

# 研究报告

R/TAF 014—2026

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与 实践研究

Research on the development paths and practical implementation of light health  
governance during the 15th Five-Year Plan Period

电信终端产业协会

2026 年 1 月

## 版权声明

本研究报告版权属于电信终端产业协会，并受法律保护。转载、摘编或利用其它方式使用本研究报告文字或者观点的，应注明“来源：电信终端产业协会”。违反上述声明者，本协会将追究其相关法律责任。



## 目 录

前言 .....	III
1 光健康：概念、范畴与国家战略关联 .....	1
1.1 光健康的定义与核心要素 .....	1
1.2 光健康与公共健康：多维影响的科学解析 .....	2
1.3 光健康与生态环境：自然平衡的重要维系 .....	2
1.4 光健康与人居品质：宜居城市的核心维度 .....	3
1.5 光健康与可持续发展：绿色转型的关键抓手 .....	4
1.6 光健康的中国足迹：从理念萌芽到全场景深耕的演进之路 .....	5
1.7 “十五五”规划中，“健康中国”与“美丽中国”战略下的光健康目标解析 .....	7
2 光健康与健康中国 .....	8
2.1 不良光健康的主要健康风险 .....	8
2.2 特定人群与场所的光健康需求 .....	9
2.3 健康光健康的设计原则 .....	11
3 光健康与美丽中国 .....	16
3.1 光污染的现状、来源与危害 .....	16
3.2 不当人工光健康对城市与乡村景观的破坏 .....	18
3.3 构建美丽、和谐、可持续的光健康 .....	19
4 科技创新与智慧体系 .....	22
4.1 健康照明技术：精准匹配人体生理与视觉需求 .....	22
4.2 生态友好照明技术：减少对自然系统的干扰 .....	27
4.3 智慧照明管理系统：以数据驱动光健康优化 .....	28
5 政策法规与标准体系 .....	29
5.1 国内外光健康相关法规政策梳理与借鉴 .....	29
5.2 构建完善的光健康标准体系 .....	30
5.3 多部门协同治理机制 .....	31
5.4 规划引领：将光健康要求纳入城乡规划 .....	31
5.5 监管与执法：保障光健康要求落地 .....	32
5.6 经济激励：引导市场主体参与光健康建设 .....	33
6 行业生态与社会参与 .....	33
6.1 提升公众认知：普及光健康与光污染知识 .....	34
6.2 教育体系完善 .....	34
6.3 行业自律：推动照明企业履行社会责任 .....	36
6.4 社区参与：发挥居民在光健康中的作用 .....	37
6.5 国际交流与合作 .....	38

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

7 结论与行动倡议 .....	39
7.1 核心结论：光健康是双战略建设的关键要素 .....	39
7.2 未来愿景：构建中国特色的优质光健康 .....	39
7.3 行动倡议：多维度推进光健康优化 .....	40
附录 A 关键术语定义.....	42
附录 B 国内外主要光健康相关标准索引.....	44
参考文献 .....	45



## 前 言

光，作为人类生存与发展的基础性资源，早已超越单纯的照明功能，深度融入人体健康、生态平衡与社会进步的核心脉络。它是植物光合作用的能量源头，是维系生态系统循环的关键纽带，更通过调节人体生物钟，直接影响生理节律、情绪状态与认知功能，成为贯穿日常生活、经济活动与文化创作的隐形支撑。

在“十五五”规划部署下，“健康中国 2030”与“美丽中国”战略协同推进的时代背景下，光健康的价值被赋予新的内涵与要求。在“十五五”规划中，明确提出要加快建设健康中国，实施健康优先发展战略，健康中国战略强调光的健康赋能作用，要求光照不仅满足基础视觉需求，更要守护视觉健康、调节褪黑素平衡、改善睡眠质量，为全民健康筑牢环境根基；同时“十五五”规划将“加快经济社会发展全面绿色转型，建设美丽中国”列为主要目标，以碳达峰碳中和为牵引推动全面绿色转型，让美丽中国战略更聚焦光与自然的和谐共生，倡导在城市化进程中规避光污染，保护生物多样性与自然暗夜资源，实现发展与生态的良性循环。如何平衡光的实用价值与生态价值、满足健康需求与可持续发展目标，成为当前社会面临的重要课题。

本报告立足“十五五”规划指引下的双战略导向，构建了“基础界定—场景应用—支撑保障—未来展望”的逻辑框架：先系统阐释光健康的科学定义、核心要素及与国家战略的深层关联；再分别聚焦健康中国、美丽中国两大场景，剖析不良光环境的风险与特定需求，提出健康光环境设计原则与生态友好型光环境构建路径；随后从科技创新、政策法规、行业生态三大维度，梳理技术支撑方案、制度保障体系与多元协同路径；最后总结核心结论，明确未来发展愿景，并提出七大行动倡议。

报告整合国内外先进经验与典型案例，旨在为政策制定者、行业从业者、学术研究者及公众提供全面参考，凝聚多方共识，共同推动光健康事业高质量发展，为建设健康中国、美丽中国，迈向可持续的光明未来奠定坚实基础。

本报告承担机构：电信终端产业协会数字惠民技术组（WG16）

牵头单位及主要研究人员（单位排名不分先后）：

中国信息通信研究院：张硕、蒋阿芳、张小雨

广东三雄极光照明股份有限公司：朱立一、周宁、李全

# “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

## 1 光健康：概念、范畴与国家战略关联

### 1.1 光健康的定义与核心要素

#### 1.1.1 光健康的科学定义

光，作为人类生存和发展的基础性资源，已经远远超越了单纯的照明功能。它在人体健康、生态环境和社会进步中扮演着不可或缺的角色。在快速发展的现代社会，光的应用与管理不仅影响着我们的生活质量，还关系到自然环境的可持续发展。在“健康中国2030”与“美丽中国”战略的引领下，光健康的优化和治理迎来了新的机遇与挑战。如何平衡健康、生态与可持续发展的需求，已成为当今社会的重要议题。

#### 1.1.2 核心构成要素

自然光是体系的基准与源头，太阳辐射发出连续的紫外—可见—红外光谱，其照度与色温随昼夜、季节周期性变化，为地球生命设定“天然时钟”，既满足视觉需求，又通过光敏信号调节动植物的生理节律。

人工光则是对自然光的干预与延展。白炽灯、荧光灯、LED等人造光源突破了时空限制，使光照可全天候、全场景供给。现今技术已能精准控制亮度、色温与光谱，例如动态全光谱方案可模拟日出日落，实现节律友好照明；但仍应遵循“适度补充”原则，以免造成新的环境负荷。在养殖池塘中，人工光源的适当应用可以调节光照周期，增强水生环境的光照条件，从而支持河蟹的健康生长。

光污染则是光健康系统失衡后的负面产物。过量光辐射已成为继废气、废水、废渣和噪声之后的“第五污染”，具有主动侵害、难以感知与损害累积的特征，主要分为三类：

- 白亮污染：由建筑物玻璃幕墙、反光地砖等镜面反射导致的强光眩晕；
- 人工白昼：夜间照明过度使环境如白昼般明亮，干扰自然节律；
- 彩光污染：娱乐场所强光束、广告灯等产生的杂乱光谱刺激。

国际照明委员会（CIE）将光健康划分为E1-E4四类区域并制定对应标准，其中低亮度E2区熄灯后窗面垂直照度需控制在1lx以内，而高亮度E4区则允许更高阈值，体现了光污染治理的相对性原则。

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

### 1.2 光健康与公共健康：多维影响的科学解析

#### 1.2.1 视觉健康的直接关联

光健康是视觉功能得以实现的基本条件，其质量直接关系到人群的视觉健康水平。充足的自然光既有助于眼部发育，也被证实能够有效降低儿童近视的发生率；相反，如果长期处于强烈、闪烁或光谱失衡的光照环境中，则会明显增加视觉疲劳、干眼症及视网膜损伤等风险。

针对不同使用场景进行光照优化，已被证明能够发挥显著的防护效果。例如，在校园照明方案中将色温控制在约 4500–5000K，通过抑制蓝光峰值和减少眩光，可降低 30% 以上的视觉疲劳，从而有效减少近视的发生。此外，若夜间过度暴露于人工光源的高蓝光成分，还会直接损害视网膜感光细胞，成为现代人视力下降的重要原因之一。

#### 1.2.2 生理节律的调控核心

人体生物钟的稳定运行高度依赖于光健康的节律信号。自然光通过视网膜光敏细胞将信息传递至下丘脑视交叉上核（SCN），从而精准调控褪黑激素与皮质醇的分泌节律：白天强光抑制褪黑激素分泌，使人保持清醒；夜晚暗光则促进其释放，帮助身体进入睡眠状态。

当光健康节律被打乱时，生理系统会出现连锁反应。夜间“人工白昼”会导致褪黑激素分泌减少，引发入睡困难、睡眠浅等障碍；而长期倒班者由于光照节律错位，更容易出现内分泌紊乱，增加糖尿病与心血管疾病的风险。针对特殊人群的光照干预已被证实具有积极效果，例如在养老环境中，睡前一小时逐步调低照度并转向暖色光，可有效促进褪黑激素分泌，改善老年人的睡眠质量。

#### 1.2.3 心理健康的隐形支撑

光照强度与光谱特性直接影响情绪调节与心理状态。研究表明，中等强度的自然光暴露可促进血清素合成，显著降低抑郁情绪风险；而长期缺乏光照则容易诱发季节性情感障碍（SAD）等心理问题。

光健康对心理的影响具有明显的场景特异性。在办公空间中，适宜的光照可提升注意力与工作效率；在医疗环境中，柔和的自然光有助于缓解患者的焦虑与紧张；而杂乱的彩光污染或过度昏暗的空间，则可能引发烦躁、恐惧等负面情绪。此外，光照对认知功能也具有促进作用——在自然光健康下，学习与记忆的表现普遍优于人工光条件。

### 1.3 光健康与生态环境：自然平衡的重要维系

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

### 1.3.1 生物多样性的潜在威胁

光健康的自然节律是生物进化长期形成的生存参照，人工光的介入打破了这一平衡，对生物多样性产生系统性影响。夜行性动物如蝙蝠、猫头鹰等，其捕食与导航高度依赖黑暗环境，强光照射会使其活动轨迹紊乱，造成觅食困难甚至死亡；而趋光性昆虫被人工光源吸引，不仅干扰繁殖行为，还导致种群数量锐减，进而破坏生态食物链的底层结构。

植物生长同样受光健康调控。过量夜间照明会抑制花芽分化、改变开花时间，扰乱植物与传粉昆虫的协同关系。据世界自然基金会（WWF）观察，城市光污染区域的生物物种数量较自然区域减少30%以上，部分夜行性物种甚至出现局部灭绝现象。

### 1.3.2 生态系统的平衡枢纽

光健康通过调控生产者、消费者和分解者的交互关系，维系生态系统的物质循环与能量流动。在水域生态系统中，夜间灯光会吸引浮游生物聚集，改变鱼类的捕食节律，进而影响整个水体的生态平衡；在农田生态系统中，不合理的夜间照明会干扰害虫天敌的活动规律，导致病虫害防控失衡，破坏农业生态系统的自然调节机制。

光健康的扰动还会引发连锁反应：昆虫数量减少导致植物传粉效率下降，进而影响果实产量；夜行性动物数量减少则使啮齿类过度繁殖，加剧植被破坏与疾病传播，最终形成生态系统的恶性循环。

### 1.3.3 天文观测的制约因素

天空光污染已成为天文观测的主要障碍。城市灯光通过大气散射提高夜空背景亮度，使望远镜可检测的最暗天体极限显著下降。大气辉光与人工天光的叠加，使原本清晰的星空变得模糊，甚至在城市周边地区完全无法进行深空观测。

为保护天文观测资源，国际黑暗天空协会（IDA）已推动建立多个“黑暗天空保护区”，通过严格限制周边光健康亮度与光谱，维持夜间自然黑暗状态。我国西藏、青海等地的天文观测基地也将光污染防治纳入区域发展规划，成为平衡科技进步与生态保护的典型案例。

## 1.4 光健康与人居品质：宜居城市的核心维度

### 1.4.1 城市美学的视觉表达

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

光健康是城市空间美学的重要组成部分，通过光影塑造赋予建筑与景观独特的夜间形态。优秀的照明设计可凸显建筑轮廓与文化内涵，如故宫夜间照明采用暖色调低亮度光源，既展现古建筑韵味，又避免强光破坏历史氛围；外滩景观照明则通过光谱层次变化，勾勒出黄浦江畔的都市天际线。

光健康的美学价值更在于自然与人工的协调统一——白天依托自然光与建筑材质互动形成动态光影，夜间通过适度照明延续空间叙事，避免过度亮化造成的视觉疲劳。这种“昼夜共生”的光影设计，已成为现代城市美学的重要评价标准之一。

### 1.4.2 夜间活力的激发引擎

高品质光健康是夜间经济的重要支撑，可通过延长活动时间、拓展空间维度，激活商业、文旅等多元场景。城市商圈的分层照明设计能有效引导人流并营造消费氛围；特色街区的主题灯光打造差异化夜游体验，如西安大唐不夜城的沉浸式照明场景，带动夜间客流与消费双增长。

光健康对夜间活力的激发具有普惠效应。社区广场的适度照明为居民提供休闲空间；步行道的连续光照鼓励夜间出行，既促进身心健康，又增强邻里互动，形成多层次、可持续的城市夜间活力网络。

### 1.4.3 安全感与舒适度的基本保障

光健康是人居安全的首要感知要素，科学的照明配置可显著降低夜间安全风险。城市道路照明通过均匀亮度分布消除视觉盲区，减少交通事故；社区照明采用防眩光设计，在确保照度的同时减少光线刺激，实现安全与舒适的平衡。

舒适度的提升依赖光健康的精细化设计。居家场景中，可根据活动需求调节光照强度与色温——阅读宜用400-500的中性光，休息则适合100以下的暖光。公共空间则通过控制亮度对比、优化光谱组成，让不同年龄群体都能获得舒适体验，体现人居环境的包容性与人性化。

## 1.5 光健康与可持续发展：绿色转型的关键抓手

### 1.5.1 能源消耗的重要切口

照明能耗在全球能源结构中占比显著，光健康优化可带来可观节能效益。传统白炽灯光效仅10-15lm/W，而现代LED光源可达150lm/W以上，同等照度下能耗降低80%以上。我国作为照明用电大国，通过推广LED照明与节能技术，每年可减少数十亿度电。

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

智能调控技术进一步提高了能源利用效率。通过人体感应、光感联动等实现“人来灯亮、人走灯灭”的动态控制；商业建筑采用分区照明，根据功能需求匹配光强，避免能源浪费。在办公、酒店等场景通过智能照明系统实现30%-50%的节能效果。

### 1.5.2 碳排放的有效控制

照明领域的碳排放主要来自电力生产环节，因此节能照明技术的推广能够直接减少温室气体排放。测算显示，每替代1000万只白炽灯为LED灯，每年可减少约160万吨二氧化碳。在“双碳”目标推动下，光健康的低碳化改造正成为行业减排的关键路径，低碳理念也逐渐贯穿光健康建设的全生命周期——从生产环节减少高耗能材料使用，到应用阶段降低能耗，再到报废阶段推进资源循环利用，形成完整的低碳链条。

### 1.5.3 资源利用的优化路径

光健康的可持续发展更体现在资源利用效率的提升。传统荧光灯含汞等有害物质，废弃后易造成土壤与水体污染；而LED光源不含重金属，寿命可达5-10万小时，是传统光源的5-10倍，大幅降低更换频率与资源消耗。

资源循环利用体系正逐步完善：照明产品采用模块化设计，便于零部件更换与回收；废旧LED灯具通过专项渠道实现金属与塑料的再生利用。此外，通过采光天窗、导光管等技术提升自然光利用率，可使室内日间采光效率提高至80%以上，从源头减少电力依赖。

## 1.6 光健康的中国足迹：从理念萌芽到全场景深耕的演进之路

中国光健康的发展历程，是一场“理念觉醒 — 技术攻坚 — 标准护航 — 全场景落地”的持续进阶。从最初打破“照明 = 照亮”的传统认知，到如今形成技术自主、标准完善、场景全覆盖的产业生态，每一步都紧扣民生需求与国家战略，走出了一条兼具创新活力与民生温度的特色发展道路。

### 1.6.1 理念萌芽期（2000年-2013年）

这一阶段的核心是“光健康”概念的首次提出与普及，行业开始从基础照明向健康需求探索，聚焦视觉疲劳缓解与用眼健康保护。2005年，率先有企业提出“光健康”概念，通过发起“健康用光”全国巡回义诊活动，深入社区与校园普及科学选灯、合理布光知识，让健康照明理念走进大众视野。2006年，三雄极光与上海同济大学深度合作，开展“中小学生视力健康与教室光照环境优化”专项研究，针对性输出照明改善方案，为后续场景化应用奠定基础。同期照明相关企业开始设立国际标准化照明研发

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

中心，启动无蓝光危害、无可视频闪等核心技术研究，将光健康从理念层面推向技术探索阶段。这一时期的实践虽以单点突破为主，但成功唤醒了产业界与公众对光健康的关注，为后续规模化发展筑牢认知根基。

### 1.6.2 技术发展期（2014年-2018年）

随着LED技术普及与健康需求升级，光健康上升为行业核心发展趋势，研究从单纯视觉健康延伸至光生物效应，企业与行业组织共同推动产业系统性发展。行业层面，2014年中国国际半导体照明论坛（SSLCHINA）明确健康照明为行业新纪元核心方向；2017年论坛聚焦“光品质及健康照明”发布多项研究成果，同年国家重点研发计划“战略性先进电子材料”专项启动，围绕光生物机理、健康光品质指标、医用照明示范等课题开展攻坚，为技术发展提供国家级科研支撑。

企业层面，佛山照明等企业，提出“健康照明”与“智能照明”双轮驱动战略，组建专项研发团队深耕健康光谱技术；部分头部企业启动动态全光谱技术研发，推出适配办公、教育等场景的健康照明方案，同时通过组建专业平台、开展公益性技术交流会，系统性普及光健康知识与设计理念，推动行业整体认知提升。

### 1.6.3 标准探索期（2019年-2023年）

光健康相关标准体系逐步构建，技术研发与专利布局加速，智慧化与健康化融合成为显著趋势，行业发展从“野蛮生长”迈向“规范有序”。

行业组织持续发力，2019年中国照明学会举办“中国健康照明论坛”，发布研究成果与行业发展指南；2021年上海浦东智能照明联合会推出《家居照明光健康规范》，明确健康照明系统的设计、性能及检测指标，为家居场景健康照明提供统一标准。多家企业联合参编《学校教室LED照明技术规范》《健康照明好用集成式LED灯性能要求》等多项标准，发布《2022中国教育照明行业白皮书》，推出“9+3”教室照明解决方案（9主灯+3黑板灯），强化教育光健康领域举措。

### 1.6.4 成熟深化期（2024年-至今）

光健康技术实现全场景解决方案升级，聚焦自然节律模拟与个性化健康需求，形成覆盖家居、教育、康养、医疗等多领域的产业生态，迈入高质量发展新阶段。

标准体系进一步完善，2024年《节律照明灯具性能要求》《健康照明设计标准》《家庭教育场景健康光环境技术规范》等相继发布实施，构建起全场景、多层次的标准框架，为行业发展提供指引。企业

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

加速全场景布局，部分领军企业提出光健康2.0概念，发布全屋光健康系统，同时持续拓展光健康在康养、医疗等领域的应用；昕诺飞等企业开始推出适老化健康照明解决方案，集成AI跌倒监测、健康数据分析功能，精准匹配银发群体需求；推动光健康从单一产品供给向系统化解解决方案升级。

### 1.7 “十五五”规划中，“健康中国”与“美丽中国”战略下的光健康目标解析

#### 1.7.1 “健康中国”战略中的光健康定位

《“健康中国2030”规划纲要》提出“营造健康支持性环境”，光健康作为人居环境的重要组成部分，其健康化转型成为关键方向。光健康目标主要集中在三方面：

一是视觉健康保障。重点推进校园与家庭照明改造，制定教室照明标准（色温3300–5500K、眩光值 $\leq 19$ 、蓝光危害等级RG0），力争到2030年实现全国中小学健康照明全覆盖；并推广低蓝光、全光谱等家庭健康照明产品。

二是生理节律维护。构建符合人体生物钟规律的光健康体系。在医疗领域，推动病房采用动态节律照明以辅助康复与睡眠改善；在养老机构，建立适老化照明标准，为认知障碍老人设置空间识别光色系统，降低意外风险。

三是公共健康促进。将光健康优化纳入健康城市评价体系，在社区、公园等场所配置节律照明设施，鼓励居民户外活动；在办公场所推广智能调光系统，根据时段自动调节光照参数，提升工作效率与心理健康水平。

#### 1.7.2 “美丽中国”战略中的光健康要求

“美丽中国”战略强调人与自然的和谐共生，光健康建设需兼顾生态保护与景观提升。

一是构建生态友好型光健康。严格执行光污染防治法规，如上海已将光污染治理纳入环保条例；在自然保护区、湿地公园等地划定暗夜保护带，执行E1区标准，禁止强光干扰；城市周边实施“减光计划”，降低天空光污染。

二是推动城乡光健康美学升级。城市照明应结合历史文脉与建筑风格，避免“千城一面”的亮化；乡村照明则以“宜居照明”为目标，兼顾夜间安全与自然夜空保护，助力乡村振兴。

三是加快绿色低碳照明体系建设。推广高效节能与智能控制技术，力争2025年前实现城镇公共照明LED化率100%；建立照明产品碳足迹核算标准，推动行业向全生命周期低碳化转型，助力实现“碳达峰、碳中和”目标。

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

### 1.7.3 双战略协同下的光健康发展路径

“健康中国”与“美丽中国”战略的协同推进，要求光健康建设实现健康性、生态性与宜居性的统一。在政策层面，应完善光健康标准体系，将健康与生态指标纳入照明设计规范；在技术层面，加强动态全光谱与智能调控等核心技术研发，实现“按需照明”；在实践层面，推动多家企业的“全屋光健康”“校园健康照明”等示范项目落地，形成可复制的经验模式。

最终目标是构建“以人为本、尊重自然”的光健康体系——既满足人类视觉健康与生理节律需求，又保护生态平衡与暗夜资源，成为实现全民健康与环境优美的关键支撑。

## 2 光健康与健康中国

### 2.1 不良光健康的主要健康风险

不良光健康通过干扰视觉感知、生理节律与心理状态，对公共健康构成多维度威胁。其危害具有普遍性与累积性，已成为“健康中国”战略实施中亟需应对的环境健康问题之一。

#### 2.1.1 视觉健康：从即时不适到长期损伤

光健康质量是视觉健康的关键影响因素，尤其对处于视觉发育关键期的儿童青少年影响显著。

- **近视防控压力加剧：**长期处于照度不足（低于 300lx）或照度分布不均（桌面照度差超过 200lx）的环境，会导致睫状肌持续紧张，显著增加近视风险。数据显示，我国儿童青少年近视率已超过 50%，其中不良教室光健康是主要诱因之一。
- **眩光带来即时危害：**强光直射（如窗外阳光未经遮挡）或高亮度对比（屏幕与环境光差距过大）会引发眩光，造成短暂视力下降与视觉模糊，不仅影响学习与工作效率，还可能诱发交通等安全事故。
- **视觉疲劳与慢性损伤：**频闪光源（如老旧荧光灯）或光谱不平衡（如劣质 LED 蓝光过强）会加速视觉疲劳，长期暴露可导致干眼症、视网膜感光细胞损伤，甚至增加年龄相关性黄斑变性的风险。

#### 2.1.2 生理节律干扰：打破人体“生物钟”平衡

夜间过量或不当光照会抑制褪黑素分泌，破坏由下丘脑视交叉上核（SCN）调控的生理节律，引发生理系统紊乱。

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

- **睡眠质量下降：**当夜间环境亮度超过 50lx，褪黑素分泌明显受抑制，导致入睡困难、睡眠浅、多梦等问题。长期睡眠不足会进一步引发高血压、糖尿病等慢性疾病，形成“光干扰—睡眠差—疾病多”的恶性循环。
- **内分泌系统紊乱：**节律失衡会干扰甲状腺激素、皮质醇等激素分泌节律，女性易出现月经不调，男性则可能面临睾酮下降等问题，甚至增加乳腺增生、前列腺增生等疾病风险。
- **免疫功能削弱：**褪黑素除调控睡眠外，还能增强免疫细胞活性。夜间光暴露引起的褪黑素不足，会降低机体抵抗力，使感冒、流感等感染性疾病发病率上升约 30%。

### 2.1.3 心理健康影响：从情绪波动到认知障碍

光的亮度、色温与光谱特性会通过视觉神经作用于大脑情绪与认知区域，对心理健康产生深远影响。

- **情绪调节失衡：**长期处于低亮度、冷色温（高于 6500K）环境中，会减少血清素分泌，导致焦虑、烦躁、低落等负面情绪，增加轻度抑郁风险。
- **认知功能下降：**光照不足会降低大脑前额叶皮层活跃度，造成注意力下降、记忆力减退与反应迟缓。研究显示，在自然光充足的办公室中，员工认知效率比人工光健康下高出 20%以上。
- **季节性情感障碍（SAD）高发：**冬季光照时间缩短、强度减弱，部分人群会出现情绪低落、兴趣缺乏、精力不足等症状，需通过光疗补充特定光谱照明进行干预。

**应用案例：**光疗作为一种基于特定波段、照度与照射时长的物理干预技术，已在临床实践中广泛应用于抑郁症、精神错乱、痴呆等多类神经系统障碍的治疗，并常作为药物方案的有效辅助手段。研究显示，科学的光照干预不仅有助于优化视觉输入、稳定昼夜节律系统，还具备起效快、副作用小、操作简便、经济安全且无创的特点，为医疗健康领域提供了重要的非药物解决路径。基于对光疗机制的深入研究，CAF Lighting 蔚蓝灯采用声光耦合技术，通过同步声光刺激协同作用于松果体、上丘脑、纹状体等脑部关键区域，有效调节生物节律并减轻压力事件引发的神经系统负荷。目前该产品已在广州番禺中心医院等多家医疗机构部署并投入临床使用，为光疗技术在实际医疗场景中的验证和推广提供了典型示范。

## 2.2 特定人群与场所的光健康需求

不同人群与场景的生理特征和行为模式差异显著，光健康设计需精准匹配人群与功能需求。这是“健康中国”战略在光健康领域落地的核心路径。

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

### 2.2.1 学校（教室）光健康：儿童青少年近视防控核心阵地

教室光健康直接关系到儿童青少年的视觉发育与学习状态，核心目标在于近视防控与学习效率提升。

- **基础参数达标：**根据《中小学校教室采光和照明卫生标准》（GB 7793-2010），教室桌面平均照度 $\geq 300lx$ 、均匀度 $\geq 0.7$ ；黑板平均照度 $\geq 500lx$ 、均匀度 $\geq 0.8$ ；色温 3300K - 5500K，蓝光危害等级 RG0（无危害）。
- **动态适配场景：**早读宜模拟晨光（约 4500K）以提升注意力；午休阶段则降低亮度至 100 以下营造放松氛围。通过动态调光方案，能显著降低视觉疲劳。
- **减少环境干扰：**通过百叶窗或防眩光灯具避免窗外直射；灯具频闪深度控制在 $\leq 3.2\%$ ，防止视觉不适。

### 2.2.2 工作场所（办公室、工厂）光健康：效率、舒适度与职业健康统一

工作场所光健康应在提高工作效率与维护职业健康之间取得平衡。

- **办公室：**一般照度 300 - 500，色温 4000K - 5000K，确保均匀照明与低眩光；会议室可依据用途调节，讨论时约 300，播放演示时降至 150。
- **工厂：**精密车间需 $\geq 500$  照度，显色性高，保障操作精度；高温高湿环境需防尘防水灯具；流水线照明应保持均匀，防止明暗交替引发疲劳。
- **智能调节：**利用光感与人体感应系统实现“人来灯亮、人走灯灭”，兼顾节能与光健康。

### 2.2.3 医疗机构光健康：辅助治疗、加速康复与保障福祉

医疗机构光健康需兼顾患者、医护人员与探视者需求，以促进康复与保障安全为核心。

- **病房照明：**白天照度 200 - 300、色温约 4000K，维持清醒；夜间降至 50 以下并采用暖光（2700K - 3000K），有助于褪黑素分泌与睡眠。ICU 需具备可调光功能，灵活适应病情需求。
- **诊疗区域：**手术室照度 $\geq 1000$ 、显色指数 $\geq 90$ ，确保视觉精度；检验区可按项目强化特定波段光谱，如血液检测增强红光。
- **人文设计：**儿科病房采用柔和暖光与卡通灯具缓解焦虑；心理治疗室可通过光色调节辅助情绪疗法。

### 2.2.4 居住空间光健康：全生命周期的健康保障

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

居住空间光健康应覆盖儿童、成年人与老年人，满足各阶段的健康与舒适需求。

- **儿童房：**0 - 3 岁婴幼儿应避免强光直射，照度 100 - 200lx、色温 3000K - 4000K；学习区照度  $\geq 300lx$ ，使用全光谱灯具减少近视风险。
- **成年人空间：**客厅照度 200 - 300、色温约 4000K，营造舒适氛围；书房  $\geq 400$ 、无眩光；卧室夜间  $\leq 50$ 、低蓝光，有助睡眠。
- **老年人空间：**走廊与卫生间照度  $\geq 200$ ，并配防眩光灯具；卧室装设自动感应夜灯（ $\leq 30$ ），确保安全；因老年人色觉下降，宜采用约 4500K 的中性光。

### 2.2.5 夜间工作者与轮班制人员的光健康保护

夜班工作者因光照节律错位而承受更高健康风险，需专项干预。

- **工作时段：**使用高显色指数（ $\geq 80$ ）、色温 4500K - 5000K 的全光谱光源，模拟自然光维持清醒。
- **休息时段：**使用遮光率  $\geq 95\%$  的窗帘营造深度黑暗环境；睡前 1 小时逐步调低照度至 50 以下、色温约 2700K。
- **辅助干预：**可通过节律光眼镜或定时光照设备帮助重置生物钟，减轻节律紊乱带来的健康风险。

### 2.3 健康光健康的设计原则

健康光健康的设计应以人的视觉感知和非视觉生物效应为核心，综合运用多学科知识与先进技术手段，旨在实现一个“安全、健康、舒适且可持续”的光健康，为“健康中国2030”等国家战略提供坚实的落地支撑。

#### 2.3.1 基于人体生物节律的动态照明：跟随生物钟“按需调光”

动态照明的核心在于模拟自然光的光谱、色温和照度的动态变化，从而精准调控人体内褪黑素等激素的分泌，使室内人工光健康与人体的生理节律“按需”保持同步。

设计逻辑与生理效应：

- **清晨（如 7:00-9:00）：**采用高照度、高色温（例如： $\geq 500lx$ ，5000K - 6500K）的“唤醒光”。这种光线富含蓝光成分，能有效抑制褪黑素的分泌，快速唤醒身体，提升警觉度和活力。
- **日间（如 9:00-17:00）：**维持中高照度、中性色温（例如：400 - 500lx，4500K - 5000K）的“专注光”。这有助于维持较高的认知能力和工作效率，同时避免过度兴奋。

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

- **傍晚（如 17:00-22:00）**：逐步降低照度和色温（例如：降至 200 - 300lx，色温 3000K - 3500K）的“放松光”。光线变得柔和温暖，为身体进入休息状态做准备。
- **夜间（如 22:00 后）**：采用低照度、低色温（例如：照度 $\leq$ 50lx，色温 $\leq$ 3000K）的“助眠光”。这种光线应严格控制蓝光含量，避免干扰褪黑素的正常分泌，从而保障高质量的睡眠。

### 2.3.2 健康光谱：让光“更接近自然”

健康光谱并非指某种单一、固定的光谱形态，而是一个以人为本、可动态调整、旨在同时满足视觉健康与生理节律需求的综合性光谱解决方案。其核心特质主要体现在三个方面：

#### 1. 完整性与真实性：视觉体验的基础

健康光谱应在光谱构成上最大程度模拟高品质自然光，呈现连续、平滑、无有害尖峰或缺失波段的完整可见光（380 - 780nm）。这种“类自然光”特性使光源能够真实还原物体色彩（显色指数通常要求  $R_a \geq 97$ ），并因其接近人类长期适应的自然光健康，显著提升视觉舒适度，有效缓解视觉疲劳。

#### 2. 安全性与低风险：健康保护的底线

健康光谱需确保对人眼友好，严格避免光生物危害，主要通过以下两方面实现：

- **控制有害蓝光**：通过光谱管理技术，将高能短波蓝光（HEV，尤其是 415 - 455nm）峰值控制在国际安全阈值以下，降低对视网膜的潜在损伤。
- **补充有益红光**：增强 650 - 780nm 红光能量，以平衡光谱并提升光品质。研究指出，适度的红光不仅有助于改善视觉感受，还可能对眼部细胞具有保护和修复作用。然而主流 LED 光源的红光能量普遍偏低，因此合理补充尤为必要。

#### 3. 动态节律性：智慧调控的核心

健康光谱并非静态不变，而是可根据时间、空间场景及用户生理状态动态调整其光谱成分。它遵循人体生物钟规律：白天适度增强具提升警觉性的蓝绿光，夜间则显著弱化，以实现生理节律的精准、无感调节。

健康光谱的本质在于：以安全、真实、平衡的“类自然光光谱”为基础，叠加与人体生物节律同步的“动态节律算法”，最终形成一个既能提供高质量视觉体验，又能主动守护人体节律、持续自适应的智慧光健康。其目标，是让室内人工光从传统的照明工具跃升为服务整体健康的“光维生素”。

### 2.3.3 基础保障：适度的照度与均匀度控制

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

在构建先进光谱技术与节律调控体系之前，必须优先夯实光健康的两项基础物理指标：照度与均匀度。这不仅包括传统关注的水平照度与其均匀度，也应系统性地引入对人眼感光 and 空间立面感知至关重要的垂直照度。上述指标共同构成健康光健康的安全底座，是保障视觉舒适度、任务效率及节律健康的前提条件。

### 1. 水平照度：确保任务平面的基础功能性

水平照度是光健康设计的核心基础，用于保障地面、桌面等任务平面的视觉功能得以正常实现。

- **按需设定标准：**不同场景应采用差异化的照度配置。例如，卧室等休憩空间宜采用较低照度（ $\leq 75$ ）；客厅等日常生活空间应维持在 200 - 300；而厨房操作台、书房等需要精细操作的区域，则需提供 $\geq 500lx$ 的重点照明，以确保视觉效率与安全。
- **注重个体差异：**根据国际照明工程学会（IES）研究，老年人因晶状体老化对光的透射率下降，其照度需求通常较年轻人高 30% - 50%甚至更多；相反，婴幼儿视觉系统尚未成熟，应避免强光直射，营造柔和均衡的光健康。

### 2. 垂直照度：构建有效沟通与节律调节的关键输入

垂直照度，尤其是人眼高度的垂直照度，是影响空间识别、面部表情辨识及非视觉作用的重要参数。

- **支撑沟通效率与节律健康：**在办公室、教室、会议室等以交流为主的场所，充足的垂直照度可确保面部表情清晰可辨，提升沟通质量。同时，依据 CIES 026 标准体系，调节人体生物节律的“黑视素等效日光照度（Melanopic EDI）”正是基于眼部垂直照度计算。这意味着，欲实现有效的节律调控，必须确保人眼接收到足够强度的节律有效光。
- **设计要求：**在办公与学习环境中，建议人眼高度（坐姿约 1.2 米）垂直照度不低于平均水平照度的  $1/3 \sim 1/2$ ，通常应达到 150 以上，以兼顾面部识别与生理刺激效果。

### 3. 均匀度管理：塑造稳定、连续的视觉体验

均匀度反映了空间内照度分布的平衡性，是影响视觉舒适度、空间连续性与行走安全的重要指标。

- **避免明暗突变：**核心工作区的水平照度均匀度应不低于 0.7，同时应关注垂直照度的均匀性，减少人脸阴影及空间明暗反差。
- **提升通行安全：**在走廊、楼梯等过渡区域，应通过合理的灯具布置消除地面不连续的“光斑”或阴影，避免因视觉误判导致的绊倒或踏空风险。

### 4. 标准遵循与智能化动态调节

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

所有照明设计应严格符合《建筑照明设计标准》（GB 50034）等国家规范，并参考 CIE 等国际组织的最新研究成果。基于智能照明系统的日光追踪技术，可根据自然光变化动态调整人工照明输出，实现水平照度与垂直照度的协同达标，同时最大化节能效益。

### 2.3.4 有效的眩光控制策略：让光线“柔和不刺眼”

眩光控制是光健康建设的关键环节，需要从光源端、传播路径以及视觉接收端三个维度进行系统化治理。

- **源头控制方面：**应优先采用深腔、防眩格栅或磨砂扩散等结构的专业防眩灯具，确保 UGR 值在办公室、教室等场景不高于 19，卧室不高于 16。同时避免裸灯及任何形式的直射光源。
- **传播路径优化方面：**需通过合理布置灯具高度、角度和光路走向来削弱直射光。课堂场景中灯具距桌面应保持 $\geq 1.7\text{m}$ ；办公室照明设备应与显示屏保持约  $90^\circ$  夹角；并通过百叶、窗帘等方式调控自然光眩光。
- **接收端适配方面：**需控制视觉目标与周围环境的亮度比不超过 3:1，以降低视觉调节负荷，并通过调整视线角度避免进入直射光路径。医院手术室采用多光源无影灯技术、隧道采用渐变亮度抑制黑洞效应，均是典型的有效眩光治理实践。

#### 案例一：学校教室——全方位视觉健康光健康

**理论依据与原理过程：**学生长时间在教室中进行阅读、书写和看黑板等视觉作业，不良眩光会直接导致视觉疲劳、注意力分散，甚至诱发近视。我们通过系统性的眩光控制，打造符合视觉工效学的健康光健康。

**产品方案：**采用  $\text{UGR} \leq 19$  的专业教室灯具，配备微棱晶防眩板和侧翼式遮光结构。这种设计将 LED 光源深藏于腔体内，通过光学材料将直射光转化为柔和的漫反射光，从物理上杜绝了直接眩光。同时，选用 Rg0 无蓝光危害等级的光源，从光谱源头减少对视网膜的潜在刺激。

**照明设计解决方案：**严格依据《建筑照明设计标准（GB/T 50034）》，将灯具垂直距桌面的高度控制在 2 米以上，确保大部分视线位于灯具的遮光角内。黑板区域采用非对称配光专用灯具，其光斑精准覆盖黑板，且在教师站立位置（通常与黑板成  $50\text{--}60^\circ$  角）的 UGR 值可进一步降至 16 以下，彻底消除黑板反光。

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

**场景控制方案：**通过智能调光系统，维持桌面照度均匀度 $\geq 0.7$ ，确保书本与周围环境的亮度对比度远低于3:1，避免了眼睛在明暗区域间频繁调节所带来的负担。靠近窗户一侧配备可调百叶帘，有效抑制日光在课桌表面产生的高光反射。

**有效性：**在一所重点中学的对比教室项目中，采用该方案后，学生问卷调查显示视觉疲劳感下降超30%。经第三方机构检测，该教室在所有关键位点的UGR实测值均稳定在16-18之间，远超国家标准，为近视防控提供了有力的光健康支持。

### 案例二：室内篮球馆——动态场景下的无眩光保障

**理论依据与原理过程：**体育场馆空间高、照度要求高，极易产生严重眩光，影响运动员对高速运动物体（如篮球）的轨迹判断和空间定位。

**产品方案：**选用大功率深腔防眩投光灯，灯具均配备蝙蝠翼形配光曲线的光学透镜和蜂窝状格栅。蝙蝠翼配光能使光线均匀铺开，避免在场地中心形成过亮的光斑；蜂窝格栅则能将垂直方向的强光有效切割，确保运动员即使在跳起投篮的瞬间，视线内也无可见的直射光源。

**照明设计解决方案：**根据场馆高度与场地范围，通过专业的照明设计软件进行眩光分析计算（如CIE 112 GlareRating），精确确定灯具的安装位置、投射角度与瞄准点。确保光线主要覆盖在比赛区域，并严格避开运动员和观众的常规视线方向。

**场景控制方案：**通过精确的配光控制，保证球场地面亮度均匀度 $\geq 0.6$ ，这意味着运动员在快速移动和转头时，眼睛所接收到的亮度变化平缓，无需进行剧烈的瞳孔调节，从而保持视觉的持续清晰与舒适。

**有效性：**在某市体育馆项目中，改造后经现场实测，运动员主视角区域的UGR值成功控制在22以内（满足国际篮联FIBA对高清转播的严格要求），相较于旧系统（ $UGR > 28$ ），眩光值显著降低。运动员反馈“空中传球轨迹更清晰，视觉压迫感消失”，有力证明了该策略在动态高空间下的有效性。

### 案例三：医院治疗室与病房——营造康复性光健康

**理论依据与原理过程：**患者，尤其是卧床病人，视觉处于被动接收状态，对眩光极为敏感。柔和、无干扰的光健康对心理安抚和生理节律恢复至关重要。

**产品方案（治疗室）：**借鉴“无影灯”的多光源分布式照明原理。通过在天花板布置多个低亮度、大发光面的LED平板灯，使光线从不同角度交叉照射到治疗区域。单个光源的亮度被降至最低，从而在根本上消除了由单一集中光源产生的明显阴影和反射眩光，为医生提供均匀、真实的视觉画面。

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

**照明设计解决方案（病房）：**病房主照明采用间接照明方式，将光线打向天花或墙面再反射至房间，实现“见光不见灯”的效果。每位病床床头设置可360°调节的阅读灯，其遮光角经过特殊设计，确保光线能精准照亮患者书本，而不会干扰邻床或直射患者眼睛。

**场景控制方案：**严格控制夜间地脚灯（ $\leq 1$ ）与病房内正常照明（100-200）之间的亮度梯度，避免夜间查房时强光对患者造成突发的“瞬时眩光”刺激，保障睡眠连续性。

**有效性：**在一家三甲医院的病房光健康改造研究中，通过安装高遮光角床头灯和间接主照明，患者关于“夜间灯光刺眼”的投诉率下降了85%。医护人员也反馈，在治疗室的均匀光线下，血管辨识和组织颜色还原度更高，提升了诊疗的准确性与舒适度。

### 3 光健康与美丽中国

“美丽中国”战略的核心目标是实现人与自然的和谐共生。光健康作为连接生态系统与人类生活的重要纽带，其健康程度不仅影响生态平衡，也决定人居空间的美学品质。当前，光污染导致的生态破坏与景观同质化问题日益突出，但同时也推动了绿色照明技术创新与景观美学转型，为建设可持续、宜居的城市空间提供了新机遇。

#### 3.1 光污染的现状、来源与危害

光污染已成为继大气污染和水污染之后的全球性环境问题。我国城市化进程中“过度亮化”现象普遍存在，对天文观测、生态系统及能源利用造成多重影响。

##### 3.1.1 对天文观测的严重影响：遮蔽星空的“光屏障”

天文观测依赖暗弱的夜空背景，而光污染形成的“人工光穹顶”极大破坏了观测条件。其主要包括三类污染效应：

- **入侵光：**城市照明的散射光进入望远镜观测范围，干扰对暗弱天体信号的捕捉，降低数据信噪比，严重时导致深空天体无法被检测。
- **眩光：**高亮度光源（如广场射灯、高楼轮廓灯）产生的直射眩光，不仅损伤望远镜光学元件，还刺激观测者视觉，影响精度。
- **天空辉光：**城市灯光经大气分子与尘埃散射形成“人造天光”，使夜空亮度显著升高。据统计，一线城市中心夜空亮度已为自然暗空的100 - 1000倍，银河在多数城市已完全消失，仅剩少量亮星可见。

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

目前，我国仅西藏阿里、青海冷湖等地区仍保有适合深空观测的暗空环境，大部分城市周边天文台已因光污染被迫搬迁或缩短观测时段。

### 3.1.2 对野生动植物的生态干扰：打乱自然节律的“隐形推手”

光污染改变了自然光照节律，干扰野生动植物的迁徙、繁殖与觅食行为，尤其对夜行性物种影响显著：

- **迁徙行为紊乱：**夜行性鸟类（如夜鹭、猫头鹰）依赖星光导航，城市强光易使其迷失方向、误撞建筑；海龟幼崽孵化后受路灯吸引，偏离海岸线，致死亡率大增。
- **繁殖周期失衡：**萤火虫等昆虫通过生物发光求偶，城市灯光掩盖其信号，导致交配成功率下降；部分哺乳动物（如蝙蝠）因光照延长繁殖周期，幼崽成活率降低。
- **觅食效率下降：**夜行性捕食者（如蝙蝠、狐狸）在人工光下易暴露位置，降低捕猎成功率；而植食动物（如兔子）因夜间光照延长活动时间，反而增加被捕食风险。

### 3.1.3 对植物生长周期的影响：扭曲生理进程的“异常信号”

植物通过光敏色素感知光照变化，以调节发芽、开花与落叶等生理活动。不当人工光照会破坏这一调控机制：

- **发芽与生长异常：**需暗期发芽的植物（如莴苣、烟草）在夜间光照下发芽率显著降低；部分农作物（如水稻）因夜间照明而延迟成熟，影响产量。
- **开花周期紊乱：**短日照植物（如菊花、大豆）因暗期不足而不开花或延迟；长日照植物（如小麦、萝卜）则可能提前进入生殖生长阶段，影响品质。
- **光合作用失衡：**夜间照明会使气孔持续开放，增加蒸腾耗水与能量消耗，同时扰乱光反应与暗反应平衡，削弱植物生长与抗病能力。

### 3.1.4 能源浪费与碳排放：加剧环境负担的“隐形成本”

过度照明与低效光源的使用不仅浪费能源，也增加碳排放，与“双碳”目标背道而驰：

- **能源浪费严重：**我国城市公共照明耗电量占总耗电量的 6% - 8%，其中约三成属无效照明。例如，某省会城市夜景照明的年耗电量相当于 10 万户家庭全年用电，却未带来相应社会效益。

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

- **碳排放间接增加：**以火电为主的供电结构导致照明用电与二氧化碳排放挂钩，每千瓦时照明电约排放 0.785 千克二氧化碳。若全国减少 10% 过度照明，每年可减排约 2000 万吨，相当于 5.5 亿棵树的固碳量。
- **资源消耗加剧：**白炽灯、老旧荧光灯等低效光源寿命短、含汞铅等污染物，若处理不当会造成二次环境污染。

**实践案例：**以三雄极光为例，公司高度重视气候变化带来的风险与机遇，将应对气候变化纳入企业战略与日常运营管理，并通过持续完善内部管理机制逐步构建系统化的气候变化管理框架，在绿色照明技术研发、节能产品应用和供应链低碳化方面不断深化实践。得益于系统性的低碳管理，三雄极光在2024年度通过使用清洁能源实现了392.33吨二氧化碳当量（tCO<sub>2</sub>e）的减排，充分体现了企业在推动行业低碳转型中的积极行动与实际成效。

### 3.2 不当人工光健康对城市与乡村景观的破坏

人工光原本应提升景观美学与夜间活力，但“重亮度、轻设计”“重商业、轻生态”的照明方式，反而导致城市与乡村景观特色被削弱，人居环境美学与情感认同感下降。

#### 3.2.1 过度照明与景观同质化：失去特色的“千城一面”

部分城市在夜景照明中盲目追求“亮、炫、多”，忽视文化底蕴与地域差异，造成审美疲劳与城市特色丧失：

- **亮度竞赛引发审美疲劳：**高亮度“白昼化”照明覆盖建筑与桥梁，虽夺目但缺乏层次，造成能耗浪费与视觉疲惫。
- **设计趋同、地域消解：**大量城市采用相似的 RGB 动态变色或轮廓灯模式，忽略地域文化与地貌特征，导致“千城一面”。
- **商业照明挤压公共空间：**过密的广告屏与 LED 灯箱亮度超标，不仅干扰行人视觉，还挤占公共照明资源，降低居民夜间体验质量。

#### 3.2.2 破坏历史街区与自然景观的夜间意境：消解文化与自然之美

历史街区与自然景观的美学价值依赖其原生态氛围，不当照明则使其“失真”甚至受损：

- **历史街区的“现代性侵蚀”：**古建筑被高饱和彩灯照亮，违背其古朴氛围，甚至加速木质结构老化。

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

- **自然景观的“人工化失真”**：山林、湖泊等景区过度照明，破坏“静谧与留白”的自然意境，使野生动物受扰、游客体验下降。
- **文化符号的“意义消解”**：寺庙、古塔等文化景观应强调“肃静、庄重”，而频闪、变色照明使其流于表面化与娱乐化，削弱文化传承功能。

### 3.2.3 影响居民夜间休憩与星空情感连接：割裂人与自然的“精神纽带”

夜间休憩与星空体验是人居美学的重要组成部分，但光污染使这种人与自然的情感联系被削弱。

- **休憩环境恶化**：广告灯与广场灯光渗入住宅区，干扰睡眠与生活安宁。
- **星空体验缺失**：光污染使城市居民，尤其青少年，失去观赏银河与星空的机会，削弱对自然与宇宙的感知。
- **心理归属感下降**：城乡夜景“亮化工程”模仿化严重，破坏地方夜间意象，使居民缺乏对家园的文化认同。

## 3.3 构建美丽、和谐、可持续的光健康

针对光污染与景观破坏等问题，应从生态保护、美学升级、技术创新三大维度协同推进，构建符合“美丽中国”战略目标的光健康体系，实现生态效益、美学价值与社会效益的有机统一。

### 3.3.1 暗天空保护区的划定与管理：守护自然暗夜的“生态屏障”

暗天空保护区是保护天文观测资源、维护生态平衡的重要手段，需要通过科学划定与严格管理，保留珍贵的自然暗夜环境。

- **科学划定保护区范围**：应综合考虑天文观测需求、生态敏感度与人类活动强度，将区域划分为核心区、缓冲区与外围区。核心区（如天文观测站周边）须严格禁止一切人工光源，夜空亮度应保持在自然暗空水平；缓冲区允许低强度、低色温照明，并采用防眩光、定向照明设计；外围区则需限制高亮度光源，防止光污染扩散至核心区域。
- **制定专项管理标准**：各地应出台暗天空保护的地方性法规，明确照明设备的亮度、色温、安装高度等技术参数，禁止使用频闪灯、旋转彩灯等干扰性光源。同时应建立光健康监测网络，实时监控保护区内夜空亮度与光污染浓度，对违规照明行为进行处罚与整改。
- **推动公众参与保护**：通过星空摄影展、暗夜讲座等科普活动，提升公众的保护意识；鼓励发展“暗夜旅游”（如观星露营、天文科普体验），让公众在感受暗夜之美的同时，形成“保护一

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

体验一再保护”的良性循环。目前，我国已在西藏阿里、青海冷湖等地建立暗天空保护区，为全国提供了可复制的成功经验。

### 3.3.2 生态友好型照明设计与技术：减少生态干扰的“绿色方案”

生态友好型照明通过“控时、控光、控谱”三项核心策略，在满足人类照明需求的同时，最大限度降低对生态系统的干扰与破坏。

- **精准控时，匹配自然节律：**根据动植物活动规律合理安排照明时段，如夜间 22 点后关闭非必要景观照明，避免干扰夜行性生物；道路照明可采用“午夜降功率”模式，凌晨 2 点后自动降低亮度 50%，既减少光污染，又节约能源。
- **定向控光，防止光扩散：**选用防眩光、窄光束角灯具，将光线精准投射至目标区域（如道路或步道），避免向天空或自然区域溢出。例如，公园可使用地埋灯、低杆灯以减少对树冠上方鸟类的影响；道路照明宜采用“截光型”灯具，防止光线直射农田或林地。
- **光谱控制，适配生态需求：**不同场景应选择低生态干扰的光谱类型。自然保护区宜采用琥珀色低色温光源（2200K - 2700K），减少对昆虫与鸟类的吸引；海洋沿岸区域应避免使用蓝光照明，以免干扰海龟、珊瑚等海洋生物的生理节律。同时推广高效节能 LED 光源，降低能耗的同时减少有害光谱成分（如过量蓝光）。

### 3.3.3 尊重地域文化与自然特色的景观照明规划：塑造独特美学的“个性表达”

景观照明应以“地域文化为魂、自然特色为基”，通过差异化设计展现城市与乡村的独特美学气质，避免“千城一面”的同质化倾向。

- **挖掘文化内涵，打造主题照明：**结合历史文脉与文化符号进行主题设计。如古都历史街区可采用暖黄色光源（模拟传统灯笼效果），突出中式建筑的飞檐与斗拱细节；少数民族地区可融入民族色彩元素与图案符号（如蒙古族蓝、藏族红），展现民族文化特色。应避免过度炫彩与动态变色照明，以“低亮度、重细节”的方式传递文化意境。
- **依托自然地貌，营造原生美学：**自然景观照明应坚持“不破坏自然质感”的原则。如山林区域可采用“月光模拟”技术，以低亮度、宽光束灯具营造柔和月光效果，保持静谧氛围；湖泊河流照明应以局部水下灯为主，仅照亮近岸区域，展现水体的流动之美。
- **区分城乡差异，保留乡村特色：**乡村照明不应照搬城市“亮化工程”，而应以安全、节能、保留暗夜为目标。道路照明宜采用低亮度（ $\leq 50lx$ ）与小间距布灯，满足基本通行需求；公共

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

空间可使用太阳能庭院灯，营造“星光下的乡村”氛围，既保留乡村夜空特色，又助力乡村振兴中的“生态宜居”建设。

**实践案例：**在吉林通化市某红色文化为主题的文旅古建项目中，国内知名企业设计了以汉阳造步枪为灵感的庭院灯，和以冲锋号为原型的壁灯，兼具创新性和独特性。在园区中心的古塔，动态投影当地抗联英雄杨靖宇的形象，借此探寻城市文化底蕴，构筑地域光影叙事。

### 3.3.4 提升夜间公共空间品质与安全性的智慧照明应用：平衡功能与美学的“科技赋能”

智慧照明通过“感知—分析—调控”的智能化流程，实现安全性、美学性与能源效率的协调统一，是未来城市光健康建设的重要方向。

- **动态适配需求，优化照明品质：**结合人体感应与光感传感技术，实现“人来灯亮、人走灯暗”的智能调节。例如，公园步道在有人行走时自动提升至 200lx，无人时降至 50lx，既保证安全，又避免能源浪费；广场照明则可根据人群密度自动调节亮度与色温，人多时采用 4000K 中性光增强活力，人少时转为 3000K 暖光营造舒适氛围。
- **融入景观设计，提升美学层次：**智慧照明系统可通过编程实现灯光与景观的互动。例如，滨水步道的灯光可随水流变化而闪动，形成“灯随水动”的视觉效果；城市地标建筑的照明可依据季节与节日调整光色（如春节使用红光、中秋节使用金黄光），在保持建筑特征的同时增强节庆氛围，避免长期单一光色带来的审美疲劳。
- **数据联动管理，保障运行效率：**借助物联网平台对公共照明系统进行集中管理，实时监控灯具运行状态与能耗数据，及时发现故障并优化运行策略。通过数据分析（如人流高峰、照度需求变化），实现“按需照明”。例如，某城市通过智慧照明系统实现公共照明能耗下降 40%，同时显著提升市民对夜间公共空间的安全感与满意度。

**实践案例：**在2021年-2023年完成的乌鲁木齐天山区智慧路灯项目中，采用了云雀智慧路灯，灯体共配置了八项功能，包括智能降额调光、故障反馈定位、AI监控摄像、智能广播、环境监测、LED屏信息发布、一键报警、充电桩系统等，能够满足道路的多种需求。此外云雀智慧路灯外形简洁，形似云雀羽毛，实现功能与美学的共生共融。

### 4 科技创新与智慧体系

科技创新是破解健康问题、推动“健康中国”与“美丽中国”协同发展的核心驱动力。本章从健康照明、生态友好照明、智慧管理系统及新材料设计四个维度，系统梳理前沿技术如何为光健康优化提供科学与可持续的解决方案。

#### 4.1 健康照明技术：精准匹配人体生理与视觉需求

健康照明技术以人因工程学为理论核心，通过深度优化光谱（SPD）、光照强度、色温等关键光参数，构建与人体生理节律、视觉感知及心理需求高度协同的光健康。其核心目标在于主动规避由不当照明引发的视觉疲劳、生物节律紊乱等潜在健康风险，最终实现提升空间舒适性、优化工作效能与增进人类健康福祉的三重价值。

##### 4.1.1 节律照明：复刻自然光的“生物钟调节器”

传统的节律照明多依赖对自然光色温（CCT）与照度（lx）等视觉参数的经验性模拟，其有效性缺乏可量化的科学依据。现代健康照明的节律调控技术则实现了从“经验模拟”向“科学循证”的技术范式升级。其核心在于将光生物学研究成果转化为可预设、可执行的标准化光配方（LightRecipes），通过对光谱功率分布（SPD）在时间维度上的精准编排，实现对人体非视觉生理效应的可预测、可验证、可量化调节。

这一技术体系的科学基础源于对光生理效应的精确定量评估，采用国际统一的光生理计量标准，对不同光谱的“节律有效剂量”进行系统化表征：

本技术体系的科学性，建立在对光线生理效应的精准量化之上。它采用国际公认的计量标准，以评估和设计不同光谱的“生理效应剂量”。

- **视黑素等效日光照度（m-EDI）**：作为国际照明委员会（CIES026/E:2018）正式定义的核心计量单位，m-EDI 将任意光谱形式的节律刺激效应科学地等效为标准日光（D65）照度值，是全球节律效应研究与应用的统一“金标准”。其建立使不同光源、不同场景的节律效能具备可比性、可量化性和可验证性。
- **视黑素等效照度（EML）**：EML 是 m-EDI 在应用层面的简化表达形式，同样基于内在光敏视网膜神经节细胞（ipRGCs）的光谱敏感度曲线，用于直接量化光线对生理节律调控的“有效剂量”。作为更易部署的指标，EML 在建筑照明、教育照明、医疗照明等应用场景中被广泛采用。

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

- **垂直眼部照度 ( $E_v$ )**：传统照明体系常以水平照度 ( $E_h$ ) 为核心指标，但其对节律调控的参考价值有限。 $E_v$  表征人眼视网膜平面实际接收到的光通量密度，是计算 m-EDI 与 EML 的直接物理输入量，也是所有节律调控策略得以有效实施的工程前提。在健康照明设计中，确保充足、精准且时序合理的  $E_v$  输入，是实现可靠节律调控的基本条件。

### 4.1.1.1 技术实现：预设的“健康光处方”

节律调控技术的实现，本质上是将一系列经过科学计算的“健康光处方”固化为可执行的智能算法。这些算法预先设定了一天 24 小时内，不同时间节点的光谱形态与光输出强度，以确保在典型视距和空间位置下，人眼能够接收到符合节律健康模型的目标光剂量。

- **光谱设计**：在光源设计阶段，通过对芯片与荧光粉的精密调配，创造出具备高“视黑素辐照效率”的光谱。这意味着光源在同等能耗下，能产生更高的 EML 值，使节律调节更高效。
- **算法编程**：将分时段的节律目标（如目标 EML 值或 CS 值）转化为具体的驱动指令，编程写入智能控制模块。控制器根据内置的实时时钟（RTC），自动执行这些预设的光谱与亮度变化序列。
- **场景标定**：针对不同的应用场景（如办公室、教室、病房），预先标定典型空间模型下的光分布。通过照明设计软件（如 DIALux）模拟计算，确保预设的“光配方”能够在目标区域（如工位、病床）的人眼垂直平面（ $E_v$ ）上，产生预期的节律刺激效果。

### 4.1.1.2 标准化光序策略示例

现代健康照明正从传统依赖色温（CCT）与照度（lx）的经验模拟，迈向以光生物学与循证科学为基础的节律调控体系。节律照明的核心，是将光生理研究成果转化为可预设、可执行的光谱配方（Light Recipes），并通过对光谱功率分布（SPD）在时间维度上的动态编排，实现对人体非视觉系统的精准调节。其科学性建立在国际统一的计量框架之上：视黑素等效日光照度（m-EDI）作为 CIES026/E:2018 官方定义的核心指标，将任意光源的节律刺激等效为标准日光 D65 的照度值，是全球节律照明的“金标准”；视黑素等效照度（EML）作为工程简化指标，基于 ipRGCs 的光谱敏感度，可用于快速量化节律有效剂量；而垂直眼部照度（ $E_v$ ）则作为 m-EDI 与 EML 的直接物理输入，是所有节律调控方案有效性的基础。

面向不同场景的节律照明实践已展现显著价值：医院病房通过节律照明帮助患者恢复睡眠-清醒节律、改善术后康复；养老院针对认知障碍老人实施昼夜强化光序，减少昼夜颠倒与情绪波动；轮班制工

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

厂在夜班使用节律光维持警觉性与作业效率；教育场景中，通过“学习效能光序”提升课堂专注力与认知表现，并在午休或课后降低节律刺激促进恢复；家庭与智能住宅则基于成员年龄与作息，在清晨唤醒、日间专注、傍晚放松、夜间助眠中实现个性化节律光照策略，使专业级健康照明无感融入日常生活。

全球行业案例进一步验证了节律照明的可应用性与示范价值：

- 在国外，荷兰 Princess Máxima 儿童肿瘤中心采用自然光与可调白光结合的节律照明（色温 2700 - 6500K），辅以 Active Light Wall，80%的患者与家属反馈睡眠质量与情绪显著改善，并严格对标 DIN SPEC 67600、CIE S 026、WELL v2 等国际标准。
- 在国内，苏州人民医院睡眠治疗中心通过 In.Licht Pro 与 WELL 模块实时监测 m-EDI、CCT、闪烁、CO<sub>2</sub>等指标，并基于 LRS DLMO 模型进行动态光热协同调控，使晨起 m-EDI 稳定在约 320lx、夜间低于 10lx，患者入睡潜伏期缩短 15 - 18%，夜间躁动明显减少。该项目是中国首个将 m-EDI 监测纳入临床睡眠治疗流程的医院示范工程。

以国际计量标准为基础，以光配方为核心，以场景化光序为路径，为医疗、养老、教育、工业与居家环境提供了可量化、可验证、可规模化复制的健康光健康方案，标志着照明技术从“视觉照明”向“节律照明”再向“健康照明”的深层演进。

### 4.1.2 人因照明：基于场景与人群的“个性化定制”

在满足了基础的生理节律需求后，人因照明技术进一步聚焦于特定人群和特定场景下的视觉需求，实现从“通用光”到“专属光”的升维。

不同年龄段的人群，其眼球的生理构造和视觉敏感度存在巨大差异，人因照明系统必须对此做出自适应调整。

**婴幼儿及青少年（0-18 岁）：**此阶段眼球晶状体高度透明，对短波蓝光的透过率极高。空间光系统将严格执行 IEC62471 标准，确保光场蓝光危害等级为 RG0（无风险级）。同时，通过优化光谱连续性（高 CRI、Rf/Rg），提供最接近自然光的照明，保护视网膜健康发育，预防近视。

**中青年（18-60 岁）：**核心需求是视觉舒适与工作效能。系统将重点优化统一眩光值（UGR），在办公、阅读等长时用眼场景下，确保 UGR<19，甚至<16，并消除不可察觉的频闪（符合 IEEEStd1789 高风险区标准），最大限度减少视觉疲劳。

**老年人（60 岁以上）：**提供视觉衰退的功能性补偿与安全保障，随着年龄增长，人眼晶状体逐渐黄化（阻挡更多短波光）且瞳孔调节能力下降，导致进入视网膜的光通量显著减少，形成“生理性光衰”现象。为应对这一挑战，人因照明技术提供以下精准补偿策略：

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

- **补偿性照度支持：**依据国际照明工程学会（IES）等权威机构的研究，系统将为老年人核心活动区域提供比常规标准高出 30%-50%甚至更高的平均照度，以弥补其感光能力的下降。
- **类太阳光光谱应用：**采用最接近自然光的“类太阳光”光谱技术，确保色彩与物体细节的高度辨识度，并因其无限接近人眼亿万年来所适应的光健康，从而提供卓越的视觉舒适度，有效缓解在自然光健康与人工光健康切换时产生的视觉适应与疲劳。
- **强化安全对比度：**在走廊、楼梯、卫生间等关键过渡区域，通过照明设计强化不同界面（如地面与墙面）的亮度对比度，形成清晰的视觉引导，从而有效降低因视觉误判导致的跌倒风险。
- **场景适配：**书房阅读区宜采用 400 - 500lx、4500K 中性光并配防眩设计，减少视觉疲劳；卧室夜间照度 $\leq 50lx$ ，色温 2700K，以促进睡眠；厨房操作区需 $\geq 500lx$ ，并集中照亮切菜与烹饪区域，保障安全。

### 4.1.3 健康光谱：构建视觉与生理双优的“健康基石”

如果将节律调控视为实现生理同步的“动态算法”，那么光谱优化技术便是支撑这一算法运行的“健康硬件”。其核心目标是从光源层面构建一个尽可能接近自然光、同时满足视觉舒适性与生理安全性的健康光谱基础，为整个健康照明体系提供稳定、可靠的底层能力支撑。

#### 4.1.3.1 技术内涵：超越“全光谱”的综合性解决方案

健康光谱并非指某一种固定或静态的光谱形态，而是一套动态、以人为中心、同时满足视觉健康与生理节律需求的综合性光谱解决方案。其核心目标是在人工光源中重建“类自然光”品质，为健康照明体系提供安全、可靠且具节律效力的底层光学基础。

- **高保真性 (High Fidelity)**

通过采用紫光或多路蓝光芯片激发多种荧光粉等先进技术，实现光谱在 380 - 780nm 可见光范围内的连续性与完整性，从而接近自然光的光谱分布。该光谱能够实现 CRI Ra $\geq 97$ 、TM-30-18 的 Rf/Rg 接近 100，提供接近自然光的卓越色彩还原能力，为用户带来真实、舒适的视觉体验。

- **低风险性 (Low Hazard)**

严格遵循 IEC/TR62778 等光生物安全标准，通过优化光谱设计，将高能短波蓝光（415 - 455nm）的峰值能量控制在 RGO（无风险级）阈值内，从源头消除对视网膜可能造成的光化学损伤风险，为长期用光健康提供健康保障。

- **高节律有效性 (High Melanopic Effectiveness)**

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

在确保光生物安全的前提下，通过对蓝绿光波段（460 - 520nm）能量比例的精密调控，提升光源的视黑素辐照效率（Melanopic Efficacy Ratio, MER）。这意味着在相同能耗下，光源能够产生更高的 m-EDI 值，实现更高效、更节能的节律调控能力，使健康照明成为兼具生理有效性与能源效率的系统化解决方案。

### 4.1.3.2 技术价值与应用

光谱优化技术是所有健康照明策略的物理底座，是教育、医疗、文博、人居等不同场景实现健康光健康的前提条件。在教育照明中，它通过构建安全、稳定、无有害蓝光峰值的健康光谱，有助于保护青少年视觉发育与阅读舒适度；在医疗照明中，高保真的全光谱输出能够提升组织颜色的真实呈现，为临床诊断、治疗与护理提供更可靠的视觉条件；在博物馆照明中，它确保艺术品色彩与材质被精准还原，同时避免光致损害；在人居环境中，它全面提升生活空间的视觉品质，使阅读、烹饪、化妆等日常活动更加自然舒适。

在此基础上，健康光谱通过以安全、真实、平衡的“类自然光光谱”作为核心底层光学结构，并叠加与人体生物钟同步的“动态节律算法”，形成既可提供高质量视觉体验、又可主动支持生理节律健康的智慧光健康。其核心目标，是让室内人工光从传统的照明工具，进化为服务人体全生命周期健康的“光维生素”，并推动照明行业从“亮度技术”迈向“健康技术”的系统性升级。

### 4.1.4 无频闪技术：消除视觉残留的“稳定光健康”

频闪（Flicker）是指光源的光通量随时间出现周期性波动的现象，常见于传统电磁镇流器荧光灯及低质量 LED 驱动电源。尽管部分频闪可能不被人眼直接感知，但大量研究表明，长期暴露在低频频闪环境中，会导致视觉疲劳、头痛、注意力下降、眼干涩等视觉不适症状；更严重的情况下，可能诱发光敏性癫痫（Photosensitive Epilepsy），并对儿童的视觉发展与认知功能产生潜在影响。国际权威标准与研究（如 IEEE 1789-2015、CIE S 026/E:2018）已明确指出，低频光波动对人类健康具有实质风险，需要通过工程手段加以严格控制。

**无频闪照明技术**通过采用高频 PWM 调光、恒流驱动架构以及低纹波电源设计，有效抑制光输出波动，实现近乎连续、稳定的光输出，从源头消除潜在的频闪危害。其技术指标包括：

- **闪变指数（PstLM） $\leq 1.0$ ——人眼感知风险极低**

依据 IEC TR 61547-1，当 Pst LM $\leq 1.0$  时，人眼对频闪的可察觉性极低，符合“无明显频闪”健康照明标准。

- **频闪效应可视度 (SVM)  $\leq 0.6$ ——动态行为下无干扰**

依据 IEC TR 62778/CIE S 026/E:2018, SVM $\leq 0.6$  可确保在阅读、书写、显微操作等动态视觉任务中无闪烁干扰,保障视觉连续性与操作精度。

- **频闪百分比 (Flicker Percentage) 符合 IEEE 1789-2015 无危害区间**

遵循 IEEE1789-2015 表 2 所示的低风险波动深度限值,实现“健康级无频闪”,尤其适用于长时间用眼场景。

值得强调的是, Pst LM 与 SVM 构成当前国际最权威的频闪评价双指标体系,远优于传统仅依赖“频闪百分比”的单一指标,能够更全面地反映频闪对人眼感知与生理节律的影响。

**应用价值:** 在学校与办公场景中,可有效减少视觉疲劳与注意力下降问题;在医院手术室与检验科,稳定无频闪的光源可避免因光波动造成的微小视觉误差,为手术操作与检验分析提供可靠的视觉支持。

#### 4.2 生态友好照明技术:减少对自然系统的干扰

生态友好照明以“低生态干扰、高能效利用”为目标,通过精准配光、智能控制与光谱优化,实现人类照明需求与生态保护的平衡。

##### 4.2.1 精准配光:避免光扩散的“定向照明”

精准配光通过优化灯具光学结构,将光线集中投射至目标区域(如路面、人行道),减少光向上或向外泄漏,降低光污染。

**技术手段:** 采用窄光束角( $\leq 30^\circ$ )透镜与截光型灯罩,控制投射角度,防止光线直射天空;道路照明应用“蝙蝠翼”配光曲线,兼顾照度均匀与生态安全;公园与自然保护区使用地埋灯、低杆灯( $\leq 3\text{m}$ ),避免光照及干扰鸟类栖息。

##### 4.2.2 智能调光调色温:随场景与时间动态适配

智能调光调色温技术利用传感器与控制系统,依据自然光强度、人流密度及时间变化自动调整照明参数,实现“按需照明”。

**时间适配:** 夜间22点后关闭非必要景观灯光,道路照明亮度降至50%,减少对夜行生物干扰;凌晨时段仅保留基础安全照明。

**场景适配:** 自然保护区在繁殖季关闭周边照明;城市广场在人流高峰时提升亮度与色温,低峰时自动降低,实现节能与舒适并重。

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

### 4.2.3 低生态影响光谱：减少对生物的“光吸引”

低生态影响光谱通过优化光源的波段成分，降低对动物趋光性与生理节律的干扰。

**技术方向：**自然保护区、湿地公园宜使用琥珀色光源（2200K - 2700K），减少蓝光比例，避免吸引昆虫；海洋区域照明以红光或琥珀光为主，防止干扰海龟产卵及珊瑚生长；农田可采用以红光为主的光谱，既满足作物生长又不吸引害虫。

### 4.2.4 高效节能光源：降低能源消耗与碳排放

高效节能光源通过提高光效与寿命，减少能耗与碳排放，助力实现“双碳”目标。

**主流技术：**现代LED光效可达150 - 200lm/W，为白炽灯的10 - 15倍、荧光灯的2 - 3倍；OLED光源具面发光、低眩光、柔性可弯曲等特性，适合装饰照明且无重金属污染；太阳能照明结合光伏与储能技术，适用于乡村及偏远地区，实现零碳排放。

## 4.3 智慧照明管理系统：以数据驱动光健康优化

智慧照明管理系统融合物联网（IoT）、传感器、大数据与人工智能（AI），实现光健康的动态监测、智能调控与高效管理，是“智慧光健康”建设的重要支撑平台。

### 4.3.1 物联网（IoT）：连接“灯-人-环境”的网络基础

通过物联网（IoT）技术，将照明设备、环境传感器与控制终端接入统一管理平台，可实现设备间的互联互通、状态同步与数据的实时采集、分析与指令下发，从而构建可感知、可监测、可调控的智慧照明体系。

**应用场景：**在城市公共照明场景中，物联网平台能够对成千上万盏路灯进行集中监控，实时获取亮度状态、能耗数据及故障信息，并支持远程调光、分时控制与异常预警，大幅提升城市照明的运行效率与维护能力；在校园照明应用中，系统可将光照传感器与教室灯具形成联动机制，根据自然光强变化自动调节室内照度，确保课堂环境始终保持稳定、适宜的光照水平，同时显著提升节能效果。

### 4.3.2 传感器：感知光健康变化的“神经末梢”

各类传感器实时采集环境与行为数据，为智能调控提供决策依据。

- **光感传感器：**检测环境亮度与色温变化，如自然光充足时自动降低人工光输出。
- **人体感应传感器：**监测人员存在与移动，在有人时开灯，无人时延时关闭，节能高效。

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

- **生态传感器：**自然保护区中布设红外与声学传感器，监测野生动物活动，并联动调暗或关闭照明设备。

### 4.3.3 大数据：分析与优化的“决策支撑”

大数据平台通过汇聚照明运行数据、场景使用数据与用户反馈信息，为照明系统提供优化方向。

- **能耗分析：**识别高能耗区域与时段，制定节能策略。
- **场景分析：**分析商场或办公区人流密度变化，动态调整亮度与色温。
- **健康分析：**医疗机构收集病房照明与患者康复数据，建立“照明-康复”模型，优化节律照明方案。

### 4.3.4 AI：实现“自主优化”的智能核心

人工智能算法通过学习历史数据与用户偏好，实现光健康的自我学习与自主调节。

- **动态优化：**AI 根据用户作息自动调整照明节律，免去手动操作。
- **故障预测：**通过分析灯具电流与温度数据提前识别异常，自动预警维护。
- **多目标平衡：**在“健康-节能-生态”之间寻找最优解，使城市照明既安全高效，又兼顾低碳环保。

## 5 政策法规与标准体系

构建完善的政策法规与治理框架，是保障光健康健康化、生态化、可持续化发展的制度基石。本章从法规政策、标准体系、协同治理、规划引领、监管执法与经济激励六个维度，系统梳理光健康治理的政策路径与综合解决方案。

### 5.1 国内外光健康相关法规政策梳理与借鉴

目前，国内外已陆续出台多项光健康相关法规与政策，为我国制度体系建设提供了重要参考。总体来看，可分为国内实践经验与国际先进做法两大类。

#### 5.1.1 国内法规政策现状

我国光健康政策体系以“健康、节能、生态”为核心导向，正由单一领域逐步向多领域、综合化方向拓展：

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

**健康领域：**《综合防控儿童青少年近视实施方案》要求改善学校照明条件，2023年前完成全国中小学教室照明改造；《“健康中国2030”规划纲要》将“健康环境建设”列为重点任务，明确光健康优化要求。

**节能领域：**《“十四五”节能减排综合工作方案》提出推广高效节能照明产品，要求公共机构照明LED化率达到100%；《半导体照明节能产业发展行动方案》推动LED技术在各类照明场景广泛应用。

**生态领域：**《上海市环境保护条例》首次将光污染纳入环境治理范畴，明确防治责任与处罚措施；《西藏自治区暗夜保护管理办法》划定暗夜保护区范围，规范夜间照明活动。

### 5.1.2 国际法规政策借鉴

发达国家在光健康治理方面起步较早，已形成较为成熟的法规与政策体系，具有以下三类经验可供借鉴：

**专项立法：**美国《国家暗天空法案》鼓励各州建立暗天空保护区以限制光污染；欧盟《生态设计指令》对照明产品的光效、光谱及频闪提出强制性标准，禁止低效光源销售。

**生态保护政策：**德国在自然保护区周边设立“光污染控制区”，禁止使用高亮度、高色温光源；澳大利亚制定《海岸照明生态保护指南》，要求海龟产卵区使用琥珀色光源。

**激励政策：**日本对采用健康照明技术的学校和医院提供税收减免；加拿大实施“绿色照明补贴计划”，消费者购买节能照明产品可获得30%费用补贴。

## 5.2 构建完善的光健康标准体系

光健康标准体系是实现科学治理与精细化管理的基础支撑，分为强制性标准与推荐性标准两类，覆盖“安全—健康—生态—品质”全链条，为光健康建设提供技术依据与执行规范。

### 5.2.1 强制性标准：守住光健康“底线要求”

强制性标准主要针对光健康安全、光污染限值及重点场所照明要求，明确“必须遵守”的技术指标，包括以下三方面：

**照明安全标准：**明确照明产品的电气安全（防触电、防火）及光生物安全（蓝光危害等级、频闪限值）要求，如GB 7000.1-2015《灯具第1部分：一般要求与试验》。

**光污染限值标准：**规定户外照明（路灯、景观灯）及建筑照明（玻璃幕墙反射）的亮度限值。例如，城市居住区夜间户外照明亮度应 $\leq 50\text{cd}/\text{m}^2$ ，以防干扰居民睡眠。

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

**特定场所最低要求：**针对学校、医院等重点场所，设定照明参数底线。《中小学校教室采光和照明卫生标准》（GB 7793-2010）要求教室桌面平均照度 $\geq 300lx$ 、照度均匀度 $\geq 0.7$ 。

### 5.2.2 推荐性标准：引导光健康“品质提升”

推荐性标准为光健康的健康化、生态化与高品质发展提供方向性指导，虽不强制执行，但鼓励行业采纳：

**健康照明指南：**为不同人群与场景提供推荐参数，如《健康照明设计指南》建议卧室夜间色温 $\leq 3000K$ ，蓝光危害等级为RG0。

**生态照明规范：**指导自然保护区与乡村地区照明设计，《生态保护区照明规范》建议使用琥珀色光源并限制照明时段与亮度。

**高品质光健康评价标准：**建立包括健康性、生态性、美学性等维度的评价体系，如《高品质城市光健康评价标准》，为城市和社区建设提供量化依据。

### 5.3 多部门协同治理机制

光健康治理跨越多个领域，需要住建、卫健、生态环保、教育、能源、文旅等部门协作，建立分工明确、协同高效的治理机制，避免“多头管理”与“责任空白”。

#### 5.3.1 协同工作机制

**联席会议制度：**建立定期多部门联席会议机制，协商解决跨领域问题，如景观照明与光污染治理的矛盾。

**信息共享平台：**建立光健康数据共享平台，整合监测、改造、能耗等多源数据，为政策决策提供支撑。

**联合执法行动：**针对违规照明行为（过度亮化、光污染扰民等）开展多部门联合执法，提高监管效率。

### 5.4 规划引领：将光健康要求纳入城乡规划

通过规划引领，将光健康管理要求纳入城乡建设全过程，确保光健康与城市功能、乡村特征协调发展。

#### 5.4.1 城乡总体规划层面

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

在城市总体规划与乡村振兴规划中，应明确光健康发展目标：

**城市规划：**划定光健康功能区（如商业核心区、居住区、生态保护区），实施分区管理与差异化标准。

**乡村规划：**避免照搬城市“亮化工程”，保留乡村暗夜特征，仅在道路与公共空间设置必要照明。

### 5.4.2 详细规划层面

在控制性与修建性详细规划中，应细化光健康技术参数：

**控制性详细规划：**明确照明设施高度、亮度、色温限值，如居住区周边商业地块照度不得超过 $50\text{cd}/\text{m}^2$ 。

**修建性详细规划：**在建筑与景观设计中规范灯具布局与光源类型，如历史建筑应使用低亮度暖色光，防止结构损伤与文化氛围破坏。

### 5.4.3 专项规划层面

编制《城市光健康专项规划》《乡村光健康专项规划》，作为光健康建设与管理的直接依据：

**城市专项规划：**涵盖公共照明、景观照明、光污染防治等内容，明确重点项目（如教室照明改造、暗天空保护区建设）。

**乡村专项规划：**聚焦道路与公共空间照明，推广太阳能、自发光等低碳技术，降低运营成本，保障安全与生态。

## 5.5 监管与执法：保障光健康要求落地

建立“监测—投诉—执法”的闭环监管体系，确保光健康法规与标准落地执行。

### 5.5.1 光污染监测网络

构建覆盖城市、乡村及自然保护区的光污染监测体系：

**城市监测点：**在居住区、商业区、公园布设光亮度监测设备，实时跟踪光污染水平。

**生态监测点：**在保护区与暗天空保护区布设夜空亮度监测设备，评估对生态的影响。

**移动监测车：**配备便携式监测设备，对投诉热点区域开展现场监测，为执法提供证据

### 5.5.2 投诉处理机制

建立便捷高效的公众投诉与响应机制：

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

**投诉渠道：**开通12345热线及网络平台，接受居民对路灯过亮、广告灯扰民等问题的投诉。

**处理流程：**投诉后24小时内响应、7个工作日内反馈处理结果，包括责令整改或调整照明参数。

### 5.5.3 处罚措施

通过设定明确惩戒标准，提高违法成本，保障法规执行力：

**单位违规：**对光污染超标或过度照明的单位责令限期整改，逾期未改处以5000 - 50000元罚款。

**个人违规：**对私装高亮灯具、扰民照明的个人责令拆除或调整，拒不执行者处以罚款。

**项目违规：**对未落实光健康标准的建设项目（如学校照明不达标），责令停工整改，合格后方可验收。

### 5.6 经济激励：引导市场主体参与光健康建设

通过财政补贴与市场激励机制，降低光健康改造成本，鼓励社会多元主体积极参与健康与生态照明建设。

#### 5.6.1 绿色照明补贴

对采用高效节能、健康生态照明技术的项目给予财政支持：

**公共机构补贴：**学校、医院等公共建筑实施健康照明改造，按改造费用的30% - 50%给予补贴。

**企业补贴：**鼓励照明企业研发全光谱LED与生态友好灯具，享受研发经费补贴或税收优惠。

**居民补贴：**居民购买健康照明产品（如低蓝光台灯）可凭发票获得10% - 20%费用返还。

#### 5.6.2 节能改造奖励

对实现显著节能减排效果的光健康项目给予奖励与示范支持：

**节能奖励：**公共照明系统年节能率达20%以上的，按节能量每吨标准煤200 - 300元标准给予奖励。

**碳减排奖励：**将节能照明项目纳入碳交易市场，允许其碳减排量参与交易以获取经济收益。

**示范奖励：**对“健康光健康示范学校”“生态照明示范社区”等典型项目给予一次性奖励，推广成功经验。

## 6 行业生态与社会参与

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

光健康建设不仅是政府或某一行业的责任，而是一个需要政府、企业、公众与专业机构共同参与的系统工程。通过认知提升、人才培养、行业自律、社区行动与国际合作，应逐步形成全社会共建、共治、共享的光健康治理格局。

### 6.1 提升公众认知：普及光健康与光污染知识

公众是光健康的直接体验者与监督者，提升其认知水平是推动光健康健康化与生态化建设的基础环节。

#### 6.1.1 多元化科普渠道

应通过多种传播方式向不同人群普及光健康与光污染知识，扩大公众覆盖面与参与度：

**传统媒体：**在电视、广播、报纸等平台开设“光健康科普专栏”，讲解光污染危害、健康照明选购要点等；

**新媒体：**依托短视频平台（抖音、快手）制作趣味化科普内容，如“如何选儿童台灯”“光污染如何影响睡眠”；通过微信公众号、微博发布图文推送，举办“光健康知识问答”互动活动；

**线下活动：**科技馆、博物馆可举办“光与健康”主题展览，设置光污染模拟体验装置；社区组织“健康照明进家庭”讲座，指导居民改善家居光健康。

#### 6.1.2 针对性科普内容

根据人群特征与需求，制定差异化、实用性强的科普内容：

**儿童青少年：**编写《光健康绘本》，在校园中开展“保护眼睛，从健康照明开始”活动，培养学生识别良好光健康的意识；

**老年群体：**编制图文并茂的《适老化照明指南》，普及通过照明设计预防跌倒、改善睡眠等知识；

**家长群体：**强调“儿童近视与光健康的关系”，指导选择低蓝光、全光谱灯具，并调整儿童房照明参数。

### 6.2 教育体系完善

照明设计师、规划师、建筑师与工程师是光健康建设的直接执行者，其专业素养决定着光健康的科学性与品质水平。

#### 6.2.1 专业人才培养：提升从业者健康与生态素养

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

在高等教育与职业教育体系中系统融入光健康与生态照明理念：

**高等教育：**在建筑学、城市规划、环境设计等专业开设《光健康与健康》《生态照明设计》等课程，培养学生的健康生态意识与设计能力；

**职业教育：**在照明技术、电气自动化等专业中增加健康照明产品研发与生态工程实施的实践教学，提高实操技能。

### 6.2.2 职业培训与认证

针对在职人员开展持续的职业培训与资格认证，促进知识体系更新：

**职业培训：**由行业协会（如中国照明学会）定期举办“健康照明设计培训班”“生态照明技术研讨会”，邀请专家讲解前沿技术与标准；

**资格认证：**推行“健康照明设计师”“生态照明工程师”等专业认证，将健康生态素养纳入考核体系，推动行业专业化发展。

### 6.2.3 实践案例分享

自2015年起，三雄极光在国内照明设计教育仍相对空白的背景下，携手多所知名高校与设计机构成立“三雄极光照明学院”，汇聚国内外资深设计师与行业专家，致力于推动照明设计的系统化教育与专业人才培养。学院以“构建产学研协同平台、推动照明设计专业化与普及化”为使命，持续整合技术培训、资源对接及行业交流等功能。同年，学院启动全国十城设计巡讲，邀请詹庆旋、袁宗南、许东亮、郝洛西等专家，围绕室内外照明设计、智能照明、城市亮化、媒体建筑、绿色可持续照明与色彩视觉等领域分享前沿见解与实践经验，逐步确立其在行业教育中的引领地位。

2016年，学院进一步深化与高校的合作，依托企业的行业优势接待了来自太原理工大学等9所高校的11批实习生，依据学生需求定制教学计划，涵盖照明设计基础理论、专题案例研讨及软件实操课程，逐步成为多所高校的教学实践基地，为中国照明设计教育的深化提供了长期支持。

2017年，为连接国际光健康研究趋势、提升科研与服务能力，学院创新举办中英照明设计沙龙，与伦敦大学学院（UCL）专家共同探讨照明在健康、视觉、生理与情绪等多维度的影响，并借助产学研平台促进研发与生产流程优化。2019年，学院组织国内学生赴UCL游学，使青年设计师直接接触全球前沿技术与研究成果，进一步体现三雄极光在行业教育领域的战略担当。

此后数年，学院持续在全国开展公益性照明技术交流会，推广光健康理念与先进产品技术，提升行业认知水平。2023年，学院进一步拓展活动形式，相继组织“设计有光·亚洲设计师迪拜对话”游学、

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

家装精英内蒙古草原徒步、联合祝融奖发起“寻迹第八季”考察等活动，汇聚更多优秀设计师与学者，共同探讨光与设计的深层价值。

2024年末至2025年，学院联合推出“设计筑光计划”，面向青年设计师打造专业竞赛平台，以华东、华南、华北、西南四大区域五个核心城市为中心，通过竞赛型线下活动，鼓励设计师以当代视角重释“在地性”，挖掘区域新锐力量，推动中国设计行业创新发展。

作为新锐设计师的成长平台与资深设计师的专业交流社群，三雄极光照明学院始终秉持“向光而行，探寻设计价值”的核心理念，搭建跨界沟通桥梁，不仅关注设计人才的成长，更以行业引领者姿态促进设计价值外溢。在社会责任层面，学院主动链接设计师、企业与高校资源，聚焦智能、低碳、健康照明方向，探索建筑、家居与职业发展的新路径，持续践行企业社会责任，与行业伙伴共同推动科技进步与设计创新，为中国照明行业的发展注入长期动能。

### 6.3 行业自律：推动照明企业履行社会责任

照明企业是光健康技术与产品的核心供给者，其生产导向直接影响光健康的健康与生态质量。通过强化行业自律与社会责任引导，应推动企业从“追求销量”向“追求健康、生态与社会价值”转型，形成高质量发展的产业生态。

#### 6.3.1 制定行业自律公约

由行业协会牵头，组织龙头企业共同制定《照明行业健康生态自律公约》，明确企业在产品、研发和市场推广方面的基本责任与约束：

**产品责任：**禁止生产或销售不符合光安全标准的产品（如高蓝光、高频闪灯具）；所有照明产品应主动标注主要光学参数（包括色温、显色指数、蓝光危害等级等），严禁虚假宣传与夸大功效。

**研发责任：**企业应持续加大健康与生态照明技术的研发投入，年度研发经费占销售额比例不低于3%，以创新驱动产业转型升级。

**推广责任：**积极向学校、医院等重点公共场所推广健康照明产品与方案，避免推销过度亮化、能耗浪费型照明项目。

#### 6.3.2 绿色产品研发推广

鼓励企业加大绿色技术创新力度，研发并推广兼具健康、节能与生态友好属性的照明产品：

**健康产品：**研发全光谱LED、低蓝光台灯及节律照明系统，满足不同场景与人群的健康照明需求；

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

**节能产品：**推广高光效LED与智能调光灯具，降低产品全生命周期的能耗与碳排放；

**生态产品：**开发琥珀色光源、定向配光灯具等低生态干扰照明技术，减少对动植物及自然环境的负面影响。

### 6.3.3 企业社会责任（CSR）报告

推动照明企业定期发布光健康相关的企业社会责任（CSR）报告，公开其在健康、节能与生态领域的履责成效：

**报告内容：**披露健康照明产品销量、参与学校照明改造项目数量、光污染防治措施与节能成效等核心数据；

**监督机制：**由行业协会组织专家团队对CSR报告进行审核与评估，确保数据真实、内容可验证；对履责表现突出的企业，授予“光健康社会责任标杆企业”称号并予以宣传推广。

### 6.4 社区参与：发挥居民在光健康中的作用

社区是光健康建设的“最小治理单元”，居民既是光健康的使用者，也是重要的监督与维护力量。通过建立多层次的社区参与机制，可有效提升光健康治理的社会协同度与公众满意度。

#### 6.4.1 社区光健康议事会

在社区层面建立“光健康议事会”，吸纳居民代表、物业管理单位及社区居委会成员共同参与：

**议题讨论：**审议社区照明改造方案（如路灯亮度调整、休闲广场照明设计），广泛征求居民意见，确保方案贴合实际需求；

**矛盾协调：**协调解决灯光扰民、广告灯干扰等矛盾问题，推动形成居民自治与协商共治机制。

#### 6.4.2 社区光健康监督队

建立居民志愿者组成的“光健康监督队”，参与社区光健康的日常监管与数据反馈：

**日常监督：**巡查社区内违规照明行为（如私装高亮度射灯、夜间长明灯等），发现问题及时向物业或居委会报告；

**数据收集：**定期收集居民对社区光健康的满意度调查数据（如路灯亮度、休闲区照明舒适度等），为后续改造提供决策依据。

#### 6.4.3 社区光健康改造实践

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

通过小型改造项目与公众参与活动，增强居民的归属感与参与度：

**微改造项目：**组织居民共同设计楼道、儿童游乐区等公共空间的照明方案，选用健康节能灯具，实现共建共管；

**科普实践活动：**举办“社区健康照明DIY”活动，教授居民如何调整家居照明参数、选择合适灯具，提升家庭光健康质量。

### 6.5 国际交流与合作

光健康治理是一项全球性议题。通过加强国际交流与合作，我国可借鉴先进经验、吸收创新成果，并向世界分享中国的治理智慧与实践经验，推动全球光健康可持续发展。

#### 6.5.1 国际经验借鉴

与光健康治理领先的国家（如美国、德国、日本等）建立多层次的学术与技术交流，重点借鉴以下三类经验：

**法规标准经验：**学习美国《国家暗天空法案》、欧盟《生态设计指令》等在立法与执行方面的成熟做法，完善我国法规体系；

**技术经验：**引进国际先进的健康照明与光污染监测技术，加强与国外企业和科研机构的技术联合与成果共享；

**管理经验：**借鉴德国暗天空保护区的科学管理模式与日本社区参与机制，提升我国光健康治理的社会协同水平。

#### 6.5.2 国际项目合作

积极参与或发起国际合作项目，共同应对全球光污染与照明可持续发展挑战：

**跨国生态保护项目：**与周边国家联合，在跨境自然保护区（如东北虎豹国家公园）实施光污染防治工程，保护迁徙物种生态廊道；

**技术研发项目：**参与国际“健康照明技术联合研发计划”，共同推进全光谱LED、节律照明系统等新技术研发；

**标准制定合作：**深度参与国际照明委员会（CIE）标准制定工作，推动中国光健康标准体系与国际标准接轨。

#### 6.5.3 中国经验分享

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

积极向国际社会传播中国光健康治理的成功经验与技术成果，提升我国在全球光健康领域的话语权与影响力：

**案例分享：**在国际会议（如CIE大会）上展示我国学校照明改造、暗天空保护区建设等典型案例；

**技术输出：**向发展中国家推广我国高效节能照明产品与智慧照明系统，帮助其提升光健康质量，同时拓展国际市场空间；

**培训合作：**为发展中国家提供光健康治理培训课程，分享中国在法规、规划、设计与管理等方面的成熟经验。

### 7 结论与行动倡议

光健康作为连接“人的健康”与“自然之美”的关键纽带，其优化与治理是实现“健康中国”和“美丽中国”双战略目标的重要支撑。本章总结光健康建设的核心结论，提出未来发展愿景与行动倡议，为我国光健康高质量、可持续发展提供方向。

#### 7.1 核心结论：光健康是双战略建设的关键要素

光健康对公共健康、生态平衡、人居品质和可持续发展具有不可替代的作用，是“健康中国”与“美丽中国”建设的重要组成部分。

对“健康中国”而言，良好的光健康能显著降低近视、睡眠障碍与心理问题等风险，是“营造健康支持性环境”的核心要素；对“美丽中国”而言，生态友好的光健康有助于保护生物多样性、维护自然暗夜、提升景观美学价值，是实现“人与自然和谐共生”的重要保障。而从双战略协同角度看，光健康优化可同时创造健康与生态双重效益，如校园健康照明改造既能保护儿童视力，又通过节能技术减少碳排放，成为双战略协同推进的典型示范。

#### 7.2 未来愿景：构建中国特色的优质光健康

未来5-10年，我国光健康建设的总体愿景是：构建“以人为本、生态友好、节能高效、独具魅力”的中国特色光健康体系。

**以人为本：**坚持健康导向，在学校、医院、住宅等重点场所实现健康照明全覆盖，全面提升公众光健康素养；

**生态友好：**实现光污染有效控制，建成50个以上国家级暗天空保护区，保护自然与乡村暗夜生态，降低野生动植物受光干扰风险；

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

**节能高效：**照明能效达到国际先进水平，公共照明LED化率达100%，智能调光普及率超过80%，年照明能耗较2025年下降20%；

**独具魅力：**城市光健康展现地域文化与夜景特色，历史街区、景区照明实现“美学—文化—生态”统一；乡村保留“星空与静谧”特征，形成“城市有活力、乡村有诗意”的差异化格局。

### 7.3 行动倡议：多维度推进光健康优化

要实现健康、绿色、节能、美学兼容的光健康愿景，需要从战略规划、法规标准、科技创新、工程实践与人才建设五个维度协同推进。为此，本研究报告提出以下七项系统性倡议。

#### 倡议一：将光健康纳入国家与区域发展战略

国家层面，应在“健康中国2030”“美丽中国建设”等纲领性文件的中期评估与后续规划中明确光健康相关目标，将“健康光健康覆盖率”“暗天空保护区数量”等指标纳入核心考核体系。

地方层面，各省市应在“十四五”规划中期调整中设立光健康专项，重点推进学校、医院等重点场景的光健康改造，以及暗天空保护区的设立与建设。

#### 倡议二：完善法规标准体系并强化执行机制

建议在2026年前出台国家级《光污染防治条例》，明确光污染的定义、治理责任及惩戒措施。2025年底前完成《健康照明设计标准》《生态照明规范》《暗天空保护区建设标准》等关键标准的制定，实现全场景、全链条的标准覆盖。同时建立“光健康标准符合性核查”机制，新建公共项目须经核查后方可验收，并定期开展执法检查及违规曝光，确保标准落地。

#### 倡议三：强化科技创新能力与成果转化机制

将“健康生态照明技术”纳入国家重点研发计划，聚焦突破全光谱LED、节律照明系统、低生态影响光源等关键技术。同时建议建设国家级“光健康技术成果转化平台”，推动科研成果向产业落地。在全国范围内建设100个“智慧健康生态光健康示范项目”，探索可复制、可推广的技术路线与管理模式。

#### 倡议四：系统实施公共建筑光健康改造工程

2027年前完成全国中小学及幼儿园教室照明改造，实现桌面照度 $\geq 300lx$ 、蓝光危害RG0、无频闪等健康要求。2028年前完成二级以上医院的病房、手术室照明优化，推广节律照明与全光谱解决方案。在城市更新中优先改造公园、广场、图书馆等公共空间照明，推广智能调光与高效光源，减少光污染。

#### 倡议五：在城乡规划体系中强化生态照明导向

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

城市新区应划定“光健康生态控制区”，限制高亮度照明；历史街区、景区应开展“照明生态影响评估”。乡村振兴应避免“过度亮化”，推广太阳能路灯、自发光标识等低影响照明方式，保留暗夜环境。具备条件的乡村可建设“暗夜公园”，发展星空旅游，形成生态与文化并重的新型夜间经济。

### 倡议六：加强光健康教育体系与人才培养能力建设

将光健康纳入中小学健康教育体系，并将每年9月设立为“全国光健康科普月”。在建筑学、城市规划、照明工程等高校专业中全面纳入“健康生态照明”课程体系。每年培训1万名以上照明设计师与规划师，系统提升行业的健康素养与生态素养，构建长期人才供给体系。

### 倡议七：拥抱“空间光”理念，推动照明产业迈向光健康2.0时代

#### （1）突破传统“动态光谱”范式的技术局限

当前主流动态光谱仅对灯具单体进行参数编程（如CCT、亮度曲线），但其基于理想化实验室模型，忽略了光在真实空间中与墙面、家具及自然光的多次反射、折射与叠加效应，无法有效代表用户的实际光健康体验。灯具光参数≠空间光场，传统控制逻辑无法解决“最后一米”的光健康问题。

#### （2）明确“灯具光源”与“空间光场”的本质差异

实验室标定依据积分球或暗室条件，而真实人居环境中的光是一个动态的、三维的、多介质交互后的复合光场。真正影响视觉、生理、情绪的是“空间光”，而非“灯具光”。行业需重构认知体系。

#### （3）推动照明迈向“感知-计算-响应”闭环的智能时代

未来照明系统应具备：

- 感知能力：实时采集空间光照、自然光、人体位置与状态；
- 计算能力：基于光生物学与人因工程模型实时生成最优光健康；
- 响应能力：协同调控全部光源，实现动态、无感的空间光重塑。

照明的使命不再是“调节灯具”，而是“运营光健康”。

#### （4）让先进光技术普惠最需要光关怀的人群

应根据需求优先赋能医院、学校、养老院、办公室等高价值场景，让“空间光”真正服务每一个人。

光健康治理事关国民健康、生态安全与城市品质，是生态文明建设的重要组成部分。未来，应以科学理念为引领，以法规标准为支撑，以技术创新为驱动，以全社会参与为基础，共同构建“健康、绿色、节能、美学”并重的光健康新格局，让中国的夜晚更加健康、宁静与富有韧性与魅力。

## 附录 A

### 关键术语定义

#### 1. 光健康 (Lighting Health)

指光健康对人体视觉、生理与心理健康的综合影响。健康的光健康应保障视觉舒适、防控近视，维持生理节律稳定，并促进积极情绪与认知功能。

#### 2. 光污染 (Light Pollution)

指过量、过强或方向不当的人工光辐射对人类生活、生态系统及天文观测造成不良影响的现象。常见类型包括：

白亮污染（高亮度光源导致视觉不适或眩光）；

人工白昼（夜间环境过度照明，破坏昼夜节律）；

彩光污染（不当使用彩色灯光，干扰景观与生态）。

#### 4. 健康照明 (Healthy Lighting)

以人体健康需求为核心设计的照明方式，综合满足视觉健康、生理节律与心理舒适要求。其关键技术包括全光谱照明、无频闪控制与节律照明系统。

#### 5. 人因照明 (Human-Centric Lighting)

基于人体生理特性、年龄差异、作息规律等因素，通过调节光照强度、色温与光谱，实现“以人为本”的个性化照明设计，兼顾效率、舒适与健康。

#### 6. 生态友好照明 (Eco-Friendly Lighting)

在满足人类视觉功能需求的前提下，最大限度减少对野生动植物、生态系统及自然暗夜环境干扰的照明方式。其核心特征包括精准配光、低生态影响光谱、智能控时与控亮。

#### 7. 暗天空保护区 (Dark Sky Reserve)

为保护天文观测与生态平衡而设立的限制人工光干扰区域，通常划分为核心区（完全无人工光）、缓冲区（低亮度控制）与外围区（限制扩散光源）。

#### 8. 全光谱LED (Full-Spectrum LED)

覆盖380nm - 780nm完整可见光波段的LED光源，其能量分布接近自然光，显色指数 (Ra)  $\geq 90$ ，特殊显色指数R9 $\geq 80$ ，可准确还原物体色彩并降低蓝光危害。

## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

### 9. 节律照明 (Circadian Lighting)

通过模拟自然光的昼夜变化规律，动态调节亮度、色温与光谱，以匹配人体昼夜节律、促进褪黑素分泌平衡与健康睡眠的照明技术。

### 10. 频闪 (Flicker)

指照明设备因电流波动导致光输出周期性变化的现象。频闪深度 $\leq 3.2\%$ 为“无频闪”，超过该值可能引发视觉疲劳、头痛或光敏性反应。

### 11. 智能照明 (Smart Lighting)

通过传感器、物联网 (IoT) 与人工智能 (AI) 技术，实现照明系统的自动感知、动态调控与节能管理。典型功能包括光感联动、人体感应、场景调光与远程监控。

### 12. 智慧照明管理系统 (Smart Lighting Management System)

融合IoT、大数据与AI技术的城市或建筑照明综合管理平台，可实现能耗监测、自动调光、故障预测与按需照明，是智慧城市基础设施的重要组成部分。

### 13. 光健康标准体系 (Light Health Standards System)

由强制性标准 (如照明安全、光污染限值) 与推荐性标准 (如健康照明指南、生态照明规范) 组成的规范体系，为光健康建设提供技术依据与评价框架。

### 14. 光污染防治 (Light Pollution Control)

指通过立法、标准、监测与管理等措施，防止和减少光污染对人体健康、生态系统及天文观测的不利影响的综合治理过程。包括限值控制、时间管理、光谱优化与执法监管等环节。

### 15. 光健康教育 (Light Health Education)

面向公众开展的科学普及与行为引导活动，旨在提高社会对光健康影响的认知水平，促进健康用光习惯的形成，内容涵盖视觉保护、节律调节与节能意识。

## 附录 B

### 国内外主要光健康相关标准索引

国内标准：

1. GB 7000.1—2015 灯具 第1部分：一般要求与试验
2. GB 7793—2010 中小学校教室采光和照明卫生标准
3. GB 50034—2024 建筑照明设计标准
4. GB/T 7000.212—2023 灯具 第2-12部分：特殊要求 电源插座安装的夜灯
5. GB/T 31116—2014 LED照明产品光通量衰减率测试方法
6. GB/T 45239—2025 夜间蓝光辐射危害的评价方法
7. T/CECS 1365—2023 健康照明检测及评价标准

国际标准：

1. AS/NZS 1680.2.5:2018 室内和工作场所照明 第2.5部分：医院和医疗任务 Interior and workplace lighting, Part 2.5: Hospital and medical tasks
2. CIE S 026/E-2018 光敏视网膜神经节细胞受光响应的光辐射计量系统(system for metrology of optical radiation for iprgc-influenced responses to light)
3. CIE 150-2003 来自室外照明设备干扰光的影响限制指南(guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations)
4. CIE 224-2017,CIE 2017 色彩保真度指数 用于准确的科学用途 (CIE 2017 Colour Fidelity Index for accurate scientific use)
5. EN 12464-1:2011 光和照明,照明的场所.第1部分:室内场所 (Light and lighting - Lighting of work places - Part 1: Indoor work places)
6. IEEE 1789-2015 在高亮度发光二极管中调节电流以减轻对观众健康风险的推荐性操作规范 (Recommended Practices for Modulating Current in High-Brightness LEDs for Mitigating Health Risks to Viewers)
7. ISO / IEC 系列中关于照明及视觉健康的标准

参 考 文 献

- [1] 王健, 李毅, 刘艳. 光环境与公共健康: 机制、影响与干预[M]. 北京: 科学出版社, 2023. ISBN 978-7-03-075123-4.
- [2] 张青文, 孙建国, 王蓓. 城市光污染及其生态效应[M]. 北京: 环境科学出版社, 2022. ISBN 978-7-5111-5127-8.
- [3] 李农, 陈明, 赵晓波. 节律照明: 原理与应用[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2021. ISBN 978-7-112-26891-2.
- [4] Lucas R J, Peirson S N, Berson D M, et al. Measuring and using light in the melanopsin age[J]. *Trends in Neurosciences*, 2014, 37(1): 1-9. DOI:10.1016/j.tins.2013.10.004.
- [5] Xiao Q, Liu H, Li X, et al. Outdoor artificial light at night and sleep duration in Chinese adults: A nationwide cohort[J]. *Environmental Pollution*, 2022, 292: 118375. DOI:10.1016/j.envpol.2021.118375.
- [6] Gaston K J, Davies T W, Bennie J, et al. Impacts of artificial light at night on biological timings[J]. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 2021, 52: 75-97. DOI:10.1146/annurev-ecolsys-012121-080635.
- [7] Navara K J, Nelson R J. The dark side of light at night: physiological, epidemiological, and ecological consequences[J]. *Journal of Pineal Research*, 2007, 43(3): 215-224. DOI:10.1111/j.1600-079X.2007.00473.x.
- [8] Falchi F, Cinzano P, Duriscoe D, et al. The new world atlas of artificial night sky brightness[J]. *Science Advances*, 2016, 2(6): e1600377. DOI:10.1126/sciadv.1600377.
- Vetter C, Juda M, Roenneberg T. The influence of light on human circadian rhythms[J]. *Sleep Medicine Reviews*, 2022, 63: 101645. DOI:10.1016/j.smrv.2022.101645.
- [9] Grubisic M, Haim A, Bhusal P, et al. Light pollution, circadian photoreception, and melatonin in vertebrates[J]. *Journal of Environmental Management*, 2019, 248: 109288. DOI:10.1016/j.jenvman.2019.109288.
- [10] Zhang Q, Xu H, Wang Y, et al. Association between outdoor light-at-night exposure and childhood myopia: a cross-sectional study in China[J]. *Environmental Research*, 2023, 225: 115578. DOI:10.1016/j.envres.2023.115578.

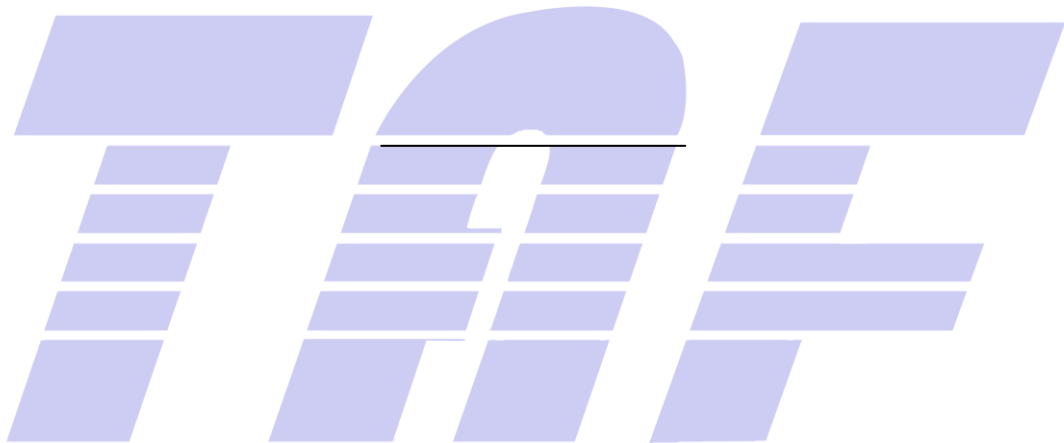
## “十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究


[11] Stevens R G, Brainard G C, Blask D E, et al. Breast cancer and circadian disruption from electric lighting in the modern world[J]. CA: A Cancer Journal for Clinicians, 2014, 64(3): 207-218. DOI:10.3322/caac.21218.

[12] Light pollution and its impact on human health[J]. Environmental Health Perspectives, 2020, 128(10): 106001. DOI:10.1289/EHP6574.

[13] Ecological effects of artificial light at night[J]. Biological Reviews, 2019, 94(4): 1200-1219. DOI:10.1111/brv.12508.

[14] Daylight and health: A review of the evidence and implications for the built environment[J]. Building and Environment, 2022, 214: 108906. DOI:10.1016/j.buildenv.2022.108906.





电信终端产业协会研究报告  
“十五五”规划下光健康治理的发展路径与实践研究

R/TAF 014—2026

\*

版权所有 侵权必究

电信终端产业协会发布

地址：北京市西城区新街口外大街 28 号

电话：010-82052809

电子版发行网址：[www.taf.org.cn](http://www.taf.org.cn)