



## 基于虚拟凸轮技术的两轴协调运动研究

潘存海, 陈 铭, 覃 攀, 池行强  
(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

**摘 要:** 提出一种基于虚拟凸轮技术控制两轴协调运动, 进而实现二维精确定位的方法. 该方法首先在 S7-Technology 软件下组态主轴、从轴以及其对应的虚拟凸轮盘, 通过控制凸轮盘来实现轴与轴之间的协同运动, 从而实现二维精确定位. 控制部分与驱动部分的通信采用 Profibus DP 总线协议. 实验表明: 设定轨迹与实际运动轨迹之间同步性好, 机械控制误差  $< 0.5$  mm, 符合精确定位的要求.

**关键词:** 虚拟凸轮盘; 二维精确定位; 两轴协同运动; T-CPU

**中图分类号:** TP273      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1672-6510(2010)06-0042-04

### Two-Axes Coordination Motion Based on Cam Mechanism

PAN Cun-hai, CHEN Ming, QIN Pan, CHI Xing-qiang

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

**Abstract:** A two-axes coordinated motion based on virtual cam was developed to fulfill precise positioning of two-dimensional. The S7-Technology was used to configure the axis and the cam plates corresponding to the axis, by controlling the cam plate the coordination between two axes was achieved so as to fulfill precise positioning of two-dimensional. Profibus DP was used to connect the control section and the drive section. Results show that the settings coincide with the actual value. Mechanical error is less than 0.5 mm and meets the requirements of precise positioning.

**Keywords:** virtual cam plate; two-dimension positioning; two-axes coordination motion; T-CPU

凸轮机构是许多机械设备的常用机构, 它可将匀速旋转运动转换为从动件有规律的往复直线运动. 传统的凸轮机构是由凸轮、从动件和机架三个构件组成的高副机构. 凸轮通常作连续等速转动, 根据从动件使用要求设计凸轮曲线, 从而实现协调运动, 因此凸轮被广泛应用于各种自动化和半自动化机械装置中<sup>[1-2]</sup>.

物理凸轮轮廓曲线加工困难, 而且使用过程中不可避免的磨损, 造成运动失真, 无法保证长期运行的精确控制; 另外, 一个凸轮机构只能实现一种预定运动轨迹, 无法实现根据需要灵活改变凸轮曲线. 这些都限制了凸轮的应用<sup>[3]</sup>.

西门子 Mirobox 420-T 模块在普通的 PLC 功能上集成了运动控制功能模块. 本文利用 Mirobox 420-T 作为主控部件控制两个伺服电机, 从而实现两

轴协调运动, 使用虚拟凸轮取代实际的凸轮, 驱动部分采用西门子公司的 S120 伺服驱动控制器和电机, 传动部分采用双回旋的机械结构. 与传统的采用运动控制卡和二维直线导轨的运动控制相比较, 本文采用的系统具有更好的抗干扰能力以及更大的工作行程. 这样既可以保证系统在高速和精准定位的前提下稳定, 又能节约系统开发、维护成本.

## 1 系统构建

### 1.1 机械传动机构

图 1 为利用双回旋机械结构实现空间运动定位的示意图. 传动部分绕  $x$  轴旋转, 实现  $y-z$  平面水平面摆动; 绕  $y$  轴实现  $x-z$  垂直面上下摆动. 对于  $y-z$  水平面的转动称为滚动, 角度为  $\phi$ , 对于  $x-z$  垂直面

上俯仰角度用  $\theta$  来表示. 图中的  $G$  点作为系统的坐标原点, 采用 1 000 mm 垂直于  $x$ - $y$  平面的传动杆, 从而利用机架的滚动和俯仰运动来带动传动杆的运动. 对应的绕  $x$ 、 $y$  轴的旋转矩阵依次为

$$R_x(\phi) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos\phi & -\sin\phi \\ 0 & \sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix}$$

$$R_y(\theta) = \begin{bmatrix} \cos\theta & 0 & \sin\theta \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin\theta & 0 & \cos\theta \end{bmatrix}$$

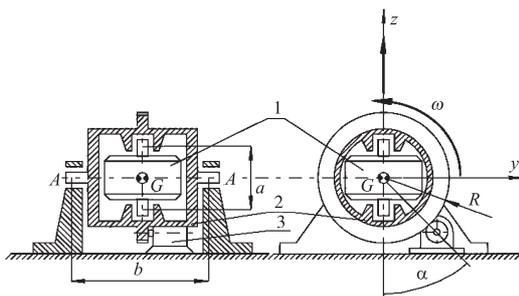


图1 机械传动示意图

Fig.1 Mechanical transmission structure

如果有一点  $p$  绕原点依次作滚动和俯仰, 其位置将变动到  $p'$ , 其转换公式为

$$p' = R_x(\phi)R_y(\theta)p \quad (1)$$

式中,  $p$  为机械部分初始坐标  $(0, 0, 1\ 000)$ , 则经过变换的坐标为

$$p' = (-1\ 000\sin\theta, 1\ 000\cos\theta\sin\phi, 1\ 000\cos\theta\cos\phi)$$

考虑到转动的角度  $\theta$  和  $\phi$  很小, 而且定位精度主要是考虑到  $x$ - $y$  二维平面, 因此  $1\ 000\cos\theta\cos\phi \approx 1\ 000$ , 所以经过坐标转换以后系统的最终坐标为

$$p' = (-1\ 000\sin\theta, 1\ 000\cos\theta\sin\phi, 1\ 000)$$

通过如上转换则可以得出电机旋转角度与定位平面坐标的关系.

本系统中  $x$ - $y$  平面定位的范围为  $2.25 \times 10^{-2} \text{m}^2$  的正方形区域, 根据上面得出的坐标转化关系可以得出,  $x$ 、 $y$  轴的电机旋转角度小于  $4.3^\circ$ , 因此空间三维坐标投射到  $x$ - $y$  平面坐标在误差允许范围内可以进一步简化, 得出  $x$ - $y$  平面定位坐标与对应电机旋转角度的关系:

$$p'' = (-1\ 000\sin\theta, 1\ 000\sin\phi) \quad (2)$$

### 1.2 Profibus 通信协议的设定

Profibus DP 主要用于分散外设与控制设备之间的高速数据传输, 适用于加工自动化领域以及其他一些需要现场总线的场所. 可以取代 4~20 mA 模拟信号传输.

Profibus DP 使用的是 RS-485 传输技术, 传输介质可以采用屏蔽双绞线和光纤等. 当使用屏蔽双绞线时, 可以使用多种传输速率, 其最高的传输速率为 12 Mbit/s. 随着通信速率的增加, 传输距离也相应降低. Profibus 支持主从系统、多主多从混合系统等多种模式<sup>[4]</sup>. 本系统中使用的是 Profibus 主从系统模式.

在该系统开发中, 首先构建控制系统, 其中包括 I/O 模块, 驱动控制模块等. 其次, 组态通信接口. Microbox 420-T 采用 profibus DP 通信协议与伺服驱动模块之间通信. 考虑到数据传送速率以及传输的稳定性, 总线速率选择 12 Mbit/s.

### 1.3 主轴与从轴组态

在本系统中采用的是主-从控制的形式, 利用虚拟主轴控制电机对应的虚拟凸轮盘, 从而实现控制两轴协同控制的目的. 系统控制图如图 2 所示.

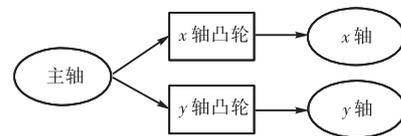


图2 系统主-从控制框架图

Fig.2 Configuration of axis synchronization via cam discs

利用 S7-Technology 软件对电机轴进行组态, 在组态轴的过程中需要注意的是系统各轴的实际用途以及轴与轴之间的关系. 首先组态主轴, 因为它并没有驱动器, 而且是其他轴设定点的参考, 所以将这个轴组态为虚拟主控轴.

其次, 就是创建两个线性实轴, 它们分别对应  $x$ 、 $y$  轴的两个伺服电机. 同样, 也根据这两轴的特点组态相应的参数, 因为它们需要达到同步协调的目的, 因此组态为同步线性实轴. 同时需要组态的还有通信协议以及编码器的类型等参数. 这些参数则是按照所选的电机以及驱动器的型号来设定. 各轴之间的控制关系如图 3 所示.

### 1.3 虚拟凸轮盘的组态

利用西门子 Microbox 420-T 可以实现凸轮虚拟化. 虚拟凸轮是连接主轴和从轴之间协同运动的桥梁, 凸轮轨迹可以利用插值表或数学多项式定义, 方便灵活.

本系统采用了差值表的方式来组态凸轮盘, 该方法具有更高的灵活性. 依次在  $x$ 、 $y$  轴对应的凸轮中输入所要定位的坐标, 平面坐标与电机的转动角度的关系如式 (2) 所示. 因此可以根据定位坐标间接控制电机的转动.

关于轴、凸轮的组态和参数的设置及轴与凸轮之

间的关系,借助 S7-Technology 软件构建,并在凸轮组态窗口完成凸轮组态,如图 4 所示. 图中曲线对应

x 轴依次要定位的坐标位置.

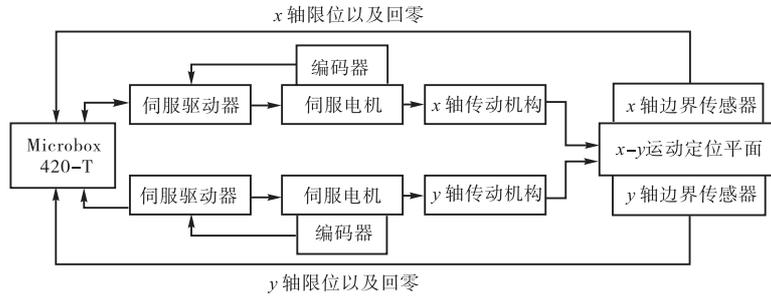


图 3 系统控制整体框架图

Fig.3 Overall system control

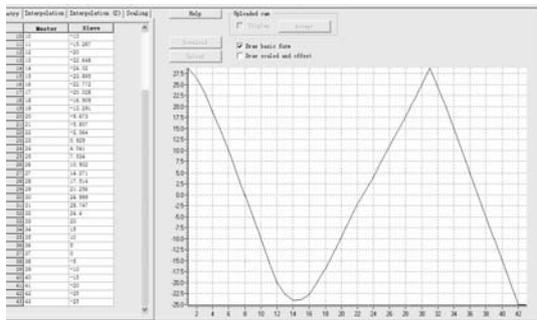


图 4 凸轮组态窗口

Fig.4 Configuration interface of cam data

### 1.4 凸轮盘功能模块

S7-Technology 提供了单轴、多轴及复杂运动控制模块. 其中,凸轮盘插入功能模块 MC\_CamIn 可以利用虚拟主轴控制 x 轴按照凸轮盘给定值来运动. 将该模块的 Master、Slave、CamTable 按照在设定系统给定的 DB 块设定. 此外,轴运动速度、加速度、减速度、冲击等参数按照系统要求设定即可.

## 2 程序设计

完成了各轴的组态以后,则按照设计原则进行复杂的框图程序设计.

PLC 控制伺服电机的过程可以分为:打开各轴并初始化系统环境,将各轴回零,设置运动参数,执行运动过程<sup>[5]</sup>. 在系统初始化的过程中对轴的控制主要是调用 MC\_Power() 函数启动各轴,然后调用 MC\_Home() 函数使得各轴回到初始位置,在执行运动控制的时候主要是调用 MC\_MoveAbsolute() 和 MC\_CamIn() 函数来实现主轴的绝对定位和从轴的同步功能,系统停止的时候则调用 MC\_Halt() 或 MC\_Stop() 函数停止

轴来实现不同的功能要求. 控制系统软件流程图如图 5 所示. 程序执行过程中所用的主要控制函数见表 1.

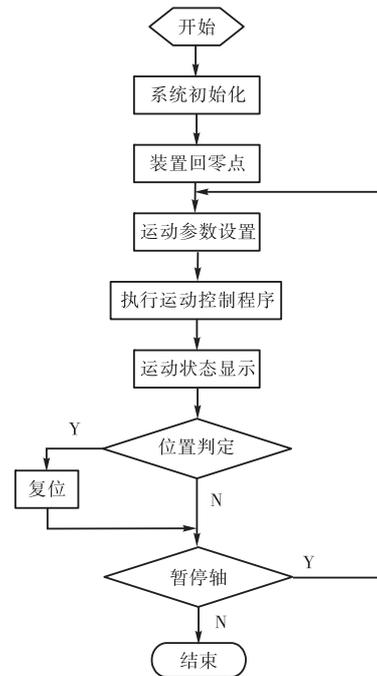


图 5 软件流程图

Fig.5 Programming flow chart

表 1 函数名称及功能

Tab.1 Names and functions of the functions

名称	功能
MC_Power	启动/禁用轴
MC_Home	使轴回零点/设置轴
MC_Halt	正常停止
MC_Stop	停止轴并阻止新运动命令
MC_MoveAbsolute	绝对定位
MC_CamIn	启动凸轮转动

### 3 实验结果与分析

启动主轴和  $x$  轴,并且设定主轴周期性的从 1 614 mm 运动到 1 657 mm,通过  $x$  轴凸轮盘的同步功能可以看到  $x$  轴的周期性运动.图 6 是虚拟主轴和  $x$  轴同步运动曲线.通过两条曲线的关系可以清晰的看到,主轴和  $x$  轴能达到良好的同步效果.

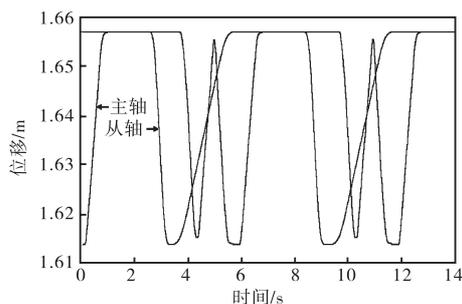


图 6 主轴与从轴同步关系

Fig.6 Synchronization of master axis and following axis

另外, Microbox 420-T 采用 PID 控制算法来对系统进行闭环控制,通过图 7 可以清晰地观察到 PID 控制对于  $x$  轴速度的快速调节作用.虚拟主轴与实轴运行速度、加速度等参数可以通过对 MC\_CamIn 控制模块进行赋值.参数设定既要考虑系统同步所必需的速度与加速度,同时又要考虑系统的稳定性.因为在加速度过大的情况下会对系统产生强烈的冲击,这种冲击不利于系统稳定.

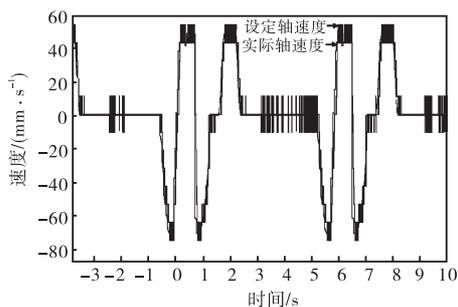


图 7  $x$  轴实际速度与设定速度之间的关系

Fig.7 Relationship between set velocity and actual velocity of  $x$ -axis

图 8 为  $x$  轴的设定轨迹与实际运动轨迹之间的关系.由曲线可以看出,该系统能够快速而且精确地同步,精度误差小于 0.5 mm,符合精确定位的的要求.同理,也可以对  $y$  轴进行在线监视.

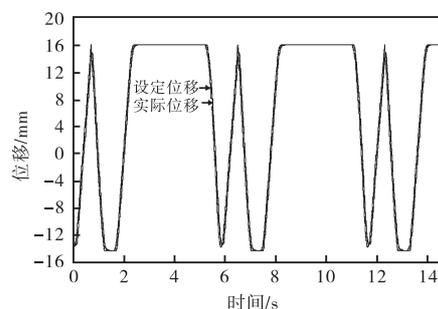


图 8  $x$  轴实际位置与设定位置之间的关系

Fig.8 Relationship between set position and actual position of  $x$ -axis

### 4 结 语

本文进行了两轴协调运动的研究,借助虚拟主轴与虚拟凸轮盘完成了  $x$ 、 $y$  轴在  $x$ - $y$  平面的精确定位.实验表明,机械控制精度小于 0.5 mm,符合精确定位要求.

采用虚拟凸轮技术来保证两个轴之间的协同运动,大大简化了开发难度和周期,而且也降低了开发成本.该方法可以广泛应用于多轴协同运动控制的场合.

#### 参考文献:

- [1] 俞志根. 虚拟凸轮机构的实现与应用前景[J]. 机电一体化, 2000(5): 39-40.
- [2] 李明喜. 虚拟凸轮机构的实现[J]. 新技术新工艺, 2002(6): 6-7.
- [3] 杜习波, 新华. 基于 ObjectARX 的凸轮机构 CAD 系统的研究[J]. CAD/CAM 与制造业信息化, 2007(5): 70-72.
- [4] 马丁. 西门子 PLC 常用模块与工业系统设计实例精讲[M]. 北京: 电子工业出版社, 2009.
- [5] 何丽娇, 张宪民, 王宇华. 二维定位平台的运动控制系统研究[J]. 机电工程技术, 2008, 37(1): 54-56, 97.