策划编辑：唐祖琴
责任编辑：陈姝芳

机械制造技术

JIXIE ZHIZAO JISHU

ISBN 978-7-5770-1190-5
9 787577 011905 >
定价：59.80元

新形态创新型系列教材

机械制造技术

主编 李力 彭进 陈振

电子科技大学出版社

新形态创新型系列教材

机械制造技术

JIXIE ZHIZAO JISHU

主编 李 力 彭 进 陈 振

本书特色

- 课程思政 融政于学
- 实训练习 强化技能
- 实例教学 内容丰富

电子科技大学出版社
University of Electronic Science and Technology of China Press

新形态创新型系列教材

机械制造技术

JIXIE ZHIZAO JISHU

主　编　李　力　彭　进　陈　振
副主编　李俊颖　王　磊　孙照龙

电子科技大学出版社
University of Electronic Science and Technology of China Press
·成都·

图书在版编目（CIP）数据

机械制造技术 / 李力，彭进，陈振主编 . -- 成都 : 成都电子科大出版社，2026. 9. -- ISBN 978-7-5770-1190-5

Ⅰ. TH16

中国国家版本馆 CIP 数据核字第 2024WQ6174 号

机械制造技术

JIXIE ZHIZAO JISHU

李　力　彭　进　陈　振　主编

策划编辑　唐祖琴

责任编辑　陈姝芳

责任校对　刘亚莉

责任印制　梁　硕

出版发行　电子科技大学出版社

成都市一环路东一段 159 号电子信息产业大厦九楼　邮编 610051

主　　页　www.uestcp.com.cn

服务电话　028-83203399

邮购电话　028-83201495

印　　刷　廊坊市颖新包装装潢有限公司

成品尺寸　210 mm × 285 mm

印　　张　15

字　　数　446 千字

版　　次　2026 年 9 月第 1 版

印　　次　2026 年 9 月第 1 次印刷

书　　号　ISBN 978-7-5770-1190-5

定　　价　59.80 元

版权所有，侵权必究

前 言

PREFACE

机械制造技术是机械设计制造及其自动化专业的核心课程之一，旨在培养学生掌握机械制造的基本理论、工艺方法以及解决实际工程问题的能力。随着制造业的快速发展和技术的不断革新，机械制造领域对应用型人才的需求日益增加。为适应新时代对机械专业人才培养的要求，本书在总结作者多年教学经验、吸收行业最新技术成果的基础上，结合其他院校老师的宝贵建议的基础上编写而成。

本书以“夯实基础、注重应用、强化实践、紧跟前沿”为编写理念，内容涵盖机械制造技术的基本知识、典型零件工艺设计、机械装配工艺基础等。通过引入企业真实案例和工程实例，将理论知识与实际应用紧密结合，帮助学生更好地理解机械制造技术的核心概念和方法，培养其分析和解决实际问题的能力。

本书以企业真实零件为例进行讲解，缩短学校与企业的距离；通过设置综合应用实例，贯通课堂知识与工程实践；采用工程实例照片增强学生的感性认识，并加深其对理论知识的理解；内容深入浅出，贴合学生的基本知识水平和专业能力培养要求。

此外，本书还融合了新时代思政教育，介绍了我国机械制造领域的科研创新和绿色发展，从而提升学生的政治素养，激发学生的民族自豪感与使命感，培养更多服务于国家建设的能工巧匠。

本书李力、彭进、陈振担任主编，李俊颖、王磊、孙照龙担任副主编。

本书既可作为各类院校机械类、非机械类专业的机械工程训练教材，也可供相关工程技术人员参考。

在本书的编写过程中，编者参考了国内外相关文献和资料，在此向各位专家、学者致以诚挚的感谢。由于编者水平有限，书中难免存在不足，恳请广大读者批评指正，以便再版时进一步完善。

编　者

2025 年 12 月

目 录

CONTENTS

第一章　机械制造技术基本知识 / 001

第一节　制造与制造技术 / 002

第二节　机械制造过程概述 / 006

第三节　制定机械加工工艺规程的步骤和方法 / 011

第四节　数控加工工艺规程文件 / 015

第二章　万向节滑动叉工序设计分析 / 019

第一节　万向节滑动叉概括 / 020

第二节　工序 10：钻中心孔 / 022

第三节　工序 20：粗车小头外圆 / 034

第四节　工序 30：钻花键底孔 / 070

第五节　工序 40：调质处理 / 087

第六节　工序 50：镗花键底孔 / 099

第七节　工序 60：车小头端面、倒内角孔 / 108

第八节　工序 70：车大头台阶孔、倒角 / 123

第九节　工序 80：拉花键 / 131

第十节　工序 90：钻两耳孔 / 151

第十一节　工序 100：精车外圆、倒角、切槽 / 157

第十二节　工序 110：半精镗、精镗两耳孔 / 171

第十三节　工序 120：车两耳外侧面、车卡簧槽、扩两耳外侧　/ 182
第十四节　工序 130：钻油杯孔、攻丝　/ 186
第十五节　工序 140：去毛刺　/ 193
第十六节　工序 150：压堵盖　/ 200

第三章　其他典型结构工艺设计　/ 207
第一节　盘、套类零件工艺设计　/ 208
第二节　箱体零件加工工艺　/ 216

第四章　机械装配工艺基础　/ 225
第一节　装配基础　/ 226
第二节　保证装配精度的工艺方法　/ 229

参考文献　/ 234

第一章

机械制造技术基本知识

学习目标

通过本章学习，学生可对机械制造有一个整体概念，掌握机械加工工艺过程的基本知识。

学习重点、难点

机械加工工艺过程及其组成、工艺路线的拟定、工序尺寸及其公差的确定。

思政目标

理解“制造业是我国的立国之本、强国之基”“任何时候中国都不能缺少制造业”的内涵。

第一节

制造与制造技术

一、制造业

制造业是指利用制造资源（物料、能源、设备、工具、资金、技术、信息和人力等），按照市场要求，通过制造过程，转化为可供人们使用和利用的大型工具、工业品与生活消费产品的行业。制造业直接体现了一个国家的生产力水平，是区别发展中国家和发达国家的重要因素，制造业在世界发达国家的国民经济中占有重要份额。根据在生产中使用的物质形态，制造业可划分为离散制造业和流程制造业。制造业的业务范畴包括产品制造、设计、原料采购、仓储运输、订单处理、批发经营、零售等环节；在主要从事产品制造的企业（单位）中，为产品销售而进行的机械与设备的组装与安装活动。

制造业的发展历程见表 1–1 所列。

表 1–1　制造业的发展历程

时期	代表
石器时代	人们用天然石制作工具，猎取自然资源
青铜器和铁器时代	开始采矿、冶炼、铸造工具，并开始制作纺织机械、水利机械、运输车辆等
18 世纪 70 年代	蒸汽机出现（第一次工业革命），产生工业化生产方式，机械制造业逐渐形成规模
19 世纪中叶	电的发现（第二次工业革命），进入电气化时代，机械制造业进入快速发展时期
20 世纪前半叶	内燃机发明、生产流水线出现和泰勒科学管理理论产生，制造业进入“大批量生产”时代，开始成为国民经济的支柱产业
第二次世界大战后	信息技术引发高新技术产业革命，制造技术产生质的飞跃，传统的大批量生产方式已难以满足市场多变的需要，多品种、中小批量生产日渐成为制造业的主流生产方式
进入 21 世纪	机械制造业正向自动化、柔性化、集成化和清洁化的方向发展

中华人民共和国成立后，我国的制造业取得了很大成就。2019 年，工业和信息化部统计显示，中国国内工业拥有 41 个大类、207 个中类、666 个小类，是全世界唯一拥有联合国产业分类中所列全部工业门类的国家。2020 年，中国已有 220 多种工业产品产量居世界第一位。当前，光伏、新能源汽车、家电、智能手机等重点产业跻身世界前列，通信设备、高铁等领域的一批高端品牌正走向全球。

二、制造系统

制造系统是人、机器和装备，以及物料流和信息流的一个组合体，如图 1–1 所示。制造过程及其所涉及的硬件，包括人员、生产设备、材料、能源和各种辅助装置以及有关的软件，再加上制造理论、制造技术（制造工艺和方法）和制造信息等，就组成了具有特定功能的有机整体。机械加工系统是一个典型的制造系统。

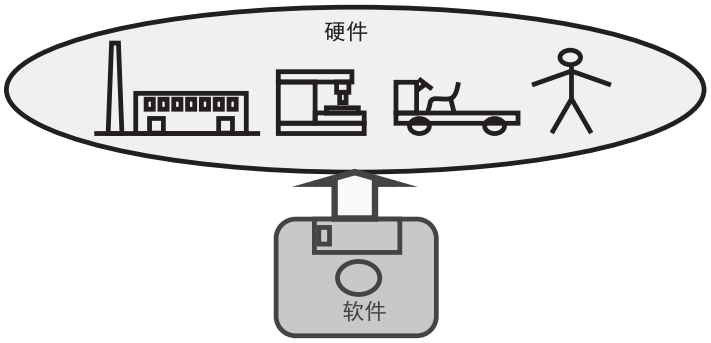


图 1–1　制造系统示意图

制造系统是制造过程及其所涉及的硬件、软件和人员所组成的一个将制造资源转变为产品或半成品的输入 / 输出系统，它涉及产品生命周期（包括市场分析、产品设计、工艺规划、加工过程、装配、运输、产品销售、售后服务及回收处理等）的全过程或部分环节。其中，硬件包括厂房、生产设备、工具、刀具、计算机及网络等；软件包括制造理论、制造技术（制造工艺和制造方法等）、管理方法、制造信息及其有关的软件系统等；制造资源包括狭义制造资源和广义制造资源，狭义制造资源主要指物能资源，包括原材料、坯件、半成品、能源等，广义制造资源还包括硬件、软件、人员等。

三、制造过程

机械产品的制造是一个包含产品开发、设计、生产、检验、经营和售后服务等多个环节和过程的系统工程。其中的核心是产品的生产制造，它是将产品设计的信息转化为产品的关键，直接影响产品质量，并关系到企业在市场定位的实现。

（一）生产过程

1. 生产过程的概述

生产过程是指从投料开始，经过一系列的加工，直至成品生产出来的全部过程，是将原材料转变为机械产品的全部过程。生产过程也是围绕完成产品生产的一系列有组织的生产活动的运行过程，所以生产管理就是对生产过程进行计划、组织、指挥、协调、控制和考核等一系列管理活动的总称。工业企业作为一个系统，它的基本活动是供、产、销；系统的主要功能是生产合格的工业产品，创造产品的使用价值和增加价值，并作为商品出售来满足社会需求。生产管理的对象是生产过程。生产包括如下过程。

（1）产品技术准备工作，产品的开发与设计、工艺设计、专用工艺装备设计和制造、各种生产资料的准备，以及生产组织方面的工作。

（2）原材料、半成品和成品的运输和保管。

（3）毛坯的制造，如铸造、锻造、冲压、焊接等。

（4）零件的机械加工、热处理及其他表面处理。

（5）部件和产品的装配、调整、检验、试验、油漆和包装等。

（6）各种生产服务，包括原材料、半成品、工具的供应、运输和保管。

企业的生产根据各部分在生产过程中的作用不同，可划分为以下三部分。

（1）基本生产过程。基本生产过程是指对构成产品实体的劳动对象直接进行工艺加工的过程，如机械企业中的铸造、锻造、机械加工和装配等过程，以及纺织企业中的纺纱、织布和印染等过程。基本生产过程是企业的主要生产活动。

（2）辅助生产过程。辅助生产过程是指为保证基本生产过程的正常开展而进行的各种辅助性生产活动的过程，如为基本生产提供动力、工具和维修工作等。

（3）生产服务过程。生产服务过程是指为保证生产活动顺利进行而提供的各种服务性工作，如供应工作、运输工作、技术检验工作等。

上述三部分彼此结合在一起，构成企业的整个生产过程。其中，基本生产过程是主导部分，其余各部分都是围绕着基本生产过程进行的。

为了使生产过程达到连续性、协调性和节奏性的要求，必须在空间上把生产过程的各个环节合理地组织起来，使它们密切配合、协调一致，这是合理组织生产过程的重要内容。

2. 生产组织系统

根据企业规模的大小，企业的生产组织系统一般可以分为若干层次。

（1）大型企业：工厂—分厂—车间—工段—班组—工作地。

（2）中小型企业：工厂—车间—班组—工作地。

生产过程组织的主要问题，是以专业化分工的原则把这些工作地组织起来，使产品生产过程能有效地运行。通常有两种专业化分工的原则，即生产工艺专业化和产品对象专业化。

（1）生产工艺专业化。按照不同的生产工艺特征来分别建立不同的生产单位，这种分工原则称为生产工艺专业化原则。

（2）产品对象专业化。按不同的加工对象（产品、零件）分别建立不同的生产单位，这种分工原则称为产品对象专业化原则。

3. 合理组织生产过程

合理组织生产过程是指把生产过程在空间上和时间上很好地结合起来，使产品以最短的路线、最快的速度通过生产过程的各个阶段，并且使企业的人力、物力和财力得到充分的利用，达到高产、优质、低耗。合理组织生产过程需要做到以下几点。

（1）生产过程的连续性。生产过程的连续性是指产品和零部件在生产过程各个环节上的运动自始至终处于连续状态，不发生或少发生不必要的中断、停顿和等待等现象。这就是要求加工对象或处于加工之中，或处于检验和运输之中。保持生产过程的连续性，可以充分地利用机器设备和劳动力，缩短生产周期，加速资金周转。

（2）生产过程的比例性。生产过程的比例性是指生产过程的各个阶段、各道工序之间，在生产能力上要保持必要的比例关系。它要求各生产环节之间，如在劳动力、生产效率、设备等方面，相互均衡发展，避免“瓶颈”现象。保证生产过程的比例性，既可以有效地提高劳动生产率和设备利用率，也进一步保证了生产过程的连续性。为了保持生产过程的比例性，在设计和建设企业时，就应根据产品性能、结构，以及生产规模、协作关系等统筹规划；同时，还应在日常生产组织和管理工作中，做好综合平衡和计划控制。

（3）生产过程的节奏性。生产过程的节奏性是指产品在生产过程的各个阶段，从投料到成品完工入库，都能保持有节奏地均衡进行。要求在相同的时间间隔内生产大致相同数量或递增数量的产品，避免前松后紧的现象。生产过程的节奏性应当体现在投入、生产和出产三个方面。其中，出产的节奏性是投入和生产节奏性的最终结果。只有投入和生产都保证了节奏性的要求，实现出产节奏性才有可能。同时，生产的节奏性又取决于投入的节奏性。因此，实现生产过程的节奏性必须统一安排这三个方面。实现生产过程的节奏性，有利于劳动资源的合理利用，减少时间的浪费和损失；有利于设备的正常运转和维护保养，避免设备因超负荷使用而产生难以修复的损坏；有利于产量质量的提高和防止

废品的大量产生；有利于减少在制品的大量积压；有利于安全生产，避免人身事故的发生。

（4）生产过程的适应性。生产过程的适应性是指生产过程的组织形式要灵活，能及时满足变化的市场需要。随着市场调节的开展，以及技术的进步和人民生活水平的提高，用户对产品的需要越来越多样化。这就给企业的生产过程组织带来了新的问题，即如何朝着多品种、小批量、能够灵活转向、应急应变性强的方向发展，为了提高生产过程的适应性，企业可采用柔性制造系统等方法。

上述组织生产过程的四项要求既是衡量生产过程是否合理的标准，也是取得良好经济效果的重要条件。

（二）生产系统

生产系统是指在正常情况下支持单位日常业务运作的信息系统。它包括生产数据、生产数据处理系统和生产网络。生产系统在一段时间的运转以后，需要改进完善，改进一般包括产品的改进、加工方法的改进、操作方法的改进、生产组织方式的改进。

企业的生产系统应该具备六个方面的功能，包括创新功能、质量功能、柔性功能、继承性功能、自我完善功能、环境保护功能。任何一个生产系统都应该具有这六种基本功能，不同的生产系统之间只是在不同功能的具体要求上有所不同。人们可以把生产系统的功能分为两部分：一是生产系统的生存功能，包括创新功能、质量功能和继承性功能；二是生产系统的发展功能，包括柔性功能、自我完善功能和环境保护功能。如果生存功能在生产系统中得不到保证，生产系统将失去存在的意义，但如果生产系统拥有良好的生存功能，却没有良好的发展功能作为后盾，那么生产系统也就不可能得到发展。

在实际的生产系统中，由于目标子系统的多样性和相悖性，生产系统中的各项功能之间常常是相悖的。在生产系统的功能达到一定的水平之后，某些功能水平的提高将会导致另一些功能水平的下降，或者某些功能的改善需要以其他的功能劣化为代价。例如，要提高生产系统的创新功能，则会对系统继承性功能的保持产生影响。因此，如何合理配置各项功能及其强弱、协调它们之间的关系，从而使得各项功能之间相互补充，共同达成生产系统的总体目标，实现生产系统的高绩效，是生产策略所必须解决的问题。

采用系统的观点，可以将生产过程看作一个具有输入和输出的生产系统，生产系统示意图如图 1–2 所示。

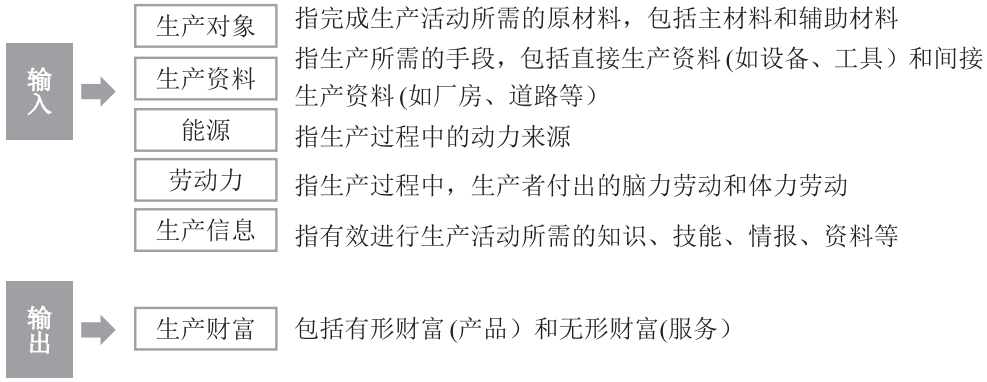


图 1–2　生产系统示意图

四、制造技术

制造技术是以制造一定质量的产品为目标，研究如何以最少的消耗、最低的成本和最高的效率进行产品制造的综合性技术，是完成制造活动所施行的一切手段的总和。

制造技术为满足社会需求服务，而又依赖于社会需求和生产力发展的水平，依赖于科学技术发展的整体水平。广义的制造技术涉及生产活动的各个方面和生产的全过程，是一个从产品概念到最终产品的集成活动，是一个功能体系和信息处理系统。狭义的制造技术指从原材料或半成品经加工装配后形成最终产品的过程，以及在此过程中所施行的一切手段的总和。制造业的社会功能如图 1–3 所示。

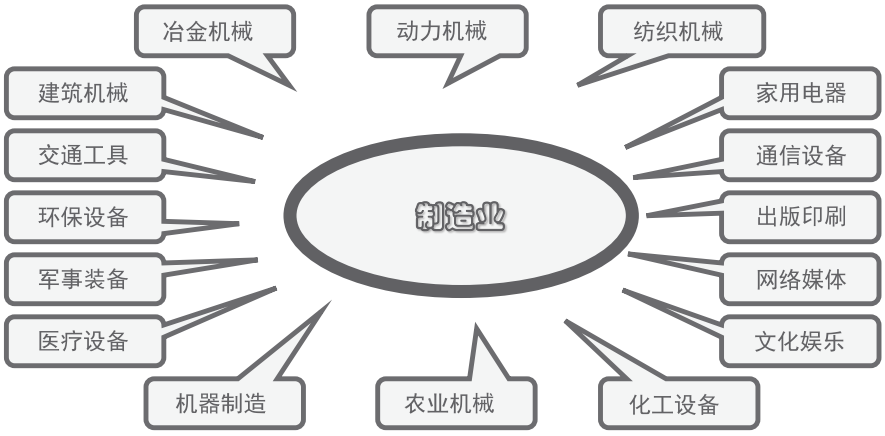


图 1–3　制造业的社会功能

将制造技术发展阶段和社会经济发展阶段互相对照，可发现如下规律。

（1）在资源经济时代，社会需求主流为温饱型，产品粗放，品质单一，生产技术相对落后，主要为手工生产辅以简单机械化设备，以机械替代繁重体力的近代工业制造方式。

（2）在能源经济时代，社会需求主流转为小康型，产品质量要求提高，数量激增，但在款式、造型等方面的要求尚处次要，采取电气机械自动化，以刚性生产线为特征，机器不但替代繁重体力劳动，提高生产效率，而且在保证质量一致性方面发挥着重要作用。制造技术进入现代工业生产方式阶段，市场仍是卖方主导。

（3）社会进入信息时代，社会需求主流转向富裕型，商品需求多样化要求上升，质量、款式、交货期、品质价格比成为市场竞争的决定性因素，产品和制造过程的环保、物耗、能耗要求更加严苛。制造技术进入后现代化方式阶段，生产过程要求以灵捷、清洁、高效、优质、廉价赢得市场，社会已转为买方市场。

对应三个经济时代的制造技术，对全世界而言，按发达国家的状态可比较清晰地分辨出转换期，但对不同国家和地区而言，其过渡和重叠期可延续相当长的历史时期。

第二节

机械制造过程概述

机械产品的制造是一个包含产品开发、设计、生产、检验、经营和售后服务等多个环节和过程的系统工程。其中的核心是产品的生产，它是将产品设计的信息转化为产品的关键，直接影响产品质量。

一、机械零件制造工艺方法与分类

根据工件加工后在质量上有无变化及变化方向（增加或减少），可将制造工艺方法分为以下三种。

（一）变形加工法（$\Delta m=0$）

变形加工法的特点是工件加工后的质量等于初始的质量，工件受控地发生变形，改变其尺寸、形状和性能，多用于制造毛坯，也可直接为成形零件。常用的变形加工法有铸造、锻压、冲压、粉末冶金、注塑成型等。

（二）去除加工法（$\Delta m<0$）

去除加工法的特点是零件的最终几何形状局限在毛坯的初始几何形状范围内，零件形状的改变是通过去除一部分材料，减少一部分重量来实现的。根据工件形态的变化过程和能源作用的形式，去除加工法又可分为力学加工、电物理加工、电化学加工、物理加工、化学加工、复合加工等类型。去除加工法目前是机械零件的主要制造方法，常用的方法有车削、铣削、刨削、镗削、钻削等。

（三）结合加工法（$\Delta m>0$）

传统的结合加工法主要是焊接、黏接、铆接，通过这些不可拆卸的连接方法，使物料结合成一个整体，形成零件。另外还有涂镀、渗碳、氧化等加工方法。近几年才发展起来的快速原型制造技术（RPM）是材料累加法的新发展，它将计算机辅助设计（CAD）、计算机辅助制造（CAM）、计算机数控（CNC）、精密伺服驱动、新材料等先进技术集于一体，依据计算机上构成的产品三维设计模型，对其进行分层切片，得到各层截面轮廓。按照这些轮廓，激光束选择性地切割一层层的纸（或固化一层层的液态树脂，或烧结一层层的粉末材料），或喷射源选择性地喷射一层层的黏接剂或热熔材料等，形成一个个薄层，并逐步叠加成三维实体。

二、机械加工工艺过程及其组成

（一）工艺过程的概念

工艺过程指在制造过程中，零件毛坯的制造、零件的加工、产品的装配等直接改变原材料（毛坯）的形状、尺寸、相对位置和性能的过程。凡是直接改变生产对象的形状、尺寸、表面质量、物理机械性能，以及决定零件相互位置关系等，使其成为成品或半成品的过程即为工艺过程。

（二）工艺过程及其组成

工艺过程是生产过程的主要组成部分。工艺过程包括零件加工工艺过程和装配工艺过程。

采用机械加工方法逐步改变毛坯形状、尺寸及表面质量，使其成为合格零件的过程称机械加工工艺过程；将组成产品的零件按设计要求正确组合成合格产品的过程称装配工艺过程。按照工作内容的不同，另外还有毛坯制造工艺过程，以及热处理、表面处理工艺过程等。

每个零件的机械加工工艺过程都是由若干个基本单元组成的，该组成单元称作工序。每一工序又分为若干步骤，即安装、工位、工步和走刀。

1. 工序

工序指由一个或一组工人在同一台机床或同一个工作地，对一个或同时对几个工件所连续完成的那一部分工艺过程。工作地、工人、工件与连续作业构成了工序的四个要素，若其中任一要素发生变更，则构成了另一道工序。

一个工艺过程包括哪些工序，是由被加工零件的结构复杂程度、加工精度要求及生产类型所决定的。

2. 安装

工件加工前，使其在机床或夹具中相对刀具占据正确位置并给予固定的过程，称为装夹，包括定

位和夹紧两个过程。工件每经一次装夹后所完成的那部分工序称为安装。

3. 工位

当采用多工位夹具或多轴（多工位）机床时，使工件在一次安装中先后经过若干个不同位置顺次进行加工，则工件在机床上占据每一个位置所完成的那部分工序称为工位。如果一个工序只有一次安装，该安装又只有一个工位，则工序内容就是安装内容，同时也是工位内容。图 1–4 为多工位连续加工，在三轴钻床上利用回转工作台，按四个工位连续完成每个工件的装夹、钻孔、扩孔和铰孔。采用多工位加工，可提高生产率和保证被加工表面的相互位置精度。

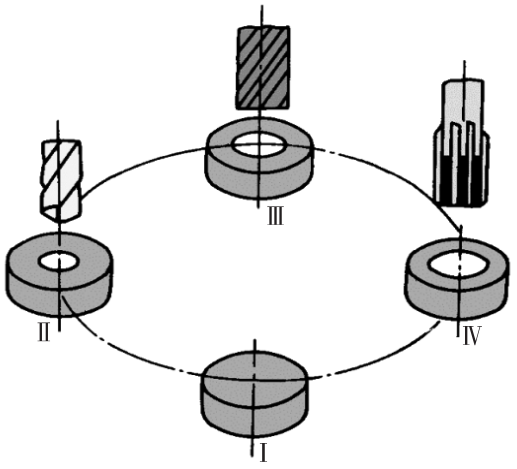
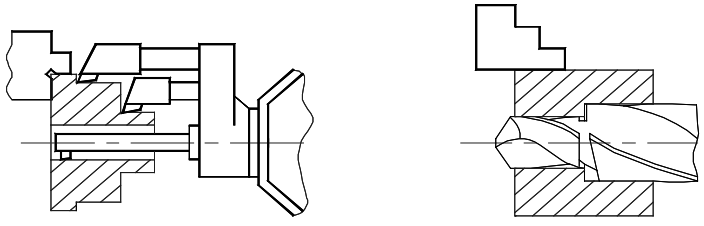


图 1–4　多工位连续加工

4. 工步

在工件被加工表面（或装配时的连接表面）、加工（或装配）工具和切削用量都不变的情况下，所连续完成的那一部分工序内容为工步。在一个工步内，若有几把刀具同时加工几个不同表面，此工步称为复合工步，如图 1–5 所示。采用复合工步可以提高生产效率。



（a）立轴转塔车床的一个复合工步　　（b）钻孔、扩孔复合工步

图 1–5　复合工步

5. 走刀

走刀（又称“工作行程”）是指刀具相对工件加工表面进行一次切削所完成的那部分工作。每个工步可包括一次走刀或几次走刀。

综上分析可知，工艺过程的组成是很复杂的。工艺过程由许多工序组成，一个工序可能有几个安装，一个安装可能有几个工位，一个工位可能有几个工步。

三、机械装配工艺过程

任何产品都由若干个零件组成。为保证有效地组织装配，必须将产品分解为若干个能进行独立装配的装配单元。

（一）零件

零件是组成产品的最小单元，它由整块金属（或其他材料）制成。机械装配中，一般先将零件装成套件、组件和部件，然后再装配成产品。

（二）套件

套件是在一个基准零件上，装上一个或若干个零件而构成的，它是最小的装配单元。套件中唯一的基准零件是为连接相关零件和确定各零件的相对位置。为套件而进行的装配称套装。套件可因工艺或材料问题，分成零件制造，但在以后的装配中可作为一个零件，不再分开，如双联齿轮。

（三）组件

组件是在一个基准零件上，装上若干套件及零件而构成的。组件中唯一的基准零件用于连接相关零件和套件，并确定它们的相对位置。为形成组件而进行的装配称组装。组件中可以没有套件，即由一个基准零件加若干个零件组成。它与套件的区别在于组件在以后的装配中可拆，如机床主轴箱中的主轴组件。

（四）部件

部件是在一个基准零件上装上若干组件、套件和零件而构成的。部件中唯一的基准零件用来连接各个组件、套件和零件，并决定它们之间的相对位置。为形成部件而进行的装配称部装。部件在产品中能完成一定的完整功用，如机床中的主轴箱。

（五）产品

在一个基准零件上装上若干部件、组件、套件和零件，就成为整个产品。同样一部产品中只有一个基准零件，作用与上述相同。总装为形成产品的装配，如卧式车床便是以床身作基准零件，装上主轴箱、进给箱、溜板箱等部件，以及其他组件、套件、零件构成的。

机械装配过程是指将组成机器的全部零、部件按一定的精度要求和技术条件连接与固定在一起，构成合格机械产品的过程。机械装配工作包括组装、部装、总装、调试、检验、平衡、试车、涂装与包装等工作。

四、机械制造生产类型及其工艺特点

对于不同的生产类型，其生产过程和生产组织、车间的机床布置、毛坯的制造方法、采用的工艺装备、加工方法和工人的熟练程度等都有很大的不同，因此，在制定工艺路线时，必须明确该产品的生产类型。

（一）生产纲领

企业根据市场要求和自身能力决定生产计划。在计划期内应当生产的产品数量称为生产纲领。计划期通常为一年，零件的年生产纲领 N 按式（1–1）计算：

$$N=Qn（1+\alpha+\beta）\qquad（1–1）$$

式中，Q 为产品年产量（件 / 年）；n 为每台产品中该零件数量（件 / 台）；α 为备品率（%）；β 为废品率（%）。

（二）生产类型

生产类型是指企业（或车间）生产专业化程度的分类，主要根据产品的生产纲领，并考虑产品的体积、重量和其他特征。

1. 按生产过程的组织方式和生产批量分类

从大的分类看，制造业可分成离散制造和流程工业。离散制造是指不同的物料经过非连续的移动，通过不同路径，生产出不同的物料和产品。流程工业是指物料经过混合、分离、成型或化学反应，物料大多连续地通过相同路径，生产出有价值的产品。离散制造业可分为单件生产、多品种小批量生产和大批量生产。同类产品的生产类型划分见表 1–2 所列。

（1）单件生产。产品的生产从客户订单开始，包括按订单设计、技术准备、生产、安装、售后服务等。复杂产品的生产周期一般都很长，一般情况下都是按项目进行跟踪和管理，如重型机械、造船 / 飞机等。一般的单纯 MRP（物料需求计划）方法不能解决全部的生产管理问题，其中，项目设计、技术准备、网络计划、关键资源排序、报价、项目预算和结算等都很重要。

（2）成批生产。产品是标准或选配，产品的需求来源是预测 / 订单，这种企业一般具有固定的供应链体系，具有明显的上下游之间的协作关系。生产组织按工艺特征进行，具有传统的专业加工和装配车间等。生产计划的特征是典型的 MRP Ⅱ和配置控制。

（3）大批量生产。产品是标准或少数选配，需求主要靠预测 / 订单，面向直接消费者的产品大都属于这种类型。生产设备是以部件或产品为对象组成一条条流水生产线，具有较高的自动化水平，生产节奏是稳定和均衡的。生产计划的特征是将传统 MRP Ⅱ与 JIT 混合制造。

表 1–2　同类产品的生产类型划分　　单位：件

生产类型		同类零件的年产量		
		重型零件	中型零件	小型零件
单件生产		＜ 5	＜ 10	＜ 100
成批生产	小批	5～100	10～200	100～500
	中批	100～300	200～500	500～5 000
	大批	300～1 000	500～5 000	5 000～50 000
大批量生产		＞ 1 000	＞ 5 000	＞ 50 000

2. 按客户订单的切入点分类

（1）按分销生产。分销商的需求驱动生产，产品是标准化的，一般产品品种不是很多。这一般属于大众消费品。管理的重点是预测和库存控制，具有庞大的销售网络，分销计划很重要。

（2）按库存生产。生产的需求来自满足库存的需要，在合理控制库存资金占用的情况下，优化生产批量和节奏。产品品种单一，具有竞争优势。一般采用固定批量的生产方式组织生产，在降低成本的基础上要合理控制库存。

（3）按订单装配。产品区分序列，在一个产品系列中，客户可以有限制地选择零部件。根据市场预测事先生产一些标准零部件，客户订单到达时进行快速装配，以满足客户的个性化需求。要求产品具有标准化、模块化的特点，一般采用装配线的生产方式组织生产，采用有限能力安排计划。

（4）按订单制造。产品区分序列，在一个产品系列中，客户可以有限制地选择零部件和材料。通过预测事先生产或采购一些标准件，占用一定量的库存资源。客户订单到达时进行生产，以满足客户的个性化需求，一般要跟踪生产订单。生产计划的特征是典型的 MRP Ⅱ和配置控制。

（5）按订单设计。每个客户的需求各不相同，只有接到客户订单时，按客户需求进行产品设计（产品结构和工艺）和技术准备，并按新设计和工艺要求组织生产，这种客户产品不具有重复性。这种类型可区分单件生产和批量生产，不同的批量生产形式的生产管理的特点不同。

从上述两种分类介绍看，按生产过程的组织方式和生产批量划分，抓住了生产管理方面的差异化，体现了生产组织形式的根本。按客户订单切入点可将生产类型分为五种类型，主要表达了客户的需求不同，会影响到生产订单的驱动形式，在生产管理中关注的管理细节不同。这两种方式是从两个不同的层面来划分的，互相之间有交叉，只有将两种形式中的各个特点进行充分考虑和融合，才能满足广大客户的实际需求，才能开发出具有一定通用性、适应性的软件产品。

第三节

制定机械加工工艺规程的步骤和方法

一、工艺规程的概念和作用

（一）工艺规程的概念

规定产品或零部件制造工艺过程和操作方法等的工艺文件称为工艺规程。其中，规定零件机械加工工艺过程和操作方法等的工艺文件称为机械加工工艺规程，规定产品或部件的装配工艺过程的装配方法的工艺文件称为机械装配工艺规程。

它是在具体的生产条件下，最公道或较公道的工艺过程和操作方法，并按规定的形式书写成工艺文件，经审批后用来指导生产。工艺规程中包括各个工序的排列顺序，加工尺寸、公差及技术要求，工艺设备及工艺措施，以及切削用量、工时定额等内容。

（二）工艺规程的作用

1. 工艺规程是指导生产的主要技术文件

按照工艺规程进行生产，可以保证产品质量和提高生产效率。生产工人必须严格按照工艺规程进行生产，检验人员必须按照工艺规程的要求进行检验，一切有关生产人员都须严格执行工艺规程，不容擅自更改工艺规程，这是严肃的工艺纪律。否则，可能造成废品，或产品质量及生产效率下降，甚至会引起整个生产过程的混乱。但是，工艺规程也不是一成不变的，随着科学技术的发展和工艺水平的提高，今天合理的工艺规程，明天也可能落后。因此，要注意及时把广大工人、技术人员的创造发明和技术革新成果吸收到工艺规程中来，同时还要不断吸收国内外已成熟的先进技术。为此，工厂除定期进行工艺整顿修改工艺文件外，经过一定的审批手续也可临时对工艺文件进行修改，使之更加完善。

2. 工艺规程是生产组织和管理工作的基本依据

生产计划和制定，产品投产前原材料和毛坯的供应，工艺装备的设计、制造与采购，机床负荷的调整，作业计划的编排，劳动力的组织，工时定额的制定，成本的核算等，都是以工艺规程作为基本依据的。

3. 工艺规程是新建或扩建工厂、车间的基本技术文件

在新建或扩建工厂、车间时，只有根据工艺规程和生产纲领，才能准确确定生产所需机床的种类和数量，工厂或车间的面积，机床的平面布置，生产工人的工种、等级、数量，以及各辅助部门的安排等。

4. 工艺规程是进行技术交流的重要文件

先进的工艺规程起着交流和推广先进经验的作用，能指导同类产品的生产，缩短工厂摸索和试制的过程。工艺规程是经过逐级审批的，因而也是工厂生产中的工艺纪律，有关人员必须严格执行。但工艺规程也不是一成不变的，它应不断地反映工人的革新创造，及时地汲取国内外的先进工艺技术，不断予以改进和完善，以便更好地指导生产。

总之，零件的机械加工工艺规程是每个机械制造厂或加工车间必不可少的技术文件。生产前用它做生产的预备，生产中用它做生产的指挥，生产后用它做生产的检验。

二、工艺规程的主要内容

为了适应工业发展的需要，加强科学管理和便于交流，机械科学研究院还制定了指导性技术文件JB/T 9165.2—1998《工艺规程格式》，要求各机械制造厂按统一规定的格式填写。按照规定，属于机械加工工艺规程的有以下几种。

（一）机械加工工艺过程卡片

机械加工工艺过程卡片（工艺路线卡片）规定了整个生产过程中，产品（或零件）所要经过的车间、工序等总的加工路线及使用的所有设备和工艺装备，可以作为工序卡片的汇总文件。机械加工工艺过程卡片是以工序为单位，简要说明产品或零、部件的加工过程的一种工艺文件，它是生产管理的主要技术文件，见表 1–3 所列。

机械加工工艺过程卡片的适用范围：中批量生产和单件小批量生产中比较重要的零件。

表 1–3　机械加工工艺过程卡片

<table>
<tr><td colspan="3" rowspan="2">（工厂）</td><td colspan="4" rowspan="2">机械加工工艺过程卡</td><td>产品型号</td><td></td><td colspan="2">零（部）件图号</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">共　页</td></tr>
<tr><td>产品名称</td><td></td><td colspan="2">零（部）件名称</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">共　页</td></tr>
<tr><td>材料牌号</td><td colspan="2"></td><td colspan="2">毛坯种类</td><td></td><td>毛坯外形尺寸</td><td colspan="3"></td><td colspan="2">每毛坯件数</td><td></td><td>每台件数</td><td></td><td colspan="2">备注</td></tr>
<tr><td rowspan="2">工序号</td><td colspan="2" rowspan="2">工序名称</td><td colspan="5" rowspan="2">工序内容</td><td rowspan="2">车间</td><td rowspan="2">工段</td><td rowspan="2">设备</td><td colspan="3" rowspan="2">工艺装备</td><td colspan="2">工时</td></tr>
<tr><td>准终</td><td>单件</td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="5"></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="5"></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="5"></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="5"></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td colspan="2"></td><td colspan="5"></td><td></td><td></td><td></td><td colspan="3"></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td rowspan="2"></td><td colspan="2" rowspan="2"></td><td colspan="5" rowspan="2"></td><td rowspan="2">编制（日期）</td><td colspan="3" rowspan="2">审核（日期）</td><td colspan="3" rowspan="2">会签（日期）</td><td rowspan="3"></td></tr>
<tr></tr>
<tr><td>标记</td><td colspan="2">处数</td><td>更改文件号</td><td>签字</td><td>日期</td><td>标记</td><td>处数</td><td>更改文件号</td><td>签字</td><td>日期</td><td></td><td colspan="3"></td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

（二）机械加工工序卡片

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的一种工艺文件，一般具有工序简图（图上应标明定位基准、工序尺寸及公差、形位公差和表面粗糙度要求，用粗实线表示加工部位），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，见表 1–4 所列。

表 1–4　机械加工工序卡片

<table>
<tr><td rowspan="2">（工厂）</td><td rowspan="2">机械加工工序卡片</td><td>产品型号</td><td></td><td>零件图号</td><td></td><td>共　页</td></tr>
<tr><td>产品名称</td><td></td><td>零件名称</td><td></td><td>共　页</td></tr>
<tr><td colspan="4" rowspan="10"></td><td>车间</td><td>工序号</td><td>工序名称</td><td>材料编号</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>毛坯种类</td><td>毛坯外形尺寸</td><td>每毛坯可制件数</td><td>每台件数</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td>设备名称</td><td>设备型号</td><td>设备编号</td><td>同时加工件数</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2">夹具编号</td><td colspan="2">夹具名称</td><td>切削液</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td></td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="2">工位器具编号</td><td colspan="2" rowspan="2">工位器具名称</td><td></td></tr>
<tr><td>工序工时</td></tr>
<tr><td colspan="2"></td><td colspan="2"></td><td>准终</td><td>单件</td></tr>
</table>

工步号	工步内容	工艺设备	主轴转速 / (r/min)		切削速度 / (m/min)	进给量 / (mm/r)	背吃刀量 / mm	进给次数	工时定额	
									机动	辅助

										设计（日期）	审核日期	标准化（日期）	会签（日期）	
标记	处数	更改文件号	签字	日期	标记	处数	更改文件号	签字	日期					

机械加工工序卡片的适用范围：大批量生产中的所有零件、中批量生产中的重要零件和单件小批量生产中的关键工序。

（三）标准零件或典型零件工艺过程卡片

标准零件或典型零件工艺过程卡片是指针对标准零件或典型零件设计的工艺过程卡片，其专用性较强。

（四）机械加工工序操作指导卡片

机械加工工序操作指导卡片是指对具体工序进行操作指导的卡片。

（五）检验卡片等

每个零件都应做到“一序一卡”“一步一检”：“一序一卡”是指每个零件的每个工序对应一张检验卡；“一步一检”是指在每张检验卡上，同一个工序的每一个工步都要标清“检验什么”“如何检验”“合格标准是什么”（指出要求值，由检验员检验后填写实测值）。例如，零件检验主要就是检验表面粗糙度、尺寸精度（不能超出公差范围）、位置精度（如平行度、对称度、倾斜度）、形状精度（如直线度、圆度、平面度、圆柱度）等。此外，各种力学性能（如硬度、强度、韧性、塑性）必须合格，不过这个一般是由设计来保证的，一般情况下，只要选材正确，就能保证结构设计正确。制造零件检验卡片，首先，需要根据不同的情况确定检验步骤，如先检验尺寸，还是先检验形状；其次，

每一步都要确定检验工具（如千分尺、游标卡尺、塞规、卡规等）和相应的检测标准，以便确定哪些零件是合格的，哪些零件是不合格的。对于不合格的零件，还要确定相应的处理措施，如返回加工，不能返回加工的零件就必须报废。

三、工艺规程设计的原则

所制定的工艺规程应尽量做到技术上先进、经济上合理，并且有良好的劳动条件，另外还应做到正确、统一、完整和清晰；所用的术语、符号、计量单位、编号等都要符合有关的标准。

（1）必须保证零件图纸上所有技术要求的实现，即保证质量，并提高工作效率。

（2）保证经济上的合理性，即成本要低、消耗要小。

（3）保证良好的安全工作条件，尽量减轻工人的劳动强度，保障生产安全，创造良好的工作环境。

（4）要从本厂实际出发，所制定的工艺规程应立足于本企业的实际条件，并具有先进性，尽量采用新工艺、新技术、新材料。

（5）随着实践的检验和工艺技术的发展与设备的更新，所制定的工艺规程应能不断地修订完善。

四、工艺规程设计所需的原始资料

（1）产品装配图、零件图。

（2）产品验收质量标准。

（3）产品的年生产纲领。

（4）毛坯材料与毛坯生产条件。

（5）制造厂的生产条件（包括机床设备和工艺装备的规格、性能和现在的技术状态，工人的技术水平，工厂自制工艺装备的能力，以及工厂供电、供气的能力等有关资料）。

（6）工艺规程设计、工艺装备设计所用设计手册和有关标准。

（7）国内外的先进制造技术资料等。

五、机械加工工艺规程设计的步骤

（1）分析零件图和产品装配图。当设计工艺规程时，首先应分析零件图和该零件所在部件或机器的装配图——了解该零件在部件或机器中的位置和功用，以及部件或机器对该零件提出的技术要求，分析其主要技术要求和应采取的工艺措施，形成工艺规程设计的总体构思。

（2）对零件图和装配图进行工艺审查。审查图样上的视图、尺寸公差和技术要求是否正确、统一、完整，对零件设计的结构工艺性进行评价，如发现有不合理之处，应及时提出，并同有关设计人员商讨图样修改方案，报主管领导审批。

（3）由产品的年生产纲领研究确定零件生产类型。

（4）确定毛坯。提高毛坯制造质量，可以减少机械加工劳动量，降低机械加工成本，但同时可能会增加毛坯的制造成本，要根据零件生产类型和毛坯制造的生产条件综合考虑。

（5）拟定工艺路线。该步骤的主要内容包括选择定位基准、确定各表面加工方法、划分加工阶段、确定工序集中和分散程度、确定工序顺序等。在拟定工艺路线时，首先要同时提出几种可能的加工方案，其次通过技术、经济的对比分析，最后确定一种最为合理的工艺方案。

（6）确定各工序所用机床设备和工艺装备（含夹具、量具、辅具等），对于需要改装或重新设计的专用工艺装备，要提交设计任务书。

（7）确定各工序的加工余量，计算工序尺寸及公差。

（8）确定各工序的技术要求及检验方法。

（9）确定各工序的切削用量和工时定额。

（10）编制工艺文件。

第四节

数控加工工艺规程文件

常用的数控加工工艺规程文件包括数控加工走刀路线图、数控加工工序卡片、数控加工刀具卡片、数控加工工件装夹和加工原点设定卡片、数控加工编程任务书、数控加工程序单等文件。

一、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过程中与夹具或工件发生意外碰撞，为此必须告知操作者关于编程中的刀具运动路线（如从哪里下刀、在哪里抬刀等）。数控加工走刀路线见表 1–5 所列。

表 1–5　数控加工走刀路线

数控加工走刀路线图		零件图号		工序号		工步号		程序号	
机床型号		程序段号		加工内容				共　页	第　页

工艺路线图

二、数控加工工序卡片

数控加工工序卡片应注明编程原点和对刀点，并要进行简要编程说明（如所用机床型号、程序介质、程序编号、刀具半径补偿等）及刀具参数（如主轴速度、进给速度、最大切削深度或刀宽等）的选择，见表 1–6 所列。

表 1–6　数控加工工序卡片

单位名称		产品名称或代号	零件名称	零件图号
工序号	程序编号	夹具名称	使用设备	车间

工步号	工步内容	刀具号	刀具规格	主轴转速	进给速度	切削深度	备注
1							
2							
3							
…							
…							

编制		审核		批准		年　月　日	共　页	第　页

三、数控加工刀具卡片

数控加工刀具卡片反映刀具编号、刀具结构、尾柄规格、组合件名称、刀具型号和材料等，见表 1–7 所列。它是组装刀具和调整刀具的依据。

表 1–7　数控加工刀具卡片

产品名称或代号		零件名称		零件图号	

序号	刀具号	刀具规格名称	数量	加工表面	备注
1					
2					
3					
…					
…					

编制		审核		批准		共　页	第　页

四、数控加工工件装夹和加工原点设定卡片

数控加工工件装夹和加工原点设定卡片主要标示出加工原点、定位方法和夹紧方法，并注明加工原点设置位置和坐标方向、使用的夹具名称的编号等，见表 1–8 所列。

表 1–8　数控加工工件装夹和加工原点设定卡片

零件图号		数控加工工件装夹和加工原点设定卡片	工序号	
零件名称			装夹次数	

工件原点位置示意图

编制 (日期)		批准 (日期)	第　页			
审核 (日期)			共　页	序号	夹具名称	夹具图号

五、数控加工编程任务书

数控加工编程任务书主要包含数控加工工序说明和技术要求，见表 1–9 所列。它是编程人员和工艺人员协调工作、编制数控程序的重要依据之一。

表 1–9　数控加工编程任务书

单位	数控加工编程任务书	产品零件图号		任务书编号
		零件名称		
		用数控设备		共　页　　第　页

主要工序说明及技术要求

						编程收到日期	月　日	经手人	
编制		审核		编程		审核		批准	

六、数控加工程序单

数控加工程序单主要包含程序段的内容、程序单的作用等相关内容，见表 1–10 所列。它是机床操作人员的加工依据。

表 1–10　数控加工程序单

程序段号	程序代码		说明				
编制		审核		批准		日期	

第三章

其他典型结构工艺设计

学习目标

通过本章学习，学生可对盘、套类零件与箱体零件有一个整体概念，掌握盘、套类零件工艺设计与箱体零件加工工艺的基本知识。

学习重点难点

套类零件的技术要求，轴承套加工工艺分析，液压缸加工工艺分析，箱体类零件的技术要求，箱体零件加工工艺分析，箱体的加工机床与刀具的选择。

思政目标

培养敬业精神、创新精神，强化团队协作意识，提升质量意识和成本意识；培养追求卓越、勇于拼搏的奋斗精神，提升职业道德素养和实践能力。

第一节

盘、套类零件工艺设计

一、盘、套类零件概述

（一）套类零件

1. 套类零件的功用及基本特点

套类零件是机械加工中经常碰到的一类零件，其应用范围很广。套类零件通常起支承和导向作用。套类零件在结构上有共同的特点：零件的主要表面为同轴度要求较高的内外回转面，零件的壁厚较薄易变形，长径比 $L/D>1$ 等。图 3–1 是常见的套类零件。

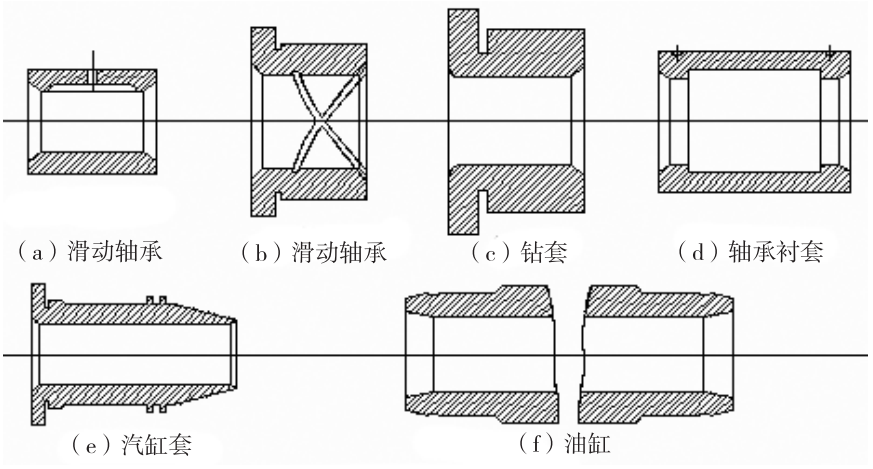


图 3–1　常见的套类零件

2. 套类零件的技术要求

套类零件的加工一般需要考虑尺寸精度、几何形状精度、相互位置精度、表面粗糙度等几个方面的技术要求。

（1）尺寸精度。内孔是套类零件起支承作用或导向作用的最主要表面，它通常与运动着的轴、刀具或活塞等相配合。内孔直径的尺寸精度一般为 IT7，精密轴套有时取 IT6，油缸由于与其相配合的活塞上有密封圈，要求较低，一般取 IT9。外圆表面一般是套类零件本身的支承面，常以过盈配合或过渡配合同箱体或机架上的孔连接。外径的尺寸精度通常为 IT6～IT7。也有一些套类零件的外圆表面不需加工。

（2）几何形状精度。内孔的形状精度应控制在孔径公差以内，有些精密轴套控制在孔径公差的 1/3～1/2，甚至更严。对于长的套件，除了圆度要求外，还应注意孔的圆柱度。外圆表面的形状精度控制在外径公差以内。

（3）相互位置精度。当内孔的最终加工是在装配后进行时，套类零件本身的内外圆之间的同轴度要求较低；若最终加工在装配前完成，则要求较高，一般为 0.01～0.05 mm。当套类零件的外圆表面不需加工时，内外圆之间的同轴度要求很低。对于套孔轴线与端面的垂直度精度，当套件端面在工作中承受载荷，或者不承受载荷但加工中作为定位基准面时，其要求较高，一般为 0.01～0.05 mm。

（4）表面粗糙度。为保证套类零件的功用和提高其耐磨性，内孔表面粗糙度 Ra 值为 0.16～2.50 μm，

有的要求更高，达 0.04 μm。外径的表面粗糙度 *Ra* 达 0.63～5.00 μm。

3. 套类零件的材料及毛坯

套类零件一般选用钢、铸铁、青铜或黄铜等材料。有些滑动轴承采用在钢或铸铁套的内壁上浇铸巴氏合金等轴承合金材料。

套类零件的毛坯选择与其材料、结构和尺寸等因素有关。孔径较小（如 $D<20$ mm）的套类零件一般选择热轧或冷拉棒料，也可采用实心铸铁。孔径较大时，常采用无缝钢管或带孔的空心铸件和锻件。大量生产时，可采用冷挤压和粉末冶金等先进的毛坯制造工艺。

（二）盘类零件

1. 盘类零件的功用与结构特点

盘类零件是机器设备上使用较为广泛的机械零件之一，如发动机飞轮、汽车刹车盘、轴承盖、皮带轮、齿轮、链轮、涡轮等，一般通过键、销与轴连接来传递扭矩和运动，同时可起支承、定位和密封等作用。常见的盘类零件如图 3–2 所示。

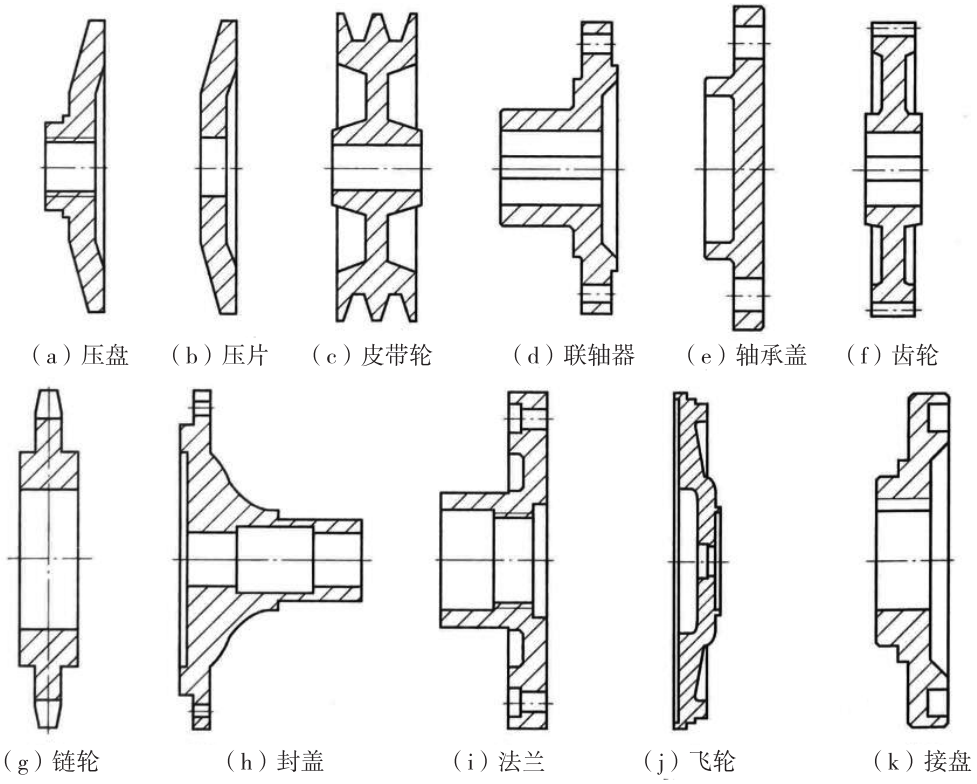


图 3–2　常见的盘类零件

盘类零件的结构与尺寸因用途不同而异，其结构一般具有以下特点：主要结构由同轴的外圆和内孔等回转表面组成；径向尺寸远大于轴向尺寸，零件轴向刚性比径向刚性差；在零件的圆周上一般有均匀分布的孔、轮辐或轴向封闭槽等结构；零件的两端面面积较大。

2. 盘类零件的技术要求

盘类零件的内孔表面是零件径向装配基准面，一般与传动的轴颈配合，配合性质因使用条件不同而异：如联轴器、涡轮等盘类零件，在工作时需要传递较大扭矩，承受冲击载荷，因此内孔与轴为过盈配合；一般精度要求的传动齿轮和带轮与轴的同轴度要求不高，需要频繁装拆，因此采用过渡配合；轴承盖工作时无相对运动，与箱体孔座一般采取间隙配合。盘类零件的内孔和两端面是零件加工精度

要求最高的加工表面，有些盘类零件如齿轮等，要求内外圆有一定的同轴度要求；对于做高速旋转的盘类零件（如发动机飞轮），则有平衡要求。盘类零件的主要技术要求如下。

（1）内孔与外圆的尺寸精度要求。内孔是盘类零件的支承和径向定位表面，它通常与运动的轴通过键连接，实现扭矩和运动的传递。内孔直径的尺寸精度一般为 IT7～IT8，要求较低时取 IT9。一般盘类零件的外圆表面要求不高，但齿轮、涡轮等盘类零件为了保证传动精度的需要，外圆尺寸精度也要求 IT7～IT8。也有一些盘类零件的外圆表面不需加工。

（2）几何形状精度要求。盘类零件的内孔形状精度，一般控制在孔径公差以内。对于一些与配合轴有过盈配合要求的盘类零件的内孔，外圆表面圆柱度误差必须控制在内孔公差以内，并且不允许有倒锥度。

（3）位置精度要求。盘类零件中的齿轮、涡轮等，由于外圆表面需要加工轮齿，工作时轮齿与配对零件相啮合进行运动和动力的传动，因此外圆与内孔有一定的同轴度要求，一般为 0.02～0.04 mm。当盘类零件的外圆表面的加工要求较低时，内外圆之间的同轴度要求较低。当盘类零件的端面在工作中承受载荷，或者不承受载荷但加工中作为定位基准面时，端面与内孔轴心线的垂直度要求为 0.01～0.05 mm。

（4）表面粗糙度要求。盘类零件的内孔表面粗糙度 *Ra* 一般为 0.63～3.20 μm，有的要求更高，达 0.16 μm。定位端面的表面粗糙度 *Ra* 达 3.2～6.3 μm。

二、盘、套类零件的制造工艺

（一）毛坯选择

盘类零件常采用钢、铸铁、青铜或黄铜制成。孔径小的盘类零件一般选择热轧或冷拔棒料，根据不同材料，亦可选择实心铸件；孔径较大时，预先加工出预孔。若生产批量较大，可选择冷挤压等先进毛坯制造工艺，既提高生产率，又节约材料。

（二）基准选择

根据零件不同的作用，零件的主要基准会有所不同：一是以端面为主（如支承块），其零件加工中的主要定位基准为平面；二是以内孔为主，由于盘类零件的轴向尺寸小，往往在以孔为定位基准（径向）的同时，辅以端面的配合；三是以外圆为主（应用较少），与内孔定位的原因类似，往往也需要有端面的辅助配合。

（三）安装方案

（1）用三爪卡盘安装。

（2）用专用夹具安装。

（3）用虎钳安装。

（四）表面加工

零件上回转面的粗、半精加工仍以车削为主，精加工则根据零件材料、加工要求、生产批量大小等因素选择磨削、精车、拉削或其他。零件上非回转面加工则根据表面形状选择恰当的加工方法，一般安排于零件的半精加工阶段。

（五）工艺路线

盘、套类零件的工艺路线：下料（或备坯）→去应力处理→粗车→半精车→平磨端面（亦可按零件情况不作安排）→非回转面加工→去毛刺→中检→最终热处理→精加工主要表面（磨或精车）→终检。

三、轴承套加工工艺分析

如图 3–3 所示的轴承套材料为 ZQSn6–6–3，每批数量为 200 件。

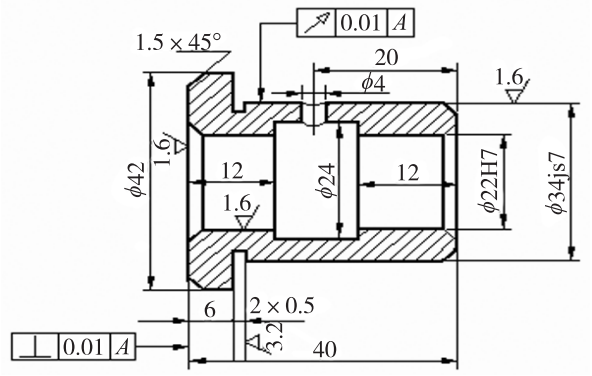


图 3–3　轴承套的机械加工图

（一）轴承套的技术条件和工艺分析

该轴承套属于短套筒，材料为锡青铜，其主要技术要求：ϕ34js7 外圆对 ϕ22H7 孔的径向圆跳动公差为 0.01 mm；左端面对 ϕ22H7 孔轴线的垂直度公差为 0.01 mm。轴承套外圆为 IT7 级精度，采用精车可以满足要求；内孔精度也为 IT7 级，采用铰孔可以满足要求。内孔的加工顺序为钻孔—车孔—铰孔。

外圆对内孔的径向圆跳动要求在 0.01 mm 内，用软卡爪装夹无法保证精度，因此精车外圆时应以内孔为定位基准，使轴承套在小锥度心轴上定位，用两顶尖装夹。这样可使加工基准和测量基准一致，容易达到图纸要求。

车铰内孔时，应与端面在一次装夹中加工，以保证端面与内孔轴线的垂直度在 0.01 mm 以内。

（二）轴承套的加工工艺

表 3–1 为轴承套的加工工艺过程。粗车外圆时，可采取同时加工 5 件的方法来提高生产率。

表 3–1　轴承套的加工工艺过程

序号	工序名称	工序内容	定位与夹紧
1	备料	棒料，按 5 件合一加工下料	—
2	钻中心孔	车端面，钻中心孔调头车另一端面，钻中心孔	三爪夹外圆
3	粗车	车外圆 ϕ42 mm 长度为 6.5 mm，车外圆 ϕ34js7 为 ϕ35 mm，车空刀槽 2×0.5 mm，取总长 40.5 mm，车分割槽 ϕ20×3 mm，两端倒角 1.5×45°，5 件同加工，尺寸均相同	中心孔
4	钻	钻孔 ϕ22H7 至 ϕ22 mm 成单件	软爪夹 ϕ42mm 外圆
5	车、铰	车端面，取总长 40 mm 至尺寸，车内孔 ϕ22H7 为 $\phi22^{0}_{-0.05}$ mm，车内槽 ϕ24×16 mm 至尺寸，铰孔 ϕ22H7 至尺寸，孔两端倒角	软爪夹 ϕ42mm 外圆
6	精车	车 ϕ34js7（±0.012）mm 至尺寸	ϕ22H7 孔心轴
7	钻	钻径向油孔 ϕ4 mm	ϕ34 mm 外圆及端面
8	检查	—	—

四、液压缸加工工艺分析

液压缸为典型的长套筒零件，与短套筒零件的加工方法和工件安装方式有较大的差别。

（一）液压缸的技术条件和工艺分析

液压缸的材料一般有铸铁和无缝钢管两种。图 3–4 为用无缝钢管材料的液压缸。为保证活塞在液压缸内顺利移动，对该液压缸内孔有圆柱度要求，对内孔轴线有直线度要求，内孔轴线与两端面间有垂直度要求，内孔轴线对两端支承外圆（ϕ82h6）的轴线有同轴度要求。除此之外，还有特别要求：内孔必须光洁无纵向刻痕；若为铸铁材料时，则要求其组织紧密，不得有砂眼、针孔及疏松。

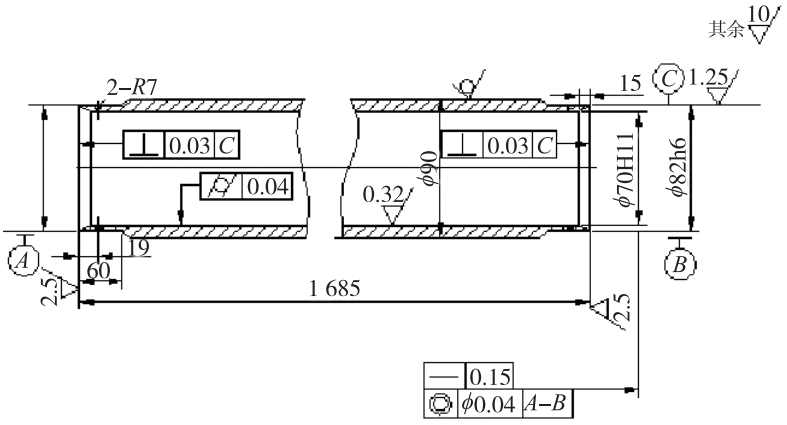


图 3–4　液压缸的机械加工图

（二）液压缸的加工工艺

液压缸的加工工艺过程见表 3–2 所列。

表 3–2　液压缸的加工工艺过程

序号	工序名称	工序内容	定位与夹紧
1	配料	无缝钢管切断	—
2	车	车 ϕ82 mm 外圆到 ϕ88 mm 及 M88 × 1.5 mm 螺纹（工艺用）	一夹一顶
		车端面及倒角	三爪夹一端，中心架托 ϕ88 mm 处
		调头车 ϕ82 mm 外圆到 ϕ84 mm	一夹一顶
		车端面及倒角取总长 1 686 mm（留加工余量 1 mm）	三爪卡盘夹一端，搭中心架托 ϕ88 mm 处
3	深孔推镗	半精推镗孔到 ϕ68 mm	一端用 M88 × 1.5 mm 螺纹固定在夹具中，另一端搭中心架
		精推镗孔到 ϕ69.85 mm	
		精铰（浮动镗刀镗孔）到 ϕ（70 ± 0.02）mm，表面粗糙度值 Ra 为 2.5 μm	
4	滚压孔	用滚压头滚压孔至 $\phi70^{+0.20}_{0}$ mm，表面粗糙度值 Ra 为 0.32 μm	一端用螺纹固定在夹具中，另一端搭中心架
5	车	车去工艺螺纹，车 ϕ82h6 到尺寸，割 R7 槽	软爪夹一端，以孔定位顶另一端
		镗内锥孔 1° 30′ 及车端面	软爪夹一端，中心架托另一端（百分表找正孔）
		调头，车 ϕ82h6 到尺寸，割 R7 槽	软爪夹一端，顶另一端
		镗内锥孔 1° 30′ 及车端面	软爪夹一端，顶另一端

五、套筒类零件加工中的主要工艺问题

一般套筒类零件在机械加工中的主要工艺问题是保证内外圆的相互位置精度（保证内、外圆表面的同轴度，以及轴线与端面的垂直度要求）和防止变形。

要保证内外圆表面间的同轴度以及轴线与端面的垂直度要求，通常可采用在一次安装中加工内外圆表面与端面的方法。这种工艺方案由于消除了安装误差对加工精度的影响，因而能保证较高的相互位置精度。在这种情况下，影响零件内外圆表面间的同轴度以及孔轴线与端面的垂直度的主要因素是机床精度。该工艺方案一般用于零件结构允许在一次安装中，加工出全部有位置精度要求的表面的场合。为了便于装夹工件，其毛坯往往采用多件组合的棒料，一般安排在自动车床或转塔车床等工序较集中的机床上加工。图 3–5 中的衬套零件就是采用这一方案的典型零件。衬套零件的加工工艺过程参见表 3–3 所列。

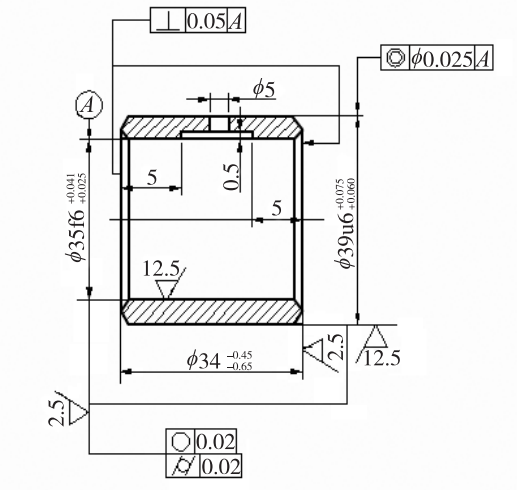


图 3–5　衬套零件的机械加工图

表 3–3　衬套零件的加工工艺过程

序号	工序内容	定位基准
1	加工端面、粗加工外圆表面、粗加工孔、半精加工或精加工外圆、精加工孔、倒角、切断	外圆表面、端面（定料用）
2	加工另一端面、倒角	外圆表面
3	钻润滑油孔	外圆表面
4	加工油槽、精加工外圆表面（如对于要求不高的衬套，该工序可由工序 1 中的精车代替）	外圆表面

实训练习

一、普通小套

小套零件的机械加工图如图 3–6 所示。

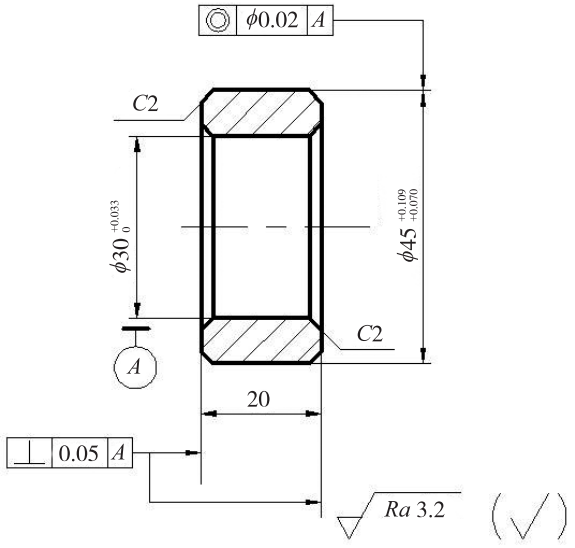
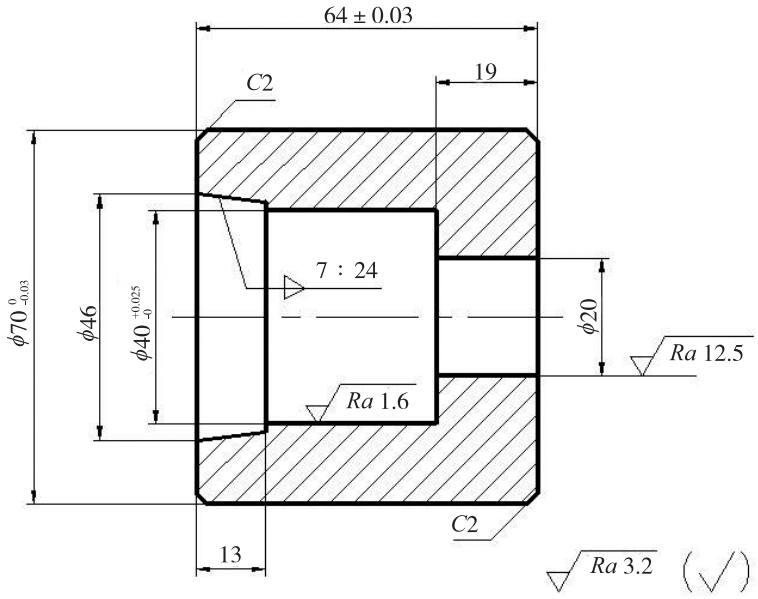


图 3–6　小套零件的机械加工图

完成小套零件的加工任务分析，独立制定其加工工艺，加工并检测。

二、内锥套

内锥套的机械加工图如图 3–7 所示。



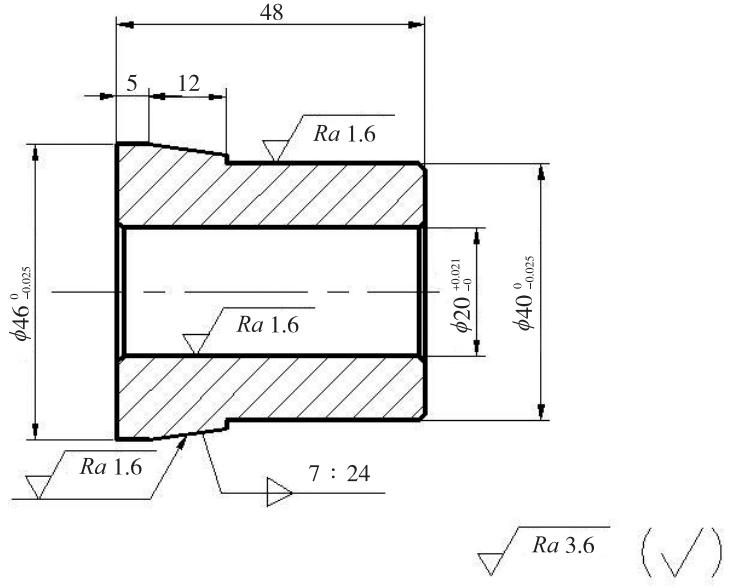
技术要求：① 7 : 24 锥度误差允许 ± 6′；②未注倒角 0.3 mm。

图 3–7　内锥套的机械加工图

完成内锥套的加工任务分析，独立制定其加工工艺，加工并检测。

三、外锥套

外锥套的机械加工图如图 3–8 所示。



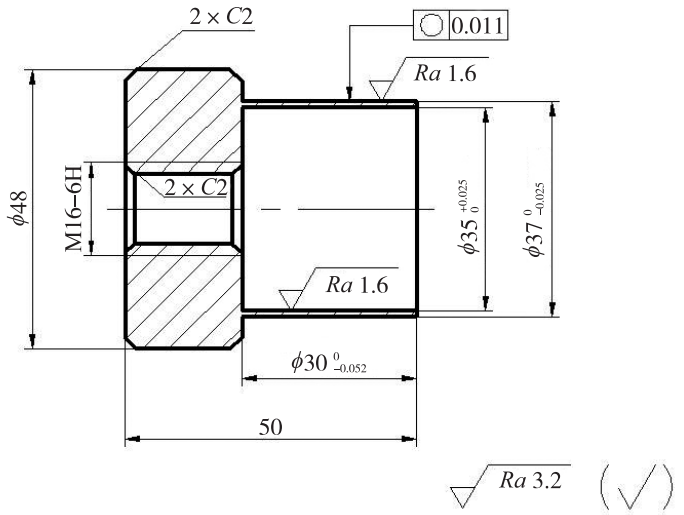
技术要求：① 7 : 24 锥度误差允许 ± 6′；②未注倒角 C1。

图 3–8　外锥套的机械加工图

完成外锥套的加工任务分析，独立制定其加工工艺，加工并检测。

四、薄壁套

薄壁套的机械加工图如图 3–9 所示。



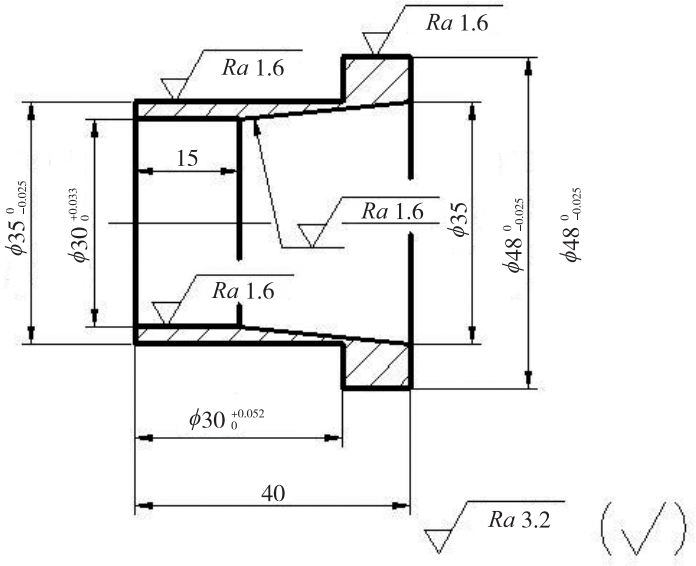
技术要求：①锐边去毛刺；②未注倒角 $C1$。

图 3–9　薄壁套的机械加工图

完成薄壁套的加工任务分析，独立制定其加工工艺，加工并检测。

五、薄壁锥套

薄壁锥套的机械加工图如图 3–10 所示。



技术要求：①锐边去毛刺；②未注倒角 $C1$。

图 3–10　薄壁锥套的机械加工图

完成外锥套的加工任务分析，独立制定其加工工艺，加工并检测。

第二节

箱体类零件加工工艺

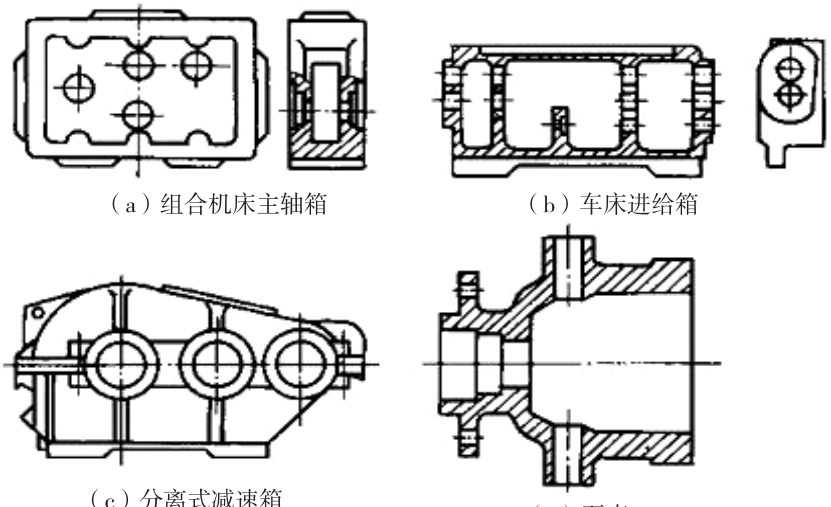
一、箱体类零件的结构、特点和技术要求

（一）箱体类零件的结构及特点

箱体类零件是机器及其部件的基础零件。它将机器及其部件中的轴、轴承套和齿轮等零件按一定的相互关系装配成一整体，并按预定的传动关系协调运动。因此，箱体的加工质量直接影响着机器的性能、精度和寿命。

箱体的结构形式虽然多种多样，但仍有共同的主要特点：形状复杂，壁薄且不均匀，内部呈腔形，加工部位多，加工难度大，既有精度要求较高的孔系和平面，也有许多精度要求较低的紧固用孔。因此，一般中型机床制造厂用于箱体类零件的机械加工劳动量占整个产品加工量的 15%～20%。

箱体类零件的加工不仅加工部位多，而且加工难度大。图 3–11 是几种常见的箱体类零件简图。



（a）组合机床主轴箱　（b）车床进给箱　（c）分离式减速箱　（d）泵壳

图 3–11　几种常见的箱体类零件简图

箱体的种类很多，其尺寸大小和结构形式随着机器的结构和箱体在机器中功用的不同而存在较大的差异，但从工艺上分析，它们仍有许多共同之处，其结构特点如下。

（1）外形基本是由六个或五个平面组成的封闭式多面体，分为整体式和组合式两种。

（2）结构形状比较复杂，内部常为空腔形，某些部位有“隔墙”，箱体壁薄且厚薄不均。

（3）箱壁上通常都布置有平行孔系或垂直孔系。

（4）箱体上的加工面主要是大量的平面。此外，还有许多精度要求较高的轴承支承孔，以及精度要求较低的紧固用孔。

（二）箱体类零件的毛坯及材料

箱体材料应尽量均匀，一般选用 HT 200～400 的各种牌号的灰铸铁，而最常用的为 HT 200。灰铸铁不仅成本低，而且具有较好的耐磨性、可铸性、可切削性和阻尼特性（减振性）。在单件生产或某些简易机床的箱体中，为了缩短生产周期和降低成本，可采用钢材焊接结构。此外，精度要求较高的坐标镗床主轴箱则选用耐磨铸铁。负荷大的主轴箱也可采用铸钢件。

毛坯的加工余量与生产批量、毛坯尺寸、结构、精度和铸造方法等因素有关。相关数据可查有关资料，根据具体情况决定。

毛坯铸造时，应防止砂眼和气孔的产生。为了减少毛坯制造时产生的残余应力，应使箱体壁厚尽量均匀，箱体浇铸后应安排时效或退火工序。

（三）箱体类零件的技术要求

零件的主要技术要求是为了保证箱体的装配精度，达到机器设备对它提出的要求。箱体类零件的主要技术要求有以下几个方面。

1. 孔的尺寸精度、几何形状精度和表面粗糙度

轴承支承孔应有较高的尺寸精度、几何形状精度和较小的表面粗糙度要求，否则将影响轴承外圈与箱体上孔的配合精度，使轴的旋转精度降低；若是主轴支承孔，还会进一步影响机床的加工精度。一般机床床头箱的主轴支承孔精度为 IT6 级，表面粗糙度 *Ra* 为 0.8～1.6 μm，其他支承孔精度为 IT6～IT7 级，表面粗糙度 *Ra* 为 1.6～3.2 μm。几何形状精度一般应在孔的公差范围内，要求高时应不超过孔公差的 1/3～1/2。

2. 支承孔之间的孔距尺寸精度及相互位置精度

在箱体上有齿轮啮合关系的相邻孔之间，应有一定的孔距尺寸精度及平行度要求，否则会影响齿轮的啮合精度，工作时会产生噪声和振动，并影响齿轮寿命。这项精度主要取决于传动齿轮副的中心距和齿轮啮合精度。一般机床的中心距公差为 0.02～0.08 mm，轴心线平行度为 0.03～0.10 mm。箱体上同轴线孔应有一定的同轴度要求。同轴度为 0.03～0.10 mm。同轴线孔的同轴度超差，不仅会给箱体中轴的装配带来困难，还会使轴的运转情况恶化，轴承磨损情况加剧，温度升高，影响机器的精度和正常运转。

3. 主平面的形状精度、相互位置精度和表面粗糙度

箱体的主平面就是装配基面或加工中的定位基面，它们直接影响箱体与机器总装时的相对位置及接触刚性，影响箱体加工中的定位精度，因而有较高的平面度和较低的表面粗糙度。一般机床箱体的装配基面和定位基面的平面度为 0.03～0.10 mm，表面粗糙度 *Ra* 为 1.6～3.2 μm。其他平面对装配基面也有一定的尺寸精度和平面度要求，如一般平面的平行度为 0.05～0.20 mm，平面间的垂直度为 0.1 mm。

4. 支承孔与主平面的尺寸精度及相互位置精度

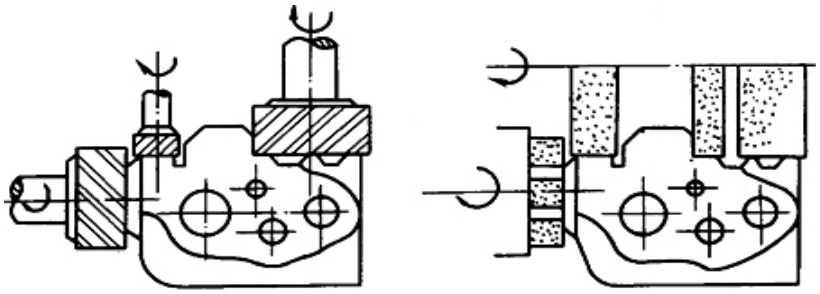
箱体上的支承孔对装配基面有一定的尺寸精度和平面度要求，对断面有一定的垂直度要求。例如，若车床主轴孔轴心线对装配基面在水平面内有偏斜，则加工时会产生锥度；主轴孔轴心线对端面的垂直度超差，装配会引起机床主轴的端面跳动等。

二、箱体类零件的加工工艺分析

（一）主要表面加工方法的选择

1. 主要平面的加工

对于中、小件，一般在牛头刨床或普通铣床上进行主要平面加工；对于大件，一般在龙门刨床或龙门铣床上进行主要平面加工。刨削的刀具结构简单，机床成本低，调整方便，但生产率低；在大批、大量生产时，多采用铣削工艺；当生产批量大且精度又较高时，可采用磨削。单件小批量生产精度较高的平面时，除一些高精度的箱体仍需手工刮研外，一般采用宽刃精刨；当生产批量较大或需保证平面间的相互位置精度时，可采用组合铣削和组合磨削，如图 3–12 所示。



（a）铣削　　（b）磨削

图 3–12　组合铣削和组合磨削

2. 箱体支承孔的加工

对于直径小于 50 mm 的孔，一般不铸出，可采用“钻—扩（或半精镗）—铰（或精镗）”的方案；对于已铸出的孔，可采用“粗镗—半精镗—精镗（用浮动镗刀片）”的方案。由于主轴轴承孔的精度和表面质量要求比其余轴孔高，在精镗后还要用浮动镗刀片进行精细镗。对于箱体上的高精度孔，最后精加工工序也可采用珩磨、滚压等工艺方法。

（二）拟定工艺过程的原则

1. 先面后孔的加工顺序

箱体主要由平面和孔组成，这也是它的主要表面。先加工平面，后加工孔，这是箱体加工的一般规律。主要平面是箱体与机器的装配基准，先加工主要平面，后加工支承孔，使定位基准与设计基准、装配基准重合，从而消除因基准不重合而引起的误差。另外，先以孔为粗基准加工平面，再以平面为精基准加工孔，这样可为孔的加工提供稳定可靠的定位基准。此外，加工平面时切去了铸件的硬皮和凹凸不平部分，对后序孔的加工有利，可减少钻头引偏和崩刃现象，对刀调整也比较方便。

2. 粗、精加工分阶段进行

对于刚性差、批量较大、精度要求较高的箱体，一般要粗、精加工分开进行，即在主要平面和各支承孔的粗加工之后，再进行主要平面和各支承孔的精加工。这样可以消除由粗加工造成的内应力、切削力、切削热、夹紧力对加工精度的影响，并且有利于合理地选用设备。

粗、精加工分开进行，会使机床、夹具的数量及工件安装次数增加，导致成本提高，所以对于单件、小批量生产、精度要求不高的箱体，常常将粗、精加工合并在一道工序中，但必须采取相应措施以减少加工过程中的变形。例如，粗加工后松开工件，让工件充分冷却，然后用较小的夹紧力、较小的切削用量多次走刀进行精加工。

3. 合理地安排热处理工序

为了消除铸造后铸件中的内应力，在毛坯铸造后安排一次人工时效处理，有时甚至在半精加工之后，还要安排一次时效处理，以便消除残留的铸造内应力和切削加工时产生的内应力。对于特别精密的箱体，在机械加工过程中，还应安排较长时间的自然时效（如坐标镗床主轴箱箱体）。箱体人工时效的方法，除加热保温外，也可采用振动时效。

（三）定位基准的选择

1. 粗基准的选择

在选择粗基准时，通常应满足以下几点要求。

（1）在保证加工面均有余量的前提下，应使重要孔的加工余量均匀、孔壁的厚薄尽量均匀，其余部位均有适当的壁厚。

（2）装入箱体内的回转零件（如齿轮、轴套等）应与箱壁有足够的间隙。

（3）注意保持箱体必要的外形尺寸。此外，还应保证定位稳定、夹紧可靠。

为了满足上述要求，通常选用箱体重要孔的毛坯孔作粗基准。根据生产类型不同，以主轴孔为粗基准的工件安装方式也不一样。大批大量生产时，由于毛坯精度高，可以直接用箱体上的重要孔在专用夹具上定位，如此工件安装迅速、生产率高；在单件、小批及中批生产时，一般毛坯精度较低，按上述办法选择粗基准，往往会造成箱体外形偏斜，甚至局部加工余量不够，因此通常采用划线找正的办法进行第一道工序的加工，即以主轴孔及其中心线为粗基准对毛坯进行划线和检查，必要时予以纠正，纠正后孔的余量应足够，但不一定均匀。

2. 精基准的选择

为了保证箱体零件孔与孔、孔与平面、平面与平面之间的相互位置和距离尺寸精度，箱体类零件精基准选择常用两种原则：基准统一原则、基准重合原则。

（1）一面两孔（基准统一原则）。在多数工序中，箱体利用底面（或顶面）及其上的两孔作定位基准，加工其他的平面和孔系，以避免由基准转换而带来的累积误差。

（2）三面定位（基准重合原则）。箱体上的装配基准一般为平面，而这些平面往往是箱体上其他要素的设计基准，因此以这些装配基准平面作为定位基准，避免了基准不重合误差，有利于提高箱体各主要表面的相互位置精度。

三、典型箱体类零件工艺规程的制定

（一）零件图样分析

分析零件图样是工艺准备中的首要工作，直接影响零件加工程序的编制及加工结果。首先需熟悉零件在产品中的作用、位置、装配关系和工作条件，明确各项技术要求对零件装配质量和使用性能的影响，找出主要和关键的技术要求，在此基础上对零件图样进行分析。

1. 零件结构分析

图 3–13 为箱体类零件的机械加工图，以铣加工与钻、镗加工为主，因此可用立式加工中心加工。该箱体类零件由 6 个螺纹孔、2 个沉孔、2 个 ϕ50 mm 的孔、100 mm × 80 mm × 10 mm 的型腔、120 mm × 70 mm × 70 mm 的型腔和 4 块肋板组成。

2. 精度分析

（1）尺寸精度。精度要求较高的尺寸主要有中心距（200 ± 0.02）mm 和两个型腔的外形尺寸。对于尺寸精度要求，主要通过在加工过程中的精确对刀、正确选用刀具和正确选用合适的加工工艺等措施来保证。

（2）表面粗糙度。孔和型腔内侧的表面粗糙度 Ra 为 1.6 μm，其他表面为 3.2 μm。对于表面粗糙度要求，主要通过选用正确的粗、精加工路线，以及选用合适的切削用量等措施来保证。

3. 确定加工工艺

（1）选用 ϕ20 mm 精齿立铣刀（加长切削刃型）精加工 120 mm × 70 mm × 70 mm 的型腔，用 ϕ14 mm 和 ϕ20 mm 的精齿铣刀精加工沉孔，用中心钻定位 6 个螺纹孔，用 ϕ4.2 mm 的钻头钻孔，用 ϕ5 mm 的丝锥加工 6 个螺纹孔。

（2）用 ϕ16 mm 的精齿立铣刀精加工底面 100 mm × 80 mm × 10 mm 的型腔，用 ϕ10 mm 的球头刀加工四型腔四周的圆弧倒角。

（3）用精镗刀加工 ϕ50 mm 的孔。

4. 零件毛坯的工艺性分析

在对零件图进行工艺性分析后，还应结合加工的特点，对所用毛坯进行工艺性分析。

（1）毛坯的加工余量是否充分，批量生产时的毛坯余量是否稳定。毛坯主要指锻、铸件，模锻时的欠压量、允许的错模量，或者铸造时砂型误差、收缩量及金属液体的流动性差导致的型腔未充满等情况均会造成余量不等。此外，锻、铸后，毛坯的翘曲与扭曲变形量的不同也会造成加工余量不充分、不稳定。该箱体壁厚较均匀，尺寸较小，且为铸造性能很好的材料 HT 200，因此，毛坯质量易保证，稳定性较好。当批量生产时，加工余量应适当减少。

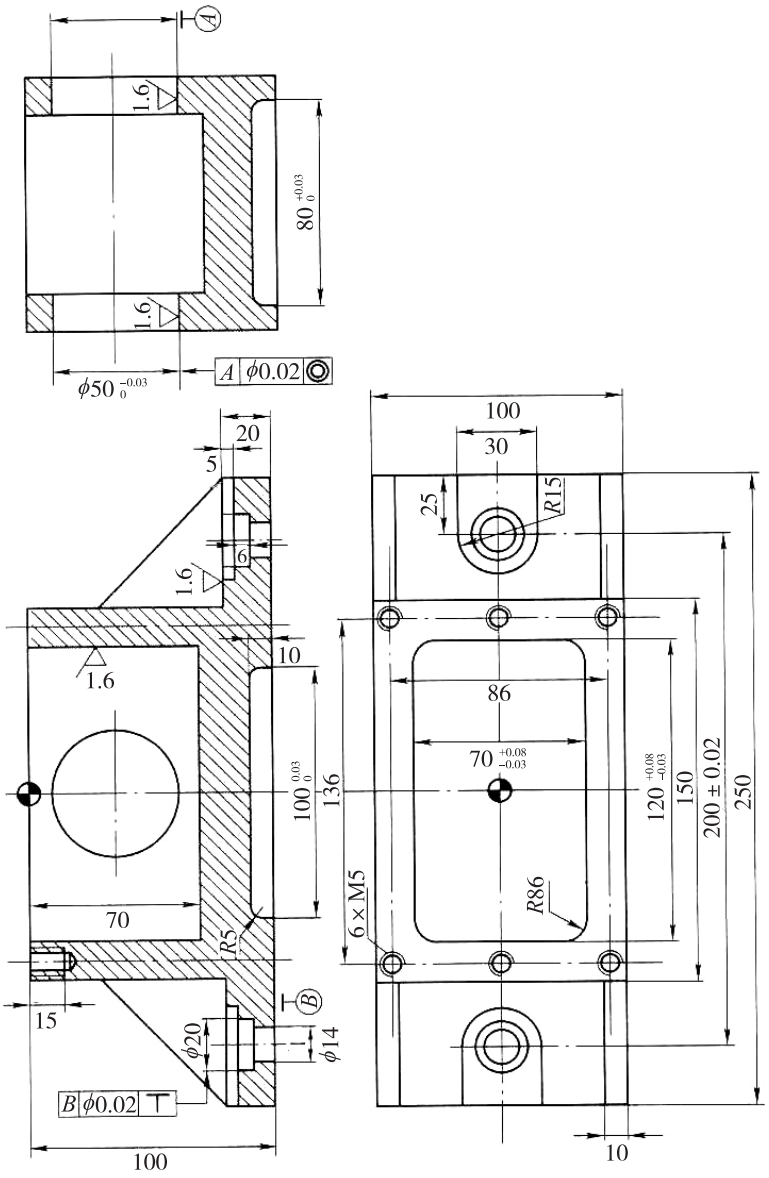


图 3–13　箱体类零件的机械加工图

（2）分析毛坯在安装定位方面的适应性，考虑毛坯在加工时的安装定位方面的可靠性与方便性，可以充分发挥机床的优势，以便在一次安装中加工出许多待加工面。在分析毛坯安装定位时，主要考虑是否另外增加装夹余量或工艺凸台来定位与夹紧，在何处可以制出工艺孔，或者是否另外准备工艺凸耳来特制工艺孔等问题。在加工定位方案中，已分析该箱体在安装定位方面的适应性是否良好。

（3）分析毛坯的余量大小及均匀性。毛坯的余量大小及均匀性决定加工时是否分层切削及分几层切削，影响到加工中与加工后的变形程度，决定了加工是否采取预防性措施与补救性措施。该箱体在正常质量状态下，毛坯的余量大小及均匀性均适合数控加工。

（二）箱体的加工机床与刀具的选择

1. 机床的选择

箱体类零件的加工主要是一些平面和孔的加工。较大箱体可在五面体加工中心一次装夹完成五个面及各面孔的加工；较小箱体在卧式加工中心上，通过工作台的回转完成多个面及各面孔的加工。该箱体尺寸较小，加工内容较少，但加工精度要求较高，因此选择带回转台的小型号卧式加工中心。

2. 加工刀具的选择

（1）选择刀具种类与规格。箱体零件加工的内容主要是平面铣加工和孔的加工，且都须粗、精加工分开，往往还有半精加工工序。因此，加工中选用的刀具根据加工内容的不同有不同要求，一般在粗加工中注重刀具的效率性能，精加工阶段则更强调刀具的精度能力。

（2）选用刀具的刀具卡片见表 3–4 所列。

表 3–4　刀具卡片

序号	刀具名称	刀具规格	加工内容
1	ϕ2 mm 的中心钻	—	定位 6 个螺纹孔
2	ϕ20 mm 精齿立铣刀	加长切削刃型	精加工 120 mm × 70 mm × 70 mm 型腔
3	ϕ14 mm 的精齿铣刀	—	精加工沉孔
4	ϕ20 mm 的精齿铣刀	—	精加工沉孔
5	ϕ16 mm 的精齿立铣刀	—	精加工底面 100 mm × 80 mm × 10 mm 的型腔
6	粗镗刀	—	粗镗 ϕ50 mm 的孔
7	精镗刀	—	精镗 ϕ50 mm 的孔
8	ϕ4.2 mm 的钻头	—	加工螺纹底孔
9	ϕ5 mm 的丝锥	—	攻螺纹
10	ϕ10 mm 的球头刀	—	加工四型腔四周的圆弧倒角

（三）切削用量的选择

在加工工序中需要给定切削用量（背吃刀量、主轴转速和进给量），所以在工艺处理中必须确定加工的切削用量。在选定刀具耐用度的条件下，根据机床使用说明书、被加工材料类型（铸铁、钢材、有色金属等）、加工要求（粗加工、半精加工、精加工），以及其他工艺要求，并结合实际经验来确定切削用量。由于加工中心频繁换刀影响加工效率，在确定刀具耐用度时，应保证刀具至少能加工 1～2 个工件，或者工作半个到一个班次。同时，切削用量的选取还应考虑机床的动态刚度，为了适应数控机床的动态特性，应取较高的切削速度和较小的进给量。

切削用量的选择原则：保证零件加工精度和表面粗糙度，充分发挥机床的性能，最大限度提高生产率，降低成本。加工工序余量及切削用量选择见表 3–5 所列。

表 3–5　加工工序余量及切削用量选择

序号	加工内容及精度要求	加工工序	背吃刀量 a_p 及工序余量选择			
			工序余量 / mm	背吃刀量 a_p / mm	切削速度 /（mm/min）	主轴转速 /（r/min）
1	2 × ϕ50 mm+0.03 mm、*Ra* 1.6 μm 内孔	精镗	0.4	0.2	250	564
		半精镗	1.0	0.5	180	520
		粗镗	1.0	0.5	140	500
2	120 mm × 70 mm × 70 mm 的型腔、*Ra* 1.6 μm	粗铣	0.4	0.2	180	400
		精铣	1.0	0.5	200	600
3	100 mm × 80 mm × 10 mm 的型腔	精铣	0.3	0.15	200	600
		粗铣	1.0	0.5	180	400

续表

序号	加工内容及精度要求	加工工序	背吃刀量 a_p 及工序余量选择			
			工序余量 / mm	背吃刀量 a_p / mm	切削速度 / (mm/min)	主轴转速 / (r/min)
4	U 形槽	精铣	0.3	0.3	190	500
		粗铣	1.0	1.0	170	300
5	沉孔	精铣	0.2	0.2	180	600
		粗铣	1.2	1.2	130	300
6	圆弧倒角	精铣	0.2	0.2	180	320
		粗铣	1.0	1.0	130	160
7	箱体外轮廓各平面	精铣	0.2	0.2	190	756
		粗铣	2.0	2.0	170	557
8	螺纹孔	钻孔	0.3	0.2	100	200
		攻丝	2	0.9	—	60

(四) 加工工艺过程卡片的拟定

加工工艺过程卡片是以工序为单位说明零件机械加工过程的一种工艺文件。它概略了加工过程的全貌，是制定其他工艺文件的基础。此种卡片对各工序的规定及说明不够具体，所以在成批生产和大量生产中一般不能直接指导工人操作，而多作为生产管理文件。但在单件小批生产中，通常不再编制更详细的工艺文件，可用它直接指导生产和工人操作。箱体加工工艺过程卡片见表 3–6 所列。

表 3–6　箱体加工工艺过程卡片

数控加工工艺过程卡片				产品型号		零件图号			共 1 页	
				产品名称		零件名称	箱体		第 1 页	
材料牌号	HT 200	毛坯种类	铸件	毛坯外形尺寸		每毛坯可制件数	1	每件台数		
序号	工序名称	工序内容		车间	工段	设备	工艺装备		工时	
									准终	单件
1	毛坯	铸造件		铸铁	小件		铸模			
2	清理	清铲毛边、浇冒口等		铸铁	清理	风动机等				
		清理型砂								
3	划线	检查余量，划中心线及内外轮廓等		机加工	划钳		平台、划针高度尺等			
4	铣二	精铣外轮廓		机加工	箱体	铣床				
5	铣三	粗加工 120 mm × 70 mm × 70 mm 型腔		机加工	箱体	铣床				
6	铣四	选用 ϕ20 mm 精齿立铣刀 (加长切削刃型) 精加工 120 mm × 70 mm × 70 mm 型腔		机加工	箱体	加工中心	专用夹具 1			
7	中间检	加工面的铸造质量、各工序加工质量		机加工	箱体					

续表

序号	工序名称	工序内容	车间	工段	设备	工艺装备	工时	
							准终	单件
8	铣孔二	用 ϕ14 mm 和 ϕ20 mm 的精齿铣刀精加工沉孔	机加工	箱体	加工中心			
9	铣五	粗加工 U 形块	机加工					
10	铣六	精加工 U 形块	机加工					
11	粗加工	粗铣台阶面	机加工					
12	精加工	精铣台阶面	机加工					
13		用中心钻定位 6 个螺纹孔	机加工					
14	钻孔	用 ϕ4.2 mm 的钻头钻孔	机加工					
15	攻螺纹	用 ϕ5 mm 的丝锥加工 6 个螺纹孔	机加工					
16	粗加工	粗加工底面 100 mm × 80 mm × 10 mm 的型腔						
17	精加工	用 ϕ16 mm 的精齿立铣刀精加工底面 100 mm × 80 mm × 10 mm 的型腔	机加工	箱体	加工中心	专用夹具 2		
18	加工倒角	用 ϕ10 mm 的球头刀加工四型腔四周的圆弧倒角						
19	粗镗孔	用镗刀加工 ϕ50 mm 的孔						
20	精镗孔	用精镗刀加工 ϕ50 mm 的孔						
21	钳工	清理工件，修磨工件	机加工	箱体		钳工工具		
22	交检	按成品图纸检查验收	质检处	箱体组				
23	包装	清洗、涂油、包装	机加工	服务组				
24	交货	运搬至指定交货处	机加工	服务组				
					设计（日期）	审核（日期）	会签（日期）	
标记	处理	更改文件号	签字	日期				

第四章

机械装配工艺基础

教学要求

通过本章学习，学生可学会从产品的质量要求出发，分析装配工艺及其与机械加工工艺的关系，能制定一般产品的装配工艺规程，具有主管产品工艺的初步能力。

学习重点难点

保证装配精度的方法。

思政目标

培养专业素养与操守品质，强化职业操守与诚信意识，激发创新精神与实践能力，提高综合素质，促进全面发展。

第一节

装 配 基 础

机器装配是按规定的精度和技术要求，将构成机器的零件结合成套件（合件）、组件、部件和产品的过程。装配是机器制造中的后期工作，是决定产品质量的关键环节。机器装配包括装配、调整、检验、试验、油漆和包装等环节。

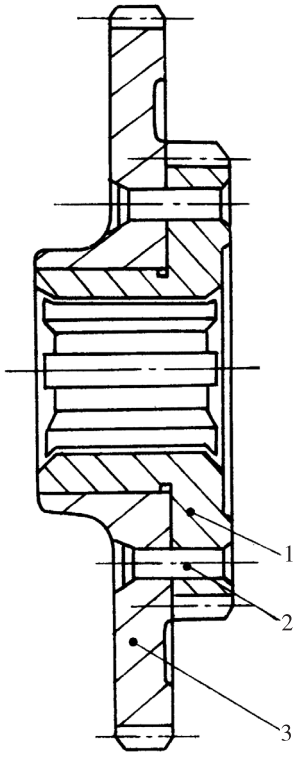
一、机器装配的基本概念

机器是由零件、套件、组件、部件等组成的。

零件是组成机器的最小制造单元，它是由整块金属或其他材料制成的。零件一般都预先装成套件、组件、部件后才安装到机器上，直接装入机器的零件并不太多。

套件是在一个基准零件上，装上一个或若干个零件构成的，它是最小的装配单元，为此进行的装配工作称为套装，如图 4–1 所示。

组件是在一个基准零件上，装上若干套件及零件而构成的，如图 4–2 所示。例如，机床主轴箱中的主轴，在基准轴件上装上齿轮、套、垫片、键及轴承的组合件称为组件，为此而进行的装配工作称为组装。



1—基准零件；2—铆钉；3—齿轮。

图 4–1　套件（装配齿轮图）

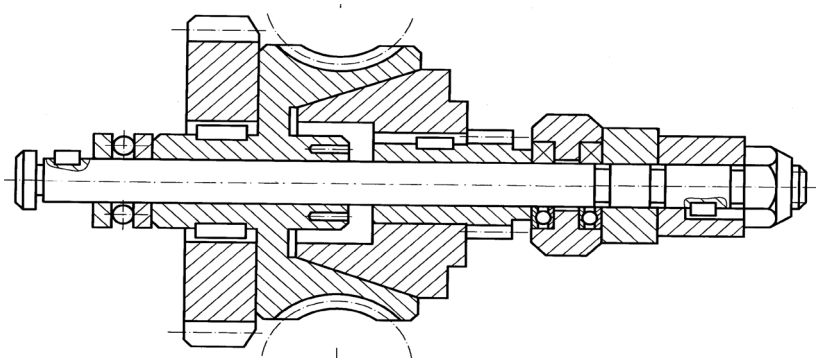


图 4–2　组件

部件是在一个基准零件上装上若干组件、套件和零件构成的。部件在机器中能完成一定的、完整的功用。把零件装配为部件的过程，称为部装。

在一个基准零件上，装上若干部件、组件、套件和零件就成为整个机器，把零件和部件装配成最终产品的过程，称为总装。

二、装配工艺系统图

为保证有效地进行装配工作，通常将机器划分为若干能进行独立装配的部分，称为装配单元。装配单元划分后，可确定产品和各级装配单元的装配顺序，构成装配工艺系统图。

三、装配工作的基本内容

（1）清洗——零件装配前均要进行清洗，以清除在制造、运输和储存过程中黏附的切屑、油脂和灰尘。清洗对提高零件的防锈能力也有帮助。

（2）平衡——旋转零件，特别是高速旋转零件装配前应进行平衡。对于飞轮、带轮等盘状零件，只需静平衡，而对于较长的零件，还需进行动平衡。旋转体内的不平衡质量可通过加工去除法或加配重质量法进行。

（3）过盈连接——常用的过盈连接方法有压入法和热胀冷缩法。

（4）螺纹连接——机器结构中最广泛的零件连接方法。

（5）校正——各零部件本身或相互之间位置的找正及调整工作。

机器装配除上述基本内容外，还包括装配后的调整、检验、试验、油漆和包装等环节。

四、装配精度

（一）装配精度的概念

装配精度是指机械产品装配后几何参数实际达到的精度。机械产品的质量是以其工作性能、使用效果、精度和寿命等指标综合评定的，而装配精度则起着重要的决定性作用。装配精度一般包括零部件间的距离精度、相互位置精度、相对运动精度和接触精度。

（1）距离精度。距离精度是指相关零部件间的距离尺寸的精度，包括间隙、配合要求。

（2）相互位置精度。装配中的相互位置精度是指相关零部件间的平行度、垂直度、同轴度及各种跳动等。

（3）相对运动精度。相对运动精度是指产品中有相对运动的零、部件在运动方向和相对速度上的精度，包括回转运动精度、直线运动精度和传动链精度等。

（4）接触精度。接触精度是指两配合表面、接触表面和连接表面间达到规定接触面积大小和接触点分布情况的要求，其主要影响接触变形。

（二）装配精度与零件精度间的关系

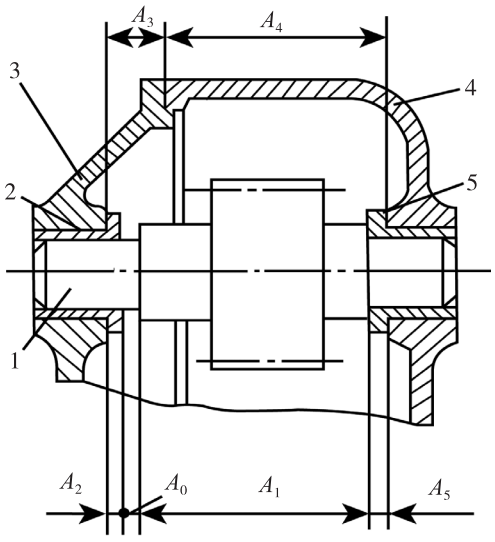
机械及其部件都是由零件组成的，装配精度与相关零、部件制造误差的累积有关。一方面，装配精度取决于零件，特别是关键零件的加工精度；另一方面，装配精度又取决于装配方法，在单件小批量生产及装配精度要求较高时，装配方法尤为重要。因此，机械的装配精度不仅取决于零件的精度，而且取决于装配方法。零件精度是保证装配精度的基础，但有了精度合格的零件，若装配方法不当，也可能装配不出合格的产品；反之，当零件制造精度不高时，若采用恰当的装配方法（如选配、修配、调整等），也可装配出装配精度要求较高的产品。因此，为保证机械的装配精度，应从产品结构、机械加工以及装配等方面进行综合考虑，选择适当的装配方法，并合理地确定零件的加工精度。

五、装配尺寸链

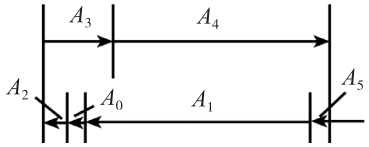
装配尺寸链是指在机器的装配关系中，由相关零件的尺寸或相互位置关系组成的尺寸链，如图 4–3 所示。

封闭环：装配最后形成的尺寸或位置关系。装配所要保证的装配精度或技术要求。

组成环：对装配精度有直接影响的零部件的尺寸和位置关系。



（a）装配示意图



（b）尺寸链图

1—齿轮轴；2—左滑动轴承；3—左箱体；4—右箱体；5—右滑动轴承。

图 4–3　齿轮轴组件的装配尺寸链

（一）装配尺寸链的建立

根据装配精度要求确定封闭环，再取封闭环任一端零件为起点，沿装配精度要求的位置方向，以装配基准面为线索，逐个找出影响装配精度的相关零件，直到找到同一基准零件，甚至是同一基准表面为止。装配尺寸链可从封闭环的一端开始，依次查找相关零部件，直至封闭环的另一端，也可以从共同的基准面或零件开始，分别查到封闭环的两端。

在查找装配尺寸链时，应注意以下问题。

1. 装配尺寸链应进行必要的简化

机械产品的结构通常都比较复杂，对装配精度有影响的因素很多，查找尺寸链时，在保证装配精度的前提下，可以不考虑那些影响较小的因素，使装配尺寸链适当简化。

2. 装配尺寸链组成的“一件一环”原则

在装配精度既定的条件下，组成环数越少，则各组成环所分配到的公差值就越大，零件加工越容易、越经济。在查找装配尺寸链时，每个相关的零、部件只应有一个尺寸作为组成环列入装配尺寸链，即将连接两个装配基准面间的位置尺寸直接标注在零件图上，如图 4–4 所示。这样组成环的数目就等于有关零、部件的数目，即“一件一环”，这就是装配尺寸链的最短路线（环数最少）原则。

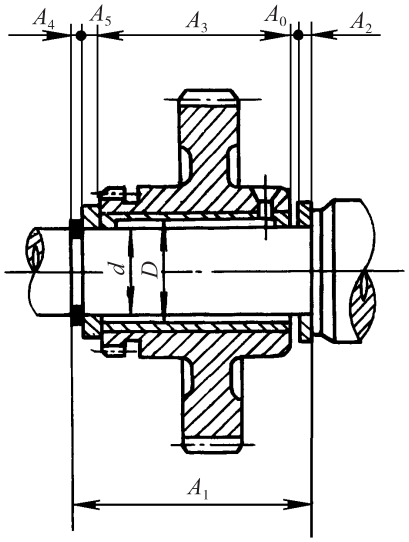


图 4–4　装配尺寸链的“一件一环”原则

3. 装配尺寸链的方向性

在同一装配结构中，在不同位置方向都有装配精度的要求时，应按不同方向分别建立装配尺寸链。

（二）装配尺寸链的计算

装配方法与装配尺寸链的计算方法密切相关。同一项装配精度，采用不同装配方法时，其装配尺寸链的计算方法也不相同。装配尺寸链的计算可分为正计算和反计算。

正计算时，尺寸链各组成环公差之和（封闭环极值公差）应小于或等于封闭环公差（装配精度要求）。

当组成环是标准件尺寸时（如轴承宽度，挡圈的厚度等），其公差大小和分布位置按标准规定。

某一组成环是不同装配尺寸链公共环时，其公差大小和分布位置根据对其精度要求最严的那个尺寸链先行确定。

其他组成环尺寸公差可根据其尺寸大小和加工难易程度进行适当调整。一般大尺寸、加工困难的组成环公差应适当放大；小尺寸、加工容易的组成环公差应适当缩小。调整后的尺寸公差尽量为标准公差值，并按“入体原则”标注。

为满足组成环公差之和与封闭环公差之间的关系，调整时应选择一环作协调环，协调环公差大小和分布位置由计算装配尺寸链确定。协调环通常选易于制造并可用通用量具测量的尺寸。

第二节

保证装配精度的工艺方法

在设计装配体结构时，就应当考虑装配方法，因为装配方法直接影响装配尺寸链的解法、装配工作组织、零件加工精度、产品的成本。常用的装配方法有互换装配法、分组装配法、修配装配法和调整装配法等。

一、互换装配法

在装配时，各配合零件不经修理、选择或调整即可达到装配精度的方法，称为互换装配法。互换装配法的特点是装配质量稳定可靠，装配工作简单、经济、生产率高，零部件有互换性，便于组织流水装配和自动化装配，是一种比较理想和先进的装配方法。因此，只要各零件的加工在技术上经济合理，就应该优先采用互换装配法。尤其是在大批大量生产中，广泛采用互换装配法。

互换装配法又分为完全互换法和部分互换法（又称“大数互换法”）两种形式。

（一）完全互换法

完全互换法必须严格限制各装配相关零件相关尺寸的制造公差，装配时无须任何修配、选择或调整，即能完全保证装配精度。其特点有三个方面：①装配质量稳定可靠，对装配工人的技术水平要求低；②装配操作简单，生产率高，便于组织流水装配和自动化装配；③便于组织专业化生产和协作生产，保证备件供应。完全互换法适用于大批量生产中装配精度高但零件数较少，或者零件数较多但装配精度要求不高的场合。

（二）部分互换法

采用完全互换法会使零件制造比较困难，为了降低制造成本，在相关零件较多、各零件生产批量又较大时，根据概率论的原理，可将各相关尺寸的公差适当放大，装配时在出现少量返修调整的情况下，仍能保证装配精度，这种方法称为部分互换法。其特点：①与完全互换法相似，只是互换程度不同；②会出现极少数产品装配超差，不合格，但是扩大了组成环的尺寸公差，降低了零件的制造精度。部分互换法适用于大批量生产中组成环较多、装配精度要求较高的场合。

二、分组装配法

在成批或大量生产中，将产品各配合副的零件按实测尺寸大小分组，装配时按组进行互换装配以达到装配精度的方法，称为分组装配法。例如，某一轴孔配合时，若配合间隙公差要求非常小，则轴和孔分别要以极严格的公差制造才能保证装配间隙要求。这时可以将轴和孔的公差放大，装配前实测轴和孔的实际尺寸并分成若干组，然后按组进行装配，即大尺寸的轴与大尺寸的孔配合，小尺寸的轴与小尺寸的孔配合，这样对每一组的轴孔来说，装配后都能达到规定的装配精度要求。由此可见，分组装配法既可降低对零件加工精度的要求，又能保证装配精度，在相关零件较少时是很方便的，但是由于增加了测量、分组等工作，当相关零件较多时就显得非常麻烦。另外，在单件小批生产中可以直接进行选配或修配，没有必要再来分组。因此，分组装配法仅适用于大批大量生产中装配精度要求很严，而影响装配精度的相关零件很少的情况，如精密偶件的装配，以及活塞销和孔的装配等。

（一）分组装配法应注意的问题

（1）配合件的公差相等，公差增大方向相同，增大倍数等于分组数。

（2）配合件的形状精度、相互位置精度及表面粗糙度不能随尺寸公差放大而放大，应与分组公差相适应。

（3）分组数不宜过多，否则就会因零件测量、分类、保管工作量的增加造成生产组织工作复杂化。

（4）制造零件时，应尽可能使各对应组零件的数量相等，满足配套要求，否则会造成某些尺寸零件的积压浪费现象。

（二）分组装配法的特点及应用

分组装配法的特点：零件按尺寸分组，将对应尺寸组零件装配在一起；零件误差较完全互换法可以大数倍。

分组装配法的应用：适用于大批量生产中零件数少、装配精度要求较高，又不便采用其他调整装置的场合。

（三）分组装配法的其他类似形式

1. 直接选择装配法

直接选择装配法的组成环公差相对于互换装配法所求值增大，但无须预先分组，而是在装配时，工人凭经验直接从待装配的零件中选择合适的零件进行装配，满足装配精度要求。

直接选择装配法的特点：装配精度在很大程度上取决于工人的技术水平，而且装配工时也不稳定。

直接选择装配法的应用：适用于封闭环公差要求不太严、产品产量不大或删除节拍要求宽松的成批生产。

2. 复合选择装配法

复合选择装配法将分组装配法和直接选择装配法相结合。它先将组成环的公差相对于互换法所求值增大，零件加工后预先测量、分组，装配时工人在各对应组内进行选择装配。

复合选择装配法的特点：吸取了前两种方法的特点，既能提高装配精度，又不必过多增加分组数，但装配精度仍然取决于工人的技术水平，而且装配工时也不稳定。

复合选择装配法的应用：相配合件公差不等时，可作为分组装配法的一种补充形式。

三、修配装配法

修配装配法是将影响装配精度的各个零件按经济加工精度制造，装配时通过去除指定零件上预先的修配量来达到装配精度的方法。装配时进行修配的零件叫修配件。修配件的选取原则：便于装拆，零件形状比较简单，易于修配，如果采用刮研修配，刮研面积要小；该件只与一项装配精度有关，而与其他装配精度无关。

修配装配法通常采用极值法计算尺寸链，选择补偿环并确定其尺寸及极限偏差。选择补偿环应满足以下要求：要便于装拆，易于修配，尽量不选公共组成环。确定补偿环的尺寸及极限偏差的出发点，是保证修配时的修配量足够且最小。为此，首先要了解补偿环被修配时对封闭环的影响是渐渐增大还是渐渐变小，不同的影响有不同的计算方法。第一种情况为越修配补偿环，封闭环尺寸越大，简称“越修越大”；第二种情况为越修配补偿环，封闭环尺寸越小，简称“越修越小”。

在实际生产中，常见的修配装配法有以下三种。

（一）单件修配法

这种方法选定某一固定的零件作为修配件（补偿环），装配时用去除金属层的方法改变其尺寸，以满足装配精度的要求。例如，在如图 4–5 所示的车床尾座与主轴箱装配中，以尾座底板为修配件，来保证尾座中心线与主轴中心线的等高性，这种修配方法在生产中的应用最广。

（二）合并加工修配法

这种方法将两个或更多的零件合并在一起进行加工修配，以减小累积误差，减少修配的劳动量。例如，尾座装配时，可以采用合并修配法，即把尾座体（A_3）与底板（A_2）相配合的平面分别加工好，并配刮横向小导轨，然后把两零件装配为一体，再以底板的底面为定位基准，镗削加工套筒孔，这样

A_2 与 A_3 合并成为 A_{2-3}，A_{2-3} 公差可加大，同时可以给底板面留较小的刮研量，使整个装配工作更加简单，如图 4–6 所示。

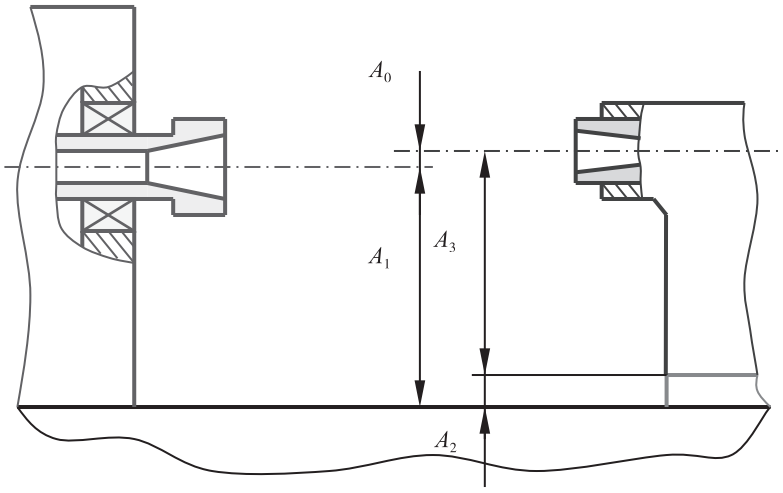


图 4–5　车床主轴中心线与尾座套筒中心线等高装配尺寸链

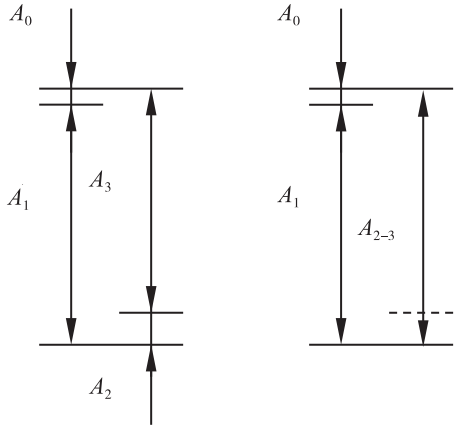


图 4–6　合并加工修配法

合并加工修配法由于零件合并后再加工和装配，给组织装配生产带来很多不便。因此，这种方法多用于单件小批量生产中。

（三）自身加工修配法

在机床制造中，有些装配精度要求较高，若单纯依靠限制各零件的加工误差来保证，势必要求各零件有很高的加工精度，甚至无法加工，而且不易选择适当的修配件。此时，在机床总装时，用机床本身来加工自身的方法来保证机床的装配精度，这种修配法称为自身加工修配法。

自身加工装配法的特点：预留修配量的零件，在装配过程中通过手工修配或机械加工，达到装配精度。

自身加工装配法的应用：适用于单件小批量生产中装配精度要求高的场合。

四、调整装配法

在装配时通过改变产品中可调整零件的相对位置或选用合适的调整件来达到装配精度的方法，称为调整装配法。常用的调整装配法有可动调整法、固定调整法和误差抵消调整法三种。

（一）可动调整法

可动调整法指通过改变调整件（补偿环）的位置，封闭环达到其公差与极限偏差要求的方法。

（二）固定调整法

固定调整法指通过更换不同尺寸的调整件（补偿环），封闭环达到其公差与极限偏差要求的方法。补偿环要求形状简单、便于装拆，通常为垫片、挡环、套筒等零件。

采用固定调整法的关键是确定调整件的分级数和各级调整件的尺寸大小。

（三）误差抵消调整法

误差抵消调整法指在装配时，根据尺寸链中某些组成环误差的方向作定向装配，使各组成环的误差方向合理配置，以达到互相抵消的目的的方法。

这种方法在机床装配中应用较多，如装配机床主轴时，通过调整前后轴承的径向圆跳动方向来控制主轴锥孔的径向跳动；在滚齿机工作台分度蜗轮的装配中，通过调整两者偏心方向来抵消误差，提高装配精度。

采用上述装配方法时，各相关零件（包括修配件）究竟应以多大的公差来制造、采用分组装配法和固定调整法时应当如何分组等，必须应用装配尺寸链的方法来进行分析计算。在调整装配法中，一般选用螺钉、斜面、挡环、垫片等作为补偿环。调整装配法通常采用极值法计算尺寸链。