

# 基于多元目标的主成分分析的热岛效应成因研究 ——以西安市为例

冯晓刚<sup>1</sup>, 撒利伟<sup>1</sup>, 石 辉<sup>2</sup>

(1. 西安建筑科技大学建筑学院, 建筑勘测研究所 陕西 西安 710055;  
2. 西安建筑科技大学环境与市政工程学院 陕西 西安 710055)

**摘 要:**城市热岛效应作为城市化进程的负效应,其成因具有复杂性和地域性特征.以西安市为例,基于多元目标分析的主成分方法定量计算了不同影响因子对西安市热岛效应的贡献度大小,并以此为基础,最终筛选了城市人口、人均拥有道路面积、人均拥有机动车数、人均绿化面积、建成区面积、降水量及平均风速7个主要因素作为西安市热岛效应的主要成因;最后,从调整城市规划思路、控制工业热源、调控民用热源等三个方面为出发点构建了应对西安市热岛效应的宏观调控体系,其内容由3个一级指标、12个二级指标和5个三级指标构成.对应对和缓解西安市热岛效应具有积极的指导意义,也为其它城市应对热岛效应提供范式参考.

**关键词:**城市热岛;成因分析;主成分分析;多元目标;西安市

**中图分类号:**P463

**文献标志码:**A

**文章编号:**1006-7930(2012)04-0507-05

2005年国务院发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》中明确要求,为提升城市功能与空间节约利用,要把城市“热岛”效应成形机制与人工调控技术作为重点研究内容<sup>[1]</sup>.城市热岛效应是人为活动和局地气候因素共同作用的结果,且呈现加剧的趋势,它不仅导致城市局地生态环境恶化、亦威胁城市居民的身心健康,热岛效应已经演变为居民生活质量进一步提高及城市可持续发展的制约性因素.因此,分析与探索热岛效应的成因与机理,对于应对和缓解城市热岛效应,合理高效的制定相关对策,从而改善城镇居民热生态环境具有积极的现实意义.

西安市地处秦岭北麓,关中盆地之中,空气流动性差且有大量工业废气排放,致使空气质量较差,城市热岛效应日趋明显.刘传年等利用灰色关联度分析法,分析了影响西安城市热岛效应的主要气象因子,得出相对湿度>日照时数>降雨量>风速的结论<sup>[2]</sup>;张华丽等人应用主成分分析方法初步探讨了城市发展对西安市平均气温的影响,结果表明:人口城市化水平、下垫面性质或结构的改变、城市居民生活水平是导致西安市平均气温变化的主要因子<sup>[3]</sup>.但进一步研究发现,目前的研究鲜有对影响西安市热岛效应的因素作出定量分析并提出宏观的缓解和应对策略体系.因此,本文以期在定性分析西安市热岛效应成因的基础上,以主成分分析法(PCA)为基础,基于多元目标定量探索不同影响因子对西安市热岛效应的贡献率大小,并以此为基础构建西安市热岛效应宏观调控体系,以期合理、高效制定应对和缓解城市热岛效应相关措施提供有力的科学依据,并为其它城市热岛效应的综合治理提供范式参考.

## 1 数据源和研究方法

### 1.1 研究区域概况

西安市地处西北部关中盆地中部秦岭北麓,地跨渭河南北两岸,地处北纬 $33^{\circ}39' \sim 34^{\circ}45'$ ,东经 $107^{\circ}40' \sim 109^{\circ}49'$ .南北最大纵距100 km,东西最大横距204 km,辖未央、莲湖、新城、碑林、雁塔、灞桥、阎良、长安、临潼九区和周至、户县、高陵、蓝田四县,总面积9 983 km<sup>2</sup>,其中市区面积1 066 km<sup>2</sup>,城市建成区面积为375 km<sup>2</sup>(2008年).常住人口870万人,城镇人口579余万,市区人口516.3万人.属暖温带

收稿日期:2011-07-07 修改稿日期:2012-07-11

基金项目:陕西省教育厅基金资助项目(11KJ0756);西安建筑科技大学人才基金资助项目(RC1214)

作者简介:冯晓刚(1979-),男,陕西宝鸡岐山人,讲师,博士,研究方向为环境遥感与虚拟地理环境.

半湿润季风气候,平均海拔高424 m,1月份平均气温0.4 °C,7月份平均气温26.6 °C,年平均气温13.3 °C,年平均降水量613.7 mm,年平均湿度69.6%<sup>[4]</sup>.

### 1.2 数据源及数据预处理

研究数据主要来自于陕西省统计年鉴,西安市统计年鉴;气象数据来自于西安市气象局和国家气象局等单位.由于所获取的数据是不同要素量的表达,具有非一致性特征,为了能够将众多不同要素进行可比性分析,就需要对不同表达要素的数据进行标准化处理,即一致性表达.参考相关文献<sup>[5]</sup>,采用级差标准化方法(见公式1)对各影响因素进行标准化处理,从而使不同要素数据具有一致性表达.

$$x = \frac{x_i - x_{\min}}{x_{\max} - x_{\min}} \quad (1)$$

### 1.3 主成分分析原理

在多元分析中,主成分分析法将多个指标借助正交变换划分为几个互不相关的指标,即多元变量系统中的主成分,从而达到降维的效果,且各主成分对系统目标的贡献度不同,第一主成分的贡献度最大,第二次之,依此类推,各主成分的贡献度递减.通常情况下,主成分的数目根据相关系数矩阵的特征根来判定.在实际应用中,一般各主成分的累积贡献率大于85%以上时是可取的,在确定了主成分之后再对这些主成分进行回归分析,判别分析和典型相关分析,研究主成分与城市热岛强度间的相关关系,其优点在于指标间的相关程度自动生成权重,避免了人为确权的弊端,具有较强的客观性.

## 2 基于PCA的热岛效应成因分析

### 2.1 热岛效应的影响因子分析

城市化进程是形成城市热岛效应的主要原因.综合考虑将影响西安市热岛效应的成因可归纳为自然环境要素和人为要素两个方面.其中,自然环境要素主要包括气候因素、天气因素和地形地貌因素;人为因素包括城市扩张因素、城市下垫面变化因素、人口因素、人为热排放因素和大气污染因素等.具体指标包括相对湿度、平均风速、日照时数、平均气温、降雨量、无霜期、气压、城市人口、人均拥有机动车台数、人均拥有城市道路面积、人口密度、人均公园绿化面积和建成区面积等共13个定量指标.

### 2.2 PCA分析结果

根据上述多元目标分析思路所涉及的西安市热环境影响因素,概括起来,这些因素基本上囊括了影响西安城市热环境的主要因素.但是,这些因素之间往往又是相关或者密切相关的,因此直接利用多准则判断标准肯定存在诸多问题<sup>[6]</sup>.因此,本文首先基于主成分分析方法探索影响西安市热岛效应的影响因素的贡献率大小,采用统计分析软件SPSS17.0实现了对影响西安市热环境的各变量主成分分析,由表1可以看出,第一主成分的贡献率最大,达到了59.218%,远高于其它主成分;第二、三、四主成分贡献率分别为11.726%、8.761%和6.833%,即前4个主成分累积贡献率为86.539%,表明前4个主成分包含了原始13个变量中高达86.53%的信息量,由此认为前4个主成分已经能很好的反映城市热环境形成的主要原因,同时也表明,原始信息具有较高的数据冗余度.

表1 各主成分的特征值及其贡献率表

Tab.1 The table of contribution rate and the value of the PCA

主成分	特征值	贡献率 / %	累积贡献率 / %	主成分	特征值	贡献率 / %	累积贡献率 / %
1	7.698	59.218	59.218	8	0.085	.652	99.166
2	1.524	11.726	70.945	9	0.061	.470	99.636
3	1.139	8.761	79.706	10	0.028	.217	99.852
4	0.888	6.833	86.539	11	0.015	.117	99.969
5	0.676	5.201	91.740	12	0.004	.031	100.000
6	0.518	3.987	95.726	13	5.961E-6	4.585E-5	100.000
7	0.362	2.787	98.514				

### 2.3 PCA载荷分析

表2为经过主成分变换后,西安市热环境成因的每个主成分包含原13个变量的信息载荷情况,主

成分所对应的值越大表明这一主成分包含原变量信息的成分越高,即其所占比重也越大.基于主成分载荷矩阵,具体分析各个主成分的具体组成情况,用以表明不同影响因素对城市热环境的影响权重.对于第一主成分而言,城市人口、人均拥有道路面积、人均拥有机动车数、人均绿化面积和建成区面积为该主成分的主要贡献因子,同时相对湿度、气压、平均风速等气象因素对第一主成分的贡献为负;对第二主成分而言,降水量、相对湿度占较大比重,对其有明显的正贡献,而平均风速、无霜期、气压、人均绿化面积等对该主成分均产生负的影响;对第三主成分而言,平均风速、人口密度为其主要的贡献因子,而对第一主成分产生主要负影响的平均风速对该主成分则产生正影响.对第四主成分而言,城市人口、人口密度是其主要影响因子.综合考虑各个主成分的主要贡献因子,对于西安市三环线以内的区域,影响城市热环境格局的主要影响因子按照贡献度大小,可以概括为城市人口、人均拥有道路面积、人均拥有机动车数、人均绿化面积、建成区面积、降水量及平均风速 7 个主要影响因子;同时,主成分 1 集中反映了城市发展水平及规模对城市热环境的影响,主要包含了城市人口、建筑面积等信息;主成分 2 集中反映了气象因素对城市热环境的影响,主要包括降水量、相对湿度等信息;主成分 3 集中反映了天气状况对城市热环境的影响,主要包括风速信息;主成分 4 集中反映了城市人口及人口密度对城市热环境的贡献.

表 2 主成分载荷矩阵表

Tab.2 Table of the component matrix

热环境 响因素	第一 主成分	第二 主成分	第三 主成分	第四 主成分	热环境 响因素	第一 主成分	第二 主成分	第三 主成分	第四 主成分
相对湿度	-0.731	0.513	-0.042	0.038	城市人口	0.981	0.047	-0.050	0.085
平均风速	-0.082	-0.279	0.869	-0.303	人均拥有机动车数量	0.939	0.241	0.138	0.025
日照时数	0.662	-0.246	-0.096	-0.282	人均拥有道路面积	0.981	0.048	-0.050	0.083
平均气温	0.838	-0.360	-0.255	-0.158	人口密度	0.801	0.306	0.358	-0.081
降水量	0.218	0.818	0.094	0.057	人均绿化面积	0.938	-0.034	0.127	0.061
无霜期	0.498	-0.328	0.142	0.738	建成区面积	0.931	0.234	0.031	0.011
气压	-0.727	-0.070	0.331	0.342					

### 3 热岛效应调控体系构建

表 3 热岛效应调控指标体系表

Tab.3 Table of the UHI regulation index system

#### 3.1 热岛效应调控体系构建目标

基于上述对西安市热岛效应成因的定性定量分析基础上,在假设自然环境条件一定的情况下,从人类活动的角度出发,为缓解和应对城市热岛效应,提供和创建宜居的人居热生态环境.在总结和归纳分析众多热岛效应影响因子的基础上,从调整城市规划思路、控制工业热源、调控民用热源等三个方面构建了应对西安市热岛效应的调控体系.

#### 3.2 热岛效应调控体系的构建

基于上述构建目标,将组成热岛效应调控应对体系进一步细化.城市规划调控措施由 5 个二级指标构成,工业热源调控措施由 3 个二级指标和 5 个三级指标构成,民用热源调控措施由 4 个二级指标构成.具体指标体系见表 3 所示.

体系 目标	调控类别	序号	指标名称
热 岛 效 应 调 控 体 系	城 市 规 划 调 控	1	城市规模指标
		2	人口密度指标
		3	人均占有绿地面积指标
		4	人均占有水域面积指标
		5	城市建筑密度指标
工 业 热 源 调 控	工 业 热 源 调 控	6	市内高热企比例指标
		7	年消耗能源指标
		8	年消耗原煤指标
		9	年消耗石油指标
		10	工业废水指标
		11	工业废气指标
民 用 热 源 调 控	民 用 热 源 调 控	12	每千人拥有城市公交指标
		13	人均用气比重指标
		14	人均用电指标
		15	人均燃煤指标

### 4 结 论

本文以城市热岛效应成因分析为目标,以多元目标分析的主成分方法为主要技术手段,定性分析与定量计算相结合,在计算各影响因子对西安市热岛效应贡献率大小的基础上,构建了西安市热岛效应的宏观调控策略体系,结果表明:

(1)基于多元目标分析的主成分分析法能够有效的从众多的热岛效应影响因子中提取出主要影响因子,由此表明利用多元目标的 PCA 方法定量探索城市热岛效应的影响因素是有效可行的.文中提取了主成分前4个成分作为热岛效应的主要影响因素,综合考虑各个主成分的主要贡献因子,影响城市热环境格局的主要影响因子按照其贡献度大小可以概括为城市人口、人均拥有道路面积、人均拥有机动车数、人均绿化面积、建成区面积、降水量及平均风速7个主要影响因子.

(2)PCA 分析结果表明:主成分1集中反映了城市发展水平及规模对城市热环境的影响,主要包含了城市人口、建筑面积等信息;主成分2集中反映了气象因素对城市热环境的影响,主要包括降水量、相对湿度等信息;主成分3集中反映了天气状况对城市热环境的影响,主要包括风速信息;主成分4集中反映了城市人口及人口密度对城市热环境的贡献.

(3)在总结和归纳影响西安市热岛效应众多因素的基础上,从调整城市规划思路、控制工业热源、调控民用热源三个方面构建了应对西安市热岛效应的宏观调控策略体系,体系由3个一级指标和12个二级指标和5个三级指标构成.此指标体系的构建对于指导城市进行热生态环境的规划、管理及有效缓解城市热岛效应的决策和管理具有积极的指导意义,对新兴城市构建人居热生态环境的宏观规划具有实际的应用价值,也对其它城市应对和缓解热岛效应提供范式参考.

## 参考文献 References

- [1] 中华人民共和国国务院.《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020)》[M].北京:中国法制出版社2006.  
State Council of the people's Republic of China. National plan for med-to-long-term scientific and technological development from 2006 to 2020[M]. Beijing: China Legal Publishing House, 2005.
- [2] 刘转年,阴秀菊.西安市城市热岛效应及气象因素分析[J].干旱区资源与环境,2008,22(2):87-90.  
LIU Zhuan-nian, YIN Xiu-ju. Urban heat island effect and meteorologic factors in Xi'an[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2008, 22(2): 87-90.
- [3] 张华丽,董婕,闫娜.西安市气温变化特征及城市化影响研究[J].干旱区资源与环境,2009,23(9):85-89.  
ZHANG Hua-li, DONG Jie, YAN Na. The characteristics of temperature transformation in Xi'an and the effect of urbanization[J]. Journal of Arid Land Resources and Environment, 2009, 23(9): 85-89.
- [4] 西安市统计局.西安统计年鉴2009[M].北京:中国统计出版社,2009.  
Xi'an Bureau of Statistics. Xi'an statistical yearbook 2009[M]. Beijing: China Statistics Press, 2009.
- [5] 林云杉,徐涵秋,周榕.城市不透水面及其与城市热岛的关系研究—以泉州市区为例[J].遥感技术与应用,2007,22(1):14-18.  
LIN Yun-shan, XU Han-qiu, ZHOU Rong. A study on urban impervious surface area and its relation with urban heat island: Quanzhou city, China[J]. Remote Sensing Technology and Application, 2007, 22(1):14-18.
- [6] 岳文泽.基于遥感影像的城市景观格局及其热环境效应研究[M]北京:科学出版社,2008:142-144.  
YUE Wen-ze. The urban landscape and its heat island effect based on the remote sensing[M], Beijing: Science Press House, 2008:142-144.

## Study on the urban heat island effect based on the PCA of multi-purpose

FENG Xiao-gang<sup>1</sup>, SA Li-wei<sup>1</sup>, SHI Hui<sup>2</sup>

(1. College of Architecture, Xi'an University of Architecture & Technology, Xi'an 710055, China;

2. College of Environmental and Municipal Engineering, Xi'an University of Architecture  
& Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** The Urban Heat Island(UHI) have the negtive effect on the urbanzation, characteristic of the complexity and

the regional otherness. In this paper, the way of Principal Component Analysis(PCA) with the multi-purpose way were selected to calculate the UHI contributive. The results showed that, the main reason for UHI was the total population as well as the per capita area of road, per capita number of motor vehicle, per capita green area, construction area and even the rainfall and average velocity of the wind. A macro-control system for reducing the UHI effect were set up for a adjusting urban planning, controlling industrial heat and regulating the civil heat for Xi'an. It includes 3 primary index, 12 secondary index and 5 third index, which have a positive significance to respond and relieve the Xi'an Urban Heat Island effect, and also provide a reference for other cities to respond and relieve the UHI effect.

**Key words:** *urban heat island; cause analysis; principal component analysis; multi-purpose; Xi'an city*

---

**Biography:** Feng Xiao-gang, Ph. D. , Xi'an 710055, P. R. China, Tel: 0086-029-82205881, E-mail: fendao\_ren @163. com

---

(上接第 506 页)

- [3] 陈晓强. 我国城市地下空间建设综合管理研究[D]. 南京: 中国人民解放军理工大学工程兵工程学院, 2010.  
CHEN Xiao-qi. Research on the integrated management of urban underground space construction[D]. Nanjing: PLA University of science and technology, 2010.
- [4] 童林旭. 地下建筑学[M]. 济南: 山东科学技术出版社, 1994.  
TONG Lin-xu. Underground architecture[M]. Jinan: Shandong science and technology press, 1994.
- [5] 钱七虎, 陈志龙, 王玉北. 地下空间科学开发与利用[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 2007.  
QIAN Qi-hu, CHEN Zhi-long, WANG Yu-bei. Scientific development and utilization of underground space[M]. Nanjing: Jiangsu science and technology press, 2007.

## Research on the management demand of urban underground space based on function and configuration

KAN Xing-de, ZHU Wen-jun

(Department of Civil Engineering of Tsinghua University, Beijing 100084, China)

**Abstract:** Generally speaking in urban underground space development China has become one of the power countries, but compared with its city construction it still lags behind in underground space planning, legislation, policy and administration management system and mechanisms. Based on the function and configuration of urban underground space, from the management modules and means, the thesis analyzed the management demands of underground traffic, underground parking, underground pedestrian passage, underground municipal pipelines, utility tunnel, civil air defense works and key economic targets, underground single civil construction and underground complex, and underground space integration, networking and depth. The frame of underground space demand index system is established to provide the basis for the complicated underground space management system, including the management modules, management demands and management means.

**Key words:** *Underground Space; Function; Configuration; Management Demand*

---

**Biography:** KAN Xing-de, Master, Beijing 100084, P. R. China, E-mail: idoaken@gmail.com; Tel: 0086-013466780672