

文章编号: 0258-7025(2007)Supplement-0326-04

# 基于 ObjectARX 的激光切割数控自动编程系统开发

沈显峰, 雷华东, 黄文荣

(中国工程物理研究院机械制造工艺研究所, 四川 绵阳 621900)

**摘要** 数控自动编程是数控系统向集成化、智能化发展的重要环节,对提高数控程序编制效率、可靠性和降低数控编程人员工作难度具有重要作用。针对 LCM-408 激光加工机床,基于 AutoCAD 平台的二次开发工具 ObjectARX 及 Visual C++ 建立了图形交互式激光切割自动编程系统。采用 Polyline 图形实体描述激光切割路径,实现了 Polyline 的顶点和凸度等图形信息的自动提取,通过图形实体的 AcDbExtent 对象获取并计算出激光切割区域最小包络矩形的宽度和高度。为避免某些材料在激光切割过程中发生“过烧”现象,实现了激光切割元件轨迹的元件起割切入和最后切出部分的自动生成。并采用交互式依次选取切割元件,以及对切割元件进行分组的方法确定多个切割元件的切割顺序,并将相应的图形信息、加工路径信息等转换为相应的数控代码。通过激光切割轨迹的静态模拟初步实现了数控代码程序的校验。

**关键词** 激光切割; 计算机辅助制造; 数控自动编程; ObjectARX; 凸度

**中图分类号** TG485 **文献标识码** A

## Automatic Programming System for Numerically Controlled Laser Cutting Machine Based on ObjectARX

SHEN Xian-feng, LEI Hua-dong, HUANG Wen-rong

(Institute of Machinery Manufacturing Technology, China Academy of Engineering Physics,  
Mianyang, Sichuan 621900, China)

**Abstract** Automatic programming increasingly plays an important role in intelligent numerically controlled (NC) coding and Computer-Aided Manufacturing (CAM), which greatly improves the efficiency and reliability of NC system, and relieves the work loads of programming. A graphic automatic programming system for NC laser processing machine LCM-408 is developed by using ObjectARX in AutoCAD and Visual C++. Laser cutting path is presented with the employment of Polyline, in which vertex and bulge are searched out in turn by iterating all graphic entities. The height and width of the tight bounding box of cutting region are obtained by comparing the minimum point and maximum point of the AcDbExtent of each cutting entity. The cut-in or cut-out curve is automatically added to the beginning and ending of each cutting entity for improving the quality of the cutting edge. The cutting sequence can be modified by user choosing one after another or grouping the cutting entities. G-code is generated from the laser cutting path and verified with static simulation.

**Key words** laser cutting; computer-aided manufacturing; numerically controlled automatic programming; objectARX; bulge

## 1 引言

激光切割是当前世界上先进的切割工艺之一。它的最大优点是激光光斑小,能量集中,所以切割的割缝小、无挂渣、几乎没有热变形,切割面光洁度高。激光能切割大多数金属材料和非金属材料<sup>[1]</sup>,与其他切割工艺如火焰切割、等离子切割等板材切割工艺相比,具有切割范围广、速度快、形变小、

精度高等优点,特别适合切割形状复杂、批量不大、厚度 $<10$  mm 的薄板,高功率 CO<sub>2</sub> 激光切割板材约占整个激光加工工业应用的 60% 以上。

数控自动编程是数控系统向集成化、智能化发展的必要环节,是 CAD/CAM 一体化研究的重要领域<sup>[2,3]</sup>。对于加工轨迹较复杂的零件,手工编程工作量大,编程周期长,难以避免人为误差。因此,必须开

发功能齐全、使用方便的激光加工自动编程系统<sup>[4,5]</sup>。目前国内外开发了较成熟的数控自动编程系统软件,但对于激光切割自动编程软件的开发还不够完善,特别是激光切割元件轨迹的元件起割切入部分和最后切出部分的自动生成,对提高激光切割的切缝质量、减少编程工作量具有重要作用。

针对 LCM-408 激光加工机床,基于 AutoCAD 二次开发工具 ObjectARX,以及 Visual C++ 开发工具,设计了数控自动编程系统功能,初步开发了该系统的基本功能。采用 Polyline 图形描述切割路径,初步实现了 Polyline 的顶点和凸度等图形信息的自动提取,以及多切割元件的数控代码生成,还实现了激光切割元件轨迹的元件起割切入部分和最后切出部分的自动生成。

## 2 系统功能设计

激光切割数控自动编程系统的主要功能流程框图如图 1 所示,包括数控程序生成、数控程序编辑、切割图样排版和资料库维护等模块。在这些模块中,关键模块包括:CAD 数据格式的读取,切割路径规划,元件切割顺序交互式设定,切割路径设计,激光切割元件轨迹的元件起割切入部分和最后切出部分的自动生成等。

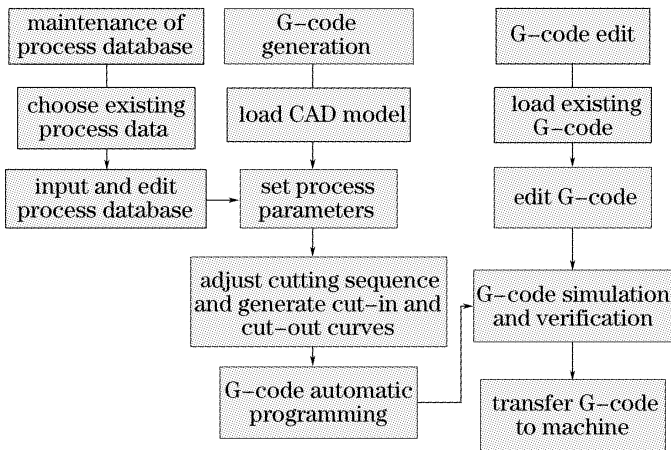


图 1 激光切割数控自动编程系统的主要功能框图  
Fig. 1 Main modules of automatic programming system

## 3 系统关键技术

### 3.1 CAD 图形数据的读取

直接从 CAD 系统的图形数据库中提取切割图形的几何信息,是实现激光切割数控自动编程系统的前提。直接从 AutoCAD 的数据库信息中自动识别多段线等切割元件信息及字符文字信息,可实现多段线的顶点和凸度等图形信息的自动提取。

激光切割路径采用首尾相接的一系列 Polyline (多线段,或称为多义线、组合线)进行描述,将每个切割元件的图形实体都采用一条多线段(可封闭也可不封闭)进行描述。多线段的起点即是激光头的起切点,加工过程中所需的终点坐标均可由多线段各顶点的坐标确定,数控加工代码也根据这些数据生成。

采用 Polyline 描述切割路径有以下优势<sup>[6]</sup>:

1) Polyline 是可以包括多个直线段和圆弧段的图形实体,这和一般数控系统所具备的直线插补和圆弧插补方法完全一致,可以方便地确定数控代码的类型;

2) Polyline 可以(用直线和圆弧)逼近任意形状,这在零件轮廓为不规则曲线时显得十分方便,同时还可以通过控制逼近算法以调节逼近精度;

3) Polyline 中各个直线段和圆弧段是依次首尾相接的,有起点,有终点,这便于确定加工时激光头的运动方向;

4) Polyline 虽然包含多线段和圆弧段,但仍然为单一实体,便于对每个元件进行分组和标识。

在 Polyline 中进行直线或圆弧识别时采用如下规则:凸度为 0 是直线的顶点,它与下一个顶点连接为一直线;凸度不为 0 是圆弧顶点,它与下一个顶点连接为圆弧;凸度为负表示顺时针圆弧,凸度为正表示逆时针圆弧;凸度绝对值小于 1 表示圆弧包角小于 180°,凸度绝对值大于 1 表示圆弧包角大于 180°。CAD 图形元件的读取识别流程如方法如图 2 所示。

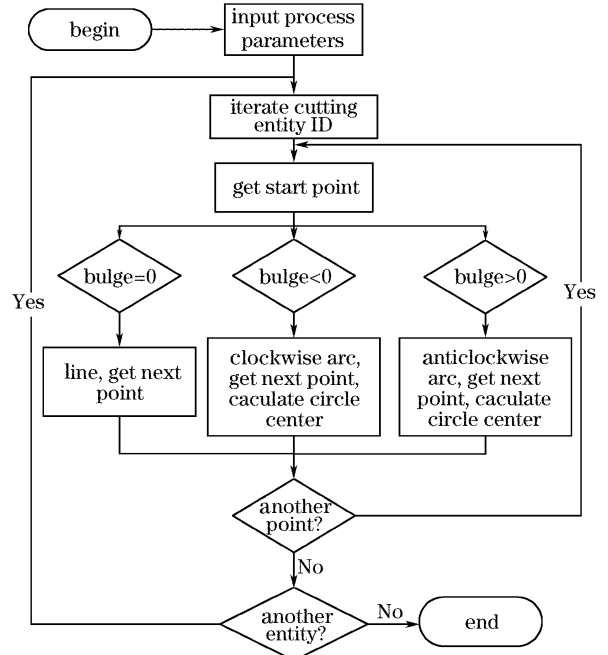


图 2 CAD 图形元件的读取识别流程  
Fig. 2 Flowchart of recognition the CAD entities

### 3.2 激光切割的顺序确定及路径的生成

激光切割路径生成的一个实例如图 3 所示,其中虚线箭头表示激光头空走(点定位)的路径,箭头方向表示切割方向。图形元件的编号格式为“组号-元件号”,代表了元件的切割顺序。

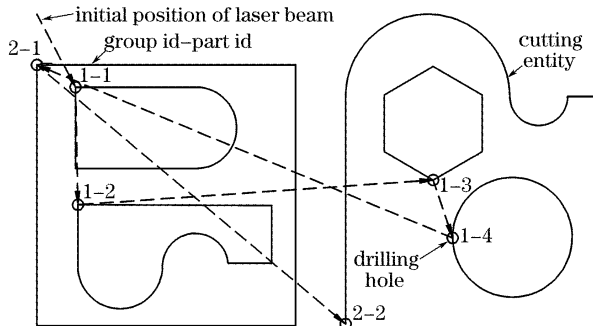


图 3 切割路径的生成

Fig. 3 Generation of laser cutting path

为了“对刀”方便,激光头切割起始位置定位点一般确定为切割区域的左上角,如图 3 中所示,这主要是切割原料一般为板材。因此在获取 AutoCAD 图形的几何信息后,应计算出图形实体的最小包络矩形的宽度和高度。每个切割图形元件的最小包络矩形,可通过图形实体的 AcDbExtent 对象获取其矩形范围,而整个切割矩形区域,则可通过遍历并比较所有切割图形实体包络矩形的范围获得。

多个切割元件的切割路径须遵循由内向外和切割头空走最短的原则。“由内向外”的原则主要是为了获得有效和稳定的切割过程,在图 3 所示的切割任务,“1-1”和“1-2”在“2-1”内部,如果按“2-1”→“1-1”→“1-2”的顺序切割,则在“2-1”切割完成后,“2-1”整块板会跌落,会造成“1-1”和“1-2”的切割精度降低、切割不透,甚至损坏激光切割头。“切割头空走最短”主要是为了提高切割的效率,减少切割时间。

激光切割顺序的确定,首先由系统遵循由内向外和切割头空走最短的原则,自动生成默认的切割顺序,而后通过依次选择需要改变切割顺序的实体图形或改变图形元件所属的组,来改变图形元件的切割顺序。对切割元件进行分组也是为了交互指定切割顺序的方便,在前面组切割完成后,才进行后续组的切割。在每个组的内部,元件号排在前面的先切割,元件号排在后面的后切割。在图 3 中,即按“1-1”→“1-2”→“1-3”→“1-4”→“2-1”→“2-2”的顺序切割。

### 3.3 元件起割切入和最后切出部分的自动生成

激光切割采用的是先打孔再切割的工作过程,打孔点如图 3 中所示。由于打孔时需要持续几秒到

几十秒,很容易由于热量集中造成“过烧”,因此这些打孔点是影响切缝质量和切割件精度的重要因素。切入切出部分设计是避免激光切割热加工过程产生“过烧”现象的重要手段之一。对每个切割元件,自动生成或通过交互方式调整适当的圆弧或斜角切入、切出方式,及一定长度的切入前导距离、切出调整距离,这样就将穿孔位置和切割终止点移动到废料区域,从而避免热量过于集中发生“过烧”现象。

切入部分与切割部分自动生成方法类似,圆弧切入和斜角切入方式的自动生成原理也相似,因此仅以内孔圆弧切入部分的计算过程为例说明切入切出部分的自动生成。图 4 为起割切入部分圆弧 AB 和 BC 的计算关系图,其中弧 BC 为切割路径方向, O 为其圆心,其对应的圆弧包角为  $\alpha$ ;需要自动生成的切入圆弧为 AB,其圆心为  $O'$ ,其对应的圆弧包角为  $\beta$ 。为了平滑过渡,要求弧 AB 和弧 BC 在切入点 B 处的切线方向相同,因此 AB 弧的圆心  $O'$  位置应在 OB 直线方向上。在图 4 所示圆弧 BC 中,圆心角  $\alpha$ 、半径 R、凸度  $\mu$  之间的换算关系为

$$\alpha = 4 \times |\arctan \mu|, \quad (1)$$

R 与 L 的关系有

$$R = \frac{L}{2\sin(\alpha/2)}, \quad (2)$$

联合(1)式和(2)式即可计算出 R 的大小,根据设定的半径 R,进而可以计算出 O 和  $O'$  的坐标。再根据  $\beta$  角的大小计算出 A 点坐标和弧 AB 的凸度。

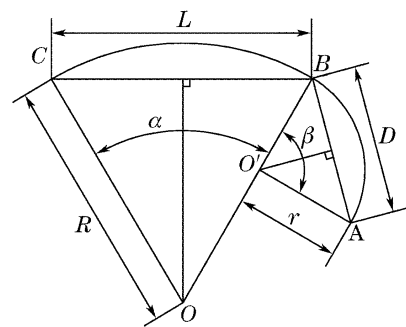


图 4 起割切入部分圆弧 AB 和 BC 的计算关系图

Fig. 4 Relationship diagram between the cut-in arc AB and arc BC

### 3.4 数控 G 代码自动生成与数控代码的仿真校验

确定了激光切割路径,即可根据读取的切割元件实体信息,自动生成相应的数控 G 代码。针对每个 AutoCAD 图形,AutoCAD 系统都有一个内部数据库与之对应。程序首先通过遍历选择集,提取 AutoCAD 图形信息,构造一个自定义数据库。经过对库中实体类型的判断,进行分类处理。然后根据加工的顺序构造有序选择集。对有序选择集中的

直线和圆弧两种图元实体进行分析,将圆弧转化为相应的 G02、G03 指令,将直线转化为相应的 G01 指令,将激光头空走指令转化为 G00 指令。

在系统输出数控代码之前,必须对代码进行校验,以防止数控代码的语法错误和不正确的人为修改。通过对代码进行路径的仿真,以此来校验代码的正确性和准确性,并检验数控代码的尺寸范围。数控代码的仿真,分为静态仿真和动态仿真两类。图 3 采用箭头指示激光头前进方向即为一种静态仿真,静态仿真不能动态地模拟整个切割过程中激光头的切割路径的动态变化,而动态仿真可以达到这种效果<sup>[7]</sup>,数控代码的动态仿真是系统下一步开发的重要任务。

## 4 结 论

基于 ObjectARX 的激光切割数控自动编程系统,实现了 CAD 图形信息的读取,激光切割路径的生成和激光切割顺序的调整,以及激光切割元件轨迹的元件起割切入部分和最后切出部分的自动生成,还实现了由 AutoCAD 二维图形直接生成数控加工代码,并可对生成的数控指令代码进行加工路径的静态仿真。该系统不仅避免了人工编程繁琐易出错,还可以明显提高编程效率和编程质量,提高数控机床的利用率,尤其是在复杂轮廓的编程中更能发挥其优势。开发功能更加完善、具有自主知识产

权的激光切割自动编程系统是今后发展的必然。

## 参 考 文 献

- 1 F. Caiazzo, F. Curcio, G. Daurelio *et al.*. Laser cutting of different polymeric plastics (PE, PP and PC) by a CO<sub>2</sub> laser beam [J]. *J. Materials Processing Technology*, 2005, **159**(3): 279~285
- 2 X. W. Xu, Q. He. Striving for a total integration of CAD, CAPP, CAM and CNC [J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2004, **20**(2): 101~109
- 3 Liu Huixia, Wang Xiao, Zhou Ming *et al.*. Nozzle path planning of edge-shared nested workpiece in laser cutting [J]. *Chinese J. Lasers*, 2004, **31**(10): 1269~1274  
刘会霞, 王 霄, 周 明 等. 共边排样件激光切割路径的规划[J]. *中国激光*, 2004, **31**(10): 1269~1274
- 4 Mao Guibo, Lu Shanjin, Wang Yang *et al.*. Development of laser processing oriented NC auto-programming system [J]. *Machinial Engineering*, 2003, **12**: 9~12  
毛贵波, 吕善进, 王 扬 等. 面向激光加工的数控自动编程系统的开发 [J]. *机械工程师*, 2003, **12**: 9~12
- 5 Sun Jin. Study of the automatic graphic programming system for NC lathe [D]. Shenyang: Master dissertation of Shenyang University of Technology, 2005. 4~6  
孙 进. 数控车床图形自动编程系统研究 [D]. 沈阳: 沈阳工业大学硕士学位论文, 2005. 4~6
- 6 Zhang Zhenyu. Research and development of 2-D NC automatic programming system base on AutoCAD [D]. Lanzhou: Master dissertation of Lanzhou University of Technology, 2003. 11~12  
张振宇. AutoCAD 二维图形数控自动编程系统的研究和开发 [D]. 兰州: 兰州理工大学硕士学位论文, 2003. 11~12
- 7 Wang Zhaohui, Liu Quancai, Liu Zhanqiang. Software for NC tool path simulation and program transmission [J]. *Tool Engineering*, 2006, **40**(1): 34~38  
王兆辉, 柳全才, 刘战强. 数控加工刀具的轨迹仿真与程序传输软件 [J]. *工具技术*, 2006, **40**(1): 34~38