

文章编号: 1001-3806(2003)02-153-02

He-Ne 激光对人体伤害的分析及防护措施

金清理 柯见洪 薛漫芝

(温州师范学院物理与电子信息科学系,温州,325027)

摘要: 根据 He-Ne 激光对眼睛和皮肤的最大允许照射量,计算系列 He-Ne 激光器的输出功率密度值、测量谐振腔的辐射量,分析其危险性并提出防护措施。

关键词: He-Ne 激光;损伤阈值;最大辐照量

中图分类号: TN248.2⁺¹ 文献标识码: A

A study on irradiation damage of He-Ne laser and its protections

Jin Qingli, Ke Jianhong, Xue Manzhi

(Department of Physics and Electronic Information Science, Wenzhou Normal College, Wenzhou, 325027)

Abstract: This paper measured output power density of He-Ne laser and radiance of cavity resonator, and analysed its irradiation damage on the basis of maximum permissible exposure (MPE) of eye and skin. In the end, some protections were proposed.

Key words: He-Ne laser; threshold value of damage; maximum permissible exposure

引 言

激光是常用光源之一,它给工农业生产和科学研究带来了方便,同时也给人们带来危险,如果使用不妥,会造成眼睛、皮肤和其它器官及神经系统的伤害。目前,激光的使用比较普及,如科研院所、高等院校和医疗机构等经常使用,在使用过程中不知不觉地受到激光源的照射和辐射,影响身体健康。激光的辐照对眼睛与皮肤的损伤跟输出功率密度和裸照时间的长短有关,不同的激光源和受辐照时间的长短对人体伤害的程度不同。即使激光源输出功率密度低,受其伤害没有立即表现出来,但不能忽视,He-Ne 激光对人体的伤害可以积累,长久连续受照射对身体非常有害。笔者对实验室中常用 He-Ne 激光器的输出功率密度值进行计算,对其谐振腔的辐射强度进行测量,根据最大允许安全照射量分析其危险程度,提出防护措施。

1 最大允许照射量

激光对人体损伤的直观表现一般为眼睛和皮肤,尤其眼睛最易伤害,因为眼睛的折光系统使其在

视网膜上的光强为入射到角膜上光强的 10^5 倍^[1]。

连续发射的激光对人体的伤害是功率密度 (W/cm^2),规定受某一辐照量照射人体组织后,在一定的观察时间内,能检查到有 50% 出现最小损伤的辐照量称为

损伤阈值,用 ED_{50} 表示。最大允许照射量是激光以某一辐照量照射人体的组织后,在一定的观察时间

内,不会引起组织出现可见损伤的极限辐照量,用 MPE 表示。

ED_{50} 到 MPE 所降低的倍数称安全因子,其值一般为 5 ~ 20。根据中华人民共和国激光辐射安全标准^[2],分别制定直射激光束和扩展源漫射光束对角膜最大允许照射量的两种标准。

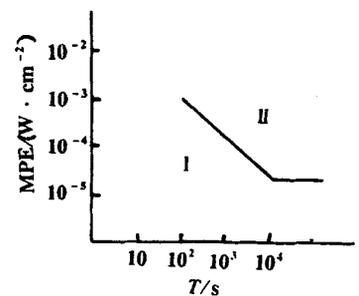


Fig. 1 The relations between irradiation and MPE of direct laser beam

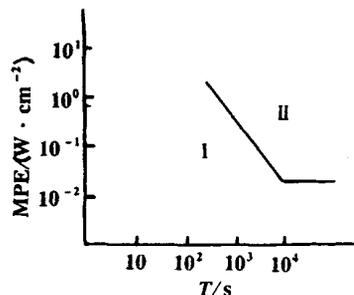


Fig. 2 The relations between irradiation and MPE of diffused light

作者简介:金清理,男,1956年8月出生。高级实验师。主要从事激光全息和应用的研究。

收稿日期:2002-03-11;收到修改稿日期:2002-04-28

绝大部分使用激光器的工作场合,都可看作是直射激光束照射,适用于这种照射条件的标准叫直视窄光束最大允许照射量;另一类是观察扩展光源和漫反射光源的最大允许照射量。它们的 MPE 与照射时间之函数关系如图 1、图 2 所示,图中 Ⅰ 区为安全区,Ⅱ 区为危险区。皮肤的最大允许照射量与受裸照时间长短有关,照射时间短于 10^{-7} s 的 MPE 值为 2×10^{-2} J/cm²,而照射时间在 10s~ 3×10^4 s 的 MPE 值为 0.2W/cm²。

2 He-Ne 激光输出功率密度值和谐振腔的辐射强度

Table 1 The output power density of different He-Ne laser source

power/ mW	cavity long/ mm	$z_{os}/ (W \text{ cm}^{-2})$	0.5m/ (W cm ⁻²)	1m/ (W cm ⁻²)	2m/ (W cm ⁻²)	5m/ (W cm ⁻²)
1.2	230	0.828	5.57×10^{-2}	1.74×10^{-2}	4.87×10^{-3}	8.33×10^{-4}
1.5	250	0.895	7.30×10^{-2}	2.30×10^{-2}	6.18×10^{-3}	1.13×10^{-3}
5.0	420	1.880	0.303	0.110	3.37×10^{-2}	6.10×10^{-3}
25	1000	3.950	1.580	0.790	0.303	6.48×10^{-2}
40(variable)	1200	5.263	2.420	1.300	0.53	0.120

激光器其谐振腔辐射强度,用上海嘉定学联仪器厂 JD-1A 型照度计分别对 3 种激光器在离管臂 5cm 和 30cm 处的照度进行测量,根据文献[4]有: 1W = 685 lm, 1 lm 照射到 1m² 面积上的照度为 1 lx,将照度换算成功率密度值如表 2 所示。

Table 2 The radiation power density of cavity resonator of laser source

power / mW	cavity long/ mm	5cm		30cm	
		illumination /lx	W cm ⁻²	illumination /lx	W cm ⁻²
1.2	230	140	2.044×10^{-5}	5	7.30×10^{-7}
5.0	420	200	2.920×10^{-5}	6	8.76×10^{-7}
40	1200	270	3.940×10^{-5}	8	1.17×10^{-6}

3 He-Ne 激光器的危险性分析和防护措施

由图 1 曲线 ($t = 10^4$ s) 可得到 MPE 和照射时间函数关系式有: $\lg W = 29892 \lg t + 1.1892$ (2) 根据(1)式和(2)式得到常用 He-Ne 激光器离出射镜面不同距离直射眼睛最大允许照射时间之函数关系曲线,如图 3 所示。从图 3 可见,激光束直射眼睛的最大允许照射时间极为短暂,经过计算,1.5mW 的激光器在离出射镜面 0.5m 处是 2.10s,5.0mW 的激光器为 0.51s,25mW 的激光器为 0.10s,激光束或镜面反射光束直射眼睛超过其最大允许照射时间值就有可能被损伤,在使用过程中应避免之。光斑直

激光的输出功率密度值为输出功率除以光斑面积,He-Ne 激光的高斯基模光斑半径根据文献[3]有:

$$z = 0 \sqrt{f + \frac{z^2}{f}} \quad (1)$$

式中, $z_0 = \sqrt{f}$ 为谐振腔中心基模光斑半径, f 为共焦腔的焦距,值为 1/2 腔长, z 为观察点到共焦腔的中心距离(即腔中心点),谐振腔镜面上有 $z_{os} = f$,光斑半径 $r_{os} = 2 z_0$ 。表 1 列出不同规格的 He-Ne 激光器在其腔出射镜面和离镜面 0.5m, 1m, 2m 和 5m 处的输出功率密度值。

射皮肤也有危害但不会损伤,只有受功率密度大于 0.2W/cm² 的激光源长时间裸照才有危害。从表 1 知,当额定功率大于 5.0mW 的激光器其光斑直射皮肤并超过一定的时间会造成危害,应避免直射。

表 2 与图 2 曲线

比较,常用的激光器谐振腔辐射功率密度值较低(低于 MPE 值),对眼睛和皮肤不会造成伤害,使用是安全的。但长时间连续直视辐射光也会使眼睛感到不适,另外,辐射光对各项实验的观察和测量有影响,使用时应加以遮盖避免其散射光的照射。

为了眼睛的健康,在使用激光的过程中应配戴防护眼镜,严禁激光束或镜面反射光束直射眼睛。若确需观察光斑,可将光斑射在毛玻璃屏上进行观看,经毛玻璃漫透射后光的功率密度大大减弱。对 5.0mW 的激光器在 0.5m 处通过毛玻璃透射后的照度是 110 lx,功率密度值为 1.6×10^{-5} W/cm²,比

(下转第 157 页)

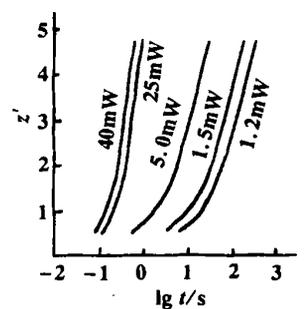


Fig.3 The relation between the maximum permissible exposure time and the distance of laser beam directly radiating onto eyes

得出相同的结论。

Table 2 A summary of calculation results for $|M_{HG0}^{(2)}(x)|^2$

correction order	waist width w_0						
	14	12	10	8	6	4	2
	magnitude of the correction order						
0	2	2	2	2	2	2	1
2	-2	-2	-1	1	0	2	4
4	-5	-4	-3	-1	1	3	8
6	-7	-6	-4	-1	1	6	12
10	-10	-8	-5	-1	4	11	23
20	-16	-10	-4	3	13	27	51
30	-19	-11	-1	10	25	46	82

小束宽时(2)式的发散由(1)式中存在的高斯函数导数的发散所引起。为说明这点,以(2)式中基模 $M_{HG0}(x, z)$ 的 2 阶修正 $M_{HG0}^{(2)}$ 为例讨论高斯函数对 $M_{HG0}^{(2)}$ 的影响,将 $M_{HG0}^{(2)}$ 写为如下形式:

$$M_{HG0}^{(2)} = {}_0^{(2)}(w_0, z,) \frac{d^4}{dx^4} \exp(-x^2/w_0^2) = 4 {}_0^{(2)}(w_0, z,) \exp(-x^2/w_0^2) [4x^4 \times (x/w_0^2)^4 - 12x^2(x/w_0^2)^3 - 3(x/w_0^2)^2] \quad (4)$$

式中, ${}_0^{(2)}(w_0, z,) = \frac{1}{16} (2/\lambda)^{1/4} \int_{-w_0}^{w_0} \left(\frac{w_0}{k}\right)^2 \quad (5)$
由(4)式可知,当 w_0 较小时,(4)式可能出现较大值。

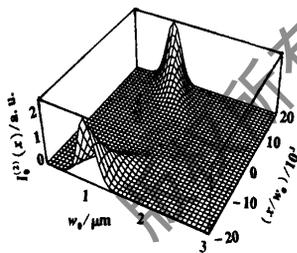


Fig. 4 $I_0^{(2)}(x)$ versus w_0 and $x/w_0, z = 50\text{mm}$

图 4 是取 $z = 50\text{mm}$, $\lambda = 1.012\mu\text{m}$ 时, $M_{HG0}^{(2)}$ 的

(上接第 154 页)

直接观察的功率密度值降低了 1.893×10^4 倍,此值是安全的。

4 结 语

常用的 He-Ne 激光直射眼睛有伤害,即便是使用小功率的激光器也应严禁直射,以免损伤眼睛;皮肤一般有危害但不会损伤。经常长时间连续受激光的照射和辐射,对神经系统也有伤害,具体表现为头

强度分布 $I_0^{(2)}$ 随束腰宽度 w_0 和 x/w_0 变化的 3 维图,由图可以看出, $I_0^{(2)}(x, z)$ 存在极大值点,这是由(4)式中高斯函数的 4 阶导数引起的。现令:

$$G(x, z) = \frac{d^4}{dx^4} \exp(-x^2/w_0^2) \quad (6)$$

图 5 是取 $z = 50\text{mm}$, $\lambda = 1.012\mu\text{m}$ 时, $|G(x)|^2$ 随束腰宽度 w_0 和 x/w_0 变化的 3 维图,由图可知, $|G(x)|^2$ 存在极大值点。由于 $M_{HGn}(x, z)$ 的修正项中都含有 x/w_0^2 的多项式,故修正公式在小束宽时,具有发散性是由式中高斯函数导数所引起。

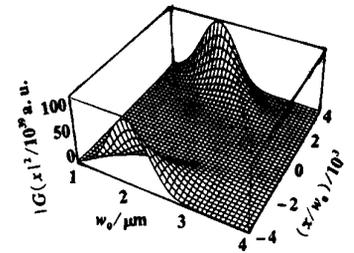


Fig. 5 $|G(x)|^2$ versus w_0 and $x/w_0, z = 50\text{mm}$

3 小 结

用厄米-高斯光束传输的非傍轴修正公式对非傍轴厄米-高斯光束通过自由空间的传输特性作了详细的数值计算分析。结果表明,在束腰宽度接近 20 个波长时,零阶修正起主要作用,当束腰宽度可与波长相比拟时非傍轴厄米-高斯光束修正公式是发散的。分析发现,修正公式对于小束宽光束发散的原因是由于式中高斯函数的高阶导数所引起的。这时,修正公式不能有效地描述小束宽非傍轴光束的传输,对此需作进一步研究,有关结果将另文发表。

参 考 文 献

- [1] Lax M, Louisell W H, Mc Knight W B. Phys Rev A, 1975, 11: 1365 ~ 1370.
- [2] Nemoto S. Appl Opt, 1990, 29: 1940 ~ 1946.
- [3] Varga P, Török P. Opt Commun, 1998, 152: 108 ~ 118.
- [4] Takenaka T, Yokota M, Fukumitsu O. J O S A, 1985, 2: 826 ~ 829.
- [5] Laabs H. Opt Commun, 1998, 147: 1 ~ 4.

晕脑胀、烦躁和抑郁、易怒等症状,建议在 8h 工作日内连续使用激光照射或辐射的时间不宜过长,避免影响身心健康。

参 考 文 献

- [1] 史宏敏. 激光医学基础. 广州: 华南理工大学出版社, 1990: 128.
- [2] 国家科委激光安全防护标准研究协作组. 应用激光, 1986, 6 (3): 135 ~ 140.
- [3] 周炳琨, 高以智, 陈家骅 et al. 激光原理. 北京: 国防工业出版社, 1995: 53.
- [4] 母国光, 战元令. 光学. 北京: 人民教育出版社, 1979: 134.