

全光谱护眼灯技术原理及光谱指标解析

张立福¹, 李森², 乔艳青²

1. 中国科学院空天信息创新研究院, 北京海淀

2. 天津中科谱光信息技术有限公司, 天津滨海高新区

DOI:10.62836/gse.v3i1.1097

摘要: 光谱台灯是采用模拟自然日光的全光谱LED光源的新一代护眼照明设备。它通过优化光源光谱结构, 让光线更接近上午10点的自然太阳光, 光谱连续均匀, 弥补了传统LED灯光的波段缺失。这类台灯具备低有害蓝光、无可视频闪、高显色指数等核心优势, 能真实还原物体色彩, 减少眩光与视觉疲劳, 为阅读、书写、办公提供柔和舒适的光线环境。相比普通台灯, 它更贴合人眼对自然光的适应习惯, 有效呵护视力健康, 是适合学生、办公人群长期使用的护眼灯具。

关键词: 无可视频闪; 护眼; 光谱台灯; 舒适; 波段

Full Spectrum Eye Protection Lamp Technology Principles and Spectral Indicator Analysis

Lifu Zhang¹, Sen Li², Yanqing Qiao²

1. Aerospace Information Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Haidian, Beijing

2. Tianjin Zhongke Puguang Information Technology Co., Ltd., Binhai High-tech Zone, Tianjin

Abstract: The full-spectrum desk lamp, also known as the natural light-emitting diode (LED) desk lamp, is a new generation of eye-care lighting device designed to simulate natural daylight. By optimizing the spectral structure of the light source, it produces illumination closer to the natural sunlight at around 10 a.m., with continuous and uniform spectrum, compensating for the wavelength gaps of traditional LED lighting. This type of desk lamp features core advantages such as low harmful blue light, flicker-free operation, and high color rendering index, enabling accurate color reproduction of objects while reducing glare and visual fatigue. It provides a soft and comfortable lighting environment for reading, writing, and office work. Compared to conventional desk lamps, it better aligns with the human eye's adaptation to natural light, effectively safeguarding visual health, making it an ideal eye-care lighting solution for students and office workers for prolonged use.

Keywords: flicker-free; eye protection; spectrum desk lamp; comfort; wavelength

1 光谱台灯的设计原理

光谱台灯的设计核心，是依托光学光谱理论、人眼视觉生理机制及照明光学原理，实现主动优化光源光谱结构与光学配光设计，模拟自然日光的光学特性，从本质上提升照明舒适度与护眼效果，其设计逻辑围绕“贴合自然、适配人眼、减少伤害”三大核心，结合多学科科学理论实现精准设计，具体原理可从以下科学维度详细解析。

首先，基于可见光光谱分布理论，补齐传统光源的光谱缺陷。根据光学理论，自然日光的可见光光谱是连续且均匀的，涵盖波长380-780nm的所有波段，其中红光（620-780nm）、绿光（500-570nm）、蓝光（450-490nm）比例均衡，无明显峰值或缺失，这也是自然光能让人眼长期视物不易疲劳的核心原因。而传统LED台灯光源的光谱存在明显缺陷，多以蓝光芯片为基础，搭配荧光粉激发红光、绿光，导致光谱不连续，蓝光波段（尤其是415-450nm的短波蓝光）出现峰值过高、红光波段缺失的问题，长期照射会刺激视网膜，引发视觉疲劳。光谱台灯的设计核心之一，就是通过优化LED芯片配方与荧光粉比例，模拟自然日光的连续光谱，降低短波蓝光的峰值占比，补齐红光、绿光等缺失波段，使光源光谱曲线与自然日光高度契合，从光谱本质上达到“类自然光”的照明效果。

其次，基于人眼视觉生理机制，适配人眼的感光特性。根据人体生理学理论，人眼的视网膜上分布着视锥细胞与视杆细胞，视锥细胞负责明视觉与色彩识别，对均衡的光谱感知更敏感；视杆细胞负责暗视觉，对光线的明暗变化反应强烈。当光线光谱不连续、蓝光峰值过高时，视锥细胞会长期处于紧张调节状态，视杆细胞也会因光线刺激频繁收缩，进而导致睫状肌痉挛，引发眼酸、眼涩等视觉疲劳症状。光谱台灯的设计充分遵循这一生理机制，一方面通过均衡光谱比例，让视锥细胞在视物时无需过度调节，就能清晰识别色彩与细节；另一方面，通过控制光线的明暗波动，避免视杆细胞频繁适应光线变化，减

少睫状肌的负担，长期使用能有效缓解视觉疲劳，呵护视网膜健康。

再者，基于照明光学中的频闪与眩光控制理论，优化光线输出方式。根据光学原理，频闪是光源亮度周期性变化的现象，分为可视频闪与不可视频闪，即使是不可视频闪，长期照射也会通过视网膜传导至大脑，引发视觉疲劳与头痛；而眩光则是光线直射人眼或反射光线过强，导致人眼无法清晰视物，进而加重眼部负担。光谱台灯在设计中，通过两种科学方式解决这两个问题：一是采用恒流驱动技术，根据电路原理，稳定光源的电流输出，避免电流波动导致的亮度变化，将频闪频率控制在人眼无法感知的范围（通常 $\geq 30\text{kHz}$ ），从电路层面消除频闪危害；二是采用漫射光学设计，搭配磨砂灯罩或微棱晶导光板，根据光的折射与散射原理，让光线经过多次折射、散射后均匀输出，避免光线直射人眼，同时降低光线的反射强度，减少眩光产生，确保光线柔和不刺眼，进一步适配人眼的视物习惯。

最后，基于色彩光学理论，提升显色性能，减少色彩失真。根据色彩光学理论，显色指数（CRI）是衡量光源还原物体真实色彩能力的核心指标，自然日光的显色指数接近100，能完美还原物体的本真色彩。而传统LED台灯因光谱不连续，显色指数较低（通常在80以下），会导致物体色彩失真，长期视物会让眼睛的色彩识别能力处于紊乱状态，间接加重视觉疲劳。光谱台灯的设计中，通过补齐光谱中的各波段光线，尤其是提升红光波段的占比，将显色指数提升至90以上（优质产品可达95以上），同时优化显色指数（R9），确保能真实还原红色系物体的色彩，让眼睛看到的色彩更接近自然状态，减少色彩失真对人眼的刺激，既提升视物舒适度，也能避免长期色彩识别偏差带来的视觉负担。

光谱台灯的设计并非简单的“提升亮度”，而是以光学、人体生理学、电路学等多学科科学理论为基础，从光谱优化、生理适配、光线控制、色彩还原四个核心维度出发，通过科学的配方调整与结构设计，实现“类自然光”的照明效果，

本质上是让人工光源更贴合人眼的生理需求与自然光照的光学规律，从而达到护眼、舒适、健康的照明目的，这也是其区别于传统台灯的核心科学优势。

2 光谱技术台灯与AI结合为使用者提供更多方便，舒适与健康

科研人员将光谱台灯与AI智能技术深度融合，突破了传统台灯“单一照明”的局限，既保留了光谱台灯贴合自然日光、低蓝光、高显色的核心护眼优势，又通过AI赋能简化操作、精准适配需求，为不同人群提供全方位的使用便利；同时，随着健康意识升级与技术迭代，光谱台灯凭借独特优势，展现出广阔的市场发展前景，成为照明行业的新增长点，具体可从便利之处与市场前景方面详细阐述。

光谱台灯与AI结合后，为顾客提供的便利贯穿使用全流程，贴合日常用眼场景，兼顾便捷性与护眼性。首先，AI智能调光满足看书以及手工各个场景对适度光线亮度的需求，科研人员通过AI环境光感应算法，让台灯更加适合周围环境光的亮度、色温变化，确保桌面光照始终符合国标最高级标准，光谱台灯会按照用户的指令精准适配顾客需要的灯光亮度，比如阅读模式、工作模式、夜灯模式、人感模式等，无需

用户反复调试，适配学生、办公人群等长时间用眼群体。

除此之外，AI与光谱台灯的结合还解决了传统台灯的诸多痛点，比如AI入座感应可实现人来灯亮、人走灯灭，兼顾便利与节能。

3 光谱台灯的市场前景

目前市面中出现了众多品牌的全光谱台灯，整体行业呈现百花齐放的态势。而用户在选择全光谱产品时通常难以用肉眼分辨真伪，对光谱质量的判断更多依靠品牌效应(如图1)。

使用光谱仪对市面主流全光谱台灯进行对比后发现：各产品在有害蓝光(415-455nm)区域进行了主动抑制，但抑制效果却有明显差异；针对增益蓝光(455-500nm)进行了补偿；此外，从红光增益功能来看，各产品增益的效果并不理想，更科学的红光增益应发生在630-670nm。

在市场前景方面，光谱台灯凭借技术优势与需求红利，呈现出高速增长、持续升级的良好态势。从需求端来看，国民健康用眼意识不断提升，大部分家长优先考虑护眼认证产品，青少年近视防控政策的深化实施，推动家庭、学校对专业护眼台灯的需求激增，尤其是“双减”政策后家庭学习时间延长，为光谱台灯奠定了广阔的C端市场基础。同时，很多年轻用户愿为智能功能支付溢价，AI与光

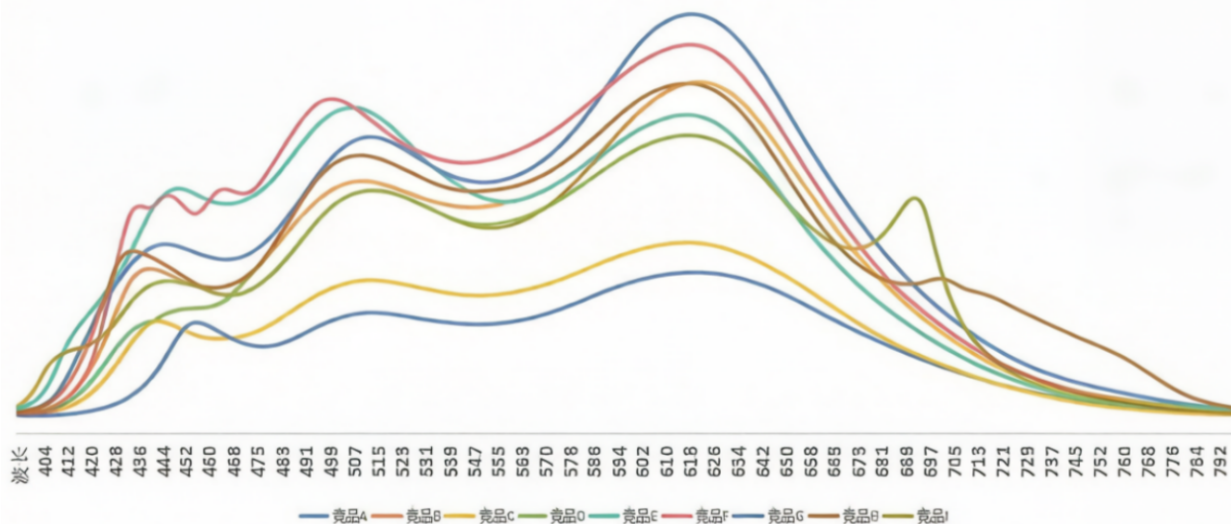


图1. 国产主流全光谱灯光谱数据对比图

谱台灯的融合产品更受青睐。

从产业与技术端来看，LED芯片国产化率提升，供应链韧性增强，为光谱台灯的规模化生产提供支撑，新版国标实施加速行业洗牌，不合规产品退出市场，推动行业向高质量发展。未来，AIoT集成、人因照明将成为核心趋势，光谱台灯将进一步与智能家居联动，结合可穿戴设备实现更精准的个性化调光，同时向教育、办公、医疗等细分场景渗透，B端集采市场潜力巨大。

光谱台灯与AI的结合，为用户提供了便捷、智能、个性化的护眼体验，精准解决了传统照明的痛点；而需求红利、技术升级与政策支撑的多重推动，让光谱台灯不仅拥有广阔的现有市场，更具备持续增长的潜力，未来将逐步从“功能型家电”向“家庭视觉健康管理中枢”转型，成为照明行业最具发展潜力的细分品类之一。

参考文献

- [1] 读写作业台灯性能要求，GB/T 9473-2022.
- [2] 乔艳青.带有光谱检测功能的护眼台灯[P].中国专利: CN202510752004.3,2025-06-06
- [3] 张伟,李莉.一种具有健康光谱的LED台灯[P].中国专利: CN202320123456.7,2023-08-15.
- [4] 王明,赵亮.类太阳光光谱LED在护眼照明中的应用研究[J].照明工程学报,2022,33(4):112-118.
- [5] 国家市场监督管理总局,国家标准化管理委员会.GB/T 9473-2022,读写作业台灯性能要求[S].北京:中国标准出版社,2022.
- [6] 潘逸聪,牟郑林,邵毅.蓝光致眼部损伤机制研究进展[J].国际眼科杂志,2023,23(2):208-211.
- [7] 范大伟,张伟亮,杨璐,等.650nm低强度单波长红光照射对不同近视度数青少年近视防控的应用效果对比研究[J].中国眼耳鼻喉科杂志,2025,25(7):521-525.

