

激光切割机的运动轨迹控制系统设计研究

刘广瑞, 王振超, 毕竞锴, 黄 真

(郑州大学 机械工程学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 基于我国激光切割机落后的现状, 针对我国引进的国外通用控制器的不开放性, 难以把图形编程软件集成到控制系统里面的问题, 选择了可编程序控制器、触摸屏、运动控制单元等部件建立了激光切割机的运动轨迹控制系统, 并且在本系统中实现了手动/自动功能和轨迹控制功能. 用 PLC 来控制各部分的调控工作, 提高激光切割的可靠性和稳定性; 使用触摸屏作为人机控制界面, 更加人性化; 使用运动控制单元, 使系统的加工精度和加工质量都得到提高.

关键词: PLC; 运动控制系统; 激光切割机; 抛物线插补

中图分类号: TP273

文献标志码: A

0 引言

世界上第一台激光器是在 1960 年产生的^[1], 目前激光器已经应用到了各个领域. 1964 年发明了激光切割机, 而且在金属加工领域里面开始应用. 由于当时的激光输出的功率很小, 只能加工薄板材. 1989 年进而推出了搭载型激光切割机^[2], 这是一种大型切割机, 主要用于碳钢的中厚板切割. 现如今, 随着激光发生器的改进、切割机本身的进步、外围装置技术不断更新, 现在已经能切割 25 mm 的板厚程度. 无论是非金属材料还是金属材料^[3], 板薄还是板厚^[4], 切割的应用都很广泛.

如今我国仅有不足 1 000 套激光切割机加工系统, 大多数都是品质较低的 CO₂ 激光切割机. 其激光器功率低、切割缝隙宽、加工的工件表面精度与质量都比较差, 整机的柔性与稳定性也亟待改进. 国产激光切割机中的控制系统仍旧用的是国外的通用机床控制器, 因此造成的问题就是系统不具有开放性, 很难在此基础上进行二次开发方面的尝试, 很难把图形编程软件集成到控制系统里面.

激光切割机加工出来的工件质量和控制系统是密不可分的^[5]. 本研究即是在我国这种被动的大环境下所做的针对运动控制系统的研究. 控制

系统使用 PLC、触摸屏、运动控制单元等部件组建激光运动控制系统. 作者首先对控制装置的硬件进行了挑选, 然后根据系统的控制要求, 进行了触摸屏界面设计、PLC 程序设计、运动控制程序设计(G 代码). 所实现的功能是手动/自动功能和轨迹控制功能. 手动操作使用按键、按钮、数据输入等输入装置, 用手动的方式来操纵运动系统的运作; 自动模式下, 只需要按照按钮指示, 选择参数或者输入参数就可以达到运动控制的实现. 轨迹控制功能即在所在的轨迹界面上, 输入相关参数, 按下开始操作按钮, 即可以按照控制系统里面的程序做相关的运动, 使刀具切割工件形成一定的轨迹.

用 PLC 来控制各项的调控工作, 工作可靠性高、稳定性强; 使用触摸屏作为控制界面, 更加人性化, 使人机对话更加方便快捷^[6]; 使用运动控制单元作为运动的核心部件, 使系统的加工精度和加工质量都得到提高. 另外, 笔者不仅使用了 PLC 强大的逻辑判断功能, 更使用了 PLC 强大的计算功能^[7].

1 控制系统硬件设计

1.1 激光切割机的工作原理

如图 1 所示, 激光切割机是利用从激光发生器发射出的激光束, 经外电路系统, 聚焦成高功率

收稿日期: 2011-03-20; 修订日期: 2011-06-12

基金项目: 公益性行业科研专项资助(nhyyzx07-005-25)

作者简介: 刘广瑞(1966-), 男, 河南新乡人, 郑州大学副教授, 硕士生导师, 主要从事可编程序控制器应用研究,

Email: wangzhenchaowang@163.com.

密度的激光束照射条件,激光热量被工件材料吸收,工件温度急剧上升,到达沸点后,材料开始气化并形成孔洞,一旦小孔形成,它将吸收几乎所有光束能量,随着光束与工件相对位置的移动,最终使材料形成切缝^[8]. 其中,切缝时的工艺参数(切割速度,激光器功率,气体压力等)及运动轨迹均由运动控制系统控制,辅助气体高速流动把熔化的材料吹走,保持熔壁相对稳定. 激光功率与切割的厚度、切口的宽度和切割质量有很大的关系. 功率大,切割的厚度大,切割速度快,但是切口宽^[9].

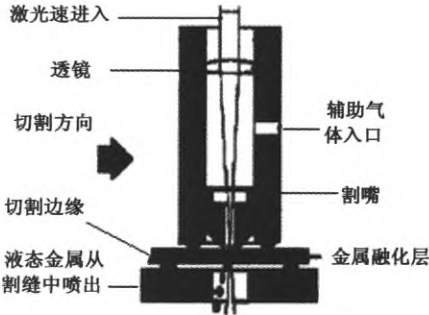


图1 激光切割机理
Fig.1 Laser cutting mechanism

1.2 激光切割机控制系统的硬件组成

本系统由可编程控制器 PLC、运动控制单元、触摸屏、交流伺服系统、检测装置等 5 大部分组成. 其结构图如图 2 所示,本系统所用的硬件型号和各硬件功能如表 1 所示.

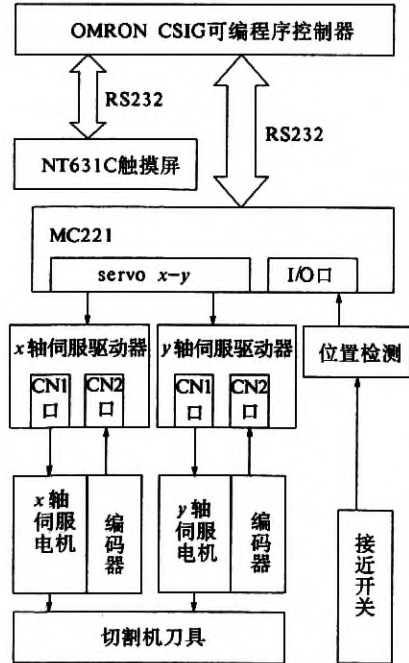


图2 切割机运动控制系统结构图
Fig.2 Structure of motion control system in cutting machine

表1 系统硬件型号和功能表
Tab.1 Hardware models and menu

| 本系统所用 硬件模块 | 硬件型号 | 各个硬件在 系统中的功能 |
|---------------|---------------------------|---------------------------------|
| 触摸屏 | OMRON NTST631C | 作操作员站, 是人机界面 |
| 可编程序 控制器 | OMRON CS1G CPU45/V1 | 协调各部分功能, 使功能最大化 |
| 运动控制单元 | OMRON MC221 | 控制运动的速度、 位置和轨迹 |
| 伺服驱动器 | OMRON R88M- W60010H-S2 | 执行运动控制单元 发来的命令,驱动 伺服电机的运动 |
| 交流伺服电机 | OMRON R88D-WT08H | 执行驱动器的驱动 命令,带动丝杆运动 |

2 抛物线插补设计

2.1 抛物线插补触摸屏画面设计

所设计的抛物线插补的触摸屏人机界面如图 3 所示.

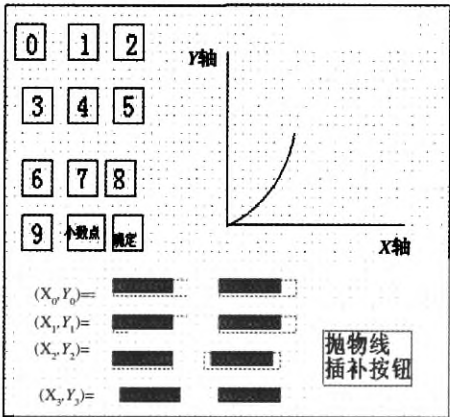


图3 抛物线画面设计
Fig.3 Parabolic screen design

在 NTST 软件里面,有触摸开关、数据输入、数字显示等操作对象. 其中数字输入是用来把数据在触摸屏上通过写人工具写入,并且把内容写到所指定的 PLC 的地址里面. 如表 2 所示, X_0, Y_0 在数字表中的地址为 D501, D502. 即在触摸屏的画面上输入数字并且放在 D501, D502 地址中.

2.2 抛物线各点的数据计算

由于 G 语言只有直线插补和圆弧插补,因此直线和圆弧之外的曲线都要进行数据计算,然后再进行直线插补. 以抛物线 $y = x^2$ 为例进行了数据计算和直线插补.

计算步骤:

- (1)从触摸屏上输入起点坐标 (X_0, Y_0) , 终点坐标 (X_e, Y_e) .
- (2)设定要进行直线插补的段数,把在 x 轴

上的投影分成等分 n 段. 在梯形图中计算出此段长 $L = (X_e - X_0)/n$.

表2 数字表

Tab. 2 Digital table

| No. | 值 | 初始存储类型 | 字 | PLC地址 |
|-----|---|--------|----------|-------|
| 5 | 0 | BCD | 2.D00501 | |
| 6 | 0 | BCD | 2.D00502 | |
| 7 | 0 | 系统 | 0 | |
| 8 | 0 | 系统 | 0 | |
| 9 | 0 | 系统 | 0 | |
| 10 | 0 | 系统 | 0 | |
| 11 | 0 | 系统 | 0 | |
| 12 | 0 | 系统 | 0 | |
| 13 | 0 | 系统 | 0 | |

(3) 设各坐标点为 $(X_0, Y_0), (X_1, Y_1) \dots (X_e, Y_e)$. 则 $X_1 = X_0 + L; X_2 = X_1 + L; \dots X_{n-1} = X_{n-2} + L = X_e$. 在梯形图中计算出这些值.

(4) 在梯形图中求出各点的 y 轴坐标值. $Y_0 = F(X_0); Y_1 = F(X_1); \dots Y_{n-1} = F(X_{n-1}) = F(X_e)$.

(5) 因此 $(X_0, Y_0), (X_1, Y_1) \dots (X_e, Y_e)$, 都成为具体的数值, 即是一组储存在 PLC 存储器中的一组数据. 把这些数据通过传送指令传送到 MC 的地址存储区中.

(6) 使用这些 MC 中的数据, 一次一次地进行插补, 直到到达终点.

计算各个数值如下助记符程序所示. 结果是 X 的值分别存在 D32001 ~ D32006; Y 的值存在 D33000 ~ D33005 中. PLC 梯形图程序如图 4 所示.

2.3 抛物线数据从 PLC 到 MC 的传送

抛物线数据从 PLC 到 MC 的传送如图 5 所示. 其中, #456、#556 指的是 MC 中的位置数据存储区中的地址, A0456, A0556, D32001, D33000 是 PLC 的 CPU 中的数据存储器中字地址. #0015 是指要传送 5 个字, 因为此指令中每个位置数据需要 3 个字来传送. #456, #556 指定了要接收数据的 MC 单元的地址; D32001, D33000 指定了 PLC 中要传送数据块的首字地址, 0015 指定单元号和传送数据字的数量. 此传送过程的条件是两个轴都伺服锁定了而且在触摸屏上的抛物线插补执行按钮按下时, 才会执行数据的传送.

2.4 抛物线插补的 G 代码程序

抛物线插补的 G 代码程序如图 6 所示. 设置程序号为 5, 因此 PLC 调用 G 代码程序时直接用编号就可以了. 把上面传送到 A456, A457 里面

的数据放入指针寄存器 E1, E2 中. 并且应用这些数据以一定的速度进行直线插补, 当使用了一组轴数据时, 如果还有数据, 能够继续循环, 直到完成最后一个点.

| 指令 | 操作数 | 值 | 注释 |
|----------|--------|---|------|
| LD | P.On | | 常通标志 |
| -B(414) | D501 | | |
| | D502 | | |
| | D32000 | | |
| LD | P.On | | 常通标志 |
| /B(434) | D32000 | | |
| | #5 | | |
| | D32001 | | |
| LD | P.On | | 常通标志 |
| +B(404) | D501 | | |
| | D32001 | | |
| | D32002 | | |
| LD | P.On | | 常通标志 |
| +B(404) | D32002 | | |
| | D32001 | | |
| | D32003 | | |
| LD | P.On | | 常通标志 |
| +B(404) | D32003 | | |
| | D32001 | | |
| | D32004 | | |
| LD | P.On | | 常通标志 |
| +B(404) | D32004 | | |
| | D32001 | | |
| | D32005 | | |
| LDNOT | P.On | | 常通标志 |
| MOV(021) | D501 | | |
| | D32001 | | |
| LDNOT | P.On | | 常通标志 |
| MOV(021) | D502 | | |
| | D32006 | | |

图4 抛物线数据采集和计算

Fig. 4 Collection and calculation of Parabolic data

| 指令 | 操作数 | 值 | 注释 |
|-----------|---------|---|--------|
| LD | 200.06 | | 两轴锁定 |
| AND | A1.04 | | 抛物线插补 |
| OUT | TR0 | | |
| TOVR(223) | #456 | | |
| | D32001 | | |
| | #0015 | | |
| AND | 2008.14 | | 有错误产生 |
| OUT | R0.01 | | 再次发送 |
| LD | TR0 | | |
| AND | 255.06 | | 数据接收正常 |
| OUT | R0.00 | | 接收完成输出 |
| LD | 200.06 | | 两轴锁定 |
| AND | A1.04 | | 抛物线插补 |
| ANDNOT | R0.00 | | 接收完成输出 |
| TOVR(223) | #556 | | |
| | D33000 | | |
| | #0015 | | |
| AND | 2008.14 | | 有错误产生 |
| OUT | R0.01 | | 再次发送 |
| AND | 255.06 | | 数据接收正常 |
| OUT | R0.00 | | 接收完成输出 |

图5 数据传送

Fig. 5 Data transfer

2.5 PLC 梯形图调用 MC 里面的 G 代码程序

PLC 梯形图调用 MC 里面的 G 代码程序如图 7 所示. 由于设定单元号为 0, 因此按照 MC 手册所示, 2 071.07 是 MC 中的程序号读取位. 2 071.02 是循环控制位, 在脉冲上升时开始执行 MC 程序, 若为 On 就继续执行, 若为 Off 就停止执行. 此处把 5 号 G 代码程序的程序号送入 2 070 字

地址中,2 070 是专门用来存储将要在自动模式下被执行程序的程序号.通过上面这段程序,就把程序号5放入2 070中,并且当抛物线插补按钮按下,伺服都锁定,而且在自动模式下,将会传送并且执行抛物线G代码程序.

```

N000 P005 XY
N001 G11
N002 G63 R1=A456
N003 G63 R2=A556
N004 G01 X(R1) Y(R2) F100
N005 G60 R1=R1+1
N006 G60 R2=R2+1
N007 G75 3
N008 G70 N004/L5
N009 G79

```

图6 G代码程序

Fig.6 G code program

| 指令 | 操作数 | 值 | 注释 |
|-----------|---------|---|---------|
| LD | A1.04 | | 抛物线插补 |
| AND | 200.05 | | 两轴锁定 |
| ANDNOT | 2081.03 | | 手动模式位 |
| ANDNOT | 2081.02 | | 自动标志位 |
| MOV (D21) | #005 | | |
| | 2070 | | 指定MC程序号 |
| OUT | 2071.07 | | 程序号读取位 |
| OUT | 2071.02 | | 循环控制位 |

图7 PLC梯形图调用MC里面的G代码程序

Fig.7 PLC ladder called G code program inside the MC

3 结论

基于我国激光切割机在我国现状,笔者选择了PLC、触摸屏、运动控制单元建立了此运动控制系统.笔者以抛物线为例,运用该系统硬件部件所配备的编程软件介绍了此系统软件的设计步骤

并以图表的形式表现出来.尤其是在利用PLC强大的计算功能尤其是乘法功能方面进行了一定的探索和应用.相信这种以案例形式呈现出来的设计过程和设计步骤对有关运动控制系统的后续研究者有一定的启发作用.针对我国引进的国外通用机床控制器的不开放性和难以继续开发、难以把图形编程软件集成到控制系统里面的问题,笔者进行了的探索和研究.

本系统的实际作用在于提高了激光切割机的品质,使加工的工件表面精度与质量都得到大幅度的提高,整机的柔性稳定性也得到很大的改进,使激光切割机的故障率降低,自动化水平和工作效率得到提高.

参考文献:

- [1] 张宏伟.激光切割机开放式数控系统的研究[D].天津大学机械工程学院,2003.
- [2] 佐野美.搭载型激光切割机的现状[J].切割论坛,2006(9):15-18.
- [3] 朱秀芹.激光切割技术在生产中的推广应用[J].衡器,2003,32(1):12.
- [4] 罗文清,程舜麟.激光切割技术在我国造船业中的应用[J].造船技术,2007(6):34-35.
- [5] 肖克.CO₂激光切割机在工业企业的应用前景[J].激光技术与应用,2004(1):13-15.
- [6] 王军亮.触摸屏技术的结构原理及应用[J].甘肃教育学院学报:自然科学版,1999,13(2):18-21.
- [7] 史国生.电气控制与可编程控制器技术[M].北京:化学工业出版社,2010.
- [8] 石尚峰.高速激光切割机床数控系统研究[D].上海交通大学机械与动力工程学院,2008.
- [9] 姜峰,张雷.激光切割机的发展及其关键技术[J].机械工程师,2000(6):35-36.

Study on Design of the Trajectory Control System in the Laser Cutting Machine

LIU Guang-rui, WANG Zhen-chao, BI Jing-kai, HUANG Zhen

(School of Mechanical Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: The motion control system is established through selecting and combining the PLC, touch screen, motion control unit, which is in the present situation of laser cutting machine in China. Universal controllers introduced from abroad are not open and difficult to integrate graphical programming software to the control system inside. A manual/automatic function and trajectory control are achieved in this system. The reliability and stability of the laser cutting are improved with the PLC to control the regulation of work, a more humanized man-machine interface is got with the touch screen controls, accuracy and quality of machining are improved with the motion control unit.

Key words: PLC; motion control system; laser cutting machine; parabolic interpolation