

快门 Q 开关调 Q*

吴瑞昆 刘 晔

(中国科学院上海光机所)

提 要

从原理上来说,这种 Q 开关是靠快门高速打开来调 Q 的,与一般的马达调 Q 完全不一样,当这种开关一打开时,谐振腔立即呈高 Q 的状态。由于快门式 Q 开关所具有的特性,使得激光器的巨脉冲输出十分稳定,光轴不会漂移,对激光器的热变化适应性强,大大提高了激光器 Q 开关输出的稳定性。对一般马达调 Q 装置稍加改动,就能实现这种开关。

一、引 言

目前激光器中经常使用的调 Q 方法有三种:染料调 Q、电-光调 Q 和马达调 Q。声-光调 Q 虽然也是一种方法,但由于它的开关速度较慢,通常可用作连续波激光器中的 Q 调制元件。染料调 Q 虽然简单,但是由于染料本身的不稳定性,使得调 Q 输出也很难稳定。其次,激光器的热效应会影响到染料盒中光斑的大小,使染料工作时的光功率密度有很大的变化,因而改变了染料漂白的工作点。所以在给定的光泵条件下,往往很难保证单脉冲工作,这样一来染料调 Q 对于热效应的适应性就较差。电-光调 Q 开关速度较快,一般也不存在光轴抖动的问题,但需要较多的辅助部件,使腔内插入损耗较大。在某些高重复频率激光器中,由于在晶体中耗散的功率可能较大,电-光晶体可能承受不住,因而使用受到一些限制。

在一般的马达调 Q 激光器中,开关曲线可认为是余弦变化的,所以不可避免地存在光轴抖动和与之相联系的能量起伏。这个问

题在小型激光器中可能影响不大,在输出要求较大的工作物质较长的激光器中就显得十分突出。如果再考虑到工作物质热效应的影响,那么光轴的稳定和输出能量的稳定就很难保证,成为必须解决的问题。本实验由于采用了快门式的 Q 开关工作方式,使激光器的 Q 开关输出性能大为改善。

二、快门式 Q 开关工作原理 及实验结果

快门式 Q 开关,就是在一般的谐振腔内插入一个快门,例如帘布式快门作 Q 开关。它的特点是只要在快门未挡光的地方腔的 Q 值都是高的。可惜一般快门的开关速度太慢,不能满足激光器调 Q 的要求。如图 1 那样,只要把一般马达调 Q 激光器中全反射端的全反射平面镜换成一块四面体棱镜,就可得到这种快门式 Q 开关的工作方式。开关速度要比一般的快门提高很多,可达 $10^{-7} \sim 10^{-8}$ 秒的量级。

* 收稿日期:1978 年 1 月 31 日。

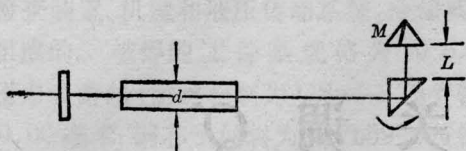


图1 快门式Q开关激光器示意图

只要把一般马达调Q激光器中放在M的直角棱镜换成四面体棱镜就可构成快门式Q开关激光器

我们知道四面体棱镜有着特殊的反射特性,不论光从那个方向入射(当然有一定范围),都可沿着原来的方向返回,但是位置要平移一段距离。因此,当马达旋转时,沿前反射镜的法线射入棒的光柱,经马达反射后只要能射到四面体棱镜的通光范围内,光就顺原方向返回,使腔接通,形成一个高Q腔。这与一般马达调Q的开关特性有很大的不同。图2中表示这两种工作方式Q值变化的根本区别。在我们这种方式中,只要腔接通,就是高Q,但通光面积的大小在逐渐改变。不过棒中各部分接通的时间都是一样的,所以这种Q开关的工作方式与一般照相机中的焦面式卷帘快门的工作方式是完全一样的。

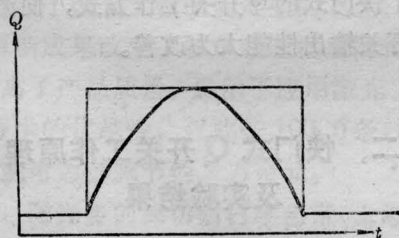


图2 一般马达调Q和快门式调Q的Q开关曲线的比较

矩形的是快门式调Q,抛物线是一般的马达调Q

图3为实验装置示意图。马达部分为四倍加速装置,可提高开关速度。这种快门Q开关的开关时间与图1中所示的参数L和d有关。如果开关时间 τ 定义为从腔开始接通到棒的全部面积都接通为止,则有

$$\tau = d/4\pi LS$$

式中d为棒的通光孔径(毫米),L为转镜至四面体棱镜的距离(毫米),S为转镜的转速

(转/秒)。公式表示开关时间 τ 等于前反射镜的法线经马达加速旋转后扫过四面体棱镜上棒孔径的一半距离所需的时间。图3中的 $L=660$ 毫米, $d=8$ 毫米, $S=26000$ 转/分,四倍增速,所以等效的转速为104000转/分。把这些数值代入上式,求出 $\tau=556$ 毫微秒。这个数值与一般马达调Q的振荡生成时间大致相当,说明只要适当选择参数是可以得到足够快的开关速度的。

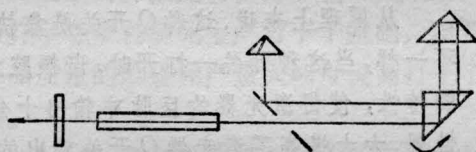


图3 实验快门式Q开关激光器示意图

图4(a)给出了当光泵改变时远场光斑的图形,各个点都在一条水平线上。这说明光轴是稳定的。图4(b)为一般的马达调Q远场光斑,可以看出光轴和能量都有很大的起伏。从工作原理来分析,这是使用了四面体棱镜的必然结果。无论马达转到什么位置输出激光,从马达转镜上反射出来的光入射到四面体棱镜上都沿同一光路的方向返回,所以在谐振腔中起振激光的光轴都是沿着前反射镜的法线,这就保证了光轴的稳定性。



(a)



(b)

图4 远场光斑的比较

(a)快门式Q开关;(b)一般马达调Q

图5给出了这种激光器的单峰特性。这种调Q方式的单峰域特别宽,可高达800多伏,图中所给出的电压范围内都是单峰输出。在单峰域范围内,随着储能的增加,脉冲宽度逐渐变窄,最后趋于一个稳定值,为39毫微

秒。输出能量总的趋势也是逐渐上升达到一个饱和值。当改变条件使 L 变短, 或增大腔输出的反射率时, 整个单峰域的范围降低, 在高光泵时出现双脉冲。第一个脉冲总是大的, 而且第一个脉冲要比第二个脉冲大 10 倍左右。

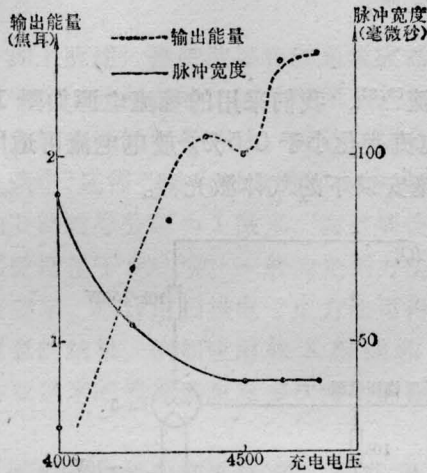


图 5

对于快门调 Q 的这些特点可以如下解释: 由于使用了四面体棱镜作全反射镜, 只要转镜的旋转位置能够使腔接通一部分, 此时腔的 Q 值就是高的。尽管光泵不同时, 振荡的生成时间有变化, 在输出脉冲时转镜的位置各不相同, 但这只会使通光口径的大小稍有变化, 不会象一般的转镜那样, 使腔的 Q 值有很大的变化。正是这种只要腔接通就是高 Q 状态的特性, 使输出单脉冲的能量稳定性较好。这种特性有利于把所积累的高能态粒子数更多地转变为输出能量。因而输出一个脉冲后所剩余的粒子数就很低了, 即使剩余

的反转粒子数能够形成第二个脉冲, 所需的形成时间也较长, 第二个脉冲的能量也很小。因此这种调 Q 方式可以在较慢的开关速度下输出单脉冲。因为在调 Q 过程中并没有使原有的不稳定性变得更坏, 所以单脉冲输出的稳定性与一般静态能量器件的稳定性类似。

利用图 3 这种型式的快门调 Q , 参数如上面所给, 工作物质为 $\phi 20 \times 500$ 毫米, 但由于转镜的通光孔径不够大, 腔内加了 $\phi 10$ 毫米的有效光阑, 在光泵为 4900 焦耳时, 可得到 5 焦耳的稳定调 Q 输出。经过 2000 次的工作, 证明其工作的稳定性大为改进。输出能量的起伏为 $\pm 5\%$ 。

三、其 它

在这种型式的快门 Q 开关中, 由于要有较长的 L 才能有较快的开关时间, 所以谐振腔的长度比一般稍长。与此相联系的是脉冲宽度也相应地要宽一些, 不易压缩脉宽。

在图 3 所给出的激光器中, 虽然 Q 值变化的曲线为矩形, 但是工作物质内通光面积的变化是抛物线型的。如果进一步做成平顶型的曲线, 则还能提高调 Q 器件的稳定性。这是一定能够做到的。

最后附带指出这种形式的开关在高速照相中可能有一定的价值, 它最大的特点是虽然用高速转镜作开关, 但是得到的象却是不动的。可见, 除了开关速度比普通照相机快几个数量级之外, 其他性能和普通照相机一样。