

数控铣床

数控实用技术丛书

操作基础 与 应用实例

王晓余 主编 冼进 主审



电子工业出版社
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY

38

数控实用技术丛书

数控铣床操作基础与应用实例

王晓余 主 编

冼 进 主 审

電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京 • BEIJING

内 容 简 介

本书以数控铣床操作人员为主要对象,以数控铣床的基本操作与编程为核心内容,考虑到普通机床操作工人的数控基础比较薄弱,因此,在介绍数控技术的基础知识、数控系统、数控铣床机械结构、加工工艺和常见故障的分析与处理方法的基础上,重点介绍了数控铣床的操作方法与数控铣床的基本编程方法,以及常见的故障诊断,并用具体的实例加以说明。全书分为三篇,共 11 章,内容包括数控技术基础、数控系统、数控铣床的机械结构、数控铣床的加工工艺、数控铣床的操作方法、数控铣床的编程方法、基础零件与典型零件的数控铣加工、数控铣床常见故障的分析与处理方法。

本书内容丰富,详略得当,通俗易懂,实用性强。既可作为高等职业教育机电类专业中从事数控铣床技术以及相关工程技术人员的学习用书,也可作为数控铣床技术工人的培训教材。此外,对从事数控加工技术人员和传统机械制造业技术工人更新知识、提高职业技能、学习数控知识也有重要的参考价值。

未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书之部分或全部内容。

版权所有,侵权必究。

图书在版编目(CIP)数据

数控铣床操作基础与应用实例 / 王晓余主编. —北京: 电子工业出版社, 2007.1

(数控实用技术丛书)

ISBN 978-7-121-03663-7

I. 数… II. 王… III. 数控机床: 铣床—操作 IV. TG547

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 155849 号

责任编辑: 李 洁 特约编辑: 王占禄

印 刷: 北京市海淀区四季青印刷厂

装 订: 涿州市桃园装订有限公司

出版发行: 电子工业出版社

北京市海淀区万寿路 173 信箱 邮编 100036

开 本: 787×1092 1/16 印张: 17 字数: 432 千字

印 次: 2007 年 1 月第 1 次印刷

定 价: 26.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题,请向购买书店调换。若书店售缺,请与本社发行部联系,联系电话:(010) 68279077; 邮购电话:(010) 88254888。

质量投诉请发邮件至 zlts@phei.com.cn, 盗版侵权举报请发邮件至 dbqq@phei.com.cn。

服务热线:(010) 88258888。

反侵权盗版声明

电子工业出版社依法对本作品享有专有出版权。任何未经权利人书面许可，复制、销售或通过信息网络传播本作品的行为；歪曲、篡改、剽窃本作品的行为，均违反《中华人民共和国著作权法》，其行为人应承担相应的民事责任和行政责任，构成犯罪的，将被依法追究刑事责任。

为了维护市场秩序，保护权利人的合法权益，我社将依法查处和打击侵权盗版的单位和个人。欢迎社会各界人士积极举报侵权盗版行为，本社将奖励举报有功人员，并保证举报人的信息不被泄露。

举报电话：(010) 88254396；(010) 88258888

传 真：(010) 88254397

E-mail: dbqq@phei.com.cn

通信地址：北京市万寿路 173 信箱

电子工业出版社总编办公室

邮 编：100036

前 言

近年来,数控机床的功能日趋完善,许多企业逐步采用数控机床代替普通机床。这就需要培养一大批能熟练掌握现代数控机床操作和懂得基本编程知识的人才。同时,为了适应我国高等职业技术教育的发展,在总结作者多年从事数控铣床教学与工作实践基础上,编写了《数控铣床操作基础与应用实例》一书。

数控机床是典型的机电一体化产品,综合了精密机械、电子、电力拖动、自动控制、自动检测、故障诊断和计算机等多方面的技术。数控机床的高精度、高效率及高柔性决定了大力推广使用数控机床是中国制造业提高制造能力和水平、提高市场适应能力和竞争能力的必由之路。

数控铣削加工是机械加工中最常用和最主要的数控加工方法之一。自我国加入 WTO 以来,国内的汽车工业、航空航天工业得到了快速发展,大量具有复杂曲面的零件,如模具、叶片和螺旋桨等,都需要用数控铣床进行加工。

主要内容

本书根据读者的学习习惯,分三篇进行介绍。

第一篇为基础篇,包括第 1 章~第 5 章。主要介绍数控机床基础、数控机床的 CNC 装置、数控铣床的检测装置及伺服系统、数控铣床的机械结构及数控铣床加工工艺等知识。

第二篇为操作与编程篇,包括第 6 章~第 10 章。本篇采用实例的方法介绍了数控铣床和常用数控铣床的操作方法,并提供了数控铣床编程、基础零件数控铣床编程实例和典型零件数控铣床编程实例等。

第三篇为维护与维修篇,包括第 11 章。本篇详细介绍了数控机床的维护与常见故障的诊断和维修方法的知识。

本书特点

本书以数控铣床操作人员为主要对象,以数控铣床的基本操作与编程为核心内容,同时考虑到普通机床操作工人的数控基础比较薄弱,因此,在介绍了数控技术的基础知识、数控系统、数控铣床机械结构、加工工艺和常见故障的分析与处理方法的基础上,重点介绍了数控铣床的操作方法与数控铣床的基本编程方法。

适应对象

本书既可作为各类高等职业技术学院机电类专业的教学用书,也可作为从事数控铣床

技术和相关工程技术人员掌握数控铣床编程的学习用书。另外，对数控加工技术人员和传统机械制造业技术工人更新知识、提高职业技能和学习数控知识也有重要的参考价值。

本书由王晓余主编，冼进主审。同时参与本书编写的工作人员还有邹素琼、赵秋云、赵继军、彭艺、曲辉辉、周章、蒋波、徐留旺、曹振宇、张婷、温凌霜、鲁得翠、蒋泽平、魏乐、韩翔、程小英、谭小丽、卢丽娟、李小琼、周宏、罗吉、许翔燕、陈春、张忠、方小马、黄姹英、周明、宋晶、邓勇等，在此一并表示感谢！

由于编者水平有限，时间仓促，书中难免有不足，甚至错误之处，恳请读者及各位专家批评指正。为充分展现本书的编写特点，帮助读者深刻理解本书编写意图与内涵，进一步提高对本书教学的使用效率，我们建立本书使用指导联络方式，这将是读者与编者之间交流沟通的直通车，欢迎读者将图书使用过程中的各种问题与建议反馈给我们，编者将会竭诚给予满意的答复。我们的联系方式为 E-mail: china_54@tom.com。

编 者

目 录

第一篇 基础篇

第 1 章 数控机床基础	(2)
1.1 数控机床的产生与发展	(3)
1.1.1 数控机床的产生	(3)
1.1.2 数控机床的发展	(3)
1.2 数控机床的组成及特点	(9)
1.2.1 数控机床的组成	(9)
1.2.2 数控机床的特点	(10)
1.3 数控机床的分类	(12)
1.3.1 按工艺用途分类	(12)
1.3.2 按运动方式分类	(12)
1.3.3 按控制方式分类	(14)
1.4 数控机床的加工对象	(15)
1.5 习题	(16)
第 2 章 数控铣床的 CNC 装置	(17)
2.1 数控铣床的总体布局	(18)
2.1.1 卧式数控镗铣床的常用布局形式	(18)
2.1.2 立式数控镗铣床的常用布局形式	(19)
2.2 计算机数控 (CNC) 装置	(19)
2.2.1 CNC 装置的工作原理与特点	(20)
2.2.2 CNC 装置的硬件结构	(23)
2.2.3 CNC 系统的软件结构	(27)
2.2.4 CNC 系统的接口电路	(30)
2.3 习题	(34)
第 3 章 数控铣床的检测装置及伺服系统	(35)
3.1 数控铣床的检测装置	(36)
3.1.1 检测装置的分类	(36)
3.1.2 数控测量装置的性能指标及要求	(37)
3.1.3 常用的位置检测装置感应同步器	(37)
3.2 数控铣床的伺服系统	(44)

3.2.1	概述	(44)
3.2.2	伺服系统的驱动元件	(47)
3.2.3	步进式伺服系统	(56)
3.2.4	鉴相式伺服系统	(63)
3.2.5	CNC 数字伺服系统	(68)
3.3	习题	(70)
第 4 章	数控铣床的机械结构	(71)
4.1	数控铣床的机械结构组成	(72)
4.1.1	数控铣床的结构组成	(72)
4.1.2	数控铣床机械结构的主要特点	(73)
4.2	数控铣床的主传动系统及主轴部件	(74)
4.3	数控铣床进给系统机械传动部分的元件	(77)
4.4	数控铣床的导轨	(86)
4.5	数控铣床的辅助装置	(89)
4.6	习题	(91)
第 5 章	数控铣床加工工艺	(92)
5.1	数控铣床加工工艺概述	(93)
5.1.1	数控铣床加工的主要对象	(93)
5.1.2	数控铣床加工工艺的基本特点	(94)
5.1.3	数控铣床加工工艺的主要内容	(94)
5.2	数控铣削加工工艺基础	(94)
5.2.1	走刀路线的确定	(95)
5.2.2	铣削刀具的选择	(97)
5.2.3	铣削用量的选择	(99)
5.3	工件在数控铣床上的定位与装夹	(100)
5.3.1	工件定位的基本原理与基准的选择原则	(100)
5.3.2	常见定位方式及定位元件	(106)
5.3.3	工件在数控铣床上的夹紧	(111)
5.3.4	数控铣床夹具介绍	(114)
5.3.5	夹具的选择	(118)
5.4	习题	(118)

第二篇 操作与编程篇

第 6 章	数控铣床的操作方法	(120)
6.1	数控铣床的主要技术参数	(121)

6.2 数控铣床的面板及功能	(122)
6.3 数控铣床的操作方法与步骤	(128)
6.3.1 电源的接通与关断	(128)
6.3.2 手动运转	(128)
6.3.3 自动运转	(129)
6.3.4 试运转	(130)
6.3.5 安全操作	(130)
6.3.6 程序的输入与编辑	(130)
6.3.7 数据的显示与设定	(131)
6.3.8 数控铣床的对刀与工件坐标系的建立	(132)
6.3.9 选择加工方式	(133)
6.3.10 进行加工	(134)
6.3.11 数控铣床操作注意事项	(134)
6.4 常用量具的结构和使用方法	(135)
6.4.1 游标卡尺	(135)
6.4.2 千分尺	(138)
6.4.3 百分表	(138)
6.5 习题	(141)
第7章 常用数控铣床的操作	(142)
7.1 FANUC-0-MD 系统数控铣床	(143)
7.1.1 铣床简介	(143)
7.1.2 传动系统	(144)
7.1.3 基本操作	(147)
7.2 FANUC-OI-MA 系统数控铣床	(152)
7.2.1 主要技术参数	(152)
7.2.2 操作面板	(153)
7.2.3 基本操作	(156)
7.3 SINUMERIK 802S 系统数控铣床	(158)
7.3.1 主要技术参数	(158)
7.3.2 操作面板	(159)
7.3.3 基本操作	(162)
7.4 SuperMan-200M 系统数控铣床	(166)
7.4.1 主要技术参数	(166)
7.4.2 操作面板	(166)
7.4.3 基本操作	(167)
7.4.4 操作说明	(170)
7.4.5 机床的操作	(172)

7.5	FR-3M 系统 XKJ5025 型数控铣床	(174)
7.5.1	系统的通电开机与关机	(174)
7.5.2	程序的编辑与管理	(175)
7.5.3	手动操作	(176)
7.5.4	自动加工	(177)
7.6	习题	(178)
第 8 章	数控铣床编程	(179)
8.1	数控编程概述	(180)
8.2	编程方法	(180)
8.2.1	手工编程	(181)
8.2.2	自动编程	(182)
8.3	程序编制中的坐标系	(182)
8.3.1	数控铣床的坐标系	(182)
8.3.2	工件坐标系	(183)
8.3.3	绝对坐标系与增量(相对)坐标系	(184)
8.4	常用编程指令	(185)
8.4.1	准备功能 G 代码	(185)
8.4.2	辅助功能 M 代码	(189)
8.5	固定循环	(192)
8.6	习题	(194)
第 9 章	基础零件数控铣床编程实例	(195)
9.1	连杆的数控铣加工	(196)
9.1.1	连杆零件分析	(196)
9.1.2	程序编制与技术要点	(196)
9.2	孔的数控铣加工	(198)
9.2.1	带孔的零件分析	(198)
9.2.2	样板的零件分析	(199)
9.2.3	带孔的面板零件分析	(201)
9.3	螺纹的数控铣加工	(201)
9.3.1	螺纹零件分析	(201)
9.3.2	程序编制与技术要点	(202)
9.4	槽的数控铣加工	(204)
9.4.1	槽零件分析	(204)
9.4.2	程序编制与技术要点	(204)
9.5	台阶形工件的数控铣加工	(205)
9.5.1	台阶平面的零件分析	(205)

9.5.2 凸台零件分析	(207)
9.6 习题	(208)
第 10 章 典型零件数控铣床编程实例	(213)
10.1 平面凸轮零件数控铣床编程实例	(214)
10.1.1 模板平面的数控铣加工	(214)
10.1.2 外轮廓的数控铣加工	(215)
10.1.3 内轮廓的数控铣加工	(217)
10.2 端盖零件数控铣床编程实例	(218)
10.3 模具零件数控铣床编程实例	(222)
10.3.1 凹模的数控铣加工	(222)
10.3.2 凸模的数控铣加工	(223)
10.3.3 型腔的数控铣加工	(224)
10.4 铣削编程综合实例	(226)
10.5 习题	(231)

第三篇 维护与维修篇

第 11 章 数控机床的维护与常见故障诊断、维修	(234)
11.1 数控机床的维护	(235)
11.1.1 数控机床维护的基本要求	(235)
11.1.2 数控机床维护的类别和内容	(235)
11.2 数控机床故障诊断与维修的概念	(237)
11.3 数控机床机械故障诊断	(242)
11.4 数控系统故障诊断	(249)
11.5 数控铣床常见故障诊断与维修实例	(254)
11.6 习题	(257)
参考文献	(258)

第一篇 基础篇

第 1 章

数控机床基础

知识点:

- 数控机床的产生与发展
- 数控机床的分类
- 数控机床的组成与特点
- 数控机床的加工对象

本章导读:

随着电子技术在制造业的应用与发展,数字控制技术也逐步在现代工业企业中发挥着强有力的作用。数控机床采用了计算机数字控制(Computerized Numerical Control)系统,因此也称为计算机数控机床或CNC机床,简称数控机床(Numerically Controlled Machine Tool)。下面就数控机床的产生、发展与结构作一个简单的介绍。



1.1 数控机床的产生与发展

数控技术是制造业实现自动化、柔性化、集成化生产的基础。数控技术水平高低和数控设备的拥有量,是体现一个国家综合国力水平、衡量工业现代化程度的重要标志之一。

1.1.1 数控机床的产生

随着科学技术的迅速发展,人们对机械加工的精度要求越来越高。机械加工工艺过程的自动化成为实现上述要求的最重要措施之一。它不仅能够提高产品质量、生产率、降低生产成本,还能够极大地改善工人的劳动条件,减轻劳动强度。

机械制造业广泛采用了自动机床、组合机床和以专用机床为主体的自动化生产线,采用多刀、多工位和多面同时加工等方式,进行着单一产品零件的高效率和高度自动化的生产。但这种生产方式需要巨大的初期投入和很长的生产准备周期。因此,它仅适用于批量较大的零件生产。

数控机床的工作过程是将加工零件的几何信息和工艺信息进行数字化处理,即对所有的操作步骤(如机床的启动或停止、主轴的变速、工件的夹紧或松夹、刀具的选择和交换、切削液的开或关等)和刀具与工件之间的相对位移以及进给速度等都用数字化的代码表示。在加工前由编程人员按规定的代码将零件的图纸编制成程序,然后通过程序载体(如穿孔带、磁带、磁盘、光盘和半导体存储器等)或手工直接输入(MDI)方式将数字信息送入数控系统的计算机中进行寄存、运算和处理,最后通过驱动电路由伺服装置控制机床实现自动加工。数控机床最大的特点是当改变加工零件时,一般只需要向数控系统输入新的加工程序,而不需要对机床进行人工的调整和直接参与操作,就可以自动地完成整个加工过程。

数控机床的研制最早是从美国开始的。20世纪40年代世界上首台数字电子计算机的诞生,使数控机床的出现成为可能。1948年美国帕森斯公司(Parsons Co.)在研制加工直升机叶片轮廓检验样板的机床时,首先提出了用电子计算机控制机床加工复杂曲线样板的新理念。该公司受美国空军的委托与麻省理工学院(MIT)伺服机构研究所进行合作研制,在1952年研制成功了世界上第一台运用电子计算机控制的三坐标立式数控铣床。研制过程中采用了自动控制、伺服驱动、精密切量和新型机械结构等方面的技术。后来又经过改进,于1955年实现了产业化,并批量投放市场,但由于技术上和价格上的原因,还只局限在航空工业中应用。数控机床的诞生,对复杂曲线、型面的加工起到了非常重要的作用,同时也推动了美国航空工业和军事工业的发展。

1.1.2 数控机床的发展

随着信息技术在全球的迅猛发展,社会各行各业都发生了很大的变化,尤其在加工制造业出现了喜人的局面,新的机械产品层出不穷,新的加工技术不断更新,作为主要加工

工具的数控机床也得到了很快的发展，目前国内外主流数控系统，如：FANUC、SINUMERIK、SuperMan 和经济型数控系统等都得到了空前的发展。

1. 数控机床结构的发展

数控机床在发展的最初阶段，一般是在原有传统的机床上配备数控系统，并对某些结构进行改进而成为一台数控机床。随着对数控机床功能要求的不断提高，传统机床的结构刚度、抗振性、热变形以及低速爬行等性能已经不能满足数控机床的要求。这是由于数控机床是完全按照数控装置发出指令，在没有人干预的情况下自动进行加工的，因此数控机床在机械结构上必须比传统机床有更好的静刚度、动刚度和热刚度。提高数控机床的几何精度，其进给传动链也必须有足够的刚度，并采用消除传动间歇的装置，同时还必须采用滚珠丝杠传动和滚动导轨以消除低速爬行，实现微量进给以保证数控机床具有很高的重复定位精度。

20 世纪 60 年代初期，在一般数控机床的基础上又开发了数控加工中心机床，这是对数控机床的又一重大发展，数控加工中心机床至今仍然被公认为是功能最完善的自动化单机。它是在一般数控机床（如镗床、铣床和车床等机床）上加装刀具数量不等的刀库和自动换刀装置。工件在一次装夹中可以连续地进行铣、镗、钻、铰以及攻丝等多工序的加工。与一般数控机床相比减少了机床的占地面积、机床的台数、在制品的库存量、工序间的各种辅助时间，最终有效地提高了生产率。目前刀库的刀具容量可以多达 200 把，自动换刀的时间仅需 0.9s（刀到刀）或 2.8s（切削到切削），工作台（托盘）的交换时间为 6.3s。更具有实际意义的是减小了工件在多次装夹中的定位误差，完全可以依靠机床本身的精度保证工件的加工质量。如图 1-1 所示，是一台镗铣加工中心。如图 1-2 所示，是由日本三井精机生产的 VU50A 型立式精密加工中心，其行程为 700 mm×500 mm×450 mm，全行程精度可达±0.0001mm。

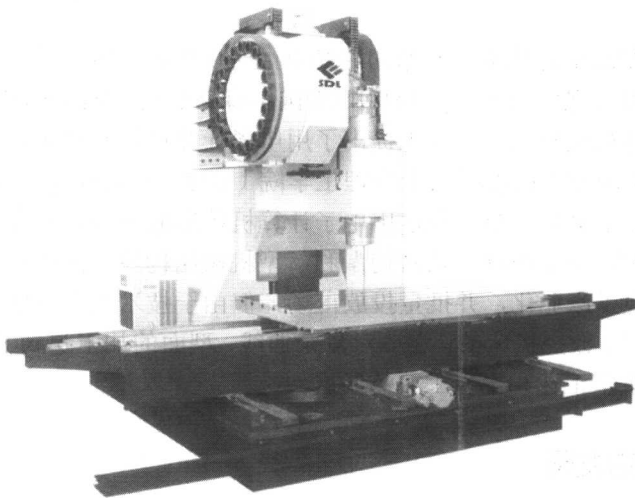


图 1-1 立式镗铣加工中心

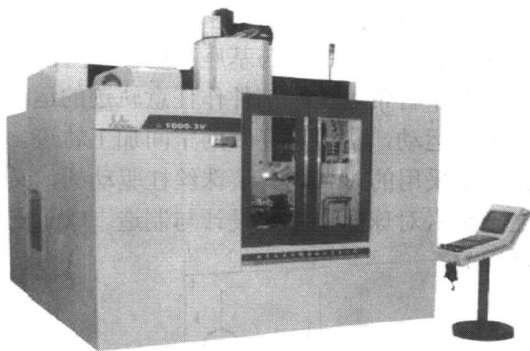


图 1-2 立式精密加工中心

20 世纪 70 年代后期,在数控加工中心机床的基础上又发展了五面体加工中心,它是在一次装夹中完成安装底面以外的所有表面和精密孔系加工。由于采用了刚性极好的床身、立柱等结构和立式/卧式转换主轴部件或立式/卧式一体化主轴部件,对于加工诸如箱体零件、汽车覆盖件模具和船用柴油机缸体等工件具有很高的加工精度、机床利用率和综合经济效益。这是由于五面体加工中心使切削时间占加工总时间的比例成倍增加,大幅度减少切削准备时间和测量时间的结果。图 1-3 为龙门式五面体加工中心(刀库及自动换刀装置未在图中表示出),其主轴部件可以自动更换为立式或卧式布局,以满足工件不同表面的加工需要。

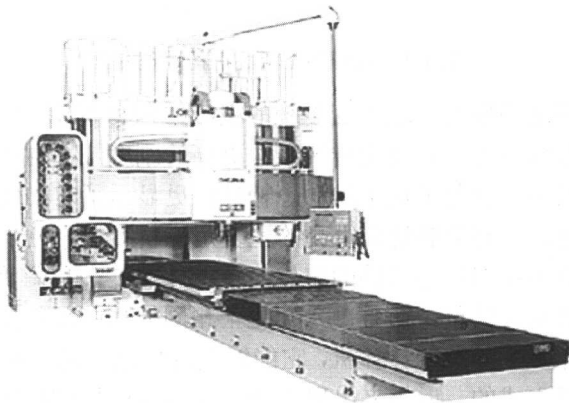


图 1-3 龙门式五面体加工中心

在数控加工中心出现以后,加工工序的进一步集中仍然是数控机床发展的趋势。例如,带有工业机器人和工件交换系统的车削加工中心和带有工件交换系统的数控齿轮加工机床以及可以自动更换电极的电火花加工中心机床都体现了这种趋势。

在计算机数控多轴联动技术和复杂坐标快速变换运算方法发展的基础上,20 世纪 60 年代出现的 Stewart 平台概念(同时改变六根杆子长度,实现六个自由度运动),到 20 世纪 90 年代初已经应用在数控机床上。六杆数控机床(又称并联数控机床)是 20 世纪最具

革命性的机床运动结构的突破。该数控机床由机座与运动平台及六根可伸缩杆件组成，每根杆件的两端通过球面支撑分别将运动平台与基座相连，并由伺服电动机和滚珠丝杠按数控指令实现伸缩运动，使运动平台带着主轴部件作任意轨迹的运动。工件固定在基座上，刀具相对工件作六个自由度的运动，实现所要求的空间加工轨迹。图 1-4 为六杆加工中心的机构原理图。六杆数控机床采用的方式既有滚珠丝杠驱动的，又有滚珠螺母驱动的。六杆数控机床的关键技术之一是六对球面支撑的设计与制造。球面支撑将对运动平台的运动精度和定位精度产生直接影响。

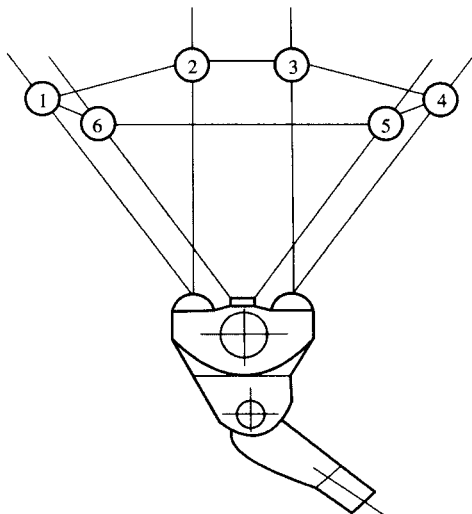


图 1-4 六杆加工中心机构原理图

六杆数控机床采用运动聚合原理改变传统的机床结构和布局。重量较轻的主轴部件和切削刀具由六根杆件分摊受力，具有比传统结构更高的刚度。特别在高速运动时，由于运动部件的质量大幅度减小，改善了机床的动态特性，更显示了它的优点。六杆数控机床的六杆结构使误差平均化，因而能够达到很高的重复定位精度，避免了传统机床的几何结构误差。由于采用虚拟轴实现刀具与工件的定位，使工件的装夹和调整大大简化。

六杆数控机床的结构较简单，而且由六套完全相同的功能部件构成，可使成本下降。由于采用了能进行高速坐标运算的计算机，它能够实现快速运动和精确定位。Stewart 平台式的数控机床通常都是立式的，近年来出现了卧式布局六杆数控机床，改善了立式数控机床工件的可接近性和加工空间相对机床所占空间之比低的缺陷，这又是一次六杆数控机床的重大改进。但是，由于机床是并联结构，其旋转坐标轴的运动范围，受到较大的限制。同时，坐标轴运动控制由于其相关性而显得比较复杂。

2. 数控系统的发展

半个世纪以来，数控系统已由专用计算机硬线数控发展为以超大规模集成电路微处理器为核心的计算机数控，也称为软线数控或现代数控。数控机床自 20 世纪 70 年代采用计算机数控之后，发展成为现代数控机床，从根本上解决了数控机床的可靠性、性价比和编程等关键问题，因而在世界各国都得到普遍应用和推广。