

激光器危害的控制和防护标准研究

高光煌 陈 迹 刘海峰 徐贵道 张桂素 徐碣敏 钱焕文
施良顺 王登龙 陈宗礼 周淑英 胡富根 李思江 张建军

(北京军事医学科学院放射医学研究所, 北京)

摘要: 本文重点介绍军用激光器危害的控制和防护国军标 (GJB470) 的研制方法和结果, 阐述了制订标准的科学依据, 对标准内容及特点作简要说明。

Research on the control and protection standard for laser hazards

Gao Guanghuang, Chen Ji, Liu Haifeng, Xu Guidao, Zhang Guisu
Xu Jiemin, Qian Huanwen, Shi Liangshun, Wang Denglong
Chen Zhongli, Zhou Shuying, Hu Fugen, Li Enjiang, Zhang Jianjun

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

Abstract: The research methods and results of the control and protection standard for laser hazards are introduced in this paper. The scientific basis of the established standard is described. The content and characteristic of the standard are explained briefly.

由中国人民解放军军事医学科学院放射医学研究所激光医学研究室负责起草的激光器危害的控制和防护标准, 已由国防科工委颁布, 目前正在全国21个省、市、自治区的200多个军内外单位实施。这是我国第一部激光安全防护通用技术法规, 为帮助实施单位对标准内容的理解, 促进标准的贯彻执行, 本文将对该标准的研制过程、依据、内容及特点作简要说明。

一、引 言

众所周知, 激光在人类社会的诸多领域中已广泛应用, 军事领域中的应用尤为突出, 激

[4] 张申如, 林树庄, 邓晓燕. 光学学报, 1989, 9(4): 364

* * *

作者简介: 宋立权, 男, 1966年3月出生。助工。现从事光测领域的理论与实验研究工作。

洪 晶, 女, 1918年6月出生。教授。现主要从事全息及利用光学非线性实现光开关、波导等方面的研究工作。

收稿日期: 1991年8月14日。

收到修改稿日期: 1991年12月29日。

光测距、跟踪、制导、目标指示、通讯、模拟射击等装置,外军已大量装备,激光致盲和强激光武器正以它特有的杀伤方式引人注目,已成为当今武器发展的又一次飞跃,军事上有着广阔的应用前景。然而,大量的生物效应研究已证明,激光辐射对人的健康有一定危害,眼和皮肤是受危害的主要器官。过量的激光照射可引起角膜炎、白内障,视网膜烧伤,乃至失明;皮肤受一定量的激光照射后可加速老化,产生色素沉着、红斑、水肿、组织炭化等不同程度的损伤,紫外激光的长期照射还可引起皮肤癌;低强度激光的长期照射,对职业人员心血管、神经系统、生殖系统的影响,目前亦有报道。因此,激光出现不久,国外学者便开始激光辐射危害及安全防护研究,1970年后,一些国家和国际组织相继订出各种类型的激光安全防护方面的国家标准、国际标准和军用标准,有的已进行过数次修订^[1]。

我国激光技术发展迅速,军事应用也相当广泛,但激光安全防护研究工作起步较晚,激光危害还没有引起普遍重视,激光意外损伤事故屡有发生^[2]。为此,自1985年起,用了三年时间,通过大量的调查研究、生物效应试验、人眼损伤事故调查等方式,对激光器危害的控制和防护问题进行了研究,并订出了相应的技术法规,目的是使激光器研制、生产、使用和维修人员免受激光危害和激光器的伴随危害,促进激光技术的发展。

二、技术途径

1. 激光安全使用情况调研

为使标准内容符合我国国情和我军实际,在大量文献资料调研的基础上,标准研制组的同志先后走访了军内外48个科研、生产单位及部队,通过现场考查、座谈会、专人采访等形式,对我军现有激光器种类、波长范围、应用领域、发展趋势进行全面了解,对军用激光器危害的控制和防护措施、安全使用中存在问题作了重点调查,从中得到:

激光测距、模拟射击、跟踪制导、目标指示等已得到不同程度的应用,有的已大量装备,激光模拟射击器的使用已由单兵种对抗训练,发展到陆、海、空立体方位的联合演习,上述应用已涉及步兵、炮兵、装甲兵、空军和海军及部分军事院校;激光器已有多种型号,波长在可见光至远红外范围,以对健康危害较大的巨脉冲Nd:YAG及其倍频激光器使用居多。

广大激光器研制、生产和使用人员对激光的危害普遍关心,一些单位采取了某些防护措施,但总的说,这一问题目前还未引起领导部门的足够重视,多数单位还未建立严格的规章制度;相当一部分人员对激光安全防护知识缺乏了解;现用的激光产品都未进行过危害分类,因而没有相应的危害控制措施;一些主管部门只重视激光器的战术指标,而不关心安全性能;全军缺乏统一的激光计量方法和计量标准等,这些问题对人员健康有着潜在危险。

以上现状,为确定标准的主题内容和适用范围奠定了基础。

2. 激光生物效应试验及其损伤规律的分析

激光对健康的危害程度与波长、照射时间、辐射强度等物理因素及被照部位、组织光谱特性等生物因素密切相关,为了解其损伤规律,在原“全国激光安全防护研究协作组”工作基础上^[3],又进行了部分军用激光的眼和皮肤生物效应试验^[4],从而得到表1和表2所列8种波长激光对1635只兔眼、109位自愿受试者皮肤的损伤阈值。分析这些数据可以得到以下结果:

(1) 相同照射时间、不同波长激光对眼同一部位的损伤阈值不同,绿色激光的最低。同

表1 典型激光辐射兔眼损伤阈值

激光器	辐射波长 (nm)	照射时间 (s)	损伤阈值 (J/m ²)
KCl	222	8.0×10^{-9}	5.4×10^2
XeCl	308	8.0×10^{-9}	8.3×10^3
Ar ⁺	488~514.5	1.0	4.0×10^3
倍频YAG	532	5.0×10^{-9}	3.9×10^{-1}
He-Ne	632.8	1.0	1.8×10^3
Ruby	694.3	6.0×10^{-4}	1.5×10^2
YAG	1064	1.0	2.5×10^4
		5.0×10^{-9}	1.2×10^1
CO ₂	10600	1.0	3.6×10^4
		1.8×10^{-7}	2.6×10^3

表2 典型激光辐射对汉人皮肤损伤阈值

激光器	辐射波长 (nm)	照射时间 (s)	损伤阈值 (J/m ²)
Ar ⁺	488~514.5	1.0	5.6×10^4
Ruby	694.3	3.2×10^4	4.7×10^4
YAG	1064	1.0	6.1×10^6
		2.0×10^{-4}	9.9×10^4
CO ₂	10600	1.0	2.7×10^4
		1.8×10^{-7}	4.3×10^3

表3 兔、人眼损伤阈值比较

激光器	辐射波长 (nm)	照射时间 (s)	损伤阈值比	
			兔	人
Ar ⁺	488~514.5	1.0×10^{-1}	1	3.5
		2.4×10^{-2}	1	6.6
YAG	1064	1.5×10^{-4}	1	4.3

进一步探讨激光眼损伤对视功能影响、损伤程度与激光照射量关系以及事故发生原因等问题,进而为制订激光危害的控制措施取得动物试验所得不到的资料,又对国内七省二市发生的29起(伤31只眼)激光人眼损伤事故进行调查分析,结果表明:

(1) 致伤激光源均在军用激光范围,其中21只眼直接被军事上广泛使用的Nd:YAG巨脉冲激光损伤;

(2) 反射光损伤多于直射光损伤,反射介质多为各种光学玻璃、晶体、染料盒、刀片、相纸、塑料膜等;

为 5×10^{-9} s照射时间,532nm激光的兔眼视网膜损伤阈值比1064nm的低3个量级;

(2) 相同波长、不同照射时间的激光对眼的损伤阈值也不一样,以巨脉冲激光的损伤阈值较低,同是1064nm波长激光, 5×10^{-9} s照射时间的兔眼视网膜损伤阈值较1s的低约3个量级;

(3) 不同波长、不同照射时间激光可致人皮肤不同程度的损伤,其中可见光和近红外激光对皮肤的损伤阈值较远红外的高约1个量级,长脉冲(或连续激光)较巨脉冲的亦高1个量级左右。

为进一步了解兔、人眼同等损伤程度的激光照射量间的差异,我们与临床相结合,选择合适的黄斑破孔眼,用激光进行光凝治疗的同时,实时监测其照射能量、照射时间和眼底光凝斑大小,得到人眼损伤量效关系,并与同等损伤的兔眼比较,给出照射量间的比例关系,结果为人眼所需照射量高于兔眼3.5~6.6倍(表3)^[5]。

以上结果为制订不同波长、不同照射时间的人眼和皮肤照射限值(又称最大允许照射量)提供生物学依据。

3. 激光人眼损伤事故调查

大量的动物试验已得出不同类型激光的眼损伤阈值和损伤规律,为进

(3) 黄斑区损伤多于黄斑外损伤, 81%的受伤眼伤及黄斑部位。这说明患者当时处于裸眼在光束中瞄准激光源状态;

(4) 伤者绝大多数为激光工作者(26人);

(5) 事故均为患者思想麻痹、安全制度不健全、控制措施不得力造成的, 所有患者无一人戴防护眼镜。

上述结果为制订激光危害控制和防护措施提供了重要参考。

4. 广泛征求意见

广泛征求意见是保证标准内容先进、科学、适用的重要措施。据此, 本标准内容先后征求了军内外百余个从事激光器研制、生产和使用单位的意见, 多方面收集了同行专家的建议, 从而保证了标准的科学性和严肃性。

依据以上四方面研究结果, 参考有关资料^[6~9], 按照标准制订程序, 订出本标准技术内容。

三、标准主要内容和特点

本标准规定了军用激光器危害的评价方法、控制措施和人员防护要求, 适用于激光器研制、生产、维修、保养、性能测试及军事训练。全文共八章, 三个附录, 约四万字, 主要内容为:

1. 从激光器输出参数、危害分类、警告标志和使用环境四个方面, 规定了对军用激光器进行危害评价的基本要求和步骤, 并给出了确定三类和四类激光器危害距离的计算方法;

2. 规定了从紫外至远红外波长范围内的平行、发散及重复频率激光的眼和皮肤照射限值。表4中列出了其中典型数据, 这些数据分别比相同波长、相应照射时间的兔眼和人皮肤损伤阈值低约2个量级~3个量级和1个量级~2个量级;

表4 典型激光辐射的眼和皮肤照射标准

激光器	辐射波长 (nm)	照射时间 (s)	眼照射限值 (J/m ²)	皮肤照射限值 (J/m ²)
KCl	222	10 ⁻³	30	30
XeCl	308	10 ⁻³	4 × 10 ²	4 × 10 ²
Ar ⁺	488~514.5	1.0	18	1.1 × 10 ⁴
倍频YAG	530	10 ⁻³	5 × 10 ⁻³	2 × 10 ²
He-Ne	632.8	1.0	18	1.1 × 10 ⁴
Ruby	694.3	10 ⁻³	7.7 × 10 ⁻²	1.8 × 10 ³
GaAs	900	1.0	45	1.1 × 10 ⁴
YAG	1064	10 ⁻³	5 × 10 ²	2 × 10 ²
CO ₂	10600	1.0	5.6 × 10 ²	5.6 × 10 ²

3. 不同类型激光器的危害控制措施。通常情况下, 室内使用的激光器以工程控制为主, 户外使用的激光器以管理控制为主, 并强调了对反射光危害的控制方法。

4. 眼和皮肤个人防护要求。重点是眼防护, 最有效的方法是戴防护眼镜, 因此, 标准还

规定了防护镜主要性能参数;

5. 规定了与激光器危害评价和防护有关的参数(辐照量、辐照度、光密度)的测量原则、测量孔径、测量仪器检定和测量误差。

标准中还编入了“激光安全管理”、“激光器分类计算举例”和“激光器危害评价计算举例”三个附录,以对有关条文作进一步说明。

上述标准内容与国内外同类标准相比,其主要特点是:依据了大量的调研结果和生物效应实验数据,尤其是中国人眼和皮肤实验数据,指标安全可靠,突出了激光器军事应用特点,对不同军兵种、不同作业环境下使用的激光器,分别提出了危害评价方法和控制措施;广泛征求过同行专家和部队指战员的意见,标准中的规定符合实际、针对性强、易于执行。由军内外27个单位参加的审查会,对标准的审查结论是:“标准内容符合我国国情和科学技术发展方向,其技术是先进的、安全的、可靠的,经济上是合理的,标准的技术指标在国内处于领先地位,达到了国外80年代中期水平。”

标准研制过程中,得到了军内外广大激光工作者,尤其是军用激光器研制、生产、使用单位及其同行们的大力支持,在此表示诚挚的感谢。

参 考 文 献

- [1] ANSI Z136.1 American national standard for the safe use of laser, New York: American National Standards Institute, 1980
- [2] Liu Haifeng, Gao Guanghuang, Wu Dechang *et al.* Health Physics, 1989; 56(5): 711~716
- [3] 李兆璋. 应用激光, 1985; 6(3): 1~4
- [4] 陈 迹, 施良顺, 钱焕文 *et al.* 激光技术, 1988; 12(2): 39~42
- [5] 高光煌, 刘海峰, 李凤鸣 *et al.* 眼外伤与职业性眼病杂志, 1986; 3: 146~148
- [6] IEC 825 Radiation safety of laser products, equipment classification, requirements uses guide, Geneva: International Electrotechnical Commission, 1984
- [7] MIL-STD-1425 Safety design requirements for military lasers and associated support equipments, Washington: U. S. Government Printing Office, 1983
- [8] STANAG 3606 Evaluation and control of laser hazards, Brussels: NATO/MAS, 1980
- [9] TB MED 524 Control of hazards to health from laser radiation, Washington: Department of the Army, 1985

收稿日期: 1991年6月11日。