

# 台式快速成型装置的光学系统研究与开发

杨继全, 侯丽雅, 章维一

(南京理工大学制造工程学院, 江苏 南京 210094)

**摘要:** 快速成型技术是光学、电子、材料、计算机等多学科集成的高新技术。研制的台式快速成型装置具有体积小、成本低的特点, 其制造成本及运行成本仅为同类国外产品的  $1/10 \sim 1/20$ 。论文主要论述了该装置的光学系统设计过程。在首先确定光学系统设计准则的基础上, 通过几种类型的光源比较, 选择性价比高的紫外灯, 并实现了计算机对紫外灯的自动控制, 如光的开启、关闭、能量调节等。该光学系统采用椭球镜及圆锥面透镜等使光束聚焦耦合入光纤, 在锥度光纤输出端, 光束经扩束、准直、聚焦、滤除杂散光后照射在液面处, 由计算机控制的工作台带动光纤, 实现零件的自动加工。设计的光学系统成本低, 光束质量高, 性能稳定。

**关键词:** 快速成型; 计算机控制; 光学系统; 紫外灯

**中图分类号:** TH703; O439 **文献标识码:** A

## 1 引言

作为科学计算可视化与虚拟现实相匹配的高新技术, 快速成型技术提供了一种可测量可触摸的手段, 是设计者、制造者与用户之间的新媒体。快速成型技术目前正向着降低成本、提高效率、简化工艺的方向发展, 其目的是普及和扩大快速成型技术的应用<sup>[1]</sup>。我们研制的台式快速成型装置具有体积小、成本低、材料完全国产化的特点, 尤其适合于国内广大的中小企业。该设备噪音小、重量轻、无三废排放, 可同打印机、复印机等一同用作办公设备。

台式快速成型装置包括机械装置、软件系统、控制系统及光学系统。本文只介绍光学系统的研究与开发过程。

## 2 光学系统设计准则

光学系统主要包括紫外灯、聚光镜、锥度光纤、控制电路等。光学系统的结构见图 1。

设计光学系统时遵循了以下准则:

- 获得尽可能高的光束质量;

照射在液面处的光斑应具有以下特点:

- 波长范围在紫外光谱范围内, 集中于  $330\text{nm} \sim 380\text{nm}$ , 越集中越好;
- 光斑会聚性好, 无明显散斑, 能量密度高;
- 光斑直径小, 有利于提高加工分辨率。

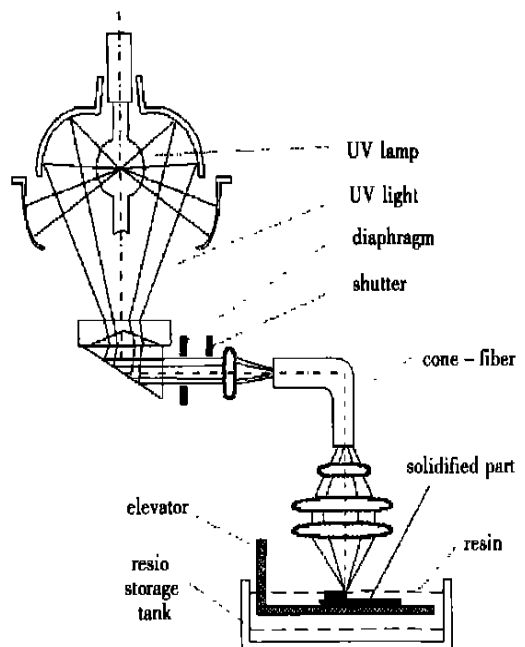


Fig. 1 Structure of the optical system of desktop rapid prototyping and manufacturing

- 体积小、重量轻, 以使成型装置结构紧凑;
- 供电简单、功耗小、维护容易;
- 价格便宜, 易于商品化。

### 3 光源选择及控制

#### 3.1 紫外激光器

系统可选光源主要有: 紫外激光器、可见光激光器、紫外灯。一般常用的树脂固化范围位于紫外光谱范围内, 要求光源的单色性较好, 功率密度较大。因此, 快速成型设备多使用激光器作为光源。用于光造型的激光器通常有以下类型:

He-Cd 激光器, 其紫外线固化树脂能量效率高, 温升较低, 但树脂的吸收系数不易提高, 固化分辨率较低。激光器寿命为 2000h 左右。

紫外线 Ar<sup>+</sup> 激光器, 其树脂的吸收系数可用掺入染料等法得到大幅度提高, 固化分辨率较高, 可达水平方向 2 $\mu$ m, 垂直方向 10 $\mu$ m, 全方位 5 $\mu$ m ~ 10 $\mu$ m, 但能量转化效率较低, 曝光时间较长, 发热量较大。

N<sub>2</sub> 激光器, 其输出功率为 0.1mJ/脉冲 ~ 500mJ/脉冲, 输出波长为 337.1nm, 使用寿命长达数万小时。

另外, 还有目前国际上使用较多的 3 倍频 YAG 激光器等。

以上几种紫外激光器国外的产品价格较高, 一般为几万美元; 国内的产品价格较低, 一般为几万元人民币, 但其体积都较大, 性能不稳定, 因此, 就目前而言, 采用紫外激光器作为光源仍不利于成型装置的商品化。

#### 3.2 可见光激光器

可见光激光器有半导体激光器、Ar<sup>+</sup> 激光器、He-Ne 激光器等。同紫外激光器相比, 采用半导体激光器固化的效果不够理想, 但其价格便宜, 体积非常小, 寿命相当长, 且易于控制, 后两种激光器虽然固化效果比半导体激光器稍强, 但其价格高, 体积大, 无法使系统小型化。随着波长越来越短的半导体激光器的不断研制成功, 将有更廉价、更稳定的光源可供选择。

#### 3.3 紫外灯

紫外灯主要有高压汞灯、脉冲氙灯、氪灯等。紫外灯是干涉性较差的点光源, 且光谱较宽, 而不象激光器, 能输出干涉性强、光谱很窄的平行光, 因此, 波长的选择及光束聚焦是紫外灯的关键性问题。

由于暂时没有与半导体激光器配套的树脂, 因此选用性价比高的紫外灯。紫外灯型号为 BHG-250, 其参数如下:

能量: 365nm 处大于 4000mW/cm<sup>2</sup>

输入电压: AC220, 50Hz/60Hz

功率: 约 314W

冷却方式: 强制空冷

远程遥控电压: DC 5V ~ 24V

该光源由高压汞灯、紫外反射椭球镜、控制电路及插头等组成, 采用双反射系统, 灯下方的发散光束被球面镜反射后再次聚焦到发光中心, 与射向椭球镜的光束聚合, 圆锥面透镜可使光束向中心聚焦, 聚焦光束经再次聚焦、耦合入锥度光纤, 在光纤输出端光束经调制后照射到树脂表面处。

因紫外灯功率较大, 光能集中, 长时间工作温度会增高, 可能会烧坏灯的电路等元气件, 故需采用隔热、散热、光电隔离等装置。

光线的波长可通过改变紫外反射椭球镜表面镀膜层来获得。紫外灯的光谱在 365nm 处分布较集中, 因此, 针对该波长, 开发了成型装置所用的光敏树脂, 该树脂的开发也部分打破了国内需依赖进口该种类型树脂的现状。紫外灯光谱见图 2。

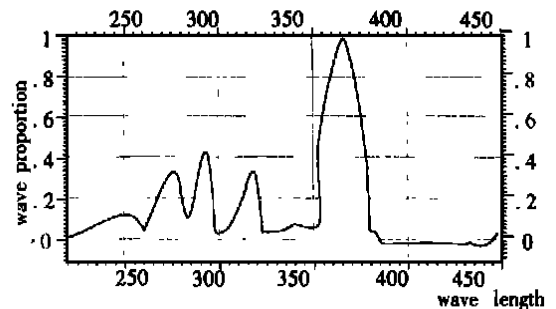


Fig. 2 Spectrogram of the UV lamp

本光源内置有单片机, 使用面板上的按钮和显示器可进行多种操作, 灯的各输入、输出信号采用高抗干扰的光电隔离。

针对加工过程的需要, 实现了计算机对灯的自动控制, 控制功能主要有: 快门开闭、按设定的时间打开或关闭快门、灯的使用时间显示、各种错误信息的表示、63 级光量控制、灯的远程控制等。

### 4 光耦合及其传输

#### 4.1 光纤传输

光束传输可采用组合棱镜反射光的开放式传输及通过光纤远距离闭路传输两种方式。开放式传输结构简单, 但如不采用与传输光波长相匹配

的反射镜, 其整体传输效率较低, 如用普通组合棱镜传输紫外光, 其整体传输效率仅为 30% 左右。若采用紫外镜头传输, 费用较高, 每只镜头国外产品为 5000 元以上, 国内订做也需 3000 元上下/只; 光纤传输具有灵活(不受空间限制)、效率高、易控制的特点。由于紫外光对人体有较强的辐射, 因此采用封闭传输比用开放式光路传输对实验人员、操作人员的身体伤害要小得多, 综合以上因素, 采用光纤传输、调制光路系统。

考虑到 BHG 型紫外灯光能(高效耦合、低损耗)、扫描系统(长时间运行、大扫描范围)及加工物(高能量、小光斑)对光纤的要求, 通过与多方合作, 开发了 0.9mm ~ 0.2mm 的锥度光纤, 光纤输出的光经扩束、准直、聚焦、光阑滤除杂散光等措施后直接照射在光敏树脂的表面上, 按照计算机的控制逐线逐面地固化出所要加工的零件。

因光纤输入端部分柔性较差, 为防止外力使其受到损伤, 也为了不致因紫外灯长时间工作而使光纤温度过高灼伤包层, 因此, 在包层的外部另加了一层金属丝, 起到缓冲保护、散热等作用。

为尽量减少因光纤太长, 而导致的光束能量损耗过大, 在不影响质量的前提下, 改进了锥度光纤拉制工艺, 制出的光纤长度比以前缩短了约三分之一, 使光束的能量利用率得以较大幅度的提高。

#### 4.2 光耦合

把光耦合到光纤中有两种方式: 一是光源与光纤的直接对接耦合; 二是使用光学装置把光束聚焦到光纤纤芯处。

紫外灯输出的光束经初步调制, 直径为 5mm, 而锥度光纤大端芯径为 0.9mm, 因此, 采用后一种光束耦合方式。在紫外灯输出端放置一聚光镜, 光束经聚焦后再耦合入光纤, 这样也提高了光能利用率。

要使光束耦合到光纤中必须具备两个条件: 光点必须落在光纤纤芯的端面上; 聚出的光必须处于光纤的最大接收角内。

锥度光纤的一个特点是大端的接收角小, 如果大端作为接收端, 则大端与小端间数值孔径的关系为<sup>[2]</sup>:

接收角通常由数值孔径来度量, 因此,

$$NA_{\text{输出}} = \frac{\text{大端芯径}}{\text{小端芯径}} \times NA_{\text{输入}}$$

经耦合端透镜调制的光束必须具有小的发散角。

#### 4.3 光输出

本光学系统采用的石英光纤的输出端数值孔径  $NA = 0.37$ , 如图 3 所示。即  $\sin \theta_{\max} = NA$ ,  $\theta_{\max} = 22^\circ$

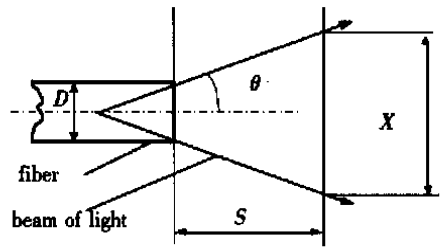


Fig. 3 Calculating light spot

$D$ ——光纤内径

$S$ ——光纤输出端与树脂液面处距离

$X$ ——树脂液面处光束最大尺寸

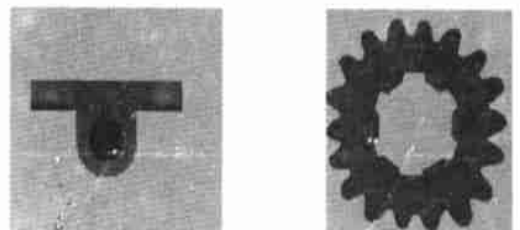
$$X = D + 2S \times \tan 22^\circ$$

由上可知, 如不采取聚焦等调制措施, 在液面处的光斑将很大, 根本无法用来加工零件, 因此, 在光纤输出端必须对光束进行扩束、准直、聚焦等后再输出到液面。

对于该成型装置, 光纤夹持架运动空间有较大限制, 除不得与检测位移的传感器及其它附件发生空间干涉外, 也不得在工作时有颤动现象, 因此综合考虑各因素, 尽量减少光纤夹持架尺寸, 采用大焦距聚焦镜, 并实现了焦距在垂直方向上有一定的可调范围。

本光学系统存在球差, 因弥散圆中心部分集中了较多的光线, 故而最亮, 愈向边缘愈暗, 用这种光斑加工零件会影响零件的成型精度, 因此, 在光纤输出端增加了拦截杂散光的小光阑(图 1 中没有表示出)。

光束经调制后, 焦斑尺寸为 0.10mm ~ 0.20mm。当快速成型装置需要用较大光斑加工时, 微调聚焦镜与液面间的距离即可。而当加工精细轮廓及小物体时, 可通过软件方面的光斑补偿及调制的最小光斑来获得<sup>[3]</sup>。



(a) bearing support (b) gear

Fig. 4 Parts built by UV lamp

该紫外灯通过控制电路接口与计算机连接,计算机根据加工数据控制灯的快门及光阑,实现了光束的遮挡/打开及能量调节的自动化,从而使整个系统加工过程完全自动化。图 4(a)、4(b)为采用本光源加工的零件。

在仅少量增加成本的情况下,可采用多束光纤输出方式,每根光纤加工一个零件。利用目前的紫外灯,最多可用 7 根 0.9mm ~ 0.2mm 锥度光纤一次加工 7 个相同的零件,这使得该台式快速

成型装置的加工能力得到大幅度的提高,为装置的进一步商品化奠定了基础。

## 5 结 论

研制的光学系统成本低,体积小,性能稳定,焦斑直径小,能量均匀,无明显散斑。该系统完全能满足本快速成型装置的加工需求,利于装置的推广及应用。

### 参考文献:

- [1] 章维一,侯丽雅.光成型技术在微小机械加工中的应用[J].高技术通讯,2000,10(3):65-69.
- [2] 廖先炳.激光束能传送光纤[J].光纤光缆传输技术,2000,(3):3-5.
- [3] 章维一,侯丽雅.微系统的3维成形技术、空间机构制作技术及其军事应用[A].行业发展与学科进步研讨会论文集[C].北京:中国兵工学会,2000.

## Optical system of a desktop rapid prototyping and manufacturing system

YANG Ji-quan, HOU Li-ya, ZHANG Wei-yi

(School of Manufacturing Engineering, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China)

**Abstract:** The paper mainly introduces a design process of the optical system of the desktop rapid prototyping and manufacturing system. Compared with several kinds of light sources, a computer-controlled UV lamp is used because of its high quality and low cost. The beam of UV light is focused into an optical fiber through an ellipsoid lens and taper lens, etc., then shines down the surface of resin after diffusing, collimating, focusing, filtering stray lights. The fiber is fixed on a workbench controlled by computer to manufacture the parts automatically. The optical system is characterized by low cost, high quality light beam, stabilization and utility.

**Key words:** rapid prototyping and manufacturing; optical systems; UV lamps; computer control

作者简介:杨继全(1973-),男,安徽界首,南京理工大学制造工程学院博士生,主要研究领域为:快速成型技术、微机械制造。

侯丽雅(1954-),女,江西,南京理工大学制造工程学院教授,博士,研究方向为:快速成型技术、微机电系统、智能技术及其应用。

章维一(1943-),男,浙江,南京理工大学机械学院教授,博士,研究领域为:微系统、广义人工智能与认知科学、快速成型、机械传动等。