

国内激光打标现状及发展前景

华中科技大学激光加工国家工程研究中心 廖洪海 胡兵

广州安特激光技术有限公司 陈义红

摘要: 本文简要介绍了国内激光打标的发展历程,着重介绍了目前国内激光打标的技术现状和市场现状,并对其技术和市场的发展前景作了展望。

关键词: 激光打标; 激光器; 振镜

Review of Laser Marking in China

Liao Honghai, Hu Bing, National Engineering Research Center for Laser Processing, Huazhong University of Science & Technology

Chen Yihong, China Lasers (Wuhan) Co., Ltd

Abstract: The development course of domestic laser marking is introduced. Especially the current status of the domestic laser marking technology and market are described in details and the future development of the technology and market is predicted.

Key words: laser marking; laser system; galvanometer

一. 概述

激光打标是在激光焊接、激光热处理、激光切割、激光打孔等应用技术之后发展起来的一门新型加工技术,是一种非接触、无污染、无磨损的新标记工艺。近年来,随着激光器的可靠性和实用性的提高,加上计算机技术的迅速发展和光学器件的改进,促进了激光打标技术的发展。

激光打标是利用高能量密度的激光束对目标作用,使目标表面发生物理或化学的变化,从而获得可见图案的标记方式。高能量的激光束聚焦在材料表面上,使材料迅速汽化,形成凹坑。随着激光束在材料表面有规律地移动同时控制激光的开断,激光束也就在材料表面加工成了一个指定的图案。激光打标与传统的标记工艺相比有明显的优点:

- (1) 标记速度快,字迹清晰、永久。
- (2) 非接触式加工,污染小,无磨损。
- (3) 操作方便,防伪功能强。
- (4) 可以做到高速自动化运行,生产成本低。

二. 国内激光打标的发展历程

激光打标设备的核心是激光打标控制系统,因此,激光打标的发展历程就是打标控制系统的发展过程。从 1995 年到 2003 年短短的 8 年时间,控制系统在激光打标领域就经历了大幅面时代、转镜时代和振镜时代,控制方式也完成了从软件直接控制到上下位机控制到实时处理、分时复用的一系列演变,如今,半导体激光器、光纤激光器、乃至紫外激光的出现和发展又对光学过程控制提出了新的挑战。

1. 大幅面时代

所谓大幅面,刚开始是将绘图仪的控制部分直接用于激光设备上,将绘图笔取下,在(0,0)点 X 轴基点、Y 轴基点和原绘图笔的位置上分别安装 45° 折返镜,在原绘图笔位置下端安装小型聚焦镜,用以导通光路及使光束聚焦。直接用绘图软件输出打印命令即可驱动光路的运行,这种方式最明显的优势是幅面大,而且基本上能满足精度比较低的标刻要求,不需要专用的标刻软件;但是,这种方式存在着打标速度慢、控制精度低、笔臂机械磨损大、可靠性差、体积大等缺点。因此,在经历最初的尝试后,绘图仪式的大幅面激光打标系统逐步退出打标市场的,现在所应用的同

类型的大幅面设备基本上都是模仿以前这种控制过程，用伺服电机驱动的高速大幅面系统，而随着三维动态聚焦振镜式扫描系统的逐步完善，大幅面系统将逐步从激光标刻领域销声匿迹。

2. 转镜时代

由于看到大幅面系统的一系列缺点，在高速振镜技术还没有在中国广泛普及的情况下，一些控制工程师自行开发了由步进电机驱动的转镜式扫描系统，其工作原理是将谐振腔中导出的激光通过扩束，经过成 90°安装的两个步进电机驱动的金镜的反射，由 F-theta 场镜聚焦后输出作用于处理对象上，金镜的转动使工作平面上的激光作用点分别在 X、Y 轴上移动，两个镜面协同动作使激光可以在工作平面上完成直线和各种曲线的移动。这种控制过程无论从速度还是定位精度来说都远超过大幅面，因此在很大程度上能满足工具行业对激光控制的要求，虽然同当时国际上流行的振镜式扫描系统还有比较明显的差距，但严格来说这种设计思路的出现和逐步完善代表着中国激光应用的一个里程碑，是中国完全能自行设计和生产激光应用设备的典型标志。直到振镜在中国大规模应用的兴起，这种控制方式才逐步退出中国激光应用的舞台。

3. 振镜时代

1998 年，振镜式扫描系统在中国的大规模应用开始到来。所谓振镜，又可以称之为电流表计，它的设计思路完全沿袭电流表的设计方法，镜片取代了表针，而探头的信号由计算机控制的 -5V—5V 的直流信号取代，以完成预定的动作。同转镜式扫描系统相同，这种典型的控制系统采用了一对折返镜，不同的是，驱动这套镜片的步进电机被伺服电机所取代，在这套控制系统中，位置传感器的使用和负反馈回路的设计思路进一步保证了系统的精度，整个系统的扫描速度和重复定位精度达到一个新的水平。

三. 国内激光打标的技术现状

目前国内的激光打标按其工作方式可分为掩模式打标、阵列式打标和扫描式打标。

1. 掩模式打标

掩模式打标又叫投影式打标。掩模式打标系统由激光器、掩模板和成像透镜组成，其工作原理(如图 1 所示)是在

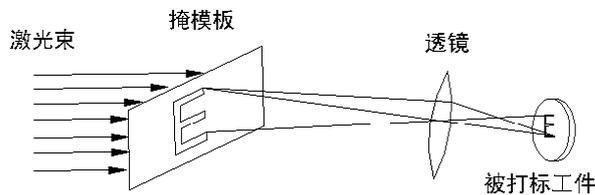


图 1 掩模式打标原理

一块模板上，将待打标的数字、字符、条码、图像等雕空，做成掩模，经过望远镜扩束的激光，均匀的投射在事先做好的掩模板上，光从雕空部分透射。掩模板上的图形通过透镜成像到工件（焦面）上。通常每个脉冲即可形成一个标记。受激光辐射的材料表面被迅速加热汽化或产生化学反应，发生颜色变化形成可分辨的清晰标记。掩模式打标一般采用 CO₂ 激光器和 YAG 激光器。掩模式打标主要优点是

一个激光脉冲一次就能打出一个完整的、包括几种符号的标记，因此打标速度快。对于大批量产品，可在生产线上直接打标。缺点是打标灵活性差，能量利用率低。

2. 阵列式打标

阵列式打标系统如图 2 所示，它是使用几台小型激光器同时发射脉冲，经反射镜和聚焦透镜后，使几个激光脉冲在被打标材料表面上烧蚀（熔化）出大小及深度均匀的小凹坑，每个字符、图案都是由这些小圆黑凹坑构成的，一般是横笔划 5 个点，竖笔划 7 个点，从而形成 5×7 的阵列。阵列式打标一般采用小功率射频激励 CO₂ 激光器，其打标速度最高可达 6000 字符 / 秒，因而成为高速在线打标的理想选择，其缺点是只能标记点阵字符，且只能达到 5×7 的分辨率，对于汉字无能为力。

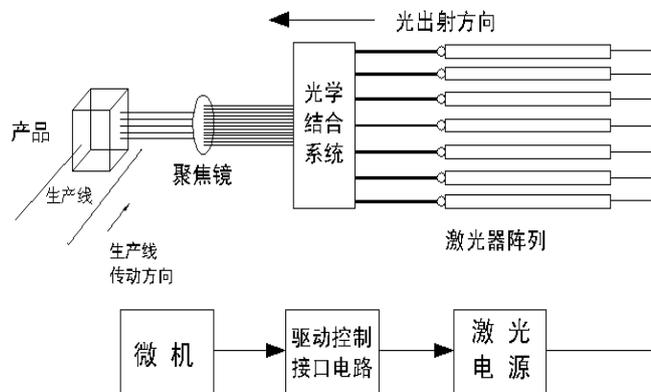


图 2 阵列式打标原理

3. 扫描式打标

扫描式打标系统由计算机、激光器和 X-Y 扫描机构三部分组成，其工作原理是将需要打标的信息输入计算机，计算机按照事先设计好的程序控制激光器和 X-Y 扫描机构，使经过特殊光学系统变换的高能量激光光点在被加工表面上扫描运动，形成标记。

通常 X-Y 扫描机构有两种结构形式：一种是机械扫描式，另一种是振镜扫描式。

(1) 机械扫描式

机械扫描式打标系统不是采用通过改变反射镜的旋转角度去移动光束，而是通过机械的方法对反射镜进行 X-Y 坐标的平移，从而改变激光束到达工件的位置，这种打标系统的 X-Y 扫描机构通常是用绘图仪改装（如图 3 所示）。其工作过程：激光束经过反光镜①、②转折光路后，再经过光笔（聚焦透镜）③作用射到被加工工件上。其中绘图仪笔臂④只能带着反光镜①和②沿 X 轴方向来回运动；光笔③连同它上端的反光镜②（两者固定在一起）只能沿 Y 轴方向运动。在计算机的控制下（一般通过并口输出控制信号），光笔在 Y 方向上的运动与笔臂在 X 方向上的运动合成，可使输出激光到达平面内任意点，从而标刻出任意图形和文字。

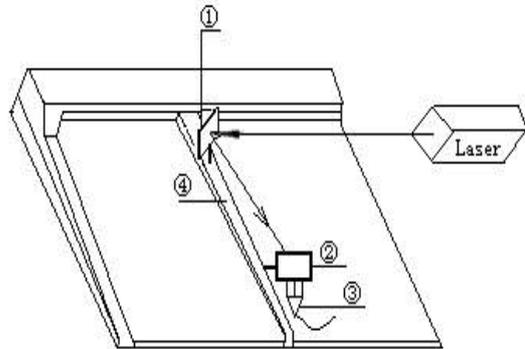


图 3 机械扫描式打标原理

(2) 振镜扫描式

振镜扫描式打标系统主要由激光器、XY 偏转镜、聚焦透镜、计算机等构成。其工作原理是将激光束入射到两反射镜（振镜）上，用计算机控制反射镜的反射角度，这两个反射镜可分别沿 X、Y 轴扫描，从而达到激光束的偏转，

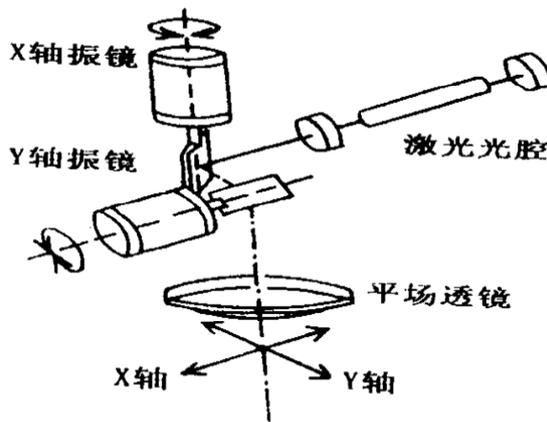


图 4 振镜扫描式打标原理

使具有一定功率密度的激光聚焦点在打标材料上按所需的要求运动，从而在材料表面上留下永久的标记，聚焦的光斑可以是圆形或矩形，其原理如图 4 所示。在振镜打标系统中，可以采用矢量图形及文字，这种方法采用了计算机中图形软件对图形的处理方式，具有作图效率高，图形精度高，无失真等特点，极大的提高了激光打标的质量和速度。同时振镜式打标也可采用点阵式打标方式，采用这种方式对于在线打标很适用，根据于不同速度的生产线可以采用一个扫描振镜或两个扫描振镜，与前面所述的阵列式打标相比，可以标记更多的点阵信息，对于标记汉字字符具有更大的优势。

振镜扫描式打标系统一般使用连续光泵工作波长为 $1.06\ \mu\text{m}$ 的 Nd:YAG 激光器，输出功率为 $10\sim 120\text{W}$ ，激光输出可以是连续的，也可以是 Q 开关调制的。近年发展的

射频激励 CO_2 激光器，也被用于振镜扫描式激光打标机。

振镜扫描式打标因其应用范围广，可进行矢量打标和点阵打标，标记范围可调，而且具有响应速度快、打标速度高（每秒钟可打标几百个字符）、打标质量较高、光路密封性能好、对环境适应性强等优势已成为主流产品，并被认为是代表了未来激光打标机的发展方向，具有广阔的应用前景。

目前用于打标的激光器主要有 Nd:YAG 激光器和 CO_2 激光器。Nd:YAG 激光器产生的激光能被金属和绝大多数塑料很好地吸收，而且其波长短（为 $1.06\ \mu\text{m}$ ），聚焦的光斑小，因而最适合在金属等材料上进行高清晰度的标记。 CO_2 激光器产生的激光波长为 $10.6\ \mu\text{m}$ ，木制品、玻璃、聚合物和多数透明材料对其有很好的吸收效果，因而特别适合在非金属材料上进行标记。

Nd:YAG 激光器和 CO_2 激光器的缺点是对材料的热损伤及热扩散比较严重，产生的热边效应常会使标记模糊。相

比之下，由准分子激光器产生的紫外光打标时，不加热物质，只蒸发物质的表面，在表面组织产生光化学效应，而在物质表层留下标记。所以，用准分子激光打标时，标记边缘十分清晰。由于材料对紫外光的吸收大，激光对材料的作用只发生在材料的最表层，对材料几乎没有烧损现象，因此准分子激光器更适合于材料的标记。

四. 国内激光打标的市场现状

国家自“六.五”计划起支持激光加工项目，“七.五”末至“八.五”初期开始出现激光加工系统的专业生产企业。国产激光加工系统的销售额从1991年的1518万元，增至2003年的9.8亿元，13年增长64倍。激光标刻系统是其中代表产品之一，其在激光加工设备中的比例最高而且正在逐年提高。

目前，国内从事激光标刻系统生产和销售的企业大概有30多家，主要分布在武汉、北京、深圳、南京和广州等地。

通过各地光电子、激光行业协会和激光设备生产企业对近三年多来全国激光行业激光设备的销售情况进行调查、统计和分析，2001年、2002年、2003年我国激光加工设备销售统计与分析的各类数据简要归纳如下：

2001年我国激光加工产品市场销售总额为5.8亿元；2002年为7.4亿元；2003年销售额为9.8亿元。其中激光标刻系统的销售额2001年为1.9亿元，2002年为2.48亿元，2003年为3.33亿元，分别占当年激光加工销售总额的32.7%、33.5%、34.0%。

在激光标刻系统中，YAG激光打标机2001年的销售额为1.45亿元，2002年为1.9亿元，2003年为2.5亿元；2001年YAG激光打标机销售总量为864台，2002年为1142台，2003年达1600台。

从以上数据，我们可以看出：1.激光标刻系统的销售额在逐年稳步提高，其在激光加工销售总额的比例也在不断增加；2.YAG激光打标机在激光标刻系统中占据着绝对统治地位。

五. 国内激光打标的发展前景

激光打标系统是综合了激光技术和计算机技术的光、机电一体化系统，当今激光技术和计算机技术的发展为激光打标技术的发展带来了前所未有的机遇和挑战。

目前，在振镜式扫描激光打标系统中，硬件控制电路都是基于计算机ISA总线或者PCI总线而设计的，必须安装在计算机主板的ISA总线或PCI总线扩展槽中。这种方式使得1台计算机控制打标机的台数受到了限制（现在绝大部分情况是1台计算机控制1台打标机）。另外，硬件安装于计算机主板上，给整个系统的稳定运行带来影响，降低了打标系统的稳定性，同时也增加了打标机的成本和体积。

USB的出现和发展使得激光打标硬件控制电路脱离计算机ISA总线或者PCI总线成为可能。USB2.0的传输速率可达480Mbit/s，完全可以胜任激光打标对数据传输速率的要求，而且，它可以支持1台计算机同时连接127台设备，这样就可以用1台计算机同时控制几台打标机而不必增加额外的费用，而且打标机也可以不带计算机进行销售，从而降低了打标机的价格。

现在激光打标使用的Nd:YAG激光器都是以氙灯或氙灯来泵浦的，其泵浦效率很低，致使激光器的总效率只能达到2%~5%，这意味着绝大部分所加于泵浦灯的电功率都转化为热量。因此，这种激光打标机都配有庞大的冷却系统，其体积可占整个系统体积的40%。

近几年出现的半导体激光泵浦的固体激光器，其总体转换效率可达20%以上，因而可以大大缩小激光器冷却系统的体积，这就为激光打标机向轻型化、小型化方向发展创造了条件。而近年来出现的大功率光纤激光器，其散热性能好、转换效率高（是半导体激光泵浦的固体激光器的2倍以上）、激光阈值低、可调谐范围宽、光束质量好、免维护和价格低廉、制作灵活等显著优势，更加促进了激光打标向轻型化、小型化方向发展。

激光打标技术目前在国内外工业上的应用正被人们逐渐重视，各种新型的打标系统层出不穷，它以其独特的优点正在取代传统的标记方法，如：冲压、印刷、化学腐蚀等，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、工具甚至食品包装等物体表面上，标记出汉字、英文字符、数字、图形等，从而在这些领域取得了广泛的应用。国际上一些发达国家已将该技术作为工业加工的工艺标准，我国也非常重视这一技术，国家科委已将该技术列为“八五火炬计划”进行研制和推广。现在它已经引起了国内越来越多生产厂家的重视，必将会代替传统的标记工艺，给产品生产注入新的活力。因此，激光打标具有巨大的发展潜力和广阔的市场前景。

六. 典型激光打标样品和打标机



图 5 纽扣
50W 射频 CO₂ 激光器
方式：标记



图 6 晶振
30W~50W 调 Q 灯泵 YAG 激光器
方式：标记



图 7 手机键盘
调 Q 灯泵 YAG 或调 Q 二极管泵 YAG 激光器
方式：雕刻



图 8 典型的振镜式 YAG 激光打标机

参考文献：

1. 罗念文. 基于计算机并口控制的激光打标控制器的设计. 华中科技大学硕士论文, 2003年5月
2. 程勇. 激光标刻技术. 激光技术, 1996年第17卷第4期
3. 苏红新. 激光打标的应用趋势. 光电子技术与信息, 1998年6月
4. 丁新玲. 激光打标工艺技术. 航天工艺, 1999年12月第6期
5. 邓树森. 我国激光加工产业现状及展望. 激光集锦, 2001年第11卷第3期
6. 张育川. 国内外光电子产业的发展. 激光集锦, 2001年第11卷第3期
7. 贾正根. 激光加工呈强势发展. 世界产品与技术, 2002年9月
8. 孙华. 激光璀璨 前景辉煌——全球激光产业发展及市场前景展望. 科技创业月刊, 2002年第9期
9. 田兴志编译. 激光加工现状及21世纪的展望. 光机电信息, 2003年第2期
10. 2001至2003年中国激光加工设备销售统计与分析, www.antelaser.com
11. 中国激光标刻控制系统发展备忘录, 光电论坛, www.oecr.com