

CSA

国家半导体照明工程研发及产业联盟技术报告

T/CSA/TR 007- 2018

健康照明标准进展报告

Progress report on healthful lighting standards

版本：V01.00

2018-05-30 发布

2018-05-30 发布

国家半导体照明工程研发及产业联盟发布

目 录

前 言	I
1 背景	1
2 光生物安全标准	1
3 照明品质相关标准	2
3.1 建筑照明要求	2
3.2 显色性	4
3.2.1 现有主流使用方法	4
3.2.2 CIE 177“CRI 不适用于评价白光 LED”	4
3.2.3 IES TM30-15 光源显色 Rf、Rg 双指标	4
3.2.4 CIE 目前正在开展的研究	6
3.3 闪烁及频闪效应	6
3.4 眩光	9
3.5 噪声	12
3.6 CIE205:2013 照明光质量评价指标	13
3.7 CIE218:2016 室内健康照明路线图	13
3.8 CSA035 基于人眼视觉生理功能的健康舒适度评价方法	15
4 非视觉影响下的标准进展	16
4.1 CIE 158 人眼照明对于人体生理和行为的影响	16
4.2 德国发布生物效应照明相关技术规范	18
4.2.1 DIN SPEC5031-100-2015 通过人眼的光对人的褪黑色素影响	18
4.2.2 DIN SPEC67600-2013 生物效应照明设计指南	18
4.3 CIE TN 003:2015 昼夜节律和神经生理学光度测量工作组报告	20
4.4 ISO/TC274 光与照明技术委员会相关工作进展	22
4.4.1 ISO/TC274/N0292 工作场所生物效应人工照明面临的机遇和挑战	22
4.4.2 ISO/TR 21783 集成照明设计指南	24
5 我国健康照明标准化工作建议	25
5.1 健康照明发展态势	25
5.2 健康照明标准问题与挑战	25
5.3 CSAS 健康照明工作组	26
附件 A（资料性附录）部分健康照明研究单位	28

前 言

本技术报告将健康照明涉及的标准分为了 3 个层级：光生物安全、照明品质、非视觉效应；梳理了目前国内外标准化组织的健康照明相关标准技术文件，介绍了影响光品质的重点参数，以及非视觉效应相关标准的内容，分析了我国 LED 健康照明研究面临的问题，提出了 CSA 标准化工作的下一步安排。希望能通过此技术报告，凝聚产业界对健康照明标准化工作的共识，共同推动健康照明的标准化发展。

本技术报告由国家半导体照明工程研发及产业联盟（CSA）制定发布，版权归 CSA 所有，未经 CSA 许可不得随意复制；其它机构采用本技术报告内容制定标准需经 CSA 允许；任何单位或个人引用本技术报告的内容需指明本技术报告的编号。

到本技术报告正式发布为止，CSAS 未收到任何有关本文件涉及专利的报告。CSAS 不负责确认本文件的某些内容是否还存在涉及专利的可能性。

本技术报告主要起草单位：中关村半导体照明联合创新重点实验室、浙江大学、复旦大学、飞利浦照明（中国）投资有限公司、中国标准化研究院视觉健康与安全防护实验室、南昌大学、上海时代之光照明电器检测有限公司、江苏新广联光电股份有限公司、厦门信达光电物联科技研究院有限公司、厦门立达信照明有限公司、上海飞乐音响股份有限公司、佛山市国星光电股份有限公司、鸿利智汇集团股份有限公司、常州市武进区半导体照明应用技术研发院。

本技术报告主要起草人：高伟、罗明、牟同升、林燕丹、孙瑛晖、蔡建奇、郭醒、庄晓波、华利生、夏岭、徐圆圆、魏岚、许建兴、朱华荣、袁毅凯、吕天刚、董建飞、阮军。

健康照明标准进展报告

1 背景

照明（lighting）是光照射到场景、物体及其环境使其可以看见的过程（GB/T 2900.65-2004845-09-01）。利用太阳光和星光的称为“天然采光”；利用人工光源的称为“人工照明”。光透过眼球屈光系统在视网膜上聚焦，经由视网膜的感光细胞实现光电转化，然后借助视神经将信号传至大脑，最后在大脑神经中枢产生视觉。照明的首要目的是创造良好的可见度和舒适愉快的环境。

自从1879年白炽灯发明以来，人类便一直使用着电灯；随着照明技术的进步，荧光灯（节能灯）、高压钠灯、金卤灯等各种新型照明光源不断诞生，光源/灯具光效不断改善，照明质量不断提高。半导体照明（亦称固态照明，主要包括发光二极管（LED）和有机发光二极管（OLED））因其耗电量少、无汞污染、可控性强、长寿命、耐震动、色彩丰富等特点，自20世纪90年代起，开启了光与照明领域的第三次技术和产业革命，目前已经确立了在照明领域的主导地位。

光对人体的生物效应的研究是目前光与照明领域的研究热点。一直以来，人们认为视网膜上只有锥状和杆状两种感光细胞，分别对强光和弱光敏感。人眼视网膜上的第三类感光细胞——神经节细胞（ipRGCs）是2002年世界上十大发现之一，它通过对进入人眼的可见光辐射产生的生物性反应来控制人的生理节律、生物钟和人眼瞳孔大小，从而对人体的生理、心理健康等产生影响。研究发现，人工照明还可在某种程度上满足机体的生理、心理需求，促进人类的身心健康发展，譬如提高工作效率、改善睡眠质量、缓解消极情绪、增加主观幸福感等。

本技术报告梳理了目前国内外关于健康照明相关标准，分析了LED健康照明的标准的制定的现状，对下一步标准制定提出了建议。

2 光生物安全标准

国际照明委员会（CIE）于2002年发布了CIE S009 / E: 2002 *Photobiological safety of lamps and lamp systems* 标准。2006年，IEC/TC76等同采用CIE S 009 / E: 2002，出版了光生物安全标准 IEC 62471: 2006；2009年，IEC 出版了 IEC /TR 62471—2 *Photobiological safety of lamps and lamp systems—Part 2: Guidance on manufacturing requirements relating to non-laser optical radiation safety*，使之与 IEC 62471: 2006 形成一个垂直标准系列。我国照明产品光生物安全标准与 IEC 相关标准基本一致，GB/T 20145-2006《灯和灯系统的光生物安全性》、GB/T 30117.2《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》分别等同采用 CIE S 009/E:2002、IEC TR 62471-2:2009。

针对光源和灯具的光生物安全，IEC/TC34 出版了技术报告 IEC/TR 62778 “应用 IEC 62471 评估光源和灯具的蓝光危害”。LED 光源类产品和 LED 灯具产品安全的 IEC 标准中，

引用了 IEC 62778 的评价方法，与灯及灯具相关的标准如表 1 所示。我国 GB 7000.1-2015《灯具第 1 部分：一般要求与试验》(IDT IEC 60598-1:2014) 中，4.24.2 规定了“使用了安全标准中不免除视网膜蓝光危害评估的光源的灯具，应根据 IEC/TR 62778 进行评估”。

表 1 引用 IEC/TR 62778 或 IEC 62741

标准号	标准名称	UV	Blue	IR
IEC60432-1 Ed2.2	Tungsten filament lamps for domestic and similar general lighting purposes	N	N	N
IEC60432-2 Ed2.2	Tungsten halogen lamps for domestic and similar general lighting purposes	N	N	N
IEC60432-3 Ed2	Tungsten halogen lamps (non-vehicle)	Y	N	Y
IEC60968 Ed3	Self-ballasted lamps for general lighting services	Y	N	N
IEC61195 Ed2.2	Double-capped fluorescent lamps	Y	N	N
IEC61199 Ed3.2	Single-capped fluorescent lamps	Y	N	N
IEC62035 Ed2	Discharge lamps(excluding fluorescent lamps)	Y	Y	N
IEC62031 Ed2.2	LED modules for general lighting	Y	Y	N
IEC62560 Ed1	Self-ballasted LED-lamps for general lighting services by voltage > 50V	Y	Y	N
IEC62776 Ed1	Double-capped LED lamps for general lighting services	Y	Y	N
IEC62663-1 Ed1	Non-ballasted LED-lamps	Y	Y	N
IEC60598-1 Ed8	Luminaires Part 1: General requirements and tests	Y	Y	N

注：表中“N”表示该标准中没有对所列项目作出规定，“Y”表示该标准中所列项目有所规定。

3 照明品质相关标准

3.1 建筑照明要求

在不同建筑场所中，包括居住建筑、公共建筑、工业建筑等，照明涉及到的指标需满足 GB 50034-2013《建筑照明设计标准》要求，相关参数包括照度、照度均匀度、亮度、色温、显色指数、统一眩光值等。表 2 显示了现有室内照明品质涉及的标准技术文件。

表 2 现有室内照明品质涉及的标准技术文件

序号	类别	标准号	标准名称
1	综合型	GB 50034-2013	建筑照明设计要求标准
2		GB/T 13379-2008 (NEQ ISO 8995: 2002)	视觉工效学原则室内工作场所照明

表 2 现有室内照明品质涉及的标准技术文件 (续 1)

序号	类别	标准号	标准名称
3	综合型	GB/T 26189-2010 (IDT ISO 8995: 2002/CIE S008/E: 2001)	室内工作场所的照明
4		ISO 8995-1:2002(E)/CIE S008/E: 2001	Lighting of work places -- Part 1: Indoor
5		ANSI/IESNA RP-1-04	American National Standard Practice for Office Lighting
6		EN 12464-1: 2011	Light and lighting — Lighting of work places — Part 1: Indoor work places
7		CIE 205: 2013	Review of Lighting Quality Measures for Interior Lighting with LED Lighting Systems
8		CIE 218-2016	Research Roadmap for Healthful Interior Lighting Applications
9	色温	CIE015-2004	Colorimetry
10		ANSI C78.377-2017	American National Standard for electric lamps - Specifications for the Chromaticity of Solid State Lighting (SSL) Products
11	显色指数	CIE013.3-1995	Method of Measuring and Specifying Colour Rendering Properties of Light Sources
12		GB/T 5702-2003	光源显色性评价方法
13		GB/T 26180-2010 (IDT CIE 13.3-1995)	光源显色性的表示和测量方法
14		CIE 177:2007	Colour Rendering of White LED Light Sources
15		IES TM-30-15	IES Method for Evaluating Light-Source Color Rendition
16		CIE TN224-2017	Colour Fidelity Index for accurate scientific use
17	CIE TC1-91	Methods for Evaluating the Colour Quality of White-Light Sources	
18	眩光	CIE 117-1995	discomfortable glare in interior lighting
19		GB/Z 26212-2010 (IDT CIE 117-1995)	室内照明不舒适眩光
20		CIE 190: 2010	Calculation and Presentation of Unified Glare Rating Tables for Indoor Lighting Luminaires
21		CIE JTC 7 (D3/D1)	Discomfort caused by glare from luminaires with a non-uniform source luminance
22		CIE TC 2-86	Glare Measurement by Imaging Luminance Measurement Device (ILMD)
23	频闪	IEC TR 61547 -1 Edition 2.0 (2017-10)	Equipment for general lighting purposes –EMC immunity requirements –Part 1: An objective light flickermeter and voltage fluctuation immunity test method
24		IEEE Std 1789	Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers

表 2 现有室内照明品质涉及的标准技术文件（续 2）

序号	类别	标准号	标准名称
25	频闪	CIE TN 006: 2016	Visual Aspects of Time -Modulated Lighting Systems-Definitions and Measurement Models
26	VICO 指标	CSA035.1-2016	LED 照明产品视觉健康舒适度测试第 1 部分：概述
27		CSA035.2-2017	LED 照明产品视觉健康舒适度测试第 2 部分：测试方法-基于人眼生理功能的测试方法及技术要求
28		CSA035.3-2017	LED 照明产品视觉健康舒适度测试第 3 部分：测试方法-基于眼底功能的测试方法及技术要求
30	其他	CIE 095-1992	Contrast and Visibility

3.2 显色性

3.2.1 现有主流使用方法

显色性 (colour rendering properties) 是指在一定条件下, 光源对物体的色表与其在基准照明体下的色表的比较效果。现有的显色指数 (colour rendering index, CRI) 以 Ra 来表征光源的显色性, 采用的标准为 CIE13.3-1995。我国现有显色指数基本沿用此标准进行测量、评价。

3.2.2 CIE 177 “CRI 不适用于评价白光 LED”

CIE CRI 根据相同相关色温下, 由被测光源和标准参考光源照射给定色样时的色差计算得到。包含一般显色指数 Ra 和特殊显色指数 R9-R14, 其中 Ra 为八个非饱和色样的平均值, R9-R12 对应饱和色样, R13 对应的是白种人肤色, R14 对应树叶绿。CRI 值是基于光源对八块标准色样的显色性而得到的, 8 个颜色相对而言均为非饱和色。CRI 用于衡量连续且频带较宽的光源的显色性是相当不错的, 而对于波形陡峭, 频带狭窄的光谱而言可能会产生问题。如果一个 RGB 组合光源对非饱和色的显色性很差, 仍然能获得很高的 CRI 值。CRI 只是简单的对八块色板的特殊显色指数 Ri 求算术平均值。

CIE 177 指出 CRI 并不适用于评估 LED 光源的显色性。日本、美国、匈牙利的三个研究机构验证了现行的 CRI 不能够预测白光 LED 光源的颜色呈现能力, 并建议增加一种指数对 CRI 进行补充。

美国国家标准技术研究院 (National Institute of Standards and Technology, 简称 NIST) 已证实以下结论: 即使光源对非饱和色的显色性好, 它对饱和色的显色性可能会差, 但反过来, 不存在这样的光源, 它对饱和色的显色性好, 对非饱和色的显色性不好。这个结论表明: 使用饱和色为新的颜色样品, 对显色性的测量就会更准确。故 NIST 提出用 CQS (Color Quality Scale, 色品质度) 来评价光源颜色的质量。为了弥补 CRI 方法中的问题, CQS 选取了 15 种饱和色, 他们平均分布于整个可见光谱中, 将测试样品扩大到 15 种, 将样板颜色变成连续的偏饱和的变化。

3.2.3 IES TM30-15 光源显色 Rf、Rg 双指标

IES TM30-15 指出, 在保真度相同的情况下, 不仅存在色调的变化, 同时存在饱和度的

变化，因此提出了新的颜色评价方法，选用全新的 99 个色样，计算被测光源和标准光源的色差，并且对标准光源的选择进行了重新定义，解决了 CIE 定义的标准参考光源在 5000K 时的不连续性问题。

表 3 CIE 和 IES 标准参考光源定义对照

CIE CRI	CCT \geq 5000K		CCT<5000K
	CIE 标准 D 光源		黑体辐射光源
IES TM-30	CCT \geq 5500K	5500K>CCT>4500K	CCT \leq 4500K
	CIE 标准 D 光源	CIE 标准 D 光源与黑体辐射光源的加权平均值	黑体辐射光源

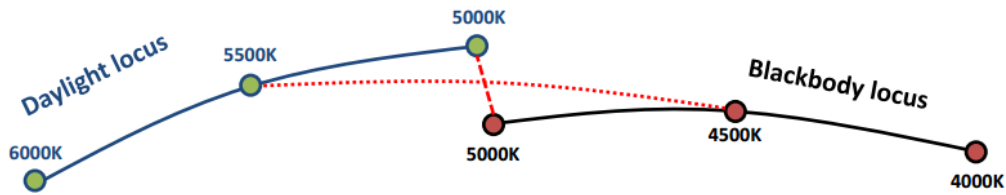


图 1 CIE 和 IES 标准参考光源的辐射曲线

双指标：评价光源显色不再仅仅使用一个指标，而是使用两个指标——Rf 和 Rg。

Rf 用于表征各标准色在测试光源照射下与参考光源相比的相似程度（100 代表完全相同；0 代表差别很大）。Rg 则代表各标准色在测试光源下与参考光源相比饱和度的改变（100 代表饱和度相同，大于 100 表示光源可以提高颜色的饱和度，低于 100 则代表颜色的饱和度在测试光源下较低）。

标准色：与 CRI 仅有 8 个标准色相比，新的体系采用 99 个标准色。这 99 个标准色不再是孟塞尔（munsell）色卡，而是从 105000 个物体的颜色中仔细选取的。它们代表了生活中能看到的常见各种颜色（从饱和到不饱和、从亮到暗），并且这 99 个标准色对于各波长的敏感度相同。

参考光源：由于 CRI 所使用的参考光源（即低于 5000K 时使用黑体辐射；高于 5000K 时使用自然光模型）存在 5000K 的突变问题，这个新的体系在 4500K-5500K 的范围内使用了黑体辐射与自然光模型混合的光谱作为参考光源。另外，Rf 和 Rg 都采用了与待测光源色温相同的参考光源，由此克服了 GAI（Gamut Area Index，全色域指数，参考光源选用的是等能光谱照明体）的一个重要弊端。

颜色失真图标：采用 2 个指标只能综合评价光源对于各种颜色的平均显色能力，有时，评价某些特定颜色的显色能力也很重要（特别是对于照明设计师而言）。新的方法在提供双指标的同时还提供了一个颜色失真图标，可以提供更为直观的信息，用以表示各种颜色的色漂以及饱和度的改变。

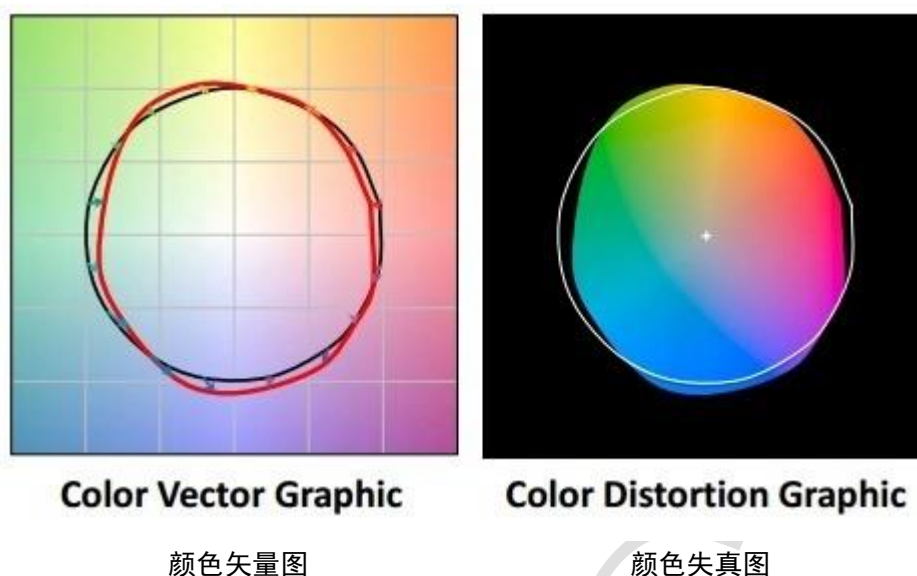


图 2 IES TM-30 颜色失真图

3.2.4 CIE 目前正在开展的研究

CIE 显色指数 (CRI), 特别是一般显色指数 R_a , 在照明行业中广泛应用, 是国际国内标准和技术规范中用于评价光源颜色的重要指标。近年来随着固态照明的发展, CRI 的缺陷逐渐凸显出来, 在很多情况下 R_a 值并不能与一般观察者的视觉评估相匹配, 主要表现在两方面: 一是不能准确地表征颜色保真度; 二是缺少对颜色质量感知相关的评价。因此 CIE 决定采用更好的表征方法来测量和规范白光光源的颜色质量, 该工作被分成两个部分, 由 TC1-90 负责研究更为科学准确的色保真度指标, 由 TC1-91 研究色保真度以外的与颜色感知相关的指标。

技术报告 CIE 224 是 TC1-90 的研究成果, 提出了 CIE 2017 色保真度, 即一般色保真度指数 (general colour fidelity index, R_f)。该指标基于北美照明工程学会的 TM-30-15 中定义的保真度指数, 主要纠正了 CRI 作为颜色保真度指标所存在的不准确问题。

R_f 表示所有色板在被测光和参考光照射下外观颜色接近程度的平均值, 类似于一般显色指数 R_a , 但它只考虑了颜色质量的一个方面, 并没有考虑到视觉感知/偏好性等。然而, 现阶段 R_f 并不能取代 CRI, CRI 的替代是今后要研究和讨论的课题, 除了 R_f 外, 还应研究一系列新的感知相关的颜色质量指标。

CIE TC 1-91 目前正在编写一份关于颜色偏好的白光的颜色质量评价新方法, 这份技术报告将成为研究颜色偏好评价的基础性文件。

3.3 闪烁及频闪效应

闪烁是光波动的目视感觉 (Temporal Light Artefact) (CIE TN 006: 2016)。(GB/T 2900.65-2004 定义 845-02-49: 由光刺激的光亮度或光谱分布随时间波动所引起的不稳定的目视感觉。) 闪烁与调制频率和幅度、调制波形、输出平均幅值、周期、单周期内的色差以及背景空间的亮度等有关。最重要的是观察者对闪烁的灵敏度。过量的闪烁有可能对癫痫、孤独症和头痛患者造成更加明显的伤害, 同时还会对观察者造成视觉疲劳和减弱视觉功能等

危害。

IES The Lighting Handbook (2000) 定义用闪烁百分比和闪烁指数来衡量照明产品的闪烁特性。闪烁百分比或波动深度 (Percent Flicker or Modulation depth (%)), PF:

$$PF = \frac{(A - B)}{(A + B)} \cdot 100\% \quad (1)$$

其中, A 为单周期内最大输出, B 为单周期内最小输出。

闪烁指数 (Flicker Index), FI:

$$FI = \frac{A_1}{(A_1 + A_2)} \cdot 100\% \quad (2)$$

其中, A_1 为单周期内大于均值的面积, A_2 为单周期内小于均值的面积。

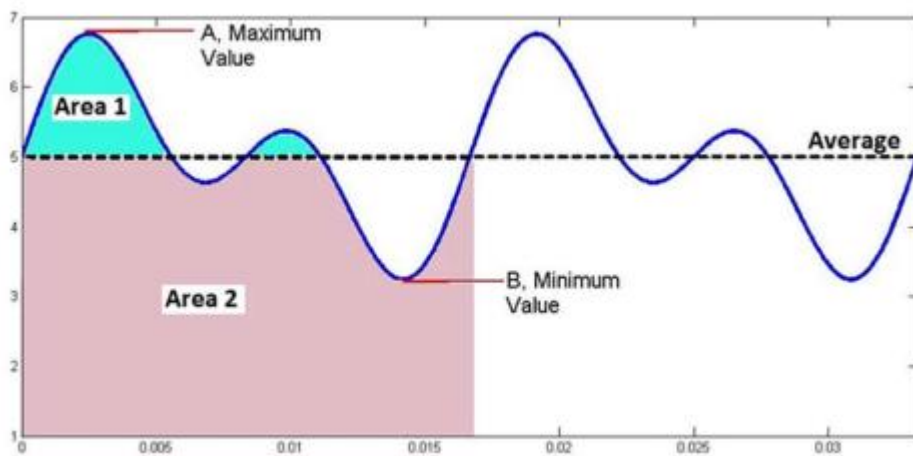


图3 波动深度和闪烁指数定义的示意图

IEEE Std 1789-2015 中采用波动深度对闪烁进行评价。波动深度为光输出的最大值和最小值的差异占光输出最大值和最小值之和的比例,以百分比表示。低风险和无显著影响水平的闪烁频率和波动深度函数关系见图 4。

a) 无显著影响水平区域的限值由图 4 和下方的注给出:

- 1) 对于闪烁频率 $f \leq 10\text{Hz}$, 波动深度 $\leq 0.1\%$;
- 2) 对于 $10\text{Hz} < \text{闪烁频率} f \leq 90\text{Hz}$, 波动深度 $\leq 0.01 \times f$;
- 3) 对于 $90\text{Hz} < \text{闪烁频率} f \leq 3125\text{Hz}$, 波动深度 $\leq 0.08/2.5 \times f$;
- 4) 闪烁频率 $f > 3125\text{Hz}$, 免除考核。

b) 低风险区域的限值由图 4 和下方的注给出:

- 1) 闪烁频率 $f \leq 8\text{Hz}$, 波动深度 $\leq 0.2\%$;
- 2) $8\text{Hz} < \text{闪烁频率} f \leq 90\text{Hz}$, 波动深度 $\leq 0.025 \times f$
- 3) $90\text{Hz} < \text{闪烁频率} f \leq 1250\text{Hz}$, 波动深度 $\leq 0.08 \times f$
- 4) 闪烁频率 $f > 1250\text{Hz}$, 免除考核。

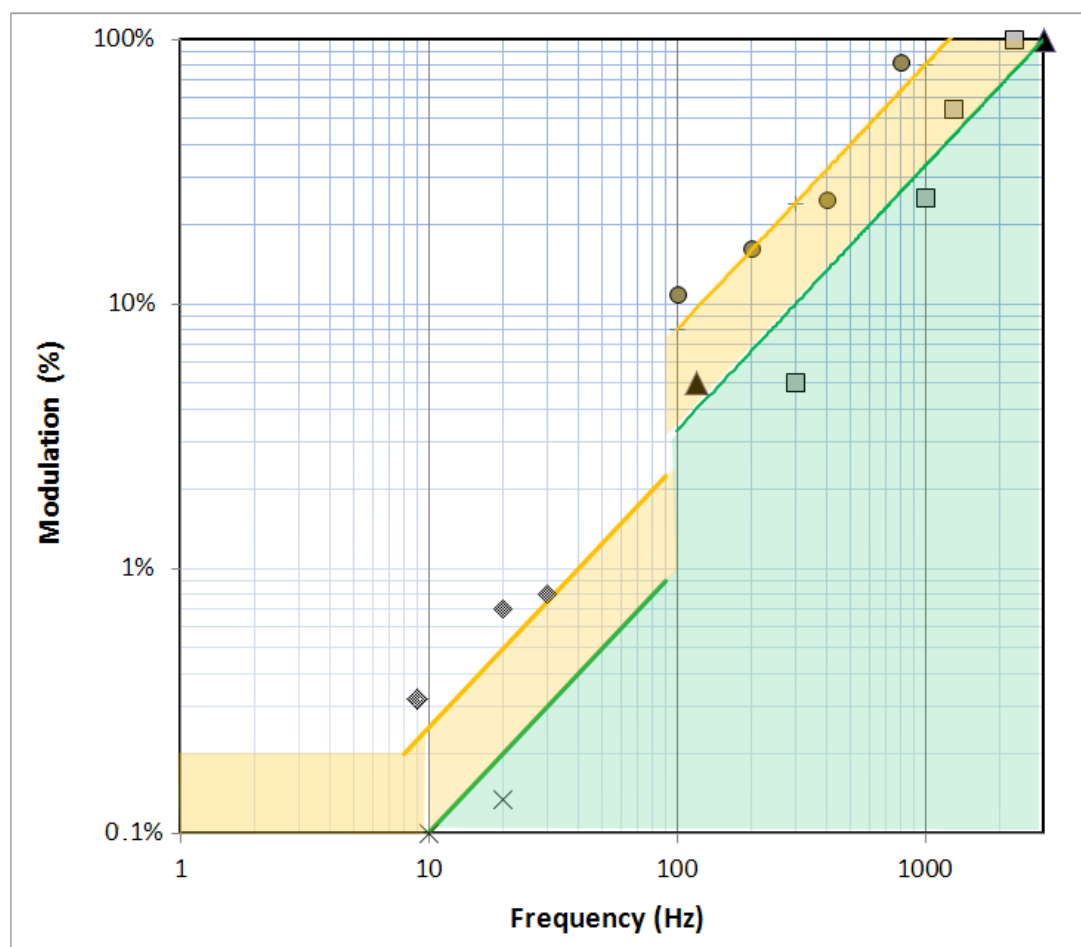


图4 低风险和无显著影响水平的闪烁频率和波动深度函数关系示意图
(来自 IEEE Std 1789-2015 图 18)

注：无显著影响水平区域在图上以绿色标出，低风险区域包含所有阴影区域（绿色或橙色）。

然而，这种考核方法存在如下不足：只考虑光变化的频率和波动深度，没有考虑光波动的具体波形，并且不能有效评价当观察者和光源之间存在相对运动时所造成的影响，即没有区分“闪烁”和“频闪效应”。

因此，CIE TN006-2016 对闪烁、频闪效应和幻影效应做出了区别定义的定义：闪烁（Flicker, <80Hz）：对于静态环境中的静态观察者，亮度或光谱分布随时间波动的光刺激引起的视觉不稳定性感知；频闪效应（Stroboscopic effect, 80–2000 Hz）：对于非静态环境中（运动物体）的静态观察者，亮度或光谱随时间波动的光刺激引起的对运动感知的变化；幻影效应（The phantom array effect）：对于静态环境中的非静态观察者，亮度或光谱随时间波动的光刺激引起的对物体形状或空间位置布的感知变化。

对闪烁，已经有 IEC TR 61547-1 对成熟的短期闪烁测量(Pst)方法稍加变化，用 PstLM 来评价由于电源电压带来的 LED 照明产品光输出的闪烁，同时也包含了对 LED 照明产品自身的闪烁特性的评价。

对于频闪效应，CIE TN006-2016 引入频闪可见度量 SVM 参数，测量待测光源在目标平面的照度随时间变化曲线，对测量到的光波形进行傅里叶分析，每一个不同频率的波幅度

(C_m) 和对应的归一化的可见度曲线 (S_m) 加权: 可见度曲线是经过大量实验得出的不同频率光变化的人眼感知阈值, 其计算公式如下:

$$SVM = 3.7 \sqrt{\sum_{m=1}^{\infty} \left(\frac{C_m}{S_m}\right)^{3.7}} \quad (3)$$

北美半导体照明系统和技术联盟 (ASSIST) 采用 M_p 对闪烁进行评价; 加州 CEC Title 24 Part6-REFERENCE APPENDICES-JA 10 要求对在每一个调光水平 (100%, 20% 和最小调光水平) 需要进行波动深度的测试, 然后在时域进行反傅里叶分析数据转换运算, 分别在无滤波和 40 Hz, 90 Hz, 200 Hz, 400 Hz 和 1000 Hz 滤波频率状态下进行振幅调制百分比测试和计算。

此外, NEMA 77-2017 采纳了 P_{st}、SVM 评价方法; 能源之星要求生产商列出调光灯和灯具的 Mod% (波动深度)、P_{st}、SVM、M_p, 但未给出限值; 日本 DENAN Law 要求 100 Hz ≤ f ≤ 500 Hz, Mod% (波动深度) ≤ 5%; f > 500 Hz, 无限制。

3.4 眩光

GB/T 2900.65-2004 定义 845-02-52: 由于光亮度的分布或范围不适当, 或对比度太强, 而引起不舒适感或分辨细节或物体的能力减弱的视觉条件。

眩光产生的原因主要有 2 个: 过高的亮度或过高的亮度比。

不舒适眩光, 与 4 个因素有关: 眩光源的亮度、尺寸、在视场角的位置以及背景亮度。不舒适眩光的计算方法有 UGR (Unified Glare Rating)、GR (Glare Rating) 等。

失能眩光, 很少会出现在室内照明, 但经常出现在驾驶过程中, 如日间的刺眼太阳光和夜间的来车前大灯灯光。计算方法有 TI (threshold increment)。

CIE 1985 年对眩光作了定义, 主要包括失能眩光与不舒适眩光。其中, 失能眩光的作用是会降低视觉功能, 不舒适眩光的作用是会降低视觉舒适程度, 它们具有不同的作用, 但没有严格的界限。当眩光源亮度较低时, 产生的眩光主要是不舒适眩光, 随着亮度的增加, 产生失能眩光。因为产生机理的差异, 一般情况下, 不舒适眩光比失能眩光出现的可能性更大, 且情况更加复杂, 控制了不舒适眩光基本就抑制了失能眩光。美国军队实验室在 1972 年发表的飞机驾驶舱照明环境问题报告表明, 驾驶舱眩光严重影响到驾驶员安全与绩效。因此, 眩光的预防十分重要, 因为这可能会影响视觉和产生的生理或心理症状, 比如眼睛疲劳、压力、头痛等等。

在过去的十年里, LED 迅速占领了通用照明领域。在许多方面都与传统光源不同。特别是在 LED 灯具设计方面展示了许多新的设计方法和新的特性。在实际测量中, 已有的不舒适眩光模型对新的灯具类型基本是无效的。在办公室照明的情况下, 标准的眩光指标 UGR (CIE 1983) 低估了 LED 光源的不舒适性。LED 灯的“新”特性之一是发光面积小, 亮度高。例如, 观察者可以直接看到单个的发光二极管。这种在亮度上的不均匀性是导致不舒适性的主要原因。但是直到最近, 这种特性才被考虑进去。

最近, 一些学者也对 UGR 公式进行了修正 (Kasahara 2006 年, Hara 2012 年)。但这些修正结果只适用于办公室照明, 并没有涵盖所有场景。照明专业人士的终极目标是设计一种

通用的眩光模型，可以精确地量化各种灯具和照明条件下的眩光。此外，根据亮度的空间对比度，还需要亮度成像来预测眩光。CIE 表示，高动态范围(HDR)亮度(cd/m²)可以用来预测不舒适眩光(CIE, 2013 年)。但目前还没有一项基于亮度成像的研究合理测试不舒适眩光。

目前应用较为广泛的不舒适眩光模型主要有 BCD、GI 和 UGR，这些评估模型主要差异是量化指标和关键物理参数的不同，每种评估模型的计算值与其主观感受相对应。

1) 眩光 BCD

BCD (the borderline between comfort and discomfort) 是指确定舒适和不舒适的界限。通过确定 BCD 值就可以知道各评价公式中物理量之间的关系和常数值。Holladay 在 1926 年通过眩光实验，根据下式 (4) 所示的眩光公式确定了眩光常数 G=1.9。

$$G = \lg L_s + 0.25 \lg \omega - 0.3 \lg L_f \quad (4)$$

式中，L_s 是眩光源亮度(cd/m²)，ω 是眩光源对观察者眼睛所形成的立体角度(sr)，L_f 是背景亮度(cd/m²)。

随着照明技术发展，各国的研究者进行了 BCD 的相关研究，计算出了不舒适眩光的 BCD 值。R. Hopkinson 设计相关实验，85%的熟练被试者感到舒适时规定是 B 等级，50%熟练被试者感到的舒适时规定是 C 等级。采用眩光指数计算下式(5)得到 B 等级和 C 等级的值，以 B 等级和 C 等级的中间值定为不舒适眩光的 BCD 值，得到的 BCD 值为 70。Hopkinson 将眩光常数 G 变换成眩光指数 GI(Glare Index)，GI 的 BCD 值是 19，且取值范围是 10~28。不同的不舒适眩光评价公式的计算结果，其 BCD 值也各不相同。

$$G = \frac{L_s^{1.6} \omega^{0.8}}{L_f^{1.6}} \quad (5)$$

式中，L_s 是眩光源亮度(cd/m²)，ω 是眩光源对观察者眼睛所形成的立体角度(sr)，L_f 是背景亮度(cd/m²)。

2) 眩光指数 GI

眩光指数 (GI) 方法是英国照明学会在 R. Hopkinson 研究基础上进行改进，得到了公式 (6) 眩光指数 (GI)，使用计算值来表示不舒适眩光的程度。

$$GI = 10 \lg \left(0.24 \sum \frac{L_s^{1.6} \omega^{0.8}}{L_f P^{1.6}} \right) \quad (6)$$

式中，L_s 是眩光源亮度(cd/m²)，ω 是眩光源对观察者眼睛所形成的立体角度(sr)，L_f 是背景亮度(cd/m²)，P 是眩光源的位置系数。

该眩光指数值被分为 10、13、16、19、22、25 和 28，共 7 个等级。根据不同的室内场合限制眩光标准的值，例如办公室为 19，学校教室为 16 等。

在 1979 年的第 19 届大会上，CIE 综合了各种公式并提出了一个折中的公式，如公式(7)所示的被称作为眩光指数公式 CGI:

$$CGI = 8 \lg \left(2 \sum \frac{L^2 \omega^{0.8}}{P^2} \times \frac{1 + E_d / 500}{E_d + E_i} \right) \quad (7)$$

式中, L 是眩光源亮度(cd/m^2), ω 是眩光源对观察者眼睛所形成的立体角度(sr), P 是眩光源的位置系数, E_d 是所有光源在人眼睛上所产生的直接照度(lx), E_i 是在人眼睛上的间接照度(lx)。该公式在取值范围与 GI 相一致, 都为 $10\sim 28$, 语义量表如下表 4 所示。

表 4 CGI 值与不舒适眩光程度语义量表

CGI 值	不舒适眩光语义描述
10	没有感觉
13	刚刚感到
16	刚刚能接受
19	临界值
22	刚刚不舒适
25	不舒适
28	刚刚不能接受

3) 统一眩光评价 UGR

UGR (Unified Glare Rating) 是统一眩光评价的简称。Sorensen 等对眩光指数 GI 进行了改进, 提出了一个统一眩光评价系统, 通过计算空间各个参数得到的值表征空间不舒适程度。UGR 值是眩光指数的一种, 另外还有 CGI (CIE Glare Index)、BGI (British Glare Index) 等。UGR 综合了各国眩光评价方法, 更加实用。当光源投影面积在 $0.005\sim 1.5 \text{ m}^2$ 之间时, UGR 计算公式如公式 8 所示:

$$UGR = 8 \lg \left(\frac{0.25}{L_b} \sum_{i=1}^n \frac{L_{s,i}^2 \omega_i}{P_i^2} \right) \quad (8)$$

式中, $L_{s,i}$ 是第 i 个眩光源亮度(cd/m^2), L_b 是背景亮度(cd/m^2), ω_i 是第 i 个眩光源对观察者眼睛所形成的立体角度(sr), P_i 是第 i 个眩光源的位置系数, n 是眩光源个数。UGR 值的计算模型如下图 5 所示。

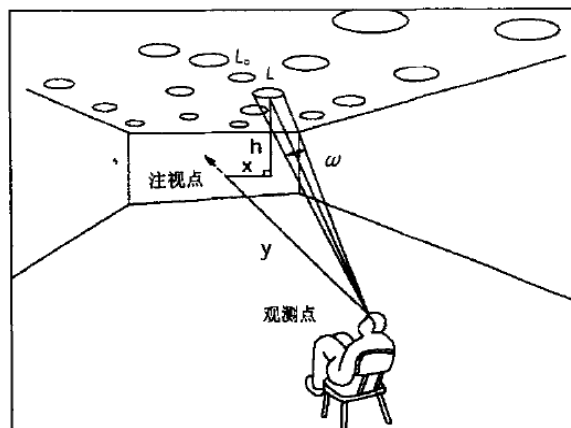


图 5 UGR 值计算模型

UGR 公式中的 UGR 值范围是 10~30, UGR<10 被认为无明显的眩光感觉。当 UGR 用于评价面积较大的光源时, 计算的结果偏小; 当其用于评价面积较小的光源时, 计算的结果偏大。UGR 值与不舒适眩光程度的对应关系如下表 5 所示。

表 5 UGR 值与不舒适眩光程度的对应关系表

UGR 值	不舒适眩光的描述
10	无法察觉到光的存在
13	隐约察觉到光的存在
16	察觉到光的存在
19	勉强可以接受的眩光
22	不可接受的眩光
25	有些不舒服
28	不舒服
31	有些无法忍受

3.5 噪声

噪声是会损害或妨碍听觉、引起压力、影响注意力和工作效率, 或者导致意外发生的任何令人不安或有害的声音。

噪声对人的生理和心理都有影响, 其中最明显的是损害听觉。至于非听觉方面的影响则有许多方面: 干扰语言交谈、妨碍睡眠、引起烦恼和讨厌、产生不良的人体生理反应以及影响人的行为如工作效率等。

长期的噪声暴露会使大脑神经调节功能出现失控现象, 造成呼吸加快、心脏跳动剧烈、血压升高、血管痉挛, 引发高血压等心脑血管疾病。噪声长期作用于机体可使大脑和丘脑下部交感神经兴奋, 使肾上腺素分泌增加, 心跳增强, 耗氧量增加, 心肌和左心室负担加重, 从而危害心脏功能。噪声还能使唾液、胃液分泌下降, 消化腺分泌减少, 胃肠道蠕动减弱, 括约肌收缩, 减慢胃肠蠕动的排空速度, 出现消化系统症状。噪声还能影响人的神经行为功能, 产生疲劳和神经功能损害。

QB/T 2511-2016 单端金属卤化物灯(钨钠系列)用 LC 顶峰超前式镇流器 性能要求, 5.13 条款要求在额定电压和额定频率下, 镇流器与基准灯配套工作时, 在距离镇流器边缘 1000 mm 处测得的噪声 ≤ 35 dB(A)。

GB/T 14044-2008 管形荧光灯用镇流器 性能要求, 第 15 章要求在背景噪声 ≤ 25 dB(A) 的消音室内, 将被测镇流器固定在测试铁板上, 在距离镇流器引出线端面 100 mm 处测得的噪声 ≤ 35 dB(A)。

GB/T 9473-2017 读写作业台灯性能要求, 6.4 和 7.4 条款要求在台灯底座中心轴上前方 45° 斜线 100 mm 处和灯罩前方下缘中心 100 mm 水平距离处测得的噪声 ≤ 25 dB(A)。对于调光灯具, 还应在最大、最小和中间三个状态下进行试验。

能源之星 Program Requirements Product Specification for Lamps (Light Bulbs) Eligibility Criteria Version 2.1 和 Program Requirements Product Specification for Luminaires (Light

Fixtures) Eligibility Criteria Version 2.0 要求对于标志为可调光的球泡灯和灯具，对其最大、最小和 20%光输出的三种状态下，在距离 1000 mm 处测得的噪声 ≤ 24 dB(A)。

3.6 CIE205:2013 照明光质量评价指标

CIE 205: 2013 *Review of Lighting Quality Measures for Interior Lighting with LED Lighting Systems* 综合描述了室内 LED 照明品质的四个主要评价指标：光分布 (Light Distribution)、眩光 (Glare)、显色性和颜色偏爱 (Colour Rendering and Preference for Colour Appearance)、频闪 (Flicker)，建议考虑的指标包括房间的表现情况 (Room Appearance)、面部识别 (Modelling of Faces)、阴影 (Shadows)、颜色一致性 (Colour Consistency)。

与传统照明相比，LED 光源光谱更易调整，为光设计提供更多机会，在用户生理节律的光谱设计方面更有潜力，已经有一些领域正在开展光谱可调的研究。因为尺寸、光谱等可调整和高设计自由度，使得 LED 可能面临更多地挑战，如不同光谱分布下的视疲劳、垂直定向照明方式的不舒适眩光和颜色一致性等方面。

3.7 CIE218:2016 室内健康照明路线图

在认识到光作为一种电磁辐射，除了照明以外还有对人的其他生理和心理影响之后，部分人主张迅速采用包含“健康照明”元素的照明推荐，而部分人则认为需要谨慎行事。基于在 CIE 158 中阐明的健康照明的五个原则，然后再加上随着固态照明出现而再次出现的眩光、闪烁问题，CIE 218: 2016 *Research Roadmap for Healthful Interior Lighting Applications* 给那些编写健康光、舒适光的标准人员和技术研究人员，提出了需要回答的问题，并对所有问题的重要度与难易程度进行了 1-5 分的排分。

五个原则为：1、工业化国家的人们每天接受到的光剂量或许过低；2、健康光与健康暗是形影不离的；3、生物作用的光应该在非视觉系统最敏感的波段上有较高比例；4、考虑光剂量时，最重要的是考虑进入眼睛的光，包括直接来自光源的光也包括周围物体表面反射的光；5、光照的时间也会影响光照的作用。

CIE218 将所有问题分成了 6 大类，分别为过程（包含即时作用、神经生理学、视网膜敏感度和其他）、日常模式（包含幅度、频率和两者结合）、长周期、应用（包含光源与设计）、特殊应用（轮班制工作）和个体差异（包含年龄、疾病、视觉缺陷、压力源和其他）。同时，CIE218 问题的重要度与难易程度进行了 1-5 分的排分。对于重要度而言，1 代表重要度最低，5 代表重要度最高；对于难易程度而言，1 代表非常难，5 代表很简单。

接下来将分类阐述各大类中重要度指标为 5 和 4 的问题。

a)过程

这个大类中的问题都是较为基础的，且光生物学家、心理学家和生理学家经常强调它们。

第一个问题为：不舒适的程度是否会随着光源的光谱成分不同而改变？有证据表明当光源位于视野的边缘时这种情况或许会发生。这个问题的重要度为 4，难易程度为 5。

第二个问题为：随着适应照度改变，闪烁光敏感度如何改变？这会使得闪烁光在某些应用中的重要度发生改变吗？这个问题的重要度为 5，难易程度为 5。

第三个问题为：新研究能否证实 IEEE 标准 1789-2015 中预测的闪烁光作用的无影响级

别？如果不，那些建议该如何修正？这个问题的重要度为 5，难易程度为 5。

第四个问题为：决定重要生理反应的眼部光照的光谱模式和时间模式是怎样的？同样的光谱敏感函数能否用于不同的生理或心理过程？（比如昼夜节律的调节，即时作用，时相偏移，心情等）这个问题的重要度为 5，难易程度为 1。

第五个问题为：光照是否会通过直接吸收（即不通过视网膜调节机制）影响生理学过程？如果是，这些照射需要的光强、光谱等是怎样的？（比如说，科学家们相信高光强照射能引起视网膜的多巴胺释放，长波长的光照（红光和近红外）能穿透皮肤导致组织再生。）这个问题的重要度为 4，难易程度为 1。

b) 日常模式

虽然这些问题看起来基础，但它们同样是提供健康光建议的关键。这些问题中有一部分能够在对于整个机制没有全面彻底了解的情况下被解决。

第一个问题为：日常光照射和它在白天对警觉度、舒适度和睡眠的作用之间的光照射量关系是怎样的？是否有一个最小阈值？关系曲线是否视觉函数曲线一样存在边际效应递减？这个信息将会帮助科学家确定（基于现有视觉需求的）白天照度建议是否已经足够支持人体的非视觉功能。这个问题的重要度为 5，难易程度为 1。

第二个问题为：到底暗环境需要有多暗？需要持续时间有多长？是否存在光谱相关性？比如是否有一些波长的光的低水平是可以接受的而有一些波长则不行？这会影响我们对于卧室中抑制干扰光的重要性的理解，也会影响我们对于夜间的光作用的理解。同时这也对于夜班工人的光需求有一定启发。这个问题的重要度为 5，难易程度为 3。

第三个问题为：在亮暗周期环境中，增加光的幅度有哪些作用？比如说，如果某人在白天长期处在高亮度的光照射下，晚上他是否有可能忍受略微多些的光照射？这个问题的重要度为 5，难易程度随实验设计不同而存在差异，目的为探明即时作用的实验的难易程度为 3，目的为长期效应的实验难易程度为 1。

第四个问题为：持续时间：每一阶段的光需要持续多久？（无论亮暗）如果需要比现在建议的标准更高的光强度，是否有必要建立能达到所需光强度的能源利用模型？如果能证明能量的需求可以比较低（长时间的低能量水平或者短时间的高能量水平），则节能更容易。这个问题的重要度为 5，难易程度随实验设计不同而存在差异。目的为即时作用的实验，难易程度为 3；目的为长期效应的实验，难易程度为 1。

第五个问题为：什么模式的白天光照与夜晚黑暗能够同时对于人体生理节律提供足够强的刺激并产生显著的即时影响？需要注意的是，这个问题里要求同时包括了生理节律作用和警觉度、注意力、认知、心情、社会行为与新陈代谢等方面的确切证据。这个问题的重要度为 4，难易程度为 1。

c) 长周期

目前，对于光的长周期作用的实验研究较少，科学家们对于光照的月度、季度与年度的光照作用规律所知甚少。

d) 应用

随着科学家对于光效应的认知扩大，现有的照明应用的指导文件需要进行修改。

第一个问题为：在相同的照度下，相比于均匀的光源（例如，紧密排布的高照度光源阵列），不均匀的光源所引起的眼部不适是否会更强或者更弱。迄今为止，各项研究的证据说服力不够。这个问题的重要度为4，难易程度为5。

第二个问题为：利用已知的光谱灵敏度和时间，我们能否设计一个光照方案来帮助夜班工人提高警觉度，同时又不会彻底地抑制褪黑素并打乱他们的生理节律？这样的方案需要关注的事实是，夜间光照量除了作用于昼夜周期调节之外，也影响了睡眠压力和其他过程。这个问题的重要度为4，难易程度为4。

第三个问题为：我们应该怎样修改白班工人的健康模式，使之适合于夜班工人？有些科学家觉得应该利用光照来改变夜班工人的生理节律，使他们适应昼伏夜出，另一些学者则认为应该利用光照维持夜班工人和早班工人一样的生理节律。这两种意见意味着不同的照明建议方案。这个问题的重要度为4，难易程度为4。

第四个问题为：更复杂的一个问题为周期不同的循环轮班时间。有些周期很短（比如一天就是一个周期），有些周期很长（连续几周或者几个月上同样的班次）。对于这些不同周期的工人是否需要不同的照明模式？这个问题的重要度为4，难易程度为4。

e) 个体差异

个体间的不同会导致光照产生的效果不同。这些差异包含年龄、疾病、视觉缺陷和压力源等等。在这些差异中，科学家们研究最多且了解较多的是年龄差异，但所获得的信息也不全面。

第一个问题为：从婴儿到老人，不同年龄的人们对于亮暗周期的要求有何区别？这个问题的重要度为5，难易程度为2。

第二个问题为：随着年龄的不同，人的光感受器和神经反应如何变化？获得这些信息后，我们如何确定不同年龄层适合的光照射量？这个问题的重要度为5，难易程度为2。

第三个问题为：随着年龄不同，视觉能力和神经机能发生改变。这对于适合的光照射有何意义？比如，儿童的晶状体比大人更加清澈，这使得他们有更高的夜间光照敏感度。这个问题的重要度为5，难易程度为2。

第四个问题为：对于存在视觉障碍的人来说，他们的健康光照模式是否与正常人不同？对于存在视觉障碍的人来说，基于对健康的光要求与基于对视觉的光要求是否存在矛盾？这个问题的重要度为4，难易程度为1。

3.8 CSA 035 基于人眼视觉生理功能的健康舒适度评价方法

LED 照明产品产生的光刺激直接作用于人眼，将对眼轴、角膜屈光、视觉成像等生理功能产生影响。CSA 035 系列标准是基于人眼视觉生理功能的健康舒适度评价方法，对人眼的生理功能、眼球细胞功能、脑力及认知负荷等进行评定。

VICO 指数 (Visual Comfortable)，视觉健康舒适度指标，是基于眼视光学和主观认知所形成的评价照明产品对于人眼视觉生理功能变化及视觉疲劳影响的指标。该指标独立于照明产品物理指标（色温、显色指数、照度、亮度、闪烁等），是完全从人眼视觉功能角度客观量化评价照明产品对于人眼视觉生理功能影响的指标，主要用于评价照明产品对于人眼在视

光学角度下的视觉疲劳影响，包括基础屈光测试、人眼集合调节比测试、人眼高阶像差及视觉调制传递函数测试。VICO 指数共分为 5 级，级数越高说明人眼的视觉疲劳程度越高，即所测试的照明产品提供的光环境对人眼视觉健康舒适度影响程度越大。

基于眼球细胞功能的测试采用将体外增殖的视网膜细胞作为光照受体，通过可模拟不同光照形式的光源测试箱进行 LED 光产品对于人眼视网膜光损伤的定量评价，评价参数是细胞活力指数 (Cell Viability Index, CVI)。体外增殖的视网膜细胞主要为视网膜色素上皮细胞系 (RPE)，其作用是参与视色素代谢，支持和营养感光细胞。采用视网膜色素上皮细胞用于评价视网膜光损伤已成为国际上常用的一种研究方法。视网膜变性疾病的研究表明视网膜色素上皮细胞的变性凋亡会引起感光细胞凋亡，而视网膜上皮细胞系的培养技术已较为成熟，体外培养状态下细胞形态和细胞生理特性稳定，保证了实验的可重复性和精确性。基于眼球细胞功能的测试需要限定 LED 照明产品光谱的波峰限值、辐射能量等参数。

脑力及认知负荷是与视觉神经反应息息相关的。视觉疲劳会引起脑力负荷疲劳，因此有必要评价 LED 照明产品对于人的应激反应、脑力负荷、工作效率等行为的影响。应依据脑电信号、反应时、脉搏波等手段对脑电信号波形 (α 波、 θ 波、 δ 波、 β 波)、应激反应时变化、交感神经变化等指标进行测试、在此基础上构建生理体征信号与照明产品光参数评价模型，用于评测产品的健康舒适度。

4 非视觉影响下的标准进展

4.1 CIE 158 人眼照明对于人体生理和行为的影响

CIE 158-2009 *OCULAR LIGHTING EFFECTS ON HUMAN PHYSIOLOGY AND BEHAVIOUR* (人眼照明对于人体生理和行为的影响) 是 CIE Div6“Photobiology and Photochemistry”组织编写的。在 20 世纪 90 年代后期，CIE 开始将重点从可见性照明转换到具有更广泛定义的照明质量上，包括人类需求、结构整合和经济约束 (包括耗能)，如图 6 所示；其中，人类需求包括适于保持良好健康状况的照明，以及可见性、任务效能、人际沟通和美学欣赏方面的照明。这个报告介绍关于照明对于人类生理、情绪和行为所产生影响的对照实验室和临床研究。委员会将对于眼部光疗法用于临床疾病以及用于改善人类适应轮班工作和洲际喷气式飞机旅行时差的研究进行讨论。

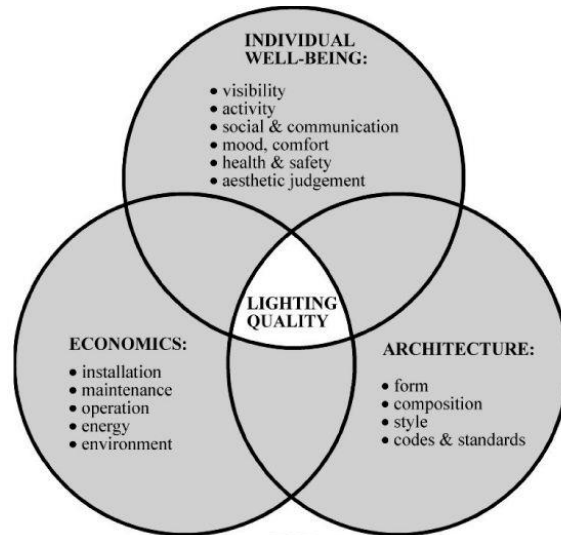


图6 照明质量模型

在报告的第二部分“光明与黑暗的神经生理学”中，阐述的内容包括：1) 人的活动节律分类，周期短于一天但长于一小时的节律、24小时昼夜节律、周期长于一天的节律、年周期节律；2) 昼夜节律的生理体现、控制昼夜节律的大脑结构、光的影响；3) 褪黑激素分泌的节律影响、光对夜间褪黑激素的抑制作用、健康与褪黑激素周期的关系；4) 皮质醇分泌的节律、光的影响；5) 其他影响，如心率、生殖激素；6) 免疫系统的昼夜节律、季节性变化等，以及光影响的案例。

在报告的第三部分“视觉系统和生理学”中，阐述的内容包括：1) 视觉系统、眼睛结构、明视觉和暗视觉函数；2) 非视觉光感的定位，因相比于有一些光感的盲人，没有光感知或眼睛完全摘除的盲人具有自由昼夜节律，判断光感受器位于眼部，但在视网膜的位置仍然有一些争议；3) 昼夜节律的眼睛敏感度影响因素；4) 随年龄增长，晶状体变厚且变得更不透明，到达视网膜的光线减少，且短波长的光影响更大，昼夜节律振幅减少。

在报告的第四部分“行为对健康人的影响”中，阐述的内容包括：1) 行为绩效的昼夜节律，如早晨类型、夜晚类型、午餐后低落，活动和社会环境的强烈感受；2) 日间照明的影响，如光唤醒、更多光能的激活等作用；3) 夜间照明的影响，如警觉性、夜间强光改善工作效率、夜间强光对情绪影响较小；4) 昼夜相移，如不同时区的飞行时差、轮班工人的健康问题；5) 低频闪烁对工作效率的影响。

在报告的第五部分“照明的治疗效果”中，阐述的内容包括：1) 情感障碍，如清晨30-45分钟10000 lx的照射治疗季节性情感障碍（冬季抑郁症），光疗治疗非季节性抑郁症、饮食障碍丛集性头疼（cluster headache）、精神分裂症和强迫症等；2) 睡眠障碍，如明亮晨光成功治疗睡眠相位延迟综合症，晚上亮光管理可推迟昼夜节律时相，并增加睡眠时间等；3) 昼夜节律与药物治疗，如与个体昼夜节律时相状态有关的最佳效果给药时间可能会影响药物和治疗的效果；4) 神经系统障碍：阿尔茨海默氏症与相关的痴呆症。

在报告的第六部分“照明研究方法”中，阐述的内容包括：1) 光测量，涉及的参数包括反射率和表面特性的设定、光源的光谱分布和强度、光源相对于观察者的位置、灯具的光

学特性、观察者的详细信息等；2）曝光量和照明计量，到达观察者的光量（即角膜辐照度）难以测量，需要规范的参数包括每个受试者的年龄和视觉状态、给定刺激时的适应背景亮度、受到刺激时的瞳孔直径、尽量使用头部约束和注视指令、眼睛大小、注视方向、光谱辐照度等；3）研究方案的设计问题，如安慰剂效应、排除其他影响因素（如教师照明效果评价中，参与者不能随机分配到不同班级带来的教师行为差异、学生间差异、班级内文化、团体社会影响等）、样本量大小和组成。

在报告的第七部分“建筑和生活方式应用”中，阐述的内容有：1）健康照明通则，包括西方国家人们接收的每日光照射量（daily light dose）可能太低、健康的光和健康的黑暗密不可分、生物作用的光应该包含很多非视觉系统最敏感的光谱区域、决定光照射量的重要考虑因素是眼睛直接从光源接收的和从周围表面反射的光、曝光时间影响照射量的效果；2）照明品质的基础，必须符合生态平衡，房间表面的颜色和反射光是照明系统中不可分割的部分，明亮的房间垂直表面优于黑暗的表面，日光照明的控制、眩光限制、避免牺牲舒适的太阳光辐射，这还可以为需要更多光能的场合节约能源；3）日间工作时，提高照度并不能持续提高工作效率，实现健康照明的建议包括利用太阳光、重点作业区域提高照明、只传递需要的光；4）夜班工作时，建议提供生物有效照明，而不是长期地曝露在强光下工作。

光的非视觉效应的实证研究相对较新，虽然数十年的研究已经证明光对人的生理、情绪和行的影响，但还不足以支持人类健康需要的最佳明暗需求，也不足以引起照明案例的修改和调整，需要将健康身体需求、人类对照明环境的反应结合起来。研究人员和产业需要合作实现健康照明这一目标，虽然有很多挑战，但努力了就肯定是值得的。

4.2 德国发布生物效应照明相关技术规范

4.2.1 DIN SPEC 5031-100-2015 通过人眼的光对人的褪黑色素影响

光敏感性视网膜神经节细胞（ipRGC）存在自身的作用光谱，所以通过 DIN 5031-3 所述明视觉光谱光视效率 $V(\lambda)$ 对光进行非视觉作用方面的评估，是不恰当的。为了确保科学研究或者应用研究的可比性、或者为了制定照明计划（若照明计划的非视觉作用方面必须满足相应的特殊要求）必须使用统一的评估方法。对光的非视觉作用所涉及作用光谱，非视觉辐射值评估方法、非视觉作用系数、非视觉日光当量以及与年龄相关的矫正系数等可参见由德国标准化协会光学技术标准委员会推出的 DIN SPEC 5031-100-2015 标准化文件。

4.2.2 DIN SPEC 67600-2013 生物效应照明设计指南

这份设计指导原则中仅对进入人眼的光的非视觉作用提供参考，而且它不包含任何关于光的医学治疗手段的信息。编写者提出，设计以及使用对人体生理有效的光的主要目标是：通过在人们的活动时间内对表现与专注度施加正面影响，以及在人们的休息时间内提高人们的精力恢复速度来稳定人体生理节律系统。具体来说，对人体生理有效的光应达到如下的效果：（1）稳定个体的生理节律；（2）暂时性建构睡眠-清醒周期，最好能让它与 24 小时昼夜节律相同步；（3）增强生物钟的振幅；（4）专注状态的激发与增强；（5）稳定工作能力，并减少即时疲劳；（6）增加快体力恢复；（7）改善情绪（比如避免忧郁）；（8）增强人体免疫

系统。指导原则中概括了影响光生物效应的 7 个基本因素，如表 6 所示。

表 6 DIN SPEC 67600-2013 中概括的设计指导原则

序号	更强的光生物效应方法	更弱的光生物效应方法	备注
1	更高的辐照度	更低的辐照度	/
2	更长时间的照射	更短时间的照射	/
3	更高的蓝光成分占比	更低的蓝光成分占比	短波长的光有更强的光生物作用。所以，在探讨白光时，光生物作用与光的色温密切相关。
4	面光	聚光	面光经常是由非直射光源组成的。从视野上方进入人眼的光线要比从视野下方进入的更有效。
5	动态光变换	静态光	/
6	光照历史为较低辐照度的光	/	在黑暗中待了较长时间的人对于光照更加敏感且对光照的反应更加剧烈。
7	早上的光照是同步人体生物钟的最佳方法	下午的光对人体生物钟的影响十分微弱	在所有时间中，当人体体温最低（比如在睡眠阶段结束时，使用光来进行移相是最有效的。

生理有效光的设计需求随着场所不同而不同。这份设计指导原则对于教育设施、老年人的家居与疗养院、医疗诊所、办公室、控制室和交通枢纽提出了设计建议，明确指出了在不同地方的生理有效光的推荐指数（最高为 3，最低为 1）。这份设计指导原则指出，由于应用层次的科学研究还不够充分导致无法给出各个不同应用的场所确定的要求，但在那些必须使用生理有效光的场所，它给出了如下的光参数建议：

- (1) 在白天，最好是早上：对眼睛的垂直照度 $\geq 250\text{lx}$ 且相对色温=8000K；
- (2) 一般来说，设计者不能尝试在晚上使用扰乱人生理周期的光。因此，晚间的生理有效光在眼睛处的垂直照度应不超过 50lx 且相对色温不超过 2700K；
- (3) 对于其他相对色温，照度应根据一定的比例进行相应的调整。

A、教育设施

对于绝大多数教育设施（其中包括教室，礼堂，美术教室，手工教室，音乐教室，图书馆阅览室，娱乐室，托儿所），本设计指导原则对于生理有效光的推荐指数为 3。对于需要精力高度集中的认知工作，生理有效光的设计需求为相对色温 $\geq 5000\text{K}$ 且有较高的照度。对于交流场所及进行集体活动的时候，使用的光应有较低的照度且相对色温 $\leq 3000\text{K}$ ，从而制造一个更加放松的学习氛围。此外，对于美术教室还有额外的要求：当进行颜色匹配时，光应调整为显色指数 > 90 且色温介于 5000K 与 6500K 之间。还有，对于所有教育场所，设计的光照应在学生们睡前两小时调整为光生物作用较低的光。

B、老年人的家居和疗养院

对于老年人的家居和疗养院中的大部分区域，该设计指导原则对于生理有效光的推荐指数为 3。当一个人待在户外的时间不足时，日光对于他/她的生理周期的同步调节不够。所以对于人们常待的中央公共区域、私人房间而言，必须使用生理有效光。此外，文件中提出老

年痴呆患者格外需要生理有效光。由于老年痴呆患者特别喜欢走动，在走廊也特别需要生理有效光。同时，在设计光照时，还要尽量避免有明显的阴影区域，因为这会吓到老年痴呆患者。

C、医疗诊所

对于理疗诊所中的大部分区域，该设计指导原则对于生理有效光的推荐指数为3。文中指出额外需要注意的是要为站着的、坐着的以及特别是躺着的病人考虑如何进行光学设计，由于医疗诊所中有很多躺着的病人，病床上方的天花板区域格外重要。病床上方天花板日间采用蓝色光谱为主的照明，避免采用令人不安的高强度照明，夜间则采用可调节明暗度的暖白色光源，且没有任何眩光的漫射表面更适合用于病床上方的天花板区域。

D、办公室

对于会议室和普通办公室，该设计指导原则对于生理有效光的推荐指数为3。办公室的灯光设计要求与教育设施基本保持一致，但要注意的一点是，放在设计首位的应该是满足进行视觉任务的需求。设计指导原则的建议是使用一个与自然光模式较为接近的动态光，在白天的工作时间内，灯光效果随时间及工作者的需求不同而改变，且在夜间，工作者睡前两小时调整为光生物作用较低的光。

E、控制室

在设计指导原则中指出，控制室具有如下的特点：1) 24 小时作业（工人轮班制）；2) 考虑到安全性与操作性，经常会与日光完全阻隔；3) 有大量的多角度视觉任务。

除了保证在控制室进行的视觉任务的照明外，下面这些也是和控制室内生理有效光有关的目标：1) 增强工作积极性；2) 增加安全性（比如通过提高操作中警觉度）；3) 增强专注度。该设计指导原则对于控制室的生理有效光的推荐指数为3。且提出设计光照时要充分考虑到轮班工作的问题。

F、交通枢纽

对于飞机场和火车站等交通枢纽的出发区、到达区、行李区、等待区、安检区及中央控制区，该设计指导原则对于生理有效光的推荐指数均为3。

4.3 CIE TN 003:2015 昼夜节律和神经生理学光度测量工作组报告

CIE TN 003: 2015 Report on the First International Workshop on Circadian and Neurophysiological Photometry, 2013 解决的是眼睛在处理光信息时的作用以及对眼睛所接收到的光照的测量，尤其强调其产生的生理方面和光生物方面的影响。自从视网膜神经节细胞中的黑视蛋白被发现后，光对视觉感知的影响以及对生理节律和神经生理方面的影响的差异性已为更多人知悉。

光照可以导致生理节律、激素分泌以及其他一些行为表现的改变，诸如，生物钟的改变、时差、褪黑素抑制以及瞳孔收缩、照明适应和生理上的反应。这些诸多方面的影响都决定于一个新的眼球内的光感知系统，即黑视蛋白的发现。

以勒克司作为单位的光照度，已经被学者作为测量光照的一种标准在人类和动物身上应用了多年。随着黑视蛋白以及其在人体内的敏感度的发现，现在人们知道使用光照度作为测

量指标是不合适的，因为其光谱灵敏度的测量存在偏差。与国际单位制中的其他单位不同，对光照度的定义和与其相关的单位，勒克斯，是建立在人类视觉反应基础之上的。视觉响应是由位于非视觉系统旁的一个不同的感光系统所调控，它能捕获瞬时空间分辨信息，但缺少黑视蛋白的参与。

人类的视锥细胞和视杆细胞一共包含了 4 种不同的光色素，每一种都有各自不同的宽光谱范围的光谱灵敏度曲线，并且他们各有交叉，最终决定了人眼对光辐射的可见度。Scone 感光色素对短波长的光最敏感，其次是 rod 光色素 (rhodospin)，M cone，L cone 对长波较为敏感。黑视蛋白的最敏感波长在 scone 视蛋白和 rhodospin 中间约为 480nm。实际的最敏感波长要稍高一些，因为在抵达视网膜之前已预先经过了光谱过滤，导致其与暗视觉的灵敏度相近。

由于所有 5 种不同的光色素都在新的感光系统中被找到，应该建立一个完整的模型以包括这 5 个刺激值。为了更好地利用这个模型，光照应该能被测量到更多信息以分别得到这五个刺激值。所以现在对进行生理节律和神经生理相关的实验时，建议仔细的测量出完整的光谱信息，然后利用提供的计算工具算出这五个部分。

此研讨会的目标是在科学论文中建立一个通用的报告惯例，用以支撑未来的对照明研究的分析。这个方法会让人们更好的理解光照给人带来的生理反应，同时让今后室内室外照明产品的生产和测量有个更稳定的基础。

以下是研讨会得出的一些共识声明：

A、视网膜组织和褪黑素

脊椎动物视网膜上的感光细胞被分为三种类型，负责暗视觉的视杆细胞，负责明视觉的视锥细胞以及自主感光神经节细胞。

B、感光尺寸：五种宽带灵敏度公式

介绍了通过 SIDData 计算五种光谱权重值的方法。这几个值简化了对光环境的描述，选取了与人类非视觉光感受器最相关的部分，抛弃不相关的信息。

C、晶状体老化的影响

相比于标准观察者（32 岁），老年人（70 岁）在同等能量的照明条件下，抵达视网膜的辐照度百分比低于标准观察者。年龄对于与明视觉相关的透过率降低的影响要低于对 α -opic 视蛋白灵敏度相关的透过率的影响。因为明视觉的视函数光谱范围更窄并且更加集中于长波范围，所以在与年龄相关的可见度下降方面或许低估了在非视觉光感受灵敏度方面的降低。

D、光谱灵敏度

ipRGC 整合了它自己的黑视蛋白驱动的光谱灵敏度和由视锥细胞与视杆细胞内的感光器所接收到的信号。每个光探测器的机制都有明确的光谱敏感度公式，它由五个人类感光色素的频谱效率和眼睛的光谱转化率特性决定。

黑视蛋白 480nm；杆状细胞中的视蛋白 rhodopsin 505nm~510nm；s cone 视蛋白 440nm；m cone 视蛋白 545nm；l cone 视蛋白 570~575nm。

E、生理节律和神经生理对光照的反应

对于生理方面的影响来说，不存在一个单独的或合成的灵敏度公式能在每一种情况下都

准确的描述出这种响应。尽管有时可以在某种特定的情况下给出一个适用的公式，然而对其他响应来说灵敏度曲线可能就有区别，甚至是在同一条件下。对于不同的刺激，视锥细胞、视杆细胞以及自主感光神经节细胞所做出的反应以及其之间的相互影响也不尽相同。预测光照对生理产生的影响需要光谱敏感度响应的全面的描述，并且是在一个较广的范围内。这种描述需要考虑到复杂的相互作用，光谱构成，时间动态，光照历史以及其他的对于实验时间有较大依赖的生理影响。

对研究者的建议：所有的实验研究应该报告试验灯光的 **SID**，用一个详细的表格记录，方便其它人计算五个感光器部分的刺激值。同时被试者所感知到的光环境并不仅仅是受光源特性的影响，还包括平面的反射特性以及光源与被试者间介质的性质。最直接的避免干扰的方法是测量被试者眼前的 **SID**。

对工业界的建议：环境中的光照对人类的影响既有正面也有负面，对人类的健康，表现和安全都有影响。对于夜班工作者，夜班的光环境会让他们保持更加警醒的状态专心工作，而相同的灯光用在白班却会导致工人睡眠节奏的改变。所以灯光的设计应该考虑到所应用的场合和地点，如工作时，日常生活时和睡眠时。由于人类生物钟是根据环境光线的亮暗所形成的，环境灯光的设置不应改变 24 小时的日出日落的节奏。

4.4 ISO/TC274 光与照明技术委员会相关工作进展

4.4.1 ISO/TC274/N0 292 工作场所生物效应人工照明面临的机遇和挑战

新型节能和智能照明技术在“生物效应人工照明”领域中的应用尤其是考虑到照明的非视觉效应时，机遇和挑战并存。譬如，“生物效应人工照明”可以弥补室内日光的不足，使员工的生物钟调整到白天的工作状态，增强他们的活跃度及提高注意力。但是同时，也会带来“健康干扰（譬如睡眠障碍）”以及“人道主义投诉（譬如对劳动力过度操纵）”等问题。以下是 ISO-TC274 N0292 对“生物效应人工照明”面临的 4 个机遇和 18 个挑战所作的简要阐述。

(1) 4 大机遇

a) 生物效应人工照明可能对幸福感和心理健康产生积极影响。

自然光凭借其对生物钟的稳定和同步作用，对幸福感和心理健康产生了极为重要的影响。因此，除了尽量增加工作场所的日光照射范围以外，在无法引入日光的情况下，生物效应人工照明的应用将有助于保持生物钟的稳定和同步作用。

b) 生物效应人工照明可能会对睡眠质量、入睡时间和第二天的敏捷性产生积极影响。一般来说，白天较长时间的光照对情绪、睡眠和幸福感有积极影响。

c) 生物效应人工照明可有助于促进昼夜节律系统同步。在白天接受光照射可以增强节律系统对晚上光干扰的抵制作用。同时，研究发现白天接受更多的光照可以降低暮光对褪黑素分泌的抑制作用。

d) 生物效应人工照明可能与认知表现活跃和提升，以及疲劳缓解相关。研究表明强富蓝光的照射有助于提高工作表现，有助于克服刚起床时的倦怠。同时，神经影像学的研究表明，认知受昼夜节律而非受视觉效应的影响。

(2) 18 大挑战

a) 使用生物效应人工照明时应考虑光疗的副作用模拟。光疗研究给出了副作用的症状，例如轻度躁狂、睡眠问题、头痛、眼疾、易怒或恶心。

b) 在夜间使用生物效应人工照明会导致生理节律的失调。研究表明，夜间光照射会干扰生理节律从而构成健康威胁，包括癌症威胁，其它威胁涉及肥胖、糖尿病和抑郁症等精神疾病以及对基因组合生育能力的影响。

c) 生物效应人工照明可能扰乱由自然的明/暗周期形成的人体节律系统，因为与自然日光相比人工照明的光刺激更强。譬如，研究表明昼夜节律与日间接受的最强光刺激同步，蓝光成分较高的人造光对生物钟调整的影响可以与日光相抗衡。因此，在考虑生物效应人工照明时应格外谨慎。

d) 在冬日早晨不规律地使用生物效应人工照明会对生理节律有更强的同步作用并且产生更强的压力；在早晨，富含蓝光成分的生物效应人工照明可以使员工活跃并克服倦意。但蓝光照射会生成较强的同步信号，标志着一天的开始。许多工作场所通常采用灵活的工作时间（尤其是冬季），因此由于每日工作时间不同，生物钟可能被迫进入永久调整状态，从而对生理节律产生更大影响。

e) 在下午或傍晚使用生物效应人工照明会对人体节律系统有一定的扰乱作用。在傍晚受到光照，同样会抑制褪黑素的生成并改变睡眠节律。

f) 在使用生物效应人工照明时，会有和摄入咖啡因时差不多的副作用。蓝光有和咖啡因类似的激活效应并有可能提高雇员体能，提高注意力，但是同时有可能产生类似咖啡因的副作用，譬如焦虑症、手颤抖等。

g) 生物效应人工照明和咖啡因同时使用可能导致过度活跃。蓝光和咖啡因组合可以超出最适警觉水平并导致过度活跃，接着导致体能衰退。

h) 人造蓝光可用于提高体能。光对生理节律的作用强于任何药物，研究蓝光的使用可以提高体育从业人员的体能。

i) 雇主决定使用的生物效应人工照明的强度、时刻与时长可能会导致员工对照明的接受度问题。雇主可决定激活光照射时间和持续时间，因此员工的自主权受到限制，从而引起员工对照明的消极态度。

j) 雇员缺乏对于想要的光作用的控制权。

k) 雇员缺乏生物效应人工照明对于自身生理节律干扰的直接了解。

这可能导致雇员提出与工作场所照明条件无关的健康投诉（如，睡眠障碍等）。

l) 忽视生物效应人工照明应用中的个体差异，可能会促进对生物钟的干扰。生物钟的本征周期因人而异，并且即使在同一房间内，雇员的工作职责并不相同（视觉功能要求不同），因此，需要考虑个体间的差异，不同的照明场景能够同时运行，避免生物钟的相互干扰。

m) 忽视光的视觉与非视觉作用目标（譬如，使精神活跃、改变生理节律及提高视觉功效）之间的矛盾，这种做法可能会对健康造成威胁。

n) 生物效应人工照明利用垂直照度来进行衡量，而垂直照度将会影响光的品质标准，并可能影响视觉功效和舒适性。齐眼垂直照度通常用来描述光的非视觉效应的照明要求，但齐眼垂直照度会影响光的品质标准，例如光的方向、阴影特征、均匀性、眩光和水平照度。

齐眼垂直照度可能与所提及的光品质标准相互影响并影响视觉功效和视觉舒适性。

o) 实施生物效应人工照明的动态方案效果基本上还未被研究过。譬如，如何实施众多的动态化人工照明方案；根据何种算法或理论使光照动态化（例，应该通过减少蓝光成分来支持午餐后生物效应低落还是通过提高蓝光成分来抑制午餐后生物效应低落的状况）；为了探索所应用的光场景以及动态光是否能够达到预期的效果，必须进行大量的研究和论证。

p) 生物效应人工照明不能作为日光的替代品。生物效应人工照明不能取代自然光，即使虚拟窗户或日光模拟天花板能够再现单一自然光的特征，也不能用来作为日光的替代品。

q) 生物效应人工照明中蓝光成分的长期损伤效应尚不明确。生物效应人工照明使视网膜长时间、大面积受到较低强度的短波辐射（蓝光辐射），证据显示短波辐射与年龄相关的黄斑病变进展有相互影响，并且蓝光辐射可导致线粒体 DNA 损伤并在上皮细胞中产生自由基。但是，流行病学研究没有提供长期阳光照射（特别是蓝光部分）引起视网膜光化学变化和黄斑变性的明确线索，亦没有证据显示人造光源发出的蓝光比太阳辐射影响更严重。总而言之，现有的数据尚不允许做出任何总结性评估。

r) 生理节律和事故发生率之间的相互影响。生物效应人工照明对安全生产可能造成影响，表现为注意力、疲劳程度、认知表现与事故频率和严重程度之间的相互影响。

4.4.2 ISO/TR 21783 集成照明设计指南

在 ISO/TC274 成立的前期，ISO/TC274/N19 工作文件就提出了组建 ISO/TC274 “光对人生物效应”的工作组建议，建议召集人是欧司朗的 Andreas Wojtysiak 先生；在 2015 年 ISO/TC 274 第三次成员大会期间，非视觉效应特别工作组召集第二次会议中讨论提出与 CIE 建立联合工作组（JTC），由 Andreas Wojtysiak 先生负责起草 JTC 的工作范围和主题，2015 年的 ISO/TC274/201 的提案草稿依据的是德国 DIN SPEC67600-2013 技术规范。

在 2016 年 ISO/TC 274 第四次成员大会上，同意 ISO/PWI TR “Biologically effective illumination -Design Guidelines” 作为技术报告立项，欧洲内部争议较大，WG3 “Human Centric Lighting Application” 暂不成立，提案由 ISO/TC274 直接管理，召集人由欧司朗 Andreas Wojtysiak 先生更换为 Trilux 公司的 Raphael Kirsch 先生。技术报告草案 ISO/TC 274 N 291 “ISO/PDTR 21783:2016 Light and lighting — Integrative lighting — Non-visual effects” 的范围中明确说明“应包括科学报告分析及光的非视觉效果应用研究经验，目的是确定适合在照明应用中可安全有效使用的材料”，“分析结果应作为技术报告发表，包括材料摘要，以及适合在实际中使用的相关材料的评估，或说明需要更多知识和验证来确保安全有效的照明应用”，“不应涵盖没有经过适当科学验证的主题，将集中在“容易实现的目标”或仅提供本主题不同方面的情况”。涉及到的关键光参数包括：光谱组成、照射强度、光照射总量、随时间变化的动态照明，对工作场所的日间和夜间照明、健康和护理场所照明、教育场所照明需求。

在 2017 年 4 第五次成员大会期间，讨论了“ISO/PDTR 21783 Light and lighting — Integrative lighting — Non-visual effects”，会后发出了 ISO/TC 274 N 316 文件。ISO/TC 274 N 338 文件表明，CIE JTC 9: Quantifying Ocular Radiation Input for Non-visual Photoreceptor

Stimulation 的工作将作为这个技术报告的原型，其他原型包括"CIE TN 003:2015 Report on the first international workshop on circadian and neurophysiological photometry,2013", "Lighting for health and well-being in education,work places, nursing homes, domestic applications, and smart cities","ISO/TC 274 N 292 Opportunities and Threats in the Application of Biologically Effective Artificial Lighting at Workplaces"。内容涉及科学文献分析、容易达到的目标（如有益的结果、风险规避等）、良好实践。对于大家都乐意看到的共识性的任务是，为照明设计人员提供可参考的光生物效应的官方报告，但是 ISO/TR 21783 只提出安全和有益的材料。至 2017 年 7 月，还没有集成照明应该如何设计的建议，对于以人为中心、综合的或生物有效的照明设备的设计仍然没有给出合适的指导。

5 我国健康照明标准化工作建议

5.1 健康照明发展态势

照明光效不再是行业关注的唯一焦点，而研究光照对健康的影响，构建健康、舒适的光环境，直接成为民生关注的热点问题。2016 年欧洲照明组织发布 2025 年战略发展路线图，明确“以人为本的照明”作为发展的核心。

鉴于半导体照明产品的诸多优点，与健康照明产业相辅相成，互相促进，健康照明产业必将成为最大的 LED 应用潜在市场。我国有巨大的健康照明市场需求，包括室内灯和教育、医疗、养老等特需照明等，估计我国的 LED 健康照明市场的总规模将可达到数千亿元。

5.2 健康照明标准问题与挑战

纵观 ISO、IEC、CIE 发布的国际照明标准，全部以欧美人群为测试对象，但研究表明不同人种的眼部功能与认知特点，都有明显区别。因此，不能照搬国外研究成果，来指导我国半导体照明行业的发展。

我国健康照明标准的制定面临以下问题和挑战：

- a) 如何确定哪些光品质因子是影响健康的关键因素？
- b) 用什么样的物理、生理和心理指标来衡量人在照明环境中的健康程度？
- c) 如何建立自然光和人造光的物理指标（光）和人体生理指标（健康）之间的映射关系，哪些指标可以综合评价光环境的健康程度？
- d) 如何解决在不同应用环境中健康评价指标的差异问题？
- e) 如何解决不同年龄层、性别之间的个体差异问题？

我国在光生物学、视觉和非视觉健康领域的基础科学研究还未形成比较优势，应在借鉴欧美科研成果的基础上，在深入研究光生物机理影响量化评价的同时，重点加强针对中国人群的健康照明机理研究。

当前，健康照明正处于从科学机理、作用效应到工程应用的发展初期。为了促进我国半导体照明产业发展，推进健康照明在教育、医护、办公、家居等各种场所的实际应用，重点需建立统一、可量化、可推广的健康照明评价方法和手段。

由于健康照明指标涉及面广、难度大，有些方面存在不确定性，当前可借鉴国际标准化

组织 ISO 和国际照明委员会 CIE 在健康照明的标准化工作，先开展基础标准、方法标准、指导性文件的研究和制定。

5.3 CSAS 健康照明工作组

无论在光生物学、视觉和非视觉影响等方面，光对健康影响的科学机理仍在不断探索之中，制定我国的健康照明标准应建立在科学事实的基础之上，应与国际接轨，加强与相关国际标准化组织的沟通，参与国际健康照明标准的制定。

为了有效推动从中国制造走向中国创造的质量提升战略的实施，瞄准全球最大的 LED 应用市场，结合以人为本的健康需求，研发、生产能真正满足健康需求的 LED 照明产品，占领国际健康照明产业的制高点，国家半导体照明工程研发及产业联盟标准化委员会(CSAS)组建了“健康照明工作组”。通过已建立的 CSAS 产学研用的标准化平台，以标准引领基础研究到成果转化的应用开发，如图 7 所示，充分发挥联盟的团体标准时效性优势。

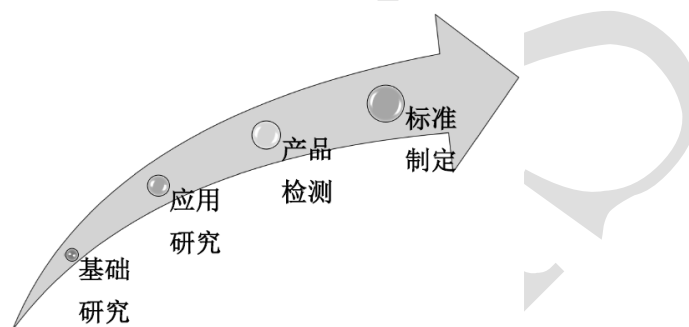


图7 CSAS健康照明标准化工作思路

CSAS 健康照明工作组的宗旨是：利用科技创新、标准研制与产业发展协同机制，以技术标准促进科技成果转化应用，构建服务市场发展的健康照明标准化交流协作平台。

CSAS 健康照明工作组的标准化工作范围为：根据健康照明的产业化需要，重点围绕 LED 健康照明的产品与系统的术语和定义、测试方法、设计要求、技术要求等方面开展技术报告、标准的制定与实施工作，为规模推广创造条件，为规范市场提供依据。

CSAS 健康照明工作组的工作路线图为：

1) 制定健康照明术语定义标准——以规范现今良莠不齐的健康照明产品和市场为目的，通过明确健康照明及其重点术语的定义，引导产业和社会形成正确的健康照明理念，为今后制定系列健康照明产业标准奠定基础。

2) 结合机理研究和产品开发，确立评测方法——以光生物机理研究为基础，构建兼顾产品物理指标和人体生理指标的健康照明量化评价体系，形成科学、客观、准确、有效的量化评价光安全和光健康的测试方法，全面提升产品的光品质。

3) 制定普适性应用要求标准——以模式（作业类型）、过程（作业时间周期）、环境（作业位置和外部环境）为基点，构建满足不同模式、过程和环境的健康照明产品和系统的普适性应用要求，制定相应的设计规范和技术要求标准。

4) 制定差异化应用要求标准——根据个体差异（人种、年龄、性别、生理差异、疾病、

压力源等), 研制满足不同群体的健康照明应用要求, 制定适用于差异化应用要求的技术规范。

通过上述一系列的标准化工作, 规范能满足各类人群生活作业需求的健康照明产品, 创造有益身心的健康光环境。

CSA

附件 A
(资料性附录)
部分健康照明研究单位

A.1 国际健康照明研究单位

A.1.1 美国照明研究中心

美国照明研究中心(简称 LRC)由纽约州能源研究与开发局(NYSERDA) 建立于 1988 年, LRC 拥有在半导体照明、健康照明、交通安全照明等领域接近 30 年的丰富经验。目前研究中心主要面向不同的客户提供全新的照明解决方案,其中包括波音 787 客机、美国海军潜艇以及医院重症监护室等。LRC 拥有目前唯一一所大学照明实验室,该实验室由国家实验室自愿认可计划(NVLAP) 认可建立(实验室代码: 200480-0)。同时, LRC 从 1990 年开始成为首家照明领域的大学研究机构,并提供该领域的硕士以及博士学位。目前, LRC 团队包括 35 名全职工作人员、15 名研究生以及 30000 平方英尺的实验室,是目前最大的大学照明教育研究机构。

A.1.2 奥德堡照明(Zumtobel)

奥德堡照明是奥德堡集团的成员企业之一,作为具有国际领先地位的整体照明解决方案供应商,企业主要提供专业的室内和室外建筑照明应用。50 多年来,奥德堡照明始终致力于发展创新型的定制照明解决方案。奥德堡照明在最大程度满足客户对人体工程学、经济效率和环境相容性等方面需求的同时,为客户提供最具审美价值的解决方案。目前,奥德堡照明拥有一个庞大的国际客户群,其中涵盖 23 个国家的销售团队,超过 50 个国家的商业代理机构。奥德堡照明创建于奥地利的福拉尔贝格州,企业十分重视国际交流,在照明领域内建立了覆盖全球的专家网络,其设计合作伙伴更是遍布世界各地。

A.2 中国健康照明研究单位

A.2.1 复旦大学

复旦大学被公认为我国光源与照明领域的权威研究单位之一,荣获国家教委科技进步一等奖和国家科技进步三等奖。持续开展了与人体有关的照明工效学与视觉科学的基础研究,为国家大飞机及国防重大专项提供解决方案;参与“国家国际科技合作专项项目”与德国达姆斯塔特大学合作,开展了半导体照明光品质研究,建立了颜色质量评价的人种与文化差异模型。

A.2.2 中国标准化研究院

中国标准化研究院从 2010 年开始进行光对人眼视觉系统的健康研究,通过定量测量人眼的屈光、眼轴长度、视觉光学传递函数(MTF)以及视神经反馈等客观指标,结合各类照明光环境进行的人因实验,利用神经网络将主客观各个参量的实验结果综合,构建人眼健康舒适度量化分级体系,制定并颁布联盟标准 CSA 035.1《LED 照明产品视觉健康舒适度测试》。

近 5 年来承担多项基于光健康的国家重大项目和国际项目，2014 年其照明产品视觉健康舒适度评价方法和产业化应用的科技成果鉴定意见为“国际领先水平”，先后获省部级科技进步奖 7 项，主持起草光健康行业、团体及国际联盟标准 6 项。

A. 2. 3 同济大学

同济大学光环境实验室参加中国 29 次南极科考队，赴长城站三个月，完成了 863 项目极地环境下的半导体照明非视觉效应研究、承担了面向办公室、医院、养老院健康照明的多个自然科学基金项目，完成了上海市第十人民医院、上海长征医院、上海市第一妇婴保健院、新余市人民医院等多家医院的照明改造项目，将研究成果迅速的转化成实践应用。团队先后承担了国家自然科学基金面上项目及青年项目共 6 项、国家 863 高技术课题 2 项、国家科技攻关项目 1 项等重要课题。

A. 2. 4 浙江智慧健康照明研究中心

浙江智慧健康照明研究中心是由浙江省科技厅和民政厅批准成立的非营利研究机构，从事新一代智慧健康照明科学及技术研究、国际交流、标准制订、照明健康知识普及等。研究中心与美国照明研究中心合作开展中小学校教室健康照明研究合作；牵头制定“灯和灯系统光生物安全测试方法”等国际、国家标准；与 ISO Focus 国际媒体，中央电视台、浙江卫视等国内媒体开展了多期智慧、健康照明专题宣传；同时，发起成立了浙江省健康照明产业技术创新战略联盟，通过多行业跨界合作、联动创新，促进传统照明向新一代 LED 智慧健康照明产业的转型升级。

