

智能连续 Nd:YAG 激光输出 功率稳定性的实验分析

李玉斌

(中国科学院长春光学精密机械研究所, 长春 130022)

摘要 围绕智能医用激光外科设备的研制,研究了连续 Nd:YAG 固体激光器 0~100 W 输出功率的稳定性问题。特别对几种不同腔型及不同膜层材料的双椭圆柱聚光器对功率稳定性的影响进行了实验分析,从而确定了最佳选用方案。使功率稳定度限定在±2%以内。

关键词: 聚光效率;稳定性;YAG 激光器;输出功率稳定度

1 引言

手动激光工作方式逐步被微机程序控制工作所取代。

智能化程控设计,是将不同数值的电功率与激光输出功率相对应,进行预置存储在微机里。医护人员在微机键盘上操作,需要什么数值的功率便能立即提取到。

针对各种不同病灶治疗所需的不同激光功率,我们将连续 YAG 激光 0~100 W 划分为数十个数值,找出与它们对应的电功率预置存储在微机里。如果激光器的激光输出功率不稳定,就会出现预置的电功率与激光输出功率值不对应。为此,对智能化连续 Nd:YAG 固体激光器的激光输出功率的稳定性也就提出了比较高的要求。

2 与激光输出功率稳定性相关的问题

我们在解决连续 Nd:YAG 激光输出功率的稳定性问题中,主要从以下几个方面考虑:

1) Nd³⁺:YAG 激光工作物质,简称 YAG^[1]。对其物理特性、光学质量和光学加工应有较高的要求。

如宏观上看云层、裂纹、条纹、气泡;微观上看有害杂质、颗粒、应力等因数容易引起光学的不均匀性,造成工作物质的劣化,导致光能损耗增加,器件阈值升高,效率降低。光学加工, $N=0.5$ 、 $\Delta N=0.1$ 、两端面平行差 $\leq 10''$ 、端面与轴线不垂直度 $< 1'$ 、椭圆度、不柱度、锥度 0.01、光洁度优于 P₁级、棒侧面磨毛 $\nabla 6$ 、端面镀增透膜透过率越高越好。为补偿中高功率连续泵浦下

* 85 攻关课题

收稿日期:1995年5月26日

激光对棒产生的热透镜效应,应将端面磨成凹面,粗略估算 100 W 热焦距 $f' = 0.8$ 米左右,偏心 $c < 1'$ 。

我们要求激光器输出功率 > 100 W,选用 $\varphi 6$ mm 直径,光泵长度 10 cm,并按上述要求制作。

2) 泵浦灯,泵灯的发光情况直接影响到激光器的激光输出功率。要求泵灯具有发光均匀、重复性好、可靠性高、寿命长等特点。为了提高泵浦效率,灯和棒的尺寸应该匹配,即激光棒的尺寸应等于或大于泵灯的内径和极间距。我们选用内径 $\varphi 6$ mm(外径 $\varphi 8$ mm),极间距 100mm 的连续氩弧灯作为泵浦源^[2]。

3) 聚光器,为了使光泵发射的能量尽可能多的为工作物质所吸收,需要合理的设计聚光器,棒、灯与聚光器都要匹配好;特别是反光层材料的选择,照明的均匀性和聚光效率的稳定性对激光输出功率的稳定性影响至关重要^[3]。我们采用双椭圆柱型聚光器,利用双灯泵浦,效率为单椭圆柱型单灯泵浦情况的 0.75 倍,但总的激光输出功率可为单椭圆情况的 1.5 倍。膜层材料的选择以及腔型材料的选择,视激光器输出功率稳定情况由实验确定可靠方案。

4) 谐振腔,我们设计的谐振腔采用平行平面镜介稳定腔以补偿激光棒工作时出现的热效应。不足的是输出激光束的平面发散角(一般为 3~10 毫弧度左右)较大。但从本质上它属于稳定球面腔。全反镜的反射率 $R = 99.75\%$,输出镜的透过率 $T = 10 \sim 20\%$ 范围内由实验确定最佳透过率时的输出功率。

5) 对工作器件的冷却与滤光,固体器件效率甚低,工作时大量的能量耗散成热量需要及时排走。特别是中高功率的连续激光器,对 YAG 棒冷却不好会造成工作物质本身温度升高,导致荧光寿命下降,到一定程度时荧光猝灭又会导致激光停止发射。而且 YAG 怕紫外光照射,由此将引起工作物质变色,效率下降,甚至无激光输出。所以必须滤掉紫外光。氩弧灯要求淹没在水中并在充分的水流量下方能正常工作,否则很容易炸掉。由实验测定 100 W 级的连续激光器对泵灯和 YAG 棒冷却充分的水流量每分钟接近 100 升。而且分别冷却又比共同冷却效果充分。聚光器外壳体和谐振腔腔镜视工作时间的长短也对水冷有一定的要求。

6) 满足各方面工作使用要求的稳定可靠的机械固定、调整与接插装置。

7) 稳定可靠的满足稳定性要求的激光工作电源。

8) YAG 激光器要求工作环境清洁,零上的温度,并且湿度适宜。例如我们在实验中发现腔镜与 YAG 棒之间安装的插入件——磁力闸门开关产生的温度梯度,造成腔镜内表面结上水云雾,随工作时间加长,逐渐结为水球。这一过程使激光输出功率迅速下降,甚至无激光输出。

3 激光输出功率稳定性的实验结果与分析

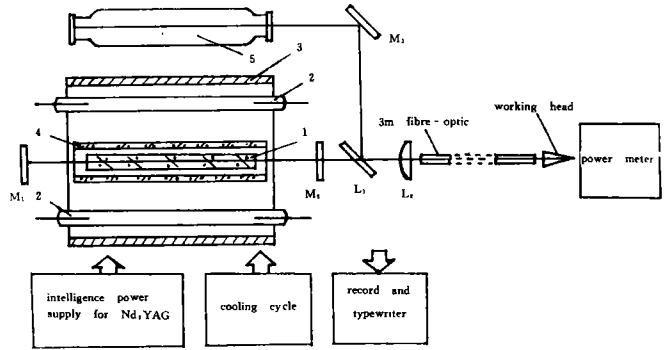
在输出功率稳定性的实验中,我们设计的实验工作系统如图 1 所示:

在我们确认电系统和机械系统具有较高的稳定性能,泵灯发光均匀重复性好,冷却与滤光效果充分,工作物质微小变化可以忽略,谐振腔腔镜稳定抗损伤能力强,激光器工作环境清洁、无灰尘、温度、湿度适宜的前题下,分别对四种腔型的聚光器进行了实验。实验结果见图 2:

从图 2 中发现同样达到 50 W 或 100 W 的激光输出功率,镀银型的聚光器要比镀金型的聚光器所用的电功率小,则说明镀银型的聚光器比镀金型的聚光器聚光效率高。图 2 中我们还

发现镀银型聚光器在工作中功率下降很快,而且 100W 的实验要比 50 W 的实验下降速率更快。1" 工作 20 分钟,激光输出功率由 100 W 急速下降。2" 加了保护膜,虽有所改善但也不乐观,工作不到 2 小时,激光输出功率也明显下降。3" 每天工作 2 小时,二个月后激光输出功率由 100 W 下降到 90 W。只有 4" 每天工作 2 小时,激光输出功率几乎没有明显变化。

这是为什么呢? 氩灯在低电流密度下工作时,其辐射光谱与 Nd^{3+} :YAG 泵浦吸收带相匹配,随着放电电流密度增加,连续谱增加的份量比线状谱增加的快;当电流密度增加到一定值后,连续谱逐渐掩盖了线光谱,且短波部分的增长比长波快,光谱重心移向短波,产生剧烈的高温。



- 1. Nd:YAG rod 2. continuous krypton lamps
- 3. laser pump cavity 4. filter glass
- 5. He-Ne laser, M_1, M_3 . total reflection mirrors, M_2 . output mirror, L_1 . refraction and reflection lens, L_2 . focusing lens

图 1 智能连续 Nd:YAG 激光外科设备工作系统

Fig. 1 The working system of an intelligence CW Nd:YAG laser for surgical instruments

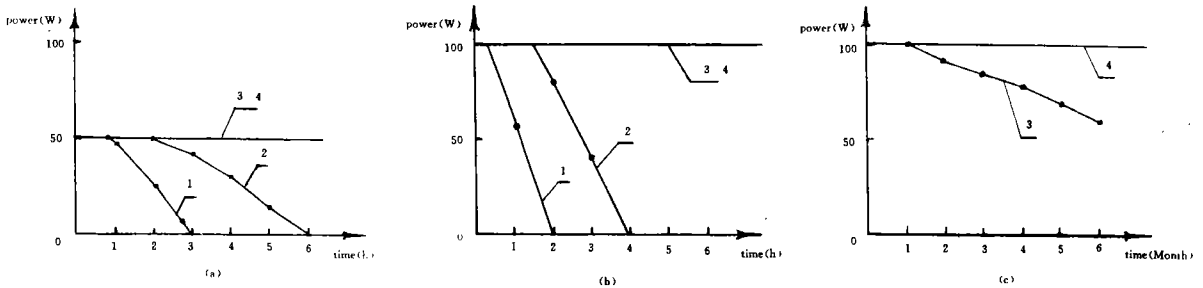


图 2 激光输出功率实验曲线

- 1. the metal cavity of silver-plating there was not a protective film
- 2. the metal cavity of silver-plating there was a protective film
- 3. the glass cavity of silver-plating
- 4. the metal cavity of gold-plating

Fig. 2 The experimental diagram of the laser output power

空气中含有氧,银膜在常温和湿度不大的空气中并不是迅速被氧化。但是银膜处于 200℃ 以上高温时,便于氧发生作用开始氧化。温度越高,氧化越迅速。大气中有硫存在,银与硫接触,也会被硫化而使银膜表面变黑。当然,在正常温度和湿度下,若大气中有臭氧存在,银膜也会慢慢被氧化而失去光泽。这就是一个保持光亮的银膜聚光器工作 2 个小时就导致激光输出功率迅速下降的原因。

为了防止银膜表面变质,目前多采用银膜加保护膜的方法来实现。但实验结果表明,用常

规工艺和常用几种氧化物或氟化物膜料所制备的保护膜,并不能有效地阻挡水汽和有害气体的浸入。这是因为这些膜不能形成玻璃质的网络结构。膜层并不致密,而呈现多孔性结构。为了说明问题,我们可以做下面一个小实验,如图 3 所示:

在一块玻璃基片上先镀上一层银膜,为了实验需要,可留出一部分银膜不覆盖保护膜。先用万用表的两个探针分别放置在银膜、保护膜上的各一位置上探测电流导通情况,此时表针不动电流不导通。这时我们往镀膜保护膜的探针位置处滴上一滴水后,表针立即动作电流导通。这就说明水浸入了保护膜,把探针与银膜连通了。

多孔性的保护膜只能起到延缓银膜变质的时间,并不能从根本上解决问题。温度低的情况使用寿命比温度高的情况使用寿命也仅相对长一些。图 2 中的曲线比较也正说明了这个问题。

我们再来看一下 3" 玻璃腔体背面镀银加保护层的聚光器工作情况。在这种聚光器中,玻璃本身就对银膜接收光的前表面形成了一层可靠的水汽和有害气体的阻挡层。而银膜的外表面因与反射光无关。所以它的保护层不管在选择保护物质,工艺方法还是涂层厚度,都可对保护措施尽量达到满意的效果。正因为这样,它在保持激光输出功率的稳定性上大大优于前两种类型的聚光器。但这种玻璃型的背面反射聚光器也存在下列几个缺点:1)玻璃本身易碎,并导热不好;2)银膜的外表涂覆也会存在质量问题;3)光先到达玻璃表面后到达银膜表面,这样形成两次反射,若玻璃表面加工不一致,会影响到聚焦质量;4)光两次透过玻璃,若玻璃内部有气泡、辉纹散缺陷,会造成吸收和散射损耗。这对发挥银膜的高反射率这一优点似乎是不利的。这种聚光器在银膜的保护方面虽有所加强,但从使用工作一个月后的观察说明,它的聚光效率稳定性还不令人十分满意。我们初步分析这是由于水汽和有害气体从外层保护胶层或边缘没有保护住的地方渐渐浸入的结果。

最后我们谈一下金膜聚光器,金虽然反射率比银低一些,但金膜从实验结果看,它是化学稳定性比较理想的一种材料。不管是低温还是高温,干燥还是潮湿,金不和氧等直接发生作用。金膜具有这些优点,所以在激光器输出功率稳定性的实验中,通过几个月的观察,输出功率无明显变化,它经受住了考验。

经过实验分析比较,在相关方面条件都做到稳定可靠的前题下,采用金膜聚光器方案,使 0~100 W 连续 Nd:YAG 激光输出功率稳定度变化限定在 $\pm 2\%$ 以内。连续工作 4 小时,最佳值在 $\pm 1\%$ 范围内变化。取得这样的结果,并将这样的激光器用于《智能医用连续 Nd:YAG 激光外科设备》中是令人十分满意的。它超过了激光输出功率变化在 10% 以内的商品化指标。

4 讨 论

我们从实验分析中看到,银膜虽反射率较高,而且反射带较宽,但其化学的不稳定性却限制了它的应用。怎样有效地保护住银膜,国内外科学工作者都在积极探讨这一问题,可以设想,采用一种工艺,把光学玻璃或较高熔点的有机塑料涂覆到银膜表面上,使其形成有效阻挡水汽

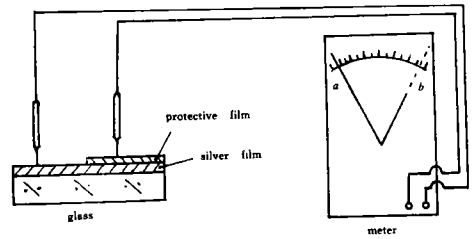


图 3 银膜与保护膜实验
Fig. 3 An experiment of the silver film and the protective film

和有害气体浸入的足够厚度。严格防止产生针孔和划痕,并采取措施保护住银膜边缘。经过这样保护后的银膜聚光器,使用寿命更长些。当然,其它途径,如采用银合金膜,也可能改善其化学的不稳定性。

参 考 文 献

- [1] 徐荣甫,刘敬海,激光器件与技术教程. 北京:北京工业学院出版社,1986:110
[2] 赫光生,雷仕湛,激光器设计基础. 上海:上海科学技术出版社,1979:224
[3] 北京大学物理系激光专业、广东省 701 研究所三室,激光原理. 1976:145

Experimental Analysis of the Stability of an Output From an Intelligence CW Nd:YAG Laser

Li Yubin

(*Changchun Institute of Optics and Fine Mechanics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130022*)

Abstract

Stability of output in the range of 0~100 watts from an intelligence CW Nd:YAG laser which used as a surgical equipment is analyzed. Effects of different cavity configurations as well as various films coated on the double elliptical-cylindrical cavity to the stability are experimentally investigated. Based on those analyses, the optimum scheme for stabilizing output is defined. The scheme can make stability of the output power keep in the ranges of $\pm 2\%$.

Key words: Condensing efficiency, Stability, YAG laser, Output power stability, Experimental analysis

李玉斌 男,工程师,1951年11月出生。1978年9月毕业于四川大学物理系光学专业。毕业后一直从事激光技术研究工作。