



城市居住区夜间光侵扰问题调查研究

于娟, 王立雄, 张明宇, 宋捷翘, 杨笛

(天津大学建筑物理环境与生态技术重点实验室, 天津 300072)

摘要:夜景照明建设的高速发展和LED的广泛应用,致使居住区夜间光侵扰问题日益严重,但缺乏有效的光侵扰防治措施。采用主观调查问卷与客观测试数据结合的方式,调查了居民对光侵扰的主观评价,测量了光侵扰的相关光参数,将城市居住区光侵扰来源划分为4类,分析发现侵扰源亮度、光色、动态形式、发光时间段和发光面积为主要侵扰因素,将光侵扰划分为亮度侵扰、色光侵扰和动态侵扰3种类别,并明确了各类别主要侵扰因素的参数范围。

关键词:居住区;光侵扰;色光侵扰;动态侵扰;侵扰因素

中图分类号: TU113.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2015)06-0114-06

Survey of light trespass for urban residential area

Yu Juan, Wang Lixiong, Zhang Mingyu, Song Jieqiao, Yang Di

(Tianjin Key Laboratory of Architectural Physics and Environmental Technology,
Tianjin University, Tianjin 30072, P. R. China)

Abstract: The rapid development of city lighting and the population of LED have brought us excessive artificial outdoor light. Now there is no effective limitation for it. Based on subjective survey and objective measurement, we got the residents' subjective evaluation and the optical parameter of the light trespass, and identified 4 trespass sources, 5 classic factors (brightness, color, dynamic mode, light-emitting time and area) and 3 major trespass types (brightness trespass, colored trespass, dynamic trespass) of light trespass. And the parameter range was given to the main trespass factors of the 3 types light trespass.

Key words: residential area; light trespass; colored trespass; dynamic trespass; trespass factors

光侵扰(light trespass)是众所周知对居民影响较大,且研究难度最大的一类光污染^[1-5],北美照明工程协会(IESNA)将其定义区分为两种类型:来自相临地域的非必要照明;在视野内有过高照度的灯光(侵扰眩光)。居住区中的光侵扰则来自于室外透入室内的非必要光线,使居住者产生不适、心烦或是

降低能见度等现象^[6]。近年来,城市夜间光环境因夜景照明建设的高速发展而日趋明亮,LED的广泛应用更产生了彩色、动态光。因此,城市居住区夜间发生的光侵扰问题不仅愈加普遍和严重,更叠加了“色光”和“动态光”因素。

国际照明委员会(CIE)针对光污染出版的相关

收稿日期:2015-05-13

基金项目:国家自然科学基金(51208351)

作者简介:于娟(1987-),女,博士生,主要从事建筑光环境研究,(E-mail)601463949@qq.com。

张明宇(通信作者),博士,副教授,(E-mail)zmy0526@163.com。

Received: 2015-05-13

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (No. 51208351)

Author brief: Yu Juan (1987-), PhD candidate, mail research interest: building light environment, (E-mail) 601463949@qq.com.

Zhang Mingyu (corresponding author), PhD, associate professor, (E-mail) zmy0526@163.com.

技术文件^[7-8]中,对防治光侵扰提出了相关建议:划分了4个光环境分区和2个时段(宵禁前后),限制了室外光源朝向居室方向的光强和因其产生的窗口外表面垂直照度。这是现今防治光侵扰的国际标准,中国的现行规范^[9]即是按照“等同采用”原则使用了上述CIE建议。其规范要求主要针对由光源亮度引起的窗口垂直面照度、可见光强两方面,未见针对包含“色光”和“动态光”光侵扰的防治要求。同时,针对照明中的“色光”与“动态光”的研究,主要集中在以优化照明设计、美化城市夜景为研究目的的情感偏好层面^[10-14],未见涉及居民感受的光侵扰防治方面的研究。

城市居住区光侵扰的现状对现行的光侵扰防治要求的有效性提出了挑战,对于中国城市夜间光侵扰的程度判断和评价问题应运而生。针对中国城市居住区光侵扰的现状及其对居民产生的影响等问题,笔者在多个城市开展了实地调研,调查了居民对光侵扰的主观感受,测量了光侵扰的相关参数,依此分析了光侵扰的来源、类型及其侵扰因素,明确了各侵扰因素的光参数范围。

1 城市居住区光侵扰问题调查

调查包括主观调查和客观测量,主观调查针对居民对光侵扰问题的评价,客观测量在主观调查基础上对光侵扰的光参数进行测量。

主观调查在全国范围内展开,不设城市规模限制。调查预筛选出存在光侵扰问题的居住建筑,采用入户调研的方式,对住户进行问卷调查。问卷(见表1~6和表8)设计基于前期研究^[5,15],以进一步了解夜间光侵扰对居民的侵扰影响程度、侵扰影响的室内活动类型、侵扰因素、侵扰来源、侵扰时间段及居民遮光习惯,共完成20个省市的33个城市或地区(图1)的问卷调查,获得1017份有效调查问卷。

客观测量选取了5个城市:北京、天津、上海、武汉和郑州,其中北京、天津和上海3个城市均出台了关于城市照明的地方标准^[17-19],对光侵扰提出了较为细致严格的防治要求;武汉和郑州则为在主观调查城市中随机选取的省会城市。客观测量的目的是获取存在光侵扰问题的居住建筑窗洞口位置的光参数,包括窗口的垂直照度、窗口可见光源的亮度和发光面积、有色光的主波长、动态光的频率,共计测量63个居住区的110组数据,并在天津市针对引起彩



图1 开展主观调查的33个城市或地区分布

Fig.1 The 33 cities or regions surveyed

色、动态侵扰的主要侵扰源“LED动态显示屏”进行了详细测试,获得了154组数据。

2 调查结果及分析

2.1 光侵扰问题严重,现行规范未有效防治

针对“影响程度”的调查结果如表1所示,31.6%的居民“感觉受到些影响”,12%的居民认为“影响很大”。数据表明,光侵扰问题确实干扰着城市居民。

表1 “影响程度”调查问卷及统计结果

Table 1 Questionnaire and result of the survey of “influence degree”

目标	问题	选项	统计结果
影响程度	您是否感觉到窗外的光对您产生影响?	A 没有感觉到	
		B 刚刚感觉到,但影响不大	
		C 感觉受到些影响	
		D 影响很大	

统计并排列所调研33个城市的居民选择“C感觉受到些影响”和“D影响很大”选项所占比例之和(见图2),结果显示,光侵扰对居民的影响程度与城市的大小或发展程度并不相关,各城市均存在光侵扰问题,光侵扰问题普遍存在于中国城市居住区。

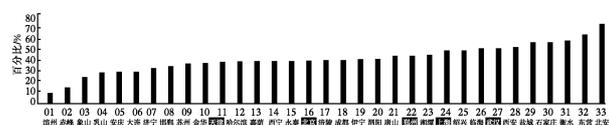


图2 所调研城市的居民选择C、D两选项所占比例之和(按数值从小到大排列)

Fig.2 The sum of the proportion of C and D options chosen by residents of the cities surveyed

光侵扰影响的室内活动类型调查结果中(见表 2),69.5%的居民认为“睡眠休息”最受影响,31.1%的居民认为最影响“学习工作”,27.2%的居民认为最影响“休闲娱乐”。数据说明,光侵扰问题不仅影响着居民“睡眠休息”,还影响着“学习工作”和“休闲娱乐”等室内日常活动。光侵扰对居民多项室内活动均产生干扰影响,再次说明了光侵扰的影响程度之深,问题之严重。

表 2 “影响的室内活动类型”调查问卷及统计结果

Table 2 Questionnaire and result of the survey of “impact activities”

目标	问题	选项	统计结果
影响的室内活动类型(可多选)	若有影响,您认为最影响的是那方面?	A 学习工作	31.10%
		B 睡眠休息	69.50%
		C 休闲娱乐	27.20%
		D 做家务	8.20%
		E 吃饭就餐	8.70%
		F 其它	2.90%

表 3 为对“侵扰时间段”的调查结果,29.1%的居民选择“21:00—23:00”,28.6%居民选择“天黑之后一直存在”,选择“21:00 之前”和“23:00 之后”分别占 19.6%和 19.2%。各选项所占比例接近,这表明光侵扰对居民产生的干扰影响是持续存在的。

表 3 “侵扰时间段”调查问卷及统计结果

Table 3 The design of the questionnaire and result of the survey of “period of time”

目标	问题	选项	统计结果
侵扰时间段	若有影响,影响您的时间段是?(可多选)	A 天黑之后一直存在	28.60%
		B 21:00 点之前	19.60%
		C 21:00—23:00	29.10%
		D 23:00 之后	19.20%
		E 其它	9.90%

调查还统计了居民的“遮光习惯”,如表 4 所示。大部分居民习惯使用窗帘遮光,认为窗帘能有效避免窗外光影响,但存在 20.6%的居民不习惯使用窗帘遮光(大多是因窗帘阻碍室内通风),30.7%的居民认为窗帘不能避免窗外光影响。

表 4 “遮光习惯”调查问卷及统计结果

Table 4 Questionnaire and result of the survey of “shading habit”

目标	问题	选项	统计结果
遮光习惯	您是否习惯窗帘遮光? 窗帘能否有效避免室外光影响?	A 习惯	72.00%
		B 不习惯	20.60%
		C 有效避免	57.40%
		D 不能避免	30.70%

图 3 为客观测量所得的窗口外表面垂直照度数据(测量时间在 23:00 之前),最大值为 39.9 lx,平均值为 6.5 lx,仅 4 例超出现行规范要求值 25 lx^[9],即调研案例的窗口外表面垂直照度大部分满足目前规范要求。

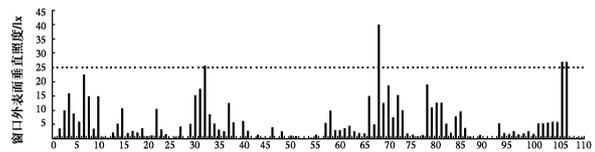


图 3 窗口外表面垂直照度数据(110 组)

Fig. 3 The value of the vertical illuminance of the outer surface of the window (110 groups)

对应于这 5 个城市的主观调查结果中(图 2),居民选择 C、D 两选项所占比例之和最小值为天津的 39.3%。这表明,现行规范控制下的光侵扰仍对居民产生着干扰影响,现行规范未能有效防治光侵扰。究其原因,一方面,CIE 标准采纳的是德国、澳大利亚等国家的建议数值,是以他们的试验数据为依据,并非依据中国城市居民的感受;另一方面,调查发现,因 LED 新光源的使用,光侵扰的干扰因素增加了“色光”和“动态”因素,新因素的叠加降低了居民对光侵扰的包容度。因此,现行规范已不适用于城市居住区的光侵扰现状,亟需开展基于居民主观评价的光侵扰影响研究,以制定完备有效的光侵扰防治措施。

2.2 点、静/动态面、大体量光源为主要光侵扰源

针对“侵扰来源”的调查,所列选项“路灯”、“动态显示屏”、“相邻或自身楼宇装饰照明”所占比例均在 35%以上,“公交站和商业类牌匾”也占 28.4%,各选项所占比例接近,反映出城市居住区的侵扰光源多样共存的特点,见表 5。

表 5 “侵扰来源”调查问卷及统计结果

Table 5 Questionnaire and result of the survey of “source of light trespass”

目标	问题	选项	统计结果
侵扰来源	您认为对您产生影响的室外光来自于以下哪些因素?(可多选)	A 路灯	35.80%
		B 公交站和商业类牌匾	28.40%
		C 动态显示屏(LED)等	37.60%
		D 相邻或自身楼宇装饰照明	35.80%
		E 其它,如:	8.20%

调查发现,相同属性光源产生的光侵扰的侵扰因素相同,可依据光源的发光面积或体积、有无颜色、动/静态等属性将侵扰源分类^[15]。客观测量中记录了14种侵扰光源,如表6所示,分别属于点光源类、静态面光源类、动态面光源类和大体量光源类。

表6 侵扰光源分类

Table 6 The classification of the intrusive light source

侵扰光源分类	编号	光侵扰源	数量	最大亮度/ (cd·m ⁻²)	最小亮度/ (cd·m ⁻²)
点光源	01	路灯	56	81 010	3.8
	02	庭院灯	2	3 390	19
	03	体育场照明	2	5 854	5 603
	04	停车场照明	2	740	368.9
静态面光源	05	灯箱	27	556.8	11.39
	06	公交站牌	7	31 138	12.75
	07	商铺橱窗	11	1 143	4.15
	08	广告幕布照明	6	1 192	5.383
	09	店面标识	95	905.9	2.79
动态面光源	10	LED广告字	9	500	1.62
	11	LED动态显示屏	182	4 252	0
	12	霓虹灯	2	170	115
大体量光源	13	楼体装饰照明	69	659.4	0.401
	14	雕塑装饰	3	11	6

2.2.1 点光源类 指静态的功能性照明,发光面积较小,但亮度普遍较高,测量所得数据中大于1 000 cd/m²的占58.1%,最大值81 010 cd/m²,来源于路灯,无或少见彩色光。来自点光源类光侵扰的侵扰因素主要为其亮度。

2.2.2 面光源类 多为装饰性广告照明,分为静态与动态两类。静态面光源的亮度相对较低,测量数据中仅一例公交站牌因灯具裸露达到31 138 cd/m²(公交站牌的其余数据中的最大值为69.3 cd/m²),因其装饰性而常见彩色,故来源于静态面光源光侵扰的主要侵扰因素应包括亮度和光色。动态面光源类多由LED光源组成,色彩和动态形式多样,故而动态面光源产生的光侵扰的侵扰因素比较复杂,包括亮度、色光和动态形式。测量数据中“LED动态显示屏”可达的最高亮度为4 252 cd/m²,远远高于其他两类动态面光源。因此,“LED动态显示屏”是产生包含色光和动态因素光侵扰的主要来源。

2.2.3 大体量光源类 大体量光源特指建筑(构筑物)装饰照明,由多组照明设施组成,照明突出

建筑(构筑物)的整体体量,故将其视为大体量光源,即将建筑(构筑物)整体体量的面积视为侵扰源的发光面积,故而发光面积也是此类光源产生光侵扰的主要侵扰因素。此类光源动/静态均常见,故侵扰因素也包括亮度、色光和动态形式。

另外,侵扰源的实际发光面积并不代表居民对侵扰源发光面积大小的实际感受,取居民视野(以现场特定视角拍摄的图像替代)中的侵扰源发光面积与窗口面积的比值($S_{l/w}$)来表征窗口可见的光侵扰源的发光面积的比例大小。调研所得各城市 $S_{l/w}$ 数据见表7,天津、郑州存在满窗光侵扰,即 $S_{l/w}$ 为1,均来源于临近窗口的建筑装饰照明;测得的可引起居民受干扰感受的最小 $S_{l/w}$ 为1/328,来源于上海某远离窗口的高层建筑顶部的LED动态显示屏。

表7 侵扰源发光面积与窗口面积比 $S_{l/w}$

Table 7 The value of $S_{l/w}$ for each city

城市	$S_{l/w}$ 最大值	$S_{l/w}$ 最小值
北京	1/8	1/48
天津	1	1/82
上海	1/6	1/328
郑州	1	1/16
武汉	1/5	1/241

2.3 “光色”与“动态形式”成为新的光侵扰因素

如表8所示,在对“侵扰因素”的调查数据中,44.3%的居民最介意“太亮了”、40%的居民介意“有闪动”、37.6%的居民最介意“休息之后还亮着”,介意“光色变化”和“讨厌光的颜色”的居民所占比例为39.6%。数据表明,居民最介意的光侵扰的侵扰因素不仅包括亮度及侵扰源发光时间段,还包括“光色”和“动态形式”这两类新的光侵扰因素。

表8 “侵扰因素”调查问卷及统计结果

Table 8 Questionnaire and statistical result of the survey of “trespass form”

目标	问题	选项	统计结果
侵扰因素	若有影响,您最介意的是那方面?(可多选)	A 太亮了	44.30%
		B 有闪动	40.00%
		C 讨厌光的颜色	15.20%
		D 光色交替变化	24.40%
		E 休息之后还亮	37.60%
		F 其它	1.30%

测试中测量了表征光色的色光主波长及对应的亮度值,记录了典型动态形式的变化频率。

2.3.1 色光主波长及对应亮度 测量不包括路灯等功能照明常使用的暖黄光和白光,仅测量具有显著色彩的侵扰光源,大致分为两类:1)LED类,由RGB(红绿蓝)单色及其混合组成的彩光;2)带彩色外罩(如商业广告灯箱等)的光源产生的彩光。测量位置为窗口外表面(垂直面)。

如图 4 所示,包含色光侵扰因素的光侵扰亮度范围可达 $4\ 252\ \text{cd}/\text{m}^2$,出现在绿光光谱范围内。绿光、黄光、红光光谱范围内亮度值较高,橙光、蓝靛光、紫光光谱范围内亮度值相对较小。统计显示所测得的各光谱范围内最高亮度均来自于 LED 动态显示屏。

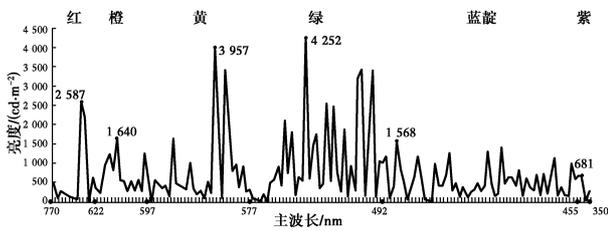


图 4 色光主波长及对应亮度

Fig. 4 Dominant wavelength of the intrusive light source and its luminance

2.3.2 典型动态形式的变化频率 参考已有的动态照明研究^[11],通过定义动态种类和标定动态变化频率可分类、简化并量化动态光。客观测试中共记录了五类典型的动态形式,包括颜色改变、闪烁、滑动(sliding)、延长(extending)和跳跃(skip)。通过目测特定时间段内可识别的变化次数得到侵扰源的动态频率,如表 9 所示。

表 9 五类典型的动态侵扰形式

Table 9 The classification of the intrusive light source and its luminance

种类	描述	频率/Hz
颜色改变	仅指颜色改变	0.25~4
闪烁	仅指亮暗交替变化	0.33~8
滑动	单次变化连续无间断,位置变化,形状不变	0.125~5
延长	单次变化连续无间断,起始点位置不变,形状变化	0.5~4
跳跃	单次变化有间断,位置或形状变化	0.125~2

3 城市居住区光侵扰特点

中国城市居住区光侵扰的特点,如图 5 所示。

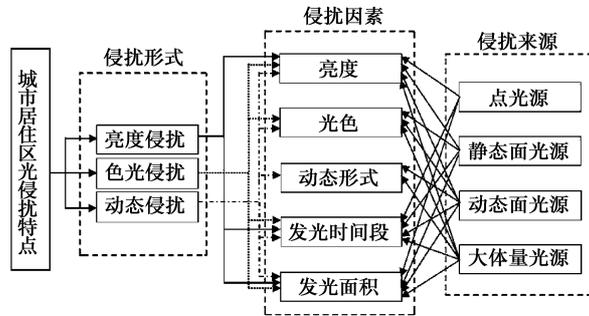


图 5 中国城市居住区光侵扰特点(侵扰形式、因素和来源的关系图)

Fig. 5 The characteristics of light trespass for urban residential area in China

按侵扰来源可分为点光源侵扰、静态面光源侵扰、动态面光源侵扰、大体量光源侵扰四类,不同的侵扰来源形成的侵扰因素不同。

1)点光源的侵扰因素包括亮度、发光时间段、发光面积三类。

2)静态面光源的侵扰因素包括亮度、光色、发光时间段、发光面积四类。

3)动态面光源和大体量光源的侵扰因素包括亮度、光色、动态形式、发光时间段、发光面积 5 类。

城市居住区光侵扰的侵扰因素包括侵扰源的亮度、光色、动态形式、发光时间段和发光面积 5 项。

发光时间段和发光面积是侵扰光源的固有属性,故为光侵扰的固有因素。除此之外,将仅含有亮度因素的光侵扰形式定义为“亮度侵扰”,在亮度侵扰基础上叠加了光色因素的光侵扰形式定义为“色光侵扰”,包含动态形式的亮度侵扰或色光侵扰被定义为“动态侵扰”。亮度侵扰、色光侵扰、动态侵扰为城市居住区光侵扰的三大侵扰形式。

去除极端(最大)测量值,表征三大侵扰形式主要侵扰因素的参数数值范围见表 10。

表 10 三大侵扰形式主要侵扰因素的参数范围

Table 10 The parameter range of the main trespass factors of the three trespass forms

侵扰形式	亮度/ ($\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$)	主波 长/nm	动态频 率/Hz	$S_{l/w}$
亮度侵扰	0~35 450			1/328~1
色光侵扰	0~3 957	425.8~632.0		1/328~1
动态侵扰	0~3 957	425.8~632.0	0.125~6	1/328~1

4 结 论

中国城市居住区的光侵扰来源于点、静/动态面和大体量四类侵扰源,包括亮度、光色、动态形式、发光时间段和发光面积五类侵扰因素,可分为亮度侵扰、色光侵扰和动态侵扰三大侵扰形式。理清侵扰形式、因素和来源之间的对应关系,即掌握了城市居住区光侵扰的特点,是明晰光侵扰的影响机理及研究不同类型侵扰与居民主观反映之间关系的重要基础。笔者对中国城市居住区的光侵扰进行主观调查和实地测量,为进一步研究获取光侵扰的光度限制指标提供了基础数据,为完善中国光侵扰的相关研究提供了基础。

参考文献:

- [1] 肖辉乾,郝允祥.光污染的危害、动向与防治方略[J].照明技术,2003(1):1-6.
- [2] 刘鸣.城市照明中主要光污染的测量、实验与评价研究[D].天津:天津大学,2007.
Liu M. Measurement, experiment and evaluation on main light pollutions from urban lighting [D]. Tianjin: Tianjin University, 2007.
- [3] 黄光佑.住商混合区街道广告照明光侵扰研究[D].台湾台南:成功大学,2008.
Huang G Y. A study on light trespass from advertising signs in mixed residential commercial district [D]. Taiwan Tainan: National Cheng Kung University, 2008.
- [4] 赵又禅.住宅区户外照明光侵扰之研究[D].台湾台南:成功大学,2009.
Zhao Y C. A study on light trespass from outdoor lighting in residential districts [D]. Taiwan Tainan: National Cheng Kung University, 2009.
- [5] 苏晓明.居住区光污染综合评价研究[D].天津:天津大学,2011.
Su X M. Residential area lighting pollution cumulative evaluation research [D]. Tianjin: Tianjin University, 2011.
- [6] Lewin I. Light Trespass and Light Pollution [C] // The IESNA Street and Area Lighting Conference Minneapolis, Minnesota, USA, 2009.
- [7] International Commission on Illumination. CIE 150: 2003 Guide on the limitation of the effects of obtrusive light from outdoor lighting installations [R]. CIE Central Bureau, Vienna, Austria, 2004.
- [8] International Commission on Illumination. CIE 136—2000 Guide to lighting of urban areas [R]. CIE Central Bureau, Vienna, Austria, 2000.
- [9] 中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ/T 163—2008 城市夜景照明设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2009.
Ministry of Housing and Urban-Rural Development of People's Republic of China. JGJ/T163—2008 Code for lighting design of urban nightscape [S]. Beijing: China Architecture & Building Press, 2009.
- [10] 肖俊宏.景观照明中色光偏好量化方法研究[D].天津:天津大学,2008.
Xiao J H. A research of quantificational method on chromatic-light preference in landscape illumination [D]. Tianjin: Tianjin University, 2008.
- [11] Liu X X. Fundamental research on psychological evaluation of dynamic lighting in urban space [D]. Tokyo: The University of Tokyo, 2013.
- [12] 潘晓寒.城市夜间光色环境立体观测与实验研究——以大连城市为例[D].大连:大连理工大学,2014.
Pan X H. The stereometric observation and experiment of urban lighting-as an example of Dalian [D]. Liaoning Dalian: Dalian University of Technology, 2014.
- [13] Han J, Lee M, Yoo S, et al. A survey of light pollution by signs and its improvement [C] // 28th session of the CIE, 2015.
- [14] Yoo S S, Lee S J, Gil J S, et al. A study on the reduction of light pollution caused by architectural lighting [C] // 28th session of the CIE, 2015.
- [15] 于娟.天津市居住建筑夜间光侵扰评价研究[D].天津:天津大学,2013.
Yu J. The research on light trespass of Tianjin residential buildings at night [D]. Tianjin: Tianjin University, 2013.
- [16] GB/T 5700—2008 照明测量方法[S].北京:中国标准出版社,2008.
GB/T 5700—2008 Measurement methods for lighting [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.
- [17] DB 29—71—2004 天津市城市景观照明工程技术规范[S].天津:天津市建设管理委员会,2004.
DB 29—71—2004 Technical standard for urban landscape lighting [S]. Tianjin: Tianjin Urban & Rural Construction Commission, 2004.
- [18] DB 31/T 316—2012 城市环境(装饰)照明规范[S].上海:上海市质量技术监督局,2012.
- [19] DB 11/T 388—2015 城市景观照明技术规范[S].北京:北京市质量技术监督局,2015