

● 华东地区大专院校教材

机械制造工艺学

【修订本】

福建科学技术出版社

华东地区大专院校教材

机械制造工艺学

(修订本)

上海市大专院校机械制造工艺学协作组 编著

福建科学技术出版社

(闽)新登字 03 号

华东地区大专院校教材

机械制造工艺学

(修订本)

上海市大专院校机械制造工艺学协作组 编著

*

福建科学技术出版社出版、发行

(福州得贵巷 59 号)

福建省新华书店经销

福安印刷厂印刷

开本 787×1092 毫米 1/16 22 印张 545 千字

1995 年 1 月第 2 版

1995 年 1 月第 8 次印刷

印数:75 601—83 600

ISBN 7-5335-0002-4/TH·1

定价:17.60 元

书中如有印装质量问题,可直接向承印厂调换

再版前言

《机械制造工艺学》是机械制造工艺与设备的主要专业课程。本书是由1985年初版的由上海市大专院校机械制造工艺学协作组编写的《机械制造工艺学》和福州大学、华侨大学合编的《机床夹具设计、机械制造工艺学习题集》，两书经过修改、充实而成的。经过几年的教学实践，表明其体系、内容和份量均较适合目前的教学要求。原书1983年10月“全国高等院校机械制造工艺学研究会华东分会”首届理事会上被推荐为华东地区大专院校试用教材。上述编写单位又在广泛征集意见和充分讨论的基础上，按照目前试行的教学大纲，进行了修订再版。

本套教材由理论教学篇和习题集两个部分组成。理论教学篇的内容和体系保持了原教材的特点，有关部分编写时采用了新的国家标准，并更新和增删了部分内容。如保留了生产系统、工艺系统的概念和工艺系统尺寸链，三维精度等理论，增补了计算机在机械制造应用中计算机集成制造系统(CIMS)的内容。在成组生产系统中以我国更实用的JLBM-1分类编码系统代替原来的奥匹兹(OPITZ)系统。其目的是强调从系统角度及整体概念来分析问题。为了满足教学实践环节的要求，保留了连杆、活塞等典型零件加工工艺的内容，增补了部分典型夹具。为了有利于培养学生的自学和独立分析问题的能力，习题集部分结合理论教学篇的内容，提供了大量理论联系实际练习题和思考题。

编写过程始终体现了共同讨论，分头编写，互相审阅的精神。

参加本教材理论教学部分编写的有华东工业大学端木时夏(第一章生产过程的基本概念，第六章中的工艺系统尺寸链)，上海第二工业大学钱荣冕(第三章机械加工精度，第四章机械加工表面质量)，中国纺织大学汤桐业(第二章工件的安装和夹具设计基础，第六章工艺尺寸链)，同济大学徐炳楠(第五章工艺规程的制订中的前五节，第七章主轴加工工艺)，中国纺织大学章宗域、张家钰(第五章中第六节以后有关成组技术，计算机辅助制造，计算机集成制造系统等内容)，上海交通大学沈德和(第八章箱体加工工艺，第九章圆柱齿轮加工工艺，第十章连杆加工工艺，第十一章活塞加工工艺)。参加习题集部分编写的有福州大学陈榕(第二、五、六、七章)，华侨大学王树兜(第一、三、四、五、六、七章)。

华东工业大学端木时夏和同济大学徐炳楠担任理论教学部分的统稿工作，福州大学卞铭健主审习题集部分。

在原书编写过程中，得到了贝季瑶教授、霍少成教授和侯镇冰教授的热情关怀和指导，对我们有很大的启发和帮助；福州大学机制教研室，上海交通大学机

制教研室等单位给予了大力支持；另外，王纯之、廖剑冲等同志；福建科学技术出版社叶顺利同志对本教材的修改工作提出了许多宝贵意见，谨此表示衷心的感谢。

本书可作为大专院校机械制造工艺与设备专业的教材，也可供有关工程技术人员学习参考。

书中错误和不足之处，恳请广大读者批评指正，以求不断修改和完善，为机械制造工艺课程的改革和教学质量的提高作出贡献，这是我们的愿望。

我们借本书再版付印之际，谨对参加第一版编写的上海交通大学潘德豫老师深表哀悼和怀念之情。

编 者

目 录

第一章 生产过程的基本概念

§ 1-1 生产过程和工艺过程.....	(1)
一、生产过程和生产系统	(1)
二、工艺过程和工艺规程	(4)
三、工艺过程的组成	(4)
§ 1-2 生产纲领和生产类型.....	(5)
一、生产纲领	(5)
二、生产类型	(5)
§ 1-3 机械加工的经济精度.....	(7)

第二章 工件的安装和夹具设计基础

§ 2-1 概述	(12)
一、工件的安装方式	(12)
二、夹具的分类和作用	(13)
三、夹具的组成	(14)
§ 2-2 定位原理	(14)
一、六点定位原则	(14)
二、完全定位和不完全定位	(15)
三、过定位与欠定位	(17)
§ 2-3 定位方式	(18)
一、工件以平面定位	(18)
二、工件以外圆定位	(21)
三、工件以内孔定位	(23)
四、工件以组合表面定位.....	(24)
§ 2-4 定位误差	(28)
一、定位误差的产生	(28)
二、定位误差的计算	(30)
三、保证规定加工精度实现的条件	(33)
§ 2-5 工件的夹紧	(33)
一、工件夹紧的基本要求.....	(33)
二、典型夹紧机构	(36)

三、动力夹紧装置	(44)
§ 2-6 夹具应用实例	(48)
一、车床夹具	(48)
二、钻床夹具	(48)
三、铣床夹具	(51)
§ 2-7 夹具设计方法和步骤	(53)

第三章 机械加工精度

§ 3-1 概述	(58)
一、加工精度和加工误差	(58)
二、研究加工精度的方法	(58)
三、加工误差的来源——影响加工精度的原始误差因素	(59)
四、原始误差与加工误差的关系	(60)
§ 3-2 工艺系统的制造误差和磨损	(60)
一、机床误差	(60)
二、刀具的制造误差	(68)
三、夹具的制造误差	(70)
§ 3-3 工艺系统受力变形	(70)
一、工艺系统的刚度	(71)
二、工艺系统受力变形对加工精度的影响	(71)
三、机床刚度的测定	(76)
四、影响机床部件刚度的因素	(78)
五、工艺系统受力变形的对策	(81)
§ 3-4 工艺系统的热变形	(82)
一、基本概念	(82)
二、工件热变形	(84)
三、刀具热变形	(86)
四、机床热变形	(88)
五、工艺系统热变形的对策	(90)
§ 3-5 加工过程的其它原始误差	(93)
一、加工原理误差	(93)
二、调整误差	(94)
三、工件残余应力引起的误差	(96)
§ 3-6 加工误差的统计分析法	(99)
一、系统性误差和随机性误差	(99)
二、分布图分析法	(101)
三、点图分析法	(110)
§ 3-7 加工精度的综合分析	(118)

一、方法和步骤	(119)
二、实例	(120)
三、提高加工精度的措施	(125)

第四章 机械加工表面质量

§ 4-1 概述	(132)
一、表面质量的含义	(132)
二、表面质量对零件使用性能的影响	(133)
§ 4-2 表面粗糙度和波度	(135)
一、切削加工表面粗糙度	(135)
二、磨削加工表面粗糙度	(137)
三、表面波度	(139)
§ 4-3 加工表面物理机械性能的变化	(139)
一、表面冷硬	(139)
二、磨削烧伤	(140)
三、表面层残余应力	(142)
§ 4-4 机械加工中的振动	(144)
一、工艺系统的受迫振动	(144)
二、切削颤振——切削过程的自激振动	(150)
三、消振减振的基本途径	(156)

第五章 工艺规程的制订

§ 5-1 概述	(163)
一、工艺规程的作用	(163)
二、制订工艺规程的原始资料	(164)
三、制订机械加工工艺规程的步骤	(165)
四、装配工艺规程制订的原则和步骤	(167)
§ 5-2 结构工艺性	(169)
一、结构和工艺的联系	(169)
二、毛坯结构工艺性	(170)
三、零件结构工艺性	(171)
四、装配结构工艺性	(175)
§ 5-3 拟定工艺规程的几个主要问题	(177)
一、基准的选择	(177)
二、工艺路线的拟定	(180)
三、加工余量的确定	(185)
四、确定工序尺寸和公差	(189)

§ 5-4 工艺过程的技术经济分析	(190)
一、时间定额	(190)
二、工艺成本和工艺方案经济性	(191)
§ 5-5 提高机械加工劳动生产率的技术措施	(192)
一、缩短单件时间定额	(193)
二、采用先进工艺方法	(197)
三、进行高效及自动化加工	(198)
§ 5-6 成组技术	(200)
一、成组技术原理和成组加工	(200)
二、分类编码方法	(202)
三、成组加工的工艺准备工作	(220)
四、生产组织形式	(221)
五、成组技术的成效	(223)
§ 5-7 制造过程自动化	(224)
一、制造过程自动化的发展趋势	(224)
二、制造过程优化和适应控制	(225)
三、计算机辅助工艺规程编制 <i>CAPP</i>	(229)
四、计算机辅助制造 <i>CAM</i>	(231)
五、柔性制造系统 <i>FMS</i>	(234)
六、计算机集成制造系统 <i>CIMS</i>	(235)

第六章 工艺尺寸链

§ 6-1 概述	(237)
一、尺寸链的定义和组成	(237)
二、尺寸链的分类	(238)
三、尺寸链的计算方法	(239)
§ 6-2 尺寸链计算的基本公式	(241)
一、尺寸链各环的基本尺寸计算	(241)
二、极值解法	(242)
三、概率解法	(243)
§ 6-3 工艺过程尺寸链	(247)
一、基准不重合时的尺寸换算	(247)
二、多工序尺寸换算	(249)
三、孔系坐标尺寸换算	(254)
四、图表跟踪法	(255)
§ 6-4 装配尺寸链	(258)
一、互换法	(258)
二、选配法	(262)

三、修配法	(263)
四、调整法	(265)
§ 6-5 工艺系统尺寸链	(269)

第七章 主轴加工工艺

§ 7-1 概述	(275)
一、主轴的工艺分析	(275)
二、主轴的材料与毛坯	(278)
§ 7-2 主轴加工工艺过程分析	(278)
一、划分加工阶段	(280)
二、选择定位基准	(280)
三、热处理工序的安排	(282)
四、加工顺序安排	(283)
§ 7-3 主轴加工主要工序分析	(283)
一、中心孔修研	(283)
二、外圆车削	(284)
三、深孔加工	(285)
四、轴颈光整加工	(285)
五、锥孔磨削	(286)

第八章 箱体加工工艺

§ 8-1 概述	(289)
一、箱体零件的工艺分析	(289)
二、箱体材料及其毛坯	(291)
§ 8-2 箱体加工工艺过程分析	(292)
一、定位基准的选择	(292)
二、加工顺序的安排	(294)
§ 8-3 箱体加工的主要工序分析	(295)
一、平面加工	(295)
二、孔系加工	(296)
三、主轴孔的精加工	(297)
§ 8-4 箱体零件的高效自动化加工	(298)

第九章 圆柱齿轮加工工艺

§ 9-1 概述	(300)
一、圆柱齿轮的结构特点及传动精度要求	(300)

二、齿形加工方法	(301)
§ 9-2 圆柱齿轮加工工艺过程分析	(305)
一、齿轮材料及其毛坯	(306)
二、定位基准选择	(307)
三、齿坯加工	(308)
四、齿形加工方法的选择	(308)
五、齿端加工	(309)
六、精基准修整	(309)
§ 9-3 滚齿加工精度分析	(310)
一、影响传动准确性的加工误差分析	(310)
二、影响传动平稳性的加工误差分析	(313)
三、影响载荷均匀性的加工误差分析	(319)

第十章 连杆加工工艺

§ 10-1 概述	(321)
一、连杆工艺分析	(321)
二、连杆材料及其毛坯	(323)
§ 10-2 连杆加工工艺过程分析	(324)
一、加工顺序的安排	(325)
二、定位基准的选择	(325)
三、确定合理的夹紧方法	(326)
§ 10-3 连杆加工的主要工序	(326)
一、两端面加工	(326)
二、大、小头孔加工	(327)

第十一章 活塞加工工艺

§ 11-1 概述	(328)
一、活塞工艺分析	(328)
二、活塞材料及其毛坯	(329)
§ 11-2 活塞加工工艺过程分析	(330)
一、定位基准的选择	(331)
二、工序的安排	(333)
§ 11-3 活塞加工的主要工序	(333)
一、环槽加工	(333)
二、裙部外圆加工	(334)
三、销孔精加工	(337)

第一章 生产过程的基本概念

§ 1-1 生产过程和工艺过程

一、生产过程和生产系统

1. 生产过程

生产过程是指产品由原材料到成品之间的各个相互联系的劳动过程的总和。它包括：原材料的运输和保管，生产的准备工作，毛坯的制造，零件的加工，部件和产品的装配、检验、油漆和包装等。

为了降低机器的生产成本，一台机器的生产，往往由许多工厂联合完成，这样做，有利于零、部件的标准化和组织专业化生产。

一个工厂的生产过程，又可分为各个车间的生产过程。一个车间生产的成品，往往又是其他车间的原材料。例如铸造和锻造车间的成品（铸件和锻件），就是机械加工车间的“毛坯”；机械加工车间的成品，又是装配车间的“原材料”。

2. 生产系统

(1) 系统的概念 任何事物都是由数个相互作用和相互依赖的部分组成的并具有特定功能的有机整体，这个整体就是“系统”。

在同一个系统中，至少要由两个要素组合而成，而且这些要素相互联系和相互作用并有其整体的目的，还能适应其所处环境变化的能力。亦就是说：要成为一个系统，必须具备集合性、相关性、目的性和环境适应性等四个属性。

这里“整体”思想是系统概念的核心，研究系统问题时，必须明确整体的目的，各要素都不能离开整体去研究，而要相互协调才能最有效地达到整体的目的。

(2) 机械加工工艺系统 机械加工工艺系统由金属切削机床、刀具、夹具和工件四个要素组成，它们彼此关联、互相影响，该系统的整体目的是在特定的生产条件下，适应环境的要求，在保证机械加工工序质量和产量的前提下，采用合理的工艺过程，降低该工序的加工成本。因此，必须从组成机械加工工艺系统的机床——刀具——夹具——工件这四个要素的“整体”出发，分析和研究各种有关问题，才可能实现该系统的工艺最佳化方案。

随着电子计算机和自动控制等技术引入机械加工领域，出现了数字控制和适应控制等新型的机械加工技术。要实现系统最佳化，则如图 1-1 所示，不能只考虑坯料由上工序输入本工序并经过存储、机械加工和检测，然后作为本工序加工完成的零件输出给下一工序这一物质流动的流程（称之为“物质流”）。还必须充分重视并合理编制包括工艺文件、数控程序和适控模型等控制着物质系统工作的信息的流程（称之为“信息流”）。

在系统中不仅要看到“物质”的一面，还必须注意“信息”的一面，这是系统工程的特点之一。

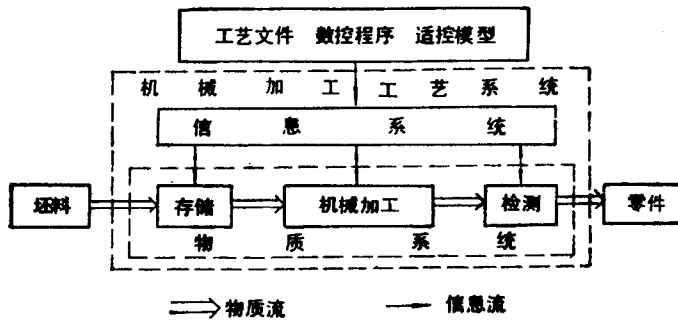


图 1-1 机械加工工艺系统图

如果以一个零件的机械加工工艺流程作为高一级的系统来分析，那么该系统的要素就是组成工艺流程的各个工序。必须全面协调组成该零件机械加工工艺流程的各个工序的有关工艺参数，才能实现零件机械加工的最佳化。

对于一个机械制造厂来说，除机械加工外，还有铸造、锻压、焊接、热处理和装配等工艺，各种工艺都可以形成各自的工艺系统。

(3) 机械制造系统 如果进一步以整个机械加工车间为更高一级的系统来考虑问题，则该系统的整体目的就是使该车间能最有效地全面完成全部零件的机械加工任务。

图 1-2 表示机械制造系统各组成部分之间的相互关系。机械加工中，将毛坯、刀具、夹具、量具和其他辅助物料作为“原材料”输入机械制造系统，经过存储、运输、加工、检验等环节，最后作为机械加工后的成品输出，形成物质流。至于由加工任务、加工顺序、加工方法、物流要求等确定的计划、调度、管理等则属于“信息”的范畴而形成信息流。此外，机械制造系统中能量的消耗及其流程则被称为“能量流”。

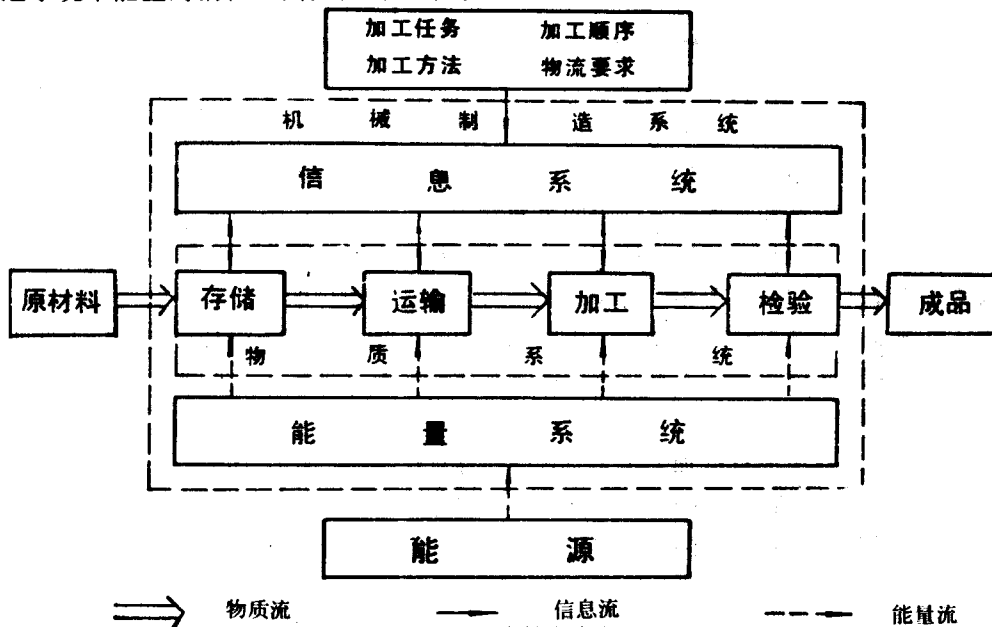


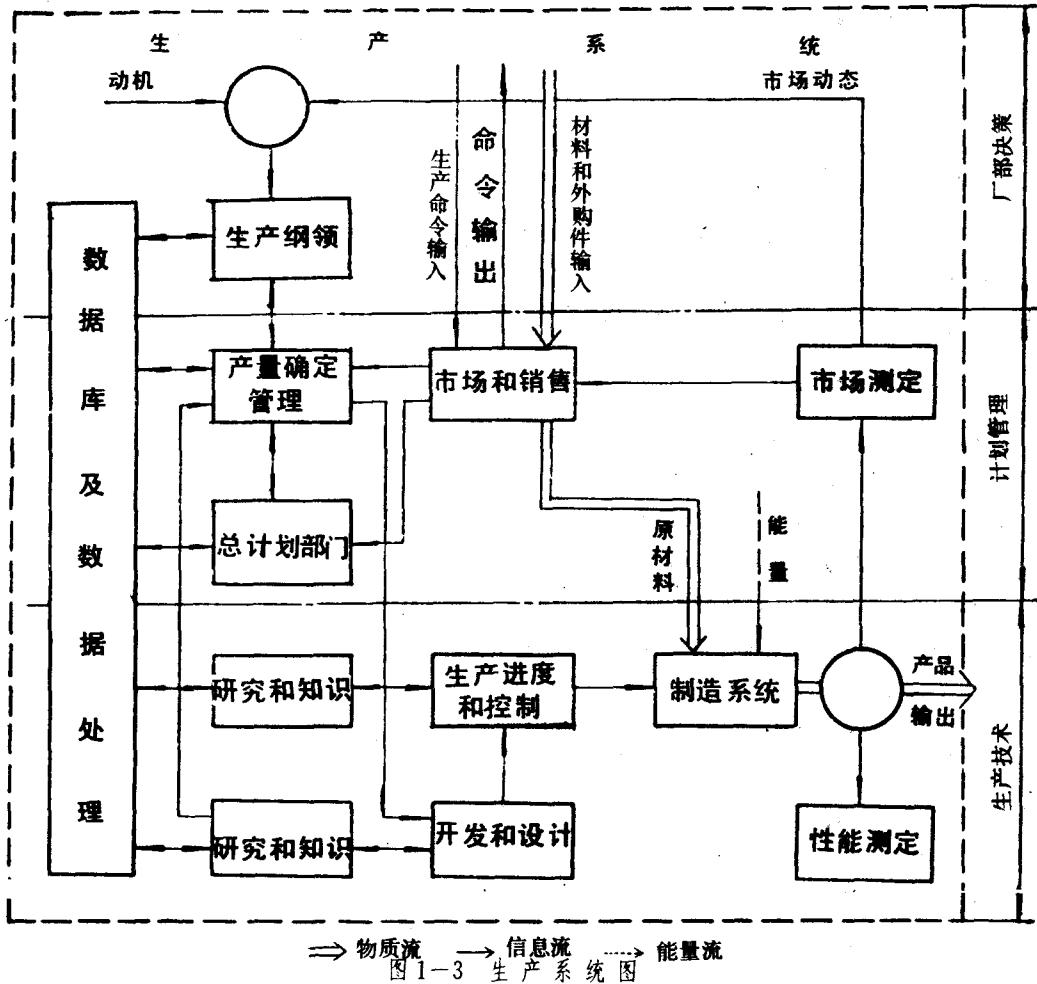
图 1-2 机械制造系统图

(4) 生产系统 如果以整个机械制造厂为整体，为了最有效地经营，获得最高的经济效益，就不仅要把原材料、毛坯制造、机械加工、热处理、装配、油漆、试车、包装、运输和保管等属于“物质”范畴的因素作为要素来考虑；而且还必须把技术情报、经营管理、劳动

力调配、资源和能源利用、环境保护、市场动态、经济政策、社会问题和国际因素等信息作为影响系统效果更重要的要素来考虑。

由此可知，生产系统是包括制造系统的更高一级的系统。而制造系统则是生产系统的子系统中比较重要的部分之一。

图 1-3 为整个工厂的生产系统图。图中上部“厂部决策”表示工厂的厂部领导人员根据国家 and 上级下达的任务、经济政策、资源和能源情况、环境保护条例、市场动态并参考数据库中的有关信息情报资料，制订工厂总的生产纲领。然后，计划管理部门根据生产纲领、市场销售情况、技术部门和数据库提供的有关信息情报确定各种产品的产量，制定全厂的生产计划。接着，各部门（机械加工、热加工和装配等）的技术人员根据各产品的产量，运用各自的知识和才能，并参考数据库中的有关技术情报资料，作好各项生产技术准备工作（产品设计、新产品开发和工艺准备等）。



最后，各个生产车间（制造系统）对原材料进行加工、装配、油漆、包装直至输出产品投入市场满足用户需要。这就是一个机械制造厂的生产系统的总流程。

必须全面理解机械制造等各个子系统在整个生产系统中的地位，而且要建立“局部”服从“整体”的观点，才能实现整个生产系统的最佳化。

二、工艺过程和工艺规程

在各车间的生产过程中，不仅包括直接改变工件形状、尺寸、位置和性质等的主要过程，还包括运输、保管、磨刀、设备维修等辅助过程。

生产过程中，按一定顺序逐渐改变生产对象的形状（铸造、锻造等）、尺寸（机械加工）、位置（装配）和性质（热处理）使其成为预期产品的这部分主要过程称之为工艺过程。因此，工艺过程又可具体地分为铸造、锻造、冲压、焊接、机械加工、热处理、电镀、装配等工艺过程。本课程的内容主要是研究机械加工工艺过程中的一系列问题。

零件依次通过的全部加工过程称为工艺路线或工艺流程，工艺路线是制订工艺过程和进行车间分工的重要依据。

可以采用不同的工艺过程来达到工件最后的加工要求，技术人员根据工件产量、设备条件和工人技术情况等，确定采用的工艺过程，并将有关内容写成工艺文件，这种文件就称工艺规程。

工艺规程既经制订，有关人员就必须严格按工艺规程办事，如果经过工艺试验，需要修改工艺文件时，必须经过一定的审批手续。

制订工艺规程的传统方法是技术人员根据自己的知识和经验，参考有关技术资料来确定。随着电子计算机技术广泛地引入机械制造领域，目前，国内、外愈来愈多地研究和采用计算机辅助编制工艺规程技术。它使繁琐、落后的工艺规程制订工作，实现最佳化、系统化和现代化，这是一个值得我们进一步研究和推广的新方法。

三、工艺过程的组成

要制订工艺过程，就要了解工艺过程的组成。

1. 工序、工步和走刀

工序 一个或一组工人，在一个工作地对同一个或同时几个工件所连续完成的那一部分工艺过程。它是组成工艺过程的基本单元。

工步 在加工表面（或装配时的连接表面）不变，加工（或装配）工具不变的情况下，所连续完成的那一部分工序。

走刀 在一个工步中，有时材料层要分几次去除，则每切去一层材料称为一次走刀。

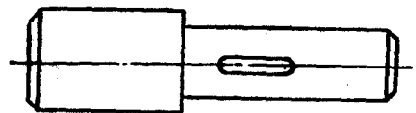


图1-4 阶梯轴

如图1-4所示的阶梯轴，如果各表面都需要进行机械加工，则根据其产量和生产车间的不同，应采用不同的方案来加工。属于单件、小批生产时可用表1-1方案加工；如果属于大批、大量生产，则应改用表1-2方案加工。

在表1-1中，工序1和2由于加工表面和刀具依次都在改变，所以这两个工序都包括四个工步。工序3中铣键槽工步往往需要多次走刀来完成；而去毛刺工作则由铣工在铣键槽工步后用手连续完成，所以是同一工序中的另一工步。在表1-2中，大批、大量生产时，为提高效率，两端面和中心孔往往在专用的双面铣端面并打中心孔机床上作为一个工序来完成。大、小外圆及其倒角则用定距对刀法分别在二个工序中完成（即使一批工件先全部车完大外圆，在同一台车床重新对刀后再车小外圆，由于大、小外圆加工不是连续的，亦属于二个工

序)。此外,去毛刺工序亦应考虑由钳工专门完成,以免占用铣床工时。

表 1-1 单件、小批生产的工艺过程

工序	内 容	设 备
1	车端面,打中心孔,调头车另一端面,打中心孔	车床
2	车大外圆及倒角调头车小外圆及倒角	车床
3	铣键槽 去毛刺	铣床

表 1-2 大批、大量生产的工艺过程

工序	内 容	设 备
1	铣两端面 打中心孔	专用机床
2	车大外圆及倒角	车床
3	车小外圆及倒角	车床
4	铣键槽	键槽铣床
5	去毛刺	钳工台

2. 安装和工位

安装 同一工序中,工件在机床或夹具中每定位和夹紧一次,称为一次安装。表 1-1 中的工序 1 和 2 都是二次安装。

工位 为了完成一定的工序内容,一次装夹工件后,工件(或装配单元)与夹具或设备的可动部分一起相对刀具或设备的固定部分所占据的某一个位置称为工位。

采用多工位夹具、回转工作台或在多轴机床上加工时,工件在机床上一次安装后,就要经过多工位加工。采用多工位加工可减少工件的安装次数,从而缩短了工时,提高了效率。多工位、多刀或多面加工,使工件几个表面同时进行加工,亦可看作一个工步,这就称为复合工步。

§ 1-2 生产纲领和生产类型

一、生产纲领

生产纲领 根据国家计划和本企业的生产能力编制的企业在计划期内应当生产的产品产量和进度计划。

生产纲领中应计入备品和废品的数量。产品的生产纲领确定后,就可根据各零件在产品中的数量,供维修用的备品,在整个加工过程中允许的总废品率来确定零件的生产纲领。在成批生产中,在零件年生产纲领确定后,就要根据车间具体情况按一定期限分批投产,每批投产的零件数量称为批量。

某零件的年生产纲领 N 可按下式计算

$$N = Q \cdot n (1 + \alpha\%) (1 + \beta\%)$$

式中 Q ——产品的年产量(台/年);
 n ——每台产品中该零件的数量(件/台);
 α ——备品的百分率;
 β ——废品的百分率。

二、生产类型

根据产品的大小、特征、生产纲领、批量及其投入生产的连续性,可分为三种不同的生

产类型：

1. 单件、小批生产

每一产品只做一个或数个。一个工作地要进行多品种和多工序的作业。

重型机器、大型船舶的制造和新产品的试制属于这种生产类型。

2. 成批生产

产品周期地成批投入生产。一个工作地顺序分批地完成不同工件的某些工序。

通用机床（一般的车、铣、刨、钻、磨床）的制造往往属于这种生产类型。

3. 大批、大量生产

产品连续不断地生产出来。每一个工作地用重复的工序制造产品（大量生产），或以同样方式按期分批更换产品（大批生产）。

汽车、拖拉机、轴承、缝纫机、自行车等的制造属于这种生产类型。

生产类型决定于生产纲领，但亦和产品的大小和复杂程度有关。生产类型与生产纲领的关系请参考表1-3。各种生产类型工艺过程的特点则请参考表1-4。

表 1-3 生产类型与生产纲领（年产量）的关系

生产类型	重型机械	中型机械	小型机械
单件生产	<5	<20	<100
小批生产	5~100	20~200	100~500
中批生产	—	200~500	500~5000
大批生产	—	500~5000	5000~50000
大量生产	—	>5000	>50000

表 1-4 各种生产类型工艺过程的特点

特 点	单件生产	成批生产	大量生产
零件互换性	配对制造，无互换性，广泛用钳工修配	普遍具有互换性，保留某些试配	全部互换，某些高精度配合件采用分组选择装配，配磨或配研
毛坯制造与加工余量	木模手工造型或自由锻造，毛坯精度低，加工余量大	部分用金属模或模锻，毛坯精度及加工余量中等	广泛采用金属模机器造型、模锻或其他高效方法，毛坯精度高，加工余量小
机床设备及布置	通用设备，按机群式布置	通用机床及部分高效专用机床，按零件类别分工段排列	广泛采用高效专用机床及自动机床，按流水线排列或采用自动线
夹 具	多用通用夹具，极少用专用夹具，由划线试切法保证尺寸	专用夹具，部分靠划线保证尺寸	广泛采用高效夹具，靠夹具及定程法保证尺寸