

DOI:10.11918/j.issn.0367-6234.201710019

雾霾天气下城市建筑色彩属性的视觉舒适度分析

刘 杨¹, 康 健^{2,3}

(1.浙江理工大学 艺术与设计学院,杭州 310018; 2.哈尔滨工业大学 建筑学院,哈尔滨 150001;3.伦敦大学学院,巴特莱特建筑学院,英国 伦敦 WC1H 0NN)

摘 要:为明确雾霾天气下城市建筑色彩三属性与视觉识别舒适度之间的量化关系,进而明确雾霾天气下城市建筑色彩三属性的可舒适识别阈值,为建筑师选取能够同时满足常规和非常规天气条件下有效识别、并且识别舒适度高的建筑色彩提供量化指标.同时,也为非常规天气下城市色彩舒适度评价提供可借鉴的研究方法.首先,对北方雾霾比较典型的城市哈尔滨的建筑色彩三属性进行实地、定点的测量,被测量的建筑类型为占哈尔滨建筑比例最大的商业建筑和住宅建筑,并确定雾霾指数的研究范围;然后,通过正交法设计实验,确定 120 个色彩样本数量,选取 30 个被试者运用里克特量表对样本进行建筑色彩属性的舒适度心理测评;最后,运用 R 语言统计分析样本的色彩三属性,即色相、纯度、明度在雾霾天气下识别舒适度的分布区域和阈值变化.结果表明:雾霾天气下城市建筑色彩的三属性阈值对视觉舒适度都具有直接的影响,其中明度对舒适度的影响最大,纯度次之,色相的影响最弱;同时,暖色的整体色彩属性对雾霾的抵抗性好,比冷色更易于识别.

关键词:雾霾天气;城市建筑色彩;色彩属性;视觉舒适度;阈值变化

中图分类号: TU18 **文献标志码:** A **文章编号:** 0367-6234(2018)04-0167-07

Research on visual comfortable level of urban building color attributes in haze weather

LIU Yang¹, KANG Jian^{2,3}

(1.School of Art and Design, Zhejiang SCI-TECH University, Hangzhou 310018, China; 2. School of Architecture, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001,China; 3.The Bartlett, University College London,London WC1H 0NN,UK)

Abstract: This article clarified the quantitative relationship between the three attributes of urban building colors and the comfort of visual recognition under the haze weather to clarify the comfortably recognition threshold values of three color-appearance attributes of urban building in the hazy weather. The quantitative index could be provided to designers to choose architectural colors that effectively identify building color in both normal and abnormal weather conditions, while offering referential research methods for urban environmental color planning and evaluation in the abnormal weather. Firstly, the research experiments are based on the practical and fixed-point measurement of the three color-appearance attributes of building colors in Harbin, one of the most heavily polluted cities. The types of selected buildings are commercial and residential buildings, which make up the largest proportion of buildings in Harbin, and the research scope of haze index will be determined through experiment. Secondly, 126 color samples in total that selected by orthogonal method were evaluated on 30 subjects based on Likert scale in the laboratory. Finally, by using R language Statistics analysis, the distribution region and the changing threshold value of color attributes including hue, chroma and value could be related to the visual comfortable level of subjects. The results indicated that the values of the three color-appearance attributes of buildings could all directly affect the visual comfort level. Among those three attributes, value has the greatest influence, followed by chroma, and finally hue. Further the warm colors were more comfortable than cool color in the haze weather.

Keywords: haze weather; urban building colors; color attributes; visual comfortable level; threshold value transformation

伴随着迅速的工业化、城市化进程,当前大部分发展中国家都面临着雾霾带来的环境识别障碍.雾霾天气下,低能见度的识别条件已经严重阻碍了人们的日常出行.2012 年冬以来,中国各大城市均发生过由

雾霾引发的不同程度的交通堵塞和事故^[1].在城市环境识别中,色彩是一项重要的外显要素,大量关于空间感知识别度的研究已经证明不同色彩在环境认知中的作用^[2],人们对环境的感知 80%来自色彩^[3].其中建筑色彩占据了城市色彩面积最大的部分,色彩理论又起源于建筑及设计领域^[4].因此,雾霾天气下,城市建筑色彩识别是影响人们心理及行为的主要因素,如何提高城市建筑色彩在雾霾天气下的视觉舒适度是城市规划师和建筑师所面临的重要问题.

收稿日期: 2017-10-10
基金项目: 国家留学基金委项目(201406615003)
作者简介: 刘 杨(1978—),博士,副教授;
康 健(1964—),教授,博士生导师
通信作者: 康 健,j.kang@hit.edu.cn

目前国际上关于色彩的研究主要包含两个方面:1)关于色彩科学的研究,它是关于色相、明度和纯度等色彩属性的光学认知^[5],以及从心理学角度,根据色彩视知觉特点对色彩序列以及色相之间关系的研究^[6];2)关于色彩的应用研究,其中一个领域是关于色彩实验美学和色彩偏好的研究,包含了对色彩记忆、含义、色彩调和等认知问题的大量探讨^[7],以及关于色彩“舒适”与“不舒适”,“好”与“坏”等的评价^[8],被广泛应用于环境色彩评价及环境色彩心理及行为的研究中,其研究结果表明色彩对人的情感具有强烈的影响^[9-10].Stone^[11]在关于环境色彩研究中也证明了空间环境色彩决定人们心情、满意度、动机及行为.然而,当雾霾干扰识别,城市色彩与人视觉舒适度关系会如何改变?这是在关于色彩与视觉舒适度研究中需要进一步深入研究的问题.因此,在雾霾天气下研究占据城市色彩面积最大的建筑色彩属性与人视觉舒适度的关系是解决这一问题的有效途径.

本文以雾霾天气为研究背景,来探讨视觉舒适度与建筑色相、明度、纯度阈值的变化关系以及与色彩三属性的整体变化关系,进而明确城市建筑色彩三属性可舒适识别阈值,并通过构建模型,明确建筑色彩属性在雾霾天气下与视觉舒适度评价间的量化关系,为建筑师选取能够同时满足常规和非常规天气条件下有效识别、并且识别舒适度高的建筑色彩提供量化指标.同时,也可为非常规天气下城市色彩舒适度评价提供可借鉴的研究方法.

1 方 法

1.1 地点选择

本实验取样地点选定为污染比较严重的城市-哈尔滨为例.2013年10月19日至10月23日哈尔滨空气中的微小粒子浓度达到 $1\ 000\text{ mg/m}^3$,能见度小于200 m.根据中国气象网公布的数据(如图1所示),2016年11月中国主要城市中,哈尔滨PM2.5指数高达 663 mg/m^3 ,超过国际上小于 75 mg/m^3 标准^[12],具有研究的典型性.另外,由于历史原因,哈尔滨建筑受西方文化影响,包含了折中主义风格、新艺术运动风格、现代风格等,典型、丰富的建筑风格和色彩,为本次实验的色彩取样提供了可选择的空间.

1.2 PM2.5 指数的确定及光环境分析

为获得PM2.5指数研究范围,本实验分别在PM2.5指数为53、76、95、102、139、150、201、245、372天气下,随机选取了3组建筑群,进行固定距离图片拍摄,并进行实验室问卷调查,实验过程将在随后的实验程序中详细讨论.研究结果如图2所示,随

着雾霾指数增加,视觉舒适度水平逐渐下降.PM2.5指数 <100 ,视觉舒适度水平为一般以上是人们能够接受的舒适范围,本文将定义为常规天气;而PM2.5指数 >370 ,舒适度水平为极不舒适,不具有研究价值.因此,本文将PM2.5指数100~370定义为雾霾天气.

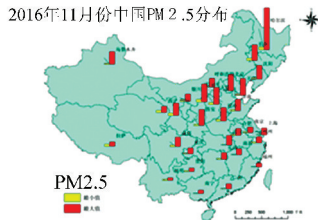


图1 2016年11月中国PM2.5分布

Fig.1 The national distribution of PM2.5 in November 2016

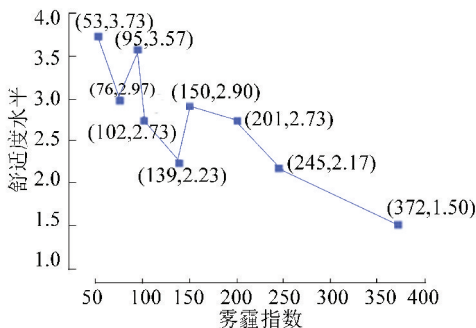


图2 PM2.5 指数与视觉舒适度对比

Fig.2 Comfort levels versus the threshold of PM2.5

根据图2所示,在雾霾指数为76、95、139和150之间出现随雾霾指数增加舒适度增加的趋势,这是由于光环境的影响.光在空气中传播会受到空气中微小颗粒的阻碍,传播强度不断衰减.根据郎伯定律,当空气中雾霾颗粒物粒径较大,光散射主要依据米氏散射原理,人眼看到天空的颜色为白色;随着颗粒物粒径减小,瑞利散射取代米氏散射,天空呈现蓝色^[13].光的散射类型直接受雾霾颗粒大小影响.如图3所示,当雾霾指数为95和150时,光散射为瑞利散射,天空呈现蓝色,根据图2统计结果视觉舒适度相对较高;与之相反,当雾霾指数为76和139时,光散射为米氏散射,天空呈现灰白色,透明性弱,视觉舒适度被削弱.因此,雾霾天气下视觉舒适度水平不完全与PM2.5指数成反比,它还会根据光散射类型不同发生波动,当雾霾指数相近时,瑞利散射条件下的视觉舒适度高于米氏散射.

1.3 图片拍摄

本次实验以法国色彩学家让·菲利普·朗克洛进行色彩调查时,所运用的图片拍摄方法进行建筑色彩采集^[14],用于拍摄的数码相机为佳能EOS6D,像素为2 020万,拍摄前用白平衡镜(KOZIRO, 86MM)对相机的色彩还原度进行校准.以(GSB16-

1517-2002)中国颜色体系建筑色标卡对建筑色彩进行目测比对,辅助 TOPCONBM-7 便携式彩色亮度计结合硫酸钡标准白板进行校准.用中国建筑电子色标卡的色彩三色值进行换算.图片拍摄分别在雾霾和常规天气下进行,采用固定距离为 0.5 km 的定点拍摄,建筑类型选取哈尔滨比例最大的住宅和商业建筑.取样时间为上午 10:00 到下午 14:00,避免在清晨与傍晚测量时因日光色温对建筑色彩取样的干扰而导致测试数据的误差.对光气候条件选择主要是在无云或者阴天条件下观测和测试色调,在测量时避开太阳直射光、背光及阴影环境.

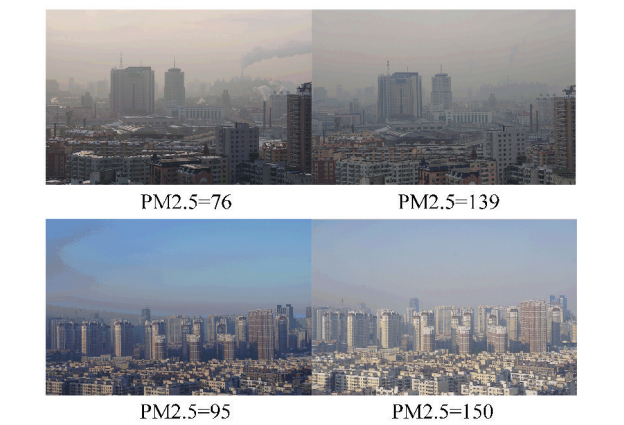


图 3 PM2.5 指数与光环境对比

Fig.3 Light environment versus the threshold of PM2.5

本次实验分别在建筑立面上选取 4~5 个测试点,用便携式彩色亮度计 2°测试角测得各测试点色度坐标 (x,y) 及亮度值 L ,并通过计算求出其平均值与亮度因数.依据目测比对法在中国建筑色卡中选取最为相近的 5 个色样,并用便携式彩色亮度计分别测出其色度参数 (Y,x,y) .以数值最为接近原则,得到建筑标准色彩.由于 CIE 色度值非常抽象,而建筑色彩需要直观表达,在测量数据基础上,本文运用中国建筑电子色标卡将色度值转换为孟赛尔三色值即色相(H)、明度(V)和纯度(C)阈值的标度来表述建筑色彩.将明度划分为高(h)(阈值:7~10),中(m)(阈值:4~7),低(l)(阈值:1~4)3 个标度;将纯度划分为高(h)(阈值:8~12),中(m)(阈值:4~8),低(l)(阈值:1~4)3 个标度^[15].由于哈尔滨建筑色彩以暖色调为主,此次调查的住宅建筑色彩是暖色区域 3 种原色即 R、G、Y 和 3 种间色即 RP、GY、YR,商业建筑色彩在住宅建筑色彩基础上增加了冷色区域色彩 B、PB 调查.

为了选择典型图片,本实验以色相、明度、纯度为 3 种因素数,明度及纯度的高、中、低标度分类为水平数(见表 1),设计 3 系列正交表,确定最终用于实验评价的商业建筑图片数量为 ≥ 72 张,住宅建筑图片数量 ≥ 54 张.

表 1 3 因素 3 水平全面实验方案正交表

Tab.1 Orthogonal array for 3 factors and 3 levels comprehensive experiment scheme

C /V /H	R	B	G	Y	RP	PB	GY	YR
C _h	V _h	R(C _h V _h)	B(C _h V _h)	G(C _h V _h)	Y(C _h V _h)	RP(C _h V _h)	GY(C _h V _h)	YR(C _h V _h)
	V _m	R(C _h V _m)	B(C _h V _m)	G(C _h V _m)	Y(C _h V _m)	RP(C _h V _m)	GY(C _h V _m)	YR(C _h V _m)
	V _l	R(C _h V _l)	B(C _h V _l)	G(C _h V _l)	Y(C _h V _l)	RP(C _h V _l)	GY(C _h V _l)	YR(C _h V _l)
C _m	V _h	R(C _m V _h)	B(C _m V _h)	G(C _m V _h)	Y(C _m V _h)	RP(C _m V _h)	GY(C _m V _h)	YR(C _m V _h)
	V _m	R(C _m V _m)	B(C _m V _m)	G(C _m V _m)	Y(C _m V _m)	RP(C _m V _m)	GY(C _m V _m)	YR(C _m V _m)
	V _l	R(C _m V _l)	B(C _m V _l)	G(C _m V _l)	Y(C _m V _l)	RP(C _m V _l)	GY(C _m V _l)	YR(C _m V _l)
C _l	V _h	R(C _l V _h)	B(C _l V _h)	G(C _l V _h)	Y(C _l V _h)	RP(C _l V _h)	GY(C _l V _h)	YR(C _l V _h)
	V _m	R(C _l V _m)	B(C _l V _m)	G(C _l V _m)	Y(C _l V _m)	RP(C _l V _m)	GY(C _l V _m)	YR(C _l V _m)
	V _l	R(C _l V _l)	B(C _l V _l)	G(C _l V _l)	Y(C _l V _l)	RP(C _l V _l)	GY(C _l V _l)	YR(C _l V _l)

1.4 被试者

被试者为在哈尔滨上学的 30 名大学生^[16].他们都具有正常的色彩认知和识别能力,男女分布比例 1:1,年龄在 18~22 岁之间.由于大学生通过训练能够清晰理解和跟随测试程序,便于完成预定测试目标,大学生在很多测评实验中被研究人员选为被试者^[17-18].

1.5 实验室测试程序

实验地点选择为能容纳 30 人的暗光实验室,用投影及放映设备在实验室前方大屏幕上放映拍摄的图片.30 个被试者面对大屏幕在清晰、可视的视距内均匀坐在实验室中.图片按建筑类型分两组,每组根

据雾霾和常规天气分为两类.研究人员根据图片分类进行放映,被试者填写调查问卷,进行测评.调查问卷根据里克特量表设计,其目标是调查被试者对不同天气背景各建筑类型图片的色彩舒适度感知情况.根据里克特量表的设计原则,将舒适度分为很不舒适、不舒适、一般、舒适、很舒适 5 个等级进行评价,用数值 1、2、3、4、5 分别表示权重设置.

根据问卷调查结果,用权重求和公式表述如下

ComfortableDegree =

$$\sum_{i=1}^5 \text{ratio}_i \times i.$$

将测评的两类建筑 126 个色彩样本的舒适度进行权重求和,分别统计两类建筑在雾霾和常规天气下舒适度数值变化.通过因子分析法,分别计算雾霾

与常规天气下舒适度值与色彩三属性的线性关系,以此预测三属性对舒适度的影响程度.以舒适度数值 3(舒适度感受为:一般)作为划分界限,运用 R 语言将权重求和的舒适度数值进行分析,以常规天气的舒适度作为参数,运用对比分析方法,统计色彩三属性舒适度变化区域,通过对提取阈值趋势分析,得出城市建筑色彩三属性的舒适度阈值.

2 分析与结果

2.1 色彩三属性与舒适度关系的因子分析

通过因子分析计算舒适度与色彩三属性值的线性关系,在常规天气下得到方程 $R^2=0.169$ 其结果为

$$\text{Comfort Degree} = 2.787 + 0.081 \times \text{Value} + 0.037 \times \text{Chroma} - 0.000\ 75 \times \text{Hue}.$$

在雾霾天气下得到的方程 $R^2=0.13$ 其结果为

$$\text{Comfort Degree} = 2.039 + 0.103 \times \text{Value} + 0.044 \times \text{Chroma} - 0.000\ 59 \times \text{Hue}.$$

这表明常规与雾霾天气下明度和纯度与舒适度成正相关,与色相成负相关,明度对舒适度影响最大,纯度次之,色相影响最小,尤其雾霾天气色相对方程的影响更为不显著.Ou 等^[19]在关于色彩情感和色彩偏好研究中指出色彩三属性中明度与纯度对色彩情感影响大于色相.由此,可以得出雾霾天气下色彩的视觉舒适度主要受色彩明度与纯度的影响,色相可以作为参考因素不作为主要研究部分.

明度与纯度相关因素对视觉舒适度具有重要影响,因此做了二者的相关因素检验.方程表述如下:

$$\text{Chroma} = 3.969\ 03 + 0.046\ 52 \times \text{Value},$$

$$\text{Value} = 5.967\ 73 + 0.001\ 973 \times \text{Chroma}.$$

方程检验得出二者的相关系数远远小于 0.50,二者不相关,因此只要分别分析这两个因素与舒适度的变化关系并得出二者可舒适识别阈值,就可以得出对雾霾抵抗性好、易于识别的色彩三属性阈值.

2.2 城市建筑色相的舒适识别阈值

根据因子分析结果,色相对雾霾天气色彩识别的舒适度影响较弱,只是舒适度识别的参考因素.因此,本文只在色相冷暖变化上分析其对视觉舒适度的影响.从图 4 中,雾霾和常规天气的两类建筑 R、B、G、Y、RP、PB、GY、YR 这 8 种色相舒适度值的散点变化可以看出雾霾和常规天气下住宅建筑色相的舒适度值均高于商业建筑,由此可以得出雾霾天气下暖色色相 R、Y、YR、RP、GY 的视觉舒适度高,这是由于暖色传导的光波比冷色的光波长,易于人们在雾霾天气下识别.Stone^[11]在关于色彩与环境的研究中也指出暖色具有扩张功能,更容易引起人们的注意.Canter^[20]在关于色彩研究中也强调了暖色对人们视

线的吸引力,但暖色色相最终的舒适度阈值是由其明度和纯度的阈值控制的.

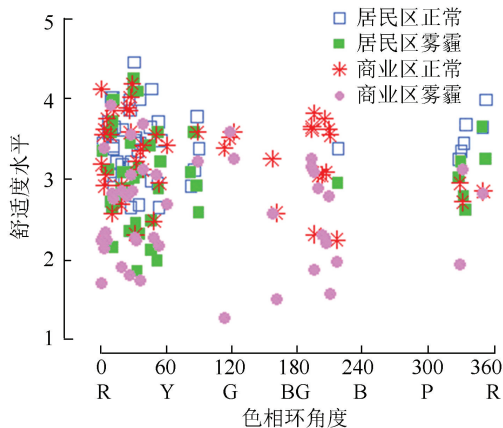


图 4 城市建筑色相的视觉舒适度分布

Fig.4 The visual comfortable degree about the hue of urban buildings' color

2.3 城市建筑色彩明度的舒适识别阈值

通过对商业和住宅建筑色彩明度舒适度数值统计,从图 5 可以看出雾霾与常规天气下,住宅建筑整体明度舒适度均高于商业建筑,这一趋势在雾霾天气下更为明显.

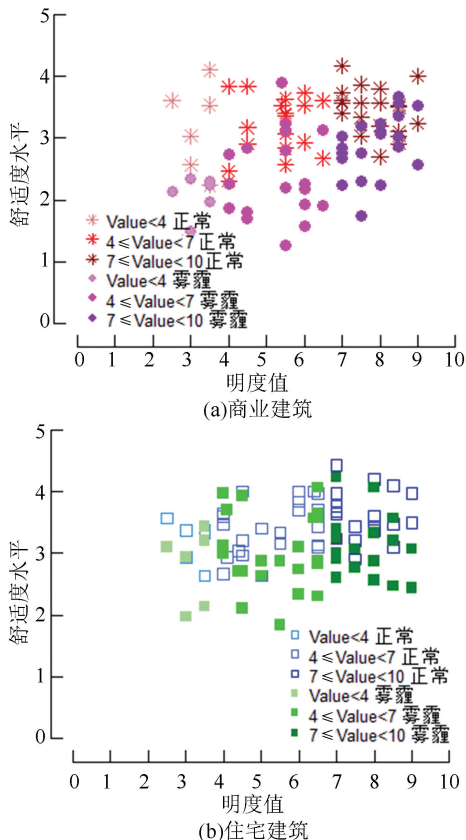


图 5 城市建筑色彩明度的视觉舒适度分布

Fig.5 The visual comfortable degree about the value of urban buildings' color

从图 5(a)中雾霾天气商业建筑色彩明度舒适度变化区域可看出,在低明度和中明度区域明度值为[0-5]区间的舒适度值<3,为不舒适可排除的取

值范围.在中、高明度区域,明度值为[5.4-8.5]区间,舒适度值>3的点相对增多,这一区间明度值为5.5、6.5、7.0、7.5、8.0、8.5样本,分别出现了同一明度多个样本在舒适度数值3上、下分布的情况.根据本文因子分析结果,舒适度主要由明度和纯度两个因素决定,明度值相同,舒适度变化主要是由相应的纯度值变化所引起,因此将这些样本对经常天气进行相应纯度值与舒适度关系变化趋势分析,结果如图6所示,可看出雾霾天气下,明度值为5.5、7.0、7.5、8.5样本纯度值高的相对舒适,纯度值低的相对不舒适.明度值为5.5、7.0样本纯度值 ≥ 5.6 为舒适范围,明度值为7.5样本纯度值 ≥ 5.2 为舒适范围,明度值为8.5样本纯度值 ≥ 3.6 为舒适范围;明度值为6.5和8.0的样本则相反,纯度值高的相对不舒适,纯度值低则相对舒适,明度值为6.5样本纯度值 ≤ 1.8 为舒适范围,明度值为8.0样本纯度值 ≤ 5.6 为舒适范围.

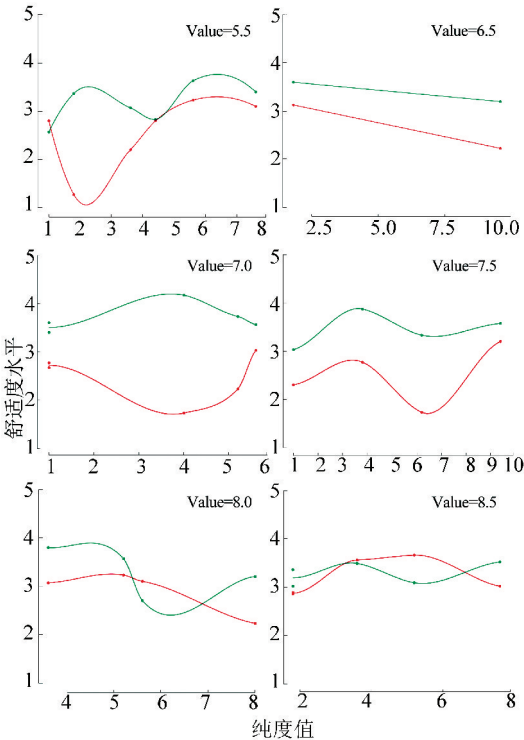


图6 商业建筑在相同明度值下纯度视觉舒适度变化趋势

Fig.6 The visual comfortable degree trends about the chroma under the same value of commercial building

从图5(b)雾霾天气下住宅建筑色彩明度值的舒适度变化区域可以看出,在低明度区域明度值<3.5区间,中明度区域明度值在(4.4~6.0)区间,高明度区域明度值>8.5区间,其明度舒适度值<3.0样本增加,为不舒适的取值范围.但这其中明度值为4.5和6.0样本出现了同一明度值多个样本在舒适度数值3.0上、下分布的情况,将这些样本对经常天气进行相应纯度值与舒适度关系的变化趋势分析,进一步得出可排除的取值范围.其结果如图7(a)所示,雾霾天气下明度值为4.5样本,纯度值 ≤ 6.0 为可排

除的取值范围,纯度值为6.0样本纯度值>4.0为可排除的取值范围.除此之外明度轴的其余区间舒适度值>3.0的相对增多,但在这些区间明度值为3.5、6.5、7.0、7.5、8.0、8.5样本也同样出现了同一明度值多个样本在舒适度数值3.0上、下分布的情况,将这些样本对经常天气进行相应纯度值与舒适度关系的变化趋势分析,得出舒适的取值范围.其结果如图7(b)所示,雾霾天气下处于低明度区域,明度值为3.5样本,纯度值低的舒适度高,其纯度值 ≤ 3.5 为舒适范围.而处于中明度区域,明度值为6.5样本,纯度值在[2.0-7.5]区间为舒适范围,高明度区域,明度值为7.0样本,纯度值高的舒适度相对高, $5.5 \geq C \geq 3.0$ 和 $C \geq 7.2$ 为舒适范围,明度值为7.5样本,与3.5样本相同,纯度值低的舒适度高,其纯度值 ≤ 1.5 为舒适范围.明度值为8.0样本纯度值 ≥ 3.0 为舒适范围.明度值为8.5样本则是纯度值低的舒适度相对高,其纯度值 ≤ 5.2 为舒适范围.

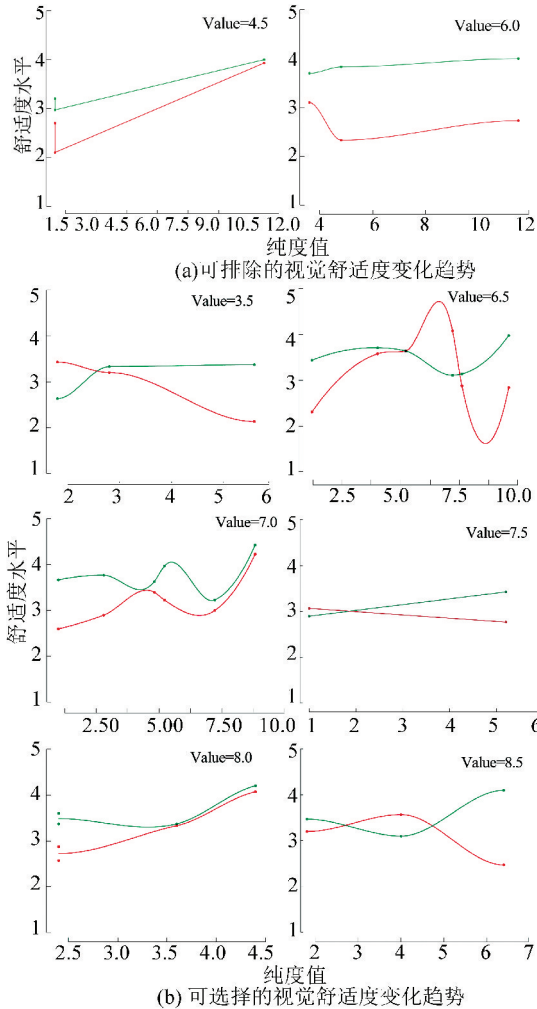


图7 住宅建筑在相同色彩明度值下的色彩纯度视觉舒适度变化趋势

Fig.7 The visual comfortable degree trends about the chroma under the same value of residential building

2.4 城市建筑色彩纯度的舒适识别阈值

通过对两类建筑色彩纯度的舒适度数值统计,

从图 8 可以看出,雾霾与常规天气下,住宅建筑的整体纯度舒适度均高于商业建筑,这一趋势在雾霾天气下表现更为明显.从图 8(a)雾霾和常规天气商业建筑色彩纯度舒适度值的变化可以看出,随着纯度值从低到高的区域变化,其舒适度值出现了抛物线的变化趋势,雾霾天气尤为明显,这说明雾霾天气色彩纯度值的中明度区域舒适度相对增加.图 8(a)表明雾霾天气的中纯度区域纯度值为 $[4.0-5.0]$ 的区间以及高纯度区域,舒适度值 <3.0 是可排除的取值范围.纯度值为 1.8、3.6、5.2 样本出现了同一纯度值多个样本在舒适度数值 3.0 上、下分布的情况,根据本文因子分析的结果,当纯度值相同的情况下,舒适度的变化主要是由相应明度值的变化所决定,将这些样本对照常规天气进行相应明度值与舒适度关系的变化趋势分析,结果如图 9 所示,雾霾天气下,色彩纯度的舒适度随着明度值增加而增高,其取值范围为: $C=1.8, V\geq 6.3$; $C=3.6, V\geq 8.0$; $C=5.2, V\geq 7.3$.

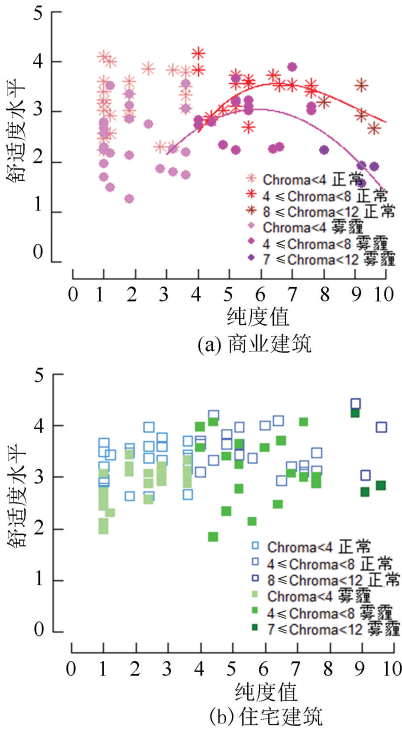


图 8 城市建筑色彩纯度的视觉舒适度分布

相应的明度取值范围分别为 $V\leq 5.00, V\leq 7.25, V<4.50$; 而纯度值为 3.6、4.4、4.8 样本随着明度值增加其舒适度增高,相应明度取值范围分别为 $4.70\geq V\geq 3.5, V\geq 5.80, V>6.80, V>6.60$.

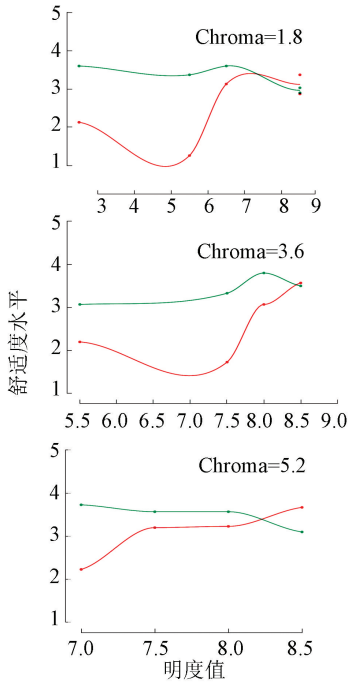


图 9 商业建筑在相同色彩纯度值下的色彩明度视觉舒适度变化趋势

Fig.9 The visual comfortable degree trends about the value under the same chroma of commercial building

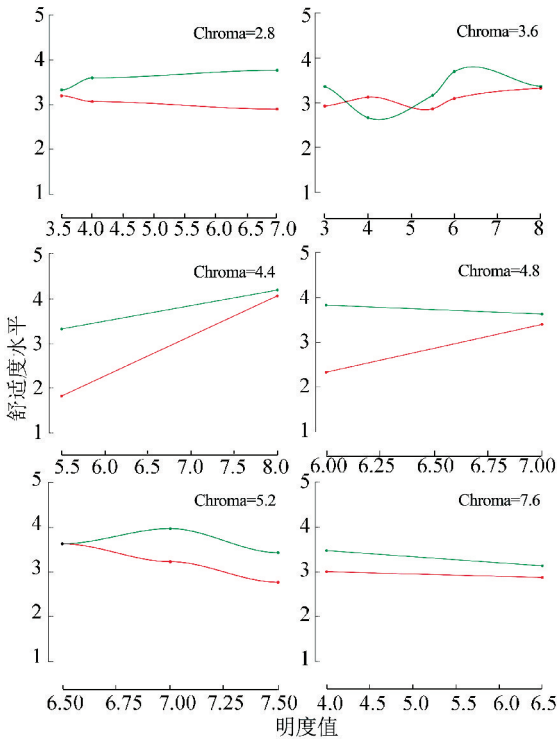


图 10 住宅建筑在相同色彩纯度值下的色彩明度视觉舒适度变化趋势

Fig.10 The visual comfortable degree trends about the value under the same chroma of residential building

3 结 论

1)根据因子分析结果,雾霾天气城市建筑色彩三属性阈值对视觉舒适度都具有直接影响,其中明度对舒适度的影响最大,纯度次之,色相的影响最弱.明度与纯度对舒适度的影响关系相对独立.二者各自的阈值范围分别决定了色彩舒适度数值,但在一定的阈值内,其中一个阈值的变化受到另一个阈值变化的影响.

2)色彩明度与纯度阈值的变化最终决定了色彩的舒适度.其中冷色的中低明度区域明度值低于 5.0 的区间,暖色的低明度区域明度值低于 3.5 的区间、高明度区域明度值高于 8.5 的区间以及中明度区域明度值在 4.5~6.0 区间的色彩对雾霾的抵抗性较弱;冷色的中纯度区域纯度值在 4.0~5.0 区间以及高纯度区域,暖色的高纯度区域对雾霾的抵抗性弱是在建筑用色时应该避免的取值区间.暖色色彩的三属性在雾霾天气下给人的视觉舒适度均高于冷色色彩,暖色的整体色彩属性对雾霾的抵抗性好.

参考文献

[1]TU Huizhao, LI Zhenfei, SUN Yifan, et al. Driving behavior in case of haze: a high fidelity driving simulator study[C]//CICTP 2014: Safe, Smart, and Sustainable Multimodal Transportation Systems. [S.L.]: ASCE, 2014: 2408-2421. DOI: 10.1061/9780784413623. 230.

[2]COHEN D J. Visual detection and perceptual independence: assessing color and form[J]. Perception and Psychophysics, 1997, 59(4): 623-635.

[3]郑晓莹. 色彩设计基础[M]. 哈尔滨:黑龙江美术出版社,2006.

[4]CAIVANO J L. Research on color in architecture and environmental design: brief history, current developments, and possible future[J]. Color Research and Application, 2006, 31(4): 350-363. DOI: 10.1002/col.20224.

[5]International Commission on illumination. International lighting vocabulary(E) (F) (G) (R) active: CFE 17.4 [S]. Vienna: Bureau Central de la CIE, 1987,1-10.

[6]BALLAST D K. Interior design reference manual[M]. Belmont, CA: Professional Pub. Inc., 2002, 13-18.

[7]YENDRIKHOVSKIJ S N, BLOMMAERT F J J, De RIDDER H. Representation of memory prototype for an object color[J]. Color Research and Application, 1999, 24 (6): 393-410.DOI: 10.1002/(SICI)1520-6378(199912)24:63.0.CO;2-Z.

[8]CHUANG Mingchuen, OU Lichen. Influence of a holistic color

interval on color harmony[J]. Color Research and Application, 2001, 26 (1): 29-39. DOI: 10.1002/1520-6378(200102)26:1<29;AID-COLA>3.0.CO;2-B.

[9]LANG J. Creating architectural theory: the role of the behavioral sciences in environmental design [M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987, 23-27.

[10]MAHNKE F H. Color, environment, and human response : an interdisciplinary understanding of color and its use as a beneficial element in the design of the architectural environment [M].New York: Van Nostrand Reinhold, 1996, 32-36.

[11]STONE N J. Environmental view and color for a stimulated telemarketing task[J]. Journal of Environmental Psychology, 2003, 23 (1): 63-78. DOI:10.1016/S0272-4944(02)00107-X.

[12]WANG Hong, XU Jiayu, ZHANG Meng, et al. A study of the meteorological causes of a prolonged and severe haze episode in January 2013 over central-eastern China [J]. Atmospheric Environment, 2014, 98(8): 146-157. DOI:10.1016/j.atmosenv. 2014.08.053.

[13]杨春宇,梁树英,张青文. 建筑色彩在城市空间中的衰变规律 [J].同济大学学报(自然科学版),2013, 41(11): 1682-1687. DOI:10.3969/j.issn.0253-374x.2013.11.012.

YANG Chunyu, LIANG Shuying, ZHANG Qingwen. Decay law of architectural color in urban space[J]. Journal of Tongji University (Natural Science Edition), 2013, 41(11): 1682-1687. DOI:10. 3969/j.issn.0253-374x.2013.11.012.

[14]尹思谨. 城市色彩景观规划设计[M].南京:东南大学出版社, 2004, 44-45.

[15]TIAN Tian, WANG Xiujin, BAI Yu. The research of architectural color evaluation based on image processing[C]//Proceedings of the 4th International Symposium on Computational Intelligence and Design. Hangzhou, China : IEEE, 2011: 291-293. DOI: 10.1109/ISCID.2011.80.

[16]卢志飞,孙忠宝. 应用统计学[M]. 北京:清华大学出版社,2015: 168.

[17]STONE N J. Environmental view and color for a simulated telemarketing task[J]. Journal of Environmental Psychology, 2003, 23(1): 63-78. DOI:10.1016/S0272-4944(02)00107-X.

[18]LIU Yang, KANG Jian, ZHANG Ying, et al. Visual comfort is affected by urban colorscape tones in hazy weather[J].Frontiers of Architectural Research, 2016, 5(4): 453-465. DOI: 10.1016/j.foar.2016.10.001.

[19]OU Lichen, RONNIER L M, WOODCOCK A, et al. A study of colour emotion and colour preference. part i: colour emotions for single colours[J]. Color Research and Application, 2004, 29(3): 232-240. DOI: 10.1002/col.20010.

[20]CANTER D J. Synthesis of artificial lighting to satisfy multiple design criteria[J]. Building and Environment, 1983, 18 (3): 129-134. DOI: 10.1016/0360-1323(83)90005-7.

(编辑 张 红)