

激光防护中激光束径定义及使用

徐贵道

(北京军事医学科学院放射医学研究所, 北京)

摘要: 鉴于激光束径定义及其使用中的混乱, 本文讨论了激光束径定义以及它在激光防护中的使用问题。

The definition and application of laser beam diameter in laser protection

Xu Guidao

(Institute of Radiation Medicine, Academy of Military Medical Sciences)

Abstract: In view of the confusion in definition and application of laser beam diameter, this paper discusses the problems of definition and application of laser beam diameter in laser protection.

一、问题的提出

光束直径是激光器输出中一个很重要的参数, 它涉及使用中的光斑直径、光束发散角、辐照度和辐照量等参数的准确测量。目前有些文章, 在定义和使用上概念是混乱的。

众所周知, 激光束既不是一个均匀的平面波, 也不是一个均匀的球面波, 而是一个截面上强度呈高斯分布的所谓高斯波, 其强度分布以光束中心最强, 并按指数形式向外逐渐减弱, 没有明显的边界线, 因而产生了如何定义光束直径的问题。多模光束的直径确实难于定义, 但基模高斯光束直径的定义是明确的。一般, 光束边缘定义在电场振幅下降至最大值的 $1/e$ 处^[1], 另一种是定义在辐照度或辐照量下降至最大值的 $1/e^2$ 处。这两种定义都是正确的。但有些文献, 特别是激光安全防护文献及激光安全标准中, 将光束边缘定义在最大辐照度下降至 $1/e$ 处, 造成了定义上的一致, 使用中有时又要涉及到辐照度下降至 $1/e^2$, 此时是通过 $\sqrt{2}$ 因子进行互相转换, 导致了使用上的混乱; 有人认为, 最大辐照度下降至 $1/e$ 或 $1/e^2$ 的定义都可以, 为了更安全, 在激光安全标准中采用 $1/e$, 这在概念上是模糊的。

二、基模高斯光束半径的定义

现以球面谐振腔所产生的基模 (TEM_{00}) 光束进行讨论。众所周知, 这种腔所产生的光束是一种高斯球面波。光束中心强度最强, 并向边缘以指数形式减弱。光束沿回传双曲线传播如图1。

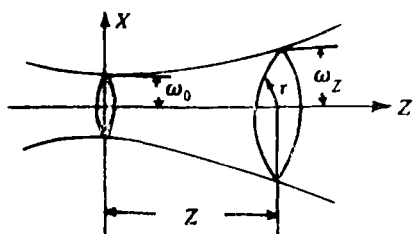


图1 传播中光束各参量关系

一般以电场矢量(下称电场)来描述光在传播中的一些特性。其电场振幅可用下式表示^[2]：

$$E_z(r) = E_0 \left(\frac{\omega_0}{\omega_z} \right) \exp \left(\frac{-r^2}{\omega_z^2} \right) \quad (1)$$

式中, $E_z(r)$ 为光束传播到 Z 处, 在其横截面上, 距光束中心 r 点上的电场; E_0 为光束中心最强的电场; ω_0 为束腰半径; ω_z 为 Z 处的光束半径。

当 $Z=0$ 时(即束腰处, 或坐标原点), 则 $\omega_z = \omega_0$, (1) 式变为:

$$E_0(r) = E_0 \exp \left(\frac{-r^2}{\omega_0^2} \right) \quad (2)$$

(2) 式描述了束腰处电场的情况, 比较 (1) 式和 (2) 式, 两者仅相差一个比例常数 ω_0/ω_z , 其形状相似, 说明了在忽略非均匀传播介质对激光的影响时, 激光束在传播过程中将保持其高斯分布。

当 $Z=0, r=0$ 时 (1) 式变为:

$$E_0(0) = E_0 \quad (3)$$

(3) 式为束腰处光束中心的电场。说明了光束中心电场最强, 等于 E_0 。

当 $Z=0, r=\omega_0$ 时, (1) 式变为:

$$E_0(\omega_0) = E_0 \left(\frac{\omega_0}{\omega_0} \right) \exp \left(\frac{-\omega_0^2}{\omega_0^2} \right) = E_0/e \quad (4)$$

(4) 式 $E_0(\omega_0)$ 为束腰横截面上半径为 $r=\omega_0$ 处的电场。前已定义 ω_0 为束腰半径。由 (4) 式知半径为 ω_0 边缘上的电场是最大振幅的 $1/e$ 。这便是基模高斯光束半径定义的来源。由 (1) 式和 (2) 式知, 所描述的光束在传播过程中将保持其高斯分布, 所以定义适用于传播中任意截面上。

又因光功率与电场呈平方关系^[3], 则有:

$$W_z(r) = [E_z(r)]^2 = \left[E_0 \left(\frac{\omega_0}{\omega_z} \right) \right]^2 \exp \left(\frac{-2r^2}{\omega_z^2} \right) \quad (5)$$

同理, 当 $Z=0, r=0$ 时, 有:

$$W_0(0) = E_0^2 = W_0 \quad (6)$$

(6) 式与 (3) 式类似, 说明了光束中心辐照度(功率密度)最高。

当 $Z=0, r=\omega_0$ 时, (5) 式变为

$$W_0(\omega_0) = \left[E_0 \left(\frac{\omega_0}{\omega_0} \right) \right]^2 \exp \left(\frac{-2\omega_0^2}{\omega_0^2} \right) = W_0/e^2 \quad (7)$$

说明束腰处光束半径为 ω_0 边缘上的辐照度是光束中心最大辐照度 W_0 的 $1/e^2$ 。这是光束半径的另一种定义形式, 它是由电场与功率的平方关系转换而来^[3]。

三、使用与讨论

以上讨论了光束直径两种定义的表述方法,由推导可知,对同一光束,两者所定义的是同一光束直径,不存在哪种定义更精确的问题。一个物理量的定义,虽然有时在具体表述上和所用单位上,可以有所不同,但其物理意义应是统一的,其量值通过单位换算也应该是唯一的,否则会造成使用上的混乱。

在一些激光安全标准中,所用的辐照度或辐照量(能量密度)下降至最大值的 $1/e$ 定义,没有找到根据。是为了更安全的说法,似乎也无道理。我们知道,激光安全标准中的最大允许照射量(MPE)是由实验测得的损伤阈值除上一个安全系数推算而来,此安全系数是人为选取的,如需要更安全些,系数可取大些,而不应改变一个物理量的正确定义来达到安全的目的。在计算方法上,也无需改变定义才能获得更安全的计算结果。

就实用而言,在激光安全标准中,采用辐照度或辐照量下降至最大值的 $1/e^2$ 的定义是较为方便的。因为这两个量是激光工作者常用的概念,易于理解,也便于使用激光工作者常用的激光功率和能量测试仪器实现量值的测量。但由于国外一些激光安全标准,首先使用了辐照度下降至最大值的 $1/e$ 的定义,近年来国内制定的几个激光安全标准,为便于和国外对照,也采用了上述定义。但在使用时应注意,绝不是辐照度下降至最大值的 $1/e$ 或 $1/e^2$ 都可以,也不是为了更安全而使用了 $1/e$ 的定义。可以理解为,在激光安全标准中,硬性规定了辐照度下降至最大值的 $1/e$ 为光束的边缘。鉴于光束定义的不统一,在进行安全计算时,应首先搞清所用的光束直径或光斑的范围,以免造成不良后果。

参考文献

- [1] 北京大学,广东701所. 激光原理. 1976: 45~49
- [2] 气体激光编写组. 气体激光. 上海: 上海人民出版社, 1975: 240~251
- [3] 伊·耶·塔姆, 钱尚武等译. 电学原理(上册). 第二版, 北京: 人民教育出版社, 1960, 第一章

收稿日期: 1990年10月10日。

本刊编辑部敬告读者

邮局收订报刊日期已近, 请注意办理1992年《激光技术》的订阅手续。1992年本刊仍由全国各地邮局发行。邮发代号: 62-74。

国外读者请向中国国际图书贸易总公司或其委托的机构办理。国外代号: BM 4166。

·产品简讯·

固体激光器

麻省阿克顿的ADLAS/A-B激光公司推出的DPY323型1319nm二极管泵浦的固体激光器提供保偏纤维光学元件输出端。这种激光系统(在光纤外面, 额定输出 $<200\text{mW}$)是为满足宽带光模拟传输需要而设计的。该公司声称, 这种激光器在几兆赫兹带宽上具有极好的低噪声特性。

译自L F World, 1991, 27(2): 173
邹福清 译 邹声荣 校