



国家级职业教育规划教材
劳动保障部培训就业司推荐

高等职业院校数控技术 / 模具设计与制造专业

数控加工中心

Fanuc 系统编程与操作实训

GNH

Shukong Jishu / Muju Sheji Yu Zhizao Zhuanye

劳动和社会保障部教材办公室组织编写

Gaodengzhixue Jishuyuanxiao



中国劳动社会保障出版社

国家级职业教育规划教材
劳动保障部培训就业司推荐
高等职业院校数控技术/模具设计与制造专业

数控加工中心 Fanuc 系统编程与操作实训

劳动保障部教材办公室组织编写

主 编 钱逸秋

中国劳动社会保障出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控加工中心 Fanuc 系统编程与操作实训/钱逸秋主编. —北京:中国劳动社会保障出版社, 2006

高等职业技术学院数控技术/模具设计与制造专业教材

ISBN 7-5045-5736-6

I. 数… II. 钱… III. 数控机床加工中心-程序设计-高等学校:技术学校-教材
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 083375 号

中国劳动社会保障出版社出版发行

(北京市惠新东街 1 号 邮政编码: 100029)

出 版 人: 张梦欣

*

新华书店经销

北京印刷集团有限责任公司印刷二厂印刷 北京助学印刷厂装订

787 毫米×1092 毫米 16 开本 11 印张 268 千字

2006 年 7 月第 1 版 2006 年 7 月第 1 次印刷

定价: 18.00 元

读者服务部电话: 010-64929211

发行部电话: 010-64927085

出版社网址: <http://www.class.com.cn>

版权专有 侵权必究

举报电话: 010-64911344

前 言

为了贯彻落实全国职业教育工作会议精神，切实解决目前机械设计制造类专业（包括数控技术、模具设计与制造）教材不能满足高等职业院校教学改革和培养高等技术应用型人才需要的问题，劳动和社会保障部教材办公室组织一批学术水平高、教学经验丰富、实践能力强的教师与行业、企业一线专家，在充分调研的基础上，共同研究、制订机械设计制造类专业培养计划和教学大纲，并编写了相关课程的教材，共有 40 余种。

在教材的编写过程中，我们贯彻了以下编写原则：

一是充分汲取高等职业技术学院在探索培养高等技术应用型人才方面取得的成功经验和教学成果，从职业（岗位）分析入手，构建培养计划，确定相关课程的教学目标；二是以国家职业标准为依据，使内容分别涵盖数控车工、数控铣工、加工中心操作工、车工、工具钳工、制图员等国家职业标准的相关要求；三是贯彻先进的教学理念，以技能训练为主线、相关知识为支撑，较好地处理了理论教学与技能训练的关系，切实落实“管用、够用、适用”的教学指导思想；四是突出教材的先进性，较多地编入新技术、新设备、新材料、新工艺的内容，以期缩短学校教育与企业需要的距离，更好地满足企业用人的需要；五是以实际案例为切入点，并尽量采用以图代文的编写形式，降低学习难度，提高学生的学习兴趣。

在上述教材的编写过程中，得到有关省市教育部门、劳动和社会保障部门以及一些高等职业技术学院的大力支持，教材的诸位主编、参编、主审等做了大量的工作，在此我们表示衷心的感谢！同时，恳切希望广大读者对教材提出宝贵的意见和建议，以便修订时加以完善。

劳动和社会保障部教材办公室

2005 年 6 月

内 容 提 要

本书为国家级职业教育规划教材。

本书根据高等职业技术学院教学计划和教学大纲，由劳动和社会保障部教材办公室组织编写，主要包括：数控加工中心编程及操作，利用 Fanuc 系统进行点位加工、平面刀具中心轨迹加工、平面轮廓加工、平面区域加工、两维半实体加工、宏程序编程加工、综合实训等。为使学生能够顺利通过职业技能鉴定，取得职业资格证书，本书还结合职业标准增加了综合课题的训练内容。

本书为高等职业技术学院数控技术/模具设计与制造专业教材，也可作为成人高校、本科院校举办的三级职业技术学院和民办高校的数控技术专业教材，或作为自学用书。

本书由钱逸秋主编，赵鹏和郑秀参编，由李国华主审。

目 录

《国家级职业教育规划教材》 CONTENTS

模块一 数控加工中心编程及操作	1
任务一 认识数控加工中心	1
任务二 数控加工中心的操作步骤	2
模块二 点位加工	19
任务一 孔加工	19
任务二 矩形阵列孔加工	24
任务三 圆形阵列孔加工	28
相关知识	33
模块三 平面刀具中心轨迹加工	38
任务一 槽加工	38
任务二 缸体密封槽加工	40
任务三 端面凸轮加工	43
相关知识	44
模块四 平面轮廓加工	47
任务一 平面凸轮加工	47
任务二 车轮模型的数控加工	51
任务三 内外轮廓加工	55
任务四 配合件加工	60
相关知识	64
模块五 平面区域加工	70
任务一 九球柱加工	70
任务二 带岛区域加工	74

目 录

任务三 外部区域加工	80
任务四 S形槽加工	83
相关知识	90
模块六 两维半实体加工	93
任务一 3 维工件加工	93
任务二 腰鼓形工件加工	101
任务三 凸形曲面加工	104
相关知识	109
模块七 宏程序编程加工	113
任务一 矩形阵列孔加工	113
任务二 圆形阵列孔加工	116
任务三 2.5 维加工	123
相关知识	125
模块八 综合实训	137
任务一 镜像加工	137
任务二 坐标旋转加工	142
任务三 薄壁、深型腔件加工	149
模块九 综合练习题	161
附录	166

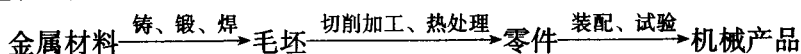
绪 论

《机械制造工艺学》是以机械加工和产品装配过程的工艺问题为主要研究对象的一门应用性技术学科。

一、机械制造工艺

任何机械产品的设计图样，都要通过一定的工艺手段转化为现实的机械产品。所谓工艺是指产品的制造方法和过程。机械制造工艺是指机械产品的制造方法和过程，通常包括零件的毛坯制造、机械加工、热处理和产品的装配等，内容十分广泛。机械制造工艺分为铸造工艺、锻压工艺、焊接工艺、机械加工工艺、热处理工艺、装配工艺等。这些相互关联的劳动过程的总和，称为机械产品的生产过程。它包括工艺过程和辅助过程。

工艺过程是指在生产过程中直接改变生产对象的尺寸、形状、相对位置关系以及物理性能的过程。机械制造工艺过程是指那些与原材料变成机械产品直接有关的过程，它包含零件的加工工艺过程和产品的装配工艺过程两部分。机械制造工艺过程一般为：



辅助过程是指其他与原材料变成成品间接有关的过程。例如，生产、技术上的准备过程等各种服务活动。

由于原材料与成品是相对的，一个车间的成品，往往又是其他车间的原材料或毛坯，故生产过程又可以分为车间的生产过程和工厂的生产过程。

二、本课程的主要学习内容和任务

机械制造工艺学课程是高等职业技术学院机械制造专业的一门主要专业课程。课程涉及机械制造工艺的基本理论和基本知识，主要内容有机械加工设备、毛坯制造工艺、热处理工艺、典型表面的加工方法、编制机械加工工艺规程、机械加工质量与控制、典型零件的加工工艺分析、装配工艺和超精加工等。

根据高技能人才的培养目标，本课程的主要任务是：

- (1) 培养学生掌握机械制造的基础知识和基本方法；
- (2) 培养学生具有综合处理机械制造工艺过程中质量、生产率和经济性关系的能力；
- (3) 培养学生具有编制机械加工工艺规程的能力；
- (4) 培养学生具有分析和解决机械制造一般技术问题的能力。

三、学习本课程的要求

通过本课程的学习，使学生初步掌握机械制造过程的各种常用加工方法与设备的选用，

初步具备编制一般零件的机械加工工艺规程的能力，能够从技术性与经济性紧密结合的角度出发，围绕提高加工质量与生产率的目标，正确选择加工方案，具有分析问题和解决生产实际问题的能力。此外，还要求学生具备自学能力和自主创新能力，以适应机械制造岗位的要求。具体要求：

- (1) 了解机械加工设备的主要结构、性能和加工范围，并能根据要求合理选用；
- (2) 掌握各种表面的加工方法和典型零件的加工工艺分析方法；
- (3) 掌握机械加工质量的分析方法，初步具备分析和处理与机械加工质量有关的工艺技术问题的能力；
- (4) 掌握机械加工工艺规程的编制方法；
- (5) 掌握保证装配精度的方法；
- (6) 了解精密、超精密加工的基本知识。

四、机械制造工艺学的特点及学习方法

机械制造工艺学是一门综合性、实践性和灵活性很强的专业技术课程。针对该课程的特点，学习本课程时应注意以下几个方面的问题：

(1) 本课程综合性强、内容丰富，涉及各类制造方法和过程。如从毛坯制造、热处理到机械加工、表面处理和装配，还涉及设备、工艺装备等，学习时要善于将已学过的专业基础课和专业课知识合理地运用于本课程的学习之中。

(2) 机械制造技术同生产实际密切相关，其理论源于生产实践，是长期生产实践的总结。通过深入生产一线实践，有利于掌握本课程的知识，提高对知识的应用能力。因此，在学习本课程时要注意与生产实践相配合。

(3) 机械制造技术的应用有很大的灵活性。对同一个零件，在工艺设计上可能有多种方案。在生产过程必须根据具体条件，实事求是地进行辩证的分析，灵活运用理论知识，优选最佳方案。

本课程仅涉及工艺理论中最基本的内容，无论工艺水平发展到何种程度，都与这些基本内容有着密切的关系。因此，必须掌握机械制造工艺的基本知识，为在今后的工作实践中不断提高分析和解决机械制造技术问题的能力打好基础。

毛坯选择主要包括毛坯材质、制造方法、形状和尺寸等。加工前应检查毛坯材质是否有缺陷。铝材一般要使用硬铝合金,否则会因粘刀而影响加工质量。铸件则应检查是否有气泡、砂眼及铸造裂纹等缺陷。

数控加工中毛坯大多是预制的。当零件加工精度要求较高时,要对预制毛坯的形位公差,如直线度、平面度、垂直度和平行度等进行检查。

3. 确定加工工序和加工路线

1) 加工工序

确定加工工序就是根据工件图样要求安排加工顺序。数控加工划分工序的常见方法有:

①按零件装夹次数划分工序

以工件一次装夹完成的加工过程为一道工序。这种分序方法适于加工内容不多的工件。

②按粗、精加工划分工序

以粗加工完成的加工过程为一道工序,以精加工完成的加工过程为另一道工序,粗加工为精加工留余量。这种分序方法特别适于易产生加工变形的工件。

③按所用刀具划分工序

以同一把刀完成的加工过程为一道工序。这种分序方法适于加工不易变形的工件,并可减少换刀次数,节省换刀时间。

④按加工内容或加工部位划分工序

以完成相同型面的加工过程为一道工序。这种分序方法较适于加工面多且复杂的工件。

实际安排加工工序时,往往不能将上述方法完全孤立起来,经常需要互相穿插。

2) 加工路线

加工路线是编程的重要依据之一,加工路线对加工质量及加工效率影响很大。确定加工路线内容包括以下几方面:

①进、退刀方式

进、退刀方式对轮廓加工质量影响较大。若刀具在内、外轮廓的连续表面直接下刀或抬刀,会因刀具直径、机床运动误差、进给速度突变等原因在加工表面形成小凹痕,所以精加工时下刀或抬刀最好离开加工表面。图 1—7a、b、c、d 所示为几种可行的进、退刀方法。图 1—7e 所示垂直切入、切出会在加工表面留下凹痕,只适于粗加工。

②刀具的运动轨迹

平面铣削有周铣和端铣两种方式。周铣时刀具运动轨迹可分为顺铣和逆铣,端铣时又可分为对称铣、不对称逆铣和不对称顺铣。数控加工时,为提高加工表面质量一般采用顺铣。

点位加工时(图 1—8),对位置精度要求不高的孔系可遵循加工路线的最短原则,对位置精度要求较高的孔系,要考虑刀具移动路线,以避免机床各轴反向间隙的影响。图 1—8b 的加工路线最短,但会带入 Y 向误差;图 1—8c 避免了 Y 向误差,但加工路线较长。

③加工余量

实际加工工件时一般都不可能一次完成,均需分序加工,即先粗加工,后精加工。有更高精度要求时还会加入半粗加工、半精加工。前序给后序预留的加工余量称为加工余量。

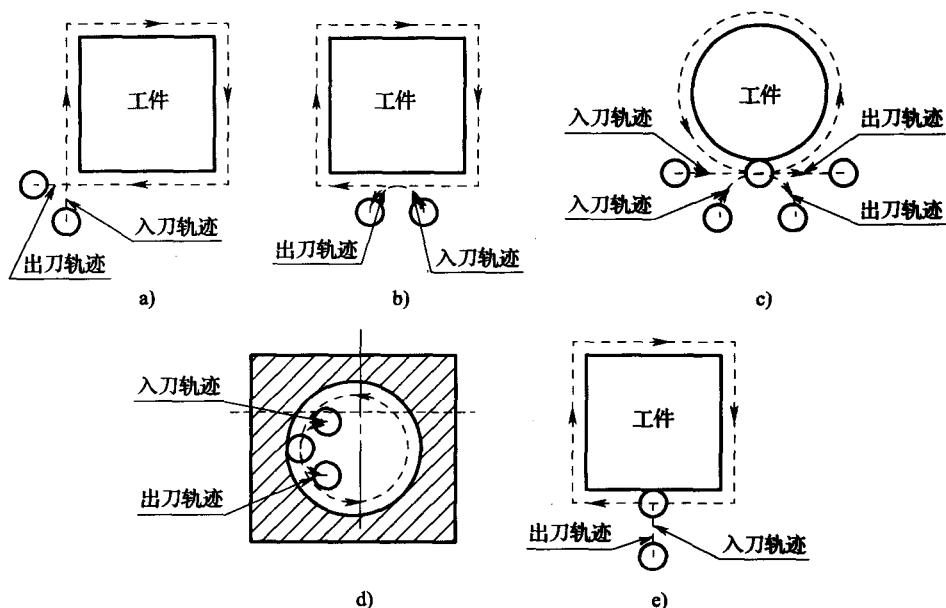


图 1—7 进、退刀方式

a)、b)、c)、d) 可行的进刀、退刀方法 e) 粗加工适用的进刀、退刀方法

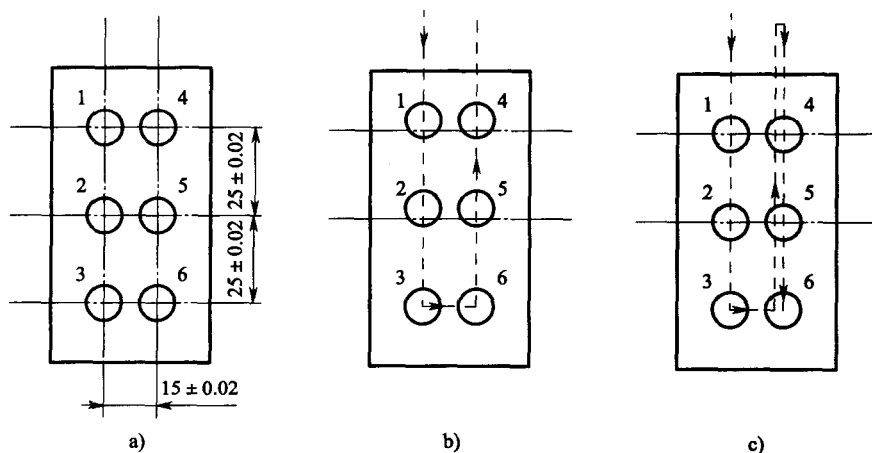


图 1—8 孔系加工示意图

a) 工件 b) 最短路线 c) Y 向无误差路线

确定加工余量的原则是在满足后序加工要求的前提下尽可能减小后序加工余量。确定加工余量时应考虑的因素包括：

- 最后一道工序完成后，能保证图样上加工精度的要求；
- 加工设备和工件可能产生的变形；
- 工件热处理时的变形；
- 工件的尺寸和材料。

数控加工中心加工工件时，加工余量一般是通过输入不同的刀具半径补偿值控制的，即

输入的刀具半径补偿值比实际加工所用刀具半径稍大。例如, 后序加工需预留加工余量 1 mm, 实际加工使用 $\phi 20$ mm 立铣刀, 则数控系统中输入的刀具半径补偿值应为 11。

利用刀具半径补偿值预留加工余量的计算公式为:

刀具半径补偿值 R = 实际使用的刀具半径 R + 加工余量

第一序加工时: 刀具半径补偿值 = 第一序实际使用的刀具半径 + 总余量

第二序加工时: 刀具半径补偿值 = 第二序实际使用的刀具半径 + (总余量 - 第一序加工余量)

④ 走刀次数

走刀次数要根据毛坯和刀具尺寸确定, 详细内容将在切削用量的选择中介绍。

4. 选择刀具, 确定切削用量

1) 切削用量的选择

铣削加工的切削用量包括: 铣削速度 v 、进给速度 F 、背吃刀量 a_p 及侧吃刀量 a_e 。切削用量对加工效率、刀具耐用度、加工精度、工件表面粗糙度有直接影响。其中对加工精度影响最大的是侧吃刀量和背吃刀量, 吃刀量与切削力成正比, 吃刀量过大会引起刀具和夹具变形, 使加工精度降低。进给速度直接影响工件表面粗糙度, 铣削速度则主要影响刀具耐用度。

确定铣削用量时一般应按以下顺序进行:

① 背吃刀量 a_p 和侧吃刀量 a_e

背吃刀量 a_p 是沿铣刀轴线方向的切削层尺寸, 侧吃刀量 a_e 是垂直于铣刀轴线方向的切削层尺寸, 如图 1—9 所示。

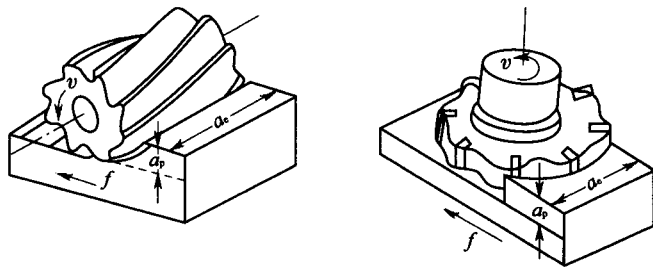


图 1—9 背吃刀量 a_p 和侧吃刀量 a_e

立铣刀吃刀量与刀具直径 d 的一般关系如下:

$$a_e \leq (0.7 \sim 0.85)d$$

$$a_p = (0.7 \sim 1.6)d$$

铣槽时推荐:

$$a_p = 0.7d$$

精加工时推荐:

$$a_e \leq 0.1d$$

$$a_p = d$$

背吃刀量 (a_p) 在铣刀产品样本中一般给出最大值, 用户需要根据加工形式及加工材料确定背吃刀量。

立铣刀粗加工时,在夹具刚性足够的情况下,轴向切深应尽量考虑一次完成,即首先选择尽可能大的背吃刀量(参考立铣刀有效切削刃长度),然后再确定侧吃刀量。粗加工余量不能一次加工完成时,应尽可能将侧吃刀量分层,而不是将背吃刀量分层,这样有利于提高刀具耐用度,如图 1—10 所示。立铣刀精加工时主要是减小侧吃刀量,因为侧吃刀量对加工表面质量影响较大。

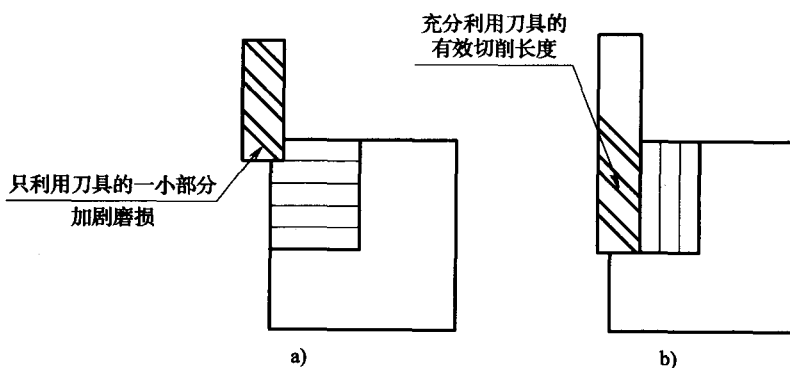


图 1—10 背吃刀量或侧吃刀量对刀具耐用度的影响

a) 背吃刀量分层 b) 侧吃刀量分层

通常半精加工余量为 0.5~2 mm; 精加工余量为 0.05~0.8 mm。

② 铣削速度

铣削速度主要影响刀具耐用度,确定铣削速度的主要依据是刀具材料和工件材料。铣削速度一般由经验或查表(切削手册或刀具手册)确定,然后根据下式确定主轴转速:

$$n = 1\,000v/\pi d$$

式中 d ——铣刀直径 (mm);
 v ——铣削速度 (m/min);
 n ——主轴转速 (r/min)。

③ 进给量

铣削进给量通常指每齿进给量。粗铣时进给量主要受切削力限制,主要考虑刀具强度和机床功率;精铣时则主要考虑加工表面粗糙度和尺寸精度。进给量也是由经验或查表(如表 1—1)确定。

周向进给速度 F 与进给量的关系如下:

$$F = a_f \times Z \times n (\text{mm/min})$$

式中 a_f ——铣刀每齿进给量 (mm/Z);
 Z ——铣刀齿数;
 n ——主轴转速 (r/min)。

轴向进给速度一般可取 $(0.2 \sim 0.5) F$ 。

2) 刀具选择

根据工件材料、硬度和批量确定所用刀具材料,根据加工内容确定刀具种类及几何参数。加工中心常用的刀具类型有铣削刀具、钻削刀具、深孔钻削刀具、镗削刀具、螺纹加工刀具等,如图 1—11 所示。上述各类刀具又分整体式和可转位刀片式两种,如图 1—12 所示。

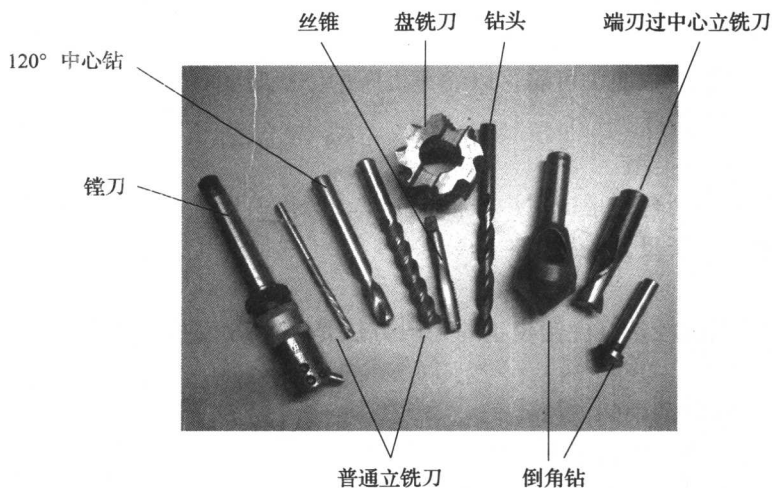


图 1—11 加工中心常用刀具类型

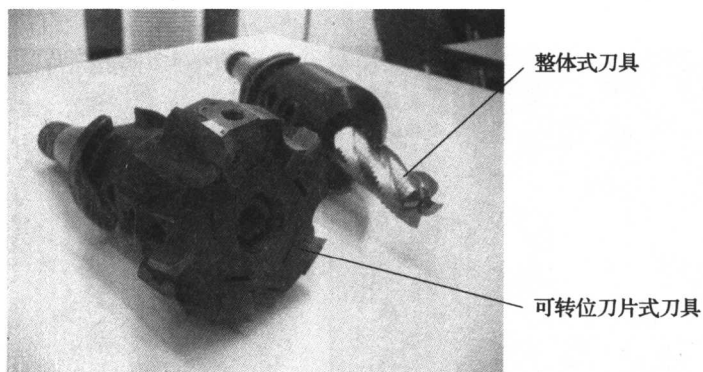


图 1—12 可转位刀片式刀具及整体式刀具

整体式刀具材料常见的有硬质合金、高速钢；可转位刀片式刀具材料常见的有硬质合金、CVD 涂层硬质合金（CVD：化学蒸汽沉积）、PVD 涂层硬质合金（PVD：物理蒸汽沉积）、金属陶瓷、陶瓷、立方氮化硼（PCBN）、多晶金刚石（PCD）等。硬质合金等材料的刀具较为昂贵，若没特别需要大多使用高速钢刀具。

目前，市场上刀具生产厂家在销售刀具时大多在产品样本上同时提供刀具的推荐切削用量，用户可以很方便地参阅。

5. 工件的定位、装夹及找正

1) 工件定位、装夹应遵循的原则

- ①力求设计基准、工艺基准与编程原点统一，以减少因基准不重合而引起的加工误差；
- ②尽可能减少装夹次数，以减小装夹误差，做到一次定位、装夹后能加工全部或大部分内容。

2) 夹具的选择

数控加工中工件的定位、夹紧是由夹具来保证的，夹具的选择应遵循如下原则：

- ①单件小批量生产尽量选用通用或组合夹具，避免采用专用夹具；
- ②批量生产可考虑使用专用夹具，并力求结构简单；
- ③工件的装卸要快速、方便、可靠，以缩短机床的停机时间；
- ④工件的加工部位要外露。

3) 加工中心通用夹具类型

加工中心通用夹具包括精密平虎钳、压板、卡盘、分度头等。一般压板多用于尺寸较大工件的装夹，而虎钳多用于尺寸较小工件的装夹。

①虎钳的使用

- 使用虎钳时需提前校正（虎钳校正的一般方法是用百分表找正虎钳的固定钳口，如图 1—13 所示）；
- 工件应装夹在钳口的中间部位；
- 工件加工部分不应与钳口干涉；
- 加工通透工件时要抽出工件下部的垫铁，留出加工空间；
- 当工件精度要求较高时还要找正毛坯，如图 1—14 所示。注意找正毛坯时不要一次拧紧虎钳。

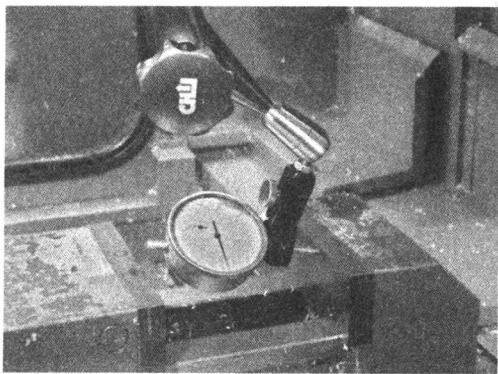


图 1—13 用百分表找正精密虎钳的固定钳口

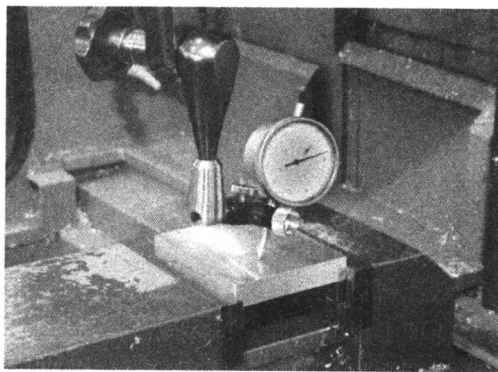


图 1—14 用百分表找平毛坯

②压板的使用

压板、螺栓、垫铁及其组装形式如图 1—15 所示。

使用压板时应注意：

- 压板的位置要安排适当，压在工件刚性好的地方；
- 垫铁必须正确地放在压板下，高度要与工件相同或略高于工件；当使用多块垫铁支撑时，各垫铁的厚度应一致；
- 压板螺栓应尽量靠近工件，即螺栓到工件的距离应小于螺栓到垫铁的距离；
- 压板螺母要拧紧；
- 工件的光洁表面与压板之间必须间隔铜片，以免光洁表面受压损坏。

压板安装的注意事项如图 1—16 所示。

③卡盘的使用

卡盘也是通用夹具之一，常用卡盘有三爪自定心卡盘、四爪卡盘和花盘。工件外形或装

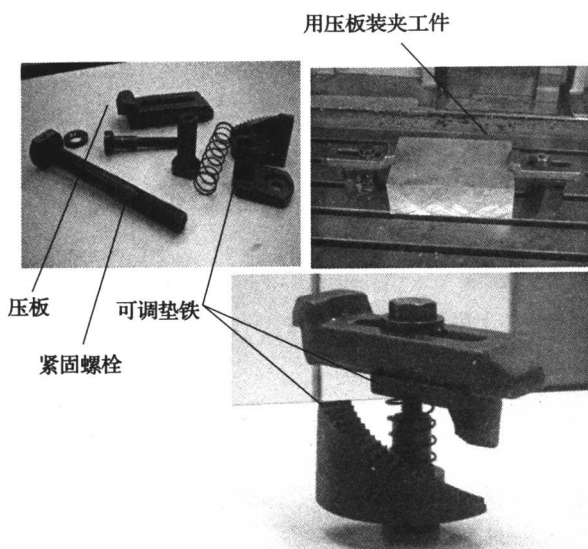


图 1—15 压板、螺栓、垫铁及组装形式

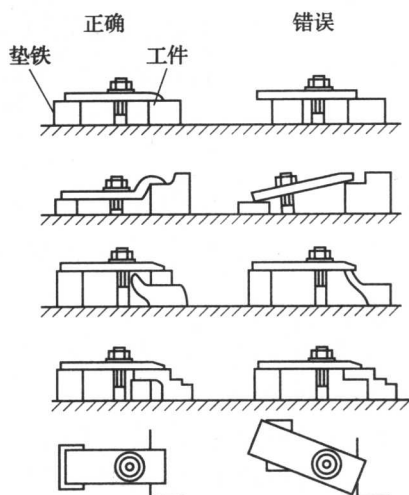


图 1—16 压板安装的注意事项

夹部位为圆形时，通常使用三爪自定心卡盘装夹，如图 1—17 所示。卡盘用压板固定在工作台上，卡盘在工作台上的位置没有严格要求，方便加工即可。但对于装备有旋转工作台的加工中心需要与 C 轴联动时，必须使卡盘中心与旋转工作台的旋转中心（C 轴）重合。

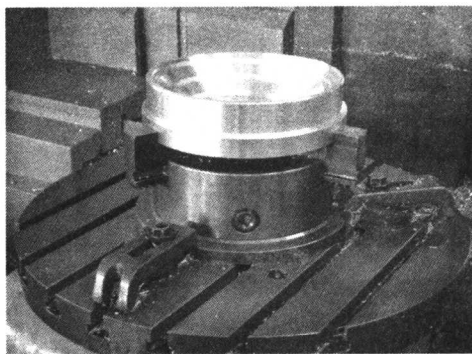


图 1—17 立式加工中心上使用三爪自定心卡盘装夹工件

④分度头的使用

分度头是机床通用附件之一，都已标准化。分度头可圆周分度，使用分度头能扩大机床的加工范围。分度头可作为四轴联动（X、Y、Z、A）立式加工中心上的 A 轴，如图 1—18 所示，也可只作旋转分度。三轴联动（X、Y、Z）加工中心上只需旋转分度定位时，可使用通用手动分度头，手动分度头不能与其他轴联动。

6. 确定编程原点

数控编程前用户需要根据工件结构和加工要求确定编程原点和坐标系。一般编程原点多选择为工件或夹具上的某一点，编程原点通过对刀输入数控系统。

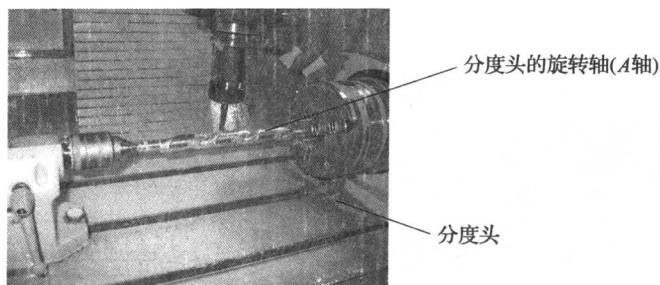


图 1—18 立式加工中心上用分度头装夹工件

确定编程原点应考虑以下因素：

- 1) 编程原点应尽可能与图样上的尺寸基准重合。工件设计时有设计基准，加工时有工艺基准，编程原点应尽可能与上述基准重合。
- 2) 尽可能使数值计算简单，尽量避免尺寸链换算。
- 3) 原点应设在精度要求较高的表面。
- 4) 容易找正、便于测量。

通常编程原点 $X0$ 、 $Y0$ 多设置在工件上的一个角点或对称中心， $Z0$ 则多设置在工件上表面。

7. 误差处理

数控加工中影响加工精度的因素主要包括机床工艺系统误差（如机床运动误差，刀具尺寸误差，机床、刀具及零件变形误差等）和编程误差（如轮廓拟合误差、插补误差、尺寸圆整误差、工件尺寸公差等）。前者可以通过合理的工艺安排加以弥补，后者则必须从编程的数据处理方面加以考虑。减小误差可以从以下几个方面考虑：

- 1) 对特殊曲线增加拟合点密度，以减小拟合和插补误差。
- 2) 尺寸圆整要依据数控机床的脉冲当量。脉冲当量是指数控系统一个脉冲对应的机床移动部件的理论移动量，它是数控机床的最小设定单位，也是数控机床的最小控制单位。例如，数控机床的脉冲当量为 0.001 mm ，则最终的数据计算结果应保留 3 位小数。相关的详细内容将在数值计算中介绍。
- 3) 工件各处尺寸公差值不一致或不对称时，若使用同一把刀具加工，需取公差中值编程，才能保证加工精度（为加工误差留出空间）。例如，用 $\phi 10\text{ mm}$ 立铣刀完成 $20^{+0.02}_0\text{ mm}$ 、 $20_{-0.02}^0\text{ mm}$ 两个外轮廓尺寸的加工，若按公称尺寸 20 mm 编程，因存在加工误差，加工结果要么大于 20 mm ，要么小于 20 mm ，无法同时满足两个尺寸的公差要求，此时需取中值 20.01 mm 和 19.99 mm 进行编程，使公差对称分布，为加工误差留出空间。

另外，数控加工中心一般是通过修正刀具半径补偿值来满足工件尺寸公差的。这种方法的优点是工件加工超差时只需修改刀具半径补偿值，而不用修改编程尺寸。对同一把刀具而言，某一刀具半径补偿值对各尺寸的调整方向和大小都是一致的。上例中使用 $\phi 10\text{ mm}$ 立铣刀按 20.01 mm 和 19.99 mm 编程时，应先将刀具半径补偿值设定为略小于 5 mm （比较保险，不至于报废工件），若实际加工尺寸为 20.05 mm ($20.01\text{ mm} + 0.04\text{ mm}$) 和 20.03 mm ($19.99\text{ mm} + 0.04\text{ mm}$)，加工尺寸过大，此时可再修改原刀具半径补偿值，使两个实际加工尺寸控制在公差允许范围之内。