

# 基于 PMAC 的板材渐进成形数控系统的开发与研究

## Research and Development of NC System Based on PMAC for Incremental Forming of Sheet Metal

南京航空航天大学机电学院 崔超 高霖

**[摘要]** 开发一种基于 PMAC 运动控制卡的渐进成形数控系统,它具有很强的扩展性和移植性。介绍了该数控系统的软硬件结构,详述通过 VC++6.0MFC 开发数控系统上位机软件的方法。为了解决在高速加工复杂轨迹时容易出现的工件过切和机床异常振动的问题,引入了一种实时的进给速度前瞻控制方法。

**关键词:** PMAC 数控系统 板料成形 渐进成形 平滑运动 VC++6.0MFC 动态链接库

**[ABSTRACT]** The development of NC system based on PMAC which has more flexibility in expanding and transplanting is discussed. The software and hardware structure of the NC system are introduced, and the whole process of development of the software of the NC system is described in detail. A real time software control method for look-ahead feed-rate control is used to solve gouging and unconventional mechanical vibration caused by complex tool path in high speed machining.

**Keywords:** PMAC NC system Sheet metal forming Incremental forming Level motion VC++6.0MFC Dynamic link library

渐进成形技术是一种新型无模成形技术,它致力于解决钣金零件成形领域中模具设计周期长、成本高与现今多品种、小批量的定制生产方式的矛盾。金属板料数控渐进成形技术是根据“分层制造”原理,在专用的数控渐进成形机床上利用简单通用的压头,按钣金件的 CAD 数字模型进行渐进成形的一种工艺。渐进成形不需要专用模具,重复性好,可控制金属流动,能加工出形状复杂的工件,在航空航天、汽车、船舶以及家用电器制造等行业具有广阔的应用前景<sup>[1]</sup>。

开展数控渐进成形技术的研究工作需要一套运动平稳、平滑的专用渐进成形机床作为平台。因此开发先进的渐进成形数控系统显得非常必要。本研究根据数控渐进成形技术的原理和加工工艺特点,结合当前流行的“PC + 运动控制卡”数控系统体系结构<sup>[2]</sup>,选用美国 Delta Tau 公司的 PMAC 多轴运动控制卡,在 Windows

2000 平台上设计开发了一套渐进成形数控系统。本研究设计了系统的软硬件总体结构,并划分了系统功能模块。采用模块化的方法设计和开发了系统上位机软件,实现了渐进成形数控系统一些主要功能。

### 1 系统的硬件结构

#### 1.1 渐进成形机床机械结构介绍

根据渐进成形的工作原理,渐进成形机床是一个四轴三联动的数控设备。机床整体采用龙门式结构,X、Y、Z 三轴的结构与功能均与龙门式三轴立式铣床相似,此三轴可以联动控制。渐进成形机床区别于三轴立式铣床在于它的第 4 轴(A 轴),即控制托架上下运动的导柱/导套。在正成形过程中,托架带动板料沿着 A 轴方向随工具头向下运动,A 轴采用步进电机驱动。

基于 PC 的主从式数控系统的结构如图 1 所示。由图 1 可知,渐进成形数控系统硬件主要由以下几大部分组成:工业控制计算机、PMAC 运动控制卡、各轴交流伺服驱动器和电机、机床 I/O 以及其他辅助设备。

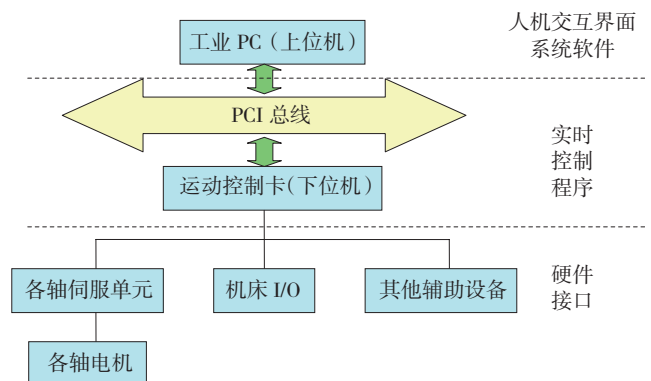


图1 基于PC的主从式数控系统的结构

Fig.1 Structure of master-slave NC system based on PC

#### 1.2 PMAC 运动控制卡简介

PMAC (Programmable Multi-Axis Controller) 是美国 DeltaTau 公司推出的可编程多轴运动控制器,具有响应速度快、精度高、开发周期短、编程和操作简单的特点,可以广泛运用于机器人、数控机床等多轴控制领域。它

利用 MotorolaDSP56001/DSP56002 数字信号处理芯片,以串口或总线方式与主计算机进行通信,可同时操纵 1~8 个轴,对存储在它内部的程序进行单独运算,执行运动程序、PLC 程序、进行伺服环更新。而且它还可以自动对任务进行优先等级判别,从而进行实时的多任务处理,这使得它在处理时间和任务切换方面大大减轻了主机和编程器的负担,可以提高整个控制系统的运行速度和控制精度<sup>[3]</sup>。

本系统选用的是 PMAC2A-PC/104 控制器,该控制器由基卡、扩展卡和通信卡 3 部分组成。由于 PMAC 与 IPC 之间的实时通信要求并不高,所以本系统采用了总线通信方式。PMAC 控制器作为下位机,主要负责插补模块的相关工作,其中包括直线插补(LINEAR)、圆弧插补(CIRCLE)以及快速移动(RAPID)。

## 2 系统的软件构成及设计

### 2.1 系统软件设计概述

结合 PC+ 运动控制卡的数控系统特点,可以将系统各软件模块分为两大类。

一类是对实时性要求很高的高实时性模块。实时性模块主要包括轨迹插补、运动控制、开关量控制、诊断等,实时性模块运行于系统下位机上,主要以中断程序进行处理,以 PMAC 运动控制卡和伺服驱动器上的硬件和嵌入式软件保证其实时性。

另一类是对实时性要求相对较低的低实时性模块。非实时性软件模块主要包括模式管理、界面显示、信息预处理、加工仿真等,非实时性模块运行于上位机上,主要以上位机操作系统的多任务分时调度运行方式处理。

### 2.2 PMAC 与上位机软件的通信

图 2 显示了系统上位机软件和 PMAC 运动控制卡之间的数据交换原理:上层 IPC 上用户应用程序和底层 PMAC 上程序的通信通过通信软件实现协调工作,共同完成加工任务。通信软件包括 PComm32.dll 驱动函数库和 Windows 虚拟设备驱动程序两大部分。Pcomm32.dll 通信驱动函数库实际上是一种动态链接库(DLL),它使用标准 Windows 库文件格式。用户应用程序通

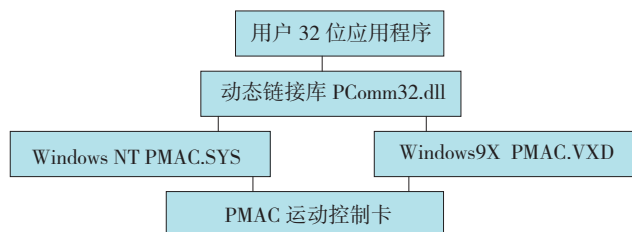


图2 上位机软件与PMAC间数据交换原理

Fig.2 Data exchange between PC software and PMAC

过调用驱动函数库里的函数来实现各项功能控制,而驱动函数库则是通过调用虚拟设备驱动程序建立与 PMAC 的连接,从而实现上位机与 PMAC 的通信。可见 Pcomm32.dll 在上位机应用程序和 PMAC 之间起到了桥梁的作用。

### 2.3 上位机软件设计

在本系统中,对上位机软件进行了功能划分,主要包括初始化模块、自动加工模块、手动控制模块、系统参数管理模块、系统诊断模块。

自动加工模块是系统上位机软件最重要的组成部分。该模块基本上实现了渐进成形数控系统最主要的工作内容,包括读取 NC 程序文件,预处理 NC 程序信息,启动前瞻预处理线程和自动加工线程,在 3D 刀轨仿真窗口动态显示刀具运动轨迹,捕捉刀具坐标、机床状态以及加工位置。

在本渐进成形数控系统中,自动加工模块不仅仅要实现一般的数控系统所具有的译码、发送插补指令以及数控实时显示刀轨等功能外,最重要的是实现了数控的平稳、速度的平滑以及加速度的控制等功能。

当前,数控技术已经步入了高速、高精度时代。为了保证数控加工的精度,CAM 系统生成的刀轨绝大部分由大量的微线段组成,机床则需要高速走过这些长度极短的微线段。当遇到轨迹急拐弯和突变等情况时,需要降到非常低的速度才能保证加工精度。对于上述情况的速度变化,由于线段很短,若只用运动控制卡提供的在相邻两段间进行加减速控制的功能,将会对机床产生巨大的加速度冲击。因此,在开发基于运动控制卡的 PC 数控系统时,需要更加高级的速度控制方法。

根据渐进成形的成形原理,工具头的运行要求平滑、平稳。解决此问题的一种有效方法就是速度前瞻(Look Ahead)控制,或将其称为轨迹前瞻控制。它是一种提前发现刀具轨迹突变,并按照设定的安全的加速度使机床提前减速的方法。速度前瞻控制可以超前于插补对加工程序进行处理,上位机软件识别由于程序段变化而产生的不规则进给速度和由于轨迹曲线的形状产生的过大加速度,并预先对程序段进给速度进行处理。机床按照处理后的程序段进给速度加工,不会产生过大的加速度,保证加工高质、高效运行。

在如图 3 所示的加工轨迹中,在  $a_i$  点突然出现急弯,进给速度需要降低到很小,而在  $a_i$  点之前轨迹平坦,进给速度大小保持在较高水平。如果直接按照原先设定的进给速度,将加工轨迹交由运动控制卡插补,进给速度仅在  $a_{i-1}a_i$  段内减速。当  $a_{i-1}a_i$  段长度很小时,加速度将会很大,对机床结构造成过大的加速度冲击。

为避免机床结构承受过大的加速度冲击,需要提前

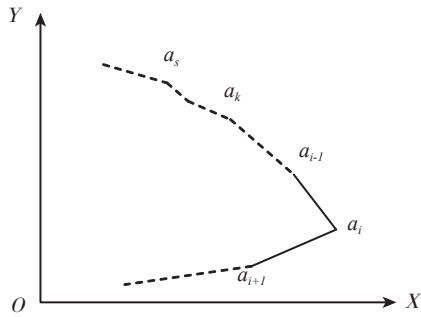


图3 速度前瞻控制示意图

Fig.3 Diagram of speed look-ahead control

识别加工轨迹中的拐点,并提前减速。首先识别出  $a_i$  点为拐点,并确定该处的最大进给速度。然后,根据机床最大速度和最大加速度约束确定减速距离,在  $a_i$  点之前的  $a_k$  点开始减速,使到达  $a_i$  点时进给速度满足该点最大进给速度要求,同时  $a_k$  至  $a_i$  之间各处加速度小于机床最大加速度约束。将进给速度规划完毕的  $a_k$  至  $a_i$  之间各加工路径段(包含每段的最大进给速度和加减速时间)交由运动控制卡插补,并由 PMAC 运动控制卡完成段内加减速控制,这样就保证了该处的加工精度,并且避免了加速度冲击。在走过  $a_i$  点之后逐步加速,使进给速度恢复正常,从而实现了运动的平稳。

在发送插补指令时,使用 PMAC 的 ROT 循环缓冲区,定义 &1 DEFINE ROT 2000 个命令缓冲区,而 NC 程序文件行数往往大于命令缓冲区数目,不能一次性全部将命令写入 PMAC 缓冲区。另外,考虑到发送指令的效率问题,一次性全部写入也会占用较多的时间,而在这个过程中,系统不进行其他操作,工作效率低。

PMAC 的 ROT 命令缓冲区是先进先出结构,它向上位机程序提供一个写入通道,向运动控制卡提供一个读取通道。运动控制卡从缓冲区中读取控制命令不需要上位机软件干预,上位机软件只需负责写入。

为了实现加工的高效,本系统在 VC6.0 的平台下,将自动加工过程设计成一个独立的线程。当命令缓冲区指令超过一个阈值后,PMAC 开始插补工作,机床开始运行。之后,在机床运行期间,该线程继续向 PMAC 的 ROT 中写入插补指令。直到所有数据解释完毕,线程退出。从而实现了运动指令写入 ROT 和 PMAC 插补同时进行,大大提高了程序的执行效率。

### 3 实例验证

为了验证系统前瞻控制模块的性能,试验加工如图 4 所示的样条曲线。该图表明了加工轨迹的起点和终点及机床的运行方向为逆时针方向。

图 5 为实际加工中各位置所对应的机床运行速度

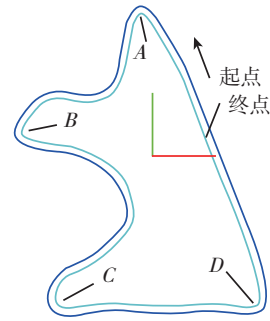


图4 速度前瞻控制试验图

Fig.4 Experimental diagram of speed look-ahead control test

值,加工轨迹中 A、B、C 和 D 4 个曲率较大的点附近,进给速度均明显减小,分别对应于速度曲线上 a、b、c 和 d 点。在起点至 A 点、C 点至 D 点以及 D 点至终点之间的区段,加工轨迹平坦,对应的速度曲线也平坦,进给速度基本上保持为设定的进给速度。其他区段内,进给速度随着曲线弯曲程度的变化而调整。

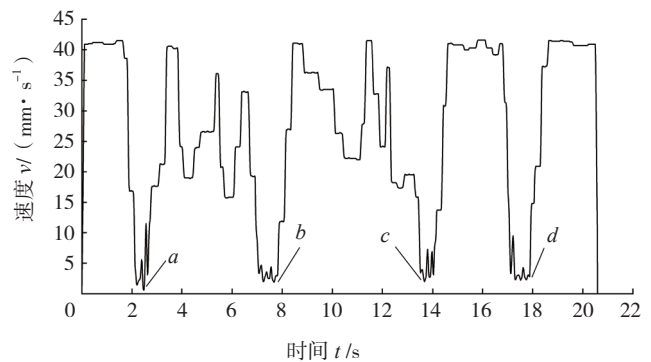


图5 试验获得的速度曲线

Fig.5 Speed curve obtained by the test

### 4 结论

本研究介绍基于 PMAC 运动控制卡的板料渐进成形专用数控系统的开发过程及在 VC6.0 平台上如何实现上位机软件与 PMAC 之间的通信、如何通过上位机软件轨迹前瞻控制模块来实现该专用机床所要求的平稳和光滑功能。目前该系统已投入实际运行,能够长期可靠工作,可以满足渐进成形数控系统的要求。

### 参考文献

- [1] 崔震,高霖,陆启建.复杂钣金零件渐进成形方法.机械工程学报,2007,43(12): 235-239.
- [2] 周凯. PC 数控原理、系统及应用.北京:机械工业出版社,2006.
- [3] 刘青山,高霖.基于运动控制卡的 PC 数控进给速度前瞻控制.机械科学与技术,2009,28(9): 1194-1197.

(责编 小城)