

# 用于高功率 YAG 激光手术器的光纤光缆耦合器的设计

**Abstract:** The structure of a fiber-optic coupler used in the high power YAG laser scalpel is introduced and some problems on the optical and mechanical design of the fibre-optic cable coupler are discussed.

YAG 激光手术器最初采用由多个反射镜组成的导光关节将激光传输到手术部位, 这种机构笨重复杂, 操作不便。石英光纤出现以后, 用它制成的光纤光缆耦合器结构简单轻巧, 导光准确, 操作灵活, 正在取代原来的导光关节。

我们设计了一个光纤光缆耦合器, 与一台输出功率 200 W 的连续 YAG 激光器配用组成激光手术器。光纤光缆耦合器的输出功率指标, 根据肝癌切割的需要定为 150 W。由于石英光纤对 YAG 激光具有良好的透过特性, 一根激光手术器用的 1.2 m 长的光纤, 透过率据计算可达 93%; 考虑到还有耦合损失, 光纤光缆耦合器的效率指标定为 80%。该设计试制后进行了实验, 获得如下结果: 输出功率 194 W; 效率 90%。

## 一、光学设计

光纤光缆耦合器的光学系统如图 1 所示。激光束被聚焦镜聚焦于光纤输入端面, 经光纤传输后从输出端面射出。成象镜将光纤输出端面成象于手术部位, 经过检视镜可用红外观察系统观察激光焦斑在光纤端面上的位置。

### 1. 光纤

采用新沪玻璃厂生产的石英柱形单丝光纤, 芯径  $0.35 \sim 0.46$  mm, 芯皮外径  $0.60 \sim 0.78$  mm, 硅橡胶保护层外径 1.2 mm, 截取长度 1.2 m, 数值孔径  $NA = 0.17 \sim 0.38$ 。

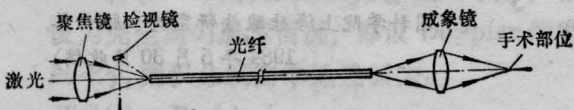


图 1 光纤光缆耦合器光学系统图

### 2. 聚焦镜

(1) 有效孔径: 聚焦镜的有效孔径应为激光束直径加一定调整余量。激光器的工作物质直径  $D = 6$  mm, 发散角  $\theta = 10^{-2}$  rad, 聚焦镜离激光器出瞳距离  $L = 300$  mm, 故聚焦镜上的激光束直径  $D'$  为:

$$D' = D + L\theta = 9 \text{ mm.}$$

加上调整余量  $\pm 1.5$  mm, 有效孔径定为 12 mm。

(2) 焦距: 聚焦镜的焦距根据对聚焦后激光焦斑大小和数值孔径的要求确定。激光焦斑应尽可能大些, 以降低光纤端面的功率密度, 使表面不易损坏。但焦斑直径应比光纤芯径稍小, 以保证激光能量完全进入光纤。聚焦后激光束的数值孔径则应小于光纤的数值孔径。按上述原则取焦斑直径  $\Delta = 0.3$  mm, 则焦距  $f$  为:

$$f = \frac{\Delta}{\theta} = 30 \text{ mm.}$$

此时激光束数值孔径  $NA = 0.15$ , 小于光纤数值孔径。

### 3. 成象镜

成象镜与光纤输出端面的距离可取等于聚焦镜的焦距, 这时两者的有效孔径亦相等。成象镜的倍率根据对手术部位激光焦斑大小和工作距离的要求确定。设计了 1 倍和 4 倍两种成象镜, 前者焦斑约 0.4 mm, 工作距离 30 mm; 后者焦斑约 1.6 mm, 工作距离 120 mm。

聚焦镜和 1 倍成象镜采用非球面单透镜结构, 加工弥散圆小于  $0.03$  mm; 4 倍成象镜采用球面单透镜结构。所有透镜均镀激光增透膜。

## 二、机械设计

光纤光缆耦合器的结构如图 2 所示。它由激光输入接口、导光软管和操作头三部分组成。

### 1. 激光输入接口

激光束与光纤的耦合可能发生下列偏差:

1) 由光纤与聚焦镜距离误差引起的轴向离焦, 如图 3(a) 所示; 2) 由激光束对光纤光缆耦合器倾斜引起的横向离焦, 如图 3(b) 所示; 3) 由激光束对光纤光缆耦合器平移引起的光束轴线与光纤轴线不重合, 如图 3(c) 所示。为了校正这些偏差, 激光输入接口设计成一个五维调整架, 它包括两个绕垂直于光轴的轴线转动的自由度, 两个沿垂直于光轴方向移动的自由度, 以及光纤相对于聚焦镜轴向移动

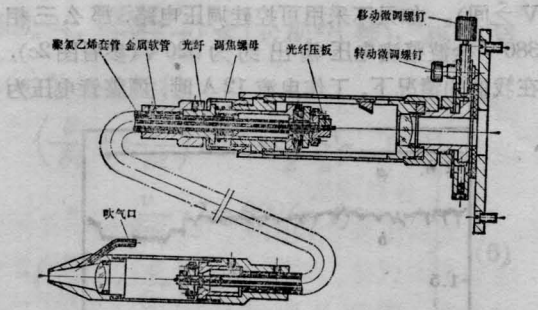


图2 光纤光缆耦合器的结构

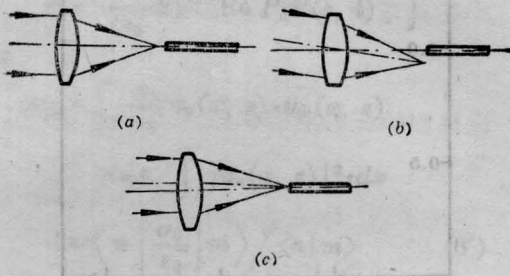


图3 激光束与光纤的耦合偏差

的自由度。

为减轻重量,调整架的导轨、滑块、螺母等摩擦零件均采用硬铝制成。由于硬铝耐磨性较差,采取

了低温阳极氧化处理。处理后显微硬度大于 250 kg/mm<sup>2</sup>,耐磨性大大提高,能耐受频繁调整。

## 2. 导光软管和操作头

在光纤外面套以聚氯乙烯套管和包塑金属软管,以防止光纤磨损和折断。为了当激光束偏出光纤输入端面时不致烧损硅橡胶层,光纤输入端采用以压板压紧的固定方法。光纤端面的清洁十分重要,它直接影响光纤光缆耦合器的输出功率和使用寿命。为了保证端面清洁,将光纤密封于聚焦镜与成象镜之间的空腔内。

操作头做成握笔形,其上有吹气口,必要时可向手术部位吹气。

## 参 考 文 献

- [1] 虞丽生编;《光导纤维通信中的光耦合》,人民邮电出版社,1979年。
- [2] "Horiba Infrared Optical Fiber Kristen", Horiba, Ltd., 1981.

(中国科学院上海光机所

孙保定 杨良民

1984年4月28日收稿)

# 稳压稳流 Ar<sup>+</sup> 激光器电源

**Abstract:** A voltage and current stabilized feedback power supply for Ar<sup>+</sup> lasers is reported, which uses a high power npn transistor (3D14C-T) as the regulator. The power supply is more reliable than the commercial products. As the input three-phase voltage changes from 331 V to 407V (variation is ±10%), the fluctuation of the laser output power is within 0.5%.

Ar<sup>+</sup> 激光器的激光输出功率强烈地依赖于放电电流:

$$P \propto I^n$$

式中  $P$  为功率,  $I$  为 Ar<sup>+</sup> 管工作电流, 在正常的工作区内  $n \approx 2.4$ , 而放电管的等效动态电阻约为  $2 \Omega$ , 电网电压波动会强烈地影响激光器的输出功率, 因此需要采用稳流电源。

目前国内外出售的 Ar<sup>+</sup> 激光器电源均采用电流反馈、串接调整管阵列的稳流方式。对于 5 瓦级的 Ar<sup>+</sup> 激光器, 在外电网波动 ±10% 时, 调整管的最大功耗约为 3300 W, 调整管的管压降变化大于 100 V。它们在线路中大多采用功率为 50 到 100 W 的晶体管, 由 80 到 40 只组成串、并联阵列作为调整单

元, 亦有采用 20 只 200 W 晶体管阵列的。这种电路有几个缺点: (1) 为了电压、电流均匀分配, 调整管组需要严格挑选, 造价高; (2) 工作可靠性低, 如果每只晶体管不损坏的概率  $P=0.995$ , 则 80 只晶体管构成的调整单元不损坏的概率为  $P^n=0.67$  (即 67%); (3) 对电网电压波动的适应能力小, 这类产品的性能指标大多数为电压波动 ±5%, 输出功率波动 ≤ ±3%。而我国目前供电网的波动大都在 ±5% 以上, 这就更容易引起电源损坏。

为了克服上述缺点, 我们试制了一种稳压、稳流双环控制的新型 Ar<sup>+</sup> 激光器电源, 它的线路原理如图 1 所示。由三相可控硅整流桥、滤波器 1 和电压反馈放大器 2 构成稳压控制环, 当电网波动 ±10% 时,