

綜合評述

光激射器輸出能量的測量

李逸峰 顏紹知

一、引言

品評光激射器優劣的主要參數之一，是其輸出的能量值。據最新報導，71,000 焦耳的產品已經問世^[1]。雖然與四年前邁曼(Maiman)首次製成的光激射器的輸出(0.01焦耳)相比，這已經是相當大的一個進步，但若要滿足科研、工業和軍事上的特殊需要，則其能量還得提高好幾個數量級。這就得更進一步的刻苦努力。

但不可否認，人們對於大能量的苦心追求也的確給自己的測量工作帶來了巨大的困難。這主要是由於激射光的能量有高度集中的特點。舊有的能量測量設備與方法已不敷用，它們需要加以改進，或作徹底的更新，否則不但談不上測量的精度問題，就連測量的可能性都失卻了。總之，對不斷提高的激射光能量作圓滿的測量，已成了當前光激射器研究工作中的一個專門課題。

據數年來的文獻所載，測量光激射器輸出能量的方法，種類繁多，不勝枚舉。但若論及它們所依據的原理，則可簡單的歸納為光电法、热电法和光压法三大類。

當然，除上述三類測量方法以外，尚有人提出過根據照相或者根據激射光束熔融金屬膜(打孔)的能力來估算能量的方法，但由於它們的精度太差，很少有人使用。

二、光电法

光电法是一種精確測量輻射能量與功率的方法，也是最早用於測量光激射器輸出的方法之一。它利用光电轉換器件(光电管、光电倍增管等)，將光激射器的輸出轉變為電訊號、加以測量、再經過適當計算(或採用定標法)，求出輸出能量與功率。這一方法包括兩類典型的裝置：

1. 用光电管作接收器，將脈沖光信號變成脈沖電訊號，通入衝擊電流計，以指示出能量的值；

例如，梅曼(Maiman)和哈斯金斯(Haskins)^[2]在1962年就是借這類裝置(校準了的光電管)，來完成激射光能量的測量的。

1963年，萊特(Leite)和波多(Porto)^[3]改進了上述裝置，他們令激射光束射到光电管之前，先經過一個很好的漫反射面(經過特殊處理的、沉積有BaSO₄的玻璃片)散射，然後取其中一小束散射光通過各種濾波器(如，中性密度濾波片、干涉濾波片等)，最後為光电管所

接收。作这种衰减的目的，是为了保证光电管在测定大能量时，仍能在线性范围内工作。

2. 用光电管作接收器，并与一积分回路相联。以静电伏特计测出积分回路中流过的电量，最后求得能量：

其工作原理可用席耳(Schiel)^[4]的光电流积分电路来说明(图1)。在作测量之前，先将电容器C充电至一定的电压，然后断开电源。当入射光脉冲在光电管 P_h 中引起一个电流脉冲时，电容器C就放出电量Q，电量Q是光电流 i_{ph} 在脉冲时间内的积分；它正比于这段时间内发光流量的总和(脉冲能量E)，即

$$Q = \int i_{ph} dt \propto \int I dt = E$$

其中I为发光强度， i_{ph} 为光电流。

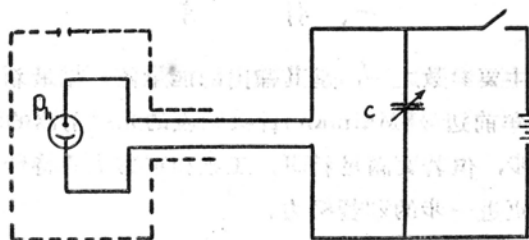


图1 积分回路图

电量Q通常用静电伏特计来测量。这是因为由电容器中移走的电量正比于自身的电压降 ΔV ，即

$$Q = C \cdot \Delta V$$

式中C为电容器的电容量。当光电管在其线性区域内工作时，光电流 i_{ph} 正比于辐射光强：

$$i_{ph} = R \cdot I$$

式中R为光电管的灵敏度。于是我们得到光脉冲能量E与电压降 ΔV 的关系：

$$E = \frac{C \cdot \Delta V}{R}$$

为了防止系统外部的杂光影响，通常在光电管周围复以金属屏蔽。在测量高能辐射时，可在光束行经途中放些中性密度滤波片，以衰减入射到光电管中的光强。

总的说来，以光电法测量输出能量的最大优点在于灵敏度高，因此特别适合于测 10^{-2} 焦耳以下小的能量输出。但它也有一般光电装置的弱点：首先是由于光电器件有明显的光谱选择性，这就限制了有效的波段范围。其次是光电器件的光电特性曲线的线性范围较窄，测量很高的输出能量有困难。最后，对入射点的均匀性还有所苛求(通常在光电管前配以毛玻璃，再进行定标)，否则可能引进很大的误差。

三、热 电 法

这类方法应用最广，计及最初科惹阿纳尼(Koozekanani)^[5]等人设计的模拟黑体吸收体以及往后陆续出现的各式各样的装置，总共不下十余种。它以适当的接收器捕集光激光器的辐射，使之转换为热能，引起体系温度升高。再以适当装置(如热电偶、热敏电阻等)进行测

量，从而求得能量。下文略述这类方法中的几个典型的、具有代表意义的装置。

1. 鼠巢式量热计^[6]：激射光束的能量被一札(1000呎长的蓬松杂乱的)絕緣細銅絲(由于銅的电阻与溫度有較好的綫性关系)捕集与吸收，引起銅絲电阻值的改变，以桥式迴路测出这种改变值，从而算出(或用定标法)它吸收的激射光能量。为了提高测量的精度，系把銅絲裝在一只內壁完全反射的鍍銀燒杯內，仅把銅絲的二端引出，联于桥式迴路上。因为这种装置形如鼠巢，故得名。

鼠巢式量热计的优点是构造与操作方式都較簡單，容易掌握。特别是在测量过程中无需等待热平衡，这是一般的量热装置所不及的。其缺点是高能量輻射会破坏銅絲上的絕緣漆(当然，也可以用适当的衰減装置来減弱輻射能量)。另一缺点是入射口的孔徑与光束的配合不夠理想，引入誤差。

一般說来由于此法是直接測量，它可以作为标定光电管与其他接收器的标准。

2. 碳斗量热器^[1]：其典型装置是模拟黑体吸收体的中空錐体。錐体用光譜純石墨做成，內部光滑。令光綫在內壁作多次反射，以获得全部能量。于錐体頂部嵌入珠状热敏电阻，以測量錐体由于吸收輻射能而引起的溫度升高，再經适当計算(或定标)便能求得吸收的能量。

为了提高吸收率，在錐的构形上也下了不少功夫。阿克曼(Aorkerman)^[8]根据門登霍耳(Mendenhall)效应，設計出了具有良好吸收能力的小頂角圓錐体。为了提高溫升測量的精度，人們曾对各种热电測溫器件作过嘗試。为了減輕外界环境影响，德利(Daly)^[9]曾报导过一种带有參攷圓錐(模拟接收圓錐)的、用热电偶进行測量的“冲击式溫差电堆”。

碳斗量热器是目前能量測量工作中用得最廣的一种装置。在經過精确定标之后，能很方便的直接测出 10^{-2} 焦耳以上的輸出能量，並且結果也比較准确。其最大的缺点发生在热点、冷点的均匀性上，为了达到热平衡，需要足夠长的時間，这就发生了热量的散失，因而引进了測量的誤差。

3. 液体量热器^[10]：实践預示出，目前使用的很多固体量热器很难胜任未来的能量測量工作。局部的輻射降溫、微小质点自吸收表面的噴濺、以及因此而发生的吸收率的改变，都表现出严重的困难。此外，並不太大的能量便会使固体量热器产生数百度的溫度升高；而当能量强于 20 焦耳时，竟有破坏量热器之虞！

但液体的特大比热以及易于对流的天賦在极大程度上解决了上述困难。調节盛于量热器中的液体的吸收率和程长，可借对流作用迅速取得体系的热平衡。其溫昇通常用精确的热敏电阻测出。

总的說来，热电法具有下述优点：首先，它沒有波段的限制，不論对可見光或紅外輻射都同样适用，这是光电装置不能与之媲美的地方。其次它可以直接測量 10^{-2} 焦耳以上的中等輸出能量。但其缺点也不少，如吸收体不可能做到完全吸收、热平衡不易取得，不可避免的热散失、祇能測量能量而无法測量功率以及不易与測溫器件取得良好接触等等問題皆是。

四、光 压 法^[11]

实践证明，广泛使用的固体量热器在百分之几至 5 焦耳的測量範圍內很成功。但对高能

脈冲，它們的精度与重複性迅速下降，这是由于吸收物质的不完全吸收和损坏。因此有必要部份加以吸收(外部的)或将高能脈冲的一个精确已知部份反射入接收器，这就是前文中提到过的，对大能量光束进行衰减的方法。所用的装置有漫反射面(经过特殊处理的 BaSO_4 层或 MgO 块)与中性密度滤光片二种。但这毕竟不是釜底抽薪的办法。因此设计一种能对大能量輸出(或大功率)进行直接测量的装置，是这一领域的工作者们的共同期望。而光压法就能满足这样的要求。

以光压法测量光激射器輸出能量(或功率)的根本依据是：光脈冲产生的机械压力与其能量有确定的关系。这类装置实际上是一个扭摆(图2)。其悬綫多半用石英作成，中点有一垂直交叉臂，它支撑住两个具有高反射率涂层的小反射鏡。当激射光照射到一个反射鏡上时，便引起石英悬綫的扭轉。測出扭轉角后就能求得能量。詳細的工作原理如下：

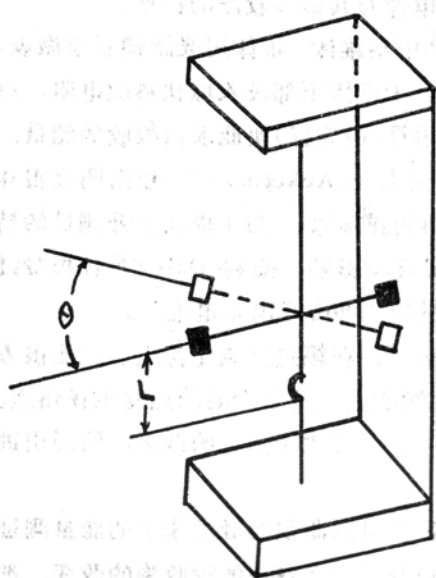


图2 测光压的扭摆

于是得到

每个光子的能量为 $h\nu = MC^2$ ，每个光子的动量为 $MC = \frac{h\nu}{C}$ ，在垂直入射和完全反射的情况下，光子动量改变 $\frac{2h\nu}{C}$ 。所以每一脈冲引起的总动量变化为

$$N \cdot \frac{2h\nu}{C} = F \cdot \Delta t$$

其中 N 为每个脈冲的光子数， F 表示作用在反射鏡面上的压力， Δt 为脈冲持續時間。

若扭摆系統固有振动周期 $\tau \gg \Delta t$ ，則当 $\theta = 0$ 时，有

$$\omega = \left(\frac{2L}{CI} \right) \cdot N h \nu = \frac{2L}{CI} E$$

其中 $2L$ 为悬綫的长度， I 为扭摆的轉动慣量， $E = N h \nu$ 为每一脈冲能量。再考虑功能关系式

$$\frac{1}{2} k \theta^2 = \frac{1}{2} I \omega^2$$

$$E = \frac{C \sqrt{Ik}}{2L} \theta$$

其中 k 为抗扭刚度。对于确定的装置， I 、 L 与 k 都是恆量， C 是光速，于是我們由扭轉角 θ 可以求得每一脈冲的能量 E 。

科克(Cook)等人建造了一台真空光压測量装置，他选用长48厘米、直径32微米的石英纖維作悬絲，交叉臂也用石英纖維做成(长8.5厘米、直径250微米)。交叉臂支撑住两个重25.5毫克的鍍銀云母鏡。这个装置的預期的灵敏度約为 5.7×10^{-3} 弧度/焦耳，由周期測量中实际得到的灵敏度为 5.2×10^{-3} 弧度/焦耳。目前他們正在設計一台更为灵敏的装置。

就目前情况看，光压法的缺点是：对于低能量脈冲与連續輸出不太适用。且这类装置精密、操作技巧要求較高，不易掌握。但从发展的观点看，它对未来的高能量測量却是很有力的方法，因为，据推测，若适当的选好了系統的特性，則对于能够測量的最大脈冲能量，似

乎沒有实际的限制。

五、結 論

綜上所述，可得如下三点結論：

1. 光激射器的应用范围极广，对其輸出能量的要求也很不相同。就目前情况看，尚无一种万能的測量方法(或設備)，可以兼备精确測量大、中、小三种能量的能力。故能量的測量祇能分段考慮。

2. 測量低能量，以光电法为宜；測量中等能量，以热电法为宜；至于高能量的測量，虽然目前大多借助于某些衰減作用，以热电法进行，但我們认为，这种方法将会受到限制，而不再适用。最終，将被光压法取代。

3. 光压法虽早在 1962 年就已提出，但迄今为止，尚很少被采用。估計原因在于其技术要求較高，且目前的輸出能量还没有达到不借助于它便无法进行測量的地步。但是，鉴于当前能量提高的速度，及早探討这种測量方法似乎已是刻不容緩的事。

本文蒙沃新能同志审阅，得到了不少有益的启示，特致以衷心的謝意。

参 考 文 献

1. Microwaves, Vol. 3, № 10 (Oct. 1964) pp. 34—56
2. Phys. Rev. Vol. 123, № 4 (Aug. 1961) pp. 1151—1157
3. Proc. IEEE, Vol. 51, № 4 (April. 1963) pp. 606—607
4. Proc. IEEE, Vol. 51, № 2 (Feb. 1963) p. 365
5. Proc. IRE, Vol. 50, № 2 (Feb. 1962) p. 207
6. Electronics, Vol. 36, № 5 (Feb. 1963) p. 36
7. 中国科学院光学精密机械研究所上海分所論文(未发表) 1964
8. Appl. Optics, Vol. 3, № 5 (May. 1964) pp. 644—645
9. Microwaves, Vol. 3, № 1 (Jan. 1964) pp. 50—57
10. Appl. Optics, Vol. 2, № 2 (Feb. 1963) pp. 163—164
11. Proc. IRE, Vol. 50, № 7 (July, 1962) p. 1693

紅 外 綫 通 訊 的 近 况

室伏清 伊藤文夫

由于 1960 年光激射器的試驗成功，紅外綫通信进入了一个嶄新的阶段。光激射器的制成，意味着获得了紅外区域中的相干光源，它使得紅外多路通信的工作向前迈进了一大步。

但在实现紅外多路通信的問題上，在調制和解調的技术方面，还有着不少必須解決的問題，它們有待于今后的研究。

关于紅外通信的发展历史已有不少文献作了評述^{[1][2]}，詳細的情况請參攷介紹的文献。下面仅就紅外綫通信的現狀、尚存在的關鍵性問題及其发展动向等作一論述。

紅外綫通信的近况

紅外通信适于作为宇宙通訊、超多路通訊以及特殊的軍事通訊，它有很多优点。故在各