

冠脉搭桥术用 CO<sub>2</sub> 激光低能输出方法研究\*

彭升阳 琚新军

(国防科技大学应用物理系 长沙 410073)

**摘要** 弱 CO<sub>2</sub> 激光能量的输出及控制是 CO<sub>2</sub> 激光冠脉搭桥术的核心技术之一。本文介绍了一种利用普通医用 CO<sub>2</sub> 激光器获得弱激光能量输出的技术与方法。该方法具有激光输出功率稳定,并可调、输出光斑上能量密度均匀,光斑大小可控的特点,它很好地满足了搭桥仪对激光输出参数的要求;该方法还可应用于其它弱 CO<sub>2</sub> 激光医疗仪器中。文中对设计原理进行了分析,并给出了设计实例。

**关键词** 冠脉搭桥术; 激光手术刀; 弱激光功率; CO<sub>2</sub> 激光器; 孔径光阑

**分类号** TN248. 22

利用 CO<sub>2</sub> 激光的冠脉搭桥术<sup>[1]</sup>是当今激光医学的前沿领域之一。该项研究不是利用通常的激光热烧灼作用,而是利用激光的非热作用,因此控制激光手术刀上合适的激光能量输出十分重要。搭桥仪中要求 CO<sub>2</sub> 激光功率为 40~100mW 可调,输出光斑 0.2~0.3mm 还要求输出稳定,光斑上能量密度均匀。我们知道通常市售医用 CO<sub>2</sub> 激光器功率约 5W 左右,因此,若将其应用于搭桥仪中,则必须对激光功率进行衰减。通常降低激光功率可采用降低管子工作电流或插入光学损耗元件(如红外片堆)等方法。显然,采用降低管子工作电流的方法会遇到激光器“熄火”或出现弛豫振荡的困难,而插入光学损耗会遇到造价高、输出光功率不稳定、加工难度较大等困难。本文介绍的方法利用了光束的发散及孔径光阑对光的衰减作用,较好地克服了上述困难,并具有装置简单、易调整、易加工、光学稳定性好、造价低等多种优点。

## 1 工作原理分析

图 1 是光路原理示意图

假定 CO<sub>2</sub> 激光器输出基模高斯光束,其光束轴线与透镜 I、II 的光轴重合。那么,通过透镜 I 变换后到达光阑 T<sub>1</sub> 上的光场复振幅可表示为

$$u_{02} = \frac{C}{w_2(l_2)} \exp[-(x^2 + y^2)/w_2^2(l_2)] \quad (1)$$

式中  $w_2(l_2) = w_{02}(1 + (l_2/f_2)^2)^{1/2}$  (2)

\* 国家自然科学基金资助项目  
1993年12月20日收稿

$$f_2 = \frac{\pi w_{02}^2}{\lambda} \quad (3)$$

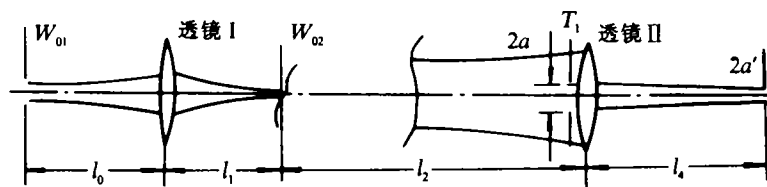


图1 光路原理示意图

若  $T_1$  为孔径光阑，则它对高斯光束能量的透过率  $T_{01}$  为

$$T_{01} = \frac{\iint_S |u_{02}|^2 dx dy}{\iint_S |u_{02}|^2 dx dy} \quad (4)$$

式中  $S$  为包含  $T_1$  的无穷区域。将 (1) 式代入 (4) 式中并利用极坐标变换，在  $T_1$  为圆域的情况下， $T_{01}$  可表示为

$$T_{01} = 1 - \exp\left[-2\left(\frac{a}{w_2(l_2)}\right)^2\right] \quad (5)$$

将结果绘成图 2 所示曲线。从曲线可见，当  $a/w_2(l_2) = 0.5 \sim 0.86$  1 时， $T_{01}$  与  $\frac{a}{w}$  之间有较好的线性性。这对搭桥仪的功率指示是有利的，但此时  $T_{01}$  太高，达不到搭桥仪的要求。因此  $a/w_2(l_2)$  必须取得很小。当该值取得很小时，利用台劳级数，忽略  $(a/w)^2$  的高次项，(5) 式可以简化成

$$T_{01} = 4\left[\frac{a}{w_2(l_2)}\right]^2 \quad (6)$$

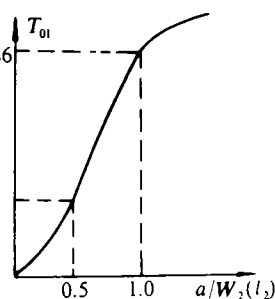


图2

由此可见，当  $(a/w)$  较小时，透光率与  $a/w$  成抛物线关系。

因此，降低  $a/w$  之值可以有效地达到衰减激光能量的目的，要么增大  $w_2(l_2)$ ；或增大  $w_2(l_2)$ ，同时降低  $a$ ；或只降低  $a$ 。下面具体分析  $a$ ， $F_1$ ， $F_2$  的取值大小。

假定变换前高斯光束束腰为  $w_{01}$ ，那么经透镜 I 变换后的束腰  $w_{02}$  由下式决定<sup>[2]</sup>。

$$\frac{1}{w_{02}^2} = \frac{1}{w_{01}^2} \left(1 - \frac{l_0}{F_1}\right)^2 + \frac{1}{F_1^2} \left(\frac{\pi w_{01}}{\lambda}\right)^2 \quad (7)$$

由 (2) 式知，当  $l_2 \gg \frac{\pi w_{02}^2}{\lambda}$  时，

$$w_{02} = \frac{l_2 \lambda}{\pi w_2(l_2)} \quad (8)$$

又由 (6) 式， $w_2(l_2) = 2a/\sqrt{T_{01}}$  (9)

联立解 (7)，(8)，(9) 式，知道  $a$  及  $T_{01}$  后，则可以得到  $F_1$  之值。 $T_{01}$  之值由输出到手术刀上能量与激光输出能量的比值，及透镜 I，II 的透光率决定。 $a$  的大小涉及衍射畸变，手术操作距，光斑大小等因素。设光斑大小为  $a'$ ，手术距离为  $l_4$ ，假定孔径光阑紧

靠在透镜 I 上, 透镜 II 为薄透镜。则由图 3 可得

$$\frac{a'}{a} = \frac{l' - l_4}{l'} \quad (10)$$

式中  $l'$  为高斯束腰距透镜 II 的距离。因为透镜 II 可以将通过光阑的光束会聚到很小, 为了手术安全起见, 应尽量增大  $l' - l_4$ 。由 (10) 式知, 应尽量减小  $a$ , 但  $a$  过小会使光束产生衍射畸变(这也是不直接采用光阑对未变换的激光束进行衰减的原因之一)。因此,  $a$  的取值以不产生衍射畸变又能尽量增大  $l' - l_4$  为原则, 又由高斯光束的变换性质知<sup>[2]</sup>, 在  $l_2 \gg F_2$  的情况下,  $l' = F_2$ , 因此,  $F_2$  取值

$$F_2 = l_4(1 + a'/a)^{-1} \quad (11)$$

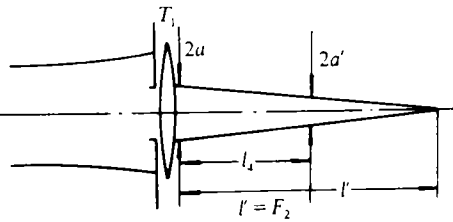


图 3 透镜 II 的光路示意图

## 2 设计及结果分析

图 4 是我们设计的光路, 要求确定  $F_1, F_2, a$  的值。已知参数是, 激光输出功率 1~8W

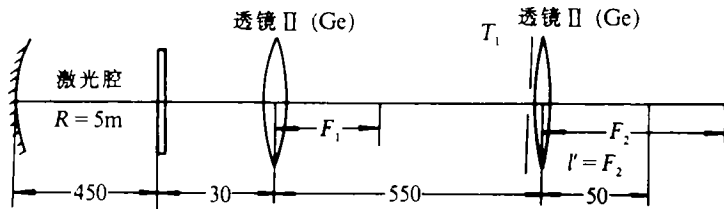


图 4 搭桥仪实际光路设计实例

可调,  $l_0 = 30\text{mm}$ ,  $l_1 = 50\text{mm}$ ,  $l_1 + l_2 = 550\text{mm}$ , 要求手术刀光斑为 0.3mm, 手术刀上光功率 40~100mW。

据前面的分析, 取  $a = 100\lambda$ , 即  $a \approx 1\text{mm}$ , 然后将已知条件代入 (11) 式得  $F_2 = 43.4\text{mm}$ 。

为确定  $F_1$ , 先计算  $T_{01}$  及高斯光束参数。当透镜 I、II 为未镀膜 Ge ( $n=4$ ) 透镜时, 得穿过透镜的最大光能为  $8000 \times (0.64)^4 = 560\text{mW}$ 。即  $T_{01} = 0.07$ , 代入 (9) 式有  $w_2(l_2) = 7.3\text{mm}$ , 再将  $w_2(l_2)$  代入 (8) 式得  $w_{02} = 0.46 \times 10^{-3} l_2$ 。若激光腔为平凹腔, 则其束腰处于平面镜上, 其大小  $w_{01}$  为<sup>[3]</sup>

$$w_{01} = \left[ \frac{\lambda^2}{\pi} L(R - L) \right]^{1/4}$$

将已知条件代入有  $w_{01} = 2.19\text{mm}$ , 若  $F_1 \ll \pi w_{01}^2 / \lambda$ , 则  $l_1 = F_1$  成立,  $w_{02}$  可表示为  $w_{02} = 0.25 - 0.46 \times 10^{-3} F_1$ , 将已知条件代入 (7) 式中, 并解方程得,  $F_1 = 126\text{mm}$  可证明,  $F_1 \ll \pi w_{01}^2 / \lambda$  的假设是成立的。因此, 只要取  $F_1 = 126\text{mm}$ ,  $F_2 = 43.4\text{mm}$ ,  $a = 1\text{mm}$ , 则可达搭桥仪的要求。

上述设计以激光器最大输出为起点, 因此, 能量调节可按原医疗仪器同样方式进行。

手术刀上光能仅来自发散光束的中心小区域, 因此, 与组织作用的光斑上能量密度是均匀的。又因为采用了未镀膜 Ge 镜, 且所取区域很小, 所以手术刀上光功率稳定。

上面的讨论是在共轴条件下进行的,而实际光路略有不同。通常透镜 I、II 光轴之间有一夹角,若孔阑中心相对于透镜 I 的光轴之垂直距离为  $\Delta$ 。将高斯光束先变换到经平移及旋转的坐标中,然后再采用极坐标积分,在与前面假设一致时,通过较繁的计算得

$$T'_1 = \exp\left[-\frac{A^2}{w^2/(L_2)}\right]\left[4\frac{a^2}{w^2(L_2)}\right]$$

由此可见,即使调整时出现偏移量  $\Delta$ ,除  $T'_1$  有一下降外,其余规律与共轴时相同。可见,这种方法大大降低了系统调整精度。另外,当透镜 I、II 共轴而孔阑偏离轴线距离亦用  $\Delta$  表示时,上式仍成立,因此,若将  $T$  制成多孔形式,并对导光臂进行特别设计时,则可达一机多路输出的目的。

本文所论述的利用普通医用  $\text{CO}_2$  激光器获得弱激光能量输出的方法,是利用透镜变换及孔径光阑对透光率的控制作用,克服了采用电流调节及片堆衰减所遇到的困难,达到了输出功率稳定、调节方便、光路调整容易、造价低、一机多用的目的。它很好地满足了冠脉搭桥仪的要求。该方法还可进一步应用在弱  $\text{CO}_2$  激光作用的其它激光医疗仪器中。

**致谢:** 特别感谢湖南医科大学附二院心外科室的专家、教授提供的有益建议及有关冠脉搭桥的技术资料。

## 参 考 文 献

- 1 O H Frazier, et al. Surgery, 1985, 97 (5): 585
- 2 周炳琨等编. 激光原理. 北京: 国防工业出版社, 1987. 108~109
- 3 范安辅, 徐天华编著. 激光技术物理. 四川大学出版社, 1992. 84~85

## An Approach for Getting Low $\text{CO}_2$

### Laser Power in Laser—Assisted Microvascular Anastomosis

Peng Shengyang Ju Xinjun

(The Department of Applied Physics, NUDT, Changsha, 410073)

#### Abstract

Getting low  $\text{CO}_2$  Laser power is the key technology in laser—assisted microvascular anastomosis. The technology which is used to get low  $\text{CO}_2$  Laser power from the general  $\text{CO}_2$  Laser is presented in this paper, its main advantages are that Laser power on Laser scalper is modifiable, spot size is controllable and energy density on the light spot is uniform. We give the design principle and an example for practical design in this paper.

**Key words** Laser—assisted microvascular anastomosis;  $\text{CO}_2$  Laser scalper; low—powered Laser; aperture diaphragm