

转镜调 Q 的四倍增速器件

陈秀云 廉汝林 王桂兰

旋转反射镜作为激光 Q 开关,其主要缺点是开关速度慢,易产生多脉冲。为了取得单脉冲的输出,就要调整脉冲的建立时间 t_D 和开关时间 t_s , 使反转粒子数 N 在第一个脉冲发射后,稳定在一个低于最小临界反转粒子数 $(N_t)_{\min}$ 的数值上。为此,必须设法将 t_D 调为近于 t_s [1]。

要使 $t_D \approx t_s$, 可从两方面做工作。其一,是增加脉冲的建立时间 t_D , 一般采用拉长激光谐振腔腔长 L , 减小输出介质膜的反射率或减小泵浦能量等方法来实现;其二,缩短开关时间 t_s , 就转镜调 Q 来讲,主要是提高转镜的转速。但是,要提高转镜转速,又会给转镜的动平衡调整带来困难,所以一般都采用多重跳跃式旋转反射系统来成倍地提高有效的光学转速。资料 [1] 给出使有效转速 W_e 达到实际转速 W_m 二倍的系统。应用这一技术,使光束在旋转反射镜和附加的静止反射镜之间进行任意次反射,其有效光学转速 W_e 由

$$W_e = nW_m \quad (1)$$

给出。这里 n 是绕旋转反射镜的次数, W_m 是实际转速。

一九六九年,在一个研制项目中,为了满足激光器腔长要短、输出功率要大的设计要求,我们曾用上述原理设计了一台四倍光学增速调 Q 铍玻璃激光器。具体系统的光路图如图 1 所示。

图 1 所示系统有两个特点: 1. 采用了折迭腔——一块介质膜有一半对 1.06μ 透过率 $T=1\%$, 另一半对 1.06μ 透过率 $T=47\%$, 即光学谐振腔由一块上述介质膜片构成, 使调整简单。腔长较之单腔转镜调 Q 长一倍, 如前所述, 有益于单脉冲的产生; 2. 从工作物质发出的光, 要在谐振腔中完成一次振荡要四次经过同一块转镜, 从 (1) 式可知, 此时得到的有效光学转速

$$W_e = 4W_m \quad (1')$$

对转镜调 Q 而言, 由于有效光学转速的提高, 必将使此系统的调 Q 速度增快, 从而改善了激光输出参数。为了验证图 1 所示系统的实际效果, 我们曾采用图 2、图 3 所示两个系统, 在

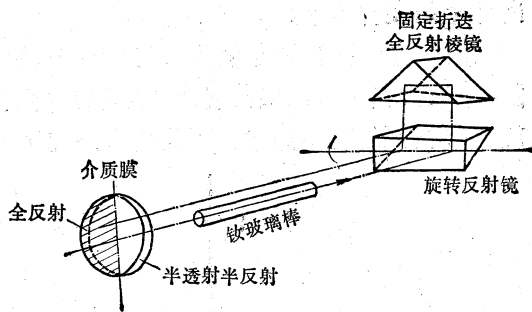


图 1 四倍增速光路图

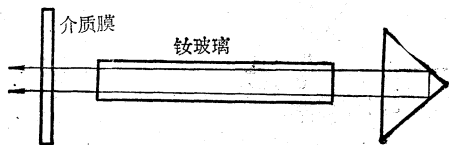


图 2 二倍增速光路

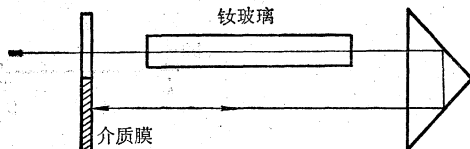


图 3 普通转镜调 Q 光路

相同条件 (即工作物质 $\phi 6 \times 90$ mm 钹玻璃棒, 氙灯 $\phi 6_{\text{H}} \times 80$ mm; 介质膜对 1.06μ 波段, 一半 $T=1\%$, 一半 $T=47\%$; 对单腔 $T=47\%$; 椭圆聚光器长 $l=90$ mm, 长轴 $2a=40$ mm, 偏心率 $e=0.4$; 转镜由直流电机 DPM25-11G 带动, 转速 $W_m=30000$ 转/分) 下作过比较试验, 其结果如下:

1. 阈值泵浦能量随转角 θ 的变化率

众所周知, 激光在临界荡振时粒子数反转 N_t 同谐振腔 Q 值成反比^[2]:

$$N_t = \frac{2\pi}{\lambda \sigma_0 Q} \quad (2)$$

式中 σ_0 是吸收截面。

在开关过程中, Q 值是作为腔内损耗 r 的函数而变化的^[3]:

$$Q = \frac{2\pi L}{\lambda r} \quad (3)$$

L 是光学谐振腔的长度。将 (3) 代入 (2)

$$N_t = \frac{r}{\sigma_0 L} \quad (4)$$

在旋转反射镜 Q 开关中, 腔内损耗 r 是旋转反射镜和介质膜之间夹角 θ 的函数, 即有

$$r = r(\theta)$$

考虑到 (4) 式就有

$$N_t = \frac{r(\theta)}{\sigma_0 L} \quad (4')$$

综上所述, 不同的角 θ 对应着不同的损耗 r , 不同的 r 对应着不同的 N_t ; 而不同的 N_t 就要靠不同的泵浦能量 E_t 来获得。我们称 E_t 为阈值泵浦能量。那么, 不同的角 θ 就对应着不同的 E_t , 而 E_t 随角 θ 的变化也就反映着 N_t 随 θ 的变化规律。这样, 就可以从 $E_t \sim \theta$ 曲线看出 Q 值的变化速率。

如果将谐振腔的 Q 值从最高 ($\theta=0$) 逐渐调低, 测出不同角 θ 对应的 E_t , 就可作出 $E_t \sim \theta$ 曲线; 若测出电机的实际转速, 就可将 θ 角换算成时间, 得到 $E_t \sim t$ 曲线。实验中, 我们对图 1、2、3 的系统在前述条件下测出 $E_t \sim Q(t)$ 曲线示于图 4。

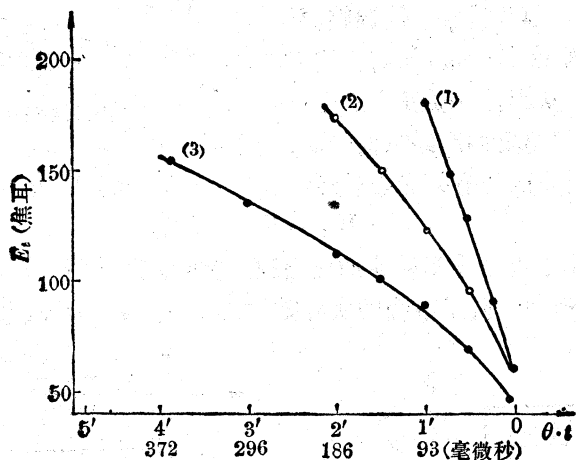


图 4 阈值泵浦能量随 Q 、 t (时间) 变化曲线
(1) 四倍增速 (2) 二倍增速 (3) 普通转镜调 Q

由图 4 可以计算出 E_t 随时间 t 的变化率(这里用斜率代之),结果如下:

$$\left. \begin{array}{l} \text{四倍增速系统} \quad \Delta E/\Delta t \approx 1.27 \\ \text{二倍增速系统} \quad \Delta E/\Delta t \approx 0.65 \\ \text{普通转镜调 } Q \quad \Delta E/\Delta t \approx 0.29 \end{array} \right\} \quad (5)$$

为便于比较,令 $\Delta E/\Delta t \approx 0.29$ 为 1, 四倍增速则为 4.38; 二倍增速为 2.24。

由前面的分析可以看出, $\Delta E/\Delta t$ 值的大小, 反映着 Q 值的变化速度。从(5)式可知, 四倍光学增速系统的调 Q 速度最快, 较之普通转镜调 Q 速度有成倍的提高。对转镜调 Q , 当系统固定后, 调 Q 速度取决于转镜的转速。由此可以说明, 图 1 所示系统确实能提高转镜的有效光学转速。这里应该指出的是图 1 所示系统较图 3 所示系统的腔长增加了一倍, 并且增加了腔内的插入损耗。腔长的增加, 会提高角灵敏度, 有利于提高调 Q 速度; 而插入损耗的增加, 只会提高阈值, 而对调 Q 速度的影响不大。到目前为止, 还未见到用腔内增加固定插入损耗来提高调 Q 速度的报导。所以, 我们认为, 图 1 四倍光学增速系统的 $\Delta E/\Delta t$ 比图 2、图 3 两系统的 $\Delta E/\Delta t$ 值有成倍提高, 主要还是因为有效光学转速能成倍提高。

由于调 Q 速率的提高, 使转镜调 Q 的开关角大大压缩, 其值可由图 4 直接求出。当固定 100 焦耳输入时, 对前述三系统的最大开关角和相应的开关时间列入表 1。

表 1

调 Q 系. 统	开 关 角 $\theta(t)$	开 关 时 间 t_s
图 1 系 统	$\sim 0'18''$	28 毫微秒
图 2 系 统	$\sim 0'33''$	52 毫微秒
图 3 系 统	$\sim 1'24''$	132 毫微秒

2. 激光输出参数的比较

对调 Q 器件, 我们总希望输出的单脉冲能量高、脉宽窄。但对给定系统, 激光单脉冲都有一定的运转范围, 低于此范围的最小值, 无激光输出, 超过此范围的最大值, 就会出现多脉冲。我们就前述三个系统的单脉冲运转和单脉冲输出作了测量(见表 2)。

表 2

调 Q 方 式	比 较 项				
	静 态 阈 值 (焦耳)	动 态 阈 值 (焦耳)	单脉冲最大能量 (焦耳)	相应输入能量 (焦耳)	单脉冲最大效率
图 1 系 统 腔长 120 毫米 $\times 2$	26.0	61	0.68	116	0.59%
图 2 系 统 腔长 120 毫米 $\times 2$	26.0	54	0.59	78	0.76%
图 3 系 统 腔长 120 毫米	23.5	39	0.32	58	0.55%

表 2 给出, 图 1 系统的单脉冲运转范围最大 (61 焦耳 \sim 116 焦耳), 输出的单脉冲能量最高。这是因为此系统调 Q 速率提高, 开关角大大压缩(看表 1) 所引起的必然结果。

在测单脉冲能量的同时,还用强流光电管接收,用日本 SS-212 型示波器观察了最大单脉冲的发光时间,并用 27 定胶卷,1:1.4 相对孔径的示波器照像机拍了如下波形:

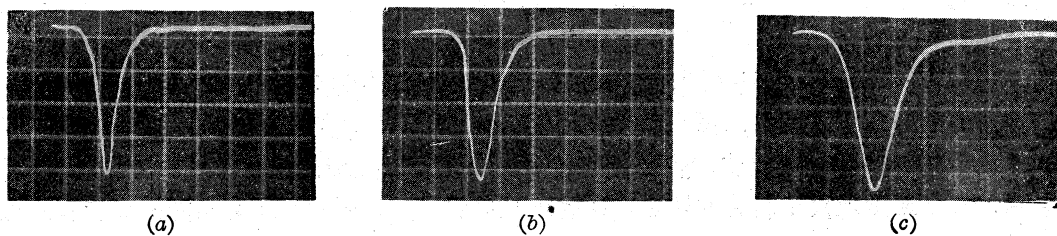


图 5 激光脉冲的发光波形,扫描速度 20 毫微秒/厘米
a. 图 1 系统; b. 图 2 系统; c. 图 3 系统

由图 5 得到表 3。

表 3

调 Q 方案	脉冲上升时间	脉冲半宽度
图 1 系统	~8 毫微秒	~12 毫微秒
图 2 系统	~12 毫微秒	~20 毫微秒
图 3 系统	~22 毫微秒	~28 毫微秒

从一般调 Q 理论分析可知,激光巨脉冲的上升时间取决于谐振腔中增益的大小和调 Q 速度的快慢。当谐振腔参数确定后,和调 Q 速度有关。一般认为,快速 Q 开关可以提供发光时间短的巨脉冲。从表 3 看出,图 1 系统不论是激光脉冲的上升时间还是半宽度都较图 2、图 3 系统短(或窄)。这就从实验的角度验证了利用光学增速原理设计的四倍光学增速系统,确实可以提高转镜调 Q 速度。

结束语

利用光学增速提高转镜有效光学转速,是提高转镜调 Q 速度的有效手段。用此原理设计的四倍增速系统(图 1),提高了转镜调 Q 速度,使激光单脉冲输出能量提高,发光时间缩短,从而提高了激光输出功率。此系统经实验证明,单脉冲性能稳定。

事物都是一分为二的,四倍增速系统虽然有以上所述优点,但从表 2 可以看出,它的阈值较高,效率较低,调整也较复杂,所以仍需继续改进。如将腔内各界面都镀对 1.06μ 增透膜,也会有益于效率的提高。若对图 1 系统作适当改动,还可增速六倍或八倍。

参 考 文 献

- [1] IEEE Transactions on Military Electronics Vol. MIL-8 No.,13~21p, 1964. by: Robert C. Benson and Michael R Mirarchi.