

# 城市照明规划与夜间光环境中动态光污染的分级分类

罗臻擎<sup>1</sup>, 苏航<sup>1</sup>, 王卓力<sup>2</sup>, 杨彪

(1. 哈尔滨工业大学(深圳)建筑学院, 广东深圳 518055; 2. 华润置地有限公司, 广东深圳 518057)

**摘要:** 随着照明技术和夜间经济的快速发展, 城市夜间环境中的动态光愈发常见, 同时也造成了新的光污染。本研究以对动态光污染进行分级分类为目标, 开展了深圳市罗湖区动态光环境调研以及典型动态光环境的实证实验。以满意度和可忍受阈值速度为因变量的实验结果表明, 变化方式、色彩类型和亮度模式三个参数是造成动态光污染的主要因素。对于变化方式和亮度模式的四个组合来说, 其动态光污染程度的大小排序为: 变化亮度 > 突变 > 恒定亮度 > 渐变。最后结合已有照明规划对节假日模式的考虑, 得到了一套可供城市照明规划使用的动态光精细化 9 级分级。

**关键词:** 光污染; 动态光; 城市照明规划; 分级分类

中图分类号: TU18 文献标识码: A DOI: 10.3969/j.issn.1004-440X.2022.04.026

## Hierarchical Classification of Dynamic Light Pollution in Urban Lit Environment at Nighttime

LUO Zhenqing<sup>1</sup>, SU Hang<sup>1</sup>, WANG Zhuoli<sup>2</sup>, YANG Biao<sup>1</sup>

(1. School of Architecture, Shenzhen Campus, Harbin Institute of Technology, Shenzhen 518055, China;

2. China Resources Land Limited, Shenzhen 518057, China)

**Abstract:** With the rapid development of lighting technology and night economy, dynamic light in urban night environment is becoming more prevalent, which also causes additional light pollution. In this study, a field investigation at Luohu District, Shenzhen and an empirical experiment about typical dynamic lit environment were carried out in order to classify urban dynamic light pollution. Results of satisfaction and tolerable speed threshold as dependent variables show that the mode of change, color and luminance are three main factors that causing dynamic light pollution. For the four combinations of change mode and luminance modes, the ranking of the degree of dynamic light pollution is: varying luminance > sudden change > constant luminance > gradual change. In consideration of routines/holiday modes, a nine-level hierarchical classification of dynamic light in urban lit environment at nighttime, which could be applied in urban lighting planning has been proposed.

**Key words:** light pollution; dynamic lighting; urban lighting planning; hierarchical classification

## 引言

随着城市的夜间经济需求的飞速增长以及照明技术的不断提升, 城市夜间光环境逐渐趋向动态化, 但其中部分缺乏指导管控的动态照明易造成城市光污染。光污染会对人类活动造成危害, 包括生理影

响(如视力下降<sup>[1]</sup>、提高患乳腺癌的风险<sup>[2]</sup>等)、心理影响(如造成抑郁、烦躁、厌倦等情绪<sup>[3]</sup>)以及暗天空资源的破坏<sup>[4]</sup>。

虽然在光污染领域中, 学者们对于静态光污染的研究较为全面, 但以动态光污染为对象的研究还比较匮乏。现有多数关于动态光的研究关注其对个体的影响, 研究发现动态光模式相较于静

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(52078161)

态光模式更易造成人体的不适感<sup>[5]</sup>，动态光会对人的活动造成包括生理（如褪黑素<sup>[6, 7]</sup>）以及心理的影响（警觉性<sup>[8, 9]</sup>、疲劳度<sup>[10]</sup>、焦躁、抑郁<sup>[3]</sup>以及愉悦<sup>[11]</sup>等）。随后在城市视角下学者们发现了动态光污染对人群的不同影响：Liu 等<sup>[12]</sup>、孟莹莹等<sup>[13]</sup>发现频闪动态在人群中造成的不利影响；刘鸣等<sup>[5]</sup>进一步发现灯光闪烁频率越高，人

们的不适感越强；汪亚江等<sup>[14]</sup>发现了动态光光色变化越快满意度评价越低；于娟等<sup>[15]</sup>发现动态光光色因素对人的容忍度造成影响，且人对蓝色红色动态光的包容程度最小。现有国内外动态光污染对人群的影响研究相关文献梳理并总结见表 1，其中灰色标注出的是涉及到定量和动态参数的研究。

表 1 已有城市动态光污染的研究

Table 1 Past Studies on dynamic lighting pollution

研究	性质	评价方法	研究参数	参数类别
Liu 等 <sup>[12]</sup>	定性	任务绩效	频闪动态	动态参数
孟莹莹等 <sup>[13]</sup>	定性	实地调研法	频闪动态	动态参数
刘鸣等 <sup>[6]</sup>	定性	语义差异法	光色、闪光频率	非动态、动态参数
汪亚江等 <sup>[14]</sup>	定量	打分量表法	光色变化速度	动态参数
于娟等 <sup>[15]</sup>	定量	问卷调查法、打分量表法	光色	非动态参数

目前，现有国内规范与规划对动态光的控制没有统一的标准。其中，《城市夜间照明设计规范》（JGJ/T 163—2008）<sup>[16]</sup>和《室外照明干扰光限制规范》（DB11/T 731—2010）<sup>[17]</sup>以亮度为分级依据设置了媒体立面以及 LED 显示屏的四级分级；2021 年出台的《深圳照明专项规划》<sup>[18]</sup>中对动态光的限制仅有描述性语言（包括“以静态照明为主，允许少量动态照明”等）。在适配城市建设用地的分类（分为 8 大类、35 种类）进行照明规划时略显粗糙，难以适配城市建设用地的分类（分为 8 大类、35 种类），容易形成控制不足或过度管控，进而限制了城市的高质量发展。

综上所述，目前针对城市动态光污染的研究数量较少，且缺乏动态光污染影响的量化研究，科学依据不足以对城市动态光污染进行分级分类，难以形成可以指导城市规划、建设和管理实践的策略。

本研究以从照明参数的角度对城市动态光污染进行分级分类为目标，首先通过对深圳市罗湖区动态光环境现状调研，结合典型动态光参数的理论分类得出动态光的分类模式。然后通过对不同城市功能区中典型动态光环境的实验室复现，以满意度和可忍受阈值速度为变量开展实证实验，并尝试根据实验结果给出一套动态光的精细化分级建议。

1 城市动态光污染的分类

为获取城市动态光污染的基本分类，本研究采用实地调研法对深圳市罗湖区中的城市夜间动态照

明现状进行调研，结合城市动态照明的理论特征参数，归纳出动态光污染的基本分类，以作为后续实证实验研究的基础变量。

1.1 理论分类

动态光是某些参数（亮度、光谱、速度和变化方式等）随时间动态变化的光。常见的动态光参数包括变化方式（突变/渐变，2 种）、色彩类型（单色/彩色，2 种）以及亮度模式（恒定亮度/变化亮度，2 种），根据以上三种动态光定性参数的排列组合，可以初步得到 8（2 × 2 × 2 = 8）种理论分类，如表 2 所示。

表 2 理论的动态光污染分类

Table 2 Theoretical dynamic light pollution classification









一种特征 (变化方式)	两种特征 (色彩类型)	三种特征 (亮度模式)	动态示意图
渐变	渐变单色	渐变单色恒亮度动态光	
		渐变单色变亮度动态光	
	渐变彩色	渐变彩色恒亮度动态光	
		渐变彩色变亮度动态光	
突变	突变单色	突变单色恒亮度动态光	
		突变单色变亮度动态光	
	突变彩色	突变彩色恒亮度动态光	
		突变彩色变亮度动态光	

1.2 调研方案

根据《深圳市照明专项规划》<sup>[18]</sup>对罗湖区照明的划分，选取深圳市罗湖区具有代表性的四个街区开展动态光调研，调研街道的选取如图 3 所示。依据相关规范《LED 显示屏干扰光现场测量方法》

(GB/T 34973—2017)<sup>[19]</sup> 要求，首先通过距离换算法计算测点位置以保证测量结果的准确性。为记录动态光的完整信息，调研全程使用录像设备记录光源的变化过程。本次调研使用 KM LS-450 手持亮度计，在一个变化周期内对光源进行多点测量，每个光源测量 5 次取平均值。

表 3 深圳市罗湖区动态光调研街道的选取

Table 3 Selection of target streets for dynamic lighting survey in Luohu District, Shenzhen		
选取原因	地区图片	调研路线
东门老街  商业区选址东门老街，老街作为《深圳照明专项规划》中三个主要照明区域之一		
人民公园  开放区选址为人民公园，人民公园作为《深圳照明专项规划》中 6 个主要开放空间之一		
笋岗东路北侧居住区  居住区选址为笋岗东路北侧居住片区，该居住片区为 10 个以上的居住小区组成，属于大型居住组团，拥有良好的生活配套设施		
梧桐山  生态区选址为梧桐山国家森林公园，梧桐山周边夜景界面作为《深圳照明专项规划》3 个主要照明界面		

1.3 实际分类

调研过程中共计发现了 61 组动态光，通过对调研对象动态光变化参数进行提取，并根据上述 8 种

理论分类对其进行归类，进一步完善对城市动态光的分类。调研对象的归类结果如表 4 所示，每行中仅展示 3 个具有代表性的动态光图片。

表 4 实际调研中动态光及其动态特征的归类结果  
Table 4 Results of classification on dynamic lighting and its feature in the field survey

	调研图片	动态特征
突变彩色恒亮度光		
渐变彩色恒亮度光		
渐变单色变亮度光		
突变单色变亮度光		
突变单色恒亮度光		
渐变彩色变亮度光		
突变彩色变亮度光		
周期动画光		

对调研结果进行梳理归纳后，发现动态光的理论分类与实际分类并不完全一致。实际动态光分类如表 5 所示。渐变单色变亮度动态光在实际调研中一例也未出现，另外，在实际调研中发现了一类理论分类中没有包含的动态光，此类动态光的共性特征是周期性播放的媒体里面，其亮度变化并不明显（某一时刻的实际亮度由具体画面决定），暂且命名为周期动画光。

表 5 深圳市罗湖区调研中实际动态光的分类

动态光类别	调研地区包含数量
渐变单色恒亮度动态光	5
渐变单色变亮度动态光（未出现）	0
渐变彩色恒亮度动态光	4
渐变彩色变亮度动态光	7
突变单色恒亮度动态光	13
突变单色变亮度动态光	9
突变彩色恒亮度动态光	6
突变彩色变亮度动态光	6
周期性动画（新增）	11

2 动态光精细化分级实证实验

通过调研获取城市动态光特征参数及其初步分类后，本研究进一步采用控制变量法，在实验室内对城市功能区与典型动态光进行场景复现，探究各城市功能区中不同动态光对满意度以及动态光可忍受阈值速度的影响，拟以此结果作为城市动态光污染的分级依据。

2.1 光环境的评价方法

动态光在各个功能区的心理影响可以划分为两

种路径，一种是对动态光的正向评价（Positive Evaluation），另一种是对动态光的负向评价（Negative Evaluation）。本研究在确定因变量是将两者结合起来使用，正向评价采用满意度评价，其结果可以挖掘动态光的优势，提高动态光的控制的精确程度。

本研究提出以可忍受速度阈值作为负向评价的指标，让志愿者自主调节动态光变化的速度并记录其阈值。可忍受阈值速度是指人所能忍受的最大动态光变化速度，通过速度数值来反映人对动态光的忍耐能力，可忍受阈值速度的结果可以探索出动态光的干扰，有助于厘清负面清单。

2.2 实验准备

2.2.1 变量选取

由于城市商业区、开放区、居住区与生态区为夜间动态照明的主要分布区域，因此本实验将对上述功能区逐一进行研究。由于实验条件受限，无法完全模拟全部的 8 种动态光，本研究采用超大屏幕显示器作为模拟动态光源，不具备还原周期变化动态光以及呼吸变化动态光的条件，所以本研究不考虑这三类典型动态光类型：周期性动画、渐变彩色变亮度动态光和突变彩色变亮度光。

本实验的自变量为城市功能区与典型动态光。其中，城市功能区共 4 种，包括商业区、开放区、居住区与生态区；典型动态光共 5 种，包括渐变单色变亮度动态光、突变单色变亮度动态光、渐变彩色变亮度动态光、突变彩色变亮度动态光以及突变单色恒定亮度动态光（图 1），并设置高、中、低三种平均亮度，共得到 11 种动态光模式（表 6）。

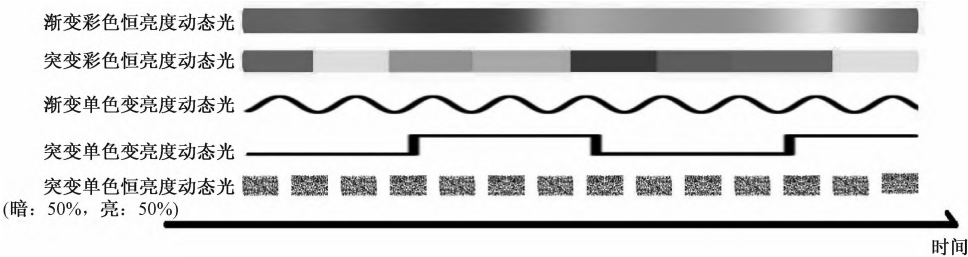


图 1 实验中设置的 5 类典型动态光变化模式示意图

Fig. 1 Diagram showing the five dynamic light modes adopt in the experiment

2.2.2 实验步骤

本次实验选取在校学生共计 14 名作为志愿者，其中男女各 7 人，年龄分布均在 18 ~ 28 岁的

范围之内。所有志愿者均无色盲色弱情况，且视力及矫正视力均正常。实验场地选择在哈尔滨工业大学（深圳）建筑学院城市规划分析与仿真重

点实验室，该实验室是一个内部封闭且能够有效防止其他光源干扰的暗室。实验将 1.5 m×3 m 的显示屏作为光源模拟典型动态光，以 5 m×10 m 的幕布投影实现城市各功能区场景复现，实验现场如图 2 所示。

实验由 14 名志愿者参与，每位志愿者需要经历 4 个功能区场景，每一个功能区场都对应 11 个动态光模式，共计 44 个实验单元和 616 组数据，每人实验总持续时间为 1.5~2 h。以一个实验单元（约

3 min）为例对实验的具体流程描述如下：

表 6 实验自变量所采用的 11 种动态光模式

Table 6 Eleven dynamic lighting modes as independent variable

最大亮度	色彩类型和变化模式组合（变化亮度）				突变单色恒定亮度
	渐变单色	突变单色	渐变彩色	突变彩色	
低亮（337 cd/m <sup>2</sup> ）	否	否	是	是	是
中亮（2 237 cd/m <sup>2</sup> ）	否	否	是	是	是
高亮（4 315 cd/m <sup>2</sup> ）	是	是	是	是	是

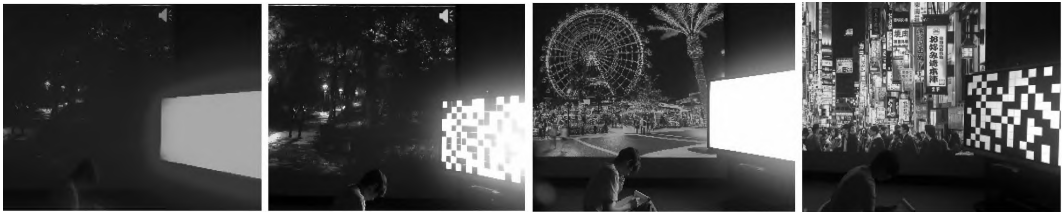


图 2 实验现场图（左侧投影模拟城市功能区变量，右侧显示器模拟动态光变量）  
Fig. 2 Experimental setting diagram ( projector on the left simulates functional urban area, and the right display simulates dynamic lighting modes)

（1）实验开始前志愿者首先进行 5 min 的暗适应；（2）场景沉浸：在 5 m×10 m 的幕布上投放城市功能区的实景照片并维持 30 s，使志愿者充分沉浸于场景中；（3）动态光播放：在 1.5 m×3 m 的显示器屏幕上播放预设动态光，以复现城市中的典型动态光模式；（4）问卷收集：志愿者在动态光场景中填写满意度调查问卷（共 17 题）；（5）动态光可忍受阈值速度测量：志愿者通过自主调节动态光播放速度，将显示器上的动态光调节至可忍受的最大速度临界值，由实验人员对其进行记录。

2.3 实验结果

2.3.1 各城市功能区中动态光的影响

各实验条件下的数据结果汇总如表 7 所示，将

四个动态光参数（变化方式、色彩模式、亮度变化参数以及平均亮度参数）在四个功能区（生态区、居住区、开放区以及商业区）内的满意度值和可忍受阈值速度值进行算数平均数处理。实验结果的单位均无量纲，其中满意度采用 7 分制（7 分表示最满意，1 分表示最不满意），可忍受阈值速度采用视频倍速表示（0.1 表示最慢播放速度，3 表示最快播放速度），可忍受阈值速度越高表示人对动态光的忍耐极限越高。

根据分级分类的研究目标，实验结果首先应关注不同功能区之间的配对对比。表 8 为四种功能区之间的动态光满意度两两配对 *t* 检验结果，用于判断各动态光在不同功能分区影响满意度的显著性差异情况。

表 7 各实验条件下的数据结果汇总

Table 7 Summary of experimental data under all conditions

功能分区	实验参数 (无量纲)	变化方式		色彩模式		亮度变化参数		平均亮度参数		
		渐变	突变	黑白	彩色	变亮度	恒亮度	高亮	中亮	低亮
生态区	满意度	4.625	4.112	2.964	4.535	2.142	4.714	3.942	4.452	4.738
	可忍受阈值速度	1.596	1.208	1.007	1.380	0.521	1.514	1.150	1.376	1.654
居住区	满意度	4.946	4.244	5.166	4.869	2.857	4.380	4.028	4.785	5.000
	可忍受阈值速度	2.119	1.361	2.016	1.704	0.900	1.483	1.487	1.545	1.978
开放区	满意度	5.625	4.642	4.357	5.214	3.571	4.642	4.714	5.166	5.309
	可忍受阈值速度	2.221	1.401	1.721	1.746	0.885	1.392	1.608	1.645	1.895
商业区	满意度	5.625	4.806	4.857	5.369	4.285	5.047	4.871	5.119	4.871
	可忍受阈值速度	2.294	1.484	1.853	1.873	1.007	1.588	1.698	1.773	1.698

表 8 四种功能区之间的动态光满意度两两配对 *t* 检验结果

Table 8 Paired *t*-test results of the dynamic light on satisfaction between each functional areas

动态光参数		生态区和居住区	居住区和开放区	开放区和商业区	居住区和商业区	生态区和开放区	生态区和商业区
变化方式	渐变	$p = 0.130$	$p = 0.031^*$	$p = 1.000$	$p = 0.012^{**}$	$p = 0.015^*$	$p = 0.003^{**}$
	突变	$p = 0.026^*$	$p = 0.395$	$p = 0.053$	$p = 0.045^*$	$p = 0.033^*$	$p = 0.006^{**}$
色彩类型	黑白	$p = 0.112$	$p = 0.117$	$p = 0.126$	$p = 0.006^{**}$	$p = 0.039^*$	$p = 0.003^{**}$
	彩色	$p = 0.890$	$p = 0.088$	$p = 0.729$	$p = 0.169$	$p = 0.201$	$p = 0.304$
平均亮度	低亮度	$p = 0.054$	$p = 0.513$	$p = 0.085$	$p = 0.100$	$p = 0.033^*$	$p = 0.006^{**}$
	中亮度	$p = 0.029^*$	$p = 0.311$	$p = 0.500$	$p = 0.183$	$p = 0.018^*$	$p = 0.014^*$
	高亮度	$p = 0.890$	$p = 0.088$	$p = 0.729$	$p = 0.304$	$p = 0.169$	$p = 0.201$
亮度模式	恒定亮度	$p = 0.106$	$p = 0.136$	$p = 0.836$	$p = 0.045^*$	$p = 1.000$	$p = 0.876$
	变化亮度	$p = 0.117$	$p = 0.156$	$p = 0.096$	$p = 0.004^{**}$	$p = 0.031^*$	$p = 0.006^{**}$

注: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ 。

结果表明: 1) 渐变动态光影响下的满意度值在生态区显著低于开放区 ( $p = 0.015$ ) 和商业区 ( $p = 0.003$ ), 且居住区对应值显著低于开放区 ( $p = 0.031$ ) 和商业区 ( $p = 0.012$ ); 2) 突变动态光影响下满意度值在生态区处显著低于居住区 ( $p = 0.026$ )、开放区 ( $p = 0.033$ ) 和商业区 ( $p = 0.006$ ); 3) 黑白动态光影响下满意度数据在生态区显著低于开放区 ( $p = 0.039$ ) 和商业区 ( $p = 0.003$ ), 且居住区对应数值显著低于商业区 ( $p = 0.006$ ); 4) 恒亮动态光影响下满意度值在居住区显著低于商业区 ( $p = 0.045$ ), 变亮度动态光影响下满意度值在保护区显著低于开放区 ( $p = 0.031$ ) 和商业区 ( $p = 0.006$ ), 且居住区对应值显著低于商业区 ( $p = 0.004$ ); 5) 低亮动态光影响下满意度值在居住区显著低于开放区 ( $p = 0.033$ ) 和商业区

( $p = 0.006$ )。中亮动态光影响下满意度值在生态区显著低于居住区 ( $p = 0.029$ )、开放区 ( $p = 0.018$ ) 以及商业区 ( $p = 0.014$ )。

综上所述, 动态光在四种功能区内造成的光环境满意度影响存在显著差异, 动态光造成满意度影响的数据结果总结如下: 动态光对生态区满意度的影响最强, 居住区其次, 开放区与商业区相近。因此, 生态区应该避免设置动态光, 但恒定亮度动态光对生态区光环境满意度的影响较小, 必要的动态光可采取恒定亮度的动态光; 居住区应该控制动态光的变化方式、色彩类型与亮度模式, 但可允许动态光的平均亮度有较大的控制范围。

表 9 为四种功能区之间的动态光可忍受阈值速度两两配对 *t* 检验结果, 用于判断各动态光在不同功能分区影响可忍受阈值速度的显著性差异情况。

表 9 四种功能区之间的动态光可忍受阈值速度两两配对 *t* 检验结果

Table 9 Paired *t*-test results of the dynamic light on tolerable speed threshold between each functional areas

动态光参数		生态区和居住区	居住区和开放区	开放区和商业区	居住区和商业区	生态区和开放区	生态区和商业区
变化方式	渐变	$p = 0.005^{**}$	$p = 0.646$	$p = 0.691$	$p = 0.494$	$p = 0.001^{**}$	$p < 0.001^{**}$
	突变	$p = 0.070$	$p = 0.984$	$p = 0.027^*$	$p = 0.278$	$p < 0.001^{**}$	$p < 0.001^{**}$
色彩类型	黑白	$p = 0.004^{**}$	$p = 0.854$	$p = 0.225$	$p = 0.498$	$p = 0.014^*$	$p = 0.001^{**}$
	彩色	$p = 0.192$	$p = 0.262$	$p = 0.331$	$p = 0.129$	$p = 0.003^{**}$	$p = 0.004^{**}$
平均亮度	低亮度	$p = 0.034^*$	$p = 0.624$	$p = 0.976$	$p = 0.628$	$p = 0.003^{**}$	$p = 0.049^*$
	中亮度	$p = 0.044^*$	$p = 0.868$	$p = 0.073$	$p = 0.123$	$p = 0.013^*$	$p = 0.001^{**}$
	高亮度	$p = 0.192$	$p = 0.262$	$p = 0.331$	$p = 0.129$	$p = 0.003^{**}$	$p = 0.004^{**}$
亮度模式	恒定亮度	$p = 0.726$	$p = 0.493$	$p = 0.432$	$p = 0.902$	$p = 0.742$	$p = 0.561$
	变化亮度	$p = 0.124$	$p = 0.962$	$p = 0.237$	$p = 0.696$	$p = 0.036^{**}$	$p = 0.001^{**}$

注: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ 。

结果表明: 1) 在渐变动态光影响下可忍受阈值速度对应的数值在生态区显著低于居住区 ( $p = 0.005$ )、开放区 ( $p = 0.001$ ) 以及商业区 ( $p < 0.001$ ), 突变动态光影响下可忍受阈值速度对应的

数值在生态区显著低于开放区 ( $p < 0.001$ ) 和商业区 ( $p < 0.001$ ), 在开放区的值显著小于商业区 ( $p = 0.027$ ); 2) 黑白动态光的影响下可忍受阈值速度对应的数值在生态区显著低于居住区 ( $p =$

0.004)、开放区 ( $p = 0.014$ ) 以及商业区 ( $p = 0.001$ )，彩色动态光的影响下动态光速度值在生态区显著低于开放区 ( $p = 0.003$ ) 和商业区 ( $p = 0.004$ )；3) 变亮度动态光的影响下动态光速度值在生态区显著低于开放区 ( $p = 0.036$ ) 和商业区 ( $p = 0.001$ )；4) 三种平均亮度影响下可忍受阈值速度对应的数值值均呈现出，生态区显著低于居住区 (低亮  $p = 0.034$ ，中亮  $p = 0.044$ )、开放区 (低亮  $p = 0.003$ ，中亮  $p = 0.013$ ， $p = 0.003$ ) 以及商业区 (中亮  $p = 0.001$ ，高亮  $p = 0.004$ )。

综上所述，动态光在四种功能区内造成的可忍受阈值速度影响存在显著差异，造成的影响结果汇总如下：动态光在生态区内形成的可忍受阈值速度的影响最强，居住区其次，开放区与商业区相近。因此，生态区应该避免设置动态光，但恒定亮度动态光在生态区内产生的可忍受阈值速度的影响较小；开放区中突变动态光对可忍受阈值速度的影响较大。

2.3.2 动态光参数之间的影响对比

根据实验所得动态光参数在特定功能区内造成的影响 (满意度或可忍受阈值速度) 是否有显著差异，可以判断该参数对人影响的敏感度，并以此作为分级的依据。

如表 10 所示，对于四个功能区内的满意度值来说，变化方式对全部四个功能区来说均有显著性影响，色彩类型和亮度模式对三个功能区有显著性影响，而平均亮度仅在两个功能区有显著性差异，其中商业区的  $p$  值为 0.042，非常接近 0.05 的显著性阈值。

表 10 动态光参数在各个分区中的满意度的差异显著性

Table 10 Significant difference of tolerable threshold speed and satisfaction of dynamic light parameters

	变化方式	色彩类型	平均亮度	亮度模式
生态区	$p < 0.001^{**}$	$p < 0.001^{**}$	$p = 0.613$	$p = 0.002^{**}$
居住区	$p < 0.001^{**}$	$p = 0.002^{**}$	$p = 0.018^{*}$	$p = 0.047^{*}$
开放区	$p < 0.001^{**}$	$p < 0.001^{**}$	$p = 0.157$	$p = 0.020^{**}$
商业区	$p < 0.001^{**}$	$p = 0.312$	$p = 0.042^{*}$	$p = 0.385$

注:  $^{*} p < 0.05$ ,  $^{**} p < 0.01$ 。

如表 11 所示，对于四个功能区内的可忍受阈值速度来说，变化方式对全部四个功能区来说均有显著性影响，色彩类型和亮度模式对三个功能区有显著性影响，而平均亮度对全部四个功能区来说均无显著性影响。

表 11 动态光参数在各个分区中对可忍受阈值速度影响的差异显著性

Table 11 Significant difference of tolerable threshold speed and satisfaction of dynamic light parameters

	变化方式	色彩类型	平均亮度	亮度模式
生态区	$p = 0.003^{**}$	$p < 0.001^{**}$	$p = 0.425$	$p = 0.002^{**}$
居住区	$p = 0.023^{*}$	$p = 0.002^{**}$	$p = 0.508$	$p = 0.047^{*}$
开放区	$p < 0.001^{**}$	$p < 0.001^{**}$	$p = 0.692$	$p = 0.020^{*}$
商业区	$p = 0.011^{*}$	$p = 0.312$	$p = 0.278$	$p = 0.385$

注:  $^{*} p < 0.05$ ,  $^{**} p < 0.01$ 。

根据表 10 和表 11，可以大致得到动态光参数对人影响大小的排序：变化方式 > 色彩类型 > 亮度模式，平均亮度并无影响。为了进一步确认各动态光参数具体类型的光污染情况，需要将其对满意度和可忍受阈值速度的影响分别进行统计检验，结果如表 12 所示。其中满意度和可忍受阈值速度的平均值越高，说明该动态光所造成的光污染的程度越低。由此可得出三种参数排列组合下的动态光污染程度的排序。例如，当亮度模式为“变化亮度”时，满意度和可忍受阈值速度均为最低；当变化方式为渐变时，满意度和可忍受阈值速度均为最高。

由表 12 可以看出，对于满意度和可忍受阈值速度来说，突变的动态光变化方式比渐变的动态光变化方式会造成更严重的光污染，变化亮度的动态光亮度模式比恒定亮度的动态光亮度模式会造成更严重的光污染。但对色彩类型来说，虽然彩色动态光的满意度明显更高，但其可忍受阈值速度却更低，并无一致性的结论。可能是因为人们对动态光的丰富色彩会更满意，但对其变化速度也更为敏感。因此对动态光分级来说，只考虑变化方式和亮度模式这两个有一致性结论的动态光参数，暂不考虑对色彩类型进行等级区分。

表 12 动态光分级参数的可忍受阈值速度与满意度值

Table 12 Tolerable threshold speed and satisfaction value of rating parameters

参数	变化方式			色彩类型			亮度模式		
	突变	渐变	配对 $t$	彩色	黑白	配对 $t$	变化亮度	恒定亮度	配对 $t$
满意度	4.26	5.21	$p < 0.001$	4.85	3.94	$p < 0.001$	3.21	4.38	$p < 0.001$
可忍受阈值速度	1.24	2.06	$p < 0.001$	1.41	1.56	$p = 0.08$	0.83	1.48	$p < 0.001$



### 3 动态光分级讨论

综合上述动态光对满意度和可忍受阈值速度影响能力大小的统计分析可知：对于动态光来说，变化方式、色彩类型和亮度模式三个参数是造成动态光污染的主要因素。其对光污染程度的影响排序是：变化方式最大，色彩类型次之，亮度模式再次。具体到三个动态光参数的变量时，色彩类型对满意度和可忍受阈值速度的影响并无一致结论。对于变化方式和亮度模式的四个组合来说，其光污染程度的大小排序为变化亮度 > 突变 > 恒定亮度 > 渐变，这个由实证实验结果分析得出的排序，可以作为确定动态光污染分级的科学证据。

除了“变化方式（突变和渐变）”和“亮度模式（变化亮度和恒定亮度）”之外，对与平时和节假日两种模式的区分使用已成为照明行业内的共识，在动态光的分级中也可以作为进一步精细化分级的指标。由此可以将动态光从“禁止设置任何形式的动态光”到“对动态光不做限制”进行精细化的 9 级分级，具体分级和控制要求如表 13 所示。

表 13 城市夜间光环境中动态光的 9 级分级及其控制要求  
Table 13 Hierarchical classification and control requirement of dynamic light in urban lit environment at nighttime

分级	控制要求
一级	严格禁止：禁止设置任何形式的动态光
二级	严格控制：平时禁止设置动态光，节假日允许使用渐变恒亮度动态光
三级	严格控制：仅允许使用渐变恒亮度动态光
四级	适当控制：平时允许使用渐变恒亮度动态光，节假日允许有画面切换但亮度无明显变化的动态光
五级	适当控制：允许使用渐变恒亮度动态光，允许有画面切换但亮度无明显变化的动态光
六级	适当控制：允许使用渐变的动态光，节假日允许使用亮度有明显变化的渐变动态光
七级	适当控制：允许使用亮度有明显变化的渐变动态光
八级	适当控制：允许使用亮度有明显变化的渐变动态光，节假日对各类动态光不做限制
九级	不做控制：对各类动态光不做限制

### 4 结论与展望

本研究以从照明规划的角度对城市夜间动态光污染进行分级分类为主要目标，先对深圳市罗湖区动态光环境现状调研，结合典型动态光参数的理论

分类，得到 8 种动态光的分类模式。然后通过对不同城市功能区中典型动态光环境的实验室复现，以满意度和可忍受阈值速度为变量开展实证实验。

实验结果表明，变化方式、色彩类型和亮度模式三个参数是造成动态光污染的主要因素，其对光污染程度的影响排序是：变化方式 > 色彩类型 > 亮度模式。通过对三个动态光参数具体变量的分析，发现色彩类型对满意度和可忍受阈值速度的影响并无一致结论，而对于变化方式和亮度模式的四个组合来说，其动态光污染程度的大小排序为：变化亮度 > 突变 > 恒定亮度 > 渐变。

最后，综合调研和实验结果，结合已有照明规划对节假日模式的考虑，得到了一套动态光的精细化分级（9 级）。研究结果可以为城市规划和城市管理部门对光污染分级管控提供依据和参考。

本研究中所使用的动态光模拟设备的亮度控制范围有限，后续研究可以在动态光源种类、动态光参数范围和动态变化速度的精细化设置上进行改进。

#### 参 考 文 献

[1] 梁红山. 光污染对人体的危害及预防 [J]. 环境与职业医学, 2001, 18 (4): 243.

[2] Anisimov V N. Light pollution, reproductive function and cancer risk [J]. Neuro Endocrinology Letters, 2006, 27 (1-2): 35.

[3] 刘鸣, 马剑, 苏晓明, 等. 动态干扰光对人的视觉, 心理, 情绪的影响 [J]. 人类工效学, 2009, 15 (4): 21-21.

[4] WELCH D, DICK R. International dark-sky efforts [J]. The Journal of the Royal Astronomical Society of Canada, 2012, 106 (6): 22-25.

[5] 刘鸣, 张宝刚, 李维珊, 等. 城市照明光色实验模拟与评价研究 [J]. 照明工程学报, 2015, 26 (6): 50-54.

[6] Pustjens T, Schoutens A M, Janssen L, et al. Effect of dynamic light at the coronary care unit on the length of hospital stay and development of delirium: a retrospective cohort study [J]. Journal of Geriatric Cardiology, 2018, 15 (9): 567-573.

[7] Jensen H I, Markvart J, Holst R, et al. Shift work and quality of sleep: effect of working in designed dynamic light [J]. International Archives of Occupational & Environmental Health, 2016, 89 (1): 49-61.

[8] Ye M, Zheng S Q, Wang M L, et al. The effect of dynamic correlated colour temperature changes on alertness

- and performance [J]. Lighting Research & Technology, 2018, 50 (7): 1070-1081.
- [9] 罗明, 郑诗琪, 叶鸣. 动态光对人警觉度与表现的影响 [J]. 照明工程学报, 2016, 27 (6): 1-5.
- [10] 林怡, 刘聪. 办公照明的光生物效应研究综述 [J]. 照明工程学报, 2017, 28 (3): 1-8.
- [11] Murdoch M J, Sekulovski S D, Seuntjens P J H. In the influence of speed and amplitude on visibility and perceived subtlety of dynamic light [C] // Color & Imaging Conference, 2011.
- [12] Liu M, Fan Y, Ma J, et al. Investigation and experiment of dynamic light disturbance [C] // 2009 Symposium on Photonics and Optoelectronics, 2009.
- [13] 孟莹莹, 李健, 杨彪. 夜间商业标识对行人视觉舒适度的潜在影响因素 [J]. 照明工程学报, 2021, 32 (3): 134-141.
- [14] 汪亚江. LED 屏彩色光的瞬时亮度变化对居民侵扰的实验研究 [D]. 天津: 天津大学, 2018.
- [15] 于娟, 王立雄, 张明宇, 等. 城市照明色光对居民室内活动的干扰阈值 [J]. 土木与环境工程学报 (中英文), 2019 41 (1): 136-143.
- [16] 城市夜景照明设计规范: JGJ/T 163—2008 [S].
- [17] 室外照明干扰光限制规范: DB11/T 731—2010 [S].
- [18] 深圳市城市照明专项规划 (2021—2035) [S]. 深圳: 深圳市城市管理和综合执法局, 2021.
- [19] LED 显示屏干扰光现场测量方法: GB/T 34973—2017 [S].

## 中国照明学会文旅照明专业委员会 2022 年年会暨文旅夜游生态产业创新发展论坛将于 9 月在南宁举办

中国照明学会定于 2022 年 9 月 16 日—19 日第 19 届中国—东盟博览会期间, 在广西南宁举办中国 (南宁) 国际照明展览会, 并举办中国照明论坛、中国照明学会理事会和中照照明奖颁奖典礼等活动。中国照明学会文旅照明专业委员会将同期举办 2022 年年会暨文旅夜游生态产业创新发展论坛, 并组织观展交流。诚邀文旅照明领域专家、学者、企业及行业相关人员积极参与交流, 精彩亮相中国 (南宁) 国际照明展览会。

文旅照明专业委员会是中国照明学会分支机构之一, 秉承跨界、融合、创新的发展理念, 依托强大的专家智库资源, 打造文旅夜经济全产业链闭环, 推动文旅行业高质量发展。同时, 在中国照明学会领导下, 积极开展学术交流、标准建设和专业培训, 助力我国文旅照明产业高质量发展。

### 一、时间和地点

会议时间: 2022 年 9 月 18 日 (暂定)

会议地点: 广西南宁国际会展中心

### 二、内容安排

1. 中国 (南宁) 国际照明展览会、中国照明学会 2022 年学术年会暨中国照明论坛, 详见中国照明学会通知。
2. 中国照明学会文旅照明专业委员会 2022 年年会暨文旅夜游生态产业创新发展论坛, 立足文旅夜游发展新起点, 聚焦文旅融合、文旅产业、文旅创新等新业态、新模式、新领域, 从全产业链布局视角, 多角度、多层次、多层次探讨文旅夜游发展趋势。

主要内容如下:

(1) 文旅夜游产业发展现状与分析; (2) 文化 IP 与文旅夜游的多元化发展; (3) 数字科技赋能夜经济发展的创新应用; (4) 文旅夜游与城市更新、乡村振兴的同频共振。

### 3. 委员单位互动交流。

### 三、报名事项

1. 活动特邀嘉宾、文旅照明专业委员会委员不收取会议费用。
2. 非委员会会务费: 500 元/人 (会务/会场/晚餐)。
3. 交通、住宿费用自理, 自行预订住宿酒店。中国 (南宁) 国际照明展览会指定住宿酒店: 南宁曼尔顿国际酒店 (地址: 广西南宁青秀区金浦路 20 号)。因酒店客房数量有限, 参会人员须于 2022 年 8 月 31 日之前预订住宿。
4. 会议即日起接受报名, 8 月 31 日截止报名。
5. 展会期间严格遵循当地防疫政策, 中高风险地区不得参会, 并注意监测个人健康状况。6. 报名事宜请扫描二维码登记:

对本次活动感兴趣或有意向参展的企业, 可联系中国照明学会文旅照明专业委员会秘书处。

联系人: 王安奇 13521928877 E-mail: zhongzhaowenlv@163.com



长按识别二维码,  
在线预订住宿

