

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0349-02

# 窄脉冲高功率激光光纤耦合技术研究

闫晓媛 宁国斌 金光勇 任重 梁柱

(长春光机学院科技开发中心, 长春 130022)

**提要** 研究了窄脉冲高功率激光光纤耦合技术, 采用实心圆锥形光锥和光纤平面耦合, 与透镜聚焦相比利用光锥会聚光能的作用降低会聚光功率密度, 对实心圆锥形光锥的参数进行了计算。

**关键词** 高功率激光, 光纤耦合, 实心圆锥形光锥

**中图分类号** TN253 **文献标识码** A

## Research on Coupling Technique of Optical Fiber for Narrow-Pulse High Power Laser

YAN Xiao-yuan NING Guo-bin JIN Guang-yong REN Zhong LIANG Zhu

(Scientific and Technological Development Center, Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics, Changchun 130022)

**Abstract** This paper discusses the coupling technique of optical fiber for narrow-pulse high power laser. Solid cone of light which can reduce the power density of converged laser because of its function of converging light energy is adopted. Correlative parameters of solid cone of light are calculated.

**Key words** high power laser, optical fiber coupling, solid cone of light

### 1 引言

目前, 医用激光、工业加工激光一般应用光纤传输大功率连续激光束和窄脉冲高功率激光束。其中大功率连续激光光纤耦合技术已比较完善, 而窄脉冲高功率激光光纤耦合尚存在技术问题, 使窄脉冲激光能量传输应用受到限制。一般 YAG 激光器利用电光调 Q 技术可获得 10 ns 的窄脉冲, 峰值功率可达几十兆瓦, 会聚光功率密度远大于光纤的抗光损伤阈值。

本文利用实心圆锥形光锥会聚光能的作用降低会聚光功率密度, 采用平面光纤头接收光能, 防止强激光功率密度对光纤的破坏, 从而实现窄脉冲高功率激光的光纤耦合。

### 2 原理

激光经透镜聚焦后光斑直径  $\phi 20 \mu\text{m} \sim 50 \mu\text{m}$ , 而采用实心圆锥形光锥出射光直径略小于光纤纤芯直径, 约几百个  $\mu\text{m}$ , 其会聚光功率密度为前者的百分之几, 可见与透镜聚焦相比采用光锥可大大降低光纤接收面的会聚光功率密度。

#### 2.1 实心圆锥形光锥

光锥是一种非成像光学元件, 它是用来会聚光能的聚光元件。由于激光发散角很小, 在近场把激光看成平行光。如图 1 所示, 光轴  $x$  与光锥轴线重合, 光锥顶角为  $2\alpha$ 。光线平行于光轴射入光锥大端面, 为了减少能量损失, 希望光在光锥内壁最多发生一次全反射射出小端 (部分光线直接射出光锥小端), 光线在光锥内壁发生全反射的入射角

$$i = \pi/2 - \alpha \quad (1)$$

全反射条件

$$n \sin i_c = n_0$$

其中,  $n$  为光锥材料折射率,  $i_c$  为全反射临界角,  $n_0$  为空气折射率。在光锥内发生全反射的入射角为

$$i \geq i_c = \arcsin(n_0/n)$$

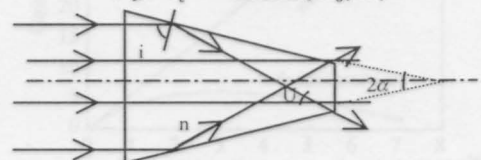


图 1 光锥原理图

Fig. 1 Principle of solid cone of light

将(1)代入上式,求出  $\alpha$  应满足的条件

$$\alpha \leq \pi/2 - \arcsin(n_0/n) \quad (2)$$

光线从光锥小端面进入另一种介质发生折射时的入射角为

$$u = 2\alpha$$

### 2.2 耦合原理

如图 2 所示,研究光锥与光纤平面的耦合。使光锥小端面紧靠光纤头平面,推出光纤的数值孔径角及其与光锥顶角  $2\alpha$  的关系。

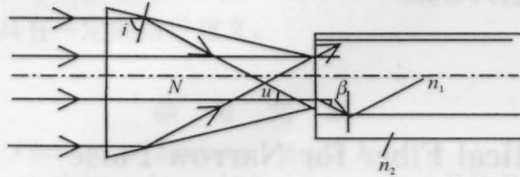


图 2 实心圆锥形光锥与光纤平面的耦合

Fig. 2 Coupling of solid cone of light and optical fiber

由光锥小端面进入光纤的光线折射角为  $\beta$ , 满足

$$n \sin u = n_1 \sin \beta \quad (3)$$

其中,  $n_1$  为光纤纤芯折射率。在光纤内发生全反射的条件

$$n_1 \sin(\pi/2 - \beta_i) = n_2$$

即

$$\cos \beta_i = n_2/n_1$$

其中,  $n_2$  为包皮折射率,  $\beta_i$  为光纤内发生全反射时对应于入射角的折射角。此时

$$n \sin u_t = n_1 \sin \beta_i = n_1 \sqrt{1 - \cos^2 \beta_i} = n_1 \sqrt{1 - n_2^2/n_1^2} = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

光纤数值孔径角

$$u_t = \arcsin \frac{1}{n} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

当  $u \leq u_t$  时,光能通过光纤,此时  $\alpha$  应满足

$$u = 2\alpha \leq u_t$$

即

$$\alpha \leq \frac{u_t}{2} = \frac{1}{2} \arcsin \frac{1}{n} \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$$

结合(2)式,  $\alpha$  应满足的条件

$$\begin{cases} \alpha \leq \frac{1}{2} \arcsin \frac{1}{n} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} \\ \alpha \leq \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{n_0}{n} \end{cases} \quad (4)$$

上面两个条件经计算后取  $\alpha$  的较小值,则可满足在光锥内全反射条件及符合光纤数值孔径角。

### 2.3 相关参数计算

已知传输光束直径、光纤材料折射率和纤芯直径并预先选定光锥的材料,则可确定光锥的相应参数。

取光锥的大端直径略大于光束直径,小端直径略小于光纤纤芯直径,光锥顶角可由公式(4) 求出。

## 3 实验结果

实验采用高重复率电光调 QYAG 激光器,其平均功率 30 W,单脉冲峰值功率 5 MW,光束直径  $\phi 6$  mm,光纤纤芯直径  $\phi 0.6$  mm,实心圆锥形光锥小端直径  $\phi 0.5$  mm,光锥顶角  $24^\circ$ ,材料折射率 1.52,光纤长 2 m,光纤耦合效率大于 75%。

实验证明本文所研究的技术具有很好的应用前景。

### 参 考 文 献

1 李正直. 红外光学系统. 北京: 国防工业出版社, 1986. 172~175