

# 基于阴影区现象的亚热带商业步行街外部空间生态设计方法研究

陈 敬<sup>1,2</sup>, 刘加平<sup>1,2</sup>, 王 芳<sup>1,3</sup>

(1. 省部共建西部绿色建筑国家重点实验室 西安建筑科技大学, 陕西 西安, 710055;

2. 西安建筑科技大学 建筑学院, 陕西 西安, 710055;

3. 西安建筑科技大学 城乡规划学博士后流动站, 陕西 西安, 710055)

**摘要:** 如何通过被动式的设计手段改善我国亚热带地区夏季室外步行空间的热环境状况是本文主要关注的问题。文中通过提出无效阴影区、有效阴影区、热调节有效阴影区等相关概念, 架构起了阴影区理论的基本原理, 继而进一步明确了依据阴影区原理的亚热带地区商业步行街外部空间生态设计步骤及相关的测定方法, 为亚热带地区商业步行街外部空间的生态设计提供一种新的思路。

**关键词:** 亚热带地区; 商业步行街; 有效阴影区; WBGT 指数

**中图分类号:** TU-023

**文献标志码:** A

**文章编号:** 1006-7930(2018)03-0410-06

## Study on ecological design method of subtropical pedestrian exterior space based on shadow area phenomenon

CHEN Jing<sup>1,2</sup>, LIU Jiaping<sup>1,2</sup>, WANG Fang<sup>1,3</sup>

(1. State Key Laboratory of Green Building in Western China, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

2. School of Architecture, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China;

3. Urban and rural planning post-doctoral research station, Xi'an Univ. of Arch. & Tech., Xi'an 710055, China)

**Abstract:** This article mainly concerns problem is how to improve the thermal environment in the outdoor walking space in summer in the subtropical zone in China by passive design. The fundamental principles of shadow area theory is built by given some related conceptions such as invalid shadow area, valid shadow area and valid shadow area with thermal regulating. Then put forward a new idea in ecological design for outer space of commercial Pedestrian Street in subtropical zone with a more detailed design steps and related shadow area defining method supported by the shadow area theory.

**Key words:** subtropical zone; commercial pedestrian street; valid shadow area; WBGT index

## 1 阴影区理论概述

### 1.1 生活中的阴影区运用现象

光与影是相互依托而存在的。没有光也就没有了影, 而影则永远存在于背光的一面。在我们的日常生活中, 在需要阳光的同时, 阴影对我们的影响也无处不在。在个人层面而言, 在街上打伞、带帽的行人, 就是利用太阳伞或是帽檐遮挡住太阳的辐射, 从而形成一个阴影区, 从而在小范围内改善热环境状况; 在自然环境层面而言, 人们聚在大树下乘凉、交谈也是利用了树冠的所形成的阴影区在更大的范围内进行活动; 在建筑

层面上, 岭南地区普遍采用的骑楼式建筑也是努力的营造出带有顶盖的骑楼步行道, 为行人提供一个遮风避雨的场所<sup>[1]</sup>。(见图 1)如果我们将阴影区的概念范围再扩大, 那么整个建筑的室内空间也可以看作是人类营造的阴影区空间。

### 1.2 阴影区理论的设计出发点

虽然在现实生活中存在着许多阴影区的实例, 但是并不是所有的阴影区对于人类活动都是有价值的。比如对于在寒带地区生活的人, 由于气候环境的寒冷, 需要更多的太阳辐射来提升自身的温度, 这时候的阴影区反而对人的活动是不利的。因此, 阴影区在气候炎热、太阳辐射较强的热带、

收稿日期: 2017-04-11

修改稿日期: 2018-05-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(51508437, 51590913, 51408470), 中国博士后科学基金特别资助(2015T81008)

第一作者: 陈 敬(1981—), 男, 博士, 副教授, 主要从事地域建筑及绿色建筑的研究。E-mail: 511628491@qq.com



图1 带有阴影的骑楼步行道

Fig.1 With a shadowed Qilou walkway

亚热带地区更能够发挥自身的作用. 国内部分学者在对户外公共空间进行研究的时候提出要利用建筑的阴影来改善室外热环境, 比如利用树荫阴影和建筑阴影相结合的方式来创造舒适的室外空间<sup>[2-3]</sup>. 同样, 以色列的埃雷尔、珀尔穆特等人也在其《城市小气候——建筑之间的空间设计》一书中也提出利用建筑物的阴影为街道遮阴<sup>[4]</sup>. 但是建筑阴影在一天中是动态变化的, 如何直接利用建筑阴影来进行室外空间的设计一直没有找到比较科学的设计方法. 同时在热带地区, 气候条件也不是一成不变的. 比如在冬季或是夏季的清晨, 温度和太阳辐射强度还没有提升的时候, 阴影区对人的热感觉调节作用也不是很大, 只有在夏季较为炎热的午后, 阴影区才会对人感觉起到一定的调节作用图 2(b). 因此, 阴影区就会存在有效阴影区和无效阴影区两种情况. 我们把能够缓解热环境的不利影响, 对人体热感觉能够起到重要调节作用的阴影区定义为有效阴影区; 把对人体热感觉不能够起到重要调节作用的阴影区定义为无效阴影区. 通过研究把有效阴影区从现有阴影区中提炼出来, 并由于指导室外空间的规划、设计便是阴影区理论提出的由来图 2(c).

### 1.3 阴影区理论的应用范围

对于室外空间而言, 想要通过使用空调设备来调节室外热环境显然不切实际的. 同时在现实的城市环境中, 也不是所有地段都有条件进行大型乔木的种植. 因此, 在有限的条件下, 利用现有建筑物所形成的有效阴影区的范围, 在不大规模增加施工成本的同时, 通过重新组织步行路径、节点, 对于改变现有城市步行空间的热环境是有一定意义的<sup>[5-9]</sup>. 同时基于阴影区原理的生态设计方法同样也可以用在新的城市地块设计过程中. 通过对新的规划建筑方案的布局方式的计算与模拟, 可以分析现有规划布局方式是否可以形成有利的有效阴影区范围、是否可以在有效阴

影区范围内组织连续的交通路径以及适宜的活动空间的节点. 从而促使规划设计方案不断的调整与完善.

## 2 以商业步行街为研究主题的阴影区原理相关研究概念的界定

基于上述的阴影区理论的基本概念, 以亚热带地区的商业步行街为研究案例, 在此进一步阐述研究过程中会出现的相关研究概念. 由于上述阴影区理论中所涉及的到有效阴影区和无效阴影区是较为广义的概念, 因此, 在针对具体对象研究时候, 对于有效阴影区概念的界定在不违反有效阴影区的概念的基本原则时, 根据具体的研究测试所需要达到的指标以及商业步行街的特点进一步来进行相关概念的界定.

①阴影区: 是指由商业步行街沿街建筑物所形成的投影范围.

②有效阴影区: 是指当在太阳辐射照射的情况下, 室外 WBGT 指数超过人体所能承受的范围的时候, 步行街沿街建筑物所形成的投影范围. WBGT 又称作亦称为湿球黑球温度, 是综合评价人体在室外环境热负荷的一个基本参量, 单位为 $^{\circ}\text{C}$ . 这个参数设定的意义在于区分提炼出能够满足人使用的阴影区的范围. 有效阴影区根据不同的地点、时间的变化, 其范围是一个动态变化的参数图 3(a).

③无效阴影区: 是指当室外 WBGT 指数没有超过人体所能承受的范围的时候, 步行街沿街建筑物所形成的投影范围. 无效阴影区的范围是一个动态变化的参数图 3(a).

④日照区: 是指当室外 WBGT 指数超过人体所能承受的范围的时候, 步行街沿街建筑物所形成的投影范围以外被太阳辐射到的地方. 日照区的范围是一个动态变化的参数图 3(b).

⑤热调节有效阴影区: 是指在有效阴影区的范围内, 当 WBGT 指数超过人体所能承受的范围的时候, 此刻的阴影区的范围. 这个参数设定的意义在于当有效阴影区的范围内的 WBGT 指数超过人体所能承受的范围的时候, 单凭依靠阴影区已经无法环节环境的热压力, 因此需要通过考虑其他辅助设计手段来调整图 3(c).

⑥热调节有效阴影区最小范围: 热调节有效阴影区最小范围是指当 WBGT 指数超过人体所能承受的范围的时候, 阴影区的范围依然有可能会持续减小. 当阴影区达到最小范围的时候就是热

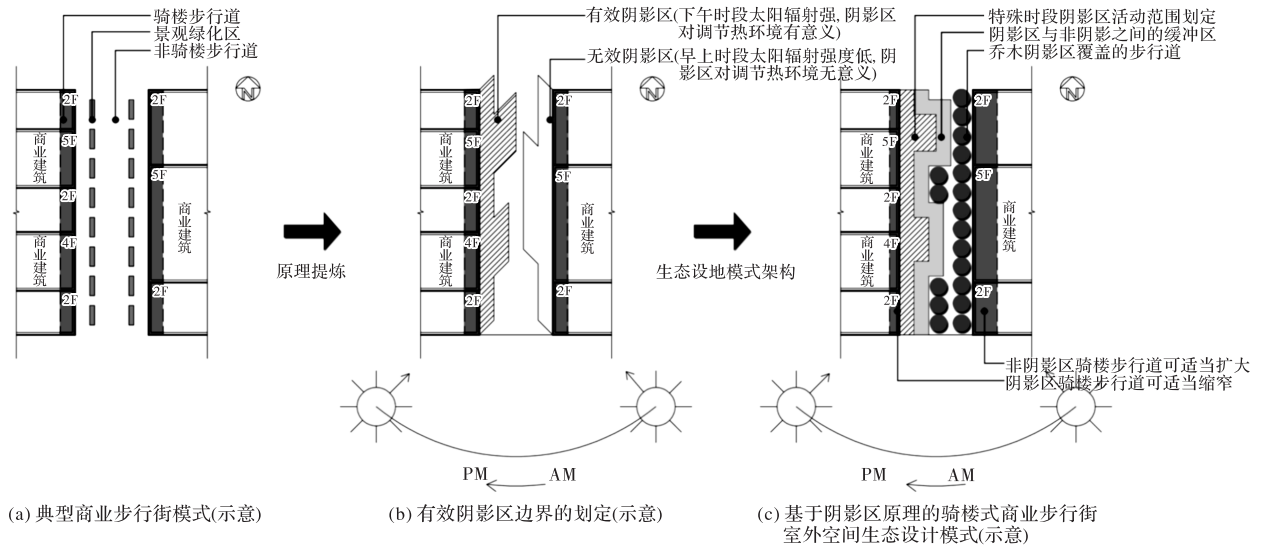


图2 基于阴影区原理的骑楼式商业步行街室外空间生态设计模式示意

Fig. 2 The ecological design pattern of Qilou commercial pedestrian street outdoor space based on shadow area principle

节有效阴影区的最小范围。这个参数设定的意义在于分析最小阴影区的时候要考虑和城市步行交通的结合,最小阴影区的范围应满足步行交通宽度的基本要求。当不能满足的时候应考虑采用其他的方

式解决图3(c)。

⑦逐时有效阴影区:逐时(以半小时为时间段来记录测试数据)有效阴影区是指从有效阴影区出现时段内每个相等时间间隔内的阴影区的范围图3(b)。

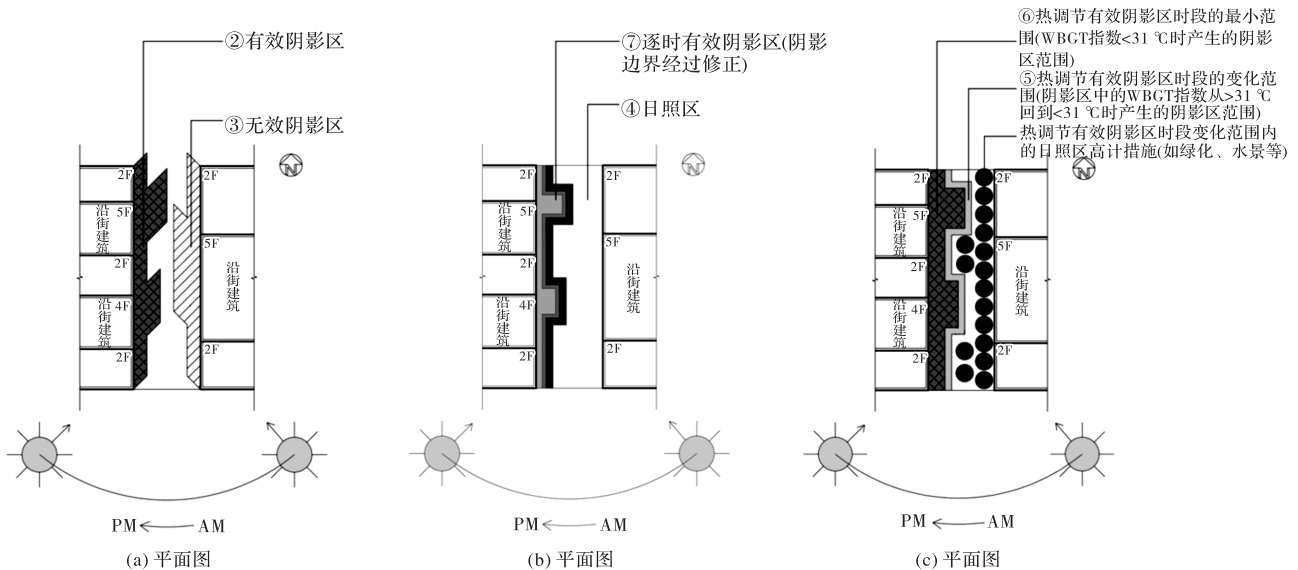


图3 研究相关概念

Fig. 3 Research related concepts

在上述提出的7个相关的概念当中,有效阴影区、无效阴影区、日照区和热调节有效阴影区这四个概念是在设计过程中最常使用的相关概念、而其他概念主要是为了便于理解研究的过程。

### 3 商业步行街热环境的研究步骤

以亚热带地区商业步行街为研究对象,根据阴影区原理以及相关的研究方面,其研究过程可以拆解为以下几个步骤:

(1)通过测量,可以获取某一步行街沿街建筑高度、面宽、围合方式等方面的数据;

(2)结合当地极端气候条件时间段(例如夏季5月—8月)的太阳高度角与方位角的参数,划定出该步行街的阴影区的变化范围。

(3)测试有效阴影区的范围。根据WBGT指数测定仪,在典型气候条件下进行如下步骤的测试:  
(a)用一台WBGT指数测定仪从日出时刻开始测定在太阳辐射条件下的WBGT指数并进行观察记录,

标记出在太阳辐射条件下超过人体承受以后产生的阴影区定义为有效阴影区。(b)用另外一台 WBGT 指数测定仪在无太阳辐射的有效阴影区中同时进行测试,记录在有效阴影区中 WBGT 指数变化情况以及有效阴影区的边界变化情况。当在有效阴影区内的 WBGT 指数超过人体承受标准时,这个时刻以后产生的阴影区定义为热调节有效阴影区。这意味着从这个时刻起通过阴影区已经无法解决热环境的问题,需要通过其他的技术措施来进行调节。

(4)在测试的同时记录阴影区的变化范围以及观察街区中人的行为方式。

(5)根据对有效阴影区的测试结果,结合《城市道路交通规划设计规范》中对于步行道最小宽度尺度的需求以及其他方面的相关要求,提炼

出街道中可以利用的有效阴影区产生的时段及其范围<sup>[10]</sup>;提炼出热调节有效阴影区时段内的阴影区的边界变化范围和相应的日照区范围。

(6)根据有效阴影区、热调节有效阴影区、日照区的不同的边界状况,重新组织室外空间的步行路径及相关的节点空间,可考虑对在热调节有效阴影区时段内的日照区内的铺地、沿街界面进行绿化处理,减小太阳辐射对有效阴影区的间接影响。

4 关于研究过程中的测试方法的选定

4.1 研究工况

针对于亚热带地区的步行商业街而言,街道常见的形态根据围合的建筑界面,可以划分为以下几种情况(见表1)。

表1 研究工况  
Tab.1 Study conditions

街道形态	街道朝向	街道阴影区特点	测试研究要点
规则线性	东西向	街道的阴影区会在两侧街道来回变化	1. 测绘沿街建筑的高度与面宽。 2. 测试该街道一天中空气温度、相对湿度、平均辐射温度、风速、太阳辐射强度、湿球温度、大气压强等相关参数。
	南北向	街道的阴影区在一天中会从东向转到西向。	3. 测试、测绘该街道有效阴影区范围。
不规则线性	东南——西北	街道受到方位的影响,阴影区的变化范围不太规则,需要根据实际的测绘与模拟来确定阴影区变化的规律。	4. 测试、测绘热调节有效阴影区范围。
	西北——东南		5. 测试、测绘热调节有效阴影区时段内的日照区范围。
	不规则弯曲		
不规则散点布局	不规则	散点布局式的街道往往是以片区的形式出现的,街道是夹杂在建筑物之间形成的较为随机的步行路径。这种情况下需要对整个片区的建筑进行测绘,掌握建筑的体量关系,建筑与街道的关系。	1. 测绘该片区的总图关系以及相关的建筑体量。 2. 测试该街道一天中空气温度、相对湿度、平均辐射温度、风速、太阳辐射强度、湿球温度、大气压强等相关参数。 3. 测试、测绘该街道有效阴影区范围。 4. 测试、测绘热调节有效阴影区范围。 5. 测试、测绘热调节有效阴影区时段内的日照区范围。

4.2 测试过程采用的方法

WBGT 指数测定方法

(1)适用范围

WBGT 指数是综合评价人体接触作业环境热负荷的一个基本参量,单位为℃。该方法可以用来评价在整个工作周期中人体所受的热强度,适用于评价工业领域工作场所以及建筑室外的热环境状况。不适宜于评价短时间内或热舒适区附近的热强度。

(2)计算方法

WBGT 综合考虑空气温度、风速、空气湿度和辐射热四个因素,能够较好的预测中暑的室外环境。它由黑球温度  $t_g$ 、自然湿球温度  $t_{mw}$ 、干球温度  $t_a$  三个部分温度构成,并由下列公式计算得出结果。其中,式(1)为无太阳辐射条件下的 WBGT 指数计算方法,式(2)为有太阳辐射条件下的 WBGT 指数计算方法。

$$WBGT_1 = 0.7t_{mw} + 0.3t_g \tag{1}$$

$$WBGT_2 = 0.7t_{mw} + 0.2t_g + 0.1t_a \quad (2)$$

(3)测试方法

以其中一天的测试过程为例,将两台热压指数测试仪器分别布置于太阳直接照射的区域与阴影区内进行测试,获取日照区和阴影区范围的自然湿球温度、黑球温度、空气干球温度数值;根据自然湿球温度、黑球温度、空气干球温度数值和公式(1),可以确定室外无太阳辐射时 WBGT

值.进一步地,根据自然湿球温度、黑球温度、空气干球温度数值和公式(2)可以确定室外有太阳辐射时 WBGT 值.

(4)评价标准

式(1)和式(2)是根据人体室外热舒适标准 GB/T 17244-1998<sup>[11]</sup>.表 2 为 WBGT 指数评价标准,表 3 为能量代谢率分级.在本研究案例中,考虑到步行街中的行为主要以低代谢率的闲步为主,

表 2 WBGT 指数评价标准

Tab. 2 WBGT index evaluation criteria

平均能量代谢率等级	WBGT 指数/℃			
	好	中	差	很差
0	≤33	≤34	≤35	>35
1	≤30	≤31	≤32	>32
2	≤28	≤29	≤30	>30
3	≤26	≤27	≤28	>28
4	≤25	≤26	≤27	>27

表 3 能量代谢率分级

Tab. 3 Energy metabolic rate grading

级别	平均能量代谢率/M			示例
	W/m <sup>2</sup>	Kcal/min·m <sup>2</sup>	KJ/min·m <sup>2</sup>	
0 休息	M≤65	M≤0.930	M≤3.892	休息
1 低代谢率	65<M≤130	0.930<M≤1.859	3.892<M≤7.778	坐姿:轻手工作业(书写、打字、绘画、缝纫、簿记、记账)手和臂的劳动(小修理工具、材料的检验、组装或分类),臂和腿的劳动(正常情况下,驾驶机动车脚踏开关或踏脚) 立姿:钻孔(小型),碾磨机(小件),绕线圈,小功率工具加工,闲步(速度为 3.5 km/h 以下)
2 中代谢率	130<M≤200	1.859<M≤2.862	7.778<M≤11.974	手和臂持续动作(敲钉子或填充)臂和腿的工作(卡车、拖拉机或建筑设备等非运输操作),臂和躯干的工作(风动工具操作,拖拉机装配、粉刷、间断搬运中等重物、除草、锄田,摘水果和蔬菜):推或拉轻型独轮或双轮小车,以 3.5 km/h-5.5 km/h 速度行走,锻造
3 高代谢率	200<M≤260	2.862<M≤3.721	11.974<M≤15.565	臂和躯干符合工作,搬重物、铲、锤锻、锯刨或凿硬木,割草、挖掘、以 5.5 km/h—7 km/h 速度行走,推或拉重型独轮或双轮车,清砂、安装混凝土板块
4 极高代谢率	M>260	M>3.721	M>15.565	快到极限节律的极强活动,劈砍工作,大强度的挖掘,爬梯、小步急行、奔跑、行走速度超过 7 km/h

可以从表3中确定能量代谢率等级为1低代谢率,带入表2发现WBGT指数的范围在30~32℃之间。根据国内学者关于夏季室外活动中暑的相关研究,可以初步选定 $WBGT \leq 31^\circ\text{C}$ 作为测定WBGT指数的临界点<sup>[12]</sup>。将在太阳辐射条件下 $WBGT$ 指数 $\leq 31^\circ\text{C}$ 的时间段(即采用公式2计算得出结果)内产生的阴影区定义为无效阴影区,将 $WBGT$ 指数 $> 31^\circ\text{C}$ 时间段内产生的阴影区定义为有效阴影区。进一步的通过测试的分析,将无太阳辐射条件下,有效阴影区中 $WBGT$ 指数 $> 31^\circ\text{C}$ 时间段内产生的阴影区界定为热调节有效阴影区,也就是说在这个时刻以后,阴影区利用也难以解决热环境的问题,需要考虑采用其他的方法来缓解极端热环境所带来的不利影响。

## 5 结语

基于阴影区原理的热带地区商业步行街外部空间生态设计方法是利用现有的自然环境中存在的建筑物的阴影区作为设计的依托,借鉴《热环境根据WBGT指数对作业人员热负荷的评价》为标准,以行人在室外活动过程中可能会产生的中暑的极端情况为设计边界的一种生态设计方法。通过借鉴前人在研究及相关的规范标准,确定WBGT指数的边界条件,通过测试的手段研究有效阴影区在平时和极端条件下的边界变化情况。同时结合城市交通空间的设计规范,确定出可以利用的步行空间的时间及空间分布规律,进而可以有针对性的开展外环境设计。这种生态设计方法,为热带地区的步行街室外空间的设计提供了新的研究思路。在接下来的进一步研究中将结合具体的实地案例进行现场的热环境测试以检验该原理的有效性。

## 参考文献 References

- [1] 陈潇. 海口骑楼建筑的生态性研究[J]. 华中建筑, 2013(6): 23-28.  
CHEN Xiao, Study on structural ecological feature of the arcade buildings, Haikou[J]. Huazhong Architecture, 2013(6):23-28.
- [2] 赵庆楠,李婧. 建筑阴影区空间环境设计初探[C]//2011中国城市规划年会论文集,南京东南大学出版社,2011(9):8908-8915.  
ZHAO qingnan, LI jing. A Study on the space environment design of architectural shadows [C]//2011China Urban Planning Annual Conference Proceedings. Nanjing: Southeast University Press, 2011(9): 8908-8915.
- [3] 唐鸣放,张恒坤,赵万民. 户外公共空间遮阳分析[J].

- 重庆建筑大学学报,2008,30(3):5-8.  
TANG mingfang, ZHANG hengkun, ZHAO wanmin. Analysis of sun-shading for the external public space[J]. Journal of Chongqing Jianzhu University, 2008,30(3):5-8.
- [4] 埃维特·埃雷尔,戴维珀·尔穆特,特里威廉森. 城市小气候——建筑之间的空间设计[M]. 叶齐茂,倪晓辉译. 北京:中国建筑工业出版社,2014:99-100.  
Erell Evyatar, Pearlmutter David, Williamson Terry J. Urban microclimate designing—the spaces between buildings[M]. YE qimao, NI xiaohui Translated. Beijing: China Architecture & Building Press, 2014: 99-100.
- [5] Edward Ng, CHEN Liang, WANG Yingna. A study on the cooling effects of greening in a high-density city: An experience from Hong Kong[J]. Building and Environment,2012,47(4):256-271.
- [6] Hashem Akbari,Haider Taha. The impact of trees and white surfaces on residential heating and cooling energy use in four Canadian cities[J]. Energy,1992,17(2): 141-149.
- [7] ZHENG Senlin, ZHAO Lihua, LI Qiong. Numerical simulation of the impact of different vegetation species on the outdoor thermal environment[J]. Urban Forestry & Urban Greening, 2016, 18(1):138-150.
- [8] YANG Feng, STEPHEN S Y Lau, QIAN Feng. Urban design to lower summertime outdoor temperatures: An empirical study on high-rise housing in Shanghai[J]. Building and Environment,2011,46(3): 769-785.
- [9] HWANG Ruey-Lung, LIN Tzu-Ping, Matzarakis Andreas. Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort[J]. Building and Environment,2011,46(4):863-870.
- [10] 中华人民共和国建设部. 城市道路交通规划设计规范:GB 50220-95[S]. 北京:中国计划出版社,1995.  
Ministry of Construction of the People's Republic of China. Code for transport planning on urban road:GB 50220-95[S]. Beijing: China Planning Press,1995.
- [11] 中华人民共和国质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 为热环境根据WBGT指数对作业人员热负荷的评价:GB/T 17244-1998[S]. 北京:中国标准出版社,1998.  
General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the People's Republic of China, Standardization Administration of the People's Republic of China. Hot environments—Estimation of the heat stress on working man, based on the WBGT-index:GB/T 17244-1998[S]. Beijing: Standards Press of China,1998.
- [12] 谭琳琳,甘永祥. WBGT指数与中暑预防[J]. 中国高新技术企业,2008,22:182,185.  
TAN linlin, GAN yongxiang. WBGT index and heat stroke prevention[J]. China High-Tech Enterprises, 2008,22:182,185.

(编辑 吴海西)