

技工到技师
考证一本通

SHUKONG XIGONG
JIAGONG ZHONGXIN
CAOZUOGONG
QUANJISHI
PEIXUN JIAOCHENG

数控铣工 / 加工中心操作工全技师
培训教程

第二版

韩鸿鸾 董先 主编

- 面向数控铣工/加工中心操作工中级工、高级工、技师、高级技师国家职业技能鉴定全过程培训
- 覆盖中级工、高级工、技师、高级技师全部鉴定考点
- 学完本书，可能你不是高级技师，但你已具备了高级技师的视野和感觉



化学工业出版社

从技工到技师
考证一本通

数控铣工 / 加工中心操作工全技师
培训教程
第二版

韩鸿鸾 董先 主编



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

数控铣工/加工中心操作工全技师培训教程/韩鸿鸾,董先主编. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2014. 4
(从技工到技师考证一本通)
ISBN 978-7-122-19702-3

I. ①数… II. ①韩…②董… III. ①数控机床-铣床-技术培训-教材②数控机床加工中心-技术培训-教材
IV. ①TG547②TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 021948 号

责任编辑: 王 焯
责任校对: 宋 玮

装帧设计: 尹琳琳

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 三河市延风印装厂
787mm×1092mm 1/16 印张 21¼ 字数 753 千字 2014 年 4 月北京第 2 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 79.00 元

版权所有 违者必究

第二版前言

本书第一版从2009年出版以来已经有四个年头，受到了广大读者的欢迎。现应读者的要求出版了第二版，第二版在第一版的基础上经过了如下处理。

删除：对于《数控铣工》与《加工中心操作工》鉴定标准中虽然有，但在实际过程中用处不太大，或已经掌握的内容进行了删除，如常见量具的应用部分。

重排：对于第一版的知识进行了部分重排，使其更贴近实际。比如，激光干涉仪的内容由数控机床的应用基础，调整到了数控机床间隙的调整部分。

合并：对于第一版的知识，进行了适当的合并，使其在应用时更为方便。比如，把PLC部分知识合并到了数控机床的组成里面。

简化：对于《数控铣工》与《加工中心操作工》鉴定标准中有，在实际过程中也经常用到，但读者基本上都了解的内容，进行了简化。比如，对于数控铣削用夹具这部分内容与第一版相比，就简化了很多。

替换：对于《数控铣工/加工中心操作工》鉴定标准中有，并且经常应用的内容，与第一版相比，已经有了新标准的，就用新标准的内容替换了原先的内容。比如，有关ISO 9000系列的内容。

增加：与第一版相比，第二版还增加了一些经常应用、具有代表性的内容。比如第二版增加了数控加工中心的选型和在线测量的内容。

本书第二版仍然作为数控铣工/加工中心操作工考评教材，在实际应用时，当地可以根据实际情况全用或选用本书的部分内容。

本书由韩鸿鸾、董先主编，韩中华、李元博、王浩副主编，王宗霞，林荣俊，刘德成，范玉成，房德涛，马述秀，刘辉峰，丛培兰，王常义，李书伟，刘海燕，蔡艳辉，安丽敏，卢超，朱晓华参加编写。全书由韩鸿鸾统稿，张玉东主审。

本书在编写过程中得到了烟台、东营、常州、广州、营口、郴州、九江、内蒙古、天津、武汉等省市的职业院校、技师学院、高级技工学校的大力帮助，得到了威海精密机床附件厂、威海联桥仲精机械有限公司、华东数控有限公司的大力支持，在此深表谢意。

由于时间仓促，编者水平有限，书中不妥之处，恳请广大读者给予批评指正。

编者于山东威海

2014年1月

前 言

本书是根据国家有关部门最新制定的国家职业标准中《数控铣工/加工中心操作工》的要求编写的。

职业资格证书等级考试的书籍很多，但大都是按初、中、高、技师（高级技师）几个等级分册编写的。这种编写方式适合不同等级的学习考试，但不适合全过程的培训，随着技术学院、高级技校、技师学院及各种培训机构的增加，高级工、技师（高级技师）全过程的培训也在快速增加，社会上迫切需要适合这种形式的书籍。这本书就是在这种形势下编写的。

何谓“全技师教程”？

全技师教程是指本书的知识体系涵盖数控中级工、高级工、技师、高级技师各等级的全部知识点。一书在手，可以完成从中级工到高级技师的蜕变。

本书既是数控职业培训教材编写方式的创新，更是数控职业教育模式的拓展和延伸。除此之外，本书还有以下几方面特色。

1. 体现以职业能力为本位，以应用为核心，以“必需、够用”为限度，突出“零起点快速上岗”的特点，紧密联系生活、生产实际，与相应的职业资格标准相互衔接。

2. 注意用新观点、新思想来审视、阐述经典内容；适应经济社会发展和科技进步的需要，及时更新教学内容，反映新知识、新技术、新工艺、新方法。引用数据、图表、材料可靠。精选了大量的实例。

3. 渗透职业道德和职业意识教育；体现就业导向，有助于学生树立正确的择业观；培养学生爱岗敬业、团队精神和创业精神；树立安全意识和环保意识。知识体系设计合理，循序渐进，符合学生心理特征和认知、技能养成规律；文字规范、简练，符合语法规则；语句通顺流畅，条理清楚，可读性强；标点符号、计量单位使用规范正确；图文并茂，配合得当；图表清晰、美观，图形绘制和标注规范，缩比恰当。

本书不仅可以作为工人培训、数控机床操作与维修人员用书，更适合于高等职业院校、高等专科学校、成人高校及本科院校举办的二级职业技术学院、技术（技师）学院、高级技校、继续教育学院和民办高校的数控与机电专业用书。

作为数控铣工/加工中心操作工考评教材，在实际应用时，当地可以根据实际情况全用或选用本书的相关内容。

本书由韩鸿鸾、王常义、吴海燕主编，丛军滋、陶建海、马九营、张玉东副主编，倪建光、李鲁平、曲善珍、李秀英、徐朝明、王吉明、祝强、孙明旗、原宗飞、李书伟、宋修祥、王凤娇、林清霞、邢晓卉等参加了编写，全书由韩鸿鸾统稿，南京工程学院的毕毓杰主审。

本书在编写过程中得到了烟台、东营、常州、广州、营口、郴州、九江、内蒙古、天津、武汉等省市的职业院校、技师学院、高级技工学校的大力帮助，得到了威海精密机床附件厂、威海联桥仲精机械有限公司、华东数控有限公司的大力支持，在此深表谢意。

由于时间仓促，编者水平有限，书中不妥之处，恳请广大读者给予批评指正。

编者
于山东威海

目 录

第一篇 数控铣床/加工中心的应用基础	1
第一章 数控机床的基础知识	1
第一节 认识数控机床	1
一、基本概念	1
二、数控机床的产生	1
三、数控机床的分类	1
四、数控机床的发展	4
五、加工中心的选型	4
第二节 数控机床的组成	7
第三节 先进制造系统简介	12
一、计算机直接数控系统 (DNC)	12
二、柔性制造单元 FMC	13
三、柔性制造系统 FMS	14
四、计算机集成制造系统 CIMS	14
五、数控机床的网络技术	14
第二章 数控铣床/加工中心的应用	15
第一节 数控铣床/加工中心	15
一、数控铣削加工的主要对象	15
二、数控机床坐标系	16
第二节 数控铣削加工的组织与质量管理	18
一、成组技术在数控加工中的应用	18
二、“5S”管理	19
三、文明生产	20
四、数控机床安全生产规程	22
五、ISO 9000 族标准	24
第三节 数控铣床/加工中心的安装与精度检验	25
一、数控铣床的安装	25
二、数控铣床/加工中心几何精度	27
三、数控铣床/加工中心定位精度	27
四、数控铣床/加工中心加工精度	28
五、机床空运转试验	28
六、机床连续空运转试验	28
七、机床负荷试验	28

八、最小设定单位试验	29
九、原点返回试验	29
第四节 数控铣床/加工中心的维护保养	29
一、保养的内容和要求	29
二、加工中心保养的操作	32
第二篇 FANUC 系统数控铣床/加工中心	41
第三章 数控机床的操作与仿真	41
第一节 数控铣床/加工中心的手动操作	41
一、操作面板简介	41
二、数控铣床/加工中心的手工操作	41
三、与参考点有关的指令	44
第二节 对刀与参数设置	45
一、对刀	45
二、工件坐标系的设定	49
三、PMC 的参数设置	50
第三节 程序编辑与自动加工	52
一、程序编辑	52
二、程序的输入与输出	53
三、自动加工	56
四、镜像功能	57
五、程序的再启动	57
六、程序的复制	59
七、移动部分程序	60
八、合并程序	61
第四章 平面与外轮廓加工	62
第一节 平面加工	62
一、数控铣床/加工中心用铣平面夹具	62
二、在数控铣床/加工中心上加工平面常用刀具	65
三、平面铣削工艺	66
四、数控程序编制的基础	66
五、平面度误差的检测	70
六、平面加工中常见误差	71
第二节 外轮廓的加工	72
一、数控铣削加工工序的划分	73
二、铣削内外轮廓的进给路线	73
三、数控加工工艺文件	74
四、指令介绍	76
五、刀具半径补偿	78
第五章 孔系加工与箱体类零件加工	82
第一节 孔系加工	82
一、孔加工用刀具	82
二、孔加工的进给路线	84

三、孔加工的固定循环功能	87
四、孔加工常见误差及修正	96
第二节 箱体零件的加工	97
第六章 槽与复合轮廓加工	104
第一节 槽类零件的加工	104
一、槽的加工工艺	104
二、子程序	106
三、导致键槽产生加工误差的原因	108
第二节 复合轮廓的加工	109
一、机夹可转位刀片及代码	109
二、坐标变换	110
三、极坐标编程	113
第七章 曲面加工	117
第一节 非圆曲线轮廓与固定斜角平面铣削	117
一、加工原理	117
二、用户宏程序	118
三、B类宏程序编程	118
四、用户宏程序的调用	120
五、非圆曲线轮廓铣削	121
六、固定斜角平面铣削	121
七、通用宏程序的编写	124
第二节 曲面的加工	126
一、刀具	126
二、曲面轮廓加工工艺	127
第八章 特殊零件加工	131
第一节 螺旋件的加工	131
一、夹具	131
二、铣削螺纹	131
三、螺旋线加工	131
四、柱面坐标编程 [G07.1 (G107)]	133
五、螺旋面和槽(凸轮)的误差分析	135
第二节 型腔加工	136
第三节 特殊零件加工	141
一、G10/G11的应用	141
二、托盘的应用	148
三、动力头编程	150
第四节 配合件的加工	152
第三篇 SIEMENS (802D) 系统数控铣床/加工中心	155
第九章 SIEMENS (802D) 数控铣床/加工中心的操作与仿真	155
第一节 数控铣床/加工中心的程序编辑	155
一、系统控制面板	155
二、SIEMENS 802D 机床控制面板	155

三、程序编辑	156
四、通过 RS232 接口进行数据传送	159
五、插入固定循环	159
第二节 对刀与参数的设定	160
一、输入刀具参数及刀具补偿参数	160
二、输入/修改零点偏置值	164
三、设定编程数据	166
四、设定 R 参数值	166
五、PLC 参数的设置	167
第三节 数控铣床/加工中心的操作与仿真	168
一、开机与关机	168
二、刀具装夹	168
三、回参考点	169
四、手动控制进给运动	170
五、MDA 运行方式 (手动输入)	171
六、自动加工	173
七、程序段搜索	175
八、执行外部程序 (由 RS232 接口输入)	175
九、坐标系切换	177
第十章 轮廓加工	178
第一节 外轮廓的加工	178
一、基本知识	178
二、基本准备功能介绍	180
三、其他指令	184
四、循环	184
第二节 内轮廓的加工	194
一、子程序	194
二、极坐标与柱面坐标	195
三、坐标变换	197
第十一章 孔系与型腔加工	204
第一节 孔系零件的加工	204
一、孔加工固定循环简介	204
二、加工实例	206
第二节 槽类零件与型腔加工	209
一、铣槽循环	209
二、型腔铣削	210
三、加工实例	214
第三节 在线测量	217
一、工件测量头	218
二、CYCLE 978 平面的测量	218
第十二章 特殊零件的加工	225
第一节 螺旋加工	225
一、螺旋线加工	225

二、螺纹循环加工	226
第二节 非圆曲线的加工	233
一、参数编程的基本概念	233
二、R 参数的运算	234
三、跳转指令	234
四、加工实例	235
第四篇 多轴与高速加工	237
第十三章 多轴与高速加工	237
第一节 多轴加工	237
一、手工编程	237
二、自动编程——手机模具的加工	242
第二节 高速加工	250
一、手工编程	250
二、自动编程	252
第五篇 数控机床的调整与故障排除	256
第十四章 数控机床的调整	256
第一节 数控机床有关参考点的调整	256
一、增量方式回参考点	256
二、绝对方式回参考点	258
三、距离编码回零	259
第二节 位置精度补偿	262
一、手动补偿	262
二、自动补偿	270
第十五章 数控车床的故障排除	282
第一节 FANUC 系统数控车床故障的排除	282
一、数控车床的加工故障与排除方法	282
二、常见报警故障的排除	285
第二节 SIEMENS 数控车床故障报警	285
试题库——技能试题	287
第一部分 中级工技能试题	287
一、铣样板	287
二、圆弧连接板	288
第二部分 高级工技能试题	290
一、按要求加工图 5 所示零件	290
二、按要求加工图 6 所示零件	291
第三部分 技师技能试题	291
一、配合件的加工（一）	291
二、配合件的加工（二）	294
三、软件应用题	295

第四部分 数控铣工/加工中心操作工高级技师操作技能考核试卷	296
试题库——理论试题	305
一、选择题	305
二、判断题	315
理论试题答案	320
附录 数控铣工/加工中心技师（高级技师）论文写作与答辩要点	322
一、论文写作	322
二、论文的答辩	323
参考文献	324

第一章 数控机床的基础知识

第一节 认识数控机床

中级工内容

一、基本概念

数字控制 (Numerical Control) 简称数控 (NC), 是一种借助数字、字符或其他符号对某一工作过程 (如加工、测量、装配等) 进行可编程控制的自动化方法。

数控技术 (Numerical Control Technology) 是指用数字量及字符发出指令并实现自动控制的技术, 它已经成为制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础技术。

数控系统 (Numerical Control System) 是指采用数字控制技术的控制系统。

计算机数控系统 (Computer Numerical Control) 是以计算机为核心的数控系统。

数控机床 (Numerical Control Machine Tools) 是指采用数字控制技术对机床的加工过程进行自动控制的一类机床。国际信息处理联盟 (IFIP) 第五技术委员会对数控机床定义如下: 数控机床是一个装有程序控制系统的机床, 该系统能够逻辑地处理具有使用号码或其他符号编码指令规定的程序。定义中所说的程序控制系统即数控系统。

二、数控机床的产生

1949 年美国空军后勤司令部为了在短时间内造出经常变更设计的火箭零件与帕森斯 (John C. Parson) 公司合作, 并选择麻省理工学院伺服机构研究所为协作单位, 于 1952 年研制成功了世界上第一台数控机床。1958 年, 美国的克耐·杜列克公司 (Keaney & Trecker corp-K&T 公司) 在一台数控镗铣床上增加了自动换刀装置, 第一台加工中心问世了, 现代意义上的加工中心是 1959 年由该公司开发出来的。我国是从 1958 年开始研制数控机床的。

三、数控机床的分类

目前数控机床的品种很多, 通常按下面几种方法进行分类。

1. 按工艺用途分类

数控机床按工艺用途可分为一般数控机床和数据加工中心, 见表 1-1-1。

(1) 一般数控机床 如数控车床、数控钻床、数控铣床、数控磨床等。

(2) 数控加工中心 这类数控机床是在一般数控铣床上加装一个刀库和自动换刀装置, 构成一种带自动换刀装置的数控机床。

2. 按可控制联动的坐标轴分类

所谓数控机床可控制联动的坐标轴, 是指数控装置控制几个伺服电动机, 同时驱动机床移动部件运动的坐标轴数目。

表 1-1-1 按加工方式与工艺用途分类

分类方式		图示举例
加工方式	工艺用途	
金属切削类数控机床	一般数控机床	 <p>数控车床 数控钻床 数控铣床 数控磨床</p>
	数控加工中心	 <p>卧式加工中心 立式加工中心 五面加工中心 并联加工中心</p>
金属成形类数控机床		 <p>数控折弯机 数控全自动弯管机 数控旋压机</p>
数控特种加工机床		 <p>数控电火花线切割机床 数控电火花成形加工机床 数控激光切割机</p>
其他类型数控机床		 <p>数控火焰切割机 数控三坐标测量机</p>

(1) 两坐标联动 数控机床能同时控制两个坐标轴联动,即数控装置同时控制 X 和 Z 方向运动,可用于加工各种曲线轮廓的回转体类零件。或机床本身有 X 、 Y 、 Z 三个方向的运动,数控装置中只能同时控制两个坐标,实现两个坐标轴联动,但在加工中能实现坐标平面的变换,用于加工图 1-1-1(a) 所示的零件沟槽。

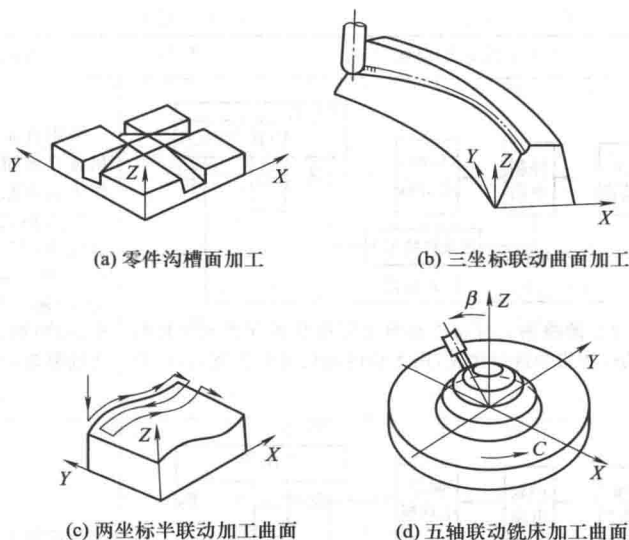


图 1-1-1 空间平面和曲面的数控加工

(2) 三坐标联动 数控机床能同时控制三个坐标轴联动,此时,铣床称为三坐标数控铣床,可用于加工曲面零件,如图 1-1-1(b) 所示。

(3) 两坐标半联动 数控机床本身有三个坐标能作三个方向的运动,但控制装置只能同时控制两个坐标,而第三个坐标只能作等距周期移动,可加工空间曲面,如图 1-1-1(c) 所示零件。数控装置在 ZX 坐标平面内控制 X、Z 两坐标联动,加工垂直面内的轮廓表面,控制 Y 坐标作定期等距移动,即可加工出零件的空间曲面。

(4) 多坐标联动 数控机床能同时控制四个以上坐标轴联动,多坐标数控机床的结构复杂、精度要求高、程序编制复杂,主要应用于加工形状复杂的零件。五轴联动铣床加工曲面形状零件,如图 1-1-1(d) 所示。

3. 按加工方式分类

数控机床按加工方式可分为金属切削类、金属成形类、特种加工类以及其他类型的数控机床,见表 1-1-1。

4. 按控制方式分类

数控机床按照对被控量有无检测反馈装置可分为开环控制和闭环控制两种。在闭环系统中,根据测量装置安放的位置又分为全闭环控制和半闭环控制两种,见表 1-1-2。

表 1-1-2 数控机床按照控制方式分类

控制方式	图示与说明	特点	应用
开环控制	<p>数控装置将工件加工程序处理后,输出数字指令信号给伺服驱动系统,驱动机床运动。由于没有检测反馈装置因此不检测运动的实际位置,没有位置反馈信号。因此,指令信息在控制系统中单方向传送,不反馈</p>	<p>采用步进电动机作为驱动元件。 开环系统的速度和精度都较低;但是,控制结构简单,调试方便,容易维修,成本较低</p>	<p>广泛应用于经济型数控机床上</p>

续表

控制方式	图示与说明	特点	应用
全闭环	<p>安装在工作台上的检测元件将工作台实际位移量反馈到计算机中,与所要求的位置指令进行比较,用比较的差值进行控制,直到差值消除为止</p>	<p>采用直流伺服电动机或交流伺服电动机作为驱动元件。</p> <p>加工精度高,移动速度快;但是电动机的控制电路比较复杂,检测元件价格昂贵,因而调试和维修比较复杂,成本高</p>	<p>广泛应用于加工精度高的精密型数控机床中</p>
闭环控制 半闭环	<p>系统反馈环内不包含工作台。系统不直接检测工作台的位移量,而是采用转角位移检测元件,测出伺服电动机或丝杠的转角,推算工作台的实际位移量,反馈到计算机中进行位置比较,用比较的差值进行控制</p>	<p>控制精度比闭环控制差,但稳定性好,成本较低,调试维修也较容易,兼具开环控制和闭环控制两者的特点</p>	<p>应用比较普遍</p>

四、数控机床的发展

数控机床的发展趋势是:工序集中;高速、高效、高精度;方便使用;多功能化;智能化;高可靠性;高柔性化;小型化与开放式体系结构。如纳米铣床加工就是纳米加工头通过刀柄夹装到铣床上,通过铣床工作台或主轴的移动,带动纳米加工头对工件表面进行纳米加工,可实现平面、曲面加工。一次加工到镜面效果,一般 R_a 值都在 0.1 以下。其优势是:可代替传统的手工平面抛光、研磨;抛光表面无波浪形,几何尺寸稳定;解决曲面抛光的难题,无污染,抛光效率大大提高;预置压应力,提高工件表面硬度、提高工件表面质量(疲劳寿命、耐磨性、耐腐蚀性);降低成本。

五、加工中心的选型

1. 卧式加工中心

卧式加工中心是企业常用的高效、自动加工设备,其适用范围广、功能强、价格高。随着制造技术的进步,机床结构不断推陈出新、功能日益增强,并出现了各种高效、高速、高精度加工和五轴加工机床,以至于部分设计人员在机床设计或设备选用时出现了一些问题。本文就卧式加工中心的型号、结构形式、自动换刀、工作台交换和五轴加工等基本问题进行了分析和说明,指出了不同形式机床的特点及适用范围,希望能作为机床设计人员和设备选用者提供参考。

(1) 机床型号 根据 GB/T 15375—2008 (包括 1994 版)《金属切削机床型号编制方法》标准规定,国产卧式加工中心一般归为卧式镗铣类机床的 TH63 $\times\times$ 组,但由于传统习惯,绝大多数卧式加工中心型号中的主参数是机床回转工作台的规格,而不是标准中所规定的镗轴直径。例如,TH6363 表示其回转工作台的规格为 630mm \times 630mm 等。

GB/T 15375 标准未对工作台自动交换 (APC)、五轴加工和复合加工规定专门的通用特性、结构特性代号,因此,此类机床的型号一般由机床生产厂家自行命名,目前尚不规范。例如,北京机床研究所将以卧式车床为基础的车铣复合机床的型号定义为 CXHA61 $\times\times$,沈阳机床集团将以刨台卧式镗铣床为基础的车铣复合机床的型号定义为 TCHA65 $\times\times$ 等,都是既符合标准又能代表机床特性的较好命名方法。

值得一提的是,金属切削机床实际上分为传统加工和非传统加工(特种加工)两类,GB/T 15375 标准

适用于传统加工机床，而电加工等特种加工机床的型号编制有自己的标准（JB/T 7445.1—2005），但在部分大专院校的教材上，认为特种加工机床是属于 GB/T 15375 标准类别代号为 D 的机床，这种说法值得商榷。

(2) 结构形式 卧式加工中心的结构形式在很大程度上决定了机床的基本性能和适用范围，在设计和选用时需要首先予以确定。

卧式加工中心的基本结构有工作台移动、立柱移动和主轴箱移动 3 种。工作台移动、立柱移动是卧式镗铣床的传统结构；主轴箱移动是为适应现代高速、高精度加工要求而研发的新颖结构。卧式机床的 Y 轴总是为主轴箱运动，故以上移动方式仅针对 X、Z 轴而言。

工作台移动的机床利用十字滑台实现 X、Z 运动，其床身通常为一字形（近似矩形），Z 轴在下、X 轴在上，工作台安装在 X 轴滑台上。这种机床的主轴刚性好、精度高，机床安装运输较方便，但工作台的结构层次多、左右运动的 X 轴支承刚性差，有时需要加辅助导轨，故较适合于小型卧式加工中心。

立柱移动卧式加工中心的床身为 T 形，立柱在床身上作 X、Z 向十字运动，工作台位置固定。这种机床的 X、Y、Z 三轴运动部件的重量恒定，机床刚性好，工作台承载能力强，工作台交换实现容易，但由于立柱连同主轴箱需要整体移动，运动部件的体积大、重量重，其快速移动速度、定位精度的提高较困难，故多用于大中型机床。

工作台移动和立柱移动的机床各有优缺点，为此，大中型卧式加工中心经常采用工作台/立柱混合移动结构，以减少结构层次、减轻运动部件重量、提高工作台承载能力。混合移动机床有 Z 轴为工作台移动、X 轴为立柱移动和 X 轴为工作台移动、Z 轴为立柱移动两类，前者 X 轴行程较短、工作台左右位置固定，适合于带矩形转台的大中型箱体加工机床；后者结构类似于刨台卧式数控镗铣床，X 轴行程大，适合于无转台的床身、梁等长工件加工机床。

主轴箱移动是用于高速、高精度加工机床的新颖结构，它采用了宽框立柱，主轴箱随框式滑台的左右运动为 X 轴，在滑台上的上下运动为 Y 轴；滑枕主轴在主轴箱内的轴向运动为 Z 轴。由于机床具有立柱外框和滑台、主轴箱内框，故称为“框中框”或“箱中箱”结构。

主轴箱移动的机床运动部件重量轻、结构对称性好，热变形小，自动换刀、工作台交换方便，但主轴刚性较差、输出转矩较小，故多用于高速卧式加工中心。为提高主轴刚性和精度，加大主轴输出转矩，实际机床也常采用工作台/主轴箱混合移动结构，此类机床的 X/Y 轴保留了主轴箱移动运动部件重量轻、对称性好、热变形小的优点；而 Z 轴以工作台移动代替了滑枕，具有工作台移动机床主轴刚性好、精度高的优点，这是高速、高精度卧式加工中心常用的结构形式。

(3) 自动换刀 加工中心的刀库容量、刀具规格、换刀速度在很大程度上决定了机床的加工能力和效率，由于卧式加工中心的使用范围广、加工零件较复杂，对自动换刀装置（ATC）的要求高于立式加工中心，在机床设计和选用时应慎重考虑。

卧式加工中心的 ATC 虽然形式众多，但总体分为无机械手换刀和机械手换刀两种。

无机械手换刀的刀具交换需要通过刀库或主轴的相对运动实现，其结构简单、动作可靠、控制容易，但刀具不能预选，换刀时间较长。另外，为保证主轴能够直接装取刀具，刀具必须与主轴平行布置，刀库只能布置于紧靠主轴的侧前方或立柱上方，故适合于刀库容量较小的小型卧式加工中心。

机械手换刀的机床刀库布置灵活、容量大、换刀快捷且可实现刀具预选，这是目前普遍采用的换刀方式。机械手换刀的刀库一般置于立柱侧面，高速换刀机床的机械手无移位运动，当刀具与主轴平行布置时，机械手只需要进行伸缩、回转动作；如刀具与主轴垂直布置，则需要增加换刀位刀具的 90° 翻转运动。

在中大型卧式加工中心上，也有刀库远离主轴、刀具与主轴垂直的布置方式，这种机床在换刀时需要有机械手平移、转位等运动，换刀时间较长，ATC 结构和控制也较复杂，故多用于对换刀速度要求不高的大型卧式加工中心。

(4) 工作台交换 加工中心配备工作台（托盘）自动交换装置（APC），可以节省工件装卸时间，提高效率，在机床设计和选用时应根据需要予以考虑。

卧式加工中心的 APC 与机床的结构密切相关，总体可分 180° 回转式和移动推拉式两类，前者又有平台回转、托架回转和托架移动回转 3 种。

平台回转式 APC 的工作位和装卸位的两个托盘固定安放在大型回转平台上，托盘交换只需要进行平台 180° 回转。这种 APC 的支承刚性好、回转平稳、动作简单、控制容易，但其体积较大、重量较重，两侧的工作台位置必须固定不变，故只能用于立柱或主轴箱移动的加工中心。

托架回转式 APC 的工作位和装卸位的两个托盘独立安放，交换时通过托架抬起将两工作台取出，然后托

架回转 180° 交换两侧托盘。这种 APC 的结构紧凑、体积小、重量轻，但工作台的载重较小且不能有左右运动，这是中小型立柱移动、主轴箱移动或 Z 轴为工作台移动的混合移动机床普遍使用的形式。

APC 的结构和交换动作与托架回转类似，但托盘有工作位、工作侧换位、装卸位 3 个安放位置，交换前需要将 X、Z 轴运动至规定位置，然后伸出托架、将托盘拉到工作侧换位，才能进行托架抬起、180° 回转、托架落下等动作。这种 APC 虽占地面积较大，动作相对复杂，但它可独立于机床安装，便于产品模块化、系列化，这是中小型工作台移动式机床普遍采用的形式。

托架移动回转式 APC 的体积大、工作台承载小，因此，大型工作台移动式加工中心一般采用移动推拉式 APC。

移动推拉式 APC 可用于工作台移动或工作台/立柱混合移动的机床，托盘交换通过电动机或气动、液压油缸的推拉、平移实现。移动推拉式 APC 的装卸侧有两个位置，一个用来放置从工作位置拉出的托盘（空位）；另一个安装需要换上（推入）的托盘，两个位置随着工作台交换的不断进行交替变换。交换时先将托盘拉到空位上；接着 X 轴移动到推入位置，将需要换上的托盘推入到工作位置。

移动推拉式 APC 的支承刚性好、运动平稳安全、结构简单，因此，多用于大型机床，但它对切屑清理的要求高，交换时易因切屑落入导轨而影响精度和正常动作。

(5) 五轴加工 卧式加工中心的回转工作台（B 轴）布置十分方便，大多数机床为四轴控制。但是，由于其主轴箱一般位于框式立柱内，主轴摆动十分困难，故很难像立式机床那样采用主轴摆动和回转的五轴加工方式，因而，配置两轴回转工作台几乎是卧式五轴加工目前的唯一选择。此外，为保证机床的加工能力和性能，卧式加工中心的主轴输出转矩较大，主轴最高转速通常低于立式机床，其高速铣削加工性能亦不及立式机床。

卧式五轴加工中心的两轴回转工作台有 B 轴回转、A 轴摆动（只能在指定范围内回转称摆动）和 A 轴回转、B 轴摆动两种。

配 B 轴回转、A 轴摆动转台的机床在四轴以下加工时，工作台位于水平位置、B 轴可 360° 回转，其作用相当于四轴卧式加工中心；需要五轴加工时，整个工作台可绕水平 X 轴摆动（A 轴），摆动角一般在 120°（-15°~105°）左右。此类机床的工作台大、刚性好、工作台交换容易，故适合于大型复杂箱体、泵类零件的五轴加工；但由于四轴摆动角度较小，不宜用于叶片、叶轮类零件加工。

配 A 轴回转、B 轴摆动转台的机床工作台为垂直布置，工作台可绕 X 轴 360° 回转（A 轴），在四轴以下加工时，工作台安装平面可在与主轴平行或垂直的位置上 360° 回转，机床功能类似于带 C 轴或 B 轴的四轴立式加工中心；需要五轴加工时，工作台可绕 Y 轴摆动（B 轴）使安装平面和主轴倾斜，摆动角一般在 165° 左右（-120°~45°）。这种结构机床的 B 轴摆动范围较大，适合于小型叶片叶轮类零件的五轴加工，但工作台规格和承载力小，工作台交换复杂。

2. 立式加工中心

立式加工中心以五轴加工中心为例来介绍。立式五轴加工中心分为两大类：一种是如图 1-1-2 所示，工作台回转轴。设置在床身上的工作台可以环绕 X 轴回转，定义为 A 轴，A 轴一般工作范围为 -120°~30°。工作台的中间还设有一个回转台，环绕 Z 轴回转，定义为 C 轴，C 轴都是 360° 回转。这样通过 A 轴与 C 轴的组合，固定在工作台上的工件除了底面之外，其余的五个面都可以由立式主轴进行加工。A 轴和 C 轴最小分度值一般为 0.001°，这样又可以把工件细分成任意角度，加工出倾斜面、倾斜孔等。A 轴和 C 轴如与 X、Y、

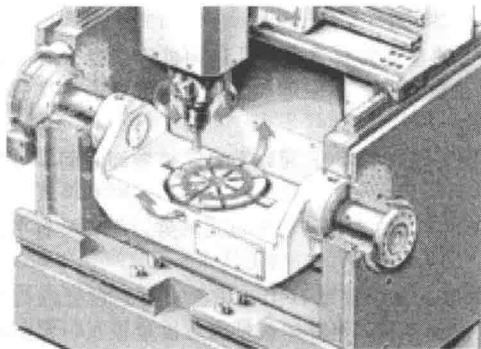


图 1-1-2 工作台回转



图 1-1-3 主轴头回转