摘要

针对**问题一**，根据附录提供的 SPD 数据，计算了光源的颜色特性参数（相关色温 CCT 与色品偏差 Duv）、颜色还原参数（Rf和Rg），以及生理节律效应参数（mel-DER）。

①相关色温：本文采用四种方法求解CCT，经对比最终采用4000K以下无误差的三角垂足查找法，求得结果为**CCT=3903. 31K**。本文采用[5]中的公式，最终得出得出**Duv=0.001027**

②颜色还原参数：

③生理节律效应参数:本文采用CIE S 026方法进行建模求解mel-DER，并使用CIE的官方工具箱[\*\*\*CIE S 026 alpha-opic Toolbox CIE\*\*\*]进行求解，得出**del-DER=0.6407**

针对**问题二**，本文分析了 SPD 通道线性叠加假设的物理前提，设计了驱动权重计算方法，得到五个 LED 通道叠加后的合成 SPD。根据日间照明模式（高色温、高 Rf、高 mel-DER）和夜间助眠模式（低色温、低 mel-DER、适宜 Rf）的要求，建立了相应约束条件，并使用优化算法 SLSQP进行数值求解，得到满足不同场景需求的通道驱动系数组合。最后，将优化结果代入计算公式进行验证，证明所得方案能够有效满足目标参数要求。

针对**问题三**，（目标or背景）。我们分别从两方面实现自然光的**节律效果**——数值相似与形状相似。为此，我们在目标函数中同时兼顾数值误差与形状误差，并对超参数alpha进行调节。

针对**问题四**，前序研究中，我们设计了特定模式的光谱，但其对人类睡眠质量的改善效果尚需通过验证。为此，我们利用附录提供的交叉实验数据进行分析。

①数据预处理阶段，对原始睡眠阶段记录进行平滑处理（窗口长度为 3）以降低测量噪声，并统一化末尾的wake标记。

②计算了六项睡眠质量指标：总睡眠时间（TST）、睡眠效率（SE）、入睡潜伏期（SOL）、深睡眠比例（N3%）、REM 睡眠比例（REM%）以及夜间醒来次数。随后采用RM-ANOVA检验不同光照条件下的指标差异。在检验前，所有指标在三种条件下均近似满足正态分布，且球形假设均成立。

③结果分析，仅在深睡眠比例（N3%）指标上观察到接近显著的差异（F=6.85, p≈0.051, η²≈0.72），优化光照条件下的深睡眠比例普遍高于普通光照与黑暗环境；其余指标在三种条件下的差异均未达统计显著水平（p>0.05）。综合来看，优化光照可能在促进深睡眠方面具有潜在优势，但当前样本量较小，统计功效有限，需在更大规模或更长周期的实验中进一步验证。

关键词：光谱功率分布；LED 通道优化；颜色特性参数；生理节律效应；动态控制模型