

21 世纪技工技能入门丛书

数控编程实用技能 快速入门

编著 上海市职业指导培训中心

便于自学

适合培训

就业入门

21SHIJIJIGONGJINENRUMENCONGSHI



凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

21 世纪技工技能入门丛书

数控编程实用技能快速入门

编著 上海市职业指导培训中心

凤凰出版传媒集团
江苏科学技术出版社

图书在版编目(CIP)数据

数控编程实用技能快速入门/上海市职业指导培训中心编. —南京: 江苏科学技术出版社, 2009. 1

(21 世纪技工技能入门丛书)

ISBN 978 - 7 - 5345 - 6362 - 1

I. 数... II. 上... III. 数控机床—程序设计—技术培训—教材 IV. TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2008)第 191523 号

数控编程实用技能快速入门

主 编 上海市职业指导培训中心

责任编辑 谷建亚

责任校对 郝慧华

责任监制 张瑞云

出版发行 江苏科学技术出版社(南京市湖南路 47 号, 邮编: 210009)

网 址 <http://www.pspress.cn>

集团地址 凤凰出版传媒集团(南京市中央路 165 号, 邮编: 210009)

集团网址 凤凰出版传媒网 <http://www.ppm.cn>

经 销 江苏省新华发行集团有限公司

照 排 南京展望文化发展有限公司

印 刷 南京京新印刷厂

开 本 787mm×1092mm 1/32

印 张 8.5

字 数 188 000

版 次 2009 年 1 月第 1 版

印 次 2009 年 1 月第 1 次印刷

标准书号 ISBN 978 - 7 - 5345 - 6362 - 1

定 价 19.00 元

图书如有印装质量问题, 可随时向我社出版科调换。

内 容 提 要

本书共分为 5 个章节,主要包括:数控加工技术概述、数控加工编程基础、数控加工工艺与数值计算、数控加工程序编制技能实例、自动编程实训等内容。

本书取材新颖,内容由浅入深、循序渐进。采用理论与实际相结合的方式,重点在于应用。在编写过程中,注重结合实际操作,列举了大量编程实例。

本书可作为数控加工操作者的自学教材或高等工科院校及中等技术学校的工程训练培训教材,也可供工厂、科研院所从事机械制造的操作人员学习参考。

前 言

20 世纪中叶以来,数控技术给机电行业带来了革命性的变化。近年来,数控设备已大量涌入制造业,数控技术成为制造业实现自动化、柔性化、集成性生产的基础技术。可以说,数控机床的拥有量已经成为衡量一个国家工业水平及竞争实力的一个重要标志。西方工业发达国家的数控机床已占机床总量的 80% 以上。在我国,数控机床也正在以惊人的速度取代着普通机床,因此,几乎所有的机械加工企业都急需大量的具备一定实践与理论知识的数控机床操作和维护人员。

目前,在我国的数控机床操作者中,大多是由普通机床操作者经过短期培训,成为数控机床操作者的。他们缺乏系统的理论知识,只能进行简单加工程序的编制。数控是实践与理论性很强的一门技术,用户既要掌握零件制造工艺方面的知识,又要有扎实的数学基础,同时还必须充分熟悉数控机床的功能与编程规则。

本书针对上述情况,编写了数控机床的原理、数控加工工艺及数控编程等内容。结合实际操作经验,列举了大量编程实例,供读者学习参考。经过系统的理论学习和大量实例的训练,希望所学者能熟练地掌握数控机床的操作、编程等各项技能。

由于编写经验不足,加之编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳切希望广大读者提出宝贵的意见以供修改,编者将不胜感激!

编 者

2008 年 10 月

目 录

第一章 数控加工技术概述	1
第一节 数控技术基础知识	1
一、数控技术基本概念	2
二、数控加工的特点	3
三、数控技术的发展趋势和研究方向	5
第二节 数控机床概述	15
一、数控机床的产生与发展	15
二、数控机床的主要组成和基本工作过程	17
三、数控机床的分类	20
第二章 数控加工编程基础	25
第一节 数控加工编程概述	25
一、数控编程基本概念	25
二、数控编程的步骤与方法	25
三、数控编程的插补原理	27
第二节 数控机床的坐标系统	29
一、坐标系及其运动方向的规定	29
二、坐标轴及其运动方向	30
三、坐标原点	32
四、程序原点的设置与偏移	33
五、绝对坐标编程及增量坐标编程	36
第三节 程序编制基础知识	36
一、数控加工程序的格式	36
二、常用编程代码	39
第四节 常用数控指令及用法	44



一、常用编程指令	44
二、辅助功能指令	52

第三章 数控加工工艺与数值计算

第一节 数控加工工艺分析

一、机床的合理选用	54
二、数控加工工艺性分析	55
三、数控加工方法的确定	57
四、工序和工步的划分	60
五、零件的定位安装	61
六、数控加工刀具	62
七、切削用量的确定	73
八、数控加工路线的确定	77
九、数控加工工艺文件	86

第二节 数控编程中的数值计算

一、平面轮廓切削点的计算	92
二、平面轮廓加工中刀具中心位置的计算	97
三、空间曲线曲面加工的数值计算	100

第三节 典型工件的数控加工工艺分析

一、轴类工件的数控车削加工工艺	106
二、平面凸轮工件的数控铣削加工工艺	110
三、盖板工件加工中心的加工工艺	114

第四章 数控加工程序编制技能实例

第一节 数控车床加工编程实例

一、数控车床编程基础	120
二、数控车床编程实例	138

第二节 数控铣床加工编程实例

一、数控铣床编程基础	146
二、数控铣床加工编程实例	159

第三节 数控加工中心加工编程实例



一、数控加工中心编程基础	161
二、数控加工中心加工编程实例	182
第四节 数控线切割机床加工编程实例	187
一、数控线切割机床编程基础	188
二、数控线切割机床加工编程实例	189
第五章 自动编程实训	199
第一节 自动编程概述	199
一、自动编程的基本形式	199
二、自动编程的主要工作内容	200
三、自动编程的工作过程	201
第二节 Master CAM 系统及其应用	211
一、Master CAM 软件介绍	211
二、Master CAM 系统的工作环境	221
三、Master CAM 系统的几何建模功能	226
四、Master CAM 系统的数控加工编程功能	236
五、Master CAM 软件自动编程实例	246
参考文献	263

第一章 数控加工技术概述

第一节 数控技术基础知识

制造业是所有与制造有关的企业机构的总体,是一个国家国民经济的支柱产业。它一方面为全社会生产日用消费品,创造价值,另一方面为国民经济各个部门提供生产资料和装备。据估计,工业化国家70%~80%的物质财富来自制造业,约有1/4的人口从事各种形式的制造活动。可见,制造业对一个国家的经济地位和政治地位具有至关重要的影响,在21世纪的工业生产中具有决定性的地位与作用。

由于现代科学技术日新月异的发展,机电产品日趋精密和复杂,且更新换代加快,改型频繁,用户的需求也日趋多样化和个性化,中小批量的零件生产越来越多。这对制造业的精度、效率和柔性提出了更高的要求,希望市场能提供满足不同加工需求、迅速高效、低成本、面向用户的生产制造系统,并大幅度地降低维护和使用的成本。同时还要求新一代制造系统具有网络功能,以适应未来车间面向任务和订单的生产组织和管理模式。

随着社会经济发展对制造业的要求不断提高,以及科学技术特别是计算机技术的高速发展,传统的制造业已发生了根本性的变革。以数控技术为主的现代制造技术占据了重要地位,数控技术集微电子、计算机、信息处理、自动检测、自动控制等高新技术于一体,是制造业实现柔性化、自动化、集成化、智能化的重要基础。这个基础是否牢固直接影响到一个国家的经济发展和综合国力,关系到一个国家的战略地位。因此,世界上各工业发达国家均采取重大措施来发展自己的数控技术及其产业。在我国,数控技术与装备的发展亦得到了高度重视,近年来取得了相当大的进步,特别是在通用微机数控领域,基于PC平台的国产数控系统,已经走在了世界前列。



一、数控技术基本概念

1. 数控技术

数控(Numerical Control, NC)技术是指用数字化的信息对某一对象进行控制的技术,控制对象可以是位移、角度、速度等机械量,也可以是温度、压力、流量、颜色等物理量,这些量的大小不仅是可测量的,而且可以经 A/D 或 D/A 转换,用数字信号来表示。数控技术是近代发展起来的一种自动控制技术,是机械加工现代化的重要基础与关键技术。

2. 数控加工

数控加工是指采用数字信息对零件加工过程进行定义,并控制机床进行自动运行的一种自动化加工方法。数控加工技术是 20 世纪 40 年代后期为适应加工复杂外形零件而发展起来的一种自动化技术。1947 年,美国帕森斯(Parsons)公司为了精确地制作直升机机翼、桨叶和飞机框架,提出了用数字信息来控制机床自动加工外形复杂零件的设想。他们利用电子计算机对机翼加工路径进行数据处理,并考虑到刀具直径对加工路径的影响,使得加工精度达到 $\pm 0.0015 \text{ in}$ (0.0381 mm)。1949 年美国空军为了能在短时间内制造出经常变更设计的火箭零件,与帕森斯公司和麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所合作,于 1952 年研制成功了世界上第一台数控机床——三坐标立式铣床,可控制铣刀进行连续空间曲面的加工,揭开了数控加工技术的序幕。

数控加工是一种高效率、高精度与高柔性特点的自动化加工方法,有效解决了复杂、精密、小批多变零件的加工问题,充分适应现代化生产的需要。数控加工必须由数控机床来实现。

3. 数控机床

数控机床就是采用了数控技术的机床。数控机床将零件加工过程所需的各种操作和步骤(如主轴变速、主轴启动和停止、松夹工件、进刀退刀、冷却液开或关等)以及刀具与工件之间的相对位移量都用数字化的代码来表示,由编程人员编制成规定的加工程序,通过输入介质(磁

盘等)送入计算机控制系统,由计算机对输入的信息进行处理与运算,发出各种指令来控制机床的运动,使机床自动地加工出所需要的零件。

现代数控机床综合应用了微电子技术、计算机技术、精密检测技术、伺服驱动技术以及精密机械技术等多方面的最新成果,是典型的机电一体化产品。

4. 数控编程

数控编程(NC Programming, NCP)就是生成用数控机床进行零件加工的数控程序的过程。数控程序是由一系列程序段组成,把零件的加工过程、切削用量、位移数据以及各种辅助操作,按机床的操作和运动顺序,用机床规定的指令及程序格式排列而成的一个有序指令集。例如:

```
N01 G00 X200 Y-39 M03
```

该程序段表示一个操作:命令机床以设定的快速运动速度,以直线方式移动到 $x = 200\text{ mm}$, $y = -39\text{ mm}$ 处后,主轴正转。其中N01是程序段的行号;G00字段表示机床快速定位;X200和Y-39表示沿 x 轴和 y 轴的位移坐标值;M03表示主轴正转。

零件加工程序的编制(数控编程)是实现数控加工的重要环节,特别是对于复杂零件的加工,其编程工作的重要性甚至超过数控机床本身。此外,在现代生产中,产品形状及质量信息往往需通过坐标测量机或直接在数控机床上测量来得到,测量运动指令也有赖于数控编程来产生。因此,数控编程对于产品质量控制也有着重要的作用。数控编程技术涉及制造工艺、计算机技术、数学、计算几何、微分几何、人工智能等众多学科领域知识,它所追求的目标是如何更有效地获得满足各种零件加工要求的高质量数控加工程序,以便充分地发挥数控机床的性能,获得更高的加工效率与加工质量。

二、数控加工的特点

数控机床综合了微电子技术、计算机应用技术、自动控制技术以及精密机床设计与制造技术,具有专用机床的高效率、精密机床的高精度和通用机床的高柔性等显著特点,适合多变、复杂、精密零件的高效、自



动化加工。具体说来,包括以下几个方面:

1. 柔性自动化,具有广泛的适应性

由于采用数控程序控制,加工中多采用通用型工装,只要改变数控程序,便可以实现对新零件的自动加工,为单件、小批量生产以及试制新产品提供了极大便利。因此,能适应当前市场竞争中对产品不断更新换代的要求,解决了多品种及中、小批量生产自动化问题。

2. 精度高、质量稳定

数控机床根据数控程序自动工作,在工作过程中,一般不需要人工干预,这就消除了操作者人为产生的失误和误差;数控机床的机械结构是按照精密机床要求进行设计和制造的,采用滚珠丝杠、滚动导轨等高精度传动部件,而且刚度大,抗干扰性能好;数控机床伺服传动系统的脉冲当量或最小设定单位可以达到 $0.01 \sim 0.0001 \text{ mm}$,同时,工作中还大多采用具有检测反馈的闭环控制,并且有误差修正或补偿功能,可以进一步提高精度和稳定性;数控加工中心具有刀库和自动换刀装置,可以在一次装夹后,完成工件的多面和多工序加工,最大限度地减少了装夹误差的影响。

3. 生产效率高

数控机床能最大限度地减少零件加工所需的机动时间与辅助时间,显著提高生产效率。数控机床的进给运动和多数主运动都采用无级调速,且调速范围大,因此每一道工序都能选择最佳的切削速度和进给速度;良好的结构刚度和抗振性允许机床采用大切削用量进行强力切削;一般不需要停机对工件进行检测,从而有效减少了机床加工中的停机时间;机床移动部件在定位中均采用自动加减速措施,因此可以选用很高的空行程运动速度,大大节约了辅助运动时间;加工中心可采用自动换刀和自动交换工作台等措施,工件一次装夹,可以进行多面和多工序加工,大大减少了工件装夹、对刀等辅助时间。

4. 能实现复杂零件的加工

一方面,随着自动编程技术的发展,利用图形自动编程软件可生成复杂型面的加工程序;另一方面,由于数控机床采用计算机插补技术及多坐标联动控制,可以在加工程序的控制下实现任意的轨迹运动。所

以,数控机床可以很方便地加工出任何形状复杂的空间曲面,如螺旋桨、汽轮机叶片、汽车外形冲压用模具等零件。

5. 减轻劳动强度,改善劳动条件

由于数控机床的操作者主要利用操作面板对机床的自动加工进行操作,因此大大减轻了操作者的劳动强度,改善了生产条件,并且可以一个人轻松管理多台机床。

6. 有利于现代生产与管理

采用数控机床加工,能方便、精确地计算零件的加工工时或进行自动加工统计,能精确计算生产和加工费用,有利于生产过程的科学管理。数控机床是计算机辅助设计与制造(CAD/CAM)、群控或分布式控制(DNC)、柔性制造系统(FMS)、计算机集成制造系统(CIMS)等先进制造系统的基础。

与普通机床相比,数控机床的初始投资及维护费用较高,对操作与管理工作人员的素质要求较高,企业必须从生产实际出发,合理地选择与使用数控机床,并且要循序渐进,培养人才,积累经验,才能达到降低生产成本、提高经济效益和市场竞争力的目的。

三、数控技术的发展趋势和研究方向

数控技术的应用不但给传统制造业带来革命性的变化,使制造业成为工业化的象征,而且随着数控技术的不断发展和应用领域的扩大,它对国计民生等一些重要行业(IT、汽车、轻工、医疗等)的发展起着越来越重要的作用。因为这些行业所需装备的数字化已是现代发展的大趋势。当前世界上数控技术及其装备的发展呈现如下发展趋势。

1. 高速、高精密化

新一代数控机床(含加工中心)只有通过高速化大幅度缩短切削工时才可能进一步提高生产效率。这与超高速加工特别是高速加工中心的开发应用紧密相关。20世纪90年代以来,德、美、日各国争相开发应用新一代高速数控机床,加快机床高速化发展步伐。高速主轴单元(电主轴,转速15 000~100 000 r/min)、高速且高加/减速度的进给运动部件(快移速度60~120 m/min,切削进给速度高达60 m/min)、高性



能数控和伺服系统以及数控工具系统都出现了新的突破,达到了新的技术水平。随着超高速切削机理、超硬耐磨长寿命刀具和磨料磨具、大功率高速电主轴、高加/减速度直线电机驱动进给部件以及高性能控制系统(含监控系统)和防护装置等一系列技术领域中关键技术的解决,应不失时机地开发应用新一代高速数控机床。为了实现高速、高精密加工,与之配套的功能部件如电主轴、直线电机得到了快速的发展,应用领域进一步扩大。

依靠快速、准确的数字量传递技术对高性能的机床执行部件进行精密度、高响应速度的实时处理。由于采用了新型刀具,当分辨率为 $1\text{ }\mu\text{m}$ 时切削速度在 100 m/min (有的达到 200 m/min) 以上,分辨率为 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 时切削速度在 24 m/min 以上;自动换刀速度在 1 s 以内;小线段插补进给速度达到 12 m/min 。根据高效率、大批量生产需求和电子驱动技术的飞速发展,高速直线电机的推广应用,已开发出一批高速、高效及高速响应的数控机床。

从精密加工发展到超精密加工(特高精度加工),是世界各工业强国致力发展的方向。其精度从微米级至纳米级($<10\text{ nm}$),其应用范围日趋广泛。超精密加工主要包括超精密切削(车、铣)、超精密磨削、超精密磨研抛光以及超精密特种加工(微细电火花加工、微细电解加工和各种复合加工等)。随着现代科学技术的发展,对超精密加工技术不断提出了新的要求。新材料及新零件的出现,更高精度要求的提出等,都需要超精密加工工艺,发展新型超精密加工机床,完善现代超精密加工技术,以适应现代科学技术的发展。

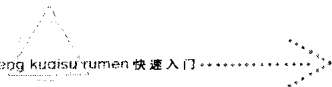
现代科学技术与生产的发展,对机械加工和测量提出了越来越高的精度要求。加工精密化不只是发展新技术的需求,而且也是提高普通机电产品性能质量、寿命和可靠性的需要,同时还是减少机械产品装配的修配工作量,提高装配效率的需要。故机床的加工精度有提高的趋势。近 10 年来,普通级数控机床的加工精度已由原来的 $\pm 10\text{ }\mu\text{m}$ 提高到 $\pm 5\text{ }\mu\text{m}$ 和 $\pm 2\text{ }\mu\text{m}$;精密级从 $\pm 5\text{ }\mu\text{m}$,最高可达 $\pm 1\text{ }\mu\text{m}$ 以内。主轴回转精度为 $0.02\sim 0.05\text{ }\mu\text{m}$,加工圆度为 $0.1\text{ }\mu\text{m}$,表面粗糙度 R_a 为 $0.003\text{ }\mu\text{m}$ 的超精密机床,已有多种产品在市场上出现。2000 年普通加

工和精密加工的精度与 1980 年比,分别提高了 4~5 倍,定位精度达到微米级、纳米级。

效率、质量是先进制造技术的主体。高速、高精密度加工技术可极大提高效率,提高产品质量和档次,缩短生产周期和提高市场竞争力。为此日本先端技术研究会将其列为五大现代制造技术之一,国际生产工程学会(CIRP)将其确定为 21 世纪的中心研究方向之一。如在轿车工业领域,年产 30 万辆的生产节拍是 40 s/辆,而且多品种加工是轿车装备必须解决的重点问题之一。在航空和宇航工业领域,由于其加工的零部件多为薄壁和薄筋,刚度很差,材料为铝或铝合金,因此只有在高切削速度和切削力很小的情况下,才能对这些零件进行加工。近来采用对大型整体铝合金坯料“掏空”的方法来制造机翼、机身等大型零件,以替代多个零件用众多的铆钉、螺钉和其他联结方式拼装大型零部件,使构件的强度、刚度和可靠性得到提高。这些都对加工装备提出了高速、高精度和高柔性的要求。

从 EMO2001 展会情况来看,高速加工中心进给速度可达 80 m/min,甚至更高,空运行速度可达 100 m/min 左右。目前世界上许多汽车厂,已经采用以高速加工中心组成的生产线部分替代组合机床。美国 CINCINNATI 公司的 Hyper Mach 机床进给速度最高达 60 m/min,快速为 100 m/min,加速度达 21 g,主轴转速已达 60 000 r/min。加工一薄壁飞机零件,只用 30 min,而同样的零件在一般高速铣床加工需要 3 h,在普通铣床加工需 8 h。德国 DMG 公司的双主轴车床的主轴速度及加速度分别达到 12 000 r/min 和 1 g。

提高生产率的另一措施就是把非切削时间缩减到最短,主要体现在加快移动速度和缩短换刀时间与工作台交换时间。各坐标轴快速移动速度已由 8~12 m/min 提高到 18~24 m/min,30~40 m/min 的机床也稳定用于生产。意大利 FAS 公司 S630V 型 5 轴控制的立式加工中心的进给速度最高达到 48 m/min,采用直线电动机进给速度达 60~120 m/min,加速度达 1 g。在缩短换刀时间和工作台交换时间方面也取得了较大进展,数控车床刀架转位时间已从 1~3 s 减少到 0.4~0.6 s。加工中心由于刀库和换刀结构的改进,使换刀时间从 5~10 s



减少到 1~3 s,如日本大阪机工的一台卧式加工中心换刀时间为 0.6 s。工作台的交换时间也由 12~20 s 减少到 6~10 s,有的在 2.5 s 以内。

数控机床长期以来一直采用高速钢和硬质合金的刀具材料,致使一般切削速度最多只有 60~70 m/min。到了 20 世纪 70 年代末 80 年代初期,涂层高速钢和涂层硬质合金刀具材料得到了广泛应用。由于其耐磨性和热硬性的提高,因而使切削速度提高到 200~300 m/min 或更高。近年来陶瓷刀具、聚晶金刚石刀具逐步实用化和普及化,使切削速度高达每分钟数百至上千米。而采用 CBN 砂轮用于生产的磨削速度已达到 120~250 m/min。

2. 高可靠性

数控机床的可靠性是数控机床产品质量的一项关键性指标。数控机床能否发挥其高性能、高精度、高效率,并获得良好的效益,关键取决于可靠性。

衡量可靠性重要的量化指标是平均无故障工作时间(Meantime Between Failures, MTBF)。数控机床的 MTBF 已由 20 世纪 70 年代的大于 3 000 h,80 年代的大于 10 000 h,提高到 90 年代初的大于 30 000 h。据日本近期介绍,FANUC 的 CNC 系统已达到 MTBF 大约 125 个月。

高可靠性是指数控系统的可靠性要高于被控设备的可靠性在一个数量级以上,但也不是可靠性越高越好,仍然要适度可靠。因为数控系统是商品,要受性能价格比的约束。对于每天工作两班的无人工厂而言,如果要求在 16 h 内连续正常工作,无故障率 99% 以上的话,则数控机床的平均无故障运行时间(MTBF)就必须大于 3 000 h。对于由不同数量的数控机床构成的无人化工厂差别就大多了。若对一台数控机床而言如果主机与数控系统的失效率之比为 10 : 1 的话(数控的可靠性比主机高一个数量级),此时数控系统的 MTBF 就大于 33 333.3 h。而其中的数控装置、主轴及驱动等的 MTBF 就必须大于 10 万 h。

在可靠性方面,国外数控装置的 MTBF 值已达 6 000 h 以上,伺服系统的 MTBF 值达到 30 000 h 以上,表现出非常高的可靠性。

目前,很多企业正在对可靠性设计技术、可靠性试验技术、可靠性

评价技术、可靠性增长技术以及可靠性管理与可靠性保证体系等进行深入研究和广泛应用,以期使数控机床的整机可靠性提高到一个新水平。

3. 数控机床设计 CAD 化、功能多样化

随着计算机应用的普及及软件技术的发展,CAD(Computer Aided Design,计算机辅助设计)技术得到了广泛发展。CAD 不仅可以替代人工完成浩繁的绘图工作,更重要的是可以进行方案选拔和大件整机的静、动态特性的分析、计算、预测和优化设计,可以对整机各工作部件进行动态模拟仿真。在模块化的基础上,在设计阶段就可以看出产品的三维几何模型和逼真的色彩。采用 CAD,还可以大大提高工作效率,提高设计的一次成功率,从而缩短试制周期,降低成本,增加市场竞争力。

数控机床的设计是一项要求较高、综合性强、工作量大的工作,故应用 CAD 技术就更有必要、更迫切。

(1) 结构设计模块化

任何一类机床都是由若干基础件、标准件和功能部件组成的。尽管在同一类机床中有规格大小和立、卧等形式之分,但大体上功能部件都是相似的。为便于发展同系列和跨系列变形品种,满足用户市场的需要,现在许多机床生产厂家都在发展自己产品的模块化结构设计。

(2) 数控机床结构的创新

数控机床的结构技术重大突破突出表现是近年来已出现的所谓 6 条“腿”结构的加工中心。它是采用可以伸缩的 6 条“腿”(伺服轴)支撑并连接上平台(装有主轴头)与下平台(装有工作台)的构架结构形式,取代传统的床身、立柱等支撑结构,而没有任何导轨与滑板的所谓“虚拟轴机床”(Virtual Axis Machine)。它具有机械结构简单和运动轨迹计算复杂化的特征。其最显著的优点是机床基本性能高,精度相当于坐标测量机,比传统的加工中心高 2~10 倍,刚度为传统加工中心的 5 倍,而在 66 m/min 的轮廓加工速度下,效率相当于传统加工中心的 5~10 倍。6 条“腿”结构加工中心的实例有:英国 GIDDING & LEWIS 公司的 VARIAX(“变异型”)加工中心;瑞士 GEODETIES 公司的