

文章编号: 167226413(2004)0520007203

开放式数控磨削加工系统中直线电机的应用研究

高玉山, 吴玉厚, 张珂, 潘振宁

(沈阳建筑大学, 辽宁 沈阳 110168)

摘要: 对高速、超精密加工来说, 传统的进给系统已难以满足要求。近年来, 直线电机作为一种新型直接驱动进给装置得到广泛应用。简单介绍了直线电机的基本原理, 并利用开放式控制器 PMAC (Programmable Multi2 Axis Controller) 集成了一套磨削加工系统, 在利用 PD+ 前馈控制法对直线电机控制性能研究的基础上, 实现了直线电机的微量往复进给运动, 为推动直线电机及 PMAC 在高速高精度数控机床中的应用打下了基础。

关键词: 直线电机; 开放式数控; PMAC; PD

中图分类号: TG58 **文献标识码:** A

0 引言

高速、高精度已成为机械制造科学领域的主攻方向。为了实现高速精密加工, 不仅要有高速主轴, 进给系统也必须在瞬间达到高速, 并在高速运行中瞬间准停, 才能使加工得以正常进行。一直以来, 传统的数控机床进给系统主要是“旋转伺服电机+滚珠丝杠”, 在这种伺服进给方式中, 电动机输出的旋转运动要经过联轴器、滚珠丝杠、滚动螺母等一系列中间传动和变换环节以及相应的支撑, 才变为被控对象——刀具的直线运动。由于中间存在着运动形式变换环节, 导致了一系列不良后果。考虑到上述原因, 人们开始研究新型的进给系统, 直线电机就是最有前途的快速进给系统, 它取消了从电机到工作台面的一切中间环节, 形成了所谓的“直接驱动”或“零传动”^[1]。直线电机将机械结构简单化、电气控制复杂化, 符合现代机电技术的发展趋势。德国的 Brtlckl S1^[2,3] 等人开展了将直线电机用于超精密加工机床进给驱动系统的研究工作, 研究结果表明直线电机适用于高速加工、超高速加工、超精密机床。目前, 美、英、德、日等发达工业国家对直线电机进给系统进行了深入的研究与开发。在国内, 直线电机特别是机床进给用直线伺服电机的基础及应用研究进展比较缓慢, 与国外的差距越来越大, 加强研究已是刻不容缓。

1 直线电机的原理

所谓直线电机就是利用电磁作用原理, 将电能直

接转换成直线运动动能的设备。直线电机与旋转电机类似, 通入三相电流后也会在气隙中产生磁场, 如果不考虑端部效应, 磁场在直线方向呈正弦分布, 只是这个磁场是平移而不是旋转的, 因此称为行波磁场。行波磁场与次级相互作用便产生电磁推力, 这就是直线电机运行的基本原理。

2 开放式磨削加工系统

2.1 PMAC 简介

PMAC 是 20 世纪 90 年代初由 DeltaTau 公司推出的高性能运动控制器, 具有运动控制、逻辑控制、资源管理及与主机通信等功能, 有软硬件全面的开放性, 可方便用户开发各类通用或专用系统, 为此以 PMAC 作为控制器集成了一套开放式磨削加工系统。PMAC-PC 结构见图 1 所示, 它是一块 8 轴接口卡, 不仅可以独立运行, 也可以插入计算机插槽中的 ISA 槽以总线通讯的方式运行, 其输出由 DSP-GATE 门阵列控制, 可以并行输出, 所以能够实现 8 轴同时联动^[4]。它由各种插槽组成, 其中, J1 为显示器插槽, 可与其相应的附件联接而实现液晶显示或真空荧光显示, 使用 DISPLAY 命令可在显示器上看到运动程序或 PLC 程序的显示文本和变量值; J2 为控制板的插槽, 可外接一个控制板; J3 为手轮接入插槽, 可以接入脉冲发生器; J4 为 RS-232C 接入插槽, 可以与计算机进行串行通讯; J5 为光电隔离 I/O 接入插槽, 提供 8 个具有普通用途的数字输入和 8 个具有普通用途的数

收稿日期: 2004204228

基金项目: 辽宁省自然科学基金资助项目 (20022002); 辽宁省教育厅基金资助项目 (202083061)

作者简介: 高玉山 (1978), 男, 山东省寿光县人, 在读硕士研究生; 吴玉厚 (1955), 男, 辽宁省海城市人, 教授, 博导; 张珂 (1969), 男, 辽宁省沈阳市人, 副教授, 博士; 潘振宁 (1978), 男, 河南省兰考县人, 硕士。

字输出; J6 是扩展输入; J7 为 4 轴连线插槽, 可以控制 4 个电机及连接 4 个编码器输入, 也可以接 D/A 输出; J8 同 J7; P1 为 PMAC 板卡插槽, P2 为 16 位 A/D 输入接口插槽。

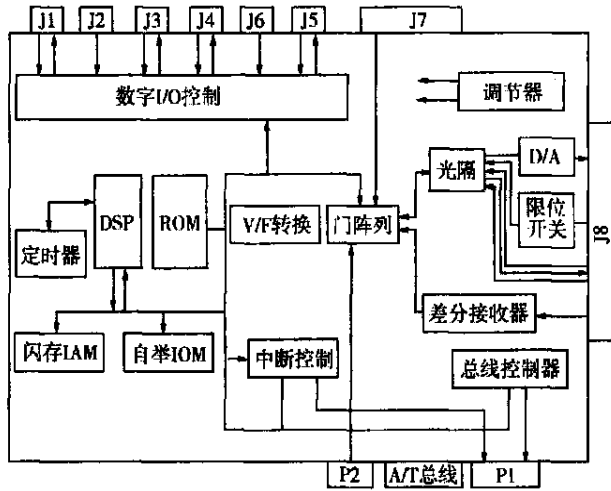


图 1 PMAC-PC 结构原理图

212 磨削加工系统集成

本系统以 PC 机为基础, 在 PC 机主板 ISA 扩展槽上插入 PMAC-PC 多轴运动控制器, 形成机床的测控中心。PC 机上的 CPU 与 PMAC 卡的 CPU 构成主从式双微处理器结构, 两个 CPU 各自实现相应的功能, 其中 PC 机作为 PMAC 的上位机, 提供 Windows 平台及人机操作界面, 完成系统初始化、零件的测量值与运动信息的实时显示等。下位机运用 PMAC 多轴运动控制器以集成化、开放式的思想, 将机床的横纵向进给单元、砂轮主轴单元、位置检测单元、在线测量以及其它附件有机地联结起来, 使该磨床成为一个真正意义上的开放式平台, 系统各个组成单元的控制均处于核心控制器 PMAC 下。其中, 在此数控磨床横向进给单元中引入了直线电机, 直线电机直接驱动电主轴砂轮的进给运动, 实现了机床横向工作台的“零传动”, 采用变频器对高速电主轴实现了无级调速来满足加工时砂轮最佳磨削速度的要求。PMAC 控制器+PC 机硬件组成框图见图 2。

213 PMAC-PC 下的直线电机 PD 控制

在机床数控系统中, 伺服电动机驱动器可以选择在位置方式或速度方式下工作: 当在速度方式下工作时, 运动控制器以电压形式输出到驱动器的速度建立端, 位置闭环由运动控制器实现; 当在位置方式下工作时, 运动控制器以脉冲链的形式输出到驱动器的位置建立端, 位置环由驱动器实现^[4]。

由于直线电机(初级或次级)与工作台合二为一, 所以直线电机进给单元只能采用全闭环系统, 全闭环系统框图见图 3。

图 3 中, Ix02 为 DAC 输出地址, Ix03 定义为电机

X 位置环反馈地址, Ix04 定义为电机 X 速度环反馈地址, ENC 为编码器。在机床数控系统中, 根据输出反馈传感器的类型和数量, 数字伺服系统可以有单反馈传感器方案和双反馈传感器方案。在单反馈传感器方案中可只采用一个位置反馈传感器, 速度反馈信号由对位置近似求导方法获取; 在双反馈传感器方案中, 位置反馈采用数字传感器, 速度反馈采用模拟传感器(如测速发电机), 这种配置多用了一只测速机, 但是可以使速度环的性能得到很大提高^[2]。由于直线电机(初级或次级)与工作台合二为一, 形成了“零传动”, 所以可用单反馈传感器方案(选用 REN ISHAW RG22 直线高精度光栅作为反馈环节的位置测量系统)达到采用双反馈传感器的效果, 较好地实现了系统伺服特性刚性好、系统稳定及跟随误差小的目的。

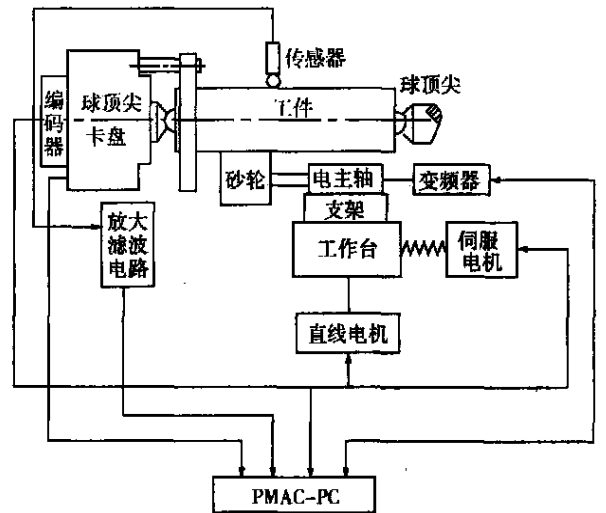


图 2 PMAC 控制器+PC 机硬件结构

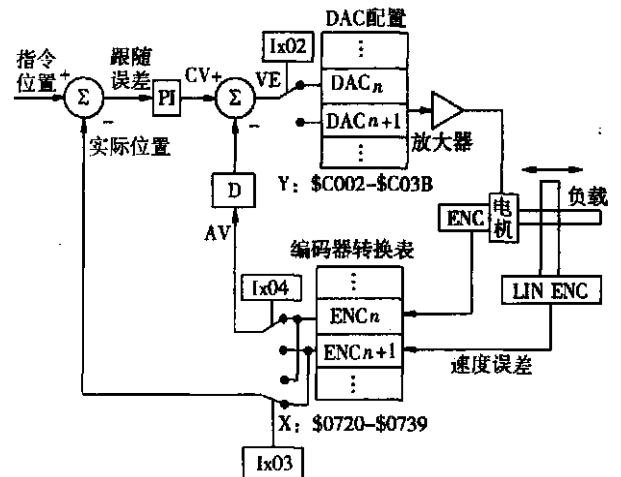


图 3 全闭环系统框图

PMAC 提供的是 PI-D+ 前馈控制的控制算法, PMAC 控制算法流程图见图 4。

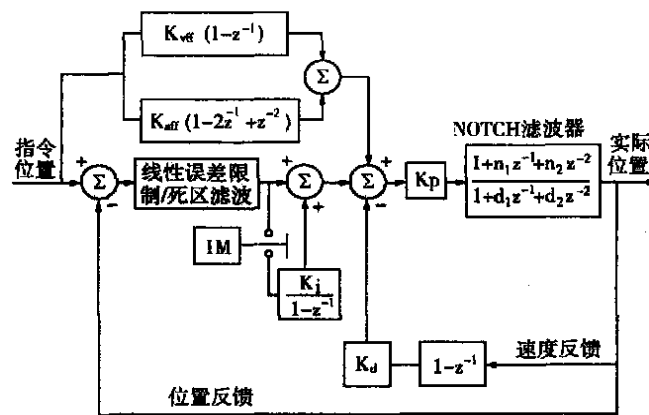
对于电机使用的计算控制输出的 PD 算法的实际公式如下所示:

$$DA C_{out}(n) = 2^{-19} Ix30 \{ Ix08 [FE(n)] + (Ix32 \cdot$$

$$CV(n) + Ix35 \cdot CA(n)) \delta 128 + Ix33 \cdot IE(n) \delta 2^{23} \}} - Ix31 \cdot Ix09 \cdot AV(n) \delta 128 \}_o$$

其中 $DA\ C_{out}(n)$ 为 16 位的伺服周期输出命令 (- 32 768~ + 32 767), 转换成 - 10V 到 + 10V 的输出; $Ix08$ 为电机 X 的一个内部位置放大系数; $Ix09$ 为电机 X 速度环的一个内部放大系数; $FE(n)$ 为伺服周期 n 内所得的跟随误差, 即为该周期内命令位置和实际位置的差值; $AV(n)$ 为伺服周期 n 内的实际速度, 即为每个伺服周期最后两个实际位置的差值; $CV(n)$ 为伺服周期 n 内的指令速度, 即为每个伺服周期最后两个指令位置的差值; $CA(n)$ 为伺服周期 n 内的指令加速度, 即为每个伺服周期最后两个指令速度的差值; $IE(n)$ 为伺服周期 n 的跟随误差的积分, 大小为

$$j=0 [FE(j)]_o$$



K_p ——比例增益 (Ix30); K_d ——微分增益 (Ix31);
 K_{vf} ——速度前馈增益 (Ix32); K_i ——积分增益 (Ix33);
 K_{aff} ——加速度前馈增益 (Ix35); n_1 ——Ix36;
 n_2 ——Ix37; d_1 ——Ix38;
 d_2 ——Ix39; Z——Z 变换

图 4 PMAC 控制算法流程图

214 直线电机 PD 控制性能实验

适用于 PC 及其兼容机的 PMAC 执行程序 PEW N 提供了一个调节 PD 参数的简便方法。它允许运行标准运动的简单命令, 收集响应数据, 把这些数据画在屏幕上, 并为响应计算重要的统计数据, 这就允许没有经验的用户通过简单的规则来做出判断, 优化调节。执行程序还有一“自动调节”功能来激励电机, 并为目标响应计算所需要的增益。现用单位阶跃函数作为输入信号来测定其动态性能, 以正弦函数作为输入信号测定系统的稳态性能。图 5 为动态性能曲线, 通过调节 PD 参数改进后的图形, 可以看出系统动态性能良好; 图 6 为稳态性能曲线, 是增加速度、加速度前馈后的图形, 直线电机静态位置误差及跟随误差明显减小从而提高了位置控制精度, 获得了较好的稳态性能。

实验结果表明, 通过 PD 参数的调节使系统获得较好的动态性能; 引入了前馈控制后, 实际上构成了具有反馈和前馈复合控制的系统结构, 使位置跟踪滞后误差大为减小, 从而提高了位置控制精度, 获得了较好的稳态性能。这种系统在理论上可以完全消除系统的静态位置误差、速度误差、加速度误差以及外界扰动引起的误差, 即实现完全的“无误差调节”。

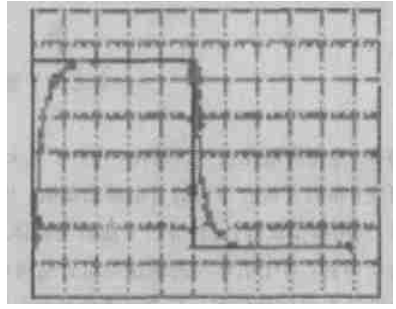


图 5 动态性能

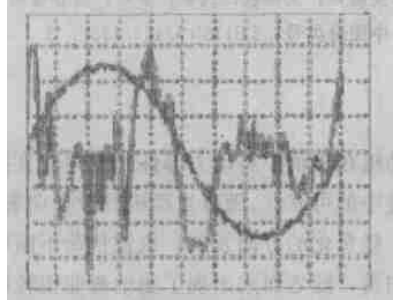


图 6 稳态性能

通过 PD+ 前馈控制算法使直线电机获得良好的控制性能后, 利用 PMAC 控制直线电机实现了直线电机的高速高精度微量往复进给运动, 负载下直线电机往复进给运动的位置跟踪曲线见图 7 所示。

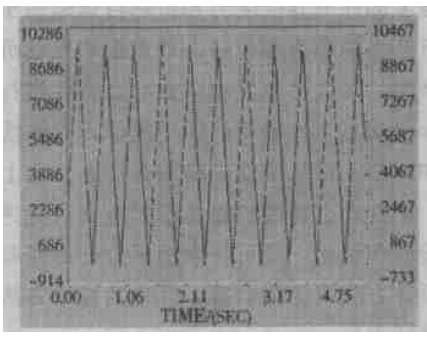


图 7 位置跟踪曲线

3 结束语

利用开放式控制器 PMAC- PC 集成了一套磨削加工系统, 通过利用 PMAC- PC 中 PD+ 前馈控制算法对数控磨床的横向进给单元直线电机的控制, 在使直线电机获得良好的动态及稳态性能基础上, 实现了直线电机的微量往复进给运动, 为推动直线电机及 PMAC 在高速高精度数控机床中的应用打下了基础。

(参考文献和英文摘要转第 13 页)

有频率影响较小,发动机的刚度主要取决于机体。若要完善发动机整机的协调性,避免局部振动过大,提高整机的动态特性,应对机体予以调整。

(3) 机体横隔板的局部振动特性将影响到与曲轴的耦合振动,不但传递曲轴的激振力,而且决定了曲轴的弯振和纵振行为。因此应优化横隔板的动态特性,使其振型与机体整体振型协调。

参考文献

- [1] 陈新 机械结构动态设计理论方法及应用[M] 北京:机械工业出版社,1997.
- [2] 樊文欣,李霆 柴油机模态试验与分析[J] 车用发动机,1997(1):51254
- [3] 杜发荣,姬芬竹 内燃机机体有限元模态分析[J] 柴油机,2003(3):40242
- [4] 刘月辉,郝志勇 ZH1110型柴油机机体动态特性研究[J] 农业机械学报,2002(3):8210

Composite Structure Free Modal Analysis of High Power Engine Block and Crankshaft

L IM in, HUANG J in-yong, PAN Hong-xia

(Dept of Automatic Control, North China Institute of Technology, Taiyuan 030051, China)

Abstract Applying FEM technology, the finite element model of one high power engine is established, in the meanwhile the dynamic property of its composite structure is studied in this paper. The modal parameters achieved by finite element analysis coincide with those achieved in experiment, which shows the correctness of the models. With the experimental facility, the feature of interface between axes and bearing is studied, the method of spring element simulating oil film is provided, the dynamic property of the combination structure is analyzed. The conclusion is that the toughness of combination structure lies on the engine block, and compared to the engine block, the crankshaft is flexible. In conclusion, when the design target is to avoid system resonance vibration, the engine block toughness should be taken into account mainly.

Key words: engine; block; crankshaft; combination structure; modal analysis; finite element

(上接第9页)

参考文献

- [1] 郭庆鼎,王成元,周美文,等 直线交流伺服系统的精密控制技术[M] 北京:机械工业出版社,2000
- [2] Bruckl S. Feeddrive system with a permanent magnet linear motor for ultra precision machine tools[C] IEEE 1999 International Conference on Power Electronics and Drive Systems, Hong Kong, 1999: 8212826
- [3] Brandenburg G, Bruckl S, Domann J, Schmidt C. Comparative investigation of rotary and linear motor feed drive systems for high precision machine tools[C] 2000 IEEE, AMC2000NAGOYA: 3842389
- [4] 高钟毓 机电控制工程(第2版)[M] 北京:清华大学出版社,2002

Application Research of Linear Motor on Open CNC Grinding Manufacture System

GAO Yu-shan, WU Yu-hou, ZHANG Ke, PAN Zhen-ni

(Shenyang Jianzhu University, Shenyang 110168, China)

Abstract To the manufacture of high speed and super precision, the conventional feed system hasn't satisfied the requirements. Recently, as a new style feed equipment driven directly, linear motor is being applied widely. In this paper, the basic principle of linear motor is introduced simply and the NC grinding machine is integrated with PMAC (Programmable Multi-Axis Controller). On the base of the control performance research of Linear Motor with PD plus forward feed control algorithm, reciprocating movement has been accomplished. The results of research promote the application of linear motor and PMAC in the high speed and super precision NC machine tools.

Key words: linear motor; open CNC; PMAC; PD