夹具设计和制造费用。同时, 由于减少了基准间的相互转换, 更有利于保证各表面间的相互位置精度。

注意

1. 当基准统一与基准重合不一致时, 应采用基准统一原则;
2. 当加工表面精度要求较高时, 可采用基准重合原则;
3. 若采用基准统一原则无法保证表面间的位置精度时, 应先采用基准统一原则, 后采用基准重合原则来保证表面间的位置精度。

(3) 互为基准原则。

对工件上两个精度要求较高的表面进行加工时, 可将这两个表面互相作为基准反复进行加工, 以保证位置精度要求。如图 2-9 所示的钻套, 以外圆表面定位磨削内孔, 反过来又可以以内孔定位磨削外圆, 这样可以获得内、外圆柱面有较高的同轴度要求。

(4) 自为基准原则。

当某些加工表面的精加工余量小而均匀时, 可选择该加工表面本身作为定位基准, 即自为基准原则。遵循自为基准原则, 只是提高加工面本身的精度, 不能提高加工面的位置精度。例如, 生产中常采用钳工画线, 后续工序操作者按线找正后装夹加工, 这是最常见的自为基准实例。

又如, 图 2-10 所示的是在导轨磨床上, 以自为基准原则磨削床身导轨, 其方法是先用百分表找正工件的导轨面, 然后磨削导轨面, 以保证导轨面余量均匀, 或满足对导轨面的质量要求。

(5) 准确可靠原则。

所选精基准应保证工件定位准确、稳定, 以及夹具设计简单、操作方便、夹紧可靠。精基准应该是精度较高、表面粗糙度值较小、支承面积较大的表面。

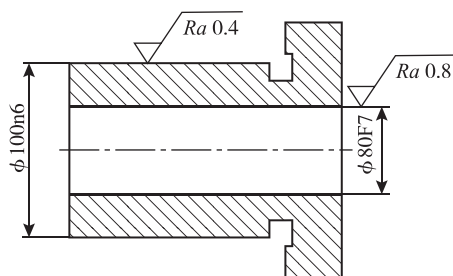


图 2-9 钻套零件图

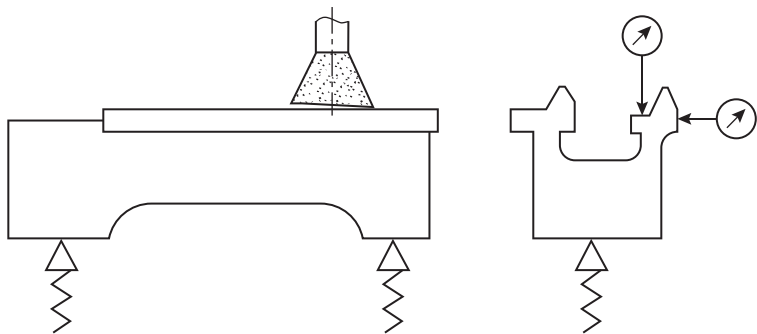


图 2-10 自为基准磨削床身导轨

上述五条原则中,应首先考虑前两条原则。当用夹具装夹时,选择的精基准面还应使夹具结构简单,操作方便。

2.3.2.2 粗基准的选择

粗基准是用未经加工的毛坯表面作为定位基准的。确定毛坯件后,零件进入机械加工过程的第一道工序时所选的定位基准必然是毛坯表面,即粗基准。

粗基准的选择主要考虑如何保证加工表面与非加工表面间的位置准确、尺寸达到要求、加工表面的加工余量均匀和足够,以及减少装夹次数等,具体可按下列原则选择。

(1) 为了保证重要加工表面加工余量均匀,应选择重要加工表面作为粗基准。如图 2-11 所示车床床身,其导轨面是最重要的工作表面,为保证床身导轨面有稳定、均匀的组织 and 较高的耐磨性,应选择导轨面为粗基准加工床腿底面,然后以床腿底面为精基准加工导轨面。

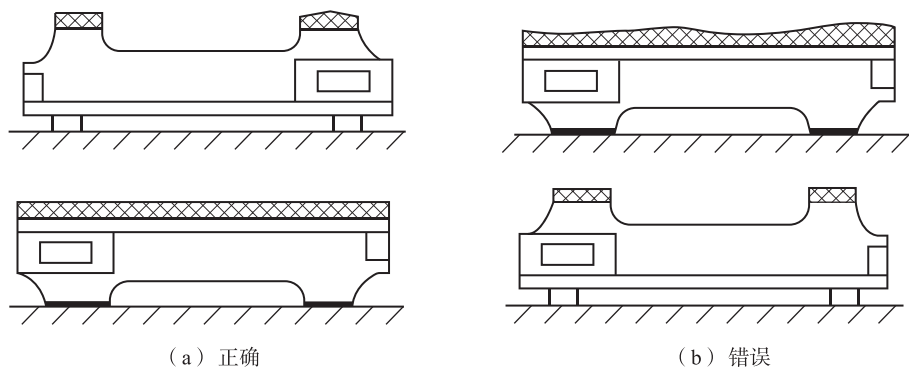


图 2-11 床身加工的粗基准选择

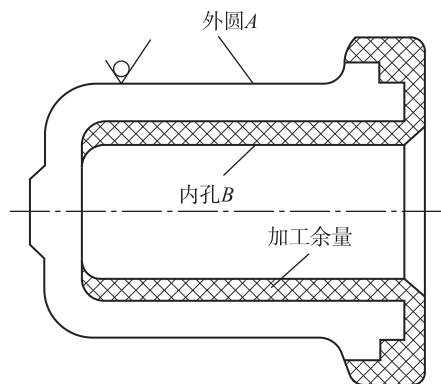


图 2-12 粗基准的选择

(2) 为了达到非加工表面与加工表面之间的相对位置精度要求,应选择非加工表面作为粗基准。如图 2-12 所示的毛坯,铸造时内孔 B 和外圆 A 有偏心。若采用非加工面(外圆 A)为粗基准加工孔 B ,则加工后的孔 B 与外圆 A 的轴线是同轴的,即壁厚均匀。当零件上同时具有多个非加工面时,应选择与加工面位置精度要求最高的非加工表面作为粗基准。

(3) 有多个表面需要一次加工时,为了保证各加工面都有足够的加工余量,应选择精度要求最高,或者加工余量最小的表面作为粗基准。如图 2-13 所示的阶梯轴零件,因 $\phi 55\text{mm}$ 外圆的余量较小,故应选 $\phi 55\text{mm}$ 外圆为粗基准。如果选 $\phi 108\text{mm}$ 外圆为粗基准加工 $\phi 50\text{mm}$,当外圆有 3mm 的偏心时,则有可能因 $\phi 50\text{mm}$ 的余量

不足而使工件报废。



(4) 粗基准在同一尺寸方向上通常只允许使用一次。由于粗基准是毛面,其表面一般较粗糙,形状误差也较大,如果重复使用就会造成较大的定位误差。如图 2-14 所示,如果重复使用毛坯面 B 定位去加工表面 A 和 C ,则必然会使表面 A 和 C 的轴线产生较大的同轴度误差。

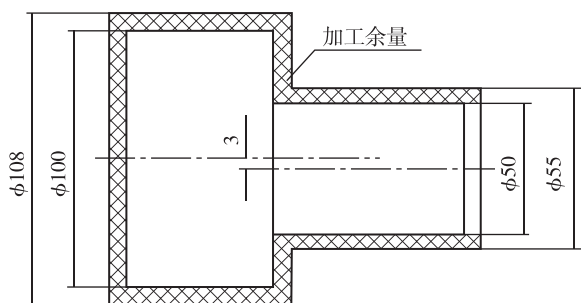


图 2-13 加工阶梯轴的粗基准选择

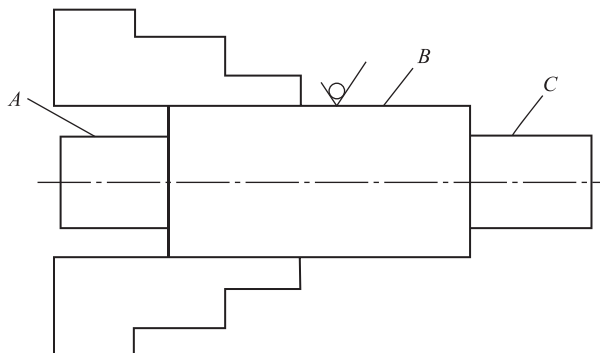


图 2-14 重复使用粗基准定位

(5) 选作粗基准的表面应平整光洁,要避开锻造飞边和铸造浇冒口、分型面、毛刺等缺陷,且应有一定面积,以保证定位稳定、夹紧可靠。

2.4 工艺路线的拟订

2.4.1 加工经济精度

各种加工方法(车、铣、刨、磨、钻、镗、铰等)所能达到的加工精度和表面粗糙度,都是在一定范围内的。任何一种加工方法,只要精心操作、细心调整、选择合适的切削用量,其加工精度就可以得到提高,其加工表面粗糙度值就可以减小。但是,加工精度提得越高,表面粗糙度值减小得越小,则所耗费的时间与成本也会越大。

生产上加工精度的高低是用其可以控制的加工误差的大小来表示的。加工误差小,则加工精度高;加工误差大,则加工精度低。

所谓加工经济精度是指在正常加工条件下(采用符合质量标准的设备、工艺装备和具有标准技术等级的工人,不延长加工时间)所能保证的加工精度和表面粗糙度。

2.4.2 加工方法的选择

一般情况下,根据零件的精度(包括尺寸精度、形状精度和位置精度以及表面粗糙度)要求,考虑本车间(或本厂)现有工艺条件,考虑加工经济精度的因素选择加工方法。表 2-2 介绍了各种外圆加工方法中的加工经济精度和表面粗糙度,供选择加工方法时参考。其他加工方法的加工经济精度和表面粗糙度以及各种机床所能达到的几何形状精度与表面相互位置精度可参考有关的工艺人员手册。

对于那些有特殊要求的加工表面,例如,相对于本厂工艺条件来说,尺寸特别大或特别小,工件材料难加工,技术要求高,则首先应考虑在本厂能否加工的问题,如果在本厂加工有困难,就需要考虑是否需要外协加工或者增加投资,增添设备,开展必要的工艺研究工作,以扩大工艺能力,满足对加工提出的精度要求。因此在选择加工方法时应考虑的主要问题有以下几项。

(1) 所选择的加工方法能否达到零件精度的要求。

(2) 零件材料的可加工性能如何。例如有色金属宜采用切削加工方法,不宜采用磨削加工方法,因为有色金属易堵塞砂轮工作面。

(3) 生产率对加工方法有无特殊要求。例如为满足大批大量生产的需要,齿轮内孔通常多采用拉削



加工方法加工。

(4) 本厂的工艺能力和现有加工设备的加工经济精度如何。技术人员必须熟悉本车间（或者本厂）现有加工设备的种类、数量、加工范围和精度水平以及工人的技术水平，以充分利用现有资源，不断地对原有设备、工艺装备进行技术改造，挖掘企业潜力，创造经济效益。

表 2-2 外圆加工中各种加工方法的加工经济精度及表面粗糙度

加工方法	加工情况	加工经济精度 IT	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$
车	粗车	12~13	10~80
	半精车	10~11	2.5~10
	精车	7~8	1.25~55
	金刚石车（镜面车）	5~6	0.02~1.2
铣	粗铣	12~13	10~80
	半精铣	11~12	2.5~10
	精铣	8~9	1.25~2.5
车槽	一次走刀	11~12	10~20
	二次走刀	10~11	2.5~10
外磨	粗磨	8~9	1.25~10
	半精磨	7~8	0.63~2.5
	精磨	6~7	0.16~1.25
	精密磨（精修整砂轮）	5~6	0.08~0.32
	镜面磨	5	0.008~0.08
抛光			0.008~1.25
研磨	粗研	5~6	0.16~0.63
	精研	5	0.04~0.32
	精密研	5	0.008~0.08
超精加工	精	5	0.08~0.32
	精密	5	0.01~0.16
砂带磨	精磨	5~6	0.02~0.16
	精密磨	5	0.01~0.04
滚压		6~7	0.16~1.25

注：加工有色金属时，表面粗糙度 Ra 取小值。

2.4.3 工序的集中与分散

确定了加工方法和划分加工阶段以后，需将加工表面的各次加工，按不同加工阶段组合成若干道工序，制定出整个加工路线。组合工序时有工序分散与工序集中两种方式。

2.4.3.1 工序分散

工序分散就是将工件加工内容分散在较多的工序中进行，每道工序的加工内容较少，最少时每道工序只包含一个简单工步。

工序分散具有如下特点。

(1) 机床设备及工艺装备简单，调整和维修方便，工人易于掌握，生产准备工作量少，便于平衡工



序时间。

- (2) 可采用最合理的切削用量,减少基本时间。
- (3) 设备数量多,操作工人多,占用场地大。

2.4.3.2 工序集中

在划分了加工阶段以及各表面加工先后顺序后,就可以把这些内容组成为各道工序。在组成工序时,有两条原则:即工序集中和工序分散。

工序集中就是将工件加工内容集中在少数几道工序内完成,每道工序的加工内容较多。工序集中有以下特点。

- (1) 在一次安装中可完成零件多个表面的加工,可以较好地保证这些表面的相互位置精度,同时减少了装夹时间和减少工件在车间内的搬运工作量,利于缩短生产周期。
- (2) 减少机床数量,并相应地减少操作工人,节省车间面积,简化生产计划和生产组织工作。
- (3) 可采用高效率的机床或自动线、数控机床等,生产率高。
- (4) 因为采用专用设备和工艺装备,使投资增大,调整和维修复杂,生产准备工作量大。

工序集中与分散各有优缺点,在制定工艺路线时应根据生产类型、零件的结构特点及工厂现有设备等灵活处理。一般情况下,单件小批生产能简化生产作业计划和组织工作,易于工序集中;成批生产和大批量生产中,多采用工序分散,也可采用工序集中。从生产发展来看,一般趋向于工序集中方式组织生产。

2.4.4 工序先后顺序的安排

工序顺序的安排对保证加工质量、提高生产效率和降低成本都有重要的作用。

2.4.4.1 安排切削加工顺序的原则

- (1) 先粗后精。各表面的加工工序按照由粗到精的加工阶段交叉进行。
- (2) 先主后次。先安排零件的装配基面和工作表面等主要表面的加工,将次要表面(如键槽、紧固用的光孔和螺纹底孔等)的加工穿插进行。
- (3) 先面后孔。对于箱体、支架、连杆、底座等零件,先加工主要表面、定位基准平面和孔的端面,然后加工孔。
- (4) 基准先行。优先考虑精基准面的加工,按基面转换的顺序和逐步提高加工精度的原则来安排基准面和主要表面的加工。

在安排加工顺序时,还要注意退刀槽、倒角、去毛刺等工序的安排。

2.4.4.2 热处理及表面处理工序的安排

热处理工序的安排,主要决定于零件的材料与热处理的要求。通常有以下几种情况。

- (1) 改善加工性能和金属组织的热处理。如退火和正火应安排在机械加工之前进行。对含碳量超过0.5%的碳钢用退火来降低其硬度;对于含碳量小于0.5%的碳钢,一般用正火改善材料的切削性能。
- (2) 消除内应力的热处理。如人工时效、退火等,一般安排在粗加工后、精加工前进行。对精度要求很高的精密丝杠、主轴等零件,应安排多次时效处理。对于结构复杂的铸件,如机床床身、立柱等,则在粗加工前后都要进行时效处理。
- (3) 提高零件表面硬度的热处理。该工序一般安排在半精加工后、磨削加工前进行。对于渗碳淬火,常将渗碳工序放在次要表面加工前,淬火放在次要表面加工完后,以减少次要表面与淬硬表面之间的位置误差。对于氮化、氰化等热处理工序一般安排在粗磨与精磨之间进行。
- (4) 提高零件的抗腐蚀能力、耐磨性和导电率等的表面处理。如表面发蓝处理、表面镀层处理,一般安排在机械加工完毕之后进行。



2.4.4.3 辅助工序的安排

检验工序是重要的辅助工序，它是保证产品质量的必要措施。检验工序一般安排在粗加工完全结束之后、重要工序加工前后、零件在车间之间转换时、特殊性能（如磁力探伤、密封性能等）检测以及零件全部加工结束之后进行。

除了检验工序以外，有时在某些工序之后还应安排一些如去毛刺、去磁、涂防锈漆等辅助工序。

2.4.5 加工阶段的划分

当零件的精度要求比较高时，若将加工面从毛坯面开始到最终的精加工或精密加工都集中在一道工序中连续完成，则难以保证零件的精度要求或浪费人力、物力资源。这是因为：

(1) 粗加工时，切削层厚，切削热量大，无法消除因热变形带来的加工误差，也无法消除因粗加工留在工件表层的残余应力产生的加工误差。

(2) 后续加工容易把已加工好的加工面划伤。

(3) 不利于及时发现毛坯的缺陷。若在加工最后一个表面时才发现毛坯有缺陷，则前面的加工就白白浪费了。

(4) 不利于合理地使用设备。把精密机床用于粗加工，会使精密机床过早地丧失精度。

(5) 不利于合理地使用技术工人。高技术工人完成粗加工任务是人力资源的一种浪费。

因此，通常可将高精零件的工艺过程划分为几个加工阶段。根据精度要求的不同，可以划分为以下几个阶段。

2.4.5.1 粗加工阶段

在粗加工阶段，主要是去除各加工表面的余量，并做出精基准，因此这一阶段关键问题是提高生产率。

2.4.5.2 半精加工阶段

在半精加工阶段减小粗加工中留下的误差，使加工面达到一定的精度，为精加工做好准备。

2.4.5.3 精加工阶段

在精加工阶段，应确保尺寸、形状和位置精度达到或基本达到（精密件）图纸规定的精度要求以及表面粗糙度要求。

2.4.5.4 精密、超精密加工、光整加工阶段

对那些精度要求很高的零件，在工艺过程的最后安排珩磨或研磨、精密磨、超精加工、金刚石车、金刚镗或其他特种加工方法加工，以达到零件最终的精度要求。

高精度零件的中间热处理工序，自然地把工艺过程划分为几个加工阶段。

零件在上述各加工阶段中加工，可以保证有充足的时间消除热变形和消除粗加工产生的残余应力，使后续加工精度提高。另外，在粗加工阶段发现毛坯有缺陷时，就不必进行下一加工阶段的加工，避免浪费。此外还可以合理地使用设备，低精度机床用于粗加工，精密机床专门用于精加工，以保持精密机床的精度水平；合理地安排人力资源，高技术工人专门从事精密、超精密加工，这对保证产品质量，提高工艺水平来说都是十分重要的。

匠心逐梦

做新时代技术工人

从业17年，他始终牢记精益求精的工匠精神，奋斗在科研一线，战斗在工厂车间，潜心研究，不仅攻克了多个机械加工技术难题，还为企业加强产品质量、提高生产效率、降低成本消耗等技术革新作出



了积极贡献，他就是渭滨技术能手、宝鸡市广汇机械有限公司加工中心组长张晴秦。

2016年，张晴秦加入宝鸡市广汇机械有限公司。这些年来，他从岗位操作工做起，默默无闻，脚踏实地，刻苦钻研，通过不懈努力逐步成长为组长。其间，他为公司开发软件两项，申请专利一项，参与专利设计一项，还解决了不少行业内的加工难题，在张晴秦的带领下，公司的加工中心团队勇于向前挑战，取得了一系列的优秀成绩。

2022年公司接到一批订单，里面有800mm超深腔平面铣削加工、1000mm超深腔钻加工、920mm不锈钢深孔精加工，这些都是除专用设备以外，加工中心所难以完成的任务，凭借着对机械加工的热爱和对细节的执着，张晴秦带领团队反复试验和调整。在加工车间，他在产品旁边一蹲就是0.5h，看着产品，脑子里想着，用手里的笔记着，琢磨好了他就回到计算机旁边画图，编写程序，最终以对头加工的方式成功地解决了这个技术难题。

机械加工中的棘轮产品，在铣削的时候因为产品刚性本身较弱经常发震致使加工效率极低，刀具消耗较大，为解决这一难题，他通宵达旦地试验着，最终使用钻头进行排孔，将废料取出后使用侧铣刀再进行加工，工艺改制后加工效率提升了180%，刀具消耗也降低了35%。但他对于这个结果仍然不满意，经过反复的研究试验后，二次优化，最终加工效率提升了300%，成本消耗降低75%。

工人们都觉得张晴秦身怀绝技，但他却说：“在加工制造业干，十几年如一日地跟机械打交道，要具备严谨、积极、负责的工作态度才能干出成绩。客户的反馈，就是检验我们工作态度的标准，作为一名基层工人，我们要珍惜企业提供的平台，发挥好工匠精神，将个人所学所长与工作实际相结合，带领技术团队用自己的专业技能，为企业提质增效添砖加瓦！”

在公司，张晴秦不仅仅拥有高超的技艺，还注重培养新人，在他的带领下，5名初来乍到的学徒成了有一席之地的师傅，还为企业培养了8名高技能人才。张晴秦说：“今后我将积极发挥劳模工匠作用，专注于技术创新，争创一流，精益求精，做新时代技术工人，传承好劳模精神，帮带好学员徒弟，实现共同发展，为企业发展贡献更大的力量。”

（资料来源：<https://www.163.com/dy/article/I3MHNMM00514989T.html>，有修改）

2.5 加工余量的确定

加工余量是指加工时从加工表面上切除的金属层总厚度，有工序余量和总余量之分。

2.5.1 工序余量

工序余量是指某一表面在一道工序中切除的金属层厚度，即相邻两道工序尺寸之差，如图2-15所示。

对于外表面： $Z_b = a - b$ [图2-15 (a)] (2-1)

对于内表面： $Z_a = b - a$ [图2-15 (b)] (2-2)

式中 Z_b ——本工序的加工余量；

a ——前工序的工序尺寸；

b ——本工序的工序尺寸。

上述表面的加工余量为非对称的单边加工余量，旋转表面（外圆和孔）的加工余量是对称加工余量。

对于轴： $2Z_b = d_a - d_b$ [图2-15 (c)] (2-3)

对于孔： $2Z_b = d_b - d_a$ [图2-15 (d)] (2-4)

式中 Z_b ——半径上的加工余量；

d_a ——前工序加工表面的直径；

d_b ——本工序加工表面的直径。

因为毛坯制造和各个工序尺寸都有误差，所以，加工余量是变动值。当工序尺寸用基本尺寸计算时，



所得到的加工余量称为基本余量或公称余量。若以极限尺寸计算, 所得余量会出现最大或最小余量, 其差值就是加工余量的变动范围, 称余量公差。如图 2-15 (a) 所示, 以外表面单边加工余量为例, 其值为

$$Z_{bmin} = a_{min} - b_{max} \quad (2-5)$$

$$Z_{bmax} = a_{max} - b_{min} \quad (2-6)$$

$$T_{zb} = Z_{bmax} - Z_{bmin} = T_a + T_b \quad (2-7)$$

式中 Z_{bmin} ——本工序的最小加工余量;

Z_{bmax} ——本工序的最大加工余量;

T_{zb} ——本工序余量公差;

a_{min} ——前工序最小工序尺寸;

b_{min} ——本工序最小工序尺寸;

a_{max} ——前工序最大工序尺寸;

b_{max} ——本工序最大工序尺寸;

T_a ——前工序尺寸公差;

T_b ——本工序尺寸公差。

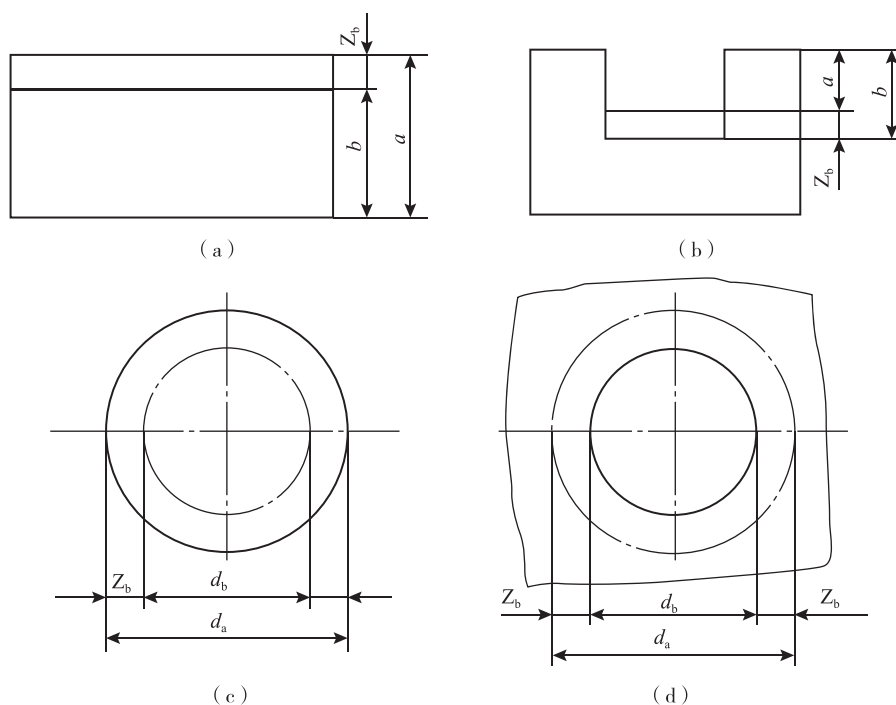


图 2-15 工序余量

2.5.2 加工总余量

加工总余量是指零件从毛坯变为成品的整个加工过程中从某一表面上所切除金属层的总厚度, 即零件上同一表面的毛坯尺寸与零件设计尺寸之差, 也等于各工序加工余量之和。即

$$Z_{总} = - \sum_{i=1}^n Z_i \quad (2-8)$$

式中 $Z_{总}$ ——加工总余量;

Z_i ——第 i 道工序的工序余量;

n ——该表面总共加工的工序数。

加工总余量也是个变动值, 其值及公差一般是从有关手册中查得或凭经验确定。



影响加工余量的因素

加工余量的大小对零件的加工质量、生产率和经济性都有较大的影响。确定加工余量的基本原则是在保证加工质量的前提下, 尽量减小加工余量。影响加工余量大小的因素有:

- (1) 前工序加工面(或毛坯)的表面质量, 包括表面粗糙度和表面变质层深度。
- (2) 前工序(或毛坯)的工序尺寸公差的大小。
- (3) 前工序各表面相互位置的误差, 如轴线与端面的垂直度误差、平面之间的平行度误差和阶梯轴的同轴度误差等。
- (4) 本工序的安装误差, 如定位误差和夹紧误差。
- (5) 热处理后出现变形的大小。

2.5.3 确定加工余量的方法

(1) 经验估计法。经验估计法是工艺人员根据经验确定加工余量的方法。为了避免产生废品, 所确定的加工余量一般偏大, 此法常用于单件小批生产。

(2) 查表修正法。这是一种广泛应用的方法, 此法是以企业生产实践和工艺试验积累的有关加工余量的资料数据为基础, 并结合实际加工情况进行修正来确定加工余量的方法。根据有关手册可查得加工余量。

(3) 分析计算法。此法是根据一定的试验资料和计算公式, 对影响加工余量的各项因素进行分析和综合计算来确定加工余量的方法。这种方法确定的加工余量最经济合理, 但需要全面的试验资料, 计算也较复杂, 实际应用较少。

2.6 工序尺寸及公差的确定

在拟订加工工艺路线之后, 即应确定各道工序所应达到的加工尺寸及其公差, 以及所应切除的加工余量, 这一工作通常是运用尺寸链原理进行的。

2.6.1 尺寸链

2.6.1.1 尺寸链的基本概念

进行加工工艺(装配工艺)分析时, 都有关于尺寸公差和技术要求的计算问题。运用尺寸链原理进行分析计算, 可以使这些分析计算大为简化。

2.6.1.2 尺寸链的定义和组成

在零件的加工和装配过程中, 经常遇到一些相互联系的尺寸组合, 这种相互联系、并按一定顺序排列的封闭尺寸组合称为尺寸链。在零件加工过程中, 由加工过程中有关的工艺尺寸所组成的尺寸链, 称为加工尺寸链; 在机械装配过程中, 由有关零件上的有关尺寸组成的尺寸链, 称为装配尺寸链。

如图2-16所示是一块状零件加工工艺尺寸链的例子。加工中控制 A_1 、 A_2 两个工序尺寸, 就可以确定尺寸 A_Σ 。这样, A_1 、 A_2 、 A_Σ 三个尺寸构成一个封闭的尺寸组合, 即形成一个尺寸链。为简单扼要地表示尺寸链中各尺寸之间的关系, 常将相互联系的尺寸组合从零件(部件)的具体结构中抽象出来, 绘成尺



寸链简图。绘制时不需要按比例绘制，只要求保持原有的连接关系。同一个尺寸链中各个环以同一个字母表示，并以脚标加以区别。

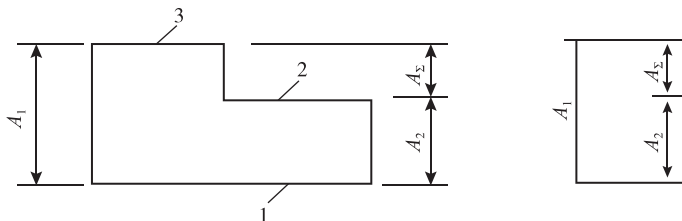


图 2-16 加工尺寸链示意图

尺寸链中的每一个尺寸称为尺寸链的环。环又可分为封闭环和组成环。

(1) 封闭环。在零件加工或机器装配后间接形成的尺寸，其精度是被间接保证的，称为封闭环。如图 2-16 尺寸链中， A_3 是封闭环。

(2) 组成环。在尺寸链中，由加工或装配直接控制，影响封闭环精度的各个尺寸称为组成环。如图 2-16 的 A_1 和 A_2 是组成环。组成环按其封闭环的影响，又分增环和减环。

1) 增环。当其余各组成环不变，如其尺寸增大会使封闭环尺寸也随之增大的组成环称为增环，以向右的箭头表示。例如尺寸 $\vec{A_2}$ 就是增环。

2) 减环。当其余各组成环不变，如其尺寸增大会使封闭环尺寸随之减小的组成环称为减环，以向左的箭头表示。如尺寸 $\overleftarrow{A_1}$ 就是减环。



知识拓展

如何判别增环和减环

为了简易地判别增环和减环，可在尺寸链图上先给封闭环任意定出方向并画出箭头，然后以此方向环绕尺寸链回路，顺次给每个组成环画出箭头。此时凡与封闭环箭头相反的组成环为增环，相同的为减环。

2.6.1.3 尺寸链的特性

(1) 封闭性。尺寸链是由一个封闭环和若干个（含 1 个）相互关联的组成环所构成的封闭图形，因而具有封闭性。不封闭就不是尺寸链，一个封闭环对应着一个尺寸链。

(2) 关联性。由于尺寸链具有封闭性，所以尺寸链中的各环都相互关联。尺寸链中封闭环随所有组成环的变动而变动，组成环是自变量，封闭环是因变量。

(3) 尺寸链。尺寸链反映了其中各个环所代表的尺寸之间的关系，这种关系是客观存在的，不是人为构造的。根据封闭环的特性，对于每一个尺寸链，只能有一个封闭环。

2.6.1.4 尺寸链的分类

尺寸链的类型根据不同分类方法，可以有各种类型。

(1) 根据尺寸链的应用场合，可分为零件设计尺寸链（全部组成环为同一零件的设计尺寸）、加工（工艺）尺寸链（全部组成环为同一工件的加工工艺尺寸，如图 2-16 所示）和装配（工艺）尺寸链（全部组成环为不同零件的设计或者完工尺寸）。设计尺寸是指零件图样上标注的尺寸，加工工艺尺寸是指工序尺寸、测量尺寸、毛坯尺寸和对刀尺寸等加工过程中直接控制的尺寸。



(2) 根据尺寸链各环几何特征和空间关系可分为直线尺寸链、角度尺寸链、平面尺寸链和空间尺寸链。

2.6.2 尺寸链的计算

2.6.2.1 直线尺寸链的计算方法

直线尺寸链有两种解法：极值法和概率法。极值法是指各组成环出现极值时，封闭环尺寸与组成环尺寸之间的关系。概率法是应用概率论与数理统计原理来进行尺寸链分析计算的方法。极值法比较保守，但计算简便。以设计尺寸为封闭环所构成的尺寸链，其组成环的数量一般不超过四个（属于少环尺寸链），因此在求解加工尺寸链时，一般都采用极值法，使计算过程简单方便，结果可靠。极值法的基本计算公式有以下五大关系。

(1) 各环基本尺寸之间的关系。封闭环的基本尺寸等于各个增环的基本尺寸之和减去各个减环的基本尺寸之和。

$$A_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \vec{A}_i - \sum_{j=m+1}^{n-1} \overleftarrow{A}_j \quad (2-9)$$

式中 A_{Σ} ——封闭环基本尺寸；

$\vec{A}_i$ ——第 i 个增环基本尺寸；

$\overleftarrow{A}_j$ ——第 j 个减环基本尺寸；

n ——尺寸链中包括封闭环在内的总环数；

m ——增环的数目。

(2) 各环极限尺寸之间的关系。由式 (2-9) 推理可得到封闭环最大极限尺寸与各组成环极限尺寸之间的关系

$$A_{\Sigma \max} = \sum_{i=1}^m \vec{A}_{i \max} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \overleftarrow{A}_{j \min} \quad (2-10a)$$

而在相反的情况下，得到封闭环最小极限尺寸与各组成环极限尺寸之间的关系

$$A_{\Sigma \min} = \sum_{i=1}^m \vec{A}_{i \min} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \overleftarrow{A}_{j \max} \quad (2-10b)$$

(3) 各环尺寸极限偏差之间的关系。由式 (2-10a) 减去式 (2-9)，可得

$$ESA_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m ES\vec{A}_i - \sum_{j=m+1}^{n-1} EI\overleftarrow{A}_j \quad (2-10c)$$

由式 (2-10b) 减去 (2-9)，则得

$$EIA_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m EI\vec{A}_i - \sum_{j=m+1}^{n-1} ES\overleftarrow{A}_j \quad (2-10d)$$

式中 ES ——上偏差；

EI ——下偏差。

(4) 各环公差或误差之间的关系。由式 (2-10a) 减去式 (2-10b)，得到尺寸链中各环公差之间的关系

$$T_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n-1} T_i \quad (2-11a)$$

式中 T_{Σ} ——封闭环公差；

T_i ——第 i 个组成环公差。

由此可见，在封闭环公差一定的条件下，如果减少组成环的数目，就可以相应放大各组成环的公差，从而使之容易加工。

当各环的实际误差量不等于相应的公差时，则各环的误差量之间的关系是

$$e_{\Sigma} = \sum_{i=1}^{n-1} e_i \quad (2-11b)$$



式中 e_{Σ} ——封闭环的误差;

e_i ——第 i 个组成环的误差。

(5) 各环平均尺寸和平均偏差之间的关系。将式 (2-10a) 与式 (2-10b) 相加, 并用 2 除之, 可得平均尺寸之间的关系:

$$A_{\Sigma M} = \frac{1}{2} \left(\sum_{i=1}^m \vec{A}_{iM} - \sum_{j=m+1}^{n-1} \overleftarrow{A}_{jM} \right) \quad (2-12a)$$

将式 (2-12a) 与式 (2-12b) 相减, 可得相对于平均尺寸的各环平均偏差之间的关系:

$$EM_{\Sigma} = \sum_{i=1}^m \vec{EM}_i - \sum_{j=m+1}^{n-1} \overleftarrow{EM}_j \quad (2-12b)$$

式中 $A_{\Sigma M}$ ——封闭环的平均尺寸;

A_{iM} ——组成环的平均偏差;

EM_{Σ} ——封闭环平均尺寸;

EM_i ——组成环的平均偏差。

2.6.2.2 工序尺寸与公差的确

生产上绝大部分加工面都是在基准重合 (工艺基准和设计基准重合) 的情况下进行加工。所以, 掌握基准重合情况下工序尺寸与公差的确过程非常重要, 现介绍如下。

(1) 确定各加工工序的加工余量。

(2) 从终加工工序开始, 即从设计尺寸开始, 到第一道加工工序, 逐次加上每次加工工序余量, 可分别得到各工序基本尺寸 (包括毛坯尺寸)。

(3) 除终加工工序以外, 其他各加工工序按各自所采用加工方法的加工经济精度确定工序尺寸公差 (终加工工序的公差按设计要求确定)。

(4) 填写工序尺寸并按“入体原则”标注工序尺寸公差。

工序间尺寸和公差的确首先应拟订该加工表面的工艺路线, 确定工序及工步; 按工序用分析计算法或查表法算出其加工余量; 再按工序确定其经济精度和表面粗糙度, 就可以确定各工序间尺寸及公差。

例如某轴直径为 $\phi 50\text{mm}$, 其尺寸精度要求为 IT5, 表面粗糙度 Ra 要求为 $0.04\mu\text{m}$, 并要求高频淬火, 毛坯为锻件。其工艺路线为: 粗车—半精车—高频淬火—粗磨—精磨—研磨。现在来计算各工序的工序尺寸及公差。

先用查表法确定加工余量。由工艺手册查得: 研磨余量为 0.01mm , 精磨余量为 0.1mm , 粗磨余量为 0.3mm , 半精车余量为 1.1mm , 粗车余量为 4.5mm , 由此可得加工总余量为 6.01mm 。取加工总余量为 6mm , 把粗车余量修正为 4.49mm 。

计算各加工工序基本尺寸。研磨后工序基本尺寸为 50mm (设计尺寸), 其他各工序基本尺寸依次为:

精磨	$50\text{mm} + 0.01\text{mm} = 50.01\text{mm}$
粗磨	$50.01\text{mm} + 0.1\text{mm} = 50.11\text{mm}$
半精车	$50.11\text{mm} + 0.3\text{mm} = 50.41\text{mm}$
粗车	$50.41\text{mm} + 1.1\text{mm} = 51.51\text{mm}$
毛坯	$51.51\text{mm} + 4.49\text{mm} = 56\text{mm}$

确定各工序的加工经济精度和表面粗糙度。由工艺设计手册查得: 研磨后尺寸精度为 IT5, $Ra = 0.04\mu\text{m}$ (零件的设计要求); 精磨后选定尺寸精度为 IT6, $Ra = 0.16\mu\text{m}$; 粗磨后选定尺寸精度为 IT8, $Ra = 1.25\mu\text{m}$; 半精车后选定尺寸精度为 IT11, $Ra = 2.5\mu\text{m}$; 粗车后选定尺寸精度为 IT13, $Ra = 16\mu\text{m}$ 。

根据上述经济加工精度查公差表, 将查得的公差数值按“入体原则”标注在工序基本尺寸上。查工艺手册可得锻造毛坯公差为 $\pm 2\text{mm}$ 。

为清楚起见, 把上述计算和查表结果汇总于表 2-3 中, 以供参考。

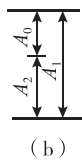
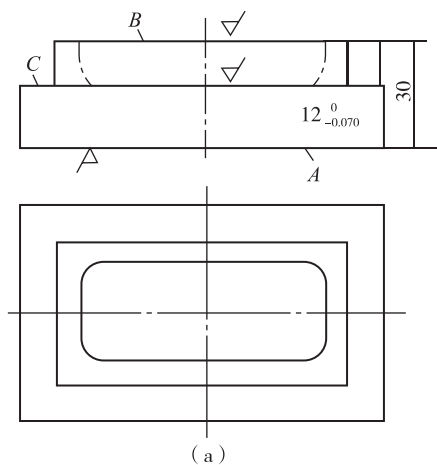


表 2-3 工序间尺寸、公差、表面粗糙度及毛坯尺寸的确定

工序名称	工序间余量/mm	工序间		工序间尺寸/mm	工序间	
		经济精度/mm	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$		尺寸、公差/mm	表面粗糙度 $Ra/\mu\text{m}$
研磨	0.01	$h5$	0.04	50	$\phi 50_{-0.011}^0$	0.04
精磨	0.01	$h6$	0.16	$50+0.01=50.01$	$\phi 50.01_{-0.016}^0$	0.16
粗磨	0.3	$h8$	1.25	$50.01+0.3=50.41$	$\phi 50.11_{-0.039}^0$	1.25
半精车	1.11	$h11$	2.5	$50.11+0.3=50.41$	$\phi 50.41_{-0.016}^0$	2.5
粗车	4.49	$h13$	16	$50.41+1.1=51.51$	$\phi 51.51_{-0.039}^0$	16
锻造		± 2		$51.51+4.49=56$	$\phi 56\pm 2$	

2.6.2.3 工艺基准和设计基准不重合时工艺尺寸的计算

图 2-17 (a) 表示了某零件高度方向的设计尺寸。生产上,按大批量生产采用调整法加工 A 、 B 、 C 面。其工艺安排是前面工序已将 A 、 B 面加工好 (互为基准加工),本工序以 A 面为定位基准加工 C 面。因为 C 面的设计基准是 B 面,定位基准与设计基准不重合,所以需进行尺寸换算。



所画尺寸链如图 2-17 (b) 所示。在这个尺寸链中,因为调整法加工可直接保证的尺寸是 A_2 ,所以只能间接保证 A_0 。 A_0 是封闭环, A_1 为增环, A_2 为减环。在设计尺寸中, A_1 未注公差 (精度等级低于 IT13,允许不标注公差), A_2 需经计算才能得到。为了保证 A_0 的设计要求,首先必须将 A_0 的公差分配给 A_1 和 A_2 。这里按等公差法进行分配。令:

$$T_1 = T_2 = \frac{T_0}{2} = 0.035\text{mm}$$

按“入体原则”标注 A_1 的公差得

$$A_1 = 30_{+0.035}^0\text{mm}$$

按所确定的 A_1 的基本尺寸和偏差,可以计算出 A_2 的尺寸和偏差为: $A_2 = 18_{+0.035}^0\text{mm}$ 。

竖式法 (表 2-4) 可以用来计算封闭环的基本尺寸和上、下偏差,也可以用来计算某一组成环的基本尺寸和上、下偏差。这种方法使尺寸链的计算更为简明、方便。

表 2-4 尺寸链的计算

单位: mm

尺寸链环	A_0 算式	ES_0 算式	EI_0 算式
增环 $\vec{A_1}$	30 (A_2)	0 (ES_1)	-0.035 (EI_1)
减环 $\overleftarrow{A_2}$	-18 ($-A_2$)	0 ($-EI_1$)	-0.035 ($-ES_2$)
封闭环 A_0	12 (A_0)	0 (ES_0)	-0.07 (EI_0)

加工时,只要保证了 A_1 和 A_2 的尺寸都在各自的公差范围之内,就一定能满足 $A_0 = 12_{-0.070}^0\text{mm}$ 的设计要求。

从本例可以看出, A_1 和 A_2 本没有公差要求,但由于定位基准和设计基准不重合,就有了公差的限制,增加了加工的难度,封闭环公差越小,增加的难度就越大。本例若采用试切法,则 A_0 的尺寸可直接