

文章编号: 0258-7025(2002)Supplement-0241-04

# 电光调 Q 偏振镜漏光现象研究

胡鹏 赵茗 李志刚 黄维玲 王海林

(华中科技大学激光技术国家重点实验室, 武汉 430074)

**摘要** 用一种经典电光调 Q 的方法实现前级激光振荡, 后级激光放大的脉冲 YAG 激光器, 最大输出频率 20 Hz。对偏振片侧面反射出较强激光的特殊现象做了深入的分析 and 探讨, 指出了该现象产生的原因。并指出如何利用这种现象来指导此类激光器的调试。

**关键词** 固体激光器, 电光 Q 开关, 偏振片, 放大级, 漏光

**中图分类号** TN248.1<sup>+</sup>3 **文献标识码** A

## Study of Leaky Laser Phenomena from the Polarizer In E-O Q-Switch System

HU Peng ZHAO Ming LI Zhi-gang HUANG Wei-ling WANG Hai-lin

(State Key Laboratory of Laser Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

**Abstract** A solid-state laser system with short pulse width, including an oscillator and an amplifier, was implemented. In the oscillator a classical E-O Q-switch method was used. The maximal output frequency is 20 Hz. In-depth discussion and analysis were focused on the phenomena that the laser beam with a quite high energy was reflected from the side of polarizer. And the cause of this phenomena was pointed out. It has been discussed that how to make use of this phenomena to guide the debugging of this kind of laser.

**Key words** solid-state laser, E-O Q-switch, polarizer, amplifier, leaky laser

### 1 引言

利用 KD\*P 晶体的普克尔效应和偏振片组成的电光 Q 开关已成为当前电光调 Q 激光器生产的经典做法。它的整体效果好, 成本低, 系统稳定性

高, 因而得到了广泛的应用。

系统如图 1 所示, 其中  $M_1$  为全反镜,  $M_2$  为透射率 70% 的输出镜。

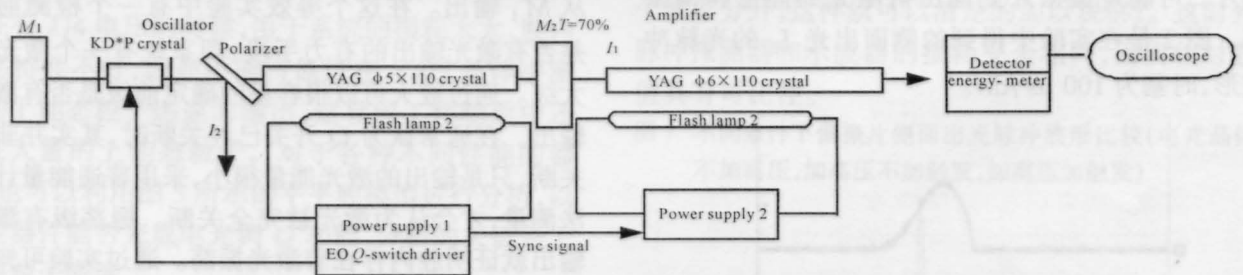


图 1 实验装置  
Fig. 1 Experiment setup

### 2 原理分析

在试验过程中, 发现一种尚未见过报道的现象, 即在不调 Q 时和调 Q 时在偏振片的侧面总会射出较强激光  $I_2$ 。对此现象进行了分析, 发现了一些有实际意义的结论。表 1 给出了在电光 Q 开关处在

不同状态下, 激光器的正常输出  $I_1$  与偏振片侧面输出激光  $I_2$  之间单脉冲能量的比较(在本文中给出的所有数据如没有特别指明都是指的没有经过放大级放大的数据)。

表 1 不同条件下系统正常出光  $I_1$  和偏振片侧面出光  $I_2$  单脉冲输出能量比较

Table 1 The comparison of single pulse energy between system normal output  $I_1$  and output laser  $I_2$  on the side of polarizer in system different conditions (the conditions refer to the states of the E-O Q-switch and the flash lamp's voltage is 1000 V) (unit: mJ)

	$I_1$	$I_2$
0 volt on KD*P	216	18
$\lambda/4$ voltage on KD*P (no trigger)	13	98
Normal Q-switch	120	58

对表 1 数据分别所对应的三种系统状态,分析如下:

系统未调 Q 时(无高压,无触发),侧面  $I_2$  方向总会出现一束比较弱的激光。在理想情况下,腔内振荡的激光是一束线偏振光,所有的光都应该在  $y$  轴方向振动,即为 P 光。然而由于 KD\*P 电光晶体存在轻微双折射(由晶体内的内应力或光学性质不均匀引起)导致在晶体两个感应主轴方向上的损耗非均匀分布<sup>[1]</sup>。通过实验可以测量出晶体在两个感应主轴位置上的损耗比  $x'/y'$  约为 0.948<sup>[3]</sup>。又因 KD\*P 的两个感应主轴和腔内振荡的激光偏振方向应成 45°角<sup>[1]</sup>,所以当激光以此偏振角振荡时,可以计算出通过 KD\*P 晶体之后激光的偏振方向会有所改变。而当激光往返经过 KD\*P 晶体之后这种效应就更加明显,此时会出现一定量偏振方向和 P 光偏振方向垂直的 S 光。这时 S 光是具有偏振特性的激光,所以当它再次通过偏振片的时候,偏振片会将这部分的 S 光全部反射出去。此时偏振片侧面出射的光全部是 S 光, P 光全部透射通过偏振片。可确定偏振片侧面出射激光的能量和偏振态。图 2 是在实验中得到的侧面出光  $I_2$  的光脉冲波形,时基为 100  $\mu\text{s}/\text{div}$ 。

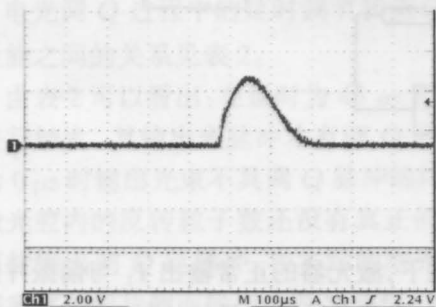


图 2 偏振片侧面出射的光脉冲波形(KD\*P 无电压)  
Fig. 2 Oscillation waveform of output laser pulse from the side of polarizer (no voltage on KD\*P)

当系统 KD\*P 晶体上加  $\lambda/4$  电压,不加触发时,在侧面  $I_2$  方向出射 98 mJ 的能量。对这种现象加以分析,可得到定性结论。

本系统带有的放大级对于检测 KD\*P 晶体加适当电压后的关断效果相当有利。当有激光出射时,由于后光路存在放大级,可对前级进行放大,因而很容易就可以检测到前级发出的微弱激光。由于后级的放大作用,本系统直到抽运灯电压降为 400 V 时,才会无法检测到激光输出。因此可以认为此时电光调 Q 器件才完全关断。然而通常认为抽运灯电压为 400 V 时是这类激光器的阈值电压。因此这种电光 Q 开关的关断现象是一种伪关断现象。

为进一步弄清问题本质,设计一个实验来等效这时的系统:选取原来的 YAG 工作物质,  $M'_1, M'_2$  ( $T=70\%$ ) 构成一个简单激光谐振腔系统(见图 3)。在这个系统中  $M'_1$  的作用相当于原系统的偏振片和 KD\*P 晶体所起的作用,  $M'_2$  等效于原  $M_2$ 。在原系统中:当 KD\*P 晶体上加高压不加触发时。因偏振片的起偏效应,腔内的激光是偏振光,在往返经过 KD\*P 晶体后,由于 KD\*P 晶体的纵向电光效应原来为 P 光现在则为 S 光,当激光再次通过偏振片时,会被完全反射出谐振腔。此时偏振片等效于一个透过率极高的输出镜  $M'_1$ ,腔内振荡的激光从这里输出。图 3 示出了  $M'_1$  透射光路和反射光路所等效的原系统部分。

由于 KD\*P 晶体的非理想作用,少量仍存在的 P 光则继续通过偏振片,进入激光的工作物质,维持腔内的激光振荡。此时激光腔在  $M'_2$  输出镜处输出的光功率极小,只有 10~20 mJ,而大部分能量均从  $M'_1$  输出。在这个等效实验中有一个检测前级是否有激光输出的有力手段,即系统有一个激光放大级。通过放大可以很容易的确定前级是否有激光输出。在通常认为 Q 开关已经关断时,其实并非真关断,只是输出的激光能量很小,采用普通能量计无法测量,才会认为激光被完全关断。振荡级有激光输出就证明腔内存在着激光振荡。通过实验可知等效系统中  $M'_1$  所输出的能量和系统中的  $I_2$  非常相近,误差不超过 10%。

由系统实际工作中的现象和设计的等效简单平腔激光器实验结果及分析,可以得到结论:在系统工作的任何时候电光 Q 开关都没有将激光振荡完全关断。图 4 是在系统电光晶体加  $\lambda/4$  电压不加触发所测得得  $I_2$  光脉冲波形,其中时基为 40  $\mu\text{s}/\text{div}$ 。

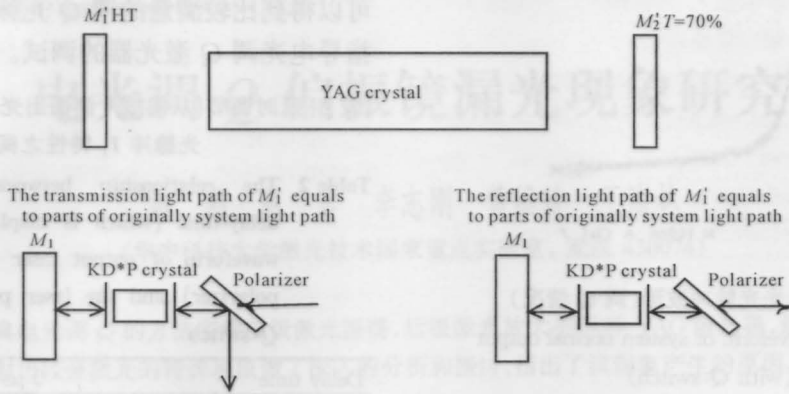


图 3 等效实验系统

Fig. 3 Equivalent experiment system



图 4 偏振片侧面出光的光脉冲波形 (KD\*P 有  $\lambda/4$  电压无触发)

Fig. 4 Oscillation waveform of output laser pulse from the side of polarizer ( $\lambda/4$  voltage on KD\*P without trigger)

以上是对系统静态特性的讨论,下面将从侧面出光角度详细讨论系统的实际调 Q 过程。

根据以上分析,氙灯通有脉冲放电电流时,因 KD\*P 晶体在开始的时候存在着电压,由于器件不可能是完全理想的,腔内存有激光振荡。根据等效的简单平平腔模型(图 3)可以得知:在 KD\*P 晶体存在有  $\lambda/4$  电压的时候,由于系统的损耗太大,腔内振荡特性不好,因而不能将氙灯在 YAG 晶体中激发的上能态粒子迅速的输出,这导致工作物质中还存在大量的上能态粒子。对于各种不同性能的器件,也可以利用图 3 所示的平平腔模型进行分析,以确定器件能否完成电光调 Q 功能,分析的关键是上能态粒子密度。

在一瞬间突然撤去 KD\*P 晶体上的高压,系统的损耗瞬间减到很小(相对于 KD\*P 晶体存在有  $\lambda/4$  电压时),系统会快速以光子的形态输出已经集聚在工作物质中的上能态粒子的能量。这时就可类比为图 3 中等效实验的  $M_1$  在瞬间透过率降到很小,此时系统就可等效于由一个高反镜和一个  $T=70\%$  的透射镜所组成的平行平面激光谐振腔。由于

此平平腔内工作物质反转粒子数密度极高,谐振腔性能突然变好,有能力将集聚在上能态粒子的能量快速以光子的形态输出,所以在此刻系统输出巨脉冲。在过了这一瞬时之后,系统的反转粒子数迅速下降,但是氙灯的放电脉冲还没有结束(仍然对工作物质不断的抽运),并且晶体两端的电压又逐步升高,此时系统又会恢复到上面讨论的情况(KD\*P 晶体两端加电压但没有触发)。从下面所测  $I_2$ (图 5)和系统的输出方向  $I_1$ (图 6)的波形可以很清楚的证实这一点。

图 5 是偏振片侧面所得到的光脉冲波形  $I_2$ ,图 6 是系统正常输出方向  $I_1$  输出的光脉冲波形。图 5 的时基是  $40 \mu\text{s}/\text{div}$ ,图 6 的时基是  $100 \text{ ns}/\text{div}$ 。

图 7 是电光晶体三种情况下偏振片侧面出射的光脉冲能量波形图,将侧面出光的三种不同情况放在同一幅图上以便于比较(三种情况的时基相同,都是  $200 \mu\text{s}/\text{div}$ ,只是将触发时刻位置做了调整,使三个波形分开,这样就可以清楚的加以观察)。这时光脉冲探测器和示波器的损耗完全相同,因而相对数值具有可比性。

图 7 不同条件下偏振片侧面出光脉冲波形比较(电光晶体不加高压,加高压不加触发,加高压加触发)

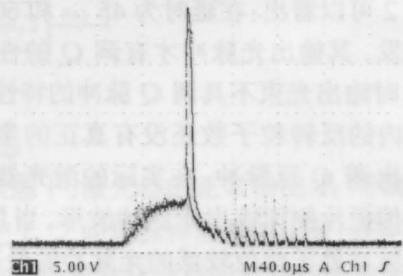


图 5 系统侧面出光脉冲波形(调 Q 情况)

Fig. 5 Oscillation waveform of output laser pulse from the side of polarizer (with Q-switch)

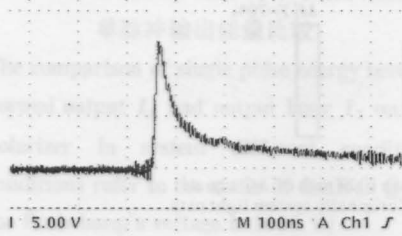
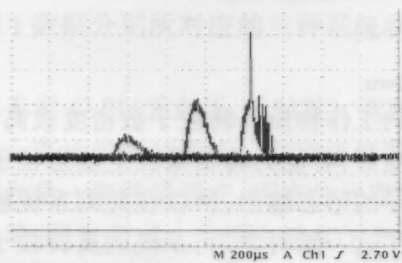


图6 系统正常出光光脉冲波形(调Q情况)

Fig.6 Oscillation waveform of system normal output pulse (with Q-switch)

Fig.7 Oscillation waveforms' comparison between output laser pulses from the side of polarizer in different conditions (KD\*P: no voltage,  $\lambda/4$  voltage without trigger,  $\lambda/4$  voltage with trigger)

在图7中,最左面的尖峰为电光晶体不加高压的 $I_2$ 光脉冲波形。此时就和没有任何调Q措施的脉冲激光器的光脉冲波形基本相同。

中间的尖峰为电光晶体加高压不加触发的 $I_2$ 光脉冲波形。此时由于本文上面所解释的原因,因而激光的输出能量明显比电光晶体不加高压时的情况有了很大的增加。

最右面的尖峰为电光晶体加高压加触发的 $I_2$ 光脉冲波形。此时明显的可以看到有一个在加高压不加触发的 $I_2$ 光脉冲波形基础上又叠加的具有明显调Q特征的光脉冲。

电光调Q过程中的延时调节和调Q光脉冲 $I_1$ 的性能之间的关系见表2。

由表2可以看出:在延时为 $45\ \mu\text{s}$ 和 $60\ \mu\text{s}$ 的位置进行触发,其输出光脉冲才有调Q的性质。当延时为 $0\ \mu\text{s}$ 时输出光束不具调Q脉冲的特性,这是由于激光腔内的反转粒子数还没有真正的集聚起来,不可能输出调Q巨脉冲。在实际的激光器调试中,只需观察偏振片侧面输出光脉冲波形,当具有调Q特征的光脉冲处于幅值较低的光脉冲的最高点的位置,如图5所示,系统则被调节至最佳位置。此时腔内反转粒子数密度最大,在此刻给出触发信号必然

可以得到比较满意的调Q光脉冲。由这个结论可以指导电光调Q激光器的调试。

表2 延时调节(从偏振片侧面出光脉冲波形读出)和调Q光脉冲 $I_1$ 特性之间的关系

Table 2 The relationship between the adjustment of delay-time (which is displayed through oscillation waveform of output laser pulse from the side of polarizer) and the laser pulse characteristics with Q-switch

Delay time	$0\ \mu\text{s}$	$45\ \mu\text{s}$	$60\ \mu\text{s}$
Q-switch laser pulse width	$80\ \mu\text{s}$	15 ns	15 ns
Q-switch laser pulse energy	195 mJ	120 mJ	43 mJ
Q-switch laser peak power	2.44 kW	8 mW	2.87 mW

至此从侧面出光的角度完整的讨论了与理想电光调Q的原理有一定差异的实际系统的电光调Q过程,并在振荡级获得了峰值功率极高,单脉冲能量为120 mJ,脉宽10 ns~20 ns的光脉冲。

### 3 结论和探讨

在实验中所发现的现象是采用这一类型调Q器件的激光器所共有的现象,通过对这类激光器的实际工作机理的深入研究可以得出以下结论:

1) 在电光调Q激光器调试过程中,由于激光器的电光调Q器件总会存在一定缺陷,所以很难调至全关断,但这并不影响巨脉冲的输出。

2) 在电光调Q激光器的调试中,可利用侧面出光 $I_2$ 来指导调试工作。通过观察侧面出光的光脉冲波形就可以很容易的将Q开关延时调整到最佳位置,以获得最佳的输出效果。

本文深入探讨了偏振片侧面出光现象,对激光的工业应用有着一定的意义。按上面的理论指导开发的电光调Q激光器已经顺利的在激光美容、激光除锈、激光内雕、掩模打标等应用领域发挥着了巨大的作用。

### 参 考 文 献

- 1 Jiang Minghua. *Crystal Physics*. Shandong: Shandong Science and Technology Press, 1980. 379~394
- 2 Lan Xinju. *Laser Technology*. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology Press, 1995. 131~137
- 3 Zhou Bingkun. *Laser Theory*. Beijing: National Defence Industry Press, 1995