

# YAG 激光打标机光笔中会聚出纤光的光学系统

孙振东 吴庚生  
(清华大学电子工程系, 北京, 100084)

**摘要:** 智能化大幅面激光打标机中的光笔, 采用本文叙述的光学系统会聚多模石英光纤出射的大功率 YAG 激光, 通常能以小于 0.2mm 的线宽长时间连续地在工件上刻划, 仔细调焦后线宽达 0.1mm; 手持此光笔可进行人工刻写、画及焊接电子元件等。

**关键词:** 激光打标 Nd: YAG 激光 聚焦 多模光纤

## A focussing optical system of multimode fiber output for large size marker

Sun Zhendong, Wu Gengsheng  
(Department of Electronic Engineering, Tsinghua University)

**Abstract:** A optical system, used as an optical pen in a large size marker, is employed to focus the Nd: YAG laser beam transmitted with the optical fiber. The focused beam diameter can be less than 0.2mm or 0.1mm and can be controlled by hand. The optical pen may mark the workpiece or welding electronic elements.

**Key words:** laser mark Nd: YAG laser focus multimode fiber

### 一、引言

激光打标以其众多独特的优越性能在许多范围得到越来越广泛的应用, 各种 YAG 激光打标机更显突出<sup>[1]</sup>。其中, 用光纤作传输大功率 YAG 激光介质的打标机, 不仅对大、小幅面的工件能打标, 而且还能对某些工件的某些特殊位置进行标记及焊接排布密集的电子元件等。

在研制的这种打标机中, 我们设计出了一种光学系统, 用于对多模光纤出射的大功率 YAG 激光再聚焦。光学系统装配在精心设计的带有调焦机构的金属外壳中构成光笔。光笔在微机(或人手)的控制下规则移动, 实现了在较长时间内以较细的线宽对工件打标等的功能。

### 二、与会聚光学系统有关的几点考虑

1. 由多模光纤出射的光较由激光器直接输出的光发散角大很多, 因此要设法压缩出纤光的发散角。

2. 不同打标工件有不同的吸光(对  $1.06\mu\text{m}$ ) 系数<sup>[2]</sup>, 但都要有一定的刻痕深度。这要求在光源、导光光纤和耦合条件一定的情况下, 由光学系统会聚出射的光能量密度尽可能大。因此, 光学系统结构要简单, 光学元件材料要能承受高辐射功率, 吸光系数及对激光束的反射要小, 并应对光学元件镀增透介质膜。

3. 光纤传输的是大功率激光, 对较大幅面的工件打标要用较长的时间。因此要求系统中光学元件口径要足够, 以致不会有太多的光能损失而使光笔发烫; 但又不能过大, 以免造成光

笔外形太大及持笔者太大、太重。

4. 刻划线宽要细,以能体现打标图案的细微部分,这要对 YAG 激光扩束且选用短焦距透镜;但在打标过程中,大功率 YAG 激光对工件的烧蚀、汽化溅射,会污损聚焦光学元件,这又要求工作距应尽量大,即选取长焦距透镜聚焦。这是一对矛盾,它应根据任务要求作折衷考虑得到解决。

5. 要做到对大和小幅面的工件以不同线宽都能打标,就要求系统中某些光学元件容易更换或调节。

### 三、会聚光学系统

会聚光学系统由三部分组成,如图 1 所示。它是经综合考虑出纤激光的特性及其能量利用,光学元件的参数、材料、加工及在光笔中的装校等,解决矛盾,优化而成的。

I 准会聚系统, I 的作用是压缩出纤光的发散角,变换出纤光束的特性,提高对后续光学系统的聚焦效率。其中的光学元件焦距、口径或相对孔径大小及它们与光纤端面的位置参数都要折衷考虑优化。

II 扩束准直系统, II 的作用是在 I 的基础上对大功率 YAG 激光进一步扩束准直。采用重焦状态的倒伽利略望远镜系统,其中的副镜(焦距  $F_1$ )口径要与 I 中光学元件口径相匹配,主镜(焦距  $F_2$ )的位置能做细微调节移动。

此系统决不能采用倒开普勒望远镜系统,否则会在副镜焦点区域击穿空气,损坏光学元件和污损介质镀膜。

该系统的准直倍率可很好地近似用  $F_2/F_1$  来估计计算其中元件的诸参数<sup>[3]</sup>。

III 聚焦系统, III 的作用是将扩束后的激光聚成高能量密度的小光斑。它将方便地采用一定相对孔径的球透镜,即能较好地满足大多数任务的要求;当采用玻璃材料的非球面单正透镜,则可很好地校正球差,得到更小直径的焦斑<sup>[4]</sup>,但它需经精心计算设计加工。

该系统不宜采用胶合透镜组。因是对波长为  $1.06\mu\text{m}$  的单色光聚焦,故设计聚焦透镜时也不需考虑校正色差。

### 四、应 用

以准连续波多模输出的 Nd:YAG 激光器作打标光源,其腔内插有声光 Q 开关,脉宽小于 200ns。泵浦灯电流 20A 下重复率为 1kHz,激光器的峰值功率至少为 40kW。

选用阶跃石英光纤传光,其数值孔径 0.2,内外芯径分别为  $300\mu\text{m}$  和  $600\mu\text{m}$ 。光纤的输入和输出端面均分别经研磨抛光成一定形状。

用制做的光耦合装置将光束对准纤轴以最大效率耦合输入光纤中。试验中,通常进行 20A 以下 1kHz 重复率时 YAG 激光的耦合传输和打标。

会聚光学系统里初选元件参数, I 为单透镜,焦距  $f_0$  是 10mm,口径 11mm,距光纤输出端面 13mm; II 的准直倍率为 3.33,其中元件分别有适当的相对孔径; III 中单透镜的相对孔径是 0.48。整个光学系统长 77mm,可调焦范围 0.5~10mm。各光学元件双面均镀有抗  $1.06\mu\text{m}$  激光损伤的增透介质膜。

在综合考虑 Nd:YAG 激光器的输出功率、激光耦合效率、打标工件材料性质及光笔移动



Fig. 1 The schematic diagram of focusing optical system  
MF - multimode optical fiber; P - marked workpiece; I - quasi-focusing optical system; II - enlarging and aligning optical system; III - focussing optical system

速度后,经仔细调焦,可使刻划线宽达0.1mm,一般线宽小于0.2mm,满足了人们的需要。

戴上手套,可手持光笔在工件的平常不易打标的地方或对竖放的工件刻画标记;又可用于焊接排布密集的电子元件,焊点规整牢固,40min内光笔不是很烫。

该光学系统用0.63 $\mu$ m He-Ne可见红光作准直指示光。

此光学系统是在对三种设计系统做试验比较后选取的,已成功地应用于智能化大幅面YAG激光打标样机中。某些参数、元件还在进一步优化加工中。

两张打标照片见图2。

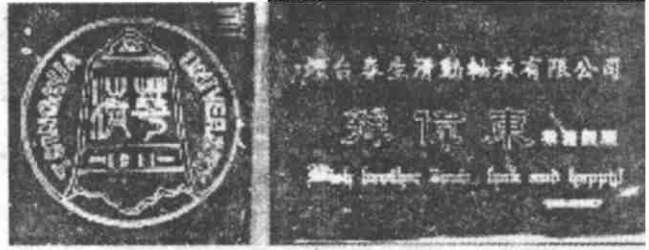


Fig.2 Two marked photographs

### 参 考 文 献

- 1 郭之已,光电子技术与信息,1989;6:13~17
- 2 闫毓禾,钟敏霖,高功率激光加工及其应用,天津:天津科学技术出版社,1994
- 3 郭振华,夏治中,辜建辉 *et al.* 激光杂志,1992;13(1):15~19
- 4 吴福田,冯书文,激光与红外,1994;24(1):48~50



作者简介:孙振东(附照片),男,1963年6月出生,讲师。现主要从事激光器件和激光打标机的研制等研究工作。

吴庚生,男,1946年2月出生,副教授。现主要从事光纤传感技术、光通信器件和激光打标机研制等研究工作。

收稿日期:1994-11-24 收到修改稿日期:1995-08-14

### · 简 讯 ·

## 大型轧辊激光刻花加工装备研究成功

华中理工大学在国家有关部门的领导下,与企业联手,经过4年多的潜心研究,成功研制出了大型轧辊激光刻花加工装备。该装备于1995年7月在武汉重型机床厂联机调试完毕,并对武汉钢铁公司 $\varnothing 660$ mm长1700mm大型轧辊进行激光刻花试生产加工,获得了成功;同时在武钢冷轧厂轧制了300吨冷轧钢板。1995年9月,全套设备运往北京在第四届国际机床展览会上展出,受到各级领导和国内外厂商、专家的好评。目前,该设备已安装在武钢冷轧厂,在生产线上投入运行,可以说是科研成果直接转化为生产力的典范之一。研制该设备的投资仅是进口该设备的七分之一,而以此设备生产的刻花钢板替代进口汽车钢板所节约的外汇更是难以估量。通过联合攻关,研制了高重复率的高功率轴快流CO<sub>2</sub>激光器,并发展了激光刻花中的斩光盘技术,使脉冲频率比电脉冲激光大幅度提高;建立了稳定的导光聚焦系统,激光刻花作用点光斑面积小,且长时间稳定;研制了高精度的稳定可靠的重型轧辊激光刻花加工机床和数控系统;在激光刻花头上安装了轧辊表面检测系统和监控系统,使刻花头能随时跟踪轧辊形状的变化,工作人员能实时了解轧辊激光刻花的质量。

1995年12月21日,该项成果通过了由国家科委组织的“八·五”激光科技攻关专题项目验收。

许德胜 供稿