

分类号 TP273

学校代码 10495

U D C 621.39

密 级

武汉纺织大学

硕士学位论文

激光打标机控制系统研究

作者姓名:	杨 杰
学 号:	1115123005
指导教师:	吴瑜 李宇
学科门类:	工学
专 业:	物理电子学
研究方向:	嵌入式应用与智能识别
完成日期:	二零一四年六月

Wuhan Textile University

M. E. Dissertation

Laser marking machine control system

Candidate: YANG Jie

Supervisor: Prof. WU Yu LI Yu

Time: June 2014

独创性声明

本人郑重声明：所呈交的学位论文，是本人在导师的指导下，独立进行研究工作所取得的成果。除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含任何其他个人或集体已经发表或撰写过的作品成果。对本文的研究作出重要贡献的个人和集体，均已在文中以明确方式标明。本声明的法律结果由本人承担。

学位论文作者签名：杨奎 签字日期：2014年5月28日

学位论文版权使用授权书

本学位论文作者完全了解 武汉纺织大学 有关保留、使用学位论文的规定。特授权 武汉纺织大学 可以将学位论文的全部或部分内容编入有关数据库进行检索，并采用影印、缩印或扫描等复制手段保存、汇编以供查阅和借阅。同意学校向国家有关部门或机构送交论文的复印件和磁盘。（保密的学位论文在解密后适用本授权说明）

学位论文作者签名：杨奎
签字日期：2014年5月28日

导师签名：
签字日期：2014年5月28日

摘 要

随着激光加工技术与计算机控制技术的不断发展与创新,激光打标技术正在逐步的取代传统的标记方法,激光加工具有非接触、对环境不造成任何污染、对加工材料无磨损等独特的特点,在军事、通讯、工业加工、医疗卫生、文化教育以及航空等方面已经取得了非常广泛的应用与推广。

本课题是针对振镜式激光打标机控制系统功能需求的基础上进行研究,控制系统使用了主控板和扩展卡组合的控制模式,采用了基于 ARM+FPGA 控制系统的运动控制设计方案,本课题研究的主要内容有以下几个方面:

(1) 介绍了激光打标技术的发展现状及其应用,激光打标机控制系统的基本工作原理和 workflows,并提出了控制系统所满足的性能以及功能需求。

(2) 对激光打标机控制系统的设计,主要包括:对控制系统的整体架构的设计以及控制系统的硬件电路的设计。

(3) 对激光打标机控制系统的软件设计,首先,对 Q 调制频率与激光功率、打标的速度等进行了分析,然后详细分析了设置延迟时间和矢量打标插补算法两种方法来提高控制系统的精度。最后对打标内容编辑的处理做了详细的介绍。

(4) 为了更好解决人机交互的方式,选用了 Qt 应用程序设计界面,操作系统选用了 Linux,进行控制系统主菜单的设计和系统参数界面的设计,能够有效的提高激光打标机控制系统的可操作性。

(5) 通过一些简单的打标测试,激光打标机控制系统基本到达打标的要求。

关键词: ARM; FPGA; 激光打标; 控制系统; 矢量打标; 扫描振镜系统

研究类型: 应用研究

Abstract

With the continuous development and innovation of laser processing technology and computer control technology, laser marking technology is gradually replacing the traditional labeling methods, laser processing with a non-contact, does not cause any pollution to the environment, no wear on the processing of materials and other unique features in the military, communications, industrial processing, health care, education and other aspects of aviation has made a very wide range of applications and promotion.

This topic standard machine control system is the basis of the functional requirements for the galvanometer laser research, control systems use a combination of the control board and the expansion card control mode, using ARM + FPGA based motion control system for control design, the main content of this research in the following areas:

(1) Introduced the laser marking technology development status and its applications, laser marking machine control system's basic working principle and workflow, and proposed control system to meet the performance and functional requirements.

(2) Laser marking machine control system design, including: the overall architecture of the hardware circuit design of the control system and the control system design.

(3) Laser marking machine control system software design, first of all, on the Q modulation frequency and laser power, marking speed were analyzed, and detailed analysis of the set delay time interpolation algorithm and vector marking two ways to improve the control accuracy of the system. Finally, edit the marking content processing done in detail.

(4) In order to solve human-computer interaction, the choice of the Qt application programming interface, the operating system selected Linux, the main menu of the control system design and system parameters interface design, can effectively improve the laser marking machine control system can be operability.

(5) Through some simple test marking, laser marking machine control system basically arrive marking requirements.

Key word: ARM; FPGA; Laser Marking; Control Systems; Scanning galvanometer system

Thesis: Applied Research

目录

1 绪论.....	1
1.1 本文的研究背景及其意义.....	1
1.2 激光打标技术的发展历程及其应用.....	2
1.2.1 国内外激光打标的发展历程.....	2
1.2.2 我国激光打标的研究现状.....	3
1.3 激光打标机的分类.....	5
1.4 研究的目的是和意义.....	6
1.5 论文的研究主要内容.....	6
1.6 论文的结构安排.....	7
2 激光打标机控制系统的工作原理.....	8
2.1 激光打标机的结构.....	8
2.2 激光打标机的工作原理.....	9
2.2.1 激光机打标机的基本原理.....	9
2.2.2 激光打标机的工作流程.....	9
2.3 振镜式激光打标机控制系统的工作原理.....	10
2.3.1 控制系统的工作原理.....	10
2.3.2 激光打标机控制系统的功能要求.....	11
2.3.3 振镜扫描式激光打标系统的工作原理.....	11
2.4 本章小结.....	14
3 激光打标机控制系统的设计.....	15
3.1 系统整体架构.....	15
3.1.1 激光打标机的基本控制方式.....	15
3.1.2 系统组成.....	17
3.2 控制系统的设计方案.....	18
3.3 运动控制的概述.....	20
3.4 控制系统的硬件设计.....	21
3.4.1 控制系统的总体结构.....	21
3.4.2 ARM 处理器介绍.....	22
3.4.3 电源模块设计.....	23
3.4.4 复位电路.....	24
3.4.5 液晶显示电路.....	25

3.4.6 JTAG/SWD 仿真调试.....	26
3.5 抗干扰技术介绍.....	27
3.5.1 干扰的耦合方式.....	28
3.5.2 干扰后果.....	28
3.5.3 抗干扰措施介绍.....	28
3.6 本章小结.....	28
4 控制系统软件的设计.....	29
4.1 系统分析.....	29
4.1.1 Q 调制频率与激光功率.....	29
4.1.2 打标速度分析.....	29
4.1.3 激光头和振镜控制.....	33
4.2 提高控制精度的方法.....	33
4.2.1 设置延迟时间.....	33
4.2.2 矢量打标的插补算法.....	34
4.3 打标内容的编辑处理.....	35
4.3.1 问题提出.....	35
4.3.2 文字字符的处理.....	35
4.3.3 图像的编辑处理.....	36
4.4 本章小结.....	38
5 用户界面设计.....	39
5.1 问题的提出.....	39
5.2 用户界面 Qt 应用程序控制系统中的架构.....	39
5.3 控制系统的界面设计.....	40
5.3.1 控制系统的界面布局.....	40
5.3.2 激光打标的操作流程.....	42
5.3.3 系统参数的界面设计.....	44
5.4 本章小结.....	46
6 实验结果与分析.....	47
6.1 激光打标控制系统打标实验.....	47
6.2 文字处理的实验结果.....	48
6.3 本章小结.....	49
7 结论与展望.....	50
7.1 全文总结.....	50

7.2 研究展望.....	51
参考文献.....	52
附录.....	56
致谢.....	57

1 绪论

1.1 本文的研究背景及其意义

随着科学技术和激光加工技术日新月异的发展步伐,激光加工技术已经在人们的生活中许多方面得到了相当广泛的应用^[1,2]。激光产业作为一项国家级重点工程在全球范围内得到了广泛推广与应用,整个激光产业虽然比其他先进的国家起步较晚,在技术方面上,目前,还没有到达世界尖端水平,但是中国的整个激光产业发展规模在不断的壮大起来,在国内激光加工领域中,占有市场的主导地位。随着激光加工的市场规模不断发展,激光产业不断的升级和优化,让我们看到激光产业在中国的发展前景只会越来越好。由此可以看出,在未来的近年里,都是激光加工产业发展的黄金发展阶段。激光打标控制系统是综合了激光技术和计算机控制技术以及光电一体化系统构成,以其具有的独特优势正在取代传统的打标方法,如:印刷、冲压、化学腐蚀等等方法。激光打标能够在各种机械零部件、电子元器件、集成电路模块、仪器、仪表、电机铭牌甚至食品包装等物体表面上,标记出汉字、数字、图形、图案、标点符号等等,特别适合于对金属材料的打标,字符大小可以在毫米和微米量级范围内调整。目前,已经在各种机械零部件、电子元器件、集成电路模块、珠宝、智能手机、键盘按键、食品包装等产品得到相当广泛的应用与推广,这对产品的防伪技术有着非常重要的特殊意义。

激光打标技术是一种现代的精密加工技术,与传统的加工技术相比较,具有的优势如下:

(1)利用了激光作为加工设备,具有无接触、无切削力、热影响小的特点,保证了工件原有的特性。这种对材料的加工应用的比较广泛,还能够在材料的表面标识非常精细,并且具有非常强的耐久性。

(2)激光对空间和时间的控制相当比较好,对于加工材料的质材、形状、尺寸以及加工环境的自由度控制相对也比较大。因此,在自动化加工和特殊面加工领域中特别适用,由于加工方式比较灵活,在生产加工中,能够满足用户进行大批量的加工生产的需求。

(3)激光加工技术和计算机控制技术相结合能够组合成高效自动化加工设备,能够标识各种文字、图案以及符号,比较容易的利用软件设计出各种各样标识图样,还可以更改标识的内容,不断的提高现代化加工生产的效率。

(4)激光加工技术对环境不造成任何的污染,是一种高环保无污染的激光加工技术。在食品包装中,能够有效保障食品包装上安全环保。在激光加工应用领域中,激光打标技术已经非常广泛的在工业、农业、信息处理、医疗卫生、通信、材料加工、能源、土

木、文化教育以及科研等方面得到广泛的应用与推广。来代替传统的标识方法，传统的标识方法已经不能够满足用户对产品环境以及美观上的需求，因此，激光打标技术具有非常巨大的市场发展空间，发展前景随着科学技术的发展会越来越好。

1.2 激光打标技术的发展历程及其应用

1.2.1 国内外激光打标的发展历程

在二十世纪发明技术中，激光加工技术、半导体、原子能、计算机控制技术被称为现代的四大发明技术。由于激光器的发光原理与普通光源有所不同，激光器具有很好的方向性、高亮度、单色性以及相干性等非常突出的优异特点，这些优异的特性，已经非常广泛的应用于现代科学技术以及航空领域等方面发挥了极其独特的作用，而普通光源只能向四面八方发射光芒，如果想要发射的光照朝一个方向传播，必须在光源上装上一个聚光的设备。因此，激光加工技术的发展规模会越来越壮大。激光加工技术主要的应用有：激光焊接、激光切割、激光打标、激光雕刻等方面的应用^[5]。

激光产业从全球应用范围来看，激光加工技术占有市场的主导地位，约占市场的35.2%，通信行业仅次于激光加工技术，约占市场的30.6%，紧接着就是数据存储行业约占市场的12.6%。与传统的材料加工技术相比较，激光加工技术具有不对环境造成任何污染，浪费的材料相对比较少、对加工材料具有非常强的适应性能力等优势，而传统的材料加工既浪费材料而且还会对环境造成一定的污染^[6]。

在欧洲，对高档汽车的车壳、飞机机翼以及航空器材的特种材料的焊接，基本使用的是激光技术，目前，在国外，激光在线打标是最新发展起来的一种打标方式，有效的提高打标的速度和效率。在不影响生产线安全运行的情况下，动态的监控生产线传输带的运行状况，还能够对因传输带运转过程中而引起的工件移位进行及时的补偿调整位置。安全可靠的完成工件加工的目的。

大约在二十世纪九十年代，我国的激光打标技术在开始发展起来，在激光加工领域中，自动化控制技术，能够满足激光打标进行高速度和高精度的需求，取得了跨越式的发展历程。从1995开始，我国的激光打标技术大致经历了大幅面时代、转镜时代和振镜时代三个阶段的发展。

从激光打标控制系统的发展状况来看，控制系统大致经历了软件直接控制、上下位机结合的控制模式、实时处理在线打标、离线打标等几个阶段的发展，在应用方面取得了非常好的效果。近年来，应用非常广泛的激光器有：光纤激光器、二氧化激光器、紫外激光器、半导体激光器等等。对于激光器在光学控制过程来说，面临一个全新的挑战，激光技术不断向前迈进^[4]。

1.2.2 我国激光打标的研究现状

近年来,国内激光打标的工作方式主要有三种:掩模式打标、阵列式打标和振镜扫描式打标^[7]。

(1) 掩模式打标

掩模式打标又可以称为投影式打标,掩模式打标系统主要有激光器、掩模板与成像镜构成,其工作原理在一块板上将待打的数字、条码、字符、图案雕空做成掩模板,通过望远镜将激光扩束,放在事先准备好的掩模板上均匀的投影,光从雕空的部分透射,通过透镜将掩模板上图形成像到加工材料上。通常情况下,每个脉冲可以形成一个标识。受激光辐射的材料表面迅速加热化以及产生化学反应,发生颜色变化标记清晰可见。一般情况下,掩模块的使用的激光器是二氧化碳激光器和 Nd:YAG 激光器。掩模式打标比较独特的特点是一个激光脉冲可以一次性完整打出一个标记,可以包括几种符号不同的标记,而且打标的效率比其他方式高。可以进行大批量的加工生产,在生产线上直接可以进行打标。主要的缺点是打标的灵活性比较差,能量的利用率比较低,其工作原理是经过透镜成像到物体上将掩模板上的图形,受辐射的材料表面气化打标。如图 1.1 所示。

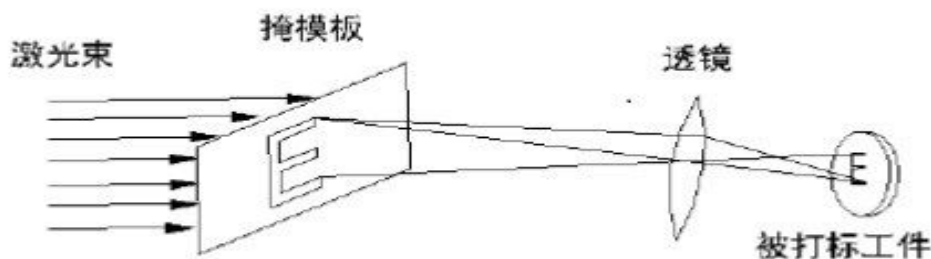


图 1.1 掩模式打标

Fig.1.1 Marking cover model

(2) 阵列式打标

阵列式打标系统主要是采用几台小型激光器同时发送脉冲信号,通过反射镜和聚焦透镜,使用激光脉冲在被打标的材料表面上融化出大小以及深度均匀的小凹坑,每个字符、图案都是由这些小凹坑组成的,一般情况下,横笔划 5 个点,竖笔划 7 个点,这样就形成了 5×7 的阵列。阵列式打标一般使用小功率的二氧化碳激光器,打标的速度可以达到 6000 字符/秒,是高速在线打标的最理想选择方式,主要的缺点是只能进行标记点阵字符,而且只能达到 5×7 的分辨率,对于文字来说就无法识别以及无法实现打标的功能。因此在国内打标市场使用的并不很广泛。如图 1.2 所示。

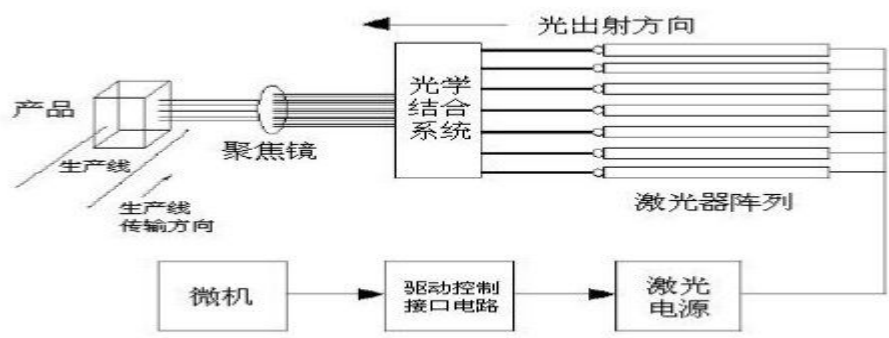


图 1.2 振列式打标原理图

Fig.1.2 Vibration column marking schematics

(3) 振镜扫描式打标

振镜扫描系统主要是由光学扫描器和伺服控制器构成。整个扫描系统采用了新技术、新材料、新工艺等制造而成。

光学扫描器采用了动磁式和动圈式的工作方式，扫描的角度大、工作效率高、稳定可靠等优点。这样可以大大提高使用的寿命和长时间的工作提供保障。任意位置零功率这样可以降低使用的功率，又减少了工件的发热效应，先进的高稳定性精密检测传感器技术提供了高线程度、高分辨率、高重复性以及低位移的性能。

光学扫描仪可以分为 X 和 Y 方向的扫描系统，每个伺服电机轴固定在激光反射镜片上，每个伺服电机通过计算机发出控制信号来控制扫描的轨迹。振镜的扫描系统原理如图 1.3 所示。

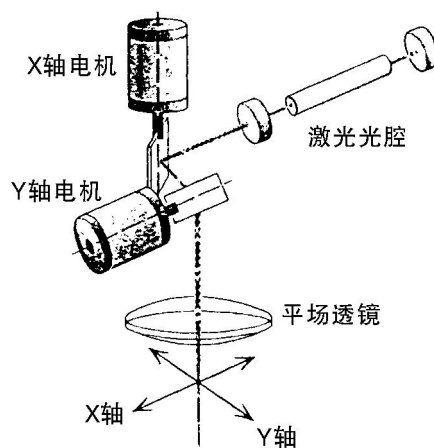


图 1.3 振镜扫描系统原理图

Fig.1.3 Galvanometer scanning system schematic

1.3 激光打标机的分类

激光打标机一般可以从激光器和扫描方式来划分

(1) 按照激光器的工作方式来分

按照激光器的工作方式来分可分为脉冲型和连续型两种。掩模式激光打标机就是脉冲型的一种，这种打标方式的特性是打标的速度比较快，标记的工件多，而且效率也比较高，主要的缺点是标识的内容相当单一、需要重新做模板，标识内容不清晰，深度不够等等。在电子行业应用的比较广泛。

连续型在激光加工领域应用的非常广泛，主要的特点是标识的内容多样化、更改方便、标识内容非常清晰。其缺点是速度相对来说比较慢。

(2) 按照激光器的种类分

按照激光器的种类来分一般可以分为气体和固体两种。固体主要是 YAG，气体主要是二氧化碳为主，固体一般在金属标记应用比较广泛，还能够对部分非金属进行加工。则气体打标在非金属加工对象应用的比较广泛，包括木材、皮革等。

(3) 按照激光器的波长来划分

按照激光器的波长来划分一般可以分为红外光、可见光、紫外光等。波长分别为 1064nm 的 YAG 和 10600nm 的二氧化碳打标机都属于红外的加工设备。在波长为 1064nm 的基础上通过倍频技术得到的波长为 532nm 的绿光属于可见光的范围内。在 532nm 和 1064nm 的波长采用倍频技术就能够产生 355nm 和 266nm 的紫外激光，主要适用于精细加工。

(4) 根据扫描的方式来分

根据扫描的方式来分可以分为光路静止和光路运动型两种方式。光路静止也就是通过工作台带动工件来进行扫描标记。这种工作方式标记的速度比较缓慢，当在工件体积相当庞大但重量较重时，除了某些不要求打标的速度以及打标切割的多功能设备中，已经逐步的退出了打标的市场。主要的优点是打标的点比较均匀，扫描方式打标出来的点与平面内各处是一致的。

光路运动型是近年来在打标市场上应用非常广泛的扫描方式，其主要的特点是打标速度快、方便灵活，又可以分为 X-Y 扫描方式和振镜扫描方式。通过 X-Y 轴的电机来带动导光系统在平面上运动。缺点是打标速度相当的缓慢，这样标记的深度比较深，标记范围相对比较大。振镜扫描方式速度比较快，特别适合于对工件要求相对比较高的场合。这种扫描方式和 F- θ 场镜组合使用，是目前打标市场应用相对广泛的激光打标设备，其缺点是幅面相对比较小，光路运动型有一个不利的缺点在平面内各点大小不一，可以通过光学系统来进行调整，离激光器近的地方打标比离激光器远点的点要大，这种扫描方式在标记范围的中心比边缘相对小。

1.4 研究的目的和意义

激光加工技术作为 20 世纪人类重大科技发明成果之一，它对人类的生活生产发挥了极其重要的作用。作为现代高科技研究成果，在人类生活生产中的许多方面得到广泛的应用，主要应用于工业加工、信息处理、医疗卫生、军事、文化教育以及航空等前沿领域等方面的发展。从常见的条形码扫描仪到光纤，与激光相关的产业的市场价值高达上万亿美元，近年来，在智能手机、平板电脑、3D 电视、触摸屏、LED 以及 TFTLCD 等产品的带动下，我国的激光加工设备的增长速度相对较快，远远高于世界激光加工设备年均增长水平。2008 年后，随着调整结构、拉动内需等措施的推动下，我国的激光在铁路机车、工程机械、新能源的行业应用范围越来越广泛。激光加工设备行业的发展有利的促进科学技术的发展和进步，推动传统工业改造升级，为加速现代化建设发挥了极其重要的作用。

近年来，激光打标机在激光加工领域中，占市场的主导地位，各种型号的激光打标机层出不穷，这样能够有效的提高激光打标的市场竞争力。在国际上，一些发达国家已经制定了激光加工技术的工艺标准。我国也非常重视这一高科技技术，国家科技部在政策上和资金等方面大力支持企业、高校研发激光加工技术上的发展。目前，激光打标技术在印刷领域应用比较广泛，主要用于塑料、金属、硅晶片等材料上的加工，与传统的机械雕刻、丝网印刷、油墨打印等方式相比，具有的优点有：成本相对较低、灵活性比较高、还可以与计算机进行控制，激光对工件表面的标记具有牢固的永久性等优异特性，主要的优势有：永久性、防伪性、非接触性、实用性相对广泛、运行成本相对较低，加工效率高，开发速度快和开发周期短的特点等。

1.5 论文的研究主要内容

目前，激光打标技术已经相当的成熟，各种类型的打标系统层次不穷，它以其独特的优点正在逐步的取代传统的打标方法。能够有效的提高激光打标的市场竞争力，有着重要的现实意义。本文主要的内容包括：

(1) 讲述激光打标机控制系统的整体设计包括：激光打标机基本的控制方式、基本工作原理以及工作流程，振镜扫描式激光打标系统的工作原理，并提出了控制系统所满足的性能以及功能需求。

(2) 讲述了控制系统的硬件设计，主要包括：电源模块设计、JTAG/SWD 仿真调试、复位电路、液晶显示电路设计。

(3) 在控制软件设计中，主要是为了减少打标过程中打标延迟、跳跃延迟、激光开/关延迟所引起的误差，为了解决这个问题来调整激光出光的时间和振镜驱动转动的

时间是相一致的。

(4) 通过 CorelDRAW 软件生成的 PLT、BMP 格式的文件基础上,对文字、图像等进一步的处理,来提高激光打标的速度和效率。

1.6 论文的结构安排

本文首先讨论了激光打标技术的发展历程及其应用、激光打标机的种类,然后介绍了激光打标机的结构、控制系统的基本方式以及硬件的设计的介绍。最后对控制系统的软件设计、打标内容编辑的处理以及实验结果与分析,论文分为七章,各章主要内容安排如下:

第一章,详细说明了激光打标技术以及国内外激光打标技术的发展状况与应用。简要的描述了目前国内激光打标三种工作方式:掩模式打标、阵列式打标以及激光打标机的分类。最后简要的描述了研究激光打标的目的和意义。

第二章,主要介绍了激光打标机控制系统工作原理,主要包括激光打标机的结构、振镜式激光打标机矢量打标的原理。

第三章,主要对激光打标机控制系统的设计,主要包括对控制系统的整体架构的设计以及主控制的硬件设计,最后对激光打标机控制系统抗干扰技术作了详细的介绍。

第四章,主要对激光打标机的控制系统软件设计做了详细的介绍,首先对 Q 调制频率与激光功率、打标速度分析等进行了分析,然后介绍了提高控制精度的两种方法:设置延迟时间和矢量打标的插补算法,最后对打标内容的编辑做了详细的说明。

第五章,用户界面设计,首先介绍了应用程序 Qt 在控制系统的架构,以及控制系统图形用户界面的设计,控制系统的图形用户界面的布局。最后对控制系统参数界面的设计。

第六章,实验结果与分析,做一些简单的打标测试。

第七章,总结与展望,对全文进行了综合性的总结,并对下一步研究和学习激光打标机控制系统提出了展望。

2 激光打标机控制系统的工作原理

2.1 激光打标机的结构

激光打标机的结构主要包括：控制系统、激光器、扫描振镜系统、电源系统、传送机构等组成，如图 2.1 所示。

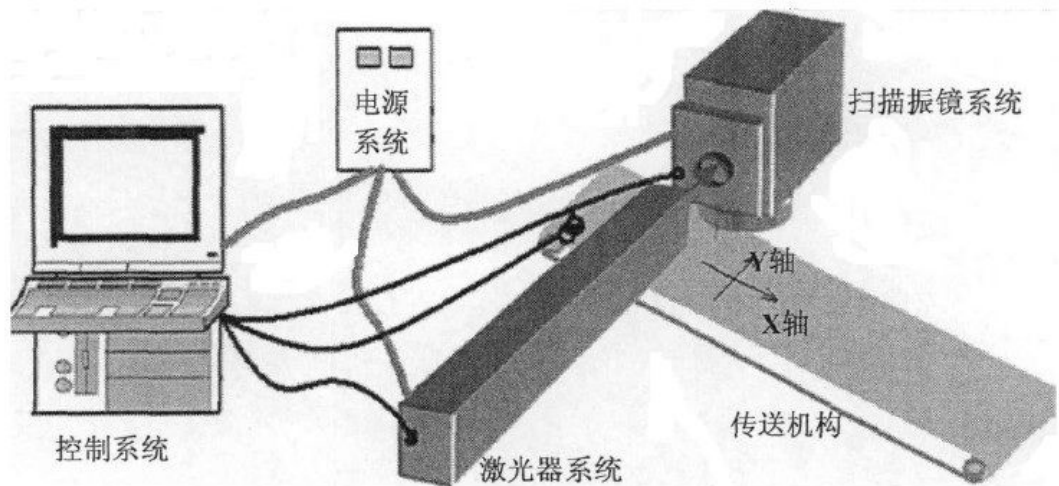


图 2.1 激光打标机的结构示意图

Fig.2.1 Structure schematic laser marking machine

激光打标机控制系统各个部分功能进行详细介绍如下：

控制系统：是激光打标机控制系统的核心部分，用来完成打标内容的编辑，并转换成控制信号传输到振镜系统、激光系统，最后还对外部设备的打标输入内容进行处理。

激光器系统：主要用来对激光的产生打标的高能量激光的需求，然后将激光传输到振镜扫描系统中。

扫描振镜系统：主要用于就快速精准地移动两个转动轴的反射镜，来改变激光束传输的轨迹，然后在工件的表面聚成光斑。那么这样就能够实现高速打标功能，扫描振镜系统还有高度精准和快速响应的特点。

电源系统：主要是为整个激光打标系统供应电源，主要包括：控制器、激光器、振镜扫描系统的提供电源。

传送机构：在飞行状态打标的时候，主要用来负责传送需要加工的工件通过测速装置来精确测量工件移动的实时速度，并且能够及时反馈给控制系统来补偿的调整。

2.2 激光打标机的工作原理

2.2.1 激光机打标机的基本原理

近年来，激光打标机的基本原理主要可以划分为了两种：热加工和冷加工。

“热加工”具有相对高能量密度的激光束，在需要加工工件的表面上照射，材料表面就可以吸收高能量的激光，在加工材料照射范围内引发了热激发的过程，从而加工材料表面的温度迅速上升，就引起了变态、熔融、蒸发等现象的发生。

“冷加工”具有相对高负荷能量的紫外光子，对于特别是有机材料来说，能够打断加工材料的化学键，这样会引起加工材料的表面发生非热过程的破坏，从而影响加工材料的整体结构。这种冷加工在激光加工技术中具有非常特殊的含义，因为它不是热烧蚀，所以不产生热损伤的副作用、打断化学键，对于需要加工材料的表面和附近区域不会产生热变形等反应。

2.2.2 激光打标机的工作流程

依据扫描式激光打标机的工作原理，按照客户的需要打标所以的图形，并将输入的打标内容转换为扫描控制的数据，利用光学原理进行来控制扫描位置的控制信号，并把激光能量的强度加以控制。对加工材料进行加工处理。在整个打标控制系统过程中，主要用来负责控制激光光路和激光能量的强度，激光处理打标处理的流程如图 2.2 所示。

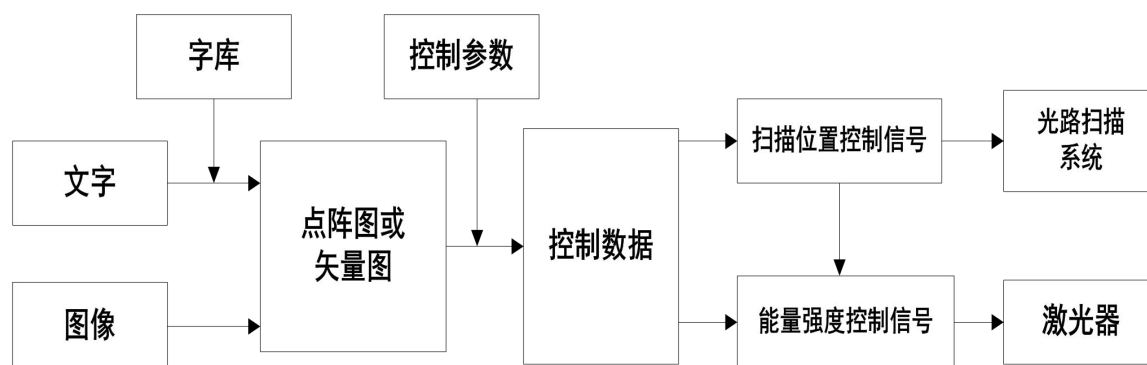


图 2.2 激光打标处理流程图

Fig.2.2 Laser marking process flowchart

2.3 振镜式激光打标机控制系统的工作原理

2.3.1 控制系统的工作原理

激光打标技术是激光加工领域中，应用相对比较广泛的一种加工技术，激光打标技术是通过高能量密度的激光对加工材料进行局部的照射，引起加工材料表面气化或者发生颜色的化学变化，激光打标加工材料对环境不造成污染。标记痕迹具有永久的牢固性不可更改，在人类生活生产中应用非常广泛，如第一章所介绍的掩模式、阵列式、扫描式三种打标方式，目前，在激光打标市场中，振镜扫描式占有的主导地位，具有打标速度快、能够适应矢量打标和阵列打标方式多样化的特点，还能适应静态打标以及飞行打标等多种模式的打标方式，因此，在激光加工领域应用的非常广泛。本设计采用的是基于振镜扫描的工作方式。本设计选用的激光器是二氧化碳激光器，适用于非金属材料表面的标记。其激光打标机控制系统原理图如图2.3所示。

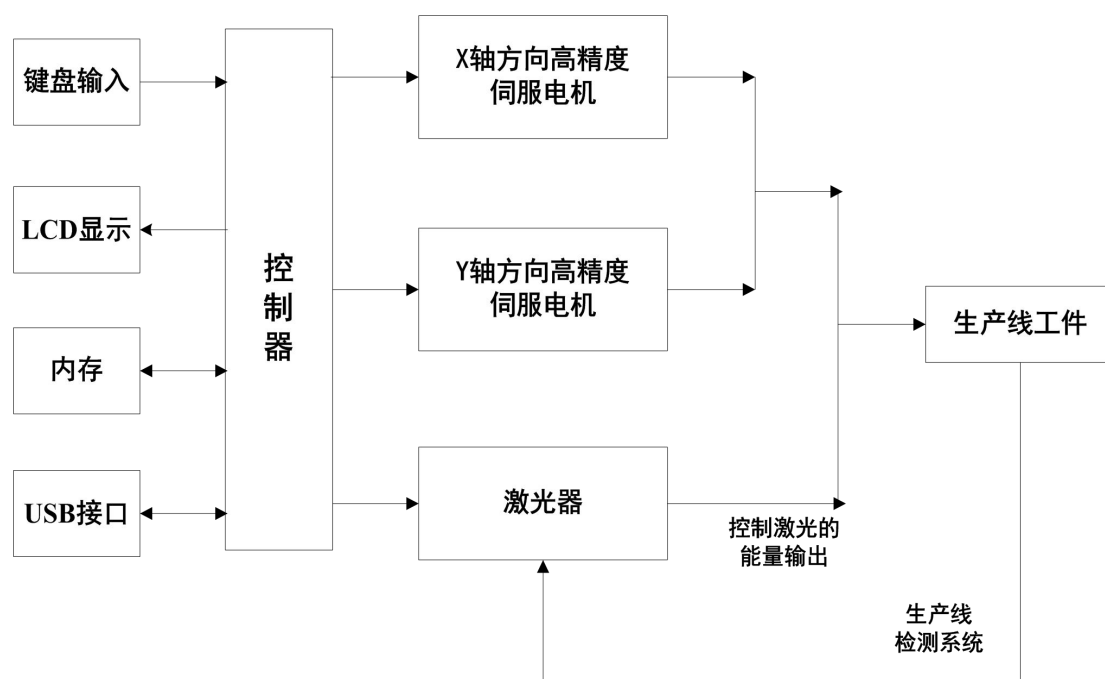


图 2.3 激光打标控制系统的工作原理图

Fig.2.3 Laser marking control system works diagram

在静态打标的时候，能够通过键盘输入需要打标的内容后，通过控制器处理打标数据后，再进行控制激光器的能量的输出，然后经过 X 轴与 Y 轴伺服电机来驱动 X、Y 轴方向的振镜扫描仪，再将激光器输出的激光束通过聚焦镜聚集到加工材料的表面上，当

振镜的偏转度不同时，在加工材料表面就能够形成所需要的编辑的内容。

在线打标状态下时，需要装上生产线检测系统装置，当探头到达了加工材料指定位置的时候，就可以发出对加工材料进行打标的指令，开始启动打标，在打标的过程中，就能够实现打标的速度或者对位置进行补偿，这样就可以实现在线状态的打标功能。

2.3.2 激光打标机控制系统的功能要求

根据现有的激光打标市场的发展状况以及目前控制系统的发展趋势，从以前的单片机控制系统到现在嵌入式控制系统，为了更好的适应未来激光打标的市场的

(1) 移动式控制终端要求体积小、低成本，方便用户操作，简单易懂。

(2) 进行操作系统的时候能够给提供必要的信息提示。

(3) 人机交互界面友好，图形显示清晰直观，并且控制系统需要提供 LCD 显示和键盘方便用户进行编辑打标内容对系统的控制，提供控制系统的运行状态。

(4) 状态报警：系统能够及时检查激光打标机的运行状态，当打标机发生故障时系统可以自动进入故障保护状态。

(5) 文件的存储管理功能：能够将用户编辑的内容进行存储还可以对内容文件进行管理并保存，方便用户查看和记录。

(6) 外部存储设备接口：在控制系统上使用移动的存储设备：如：U 盘、移动硬盘、SD 卡等外存储设备，主要用于完成数据与外部存储数据的设备之间的数据传递。

(7) 自动运行功能：能够在生产线上实现自动运转，触发加工材料就可以实现打标的功能，还能够对打标的内容进行及时动态的调整。如产品的生产日期等等。

(8) 静态的打标功能：是最基本的打标控制功能，如字母、二维条码、汉字、图案、商品的生产日期等。

(9) 参数设置功能：包括设置控制激光的能量以及打标落笔的步长、抬笔步长和停留的时间。

(10) 信息编辑功能：用户可以很方便的进行英文字符、符号和汉字信息的编辑并产生简单的图形。

2.3.3 振镜扫描式激光打标系统的工作原理

一般情况下，振镜式激光打标机控制系统分为两种打标方式：点阵打标和矢量打标。点阵打标是以点阵图形的方式的进行打标，由每个散布的阵点组成。但矢量打标是通过矢量的形式进行打标，通常情况打标的图形都是由若干条直线构成，对打标具有很明显的效果。振镜扫描式激光打标激光头主要由 X-Y 扫描镜、平面场镜、振镜以及计算机控制系统的打标软件等部分组成，将激光束入射到两扫描镜上，然后通过计算机对反射镜的反射角度加以控制，这两个扫描镜分别沿着 X-Y 轴进行扫描，这样激光束的就可以发

生偏转,具有高能量功率密度的激光聚集点按照所需的要求运动来完成对加工工件的打标功能,那么这样就可以在加工材料表面留下永久牢固的标记。聚集的光斑可以是圆形也可以是矩形的^[10]。

在振镜扫描系统中,能够使用矢量图形以及文字字符,这种打标方式一般通过计算机图形软件对图形进行加工处理的方式,这样的作图效率相当的高、图形的精准性好、无失真等特点,能够极大的提高打标的速度和效率,另外,振镜式打标还可以使用点阵式的打标方式,这种打标方式非常适合于在线打标的状态下,依据生产线不同的打标速度时,能够使用一个扫描振镜或者两个以上的振镜,与前第一章所介绍的阵列式打标方式相比较,能够标识出更多的点阵信息。对于标识汉字字符来说,这种打标方式具有相当大的优势。振镜扫描式打标光路原理图如图 2.4 所示。

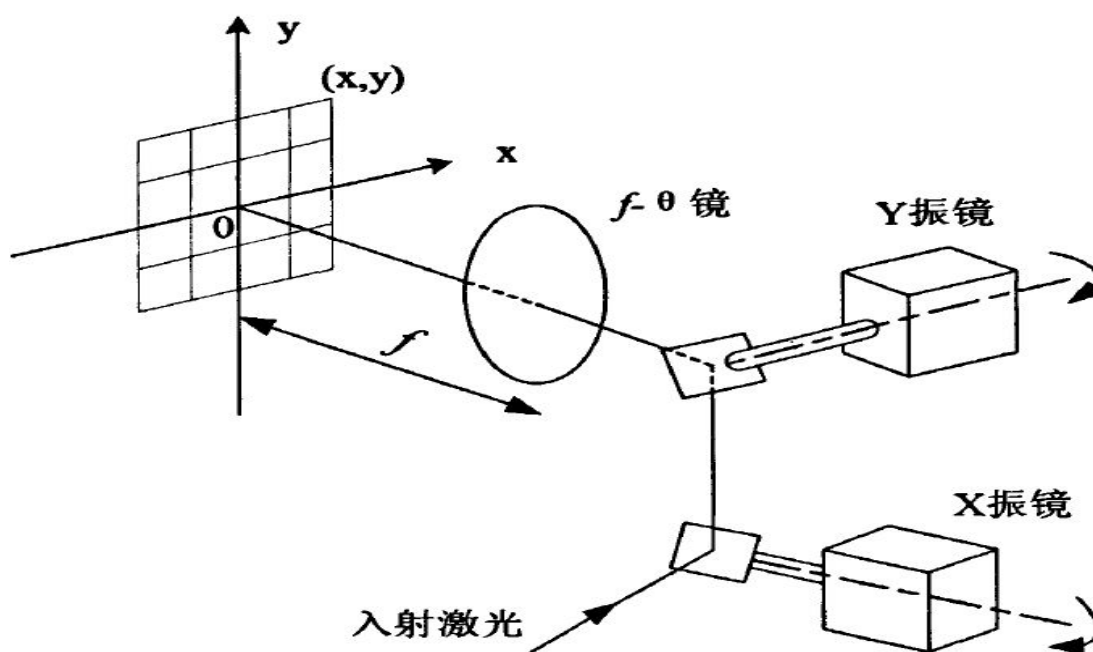


图2.4 振镜扫描式打标光路图

Fig.2.4 Galvanometer scanning optical path diagram marking

假设 $F-\theta$ 透镜与加工材料表面之间的焦距为 f , 当 X 振镜和 Y 振镜光路偏转所产生的角度变化分别为 θ_x 和 θ_y 时, 在 $F-\theta$ 透镜平面上所对应的光路坐标为 (x, y) , 当且仅当 $x=y=0$ 时, 就有 $\theta_x = \theta_y = 0$ 。在振镜扫描系统中, 振镜的偏转范围一般情况下非常小, 通常情况可以取 $\pm 5^\circ \sim \pm 10^\circ$ 。在小角度的情况下, 公式 1 可以成立。

$$\begin{cases} x = f \times \tan \theta_x \approx f \times \theta_x \\ y = f \times \tan \theta_y \approx f \times \theta_y \end{cases} \quad \text{式(2.1)}$$

从公式 2.1 可以看出, 在小角度的情况下, 当反射镜偏转到 θ_x 和 θ_y 这两个角度

的时，坐标值和振镜之间的偏角度成近似线性关系，这样就能够将激光导向到材料加工的位置进行打标，由此可以看出，当振镜摆动到偏角最大范围内进行材料加工是可以达到的^[9]。

在打标状态中，X、Y 振镜的偏角度的值主要是通过 D/A 转换器转换成控制电压的值来改变，就能够准确的控制材料加工的位置的坐标值，振镜扫描系统中，通过引导激光束对应的位置就可以实现打标功能的操作，这样就能够形成满足要求的打标图形，振镜子的偏角度取决于输入电压，输入电压与扫描的偏角度存在近似的线性关系，如公式 2.2 所示。

$$\begin{cases} \phi_x = k_x \times v_x \\ \phi_y = k_y \times v_y \end{cases} \quad \text{式(2.2)}$$

其中， $\phi_x = \theta_x / 2$ ， $\phi_y = \theta_y / 2$ ， k_x 、 k_y 是比例系数， v_x 和 v_y 分别为 X、Y 振镜输入电压的转动装置。

在振镜扫描系统中，将打标图形转换为存储在计算机扫描点的坐标数据，也就是说转换成数字化图形，通过打标点位置的坐标全部转换为振镜控制的电压信号，这样就可以通过引导激光束在打标工件上对应的位置进行打标，就能够形成所需要的打标的内容。所以只需要将文字、条码等内容以二维坐标的形式表示出来。用矢量线段来描述所需打标的内容的方式比较方便快捷。如图 2.5 所示，

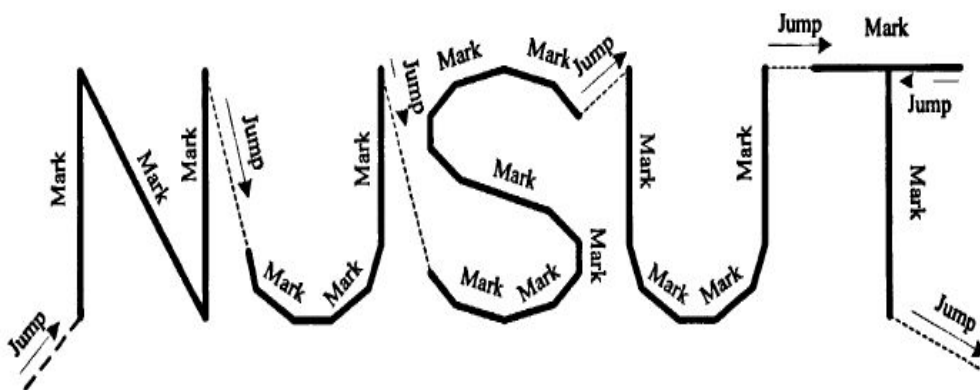


图 2.5 矢量打标原理图

Fig.2.5 Vector diagram marking

从图 2.5 可以得出，打标内容由一系列直线组成，打标内容的具有非常清晰的特点，直线对应了两种状态：抬笔与落笔两种状态，这就相当激光的开与光，2 个端点坐标的

线段来表示一条直线，通过直线插补算法来得到线段的中间点^[17]。

此外，由于双轴检流计的响应特性的时间不同，打标任意长度的图形可能看起来像一个弯曲的线条，而且它可能不是很清晰，由于伺服电机的快速响应，为了解决这个问题，离散的矢量通过触发到原来的直线，离散的矢量的数目取决于设置的分辨率和原来的线路长度。一般情况下，一个结构体数组能够表示矢量打标的数据，表示如下：

```
struct markDate
{
    int x;
    int y;
    int Flag;
}
Ponit [n];
```

其中 int x、int y 分别表示线段断点的坐标的位置，int Flag 表示该点的运动状态是抬笔还是落笔，如果 flag=1，表示上一点到这一点的抬笔方式，否则反之。

2.4 本章小结

本章主要介绍激光打标机控制系统的基本工作原理，最先介绍了激光打标机的基本原理，然后介绍了控制系统的工作原理以及对系统的性能需求，最后详细的介绍了振镜式激光打标机的工作原理。比较深刻理解了激光打标的工作原理，为后续研究激光打标机奠定了基础。

3 激光打标机控制系统的设计

3.1 系统整体架构

3.1.1 激光打标机的基本控制方式

激光打标系统主要由综合激光、精密仪器、电子和计算机等技术于一体化系统。主要通过高能量密度的激光束在加工材料表面进行永久牢固性的标记。控制系统主要由激光器、步进电机、光学系统、插补器、打标图形输入设备等构成。

目前激光打标市场非常具有发展前景的是振镜式激光打标机。现在已有的激光打标机控制系统其控制模式一般采用以下几种方案^[48]：

(1) PC 机控制模式

使用上位机（PC 机）作为激光打标机控制和指挥中心，同时也是软件安装的载体。材料加工主要是通过振镜扫描系统和声光调制系统的协调控制进行加工处理。上位机来完成打标功能和设计打标的算法，这种控制模式下，能够充分的利用计算机制图软件（如 CorelDRAW，AutoCAD 等），通过复杂的插补算法来设计完美的图形，这种控制模式也存在很大的缺点：大部分时间都在输出脉冲信号，这样极大造成资源的浪费，每台激光打标机必须用一台工业 PC 机加以控制。那么整个系统的成本大大的增加，并且占有的空间比较大，不利用于激光打标机的小型化，移动和摆放相对比较麻烦，灵活性比较差的缺陷。开发复杂而且周期相对比较长，目前已经逐步退出激光打标控制系统的行业。现在一情况下很少应用到。

(2) 单片机控制

在这种控制模式下，主要包括步进电机驱动电路、单片机控制器、输入显示电路等部分组成，如图3.1所示。外围设备主要是通过单片机来直接控制，这样的控制模式，对于控制系统的整体体积来说相对较小，往往是通过打标内容存储在 ROM 存取器中进行数据固化，比较明显的优点是控制系统的整体成本相对较低。缺点单片机没有操作系统，处理速度和接口设备相当的有限，对控制系统的控制精密相当的低，只能进行简单人机交互，对打标的内容只能进行简单的编辑。往往能够打标的文字字符、图形、图案都比较固定简单。还有在工业生产中，不可以对生产线上的信息进行记录，这样非常难对生产线进行自动化的管理。

对控制系统的控制能力非常有限，不能有效的满足多任务的操作模式，控制图形用户界面设计不合理、存储的容量比较小，操作方式不灵活。在工业生产中，这种控制模式早已不能够胜任。

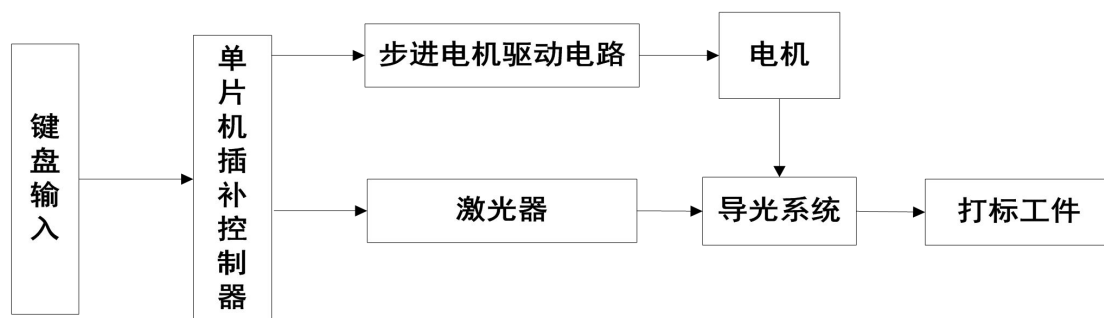


图 3.1 单片机控制的激光打标系统框图

Fig.3.1 MCU control block diagram of the laser marking system

(3)PC 机和单片机结合的激光打标系统控制模式

在这种控制模式下,为了解决单片机控制的打标系统打标记的图形输入的难点,设计了一种将微控制和单片机控制模式结合起来的控制方式,如图 3.2 所示,与单片机控制的打标系统一致,只是增加了图形输入设备,采用的是双 CUP 结构,以 PC 机作为上位机,单片机作为下位机,通过通信总线把 PC 机和单片机连接在一起,这样可以避免了 PC 机总线插槽以及安装控制卡所带来的不稳定性因素。下位机直接控制外部设备,上位机用来完成用户输入的内容和图片的处理,当数据处理完毕时,传给下位机,再由下位机完成打标控制过程。结合前两种控制模式的优点,目前它的应用比较广泛,一般情况来说,上位机和下位机都是采用 RS232 或者是 USB 总线相连接,一台 PC 可以同时控制多台打标设备,在增加打标设备的同时,不会因此而增加系统的整体成本。就通信速度方面而言,USB 比 RS232 传输速度快,所以 USB 连接的方式获得了比较广泛的应用。这种控制模式对于 PC 机的依赖性相对比较高,而且还会面临着成本相对比较高的问题存在,灵活性不够等缺点。

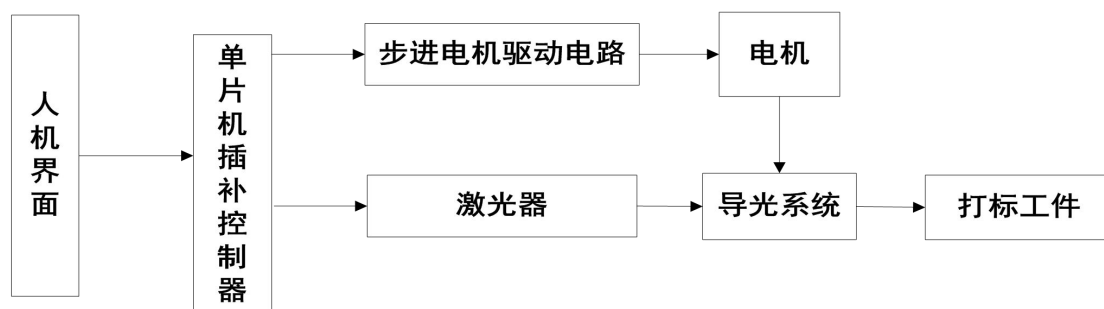


图 3.2 计算机与单片机结合的激光打标机控制系统框图

Fig.3.2 Computer and MCU combination of laser marking machine control system block diagram

(4) 嵌入式系统控制模式

这种控制模式是目前最新发展起来的一种控制模式，能够有效的解决控制系统的控制精度，从而提高激光打标的效果与质量，是目前最流行的一种控制模式。一般采用的是 ARM 作为主控板来控制整个系统作为上位机。外部设备的控制主要通过控制系统来直接控制，可以同时控制信号的输出以及打标内容的输入，在工业生产领域中，可以实现生产信息的记录，来辅助生产线的管理。在嵌入式控制模式下，可以完全不依赖于 PC 机，制造出小型化设备，这样能够有效的提高控制系统方便快捷的操作，这种控制模式相对来说，比较适用于工业生产中，大批量的产品加工。其具有操作简单快捷、灵活性强、反应速度快等特点。

但是操作方式和处理能力有限，在图形的输出与处理方面不如 PC 控制平台。目前这种激光打标机控制方式应用的非常广泛。

3.1.2 系统组成

本课题的激光打标机控制系统采用的是整个振镜 Nd:YAG 激光打标系统，主要由控制系统与激光打标机两个部分组成，二者通过接口电路板相连通，总体结构如图 3.3 所示。

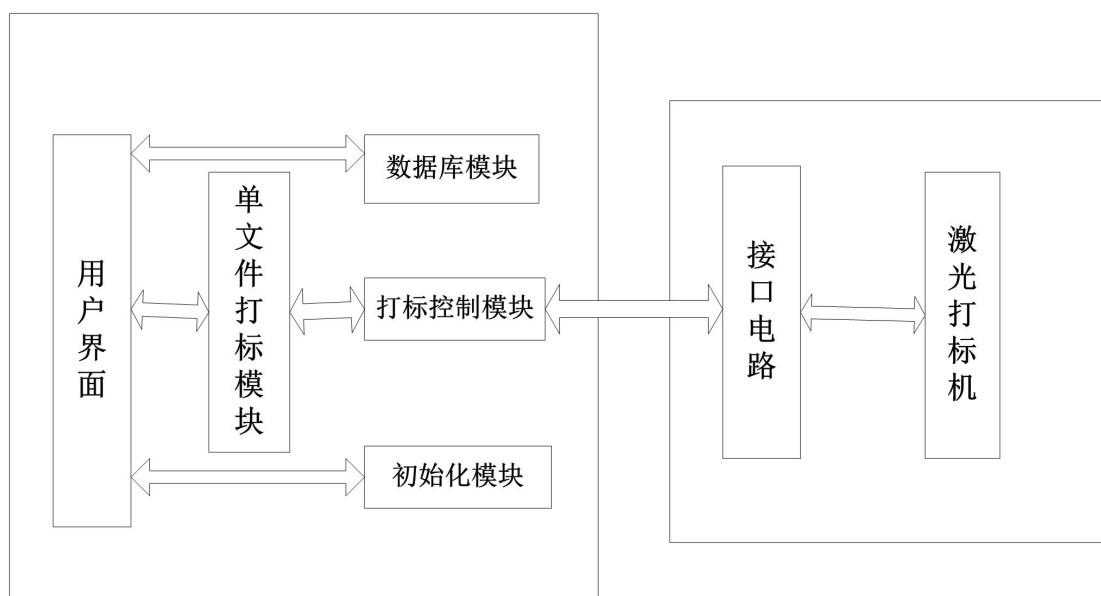


图 3.3 系统总体结构图

Fig.3.3 The overall structure of the system

激光打标机主要包括：激光器、驱动电路、扫描仪等组成。如图 3.4 所示，接口电路主要控制扫描仪的移动和激光口的开关。控制软件主要包括：用户界面、单文件打标

模块、数据库模块、打标控制模块、初始化模块等部分构成。

其功能分别如下：

驱动模块：该模块主要用来驱动控制卡。

初始化模块：主要用来调整激光打标输出参数，如打标延时、跳跃延迟。

数据库模块：主要用来完成激光打标数据的输入以及对数据的处理。

文件打标模块：主要用来完成对输出生成的文件进行控制。

输出控制模块：主要用来完成接口控制卡对打标输出的控制。

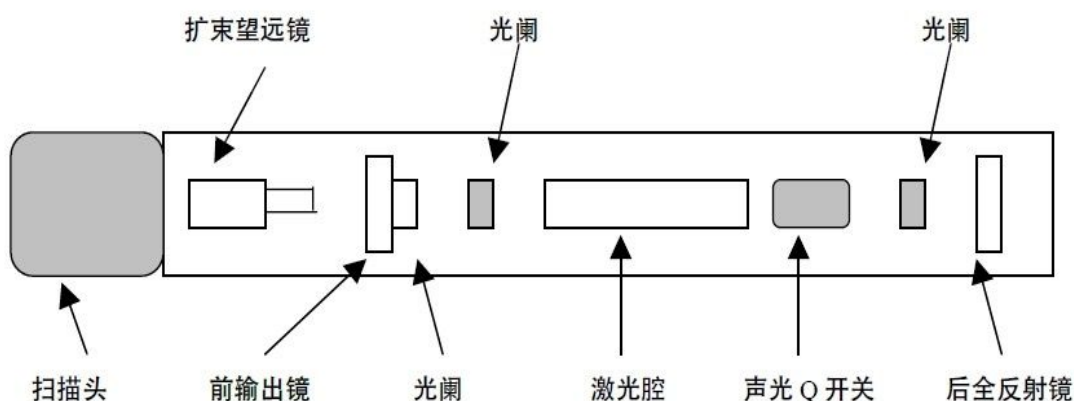


图3.4 激光器和振镜扫描仪

Fig.3.4 Laser and galvanometer scanners

3.2 控制系统的设计方案

针对激光打标机控制系统的功能和性能的需求，来设计控制系统的方案。本课题采用主处理器和辅助处理器来实现控制系统的方案设计，主处理器采用了 ARM 微处理器，扩展卡 FPGA，FPGA 选用的是 Altera 公司 Cyclone II 系列 FPGA 芯片 EP2C35F672C6ES。还有各种外接存储设备，在处理数据流转等方面的功能非常强大，功耗低，抗干扰能力强。但是高速处理数据能力不够，可以用的 I/O 接口的数量有限，FPGA 具有处理高速处理数据的能力。定位相当准确，I/O 接口和扩展的能力比较丰富，选用了 ARM 和 FPGA 组合的控制模式，这种控制模式更具有稳定性，而且成本相对较低，这种组合的控制方式也是未来电子产品研发的一个发展趋势。实现了交互界面友好并可以实现复杂数据和通信等功能；而 FPGA 负责处理高速的数据并实现精确定时和控制系统以及并行的事件等功能^[36]。

激光打标机控制系统中，主要的控制对象是 X、Y 轴偏转振镜和激光器。整个激光打标系统主要是：ARM 为核心的控制系统、FPGA 为辅助的控制系统、激光器、传送机构、振镜驱动器等组成。激光打标机的系统结构框图如图 3.5 所示。

其激光打标机系统结构的功能如下：

(1) 主处理器 ARM：是激光打标机控制系统的指挥中心，主要用来完成打标编辑内容的处理，发出打标数据指令并产生最初的控制信号，在飞行打标时，能够及时的读取生产线的速度，准确定位工件的位置信息，对打标数据进行补偿等操作。

(2) 辅助处理器 FPGA：激光打标机控制系统的辅助处理器，以外部存储的方式连接在主处理器上，负责中断请求信号。

(3) USB 接口：作为激光打标机的外存储设备用来实现文件的复制、保存以及传递同时可以避免打标内容的重复，这样能够扩展存储容量。

(4) LCD 显示：能够对激光打标机的打标内容进行显示、操作提示、设置控制系统的参数等信息。一种比较常见的显示设备。

(5) 实时时钟：主要用来正在进行的商品的生产日期以及制作的内容等进行实时的打标，来保证商品生产日期以及其他信息的准确性。

(6) 急停开关：当控制系统发生了系统故障的问题以及打标失误等情况下，这时候就需要及时的关闭激光器，停止打标，可以有效的避免造成的损失最小化。

(7) 矩阵键盘：主要是用来完成激光打标机对打标内容的基本操作，如复制、修改、输入、删除，还能够对控制系统的参数进行设置，以及对激光打标机的打标操作进行控制。

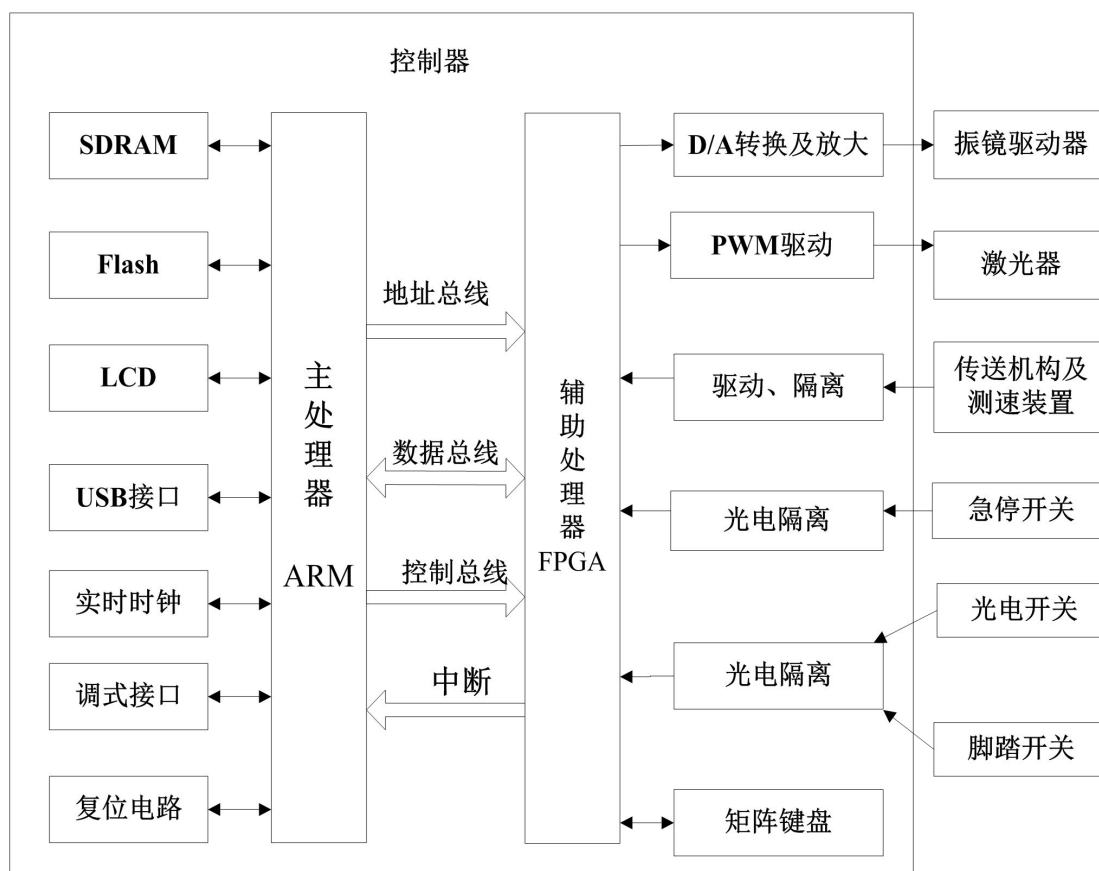


图 3.5 激光打标机的系统结构框图

Fig.3.5 Laser marking machine is a block diagram of the system

3.3 运动控制的概述

目前随着激光打标技术和科学技术的不断发展，在低成本和小型化的要求下，市场涌现出了各种各样的运动控制卡^[38]，这些运动控制卡的控制方式以及硬件构成各有不同。本课题设计的控制系统使用了主控板和扩展卡组合的控制模式，这种控制模式的主要优势有：控制效率高，编程简单，缩短整个控制系统的开发周期；其缺点是：控制系统上位机与运动控制只能够实现简单的交互，运动控制卡的控制系统和多插补算法已经不能按照实际情况进行优化，软硬件资源没有到充分的利用并且增加了系统的运行成本。目前，按照实现打标技术的不同运动控制一般情况可以分为4种类型如下^[14]：

(1) 以单片机为微处理器的运动控制器，这种运动控制速度相对比较慢，并且精准性不高，但成本相对于比较低，只能适合一些对运动控制和控制精度要求不高的应用。

(2) 以专用芯片(ASIC)为核心的运动控制器，这种运动控制器相对于其他控制器比较简单，能够对用户发指令方式进行控制，响应速度比较快、可靠性高。其缺点是：其本身的结构有限制，不能扩展、不易升级，控制算法比较简单，价格比较高。

(3) 基于计算机 CAN 总线以 DSP 或者 FPGA 为核心的运动控制器, 这种运动控制器直接嵌入在 PC 机上, 这种处理器具有集成度高、开放性好, 可靠性高、控制速度快、精度高, 还能够实现联系插补功能以及具有圆弧插补的性能。其缺点是: 在每个具体的应用中, 必须需要一台 PC 机作为上位机。这样会造成对设备的体积、成本以及运行环境有相对大的限制, 相当难的实现独立运行和小型化。

(4) 基于多核处理器技术, 多核处理器就是在一个芯片内部集成多个处理器内核。

本课题采用的是 ARM+FPGA 控制系统, 主控板是以 STM32F407ZGT 为处理器, 扩展卡 FPGA, FPGA 选用的是 Altera 公司 Cyclone II 系列 FPGA 芯片 EP2C35F672C6ES。

3.4 控制系统的硬件设计

3.4.1 控制系统的总体结构

根据激光打标机的功能以及性能参数的要求, 需要设计的激光打标机控制系统具有低成本、体积小, 低功耗等特性, 嵌入式控制系统具有相对高的精准、实用性强的特性。针对这些特性, 本课题的控制系统采用了以嵌入式控制系统来控制激光打标控制系统, 控制系统的总体的结构图, 如图3.6所示。

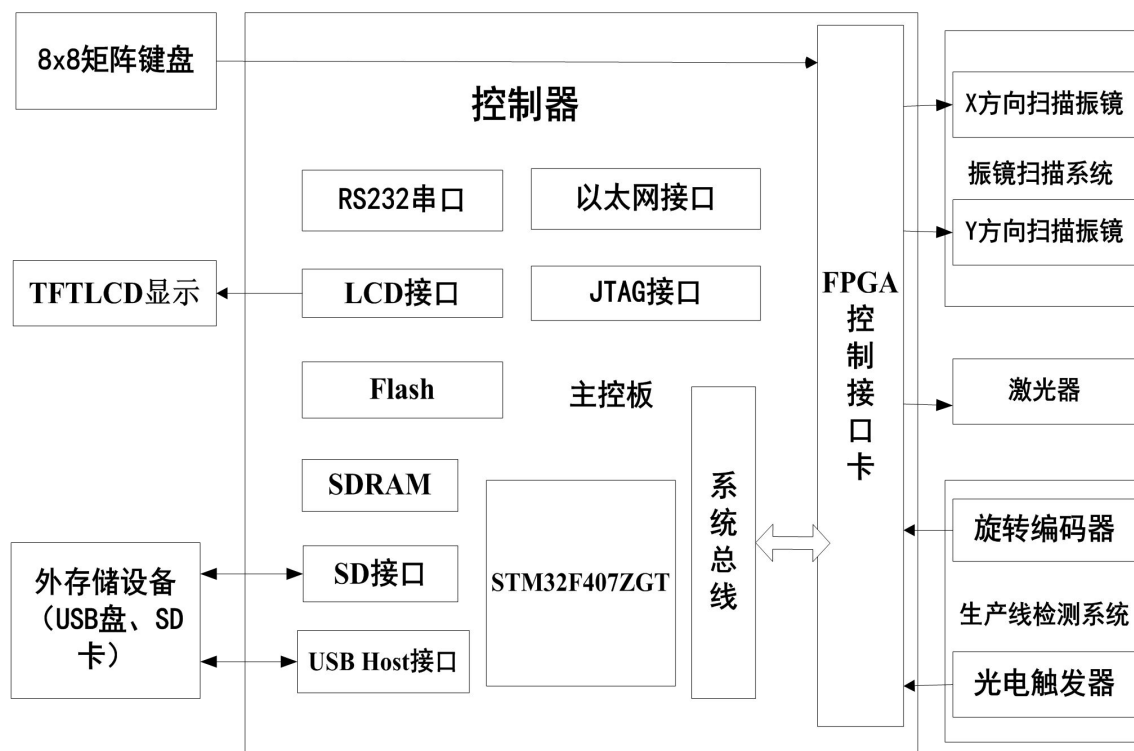


图 3.6 控制系统的总体结构图

Fig.3.6 The overall structure of the control system

控制器是以 STM32F407ZGT 为主控制板和 FPGA 为控制接口卡构成，如图 3.2 所示。主控制板具有高度的集成性，集成了控制系统需要的外接口设备，如 ARM、FLASH、USB 等，打标控制设备的设计是通过接口卡进行设计的，振镜扫描系统需要的功能主要有：模拟电压、激光能量调制脉冲、生产线检测的信息等。

控制器是整个控制系统的核心组成部分，主要通过控制卡来直接控制外部接口设备，通过键盘和 TFTLCD 显示主要用来提供已经完成的人机交互操作，同时还提供外接接口存储设备，为文件数据的传输提供便利的通道，

在激光打标控制系统中，主要的工作对象有：激光器、振镜扫描系统以及生产线检测系统，通过激光器和振镜扫描系统在协调控制器的协调下完成打标任务。生产线检测系统用来提供生产线上的信息，来协助控制器完成材料加工的任务。

3.4.2 ARM 处理器介绍

采用了 STM32 系列微处理器是意法半导体公司推出，专门为要求性能高、低成本、低功耗的嵌入式应用专门设计的一款处理器，STM32F407ZGT 的处理器是 STM32F407ZGT6，该处理器是基于 ARM V7 架构的，其使用的内核是 Cortex-M4F 内核，主频 120MHZ，内部含有 1024K(1M)字节的 FLASH 和 128K 字节的 SRAM，LOFP144 封装。STM32F407ZGT 是外设资源和管脚资源最丰富的 144 脚 LQFP 封装的 STM32F407ZGT6 芯片，具有功耗低、门数少、中断延迟小等特点。与其他 ARM 系列控制相比，其拥有的优势有：增加了分支预测功能，分支延迟减少到一个时钟周期，指令执行的速度快，采用哈佛体系结构；提高了处理器的运行性能；开发周期短，难度小，因此我们选择了 STM32 系列微处理器作为主控制芯片，本课题设计时使用了 STM32F407ZGT 的处理器是 STM32F407ZGT6 芯片，相关特性如下所述：

- ◆ 达到 210DMIPS 的处理能力，内含 1M 字节的 FLASH 和 196K 字节的 SRAM，LQFP144 封装

- ◆ 标配 1G 比特容量的 Nand Flash

- ◆ 标配 4M 比特容量的 SRAM

- ◆ 1 个 10M/100M 以太网接口，STM32F407 处理器内部 IEEE 1588 v2 硬件配合国半的工业级 DP83848C 以太网 PHY 芯片标准 RJ45 接口，支持平行交叉网线自适应

- ◆ 1 个 USB 2.0 OTG 接口，可以作为 USB SLAVE，板载有 ESD 专用防护芯片。

- ◆ 1 个 VS1003B 高性能 MP3 音频解码芯片，支持多种音乐格式文件的播放与录制，板载咪头麦克风以及音频输出输入 3.5mm 音频插座

- ◆ 1 个大功率双 3.5W 音频功率放大电路，左右双声道放大，可驱动两个纸盆喇叭

- ◆ 1 个主流收音机模块，并板载双声道功率放大器芯片，提供收音机功能
- ◆ 1 个 SD 卡接口，采用高性能 SDIO 接口
- ◆ 2 个 2.4G 无线通信模块接口，在板内实现就可以实现无线收发实验
- ◆ 1 个 315M 无线通信模块接口
- ◆ 1 个 CAN 2.0 总线接口
- ◆ 1 个 RS-485 接口
- ◆ 1 个 PS/2 键盘鼠标接口
- ◆ 1 个 DS18B20 温度传感器接口
- ◆ 1 个红外线接收接口和 1 个红外线接发送接口
- ◆ 1 个 USB HOST 扩展 SPI 模块接口，可以连接 CH376 模块（选配）
- ◆ 1 个步进电机扩展模块接口（选配）
- ◆ 1 个锂电池供电接口（选配）
- ◆ 1 个蜂鸣器
- ◆ 1 个电源指示灯（绿色）

3.4.3 电源模块设计

本课题设计的激光打标控制系统主要通过本地的电网供电，但是本地的电网的电压不够稳定，还有一定的波动性。为了有效的解决控制系统的抗干扰的能力，避免不干净的电源对设备造成影响，不能够直接将本地电网接入系统，而是通过稳定电源转化为稳定的电压，再对控制系统进行供电。针对这种情况，本课题设计采用开关电源将本地的电网转化为稳定的电源，这样才能够给控制系统进行供电。这里通过 AMS1117 芯片将 5V 电压转换为 3.3V 的稳压电源，电源管理电路如图 3.7 所示和如图 3.8 所示。

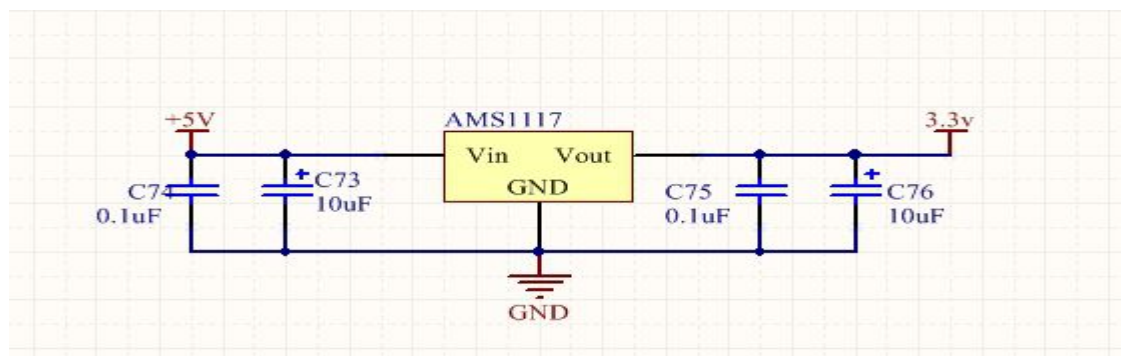


图 3.7 电源管理电路图 1

Fig. 3.7 Power management circuit diagram 1

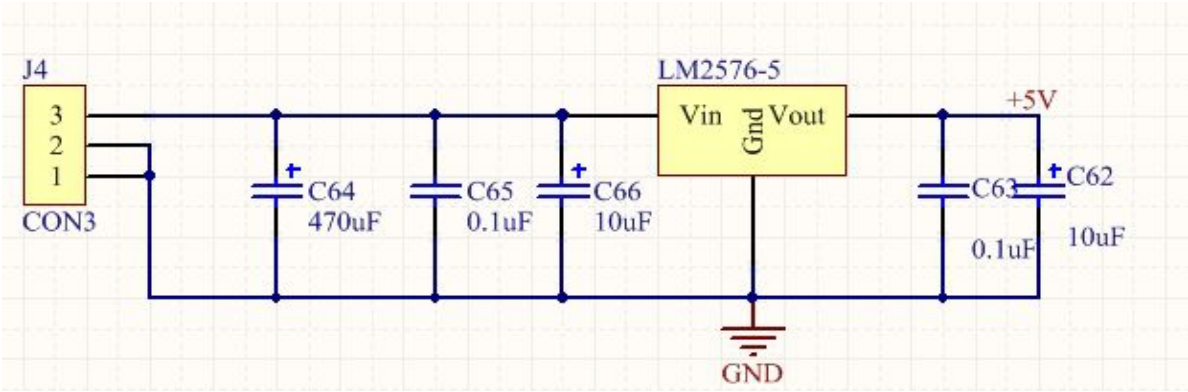


图3.8 电源管理电路图 2

Fig.3.8 Power management circuit diagram 2

3.4.4 复位电路

复位电路是设计 ARM 最小系统的一个重要的电路，在使用 ARM 最小系统时，经常需要进入复位状态。ARM 处理器有多种复位源，其中主要的复位源如表 3.1 所示和复位电路图如图 3.9 所示：

复位类型		复位的对象及是否复位		
		复位逻辑	复位系统配置	复位时钟模块
上电复位		是	是	是
外部硬件复位		否	是	是
内部 硬件 复位	调试端口硬件复位	否	是	是
	检错停机复位			
	看门狗复位			
	锁相环死锁复位			

表 3.1 ARM 处理器的几种主要的复位源

Table.3.1 Several major ARM processor reset source

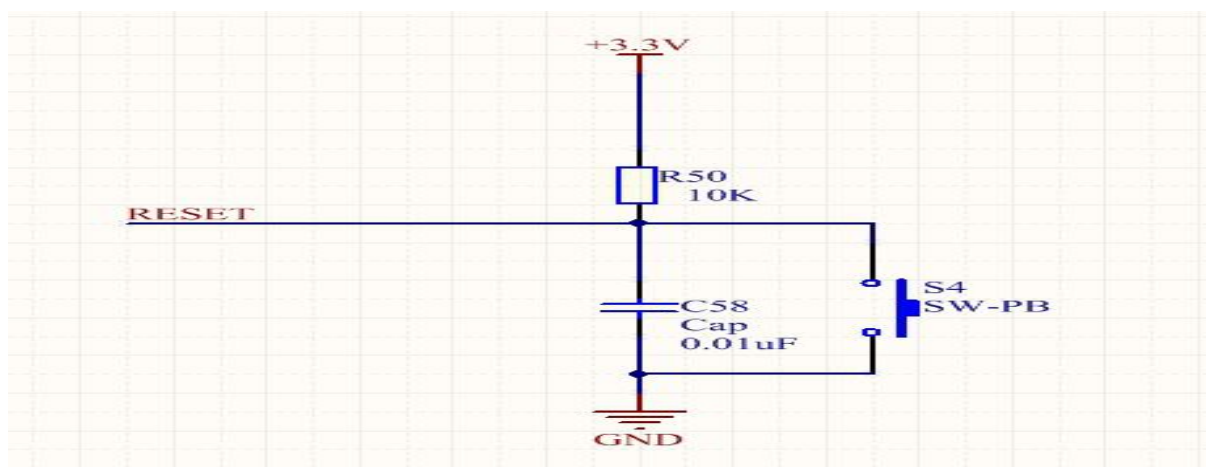


图 3.9 复位电路图

Fig.3.9 Reset circuit diagram

3.4.5 液晶显示电路

本系统使用了液晶显示器作为激光打标机控制系统最主要的显示输出设备，在液晶屏幕上主要用来显示打标的内容、系统的工作状态以及系统的参数设置情况。液晶显示器的种类多种多样，目前最常用的主要有：STN 和 TFT 两种类型的液晶显示器。这两种类型的显示器各有各的优势，对这两种液晶显示器做比较如表3.1所示：

比较项	STN-LCD	TFT-LCD
亮度	低	高
画面质量	较差	好
颜色种类	较少	丰富
动态显示	有拖尾现象	清晰
耗电量	小	大
价格	低	高

表3.1 STN 液晶屏和 TFT 液晶屏的比较

Table.3.1 Compare STN LCD and TFT LCD

主处理器 STM32F407ZGT 带有 LCD 控制器，对 STN 和 TFT 类型的液晶显示器都支持。本系统设计使用的是像素为640 (W)×480(H)的16位色 TFT 液晶显示器，其液晶显示电路如图3.10所示：

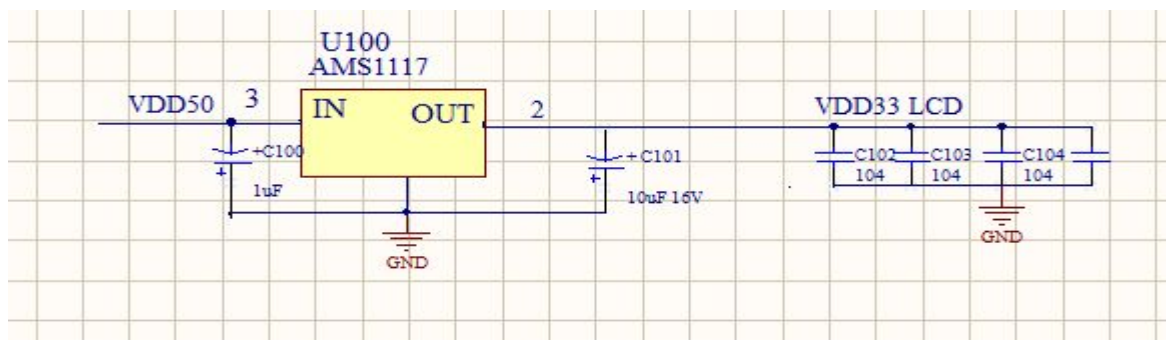
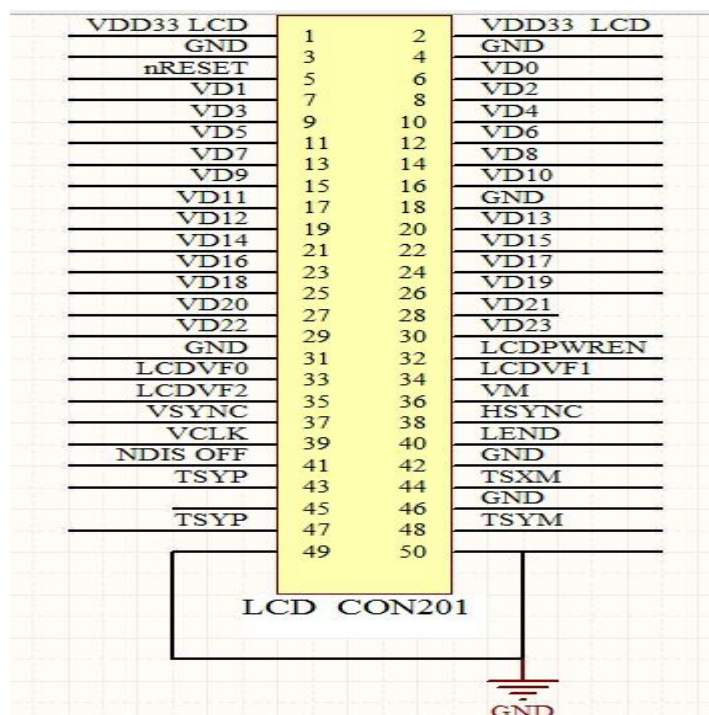


图 3.10 液晶显示电路

Fig.3.10 LCD circuit

3.4.6 JTAG/SWD 仿真调试

JTAG(Joint Test Action Group)。标准的 JTAG 接口包括：TMS、TCK、TDI 和 TDO 等信号。通过 JTAG 可用于芯片内部测试和进行系统仿真以及调试。本系统采用了 STM32 开发板提供标准的 20 针 JTAG 接口，可以直接和 ULINK 或者 JLINK 等主流仿真器连接，同时支持两线 SWD 接口。STM32F407ZGT 微处理器支持 JTAG 协议并提供了相应的引脚。其 JTAG 调试电路如图 3.4 所示。

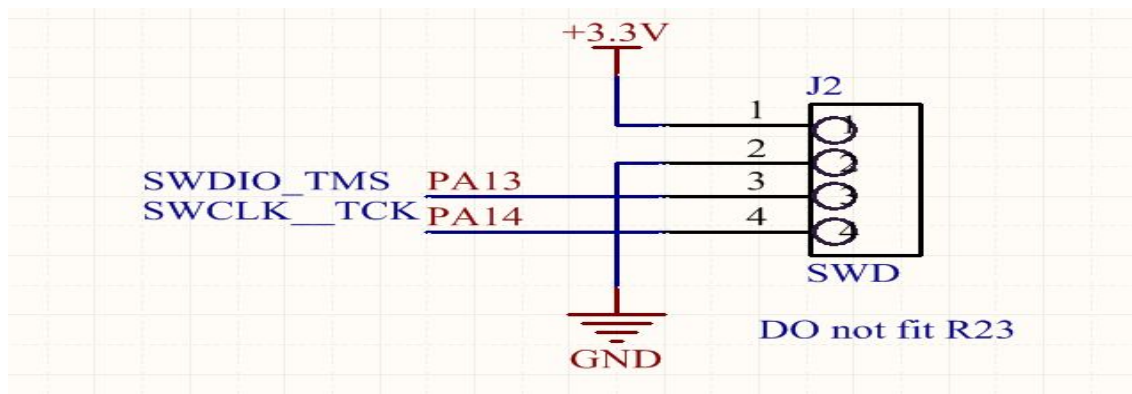
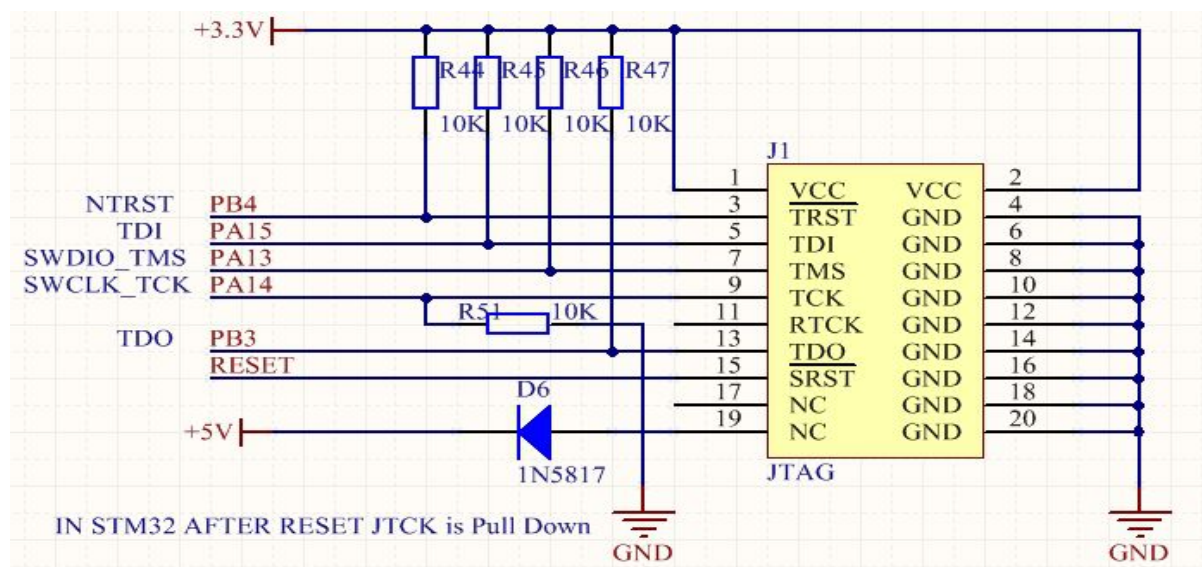


图3.11 JTAG 调试接口电路图

Fig 3.11 JTAG debug interface diagram

3.5 抗干扰技术介绍

激光打标机控制系统的工作环境相对来说比较复杂,干扰的强度非常大,如由雷电、静电、电动机电刷的跳动、大功率开关的断开等,放电产生的放电噪声主要有:电弧炉、感应电炉、电源开关、直流和交流变换器等产生高频振荡而形成的噪声,等等,所以整个激光打标机控制系统需要更强的抗干扰能力,必须保证能够长期稳定可靠的运行,因此这是一个值得考虑的问题。在本课题设计中,使用了多种抗干扰技术,主要包括:硬件干扰以及编程时软件抗干扰技术,如:看门狗技术、去耦技术、软件陷阱技术、指令冗余等,保证控制系统在恶劣的环境下安全正常运行。

3.5.1 干扰的耦合方式

干扰源主要是通过耦合通道产生干扰，主要是对控制系统产生电、磁干扰的作用。噪声的干扰一般情况下是通过导线的方式进行传递，或者通过自然环境传递的。干扰主要有以下几种耦合方式：直接耦合方式、公共阻抗耦合干扰、电容耦合方式、电磁感应耦合方式、辐射耦合方式、漏电耦合方式

3.5.2 干扰后果

按照噪声产生的原因主要可以分为以下几种噪声干扰：放电噪声、高频振荡噪声、浪涌噪声等方面的情况。

对控制系统造成的干扰主要有以下几个方面：数据采集误差加大、控制系统处于失灵状态、数据受干扰的变化情况、程序运行不正常等。

3.5.3 抗干扰措施介绍

在激光打标机控制系统中，要求控制系统具有很强的抗干扰的能力，而且需要使用的硬件控制资源相对较少。针对这种状况本课题在设计时，在软件和硬件上采取了一定措施来提高控制系统的安全性，保证控制系统在恶劣的环境下能够正常安全的运行。一般情况下，主要包括 4 个方面来提高控制系统的抗干扰的能力如下：

（1）在器件方面的选择, 尽量要选择那些集成性相对高的，具有非常强抗干扰的能力、功耗低的器件。

（2）元器件和部件进行精密调节，能够有效的保障控制系统能否正常运行的关键所在。因此在使用前或者通过控制系统运行一段时间之后，并对元器件进行精密的调节。

（3）采用了硬件抗干扰措施，通常情况下，采用的抗干扰措施主要有：滤波技术、去耦技术、屏蔽技术、接地技术、掉电检测、硬件看门狗和隔离技术等。

（4）使用了软件抗干扰措施，一般采用的软件抗干扰的方法有：数字滤波、看门狗技术、指令冗余、输入口信号重复检测、输出口数据刷新软、软件陷阱技术等。

3.6 本章小结

本章主要介绍了激光打标机控制系统的设计，在控制系统硬件设计方面，首先介绍了控制系统的总体结构，然后对 STM32F407ZGT 微处理器的介绍，最后介绍硬件设计模块包括：电源设计模块、液晶显示电路、JTAG/SWD 调试模块。最后对控制系统的抗干扰技术做了详细的介绍。

4 控制系统软件的设计

激光打标控制系统软件部分对激光功率、Q 开关频率、打标速度以及对振镜驱动等进行控制^[16]。还能够对打标内容进行编辑、处理、保存。打标内容的编辑是通过专业的图像处理软件（CorelDRAW、AutoCAD）生产 PLT、BMP 格式的图形^[16]，作为原始的输入，打标的方式往往有矢量打标和位图打标两种方式。原始输入文件不能够直接用于激光打标，在软件设计中需要对算法进行处理，有利于提高打标效率，改进激光打标的加工精度。

4.1 系统分析

4.1.1 Q 调制频率与激光功率

在声光 Q 开关中，激光腔内起着对调 Q 的关键部件，激光打标的重要组成部分，可以将连续激光调制成不同频率、不同脉宽、不同编码的脉冲激光，峰值功率相对比较高、脉宽较窄、重复频率比较高。在具体的材料加工中，往往是以气化的方式对材料加工为主，传入到材料表面上的热量比较小，还能够在脉冲间隔消散，从而实现了无损加工的目的。气化加工的方式具有工作电压低、易于控制、工作状态比较稳定等特点，目前，在激光打标中已经非常广泛的应用与推广。

Q 调制脉冲宽度、频率设置主要用于不同深度的打标，可以通过软件进行调节 Q 调制的频率。Q 频率、激光脉冲的功率、脉冲能量和脉宽有相应的关系。在低 Q 频率时，有高于峰值的功率和低于平均功率，这种情况通常更好的用于“制孔”，这样可以除去更多的材料，这样可以进行深度的雕刻。在高的 Q 频率时，有高于峰值的功率和低于平均功率，通常这种情况多用于“加热”，这样可以不用除去材料，这仅仅只是引起材料变颜色或热变形。

根据以下的特性，可以知道，针对不同的材料可以选择合适的 Q 频率和功率来标记出符合不同要求的产品。

通过以上分析可以得出：激光功率，Q 开关的频率对打标的效果有直接的影响，最根本的原因在于自身的条件所决定的，如设置控制软件的某些参数，比如 Q 调制脉冲的功率、频率等，在具体的打标的过程中，根据不同的加工材料进行选择合适的控制软件的参数。

4.1.2 打标速度分析

打标步长、步长时间、跳跃时间、打标延迟、跳跃延迟、激光开与关延迟以及打标

的速度，这些主要的参数直接关系到打标的效果和打标的质量。

以矢量打标图形为分析对象，其矢量打标如图 4.1 所示，对于不同的打标材料的打标速度不同，具体的打标步长是由步长时间来决定的。跳跃的速度主要通过跳跃步长和步长时间来决定的，跳跃的时间越短打标的效果就不会受影响。其矢量打标如图 4.1 所示，其中实线箭头表示矢量打标，虚线表示跳跃。

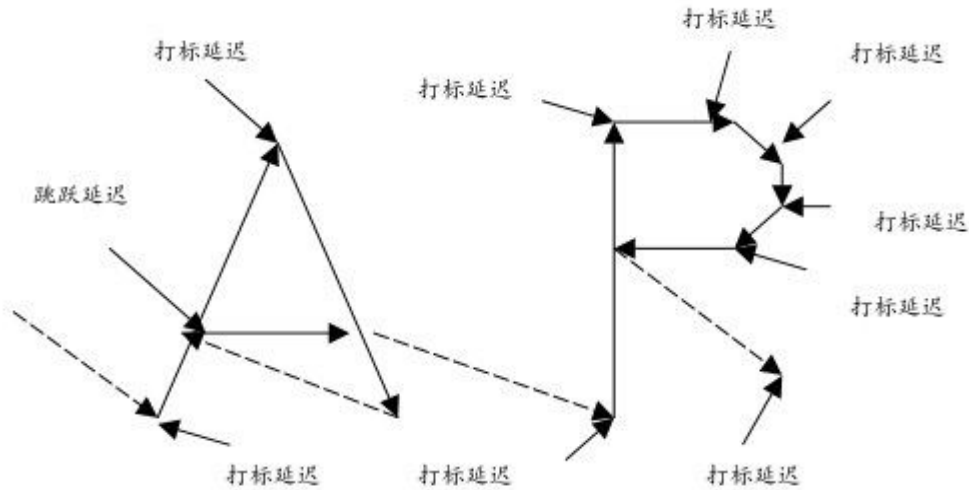


图 4.1 矢量打标、打标延迟、跳跃延迟示意图

Fig.4.1 Vector marking, marking delay, delay schematic jump

下面我们从理论上来计算打标速度：

$$v = d / t \quad \text{式 (4.1)}$$

对于振镜检流计来说， d 为步长 ($1\text{bs} = 153 \times 10^{-6} \text{v}$)， t 为步长时间 (μs)。打标速度或跳跃的步长为每一 DAC(数字模拟转换器) 指令的 1bs 数，步长时间为 DAC 指令的时间，打标的速度为：

$$v = \frac{d_{\text{标}}}{t} \times \frac{114}{65536} \quad (\text{单位为 mm/s}) \quad \text{式 (4.2)}$$

跳跃的速度为：

$$v = \frac{d_{\text{跳}}}{t} \times \frac{114}{65536} \quad (\text{单位为 mm/s}) \quad \text{式 (4.3)}$$

一般情况下，激光打标的扫描范围在 0—3000mm/s 之间，在具体打标过程中，根据不同的加工材料可以通过打标控制软件来选择相对比较适合的打标速度。

通过以上的分析可以得出，打标延迟、跳跃延迟、激光开与关的延迟时间都是引起控制误差的主要原因。

(1) 打标延迟

打标延迟产生于打标要改变方向之前，如图 4.2 所示，

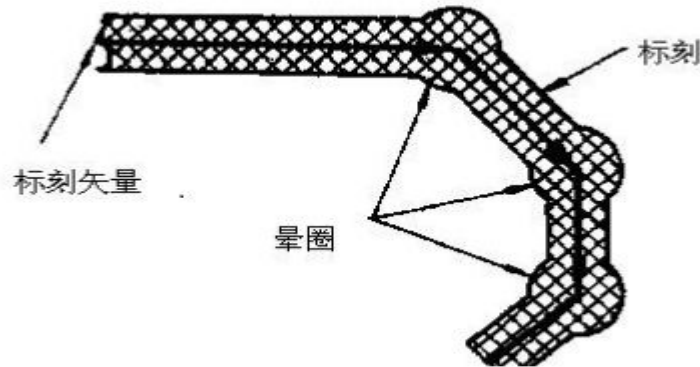


图4.2 打标延迟影响示意图

Fig. 4.2 Marking delay influence diagram

一般情况下，在改变打标方向之前需要一定时间的延迟。如果打标延迟时间相对较短，那么在低速的打标下对打标效果就不会产生明显的影响，但是在高速打标下对打标效果会产生明显的影响。如果打标的延迟时间相对长的情况下，无论在何种方式进行打标下，对低临界值的加工材料而言，就会造成所谓的“晕圈”的现象发生。

(2) 跳跃延迟

跳跃延迟产生于跳跃结束之后，这段时间称为回复时间。跳跃的时间比通常的打标时间要快，随着打标参数的开始发生变化的时候，对于振镜检流计来说，就需要在这段时间来回复打标的参数，假如跳跃的时间太短，就没有足够的时间来对打标的参数进行回复，就会跳过这个期间进入下一个打标，这样就会造成矢量打标出现失真的现象。其跳跃延迟影响示意图如图4.3所示。

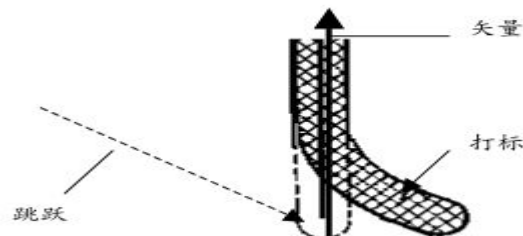


图4.3 跳跃延迟影响示意图

Fig.4.3 Jump to the delayed impact Schematic

(3) 激光开/关延迟

振镜检流计的惯性量会造成发送信号命令的响应,需要一段时间的延迟,为了确保激光束开与关能够与振镜检流计同步的轨迹运动,就需要对振镜检流计的扫描速度进行设置,就能够有效的对激光束开与关有一段时间的延迟。

激光开始延迟产生于一矢量开始打标,此时激光关闭直到振镜检流计响应到命令信号;激光关闭延迟产生于一矢量结束打标,此时激光开启直到振镜检流计到达矢量打标结束。

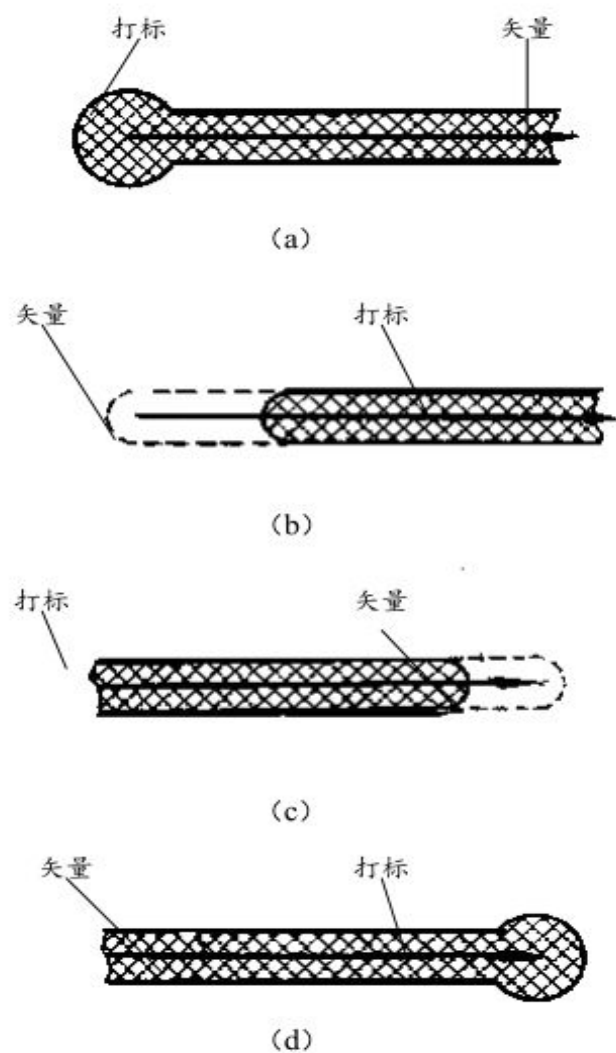


图4.4 激光开/关影响示意图

Fig.4.4 Laser ON / OFF influence Schematic

如果激光开始的延迟时间比较短，那在激光打开之前，振镜检流计就要开始设置需要打标的速度，这个时候进行矢量打标就会聚集非常多的激光脉冲能量，当矢量打标开始的时候就会造成很深的标记的现象发生，很影响打标的效果与质量。如图4.4 (a)所示。

如果激光开始延迟的时间太长，那么激光在打开之前，振镜检流计就要开始设置需要打标的速度，这个时候开始矢量的打标就会造成移位的现象发生。如图4.4 (b)所示。

如果激光关闭延迟太短，在激光关闭结束前矢量打标才能达到，就会导致矢量打标最后一部分没有任何标记。如图4.4 (c)所示。

如果激光关闭延迟太长，就会导致矢量打标结束后继续打标，产生所谓的“晕圈”现象。如图4.4 (d)所示。

4.1.3 激光头和振镜控制

在激光打标过程中，需要支持连续打标，需要每次打标完成，激光必须能够准确回到原点，不需要重新定位。将一个模具固定在激光打标机的工作台面上，每次打标的时候确实好第一条打标记录的原始的坐标位置，以后每条记录就能够非常轻松的完成对加工材料进行打标的目的，最后回到第一条打标记录相同的位置，这样可以有效提高打标的效果。不会出现移位的现象。但是在对控制系统进行调试的过程中，激光头不能按照我们所预想的轨迹运动进行打标，经常会产生移动的现象。

通过分析，我们任务原因主要有两点：

(1) PC机执行指令的时间远远比电机移动的时间短，不延时或者延迟的时间比较短，还没有等到电机执行命令的时候，有可能还没有到指定坐标点的位置，这样很容易造成控制的精度不够，也就是会产生走位现象发生，而且还不够精准的回到原点的位置。

(2) 在矢量打标时使用的直线插补算法，对Y轴方向直线的处理存在缺陷，这样导致激光头在X轴方向上最后回不到坐标原点。

4.2 提高控制精度的方法

4.2.1 设置延迟时间

设置延迟时间可以有效的解决打标延迟、跳跃延迟、激光开与关对打标效果的影响，这样的很容易造成打标效果产生移位、打标缺失，打标精度不够等问题的发生。在激光打标控制系统的软件设计中，进行一定的时间延迟就能够有效解决这些问题的发生，设置延时时间解决这些问题起到非常关键的作用，能够有效的控制系统的机电部分的执行速度，这与微型机的执行速度相比较有所不同，机电部分的启动时间往往需要一段时间的延时。

为了有效的控制机电部分对打标精度不造成影响，就必须进行设置延时的时间，如果延时的时间比较长，那么电机只能等待，单位时间内的电机移动的步数减少，就会影响打标效果与打标的效率。在实验中，每个坐标点的延迟时间通常在15ms-20ms 范围之内，这样可以有效控制打标的精度以及提高打标效果和质量。

4.2.2 矢量打标的插补算法

在激光打标控制系统的打标软件中，在对 PLT 文件进行编辑时，通常情况选用直线的逐点比较插步算法，再进行牛顿差值法进行拟合运算，这种算法实现相当比较简单、控制方便^[17]。

直线插补算法也就是坐标每走一步，事先给定的坐标值的位置进行一次比较，然后进行一次牛顿插值法进行拟合运算，看当前位置是否在事先给定位置的上方还是下方，进一步确定进给的方向。假如取起始点为坐标原点，则直线插补计算公式和进给方向如表4.1所示。

Fm>=0			Fm<0		
直线坐标	进给方向	偏差计算	直线坐标	进给方向	偏差计算
L1 L4	+X	Fm+1=Fm-Y2	L1 L2	+Y	Fm+1=Fm+X2
L2 L3	-X		L3 L4	-Y	

表4.1 直线插补计算公式和进给方向

Table.4.1 Linear interpolation formula and feed direction

四个象限的终点坐标值分别取该点数字的绝对值，其中表中的 Fm 表示当前点的偏差，Fm 表示进给后达到的点偏差，L1、L2、L3、L4表示当前点所在的象限，+X、-X、+Y、-Y 分别表示进给的方向，起始点的坐标为 (X1, Y1)，(X2, Y2)为结束点的坐标。

算法的思想流程图描述如下：

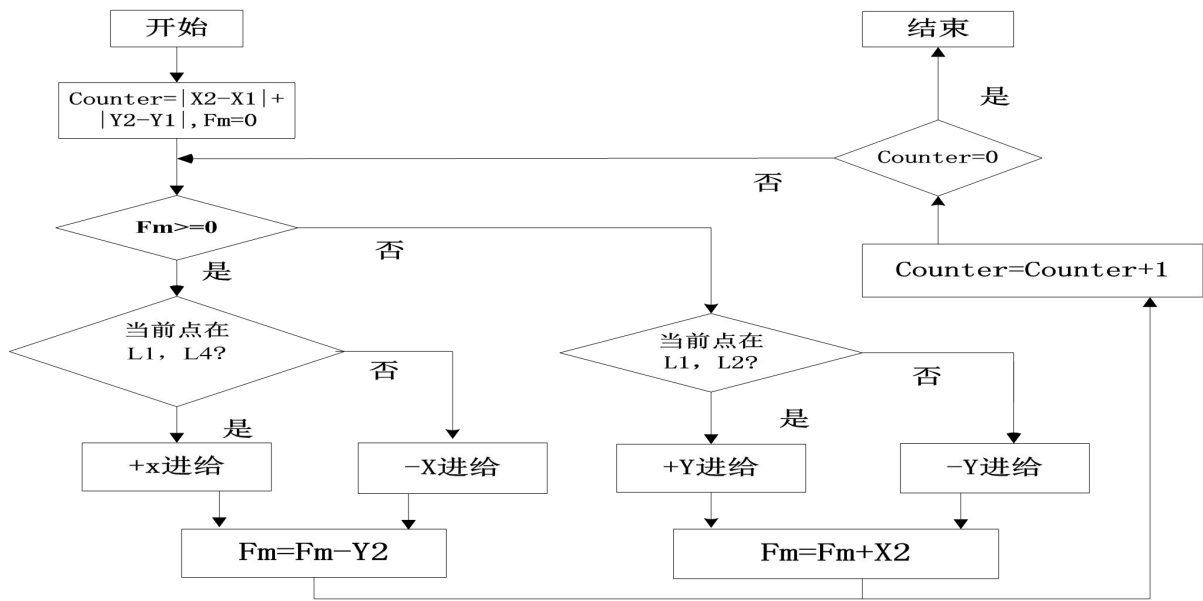


图4.5 直线插补算法流程

Fig.4.5 Linear interpolation algorithm flowchart

4.3 打标内容的编辑处理

4.3.1 问题提出

激光打标技术是通过激光器将高能量密度的激光在加工材料上精确的标识出用户事先编辑好的打标文件。随着激光打标技术快速的发展，激光能够打标出来的内容类型也在不断的充实与完美，能够有效的满足激光打标市场的需求。近年来，常见的激光打标内容，通常看分为：文字、字符、标点符号、实时更新的生产日期、图形、图案等等。

通常情况来说，激光可以打标内容的类型，对激光打标控制系统的软件设计起到至关重要的作用。将用户事先编辑好的打标文件转换成控制系统软件能够支持与识别的打标信息，并通过激光器将打标的信息精确的在合适的加工材料上标记出来，这就意味着控制系统的软件关系到能否支持与识别的打标文件的类型。对打标的内容的输入、编辑处理进行研究，来满足用户打标内容类型的需求，在激光加工技术领域，随着控制系统不断优化和升级，激光打标市场的应用的领域在不断扩展，具有相当大的发展潜能，这对激光打标的发展起到非常重要的现实意义。

4.3.2 文字字符的处理

在激光打标中，文字字符是激光打标中最基本的打标内容。对于文字字符来说，一般情况下，分为两种类型^[29]：一种是静态打标内容，也就是用户输入的打标内容，在生

产线上重复标记，不需要频繁的编辑与更改，还有一种是动态打标内容，也就是实时动态更新，如生产日期，其打标内容随着时间的变化而变化。

对于静态打标内容而言，当用户在信息编辑界面中输入打标内容时，对输入的内容的数据进行读取后，能够对其进行内容浏览，还可以通过用户界面进行操作，对打标内容进行横纵坐标的平移以及缩放。静态的打标内容一般情况下是重复的标记内容，一般以打标文件的形式保存。这样可以减少用户对打标内容的重复编辑，在一定的程度上，减少了用户误操作的情况；还可以将生产打标文本复制到另一台激光打标控制系统的设备上运行，不需要用户反复的重新编辑内容，只需要在启动打标时，读取打标文件中控制数据就可以了。

对于文字字符和生产日期这样的动态打标内容的编辑处理流程图分别如图4.6与图4.7所示：

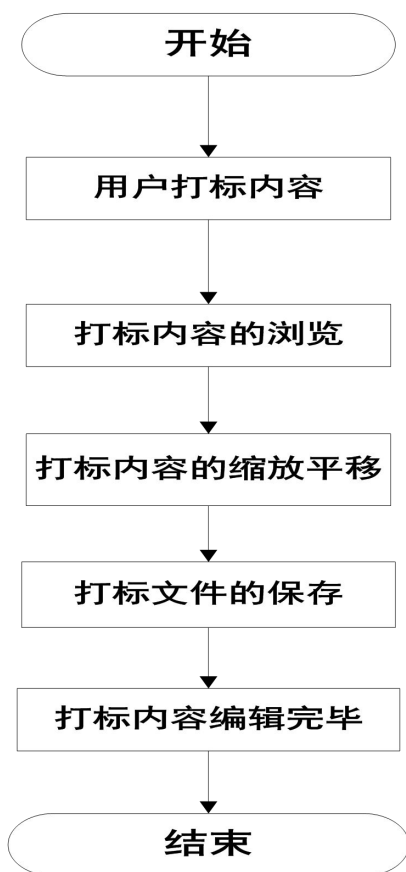


图 4.6 文字字符的编辑处理流程图

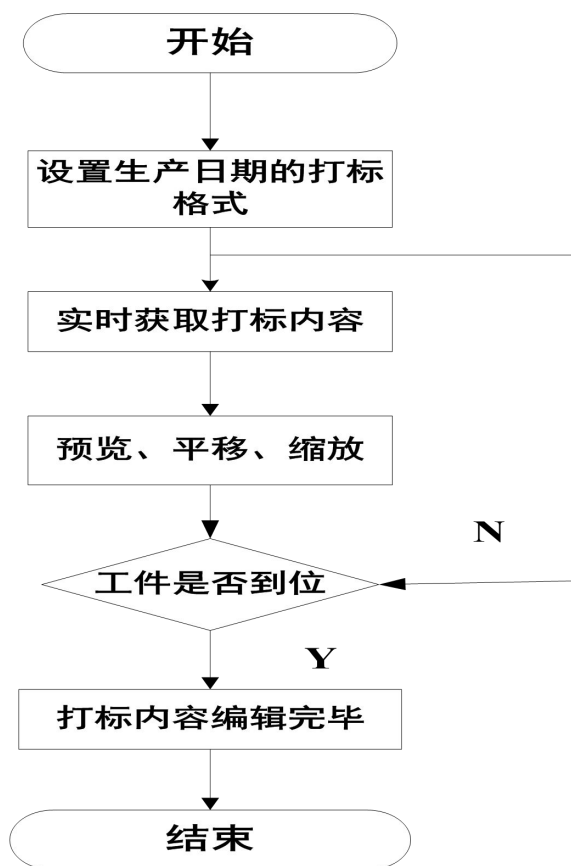


图4.7生产日期的编辑处理流程

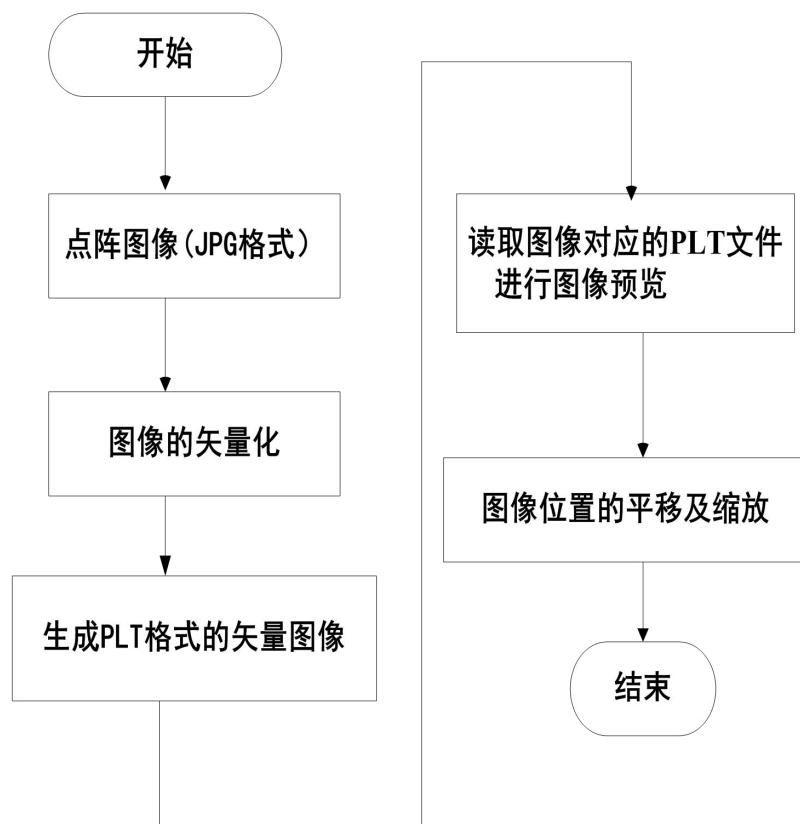
4.3.3 图像的编辑处理

在激光打标中，除了文字字符外，图像也是主要的打标内容。图像的原始数据，在一般情况下，是以点阵图像的形式提供。通常有两种方式处理点阵图像：图像进行矢量化处理和半影调处理^[44]，图像进行矢量化处理，也就是通过图像进行彩色图像灰度化、

二值化以及轮廓跟踪等处理,然后采用曲线拟合的方式,最后得到某种格式的矢量图像,半影处理也称为非矢量化处理。

两种处理方式适合于不同的场合。在图形比较简单的情况下,一般情况下,可以采用矢量化方式。这样可以提高打标的速度,而且打标的精度也比较高,矢量化的标记效果图看起来相当美观。在点阵图像内容复杂,在内部线条和细节相对比较丰富的情况下,那么适合采用半影调处理,这样可以避免图像的严重失真。本文研究的是矢量化图像的编辑处理。

在本文设计的打标控制系统中,对图案的编辑处理流程如图4.8所示。



4.8 图像的编辑处理流程图

Fig.4.8 Image editing process flow chart

在得到点阵图像后,对其进行矢量化后,利用 AutoCAD 等专业图形软件生成 PLT 格式的矢量图形文件后,这样就可以直接读取图案,对应的 PLT 文件,从里面提取每个点的数据。参照文字字符的编辑处理的方法,用户可以对矢量图形进行浏览、位置的平移以及缩放操作。对原始图案进行矢量化后,如图4.9所示的点阵图像,通过一系列的矢量化操作后,从 PLT 文件中读取矢量图案后的预览如图4.10所示。

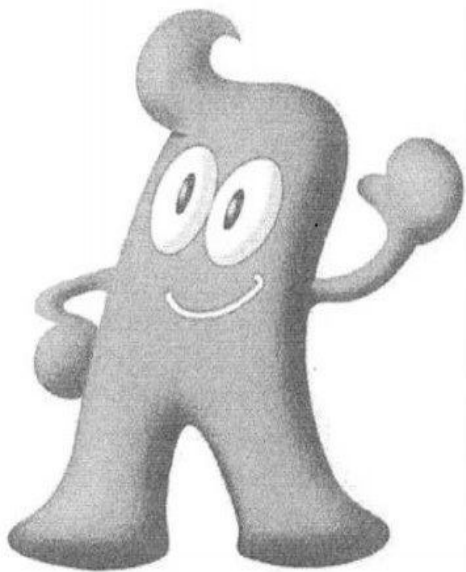


图 4.9 点阵图像原图

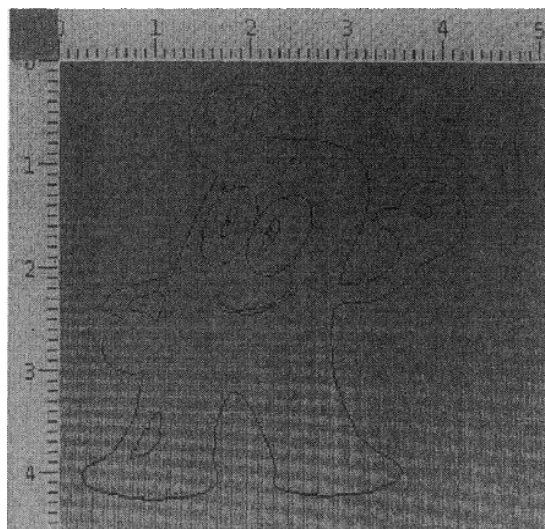


图 4.10 矢量化后的图像

4.4 本章小结

本章主要对激光打标机控制系统的软件设计，首先对激光功率、Q 开关频率、打标速度以及激光头和振镜控制进行了详细分析，然后详细说明提高控制精度的方法，设置延迟时间、矢量打标的插补算法，最后介绍了打标内容的编辑处理。

5 用户界面设计

5.1 问题的提出

伴随着激光加工技术和计算机控制技术的快速发展,图形用户界面设计逐渐的发展起来,能够方便快捷灵活对控制系统进行操作。近年来,用户对打标控制系统的需求不仅仅在打标的质量上、打标的稳定性、打标的效率、打标的速度以及打标的精准上都取得明显的效果。目前,随着生活水平的不断提高,往往用户对界面的美观、操作简单、功能强大等方面,为了满足这一需求,本文设计采用了嵌入式控制的激光打标控制系统以及图形用户界面(GUI)来满足这一需求,增强激光打标技术在激光加工领域中的市场强大的竞争力。嵌入式控制不同于单片机对控制系统的控制,但是由于受到现有资源的限制,往往图形界面设计具有占有资源小、高精度等优异特点。目前,我们大部分企业只是在生产产量、打标质量、打标性能以及打标效率等方面下功夫,取得非常大的改进与提高,然而在图形界面设计方面重视的非常的少,存在很多问题,如设计的布局不合理、操作相对比较繁琐、不能够对错误操作信息进行及时的提示功能等等,在一定的程度上,影响了激光打标控制系统的整体性能的要求,因此,只有重视控制系统的图形用户界面设计,才能够提高整个激光打标控制系统在激光加工领域中市场的竞争力。

图形用户界面设计主要是解决人机交互的一种方式,为用户和产品之间进行信息的交流建立有利平台。能够从图形用户界面中获得当前系统的工作状态,这样能够识别用户输入的控制信号,执行相对应的功能。因此,设计一个好的图形用户界面对于解决人机交互具有非常重大的意义,一个设计不合理的界面,轻则很容易误导用户进行错误的操作,有可能导致资源的浪费,重则会影响控制系统的失控,甚至可以造成控制的崩溃。本课题设计的激光控制系统中,不仅仅需要满足用户的编辑、修改、保存等功能,还需要对打标参数进行设置等,结合本课题的控制系统对用户操作的需求,来完成基于嵌入式控制系统的图形用户界面的设计,设计的原则主要从可学习性、系统结构设计的合理性、界面交互友好性、可恢复性、操作灵活性、快捷键的设置等方面出发来设计激光打标控制系统的图形用户界面的设计。

5.2 用户界面 Qt 应用程序控制系统中的架构

图形用户界面设计往往都是通过应用组件的方式在应用程序中的应用,控制系统的图形用户界面设计与桌面的图形用户界面设计是所不同的,嵌入式图形用户界面具有非常强大的可移植性、可扩展性以及布局条合理化等特点,针对这种状况,本课题采用了

嵌入式控制的图形界面用户设计，以及选用了 Qt 应用程序设计界面，操作系统选用了 Linux，其基于嵌入式的图形界面设计的系统架构如图 5.1 所示。

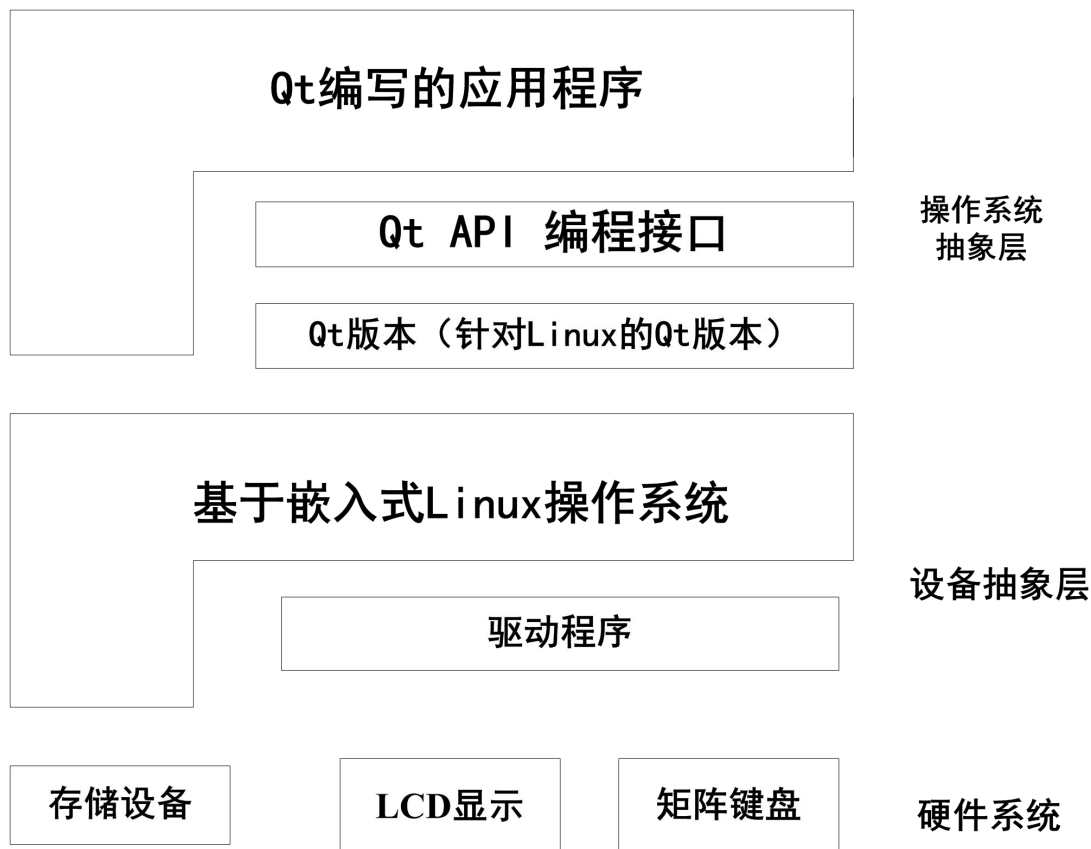


图 5.1 图形用户界面设计的架构层次图

Fig. 5.1 Graphical user interface design architecture hierarchy diagram

5.3 控制系统的界面设计

5.3.1 控制系统的界面布局

依据激光打标机控制系统的功能需求，本课题设计了不同的功能的图形用户界面，通过控制系统的主菜单界面来实现不同的打标功能，从而不断的完善控制系统的图形用户界面来满足用户的所需的功能需求。其激光打标机控制系统功能图形用户界面的布局如图 5.2 所示以及打标内容编辑界面如图 5.3 所示。

下面对控制系统主菜单的功能进行详细的介绍：

(1) 打标内容编辑

用户能够在这个界面输入和预览所编辑的打标内容，还可以对打标内容的修改以及保存需要打标的内容。能够编辑的打标内容包括汉字、字符、字母、标点符号的组合

以及 BMP、PLT 格式的图案。

(2) 启动打标

待打标内容的编辑完成后，下一步进入启动打标的界面。这个界面的用户可以选择需要的打标文件启动打标，还可以进行编辑内容的打标预览的功能，能够及时提示控制系统的运行状态。

(3) 系统参数设置

通常情况下，系统参数的设置可以分为打标参数、辅助参数、机器参数。用户能够根据不同的加工材料的质材进行调整控制系统的参数。

(4) 打标文件的管理

在图形用户界面中，能够通过外部存储设备与控制系统存储器对打标文件的保存、复制、删除以及修改等。

(5) 系统升级版本

利用外部存储设备的挂载功能，就能够对控制系统及时更新运行。

(6) 飞行打标

主要用来完成在生产线上，对打标速度的位置进行及时的补偿，这样打标出来的内容就不会出现明显丢步的现象发生。

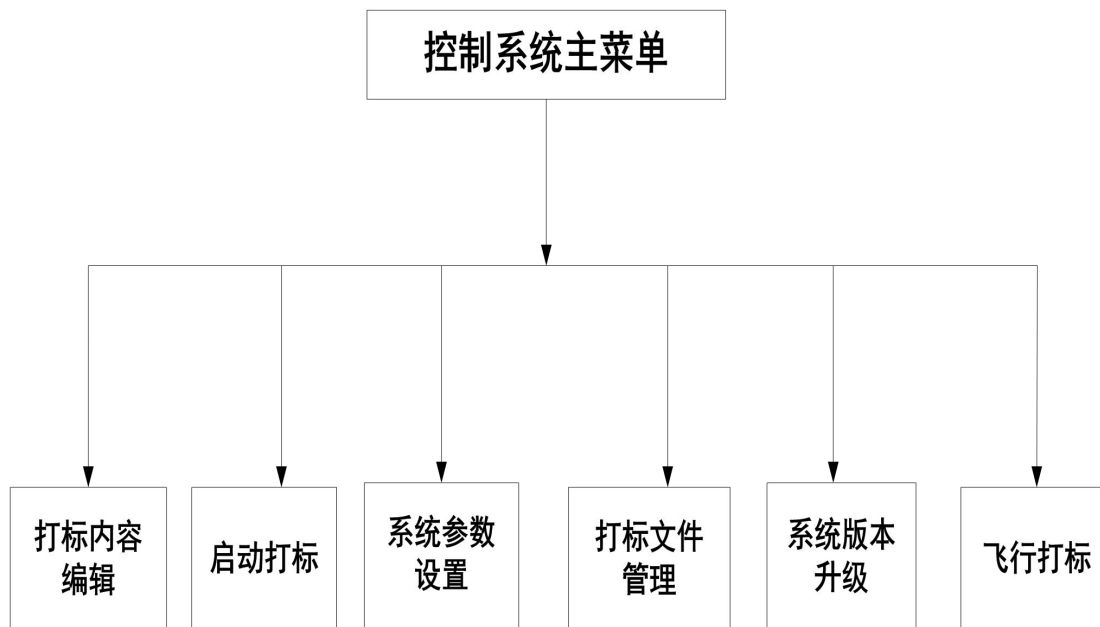


图 5.2 控制系统的功能图形用户界面的布局

Fig. 5.2 Control system layout graphical user interface features

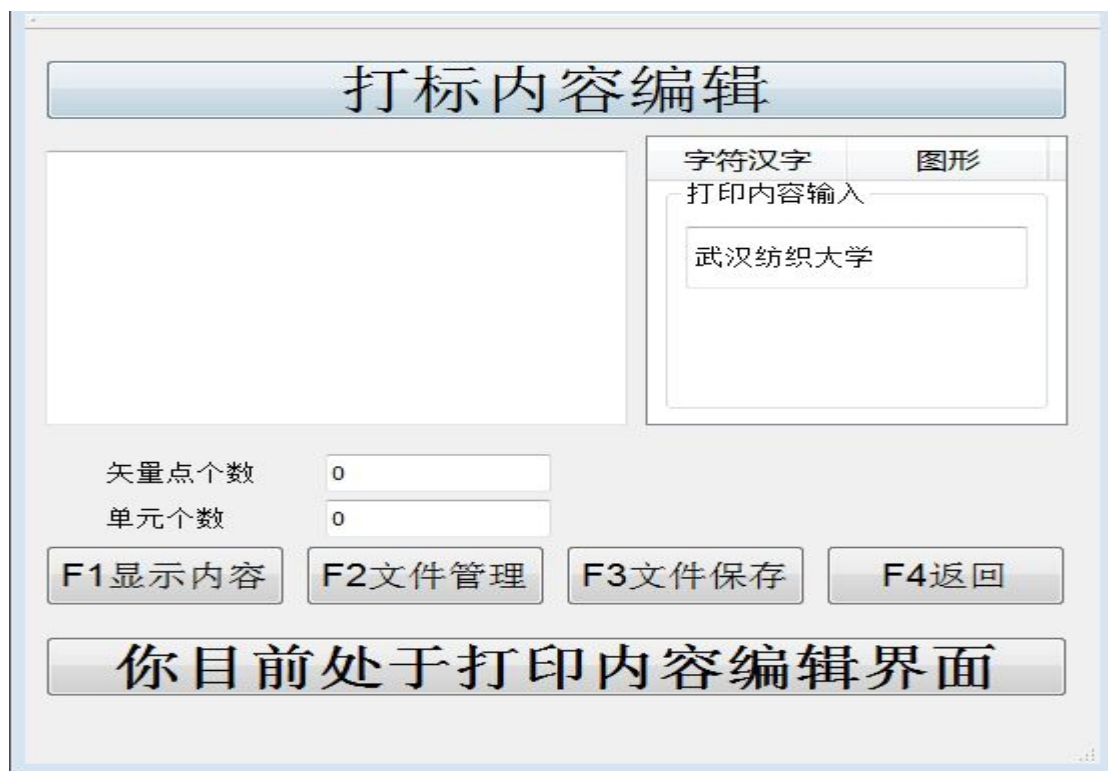


图 5.3 打标内容编辑的界面

Fig.5.3 Marking content editing interface

5.3.2 激光打标的操作流程

通过人机交互界面来控制激光打标控制系统的运行，了解每个部分的工作状态，提供简单方便快捷的操作，界面分布合理，为用户对控制系统发送打标指令提供了有利的平台，其人机交互界面激光打标操作的示意图如图 5.3 所示：

本课题激光打标控制系统主要分为打标准备状态、打标确认状态以及打标运行状态这三种不同的打标运行工作状态。

下面对这三种打标运行工作状态进行详细的介绍说明：

(1) 打标准备状态

当控制系统通上电后，首先应用程序会自动的进入激光打标控制系统的主界面，就可以为打标前做一些准备工作，用户就可以编辑打标的内容、修改以前编辑的打标内容以及对其保存为打标文件，通过界面显示的功能，进行操作控制系统，这样就能够实现打标的操作。还可以对控制系统的参数进行设置，用来满足用户对各种打标文件的需求，另外，还考虑到了外存储设备的文件，用户可以将打标的参数保存在需要打标的文件之中，这样可以方便用户不必要每次都需要设置打标的参数。

（2）打标确认状态

进入启动打标的图形用户界面后，选择需要打标的文件，进入这个状态之前，用户需要检查下所有的打标参数是否设置完毕以及控制系统的硬件是否无故障的状态下，就能够进入打标的运行状态。

（3）打标运行状态

这时候用户进入了事先设置好的打标参数开始打标文件，伺服电机控制振镜的偏转，激光器输出高能量的激光，主要用来完成对于文字字符、标点符号、图形图案的内容的打标。在这个运行状态中，只要存在紧急故障问题，才能够按下急停开关。

在不同的控制系统运行状态下，用户来完成不同的操作，这样就能够提高整个控制系统的操作流程更具有条理性以及提高控制系统安全正常的运行。

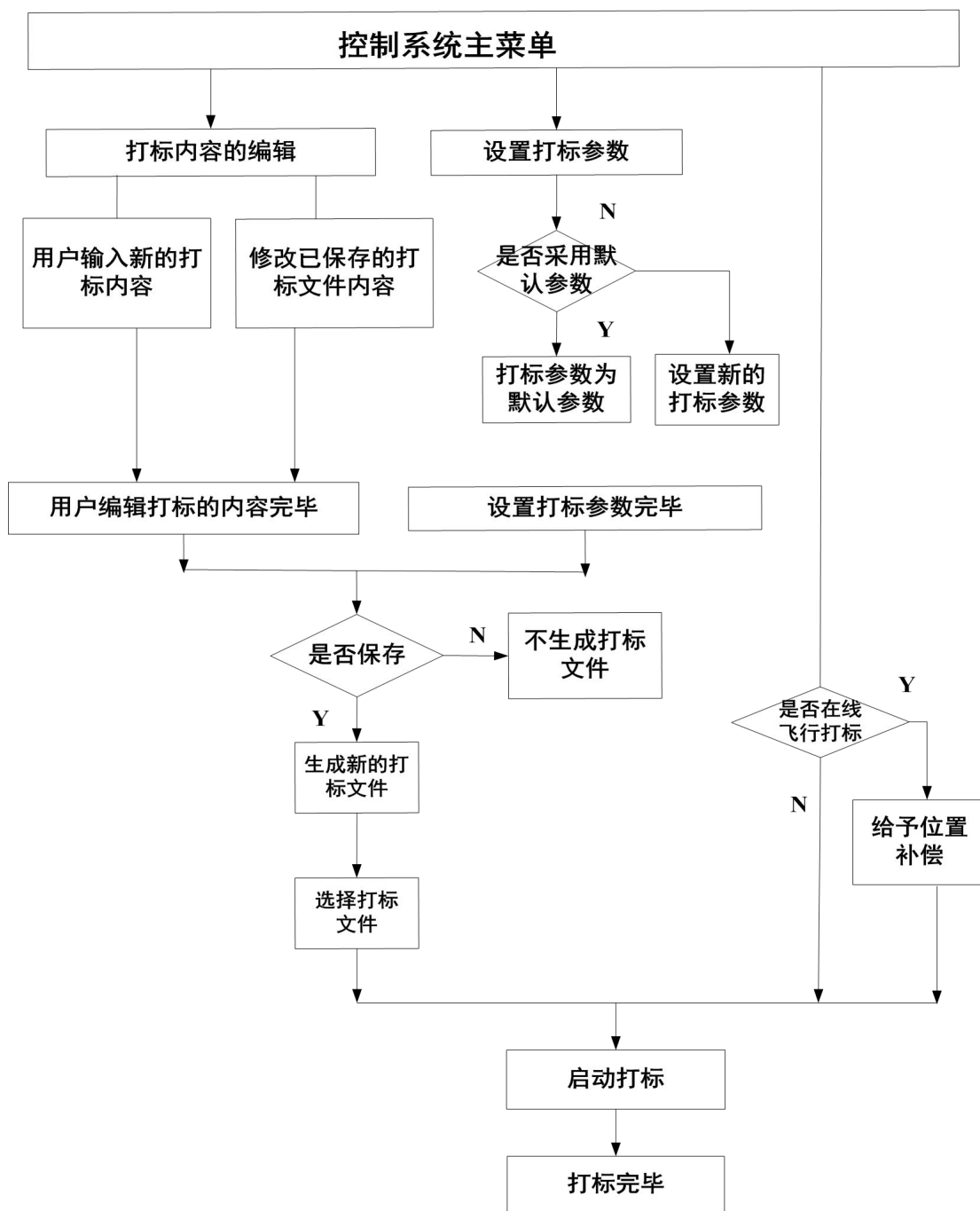


图 5.4 激光打标操作过程示意图

Fig.5.4 Laser standard operating procedure schematic

5.3.3 系统参数的界面设计

激光打标控制系统的参数设置通常情况下，有打标参数、辅助参数、机器参数三类参数的设置，具体参数设置如图 5.4 所示。

下面对三种类型的参数进行详细的说明介绍：

(1) 打标参数

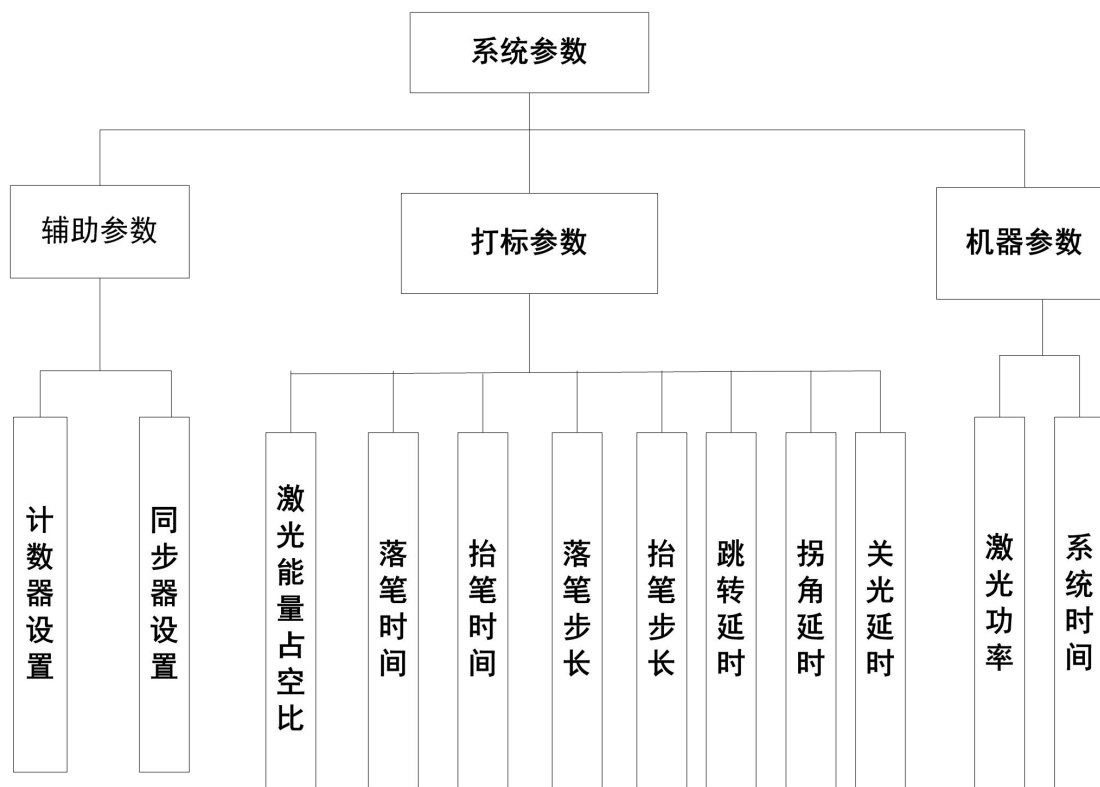
在激光打标控制系统运行的过程中，对于加工材料是不同，这就需要对不同的加工材料进行适当的调整打标的参数，这样就能够提高对材料加工的打标效果。

(2) 辅助参数

对激光打标控制系统进行辅助参数的设置，能够实现更多的打标功能，主要是对加工材料的打标计数、设置初始值以及脉冲信号等等。

(3) 机器参数

机器参数通常情况指的是控制系统的硬件参数。主要包括激光器的功能和系统的时间等参数。根据激光器功率的大小来设置打标参数，这样激光在加工材料上打标出不同的效果。设置系统参数时间能够有效的对生产日期的打标。主要应用于生产线上产品的生产日期的打标。



5.4 系统参数设置

Fig.5.4 System parameters set

5.4 本章小结

本章主要对控制系统图形用户界面的设计，能够提高激光打标市场的竞争力，是激光加工领域中的发展趋势，能够有效提供控制系统的可用性。首先介绍了控制系统的界面布局，然后分析了激光打标的操作流程，最后详细说明了控制系统的各种运行状态。

6 实验结果与分析

本课题使用的激光打标机主要技术参数如下表 5.1 所示：

激光输出功率	$\leq 50\text{W}$
激光波长	1064nm
光束质量 M^2	< 10
激光重复频率	$\leq 50\text{kHz}$
标记范围	65mm $\times$ 65mm、110mm $\times$ 110mm(可选)
扫描速度	(0 ~ 7000)mm/s
调制频率	200Hz ~ 50KHz
刻线速度	$\leq 2000\text{mm/s}$ (使用 10W 的二氧化碳激光器)
最小线宽	0.1mm
最小字符	0.4mm
重复精度	$\pm 0.01\text{mm}$
激光输出不稳定度	$< \pm 5\%$
电源输入频率	50Hz
激光电源最大功率	4000W
电力需求	380V/三相/50Hz/19A

表 5.1 激光打标机的主要技术参数

Table 5.1 Laser marking machine main technical parameters

在此基础上对控制系统进行简单的打标实验测试。

6.1 激光打标控制系统打标实验

本激光控制打标系统做了一些简单的打标测试，基本实现了打标的功能，由于个人能力有限和时间的限制存在很多问题，通过大量的实验测试后问题才解决，以下是实际打标的一些图片。图形打标效果如图 6.1 所示。

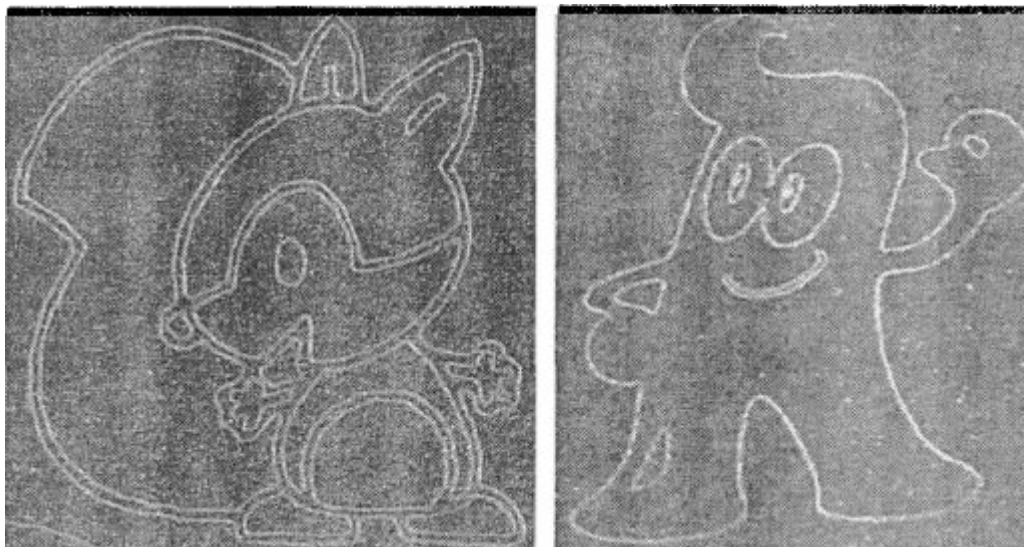


图6.1 图形打标的效果

Fig.6.1 Graphic marking effect

6.2 文字处理的实验结果

在文字处理方面，通过软件对 TrueType 字体的轮廓获取，在这个基础上矢量化，通过二值图像转化，来达到激光打标的要求，本设计采用了按键打标的方式，来提高打标的精度，由于位图的打标精度高，因此采用这种打标方式，打标控制流程如图6.2所示。

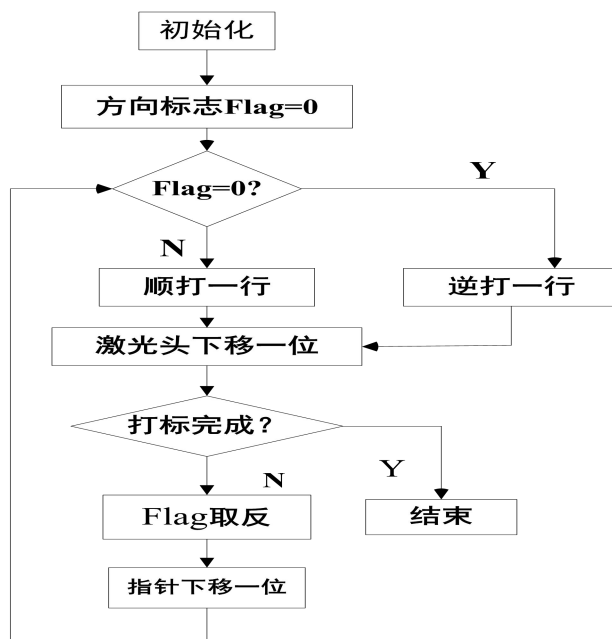


图6.2 位图打标控制流程

Fig.6.2 Bitmap marking control flow

6.3 本章小结

本章通过一系列实验来测试激光打标控制系统对打标内容中图形以及文字处理的效果，通过实验可以看到，系统对硬件方面的控制基本达到打标的要求。

7 结论与展望

7.1 全文总结

随着激光加工技术不断的进步和发展, 计算机控制技术发展越来越成熟。人们对产品的外观以及可靠性的需求越来越高, 结构紧凑、性能可靠的嵌入式系统来满足这一需求。在军事、通讯、工业加工、医疗卫生、文化教育以及航空等方面已经取得了非常广泛的应用与推广。激光打标技术是一种新型的打标技术, 在激光加工领域中, 具有非常巨大的发展潜力。目前, 激光打标技术在国内也取得了非常快速的发展。采用的控制系统基本还是基于 PC 机进行控制的模式, 对于大批量加工生产的产品而言, 采用 PC 机进行控制, 无论从经济性、可靠性以及结构的美观性而言, 都有必要对控制系统进行技术上的改进。针对这种发展现状, 本文设计采用了 ARM 为主控板 STM32F407ZGT, 以 FPGA 为辅助控制器的设计方案。FPGA 选用的是 Altera 公司 Cyclone II 系列 FPGA 芯片 EP2C35F672C6ES, 来提高控制在芯片的选取上综合了性能以及成本各方面等因素的考虑。在控制系统界面上, 进行图形用户界面设计, 提高激光打标控制系统的市场竞争力, 能够有效让用户更好的操作控制系统的工作流程, 对加工材料进行打标, 还能够对用户误操作进行及时的提示。

本课题研究的主要有以下几个方面:

(1) 分析了基于振镜扫描式激光打标机控制系统工作原理。工作流程及功能需求, 介绍了激光打标机的控制系统的设计: 包括控制的硬件设计、控制系统的设计方案、最后介绍了抗干扰的措施。

(2) 在激光加工领域中, 目前, 激光打标控制系统通常情况基于嵌入式的控制系统, 这样有利于对控制系统智能化的控制以及方便灵活的操作。本课题选用了 ARM 为主控板 STM32F407ZGT, 产品升级换代比较容易, ARM 模块提供的以太网接口为计算机远程控制激光打标提供了条件, 从而可实现一台主机控制多台打标机的功能。

(3) 采用了全数字电路方式产生的功率控制信号。为了有效的对激光打标机的功率进行控制, 传统的方法采用了模拟电路产生功率信号 (PWM) 的方法, 已经不适合在控制系统方面的需求了。针对这种状况, 本课题采用了现场可编程逻辑门阵列 (FPGA) 技术, 使用了全数字电路方式产生功率控制信号的方法, 在全数字电路下产生功率控制信号能够进行及时的调整, 可以调整的精度与模拟电路下相比, 相对来说要高些, 产生的功率信号比以前的稳定有非常大的提高, 这样才能够使打标的效果比以前明显清晰的效果, 更具有层次感。

(4) 根据设计方案进行了硬件电路设计, 包括 ARM 最小系统及其外围电路设计,

FPGA 最小系统及其与 ARM 相连的电路设计和扩展的电路设计。其中，采用了 ARM 作为主控板，以 FPGA 为辅助控制器，组合的方式来对激光打标控制系统进行控制。FPGA 最小系统和外接口电路来实现对打标数据和控制数据作为控制激光打标设备的发送信号，然后完成外围电路的硬件设计，并对控制系统采用了一些抗干扰的措施，能够提高控制系统的安全正常的运行。

(5) 本控制系统中，字符打标采用了调用 windows API 函数去获取 TureType 字体轮廓来进行矢量的打标。

(6) 对激光打标控制系统进行了图形用户界面设计，为人机交互界面提供便利的交流平台，这样可以很快的速度让用户了解打标控制的操作流程以及使用的功能，这样可以有效的减少用户对控制系统的误操作，并进行提示正确的操作方法，能够有效提高打标的质量和打标的速度。

7.2 研究展望

本设计基本到达了设计的要求，但从今后的发展趋势来看，还有以下几点需要进一步改进与完善：

(1) 从激光打标应用技术软件的开发上来看，本系统的软件部分只能够实现了硬件功能的调试，在后续的研究中，还需要进一步开发软件系统，实现打标协议的控制、打标速度以及精度的控制等方面。

(2) FPGA 芯片的利用主要局限于初步的应用，后续的研究和学习中还得进一步完善，例如如何将复杂的插补算法在 FPGA 中来实现。

(3) 文字处理方面，软件处理速度比较慢，需要算法进行优化，以更好的达到用户对打标速度的需求。

(4) 随着网络技术不断发展的步伐，在应用领域中，范围越来越广泛，已经融于我们生活的每个角落。在激光打标应用中加入互联网技术，使生产车间的所有打标生产线可以再控制室内进行集中控制和监控，甚至介入以太网互联网进行远程监控，这也许会成为来激光打标机的一个发展方向，这会有效地减少监控人员的工作量和提高达标效率。

(5) 由于个人能力和时间上的限制，在硬件和软件对系统的控制还有一些工作没有完成，离真正实现一个完整激光打标控制系统还有一定的距离，需要以后做更深入的研究与学习。通过这些问题来逐步的完善，激光打标机在未来激光打标市场具有更大的发展潜力和优势，在激光打标市场上展现出了相当强大的竞争力。

参考文献

- [1]林树忠,孙会来.激光加工技术的应用及发展[J].河北工业大学学报.2004(02).
- [2]王忠生,王兴媛,孙继凤.激光的应用现状与发展趋势[J].光机电信息.2007(08).
- [3]陈苗海.国内外激光加工产业和市场发展概况[J].光机电信息,2004,09:1-11.
- [4]朱海燕.激光标识技术迈入不断更新时代[J].中国包装工业,2012,14:48-51.
- [5]曹凤国.激光加工技术[M],科学出版社.2007:1.
- [6]邓树森.我国激光加工产业现状及市场展望[J].光机电信息.2007(2):19~22.
- [7]韩峰,孙一翎,吴庆阳,袁霞,刘承香,黄海漩,黎国强,袁振东,徐平.激光打标字符识别技术探索[A].中国光学学会.中国光学学会2011年学术大会摘要集[C].中国光学学会:,2011:1.
- [8]李玉翔,蔡彬晶,王涛,姚建铨,王鹏.一种激光打标控制系统的软件研究[J].激光杂志,2007,04:64-65.
- [9]季轶群,刘红军,沈为民.F- θ 镜头的光学设计[J].光子学报,2007,01:73-76.
- [10]孙国斌,弥谦.光学扫描振镜的振镜转角与扫描角度变化关系的研究[A].陕西省光学学会、中国光学学会高速摄影与光子学专业委员会.2010年西部光子学学术会议摘要集[C].陕西省光学学会、中国光学学会高速摄影与光子学专业委员会:,2010:1.
- [11]徐骏平,胡兵,张平化,应花山,郭飞.USB接口技术在激光打标中的应用[J].激光杂志,2006,03:77-78.
- [12]闫伟强.基于ARM+FPGA的激光打标机控制器设计[D].[硕士学位论文].南京:南京理工大学,2010.
- [13]王健.激光打标机控制系统软件平台构建及矢量打标控制研究[D].[硕士学位论文].南京:南京理工大学,2010.
- [14]张飞.电子花样机控制系统的设计与实现[D].[硕士学位论文].沈阳:中国科学院研究生院,2012.
- [15]周明刚,陈琳.一种激光打标机绘制PLT图形的实现方法[J].襄樊学院报,2002,23(2):65-68.
- [16]宋志明.基于嵌入式系统的激光打标控制软件设计[D].[硕士学位论文].南京:南京理工大学,2010.
- [17]陈贤.激光矢量打标内容生成方法的研究与实现[D].[硕士学位论文].南京:南京理工大学,2010.
- [18]黄兴鑫.基于FPGA的激光打标系统的设计与实现[D].[硕士学位论文].云南:云南大学硕士论文,2007.

- [19]Edward F Plinski,Jerzy S Witkowski,Krzysztof M Abramski. Diffractive scanning mechanism for laser marker[J]. Optics and Laser Technology,2000,321.
- [20]Anonymous. Laser Marker for Day/Night Visibility[J]. Plastics Technology,2008,541.
- [21]Tsung-Chiang Wu. Improve space positioning recognition of laser marker to promote the operating efficiency of Ground LiDAR—A case of FARO Photon 120[J].Optics and Lasers in Engineering,2012,505.
- [22]Anonymous. LASER MARKER DESIGNED FOR HARSH ENVIRONMENTS[J]. Modern Machine Shop,2013,859.
- [23]Lowke. Predicted electron transport coefficients and operating characteristic of CO₂: N₂: He laser mixtures.J Appl Phy,1993,(44):4664~4671.
- [24]郭洪,董杰,郑义. 阵列式 CO₂ 激光打标机控制系统的设计[J]. 激光杂志. 2003(04).
- [25]邓志翔,王永骥. 基于 VC++6.0 的通用激光打标软件设计[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2007, 01:154-156.
- [26]吴建新. 新型激光打标系统的设计[J]. 电子元器件应用. 2007(10).
- [27]张定群,杨新锋. 激光打标机数字控制系统的设计与开发[J]. 微计算机信息, 2008, 23:137-138+166.
- [28]汪绍荣,罗三强. 基于 FPGA 的新型激光打标控制系统的设计[J]. 微计算机信息, 2009, 11:228-229+186.
- [29]岑鼎生. 激光打标机打标内容编辑方法[J]. 机电技术, 2003, S1:349-351.
- [30]Ming-Fei Chen, Yu-Pin Chen, Wen-Tse Hsiao, A scribing laser marking system using DSP controller [J]. Optics and Lasers in Engineering, Vol.46,410-418(2008).
- [31]Chern-Sheng Lin, JuiTsungHuang, Tzu-ChiWei, High speed and high accuracy inspection of in-tray laser IC marking using line scan CCD with a new calibration model[J], Optics & Laser Technology, Vol.43,218-225 (2011).
- [32] Jun Xie, Shuhuai Huang, Zhengcheng Duan, Correction of the image distortion for laser galvanometric scanning system[J], Optics & Laser Technology, Vol.37,305-311 (2005).
- [33]Janez Diaci, Drago Bracun, Ales Gorkic,et.al,Rapid and flexible laser marking and engraving of tilted and curved surfaces[J],Optics and Lasers in Engineering,Vol.49,195-199 (2011).
- [34]S.M. Yan, Distortion and Compensation in two Dimensions Galvanometer Optical Scanning System [J],Applied Laser, Vol.10,257-258 (1990).
- [35]宋庆国. 激光打标控制系统的设计与实现[D]. [硕士学位论文]. 武汉:华中科技大学, 2009.

- [36]刘平卫. 基于 ARM 和 FPGA 的激光打标机研制[D]. [硕士学位论文]. 南京:南京林业大学, 2011.
- [37]田东红. 激光打标机开放式数控系统的研究[D]. [硕士学位论文]. 天津:天津大学, 2007.
- [38]熊丽萍. 基于 USB 和 FPGA 技术的激光打标控制卡的研究与开发[D]. [硕士学位论文]. 武汉:华中师范大学, 2009.
- [39]麻宏宇. 基于 PCI 总线控制的高速激光打标硬件开发[D]. [硕士学位论文]. 长春:长春理工大学, 2009.
- [40]Wang, H.F. Gao, D.C. Wang, Distortion Analysis and Algorithm Research On Laser Galvanometer Scanning[J], New Technology & New Process, 19-22, (2009).
- [41]Chen XH. Research of the mirror laser marking machine[J].Chin Natl Knowledge Infrastruct, 2003:32-40.
- [42]Liu Q, Tan QQ, Zheng Y. The control system design for arrayed online CO2 laser marker[J]. Laser Infrared, Vol. 35,80-82,(2005).
- [43]汪再兴, 朱永谦, 王紫婷. 基于 FPGA 的激光振镜打标控制系统设计[J]. 自动化与仪器仪表, 2012, 06:61-62+65.
- [44]岑鼎生. 激光打标机打标内容编辑方法[A]. 福建省机械工程学会、福建省汽车工程学会、福建省航空学会、福建省造船工程学会. 福建省科协第三届学术年会装备制造业专题学术年会论文集[C]. 福建省机械工程学会、福建省汽车工程学会、福建省航空学会、福建省造船工程学会:, 2003:3.
- [45]田会峰. 变色激光打标控制系统的设计与实现[J]. 自动化与仪表, 2009, 11:57-60.
- [46]Sabo DA. Advantages of digital servo amplifiers for control of a galvanometer based optical scanning system[J]. SCANLAB; 2006.
- [47]Ming-Fei Chen, Yu-Pin Chen, Wen-Tse Hsiao, et.al. A scribing laser marking system using DSP controller[J], Optics and Lasers in Engineering, Vol.46, 410-418(2008).
- [48]宁国勤. 激光打标控制系统的研究与实现[D]. [硕士学位论文]. 武汉:华中师范大学, 2002.
- [49]赵鹏. 激光扫描控制系统与软件的研究[D]. [硕士学位论文]. 天津:河北工业大学, 2005.
- [50]K Venkatakrishnan, B Tan B K ANgo. i Two-axis-scan—ning laser Doppler vibrometer for precision engineering[J]. Optics and Lasers in Engineering, 2002, 38:153-171.
- [51]Jim Nichols, Ted Bapty. A model-based self-adaptive approach to image processing. Engineering of Computer-Based Systems, 2004. 11: 41-45.

- [52] Gong Zhiming, Huang Sheng, Zeng Hao and Chen Xiaoqi, CNC laser marking on freeform surfaces without prior geometrical information, Proceedings of the 2002 IEEE/RSJ, 2002, 10:1862-1867.
- [53] Paul Robertson, J. Michael Brady. Adaptive Image Analysis for Aerial Surveillance. IEEE Intelligent Systems, 1999, 14(2):30-36.
- [54] Takenaka H. Output Characteristics of Industrial YAG lasers over 1kw Power in CW and Quasi CW Mode. SPIE Proc, 1998, 8:40-45.
- [55] 廖洪海. 基于 USB 接口的激光打标控制器设计[D]. [硕士学位论文]. 武汉:华中科技大学, 2005.
- [56] 徐骏平. 基于 USB 接口的激光打标控制器的驱动程序设计[D]. [硕士学位论文]. 武汉:华中科技大学, 2006.
- [57] 吴仲城, 虞承端, 戈瑜. Nd:YAG 激光打标机控制系统的设计[J]. 测控技术, 1999, 12:54-56

附录

附录 I 本人在攻读学位期间所发表的论文及专利

- [1] 杨杰, 王定云, 王萌. 气象卫星接收机的设计[J]. 电脑知识与技术, 2013. 9(35): 8164-8165.
- [2] 夏伟, 薛勇, 杨杰. 基于 Buck 变换器的双环开关调节系统的设计和仿真[J]. 电子世界 2013. (12): 174
- [3] 吴瑜, 杨杰, 于洋. 废旧纸张微生物降解回收利用的方法: 中国, CN103011912A[P], 201210533365. 2013. 04. 03.
- [4] 吴瑜, 袁威, 杨杰. 一种高效吸湿排汗功能的锦纶和锦纶混纺面料的加工方法: 中国, CN1024931659A[P], 201110412033. 2012. 06. 13.
- [5] 吴瑜, 杨杰, 于洋. 利用抑菌剂制造抑菌的鞋底、鞋内里或鞋垫的方法: 中国, CN103015160A[P], 201210551269. 2012. 04. 03.
- [6] 吴瑜, 林若泰, 杨杰. 生产具备保水且可生物降解肥料的方法: 中国, CN103012012A[P]: 201210531710. 2013. 04. 03
- [7] 吴瑜, 袁威, 杨杰. 一种具备快速高效吸湿排汗功能的羊毛涤纶混纺面料的加工方法: 中国, CN102517876A[P]. 201110412016. 2012. 06. 27.
- [8] 吴瑜, 袁威, 杨杰. 一种较好吸湿性棉毛混纺和棉毛为主的混纺服用面料的加工方法: 中国, CN102517878A[P]. 201110412050. 7. 2012. 06. 27.
- [9] 吴瑜, 杨杰. 利用絮凝剂处理污水的方法: 中国, CN102992459A[P]. 201210533340. 2013. 03. 27.
- [10] 吴瑜, 袁威, 杨杰. 一种快速高效吸湿性能的涤棉和以涤棉为主的混纺面料的加工方法: 中国, CN102493167A[P]. 201110412477. 2012. 06. 13.
- [11] 吴瑜, 袁威, 杨杰. 一种具备快速高效吸湿排汗功能的羊毛及羊毛混纺织的加工方法: 中国, CN102517880A[P]. 201110412459. 2012. 06. 27.
- [12] 吴瑜, 杨杰. 利用废旧纺织品制造香味装饰物的方法: 中国, CN103008330A[P]. 201210551268. 2013. 04. 03.
- [13] 吴瑜, 杨杰, 李健. 纺织浆料回收再利用的方法: 中国, CN103215802A[P]. 201210531511. 2013. 07. 24.
- [14] 吴瑜, 杨杰, 于旻荣, 苏正夫, 蔡钢锋, 王志坚. 通过掺杂稀土元素获得中子防护面料的方法: 中国, CN102995389A[P]. 201210534855. 2013. 03. 27.

致谢

时光飞逝，转眼三年硕士研究生学习生活临近结束之际，心中感慨万分，在此特别感谢我的导师吴瑜老师和李宇老师。在此衷心的感谢两位老师对我的指导。本论文从最初的开题到课题研究以及论文最终的定稿都离不开吴瑜老师和李宇老师的悉心指导和关心。在整个论文研究和工作期间，李宇老师严谨的治学态度、渊博的知识、诲人不倦的精神给我留下了深刻的印象，让我受益匪浅。在三年的研究生学习里，两位导师在我的学习、工作以及生活上给予了我无微不至的关怀。我不仅学习了丰富的知识，更学到了做人做事该有的态度。在学习、课题研究以及论文的写作过程中李宇老师始终给予了我大力的支持，关系我的写作进程。至此论文完成之际，在此，谨向吴瑜老师和李宇老师致以我崇高的敬意和最诚挚的感谢！

同时，感谢电子与电气工程学院的院领导以及武汉理工大学尹勇教授对我无私的帮助。感谢电子与电气工程学院对我的培养。在此，感谢研究生处的各位领导和老师对我工作和生活给予了我无私的帮助和关怀。

此外，感谢我的师兄师姐，感谢他们对我入学以来的教诲和帮助。感谢我的师弟师妹，感谢我的挚友谢屈波、吴琼飞、王萌、黄睿等人在我学习和生活中给予了我极大的帮助，你们的友情是我无比的动力！

要特别感谢我的父爸爸妈妈、弟弟和妹妹，感谢他们为我求学给予极大的支持和关怀，是他们给予我巨大的精神鼓励，从考研的艰难历程走过来，顺利完成学业，我的所有进步都是你们背后的支持。

谨此文献给所有支持、关心、帮助和教诲过我的人们，

最后，衷心感谢为评阅本论文而付出辛勤劳动的各位专家和学者。