

文章编号: 1001-5078(2007)11-1209-04

同轴可见光导引光路结构的研究设计

陈安健¹, 林建东², 蔡子霞¹

(1 厦门大学机电工程系, 福建 厦门 361005 2 泉州德化县医院, 福建 泉州 362500)

摘要: 在激光技术的应用中,常常要对激光束实现某种实用空间界面的准确定位和聚焦。聚焦和定位的困难在于能够透过红外或紫外辐射的光学材料往往无法透过可见光,使得各种激光束的聚焦光斑的空间定位设计成为困难,阻碍了激光技术的应用。为此,结合课题的科研工作,研究设计了二种性能各异同轴可见光导引光路结构,并在医疗临床应用中,获得了满意的效果。

关键词: 激光技术; 定位聚焦; 同轴导引; 可见光

中图分类号: TN248.304 **文献标识码:** A

Design and Research of Optical Structure for the Visible Light in the Coaxial

CHEN An-jian¹, LIN Jian-dong², CAI Zixia¹

(1. Dept. of Mechanical and Electrical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, China)

(2. Quanzhou Dehua County Hospital, Quanzhou 362500, China)

Abstract The main difficulty of pointing out of the visible light in the coaxial is can be transmission the optical material of infrared radiation but often unable to transmission. Given the space fixed position of focusing facula of lasers beam in difficulty. Some of the kinds of coaxial light system of point out are designed through the clinical application of the exact of fixed position and quick and continues variable and the safe operation is reliable. The developings and applications of whole machine system of the away of technology is supplied for

Key words laser technology; position of focusing facula; coaxial seeker; visible light

1 引言

激光加工在工业生产应用中,对激光聚焦点的光束质量有着不同的要求。其中又以激光临床应用,激光切割和激光打标对聚焦点光束质量的要求最为苛刻。如,对聚焦点激光光束的平行度,即发散角和聚焦光斑的要求就很高。在激光临床、切割和打标激光光学系统中,即使采用了激光扩束系统以达到良好的实现某种实用空间界面的准确定位和聚焦效果、剂量的控制等^[1],更离不开可见光的准确导引^[2]。为获得高质量、准确的光束聚焦点,我们以医疗临床上的实际应用,研究了二种同轴可见光导引光路结构。经实际临床医疗应用,导引指示光

点在空间的定位准确、灵活和连续可调,工作安全可靠。为激光医疗仪器或整机的开发、研制提供了一条技术途径。

2 光路结构技术要求

在激光医疗器械中,激光“加工”的对象是人体的鲜活组织,所谓病变的空间位置变化多端。同时,临床医用是动态的、连续性的操作。显然,医生要求

基金项目:福建省科技计划项目(Na 2001 1017)资助。

作者简介:陈安健(1949-),男,厦门市仪器仪表学会、机械工程学会会员,科学出版社高校教师中心会员,主要从事光学、光电系统研究,开发设计和教学,发表相关论文 32篇。E-mail: ca73131@xmu.edu.cn

收稿日期:2007-05-31

有一个能直观目视的连续可调的可见光指示标志^[2],且明亮的指示光点应能够依据医生的需要任意移动到某一生理空间位置,导引非可见激光连续地到达该点位置。这样以便让医生对病人的病理、病因的治疗成为更直接、更准确、更科学^[4]。因此,这种可见光指示导引光路结构设计归结为:

- 1) 工作时应产生一连续输出的可见光标记亮点;
- 2) 标记亮点应能指示出非可见激光束的会聚点是否沿光轴方向准确落在手术位置;
- 3) 为精确定位,要求标志亮点光斑大小应不大于手术时激光束焦斑的线度;
- 4) 标记亮点要有足够亮度,同时在色度上应能与人体表层组织有良好对比度。

3 球面反射式“激光刀”光路结构设计

3.1 球面反射式“激光刀”形成

该结构为球面反射式同轴共焦系统,由可见光准直导引系统、工作激光束系统与球面镜聚焦系统三部分组成,如图 1 所示。其光路原理为:导引可见光束由 $f > 0$ 光学透镜扩束准直成平行光,经平面反射镜反射进入位于激光器光束出射口处沿光轴 45° 放置的孔隙平面镜转折反射后,形成一空心圆柱光束投向凹球面镜,并于焦点 F' 处聚焦成像,完成可见光导引。工作激光束穿过孔隙平面镜与导引可见光束会合实现同轴。同步射向凹球面镜向其公共焦点聚焦,此即工作激光束的焦斑位置,亦即球面反射式“激光刀”在可见光导引下“锋利”形成。

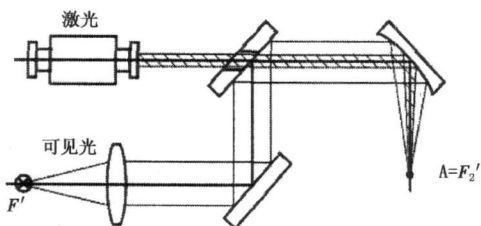


图 1 球面反射式聚焦系统

Fig 1 focusing system of spherical reflection

3.2 球面镜像质特点分析

球面镜特点有三:一是能够使光束会聚和发散,它有一定的焦距,可聚焦成像。对材料要求低,不存在光吸收等问题,因而应用广泛。二是特别应用于红外、紫外及 X 光波段,在可见光波段它往往和光学透镜组合起来使用,构成折-反射光学系统^[3]。由于该结构使用凹球面镜,其 $r < 0$ 代入焦距公式,

$f = -r/2$ 必有 $f > 0$ 因而形成会聚。三是具有高的成像质量。由于激光束本身的单色性,在反射式系统中的像差主要是慧差、像散和场曲。因为在反射式系统中,入射光和反射光不在球面的法线方向,因而呈倾斜光束所致。用三级像差评价这一情况可知^[3],像散和场曲使一点像在高斯像面上被拉伸成一线段,这一情况的慧差的影响比像散大。因此,聚焦镜像差会使激光焦点的功率密度随焦斑的线度增大以平方倍的速率下降。也就是说,采用反射式“激光刀”不如透射式“锋利”。

反射和折反射光学系统主要优、缺点是:用反射元件构成的光学系统不产生任何色差是由于反射元件可在很宽的光谱范围内具有高的反射率,反射系统成像的光谱范围很宽:相对于透射材料而言,对反射镜的材料要求不严格,只对反射表面的质量、可加工性有较严格要求,对材料内部的均匀性、条纹、气泡、透过率等基本无要求,对应力有严格要求,以防止变形;系统结构较简单,且可使成像光路折叠,在技术指标相同情况下,反射和折射相同的外形尺寸通常较小。缺点是有中心遮拦,杂光较严重,可利用的校正像差的变数较少,难以实现大相对孔径和大视场成像需要。

3.3 球面镜聚焦成像机理

由于现有的透射光学材料(光学玻璃、晶体等)强烈吸收真空紫外和远 X 射线波段的光,在该波段范围内,绝大多数采用反射和折反射系统;虽然锗和硅等材料在红外波段有很好的透过率,但由于可使用的材料品种较少,给校正像差带来很大局限和困难,加上成本很高,因此在红外波段,多采用反射或折反射系统。“激光刀”所处空间位置正是激光束的聚焦点,因而聚光采用球面反射系统是最好选择。

本结构正对于无限远目标,其球面反射镜虽有欠校正的球差,但球差量仅为等价的透射物镜球差的八分之一^[3]。当孔径光阑处于球心处时,轴外任何一条主光线均可视为光轴。这样,无论轴上光束,还是轴外光束,其成像质量均是一样的,如图 2 所示。这时可使慧差和像散为零,仅有的像差是球差和场曲。由球面反射镜初级像差系数为:

$$S_1 = -h^4 \phi^3 / 4 \quad S_4 = -h^2 \phi \cdot u_p^2$$

将其代入球差与球差系数关系式,当目标处在无限远时,纵向球差为 $IA' = h^2 / 4r$,横向球差为 $TA' = h^3 /$

$2r^2$, 同理, 场曲 $PC' = r \cdot u_p^2 / 4$

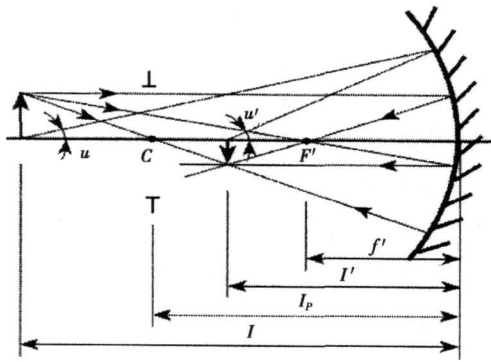


图 2 球面反射镜的物像关系

Fig 2 objects and imaging between the relationship in mirror

如图 3 所示为光线在焦面附近的三级像差路径情况。由图可见, 最小模糊半径出现在边缘焦点和近轴焦点之间, 具体位置为离开近轴焦点的 $3/4 \cdot LA'_m$ 处。该点处的最小模糊直径为^[3]:

$$D_{mh} = 1/2 \cdot LA'_m \cdot 2h/r = h^3/4r^2$$

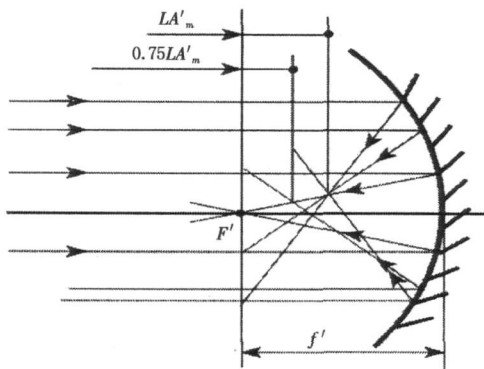


图 3 光线在焦面附近的三级像差路径

Fig 3 aberration path of line in focal plane near

4 透射式“激光刀”光路结构设计

4.1 透射式“激光刀”的形成

前文述及反射式“激光刀”不如透射式“锋利”。由于锗和硅等材料在红外波段有很好的透过率^[3], 将球面反射式聚焦系统中处在平行光路中的球面聚焦镜, 换成普通光学材料的球面透镜 ($f > 0$) 以实现可见光束的聚焦导引, 在该透镜的中心留出略大于激光束径大小的孔隙成为环形透镜, 此孔隙配嵌入 $f > 0$ 锗透镜, 如图 4 所示, 用以实现红外工作激光束的聚焦功能。这种形式的光路原理十分明显, 如图 5 所示。红外激光束穿过孔隙平面反射镜进入锗透镜聚焦于焦点处, 形成透射式“激光刀”, 完成可见光引导下工作激光束焦斑的准确病理位置。该结构

在成像质量上明显优于反射式, 聚焦功率密度高, “激光刀”“锋利”。

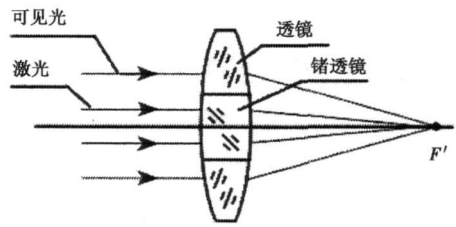


图 4 两种材质的聚焦透镜

Fig 4 focusing lens of two materials

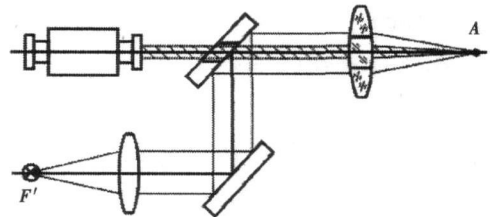


图 5 透射式聚焦系统

Fig 5 focusing system of transparent

4.2 透镜聚焦成像机理

单透镜是构成光学系统最简单、最常用的光学元件。由像差理论知, 单透镜的球差随其面形的不同弯曲而不同, 是不能消除球差的, 但通过一定的弯曲即只有弯曲在等凸 ($r_1 = -r_2$) 状态时, 可使球差绝对值为最小, 何况临床中的目标处在无限远, 球差为欠校正, 即 $p^\infty < Q$ 如图 6 所示, Q 值代表透镜的弯曲, 而 Q_0 即为极小值 p_0 所在位置的 Q 值^[5]。由于该透镜是由两种不同材质构成的, 应分别成像, 以获取 r_2 面到焦点的轴向距离 l'_F , 即“激光刀”工作距离。

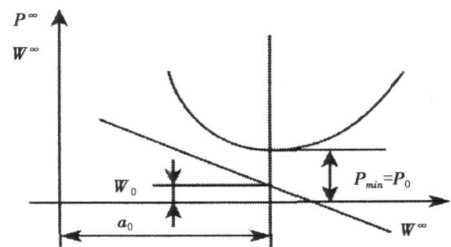


图 6 p^∞, W^∞ 曲线

Fig 6 p^∞, W^∞ curve

4.2.1 环形透镜 ($k9$ 玻璃, $n = 1.5163$) 聚焦实现可见光导引功能

$$\text{由式 } p_0 = \frac{n}{(n-1)^2} \left[1 - \frac{9}{4(n+2)} \right] = 1.12 \text{ 证明}$$

了单正透镜对于物在无限远时, 球差永为正值, 表现为抛物线和横坐标轴没有交点, 即值 p_0 不可能为

零。

由式 $Q = \frac{-3n}{2(n-1)(n+2)} = -1.25$ 及 $\frac{1}{r_1} = Q +$

$\frac{n}{n-1}$ 和 $\frac{1}{r_2} = Q + 1$ 分别求得 $r_1 = 0.53$ $r_2 = -4.00$

即球面弯曲状态为 $r_2 = -7.5r_1$ 。若病理位置与“激光刀”工作距离同样为 30~50mm, 也即后截距为 30~50mm, 则实际弯曲状态分别为 $r_1 = 15.9 \sim 26.5$ $r_2 = 119.25 \sim 198.75$ 。经计算得到环形透镜最后一面(即机械结构端面)距聚焦点的轴向距离 $l'_F = 43.865\text{mm}$ 。

4.2.2 孔隙锩透镜 ($n = 4$) 实现工作激光束聚焦“光刀”功能

同样由以上诸式得到 $p_0 = 0.28$ $Q = -0.33$ 。 $r_1 = 0.997$, $r_2 = 1.49$ 即球面弯曲状态为 $r_2 = 1.5r_1$ 。“激光刀”工作距离(也即后截距)为 30~50mm, 则弯曲状态起码处于 $r_1 = 29.91 \sim 49.85$ $r_2 = 44.87 \sim 75.0$ 。由此, 锩透镜最后一面(即机械结构端面)距聚焦点轴向距离为 $l'_F = 44.0\text{mm}$, 两种材质的透镜

在各自弯曲状态下的聚焦能力极为相当, 亦即导引可见光束聚焦点与激光束聚焦点的不重合性相差仅 0.15mm, 完全符合工作要求。

5 结 语

两种同轴可见光导引光路结构紧凑、轻巧。所导引的可见光聚焦点能在准直空间的线性定位或点定位都十分准确无误, 不重合性相差仅 0.15mm, 动作灵活, 系统按需要连续可调。经医学临床应用, 工作安全可靠。

参考文献:

- [1] 李志明. 理疗、针灸激光最佳功率和照射时间的定量分析 [J]. 激光杂志, 1999(2): 48-50
- [2] 杨扬. CO₂激光束几种聚焦方案的比较 [J]. 激光杂志, 1999(2): 29-32
- [3] 胡家升. 光学工程导论 [M]. 大连: 大连理工大学出版社, 2002
- [4] 沈彬, 李加, 等. 新型光学成像技术及其在生物医学中的应用 [J]. 激光杂志, 1999(2): 50-52

欢迎订阅 2008年《人工晶体学报》

《人工晶体学报》是由中国硅酸盐学会晶体生长与材料专业委员会和中材人工晶体研究院联合主办、我国专门刊登人工晶体材料这一高新技术领域研究成果的学术性刊物。它以论文和简报等形式报道我国在晶体材料、光电子材料、半导体材料、纳米材料、薄膜材料、超硬材料和高技术陶瓷等在理论研究、生长技术、性能、品质鉴定、原料制备以及应用技术和加工等方面的最新科研成果, 同时介绍国内外晶体材料的发展动态与学术交流活动及会议信息。刊户覆盖以上各行业的大专院校、科研院所和省(市)图书馆、政府相关部门。本刊已在美、日、英、俄、德等国家和地区发行。

《人工晶体学报》为中文科技核心期刊, 国内各主要科技文献数据库和美国“工程索引”(EI)、“化学文摘”(CA)、英国“科学文摘”(INSPEC)、日本“科技文献速报”(JICST)及俄罗斯“文摘杂志”(AJ)收录源期刊。全文被“万方数据数字化期刊群”及“中国期刊网”收录。

《人工晶体学报》为双月刊, 大十六开, 每期约 30万字, 2008年全年定价 300.00元, 欢迎单位和个人订阅。

订阅方式: 直接与编辑部联系订阅。

银行汇款方式:

收款单位: 北京中材人工晶体有限公司

开户银行: 北京工商银行管庄分理处

帐 号: 0200006809006830924

邮局汇款地址: 北京 733信箱 《人工晶体学报》编辑部收 邮编: 100018

电话: 010-65492968 010-65491290 传真: 010-65493320

网址: www.jtxb.cn E-mail: bjggl@126.com