

数控操作工技能鉴定考核培训教程

数控铣工技能鉴定考核 培训教程

第2版

宗国成 编著



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

本书是根据《国家职业标准》中数控铣床操作工的基本要求,为职业技能鉴定而编写的应知、应会培训教材。

本书的内容包括应知、应会以及相应的标准化习题和样卷。应知部分介绍数控铣床组成与原理、数控铣床编程;应会部分介绍数控铣床加工工艺基础和数控铣床操作方法等内容。

本书可作为数控铣床操作工职业技能培训与鉴定考核用书,也可作为中职中专、高职高专相关课程的教材(尤其是对于两年制的数控专业),同时也是从事数控铣床操作与编程的工程技术人员实用参考书。

图书在版编目(CIP)数据

数控铣工技能鉴定考核培训教程/宗国成编著.

—2版. —北京:机械工业出版社,2010.8

数控操作工技能鉴定考核培训教程

ISBN 978-7-111-31330-4

I. ①数… II. ①宗… III. ①数控机床:铣床

—职业技能鉴定—教材 IV. ①TG547

中国版本图书馆CIP数据核字(2010)第137810号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:周国萍 责任编辑:庞晖 责任校对:樊钟英

封面设计:陈沛 责任印制:李妍

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2010年9月第2版第1次印刷

148mm×210mm·9.125印张·267千字

0001—3000册

标准书号:ISBN 978-7-111-31330-4

定价:30.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010)88361066

销售一部:(010)68326294

门户网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010)88379649

教材网:<http://www.cmpedu.com>

读者服务部:(010)68993821

封面防伪标均为盗版

策划编辑:(010)88379733

第 2 版前言

本书第 1 版自 2006 年出版以来，得到了广大读者的关心和支持，被很多职业院校和培训机构选作培训教材。在使用过程中，读者发现了其中的一些不足。随着技术的发展和设备的更新，第 1 版中的部分内容已经显得陈旧，因此为了适应新形势的需要，以及根据编著者在使用过程中的体会和部分读者的宝贵意见和建议，编著者对本书第 1 版进行了调整。本次修订的主要内容如下：

1) 第 1 版中个别描述不准确的地方。

2) 第二部分第 4 章中将“SINUMERIK 802S/C 系统数控铣床操作方法”部分更换成了“SINUMERIK 802D 系统数控铣床操作方法”。

3) 对第三部分中的工艺编程题进行了较大改动，更换了考工图 2、图 4、图 6、图 10、图 11、图 12、图 13、图 14，并提供了参考评分表。

由于编者的水平有限，书中的缺点和错误在所难免，恳请读者批评指正。

编著者

2010 年 8 月

第1版前言

数控技术是用数字信息对机械运动和工作过程进行控制的技术。数控装备是以数控技术为代表的新技术，对传统制造产业和新兴制造业的渗透而形成的机电一体化产品。数控技术范围覆盖很多领域：①机械制造技术；②信息处理、加工、传输技术；③自动控制技术；④伺服驱动技术；⑤传感器技术；⑥软件技术等。

数控技术是当今先进制造技术和装备核心的技术，也是制造工业现代化的重要基础。世界上各工业发达国家还将数控技术及数控装备列为国家的战略物资，不仅采取重大措施来发展自己的数控技术及其产业，而且在“高、精、尖”数控关键技术和装备方面对我国实行封锁和限制政策。

数控技术专业应用型人才的社会需求面广、量大，供需矛盾较突出。目前，国内数控人才是紧缺高技能型人才之一。在外资企业、大型民营企业工作的高级人才，月薪达七八千元非常正常。为此教育部已就我国数控专业紧缺技能人才的社会需求、培养培训现状、人才规格及教改方案进行了多次讨论。

我国院校现行的数控专业课程结构和教学模式尚不能适应培养培训紧缺型人才的需要，必须借鉴国外先进的教育理念、模式和方法，结合我国的实际情况，大刀阔斧地对专业课程结构、体系、教学方法进行改革。

由于数控技术的特殊性——技术含量高、涉及面广，导致使用好数控设备成为一个难题。数控技术的应用正在我国普及，但是高级技能人才的严重缺乏制约了数控技术的应用，今后数控高级应用人才的需求每年还将继续增加。伴随着需求行情的看涨，数控专业人才的价值也将日益受到企业和社会的重视。

当前工科类的职业学校几乎都有这方面的需求，学员在考核数控操作工时缺少范本，理论(应知)范围太广，学习起来也很困难。为

此，我们根据《国家职业标准》的有关内容，参阅大量的参考资料，编写了本书。

本书的中心内容主要包括技能鉴定考核数控铣床操作工应知、应会部分。其中应知部分介绍数控铣床原理与组成、数控铣床编程；应会部分介绍数控铣床加工工艺基础和数控铣床操作方法等内容。

应知、应会部分最后还提供了标准化的习题和样卷。

本书具有下列特色：

- 1) 为数控铣床操作工培训提供了一本实用的好教材。
- 2) 数控铣床组成与原理以适度为原则。
- 3) 编程以基础、典型为原则，充分考虑数控铣床的加工特点。
- 4) 工艺以操作工必须使用的工具、夹具、刀具、量具及工件材料为主要内容。
- 5) 习题给出参考答案。

本书第4章的4.1、4.2、4.3、4.5由淮安职教中心赵学跃编写，其余内容由宗国成编写。在编写过程中，方晓堂老师提出了许多意见和建议，在此表示衷心感谢。

由于作者水平有限，书中的不足与错误之处在所难免，恳请读者指正。

编著者

2006年1月于淮安

目 录

第2版前言

第1版前言

第一部分 应知 1

第1章 数控铣床组成与原理 1

1.1 切削运动 1

1.1.1 金属切削机床概述 1

1.1.2 零件表面形状及其形成方法 5

1.1.3 切削运动 6

1.2 数控铣床原理 8

1.2.1 数控技术 9

1.2.2 数控系统原理 14

1.2.3 伺服系统工作过程 17

1.2.4 检测及其他接口技术 22

1.3 数控铣床组成 27

1.3.1 数控铣床的结构特点与种类 28

1.3.2 主轴系统 30

1.3.3 进给传动系统 32

第2章 数控铣床编程 37

2.1 数控铣床编程概述 37

2.1.1 数控程序格式 37

2.1.2 数控铣床坐标系统及其指令 40

2.1.3 辅助功能指令 45

2.1.4 常用准备功能指令 47

2.1.5 子程序 53

2.2 数控铣床编程应用 54

2.2.1 数控铣床常规加工编程方法	55
2.2.2 孔加工固定循环	60
2.2.3 自动编程	65

第二部分 应会..... 79

第3章 数控铣床加工工艺基础..... 79

3.1 夹具	79
3.1.1 六点定位原理	79
3.1.2 数控铣床夹具	81
3.1.3 铣床常用夹具	82
3.2 刀具	86
3.2.1 铣刀种类与材料	86
3.2.2 对刀仪	95
3.3 量具	99
3.3.1 游标卡尺	99
3.3.2 千分尺	100
3.3.3 百分表	102
3.4 常用工件材料	103
3.4.1 黑色金属	103
3.4.2 有色金属	110
3.5 数控铣削加工工艺基础	111
3.5.1 机械加工工艺过程的基本概念	112
3.5.2 数控加工工艺设计	113

第4章 数控铣床操作..... 121

4.1 数控铣床功能	121
4.1.1 数控功能	121
4.1.2 数控铣床加工功能	123
4.2 FANUC 0i 系统数控铣床操作方法	126
4.2.1 面板及功能	126
4.2.2 操作过程	131
4.3 SINUMERIK 802D 系统数控铣床操作方法	138

4.3.1 面板及功能	138
4.3.2 操作过程	141
4.4 华中世纪星 HNC-21M 系统操作方法	155
4.4.1 面板及功能	155
4.4.2 HNC-21M 系统操作过程	159
4.5 数控铣床管理	169
4.5.1 数控铣床验收内容	169
4.5.2 数控铣床操作规程	171
4.5.3 数控铣床日常维护保养	173
第三部分 应知、应会习题	177
一、是非题	177
二、选择题	189
三、简答题	210
四、工艺编程题	212
参考答案	244
附录	253
附录 A 数控加工工序卡片	253
附录 B 数控铣床操作工职业技能鉴定(中级)应知考核试题及 参考答案	254
附录 C 数控铣床操作工职业技能鉴定(高级)应知考核试题及 参考答案	261
附录 D 数控铣床操作工职业技能鉴定(技师)应知考核试题及 参考答案	268
附录 E 数控铣床操作工技能考核标准	275
参考文献	281

第一部分 应 知

第 1 章 数控铣床组成与原理

1.1 切削运动

1.1.1 金属切削机床概述

1. 金属切削机床的作用

金属切削机床作为一种工作母机，是制造机器的机器，它对整个社会生产具有重大意义。金属切削机床通过切削、特种加工等方法，将毛坯加工成具有一定的形状、一定的尺寸、达到规定的精度和表面质量的机械零件。

随着多品种、中小批量生产需求的扩大，复杂零件的加工任务越来越多，这就使具有高效和高自动化的数控机床得到了更广泛的应用。特别是在灵活性方面，数控机床只要更换不同的零件加工程序，就可以生产不同的零件。这样不但扩大了传统金属切削机床的使用范围，而且使切削性能得到了很大的提高。

2. 金属切削机床的类型

金属切削机床品种规格繁多，按其加工性质和所用刀具进行分类，常见的机床有车床、钻床、镗床、磨床、齿轮加工机床、螺纹加工机床、铣床、刨插床、拉床、锯床和其他机床等。

数控机床与普通机床是按自动化程度的不同来划分的。在生产中使用最多的是车床和铣床。

通用机床型号包括分类代号、类别代号、通用特性或结构特性代

号以及组、系代号加主参数等。如 XA6132 中, X 表示铣床类, A 表示结构特性代号, 6 表示卧式升降台(组), 1 表示万能(系), 32 表示工作台的工作面宽度为 320mm。

铣床的类型包括仪表铣床、悬臂及滑枕铣床、龙门铣床、平面铣床、仿形铣床、立式升降台铣床、卧式升降台铣床、床身式铣床、工具铣床和其他铣床等, 其对应的组代号分别从 0 到 9。

应注意的是, 在通用特性或结构特性代号中, K 表示数控, H 表示带有自动换刀的加工中心, 如 XH714 表示为床身式立式加工中心。

常见的铣床及其特点如下:

(1) 卧式升降台铣床 其主要特点是主轴呈水平位置, 工作台、床鞍和升降台分别作纵向、横向和垂直方向移动, 装夹在工作台上的工件可在相互垂直的三个方向实现进给运动, 工件和夹具的重量不能过重。卧式升降台铣床主要用于铣削平面、沟槽和多齿零件等。普通型卧式升降台铣床具有卧式主轴, 工作台不回转(万能型可左右回转), 悬梁可前后调整, 万能回转头型铣头主轴可调成空间任意角度。主要用于单件、小批或成批生产, 可铣削平面、阶梯面、沟槽等, 万能型可铣削螺旋槽, 配备附件可铣削齿条、齿轮、花键轴, 并可进行钻、镗、插等加工。数控铣床可用于加工二维或三维复杂型面。

(2) 万能升降台铣床 其结构与卧式升降台铣床基本相同, 但在工作台与床鞍之间增加了一个回转盘。它能加工螺旋槽等复杂零件。

(3) 立式升降台铣床 其主要特点是主轴垂直安置, 但能在垂直平面内调整一定角度, 工作台、床鞍和升降台等均与卧式升降台铣床相同。该类铣床可用端铣刀或立铣刀加工平面、斜面、沟槽、台阶等表面。

该类铣床有普通型、滑枕型和摇臂型之分。普通型立式升降台铣床的铣头一般能回转角度, 有主轴套筒, 工作台不回转, 工作台纵向有顺铣机构, 主轴能制动。数控铣床一般采用滚珠丝杠传动, 各进给坐标有独立的伺服驱动系统, 定位精度为 300:0.03, 重复定位精度为 0.02。立式升降台铣床常用于机械制造和修理部门的中小型零件

的加工,可铣平面、斜面、阶梯面、沟槽等,配附件可铣螺旋槽、圆弧面、齿条、齿轮、花键,并可进行钻、镗、插等加工,仿形和数控铣床可加工二维或三维复杂型面。

(4) 万能工具铣床 该类铣床的特点是具有一个水平方向的主轴,并在主轴前端可安装一个垂直方向的主轴,可在升降台上安装万能角度工作台、圆形工作台、水平工作台、分度头和平口台虎钳等多种附件,因此具有广泛用途,特别适用于加工各种夹具、工具、刀具、模具等复杂工件。

(5) 床身式铣床 它的工作台只作纵向和横向运动,垂直运动由主轴箱沿床身导轨的升降来实现,机床部件较少,整体刚性好,工作台宽度的尺寸规格介于升降台铣床与龙门铣床之间。它适用于高速切削或加工比较重和比较大的工件。

(6) 圆工作台铣床 这种铣床也属于工作台不升降铣床范畴。圆工作台作缓慢的连续转动,实现进给运动,整个主轴箱沿立柱导轨上、下移动,滑座可在底座导轨上作横向移动。该类铣床适用于加工中等尺寸的工件。

(7) 龙门铣床 这是一种大型铣床,它又分为横梁移动式 and 龙门架移动式两种。根据工作台宽度的不同,分别有二、三、四个铣头,每个铣头都是一个独立的主运动部件,铣头有微调机构。对于龙门架移动式铣床,其工作台及工件固定不动,龙门架沿导轨作进给运动。龙门铣床适用于加工大型工件,在成批和大批生产中应用较多。龙门架移动式适用于加工重型或超重型工件。

3. 金属切削机床的发展过程

从18世纪末第一台机床的诞生,经过两百多年的发展,以手工操作为主的普通金属切削机床,在品种规格方面早已发展成熟,在性能方面也已标准化。制造技术是每个国家的基础产业,先进的制造技术有力地推动了经济的发展。现在正处于数控机床的高速发展时期,数控机床占全部机床的比例大小,已成为衡量一个国家的生产能力和技术水平的重要标志之一。

数控机床是在机械制造技术和控制技术的基础上发展起来的。从1952年试制成功的第一台三坐标数控铣床开始,数控机床已经历了

第二代、三代、四代、五代等不同时代。从数控装置的发展过程来看，它们经历了电子管时代、集成电路时代和超大规模集成电路时代等；从品种规格来看，随着时间的推移，普通机床所具有的品种规格，现在一般都能够数控化了；从功能方面来看，有带自动换刀装置的数控机床，即加工中心，有车铣复合机床、多轴加工机床和高速切削机床等。

数控机床经历过硬件数控、计算机数控时代。这些数控系统属于专用的控制系统，由专业厂家生产。其特点是系统封闭，性能稳定可靠，成本相对较高。

20 世纪末，出现了具有较好开放性的 PC 加 CNC 的智能数控系统。此类系统维护方便，易于实现网络化制造。

4. 数控机床的特点

与普通机床相比，数控机床具有以下特点：

1) 加工精度高，加工质量稳定。数控机床有较高的加工精度，一般在 $0.005 \sim 0.1\text{mm}$ 之间。数控机床的脉冲当量小，位置分辨率高，加工精度受零件复杂程度的影响较小。数控机床传动链的反向间隙和丝杠的螺距误差等可以通过数控系统自动进行补偿，其定位精度比较高，同时还可以利用数控软件进行精度校正和补偿。数控机床对零件的加工过程，是严格按照加工程序所规定的参数及动作执行的，因此，零件的尺寸一致性好，产品合格率高，加工质量稳定。

2) 自动化程度高，操作者劳动强度低。数控机床对零件的加工是根据事先编好的程序自动完成的。在正常加工过程中，操作者只要进行常规的操作即可完成零件的自动加工任务，不需要进行繁杂的重复性手工操作，使操作者的劳动强度大为减轻。

3) 生产效率高。数控机床上可以采用较大的切削用量，有效地节省了机动工时。还具有自动变速（包括主轴转速和进给速度）、自动换刀和其他辅助操作自动化等功能，使辅助时间大为缩短，批量生产时无需工序间的检验与测量。

数控机床的主轴转速及进给范围都比普通机床大。数控机床的进给速度一般在每分钟几米到几十米的范围，最高进给速度可达到 100m/min 以上，最小分辨率达 $0.01\mu\text{m}$ 。一般来说，数控机床的生产

能力约为普通机床的 3 倍，甚至更高。数控机床的时间利用率高达 90%，而普通机床仅为 30%~50%。

4) 适应性强。由于数控机床能实现多个坐标轴的联动，所以数控机床能完成在普通机床上难以完成或根本不能加工的复杂型面的加工，特别是对于可用数学方程式和坐标点表示的形状复杂的零件加工非常方便。当改变加工零件时，数控机床只需更换零件加工程序。因此，生产准备周期短，有利于新产品的研制和机械产品的迅速更新换代，体现出了很好的适应性。适合加工复杂异形零件是数控机床的主要特点之一。

5) 良好的经济效益。数控机床设备价格相对较高，而且要求具有较高技术水平的人员来使用(编程、操作和维修)，其零件的加工费用与普通机床相比也较高，但数控机床加工可以通过上述优点体现出综合效益。特别是数控机床的加工精度稳定，减少了废品的数量，降低了生产成本。此外，数控机床常一机多用，既节省了厂房面积的投资，又减少了操作人员的数量。因此，使用数控机床通常都可获得良好的经济效益。

6) 有利于现代化管理。采用数控机床加工能准确地计算零件加工工时和费用，简化了检验工具、夹具，减少了半成品的管理环节，有利于生产管理的现代化。数控机床使用了数字信息控制，适合计算机管理。它是组成具有更高自动化程度的柔性制造系统(FMS)与计算机集成制造系统(CIMS)的物质基础，为实现生产过程自动化创造了条件。

数控机床是典型的机电一体化产品，是现代制造业的核心设备。它体现了现代机床技术水平，是现代机械制造业工艺水平的重要标志，是关系国计民生、国防尖端建设的必备设备。

1.1.2 零件表面形状及其形成方法

1. 零件表面形状

机械零件的形状多种多样，但构成其内外轮廓的主要是几个基本的表面形状。如图 1-1 所示，这些基本表面包括平面、圆柱(锥)面和成形面等。

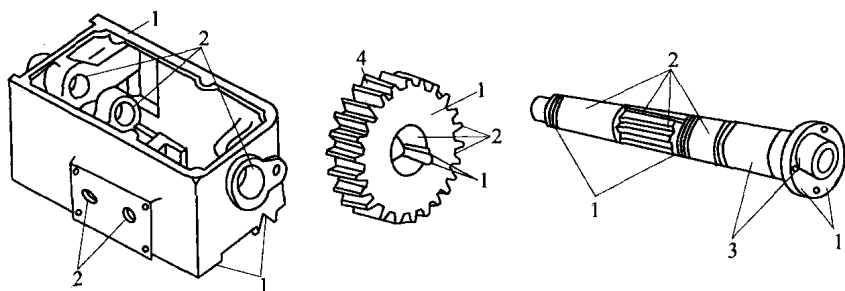


图 1-1 机械零件常用表面

1—平面 2—圆柱面 3—圆锥面 4—成形面

2. 零件表面的形成方法

在切削加工过程中，由刀具的切削刃与零件按一定的规律作相对运动，切除了毛坯上多余的材料而得到零件的表面形状，这是切削加工的基本思想。根据零件的表面形状不同，可采用不同的切削方法。

由一条线(称为母线)沿着另一条线(称为导线)运动而形成的轨迹，称为线性表面。由不同的母线和不同的导线及其之间不同的位置关系，可以形成不同的线性表面，这就是零件的表面形状。

对铣床加工而言，其主要的加工对象是箱体类零件。箱体类零件可以看成是由若干个规则、不规则的边界面构成的。以铣削平面为例，零件表面可以看成是以一直线(母线)沿另一直线平动而形成的(见图 1-2)。如果线(母线或导线)为不同的空间曲线，则运动后可形成不同的空间曲面(成形面)。

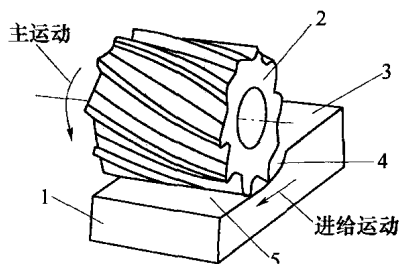


图 1-2 铣削加工工件表面形成

1—工件 2—铣刀 3—待加工表面

4—过渡表面 5—已加工表面

1.1.3 切削运动

在切削加工中，工件表面的形状、尺寸及相互位置关系是通过刀具相对于工件的运动而形成的，其运动可分为切削运动(表面形成运动)和辅助运动两类。切削运动是使工件获得所要求的表面形状和尺寸的运动，是机床最基本的运动，按其在切削加工中所起作用的不同的

同，一般分为主运动和进给运动；辅助运动主要包括刀具、工件、机床部件位置的调整，工件分度、刀架转位、送夹料，主轴启动、变速、停止和自动换刀等运动。

1. 主运动

主运动是指直接切除工件上的多余材料，以形成需要的工件新表面的基本运动。主运动通常是切削运动中速度最高、消耗功率最多的运动，且主运动只有一个。主运动是衡量一台机床切削材料能力的一个重要指标，它一般用主电动机的功率和转速来衡量。

铣床上的主运动是指铣刀的旋转运动。

2. 进给运动

进给运动是将切削层间歇地或连续地投入切削，以逐渐完成整个工件表面的运动。在铣削加工中，进给运动一般包括 X、Y、Z 三个坐标轴的运动。进给运动的特点是速度相对较低，耗损功率也少。

3. 表面成形运动

在实际加工过程中，主运动和进给运动一般总是同时进行的，此时刀具切削刃上选定点与工件间的相对运动是主运动和进给运动的合成运动，即表面成形运动。在表面成形运动过程中，工件处于被加工状态，工件上有三个不断变化着的表面（见图 1-2），即

- 1) 已加工表面。工件上经刀具切除材料后产生的新表面。
- 2) 过渡表面。切削刃正在切削着的表面。
- 3) 待加工表面。将被切除切削层的表面。

4. 铣削要素

铣削用量三要素是指切削速度、进给量和吃刀量。

(1) 切削速度 v_c 。主运动的线速度称为切削速度。由于铣床的主运动是指铣刀的旋转运动，故铣削的切削速度是指铣刀外圆上切削刃运动的线速度。

$$v_c = \frac{\pi d n}{1000}$$

式中 d ——铣刀的直径(mm)；

n ——铣刀的转速(r/min)。

在加工过程中，习惯的做法是将切削速度 v_c 转换成机床的主轴

转速 n 。在数控铣床中, 用 S 后加不同的数字来设定主轴转速。

(2) 进给量 进给运动速度的大小称为进给量, 它一般有三种表示方法:

1) 每齿进给量 f_z 。铣刀每转过一齿, 工件沿进给方向所移动的距离 (mm/z);

2) 每转进给量 f 。铣刀每转过一转, 工件沿进给方向所移动的距离 (mm/r);

3) 每分钟进给量 v_f 。铣刀每旋转一分钟, 工件沿进给方向所移动的距离 (mm/min)。

上述三种进给量的关系是:

$$v_f = nf = nzf_z$$

式中 z ——铣刀齿数。

(3) 吃刀量 铣削时, 铣刀的吃刀量包括背吃刀量 a_p 和侧吃刀量 a_e 。背吃刀量 a_p 是指切削过程中沿刀具轴线方向上, 工件被切削的切削层尺寸 (mm); 侧吃刀量 a_e 是指垂直于刀具轴线方向和进给运动方向所在平面的方向上, 工件被切削的切削层尺寸 (mm)。

1.2 数控铣床原理

铣床是用旋转的铣刀对工件进行铣削加工的机床。铣床除能铣削平面、沟槽、轮齿、螺纹和花键轴外, 还能加工比较复杂的型面 (见图 1-3), 在机械制造和修理部门得到了广泛应用。

最早的铣床是美国人惠特尼于 1818 年创制的卧式铣床; 为了铣削麻花钻头的螺旋槽, 美国人布朗于 1862 年创制了第一台万能铣床; 1884 年前后又出现了龙门铣床; 20 世纪 20 年代出现了利用挡块可完成工作台“进给-快速”或“快速-进给”自动转换的半自动铣床。

1950 年以后, 铣床在控制系统方面发展很快, 数字控制的应用大大提高了铣床的自动化程度。随着微处理器的数字控制系统和自动换刀系统在铣床上的应用, 扩大了铣床的加工范围, 提高了加工精度与效率。

按控制方式, 铣床可分为仿形铣床、程序控制铣床和数控铣床等。

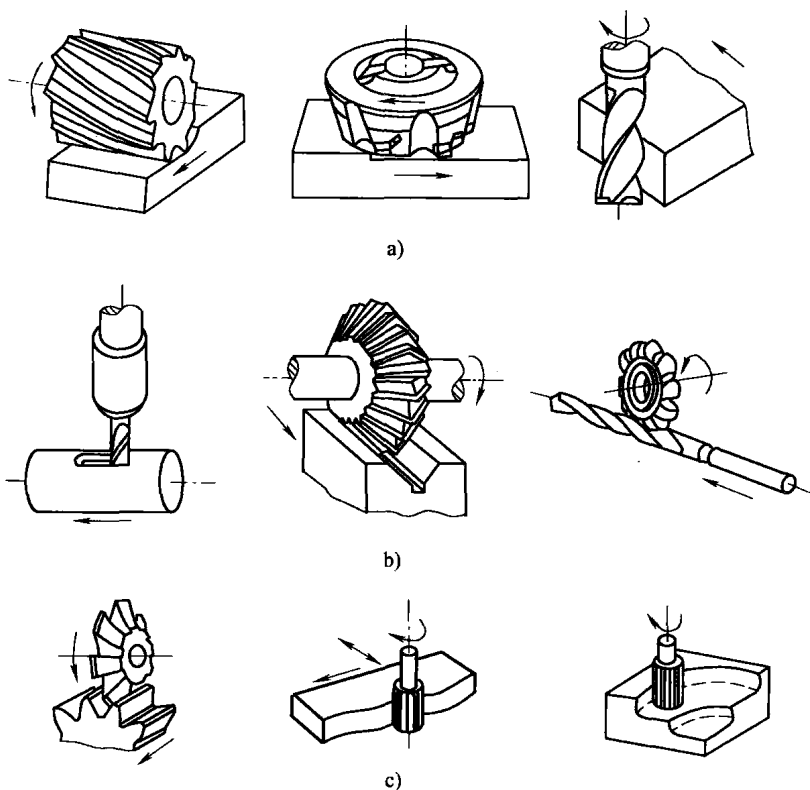


图 1-3 铣削加工的内容

a) 铣平面 b) 铣槽 c) 铣成形面

1.2.1 数控技术

1. 数字控制技术

数控 (Numerical Control, 简称 NC), GB/T 8129—1997 定义为: “用数值数据的控制装置, 在运行过程中, 不断地引入数值数据, 从而对某一生产过程实现自动控制”。由于现代数控机床都采用计算机进行控制, 所以一般称为计算机数控 (Computerized Numerical Control, 简称 CNC)。

数控技术的应用使数控机床成为一种技术密集度和自动化程度很高的机电一体化加工设备。它综合地应用了计算机技术、自动控制技