

平凸谐振腔组件式小型激光器件

朱 连 新

(云南光学仪器厂设计研究所)

本文介绍了一种输出能量稳定、发散角小、测距能力强、体积小、重量轻的平凸谐振腔组件式小型激光器件。

一、前 言

对于某些特定用途的激光测距仪，要求激光器件小，重量轻，测距能力强，工作稳定可靠。雪崩光电二极管和染料调Q片的问世，为激光器件的小型化开辟了新的途径。但是，谐振腔的分列式结构给激光器件的进一步小型化带来困难。为了克服这个困难，人们正采取种种措施，使之器件集成化，组件化。为了满足我们的测距仪的特殊要求，我们研制了一种平凸谐振腔组件式小型激光器件。

二、谐 振 腔 型 的 选 择

平平谐振腔由于调校简便，是大多数测距仪选择的一种腔型，如果将其组件化，比较容易。但由于将其组件化后，腔长较短，发散角较大，且在小型聚光腔中散热条件差，它本身的热稳定性又不好，在工作频率较高的情况下，输出能量将下降，甚至不出光，会影响工作稳定性和测距能力。平凸谐振腔系非稳定腔，损耗较大，调校麻烦。但这种腔型有其宝贵的优点：1. 模体积较大，可以充分利用激光工作物质的体积，输出能量较高；2. 模间距较大，选模能力强，容易实现基模或较低阶模的运转；3. 抗失调能力强，对调校精度要求不高；4. 对工作物质和染料调Q片的光学非均匀性及其热畸变不敏感，有希望获得近似球面波的基模输出，且输出能量稳定。在此种腔型的输出端加上一个校正透镜，即可获得发散角小的平面波。如果在整机对损耗要求不严的情况下，将此谐振腔和校正透镜组件化，激光器件可以做得较小。因此，我们选择平凸谐振腔腔型并进行组件化。

三、谐 振 腔 参 数 的 计 算

平凸谐振腔是一种非稳定腔，对腔内的光束有着固有的发散作用。但对其成像作用的深入分析可知，它本身仍具有一定的稳定条件：如果把它看成一种多次成像系统，则系统中总存在一对轴共轭点；从其中一个点发出的光线，经一个镜反射后必然成像在另一个象点处，

收稿日期：1987年6月26日。

而这些光线经第二个镜反射后，又必然再成象在原来出发的第一个象点处。因此，对这两个轴上的共轭点而言，满足一次往返成象的自恰条件，即是说，这个自恰条件，就是该腔的稳定条件^[1]。图1是平凸谐振腔的示意图。图中， P_1 和 P_2 为共轭象点， R_2 为球面反射镜， R_1 为平面反射镜， l_1 和 l_2 分别为 P_1 和 P_2 至镜面的距离， L 为腔的长度。

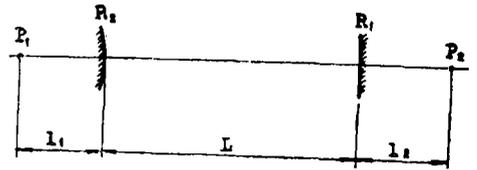


图1 平凸谐振腔示意图

对于镜 R_1 而言， P_1 和 P_2 点的位置应满足如下成象公式：

$$\frac{1}{l_2} - \frac{1}{l_1 + L} = 0 \quad (1)$$

对于镜 R_2 而言，其成象公式为

$$\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_2 + L} = \frac{2}{R} \quad (2)$$

式中， R 为镜 R_2 的曲率半径。

为了既满足镜 R_1 又满足镜 R_2 的成象条件，将公式(1)和(2)联立，并对 l_1 和 l_2 求解，则可得到唯一的一组确定的解

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= L \left[(1 + R/L)^{1/2} - 1 \right] \\ l_2 &= L (1 + R/L)^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

为了确定腔的偏折损耗，还必须计算光线往返一次的几何放大因子。利用公式(3)，可求出其放大因子 M ，

$$M = \frac{l_1 + L}{l_1} \cdot \frac{l_2 + L}{l_2} \quad (4)$$

从而可求出这个非稳腔的往返损耗

$$\delta = 1 - \frac{1}{M^2} \quad (5)$$

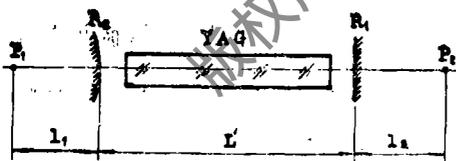


图2 带有工作物质的平凸谐振腔示意图

对于腔内有工作物质的谐振腔与空腔不同，不能再用空腔参数，必须予以修正。有工作物质的平凸谐振腔如图2所示，图中的YAG晶体为工作物质。

设YAG晶体的长度为 L_r ，折射率为 n_r ，那么，

$$L' = L - L_r (1 - 1/n_r) \quad (6)$$

于是公式(1)~(5)则修正为：

$$\frac{1}{l_2} - \frac{1}{l_1 + L'} = 0 \quad (1')$$

$$\frac{1}{l_1} - \frac{1}{l_2 + L'} = \frac{2}{R} \quad (2')$$

$$\left. \begin{aligned} l_1 &= L' \left[(1 + R/L')^{1/2} - 1 \right] \\ l_2 &= L' (1 + R/L')^{1/2} \end{aligned} \right\} \quad (3')$$

$$M' = \frac{l_1 + L'}{l_1} \cdot \frac{l_2 + L'}{l_2} \quad (4')$$

$$\delta' = 1 - \frac{1}{M'^2} \quad (5')$$

这种谐振腔的输出波型为球面波，加上校正透镜后，将使球面波变为发散角很小的平面波。按理论，加入校正透镜后，发散角可达到衍射极限角

$$\theta_0 = \frac{\lambda}{D} \quad (7)$$

式中， λ 是波长， D 是工作物质的直径。考虑到工作物质的质量等诸因素的影响，光束发散角一般要比 θ_0 大。

四、结构参数的选取

平凸谐振腔组件的组成部分如图3所示。它由平凸全反射镜、BDN染料调Q片、YAG晶体和平凸校正透镜四部分组成。YAG晶体的输出端镀有部分反射膜，以此代替平面部分反射镜。其结构参数为：

1. YAG晶体。考虑到工作物质的纵横比和器件尺寸的限制，我们取YAG晶体的尺寸为 $\phi 4 \times 60\text{mm}$ 。对于波长 $1.06\mu\text{m}$ 的光，YAG晶体的折射率 n_r 为1.8197；

2. 平凸全反射镜。为使激光单峰阈值不致过高，并保证经校正透镜后输出的激光发散角较小，一般在1.9~2.4m之间选取平凸全反射镜的曲率半径 R ，我们取 R 为2.128m；

3. BDN染料调Q片的厚度 L_b 为0.3mm，折射率 n_b 取1.48；

4. 取谐振腔的长度 L 为60.3mm，即平凸全反射镜、BDN染料调Q片、YAG晶体彼此靠近。将上述 L 、 L_r 、 n_r 、 L_b 、 n_b 和 R 的值代入公式(3')、(4')、(5')和(6)，得，

$$\begin{aligned} L' &= L - L_r \left(1 - \frac{1}{n_r}\right) - L_b \left(1 - \frac{1}{n_b}\right) \\ &= 60.3 - 60 \left(1 - \frac{1}{1.8197}\right) - 0.3 \left(1 - \frac{1}{1.48}\right) \\ &\approx 33.175 \\ l_1 &= L' \left[\left(1 + R/L'\right)^{1/2} - 1 \right] \\ &= 33.175 \left[\left(1 + 2128/33.175\right)^{1/2} - 1 \right] \\ &\approx 234.59 \\ l_2 &= L' \left(1 + R/L'\right)^{1/2} \\ &= 33.175 \left(1 + 2128/33.175\right)^{1/2} \\ &\approx 267.76 \end{aligned}$$



图3 平凸谐振腔的组成示意图。
1. 平凸全反射镜；2. BDN染料调Q片；3. YAG晶体；4. 平凸校正透镜

$$M' = \frac{l_1 + L'}{l_1} \cdot \frac{l_2 + L'}{l_2}$$

$$= \frac{234.59 + 33.175}{234.59} \times \frac{267.76 + 33.175}{267.76}$$

$$\approx 1.2828$$

$$\delta' = 1 - \frac{1}{M'^2}$$

$$= 1 - 1/1.2828^2$$

$$\approx 0.3923$$

5. 平凸校正透镜的焦距。如果将平凸校正透镜紧贴YAG晶体的输出端面，则其焦距为，

$$f = l_1 + L' = 234.59 + 33.175$$

$$= 267.77$$

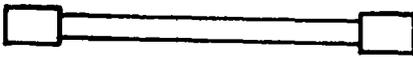


图4 平凸谐振腔组件外形图

平凸谐振腔加校正透镜的组件结构外形如图4所示。此组件可在专门设备上调校组装，也可在激光器件中调校组装。这种组件用光学准直仪调校很困难，但采用激光调校容易（调校方法将另文介绍），且一旦调校好并采取适当措施固定后，整个系统在运转过程中将保持不变。

五、平凸谐振腔组件式激光器件的主要技术参数及其测距能力

平凸谐振腔组件式激光器件如图5所示。谐振腔组件若在专门设备上调校，经调校组装好后，插入图示位置，再用机械固定即可。氙灯的内径 $\leq \phi 4\text{ mm}$ ，聚光腔为圆形玻璃紧裹腔。整个器件的体积为 $\phi 21 \times 70\text{ mm}$ ，重约40g。

经测试，本器件的主要技术参数如下：

1. 动态激光单峰阈值：5.4J；
2. 动态激光单峰坪宽：0.024J；
3. 动态激光输出能量：9.5mJ；
4. 激光脉冲宽度：8 ns；
5. 光束束散角：0.7mrad。

我们研制的整机为潜望式测距仪，对于 $1.06\mu\text{m}$ 的激光而言，该仪器的发射系统与接收系统的透过率分别为0.368和0.234。在透过损耗如此大的情况下，该测距仪能稳定测距000m，且目标为一般的树林、草坡和土坎等自然物。该仪器从去年8月运转至今，激光器未出现不出光现象，并且输出一直较稳定。在试验过程中，我们曾以每分钟25次的重复频率连续工作3 min，输出能量和束散角均保持不

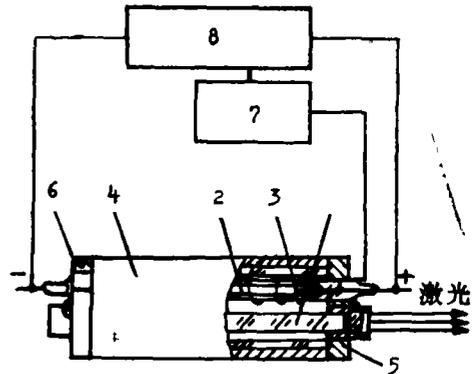


图5 平凸谐振腔组件式激光器件示意图。1.平凸谐振腔组件；2.脉冲氙灯；3.玻璃聚光腔；4.外壳；5.端盖；6.螺钉；7.灯触发器；8.电源

变。如果减小发射与接收系统的透过损耗，还可提高测程。由此可见，我们研制的这种平凸谐振腔组件式激光器件，除了体积小，重量轻外，它工作稳定，发散角小，测距能力强。在国内，平凸谐振腔组件式激光器件未见公开报道；从通信与激光学术交流会上知，目前，平凸谐振腔组件仅为三件式组件，即组件由平凸全反射镜、BDN染料调Q片和YAG晶体三件组成。而我们的平凸谐振腔组件为四件式，即由前述的平凸全反射镜、BDN染料调Q片、YAG晶体和平凸校正透镜四件组成。虽然四件式组件仅比三件式多一个光学件，但调校装配比三件式困难得多，而且调校方法也较特殊。因此，四件式组件在国内还是第一次尝试，并且成功地装配于整机中，收到了良好的效果。

参 考 文 献

[1] 赫光生、雷仕湛，《激光器设计基础》，上海科学技术出版社，1979年，第42~46页。

A small laser device with plano-convex resonant cavity module

Zhu Lianxin

(Design Institute of Optical Instrument Factory of Yungnan)

Abstract

A small laser device with plano-convex resonant cavity module, which has stable output energy, small divergence angle, high ranging power, small bulk and light weight is described.

作者简介：朱连新，男，1940年6月出生，工程师。现从事激光器设计研制工作。

(上接第51页)

Abstract

A Principle, method and instrument for laser beam divergence measurement by means of the threshold method are described. The instrument is easy to operate and fast to process data. The method is practical.

作者简介：于淑范，女，1953年6月出生，助理工程师。曾参加激光医疗机研制工作，该成果1986年获部级科技进步二等奖。现从事激光器件及其应用研究。

李俊书，男，1934年7月出生，高级工程师。曾参加激光医疗机及椭圆腔的研制，该两项成果1986年获部级科技进步二等奖。现从事激光器件及其应用研究。