

# CW YAG激光器辐射功率稳定技术

宋定熙 吴有武

(西南技术物理研究所)

**摘要:** 引起激光辐射功率漂移的因素比较复杂, 本文采用了两级稳定控制系统来逐级抑制YAG激光器辐射功率的涨落。第一级利用激光器本身的反馈信号来控制泵浦电源, 使激光器自身维持自动平衡; 第二级利用电光晶体调制装置从激光器外进一步稳定激光功率, 可得到稳定的激光辐射功率, 其稳定度优于 $0.3\%/h$ 。

**Stabilization technology of CW YAG laser radiation power**

Song Dingxi, Wu Youwu

(Southwest Institute of Technical Physics)

**Abstract:** Two stages of stable controlling systems are utilized to inhibit the YAG laser power fluctuation. The first stage uses back feed of light from laser to control pump supply source so as to make laser self-balanced. The second stage uses electrooptic crystal modulating device further to stabilize laser power. Stable laser radiation power has been obtained with stabilization much better than  $0.3\%$  per hour.

## 一、前 言

众所周知, 连续激光辐射功率的稳定性对于光学测量、光信息处理、标准辐射源的建立、激光功率计标准的改进、光电探测器的评价、晶体材料参数测试等精密测试计量的实际应用具有十分重要的意义。近年来, 国内已有不少单位对激光输出功率的稳定性作了不少工作, 但大多限于对 $0.6328\mu\text{m}$ 波段的He-Ne激光器功率稳定性的研究, 我们根据激光参数计测的需要, 建立了一套连续波YAG激光稳定光源, 获得稳定的多模或单模激光输出。本文介绍这种高稳定度CW YAG激光辐射光源的原理、方法及一些实验数据。

由于CW YAG激光器受内外因素的影响, 辐射功率涨落较大, 特别是经过起偏器成为线偏振光时它的功率涨落更大, 这种辐射强度的不稳定性严重地影响到它的应用。考虑到影响YAG激光器输出功率的稳定性原因比较复杂, 采用通常的稳定激光器泵浦电源的方法

效果并不理想。为了获得高稳定度的激光输出，采用了两级稳定控制系统来逐级抑制辐射功率的涨落。首先是利用光电检测器从激光器本身一个负反馈信号来控制泵浦电源，使泵浦电流随输出功率涨落而变化，激光器本身维持自动平衡，这样激光辐射功率不稳定性可限制在3%/h以内，然后，再利用由LiNbO<sub>3</sub>电光晶体调制器、光电探测器、高压放大器等组成的封闭式光电稳定控制系统，从激光器的外部进一步有效地稳定激光功率，使激光辐射功率的不稳定度优于0.3%/h，达到了工作标准激光辐射源的要求。

## 二、原理和装置

电光晶体调制控制光强的原理是利用一些晶体材料在外电场作用下产生电光效应。组成激光功率稳定电光调制器的基本结构如图1所示。

当光束通过由两个偏振面相互平行的偏振棱镜和电光晶体所组成的激光功率调制器时，其输出光强 $I_o$ 与输入光强 $I_i$ 之比为〔<sup>6</sup>〕

$$\frac{I_o}{I_i} = \cos^2\left(\frac{\pi}{2} \frac{V_x}{V_{\lambda/2}}\right) \quad (1)$$

式中， $I_o/I_i$ 为光强透射比； $V_x$ 为调制电压； $V_{\lambda/2}$ 为半波延迟电压。 $V_{\lambda/2}$ 与晶体材料的质量和几何尺寸有关，对于LiNbO<sub>3</sub>晶体有〔<sup>6</sup>〕：

$$V_{\lambda/2} = \frac{\lambda}{2n_o^3 r_{22}} \frac{dx}{L_2} \quad (2)$$

式中， $\lambda$ 为激光波长； $n_o$ 为晶体折射率； $r_{22}$ 为晶体电光系数； $dx$ 为晶体沿X轴方向的长度； $L_2$ 为晶体沿Z轴方向的长度。采用Z轴通光、X轴加电场的横向效应可避免晶体双折射造成的不良影响。

由（1）式可见，随着调制晶体上外加电压的变化，将会引起光强透射比的变化，如果激光器输出光强发生变化，我们可以比较容易地通过改变调制晶体上的外加电压来控制光强的变化，只要使 $I_o/I_i$ 保持稳定，便达到稳定光强的目的。

由光强调制曲线（如图2所示）可明显看出，光强透射比与外加电压的关系是非线性的，为了使控制电压工作在线性较好的部分，一定要合理选择控制电压工作点，一般选择在 $V_x = \frac{1}{2}V_{\lambda/2}$ 附近，如果工作点选得过高或过低会使调制光发生畸变。

CW YAG 激光器输出光强稳定装置的原理框图如图3所示。它包括激光器装置和电光调制装置两个部分，分两级控制。第一

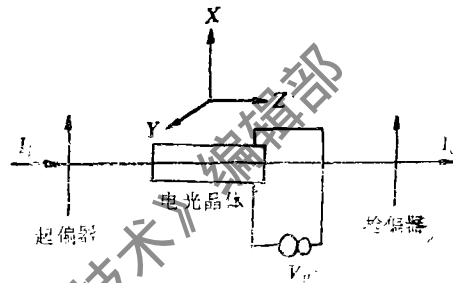


图1 激光功率调制器基本结构

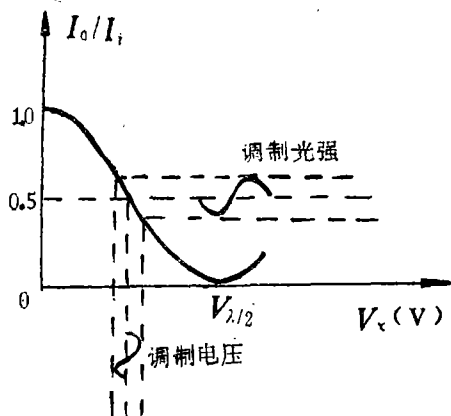


图2 光强调制曲线

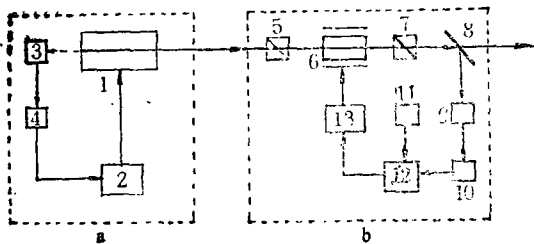


图3 激光辐射功率稳定装置的原理框图

(a)激光器装置: 1—YAG激光器 2—激光器泵浦电源 3—光电检测器 4— $I-V$ 变换器 (b)电光调制装置: 5—起偏器 6— $\text{LiNbO}_3$ 电光调制器 7—检偏器 8— $1/n$ 分束器 9—光电检测器 10— $I-V$ 变换器 11—参考基准电压 12—比较放大器 13—高压放大器

级是在激光器装置中光电检测器接收全反射镜所泄漏的光强信号(一般为输出光强的 $0.1\% \sim 0.3\%$ ),经过 $I-V$ 变换放大器与激光电源形成一个负反馈回路,利用光电二极管检取的讯号来调节激光电源的泵浦电流,使泵浦电流随激光器输出功率的涨落而变化,激光器本身形成一种自动平衡,从而大大地改善辐射功率的稳定性。第二级利用 $\text{LiNbO}_3$ 电光调制器作为辐射功率控制部件与光电探测器及电子线路一起构成又一个负反馈回路。光电探测器检测分束器上的取样信号,经 $I-V$ 变换器后与参考基准电压比较,其差别信号经放大后控制 $\text{LiNbO}_3$ 电光调制器的偏压,从激光

器外部来抑制辐射功率的涨落。这种封闭式电光稳定系统起到一种自调整光强衰减器的作用,达到稳定辐射功率的目的,使激光辐射功率的稳定度达到 $0.3\%/h$ 。

对功率稳定的评价,我们采用以下描述<sup>[2]</sup>:

$$S_t = \frac{D_{m \cdot x} - D_{m \cdot n}}{D_{m \cdot x} + D_{m \cdot n}} \times 100\% \quad (3)$$

式中,  $D_{m \cdot x}$ 和 $D_{m \cdot n}$ 分别为激光输出的极大值和极小值。

### 三、实验结果

利用上述装置,我们对CW YAG激光器在不同条件下辐射功率的稳定度进行了实验。图4为单模输出情况下辐射功率稳定度曲线比较。一般CW YAG激光输出的稳定度都大于 $10\%$ ,有时甚至高达 $30\%$ 以上,而激光电源经光反馈控制后,输出稳定度一般情况下可控制在 $3\%$ 以下,最好可达 $0.8\%$ (如图4上),在输出回路中插入起偏器,可得偏振度较好的线偏振输出,但由于激光输出偏振态的不稳定性使得功率稳定度下降为 $2 \sim 3\%$ (如图4中所示)。但加上电光调制器后,输出辐射功率的稳定度可提高到 $0.2 \sim 0.3\%$ (如图4下所示)。连续测量时间为

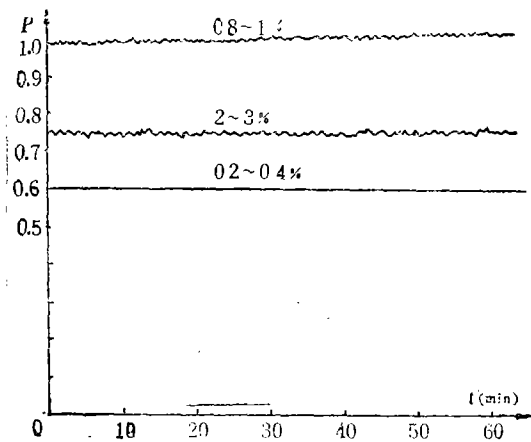


图4 CW YAG激光器辐射功率稳定曲线(单模)

上一光反馈激光器输出稳定度曲线 中—腔外起偏后线偏振光稳定度曲线 下—加电光晶体调制器控制后功率稳定度曲线

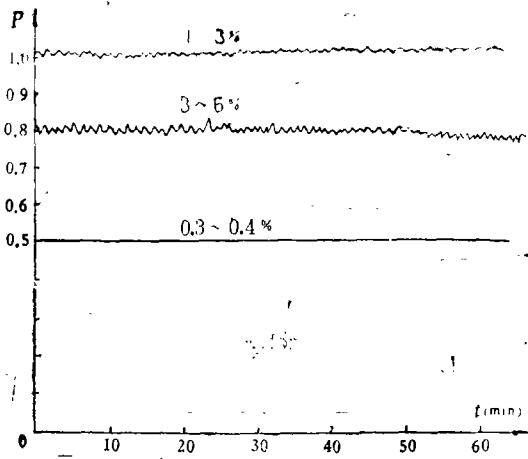


图5 多模输出辐射功率稳定度曲线比较  
 上—光反馈激光器输出稳定度曲线 中  
 一腔外起偏后稳定度曲线 下—加电光  
 晶体调制器控制后功率稳定度曲线

晶体调制器，在设计、加工、调试时一定要充分考虑温度与光束方向变化对调制器稳定性的影响。所选用的LiNbO<sub>3</sub>晶体，光学均匀性好，消光比要大于50:1，Z轴进光，X轴加电场，1.06μm时，半波电压约为800V，工作点选在二分之一半波电压附近，在光路调试时，要注意激光光束偏振方向与晶体的电感应轴之间的夹角。理论上要满足45°的要求，光束才能得到比较好的调制效果。由于YAG激光器输出偏振态比较复杂，它随晶体、腔结构、泵浦功率等因素的变化而变化，也给调试带来一定的困难，各个部件之间要反复调试、互相兼顾，仔细操作。

由于稳功装置的光路中插入电光晶体调制器（包括起偏器、检偏器、分束器）使激光器的输出功率损失较大，约为50%。目前由于LiNbO<sub>3</sub>晶体损伤阈值和温度影响的限制，直接用于较大功率激光器的稳定性试验还有一定困难。

李俊书同志在本工作中给予热情协作、帮助，周毅、吴子合参与了初期的一些工作，作者在此表示感谢。

#### 参 考 文 献

- [1] Измерит.Техн., 1985, No.8, P.31~32.
- [2] 《计测研究》，1984年，第4期。
- [3] White et al., Opt.Comm., 1983, Vol.44, No.6, P.405~410.
- [4] 《应用激光》，1982年，第2卷，第6期，第11页。
- [5] 《应用激光》，1981年，第1卷，第4期，第11页。
- [6] 《激光技术》，湖南科学技术出版社，1981年2月出版。

\*

\*

\*

作者简介：宋定熙，男，1937年出生。高级工程师。现从事激光参数测试研究工作。

吴有武，男，1938年出生。工程师。现从事激光参数测试研究工作。

收稿日期：1989年7月13日。

1h或0.5h。

我们对多模输出条件下的辐射功率稳定度的试验也可得到大致相同的效果，如图5所示。

#### 四、讨 论

CW YAG激光辐射功率稳定装置，其控制方法相当有效，能在实验室稳定可靠地工作，由于光路、电路都比较复杂，采用的光学、电子元件也比较多，所用光学元件及电子线路的工作频率范围，运行时环境温度及元件本身的热效应都会对精度产生影响，因此，在设计、加工、元件选择时需认真考虑。本装置如能在元件温度补偿或恒温方面、在电子线路的工作频率范围方面做进一步的改进，稳定度有可能进一步提高。

作为本装置关键部件的LiNbO<sub>3</sub>电光晶