

提高小型 YAG 激光器动态效率的优化设计

赖洪章

(江苏曙光光学电子仪器厂,扬州,225001)

摘要:本文采用田口方法(Taguchi method)对激光器进行优化设计,用正交表安排试验,以信噪比(SN)作为产品输出特性的稳定性指标对试验结果进行数据分析,从而找到了激光器的最佳参数组合,提高了激光器的动态效率。

An optimizing design to improve dynamic efficiency of small-sized YAG laser

Lai Hongzhang

(Jiangsu Shuguang Opto-electronic Instrument Factory)

Abstract: Based on Taguchi method, an optimizing design of small-sized YAG laser is made. According to orthogonal layerout, the tests are arranged, and using signal-noise-ratio(SNR) as the stability index of output characteristics of the laser, the optimum parameters combination of the laser is found out. This method greatly improves the dynamic efficiency of the laser.

一、引言

随着激光技术的日益发展,激光测距仪正不断趋向于微小型化,而属于测距仪核心部件的激光器如何获得高的动态转换效率就显得更为重要。当前批量生产的大多数激光测距仪,其小型 YAG 激光器的动态转换效率一般均在千分之三点五左右。激光器件的效率不高,使得整机的性能受到一定限制。为此,我们采用田口方法^[1]对激光器进行优化设计,用正交表来安排试验,以信噪比(SN)作为产品输出特性的稳定性指标对试验结果进行数据分析,寻找出最佳参数水平组合,从而较好地解决了激光各元器件之间的参数匹配,提高了小型 YAG 激光器的动态转换效率。

二、方法实施

1. 系统设计

在田口方法里面,系统设计主要依据专业知识完成,小型 YAG 激光器系统设计的原理示意图如图 1 所示。

图中的 YAG 棒为 $\varnothing 3.5 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$,脉冲氙灯为 $\varnothing 3.0 \text{ mm} \times 50 \text{ mm}$,谐振腔为平行平面腔。

2. 参数设计

由于激光器的输出特性与各激光元器件参数之间没有确定的函数关系,故参数设计主要依靠试验完成。

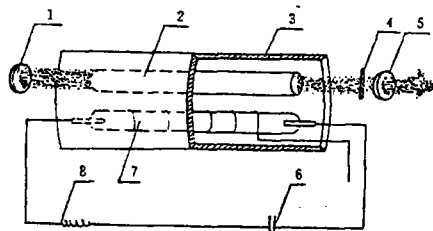


Fig. 1 Laser schematic diagram
1—total reflection mirror 2—YAG crystal 3—pumping cavity 4—Q-switching 5—output mirror 6—storage energy capacitor 7—flash tube 8—pulse shaping inductor

(1) 制定可控因素水平表 实际上,影响激光器动态效率的因素较多。这里,我们把元器件参数可以加以控制的因素叫做可控因素,如氙灯充气压,贮能电容容量,染料片 Q 开关透过率……。而把各因素的取值叫做各因素的水平。本试验所选取的可控因素所构成的可控因素水平表如表 1 所示。

Table 1 Level of controable factors

factor		1	2	3
efficiency of YAG crystal(%)	A	0.60	0.75	0.90
pressure in xenon lamp (Pa)	B	59995	79995	9990
distance between electrodes(mm)	C	28	30	32
laser pump in cavity	D	intersec- ting-circle	cylindrical	elliptical- cylindrical
Q-switching transmissivity(%)	E	25	35	45
reflection of output mirror (%)	F	35	55	75
pulse shaping inductor (μH)	G	20	40	60
length of resonator (mm)	H	60	80	100
storage energy capacitor (μF)	I	15	20	30

(2) 试验方案确定 选用正交表 $L_{27}(3)^{13}$ 安排试验,该表可以选择 3 水平的因素 13 个,共进行 27 次试验。本试验选取可控因素 9 个,各因素顺序上列,其余为空列。其试验方案表如表 2 所示。

Table 2 Testing table

No.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	A	B	C	D	E	F	G	H	I				
1	1 (0.60)	1 (450)	1 (28)	1 (intersecting-circle)	1 (25)	1 (35)	1 (20)	1 (60)	1 (15)				
2	1	1	1	1	2 (35)	2 (55)	2 (40)	2 (80)	2 (20)				
3	1	1	1	1	3 (45)	3 (75)	3 (60)	3 (100)	3 (30)				
4	1	2 (600)	2 (30)	2 (cylindrical)	1	1	1	2	2	2	3	3	3
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2
7	1	3 (750)	3 (32)	3 (elliptical-cylindrical)	1	1	1	3	3	3	2	2	2
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3
9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1
10	2 (0.75)	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1

12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2
(0.90)													
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2

(3) 试验数据采集 对表 2 中的每号条件, 试验时每号条件相同条件下分别仔细测量两次激光器的阈值电压和激光动态输出能量, 再算出各次的激光动态转换效率 N_1, N_2 , 并将此数据填入表 3 作为统计分析的依据。

(4) 通过 SN 比的计算及方差分析, 确定各参数的水平

a. 信噪比及各波动平方和的计算。小型 YAG 激光器希望其激光动态转换效率越高越好, 也就是要求输入的电能转换成激光能量的损失越小越好, 其特性属于望小特性。按望小特性 SN 比的计算公式^[2]

$$\eta = -10 \log \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i^2 \text{ (dB)}$$

式中, η 为信噪比, n 为试验次数; y_i 是由试验得出的特征值。($y' = 100 - y$, y 的最大值为 100), 计算出各号试验条件的信噪比值, 并记入表 3。

Table 3 Data for dynamic efficiency test

No.	A	B	C	D	E	F	G	H	I	(e)	(e)	(e)	(e)	y_v	$\eta =$	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	N'_2	N'_3	$\eta + 39\text{dB}$
1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0.255	0.261	-0.978
2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0.232	0.237	-0.980
3	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	0.145	0.171	-0.986
4	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	3	3	3	0.354	0.389	-0.968
5	1	2	2	2	2	2	2	3	3	3	1	1	1	0.291	0.304	-9.75
6	1	2	2	2	3	3	3	1	1	1	2	2	2	0.190	0.229	-0.982
7	1	3	3	3	1	1	1	3	3	3	2	2	2	0.185	0.202	-0.983
8	1	3	3	3	2	2	2	1	1	1	3	3	3	0.125	0.146	0.985

9	1	3	3	3	3	3	3	2	2	2	1	1	1	0.094	0.095	-0.992
10	2	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	0.093	0.160	-0.989
11	2	1	2	3	2	3	1	2	3	1	2	3	1	0.125	0.113	-0.990
12	2	1	2	3	3	1	2	3	1	2	3	1	2	0.149	0.182	-0.986
13	2	2	3	1	1	2	3	2	3	1	3	1	2	0.224	0.238	-0.980
14	2	2	3	1	2	3	1	3	1	2	1	2	3	0.145	0.150	-0.987
15	2	2	3	1	3	1	2	1	2	3	2	3	1	0.186	0.259	-0.981
16	2	3	1	2	1	2	3	3	1	2	2	3	1	0.210	0.273	-979
17	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	3	1	2	0.215	0.214	-0.981
18	2	3	1	2	3	1	2	2	3	1	1	2	3	0.262	0.341	-0.974
19	3	1	3	2	1	3	2	1	3	2	1	3	2	0.276	0.343	-0.974
20	3	1	3	2	2	1	3	2	1	3	2	1	3	0.369	0.476	-0.963
21	3	1	3	2	3	2	1	3	2	1	3	2	1	0.387	0.424	-0.965
22	3	2	1	3	1	3	2	2	1	3	3	2	1	0.157	0.137	-0.987
23	3	2	1	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	0.132	0.188	-0.986
24	3	2	1	3	3	2	1	1	3	2	2	1	3	0.250	0.247	-0.978
25	3	3	2	1	1	3	2	3	2	1	2	1	3	0.243	0.279	-0.977
26	3	3	2	1	2	1	3	1	3	2	3	2	1	0.400	0.508	-0.960
27	3	3	2	1	3	2	1	2	1	3	1	3	2	0.337	0.395	-0.968
T_1	-0.829	-0.81	-0.929	-0.797	-0.814	-0.779	-0.798	-0.807	-0.818	-0.817	-0.822	-0.81	-0.807			
T_2	-0.847	-0.824	-0.796	-0.78	-0.809	-0.799	-0.818	-0.807	-0.819	-0.828	-0.813	-0.807	-0.818			$T = -26.4333$
T_3	-0.757	-0.799	-0.809	-0.878	-0.81	-0.855	-0.817	-0.824	-0.799	-0.813	-0.798	-0.816	-0.807			$CT = 25.8779$
S	0.00051	0.00042	0.00007	0.00075	0.00001	0.00032	0.00004	0.00004	0.00008	0.00013	0.00004	0.00001	0.00018			$ST = 0.00238$

* 加上虚拟数 39dB 为的是计算方便。

表 3 中: T_1 为 1 水平数据和; $T_{A1} = (-0.978) + (-0.980) + (-0.986) + (-0.986) + (-0.975) + (-0.982) + (-0.983) + (-0.985) + (-0.992) = -8.829$; T_2 为 2 水平数据和; $T_{A2} = (-0.989) + (-0.990) + (-0.986) + (-0.980) + (-0.987) + (-0.981) + (-0.979) + (-0.981) + (-0.974) = -8.847$; T_3 为 3 水平数据和; $T_{A3} = (-0.974) + (-0.963) + (-0.965) + (-0.987) + (-0.986) + (-0.978) + (-0.977) + (-0.960) + (-0.968) = -8.757$; S 为波动平方和, $S = \frac{1}{n}(T_1^2 + T_2^2 + T_3^2) - CT, n=9$; T 为数据总和; $T = T_1 + T_2 + T_3$;

CT 为修正项, $CT = (T^2)/n, n=27$; ST 为总波动, $ST = \sum_{i=1}^n \eta_i^2 - CT, n=27$ 。

b. 方差分析。对 SN 比进行方差分析见表 4。表中:

$f_A^{(自由度)} = f_B = \dots = f_I = K - 1, K=3; f_e$: 空列自由度和, $f_e = 8; f_T = n - 1 = 27 - 1 = 26$, $V^{(方差)} = S/f; F^{(F值)} = V/V(e); S^{(波动平方和)} = S - f \cdot V(e); S^{(调整率)} = S'/ST$

Table 4 Analysis table for dynamic efficiency

source	S	f	V	F	S'	$\rho(\%)$
A	0.00051	2	0.000255	17**	0.0005	20.8
B	0.00042	2	0.000210	14**	0.0004	16.7

C	0.00007	2 Δ	/			
D	0.00079	2	0.000395	26.33**	0.0008	33.3
E	0.00001	2 Δ	/			
F	0.00035	2	0.000175	11.67**	0.0003	12.5
G	0.00004	2 Δ	/			
H	0.00004	2 Δ	/			
I	0.00003	2 Δ	/			
e	0.00009	8 Δ	/			
(e)	0.00012	18	0.000015		0.0004	16.70
T	0.00238	26				100

$$F_{1\alpha}^*(0.05) = 3.55 \quad F_{1\alpha}^*(0.01) = 6.01$$

注: $F > F_{1\alpha}^*(0.01)$ 时, 因素为高度显著, 记为 (**); $F_{1\alpha}^*(0.01) \geq F > F_{1\alpha}^*(0.05)$ 时因素为显著, 记为 (*); $F \leq F_{1\alpha}^*(0.05)$ 时, 因素为不显著。

从查 F 表^[3]的结果看出, 对于激光器的动态转换效率, A, B, D, F, 均为高度显著因素, 它们的贡献率分别为 20.8%, 16.7%, 33.3%, 12.5%。而其它因素的贡献率仅占 16.7%, 水平可以任意选取。因此, 得到激光器动态转换效率的最佳组合条件为

$$A_3 B_2 C_0 D_2 E_0 F_1 G_0 H_0 I_0$$

三、验证试验

为了考查利用田口方法所确定的小型 YAG 激光器最佳组合条件的再现性, 我们选用 5 支 2 水平的 YAG 棒做了验证试验, 其各因素所确定的水平为

$$A_2 B_3 C_1 D_2 E_1 F_1 G_1 H_2 I_1$$

试验结果见表 5。

从验证结果可以看出, 采用优化参数设计后, 激光器的输出能量均在 22mJ 左右, 相对比较稳定。激光器的动态转换效率在 5% 左右, 较目前批量生产中的小型 YAG 激光器要提高约 40%。

Table 5 Check-up for test data

No.	threshold Value	output energy	dynamic efficiency
	(V)	(mJ)	(%)
1	750	21.92	5.19
2	780	21.70	4.76
3	750	22.86	5.42
4	760	22.05	5.13
5	760	22.10	5.14

四、结束语

从本设计的试验结果可知, 影响小型 YAG 激光器动态效率的主要因素依次为: 聚光腔形状, YAG 棒静态效率, 氙灯充气压, 输出镜的反射率。而其它因素, 如氙灯极间距, 染料片透过率, 整形电感量, 腔长, 贮能电容容量则对激光器动态效率影响不大, 设计时可根据实际情况适

当选取水平的大小。

所以,应用田口方法对 YAG 激光器各元件参数进行优化设计,可以从多种元件参数组合中选取令人满意的最佳参数组合,由最佳参数组合条件下装调出来的激光器可获得高的动态转换效率,且输出波动小,工作稳定性好。同时,由试验结果可以对影响激光器动态效率的各参数进行数据分析,结果一目了然,一改以往那种盲目反复试验的旧方法。

参 考 文 献

- [1] [3] 韩之俊,章渭基. 质量工程学. 北京:科学出版社,1991:3~4,264.
[2] 章渭基,严圣武,韩之俊 *et al.* 质量工程学. 北京:北京理工大学出版社,1991:104.

收稿日期:1992年11月24日。

· 简 讯 ·

激光开关存储光学图象的液晶

日本的研究人员用光学化学敏化剂与铁电液晶(FLC)材料化合,配制成一种快速作用液晶,其偏振态可用光翻转,在某一天这将导致一种新型低功率液晶显示器,它薄得象广告画一样,可以卷起来。日本横滨东京技术研究所的 Tomiki Ikeda, Takeo Sasaki 和 Kunihiro Ichimura 用偶氮苯衍生物敏化 FLC。首先被外加大约 10V 的电场,使 FLC 分子排成直线(极化),然后,在有相反极性的低压电场的情况下,用 360nm 激光照射,通过顺-反感光异构化作用,触发光敏化 FLC 分子翻转,与低压电场平行。FLC 受光照射的区域改变它们的光学特性,从而使图象能够存储。再施加原来的电场和用较长波长(大于 450nm)的光照射 FLC,便能消除图象。据研究人员讲,产生光异构化不到 10ns。FLC 的总响应时间受其它因素限制,测得为几百微秒。

译自 L F World, 1993; 29(3); 9 张贤义 译 刘建卿 校