

光轴位置及腔镜变形对多折腔输出特性的影响

郑启光 刘东华 李再光

(华中工学院激光所)

本文研究在高功率横流CO₂激光器多折腔中,影响光轴位置的几个因素及对输出特性的影响,并用实验方法确定了多折腔的最佳光轴位置。研究了多折腔中反射镜产生形变的原因,并从谐振腔参数出发,找到了克服这类腔型反射镜形变对输出特性影响的措施。

Effects of the optical axis position and the thermal deformation in mirrors on the laser output characteristic of folded resonator

Zheng Qiguang, Liu Donghua, Li Zaiguang
(Institute of Laser, HUST)

Abstract

Several factors effective on the optical position and the laser output characteristics have been studied in folded resonator of high power transverse-flow CO₂ laser. The optimum optical axis position of folded resonator has been determined by experimental method. The thermal deformation in mirrors of folded resonator has been investigated and the way which solves these problems has been discussed.

一、引言

在大功率横流CO₂激光器的单稳腔中,谐振腔的光轴位置和腔镜形变对激光输出特性的影响,已有几位作者进行了研究。但对多折腔这项工作尚未进行,而在这类型激光器的多折腔中,光轴位置和腔镜的形变对激光输出特性的影响则更为突出。由于多折腔的反射镜(包括转折镜)多,谐振腔腔长要长,故在多折腔中光轴位置的选择较之单稳腔要复杂得多,对输出特性的影响比单稳腔要严重得多。

本文着重讨论在横流CO₂激光器的三折腔中,影响光轴位置的几个因素,研究了光轴位置对多折腔输出特性的影响,用实验方法确定了最佳光轴位置。研究了多折腔中反射镜产生

形变的原因及对输出特性的影响，并从谐振腔参数出发，找出克服这类腔镜形变对输出特性影响的措施。

图1示出了横流CO₂激光器多折腔的结构。

二、腔光轴位置对多折腔输出特性的影响

影响腔光轴位置的因素很多，诸如工作气体的热效应，放电排针的排数，放电的电流密度，混合气体种类及气比、气压等。

1. 气体的热效应

在横流CO₂激光器中，由于气体的发热引起的折射率的变化对光轴位置和输出特性有明显的影响，文献[1]分析并计算了由于工作气体折射率变化的一阶小量引起的光轴位置和角度的变化以及折射变化的二阶小量产生的“负透镜效应”。在多折腔中，因气体折射率变化引起的光轴位置的变化会更加突出。这是因为多折腔的电光转换效率比单稳腔低，气体发热更厉害，再加上多折腔的腔长成倍地增加的缘故。图2示出了腔内温度的变化对光轴位置及输出特性的影响。从图2中看到同一光轴位置时，注入功率加大，温度上升太高时，则使输

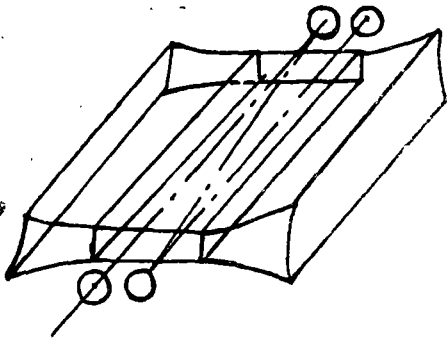


图1 横流CO₂激光器中的多折腔结构

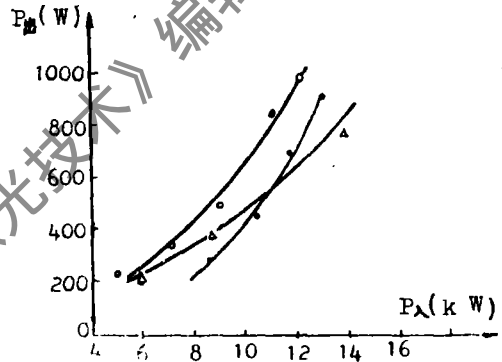


图2 腔内温度变化对输出功率和光轴位置的影响。
○— $T=17\sim 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ ； \triangle — $27\sim 35\text{ }^{\circ}\text{C}$ ；
●— $T=20\sim 22\text{ }^{\circ}\text{C}$ （调整光轴位置后）

输出功率上升幅度不大。当注入电功率加大，而气体温度（上游温度）维持在22℃左右时，则激光输出功率随着注入功率加大上升的幅度快，也就是说在高功率时电光转换效率增大。而在同一气体温度情况下，调整光轴位置（向上游偏移约5mm左右），可看到激光输出功率明显上升（其他诸参数均不改变）。此外，腔内的温度升高还会引起输出模式的改变。实验发现，气体温度在25℃以下时，腔输出TEM₀₀模，当气体温度上升到37℃以上，输出模式往往由TEM₀₀模变成低阶混合模或产生模式畸变。

2. 阴极的放电排针及放电电流密度对输出功率和光轴位置的影响

在采用多排针形电极放电时，由于前排电极的放电对后排电极的放电起到预电离的作用，因而沿气流方向，各排针电极的放电电压逐渐降低，各排的E/N值和对激光输出功率的贡献也会各不相同，故采用不同的排针放电及不同的放电电流密度对输出功率和光轴位置均会有明显的影响。

图3示出了针板式放电的排针放电结构。在我们的实验中采用四排针放电，每排针数为60根。

图4示出不同排针放电对输出功率和光轴位置的影响。从图中看到，第一排针对激光输出功率贡献不大。而在同样排针放电时，其他参数均相同的情况下，调整光轴位置后，对输出功率有明显的影响，可见在同一类型谐振腔中，由于腔内的增益分布不同，采用不同排针

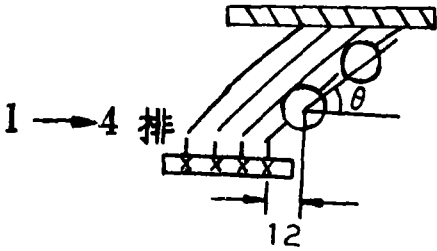


图3 多排针形电极放电结构示意图

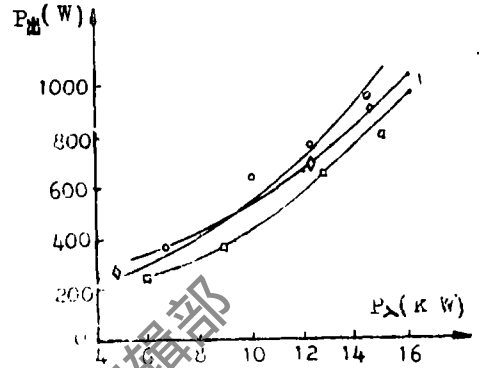


图4 不同排针放电对输出功率及光轴位置的影响。
 ○—2、3、4排针放电；◇—2、3、4排针放电；□—1、2、3排针放电(调整光轴位置后)

放电对光轴位置是有影响的。在采用四排针放电的单稳腔中也观察到类似现象，但实验表明，在单稳腔结构中，由于所需要的增益区宽度比多折腔窄，故不必要采用四排针放电，三排针（每排针数80根）放电可得到比四排针放电更大的电光转换效率。

实验还发现，在针板式的横流 CO_2 激光器中，无论是单腔或是多折腔，腔中电子密度 n_e 将沿高度 Z 而变化，腔光轴位置随着离开放电针尖的位置（沿高度方向）对输出功率有影响，在我们实验中，发现腔光轴位置应位于阳极（板）与阴极（针）之间略靠近阴极（针）一旁，其激光输出功率和电光转换效率相应增加。

3. 不同工作气体种类、混合气比及气压对输出功率和光轴位置的影响

图5示出不同混合气对输出功率和光轴位置的影响。

从图5中看到：当腔内充入Ar或无Ar时，对光轴位置和输出功率有影响。由于腔内充入Ar，He气量减少，腔内的增益较之无Ar时要高，故最佳光轴位置会向上游方向移动。同时看到在腔内加入Ar后，激光器的电光转换效率提高。

图6示出在同一种混合气比情况下，不同气压对输出功率和光轴位置的影响。

从图6中看到，在多折腔中，同一种混合气比时，低气压较之高气压的腔光轴位置略向上游偏移，这是因为在低气压时腔内小信号增益较之高气压大的缘故，但这种影响并不特别明显。

综上所述，激光输出功率不仅与电激励区电子密度，电激励区宽度有关，还与腔光轴位置密切相关。由于腔光轴位置不一样，腔内有效增益区的利用是不相同的。故在实际激光器运转中，我们必须找到最佳光轴位置。

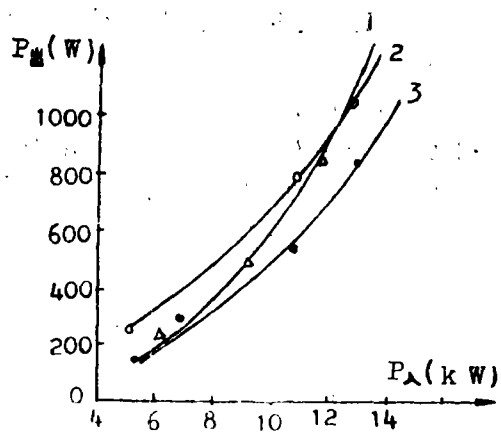
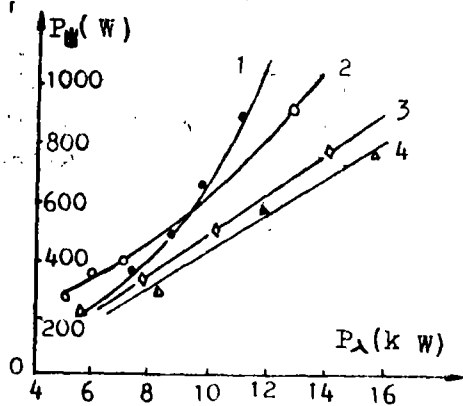


图5 不同混合气对输出功率和光轴位置的影响。

$\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$ 气压 80 Torr; $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} : \text{Ar}$ 气压 45 Torr, 曲线 1, 2 是光轴位置向上游移动 4 mm (其他参数相同); ●— $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} : \text{Ar}$; ○— $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$; ◇— $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} : \text{Ar}$; △— $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He}$

图6 不同气压对输出功率和光轴位置的影响, 曲线 3 是光轴位置移动约 8 mm (气压 80 Torr); $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} = 1 : 8 : 20$; △—85 Torr; ○—80 Torr; ●—80 Torr

4. 多折腔光轴位置的实验确定

上面分析到工作气体的热效应, 阴极排针的放电电流密度及不同混合气, 气比及气压对光轴位置均有影响。鉴于影响最佳光轴位置的因素很多, 我们采用实验方法来确定多折腔的最佳光轴位置。

实验确定多折腔的最佳光轴位置的步骤是: 先固定某一光轴位置, 改变不同的混合气比, 在工作气压一定情况下, 根据激光输出功率和电光转换效率的高低优选出最佳混合气比。然后固定混合气比, 找到最佳充气压力。在最佳混合气比和气压优选出来后, 将其固定下来, 再调整腔内光轴位置, 使之腔内输出功率和电光转换效率最大, 经过这样反复调整后的腔光轴位置, 基本上可认为是最佳光轴位置。例如在我们多折腔实验中, 若选用 $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} = 1 : 8 : 20$, 工作气压为 80 Torr 时, 得最佳输出光轴 (靠针方向) 距第四排针约 12 mm 处, 见图 2。若选用 $\text{CO}_2 : \text{N}_2 : \text{He} : \text{Ar} = 1.5 : 8.5 : 5 : 5.5$, 工作气压为 45 Torr 时, 得到的最佳光轴位置约在 8 mm 处, 两者的激光输出光束的光轴与转折光束的光轴之间的夹角约 4° 左右, 单程腔长约 900 mm。

三、腔镜形变对激光输出特性的影响

随着 CO_2 激光器输出功率增大, 因吸热而产生的反射镜 (包括转折镜) 的形变和输出窗片 (GaAs) 的热畸变对激光器输出特性会产生不可忽视的影响。特别是对高功率横流 CO_2 激光器的多折腔的影响更为突出。

实验表明, 在镜边缘与其中心的几何偏差不大时, 镜面的球形畸变对输出耦合率和输出光斑 (近场) 图样不会产生很大的影响, 而反射镜的形变主要是由于吸热的变形和反射镜背面水冷时, 镜内外表面的温差所造成的镜面承受的真空与水压之间的压力变形。另一方面,

输出窗片吸热后,使窗片表面的温场分布呈现出非均匀性,故折射率要发生变化。

反射镜(包括转折镜)的形变对多折腔的影响比单稳腔要显著得多。例如对G参数,随着反射镜的热形变,折迭腔的G参数(或g参数)随激光输出功率的上升而增大。尤其是腔内的菲涅耳数N随反射镜的热形变而变小,腔镜形变越厉害,菲涅耳数N越小,即是说腔内衍射损耗越大。反射镜的热形变完全可使一个稳定腔变成一个非稳腔。实验发现,在转折镜和反射镜热形变厉害时,激光输出功率几乎降低了二倍。

另外输出窗片的热畸变对激光束起了畸变作用,可等效为光路上增加一个焦距为 f (f 由窗片中心与其边缘的温度所决定)的“热透镜”。如果原输出窗为平面镜($R=\infty$),在窗片热畸变后对腔内入射到窗片的光束相当于一个凸镜。从而导致影响激光输出的光斑大小和光束发散角。热透镜效应往往会降低光斑中心处的能量密度,产生一定的离焦量。激光腔的热透镜效应还与腔内气体热效应有关,实际上是气体热效应和窗片热形变的综合结果。

为了克服腔镜的形变和窗片的热畸变对激光输出的影响,可以针对上述问题采取相应的措施。为了防止平凹腔因腔镜热变形变成非稳腔,对腔必须进行相应的补偿,方法是在多折腔中采用凹-凹腔。即除全反射镜采用凹面外,输出窗片也可以选择一一个曲率半径为 $R=-2f$ 的凹面镜。根据文献[4]在窗片曲率半径可用下面近似公式计算, $R = \frac{D^2 + 4\Delta d^2}{8\Delta d}$, 这里D为窗片厚度, Δd 为镜面变形量。实验发现,在窗片承受1kW的输出功率时,其变形量约5 μm 。

在我们多折腔实验中,窗片采用曲率半径为20m时,窗片热畸变的影响得到了部分补偿。而另一方面,如果转折镜采用适当的曲率半径,我们认为这时对多折腔输出的稳定性是有利的。

四、腔镜的失调对激光输出特性的影响

在激光腔(无论是单稳腔或多折腔),腔镜的失调(谐振腔光轴改变,即发生一个微小角度的变化)会对激光输出功率产生影响,尤其是对激光输出模式的影响。在多折腔实验中,如果输出的是基模(TEM_{00} 模),腔镜的失调会使基模发生变化,通常基模的功率下降,或引起低阶模起振,使之输出为低阶模,有时甚至输出高阶模。很显然,腔镜的失调往往会使激光光斑变大,发散角变大。

引起腔镜失调的因素很多,腔内气压的起伏和外界机械振动等都容易引起腔镜的失调。在高功率横流 CO_2 激光器中,架上光桥等措施都是防止腔镜失调的方法之一。此外,加强腔内气体的散热冷却,尽可能维持腔内气压变化不大。

参 考 文 献

- [1] 程兆谷,《中国激光》,1985年,第12卷,第8期,第455页。
- [2] 孙新昌,《中国激光》,1981年,第8卷,第1期,第8页。
- [3] 楚泽湘,《中国激光》,1986年,第13卷,第6期,第328页。
- [4] 蒋丽娟,华中工学院研究生论文集(未发表),1981年。
- [5] 程兆谷,《中国激光》,1984年,第9期,第532页。

作者简介：郑启光，男，1944年12月出生。讲师。1981年后主要从事大功率CO₂激光器及其应用研究。

收稿日期：1987年12月28日。

· 简 讯 ·

LT-100型ILS 激 光 训 练 器

LT-100型激光射击训练器用于教授新兵进行步枪射击所需的基本技能。它可以很迅速装调完毕，不仅可用于初期训练，而且还可用于定期检查射击技能。

激光发射器是安装在枪管上的，它的光束与枪的瞄准轴准直，就用这个激光器输出的无害的光脉冲来模拟子弹。在室内使用它是十分安全的，每扣一次扳机就发射一个光脉冲，这个光脉冲打到一特殊的靶上，靶是一个显示清晰图象的显示台，而教员另有一个类似的控制台，具有同样的靶图象。弹着点在教员的控制台上显示为一个光点。当连续射击时，存储器将前面的射击存储起来，练习结束后，教员可以按顺序重放这些射击的弹着显示射出射击时每个阶段所发生的情况。由于每次发射时具有类似于步枪的尖锐的噪声，因而具有非常好的真实感。

靶子可以迅速地改变为控制台的存储器中所贮存任何一种靶子，这些靶子可以模拟放置在不同的距离，可是就目前制造的这种设备来说，所有靶子都是正规的外形，而且是静止的。

控制台也可转换到诊断状态，在这种状态时，枪上的发射器在瞄准状态下发射一系列脉冲，这些脉冲以连续的轨迹显示在教员的控制台上，轨迹随着瞄准过程中枪口运动而变化，这对于寻找射击靶是有价值的。

激光发射器是安装在一支仿制步枪上的，电池存放在枪托里。没有外接电缆或牵引线，系统的任选附件是增加存储器达30个的控制台。

数据

组件：仿制步枪和带有电源的激光发射器，目标显示屏和教员控制台。

激光器：GaAs二极管。

电源：（控制台）120/240V交流，50/60Hz；（发射器）可重复充电电池（2000次）。

译自 JIw 1986~1987, P.908.

邹福清 译 刘建卿 校