

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2017.04.008



中国便利店的照明能耗预测模型与主观评价

蔡宙燊¹, 张昕¹, 张宇涛²

(1. 清华大学 建筑学院, 北京 100084; 2. 广东三雄极光照明股份有限公司, 广州 511495)

摘要:便利店销售额在传统零售业中增幅最高, 照明在所调研样本总室内能耗中占比为 43%。基于全国 257 家便利店的数据, 探讨便利店的照明特征。采用多重线性回归方法建立照明能耗预测模型, 采用因子分析方法探讨客观参数与主观评价的联系。研究表明, 对便利店, 考虑照明节能时需同步关注其主观评价的变化; 进行照明设计时需因地制宜; 照明能耗预测模型为 $\ln y = 0.479 \ln x_1 + 0.248 \ln x_2 - 0.217$ (y 为照明功率密度, x_1 为单位面积照明造价, x_2 为典型货架位置水平照度平均值); 顾客对照明充足度的“敏感性”比照明均匀度高; 提高照度平均值有助于提高主观评价。

关键词:便利店; 照明; 能耗; 预测模型; 视觉满意度

中图分类号: TU113.19 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-4764(2017)04-0048-08

Prediction model of lighting energy consumption and subjective evaluation of convenience stores in China

Cai Zhoushen¹, Zhang Xin¹, Zhang Yutao²

(1. School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, P. R. China; 2. Guangdong Sanxionglighting limited company, Guangzhou 511495, P. R. China)

Abstract: Sales volume on convenience stores increased the most, and lighting made up 43% of interior energy consumption. Based on sample investigation of 257 convenience stores in China, the survey data were collected, and lighting feature were exposed. Multiple linear regression was adopted to built the prediction model of lighting energy consumption, and factor analysis was adopted to explore the connection between subjective evaluation and objective variables. The results showed that: for convenience stores, subjective evaluation would be accounted when saving lighting energy; lighting design method would vary to fit different region; the prediction model of lighting energy consumption is $\ln y = 0.479 \ln x_1 + 0.248 \ln x_2 - 0.217$; customers were more sensitive about illumination adequacy than uniformity and increasing the illumination improved subjective evaluation.

Keywords: convenience stores; lighting; energy consumption; prediction model; visual satisfaction

收稿日期: 2016-12-27

基金项目: 国家自然科学基金(51478236)

作者简介: 蔡宙燊(1992-), 女, 主要从事建筑学研究, (E-mail) caizs11@163.com。

张昕(通信作者), 男, 副教授, 博士生导师, 主要从事建筑光学研究, (E-mail) of-zx@126.com。

Received: 2016-12-27

Foundation item: National Natural Science Foundation of China(No. 51478236)

Author brief: Cai Zhoushen (1992-), main research interest: architecture, (E-mail) caizs11@163.com.

Zhang Xin (corresponding author), associate professor, doctoral supervisor, main research interest: architecture lighting, (E-mail) of-zx@126.com.

便利店是一种用以满足顾客应急性、便利性需求的零售业态^[1]。2013年,便利店的15家主要代表企业销售额增速为18.2%,在传统零售业中增幅最高^[2]。2013年末,中国便利店零售营业面积为131.4万m²,从业人数7.4万人,门店数量14680个,商品销售额311.3亿元^[3]。照明在零售建筑能耗中占比最高,在美国约为30.1%^[4],英国约为34.0%^[5],本研究调研样本占比为43%。

学者们对于便利店照明的研究主要集中在节能方面。研究表明:对便利店,使用LED灯取代荧光灯,节能率超过50%^[6-7];使用调光装置的T8,能耗降低38.67%^[8];使用EEMs和远程高效制冷系统,能耗降低13%^[9];使用RFID控制系统和发光二极管光源,能耗降低65.6%^[10]。上述研究多关注照明能耗,对主观评价的研究较少。

通过对中国257家便利店的实测数据和主观评价的分析,总结中国便利店的照明特征,建立便利店照明的能耗预测模型,探讨便利店照明的客观参数与顾客的主观评价之间的关系,以期为便利店的照明设计提供支撑。

1 研究方法

1.1 数据采集

实测数据来源于中国各地257家便利店,约占全国便利店总门店数的0.02%。样本取自中国32个地级市,在东部、中部、东北及西部均有分布,占比分别为42%、16%、9.3%和32.7%。调研内容和方法如表1所示。

表1 调研内容与调研方法

Table 1 Lighting topics and methods

调研内容	调研方法
光源类型与相关参数	查阅工程档案
灯具类型与台数	查阅工程档案
照明方式	现场记录
照明总耗电功率	分表计量
照明功率密度(LPD)	计算
单位面积照明造价	现场记录
开敞空间水平照度	现场测试
典型货架位置水平照度	现场测试
典型货架位置垂直照度	现场测试
照度均匀度U1	照度最小值/照度平均值
照度均匀度U2	照度平均值/照度最大值
主观评价	问卷调查

对几项关键数据作如下解释:

1)开敞空间水平照度。开敞空间指在一个标准柱网单元内无货架、柜台等遮挡的空间。开敞空间水平照度为每家店3处开敞空间水平照度平均值的平均值(不按面积加权)。

2)典型货架位置照度。选取具有代表性的货架,测量货架之间通道的水平照度,并计算水平照度平均值和均匀度,取3处货架通道的平均值作为该店典型货架位置水平照度和水平照度均匀度;以上通道处货架实测低(0.2m)、中(1.0m)、高(2.0m)3个位置的垂直照度,并分别计算垂直照度平均值和均匀度,取3处货架通道的平均值作为该店典型货架位置垂直照度和垂直照度均匀度。

3)主观评价。主观评价采用问卷调查法,每个城市辖区的便利店随机委派3个照明从业人员作为评价人,并且各城市辖区的评价人不重复,共96位评价人。在不知道实测数据的前提下,评价人走遍便利店,填写调查问卷得到主观评价数据。^[11]主观评价数据如表2所示。

表2 主观评价

Table 2 subjective variables

主观评价变量	主观评价变量解释	对应的问卷问题
地面照明充足度	评价人对便利店地面照明的光线是否充足的主观感觉	地面照明情况:不足、1、2、3、4、5、充足
地面照明均匀度	评价人对便利店地面照明的光线是否均匀的主观感觉	地面照明情况:不均匀、1、2、3、4、5、均匀
商品照明充足度	评价人对便利店商品照明的光线是否充足的主观感觉	商品照明情况:不足、1、2、3、4、5、充足
商品照明均匀度	评价人对便利店商品照明的光线是否均匀的主观感觉	商品照明情况:不均匀、1、2、3、4、5、均匀
商品照明的颜色呈现度	评价人对便利店商品照明的颜色呈现是否正确的主观感觉	商品照明情况:颜色不正确、1、2、3、4、5、颜色正确
整体视觉环境舒适度	评价人对购物的整体视觉环境是否舒适的主观感觉	购物的整体视觉环境:不舒适、1、2、3、4、5、舒适

1.2 分析方法

采用SPSS软件对数据进行统计分析以及建立

能耗预测模型。

1)多重线性回归^[12]:通过 person 相关性分析可知因变量与多个自变量存在线性相关关系,采用多重线性回归,建立因变量与多个自变量之间的关系。

2)因子分析^[13]:经过 KMO 和 Bartlett 的检验可知,采用的 6 个五点法主观变量之间中等相关或

强相关,经由因子分析,以综合主成分“整体视觉满意度”代表主观变量。

2 照明现状

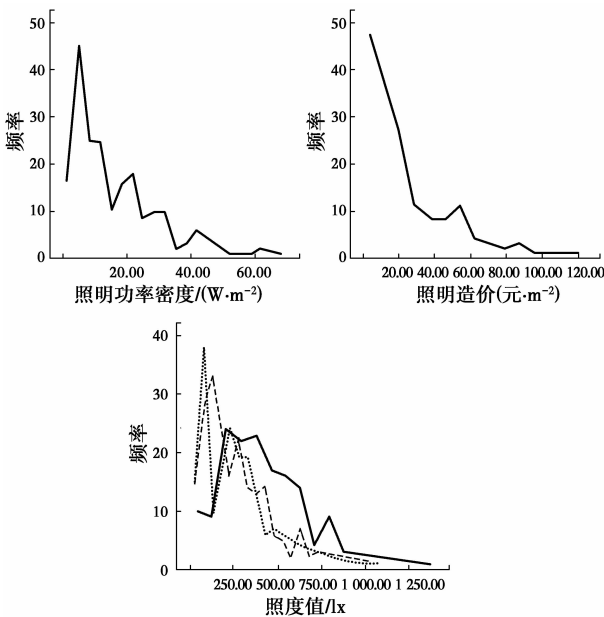
通过对客观数据的统计分析,整理中国便利店照明样本的代表性指标如表 3 所示。

表 3 中国便利店照明代表性指标调查结果

Table 3 Overview of typical survey results in convenience stores

统计量	面积/m ²	每日开灯时间/h	单位面积照明造价/(元·m ⁻²)	照明所占室内耗电的百分比	照明功率密度/(w·m ⁻²)	期望装修周期/年	期望换灯周期/年	开敞空间水平照度平均值/lx	典型货架位置水平照度平均值/lx	典型货架位置垂直照度平均值/lx
样本数	251	226	163	91	199	208	205	152	196	196
最小值	9.00	3.00	2.80	1%	1.75	1.00	1.00	17.75	13.90	13.13
最大值	600.00	24.00	120.00	94%	66.67	15.00	10.00	1 410.00	1 073.00	1 080.30
均值	92.78	16.75	24.38	43%	15.62	4.24	2.75	396.48	259.47	244.71
标准差	110.69	4.98	23.11	0.28	12.49	2.79	1.24	225.03	180.75	181.81

便利店的代表性指标调查结果的频率分布如图 1 所示。



注: — 开敞空间水平照度平均值 ---- 典型货架位置水平照度平均值
 典型货架位置垂直照度平均值

图 1 便利店照明代表性指标调查结果的频率分布图

Fig. 1 Frequencies and distributions of typical survey results in convenience stores

便利店代表性指标的地域性特征如图 2 所示。

进一步使用 SPSS 对数据的地域性特征进行深入分析^[14],其结果如表 4 和图 3 所示。

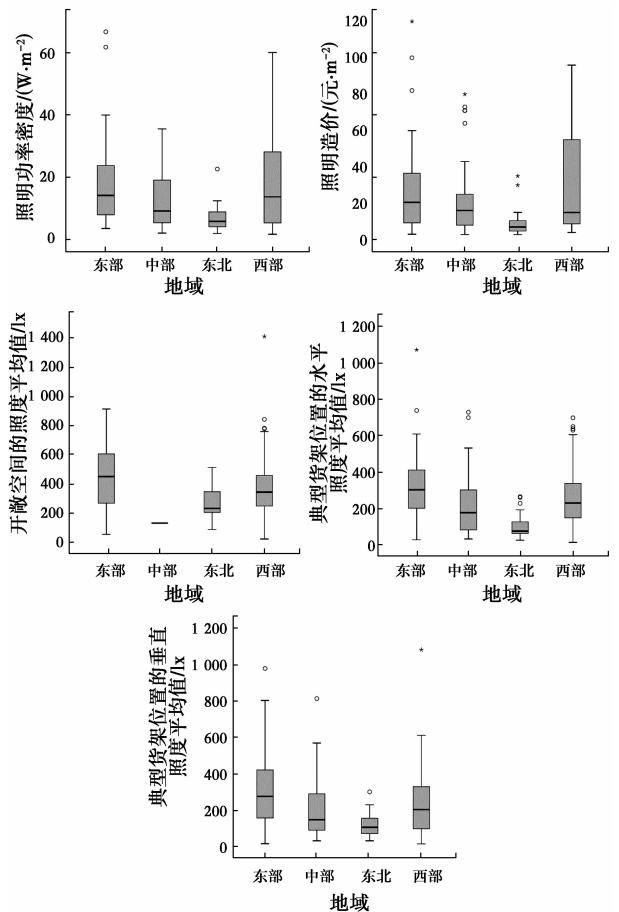


图 2 便利店代表性指标的地域性特征
 Fig. 2 Comparisons of typical survey results between four regions

表 4 K-W 检验结果
Table 4 Kruskal-Wallis test

统计量	照明功率密度	单位面积照明造价	典型货架位置的 水平照度平均值	典型货架位置的 垂直照度平均值
卡方	23.091	19.654	29.279	28.507
df	3	3	3	3
渐近显著性	0	0	0	0

注:采用 Kruskal Wallis 检验,分组变量为地域。

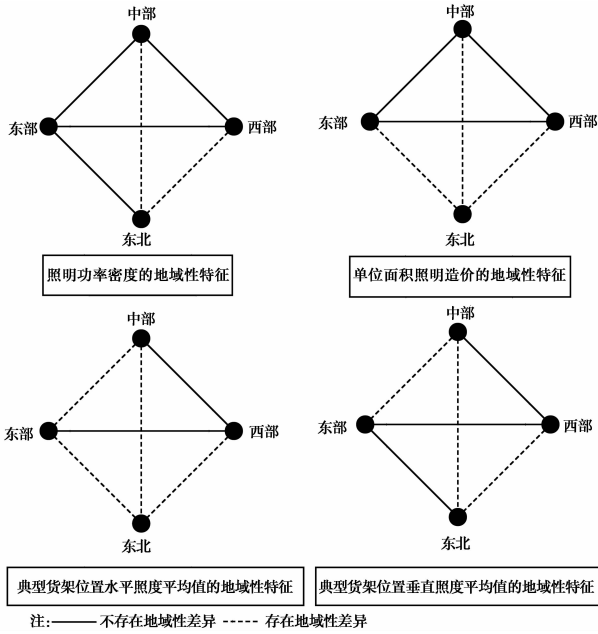


图 3 K-W 检验的成对比较结果

Fig. 3 Pairwise comparisons results of Kruskal-Wallis test

由表 4 和图 3 可知:照明功率密度、单位面积照明造价、典型货架位置水平/垂直照度均存在地域性差异。具体表现为:对照明功率密度,东北与东部/西部区域存在地域性差异,其他区域两两之间不存在地域性差异;对单位面积照明造价,东北与东部/中部/西部区域存在地域性差异,其他区域两两之间不存在地域性差异;对典型货架位置水平照度平均

值,东北与东部/中部/西部区域存在地域性差异,东部与中部区域存在地域性差异,其他区域两两之间不存在地域性差异;对典型货架位置垂直照度平均值,东北与东部/西部区域存在地域性差异,东部与中部区域存在地域性差异,其他区域两两之间不存在地域性差异。

3 能耗预测模型

研究拟建立照明功率密度的预测模型,其自变量的选取过程如图 4 所示,其偏相关分析结果如表 5 所示。

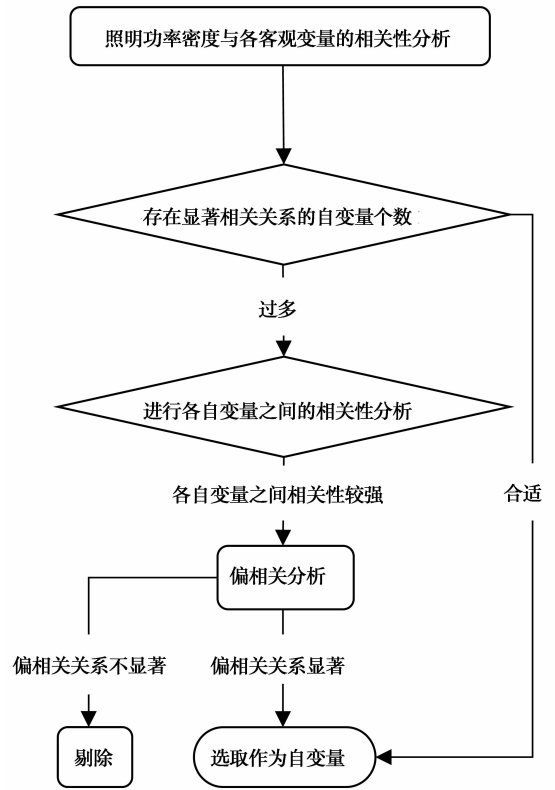


图 4 自变量选取过程示意图

Fig. 4 The process of selecting independent variables

表 5 照明功率密度与各客观变量的偏相关分析

Table 5 Partial correlation analysis between LPD and objective variables

控制变量		开敞空间的照 度平均值	典型货架位置的 水平照度平均值	典型货架位置的 水平照度均匀度 U1	典型货架位置的 垂直照度平均值	典型货架位置的 垂直照度均匀度 U1	
单位面积 照明造价	照明功 率密度	相关性	0.165	0.434	0.115	0.117	0.213
		显著性(双侧)	0.158	0.000	0.325	0.316	0.066
		df	73	73	73	73	73

由表 5 可知:剔除掉单位面积照明造价的影响之后,照明功率密度与开敞空间照度平均值、典型货架位置的垂直照度平均值、典型货架位置的水平/垂直照度均匀度 U_1 ,与典型货架位置水平照度平均

为正的中度相关。故而,以照明功率密度为因变量,以单位面积照明造价、典型货架位置水平照度平均值为自变量,建立能耗预测模型。设定 y 为照明功率密度, x_1 为单位面积照明造价, x_2 为典型货架位

置水平照度平均值。

预测模型建立过程如图 5 所示。

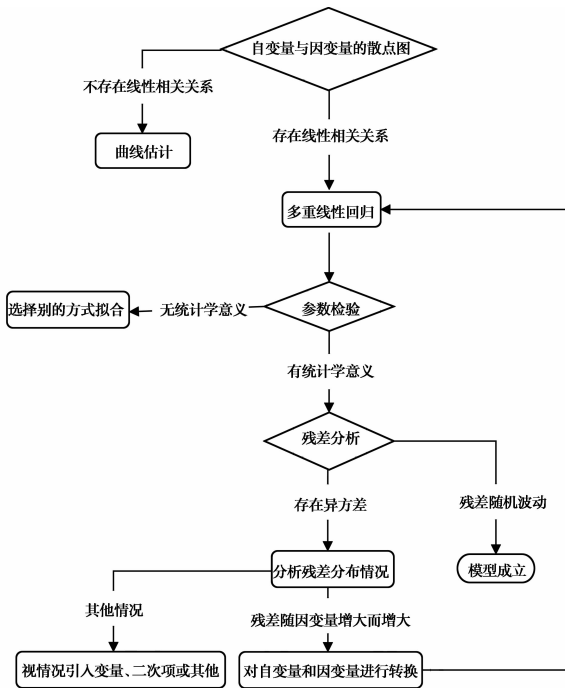


图 5 预测模型建立过程示意图

Fig. 5 The process of building prediction model

第一次多重线性回归的残差分析如图 6、7 所示。

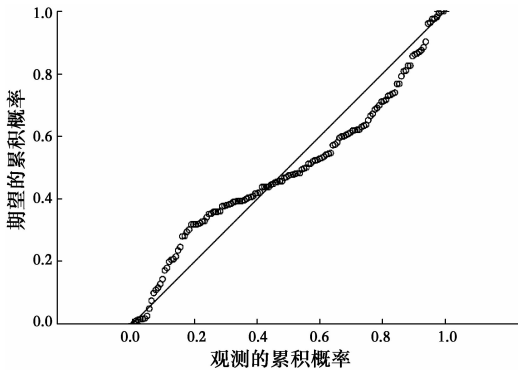


图 6 回归标准化残差的标准 P-P 图

Fig. 6 Standard P-P diagram of regression standardized residuals

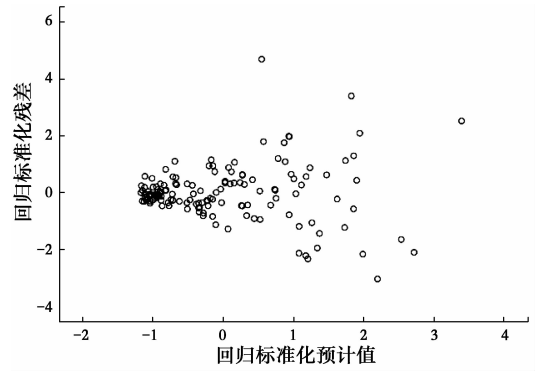


图 7 照明功率密度的标准化预测值与其回归标准化残差的散点图

Fig. 7 Scatter plot of standardized predicted values and regression standardized residuals of LPD

由图 6、7 可知,模型存在异方差,需对自变量和因变量进行转换^[15]。对自变量和因变量进行对数转化进行第二次多重线性回归——转化后的自变量 $\ln x_1$ 表示单位面积照明造价的对数,自变量 $\ln x_2$ 表示典型货架位置水平照度平均值的对数,因变量 $\ln y$ 表示照明功率密度的对数。

其回归结果如表 6 所示,其残差分析如图 8 和图 9 所示。

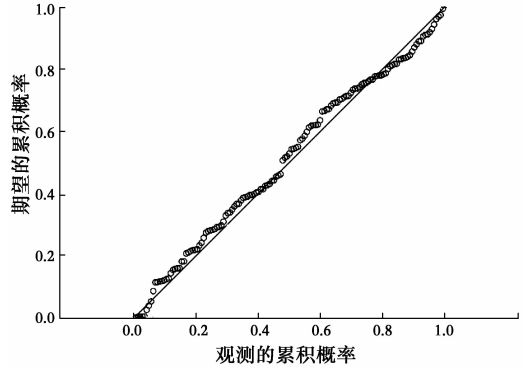


图 8 回归标准化残差的标准 P-P 图

Fig. 8 Standard P-P diagram of regression standardized residuals

表 6 多重线性回归结果

Table 6 The result of multiple linear regression

模型	R	R ²	调整 R ²	标准估计的误差	Durbin-Watson					
	0.816	0.665	0.661	0.451	1.534					
模型	非标准化系数		标准系数	t	Sig.	相关性			共线性统计量	
	B	标准误差	试用版			零阶	偏	部分	容差	VIF
常量	-0.217	0.226		-0.957	0.340					
$\ln x_1$	0.479	0.059	0.578	8.173	0.000	0.789	0.571	0.402	0.485	2.062
$\ln x_2$	0.248	0.059	0.295	4.172	0.000	0.710	0.335	0.205	0.485	2.062

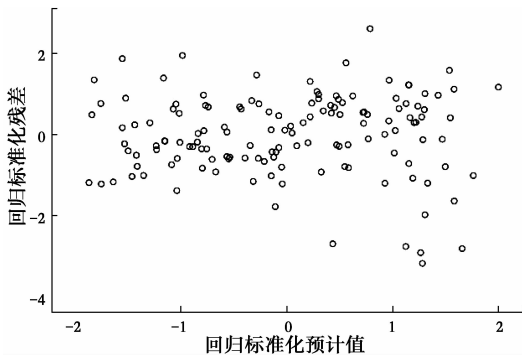


图 9 照明功率密度的自然对数的标准化预测值与其回归标准化残差的散点图

Fig. 9 Scatter plot of standardized natural logarithm of predicted values and regression standardized residuals of LPD

由表 6 可知,多重线性回归模型的调整 R^2 为 0.661,模型拟合性能较好,且其自变量的参数值都是有统计意义的。由图 9 可知,多重线性回归的残差在 0 左右随机波动,且变化范围在一条水平带状区域上。综合表 6、图 8 和图 9,可知,多重线性回归模型成立,其函数表达式为

$$\ln y = 0.479 \ln x_1 + 0.248 \ln x_2 - 0.217 \quad (1)$$

式中: y 为照明功率密度; x_1 为单位面积照明造价; x_2 为典型货架位置水平照度平均值。

其三维函数图像如图 10 所示。

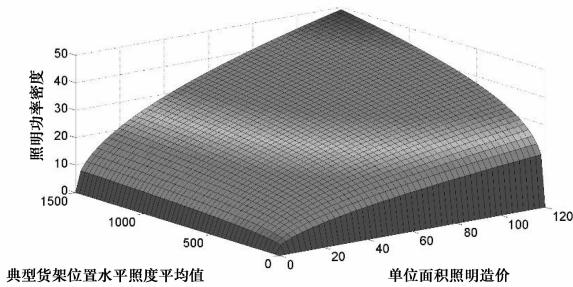
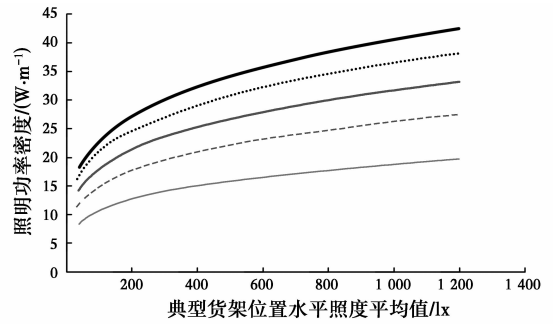


图 10 能耗预测模型的三维图

Fig. 10 Three dimensional graph of the prediction model

根据能耗预测模型,当单位面积照明造价为 20、40、60、80、100 元时,其照明功率密度随典型货架位置水平照度平均值的变化趋势如图 11 所示。

由图 11 可知,当单位面积照明造价恒定时,照明功率密度随典型货架位置水平照度平均值增加而



注: — 单位面积照明造价为20元 --- 单位面积照明造价为40元
— 单位面积照明造价为60元 单位面积照明造价为80元
— 单位面积照明造价为100元

图 11 照明功率密度预测值

Fig. 11 Predicted value of lighting power density

增加,但其增加的速度(即曲线的斜率)随典型货架位置水平照度平均值增加而慢慢减少,最终趋于恒定。当典型货架位置水平照度平均值恒定时,照明功率密度随单位面积照明造价增加而增加,但其增加的幅度(即因变量的差值)随单位面积照明造价增加而减少。当典型货架位置水平照度平均值提高时,照明功率密度随单位面积照明造价增加的幅度也提高。

4 主观评价与客观参数之间的相关性

4.1 针对照明充足度/均匀度的主客观变量相关性

便利店的主观评价变量与客观参数变量之间的对应关系如表 7 所示。

表 7 主观评价变量与客观参数变量的对应关系

Table 7 The correspondence subjective variables and objective variables

主观评价变量		客观参数变量
照明充足度	地面照明充足度	开敞空间水平照度平均值
	商品照明充足度	典型货架位置水平照度平均值
照明均匀度	地面照明均匀度	开敞空间水平照度均匀度 U_1
	商品照明均匀度	典型货架位置水平照度均匀度 U_1
		典型货架位置垂直照度均匀度 U_1

其相关性检验结果如表 8 所示。

表 8 照明充足度/均匀度主观变量与客观变量的相关性检验表

Table 8 Correlation test between subjective variables and objective variables on illumination adequacy and uniformity

统计量	主观评价变量	开敞空间的照度平均值	典型货架位置的照度平均值	典型货架位置的垂直照度平均值	主观评价变量	开敞空间的照度均匀度 U_1	典型货架位置的照度均匀度 U_1	典型货架位置的垂直照度均匀度 U_1
相关系数	地面/商品照明充足度	0.717**	0.603**	0.701**	地面/商品照明均匀度	0.248**	0.328**	0.268**
Sig. (双侧)		0	0	0		0	0	0
N		418	476	476		418	476	476

注: ** . 在置信度(双侧)为 0.01 时,相关性是显著的。

由表 8 可知:照明充足度与对应的照度平均值为正的强相关,照明均匀度与对应的照度均匀度 U_1 为正的弱相关。

4.2 主观评价变量的主成分分析

对主观评价变量进行 KMO 和 Bartlett 的检验,其结果如表 9 所示。其 KMO 值为 0.917,可对主观评价变量进行因子分析,进一步完成主成分分析。

表 9 KMO 和 Bartlett 的检验

Table 9 KMO and Bartlett inspection

取样足够度的 Kaiser-Meyer-Olkin 度量	Bartlett 的球形度检验		
	近似卡方	df	Sig.
0.917	4 133.092	15	0.000

表 11 整体视觉满意度与各客观参数之间的相关性检验表

Table 11 Correlation test between overall visual satisfaction and the related objective variables

统计量	开敞空间 的照度平 均值	开敞空间 的照度均 匀度 U_1	典型货架 位置的水 平照度平 均值	典型货架 位置的水 平照度均 匀度 U_1	典型货架 位置的垂 直照度平 均值	典型货架 位置的垂 直照度均 匀度 U_1	照明功率 密度	单位面积 照明造价
Spearman 的 rho	0.740**	0.365**	0.587**	0.339**	0.688**	0.272**	0.404**	0.406**
	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
	418	418	476	476	476	476	501	434

注:**. 在置信度(双侧)为 0.01 时,相关性是显著的。

由表 11 可知,整体视觉满意度与开敞空间照度平均值、典型货架位置垂直照度平均值为正的强相关,与典型货架位置水平照度平均值、照明功率密度、单位面积照明造价为正的中度相关,与开敞空间照度均匀度 U_1 、典型货架位置水平照度均匀度 U_1 、典型货架位置垂直照度均匀度 U_1 为正的弱相关。

5 结论

1)中国便利店的照明能耗均值高于建筑照明设计标准 GB 50034—2013 现行值(此现行值与调研时采用的建筑照明设计标准 GB 50034—2004 一致),但便利店的主观评价“整体视觉满意度”与照明功率密度之间为正的中度相关。因此,在考虑便利店节能的同时,应关注其主观评价“整体视觉满意度”的变化。便利店的主观评价“整体视觉满意度”与照明功率密度之间的关系有待进一步研究。

2)照明功率密度、单位面积照明造价、典型货架位置水平/垂直照度平均值存在地域性差异,且东北区域的照明特征与东部/中部/西部有明显区别。在探讨便利店照明节能策略时应因地制宜,应对东北

其成分矩阵如表 10 所示。

表 10 成分矩阵

Table 10 Component Matrix

	地面照 明充足度	地面照 明均匀度	商品照 明充足度	商品照 明均匀度	商品照 明的颜 色呈现度	整体视 觉环境 舒适度
1	0.929	0.896	0.919	0.877	0.900	0.922

将得到的综合主成分保存为描述主观评价的新变量,综合主成分包括地面照明充足度、地面照明均匀度、商品照明充足度、商品照明均匀度、整体视觉环境舒适度,将其定义为“整体视觉满意度”。

4.3 整体视觉满意度与各客观变量之间的关系

整体视觉满意度与各客观参数之间的相关性检验结果如表 11 所示。

区域进行专门研究。

3) 照明功率密度的预测模型为 $\ln y = 0.479 \ln x_1 + 0.248 \ln x_2 - 0.217$ (y 为照明功率密度, x_1 为单位面积照明造价, x_2 为典型货架位置水平照度平均值)。在低/中/高照明造价项目中,照明能耗均随“亮的诉求”而提升,但其增长速度在随亮度提升到一定程度时趋于稳定。在进行便利店照明设计时,确定造价后可根据模型兼顾合理的照明能耗和优良的照明效果。

4)照明充足度与对应的照度平均值为正的强相关,照明均匀度与对应的照度均匀度 U_1 为正的弱相关。顾客对照明充足度的“敏感性”比照明均匀度高。

5)整体视觉满意度与开敞空间照度平均值、典型货架位置垂直照度平均值为正的强相关。进行便利店照明设计时,在一定范围内提高开敞空间的地面照度及商品照度,有助于提高便利店的整体视觉满意度。

6)调研时间为 2013—2014 年,调研获得的期望装修/换灯周期为 4.24/2.75 年,根据 LED 产品的

发展趋势,能耗预测模型的有效时间建议为2018年之前。

参考文献:

- [1] 方智勇. 我国便利店发展现状与趋势[J]. 当代经济, 2010(1): 52-53.
FANG Z Z. Current situation and development trend of convenience stores in China [J]. Contemporary Economy, 2010(1): 52-53. (in Chinese)
- [2] 中国便利店发展报告:数据、O2O和服务是关键[J]. 全国商情, 2015(Sup2): 21-22.
China convenience store development report: Data, O2O and services are key points [J]. National Business, 2015(Sup2): 21-22. (in Chinese)
- [3] 国家统计局. 中国统计年鉴[M]. 北京:中国统计出版社, 2014.
National Bureau of Statistics. China statistical yearbook [M]. Beijing: China Statistics Press, 2014. (in Chinese)
- [4] JORDAN D K. Building energy data book; Department of Energy [EB/OL]. [2011-11-09]. <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov>
- [5] JORDAN D K. Building energy data book; Department of energy & climate change, 2011, Energy consumption in the UK - Services sector energyconsumption [EB/OL]. [2011-11-09]. <http://buildingsdatabook.eren.doe.gov>
- [6] 任士宪. 加油站应用LED灯的节能效果分析[J]. 当代石油石化, 2011(7): 28-29,50.
REN S S. Analysis on energy saving effect of LED lamp used in gas station[J]. Contemporary Petroleum and Petrochemical, 2011,(7): 28-29,50. (in Chinese)
- [7] 上海照元节能技术有限公司. 绿色全家 节能先行——全家便利店LED照明节能改造[J]. 上海节能, 2012(7): 10,12.
ZHAOYUAN Energy Saving Technology company. Green QUANJIA, energy saving first - QUANJIA convenience store LED lighting energy-saving transformation [J]. Shanghai Energy Conservation, 2012(7): 10,12. (in Chinese)
- [8] TIRAWANNAVIT K, KRUEASUK W, BHASAPUTRA P. Energy management for light system in the convenience stores; Case study of gas station in Thailand [C]// 2011 International Conference and Utility Exhibition on Power and Energy Systems: Issues & Prospects for Asia (Icue), 2011: 5.
- [9] LEE H C, HSIEN W D, LIN J Y. Investigation of energ-efficient convenience store in Taiwan [C]// Proceedings of the 3rd Asian Conference on Refrigeration and Air-Conditioning Vols I and II, 2006: 441-444.
- [10] LEE D S, SUNG C Z, IEEE. RFID based intelligent lighting system development for the convenience store [C]// proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics, Istanbul, Turkey. New York: Ieee, 2010.
- [11] 蔡宙燊, 张昕, 张宇涛. 我国专卖店照明的能耗预测模型与主观评价研究[J]. 照明工程学报, 2016,27(4): 89-94,143.
CAI Z S, ZHANG X, ZHANG Y T. Research on the prediction model of lighting energy consumption and subjective evaluation of special stores in China [J]. Illuminating Engineering, 2016,27(04): 89-94,143. (in Chinese)
- [12] 方积乾. 医学统计学与电脑实验[M]. 上海:上海科学技术出版社, 2001.
FANG J Q. Medical statistics and computer experiments [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Press, 2001. (in Chinese)
- [13] 薛微. SPSS 统计分析方法及应用[M]. 北京:电子工业出版社, 2013.
XUE W. SPSS statistical analysis method and its application [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2013. (in Chinese)
- [14] 颜虹. 医学统计学[M]. 北京:人民卫生出版社, 2005.
YAN H. Medical statistics [M]. Beijing: People's Medical Publishing House, 2005. (in Chinese)
- [15] 尹光霞. 多元线性回归模型中的异方差性问题[J]. 湖北大学学报(自然科学版), 2003(2): 121-125.
YIN G X. Heteroscedasticity in multivariate linear regression models [J]. Journal of Hubei University (Natural Science Edition), 2003 (2): 121-125. (in Chinese)

(编辑 胡玲)