

现代数控机床结构及设计丛书

# 数控加工中心设计

夏 田 主编

本书较全面、系统地讲述了加工中心的基本类型、组成和工作原理，各主要部件的结构、功能和特点，重点介绍了加工中心的主传动设计、进给传动系统设计、刀具交换系统以及零件交换系统。并对加工中心控制系统、检测装置以及液压系统做了详细介绍。

本书以加工中心设计方法为主线，以主传动和伺服传动、结构设计为重点，注重分析问题、解决问题和设计能力的培养。内容取材新颖、深入浅出、理论与实际相结合。反映了当今加工中心的技术发展前沿。

本书可供从事数控机床设计及应用的工程技术人员参考，也可作为大专院校相关专业课程的教材或参考书。

## 图书在版编目 (CIP) 数据

数控加工中心设计/夏田主编. —北京: 化学工业出版社, 2006. 4  
(现代数控机床结构及设计丛书)  
ISBN 7-5025-8534-6

I. 数… II. 夏… III. 数控机床加工中心-设计  
IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 034583 号

---

现代数控机床结构及设计丛书  
数控加工中心设计

夏田主编

责任编辑: 张兴辉 李军亮

责任校对: 顾淑云

封面设计: 于兵

\*

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

印刷厂印刷

装订厂装订

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 15 $\frac{3}{4}$  字数 390 千字

2006 年 月第 1 版 2006 年 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-8534-6

定 价: 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

数控机床集计算机技术、电子技术、自动控制、传感测量、机械制造、网络通信技术于一体，是典型的机电一体化产品，它的发展和运用，开创了制造业的新时代，改变了制造业的生产方式、产业结构、管理方式，使世界制造业的格局发生了巨大变化。现代的 CAD/CAM、FMS、CIMS 等，都是建立在数控技术之上。数控技术水平的高低已成为衡量一个国家制造业水平的核心标志，实现加工机床及生产过程的数控化，已经成为当今制造业的发展方向。

我国是世界上机床产量最多的国家，但数控机床的产品竞争力在国际市场中仍处于较低水平，即使在国内市场也面临着严峻的形势：一方面国内市场对各类机床产品特别是数控机床有大量的需求，而另一方面却有不少国产机床滞销积压，国外机床产品充斥市场，严重影响我国数控机床自主发展的势头。这种现象的出现，除了有经营上、产品质量上和促销手段上等的的原因外，一个最主要的原因就是新产品（包括基型、变型和专用机床）的开发周期长，不能及时针对用户的需求提供满意的产品。

为了促进我国数控机床设计技术的发展，提升国内机床设计人员的整体水平，化学工业出版社组织国内有关专家组织编写了“现代数控机床结构及设计丛书”，包括《数控机床系统设计》、《数控机床本体》、《数控系统》、《数控检测装置》、《数控车床设计》、《数控铣床设计》、《数控加工中心设计》七个分册。丛书从设计人员的实际需要出发，对先进数控机床的结构、控制系统、装置及其设计方法进行了比较详细的介绍和分析，希望能够对我国机床设计人员消化、吸收国外的先进理念和技术，提高设计质量和设计水平有所帮助。

本书为《数控加工中心设计》分册，主要讲述加工中心及其部件的基本设计理论和方法，采用最新科技成果，力图反映国内外加工中心的发展趋势；重点介绍了常用典型机构或部件的设计原理和计算实例，体现了理论性和实践性的协调统一；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；既注重知识的传授，又强调思考及分析问题的方法。本书可适应现代机床工业发展对人才知识结构的需求，并便于自学和指导设计工作。

本书由夏田担任主编。其中第 1 章由王芳编写，第 2 章、第 3 章、第 5 章、第 6 章、第 8 章由夏田、蒋晓阳编写，第 4 章由文怀兴编写，第 7 章由陈婵娟、张航伟编写。并由吴鹏、肖婷、杨立军等同志对本书的部分文稿、图稿进行了校对或绘制。

本书编写过程中，参阅了国内外同行的有关资料、教材和文献，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。

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 1 月

# 目 录

第 1 章 概述	1
1.1 加工中心的特点与应用	1
1.1.1 加工中心的特点	1
1.1.2 加工中心的主要加工对象	2
1.2 加工中心的基本组成和工作原理	5
1.2.1 加工中心的基本组成	5
1.2.2 加工中心的工作原理	6
1.3 加工中心的分类	7
1.3.1 按照机床形态分类	7
1.3.2 按换刀形式分类	11
1.3.3 按加工精度分类	12
1.3.4 按数控系统功能分类	12
1.3.5 按工作台的数量和功能分类	12
1.4 加工中心的发展方向	14
1.4.1 高速高效、高精度、高可靠性	14
1.4.2 模块化、智能化、柔性化	15
1.4.3 复合化	15
1.4.4 开放性体系结构	16
1.4.5 网络化	16
1.4.6 行业化	16
第 2 章 加工中心主传动系统	17
2.1 对加工中心主传动系统的要求	17
2.2 主传动变速系统主要参数	18
2.3 主传动变速系统设计	19
2.3.1 主传动的类型	19
2.3.2 主轴无级调速电机分级变速传动设计	21
2.3.3 典型主轴传动系统	25
2.4 主轴	26
2.4.1 主轴的主要尺寸参数	26
2.4.2 主轴轴端结构	27
2.4.3 主轴的材料和热处理	28
2.4.4 主轴主要精度指标	28
2.5 主轴内部刀具自动夹紧机构	29
2.6 主轴组件的设计要求和步骤	30
2.6.1 主轴组件的设计要求	30

2.6.2	主轴组件的设计步骤	31
2.7	主轴滚动轴承	31
2.7.1	滚动轴承类型	31
2.7.2	轴承刚度	32
2.7.3	主轴轴承配置与调整	33
2.8	主轴滑动轴承	37
2.8.1	液体动压轴承	37
2.8.2	液体静压轴承	38
2.8.3	磁力轴承	39
2.9	主轴组件的刚度计算	40
2.9.1	主轴的简化及刚度计算	40
2.9.2	支承的简化	41
2.10	主轴组件的润滑与密封	43
2.10.1	主轴轴承的润滑方式	43
2.10.2	提高主轴组件性能的措施	47
2.11	典型主轴组件	48
第3章	伺服进给系统	51
3.1	伺服进给系统的组成和分类	51
3.1.1	伺服进给系统的组成	51
3.1.2	伺服进给系统的类型	51
3.2	伺服进给系统的基本要求	52
3.3	伺服驱动装置	53
3.3.1	直流伺服电动机及其调速系统	53
3.3.2	交流伺服电动机及其调速	55
3.4	伺服进给系统的机械结构及典型元件	57
3.4.1	滚珠丝杠螺母机构	57
3.4.2	伺服电动机与丝杠的连接	62
3.4.3	典型加工中心进给传动结构	64
3.5	进给传动系统设计	64
3.5.1	提高进给传动系统性能的主要措施	64
3.5.2	伺服进给传动装置设计步骤	65
3.6	伺服进给系统的动态响应、稳定性及精度	69
3.6.1	动态性能指标	69
3.6.2	系统的稳定性	70
3.6.3	半闭环伺服进给系统的死区误差及定位精度	71
3.6.4	静态误差与伺服刚度	73
3.6.5	传动链的自然频率	74
3.6.6	加工中心伺服系统设计计算实例	75
3.7	高速进给系统	78
3.7.1	对高速伺服进给系统的要求	78

3.7.2 新型快速进给系统	79
<b>第4章 自动换刀装置和工件自动交换系统</b>	<b>88</b>
4.1 自动换刀装置	88
4.1.1 自动换刀装置的基本要求和类型	88
4.1.2 加工中心刀库类型与布局	89
4.1.3 加工中心的自动换刀装置	90
4.1.4 刀具识别装置	95
4.2 工件自动交换系统	98
4.2.1 托盘交换装置	98
4.2.2 装卸料机器人	99
4.2.3 有轨小车 (RGV)	100
4.2.4 无轨小车 (AGV)	101
4.3 回转工作台	101
4.3.1 数控回转工作台	101
4.3.2 分度工作台	103
<b>第5章 加工中心本体设计</b>	<b>107</b>
5.1 支承件的基本要求	107
5.2 加工中心支承件典型结构	108
5.2.1 床身	108
5.2.2 立柱	113
5.3 结构工艺性	115
5.4 支承件的动态特性	115
5.4.1 动态特性分析	115
5.4.2 改善支承件动态特性的措施	116
5.5 导轨设计	118
5.5.1 对导轨的基本要求	119
5.5.2 滑动导轨	120
5.5.3 滚动导轨	130
5.5.4 提高导轨耐磨性的措施	136
5.6 加工中心的精度检验	137
5.6.1 机床几何精度检验	137
5.6.2 机床定位精度检验	142
<b>第6章 位移检测装置</b>	<b>146</b>
6.1 位移测量装置的特点	146
6.1.1 检测装置的分类	146
6.1.2 数控测量装置的性能指标及要求	147
6.2 感应同步器	148
6.2.1 感应同步器的结构	148
6.2.2 感应同步器的工作原理	148
6.2.3 感应同步器的安装与接长	153

6.2.4	感应同步器主要特点	156
6.3	旋转变压器	156
6.4	光栅	158
6.4.1	光栅的构造	158
6.4.2	工作原理	159
6.4.3	光栅测量电路	161
6.4.4	光栅检测装置的特点	162
6.5	磁栅	162
6.6	脉冲编码器	166
第7章	加工中心控制系统	170
7.1	加工中心控制系统的特点和组成结构	170
7.1.1	加工中心控制系统的特点	170
7.1.2	加工中心数控装置的结构	170
7.1.3	典型数控系统体系结构	175
7.1.4	数控系统的软件结构	178
7.2	加工中心主轴驱动与控制	184
7.2.1	直流主轴驱动系统	184
7.2.2	交流主轴驱动系统工作原理	186
7.2.3	交流模拟主轴驱动系统	186
7.2.4	交流数字主轴驱动系统	191
7.2.5	主轴定位控制	191
7.3	加工中心进给伺服驱动与控制	193
7.3.1	直流伺服驱动系统	193
7.3.2	交流伺服驱动系统	199
7.3.3	交流数字伺服系统	202
7.4	加工中心 CNC 的基本结构及其连接	205
7.4.1	加工中心 CNC 的基本结构	205
7.4.2	加工中心 CNC 的连接	206
7.5	加工中心上的可编程控制器	207
7.5.1	加工中心上 PLC 的功能	208
7.5.2	加工中心上 PLC 的形式	209
7.5.3	FANUC 内置式 PLC (PMC)	210
7.5.4	FANUC PMC 在加工中心控制中的应用	217
第8章	加工中心液压、气动系统	226
8.1	概述	226
8.1.1	气、液压传动的特点	226
8.1.2	液压和气压系统在加工中心中的功能	228
8.1.3	液压系统和气压系统的组成和工作原理	228
8.2	液压传动系统中几种常见回路的工作原理	229
8.2.1	能源回路 (供油回路)	229

8.2.2	压力控制回路	229
8.2.3	速度控制回路	230
8.2.4	方向控制回路	231
8.3	典型加工中心气动、液压系统	232
8.3.1	工作台交换支路	232
8.3.2	工作台夹紧支路	234
8.3.3	刀具交换支路	235
8.3.4	主轴松刀支路	236
8.4	加工中心润滑与冷却系统	237
8.4.1	润滑的作用及其分类	237
8.4.2	加工中心的润滑	240
8.4.3	加工中心冷却系统	240
参考文献		244

# 第 1 章 概 述

加工中心 (Machining Center, 简称 MC) 是一种备有刀库并能自动更换刀具对工件进行多工序加工的数控机床。它是适应省力、省时而节能的时代要求而迅速发展起来的, 它综合了机械技术、电子技术、计算机软件技术、气动技术、拖动技术、现代控制理论、测量及传感技术以及通讯诊断、刀具和应用编程技术的高技术产品, 将数控铣床、数控镗床、数控钻床的功能并聚集在一台加工设备上, 且增设有自动换刀装置和刀库, 可在一次安装工件后, 数控系统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功能; 依次完成多面和多工序的端平面、孔系、内外倒角、环形槽及攻螺纹等加工。由于加工中心能集中完成多种工序, 因而可减少工件装夹、测量和调整时间, 减少工件周转、搬运存放时间, 使机床的切削利用率高于通用机床 3~4 倍, 达 80% 以上。所以说, 加工中心不仅提高了工件的加工精度, 而且是数控机床中生产率和自动化程度最高的综合性机床。

随着电子技术的迅速发展, 以及各种性能良好的传感器的出现和运用, 加工中心的功能日趋完善, 这些功能包括: 刀具寿命的监视功能, 刀具磨损和损伤的监视功能, 切削状态的监视功能, 切削异常的监视、报警和自动停机功能, 自动检测和自我诊断功能及自适应控制功能等。加工中心还与载有随行夹具的自动托板进行有机连接, 并能进行切屑自动处理, 使得加工中心成为柔性制造系统、计算机集成制造系统和自动化工厂的关键设备和基本单元。

## 1.1 加工中心的特点与应用

### 1.1.1 加工中心的特点

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, 加工中心已成为现代机床发展的主流方向, 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) 适应性强 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、小批量生产的情况下，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，工作条件好 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，工作条件较好。

(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作业时，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。

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。

### 1.1.2 加工中心的主要加工对象

加工中心适合于加工形状复杂、加工工序多、精度要求较高、需要用多种类型的普通机床和众多的工艺装备，且需经多次装夹和调整才能完成加工的零件。其主要加工对象有以下几类。

(1) 既有平面又有孔系的零件 加工中心具有自动换刀装置，在一次安装中，可以完成零件上平面的铣削、孔系的钻削、镗削、铰削及螺纹切削等多工步加工。加工部位可以在一

个平面上，也可以在不同的平面上。因此，既有平面又有孔系的零件是加工中心的首选加工对象，常见的这类零件有箱体和盘、套、板类零件。

① 箱体类零件 箱体类一般是指具有多个孔系，内部有型腔或空腔，在长、宽、高方向上有一定比例的零件。这类零件在机床、汽车、飞机等行业用得较多，如汽车的发动机缸体、变速箱体，机床的主轴箱以及齿轮泵的壳体等。图 1-1 是常见的几种箱体类零件。

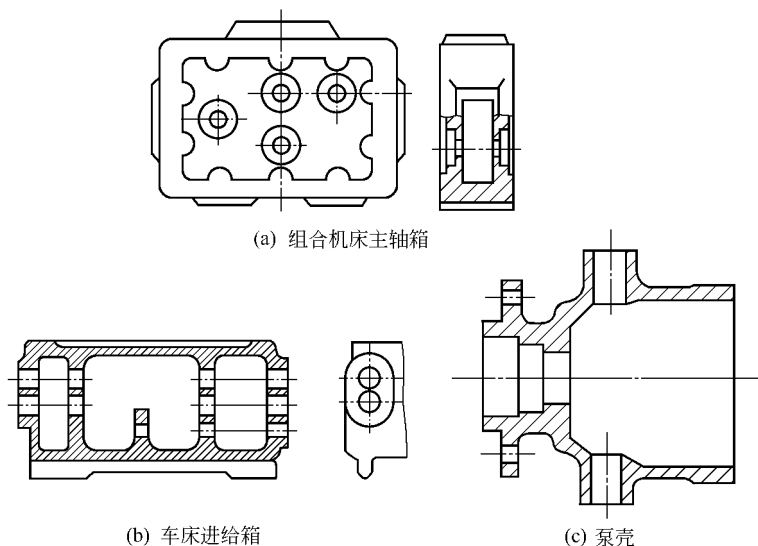


图 1-1 几种常见箱体类零件简图

箱体类零件一般都要进行多工位孔系及平面加工，精度要求较高，特别是形状精度和位置精度要求较严格，通常要经过铣、钻、扩、镗、铰、铰、铰、铰、攻螺纹等工步，需要刀具较多，在普通机床上加工难度大，工装套数多，需多次装夹找正，手工测量次数多，精度不易保证。在加工中心上一次安装可完成普通机床的 60%~95% 的工序内容，零件各项精度一致性好，质量稳定，生产周期短。

② 盘、套、板类零件 这类零件端面上有平面、曲面和孔系，径向也常分布一些径向孔（见图 1-2），如带法兰的轴套、带有键槽或方头的轴类零件以及具有较多孔加工的板类零件。加工部位集中在单一一端面上的盘、套、板类零件宜选择立式加工中心，加工部位不是位于同一方位表面上的零件宜选择卧式加工中心。

(2) 结构形状复杂、普通机床难加工的零件 主要表面是由复杂曲线、曲面组成的零件加工时，需要多坐标联动加工，这在普通机床上是较难甚至是无法加工的，加工中心是这类零件加工的最佳设备。常见的典型零件有以下几类。

① 凸轮类 这类零件有各种曲线的盘形凸轮、圆柱凸轮、圆锥凸轮、端面凸轮等，加工时，可根据凸轮表面的复杂程度，选用三轴、四轴或五轴联动的加工中心。

② 整体叶轮类 整体叶轮常见于航空发动机的压气机、空气压缩机、船舶水下推进器等，它除具有一般曲面加工的特点外，还存在许多特殊的加工难点如通道狭窄，刀具很容易与加工表面和临近曲面产生干涉。图 1-3 所示的是轴向压缩机涡轮，它的叶面是一个典型的三维空间曲面，加工这样的型面，可采用四轴以上联动的加工中心。

③ 模具类 常见的模具有锻压模具、铸造模具、注塑模具及橡胶模具等。图 1-4 所示的是连杆锻压模具。采用加工中心加工模具，由于工序高度集中，动模、静模等关键件的精

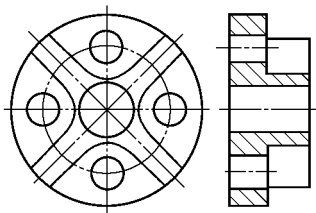


图 1-2 盘类零件

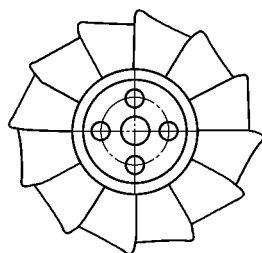


图 1-3 整体叶轮

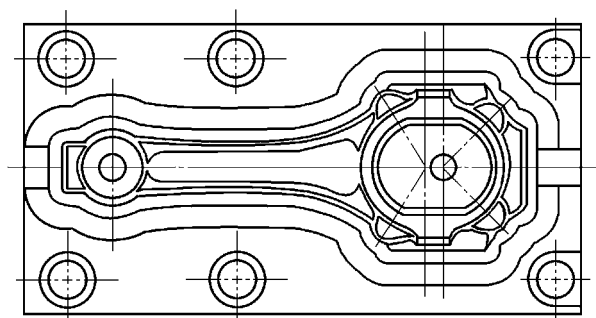


图 1-4 连杆锻压模

加工基本上是在一次安装中完成全部机加工内容，尺寸累积误差及修配工作量小。同时模具的可修复性强，互换性好。

(3) 外形不规则的异形零件 异形零件指外形不规则的零件，大多要点、线、面多工位混合加工。如支架、基座、拨叉等（见图 1-5）。异形件由于外形不规则，在普通机床上只能采取工序分散的原则加工，需用工装较多，周期较长。利用加工中心多工位点、线、面混合加工的特点，可以完成大部分甚至全部工序内容。

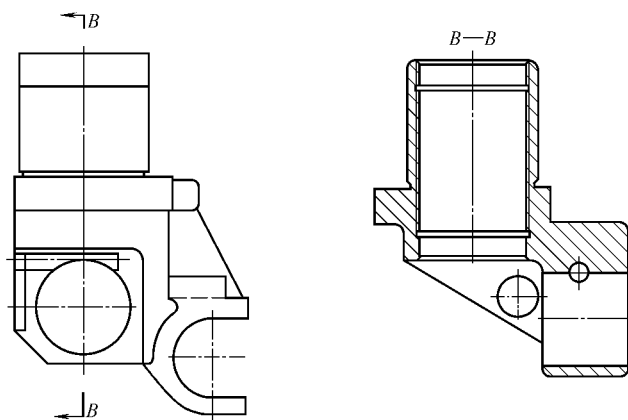


图 1-5 支架零件简图

(4) 周期性投产的零件 用加工中心加工零件时，所需工时主要包括基本时间和准备时间，其中，准备时间占很大比例。例如工艺准备、程序编制、零件首件试切等，这些时间往往是单件基本时间的几十倍。采用加工中心可以将这些准备时间的内容储存起来，供以后反

复使用。这样，对周期性投产的零件，生产周期就可以大大缩短。

(5) 加工精度要求较高的中小批量零件 针对加工中心加工精度高、尺寸稳定的特点，对加工精度要求较高的中小批量零件，选择加工中心加工，容易获得所要求的尺寸精度和形状位置精度，并可得到很好的互换性。

(6) 新产品试制中的零件 在新产品定型之前，需经反复试验和改进、选择加工中心试制，可省去许多通用机床加工所需的试制工装。当零件被修改时，只需修改相应的程序及适当地调整夹具、刀具即可，节省了费用，缩短厂试制周期。

## 1.2 加工中心的基本组成和工作原理

### 1.2.1 加工中心的基本组成

加工中心自问世至今世界各国出现了各种类型的加工中心，虽然外形结构各异，但从总体来看主要由以下几大部分组成。

(1) 基础部件 它是加工中心的基础结构，由床身、立柱、工作台等组成，它们不仅要承受加工中心的静载荷，还要承受切削加工时产生的动载荷，所以要求加工中心的基础部件必须有足够的刚度。这些大件可以是铸铁件也可以是焊接而成的钢结构件，它们是加工中心中体积和重量最大的部件。

(2) 主轴部件 由主轴箱、主轴电动机、主轴、主轴轴承等零件组成。主轴的启动、停止、变速等动作均由数控系统控制，并且通过装在主轴上的刀具参与切削运动，是切削加工的功率输出部件。主轴是加工中心的关键部件，其结构的好坏对加工中心的性能有很大的影响，它决定着加工中心的切削性能、动态刚度、加工精度等。

(3) 数控系统 单台加工中心的数控部分由 CNC 装置、可编程序控制器、伺服驱动装置以及电机等部分组成。CNC 装置是一种位置控制系统，其控制过程是根据输入的信息进行数据处理、插补运算，获得理想的运动轨迹信息，然后输出到执行部件，加工出所需要的工件。可编程序控制器替代一般机床中机床电气柜，执行数控系统指令，控制机床执行动作。数控系统主要功能有：控制功能、进给功能、主轴功能、辅助功能、刀具功能和第二辅助功能、补偿功能、字符图形显示功能、自诊断功能、通信功能、人机对话程序编制功能等。数控系统是加工中心执行顺序控制动作和完成加工过程的控制中心。

(4) 自动换刀系统 该系统是加工中心区别于其他数控机床的典型装置，它解决工件一次装夹后多工序连续加工中，工序与工序间的刀具自动储存、选择、搬运和交换任务。它由刀库、机械手、驱动机构等部件组成。刀库是存放加工过程所使用的全部刀具的装置，刀库有盘式、鼓式、链式等多种形式，容量从几把到几百把，当需换刀时，根据数控系统指令，由机械手（或通过别的方式）将刀具从刀库取出装入主轴孔中。机械手的结构根据刀库与主轴的相对位置及结构的不同也有多种形式，如单臂式、双臂式、回转式、轨道式等。有的加工中心不用机械手而利用主轴箱或刀库的移动来实现换刀。

(5) 自动托盘交换系统 有的加工中心为了实现进一步的无人化运行或进一步缩短非切削时间，采用多个自动交换工作台方式储备工件。一个工件安装在工作台上加工的同时，另外一个或几个可交换的工作台面上还可以装卸别的工件。当完成一个托盘上工件

的加工后，便自动交换托盘，进行新零件的加工，这样可以减少辅助时间，提高加工效率。

(6) 辅助装置 包括润滑、冷却、排屑、防护、液压、气动、检测系统等部分。这些装置虽然不直接参与切削运动，但对加工中心的加工效率、加工精度和可靠性起着保障作用，因此也是加工中心不可缺少的部分。

加工中心的组成如图 1-6 所示。

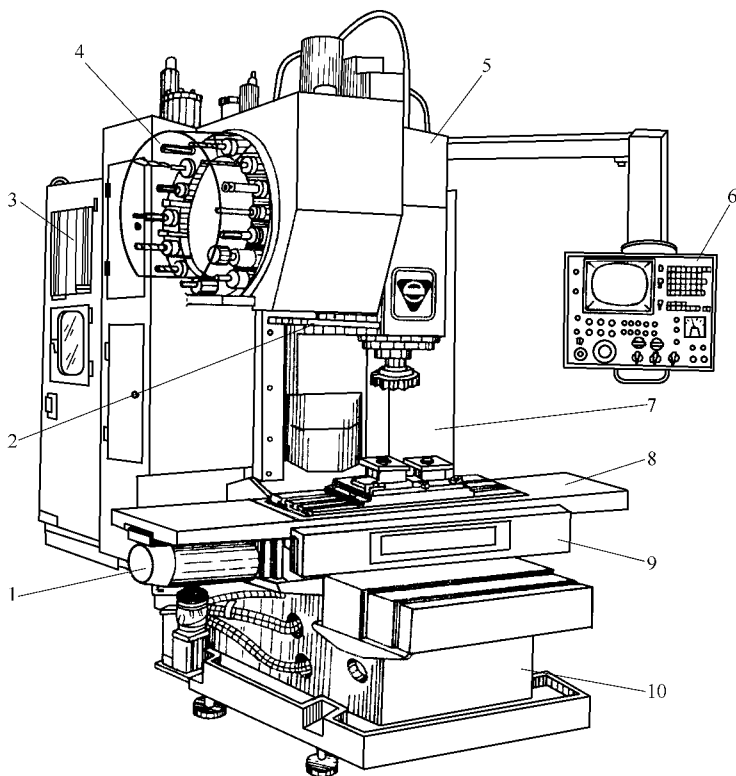


图 1-6 加工中心的组成

- 1—X 轴直流伺服电动机；2—换刀机械手；3—数控柜；4—刀库；5—主轴箱；6—操作面板；  
7—驱动电源柜；8—工作台；9—滑座；10—床身

### 1.2.2 加工中心的工作原理

加工中心的工作原理如图 1-7 所示。根据零件图纸，制定工艺方案，采用手工或计算机自动编制零件加工程序，把零件所需的机床各种动作及全部工艺参数变成机床的数控装置能接受的信息代码，并把这些代码存储在信息载体（穿孔带、磁盘等）上，将信息载体送到输入装置，读出信息并送入数控装置。另一种方法是利用计算机和加工中心的接口直接进行通信输入。

进入数控装置的信息，经过一系列处理和运算转变为脉冲信号。有的信号送到机床的伺服系统，通过伺服机构进行转换和放大，再经过传动机构，驱动机床有关部件，使刀具和工件严格执行零件程序所规定的相应运动。还有的信号送到可编程序控制器中，用以顺序控制机床的其他辅助动作，实现刀具自动更换。

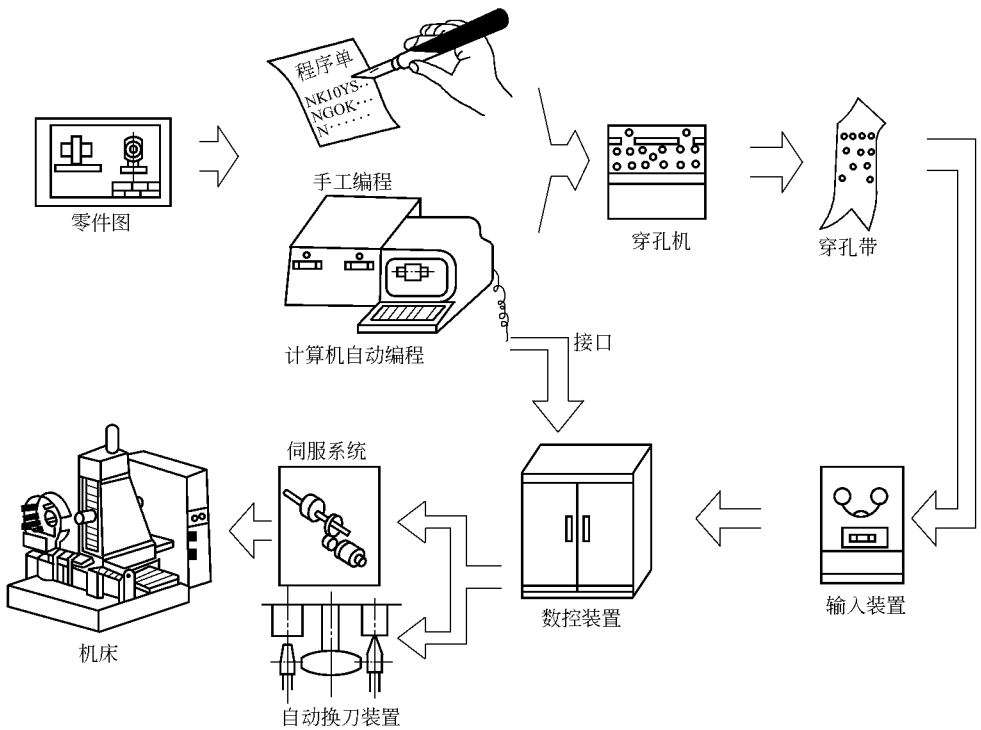


图 1-7 加工中心的工作原理

## 1.3 加工中心的分类

### 1.3.1 按照机床形态分类

(1) 立式加工中心 立式加工中心指主轴轴线为垂直状态设置的加工中心，如图 1-8 所示。其结构形式多为固定立柱式，工作台为长方形，无分度回转功能，适合加工盘、套、板类零件。

中小型立式加工中心一般都采用固定立柱式，因为主轴箱吊在立柱一侧，通常采用方形截面框架结构、米字形或井字形筋板，以增强抗扭刚度，而且立柱是中空的，以放置主轴箱的平衡重。

立式加工中心通常有三个直线运动坐标，由溜板和工作台来实现平面上 X、Y 两个坐标轴的移动。图 1-9 所示为立式加工中心的几种布局结构，主轴箱沿立柱导轨上下移动实现 Z 坐标移动。立式加工中心还可以在工作台上安放一个第四轴 A 轴，可以加工螺旋线类、圆柱凸轮等零件。

立式加工中心装卡方便，便于操作，易于观察加工情况，调试程序容易，应用广泛。但受立柱高度及换刀装置的限制，不能加工太高的零件，在加工型腔下凹的型面时，切屑不易排出，严重时损坏刀具，破坏已加工表面，影响加工的顺利进行。

立式加工中心的结构简单、占地面积小、价格相对较低。

(2) 卧式加工中心 卧式加工中心指主轴轴线为水平状态设置的加工中心，如图 1-10

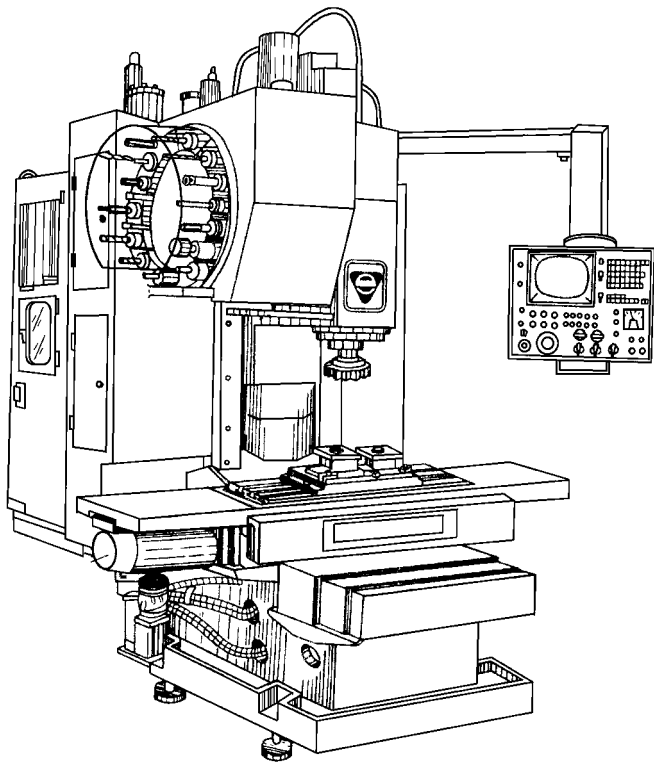


图 1-8 立式加工中心

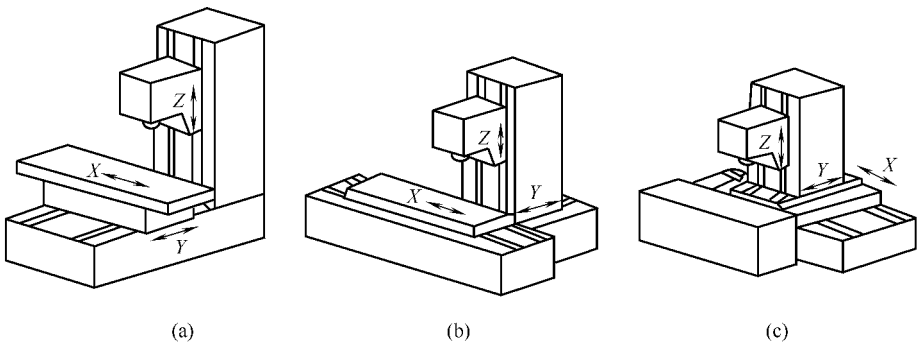


图 1-9 立式加工中心布局

所示。

卧式加工中心通常采用移动式立柱，工作台不升降，T形床身。卧式加工中心的立柱普遍采用双立柱框架结构形式，主轴箱在两立柱之间，沿导轨上下移动。这种结构刚性大，热对称性好，稳定性高。小型卧式加工中心多数采用固定立柱式结构，其床身不大，且都是整体结构。

卧式加工中心各个坐标的运动可由工作台移动或由主轴移动来完成，也就是说某一方向的运动可以由刀具固定，工件移动来完成；或者由工件固定，刀具移动来完成。图 1-11 所示为各坐标运动形式不同组合的几种布局形式。卧式加工中心一般具有三轴联动，三四个运动坐标。常见的是三个直线坐标  $X$ 、 $Y$ 、 $Z$  联动和一个回转坐标  $B$  分度，它能够一次装夹

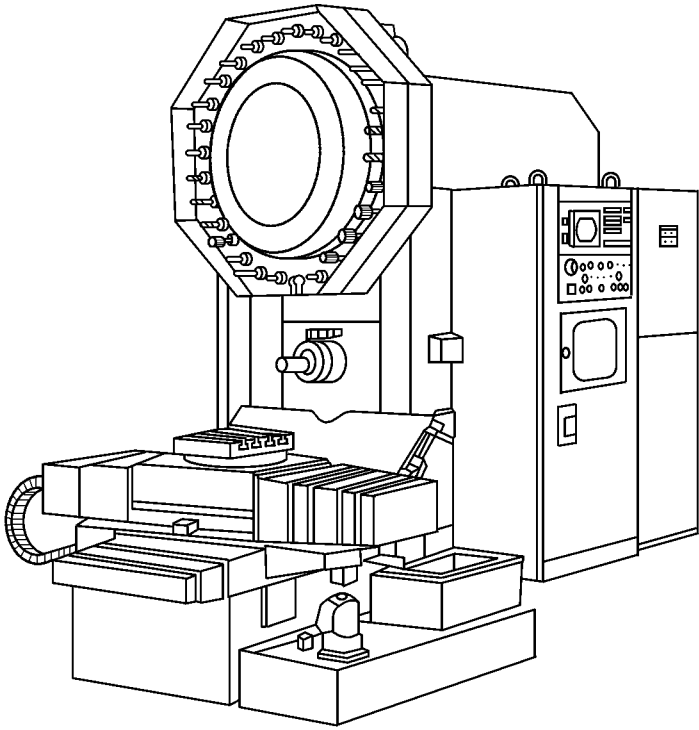


图 1-10 卧式加工中心

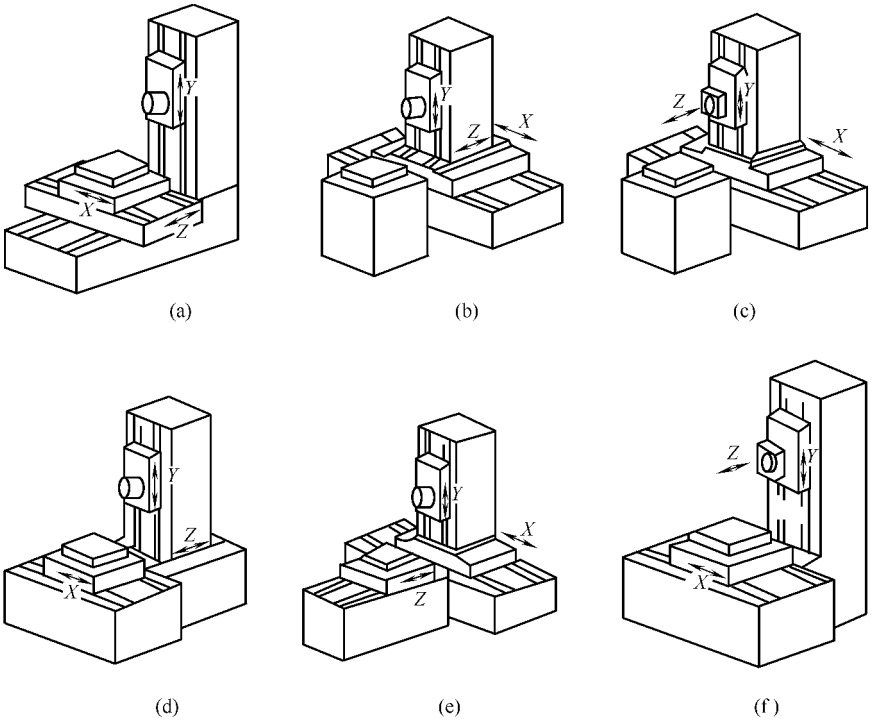


图 1-11 卧式加工中心布局