

doi:10.11835/j.issn.1674-4764.2014.05.009

夏热冬冷气候城市公共空间热环境季节特征

赵静, 刘蔚巍, 皇甫昊, 邓启红

(中南大学能源科学与工程学院, 长沙 410083)

摘要:城市公共空间热环境是影响人们热舒适程度的重要因素。夏热冬冷气候城市公共空间的热环境在一年内会发生很大变化。在长沙市内选择3个典型公共空间(街道、公园和广场)进行长期热环境参数实测实验。通过对不同季节3个实测点的空气温度、相对湿度、黑球温度和风速4个重要热环境参数进行分析,获得夏热冬冷气候城市公共空间的全年热环境特征。研究表明:自然气候决定了城市热环境的基本特征,而城市物理结构是引起室外局部热环境发生改变的重要因素;受植物(乔木)和水体(湘江)的影响,沿江街道在全年大部分时间中空气温度显著较低,相对湿度较高,太阳辐射较弱;广场温度较高,太阳辐射较强。

关键词:热环境;城市;公共空间;热舒适

中图分类号:TU119⁺.4 文献标志码:A 文章编号:1674-4764(2014)05-0055-06

Seasonal Characteristics of Thermal Environment in Urban Public Space of the Urban in Hot-summer and Cold-winter Region

Zhao Jing, Liu Weiwei, Huang Fuhao, Deng Qihong

(School of Energy Science & Engineering, Central South University, Changsha 410083, P. R. China)

Abstract: Thermal environment in urban public space is considered as an important factor affecting thermal comfort of human beings. In the whole year, thermal environment in public space of the city in hot-summer and cold-winter zone changes dramatically, which has an effect on human thermal comfort. In this study, three typical public spaces including street, park and square of Changsha were selected for a long-term experiment of thermal environment. Based on the analysis of four significant thermal environment parameters—air temperature, relative humidity, global temperature and wind speed, seasonal characteristics of thermal environment in urban public space were obtained. The results show that the characteristics of urban thermal environment are determined by natural climate, while the physical structure of a city has essential impact on the changes of local outdoor thermal environment. Affected by plants (trees) and water (Xiangjiang river) air temperature of the street along the street is much lower, relative humidity is higher and solar radiation is weaker in most of the year. Compared to the street along the river, air temperature of the square is higher and solar radiation is stronger.

Key words: thermal environment; urban; public space; thermal comfort

近年来中国城市化进程迅速,城市不断发展的同时,城市人口日益增多。城市公共空间,如公园、广场等,是人们在城市开展室外活动的重要且有限的场所。随着城市用地日趋紧张,如何提高城市公

收稿日期:2013-12-18

基金项目:国家自然科学基金(51208512);中南大学升华育英人才计划资助项目(2012)

作者简介:赵静(1988-),女,主要从事室外热环境研究,(E-mail)jingxinxiao@163.com。

刘蔚巍(通讯作者),男,副教授,硕士生导师,(E-mail)wliu@csu.edu.cn。

共空间的利用率,为城市居民业余生活提供理想的活动场所,已成为各地政府和人民关注的重要问题。

城市公共空间的热舒适性是影响其利用率的关键因素^[1-4],而人们的热舒适程度主要取决于所处的热环境。目前针对室外热环境的研究,主要有两种方法:数值仿真与实测分析。高芬^[5]建立 CFD 城市数字模型,研究城市的热环境、风环境以及舒适度等状况;罗庆等^[6]针对建筑室外热环境模拟研究中对物理模型过于简化的问题,提出一种基于数字图像分析的室外热环境模拟方法;Robitu 等^[7],Lin 等^[8]通过 CFD 数值模拟,分析植被、水体对城市微气候的影响;Fahmy 等^[9],Ali-Toudert 等^[10]利用 ENVI-met 软件分别模拟城市热环境状况,街道峡谷的高宽比和街道方向对室外热舒适的影响。然而数值模拟的结果与实际结果存在一定偏差^[11]。与数值模拟方法相比,实测分析提供直接且更为可靠的热环境数据。近年来,学者们进行了一系列室外热环境实测研究:李成^[12],Yan 等^[13]实测分析绿化对周围热环境的降温增湿作用;胡深等^[14],Lin 等^[15]分析不同的地面材质对室外热环境的影响;Xu 等^[16]对公园中的水景与其周围热环境的关系进行了研究;Johansson 等^[17]测量分析不同形式的街道峡谷周围的热环境状况。前述研究主要以单一物理结构因素为研究对象,还有一部分研究以公共空间^[18-26]为研究对象,实测分析了周围物理结构因素对局部热环境的影响。

中国夏热冬冷气候城市四季气候差异较大,公共空间热环境在一年中变化较大,而目前对于夏热冬冷地区城市热环境的研究较少。本文对夏热冬冷城市(中国,长沙)3个典型公共空间的热环境参数(空气温度、相对湿度、黑球温度、风速)开展长期现场实测实验,在此基础上对其全年热环境特征进行分析。研究结果对于从热舒适角度合理设计城市公共空间具有一定的参考价值。

1 研究方法

1.1 公共空间热环境现场实测

1.1.1 时间与地点 城市公共空间热环境长期实测实验在湖南省长沙市开展。长沙气候属于典型的夏热冬冷特征,一年中气候变化明显,四季分明。同时,长沙作为省会城市近年来发展迅速,城市结构的变化对城市热环境产生了较大的影响。本文选择沿江街道、橘洲公园、白沙广场3个典型公共空间进行长期局部热环境现场测量。这3个公共空间在周

围水体、植物、建筑高度和密度、下垫面材质方面有着较大差异。测试地点与实景如图1所示。沿江街道测点布置在街道中心,附近种植多种乔木和灌木,地面为麻石材质;与湘江水平距离约15 m,垂直高度约7 m,东靠湘江中路,街道对面高层建筑居多。橘洲公园位于湘江江心,测点布置在公园内草坪中央,四周空旷无遮挡,植被多以草坪为主。白沙广场地处劳动西路与芙蓉中路(长沙城区主干道)交汇处,测点布置在广场中心,周边高楼林立,广场地面采用混凝土材质,周围几乎无植物。

本文在公共空间的现场实测长期(17个月)进行。第1阶段基础实验时间段:2012年3月到2013年2月。此外根据第1阶段实验结果分析,发现2012年3月—7月各实测点样本量不平衡,为提高实验结果反映气候特征的准确性,根据实验样本的分布情况补充了部分气候条件下的实验。这部分补充实验时间为2013年3月—7月。期间,根据室外天气情况,每月外出实验6 d(9:00—18:00),部分地点测量从10:00开始。本实验共进行了91 d实测。

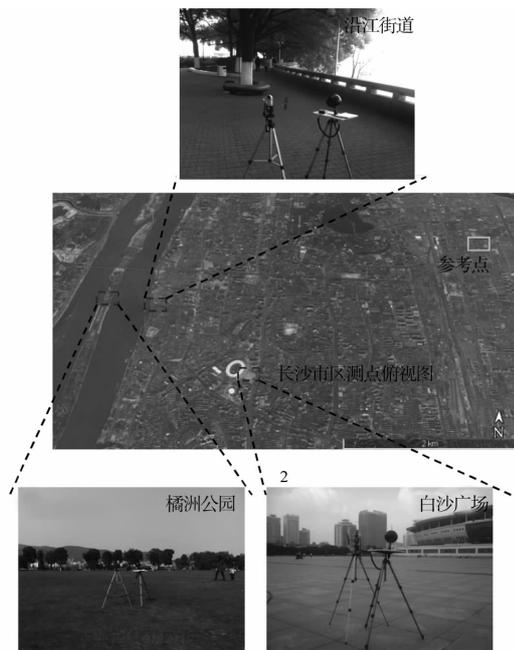


图1 测试地点分布及实景

1.1.2 测量方法 测量的热环境参数包括空气温度、风速、相对湿度以及黑球温度。温度、风速和相对湿度采用美国 Kestrel 4500 移动式小型室外气象参数测量仪测量,黑球温度由法国 KIMO 黑球温度计测得。所用仪器的型号、量程以及分辨率等如表1所示。实验仪器均由三脚架固定在成人重心高度(1.1 m),空气温度、风速和相对湿度每1 min自动记录1次,黑球温度每5 min人工记录1次。

表1 实验仪器

测量参数	仪器型号	量程	精度	分辨率
黑球温度	Digital thermometer TR102	-100 ~ 400 °C	±0.3 °C	0.1 °C
空气温度	Kestrel 4500	-29 ~ 70 °C	±1.0 °C	0.1 °C
风速	Kestrel 4500	0.4 ~ 40 m/s	±0.1 m/s	0.1 m/s
相对湿度	Kestrel 4500	5 ~ 95 %	±3 %	0.1 %

1.2 数据处理方法

本文各测点的热环境数据不是在整个实测时期进行逐日连续测量。为更充分地反映全年不同季节的热环境特征,需根据实测数据得到各测点处热环境参数在实测期间(2012年3月到2013年7月)的逐时值。本文采用的方法如下:

1) 选择合适的气象站点作为参考点,其气象数据可反映该城市的自然气候特征。本文参考点为长沙市黄花机场附近的气象站点。该站点位于长沙远郊(见图1),周边热环境受城市建设影响很小。

2) 建立实测点与参考点之间热环境参数的定量关系。由于参考点提供的气象数据为每天整点逐时数据,本文将各测点处温度、湿度与风速的实测整点逐时值(9:00—18:00)与相应时期的参考点处的整点逐时值(从气象网站下载^[27])进行一元线性回归,得出二者之间的变化关系。图2为参考点处的温度与相对湿度随四季的变化情况。

3) 获得实测点热环境参数在全年的逐时值。基于参考点全年的气象数据,应用前述建立的定量关系,通过计算得到实测点处的全年热环境参数值。

由于参考点的气象数据中没有黑球温度,为与温度、湿度等数据处理保持一致,便于分析数据获取规律,本文实测点处黑球温度采用整点实测值。同时,实测点与参考点的风速值相关性较差,且风速随时间变化很大,分析逐时每分钟风速结果规律不明显,故风速也采用整点实测值。本文的现场实测均是在每个季节具有代表性的天气条件下开展,因此实测值也可较好地反映实测点处不同季节的热环境特征。

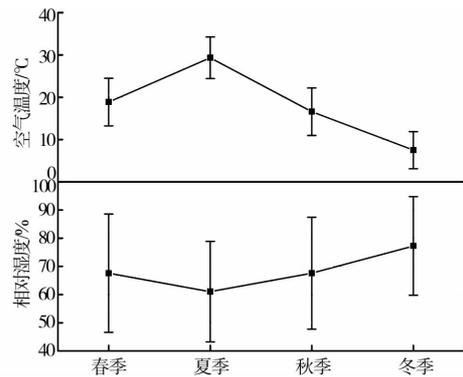


图2 参考点空气温度与相对湿度的季节性特征

2 结果与分析

2.1 空气温度特征

季节划分采用气候学广泛应用的候温法。各实测点与参考点之间空气温度(小时平均值)的线性关系如表2所示。从表2给出的决定系数(R^2)可知,二者之间具有很好的线性关系。

根据前述数据处理方法,不同季节各实测点空气温度的日变化(逐时平均值)如图3所示。

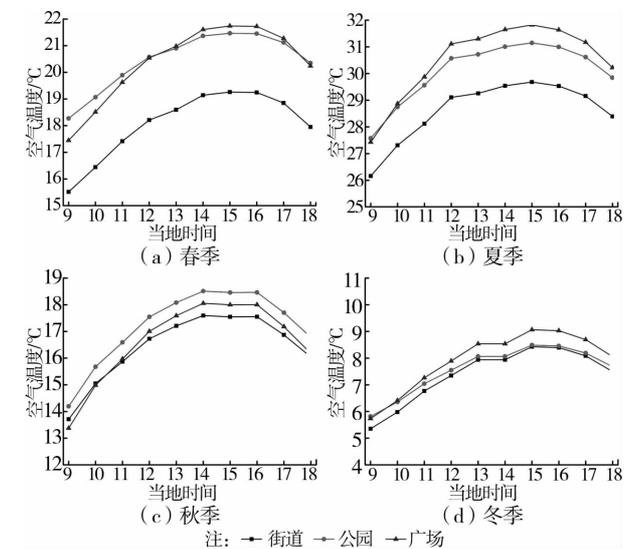


图3 不同季节各实测点空气温度(均值)日变化规律

表2 各实测点与参考点空气温度的线性关系

季节	街道			公园			广场		
	斜率	截距	R^2	斜率	截距	R^2	斜率	截距	R^2
春季	0.871	1.624	0.871**	0.743	6.422	0.821**	0.999	1.514	0.882**
夏季	0.908	1.990	0.952**	0.921	3.061	0.834**	1.133	-2.728	0.916**
秋季	0.872	1.967	0.922**	0.970	1.127	0.941**	1.052	-0.798	0.981**
冬季	0.853	1.023	0.916**	0.742	2.046	0.836**	0.924	1.043	0.900**

注:** $P < 0.01$.

各实测点处平均空气温度的季节差异明显。一方面,空气温度在夏季最高,冬季最低,春季稍高于秋季;另一方面,白天(9:00—18:00)的温度变化程度在春、夏季较大。然而,空气温度的日变化趋势在四季相同:早晨 9:00 温度最低,下午 15:00 左右达到最高值,然后逐渐降低。

不同实测点之间的空气温度特征有明显差异,主

要体现在:1)街道温度低于公园和广场,尤其是在春季和夏季;2)广场温度在夏季和冬季明显高于公园和街道;3)广场温度的变化程度(最低与最高平均温度之差)最大,而街道与公园变化程度较为接近。

2.2 相对湿度特征

如表 3 所示,不同季节各实测点与参考点的相对湿度(小时平均值)具有良好的线性关系。

表 3 实测点与参考点相对湿度线性关系

季节	街道			公园			广场		
	斜率	截距	R^2	斜率	截距	R^2	斜率	截距	R^2
春季	0.776	19.424	0.867**	0.815	15.700	0.828**	0.763	12.252	0.818**
夏季	0.786	20.787	0.779**	0.780	18.069	0.771**	0.910	8.087	0.799**
秋季	0.710	21.645	0.832**	0.746	19.677	0.855**	0.836	13.273	0.822**
冬季	0.491	35.750	0.732**	0.730	14.967	0.896**	0.807	12.593	0.904**

注:** $P < 0.01$ 。

基于表 3 的线性关系,获得的各实测点处相对湿度在四季的日变化规律如图 4 所示。

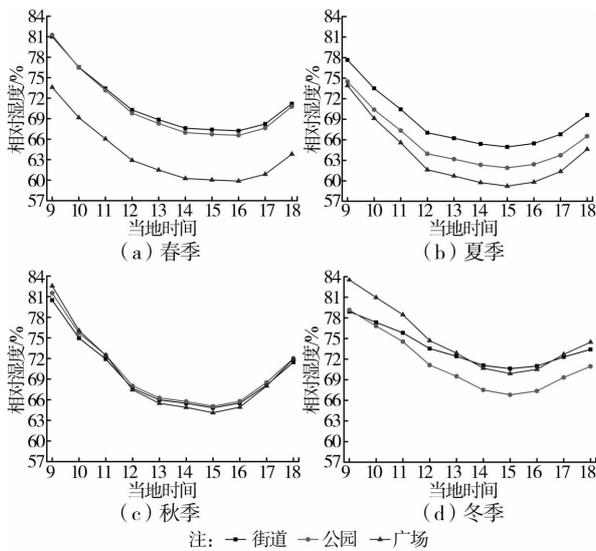


图 4 不同季节各实测点相对湿度(均值)日变化规律

据图 4,各测点处平均相对湿度的季节差异较小。其日变化趋势与空气温度相反:早晨 9:00 最高,在 15:00 左右达到最低值。

各测点之间的相对湿度差异随季节变化明显。在春季和夏季,广场相对湿度明显低于街道和公园,而在冬季,公园的相对湿度最低。秋季 3 个实测点之间的相对湿度非常接近。

2.3 风速特征

各实测点风速的日变化规律如图 5 所示(结果为实测值)。

由图 5 可见,各实测点平均风速的季节差异并不大,而且无明显的日变化规律,在 1 d 内会有较大波

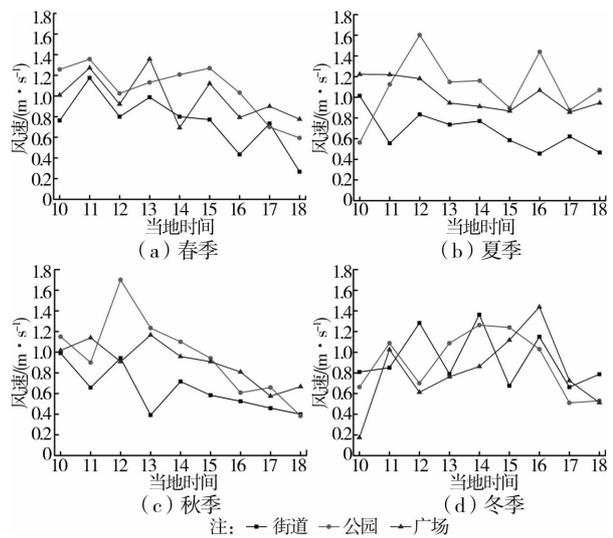


图 5 不同季节各实测点风速(均值)日变化规律

动。各实测点风速的差异在夏季较为明显:大部分时间内,街道的风速最低,公园风速稍高于广场。

2.4 黑球-空气温差特征

本文实验并没有直接测量太阳辐射强度。黑球温度能有效反映周围热辐射影响,而在室外环境太阳辐射是最主要的辐射因素。因此,黑球温度与空气温度之差可反映太阳辐射强度(文献[28-29]的研究也采用此指标)。二者之间的差值越大表明太阳辐射越强。

图 6 给出了各实测点的黑球-空气温差(实测值)。

根据图 6,各实测点处黑球-空气温差在夏季最大,冬季最小,春季稍高于秋季。但是,其日变化趋势在春季、秋季和冬季相同:先增大后减小,在下午

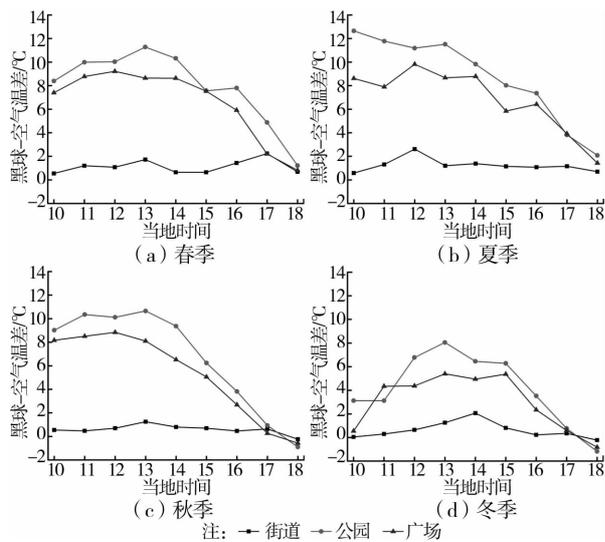


图6 不同季节各实测点黑球-空气温差(均值)日变化规律

13:00左右达到最大值,18:00降低到最小值。夏季,公园的黑球-空气温差则呈现出逐渐降低的趋势。

不同实测点之间的黑球-空气温差特征有明显差异,主要体现在:1)在四季,街道的黑球-空气温差明显小于公园和广场,而公园的温差稍高于广场;2)街道黑球-空气温差的变化程度(最小与最大温差之差)最小,而公园与广场接近。

3 讨论

由前述研究结果可知:作为影响城市室外热环境的关键因素,自然气候决定了整个城市热环境的基本特征。从图2可见,长沙的自然气候呈现典型的夏热冬冷特征,夏季平均温度最高可达 29.3°C ,而冬季平均温度最低可至 7.5°C ,但湿度的四季变化较小。受这一自然气候的影响,本文选取的3个城市公共空间的热环境与自然气候具有相似的季节特征:空气温度夏季高冬季低、差异明显,而相对湿度的四季差异不大(见图3、4)。表2、3所示的较高的线性回归方程决定系数值(R^2)也表明这3个城市公共空间热环境与参考点反映的自然气候具有很好的一致性。

另一方面,本文研究结果表明:城市物理结构是引起室外局部热环境发生改变的重要因素。3个城市公共空间的温度、相对湿度和风速与自然气候均有差异。尤其是风速,由于城市公共空间附近建筑物的阻挡,与参考点处的风速值无显著相关性,差异较大。不同的物理结构还导致这3个公共空间的热环境差异明显。植物和水体(湘江)的降温加湿作用使得沿江街道空气温度最低、湿度较高,而高大树木对阳光产生有效遮挡使其太阳辐射强度最弱。广场地面没有植被覆盖(水泥地面),无高大树木和水体,

因此其空气温度在夏季远高于街道,太阳辐射强度也较高。处于湘江中央的公园受水体以及植被(草地)的影响,在部分季节空气湿度较高,温度较低,而由于没有高大树木,太阳辐射强度较高。Yan等^[13]研究表明植物可有效缓解夏日高温,Xu等^[16]指出夏季水体对周围热环境的降温加湿作用,这与本文研究结果一致;另外其它气候地区的相关研究也发现了植物、水体、建筑等物理因素对室外热环境的作用^[17,23-26]。

城市公共空间热环境的差异会导致其利用率的不同。以本文的街道和广场实测点为例。夏季高温时,由于街道处温度较低,且太阳辐射较弱,吸引众多市民来此休闲。相反,由于广场处温度较高,太阳辐射强,休闲市民寥寥无几。因此,从人体热舒适角度看,城市公共空间的设计应针对当地自然气候特征,采用合适的物理结构因素(植物、水体、建筑等),实现对公共空间局部热环境的合理调节,缓解不利气候条件的冲击,为市民营造舒适的热环境,提高公共空间的利用率。

4 结论

对长沙市3个典型公共空间(街道、公园和广场)的热环境进行长期实测,基于此分析不同季节的热环境特征。

1)自然气候决定了整个城市热环境的基本特征。3个城市公共空间热环境与参考点反映的自然气候具有较高的一致性。

2)城市物理结构是引起室外局部热环境发生改变的重要因素。不同的物理结构可导致3个公共空间的热环境存在较为明显的差异。

3)受植物(乔木)和水体(湘江)的影响,沿江街道在全年大部分时间中空气温度显著较低,相对湿度较高,太阳辐射较弱;而广场温度较高,太阳辐射较强。

4)城市公共空间的设计应针对当地自然气候特征,利用合适的物理结构因素(植物、水体、建筑等),实现对公共空间局部热环境的合理调节。

参考文献:

- [1] Thorsson S, Lindqvist M, Lindqvist S. Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Goteborg, Sweden [J]. International Journal of Biometeorology, 2004, 48(3):149-156.
- [2] Nikolopoulpu M, Baker N, Steemers K. Thermal comfort in outdoor urban spaces: understanding the human parameter [J]. Solar Energy, 2001, 70(3):227-235.
- [3] Knez I, Thorsson S. Thermal, emotional and perceptual evaluations of a park: cross-cultural and environmental attitude comparisons [J]. Building and Environment,

- 2008, 43(9):1483-1490.
- [4] Hassaan A, Mahmoud A. Analysis of the microclimatic and human comfort conditions in an urban park in hot and arid regions [J]. *Building and Environment*, 2011, 46(12):2641-2656.
- [5] 高芬. 武汉城区规划改造中的城市热环境研究[D]. 武汉:华中科技大学, 2007.
- [6] 罗成, 余九一, 王汉斌, 等. 城市居住区室外热环境的分析方法[J]. *土木建筑与环境工程*, 2013, 35(1):147-152.
Luo Q, Yu J Y, Wang H B, et al. Analysis method for outdoor thermal environment of residential community [J]. *Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering*, 2013, 35(1):147-152.
- [7] Robitu M, Musy M, Inard C, et al. Modeling the influence of vegetation and water pond on urban microclimate [J]. *Solar Energy*, 2006, 80:435-447.
- [8] Lin B R, Li X F, Zhu Y X, et al. Numerical simulation studies of the different vegetation patterns' effects on outdoor pedestrian thermal comfort [J]. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 2008, 96(10/11):1707-1718.
- [9] Fahmy M, Sharples S. On the development of an urban passive thermal comfort system in Cairo, Egypt [J]. *Building and Environment*, 2009, 44(9), 1907-1916.
- [10] Ali-toudert F, Mayer H. Numerical study on the effects of aspect ratio and orientation of an urban street canyon on outdoor thermal comfort in hot and dry climate [J]. *Building and Environment*, 2006, 41(2):94-108.
- [11] Hagishima A, Tanimoto J, Narita K I. Intercomparisons of experimental convective heat transfer coefficients and mass transfer coefficients of urban surfaces [J]. *Boundary-Layer Meteorology*, 2005, 117(3):551-576.
- [12] 李成. 绿化对多层居住区室外热环境影响的研究——以上海市为例[D]. 武汉:华中农业大学, 2009.
- [13] Yan H, Wang X, Hao P Y, et al. Study on the microclimatic characteristics and human comfort of park plant communities in summer [J]. *Procedia Environmental Sciences*, 2012, 13:755-765.
- [14] 胡深, 李洁, 冉茂宇. 闽南石材及红砖铺地对当地室外热环境的影响[J]. *建筑科学*, 2011, 27(2):57-60.
Hu S, Li J, Ran M Y. Influences of stone and red-brick pavement on outdoor thermal environment in the south of Fujian [J]. *Building Science*, 2011, 27(2):57-60.
- [15] Lin T P, Ho Y F, Huang Y S. Seasonal effect of pavement on outdoor thermal environments in subtropical Taiwan [J]. *Building and Environment*, 2007, 42(12):4124-4131.
- [16] Xu J C, Wei Q L, Huang X F, et al. Evaluation of human thermal comfort near urban waterbody during summer [J]. *Building and Environment*, 2010, 45(4): 1072-1080.
- [17] Johansson E, Emmanuel R. The influence of urban design on outdoor thermal comfort in the hot, humid city of Colombo, Sri Lanka [J]. *International Journal of Biometeorology*, 2006, 51:119-133.
- [18] 李伟强, 周孝清. 广州市单体建筑室外微气候热环境研究[J]. *建筑科学*, 2009, 25(6):58-60.
Li W Q, Zhou X Q. Study on outdoor microclimate thermal environment for single building in Guangzhou [J]. *Building Science*, 2009, 25(6):58-60.
- [19] 刘世文, 杨柳, 张璞, 等. 西宁住宅小区冬季微气候测试研究[J]. *建筑科学*, 2013, 29(8):64-69.
Liu S W, Yang L, Zhang P, et al. Test study on Xining residential microclimate in winter [J]. *Building Science*, 2013, 29(8):64-69.
- [20] 张恒坤. 城市户外公共空间热环境研究——以重庆市为例 [D]. 重庆:重庆大学, 2008.
- [21] 宋海静. 城市公共空间热环境研究[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2008.
- [22] 李琼, 孟庆林, 赵立华. 教学组团夏季室外热环境特征与计算模型验证[J]. *土木建筑与环境工程*, 2011, 33(3): 112-118.
Li Q, Meng Q L, Zhao L H. Analysis on summer thermal environment characteristic of a teaching building cluster and validation of its calculation model [J]. *Journal of Civil, Architectural & Environmental Engineering*, 2011, 33(3):112-118.
- [23] Cohen P, Potchter O, Matzarakis A. Daily and seasonal climatic conditions of green urban open spaces in the Mediterranean climate and their impact on human comfort [J]. *Building and Environment*, 2012, 51: 285-295.
- [24] Xi T Y, Li Q, Mochida A, et al. Study on the outdoor thermal environment and thermal comfort around campus clusters in subtropical urban areas [J]. *Building and Environment*, 2012, 52: 162-170.
- [25] Georgi J N, Dimitriou D. The contribution of urban green spaces to the improvement of environment in cities: case study of Chania, Greece [J]. *Building and Environment*, 2010, 45(6): 1401-1414.
- [26] Lin T P, Matzarakis A, Hwang R L. Shading effect on long-term outdoor thermal comfort [J]. *Building and Environment*, 2010, 45(1):213-221.
- [27] 天气历史 Huanghua, HN [EB/OL]. [2012-03-01]. <http://www.wunderground.com/history/airport/ZGHA/2008/11/5/DailyHistory.html>.
- [28] Nikolopoulou M, Lykoudis S, Kikira M. Thermal comfort in outdoor spaces: field studies in Greece [C]// *Proceedings of the Fifth International Conference on Urban Climate*, Lodz 1-5 September 2003.
- [29] Humphreys M A. Clothing and the outdoor microclimate in summer [J]. *Building and Environment*, 1977, 12(3):137-142.