



加工中心 设计与应用

廉元国 张永洪 编著

机械工业出版社

加工中心设计与应用

廉元国 张永洪 编著



机械工业出版社

本书作者总结了长期从事加工中心的设计、制造和应用工作的经验,叙述了加工中心(自动换刀数控镗铣床)的床身、工作台、主轴系统、伺服进给系统、刀库、机械手等各个部件的设计原理、计算方法、具体结构和精度要求。并在此基础上,介绍了加工中心的验收、刀具系统配置、合理选型和有效的使用,论述内容结合实际,图文并茂,实用性强。

本书适用于从事加工中心的研究、设计、制造、销售、操作、维修和管理人员,对数控机床的设计、生产、使用和教学人员也具有参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

加工中心设计与应用/廉元国、张永洪编著.-北京:机械工业出版社,1995

ISBN 7-111-04753-2

I. 加… II. 廉… III. ①金属加工-机床-机械设计②金属加工-机床-使用 IV. TG502.1

中国版本图书馆CIP数据核字(95)第06303号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)
责任编辑:徐彤 版式设计:冉晓华 责任校对:杨兴祥
封面设计:方芬 责任印制:卢子祥

三河永和印刷有限公司印刷·新华书店北京发行所发行
1995年11月第1版第1次印刷
787mm×1092mm^{1/16}·9.5印张·226千字
0 001—3 000册
定价:14.00元

前 言

1952年世界上出现了第一台数控机床，使多品种、中小批量的机械加工设备在柔性、自动化和效率上产生了巨大变革。1958年第一台加工中心问世，它将多工序（铣、钻、镗、铰、攻丝等）加工集于一身；适应加工多品种和大批量的工件；增加机床功能（自动换刀、自动换工件、自动监测等），使自动化程度和加工效率上了一个新台阶；使无人化（或长时间无人操作）加工成为现实。加工中心已成为柔性制造系统、计算机集成制造系统和自动化工厂的基本单元。

加工中心是数控机床的代表，是高新技术集成度高的典型机电一体化机械加工设备，受到世界各工业发达国家的高度重视，技术迅速发展，品种和数量大幅度增加，成为当今世界机械加工设备中最引人注目的一类产品。

我国的加工中心从70年代开始，已有很大发展，但技术、品种和数量上都还远不能适应我国经济、技术发展的需要。为加速我国加工中心的发展，需进一步加强对加工中心的研究、设计、制造和应用。为此，我们根据多年的实践经验，并参阅国内外发展的新技术资料，编写了本书。

在编写和审稿中，得到机械工业部北京机床研究所钱詠、陈明远、俞圣梅和李善章等高级工程师的大力支持和帮助，在此致以衷心的感谢。

由于编者水平所限，书中可能存在错误和缺点，诚请读者批评指正。

编者

1995年3月

EA-100

目 录

前言	
一、加工中心概论	1
(一) 加工中心发展简史	1
(二) 加工中心的组成及系列型谱	2
(三) 加工中心的种类	3
1. 按机床形态分类	3
2. 按数字控制 (NC)	
伺服机构的种类分类	4
3. 按立柱是否移动分类	6
4. 按 ATC 形式分类	6
(四) 加工中心的主要优点	7
(五) 加工中心的发展动向	7
1. 高速化	7
2. 进一步提高精度	10
3. 机能更加完善	10
二、床身	15
(一) 床身结构和材料	15
1. 卧式加工中心的床身	15
2. 立式加工中心的床身	15
3. 床身的支承	17
4. 床身截面形状和肋板布置	18
5. 床身材料	19
(二) 导轨的形式、精度要求及热处理	19
1. 导轨形式	19
2. 导轨的精度要求	21
3. 导轨的热处理	21
(三) 感应同步器的选用及其安装	21
1. 感应同步器的规格	21
2. 感应同步器的选择	26
3. 直线感应同步器的接长	26
4. 感应同步器的安装	28
三、立柱	30
(一) 对立柱的要求	30
(二) 立柱的结构	30
1. 卧式加工中心的立柱	30
2. 立式加工中心的立柱	31
3. 立柱与床身 (或滑座) 的联结	32
(三) 立柱导轨形式及导轨精度	32
1. 立柱导轨形式	32
2. 立柱导轨精度	33
四、工作台	34
(一) 工作台的种类	34
(二) 分度工作台的种类	34
(三) 工作台的设计参数	35
1. 工作台面尺寸及形状	35
2. 分度工作台的分度转速	35
3. 分度工作台的液压缸拉紧力	36
(四) 分度工作台的结构形式	36
1. 多齿盘分度工作台	36
2. 带交换托盘的多齿盘分度工作台	39
3. 数控转台	40
(五) 多齿盘	41
1. 设计、使用注意事项	41
2. 载荷计算	41
3. 多齿盘的规格参数	42
(六) 贴塑导轨	43
1. 聚四氟乙烯导轨板的性能	43
2. 聚四氟乙烯导轨板的规格	43
3. 聚四氟乙烯导轨板的粘贴法	43
五、主轴系统	45
(一) 主传动方式的确定	45
(二) 主轴轴承配置形式	54
1. 适应高刚性要求的轴承配置形式	54
2. 适应高速要求的轴承配置形式	54
3. 主轴前后支承跨距的确定	54
(三) 主轴系统结构形式	56
1. 卧式加工中心主轴系统	56
2. 立式加工中心主轴系统	59
(四) 主轴和主轴箱体	61
1. 主轴	61
2. 主轴箱体	61
(五) 主轴轴承的配合	61
1. 主轴轴承精度	61
2. 主轴轴承配合量	61

(六) 主轴轴承润滑方式	63	1. 刀库驱动电动机的选定	99
1. 油脂润滑方式	63	2. 刀库传动方式及其计算	101
2. 油液循环润滑方式	63	(四) 刀库的选刀方式	101
3. 油雾润滑方式	63	(五) 刀套准停措施	102
1. 油气润滑方式	63	(六) 增大刀库容量的措施	103
(七) 降低主轴温升的措施	64	1. 刀库容量增大的原因	103
1. 减少轴承发热	64	2. 加大刀库容量的措施	103
2. 有效地排出已产生的热量	64	八、机械手	107
3. 减少主轴热伸长的方法	65	(一) 机械手的种类	107
(八) 主轴箱重量的平衡方式	66	1. 自动换刀装置	107
1. 重锤平衡方式	66	2. 机械手的种类	110
2. 液压平衡液压缸方式	66	(二) 手爪形式	118
(九) 主轴准停装置	67	1. 单臂双爪式机械手的手爪	118
六、伺服进给系统	69	2. 无机械手换刀方式的刀库夹爪	118
(一) NC 伺服机构的种类和组成	69	九、提高加工中心运动精度的措施	119
1. NC 伺服机构的种类	69	(一) 热变形对策	119
2. 加工中心伺服进给机构的组成	71	(二) 采用数字伺服控制装置	121
(二) 伺服电动机的选定	72	(三) 提高机床关键零部件精度	121
1. 伺服电动机的种类及其参数	72	(四) 减小传动和啮合间隙	121
2. 伺服进给系统的伺服电动机选定法	74	十、加工中心的验收	123
(三) 机械传动刚度和系统的固有频率	77	(一) 合格证明书	123
1. 机械传动刚度计算	77	1. 合格证	123
2. 伺服进给系统的固有频率	79	2. 精度检验单	123
(四) 滚珠丝杠副的选定	79	(二) 制造和验收技术要求	127
1. 机床定位精度要求与丝杠精度	80	1. 机床的主要规格参数	127
2. 丝杠的刚性与转动惯量	80	2. 机床的空运转试验	127
3. 滚珠丝杠副的临界转速 n_c	80	3. 机床的负荷试验	128
4. 滚珠丝杠的压曲载荷	81	4. 最小设定单位位移试验	128
5. 滚珠丝杠副的寿命计算	81	5. 原点返回精度试验	129
(五) 滚珠丝杠支承用专用轴承	84	6. 机床的精度试验	129
(六) 回零减速撞块尺寸的计算	89	十一、加工中心的刀具系统	130
(七) 伺服电动机与进给丝杠的联结	89	(一) 刀具的组成	130
(八) 滚珠丝杠副对坐标定位精度的影响	90	(二) 刀柄系统	134
1. 滚珠丝杠副精度的影响	90	1. 通用刀柄系统	134
2. 滚珠丝杠热变形与预拉伸	91	2. 模块式刀柄系统	134
3. 滚珠丝杠副预紧	92	3. 特殊刀柄	136
七、刀库	94	(三) 加工中心用刀柄和刃具的选择	137
(一) 刀库的功能	94	(四) 刀具的损伤及检测方法	137
(二) 刀库形式	94	十二、加工中心的合理使用	139
1. 刀库种类	94	(一) 加工中心的选定	139
2. 链式刀库	95	1. 被加工对象的选定	139
(三) 刀库的设计计算	99	2. 机床规格的选定	139

3. 机床精度的选定	139
4. 刀库容量的选定	140
5. 机床选择功能及附件的选定	140
6. 加工节拍与机床台数估算	140
(二) 使用加工中心的注意事项	140
(三) 加工中心程序编制要领	141

1. 工艺分析	141
2. 刀具分析	142
3. 夹具的选择	143
4. 程序编制	143
5. 程序校验	144
参考文献	145

一、加工中心概论

(一) 加工中心发展简史

1952年世界上出现第一台数控机床,使多品种、中小批量的机械加工设备在柔性、自动化和效率上产生了巨大变革。它用易于修改的数控加工程序进行控制,因而比大批量生产中使用组合机床生产线和凸轮、开关控制的专用机床有更大的柔性,容易适应加工工件品种的变化,进行多品种加工。它用数控系统对机床的工艺功能、几何图形运动功能和辅助功能实行全自动的数字控制,因而有更高的自动化程度和加工效率,大大改变了中小批量生产中普通机床占整个机械加工70%~80%的状况。数控机床能实现两坐标以上联动的功能,其效率和精度比用手工和样板控制加工复杂零件要高得多。

1958年第一台加工中心在美国卡尼、特雷克(Kearney & Trecker)公司问世。现代加工中心的内容是什么?第一,它是在数控镗床或数控铣床的基础上增加自动换刀装置,可使工件在一次装卡中,能够自动更换刀具,自动完成工件上的铣削、钻孔、镗孔、铰孔、攻丝等工序的数控机床。第二,加工中心上如果带有自动分度回转工作台或自动转角度的主轴箱,可使工件在一次装卡中,自动完成多个平面和多个角度位置的多工序加工。第三,加工中心上如果带有交换工作台,工件在工作位置的工作台上进行加工的同时,另外的工件在装卸位置

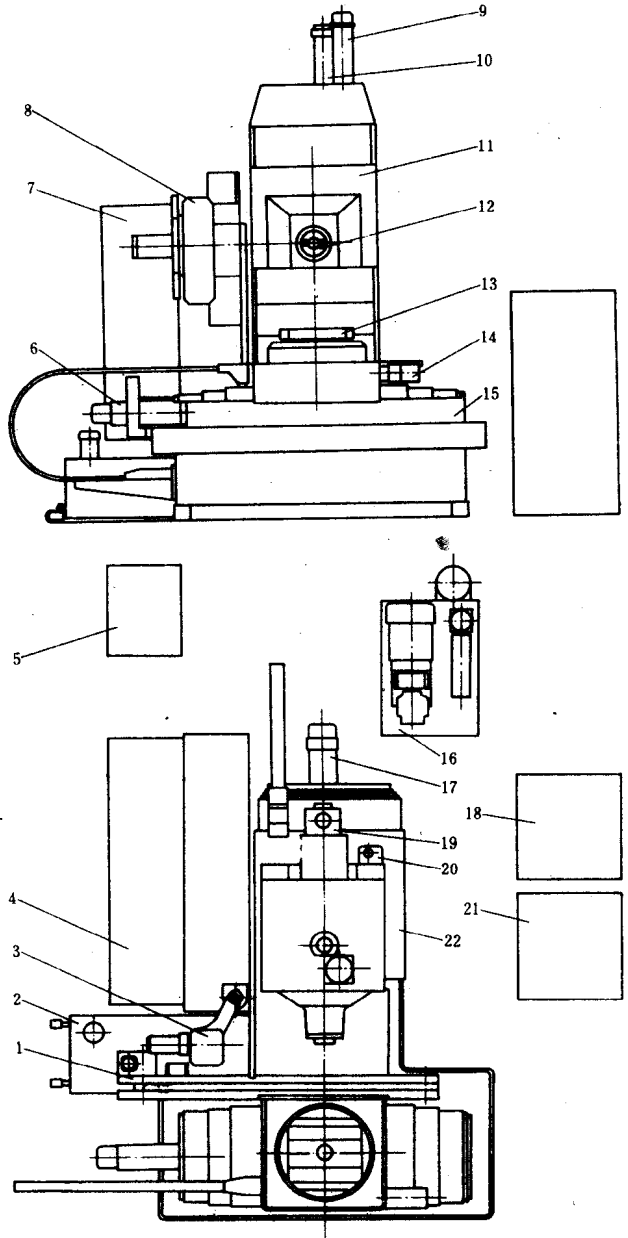


图 1-1 卧式加工中心组成部件

- 1—排屑器 2—冷却水箱 3、8—机械手 4、7—刀库 5—油温自动控制箱
- 6—X轴伺服电机 9—Y轴伺服电机 10—平衡液压缸
- 11—立柱 12—主轴箱 13—分度工作台 14—工作台驱动电机
- 15—床身 16—液压油箱 17—Z轴伺服电机 18—强电柜
- 19—主轴电机 20—间歇润滑装置 21—数控柜 22—立柱滑座

的工作台上进行装卸，不影响加工的进行。

由上述可知，加工中心在加工的柔性、自动化程度和加工效率上，在一般数控机床的基础上又上了一个新的台阶，又是一次新的变革。

加工中心的定义是什么？目前世界上并无标准定义，但目前普遍认为是指：在工件一次装卡中，能够实现自动铣削、钻孔、镗孔、铰孔、攻丝等多工序的数控机床。更为明确的说法是：加工中心就是自动换刀数控镗铣床。这就把加工中心与自动换刀数控车床或车削中心区别开来。

加工中心的发展已有 38 年历史，由于它在机械加工中的重要作用，各个工业发达国家都极为重视，在技术上和产量上都发展很快。美国是加工中心第一消费大国，目前拥有量超过 6 万台，约占该国数控机床的 50%。加工中心的产量现每年约 5000 台，超过其它数控机床的产量。日本是加工中心的第一生产大国，现每年产量达 15000 台，产值近 30 亿美元。德国是加工中心技术第一大国，技术水平最高，近年来虽年产量只有 2500 台，产值却达 10 亿美元。我国从 70 年代开始发展加工中心，技术水平与世界水平还有较大差距，现生产厂家有 30 多家，年产量约 500 台。

(二) 加工中心的组成及系列型谱

加工中心的组成随机床的类别、功能、参数的不同而有所区别。机床本身分基本部件和选择部件，数控系统有基本功能和选用功能，机床参数有主参数和其它参数。机床制造厂可根据用户提出的要求进行生产，但是同类机床的基本功能和部件组成一般差别不大。图 1-1 为卧式加工中心组成部件示意图。图 1-2 为立式加工中心组成部件示意图。

加工中心的系列型谱，我国尚未制定。系列尺寸一般按优先数系取：

卧式加工中心，以分度工作台的边长尺寸为其主参数，如 320×320, 400×400, 500×500, 630×630, 800×800, 1000×1000, 1250×1250 等，单位为 mm。

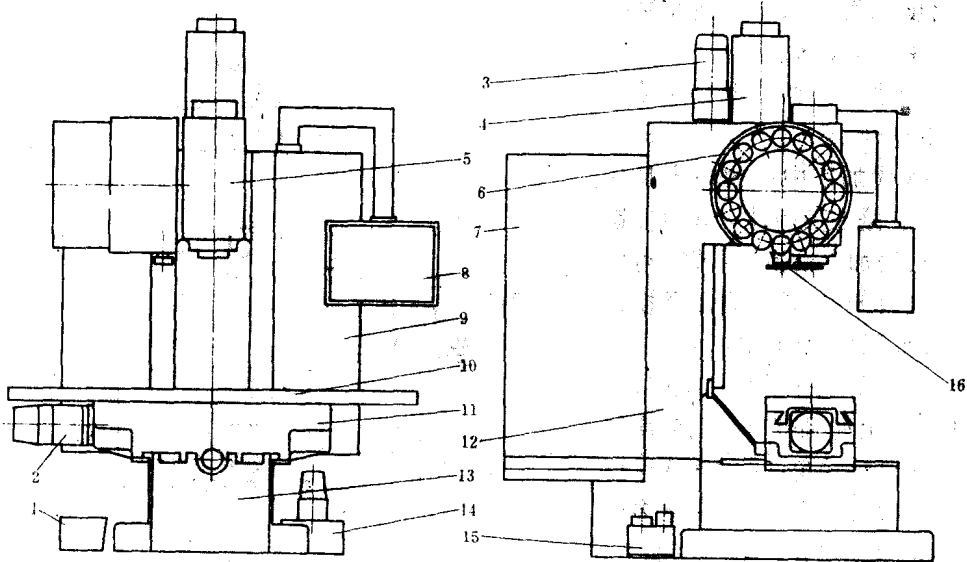


图 1-2 立式加工中心组成部件

- 1—切屑箱 2—X 轴伺服电机 3—Z 轴伺服电机 4—主轴电机 5—主轴箱 6—刀库 7—数控柜 8—操纵面板
9—驱动电机 10—工作台 11—滑座 12—立柱 13—床身 14—冷却水箱 15—间歇润滑油箱 16—机械手

立式加工中心，则工作台宽度一般取优先数系，而长度则按实际要求定。如 320×1000 ， 400×1000 ， 500×1000 ， 630×1200 ， 800×1500 等，单位为 mm。

型谱既然国家无规定，一般就按生产厂家的习惯或特长取。例如，生产铣床的厂家，一般愿意套用铣床型谱，取名为 $XH \times \times \times$ ，如：XH754，XH716 等；而生产镗床的厂家则愿意套用镗床型谱，取名为 $TH \times \times \times \times$ ，如 TH6350；与外国合作生产或供出口的加工中心，则直接采用国外厂家规定的名称，如 SALON-3、RE5020 等。

(三) 加工中心的种类

1. 按机床形态分类

按机床形态分类，分为卧式、立式、龙门式三大类加工中心。

(1) 卧式加工中心 指主轴轴心线为水平状态的加工中心。通常都带有可进行分度回转运动的正方形分度工作台。图 1-3 所示为 THM6350 型精密卧式加工中心（北京机床研究所）。

(2) 立式加工中心 指主轴轴心线为垂直状态的加工中心。工作台通常是长方形，且无分度回转功能。图 1-4 所示为 JCS-018A 型立式加工中心（北京机床研究所）。

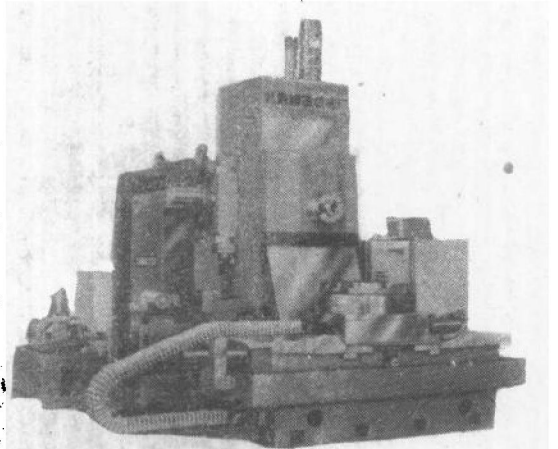


图 1-3 THM6350 型精密卧式加工中心

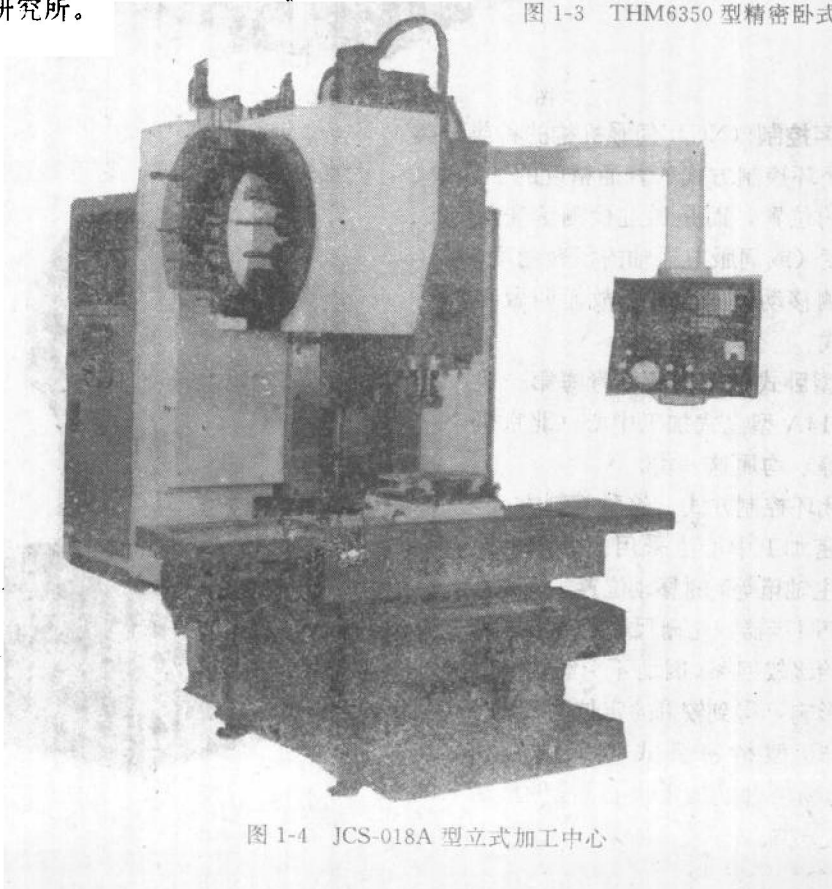


图 1-4 JCS-018A 型立式加工中心

(3) 龙门式加工中心 形状与龙门铣床相似, 但它的功能远比龙门铣床多。它带有自动换刀装置, 带可更换的主轴头附件, 数控装置的软件功能相当齐全, 能够一机多用。图 1-5 所示为龙门式加工中心。

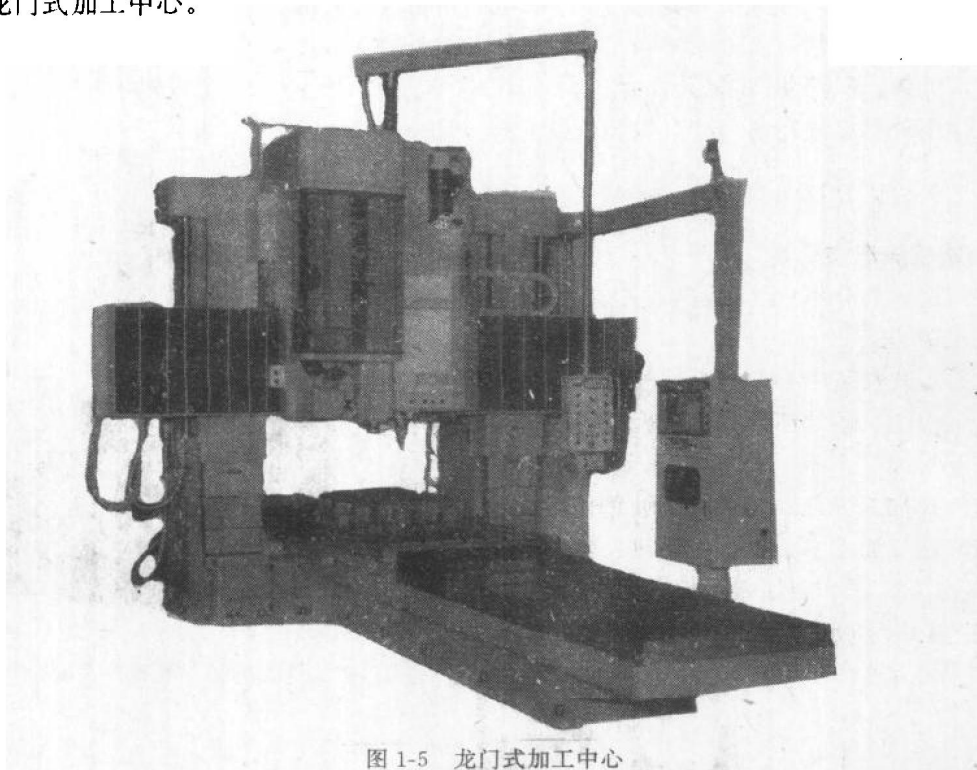


图 1-5 龙门式加工中心

2. 按数字控制 (NC) 伺服机构的种类分类

(1) 半闭环控制方式 普通精度的加工中心, 大都采用这种方式。它不是直接检测工作台等移动件的位置, 而是通过检测滚珠丝杠的回转角度 (或伺服电机轴的回转角度) 来间接地检测移动件的位置, 故而叫做半闭环控制方式。

XH754 型卧式加工中心 (青海第一机床厂)、XH714A 型立式加工中心 (北京机床研究所) 等, 均属这一类。

(2) 全闭环控制方式 这种控制方式, 通常是在精密加工中心上采用。移动部件 (如工作台、主轴箱等) 的移动位置, 是由直线尺 (如感应同步器, 光栅尺等) 直接进行检测并反馈给比较回路, 因而不受丝杠精度和热变形的影响, 得到较高的定位精度。

THM6350 型精密卧式加工中心和 THM6380 型精密卧式加工中心 (昆明机床厂), 均属这一类。

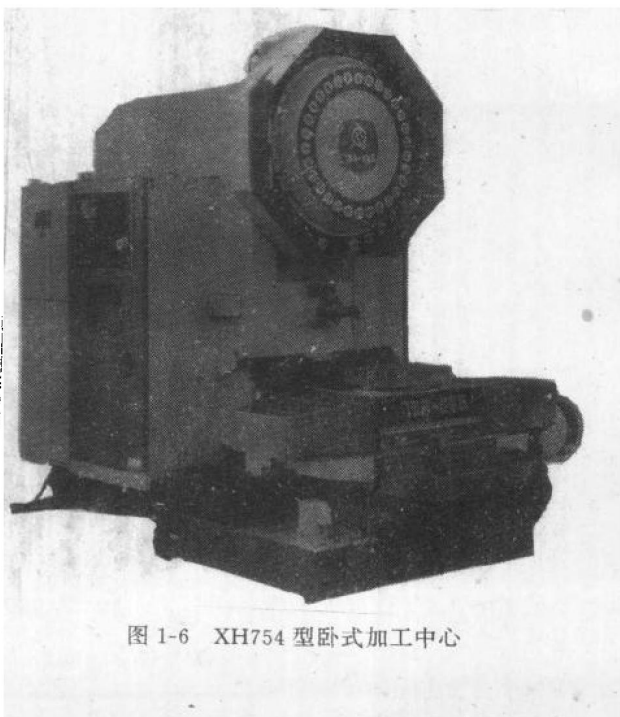


图 1-6 XH754 型卧式加工中心

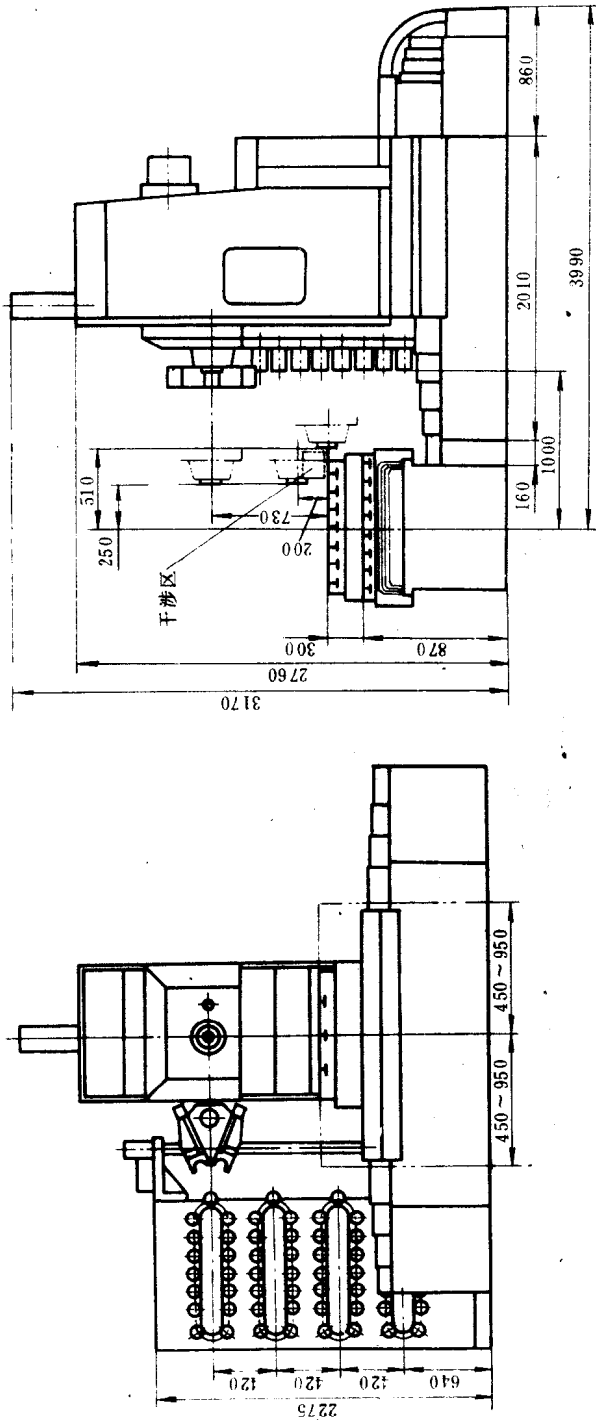


图 1-7 JCS-013C 型卧式加工中心

(3) 混合伺服控制方式 这种方式，通常是在重型加工中心上采用。所谓混合伺服控制，就是半闭环控制和全闭环控制并存的控制方式。此种方式对使用条件恶劣的重型机床，可用高增益得到高定位精度。

3. 按立柱是否移动分类

(1) 固定立柱式 小型加工中心，通常都采用固定立柱方式。平面上的两个坐标移动是由工作台和溜板来实现。由于立柱固定在床身上，就便于把刀库、电柜等装在立柱上，实现机电一体化。

图 1-6 所示的 XH754 型卧式加工中心，就是固定立柱式。

(2) 移动立柱式 通常见于大、中型加工中心。为了避免大尺寸工作台在溜板两端极限位置上发生翘曲和大溜板加工难的问题，采用了立柱在床身上沿前后方向移动，而工作台则在床身上沿左右方向移动的形式，从而减少了溜板和结构的多层，有利于提高机床精度。

图 1-7 所示的 JCS-013C 型卧式加工中心便是一例。

(3) 立柱作平面二坐标移动式 这种形式的加工中心，工作台不作移动动作，而平面上的二坐标移动，均由立柱来实现。因为工作台不移动，这种加工中心比较适用于柔性自动线等自动生产系统。

图 1-8 所示为 TH6263 型卧式加工中心（大连机床厂）便是一例。

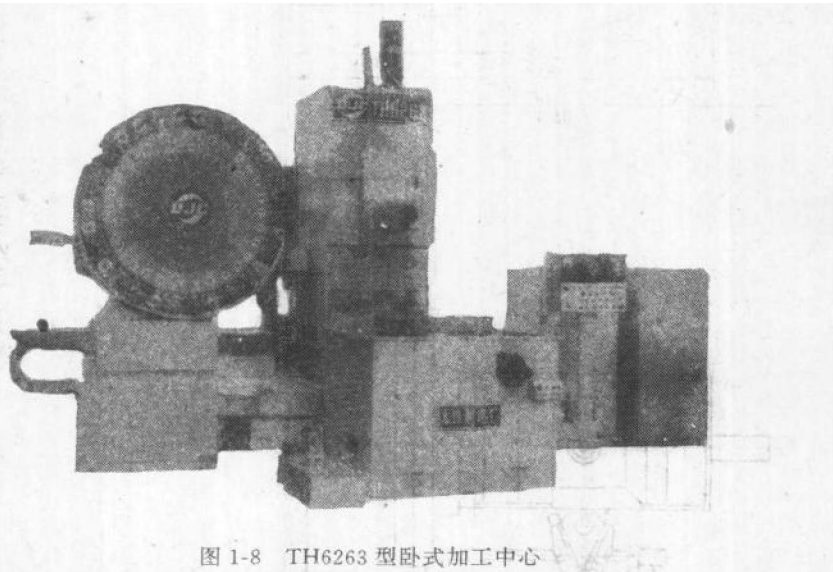


图 1-8 TH6263 型卧式加工中心

4. 按 ATC 形式分类

(1) 带刀库、机械手的加工中心 这是加工中心最普遍采用的形式。加工中心的自动换刀装置 (Automatic Tool Changer 简称 ATC) 是由刀库和换刀机械手组成。前述 THM6350 型精密卧式加工中心和 JCS-018A 型立式加工中心均属这一类。

(2) 无机械手的加工中心 采用 40 号以下刀柄的小型加工中心，有的就没有换刀机械手，换刀是通过刀库和主轴箱的配合动作来完成。XH754 型卧式加工中心便是这样。

(3) 转塔刀库式加工中心 一般在小型立式加工中心上，有采用转塔刀库形式的。它主要以孔加工为主。图 1-9 所示 ZH5120 型立式钻削加工中心（北京第三机床厂）即是转塔刀库

式加工中心。

(四) 加工中心的主要优点

1) 提高加工质量 工件一次装夹,即可实现多工序集中加工,大大减少多次装夹所带来的误差。另外,由于是数控加工,较少依赖操作者的技术水平,可得到相当高的稳定精度。

2) 缩短加工准备时间 加工中心既然可以顶替多台通用机床,那么加工一个零件所需准备时间,是每台加工单元所损耗的准备时间之和。从这个意义上说,加工中心的准备时间显然短得多。

另外,由于是数控加工,不必准备专用钻模等工艺装备,可以大大节省准备时间。

3) 减少在制品 以往的加工方式是工件流动于多台通用机床之间,这就要有相当数量的在制品,而在加工中心上加工,即可发挥其“多工序集中”的优势,在一台机床上完成多个工序,就能大大减少在制品数量。

4) 减少刀具费 把分散设置在各通用机床上的刀具,集中在加工中心刀库上,有可能用最少量的刀具,实现公共有效利用。这样既提高刀具利用率,又减少了刀具数量。

5) 最少的直接劳务费 由NC装置实现多工序加工的信息集约化和一人多台管理,以及用工作台自动托盘交换装置(Automatic Pallet Changer 简称APC)等辅助装置,实现夜间无人运转。这些都可缩减直接劳务费。

6) 最少的间接劳务费 由于工序集中,工件搬运和质量检查工作量都大为减少,这就使间接劳务费最少。

7) 设备利用率高 加工中心设备利用率为通用机床的几倍。另外,由于工序集中,容易适应多品种、中小批量生产。

(五) 加工中心的发展动向

加工中心亦同其它机床一样,它的技术水平的提高,表现在其固有技术(如高速、高精度化等)的进一步发展和新技能(如智能化技能等)的应用上。

总括起来说,加工中心的发展动向是高速、进一步提高精度和愈发完善的机能。

1. 高速化

加工中心的高速化,是指主轴转速、进给速度、自动换刀和自动交换工作台的高速化。

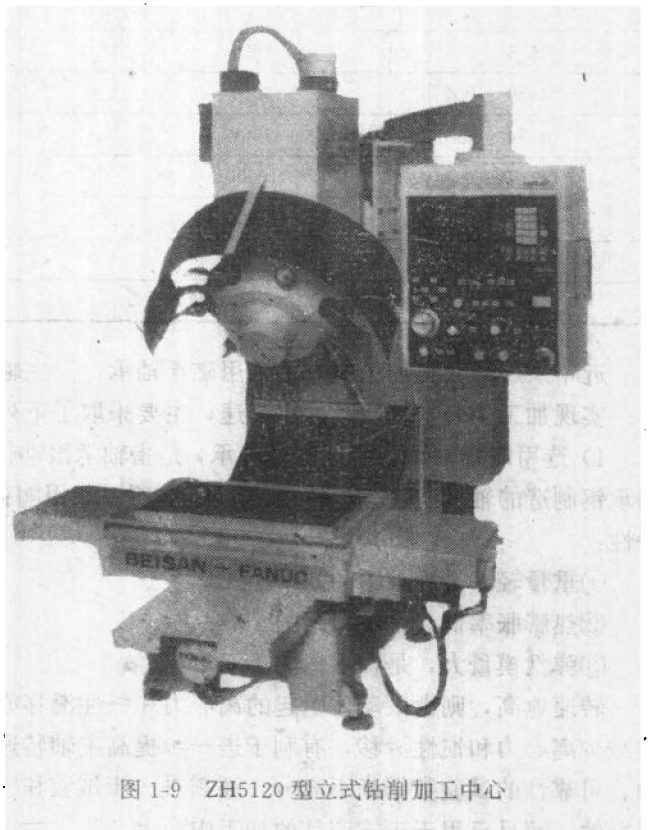


图 1-9 ZH5120 型立式钻削加工中心

(1) 主轴转速的高速化 80年代初时的主轴最高转速,多为4000~5000r/min。然而,这几年主轴最高转速又有了较大提高。表1-1所示为主轴直径 $\phi 100\text{mm}$ 的加工中心主轴最高转速的演变情况。

表 1-1 $\phi 100$ 主轴最高转速演变情况

年 份	最 高 转 速 (r/min)	润 滑 方 式	备 注
1975	3000	油脂	
1980	5000	油脂	
1984	7000	油气	
1986	10000	油脂	陶瓷轴承 (仅滚动体)
	15000	油气	
1988	20000	喷油	
1990	25000~30000	喷油	全陶瓷轴承

近年来还开发出加工中心主轴用磁浮轴承,其主轴转速可达30000~40000r/min。

实现加工中心主轴转速的超高速,主要采取了下列措施:

1) 选用陶瓷轴承 所谓陶瓷轴承,是指轴承滚动体是用陶瓷材料制成,而内外圈则仍用轴承钢制造的轴承。陶瓷材料为 Si_3N_4 。之所以选用陶瓷作为滚动体,主要是因为它具有如下特性:

- ①重量轻,是轴承钢的40%。
- ②热膨胀率低,是轴承钢的25%。
- ③弹性模量大,是轴承钢的1.5倍。

转速愈高,则由滚动体引起的离心力和惯性滑移亦随之增高。选用陶瓷滚动体,就可大大减少离心力和惯性滑移,有利于进一步提高主轴转速。目前的问题是价格昂贵,且有关寿命、可靠性的试验数据尚不充分,还需进一步试验和完善。但是,陶瓷轴承的优越性是不容置疑的,而且已用于正式产品的加工中心上。

2) 主轴轴承采用预紧量可调装置 以往预紧主轴轴承的方式是固定预紧量式的,结果由于轴承滚动体离心力的影响,主轴在低速区和高速区的刚性有差异,影响主轴在全转速范围内的稳定切削。尤其随着主轴转速的高速化,要实现低速时的高刚性和高速时的低发热,固定预紧量方式已不能满足其要求,于是出现了随着转速而自动改变轴承预紧量的结构。在低速区由活塞顶紧,实现高刚性固定预紧量方式,而在高速区则把活塞松开,只靠弹簧予以预紧,实现定压预紧。

3) 改进主轴轴承润滑、冷却方式 以往,加工中心主轴轴承的润滑方式,大都采用油脂封入式润滑方式。但是这种润滑方式的转速有一定限度,为了适应主轴转速向高速化发展的需要,相继开发了新型润滑、冷却方式。

①油气(oil air)润滑方式:这种润滑方式有点像油雾润滑方式,但两者有原则区别。油气润滑是定时定量地把油雾送进轴承空隙中,这样既实现了油雾润滑,又不致于因油雾太多,污染周围空气。而油雾润滑方式则是连续不断地供给油雾,使多余的油雾扩散在空气中,污染空气,影响工人健康。

②喷注(jet)润滑:这是近年开始采用的新型润滑方式,其原理如图 1-10 所示。

它用较大流量的恒温油(每个轴承 3~4L/min)喷注到主轴轴承,以达到润滑冷却的目的。喷注的油不是自然回流,而是用 2 台排油泵强制排油。

(2) 进给速度的高速化 是指快速移动速度的高速化和切削进给速度的高速化。

1) 快速移动速度 快速移动速度的演变,如表 1-2 所示。

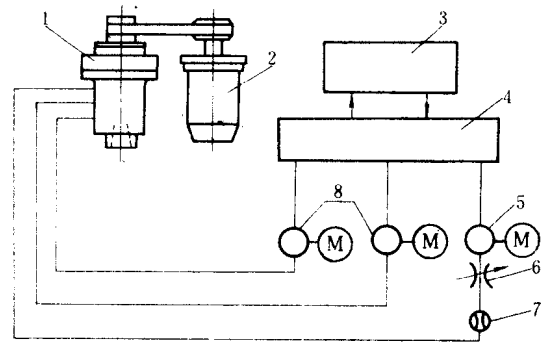


图 1-10 喷注润滑示意图

1—主轴 2—主轴电机 3—油温自动控制箱 4—油箱
5—给油泵 6—节流阀 7—流量计 8—排油泵

表 1-2 移动速度演变表

年 份	移动速度 (m/min)
1970 年	5
1975 年	10
1980 年	15
最 近	24~36

由于近年来采用了 32 位微处理器、全数字—智能伺服驱动方式以及先进的位置检测器(如高分辨率脉冲编码器等),目前 CNC 装置所具有的最高进给速度为:

1 μ m 脉冲当量时 100 m/min
0.1 μ m 脉冲当量时 24 m/min

2) 切削进给速度的高速化 目前普遍采用的最高切削进给速度,已达 5~6m/min(原来是 3.6m/min 左右),个别的达 12m/min,亦有与快速移动速度相同的。但是现在能实施高速进给切削的,仅限于直线切削。因为目前普遍使用的模拟伺服控制系统,在高速动作下不可能实现良好的多坐标联动,结果加工形状精度差。为避免此种缺陷,已开始使用具有良好的高速联动性能的数字伺服控制系统。

(3) 自动换刀(ATC)的高速化 从加工中心诞生初期起,就追求 ATC 的高速化。但是由于当时尚未充分掌握 ATC 的内在规律,故障率较高,所以在后来的相当一段时间里,采取了首先保证动作可靠性,然后才考虑速度的方针;结果在这段时期,ATC 速度未提高多少。但是随着对 ATC 内在规律的深入了解和用户对 ATC 速度的要求迫切,又开始注意 ATC 速度了。

宏观来看,平均换刀时间如表 1-3 所列。

换刀时间最短记录如下(刀具到刀具):

30 号刀柄 0.5s
40 号刀柄 0.9s
50 号刀柄 1.5s

作为高速换刀机械手,近来采用凸轮联动式机械手。

(4) 自动托盘交换装置(APC)的高速化 自动托盘交换装置的交换时间如表 1-4 所列。自动托盘交换装置在交换时的移动速度最高已达 40m/min,而其重复定位精度达 3 μ m。

表 1-3 换刀时间 (s)

刀具锥柄号	刀具到刀具	
	立式	卧式
30		0.6
40	2~2.5	1~5
50	2.5~3	1~6

表 1-4 工作台交换时间

交换工作台尺寸 (mm)	交换时间 (s)
400/500	6~14
630/800	14~24

2. 进一步提高精度

加工中心的主要精度指标是它的运动精度指标。而这一精度指标，近年来有了不小的提高，其中精密加工中心精度指标的提高尤为明显。所谓加工中心的运动精度，主要以坐标定位精度、重复定位精度以及铣圆精度来表示。

普通精度加工中心：

坐标定位精度，从开始的 $\pm 0.02\text{mm}$ /全行程提高到 $\pm 0.005\text{mm}$ /全行程。

重复定位精度，从原来的 $\pm 0.01\text{mm}$ ，提高到 $\pm 0.002\text{mm}$ 。

铣圆精度，铣 $\phi 200\text{mm}$ 圆时，圆度由原来的 $0.03\sim 0.04\text{mm}$ 提高到 0.02mm 。

精密加工中心：

坐标定位精度从原来的 $\pm 5\mu\text{m}$ /全行程，提高到现在的 $\pm 1.5\sim 3\mu\text{m}$ /全行程。实际达到的最高精度为 $\pm 0.9\mu\text{m}$ /全行程

重复定位精度从原来的 $\pm 2\mu\text{m}$ ，提高到现在的 $\pm 1\mu\text{m}$ 。实际达到的最高精度为 $\pm 0.7\mu\text{m}$ 。

圆弧插补铣 $\phi 200\text{mm}$ 圆时，圆度达 $0.008\sim 0.01\text{mm}$ 。

为了保证精密加工中心的高精度，除了继续采取以往行之有效的措施外，还采取了如下一些新颖的措施：

(1) 机床总体方面

- 1) 在立柱内壁，喷射与室温相同的恒温油；以降低机床温升和热变形。
- 2) 在床身底面，循环流动恒温油，以减少地面的辐射冷却效应。
- 3) 大件用高级铸铁铸造，并经过二次退火处理。

(2) 主轴箱方面

- 1) 主轴端 $7:24$ 锥孔，镶嵌耐磨性好的陶瓷。
- 2) 在主轴电机安装端支架内通以恒温油，以起隔热作用。
- 3) 主轴箱采用低热膨胀系数铸铁，以减少绝对变形。
- 4) 采用专用高精度大容量恒温油箱（油温变化控制在 $\pm 0.5\text{C}$ 内）。

(3) X、Y、Z轴进给方面

- 1) 直线运动丝杠，采用中空丝杠，通以恒温油。
- 2) 丝杠支承轴承外圈，采取强制循环恒温油冷却方式。
- 3) X、Y轴装滚珠螺母的支架，铸成与本体一体，以提高其刚性。
- 4) 采用 $0.1\mu\text{m}$ 脉冲当量。

3. 机能更加完善

- (1) 愈来愈完善的自诊断机能 为了尽可能减少加工中的故障，现代加工中心大都配备