

实时图像激光雕刻的微机控制

郑万波

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130021)

摘要 叙述了实时图像激光雕刻的微机控制; 给出了驱动和控制帧捕捉器、激光调Q开关、扫描振镜和步进电机的软、硬件设计; 对影响雕刻精度的因素进行了初步的分析。系统对多种工艺件的图像、纪念标的雕刻具有较大的实时性和灵活性。

关键词: 激光雕刻; 微机控制; 实时图像; 图像处理

1 引言

近年来, 随着激光技术的迅猛发展, 激光在军事、工业、商业、医药业等领域的应用越来越广泛。激光刻印是激光材料加工技术的重要应用, 激光雕刻既具有激光刻印的优点, 又是激光刻印的自然延伸。

在国外, 激光雕刻已得到广泛的应用, 其设备已成为独立的工业项目。在我国, 这方面的应用也正在崛起。激光雕刻技术之所以开发迅速, 在于它在刻印质量和使用灵活性方面优于传统的刻印技术, 如机械刻划、化学腐蚀或电化学方法。

激光雕刻是利用激光束在材料表面产生的三种作用: 熔融、汽化及光化学反应, 使材料表面烧蚀几微米到几十微米的深度, 熔蚀区内材料的表面质地、颜色及反射率均发生变化, 从而造成可识别的符号标记。

激光熔融是利用激光束的能量, 打断材料上的化学键, 从而导致表面材料熔融与重新流布, 造成目视反差效果。汽化工艺可去掉如印刷在纸张上的油墨、烧蚀铝基片上的阳极氧化膜等。这两种作用通常是相伴随发生的。光化学反应主要发生在塑料及其他有机化合物上。很多材料在紫外光波段有极高的吸收系数, 吸收发生在 $0.1 \sim 0.5 \mu\text{m}$ 厚度范围内。这种高光子能量能有效地断裂有机材料的结合键。当键断裂超过某一临界值, 材料开始烧蚀或分解, 形成碎片高速飞发, 即所谓光致烧蚀作用 (photoablation)。分子分解, 可产生颜色变化的图案。使用有限的添加剂能提高标志的对比度。

激光雕刻系统, 它的工作是由计算机协调控制的。计算机控制图像的摄入, 并对图像做所需处理; 向调Q开关、振镜及步进机发出控制信号, 产生相应的动作, 从而雕刻出一幅图像。

计算机在控制激光雕刻的过程中,要考虑图像的点数和灰度级、工作面的大小和形状、调Q开关的工作频率、振镜的扫描响应时间与频率、步进机的步距等诸因素,从而给出最佳控制方案。要求软、硬件设计上有一定的抗干扰性和容错性,软件应在硬件允许的范围具有设置各种工作参数的能力,满足不同的雕刻要求。并且,软件应便于使用和操作。

2 实时图像激光雕刻的微机控制硬件

目前,激光打标机用于工业制品的刻字、刻线、商标,甚至二值图案的刻制已不罕见。但是,在国内能实时将灰度图像刻制在复杂形状的工艺品上尚未见到。图像的实时性和灵活性、工件的复杂性和多样性给计算机控制的软、硬件设计提出了新的课题。本课题来自广东省“八五”攻关项目—“激光雕刻机”。该雕刻机用于旅游景点上,顾客可在摄像机前实时选取自己满意的形象并定格,三两分钟内即可刻制在选用的工艺品上,并打上留念标记。

实时激光雕刻对微机控制部分的指标要求为:

(1) 图像分辨率: $256 \times 256 \times 16$ 灰级

画面大小: $20 \times 20 \text{mm}^2 \sim 100 \times 100 \text{mm}^2$ 连续可变。

雕刻时间: ≤ 3 分钟

(2) 工件形状: 平面或圆柱形

(3) 留念标记: ≤ 12 个汉字

2.1 总体框图和原理

其总体框图如图 2-1 所示,计算机控制部分的硬件包括:图像接口板、驱控接口板(均插入 PC 机总线槽)、行镜驱动器、场镜驱动器、步进机驱动器和电源(放入外控制箱)。

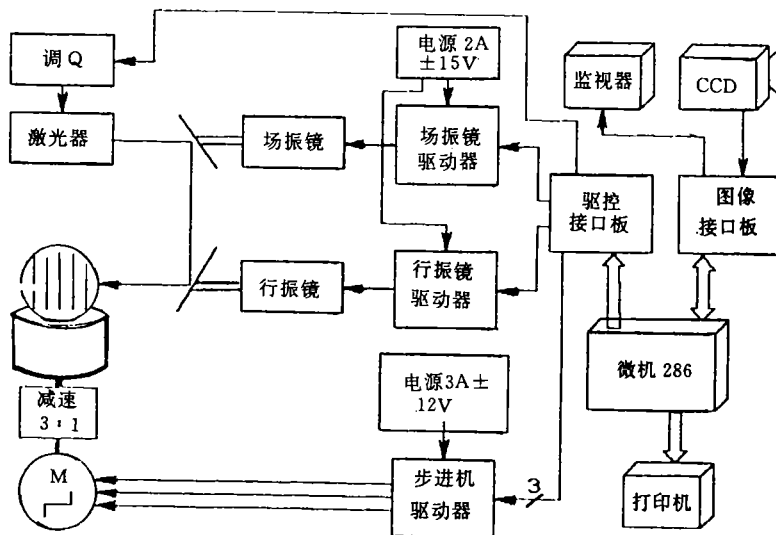


图 1 实时激光调刻微机控制总体框图

工作过程是:

CCD 摄像机将顾客成像在摄像机靶面上, 图像接口板完成视频信号的 A/D 转换和帧存。顾客通过监视器自我监视, 选取满意的图像并定格。微机将帧存图像送入内存。并作适当的图像处理。这就是待雕刻的图像数据。

对于平面工艺件, 微机通过驱控接口板, 以雕刻速度给出一场 256 行列的锯齿电压, 送行、场振镜驱动器。与振镜同步, 将对应的象灰度转换成调 Q 脉冲串, 启动 YAG 激光器。这些激光脉冲通过行、场振镜和相关光学系统, 聚焦在工作对应位置上, 刻蚀出有关图像, 其幅面(锯齿波电压)可根据工作大小, 人机对话输入。

对于柱面工艺件, 行镜不动, 由场镜实现轴向扫描, 步进机实现圆周扫描, 完成柱面雕刻。其画面大小由人机对话输入工件的半径来决定。

图像还可通过打印机印在纸面或手绢上, 也可烫印。实现软工艺品的硬考贝。

2.2 图像板

现在市场上的图像板多为 $512 \times 512 \times 8\text{bit}$, 而且多为进口, 售价在万元左右。对我们来说是大材小用, 而且信息量过大会增加雕刻时间。为降低成本, 我们设计了 $256 \times 256 \times 8\text{bit}$ 图像卡。

CCD 来的全电视信号经行场分离电路分离出行、场同步信号。该信号控制时钟振荡器和行、场计数器形成行场地址, 作为存储体选址。行场地址在行幅的 $2/3$ 内有效, 以形成 256×156 的采样方窗。同时视频信号经视放和高速 A/D 转换, 变成数字量送存储体。通过 D/A 可以显示 A/D 的直通信号或存储体的定格图像。微机的数据总线、地址总线和有关控制信号通过缓冲接口与地址译码, 分别和存储体及地址电路相连, 以实现微机与图像板的数据交换。

该图像板的特点:

- (1) 元件通用, 易于制作, 价格便宜;
- (2) 采用动态 RAM, 低耗价廉, 节省空间;
- (3) 存储体字长 8bit, 图像占 6bit (也可以为 8bit), 另外 2bit 可以用于涂层和光标, 便于在图像上覆盖图形和字符, 给图像处理和显示带来很大方便;
- (4) 利用行场消隐期和计算机行数据交换, 利于显示。计算机对存储体可随机进行单个像素的读写, 给图像处理带来很大的灵活性。

2.3 驱控接口板

驱控接口板是微机和激光雕刻设备联络的枢纽。它的作用是在微机编程控制下:

- (1) 为行场振镜驱动器提供行、场锯齿波电压(或阶梯电压)信号;
- (2) 依据像素的灰度级为激光调 Q 开关驱动器提供触发脉冲序列;
- (3) 为步进机的旋转提供必要的分配脉冲;
- (4) 实现微机和干扰源(激光器、步进电机)的光电隔离。

该板共占用五个口地址, 分别由地址总线通过驱动器和译码器给出。

场、行振镜的偏转量是微机把对应的数据通过数据总线驱动器分别送锁存器 3 和 4, 经 DA3 和 DA4 放大并送场、行振镜驱动器。其振器(最大摆幅)是由锁存器 2 的数据量来决定, 该量经 DA2 转换成模拟量, 控制 DA3 和 DA4 的电流源电压, 从而控制 D/A 转换的比值。该数据只在一幅图像的雕刻的开始发送, 并保持不变。

值得提出的是: 行、场振镜要求正负对称双极性信号, 而 D/A 转换器的输出是单极性的, 所以 D/A 给出一个 80H 对应的模拟量, 和有关量进行差分放大, 以保证行、场振镜是在零点

对称偏摆。当行、场偏转数字量是 80H 时，振镜处在零点（中心）。

步进机工作在三相六拍，其相电流取决于锁存器 1 中的三个数据位的逻辑电平。它不允许三相全 1 状态，而刚开机时，锁存器 1 的逻辑状态是随机的，所以这里有全 1 保护电路，以保证步进机的安全、正常运行。步进机是感性负载，又工作在脉冲大电流状态下，为防止感应串扰，这里通过光电隔离器和步进机驱动器隔离，以保证微机的正常运行。

激光调 Q 脉冲，是口地址译码的选址有效信号直接给出。该信号的脉宽很窄，一般都小于 $1\mu\text{s}$ ，光耦响应跟不上，也不中足以发调 Q 开关，所以，电路中将该信号经单稳整形展宽到 $35\mu\text{s}$ ，而又不降低调 Q 开关的额定重复频率 ($<10\text{k}$)。大功率脉冲激光器是个很强的干扰源，这里也必须采用光电隔离技术。

2.4 振镜伺服驱动器

动圈式振镜扫描器是一种检流计式偏转器。振镜附有角位置传感器，闭环伺服后，可达到较高的位置偏角的控制精度，可用于高精度伺服扫描工作。我们采用上海激光所的振镜，其伺服驱动器也有配套出售。该驱动器装成箱体，内有电源、锯齿波发生器、恒温加热器和驱动控制器，面板有诸多控制旋钮，对于我们的系统来说有些多余。因为我们的锯齿波来自微机，在 2 分钟之内，温度也不会发生显著变化，温漂的影响也是次要的，因此我们对系统进行了必要的简化设计，制成单板，性能如下：

- (1) 输入电压 $\leq \pm 10\text{V}$ （峰值）；
- (2) 输入阻抗： $50\text{k}\Omega$ ；
- (3) 功放输出驱动电流 $\leq 700\text{mA}$ 。

2.5 步进机驱动器

步进电动机是将脉冲信号变成角位移的元件。它控制性能良好，能在一定频率范围内快速启动、正转、反转和停止，且能在较宽范围内通过改变脉冲频率来调速。另外，步进电机的步数只与脉冲数有关，不受电压波动和负载变化的影响。这是其它执行元件很难做到的。正因为如此，它只需要开环控制便可以实现高精度的角度和转速控制，简化了系统，降低了成本。

在激光雕刻系统中，对圆柱工件雕刻时，我们改变了行场振镜在平面扫描时的工作方式，让行镜不动（0 位），让场镜作列向扫描，每扫完一列，步进一步。这就将步进速度降低到大约 2 步/秒，而且步进机只需转 256 步即可完成雕刻任务。加之转台的转动量不大，又经过 3 : 1 的减速，这就使得驱动电源的电压可选得较低，限流电阻选得较小，本系统的电机选用 45BF003（额定相电流 2.5A，电压 27V），我们限额到电压 12V， $R_L=10\Omega$ ，驱动电流 1.2A。

3 实时图像激光雕刻微机控制软件

实时图像微机控制的软件，是以硬件为基础、协调硬件各部分，实现微机控制，并完成一些硬件不便完成的功能。分为以下几个方面：

- (1) 图像的获取及处理；
- (2) 雕刻参数的设置（包括平面雕刻的振幅设置、取窗设置、图像大小设置和柱面雕刻的工件半径设置、取窗设置、图像大小设置）；
- (3) 图像的硬拷贝功能，可在圆柱形工件或平面工件上雕刻图像，也可打印机输出图

像;

- (4) 纪念标的汉字输入、转换及雕刻;
- (5) 硬件所需的各种控制信号的协调给出。

在该软件的设计上,具有以下几个特点:

- (1) 采用 DOS 下的汉字菜单,既提高了软件效率,又使操作者使用简单方便;
- (2) 采用 Boland C++ 与汇编语言混合编程。充分发挥高级语言的使用方便、图形丰富、界面友好,汇编语言在硬件上的接口、控制的高效性。使程序结构合理,提高了程序的效率和速度;
- (3) 采用固定的数据地址,特殊的内存控制,使数据的传输、访问、处理方便迅速。

3.1 软件设计

实时激光雕刻微机控制是微机通过软件控制并协调硬件各部分,硬件执行相应的动作,来完成激光雕刻工作的。微机提供的信号有两种,一种为数据信号,另一种为地址信号。

地址信号译码后,选通相应的口地址,相应部分接收数据总线上的数据,该数据有两种:一种为控制数据亦即对硬件的控制信号,一种为图像数据和纪念标数据。

要求软件提供的控制信号有:

- (1) 图像存/取信号(控制读/写图像板中的图像存储区的数据);
- (2) 幅度控制信号(控制雕刻的画幅);
- (3) 步进机步进信号(控制步进机的启停、正转、反转等,实向周向的转动);
- (4) 行镜偏转信号(该数字信号转化为模拟信号后,控制行镜的偏转角度,完成水平方向移动);
- (5) 镜偏转信号(该数字信号转化为模拟信号后,控制场镜的偏转角度,完成垂直方向移动);
- (6) 调 Q 脉冲信号(触发单稳振荡电路,产生激光调 Q 脉冲)。

3.2 平面调刻程序分析

在平面雕刻中,输出脉冲控制激光器发出激光束,用行振镜偏转来反射激光束实现水平方向移动。用场振镜偏转来反射激光束实现垂直方向移动,从而雕刻出一幅图像或纪念标。此时的纪念标是以点阵图形存储的,雕刻图像和或纪念标,在原理上相同只是数据区和雕刻位置不同。

当开始平面雕刻一幅图像时,首先设置参数,分别为幅度、行场的初始及结束位置。当设置完成后,根据幅度值经 D/A 转换后做为其它 D/A 转换的参考电压,该值在一幅图像雕刻期间,保持恒定,做为幅度控制。

计算机向 170H 口地址发送行初始位置数据,同样经差分放大后控制场振镜偏转。该电压值在雕刻一个像元时保持不变。

取像元的灰度值的高 4 位即 16 灰度级,作为激光在某一位置的打点数即雕刻灰度。灰度越深,打点越多。打两点之间时间间隔 0.15ms。通过 175H 口输出脉冲信号,控制激光器产生激光脉冲打点雕刻一像元后,计算机发送场位置信号,雕刻下一像元直到正向列雕刻结束。发送行位置信号,行镜偏转。为避免场振镜又空转回初始位置,同时为了精度,我们采用反向雕刻列,即场振镜从终点到始点的反向偏转,同样雕刻像元。直到一幅指定大小的图像雕刻完成。

3.3 柱面雕刻程序分析

在柱面雕刻过程中, 输出脉冲控制激光器发出激光束, 用步进机步进使工件台转动实现周向转动, 用场镜偏转来反射激光束实现轴向移动, 从而在柱面上雕刻出一幅图像或纪念标。

完成参数设置和参数传递后, 计算机向 170H 口发送数据, 使行振镜位于中心点, 始终静止, 只用作反射激光束, 向 174H 口发送步进机初始位置数据, 步进到指定位置, 向 171H 口发送场初始位置数据, 场镜偏转到指定位置, 向 175H 口发送表示该点的调 Q 脉冲启动信号, 控制调 Q 开关, 产生一系列脉冲激光束, 雕刻一象元。场镜偏转, 继续雕刻, 直到一正向列结束, 步进机步进, 带动工件台转动; 场振镜从终点向始点偏转来反向雕刻一列。如此循环, 直到一幅图像雕刻结束。

同样, 可以在柱面工件上雕刻出以点阵图形存储的纪念标文字。

4 实验结果

4.1 工作进展

- (1) 完成了图像卡、驱控卡、振镜伺服驱动板和步进机驱动器的硬件。
- (2) 完成了软件菜单、图像处理、平面和柱面工件的雕刻软件。
- (3) 电部分和软硬件部分进行了联机调试, 达到了预定的功能。

4.2 联调和测试方法

因机械和光学部分尚未到位, 仅对电系统部分进行了联调。

图像卡插入 286-AT 机的 PC 总线槽, 通过台面插口接上 CCD 摄像机和监视器, 将驱控卡插入 PC 总线槽, 通过介面插口接步进机驱动器, 并联上步进机, 用示波器 (COS6100A) 测试该口给出的 H 镜、V 镜和调 Q 驱动信号, 振镜伺服驱动板和振镜相闭环输入端接入信号源, 三角波驱动, 脱机调示。

4.3 实验结果

- (1) 图像卡的图像采集功能正常, 定格图像清晰, 可用打印机拷贝图像:
图像规格: $256 \times 256 \times 6\text{bit}$,
图像获取时间: 20ms (一场),
帧存储器和微机数据传输时间: 5 秒;
- (2) 运行图像雕刻程序, 调 Q 开关有既定的脉冲串输出:
重复频率: 7.5k,
脉 宽: $35\mu\text{s}$,
每串个数: 最多 15 个, TTL 电平;
- (3) 运行平面雕刻程序, 行场镜端有既定的三角波阶跃电压输出:
行镜三角波电压的周期: 400~500ms (单程),
重复次数: 256 次,
幅度: $\leq \pm 8\text{V}$ 对称 (随人机对话设置幅度参数而异);
- (4) 运行柱面雕刻程序, 和示波器视察的场镜三角波电压同步, 步进机作既定的步进:
步进频度: 约 2 步/秒,

步 数: 256 步;

- (5) 运行程序, 完成雕刻时间约 100 秒 (依图像而异);
- (6) 主、子菜单对话功能正常、程序连接无误,
- (7) 汉字、西文纪念标输入正确、雕刻信号输出正确;
- (8) 振镜伺服系统, 振镜随信号源驱动电压作相应摆动。

本实验只进行了微机控制部分软、硬件的功能调试, 说明软硬件的设计是合理的, 功能是正常的, 待整机联调, 获得雕刻图像数据, 再作详尽的系统分析和软硬件的精密调整。

5 讨 论

5.1 硬件讨论

在实时图像激光雕刻微机控制的硬件方案中, 雕刻扫描的执行元件采用了振镜。如前所述, 作为闭环控制系统在动态扫描中存在速度和加速度误差, 变速扫描带来象元的位置误差。而步进机的转角只和脉冲数有关, 只要不失步就不存在这些缺点。它采用开环控制, 从驱动系统到执行元件其价格远低于振镜伺服系统, 这就使我们想到可否用步进机扫描代替振镜扫描。

此时, 步进机的负载只是一反射镜片, 可以认为是空载, 只要步进机的空载启动频率在 500~1k, 它的步进阶跃上升时间就和振镜阶跃上升时间等价, 因空载启动频率高的步进机, 在变速驱动下其打标时间和像元位置精度优于扫描振镜。目前空载启动频率在 2kHz~3kHz 以上的步进机并不罕见, 而且体积足以做得很小, 便如 36BF003 最高空载启动频率 3.1kHz; 45BF003 最高空载启动频率为 3.7kHz, 运行频率都在 10KHz 以上。

当然, 用步进机取代振镜还要考虑由此所需解决的新问题, 但作为新方案有提供讨论的价值。

5.2 软件讨论

在软件设计中, 系统的延时采用的是软件延时。这给软件的通用性带来影响。当两台微机的主频相差很大时, 延时时间会变化很大, 解决方法有两种:

(1) 在硬件设计中, 采用时钟。把该时钟信号送回到微机中, 做为中断信号, 程序等待该信号, 实现延时;

(2) 采用微机提供的系统时间。微机提供标准的时间信号, 但此信号最高为每秒 18.2 次, 即 55 毫秒。这不足以做为延时信号 (要求为 0.15 毫秒)。因此, 应对微机的系统时钟重新编程。

这两种方法都可解决系统的延时问题, 方法 1 需做硬件的改动, 需要另外的时钟, 故该方法虽解决问题, 但在硬件上是一种浪费。方法 2 利用微机资源, 在硬件上无需做变动, 但是需要对系统时间编程。一方面应保证微机的系统时间中断信号 (每秒 18.2 个滴), 否则会使微机系统混乱, 另一方面应保证提供正解的时间信号, 保证延时, 这在理论上是可以实现的。

Microcomputer Control of Real-Time Image's Laser Engraving

Zheng Wanbo

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Chinese Academy of Sciences,*
Changchun130021)

Abstract

This thesis describes the microcomputer control of real-time image's laser engraving. Hardware and software's design to drive and control video frame capture, laser Q-switch, vibration mirror and step-by-step motor is provided. The factors to affect engraving accuracy are analysed in preliminary. In this system, image and label can be engraved timely and flexibility on various workpiece.

Key Words: Laser engraving, Microcomputer control, Real-time Image, Image process