



中华人民共和国国家标准

GB/T 38248—2019

家用激光显示系统光辐射安全特性 评价方法

Evaluation methods of optical radiation safety for household
laser display systems

2019-10-18 发布

2020-05-01 实施

国家市场监督管理总局
中国国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言 I

引言 II

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 测量条件 1

 4.1 一般说明 1

 4.2 被测产品要求 2

 4.3 测量系统要求 2

5 测量方法 4

 5.1 通用要求 4

 5.2 激光辐射测量 4

 5.3 非相干光辐射测量 6

6 评价 9

 6.1 激光辐射 9

 6.2 非相干光辐射 9

 6.3 激光混合光辐射 9

 6.4 满足 IEC 60825-1:2014 中 4.4 的适用条件的激光或激光混合光辐射 10

附录 A（规范性附录） 反射式超短焦激光显示系统 11

附录 B（资料性附录） 辐亮度与辐照度、辐照量关系 12

附录 C（资料性附录） 激光混合光源系统的光辐射安全测量评价示例 13

 C.1 概述 13

 C.2 系统的激光辐射安全测量与评价 13

 C.3 系统的非相干光辐射安全测量与评价 15

 C.4 系统的光辐射安全评价 17

附录 D（资料性附录） 测试报告 18

参考文献 19

图 1 投影出射光测量系统示意图 3

图 2 屏幕反射光测量系统示意图 3

图 3 连续激光辐射测量流程图 5

图 4 脉冲激光辐射测量流程图 6

图 5 非相干光辐射分类测量流程图 8

图 A.1 凸面反射式超短焦激光显示系统示意图 11

图 A.2 凹面反射式超短焦激光显示系统示意图 11

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国机械工业联合会提出。

本标准由全国光辐射安全和激光设备标准化技术委员会(SAC/TC 284)归口。

本标准起草单位:东南大学、浙江三色光电技术有限公司、中国电子技术标准化研究院、北京泰瑞特检测技术服务有限责任公司、武汉华工激光工程有限责任公司、浙江智慧健康照明技术有限公司、中国电子科技集团公司第十一研究所。

本标准主要起草人:李晓华、王飞霞、乔波、赵英、刘志刚、王天质、卢飞星、高宏伟、牟希、许子愉、周小庄、戚燕。



引 言

本标准按照 GB 7247.1—2012(IEC 60825-1: 2007, IDT)和 GB/T 20145—2006(CIE S 009/E: 2002, IDT)确定的激光和非相干光的光辐射安全分类原则, GB/T 38246—2019 中的要求, 引用了 IEC 60825-1: 2014 和 GB/T 30117.5—2019 中的最新技术内容。

GB/T 7247《激光产品的安全》(所有部分)是采用 IEC 60825《激光产品的安全》(所有部分)制定。其中 GB 7247.1—2012(IEC 60825-1: 2007, IDT)是该系列标准的基础标准, 规定了激光产品通用的激光安全等级分类要求。其他各部分根据不同产品和应用, 规定了具体的激光安全要求。

GB/T 20145—2006(CIE S 009/E: 2002, IDT)规定了非相干光辐射安全等级分类和通用要求。CIE S 009/E: 2002 由 CIE 准备, 并由 IEC/TC76 处理, 形成 IEC 62471。国际电工委员会以 IEC 62471 为基础标准, 针对不同非相干光源产品和应用, 已经发展成为非相干光辐射安全系列标准。其中的第 5 部分转换为 GB/T 30117.5—2019(IEC 62471-5: 2015, IDT), 规定了非相干光投影仪的光辐射安全要求。

家用激光显示系统光辐射安全特性 评价方法

1 范围

本标准规定了家用激光显示系统(以下简称系统)光辐射安全特性测量和评价方法,包括测量条件、测量设备、测量步骤、数据处理、评价等。

本标准适用于家用超短焦激光显示系统涉及的光谱范围为 380 nm~780 nm 的激光、非相干光及激光和非相干光混合光源的光辐射安全特性测量和评价。荧光光源的光辐射安全特性测量和评价可参照本标准执行。

本标准不适用于激光扫描式显示系统的光辐射安全特性测量和评价。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB 7247.1—2012 激光产品的安全 第 1 部分:设备分类、要求

GB/T 20145—2006 灯和灯系统的光生物安全性

GB/T 30117.5—2019 灯和灯系统的光生物安全 第 5 部分:投影仪

GB/T 38246—2019 家用激光显示系统光辐射安全特性评价要求

IEC 60825-1: 2014 激光产品的安全 第 1 部分:设备分类、要求(Safety of laser product—Part 1: Equipment classification and requirements)

3 术语和定义

GB 7247.1—2012、GB/T 20145—2006、GB/T 30117.5—2019、GB/T 38246—2019 和 IEC 60825-1: 2014 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

可达发射 accessible emission

按照规定的测量方法,在某个位置使用孔径光阑(AEL 以 W 或 J 为单位)或限制孔径(AEL 以 $W \cdot m^{-2}$ 或 $J \cdot m^{-2}$ 为单位)确定的光辐射量。

3.2

可达发射限值 accessible emission limit

AEL

所规定类别内允许的最大可达发射。

4 测量条件

4.1 一般说明

4.1.1 环境条件

系统的测量应在产品规定的条件下进行。如果无规定条件,测量条件应符合如下环境条件:

- a) 温度: $25\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$;
- b) 相对湿度: $25\% \sim 85\%$;
- c) 大气压力: $86\text{ kPa} \sim 106\text{ kPa}$;
- d) 测量应在不受来自外界电磁场干扰和杂散光照度小于或等于 0.5 lx 的暗室中进行。

4.1.2 供电电源

系统的供电电源应符合如下条件:

- a) 测量应在额定电源电压条件下,电源电压的变化为 $\pm 2\%$ 范围内;
- b) 当采用交流电源供电时,电源频率的波动应为 $\pm 2\%$ 范围内,谐波分量为 $\pm 5\%$ 范围内。

4.1.3 稳定时间

为了确保在测量开始后,系统的特性不随时间而有明显的变化,系统应在额定测量条件下,工作说明书中的规定时间,若说明书中未规定时间,则工作 15 min ,以使系统性能达到稳定状态。

4.1.4 安全要求

测量过程中应做好防护措施,避免系统光辐射对操作者和测量仪器造成损伤。

4.2 被测产品要求

被测产品应符合如下条件:

- a) 光辐射待测量设备为家用激光显示系统,包括激光投影机 and 屏幕两部分。其中,激光投影机生成投影镜头至屏幕之间的投影出射光;屏幕反射投影出射光,形成屏幕反射光。
- b) 在产生最高辐射量的最坏配置情况下评估可达发射的光辐射安全等级。对于不开启安全联锁装置的情况下,安全等级应满足 GB/T 38246—2019 中 4.2 和 4.3 的要求;对于开启安全联锁装置的情况下,安全等级应满足 GB/T 38246—2019 中 5.2 的要求。对于固定焦距且不带可调变焦的系统,应调整输出控制设置并使输出辐射最大;对于不可互换的可变投影比(变焦)镜头的投影机,或者对于可互换镜头的不同投影比的投影机,应像上述调整输出控制,并调整镜头投影比或更换镜头,使可达发射(AE)和可达发射限值(AEL)的比值最大。
- c) 对于屏幕反射光的光辐射安全评价,具有配套屏幕的系统,应使用其配套屏进行;无配套屏幕的系统,应使用亮度系数(增益)不小于 0.9 的白色漫反射屏。

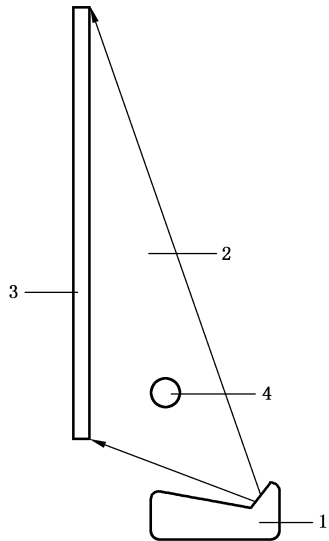
4.3 测量系统要求

测量系统应符合如下要求:

- a) 如图 1 所示,为投影出射光测量系统示意图。对于激光辐射,在参考点后 100 mm 处进行测量,如果参考点在防护罩内(即不可接触),且参考点距人最接近点的距离远于规定的测量距离(100 mm),则测量应在人最接近点之外进行。对于非相干光辐射,在距人最接近点后的能量密度最大位置后 200 mm 处,进行测量。

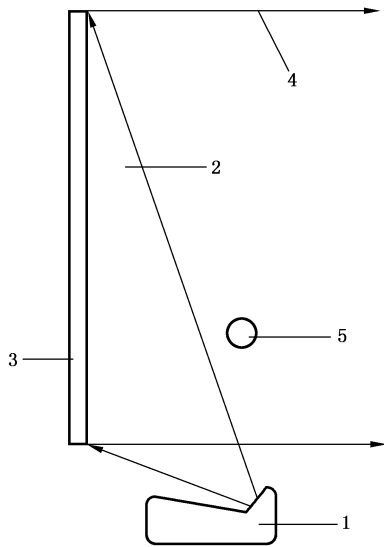
注:对于激光辐射,投影出射光的参考点为光束束腰。

- b) 如图 2 所示,为屏幕反射光测量系统示意图。应在屏幕法线位置,且可能达到的最危险的位置处,进行测量。
- c) 测量设备的性能应满足测量参数相关要求,并在计量有效期内。



说明：
1——激光投影机；
2——投影出射光；
3——屏幕；
4——测量设备。

图 1 投影出射光测量系统示意图



说明：
1——激光投影机；
2——投影出射光；
3——屏幕；
4——屏幕反射光；
5——测量设备。

图 2 屏幕反射光测量系统示意图

5 测量方法

5.1 通用要求

系统光辐射安全测量应按以下方法进行：

- a) 对于投影出射光和屏幕反射光中仅为激光的系统,按照 5.2 进行测量；
- b) 对于投影出射光和屏幕反射光中仅为非相干光的系统,按照 5.3 进行测量；
- c) 对于投影出射光和屏幕反射光中为激光混合光的系统,应综合测量激光和非相干光两部分的光辐射安全,分别将激光和非相干光都当作激光,按照 5.2 进行测量；再将激光和非相干光都当作非相干光,按照 5.3 进行测量；
- d) 对于投影出射光和屏幕反射光中仅为激光或激光混合光的系统,如果满足 IEC 60825-1:2014 中 4.4 的适用条件,系统的光辐射安全可以选择按照 5.3 进行测量。

注：对于屏幕反射光,一定满足上述条件,因此无需判断屏幕反射光是否满足上述条件,即可选择按照 5.3 进行测量。

5.2 激光辐射测量

5.2.1 测量设备

激光功率和能量测量仪、光谱辐射计、光阑、成像仪、校准辐射源、光学精密导轨等。

5.2.2 测量步骤

5.2.2.1 投影出射光

投影出射光的激光辐射测量应按以下步骤进行：

- a) 根据已知信息或实际测量,判断投影出射光中红、绿、蓝等各基色是连续辐射还是脉冲辐射。对于连续辐射,按照图 3 中的流程；对于脉冲辐射,按照图 4 中的流程。
- b) 确定光谱分布。可以使用光谱辐射计确定光谱分布。
- c) 如果激光是脉冲辐射,应确定各基色光的脉冲宽度(PW)和脉冲重复频率(PRF)。
- d) 假设激光辐射安全的评估类别(按照危害程度递增的顺序排列:1 类、2 类、3R 类),从 3R 类开始。
- e) 确定分类的时间基准。时间基准应根据 IEC 60825-1:2014 中的时间基准和 IEC 60825-1:2014 中的时间转效点(T_2)确定；如果是脉冲辐射,应首先选择 IEC 60825-1:2014 中 4.3 f) 中一个条件进行评估,并确定相应的时间基准。
- f) 确定对向角、接收角、可达发射(AE)和可达发射限值(AEL)比值最大的位置。对于连续辐射,应使投影机输出能量或功率达到最大的红、绿、蓝等各基色信号和全白场信号；对于脉冲辐射,应使投影机输出能量或功率达到最大的红、绿、蓝等各基色信号。然后确定参考点,投影出射光的参考点为光束束腰。在距参考点后 100 mm 处[如果参考点在防护罩内(即不可接触),则测量应在人最接近点之外进行],选取多个位置进行测量对向角、设置接收角,测量 AE 和计算 AEL,判断式(1)是否成立,找到最严格的位置,并记录相应的对向角和接收角。其中,对于 AE 的测量,可以使用激光功率和能量测量仪；对于 AEL 的确定,连续辐射,通过查找 IEC 60825-1:2014 中可达发射限值表,确定 AEL 限值；脉冲辐射,应进一步评估 IEC 60825-1:2014 中 4.3 f) 给出的条件,以确保所有的条件都在 AEL 之内。如果不成立,则投影出射光的

类别高于该假设类别；如果成立，应选择低一类别的 AEL 进行评估，重复步骤 e)～f)，直至式 (1) 不成立。

5.2.2.2 屏幕反射光

屏幕反射光的激光辐射的测量步骤与 5.2.2.1 中 a)～f) 类似，不同点在于假设的激光辐射安全类别和屏幕反射光的测量位置。其中，假设激光辐射安全类别为 1 类。对于屏幕反射光的测量位置，应首先选择一个合适的位置，借助成像仪或其他辅助设备找到屏幕最亮区域，使激光功率与能量测量设备正对着最亮位置处，并垂直向屏幕靠近，直到找到最大辐射位置，即为屏幕反射光的测量位置。

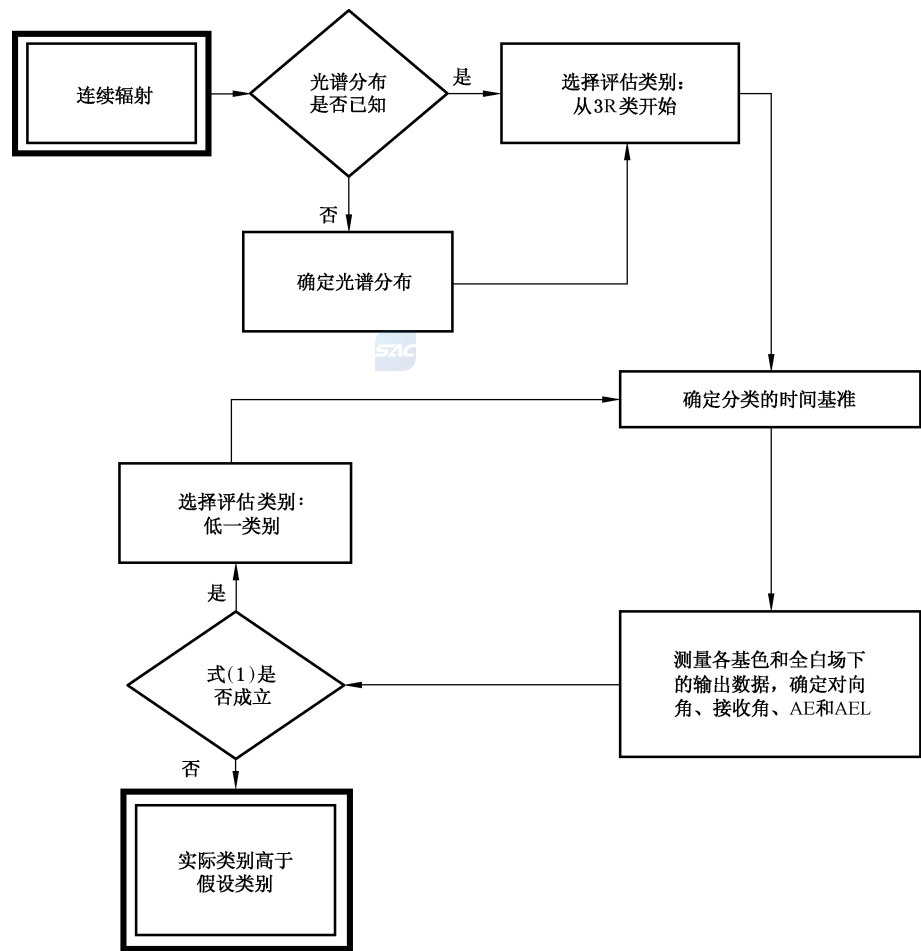


图 3 连续激光辐射测量流程图

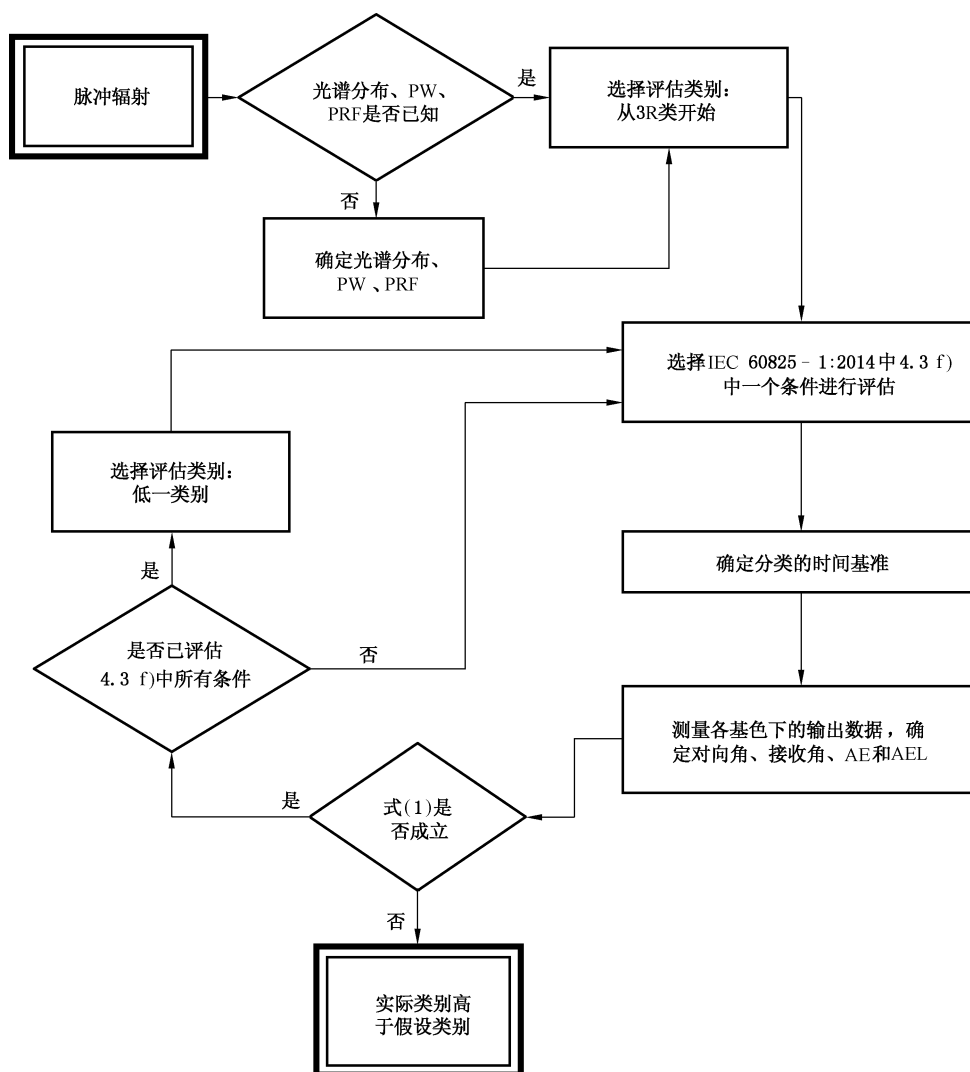


图4 脉冲激光辐射测量流程图

5.2.3 数据处理

对于连续辐射,应分别计算各基色和白色的激光辐射是否满足式(1)。

对于脉冲辐射,应计算各基色叠加的激光辐射是否满足式(1)。

$$\sum [P_{\text{meas}}(\lambda_i) / \text{AEL}(\lambda_i)] \leq 1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$i = 1, 2, 3 \dots$$

式中:

$P_{\text{meas}}(\lambda_i)$ ——该波长的所测功率(或能量或其他指定的量);

$\text{AEL}(\lambda_i)$ ——该波长的分类功率(或能量或其他指定的量)的极限值。

5.3 非相干光辐射测量

5.3.1 测量设备

成像辐射亮度计或点辐射亮度计、光谱辐射计、辐照度接收器、光阑、校准辐射源、光学精密导轨等。

5.3.2 测量步骤

5.3.2.1 投影出射光

投影出射光的非相干光辐射测量应按以下步骤进行：

- a) 按照图 5 中的流程,根据已知信息或使用光谱辐射计进行实际测量,确定白光光谱分布。
- b) 假设非相干光辐射安全评估类别(按照危害程度递增的顺序排列:RG0、RG1、RG2、RG3),从 RG2 开始。
- c) 根据已知信息或实际测量,判断白场是连续辐射还是脉冲辐射。判断按照 GB/T 30117.5—2019 中 3.27 和 3.28 进行。
- d) 确定蓝光危害、视网膜热危害等各类危害的接收角、时间基准。参见 GB/T 30117.5—2019 中表 1、表 2 及表 4。
- e) 确定蓝光危害、视网膜热危害等各类危害的可达发射(AE)和对向角。应首先确定能量密度最大的位置,对于附录 A 中图 A.1 所示类型,能量密度最大的位置位于防护罩上;对于图 A.2 所示类型,能量密度最大的位置位于防护罩上或防护罩与屏幕之间,应根据具体的光路进行判断。然后在距能量密度最大位置后 200 mm 处,选取多个位置,进行测量,得到光谱辐亮度,结合光谱加权函数,进行数据处理(5.3.3),得到多个位置的最大可达发射,即蓝光加权辐亮度(L_B)、热危害加权辐亮度(L_R),并记录相应的对向角;对于脉冲辐射,应增加测量脉冲辐射的视网膜热危害加权峰值辐亮度(L_{peak})。

注 1: 加权函数详见 GB/T 30117.5—2019 表 8,不同于 GB/T 20145—2006。

- f) 确定蓝光危害、视网膜热危害等各类危害的可达发射限值(AEL)。对于连续辐射,根据 GB/T 30117.5—2019 中 5.6.1 和表 3 确定视网膜蓝光危害、视网膜热危害发射限值;对于脉冲辐射,根据 GB/T 30117.5—2019 中 5.6.2 和表 5 至表 7 确定视网膜蓝光危害、视网膜热危害发射限值。

注 2: GB/T 30117.5—2019 中的可达发射限值以辐照度或辐亮度来表示,附录 B 中给出了辐亮度与辐照度以及辐照量之间的转换关系。

- g) 确定蓝光危害、视网膜热危害等各类危害的 AE 和 AEL 比值最大的位置。
- h) 判断 $AE/AEL \leq 1$ 是否成立。如果不成立,则投影出射光的类别高于该假设类别;如果成立,应选择低一类别进行评估,重复步骤 d)~h),直至 $AE/AEL \leq 1$ 不成立。

5.3.2.2 屏幕反射光

屏幕反射光辐射的测量步骤与 5.3.2.1 中 a)~h)类似,不同点在于假设的非相干光辐射安全类别和屏幕反射光的测量位置不同。其中,假设非相干光辐射安全类别为 RG0。对于屏幕反射光的测量位置,应先选择一个合适的位置,借助成像辐射亮度计或其他辅助设备找到屏幕最亮区域,使成像辐射亮度计垂直向屏幕靠近,直到找到 AE 和 AEL 比值最大处,即为屏幕反射光的测量位置。

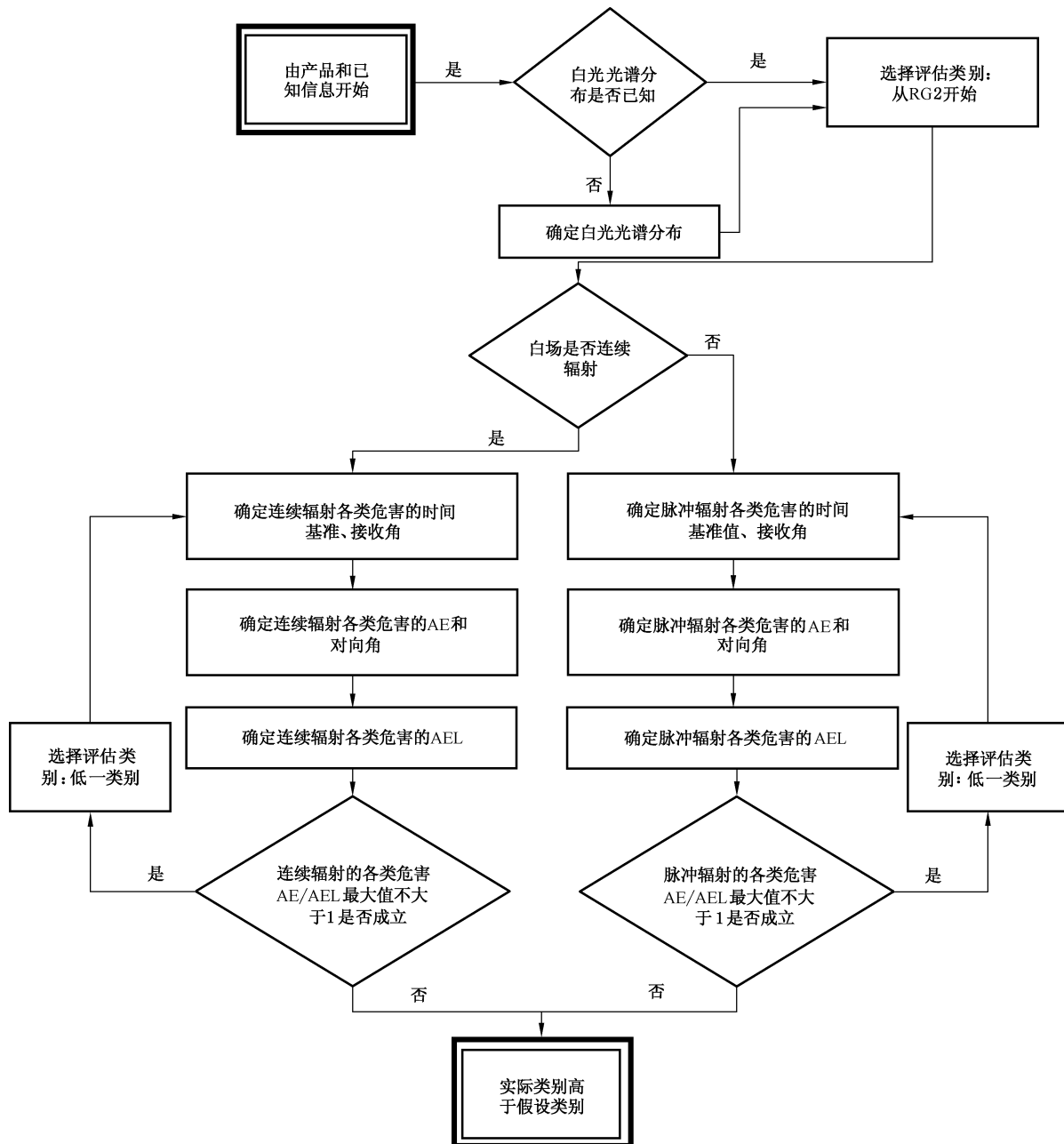


图5 非相干光辐射分类测量流程图

5.3.3 数据处理

5.3.3.1 蓝光加权辐亮度

系统的蓝光危害加权辐亮度 L_B 为光谱辐亮度与蓝光危害加权函数 $B(\lambda)$ 的积分所得的值,由式(2)计算:

$$L_B = (1/t) \sum_{380}^{700} \sum_t L_\lambda(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta t \cdot \Delta \lambda \dots\dots\dots (2)$$

式中:

$L_\lambda(\lambda, t)$ ——光谱辐亮度,单位 $\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \cdot \text{nm}^{-1}$;

- $B(\lambda)$ ——蓝光危害加权函数；
 Δt ——时间的变化量，单位为秒(s)；
 $\Delta \lambda$ ——波长带宽，单位为纳米(nm)；
 t ——辐射持续时间，单位为秒(s)。

5.3.3.2 热危害加权辐亮度

系统的热危害加权辐亮度 L_R 为光谱辐亮度与热危害加权函数 $R(\lambda)$ 的积分所得的值，由式(3)计算：

$$L_R = \sum_{380}^{780} L_{\lambda} \cdot R(\lambda) \cdot \Delta \lambda \quad \dots\dots\dots (3)$$

- 式中：
 L_{λ} ——光谱辐亮度，单位 $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1}$ ；
 $R(\lambda)$ ——热危害加权函数；
 $\Delta \lambda$ ——波长带宽，单位为纳米(nm)。

注：计算脉冲辐射的视网膜热危害加权峰值辐亮度 (L_{peak}) 时，其光谱辐亮度为峰值辐亮度对应的的光谱辐亮度 ($L_{\lambda, peak}$)。

6 评价

6.1 激光辐射

对于投影出射光和屏幕反射光中仅为激光的系统光辐射评价，应分别确定系统的投影出射光和屏幕反射光的激光辐射安全类别并进行标识，具体如下：

- a) 对于系统投影出射光的激光辐射安全类别，根据 5.2.2.1，如果假设评估类别为 3R 类时，式(1)不成立，则其激光辐射安全类别为高于 3R 类；如果假设评估类别不为 3R 类时，式(1)不成立，则其激光辐射安全类别为假设的评估类别的高一类别。
- b) 对于系统屏幕反射光的激光辐射安全类别，根据 5.2.2.2，假设评估类别为 1 类，如果式(1)不成立，则其激光辐射安全类别为高于 1 类；如果式(1)成立，则其激光辐射安全类别为 1 类。
- c) 根据 6.1 a) 和 6.1 b) 给出的系统的投影出射光和屏幕反射光的激光辐射安全类别，按照 GB 7247.1—2012 进行标识。

6.2 非相干光辐射

对于投影出射光和屏幕反射光中仅为非相干光的系统光辐射评价，应分别确定系统的投影出射光和屏幕反射光的非相干光辐射安全类别并进行标识，具体如下：

- a) 对于系统投影出射光的非相干光辐射安全类别，根据 5.3.2.1，如果假设评估类别为某一类别时，“ $AE/AEL \leq 1$ ”不成立，则其非相干光辐射安全类别比假设的评估类别高一类别。
- b) 对于系统屏幕反射光的非相干光辐射安全类别，根据 5.3.2.2，假设评估类别为 RG0，如果“ $AE/AEL \leq 1$ ”不成立，则其非相干光辐射安全类别为高于 RG0；如果“ $AE/AEL \leq 1$ ”成立，则其非相干光辐射安全类别为 RG0。
- c) 根据 6.2 a) 和 6.2 b) 给出的系统的投影出射光和屏幕反射光的非相干光辐射安全类别，按照 GB/T 30117.5—2019 进行标识。

6.3 激光混合光辐射

对于投影出射光和屏幕反射光中为激光混合光的系统光辐射评价，应综合评价激光和非相干光两



部分的光辐射安全,评价分别按照 6.2 和 6.3 进行。

注:附录 C 中给出了一种激光混合光源系统的光辐射安全测量评价示例。

6.4 满足 IEC 60825-1:2014 中 4.4 的适用条件的激光或激光混合光辐射

对于投影出射光和屏幕反射光中仅为激光或激光混合光的系统,如果满足 IEC 60825-1:2014 中 4.4 的适用条件,系统的光辐射安全评价可以选择按照 6.2 进行,给出非相干光辐射安全等级,同时将其激光辐射安全等级定为 GB 7247.1—2012 规定的 1 类。

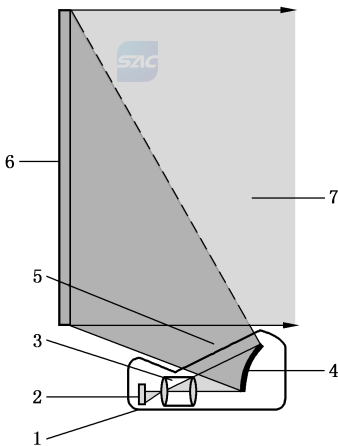
注:附录 D 中给出了测试报告通常包含的内容。



附录 A
(规范性附录)

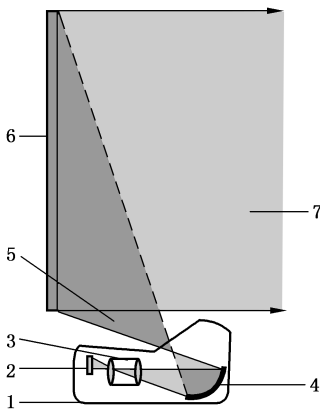
反射式超短焦激光显示系统

目前,超短焦激光显示系统的镜头主要为反射式。反射式超短焦激光显示系统主要分为凸面反射式和凹面反射式两种类型。图 A.1 为凸面反射式超短焦激光显示系统示意图,图 A.2 为凹面反射式超短焦激光显示系统示意图。



- 说明:
- | | |
|-----------|-----------|
| 1——防护罩; | 5——投影出射光; |
| 2——微显示器件; | 6——屏幕; |
| 3——透镜组; | 7——屏幕反射光。 |
| 4——凸面镜; | |

图 A.1 凸面反射式超短焦激光显示系统示意图



- 说明:
- | | |
|-----------|-----------|
| 1——防护罩; | 5——投影出射光; |
| 2——微显示器件; | 6——屏幕; |
| 3——透镜组; | 7——屏幕反射光。 |
| 4——凹面镜; | |

图 A.2 凹面反射式超短焦激光显示系统示意图

附 录 B

(资料性附录)

辐亮度与辐照度、辐照量关系

辐亮度定义为式(B.1):

$$L = \frac{d\Phi}{d\Omega \cdot dA \cdot \cos\theta} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

式中:

Φ ——辐射功率;

Ω ——辐照度的测量面顶点处的立体角;

A ——定义辐照度的区域;

θ ——观察角。

辐照度定义为式(B.2):

$$E = \frac{d\Phi}{dA} \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

将式(B.2)代入式(B.1),得到辐亮度是辐照量的函数,见式(B.3):

$$L = \frac{dE}{d\Omega \cdot \cos\theta} \quad \dots\dots\dots (B.3)$$

我们需要找到立体角 Ω 和观察角 θ 。用式(B.4)取代 Ω :

$$\Omega = \frac{\pi\alpha^2}{4} \quad \dots\dots\dots (B.4)$$

并假设最坏情况的观察角 $\theta=0^\circ$ (观察者直接向激光束内看),式(B.3)简化为式(B.5):

$$L = \frac{4E}{\pi\alpha^2} \quad \dots\dots\dots (B.5)$$

辐照量定义为式(B.6):

$$H = \frac{dQ}{dA} \quad \dots\dots\dots (B.6)$$

其中, Q 为用焦耳表示的辐照能量。除以时间得到式(B.7):

$$\frac{H}{dt} = \frac{dQ}{dA \cdot dt} \quad \dots\dots\dots (B.7)$$

辐射功率表示为式(B.8):

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad \dots\dots\dots (B.8)$$

式(B.8)可以代入式(B.7),得到式(B.9):

$$\frac{H}{dt} = \frac{d\Phi}{dA} \quad \dots\dots\dots (B.9)$$

将式(B.9)代入式(B.1),得到式(B.10):

$$L = \frac{dH}{d\Omega \cdot dt \cdot \cos\theta} \quad \dots\dots\dots (B.10)$$

再将式(B.4)代入(B.10),并假设最坏的情况 $\theta=0^\circ$,得到式(B.11):

$$L = \frac{4H}{\pi\alpha^2 t} \quad \dots\dots\dots (B.11)$$

附录 C (资料性附录)

激光混合光源系统的光辐射安全测量评价示例

C.1 概述

本测量示例中的系统是超短焦前投影的图像投影机、蓝色激光和红色激光,经过荧光色轮和滤色轮产生红、绿、蓝等三种脉冲光。三种脉冲光按时间顺序投射到微显示器件上,然后通过投影镜头投射到屏幕上形成图像。

将系统的光区域分为投影出射光和屏幕反射光,对于激光混合光系统,应分别对系统的激光辐射安全和系统的非相干光辐射安全进行测量与评价,具体示例如下。

C.2 系统的激光辐射安全测量与评价

C.2.1 系统的投影出射光的激光辐射安全测量与评价

C.2.1.1 确定光谱分布

设置系统,使其分别输出红($R=255, G=0, B=0$)、绿($R=0, G=255, B=0$)、蓝($R=0, G=0, B=255$)图像,假设测量结果如下:

- a) 红光,峰值波长为 638 nm,光谱半峰全宽为 4 nm;
- b) 绿光,峰值波长为 540 nm,光谱半峰全宽为 92 nm;
- c) 蓝光,峰值波长为 452 nm,光谱半峰全宽为 3 nm。

C.2.1.2 假设投影出射光激光辐射安全等级,并确定时间基准

按照系统的激光辐射安全测量和评价时,参考 IEC 60825-1: 2014 中的时间基准,即:

- a) 400 nm~700 nm 波长范围内,对 2 类和 3R 类激光辐射的时间基准为 0.25 s;
- b) 对所有波长大于 400 nm 的激光辐射,除 a) 和 c) 中列举的情况外,时间基准为 100 s;
- c) 对所有波长小于或等于 400 nm 的激光辐射和波长大于 400 nm 且激光产品设计或功能本身要求有意识长期观察的激光辐射,时间基准为 30 000 s。

本例中,首先假设投影出射光的激光辐射安全等级为 2 类,根据上述内容,时间基准为 0.25 s。

C.2.1.3 确定各基色最严格的 AEL 和对向角

在参考点后 100 mm 处进行测量得到表观光源对向角大小。假设表观光源对向角大小为 $\alpha=40$ mrad。

对于对向角小于 $\alpha_{\min}$ 和大于 $\alpha_{\max}$ 的光源,AEL 值与光源尺寸无关。任何小于 $\alpha_{\min}$ 的角度将被限定在 $\alpha_{\min}$,大于 $\alpha_{\max}$ 的角度将被限定在 $\alpha_{\max}$ 。

$t < 625 \mu\text{s}$ 时, $\alpha_{\max} = 5$ mrad, $625 \mu\text{s} \leq t \leq 0.25$ s 时, $\alpha_{\max} = 200t^{0.5}$ mrad, $t > 0.25$ s 时, $\alpha_{\max} = 100$ mrad。

已知对向角 α ,时间基准 T ,进行如下计算,从而确定各基色的最严格的 AEL。

因为光谱范围在 400 nm~700 nm,且假设为二类,则 AEL 与波长无关。

以蓝光为例,蓝光的详细计算步骤如下:

单脉冲 $AEL_{\text{single-B}}(452)$ 。荧光色轮和滤色轮旋转的频率为 120 Hz, 分别具有中心对称的结构, 红、绿、蓝脉冲宽度比例为 3 : 2 : 1, 则蓝光的脉冲宽度为:

$$t = [1/(120 \times 2)] \times (1/6) \text{ s} = 6.94 \times 10^{-4} \text{ s}$$

对于发射持续时间 $t < 0.25 \text{ s}$ 的情况, 同 1 类 AEL, 有:

$$\begin{aligned} AEL_{\text{single-B}}(452) &= 7 \times 10^{-4} \times t^{0.75} C_6 \text{ J} \\ \alpha_{\max} &= 200t^{0.5} \text{ mrad} = 200 \times (6.94 \times 10^{-4})^{0.5} \text{ mrad} = 5.27 \text{ mrad} \\ C_6 &= \alpha_{\max} / \alpha_{\min} = 5.27 / 1.5 = 3.51 \\ AEL_{\text{single-B}}(452) &= 7 \times 10^{-4} \times (6.94 \times 10^{-4})^{0.75} \times 3.51 \text{ J} = 1.05 \times 10^{-5} \text{ J} \end{aligned}$$

注 1: $AEL_{\text{single-B}}(452)$ 的下标 B 表示输出光为蓝光, 如果是 R, 则表示输出光为红光, 如果是 G, 则表示输出光为绿光, 括号中的数字表示波长。下文中的 $AEL_{\text{T-B}}(452)$ 、 $AEL_{\text{s,p,T-B}}(452)$ 、 $AEL_{\text{s,p,train-B}}(452)$ 等的下标和括号中的数字同 $AEL_{\text{single-B}}(452)$ 中的意义一致。

脉冲串持续时间 T 所对应的持续时间为 T 的单脉冲的 $AEL_{\text{T-B}}(452)$ 以及相应的 $AEL_{\text{s,p,T-B}}(452)$ 。
 $T = 0.25 \text{ s}$, 2 类 AEL 为 $C_6 \times 10^{-3} \text{ W}$

$$\alpha_{\max} = 200t^{0.5} \text{ mrad} = 200 \times (0.25)^{0.5} \text{ mrad} = 100 \text{ mrad}, \alpha < \alpha_{\max}, \text{ 所以:}$$

$$C_6 = \alpha / \alpha_{\min} = 40 / 1.5 = 26.67$$

$$AEL_{\text{T-B}}(452) = C_6 \times 10^{-3} \text{ W} = 2.67 \times 10^{-2} \text{ W}$$

$$AEL_{\text{s,p,T-B}}(452) = AEL_{\text{T-B}}(452) / \text{PRF} = 2.67 \times 10^{-2} / (120 \times 2) \text{ J} = 1.11 \times 10^{-4} \text{ J}$$

注 2: 当比较 AEL_{T} 和 AEL_{single} 或 $AEL_{\text{s,p,train}}$ 时, 为确定哪项最严格, AEL_{T} 被表示为能量或辐射曝光量, 并除以 N , 表示为 $AEL_{\text{s,p,T}}$ 。

脉冲串中任一单脉冲的 AEL 值, 即 $AEL_{\text{s,p,train-B}}(452)$, 因为 $\alpha = 40 \text{ mrad} > \alpha_{\max} = 5.63 \text{ mrad}$, 且 $N \leq 625$, 所以:

$$C_5 = N^{-0.25} = (0.25 \times 120 \times 2)^{-0.25} = 0.36$$

$$AEL_{\text{s,p,train-B}}(452) = AEL_{\text{single-B}}(452) \times C_5 = 1.05 \times 10^{-5} \times 0.36 \text{ J} = 3.78 \times 10^{-6} \text{ J}$$

C.2.1.4 初步判断系统出射光类别

对于红、绿、蓝色, 使用红 ($R=255, G=0, B=0$)、绿 ($R=0, G=255, B=0$)、蓝 ($R=0, G=0, B=255$) 图片使系统分别输出相应颜色的光, 并使每种颜色输出辐射功率或能量达到最大。

在距投影出射光参考点后 100 mm 处, 使用激光功率能量测量设备, 结合成像辐射亮度计或其他辅助设备, 测量并找到各基色每个脉冲周期实际输出的最大功率或能量。需要在测量设备探头前放置 7 mm 孔径光阑。

以蓝光为例, 因为在 C.2.1.3 中, 对于计算 $AEL_{\text{single-B}}(452)$ 和 $AEL_{\text{s,p,T-B}}(452)$ 时, $\alpha > \alpha_{\max} = 5.27 \text{ mrad}$, 所以测量的接收角应设置为 5.27 mrad ; 对于计算 $AEL_{\text{s,p,train-B}}(452)$ 时, $\alpha < \alpha_{\max} = 100 \text{ mrad}$, 所以测量的接收角应设置包含 α 即可。

假设 $Q_{\text{single-B}}(452)/AEL_{\text{single-B}}(452)$, $Q_{\text{s,p,T-B}}(452)/AEL_{\text{s,p,T-B}}(452)$, $Q_{\text{s,p,train-B}}(452)/AEL_{\text{s,p,train-B}}(452)$ 中的最大值为 $Q_{\text{s,p,train-B}}(452)/AEL_{\text{s,p,train-B}}(452) < 1$, 其中, $Q_{\text{single-B}}(452)$, $Q_{\text{s,p,T-B}}(452)$ 和 $Q_{\text{s,p,train-B}}(452)$ 表示输出蓝光时, 452 nm 对应于 C.2.1.3 中三种情况下实际输出的能量。

有叠加效应光谱范围, 被划分为某一类别的条件为: 各波长可达激光辐射 (在适合于本类的条件下测量) 与相应波长的较低类 AELs 之比的总和大于 1, 但对所定类别而言其总和不超过 1。

因为 $\sum_{\lambda=400 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} Q_{\text{R}}(\lambda)/AEL_{\text{R}}(\lambda) + \sum_{\lambda=400 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} Q_{\text{G}}(\lambda)/AEL_{\text{G}}(\lambda) + \sum_{\lambda=400 \text{ nm}}^{700 \text{ nm}} Q_{\text{B}}(\lambda)/AEL_{\text{B}}(\lambda) < 1$, 其中 $Q_{\text{R}}(\lambda)/AEL_{\text{R}}(\lambda)$, $Q_{\text{G}}(\lambda)/AEL_{\text{G}}(\lambda)$, $Q_{\text{B}}(\lambda)/AEL_{\text{B}}(\lambda)$ 分别为输出红、绿、蓝光时, 当波长为 λ 时, IEC 60825-1: 2014 中 4.3 f) 三种条件下比值最大值。

所以该系统的投影出射光的激光辐射安全不超过 2 类。

C.2.1.5 按照 1 类激光辐射安全的要求,进行计算与测试

蓝光计算方法如下:

假设为 1 类激光辐射安全,时间基准为 T 为 100 s。

波长在 400 nm~450 nm 时, $C_3=1$, 波长在 450 nm~600 nm 时, $C_3=10^{0.02(\lambda-450)}$ 。

所以:

$$AEL_{T,ph-B}(452)=3.9 \times 10^{-5} \times 10^{0.02(452-450)} W=4.28 \times 10^{-5} W$$

$$AEL_{s,p,T,ph-B}(452)=4.28 \times 10^{-5} / 240 J=1.78 \times 10^{-7} J$$

其中, $AEL_{T,ph-B}(452)$ 和 $AEL_{s,p,T,ph-B}(452)$ 分别表示输出蓝光时, 452 nm 的脉冲串持续时间 T 所对应的持续时间为 T 的单脉冲的视网膜光化学危害的 AEL_T 以及相应的 $AEL_{s,p,T}$ 。

使系统输出蓝光,并使辐射达到最大,在距参考点后 100 mm 处,使用激光功率能量测量设备,结合成像亮度计或其他辅助设备,设置接收角为 11 mrad,测量出对应的最大功率。需要在测量设备探头前放置 7 mm 孔径光阑。

$$Q_B(452)=4.44 \times 10^{-6} J > AEL_B(452)_{s,p,T,ph-B}(452)=1.78 \times 10^{-7} J$$

C.2.1.6 确定系统投影出射光的激光辐射安全

根据上述测量与计算,该投影出射光的激光辐射安全等级为“2 类激光辐射安全”。

C.2.2 系统的屏幕反射光的激光辐射安全测量与评价

屏幕反射光的激光辐射安全等级判断,除了测量距离不同以外,具体的测量步骤可参照上述过程。经判断,该系统的屏幕反射光的激光辐射安全等级为“1 类激光辐射安全”。

C.3 系统的非相干光辐射安全测量与评价

C.3.1 系统的投影出射光的非相干光辐射安全测量与评价

C.3.1.1 判断是否满足 IEC 60825-1: 2014 中 4.4 的适用条件

在距离投影镜头的出光口中心 200 mm 位置处,使用辐亮度计测量得到 $\alpha=20 \text{ mrad} > 5 \text{ mrad}$,并且在 5 mrad 接收角下,总未加权峰值辐亮度不超过 $L_T (L_T = (1 \text{ MW} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}) / \alpha)$,因此可以按照非相干光辐射安全进行测量和评价。

C.3.1.2 判断输出白光是脉冲辐射或连续辐射

使系统输出白光($R=255, G=255, B=255$),并使辐射达到最大,在距投影出射光能量密度最大位置后 200 mm 处,使用激光功率能量测量设备,结合成像亮度计或其他辅助设备,测量出平均功率和峰值功率。需要在测量设备探头前放置 7 mm 孔径光阑。

假设峰值功率与平均功率的比值:

$$P_{\text{peak}} / P_{\text{average}} = 1.92 > 1.5$$

所以,该家用激光投影显示输出白光时是脉冲辐射。

C.3.1.3 根据白光光谱范围,确定需要检测的风险类型

使用光谱测量设备测量白光光谱分布,光谱范围在 400 nm~700 nm,所以仅需考虑视网膜蓝光危害 L_B 和视网膜热危害 L_R 。

C.3.1.4 确定投影出射光白光的视网膜蓝光危害、视网膜热危害

假设投影出射光为 RG2, 设置接收角为 11 mrad, 找到 11 mrad 包含最大危害的区域。假设得到蓝光加权辐亮度 L_B :

$$L_B = 1.1 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$$

设置视场角为 5 mrad, 找到 5 mrad 包含最大危害的区域, 假设得到热危害加权辐亮度 L_R 和热危害加权峰值辐亮度 $L_{\text{peak}, R}$:

$$\begin{aligned} L_R &= 3.0 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \\ L_{\text{peak}, R} &= 5.73 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \end{aligned}$$

C.3.1.5 比较 L_B 与蓝光危害 RG2 辐射限值的大小

$$L_B = 1.1 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} < 4.0 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$$

C.3.1.6 比较视网膜热危害与视网膜热危害辐射限值

比较 L_R 和 GB/T 30117.5—2019 表 5 中的发射限值。设时间基准为 0.25 s, 当 $t_p \geq 0.25$ s 时, $\alpha_{\text{max}} = 100$ mrad。而系统的 $\alpha = 20$ mrad $< \alpha_{\text{max}} = 100$ mrad, 所以:

$$\begin{aligned} 2.0 \times 10^4 \alpha^{-1} t^{-0.25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} &= 2.0 \times 10^4 \times 0.02^{-1} 0.25^{-0.25} \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} = 1.41 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \\ L_R &= 3.0 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < 1.41 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \end{aligned}$$

比较每个脉冲的峰值辐亮度与 GB/T 30117.5—2019 表 5 中发射限值与表 6 中 C_5 的乘积。

$$t_p = D/L_{\text{peak}} = L_{\text{average}} \times (1/PRF)/L_{\text{peak}} = 1/(1.92) \times 1/240 \text{ s} = 2.17 \times 10^{-3} \text{ s}$$

$$\alpha_{\text{max}} = 200 t_p^{0.5} \text{ mrad} = 200 \times (2.17 \times 10^{-3})^{0.5} \text{ mrad} = 9.32 \text{ mrad}$$

$C_5 = N^{-0.25} = (120 \times 2 \times 0.25)^{-0.25} = 0.36$, 并且因为 $\alpha > \alpha_{\text{max}}$, 所以 α 取 α_{max} 的值进行计算, 得到:

$$\begin{aligned} &2.0 \times 10^4 \times \alpha^{-1} \times t^{-0.25} \times C_5 \\ &= 2.0 \times 10^4 \times (9.32 \times 10^{-3})^{-1} \times (2.17 \times 10^{-3})^{-0.25} \times 0.36 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \\ &= 3.58 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} \end{aligned}$$

经比较, 发现 $L_{\text{peak}, R} = 5.7 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1} < 3.58 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$

C.3.1.7 初步判断系统出射光类别

该系统的投影出射光的非相干光辐射安全不超过 RG2。

C.3.1.8 按照 RG1 非相干光辐射安全的要求, 进行测量与计算

假设投影出射光的非相干光辐射安全类别为 RG1, 对于 RG1, 其接收角的设置与 RG2 相同。将测量得到 L_B 与 RG1 可达发射限值比较, 发现:

$$L_B = 1.1 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1} > 1.0 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$$

C.3.1.9 确定系统投影出射光的非相干光辐射安全

投影出射光的非相干光辐射安全等级为“RG2 非相干光辐射安全”。

C.3.2 系统的屏幕反射光的非相干光辐射安全测量与评价

屏幕反射光的非相干光辐射安全等级判断, 除了测量距离不同以外, 具体的测量步骤可参照上述过程。经判断, 该系统的屏幕反射光的非相干光辐射安全等级为“RG0 非相干光辐射”。

C.4 系统的光辐射安全评价

根据 C.2 和 C.3,系统的投影出射光的激光辐射安全等级为“2 类激光辐射安全”,屏幕反射光的激光辐射安全等级为“1 类激光辐射安全”;系统的投影出射光的非相干光辐射安全等级为“RG2 非相干光辐射安全”,屏幕反射光的非相干光辐射安全等级为“RG0 非相干光辐射”。应根据 GB 7247.1—2012 和 GB/T 30117.5—2019 贴上相应的标签。



附 录 D
(资料性附录)
测试报告

测试报告通常包含下列内容：

- a) 被测系统信息：被测系统名称、生产厂家、型号、序列号、图片等信息；
- b) 测试信息：测试系统及溯源性、测试环境、供电参数、测试距离、时间、地点、人员等信息；
- c) 测量数据：光谱分布、表观光源对向角大小、功率(或能量)、蓝光加权辐亮度、热危害加权辐亮度、热危害加权峰值辐亮度(对于脉冲辐射，应添加此项)；
- d) 系统光辐射安全评价结果：
 - 1) 对于投影出射光和屏幕反射光中仅为激光的系统，应根据系统的激光辐射安全分类方法给出投影出射光、屏幕反射光的激光辐射安全等级，并根据 GB 7247.1—2012 贴上相应的标签；
 - 2) 对于投影出射光和屏幕反射光中仅为非相干光的系统，应根据系统的非相干光辐射安全分类方法给出投影出射光、屏幕反射光的非相干光辐射安全等级，并根据 GB/T 30117.5—2019 贴上相应的标签；
 - 3) 对于投影出射光和屏幕反射光中为激光混合光的系统，应综合评价激光和非相干光两部分的光辐射安全，根据系统的激光辐射安全分类方法给出投影出射光、屏幕反射光的激光辐射安全等级；根据系统的非相干光辐射安全分类方法给出投影出射光、屏幕反射光的非相干光辐射安全等级；并分别根据 GB 7247.1—2012 和 GB/T 30117.5—2019 贴上相应的标签；
 - 4) 对于投影出射光和屏幕反射光中仅为激光或激光混合光的系统，如果在满足 IEC 60825-1：2014 中 4.4 的适用条件下，选择按照系统的非相干光辐射安全进行评价，应根据系统的非相干光辐射安全分类方法给出投影出射光、屏幕反射光的非相干光辐射安全等级，根据 GB/T 30117.5—2019 贴上相应的标签；同时将其激光辐射安全等级定为 1 类，根据 GB 7247.1—2012 进行标识。

参 考 文 献

- [1] GB/T 2900.65—2004 电工术语 照明
 - [2] GB/T 6360—1995 激光功率能量测试仪器规范
 - [3] GB/T 7247.3—2016 激光产品的安全 第 3 部分:激光显示与表演指南
 - [4] GB/T 7247.14—2012 激光产品的安全 第 14 部分:用户指南
 - [5] GB/T 30117.2—2013 灯和灯系统的光生物安全 第 2 部分:非激光光辐射安全相关的制造要求指南
 - [6] IEC/TR 60825-13: 2011 Safety of laser products—Part 13: Measurements for classification of laser products
 - [7] IEC 62368-1 Audio/video, information and communication technology equipment—Part 1: Safety requirements
-