一种数控实验教学平台的开发和运用

撰文／江苏科技大学工程训练中心 洪超 吴萍

根据教学的需要，利用开放式 Mach3 控制软件作为机床数控系统，设计并制造了以数控雕刻机床为主体的实验教学平台。从提高学生实验兴趣和动手能力等角度出发，实验平台采用拼装组合模块化设计，以加工作品尺寸检验实验平台调试的质量，使学生自主创新设计、制作和加工成为可能。在此基础上，开设了数控机床精度调试、数控控制电路连接并联机调试和数控机床加工等实验。解决了学生机、电、机械加工综合实验缺少实验平台的问题，锻炼了学生机电一体化系统运用和调试的能力，对促进学生综合实践能力的提升具有非常重要的意义。

一、引言

机电一体化系统设计和运用是机械电子、机械加工、自动化专业学生的必修实践类课程。该课程要求学生对系统中的几个关键部件（如机械、电路、计算机、控制器等）进行综合分析、设计、调试和零件加工，并完成课程设计报告。目前国内各大高校实验室可提供给学生拆装、调试和加工的数控机床设备较少，机械和电器控制实验分离，数控维修实验平台不仅价格昂贵，而且很少可用于加工零件，因此急需开发相应的实验平台和满足机械电子、电气控制、机械加工等专业学生实训的教学装置，满足教学的需要。

二、数控实验平台的总体设计和组成

1．总体设计

数控实验平台要求能满足学生练习机械拆装、电路设计调试、数控系统设置调试、数控编程加工等机电一体化教学需求，因此应具有开放式系统和结构，较短的传动链，可调试的机构，较高传动精度和传动效率，便于学生全面了解数控系统的整体组成及相关工作过程。

数控实验平台选用 Mach3 软件为 PC 机上的数控系统件，CNC 的全部功能均由 PC 实现，通过装在 PC 机上的 USB 接口对伺服驱动等进行控制。其控制卡为标准化商用 CNC 控制板，完成对步进电机的驱动。如图 1 所示为总体设计图和 Mach3 控制卡。Mach3 软件发出控制信号，通过接口板分别向 *X*、*Y*、*Z* 和 *A* 轴发出控制脉冲，进而驱动 *X*、*Y*、*Z* 和 *A* 向进给机构实现进给运动。Mach3 控制卡发出控制信号控制机床主轴，来实现主轴的正转、反转和停止。行程开关通过控制板向 Mach3 反馈检测信号，以保证操作安全可靠。这样设计经济合理，并能满足实验教学要求。

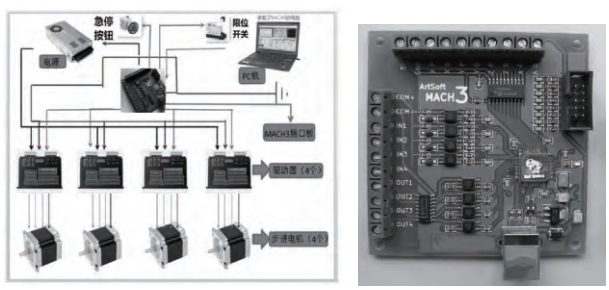

图 1 总体设计图和 Mach3 控制卡

投稿邮箱 | cadcam@idnovo.com.cn
IMCHINA@idnovo.com.cn

2. 数控实验平台的组成

数控实验平台的结构与数控雕刻机组成基本相同，可对平面和回转体外形铣削和雕刻。整个实验平台主要由雕刻机本体、数控系统（通用计算机 +Mach3 板卡 +Mach3 控制软件）、伺服系统、检测装置和辅助装置等组成，如图 2 所示。

（1） 数控机床本体。

数控机床本体由数控机床机身、导轨、滚珠丝杠副、工作台、连轴器、电机支架和主轴电机组件等部分组成。机床床身采用标准铝型材和配件，融入拼装模型理念，由学生根据设计搭建而成，使学生创新设计和制作成为可能。传动结构上采用滚珠丝杠螺母副，这是因为滚珠丝杠螺母副具有摩擦小、传动效率高的特点。使用弹性联轴节与步进电机连接，从而容忍一定程度的同轴误差，减少两端轴承非正常磨损功效。由于平台尺寸较小，导轨采用直线圆柱导轨，不仅价格便宜，并且安装方便，其导向精度也能完全满足要求，但直线度调试较困难。

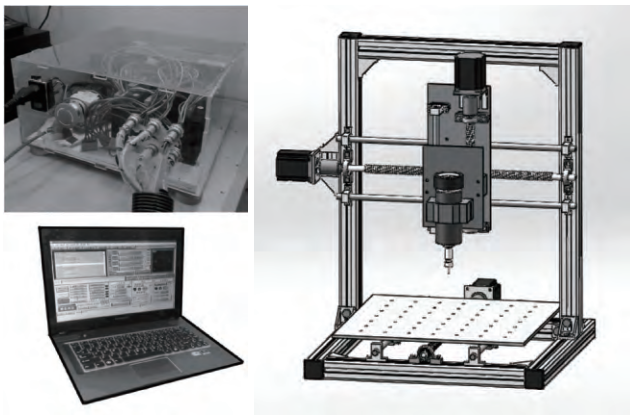

图 2 数控实验平台的组成

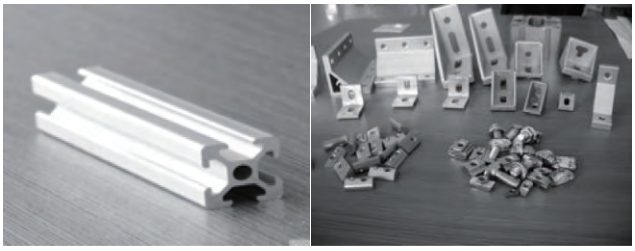

图 3 标准铝型材和配件

（2）伺服系统。

数控实验平台伺服系统均采用步进电机开环控制系统，由步进电机、驱动器等组成。

①步进电机。

步进电机是一种专门用于速度和位置精确控制的特种电机，它的旋转是以固定的角度一步一步的运行，同时也是一种将电脉冲信号转化为角位移或线位移的开环控制元件，在未超载的情况下，步进电机的转速与停止的位置取决于脉冲信号的频率和脉冲数，不受负载变化的影响。根据实验平台的情况，选用 57HS7630A4D8 型号步进电机作为数控实验平台的驱动电机，缓解在高速运动时因力矩下降力量不足导致的丢步现象。

②驱动器。

驱动器是将接收到的频率、定子绕组通电状态变化次数以及控制方向的进给脉冲，转换成控制步进电动机各相定子绕组通电、断电的电平信号变化频率、变化次数和通电顺序。本数控实验平台的步进驱动系统在 *X*、*Y*、*Z* 三个方向上均采用 DM5045 步进电动机专用驱动器芯片作为驱动部件，该驱动器为细分型两相混合式，采用超大规模的硬件集成电路，利用全数字电流环进行细分控制，具有高度的抗干扰性及快速的响应性，电机的转矩波动小，振动小、噪音低，低速时运行十分平稳；高速时可输出较高力矩，拥有非常高的定位精度。该驱动器共有十五种细分模式，本设计选用的细分数为 8。如图 4 所示为驱动器和各轴加工参数的设置。

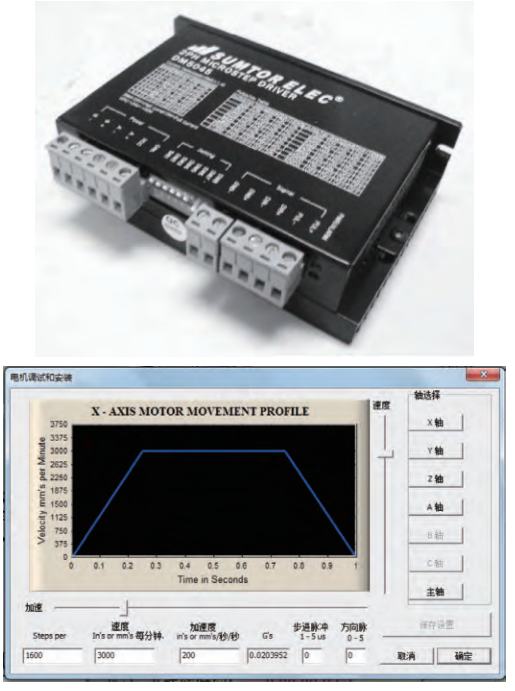

图 4 驱动器和系统调整参数

（3）控制系统。

Mach3 软件是由美国 ArtSoft 公司开发的由 Windows 为平台开放式数控系统，操作简单，维护方便，是具有开放性、性能稳定、价格低廉的新型数控系统。标准 PC 电脑完全转换为全功能的 CNC 控制器，输出脉冲与方向信号，控制步进电机或伺服电机驱动器，从而实现控制数控机床。系统支持标准 G 代码，能 5 轴联动带线形插补功能，主轴转速控制，多重继电器控制，手摇脉冲生成，三维动态显示跟踪、自动对刀、程序跳段执行（断点记忆）。系统具有螺距误差补偿，反向间隙补偿，刀具长度补偿，刀尖半径补偿及磨损补偿功能，完全能满足实验教学的需求。

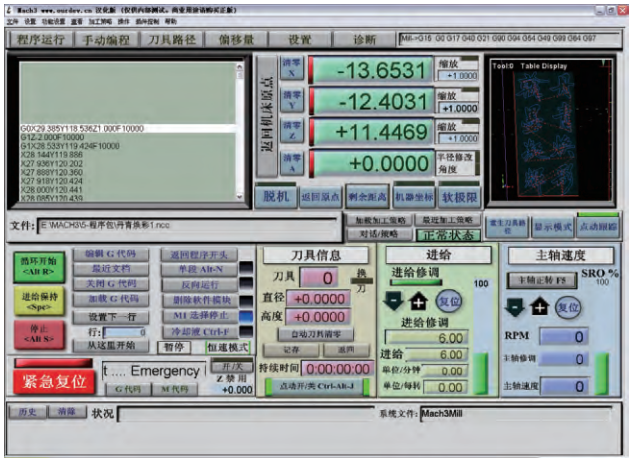

图 5 Mach3 软件控制界面

三、数控实验平台加工性能调试

数控实验平台搭建和调试完成，只有通过进行实物加工测试，才能综合了解数控实验平台整体设计中存在的不足，并及时加以改整，最终达到整个数控实验平台系统运行平稳、可靠的要求。

数控实验平台具有其他数控机床操作的基本功能，由于实验平台电机功率等因素，只能加工有机玻璃、木材、硬铝等材料。Mach3 控制软件兼容性强，可兼容各种自动编程软件如 ArtCAM、MasterCAM 生成的加工程序。以 ArtCAM 软件加工为例，首先根据加工材料、表面质量、大小精度和加工刀具等要素选择模型、加工方式，设定刀具加工参数。根据数控实验平台的加工特点，使用“先粗后精”的加工策略，生成刀路轨迹，并通过仿真加工验证，经后处理生成 G 代码。将 G 代码导入 Mach3 控制软件中，安装工件毛坯、对刀，启动程序加工工件。如图 6 所示为加工工件。通过对加工工件的尺寸和形状的检测，得出实验平台设计和装配调试的结果，再对设计、装配进行调整和改进，得到满意的效果。

本数控实验平台根据教学要求，可添加第四轴（A 轴），运用 PowerMILL、NX 等软件进行自动编程，通过仿真加工无误后，经后处理软件生产 G 代码，输入控制系统，加工工件。如图 7 所示是四轴数控实验平台。

图 6 加工实物

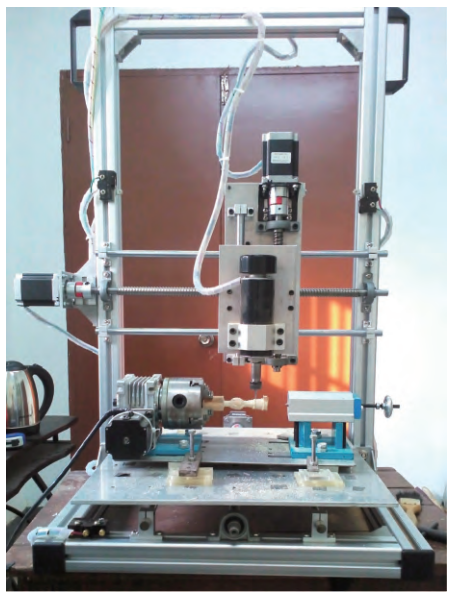

图 7 四轴数控实验平台

四、数控机床教学实验平台开设的实验内容

该平台设备为开放式结构、模块化设计和完全工业用器件，具有数控机床安装、接线、调试、参数设置、通讯、故障诊断、维修、编程及仿真模拟、CAD/CAM，实际切

投稿邮箱 | cadcam@idnovo.com.cn
IMCHINA@idnovo.com.cn

削加工综合的教学实验功能，结合相关课程为机械加工、机械电子和电气控制等专业以开设三个实验。

（1）数控机床床身搭建、精度检测和调试实验。

数控机床床身首先通过 SolidWorks 等三维软件实体建模，再虚拟装配，检验总体结构的合理性。根据设计要求，采用标准铝型材和配件搭建床身，并安装滚珠丝杠、导轨、滑块和主轴等部件，调整装配间隙。使用框架水平仪、百分表等量具，运用恰当的检验方法，测量、调试机床工作台水平度、三轴之间的垂直度和丝杠反向间隙等机床精度，以保证达到加工要求。通过实验要求掌握机床的调试方法和测量量具的使用方法，调整机床各部件的装配间隙和精度，使机床达到设计的要求。

（2）数控机床电路的连接，控制系统参数设定和联机调试实验。

根据设计要求，连接电源、驱动器、控制板和电机的线路，并制作成航空接头连接。综合机床的具体情况，在 Mach3 软件中，根据丝杆的导程和步进电机驱动器分频数，设定各轴电机的参数和步进电机细分参数。设置控制面板和限位开关和急停开关等安全措施。要求掌握根据设计电路图连接控制柜各元件电路，并制作航空接头连接，根据加工实际情况，调试机床控制系统中各电机参数和步进电机细分参数。

（3）数控机床雕刻加工实验。

根据机床、材料、刀具和加工精度等要求，设计加工零件，使用 CAD/CAM 软件进行自动编程，确定加工参数，生成加工程序，用“刀具路径实体模拟”进行验证，确认正确无误后，经后处理，转换成 G 代码。合理装夹工件毛坯、对刀和启动机床加工工件。通过对工件加工，要求掌握零件的 CAD/CAM 软件的使用、装夹工件、对刀和加工。通过检测加工工件尺寸，分析造成加工误差的因素，提出改进的方法。

五、应用效果

通过 Mach3 软件完成了对数控实验平台的研发，开发出了一种价格低廉、结构简单、加工效果良好的教学平台，可用于数控机床、电路控制和数控加工等课程的实验教学。经实际教学使用验证，本实验平台基本达到总体设计的要求，机械本体简洁，紧凑便于安装调试。控制系统稳定可靠、操作简单、易学易用和功耗较低；加工速度、精度都有较为满意的表现，虽然加工精度比专业机床低，但能完全能保证数控课程教学的要求。控制箱采用透明有机玻璃制作，在加工时，各电器元件工作情况一目了然。直观展现数控机床结构、伺服系统组成和工作情况，是一个典型的机电一体化产品设计。本实验平台在具备数控机床和数控系统可调试的前提下，还能加工出较复杂的实物作品。控制系统采用 PC 加 Mach3 软件模拟运动控制核心，对刀路文件处理，各轴向运动控制都有很直观的表现，适用于初级教学使学生对数控技术有更直观的理解和认识。

六、结语

基于 Mach3 软件控制的数控实验平台可应用于机电一体化系统设计及相关的课程教学实验中，该实训内容涵盖了机械、电子信息、计算机技术等多学科知识，实训过程由这些交叉学科专业的师生共同协作完成，能充分调动学生参与实训的积极性，从而促进实训师生的团队精神建设，使实训取得更好的教学效果。该实验平台的使用丰富了教学资源和教学手段，给学生提供了一个完整的机、电、加工一体化系统的实验平台，锻炼了学生的实践能力，收到了良好的教学效果。