

加工中心实用技术

(日) 东芝机械加工中心研究会 著

MC

机械工业出版社

本书内容包括：加工中心的发展过程、种类及其系统；主轴、工作台、进给机构和自动换刀装置；加工中心的热变形、数控装置、自动测量与诊断和适应控制；加工中心与柔性制造系统的关系；适合于加工中心加工的工件及其基准选择；加工计划、刀具明细表和刀具调整卡的制作；工件安装与调试；加工中心的数控功能和手工及自动编程；加工中心的运转及对小孔、箱体、铝合金、薄壁元件的加工技术；如何提高加工中心的使用效率和加工精度；工时定额的估计；曲面加工；加工中心的精度检验；加工中心的切削用量表及其切削用量的选择等。

本书适合于从事机械加工的技术人员及机床设计、制造与使用的设计、工艺、检验和操作人员阅读，也是工科院校师生的实用参考书。

知ソ左ソマシニングセンタ
東芝機械マシニングセンタ研究会著
シヤパンマシニスト社 1982

* * *

加工中心的实用技术

〔日〕东芝机械加工中心研究会 著

阎太忱 刘昌祺 译

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

空军西安印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本850×1168¹/₃₂·印张10·字数253千字

1990年10月第一版·1990年10月第一次印刷

印数 00,001—3,000·定价:7.00元

*

ISBN7-111-02388-9/TH·392(x)

序 言

自从美国波士顿的麻省理工学院 (MIT) 进行数控机床的控制实验以来, 业已30多年了。我联想到在1960年访美时, 在芝加哥的K & T公司首次参观数字控制加工中心时的惊讶心情, 再看看当今我国加工中心的发展和普及, 作为从第二次世界大战后一直从事机床制造的科技工作者来说, 深感这20余年来技术变迁的重大意义。

由于半导体的发展, 促进了电子装置性能的迅速提高和成本的降低。由于采用电子技术的数控装置的进步, 致使数控机床的生产率大幅度提高。特别是数控机床和加工中心实现了复杂零件加工自动化、高效率化和高精度化。为此, 对数控机床和加工中心展开了强烈的开发性竞争, 从而把数控机床和加工中心的性能提高到了一个新的水平。其结果, 大大地增加了数控机床和加工中心的出口量。甚至现在, 在日本和先进的机床生产国之间, 这已成为贸易竞争中的严重摩擦原因之一。

本书作者均是亲身经历了我国机床变化过程的技术工作者。为此, 当我感到他们在我国机床发展这一历史时期中的重要性时, 乃欣然命笔、写此导言。

现在的加工中心远不能说实现了机床的理想, 因为在传感器的开发方面尚不完善的今天, 加工中心的适应控制是难以完成的。如果不能实现适应控制, 则柔性制造系统 (FMS) 也难以实现。在实现机床的理想过程中, 深感应做之事太多, 急待开发的问题也不少。为此, 本书并不否认在实现理想机床的过程中所存

在的现实问题。然而，在我国机械工业的独特环境中，播下的数控技术的种子正在茁壮成长，在降低成本和提高效率方面业已日趋成熟。我深信，以此为基础的我国加工中心已受到用户的好评，这必将在世界范围内传播开来。

如果本书有助于从事机床制造的工程技术人员或我公司数控机床和加工中心的用户的话，我深感喜出望外、格外幸福。此外，切望在不远的将来，我们的后继者在先进机床和机械加工系统方面著书立说的日子早日到来。

小池 八衛（日本东芝机械有限公司经理，机床部部长）

1982年4月

译 者 序

在机械制造业中引入数控技术，这是机械加工中的一场重大革命。这不但提高了产品的加工精度和生产率，而且使生产系统发生了根本性变化。加工中心是数控机床中生产率和自动化程度最高的综合性机床。它综合了数控铣床、数控镗床、数控钻床的功能，并附加了自动换刀装置和刀库，可以在一次安装工件之后，进行多面和多工序的端面、孔系、内外倒角、环形槽等加工。为此，加工中心广泛用于汽车制造业、航空航天工业、机器人制造业、电子机械业、机床制造业和造船业等。特别是由于加工中心具有3个坐标以上的联动功能，所以是模具制造业的重要设备。

此外，由于电子技术的迅速发展，各种性能良好的传感器不断地投放市场，使加工中心的功能更趋完善，这些功能包括：刀具寿命监视功能；刀具的磨损和损伤功能；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；自动测量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有机连结，并能进行切屑的自动处理。所有这些，使得加工中心可以无人管理。因此，它是柔性制造系统、自动化车间和无人工厂的必不可少的极为关键的重要设备。

我国除引进了大量加工中心之外，国产加工中心也在与日俱增。为了消化和有效地使用这些设备，译者翻译了本书，以满足当前普及加工中心的技术要求。

本书的特点是理论结合实际，实例丰富，图文并茂，工艺参数、图表齐全，对普及加工中心的使用有重要的参考价值。

由于译者水平有限，错误难免，敬请读者批评指正。

译者 1987年4月

目 录

序 言

译者序

第 1 章 何谓加工中心

1.1 加工中心的发展过程..... (1)

1.1.1 为什么会出现加工中心..... (1)

1.1.2 加工中心的发展过程 .. (3)

1.1.3 加工中心的定义 . . . (7)

1.2 加工中心的种类..... (8)

1.2.1 立式加工中心..... (8)

1.2.2 卧式加工中心..... (14)

1.2.3 大型加工中心..... (24)

1.2.4 车削加工中心..... (27)

1.2.5 以加工中心为主的制造系统..... (31)

第 2 章 加工中心的组成要素

2.1 加工中心的机构..... (35)

2.1.1 主轴..... (35)

2.1.2 工作台..... (37)

2.1.3 进给机构..... (38)

2.1.4 自动换刀装置..... (45)

2.1.5 托板交换装置..... (49)

2.2 加工中心的热位移..... (50)

2.3 加工中心的数控..... (52)

2.4 加工中心的外围设备	(59)
---------------	--------

2.5 加工中心的发展前途	(63)
---------------	--------

第3章 加工前的准备

3.1 加工中心加工的条件	(67)
---------------	--------

3.1.1 加工过程	(67)
------------	--------

3.1.2 适合加工中心加工的零件	(70)
-------------------	--------

3.1.3 人的作用	(73)
------------	--------

3.2 标准和基准的制定	(75)
--------------	--------

3.2.1 标准和基准的必要性及内容	(75)
--------------------	--------

3.2.2 标准化的具体实例	(77)
----------------	--------

3.3 加工计划和刀具卡的制作	(81)
-----------------	--------

3.3.1 加工计划的制作	(81)
---------------	--------

3.3.2 刀具卡的制作	(89)
--------------	--------

3.4 刀具的调整	(100)
-----------	---------

第4章 工件的定位与安装

4.1 基准选择	(104)
----------	---------

4.1.1 工件基准面的选择	(104)
----------------	---------

4.1.2 以孔为基准的工件	(110)
----------------	---------

4.1.3 以工作台为基准	(114)
---------------	---------

4.1.4 基准的重合	(117)
-------------	---------

4.2 安装和夹紧	(121)
-----------	---------

4.2.1 夹紧操作	(121)
------------	---------

4.2.2 夹具实例	(126)
------------	---------

4.2.3 万能夹具	(131)
------------	---------

第5章 加工中心的运转

5.1 数控纸带的准备	(133)
-------------	---------

5.1.1 机械坐标轴和坐标系	(133)
-----------------	---------

5.1.2 数控纸带	(136)
------------	---------

5.1.3 数控功能·····	(142)
5.2 程序的实际编制·····	(149)
5.2.1 手工编程·····	(149)
5.2.2 自动编程·····	(156)
5.3 运转前的检查·····	(166)
5.3.1 纸带检查·····	(166)
5.3.2 运转准备·····	(169)
5.3.3 通过数控机床检查程序·····	(172)

第6章 切削的基本知识

6.1 切削和切削刀具的一般知识·····	(175)
6.1.1 切削用量·····	(175)
6.1.2 切削阻力与比切削力·····	(177)
6.1.3 端面铣削·····	(179)
6.1.4 镗削加工·····	(183)
6.1.5 立铣·····	(185)
6.1.6 钻孔与攻丝·····	(189)

第7章 加工中心的加工实例

7.1 加工中心的运转实例·····	(195)
7.1.1 小形工件一次加工多个的方法·····	(195)
7.1.2 薄板零件的加工及其夹具设计·····	(200)
7.1.3 $\phi 0.5\text{mm}$ 的钻孔加工·····	(201)
7.1.4 齿轮箱的加工·····	(204)
7.1.5 铝合金工件的加工精度·····	(205)
7.1.6 人造卫星零件的加工·····	(207)
7.2 大型车削加工中心·····	(215)
7.2.1 大型加工中心·····	(215)
7.2.2 大型加工中心的加工实例·····	(219)
7.2.3 车削加工中心和加工实例·····	(223)

7.3 提高效率和工时估计·····	(226)
7.3.1 如何提高效率·····	(226)
7.3.2 工时估计·····	(232)
第 8 章 自由曲面的加工	
8.1 同时 5 轴控制的数控机床·····	(240)
8.1.1 为何要用同时 5 轴控制的数控机床·····	(240)
8.1.2 工作台旋转的 5 轴数控机床·····	(243)
8.1.3 主轴头旋转的 5 轴数控机床·····	(244)
8.2 数控曲面加工软件·····	(245)
8.2.1 数控自动编程系统·····	(245)
8.2.2 数控自动编程系统的基本考虑方法·····	(246)
8.2.3 制作数控纸带的零件程序·····	(250)
8.2.4 同时多轴控制用的后置处理系统·····	(262)
8.3 实际加工·····	(264)
8.3.1 关于加工方面的研究事项·····	(264)
8.3.2 实际加工顺序·····	(270)
第 9 章 加工中心的刀具	
9.1 加工中心的刀具·····	(273)
9.1.1 心轴和刀座·····	(273)
9.1.2 镗杆·····	(284)
9.1.3 专用工具·····	(292)
第10章 加工中心的精度管理	
10.1 原点的确定·····	(296)
10.2 加工中心的静态精度检查 JIS B6336 ·····	(297)
附 录 加工中心的切削用量 ·····	(305)

第1章 何谓加工中心

加工中心 (Machining Center) 是适应省力和节能的时代要求而迅速发展起来的多刀数控(NC: Numerical Control)机床, 其各种新机型和日新月异的性能均在有关报纸、杂志和展览会上作了介绍。

加工中心的选型因加工零件的形状和大小不同而有所差别。为了熟练地掌握这种机械, 必须掌握编程技术和它的各种外围设备。

在此, 首先就加工中心的基本知识, 诸如其发展历史, 使用目的和种类等说明如下。

1.1 加工中心的发展过程

1.1.1 为什么会出现加工中心

何谓加工中心

Machining Center 这一术语直译为“加工中心”, 这是指在一台机床上可以实现铣平面、钻孔、镗孔和攻螺纹等多种加工的铣床系统综合机床的总称。其语源来自于1958年美国卡奈-特列卡公司和休斯公司合作开发的数控卧式镗床的商品名。

若将加工中心视为综合加工的机械, 则不只是铣床系和卧式镗床系的机械, 还可根据加工的主要内容(加工比例高的部分), 将加工中心分成许多类型。图1-1所示是以车床加工为主, 图1-2所示是以立式车削为主。

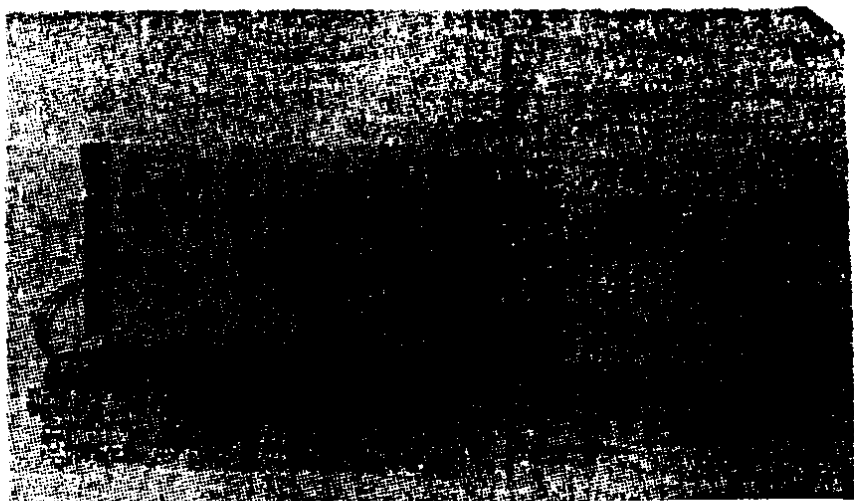


图 1-1 车床形式的加工中心（池县铁工）

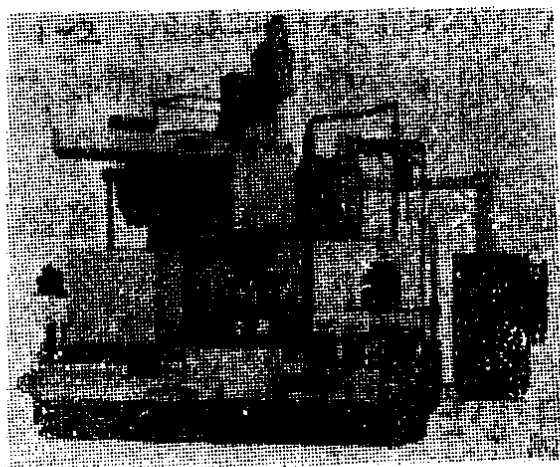


图 1-2 立式车床形式的加工中心（东芝机械）

加工中心的诞生理由

零件是由毛坯经过若干工序后才能制作完成的。其完成时间的预测必须建立在严格安排和妥善管理的基础上。如果这个预测不准确，将会造成产品积压或使生产停止。不仅如此，在加工过程中，由于操作失误，还将产生废品或使产品质量下降。。

然而，经营者最关心的是如何根据生产计划制造出品质优良的产品来。所以，在1965年，工业界为了提高生产率，将加工过程进行了专业化和专门化，从而取得了明显效果。但是，用通用机床制造零件主要是依靠操作者的个人技能，因而不能实现理想的专业化和专门化。即使对操作人员进行一些教育，要使他们

迅速提高技能也是没有多大指望的。

解决上述问题的手段是进步惊人的数控机床和加工中心。通过编程人员把熟练操作人员的技能转变成数控纸带的信息，在充分准备好切削刀具的条件下，加工中心将在短时间内生产出成本低廉和质量可靠的零件来。这就是说，加工中心不同于专用机床和组合机床，只要改变数控纸带和准备好刀具，就能够柔性地实现多品种小批量的零件加工。

为了进一步追求省力化，在数控机床的基础上，增设了自动换刀装置（ATC: Automatic Tool Changer）和工件的搬运装置。这些装置在数控装置的控制下动作，这就组成了加工中心。

1.1.2 加工中心的发展过程

不断发展的加工中心

数控机床自1955年诞生以来，通过反复改进，在可靠性、性能和价格等方面，已经发展成为深受机械制造界欢迎的加工中心的形式了。众所周知，普通机床是靠操作者的直观感觉测量和调整机床来进行手工操作的。由普通机床发展成为自动加工的加工中心，经过了漫长的岁月。

象现在这样，由于数控机床的可靠性高，所以在切削加工中，即使不用手工干预也能正常进行切削加工。然而，不能满足于这种现状，尚需继续努力提高机床的自动化程度，以满足于厂家和用户的要求。现在，就加工中心的发展过程回顾如下。

关于精度问题

为了不必依赖操作者的技能而能够稳定地加工出所要求精度的制品，要求机床本身精度要比零件的精度高一级。此外，还要求主轴的振摆、运动部分的直线性和滑动阻力、运动部分之间的

垂直度、定位精度、热变形和数控装置的可靠性等参数均应符合高水平的要求。

数控机床所必须具备的功能和精度，因工件精度和尺寸大小而有所不同。例如，用于大量生产的组合机床（Transfer Machine）工件加工精度虽然为 $\pm 0.05\text{mm}$ ，只要不出特别故障，就不必停止生产线而可以连续运转8小时以上。为使这种组合机床能保证产品质量，其本身精度应为工件精度的 $1/5$ 。

将手工操作的普通机床数控化，可大幅度地减少辅助时间，

若加装自动换刀装置ATC和工件的自动运载装置（AL: Auto-Loader），则和组合机床一样，可以实现长期无人运转。

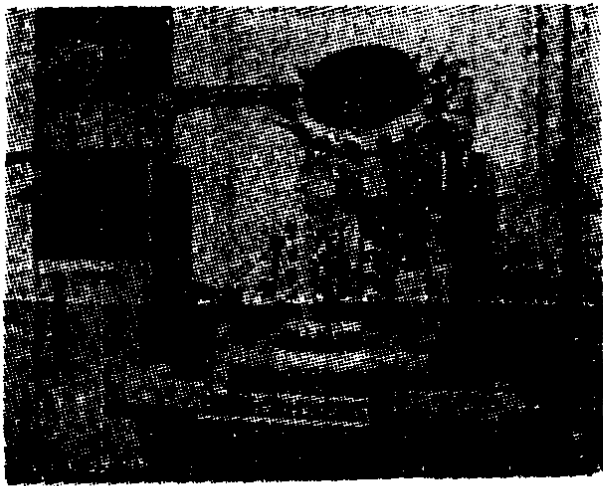


图 1-3 初期的加工中心

图1-3所示为初期的加工中心。自古以来，人们追求机床的最高目标是机床组成部分运转的精度高，可靠性好，不随温度而变化的稳定性。如果达到这种技术水平，可以说机床技术密集到相当程度了。

自动换刀装置存在的问题

自动换刀装置常出现如下问题：不能可靠地抓取刀具；刀具交换时刀具有时会脱落；刀具交换的时机不对和刀具交换后加工误差较大等。产生上述问题的原因在于要求快速交换刀具和交换刀具次数频繁（ $2 \sim 3$ 次/min）。

加工中心是随着机床本身和数控装置功能的不断提高而发展的。编程方式也随之发生很大变化，对工件自由度也大为增加。此外，刀具夹持部分的形状（主轴形状）也发生了很大变化。刀

具夹持部分如图1-4(a)所示。

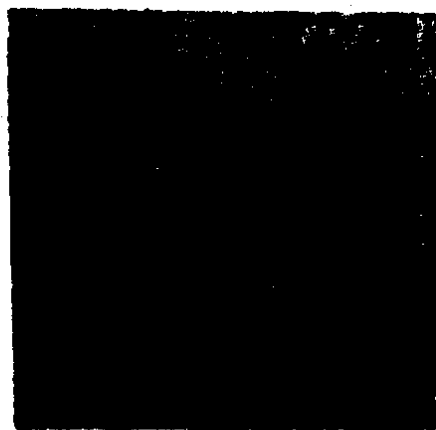


图 1-4(a) 加工中心的刀具夹持部分形状 图 1-4(b) 加工中心的刀库

为使加工中心正常工作，必须把刀具存入刀库 (Tool Magazine) 中 (图1-4 b)。为了顺利地加工多种工件，每台加工中心应备有200~400把刀座为好。若主轴锥孔不统一时，应备刀座数量还要增加。

作为加工中心的前身——铣床，其主轴的锥孔为ISO制锥孔，卧式镗床的莫氏锥度也是ISO锥度。加工中心在发展过程中，所使用过的刀座如图1-4那样，种类繁多，十分混乱，使用不便。幸已按日本机床工业会标准 (MAS) 统一起来了，从而结束了上述混乱状态。

数控装置的问题

数控装置的进步显著，其功能强、体积小、价格逐渐降低。现在1台功能好的数控装置的售价仅为初期数控装置的1/2~1/3。随着数控装置成本的迅速下降，加工中心的售价也仅为初期加工中心的1/2~1/3。然而，加工中心普及的主要原因一方面在于价格低廉，更主要的原因是数控装置的稳定性和可靠性提高，以及故障率小。

作为提高生产效率、降低成本、节约劳动力的手段来说，加工中心已有效地得到了推广。初期的数控装置在机械安装后要调

整 1 ~ 2 月才能正式使用。现在的数控装置包括对操作者指导在内只需 2 ~ 5 天即可投入生产。

电液脉冲马达和滚珠丝杠

电液脉冲马达的发明和滚珠丝杠的使用,对数控机床的普及和巩固加工中心的地位起了重要作用。图1-5所示为电液脉冲马达和滚珠丝杠。



图 1-5 电液脉冲马达 (a) 和滚珠丝杠 (b)

用电动机驱动油压伺服阀,液压马达驱动机械可以得到必要的动力。把高效而无间隙的滚珠丝杠用来取代一般的进给丝杠,从而构成了简单的开环伺服机构。这种机构比起闭环伺服机构来,其调整简单、故障率小、操作容易。为此,大大地刺激了引进数控机床的积积性。在数控装置、各种机构、以及软件等尚不完善的数控机床发展的初期,方便地使用了以电液脉冲马达所代表的简单伺服机构,对以后加工中心的普及起了积极作用。

加工中心的有效用法

购置了加工中心并非万无一失了。为了有效地利用加工中心,必须认真地编程,制作数控纸带,预调刀具,以及详细准备工装。为此,加工中心适合于中批量(每月几十件到几百件)生产。

但是，若采用计算机数控机床或人机对话的数控机床，则因其编程简单，故对孔加工、螺纹孔加工、平面铣削等加工已标准化的工件，即使批量很小，采用加工中心也可充分发挥其作用。

今后的技术革新，将是采用以切削加工为主的加工中心，改进编程方法，综合应用适应控制（AC: Adeptive Control）、传感器技术和工业机器人等先进技术，积极发展无人加工技术。但是无人化加工技术仍以经济性为前提。在谋求无人化时，与其单纯地追求缩短加工时间，不如在安全生产条件下，稍微放宽加工时间也许还经济一些。

1.1.3 加工中心的定义

历来对工件的加工都是分解其加工要素，分别采用对应机床来进行加工的。即平面加工采用铣床，镗孔加工采用镗床，车削加工采用车床，钻孔加工采用钻床。采用加工中心，则不管工件的加工要素如何，只要安装好工件，几乎不必介入手工便可自动进行加工。可以说，加工中心是复合加工的数控机床。

一般来说，是把具有复合加工和省力化功能的数控机床称为加工中心。它应具有如下条件（但也不是绝对的条件）：

- 1) 有存放加工所需刀具的刀库；
- 2) 有自动换刀装置；
- 3) 对于不同工件，通过改变程序，其数控装置能适应切削条件和刀具的变化；
- 4) 为扩大卧式加工中心的加工范围，应配有一个旋转工作台；
- 5) 为减少操作者干预的时间，应具有工件的运载装置。

在JIS B0105《机床名词术语》中，加工中心的定义如下：一次安装工件可进行多面加工的具有自动换刀功能和自动选刀功

能的数控机床。

1.2 加工中心的种类

由于各机床厂家不断改进设计，加工中心的性能十分完善。其种类繁多，就细节部分而言更是千差万别。为加深对加工中心总体的了解，将其进行分类整理成如下五大类：

- 1) 立式加工中心；
- 2) 卧式加工中心；
- 3) 大型加工中心；
- 4) 车削加工中心；
- 5) 加工中心的系统。

下面分别介绍各加工中心的组成。

1.2.1 立式加工中心

各部分名称

图1-6所示为立式加工中心的各部分名称。

机械结构

立式加工中心主轴方向是垂直设置的， X 、 Y 、 Z 各直线轴移动体的取法因各厂家设计方针而异，有许多种构成方法。

X 、 Y 、 Z 各轴如图1-7所示，为表示刀具与工件相对运动方向，用右手法则，拇指表示 X 轴，食指表示 Y 轴，中指表示 Z 轴，各轴相互垂直。

X 轴 人站在机床正面，则刀具与工件相对运动的左右方向轴线设为 X 轴。大部分立式加工中心取工作台的移动方向为 X