



中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

夜间蓝光辐射危害的评价方法

Evaluation methods of blue light radiation hazard at night

（征求意见稿）

（本稿完成日期：2024.3）

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

XXXX—XX—XX 发布

XXXX—XX—XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目次

前言 III

引言 V

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 蓝光辐射危害的评价条件 2

 4.1 蓝光视网膜危害 2

 4.2 蓝光生理危害 3

5 蓝光辐射危害的评价方法 4

 5.1 蓝光视网膜危害 4

 5.2 蓝光生理危害 5

附录 A（规范性） 光敏感细胞光谱作用函数 6

附录 B（资料性） 不同年龄晶状体的光谱修正 9

附录 C（资料性） 光照对人体生理的影响 11

 C.1 光照与昼夜节律 11

 C.2 夜间光照与褪黑素抑制 12

附录 D（资料性） 夜间蓝光的生理刺激值 13

 D.1 生理刺激值 13

 D.2 测试方法 13

 D.3 计算方法 13

参考文献 15

图 1 生理刺激效能光谱 3

图 B.1 不同年龄的光谱修正函数 $c(a,\lambda)$ 9

图 C.1 人体生物钟及其对生理的影响 12

表 1 夜间蓝光辐射生理危害分类 5

表 A.1 光敏感细胞光谱作用函数 6

表 B.3 几种普通发光体和光源黑视细胞量的年龄修正因子 10

前 言

本文件按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

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专利的责任。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件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。

本文件起草单位：……。

本文件主要起草人：……。

引 言

夜间蓝光对人体存在着视觉和非视觉两方面的影响。与白天相比，人体在夜间时生理和视觉状态上存在很大的差异。有研究表明，在白天时（高亮度下），瞳孔直径大约为3mm，而在夜间（低亮度下），人眼的瞳孔放大到7mm；同时，在白天时人对强光的回避反应时间为0.25秒，在夜间对高亮度脉冲光的回避反应速度下降，回避反应时间会远大于0.25秒。因此，原本在白天使用时是安全的蓝光产品，在夜间使用时则可能存在安全隐患。

另一方面，从人的非视觉角度，有研究表明，夜间暴露在高亮度、强蓝光的光线下，会减少褪黑素的产生和分泌，从而对人体免疫功能和睡眠有极大的影响。国际照明委员会CIE在2018年发布了国际标准CIE S 026: 2018《CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light》(内在光敏视网膜神经节细胞受光响应的光辐射计量系统)。该标准描述了光辐射刺激下的五种光受体通过内在光敏视网膜神经节细胞，产生对人的非视觉影响，同时规定了如何进行评价光对人体生理的影响。CIE S 026: 2018是照明领域目前最新和最权威的研究成果之一，是本文件的主要依据。

本文件基于人体视觉和生理在夜间与白天的不同，结合人们在夜间使用蓝光产品的习惯，提出夜间蓝光辐射安全的评价方法。本文件目的在于指导制造商生产符合夜间安全使用的光辐射产品，倡导用户在夜间正确用光和保持良好的用光习惯。

夜间蓝光辐射危害的评价方法

1 范围

本文件规定了夜间光辐射危害的评价条件和方法，包括人处于夜间状态下光辐射引起的视网膜蓝光光化学损伤和光照引起的非视觉生理危害的评价。

本文件没有规定特定应用产品的安全要求。普通照明用光源和灯具、显示产品等都包括在本文件的范围内。但不包括GB/T 7247.1中规定的一般激光产品。

下列情况也可能造成光辐射安全问题，但不在本文件的范围之内：

- 1) 使人分心的干扰光；
- 2) 强光眩目；
- 3) 闪光盲；
- 4) 暂时性视力障碍；
- 5) 光闪烁；
- 6) 异常光敏性；
- 7) 接触光敏化学物质，或食用光敏性药物；
- 8) 三岁以下儿童、无晶状体眼睛或使用人工晶体的眼睛；
- 9) 光辐射引起的昼夜节律紊乱；
- 10) 个人异常行为，例如故意凝视强光源；因酒精或毒品引起的异常表现。

本文件适用于成年人、眼睛和皮肤状态健康的人。此外，本文件采用的光辐射危害类型及相应的发射限值，仅考虑短期使用情况；对于长期使用可能产生的风险，如长期紫外线辐照可能产生的皮肤癌等不在本文件的考虑范围内。

本文件不适用于电子日光美黑灯、眼科仪器或其它特殊医疗应用的设备，这些产品的安全要求由其它相应的标准规定。

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，仅所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 XXXXX 光辐射安全技术规范

GB/T 30117.1—XXXX 非相干光产品的光生物安全 第1部分：通用要求（IEC 62471:2006，MOD）

GB/T 30117.4—2023 灯和灯系统的光生物安全 第4部分：测量方法（IEC TR 62471-4: 2022，MOD）

GB/T 2900.65—2004 电工术语 照明（IEC 60050-845:1987，MOD）

CIE 15: 2004 色度学（Colorimetry）

CIE S 026: 2018 内在光敏视网膜神经节细胞受光响应的光辐射计量系统（CIE System for Metrology of Optical Radiation for ipRGC-Influenced Responses to Light）

CIE 158: 2004 眼部照明对人体生理和行为的影响（Ocular Lighting Effects on Human Physiology and Behaviour）

3 术语和定义

GB /T 2900.65、GB XXXXX、GB/T 30117.1—XXXX、CIE 15-2004、CIE S026-2018和CIE 158: 2004界定的以及下列术语和定义，适用于本文件。

3.1

内在光敏视网膜神经节细胞 **intrinsically-photosensitive retinal ganglion cells**
ipRGC

通过黑视素（一种对光敏感的光色素）感光的视网膜神经节细胞。

3.2

黑视辐照度 **melanopic irradiance**

由眼睛视网膜（ipRGC）上黑视素产生光响应所对应的有效辐射照度。

3.3

生理刺激辐照度 **circadian irradiance**

光辐射产生人体生理刺激作用的有效辐射照度。

3.4

生理刺激值 **circadian stimulus value**
CS

夜间光辐射引起人体非视觉生理刺激作用所对应的光辐射量值。

3.5

褪黑素抑制 **melatonin suppression**

夜间光辐射引起人体褪黑素分泌的抑制。

4 蓝光辐射危害的评价条件

4.1 蓝光视网膜危害

4.1.1 概述

GB/T 30117.1—XXXX中规定的眼睛视网膜的蓝光危害与眼睛的瞳孔大小有关，夜间黑暗环境下眼睛的瞳孔较大；此外，与白天对比夜间人眼对高亮度光的回避反应相应缓慢。

4.1.2 夜间瞳孔的规定

夜间的瞳孔直径按下列条件规定：

- a) 长时间处于环境光照大于 100 lx，或者光源相对于人眼的对眩角大于 50 度的稳定视觉适应条件下，按照 GB/T 30117.1—XXXX 中的 3 mm 确定。
- b) 处于环境光照不大于 100 lx，并且光源相对于人眼的对眩角不大于 50 度的条件下，按照 GB/T 30117.1—XXXX 中的 7 mm 确定。
- c) 当从暗处短暂进入环境光照大于 100 lx 的视觉环境，或者短暂接触相对于人眼的对眩角大于 50 度的光源；建议按照 GB/T 30117.1—XXXX 中的 7 mm 确定。

4.1.3 中风险的时间判据

在GB/T 30117.1—XXXX中规定了蓝光视网膜危害的各个风险等级的时间判据。夜间接触高亮度光源，对于中风险（RG2）的时间条件应为0.5 s。其它类别的风险等级按照GB/T 30117.1—XXXX中的规定。

4.1.4 评价视场条件

对于波长在300 nm～700 nm之间的辐射，视网膜蓝光危害的辐射限值与视网膜受辐照面积密切相关。因为眼睛的角膜和晶状体将表观光源聚焦在视网膜上，因此受辐照面积与表观光源的对边角相关。由于眼睛的生理特性，按照GB/T 30117.1—XXXX在静止状态眼睛视网膜上能成像的最小值图像的对边角 α_{\min} 取值为0.0017 弧度。

当观看时间延长时，眼睛的快速运动就会使光辐射源像模糊，形成一个更大的辐照面积，同时对应于更大的视场角度；点光辐射源的模糊像覆盖了视网膜上更大的区域。这个区域的大小与眼睛持续的运动有关。按照GB/T 30117.1—XXXX，对应100 s 时间的视场角大约为0.011 弧度，10 000 s时间的视场角大约为0.11弧度。因此，在实际光辐射安全评价时，应该采用对应的视场度来测量。

4.2 蓝光生理危害

4.2.1 概述

夜间光照对人健康的影响包括睡眠、激素分泌、免疫反应等生理危害。其生理作用主要来自于人眼视网膜上的神经节光感细胞对短波长蓝光光辐射的响应；夜间的短波长蓝光辐射抑制褪黑素的分泌、昼夜节律失调而导致健康的不利影响。

4.2.2 光谱作用函数

蓝光生理危害由视网膜感光细胞响应刺激引起的非视觉效应。视网膜包括了五种感光细胞：三种锥状细胞、杆状细胞和内在光敏视网膜神经节细胞。而内在光敏视网膜神经节细胞的黑视素，在夜间蓝光生理刺激中起主导作用。对于常规的复色（白光）光辐射，视网膜的其他感光细胞的响应刺激参与非视觉的生理作用。

内在光敏视网膜神经节细胞、参与蓝光生理非视觉效应的视锥细胞和视杆细胞等生理刺激效能光谱曲线如图1所示，其中 S_λ 指短视锥细胞的光谱作用函数， V_λ 指暗视觉视杆细胞的光谱作用函数， M_λ 指内在光敏视网膜神经节细胞的光谱作用函数， $V_{10\lambda}$ 指10度视场的明视觉视锥细胞的光谱作用函数。光谱数据见附录A中表A.1。

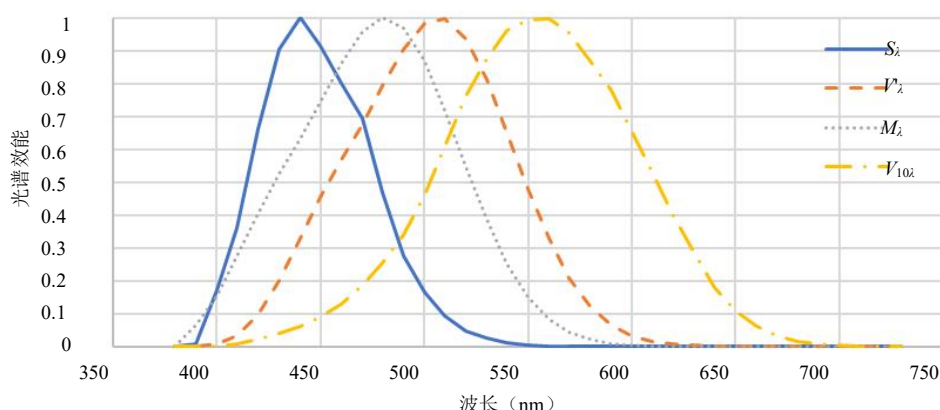


图1 生理刺激效能光谱

4.2.3 眼睛的透射特性

眼睛的晶状体对进入眼睛内的光谱进行过滤，从而改变到达视网膜的辐射照度。随着年龄的增加，眼睛晶状体逐渐老化发黄，其在短波长蓝光区域的光谱透射比会随晶状体老化而降低，从而降低视网膜的蓝光刺激。但夜间蓝光生理调节功能还与机体的功能有关，因此本文件中不考虑不同年龄的晶状体对蓝光的过滤作用。有关不同年龄的晶状体滤波和光谱修正的信息可见附录B或CIE S 026。

4.2.4 观察视场

除光谱作用函数外，眼睛黑视蛋白响应与观察视场有关，尤其垂直视场角与眼睛视线角及环境亮度相关。

夜间蓝光生理影响的视场，规定为：

- a) 垂直方向：视线上方 50 度至下方 70 度；
- b) 水平方向：左右眼 180 度。

5 蓝光辐射危害的评价方法

5.1 蓝光视网膜危害

5.1.1 概述

夜间蓝光视网膜危害，考虑夜间的评价条件由可达辐射亮度来表示。通过确定光辐射的可达发射值，按照GB/T 30117.1—XXXX中的规定进行风险等级评价。

5.1.2 发射限值

不同条件下的发射限值要求如下：

- a) 明亮刺激条件下

视网膜蓝光危害的曝辐限值为 $10^6 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ 。

视网膜蓝光危害的发射限值 L_B 与允许使用的最大辐照时间 t_{max} 有关，关系如公式（1）所示。

$$L_B = 10^6 / t_{\text{max}} \dots\dots\dots (1)$$

- b) 弱刺激条件下

视网膜蓝光危害的曝辐限值为 $1.8 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ 。

视网膜蓝光危害的发射限值 L_B 与允许使用的最大辐照时间 t_{max} 有关，关系如公式（2）所示。

$$L_B = 1.8 \times 10^5 / t_{\text{max}} \dots\dots\dots (2)$$

- c) 视网膜蓝光辐亮度的发射限值：

- 免除类（RG0）：在 10 000 s（2.8 h）内不造成视网膜蓝光危害。强刺激条件下对应的发射限值为 $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ ；弱刺激条件下对应的发射限值为 $18 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ 。
- 风险 1 类（RG1）：在 100 s 内不造成视网膜蓝光危害。强刺激条件下对应的发射限值为 $1 \times 10^4 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ ；弱刺激条件下对应的发射限值为 $1.8 \times 10^3 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ 。
- 风险 2 类（RG2）：在 0.5 s 内不造成视网膜蓝光危害。强刺激条件下对应的发射限值为 $2 \times 10^6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ ；弱刺激条件下对应的发射限值为 $3.6 \times 10^5 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}$ 。

5.1.3 测试方法

按照GB/T 30117.4—XXXX的规定进行测量。

5.1.4 计算方法

为了防止长期受到蓝光辐射的视网膜产生视网膜光化学损伤，光辐射源的光谱辐亮度与蓝光危害函数 $B(\lambda)$ 加权积分后的辐射量，也就是蓝光加权辐亮度 L_B 不应该超过公式（3）和公式（4）的限值：

$$L_B \cdot t = \sum_{300}^{700} \sum_t L_{\lambda}(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \cdot \Delta t \leq 10^5 \quad (\text{J} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}) \quad (t \leq 10^4 \text{ s}) \dots\dots\dots (3)$$

$$L_B = \sum_{300}^{700} L_{\lambda}(\lambda, t) \cdot B(\lambda) \cdot \Delta\lambda \leq 100 \quad (\text{W} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{sr}^{-1}) \quad (t > 10^4 \text{ s}) \dots\dots\dots (4)$$

式中：

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

$B(\lambda)$ —— 蓝光危害加权函数；

$\Delta\lambda$ ——波长带宽，单位为 nm ；

t ——辐射持续时间，单位为 s 。

蓝光加权函数 $B(\lambda)$ 曲线函数值见GB/T 30117.1—XXXX。

5.1.5 风险等级

蓝光视网膜危害的风险等级，按照GB/T 30117.1—XXXX中规定分为四种类别：免除类、风险1类、风险2类和风险3类。

5.2 蓝光生理危害

5.2.1 概述

本文件按照夜间人接触光辐射状态，提供了黑视辐照度和生理刺激值两种参数，评价夜间蓝光的生理危害。附录C描述了蓝光对人生理节律的影响。

5.2.2 风险评估

本文件规定的夜间蓝光辐射生理危害主要考虑傍晚和深夜的CS值，如表1分成四类。有关生理刺激值的原理和计算方法见附录D。

表1 夜间蓝光辐射生理危害分类

项目	无风险	低风险	中风险	高风险
傍晚 ^a CS值	$\text{CS} \leq 0.1$	$0.1 < \text{CS} \leq 0.3$	$0.3 < \text{CS} \leq 0.5$	> 0.5
深夜 ^b CS值	$\text{CS} \leq 0.02$	$0.02 < \text{CS} \leq 0.1$	$0.1 < \text{CS} \leq 0.3$	> 0.3
注： ^a 傍晚是指在生理低谷前7小时至3小时期间；例如：19点至23点。 ^b 深夜是指生理低谷前3小时至生理低谷后3小时期间；例如：23点至凌晨5点。				

附录 A
(规范性)
光敏感细胞光谱作用函数

人眼视锥细胞、视杆细胞和感光神经节细胞等光敏感细胞的光谱作用函数如表A.1所示。

表 A.1 光敏感细胞光谱作用函数

波长 λ (nm)	$S(\lambda)$	$V'(\lambda)$	$M(\lambda)$	$V_{10}(\lambda)$
380	0	0	0.0012	0
385	0	0	0.0032	0
390	0.0032	0.0022	0.0061	0.0001
395	0.0378	0.0046	0.0145	0.0002
400	0.1151	0.0093	0.0259	0.0006
405	0.1850	0.0187	0.0515	0.0011
410	0.2606	0.0349	0.0844	0.0021
415	0.3825	0.0607	0.1374	0.0039
420	0.5268	0.0967	0.2021	0.0075
425	0.6761	0.1440	0.2830	0.0149
430	0.8313	0.2001	0.3724	0.0252
435	0.9066	0.2629	0.4522	0.0380
440	0.9862	0.3286	0.5380	0.0536
445	0.9909	0.3937	0.6045	0.0730
450	1.0000	0.4557	0.6760	0.0981
455	0.9855	0.5138	0.7406	0.1303
460	0.9392	0.5679	0.8096	0.1662
465	0.8452	0.6214	0.8690	0.1978
470	0.7503	0.6770	0.9214	0.2329
475	0.5991	0.7346	0.9645	0.2745
480	0.4832	0.7942	0.9937	0.3379
485	0.3834	0.8523	1.0000	0.4111
490	0.2793	0.9054	0.9891	0.4953
495	0.2122	0.9504	0.9619	0.5876
500	0.1417	0.9835	0.9173	0.6570
505	0.0971	1.0000	0.8576	0.7191
510	0.0619	0.9985	0.7856	0.7702
515	0.0410	0.9760	0.7013	0.8241
520	0.0240	0.9364	0.6144	0.8513
525	0.0175	0.8808	0.5278	0.8972
530	0.0116	0.8122	0.4439	0.9203

表 A.1 光敏感细胞光谱作用函数（续）

波长 λ (nm)	$S(\lambda)$	$P(\lambda)$	$M(\lambda)$	$V_{10}(\lambda)$
535	0.0084	0.7341	0.3665	0.9535
540	0.0054	0.6510	0.2965	0.9711
545	0.0038	0.5653	0.2352	0.9894
550	0.0023	0.4817	0.1829	0.9962
555	0.0016	0.4023	0.1394	1.0000
560	0.0010	0.3293	0.1043	0.9942
565	0.0008	0.2644	0.0766	0.9745
570	0.0007	0.2079	0.0554	0.9453
575	0.0005	0.1606	0.0395	0.9079
580	0.0003	0.1214	0.0278	0.8621
585	0.0003	0.0902	0.0193	0.8054
590	0.0003	0.0656	0.0133	0.7439
595	0.0003	0.0471	0.0090	0.6829
600	0.0003	0.0332	0.0061	0.6201
605	0.0002	0.0232	0.0041	0.5570
610	0	0.0160	0.0028	0.4943
615	0	0.01165	0.0019	0.4336
620	0	0.0074	0.0013	0.3744
625	0	0.00535	0.0008	0.3155
630	0	0.0033	0.0006	0.2604
635	0	0.0022	0.0004	0.2134
640	0	0.0015	0.0003	0.1720
645	0	0.0010	0.0002	0.1359
650	0	0.0007	0.0001	0.1052
655	0	0.0005	0.0001	0.0803
660	0	0.0003	0.0001	0.0599
665	0	0.0002	0	0.0439
670	0	0.0001	0	0.0314
675	0	0.0001	0	0.0229
680	0	0.0001	0	0.0167
685	0	0.0001	0	0.0117
690	0	0	0	0.0081
695	0	0	0	0.0056
700	0	0	0	0.0040
705	0	0	0	0.0029
710	0	0	0	0.0021
715	0	0	0	0.0015
720	0	0	0	0.0010

表 A.1 光敏感细胞光谱作用函数（续）

波长 λ (nm)	$S(\lambda)$	$V(\lambda)$	$M(\lambda)$	$V_{10}(\lambda)$
725	0	0	0	0.0006
730	0	0	0	0.0004

附录 B (资料性) 不同年龄晶状体的光谱修正

人的晶状体会随年龄的增长而变得不透明、变黄 (Pokorny 等人, 1987) [5]。对于不同年龄的观察者, 需要考虑年龄相关的光谱透射比函数 (CIE, 2012) [1]。由于存在相当大的个体差异 (Melerio, 1987) [4], 光谱透射比函数是一批人的平均值。

(CIE, 2012) [1] 给出了人眼在 300 nm 至 700 nm 波长范围内的绝对透射比函数, 而在 700 nm 至 780 nm 的波长范围内, 透射比没有明显变化。因此在 CIE S 026 中, 该函数已扩展到 780 nm。。

由于 32 岁观察者的绝对透射比已经包含在黑视作用光谱 $S_{\text{mel}}(\lambda)$ 中, 因此在确定年龄修正函数时, 这个修正也必须与 32 岁的参考观察者有关。通过将 32 岁观察者的所有波长的修正函数定义为 1, 其他年龄为 a 的光谱修正函数 $c(a, \lambda)$ 根据光谱透射比 $\tau(a, \lambda)$ 和 32 岁的光谱透射比 $\tau(32, \lambda)$ 之比 (如公式 B.1) 计算得到, 见图 B.1 所示 (CIE, 2012) [1]。

$$c(a, \lambda) = \frac{\tau(a, \lambda)}{\tau(32, \lambda)} \quad \dots\dots\dots (B.1)$$

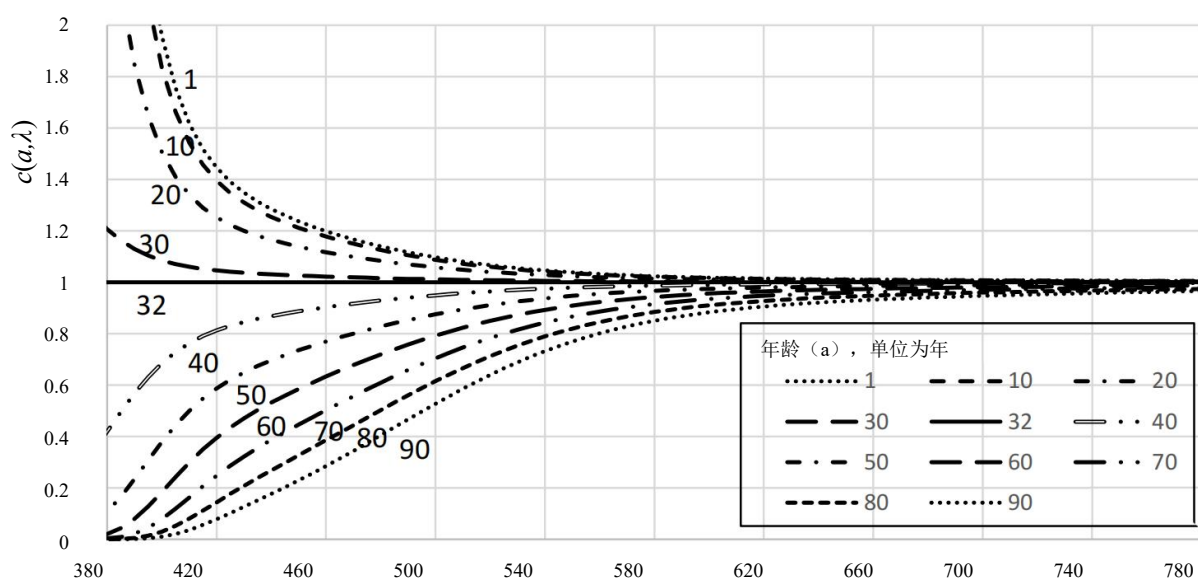


图 B.1 不同年龄的光谱修正函数 $c(a, \lambda)$

光谱修正可以应用于 ipRGC 的光输入。杆状细胞和锥状细胞的灵敏度函数固有地包括数据中的预接受滤波。当对黑视作用光谱应用光谱年龄修正时, 为了一致性, 应该对其他 α -opic 光感受器应用相同的年龄修正。

对于给定的年龄 a , 任何 α -opic 量以及任何 α -opic 等效日光 (D65) 量都可以转换为年龄修正的 α -opic 量。例如, 黑视等效日光 (D65) 照度 $E_{\text{V, mel}}^{\text{D65}}$ 的年龄修正量由公式 B.2 确定:

$$E_{\text{V, mel}}^{\text{D65}}(a) = E_{\text{V, mel}}^{\text{D65}} \cdot k_{\text{mel}, \tau}(a) \quad \dots\dots\dots (B.2)$$

其中, 与年龄相关的黑视透射效能 $k_{\text{mel}, \tau}(a)$ 由公式 B.3 计算得出:

$$k_{\text{mel},\tau}(a) = \frac{E_{\text{e},\alpha} = \int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} \phi_{\text{e},\lambda}(\lambda)c(a,\lambda)s_{\text{mel}}(\lambda)d\lambda}{\int_{380\text{nm}}^{780\text{nm}} \phi_{\text{e},\lambda}(\lambda)s_{\text{mel}}(\lambda)d\lambda} \dots\dots\dots (\text{B.3})$$

需要注意的是，为了计算“（放射学）与年龄相关的黑视透射效能” $k_{\text{mel},\tau}(a)$ ，公式 B.4 中的光谱辐射通量 $\phi_{\text{e},\lambda}(\lambda)$ 也可以用光谱辐亮度 $L_{\text{e},\lambda}(\lambda)$ 或光谱辐照度 $E_{\text{e},\lambda}(\lambda)$ 代替。

表 B.3 给出了对各种发光体和光源进行黑视评估的例子。

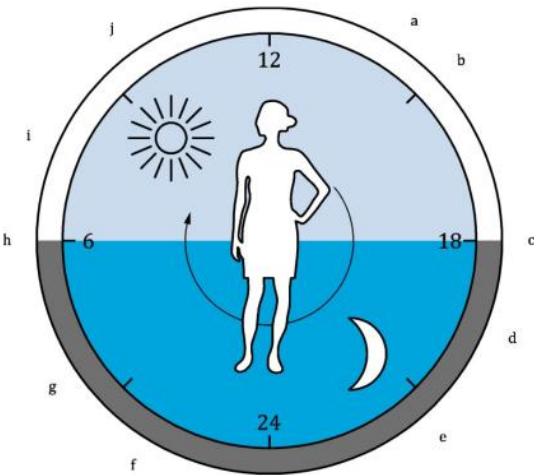
表 B.3 几种普通发光体和光源黑视细胞量的年龄修正因子

普通发光体和光源	$k_{\text{mel},\tau}$ (25 岁)	$k_{\text{mel},\tau}$ (32 岁)	$k_{\text{mel},\tau}$ (50 岁)	$k_{\text{mel},\tau}$ (75 岁)	$k_{\text{mel},\tau}$ (90 岁)
等能光谱 (5 454 K)	1.035	1.000	0.887	0.706	0.601
CIE 标准光源 A (2 856 K)	1.028	1.000	0.906	0.749	0.654
荧光 3 000 K (CIE 光源 F12, 1 nm 插值)	1.032	1.000	0.898	0.741	0.652
荧光 4 000 K (CIE 光源 F11, 1 nm 插值)	1.035	1.000	0.888	0.713	0.616
CIE 光源 D55 (日光 5 500 K)	1.033	1.000	0.893	0.718	0.615
CIE 标准光源 D65 (日光 6 500K)	1.034	1.000	0.890	0.711	0.607
LED/BLED 2700 ^a	1.030	1.000	0.902	0.741	0.647
LED/BLED 3000 ^a	1.031	1.000	0.899	0.733	0.635
LED/BLED 4000 ^a	1.033	1.000	0.892	0.717	0.616
LED/BLED 5000 ^a	1.036	1.000	0.892	0.696	0.591
LED/BLED 6500 ^a	1.037	1.000	0.880	0.688	0.580
LED/混合 ^a	1.029	1.000	0.906	0.756	0.668
LED/RGB 1 ^a	1.019	1.000	0.936	0.823	0.749
LED/RGB 2 ^a	1.024	1.000	0.917	0.773	0.682
LED/VLED 暖光 ^a	1.030	1.000	0.903	0.747	0.653
LED/VLED 冷光 ^a	1.031	1.000	0.897	0.730	0.631
注：此表所载数据仅适用于普通发光体及光源所定义的光谱。虽然为 LED 和荧光灯定义的 CIE 光源是基于典型的市售产品样本，但需要注意，这些 CIE 光源不适用于所有类似光源。特别是随着技术的发展以及不同类型和不同制造商之间的差异，“典型”光源会发生重大变化。					
^a CIE 15 色度学中包括这些光源的光谱。					

附录 C
(资料性)
光照对人体生理的影响

C.1 光照与昼夜节律

暴露在蓝光下，特别是在晚上和夜间，会抑制夜间褪黑素的释放，从而影响睡眠的时间和质
量。
与其他波长的光相比，蓝光具有较短的波长范围，已被证明对褪黑素抑制有更强的影响。视网
膜中存在特殊的光感受器细胞，称为内在光敏视网膜神经节细胞（IpRGC），使眼睛对蓝光敏感，
并促进光信号传递到参与调节昼夜节律的大脑区域。
当 ipRGC 检测到蓝光时，它们将信号传递给下丘脑的视交叉上核（SCN）。SCN 作为体内生物钟
的中心起搏器，协调各种生理和行为过程，包括褪黑素的释放。在接收到来自 ipRGC 的信号后，
SCN 抑制松果体产生褪黑素，从而抑制其夜间释放。
蓝光照射对褪黑素分泌的抑制，尤其是在晚上，可能会影响睡眠模式和整体睡眠质量。如图 C.1
所示，褪黑素参与促进睡眠和调节睡眠-觉醒周期，它的减少会延迟睡眠，干扰睡眠的连续性，并
可能破坏整体睡眠结构。
值得注意的是，蓝光对褪黑素抑制和昼夜节律的影响可能取决于各种因素，包括蓝光照射的强
度、持续时间，以及对其影响的敏感性和易感性的个体差异。此外，电子设备的使用、人工照明
的暴露以及生活方式的选择等因素都可能增加夜间暴露在蓝光下的时间，这可能会加剧其对褪黑
素抑制和睡眠的影响。



- 标引序号和符号说明：
- a——身体的协调性最佳；
 - b——最快反应时间；
 - c——体温最高；
 - d——血压最高；
 - e——褪黑素分泌；
 - f——深度睡眠；
 - g——体温最低；

h——释放皮质醇；
i——血压上升最快；
j——高警觉性。

图 C.1 人体生物钟及其对生理的影响

C.2 夜间光照与褪黑素抑制

2005年，Rea等人的首次在节律光传导模型中纳入了建议的光谱拮抗性。与前面的模型相比，该模型更具体同时保持了相对简单的数学格式。它不仅限于ipRGCs或黑视素模型，它还结合了其他参与节律光传导的视网膜神经细胞的基本机制，因为有人提出视锥细胞和视杆细胞也参与了生理节律反应。尽管该模型以神经解剖学，电生理学和心理物理学的现有文献为基础，但主要是强调褪黑激素抑制的结果。

S视锥细胞具有最不寻常的神经连接，中央凹中并未发现它们的存在。与S视锥细胞不同，在很多物种中，L和M视锥细胞成对出现在主导中央凹的感受野，且具有光谱拮抗性和空间拮抗性。L和M视锥细胞形成了红-绿（RG）颜色拮抗通道，高空间分辨率，对比度增强的消色差通道，尽管这种对立的神经基础仍然不清晰。与此相反，感受野的S-视网膜神经节细胞相对比较大，且不具有空间拮抗性，与L和M视网膜神经节细胞不同，蓝-黄（BY）视网膜神经节细胞具有光谱拮抗性，但空间具有非常高的一致性使得对比灵敏度较弱。有人已经提出，通过一个外丛状层中特殊的水平细胞（HII）连接，形成双层BY视网膜神经节细胞的颜色拮抗性。外丛状层直接将L和M视锥细胞的光谱拮抗信号传导到S视锥细胞。

研究确认AII和A18无长突细胞将暗视觉（视杆细胞）通路和明视觉通路（S-视锥细胞）联系起来，通过带有无长突细胞的双极细胞连接在一起的外围视锥细胞（S）和视杆细胞具有共同的通路（到达大脑）。Aggelopoulos等人在大鼠的SCN中发现了类似于暗视觉的光谱光效函数，在人体中并未发现，但可能是人体视网膜视杆细胞抑制了节律反应。据Rea等人提出的模型，视杆细胞通过分流抑制内网状层远端的ipRGC树突上的AII无长突细胞连接，产生较高的节律光传导临界值。也就是说，在某些（低光）条件下，分流AII的信号输入会设置一个高于预期的SCN光临界值。据推测，直到ipRGCs激发超过通过AII的视杆细胞抑制，反应才会传导到SCN。随着光照水平的提高，视杆细胞开始饱和，其净抑制减少，最后ipRGC激发超过视杆细胞抑制。对于视锥细胞来说，S-视锥双极细胞是一个巨大的的双层双极细胞，并表现出b-ON和y-OFF光谱拮抗性，但没有空间拮抗性。当S-视锥细胞收到短波辐射的刺激时，它就会通过内网状层近端中的双极/RGC突触激发ipRGC的解偏振反应。在长波辐射下，S视锥双极细胞不能直接影响ipRGC。

在Rea等人的研究中，光谱在500nm附近有一个交叉点，这表明，高光照水平下视锥细胞激活，在长波辐射下，光谱反应完全取决于ipRGCs，而与视杆细胞抑制无关。视锥细胞激活，波长小于500nm时，以ipRGC，S视锥细胞（通过S视锥双极细胞）以及视杆细胞分流抑制损失反应的结合建立模型。抑制损失反映了整个光谱敏感度的正向增加，且可作为光谱灵敏度的一种数学“双负”模型。

附录 D (资料性) 夜间蓝光的生理刺激值

D.1 生理刺激值

光照对人生理的影响可以通过节律影响因子(C/P值)以及生理刺激(CS值)来量化。节律因子的评价方法主要考虑光源的相对光谱分布;而生理刺激的评价方法考虑光谱分布对抑制褪黑素分泌的影响,考虑的生理参数包括短视锥细胞的光谱作用函数,暗视觉视杆细胞的光谱作用函数,内在光敏视网膜神经节细胞的光谱作用函数,10度视场的明视觉视锥细胞的光谱作用函数等,这个评价方法与神经生物学和神经解剖学研究结果相吻合,同时也考虑了光源的高绝对阈值和人体生理节律的光谱灵敏度。此评价方法建立在简单光照之后褪黑素分泌抑制的神经生理学数据的基础之上,所以可以定量评价任何光谱和光照强度的光源对褪黑素抑制的影响。因此,本文件以生理刺激CS值能更有效地评价蓝光生理危害。

D.2 测试方法

- a) 测试仪器:光谱辐射度计的光谱范围至少为 380 nm 至 730 nm;
- b) 测试视场:在视线方向按照 4.2.4 规定的视场角;
- c) 测试方法:按照 GB/T 30117.4—XXXX 中的辐射照度方法进行。

D.3 计算方法

D.3.1 黑视辐照度

夜间光辐射黑视辐照度 E_m , 根据公式 (D.1) 进行计算:

$$E_m = \int_{380}^{730} E(\lambda) \cdot M(\lambda) d\lambda \quad \dots\dots\dots (D.1)$$

式中:

$E(\lambda)$ ——在眼睛瞳孔位置的光谱辐射照度;

$M(\lambda)$ ——内在光敏视网膜神经节细胞(ipRGC)生理刺激作用光谱函数。

D.3.2 生理刺激值

夜间光辐射生理刺激值 CS, 分别根据公式 (D.2) 至公式 (D.5) 进行计算:

四类光感受器的光刺激信号按公式 (D.2) 计算:

$$\begin{aligned} R &= \int_{380}^{730} E(\lambda) \cdot V'(\lambda) d\lambda \\ G &= \int_{380}^{730} E(\lambda) \cdot M(\lambda) d\lambda \\ B &= \int_{380}^{730} E(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda \quad \dots\dots\dots (D.2) \\ Y &= \int_{380}^{730} E(\lambda) \cdot V_{10}(\lambda) d\lambda \end{aligned}$$

暗视觉杆体细胞分量按公式 (D.3) 计算:

$$R_s = 1 - e^{-(R/0.65)} \dots\dots\dots (D.3)$$

生理刺激辐照度 E_c 按公式 (D.4) 计算:

$$E_c = [a_1 G - b_1 + a_2 (B - Y) - b_2] - a_3 R_s \dots\dots\dots (D.4)$$

当 $(B - 0.31Y) < 0$ 时, $a_1 = 0.285$, $b_1 = 0.01$, $a_2 = a_3 = b_2 = 0$;
当 $(B - 0.31Y) \geq 0$ 时, $a_1 = 0.285$, $a_2 = 0.2$, $a_3 = 0.72$, $b_1 = 0.01$, $b_2 = 0.001$

生理刺激值 CS 按公式 (D.5) 计算:

$$CS = 0.75 - \frac{0.75}{1 + (27.03 E_c)^{0.864}} \dots\dots\dots (D.5)$$

参 考 文 献

- [1] CIE, 1983. CIE 18.2 The Basis of Physical Photometry. Vienna:CIE.CIE, 2012. CIE 203:2012 A Computerized Approach to Transmission and Absorption Characteristics of the Human Eye. Vienna:CIE
- [2] LUCAS, R.J., PEIRSON, S.N., BERSON, D.M., BROWN, T.M., COOPER, H.M., CZEISLER, C.A., FIGUEIRO, M.G., GAMLIN, P.D., LOCKLEY, S.W., O'HAGAN, J.B., PRICE, L.L., PROVENCIO, I., SKENE, D.J. BRAINARD, G.C. 2014 Measuring and using light in the melanopsin age. Trends. Neurosci. 37(1), 1-9
- [3] LUTHRA, M., RANGANATHAN, D., RANGANATHAN, S., BALSUBRAMANIAN, D. 1994. Protein-associated pigments that accumulate in the brunescient eye lens: Identification of a quinoline derivative. FEBS Letters 349(1), 39-44[4] MELLERIO, J. 1987 Yellowing of the human lens: nuclear and cortical contributions. Vision Res. 27(9), 1581-1587
- [5] POKORNY, J., SMITH, V.C., LUTZE, M. 1987 Aging of the human lens. Applied Optics. 26(8), 1437-1440
-