基于可调色温技术的室内健康照明系统设计

张连伟

广东美的制冷设备有限公司，广东省佛山市，528000；

摘要：室内照明不仅承担基础照明功能，更在人体生理节律、情绪调节与视觉健康中发挥关键作用。传统静态照明模式已难以满足现代人对健康与舒适性的综合需求，可调色温技术的兴起为健康照明提供了更具主动适应性的解决路径。该技术通过模拟自然光的色温变化，实现与人体昼夜节律的同步调节，在改善睡眠质量、提升注意力与视觉舒适度等方面展现出显著优势。本文从健康照明理念出发，系统梳理了可调色温技术的基本原理与调光机制，构建了适应不同室内功能场景的照明系统架构，并探讨其在居住、办公与教育环境中的典型应用方式，旨在为健康照明系统的设计提供理论支撑与实践参考。

关键词：健康照明；色温调节；昼夜节律；智能照明系统；室内环境

DOI：10.69979/3060-8767.25.07.070

引言

随着人们生活节奏加快与健康意识增强，照明系统的角色已从简单的亮度供给，转向对生理健康、心理状态与空间氛围的综合支持。长期处于单一色温、固定亮度的照明环境中，可能导致褪黑素分泌紊乱、睡眠质量下降及注意力波动，严重时还会加剧视觉疲劳与心理压迫感。因此，以人为本、强调节律匹配的健康照明理念逐渐被广泛关注。在此背景下，可调色温技术应运而生。该技术可根据时间、空间与用户活动的不同，动态调整照明的色温与强度，以模拟自然光的昼夜变化节奏，实现视觉环境与人体节律的协调统一。这种照明方式不仅提高了光环境的适应性，还能在无形中改善用户的生理状态与情绪反馈，具有广泛的推广价值。尽管可调色温技术在光源控制与系统集成方面已有诸多工程应用，但其在照明系统设计中的理论体系尚不完善，实践路径亦存在差异化与局限性。因此，本文拟从照明技术原理出发，分析色温调节机制的核心构成，梳理健康照明系统的设计逻辑，并结合典型室内空间的使用需求，探讨可调色温技术的应用策略与系统优化路径。

1 健康照明理念与色温调节技术基础

1.1 健康照明的内涵与发展背景

随着人居环境质量标准的不断提升，照明已不再局限于满足视觉清晰的基本需求，更承担起影响人类健康与行为的重要职能。健康照明的核心，在于通过科学的光环境设计，激发人体自然的生理响应，提升生活质量与工作效率。其关注点不仅包括照度分布与显色性能，更涵盖色温匹配、节律同步与心理感知等多维因素^[1]。

特别是在封闭空间中，健康照明的有效性直接关系到使用者的生物钟稳定性与视觉负担程度。

近年，大量研究证实光照在调节昼夜节律、褪黑素分泌、情绪调控等方面发挥着重要作用，照明方案的色温设置被视为关键影响因子之一。在此基础上，健康照明从静态参数转向动态调控，并逐渐形成以人因工程为核心的系统设计逻辑。其发展不仅依赖光源技术的进步，还需融合光生理知识、建筑空间特性与用户行为模式，实现照明功能的全方位重构。

1.2 色温调节技术原理与分类

色温作为描述光源发出色调的重要指标，直接影响空间氛围与人眼感知。低色温光源偏黄暖调，适合营造放松与安静环境；高色温光源偏蓝冷调，则有助于激发精神集中与工作效率。传统照明多采用单一色温光源，难以满足日常生活中多样化的使用需求，而可调色温技术通过复合光源组合、调光驱动控制等手段，使色温参数具备可控、可变与可编程等特性，显著提升了系统适应性。

从技术类型上看，可调色温方案主要包括双光源混合调节型、多通道LED调色型与调光色温联动控制型^[2]。前者以不同色温的光源组合实现动态混光，中者通过多组LED芯片精确控制发光谱，后者则将照度调节与色温变化联动设计，提升人体节律响应的协调性。这些技术路线各具特点，在不同空间环境与预算条件下可灵活选用，已广泛应用于智能家居、办公楼宇与教育场所的光环境构建中。

1.3 可调色温在生理节律调控中的作用机制

人体的生理节律依赖于外界光照变化作为主要同步信号,尤其对蓝光波段敏感,色温变化直接影响褪黑素的生成与抑制过程。早晨暴露于高色温蓝光照射下可加速清醒状态进入,提升注意力;而夜间低色温光则有助于诱导褪黑素分泌,促进自然入睡。可调色温照明通过模拟自然日光变化周期,重建光节律信号,从而实现与人体生物钟的良性互动。

与传统照明相比,可调色温系统能更精准地控制不同时间段的光谱组成,使室内光环境更贴近自然状态,对节律紊乱人群、轮班工作者与特殊需求用户具有积极干预意义。同时,在提升视觉舒适度、减缓视疲劳等方面也表现出优越性能。通过对色温参数的动态管理,可调照明不仅优化了感官体验,更从源头上参与了健康行为的调控与引导。

2 室内健康照明系统的设计原则与结构构成

2.1 色温动态调节与日节律适配策略

健康照明系统的设计必须考虑色温随时间的动态变化,构建出符合人体昼夜节律的光环境逻辑。人的生理活动与光照之间存在高度联动关系,特别是褪黑素分泌节律直接受蓝光成分影响,因此照明系统应通过精准的色温控制策略来参与节律调节^[3]。系统可设定从清晨到夜间的色温变化曲线,例如在早上逐步提升至5500K以上的高色温状态,激活清醒机制,到了黄昏则过渡至3000K以下的暖色温,缓解神经兴奋,促进睡眠准备状态的形成。色温的调节不应仅停留在数值调整,还需兼顾变化节奏的平滑性与用户对光感变化的主观适应度,避免突兀切换所带来的感官不适。

配合节律调光目标,系统应内嵌智能日程设定模块,使照明策略根据时间节点与生活场景自动运行。同时,为满足多样化需求,系统需支持人工干预与自动调控并存,提供自定义色温曲线、情境场景设定与偏好记忆等功能。住宅、办公、教育等不同空间类型,其照明诉求与作息周期差异较大,系统应提供多种策略模板供快速切换。节律适配的实现不仅是技术操作,更应以人为中心,强调光环境与生理过程的共振匹配,从而在节能控制之外真正实现健康增益与舒适提升。

2.2 系统组成结构及其功能模块分析

一套成熟的室内可调色温健康照明系统需具备完善的结构逻辑与功能分工,基本架构可划分为光源输出模块、控制与驱动单元、传感采集单元以及人机交互接口四个关键部分^[4]。光源模块是系统的核心输出单元,通常采用多通道LED组阵,分别覆盖冷白、暖白甚至R

GB段的发光需求,支持色温调节范围在2700K至6500K之间切换。控制与驱动单元负责接收外部输入指令或内部算法输出,通过电流调节、电压控制或PWM脉宽信号精细控制LED的组合比例,从而实现色温的动态过渡。传感采集单元则承担对室内光照水平、人员活动状态、外部光线干扰等环境因子的监测,为系统策略调整提供实时依据。所有设备的协同运行,需依赖中央控制器或分布式控制节点维持信号通畅与数据闭环。

系统结构的设计还必须考虑布线与部署的灵活性,支持集中控制和区域独立运行的混合模式。在小型空间中,可采用单控制节点搭载全部模块的简洁架构;而在大面积办公楼或多功能建筑中,应采用分布式部署、局部场景分区与总控中心联动的结构方案。同时,系统还应具备一定的自诊断功能,在运行过程中识别模块异常、调光偏差或设备老化,及时反馈至维护平台。为满足不同应用场景的稳定性需求,系统在结构层面还应兼顾可靠性、可扩展性与低能耗运行特性,实现照明、智能控制与健康管理的三者之间的融合闭环。

2.3 控制逻辑与用户交互体验优化

系统控制逻辑的设计直接决定照明效果的表现力与用户的操作便捷度。当前主流系统多采用基于微处理器或嵌入式控制平台的集成逻辑单元,将预设规则与实时数据结合,动态调节照明状态。色温控制逻辑通常以时间驱动为主轴,同时辅以传感触发与用户行为反馈形成多源判断模型。系统可依据每日时间轴,自动执行“晨起—工作—傍晚—入睡”照明周期曲线,同时根据环境光强、人体存在状态与空间功能进行局部微调,确保在任何时间段内提供最符合节律需求的照明方案。此外,通过融合AI算法与用户行为数据,可逐步建立用户偏好模型,系统通过学习调整照明节奏与色温反应方式,达成更精准的人机适配。

在用户交互层面,强调操作的简洁性、响应的即时性与功能的可感知性是构建良好体验的关键。用户界面可采用物理旋钮、触控面板、移动端App等多样化方式提供照明参数控制入口,建议设置多个预设场景按钮如“阅读”“放松”“夜间小夜灯”等,降低学习门槛。高级用户则可在移动端界面中实现细粒度调控,包括色温滑动曲线调整、定时编程与模式分享等操作。系统应支持语音控制、传感联动、远程联网等功能扩展,提升交互的自然性与便捷性。只有当控制逻辑的智能化与交互体验的舒适性达到平衡,健康照明系统才能真正从技术方案走向日常实践,成为居住与工作的有机组成部分。

3 可调色温照明系统的典型应用场景分析

3.1 居住空间中的节律照明应用

住宅空间是人体日常活动与休息最密集的环境，照明系统的色温设计对睡眠质量、生活节律与视觉舒适性具有直接影响。在卧室区域，可调色温系统主要服务于“入睡—苏醒”过程的光环境塑造，常采用 2700K 至 3500K 的暖色温段，以减少蓝光刺激，促进褪黑素分泌，帮助用户平稳进入睡眠。早晨阶段则逐步过渡至 5000K 以上的冷白色温，有助于唤醒生理节律，恢复注意力与精力状态。色温变化过程可通过时间程序控制或人体移动感应实现自动化，提升照明的顺应性与人机融合程度。

在客厅、餐厅等日常活动区域，系统应根据功能场景实现色温与照度的双重调节。例如，用餐时可采用中等亮度与暖色温以营造温馨氛围，观影或休闲时则调低亮度并偏向柔和光色，减少视觉负担。照明方案应结合家具布局、采光条件与用户作息规律进行场景细分与调控方案设定，使居住空间在满足基本照明需求的同时，承担调节情绪、维系节律与增强空间认同感的复合功能。

3.2 教育与办公环境中的生理适配照明

教育和办公场景对照明系统的要求更侧重于注意力维持、认知效率与疲劳恢复的支持作用。大量研究表明，冷白色温环境下人类的警觉性与执行能力表现更佳，而过高或不及时的色温会干扰生理节律，产生反效果。在教室或会议室内，色温调节策略应结合课程安排或会议节奏灵活调整。上午时段可使用 5000K 至 6000K 的冷白光，以增强认知敏感度，提升信息处理速度；下午则应适当降低色温与亮度，缓解因长时间聚焦所引发的眼部疲劳与精神倦怠。

在办公区域中，可调色温照明系统还应结合工位分布、光照死角与人员行为数据，实现基于工位的局部智能照明。例如在窗口靠近自然光区域，可通过传感器调节色温与亮度差值，使室内人工光源与室外自然光协调融合，避免明暗差异带来的视觉干扰。会议区、打印区、洽谈区等功能空间可预设不同场景照明方案，并允许个性化设定与系统学习优化，形成统一系统框架下的多样化照明策略，从而在整体节律保障的基础上兼顾个体舒适与操作便利。

3.3 医疗与康养空间中的辅助疗愈作用

在医院、康复中心或疗养机构等特殊功能空间中，

照明系统不仅是基础设施的一部分，更承担着辅助治疗与情绪干预的作用。病房区域尤其需关注患者的情绪稳定与睡眠质量，传统照明系统难以兼顾功能性与人性，而可调色温照明则可针对不同患者群体制定差异化光照策略。例如对术后恢复患者，在清晨通过 5000K 冷色温光源刺激中枢唤醒，促进新陈代谢启动；而夜间则使用 2700K 以下暖色光源，营造安全与放松的睡眠环境，降低因焦虑导致的失眠概率。

在康养空间，老年人对光线变化更加敏感，且生物钟调节能力下降，可调色温系统需通过缓慢渐变的色温过渡策略，减少强刺激，强化昼夜节律重建功能。结合感应识别技术，系统可自动识别活动状态与静息状态，动态匹配照明参数，提升空间的适老性与舒适度。针对情绪障碍、抑郁症状等问题，亦可引入光疗策略，构建特定色温照射周期，辅助改善情绪波动。在这一场景下，照明系统不再是被动配角，而成为主动参与健康干预的重要组成部分。

4 结语

随着人居环境对照明品质的诉求日益提升，传统以照度为核心的设计理念已难以满足健康化、智能化的发展趋势。基于可调色温技术的室内照明系统，借助对人体生物节律的适应性设计，构建了光环境与生理需求之间更加协调的互动关系，不仅提高了照明的舒适性，也拓展了光对健康干预的实际路径。通过对设计原则、系统结构与典型场景的分析可见，色温调节不再是技术附加项，而逐渐成为光环境设计的基础变量。未来，该类系统将进一步融合传感识别、人工智能与个性化学习机制，形成更具适配性的照明生态。如何在满足节律干预目标的同时，兼顾能效控制、建筑融合与用户操作体验，将是后续研究与工程实践中亟待深入解决的方向。

参考文献

- [1] 王庆. LED 室内照明舒适性视觉评价方法及技术的研究[D]. 浙江大学, 2015.
- [2] 胡奕彬. LED 照明系统光色度控制技术的研究[D]. 华侨大学, 2016.
- [3] 卢洪斌, 唐文龙, 孔媚, 等. 室内照明与通信 LED 光源的分布设计[J]. 长江信息通信, 2025, 38(06): 109-112.
- [4] 杨宝. 基于 SiC 功率器件的室内 LED 可调光照明系统[D]. 西安科技大学, 2019.