

加工中心编程 实例教程

李体仁 夏 田 杨立军 编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

加工中心编程实例教程

李体仁 夏 田 杨立军 编著



化学工业出版社
工业装备与信息工程出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

加工中心编程实例教程/李体仁, 夏田, 杨立军编著.
北京: 化学工业出版社, 2006. 6
ISBN 7-5025-8989-9

I. 加… II. ①李…②夏…③杨… III. 数控机床加工中心-程序设计-教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 071064 号

加工中心编程实例教程

李体仁 夏田 杨立军 编著
责任编辑: 张兴辉 李军亮
责任校对: 周梦华
封面设计: 韩飞

*

化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市彩桥印刷有限责任公司印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15 $\frac{3}{4}$ 字数 389 千字

2006 年 9 月第 1 版 2006 年 9 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8989-9

定 价: 32.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

前 言

加工中心是各类数控机床中技术上比较先进、优点比较突出、使用范围较广且发展较快的一种现代化机床。随着科学技术的进步和发展，加工中心生产和应用已经日趋广泛，加工中心的编程和使用对技术人员提出了更高的要求。

本书主要讲述加工中心的基本编程方法，比较全面、系统地讲述加工中心的基本组成和工作原理，重点介绍了在典型加工中心上加工典型零件的加工工艺、程序编制，体现了理论性和实践性的协调统一；综合了加工中心数控加工的基础知识、数控加工的刀具系统，编写时既保证所介绍内容的系统性、新颖性和实用性，又体现精简的原则。本书既注重知识的传授，又强调思考及分析问题的方法。以实例为主线贯穿全书，逐步引导读者掌握加工中心的编程和操作技能，是本书的一大特色。

本书第1章、第2章、第4章由夏田编写，第3章、第5章、第6章由李体仁编写，第7章由杨立军编写。吴鹏、肖婷、李佳、李科伟等同志对本书的部分文稿、图稿进行了校对或绘制，在此表示感谢。

在本书的编写过程中，编者参阅了国内外同行的有关资料、教材和文献，并得到了许多专家和同行的支持和帮助，在此一并表示衷心的感谢。

本书可作为数控技术和机械制造等专业的教材，可供从事机械制造业工程技术人员及高级技工参考。

由于编者水平和时间有限，书中难免有不妥之处，恳请读者批评指正。

编者
2006年8月

目 录

第 1 章 加工中心基础知识	1
1.1 加工中心的分类及特点	1
1.1.1 加工中心的分类	1
1.1.2 加工中心的主要特点	4
1.2 加工中心的工作原理	6
1.2.1 数控机床的工作原理与工作方式	6
1.2.2 控制方式	7
1.3 数控编程的类型及发展	9
1.3.1 手工编程	9
1.3.2 自动编程	9
第 2 章 数控加工基础	12
2.1 数控加工程序及加工功能.....	12
2.1.1 数控程序中的字、代码与字符.....	12
2.1.2 数控程序中字的功能.....	13
2.1.3 数控程序的结构与格式.....	17
2.2 数控机床的坐标系统.....	18
2.2.1 机床坐标系的有关规定.....	18
2.2.2 机床坐标系的定义.....	18
2.2.3 机床原点与机床参考点.....	21
2.2.4 工件坐标系.....	22
2.2.5 绝对坐标系与增量（相对）坐标系.....	25
2.3 数控程序的编制.....	26
2.3.1 数控程序编制的内容及步骤.....	26
2.3.2 加工中心编程的特点.....	29
2.4 数控加工中的刀具补偿.....	30
2.4.1 刀具长度补偿.....	30
2.4.2 刀具半径补偿.....	33
2.5 数控加工的刀具系统.....	40
2.5.1 加工中心中嵌刀片的使用.....	40
2.5.2 车削刀具的编码及选择.....	44
2.5.3 铣削刀具的类型及选择.....	47
2.5.4 刀具测量.....	50
2.6 加工中心的工作方式.....	53
第 3 章 加工流程	54
3.1 数控加工工作流程.....	54

3.2 偏心套加工实例	55
3.2.1 偏心套零件的加工工艺分析	55
3.2.2 工序5的数控加工	58
3.2.3 工序7的数控加工	62
3.2.4 工序10的数控加工	64
第4章 车削加工中心及编程	66
4.1 车削中心换刀系统	66
4.2 车削加工的编程特点	66
4.3 车削中心数控功能简介	68
4.3.1 进给功能 F	68
4.3.2 主轴功能 S	68
4.3.3 刀具功能 T	70
4.3.4 准备功能 G	71
4.3.5 辅助功能 M	71
4.4 工件坐标系设定 (G50)	74
4.5 车削加工常用编程指令	75
4.6 螺纹加工指令	80
4.6.1 基本螺纹切削指令 G32	80
4.6.2 螺纹切削循环指令 G92	83
4.6.3 螺纹切削复合循环指令 G76	85
4.7 车削加工循环指令	87
4.7.1 单一形状固定循环	87
4.7.2 复合车削循环	91
4.8 倒角、倒圆编程	100
4.9 车削加工编程实例	102
4.9.1 轴类零件加工编程实例	102
4.9.2 盘类零件加工编程实例	104
第5章 铣削加工中心及其数控编程	108
5.1 加工中心的组成	108
5.2 加工中心的换刀类型	108
5.3 加工中心的刀库类型	109
5.3.1 盘形刀库	109
5.3.2 链式刀库	109
5.4 刀具在主轴和刀库的固定方式	109
5.4.1 刀具在机床主轴上的固定方式	109
5.4.2 刀具在刀库中的固定方式	111
5.5 机械手的换刀形式	111
5.5.1 主轴上的刀具交换	111
5.5.2 刀库的取刀和装刀	113
5.6 选刀方式	113

5.6.1	顺序选择方式	113
5.6.2	任意选择方式	113
5.7	换刀时间	113
5.8	台湾高明精机 KM-3000SD 龙门式加工中心换刀系统	114
5.9	台湾高明精机 KM-3000SD 龙门式加工中心上新型刀座的使用	115
5.10	日本牧野公司 MAKINO 1210A 卧式加工中心	116
5.10.1	刀库取刀	116
5.10.2	主轴换刀	117
5.10.3	刀库装刀	118
5.11	牧野加工中心换刀过程的讨论	119
5.12	刀具交换的编程	119
5.12.1	自动原点复归	119
5.12.2	刀具交换 (ATC) 条件	120
5.12.3	刀具交换指令	120
5.12.4	刀具交换编程	120
5.13	交换工作台	122
5.14	托盘自动交换的类型	123
5.15	编程指令	124
5.16	用户宏程序	126
5.16.1	变量	126
5.16.2	运算	127
5.16.3	系统变量	128
5.16.4	转移和循环	131
5.16.5	宏程序调用	132
第 6 章	加工程序实例	136
6.1	机床坐标系和工件坐标系的区别	136
6.2	G92 与 G54~G59 之间的区别	136
6.3	工件坐标系中子坐标系的使用 (G52)	137
6.4	工件坐标系建立的原则	138
6.5	在加工中心上, 使用机床坐标系选择 (G53), 指定换刀位置	140
6.6	立卧加工中心的刀长度补偿与数控车刀偏补偿的区别	141
6.7	数控车刀尖半径补偿	142
6.8	在 G18 平面使用刀具半径补偿加工外形轮廓	142
6.9	使用子程序调用, 加工工件外形 (一)	144
6.10	使用子程序调用, 加工工件外形 (二)	145
6.11	刀具半径偏置中预读 (缓冲) 功能的使用	145
6.12	缩放比例 (G50、G51)	148
6.13	卧式加工中心的分度轴和旋转轴	150
6.13.1	分度轴和旋转轴的区别	150
6.13.2	分度工作台 (B) 轴	150

6.14	坐标系旋转 (G68、G69)	152
6.15	可编程镜像	154
6.16	大平面的多次铣削	155
6.17	圆弧插补的进给率	157
6.18	加工中心刀具长度补偿的三种方法	158
6.19	工件外形和内腔轮廓的铣削	160
6.20	圆周分布孔的加工	162
6.20.1	螺栓孔圆周分布模式	162
6.20.2	螺栓圆周分布孔的计算公式	163
6.20.3	用极坐标加工螺栓圆周分布孔	165
6.20.4	用坐标旋转加工螺栓圆周分布孔	167
6.20.5	用宏程序加工螺栓圆周分布孔	168
6.21	沉孔的底面加工	168
6.22	背镗孔	169
6.22.1	主轴定向	169
6.22.2	背镗孔	169
6.23	用 T 形槽铣刀在孔中切槽加工	172
6.24	浮动攻螺纹加工	172
6.25	精度检验编程	173
6.26	使用啄式钻孔循环 (G83), 加工孔	175
6.27	使用啄式钻孔循环 (G73), 加工孔	176
6.28	综合实例 (一)	176
6.29	综合实例 (二), 板类零件的加工	188
第 7 章	自动编程	196
7.1	自动编程过程	196
7.2	MasterCAM 编程系统	197
7.2.1	MasterCAM 编程系统概述	197
7.2.2	MasterCAM Mill9.0 铣削加工的刀具路径	198
7.2.3	二维数控加工实例	199
7.2.4	三维数控加工实例	220
附录		236
附表 1	FANUC 0i MC 数控铣床 G 功能代码-M 代码	236
附表 2	FANUC 0i MC 数控铣床编码字符的意义	237
附表 3	FANUC 0i MC 数控系统的准备功能 M 代码及其功能	237
附表 4	FANUC 0i MC 数控铣床 G 功能代码	238
参考文献		243

第 1 章 加工中心基础知识

加工中心是一种备有刀库并能按预定程序自动更换刀具，对工件进行多工序加工的高效数控机床。工件经一次装夹后，数字控制系统能控制机床按不同工序，自动选择和更换刀具，自动改变机床主轴转速、进给量和刀具相对工件的运动轨迹及其他辅助机能，依次完成工件几个面上多工序的加工。它的最大特点是工序集中和自动化程度高，可减少工件装夹次数，避免工件多次定位所产生的累积误差，节省辅助时间，实现高质、高效加工。

1.1 加工中心的分类及特点

1.1.1 加工中心的分类

常见加工中心按工艺用途可分为镗铣加工中心、车削加工中心、钻削加工中心、攻螺纹加工中心及磨削加工中心等。加工中心按主轴在加工时的空间位置可分为立式加工中心、卧式加工中心、立卧两用（也称万能、五面体、复合）加工中心。

在实际应用中，以加工棱柱体类工件为主的镗铣加工中心和以加工回转体类工件为主的车削加工中心最为多见。第一台加工中心是 1958 年由美国卡尼-特雷克公司首先研制成功的。它在数控卧式镗铣床的基础上增加了自动换刀装置，从而实现了工件一次装夹后即可进行铣削、钻削、镗削、铰削、攻螺纹等多种工序的集中加工。20 世纪 70 年代以来，加工中心得到迅速发展，出现了可换主轴箱加工中心，它备有多个可以自动更换的装有刀具的多轴主轴箱，能对工件同时进行多孔加工。这种多工序集中加工的形式也扩展到其他类型数控机床，例如车削中心，它是在数控车床上配置多个自动换刀装置，能控制 3 个以上的坐标，除车削外，主轴可以停转或分度，而由刀具旋转进行铣削、钻削、铰孔、攻螺纹等工序，适于加工复杂的旋转体零件。

(1) 镗铣加工中心

由于镗铣加工中心最早出现，且名为加工中心（MC：Machining Center），所以习惯上常把“镗铣加工中心”称为“加工中心”。

加工中心按主轴的布置方式分为立式加工中心（主轴垂直布置）和卧式加工中心（主轴水平布置）两类。

如图 1-1 所示为美国 CINCINNATI LAMB 四轴卧式加工中心 HPC800HP。

卧式加工中心一般具有分度转台或数控转台，可加工工件的各个侧面；也可做多个坐标的联合运动，以便加工复杂的空间曲面。

为了在一次安装后能尽可能多地完成同一工件不同部位的加工要求，并尽可能减少加工中心的非故障停机时间，加工中心增加了自动换刀装置（ATC：Automatic Tool Changer）、刀库和自动托盘交换装置（APC：Automatic Pallet Changer）。

加工中心 ATC 由存放刀具的刀库和换刀机构组成。刀库种类很多，常见的有盘式（见图 1-2）、链式、转塔式等基本类型。链式刀库的特点是存刀量多、扩展性好、在加工中心上的配置位置灵活，但结构复杂。盘式和转塔式刀库的特点是构造简单、适当选择刀库位置

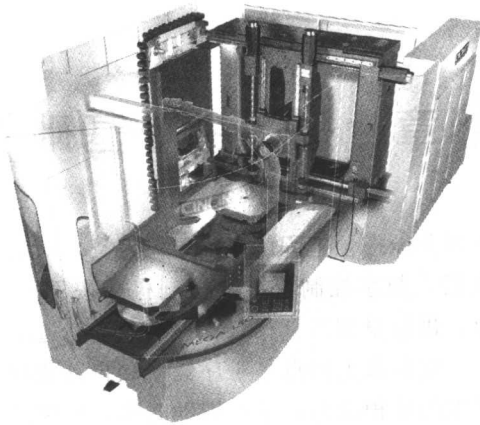


图 1-1 具有链式刀库的卧式加工中心 HPC800HP

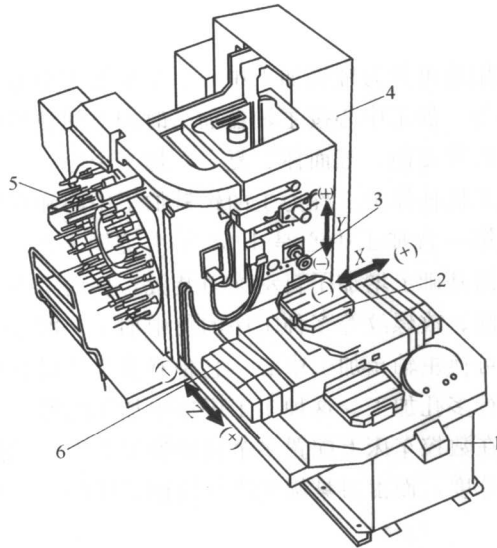


图 1-2 具有盘式刀库的卧式加工中心 MC1210

1—床身；2—工作台；3—主轴系统；
4—控制系统；5—刀库；6—进给系统

还可省略换刀机械手，但刀库容量有限。根据用途，加工中心刀库的存刀量可为几把到数百把，最常见的是 20~80 把。

换刀机构在机床主轴与刀库之间交换刀具，常见的为机械手；也有不带机械手而由主轴直接与刀库交换刀具的，称无臂式换刀装置。

为了进一步缩短非切削时间，加工中心配有两个自动交换工件的托板。一个装着工件在工作台上加工，另一个则在工作台外装卸工件。机床完成加工循环后自动交换托板，使装卸工件与切削加工的时间相重合。

立式加工中心一般不带转台，仅做顶面加工。见图 1-3。

此外，还有带立、卧两个主轴的复合式加工中心和主轴能调整成卧轴或立轴的立卧可调式加工中心，它们能对工件进行 5 个面的加工。

加工中心由于工序的集中和自动换刀，减少了工件的装夹、测量和机床调整等时间，使

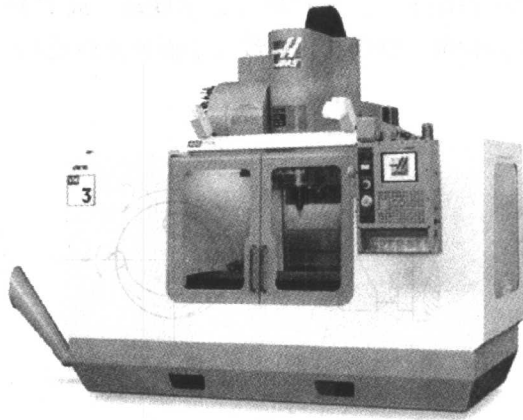


图 1-3 哈斯公司立式加工中心 (VM-3)

机床的切削时间达到机床开动时间的 80% 左右 (普通机床仅为 15%~20%); 同时也减少了工序之间的工件周转、搬运和存放时间, 缩短了生产周期, 具有明显的经济效果。

加工中心适用于零件形状比较复杂、精度要求较高、产品更换频繁的中小批量生产。其他机械功能部件主要指冷却、润滑、排屑和监控装置。由于加工中心生产效率极高, 并可长时间实现自动化加工, 因而冷却、润滑、排屑等问题比常规机床更为突出。大切削量的加工需要强力冷却和及时排屑。大量冷却和润滑液的作用还对系统的密封和泄漏提出更高的要求, 从而导致半封闭、全封闭结构机床的实现。

(2) 车削加工中心

车削加工中心简称为车削中心 (Turning Center), 车削中心的主体是数控车床, 配有动力刀座或机械手, 可实现车、铣复合加工, 如高效率车削、铣削凸轮槽和螺旋槽。它是在数控车床的基础上为扩大其工艺范围而逐步发展起来的。车削中心目前尚无比较权威性的明确定义, 但一般都认为车削中心应具有如下特征: 带刀库和自动换刀装置; 带动力回转刀具; 联动轴数大于 2。由于有这些特征, 车削中心在一次装夹下除能完成车削加工外, 还能完成钻削、攻螺纹、铣削等加工。车削中心的工作交换装置多采用机械手或行走式机器人。随着机床功能的扩展, 多轴、多刀架以及带机内工件交换器和带棒料自动输送装置的车削中心发展较快, 如对置式双主轴箱、双刀架的车削中心可实现自动翻转工件, 在一次装夹下完成回转体工件的全部加工。

① 车削中心的 C 轴 如图 1-4 所示, 数控车削中心增加了主轴的 C 轴坐标, 具有三轴三联动功能。C 轴具有 0.001 度分度功能, 机床主轴旋转除作为车削的主运动、分度运动的

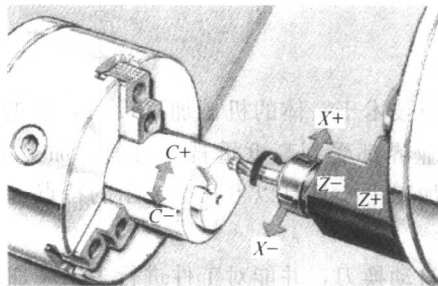


图 1-4 C 轴功能

同时，并在数控装置的伺服控制下，实现 C 轴与 Z 轴联动，或 C 轴与 X 轴联动，以进行圆柱面上或端面上任意部位的钻削、铣削、攻螺纹及平面或曲面铣加工。C 轴的加工功能如图 1-5 所示。

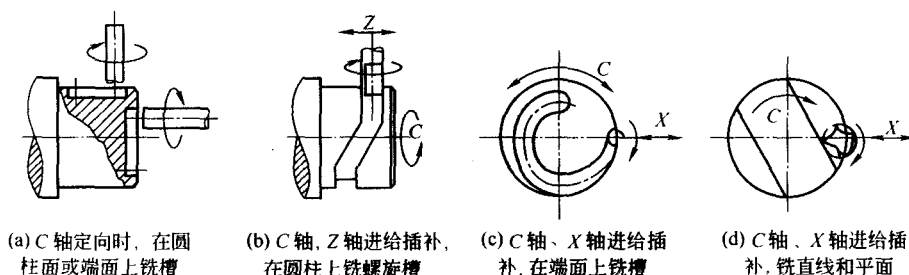


图 1-5 C 轴的加工功能

② 动力刀架转 车削中心的动力刀架主要由三部分组成：动力源（一般为变速电机）、变速装置、刀具附件和铣削附件等。在刀架上备有刀具主轴电机，自动无级变速，通过传动机构驱动装在刀架上的刀具主轴。

(3) 车铣复合加工中心

在数控车床刀盘上增加动力刀架进行钻、铣等工序而构成车削中心，但其铣、钻等的功率大小、转速太低，不能适应某些复杂回转零件的加工要求。现已取消刀盘，代之以大功率高转速的电主轴，由于同时只能安装一种刀具，像加工中心一样，增加了刀库和机械手，无论是车刀（车削时，电主轴锁住不回转）还是钻、铣类刀具均存放在刀库中。此外，还增加了垂直于 X 轴的 Y 轴和绕 Y 轴回转的 B 轴。虽然换刀时间远远超过了车削中心，但可实现高速大功率的铣削和车削。实质上等于将车床和加工中心合二为一，组成车铣中心。

数控车铣中心通过五轴联动，可加工各种复杂曲面、铣锥面键槽或螺旋槽，同时还能满足大型回转体零件的各类车、铣、钻、攻螺纹等复合加工要求。机床选项增加 Y 轴，可实现车、钻、铣及偏心加工，还可以加工平面螺纹和精制螺纹、铣平面、铣六方面、切周边平面槽、切螺纹槽等非圆形加工，主轴转位可进行法兰圆孔、交叉孔及键槽等加工。

如 Mazak 公司的一台 INTHGREX 系列车铣中心铣轴转速高达 10000r/min，20 多千瓦，仅用 10 多分钟，一次装夹采用车铣复合工艺由一根大直径整体圆棒加工成汽车发动机曲轴，用 X、Y、C 三轴的联动加工出位于不同空间的连杆轴颈和曲拐的多个表面。Mazak 在银川的小巨人公司，配备了 5 台车铣复合加工中心。奥地利 WFL 公司专门生产大型车铣复合加工中心，据称其订单（订户多来自飞机、宇航、船舶、印刷机等行业）连续多年爆满。

1.1.2 加工中心的主要特点

加工中心是典型的集高新技术于一体的机械加工设备，它的发展代表了一个国家设计、制造水平，因此在国内外企业界都受到高度重视。目前，加工中心已广泛应用于机械制造中。与普通数控机床相比，加工中心具有以下几个突出的特点。

(1) 工序集中

加工中心备有刀库，能自动换刀，并能对工件进行多工序加工。现代加工中心更大程度地使工件在一次装夹后实现多表面、多特征、多工位的连续、高效、高精度加工，即工序集

中。这是加工中心最突出的特点。

(2) 加工精度高

加工中心同其他数控机床一样具有加工精度高的特点，由于加工中心采用工序集中的加工手段，一次安装即可加工出零件上大部分待加工表面，避免了工件多次装夹所产生的装夹误差，在保证高的工件尺寸精度的同时获得各加工表面之间高的相对位置精度。另外，加工中心整个加工过程由程序控制自动执行，避免了人为操作所产生的偶然误差。加上加工中心省去了齿轮、凸轮、靠模等传动部件，最大限度地减少了由于制造及使用磨损所造成的误差，结合加工中心完善的位置补偿功能及高的定位精度和重复定位精度，使工件加工精度更高，加工质量更加稳定。

(3) 柔性强

加工中心对加工对象的适应性强。加工中心加工工件的信息都由一些外部设备提供，比如软盘、光盘、USB 接口介质等，或者由计算机直接在线控制（DNC）。当加工对象改变时，除了更换相应的刀具和解决毛坯装夹方式外，只需要重新编制（更换）程序，输入新的程序就能实现对新的零件的加工，缩短了生产准备周期，节约了大量工艺装备费用。这对结构复杂零件的单件、小批量生产及新产品试制带来极大的方便，同时，它还能自动加工普通机床很难加工或无法加工的精密复杂零件。

(4) 生产效率高

零件加工所需要的时间包括机动时间和辅助时间两部分，加工中心能够有效地减少这两部分时间。加工中心主轴转速和进给量的调节范围大，每一道工序都能选用最有利的切削用量，良好的结构刚性允许加工中心进行大切削量的强力切削，有效地节省了机动时间。加工中心移动部件的快速移动和定位均采用了加速和减速措施，选用了很高的空行程运动速度，消耗在快进、快退和定位的时间要比一般机床少得多。同时加工中心更换待加工零件时几乎不需要重新调整机床，零件安装在简单的定位夹紧装置中，用于停机进行零件安装调整的时间可以大大节省。加工中心加工工件时，工序高度集中，减少了大量半成品的周转、搬运和存放时间，进一步提高了生产效率。

(5) 经济效益好

加工中心加工零件时，虽分摊在每个零件上的设备费用较昂贵，但在单件、小批生产的情况下，可以节省许多其他方面的费用。由于是数控加工，加工中心不必准备专用钻模等工艺装备，加工之前节省了划线工时，零件安装到机床上之后可以减少调整、加工和检验时间。另外，由于加工中心的加工稳定，减少了废品率，使生产成本进一步下降。

(6) 劳动强度低，劳动条件好

加工中心的加工零件是按事先编好的程序自动完成的，操作者除了操作键盘、装卸零件、进行关键工序的中间测量以及观察机床的运行之外，不需要进行繁重的重复性手工操作。劳动强度可大为减轻；同时，加工中心的结构均采用全封闭设计，操作者在外部进行监控，切屑、冷却液等对工作环境的影响微乎其微，劳动条件较好。

(7) 有利于生产管理的现代化

利用加工中心进行生产，能准确地计算出零件的加工工时，并有效地简化检验、工夹具和半成品的管理工作，这些特点有利于使生产管理现代化。当前有许多大型 CAD/CAM 集成软件已经开发了生产管理模块，实现了计算机辅助生产管理。加工中心使用数字信息与标准代码输入，最适宜计算机联网及管理。当前较为流行的 FMS、CIMS、MRP II、ERP 等

都离不开加工中心的应用。

加工中心除了具有高速度、高精度、柔性化，结构上的全封闭性外，而且还具有优良的断屑功能和排屑功能以及自动测量、自动对刀功能，为现代制造提供了精良的加工手段。当然加工中心的应用也还存在一定的局限性。比如加工中心加工工序高度集中，无时效处理，工件加工后有一定的残余内应力；设备昂贵，初期投入大；设备使用维护费用高，对管理及操作人员专业素质要求较高等。

1.2 加工中心的工作原理

1.2.1 数控机床的工作原理与工作方式

(1) 工作原理

加工中心的工作原理如图 1-6 所示。在加工中心上加工零件时，要事先根据零件加工图样的要求确定零件加工的工艺过程、工艺参数和刀具数据，再按编程手册的有关规定编写零件数控加工程序，然后通过 MDI 方式或 DNC 方式将数控加工程序送到数控系统，在数控系统控制软件的支持下，经过处理与计算后，发出相应的指令，通过伺服系统使机床按预定的轨迹运动，从而进行零件的切削加工。

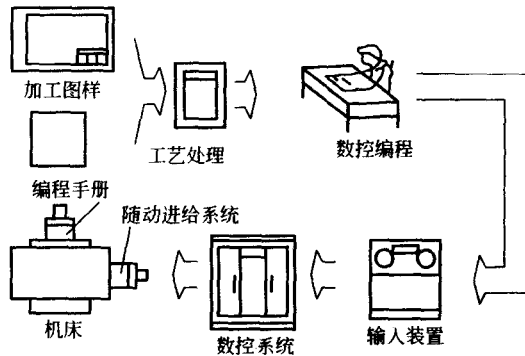


图 1-6 数控机床的工作原理

系统程序储存于计算机内存中。所有的数控功能基本上都依靠该程序完成，例如输入、译码、数据处理、插补、伺服输出等。整个数控系统的活动均由系统程序来指挥。数控系统的工作过程如下。

① 输入 大量的零件加工程序一般通过 DNC 从上一级计算机输入而来。数控系统一般有两种不同的输入工作方式：一种是边输入边加工，DNC 即属于此类工作方式；另一种是一次将零件加工程序输入计算机内部的存储器，加工时再由存储器一段一段地往外读出。

② 译码 输入的程序段含有零件的轮廓信息（起点、终点、直线、圆弧等）、要求的加工速度以及其他的辅助信息（换刀、进给速度、冷却液等）。计算机依靠译码程序来识别这些指令符号，译码程序将零件加工程序翻译成计算机内部能识别的语言。

③ 数据处理 数据处理程序一般包括刀具半径补偿、速度计算以及辅助功能的处理。刀具半径补偿是根据刀具半径值把零件轮廓轨迹转化为刀具中心轨迹。速度计算是解决该加工程序段以什么样的速度运动的问题。加工速度的确定是一个工艺问题。数控系统仅仅是保证这个编程速度的可靠实现。另外，辅助功能如换刀、冷却液等亦在这个程序

中处理。

④ 插补 在机床的实际加工中,被加工工件的轮廓形状千差万别。严格说来,为了满足几何尺寸精度的要求,刀具中心轨迹应该准确地依照工件的轮廓形状生成。对于简单的曲线,数控系统易于实现,但对于较复杂的形状,若直接生成刀具中心轨迹,势必会使计算方法变得很复杂,计算工作量也相应地大大增加。因此,在实际应用中,常常采用一小段直线或圆弧去逼近(或称为拟合)曲线,有些场合也可以采用抛物线、椭圆、双曲线和其他高次曲线去逼近曲线。

所谓插补,是在已知一条曲线的种类、起点、终点以及进给速度后,在起点和终点之间进行数据点的密化。计算机数控系统将加工时间划分为一个一个的插补周期,在每个插补周期通过插补运算形成一个微小的数据段。若干次插补周期后完成一个曲线段的加工,即从曲线段的起点走到终点。CNC系统是一边进行插补计算,一边进行加工的。本次插补周期内插补程序的作用是计算下一个插补周期的位置增量。一个数据段正式插补加工前,必须先完成诸如换刀、进给速度、冷却液等功能,即只有辅助功能完成后才能进行插补。

⑤ 伺服控制 插补的结果是产生一个或多个插补周期内的位置增量。该位置增量在上一个插补周期内已计算出来。伺服控制程序的功能是完成本次插补周期的位置伺服计算,并将结果发送到伺服驱动接口中去。

⑥ 管理程序 当一个曲线段开始插补时,管理程序即着手准备下一个数据段的读入、译码、数据处理。即由它调用各个功能子程序,且保证一个数据段加工过程中将下一个程序段准备完毕。一旦本曲线段加工完毕,即开始下一个曲线段的插补加工。整个零件加工就是在这种周而复始的过程中完成的。

(2) 工作方式

各种加工中心的工作方式基本上是类似的或相近的。其中主要有两种方式。

① 返回参考点方式 返回参考点也称为回零操作。加工中心开机后,必须首先确定机床参考点 R ,亦即确定刀具与机床原点 M 的相对位置。机床参考点确定以后,由于参考点的位置相对于机床原点的位置是固定的,刀具运动就有了基准,消除机床运动过程中的随机信号。

返回参考点就是数控系统接通电源后,操作人员使机床的所有运动坐标运动到机床参考点,以后刀具的运动就以机床参考坐标系为基准。当到达参考点 R 后,刀具相对于机床参考点 R 的坐标值为零,并在CRT上显示出来,作为刀具的实际位置。因此,在零件加工程序中,采用返回参考点功能也能将所编程的坐标轴返回参考点。该指令可在自动加工方式和手动输入/自动加工方式中被激活,但仅在本程序段中有效,且只能包含一个坐标轴。

参考点 R 的位置一般由机械挡块位置进行粗定位,然后由光电编码器进行精确定位。

数控系统在没有完成返回参考点之前,不能进行自动加工操作。

② 自动加工方式 自动加工方式,就是数控系统根据程序员编制的零件加工程序,自动控制机床对零件进行加工的工作方式。在实际加工过程开始之前,数控系统必须做好必要的准备。

1.2.2 控制方式

(1) 开环控制系统

开环控制系统是指不带反馈装置的控制系统。它是根据穿孔带上的数据指令，经过控制运算发出脉冲信号，输送到伺服驱动装置使伺服驱动装置转过相应的角度，再经过减速齿轮和丝杠螺母机构，转换为移动部件的直线位移。图 1-7 所示为开环控制系统框图。

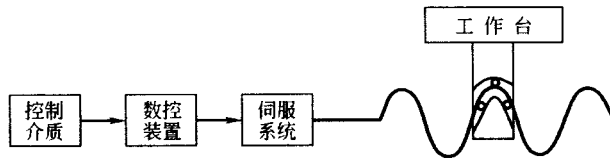


图 1-7 开环控制系统框图

由于开环控制系统不具有反馈装置，不能进行误差校正，因此系统精度较低($\pm 0.02\text{mm}$)。虽然开环控制系统具有结构简单、工作稳定、使用维修方便及成本低的优点，但它已不能满足加工中心日益提高的精度要求。

(2) 半闭环控制系统

半闭环控制系统是在开环控制系统的伺服机构中装有角位移检测装置，通过检测伺服机构的滚珠丝杠转角，间接检测移动部件的位移，然后反馈到数控装置的比较器中，与输入原指令位移值进行比较，用比较后的差值进行控制，使移动部件补充位移，直到差值消除为止的控制系统。由于半闭环控制系统将移动部件的传动丝杠螺母机构不包括在闭环之内，所以传动丝杠螺母机构的误差仍然会影响移动部件的位移精度。图 1-8 所示为半闭环控制系统框图。

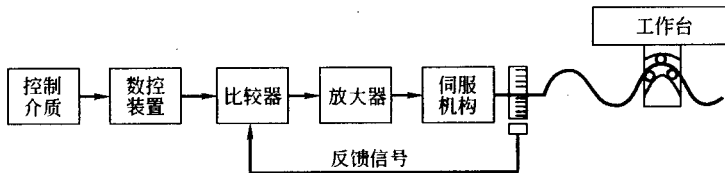


图 1-8 半闭环控制系统框图

半闭环控制系统调试方便，稳定性好，目前应用比较广泛。

(3) 闭环控制系统

图 1-9 所示为闭环控制系统框图，闭环控制系统是在机床移动部件位置上直接装有直线位置检测装置，将检测到的实际位移反馈到数控装置的比较器中，与输入的原指令位移值进行比较，用比较后的差值控制移动部件做补充位移，直到差值消除时才停止移动，达到精确定位的控制系统。

闭环控制系统定位精度高（一般可达 $\pm 0.01\text{mm}$ ，最高可达 0.001mm ），一般应用在高精度数控机床。由于系统增加了检测、比较和反馈装置，所以结构比较复杂，调试维修比较困难。

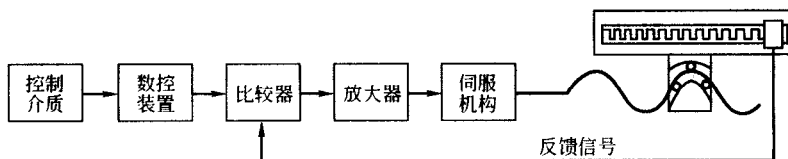


图 1-9 闭环控制系统框图

1.3 数控编程的类型及发展

数控编程一般分为手工编程和自动编程两种。

1.3.1 手工编程

手工编程就是从分析零件图样、确定加工工艺过程、数值计算、编写零件加工程序单、制备控制介质到程序校验都是由人工完成，如图 1-10 所示。

对于加工形状简单、计算量小、程序不多的零件，采用手工编程较容易，而且经济、及时。因此，在点位加工或由直线和圆弧组成的轮廓加工中，手工编程仍广泛应用。

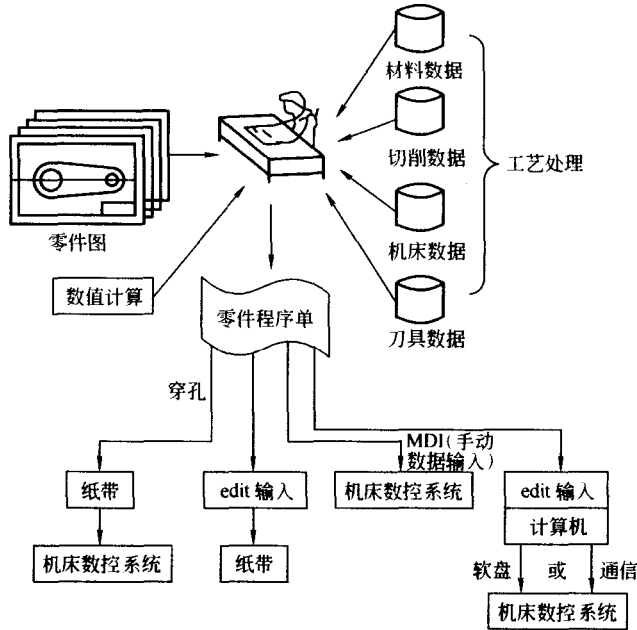


图 1-10 手工编程过程

对于形状比较复杂的零件，特别是具有非圆曲线、列表曲线、曲面组成的零件，用手工编程就有一定困难，出错的概率增大，有时甚至无法编出程序，必须用自动编程的方法编制程序。

1.3.2 自动编程

自动编程是利用计算机专用软件编制数控加工程序的过程。

编程人员只需根据零件图样的要求，使用数控语言，由计算机自动地进行数值计算机后置处理，编写出零件加工程序单，加工程序通过直接通讯的方式送入加工中心数控机床，指挥机床工作。

自动编程使得一些计算繁琐、手工编程困难或无法编出的程序能够顺利地完。

有关自动编程的内容，后面的章节里有较详细的介绍。

(1) APT 语言自动编程

APT 是一种自动编程工具 (Automatically Programmed Tools) 的简称，是一种对工件、刀具的几何形状及刀具相对于工件的运动等进行定义时所用的一种接近于英语的符号语言。把用 APT 语言书写的零件加工程序输入计算机，经计算机的 APT 语言编程系统编译产生刀位文件 (CLDATA file)，然后进行数控后置处理，生成数控系统能接受的零件数控加工程序的过程，称为 APT 语言自动编程，如图 1-11 所示。