DOI:10.11918/j.issn.0367-6234.201607098

哈尔滨市滨江居住小区冬季热环境实测分析

刘哲铭1,赵旭东1,2,金 虹1

(1.哈尔滨工业大学建筑学院,哈尔滨150001;2.赫尔大学,HU67RX英国)

摘 要:为研究严寒地区滨江居住小区冬季热环境特点,通过对哈尔滨市滨江居住小区和内陆居住小区在冬季典型气象日的 空气温度、黑球温度以及风速进行现场实测,定量分析了滨江居住小区与内陆居住小区热环境差异,及滨江居住小区建筑布 局对其热环境的影响,并根据风冷温度对人体热感觉进行评价.结果表明:滨江居住小区冬季热环境与内陆居住小区相比较 差,且不同建筑布局间存在较大差异;滨江居住小区比内陆居住小区平均空气温度低 2.45 ℃,平均黑球温度低 3.66 ℃,平均 风速大 0.48 m/s,平均风冷温度低 5.59 ℃;对滨江居住小区不同区域热环境进行对比,发现冬季太阳辐射对温度提升作用最 为显著,其次为建筑布局围合程度,居住小区行列式布局内部寒冷程度较高,广场和临江入口处次之,围合式布局和半围合式 布局内部较低,并且增大行列式布局建筑间距能够有效降低布局内部寒冷程度,提高热舒适度.

关键词:严寒地区;滨江居住小区;内陆居住小区;热环境;实测

中图分类号: TU113.4 文献标志码: A

Thermal environment of riverside residential areas at Harbin in winter

文章编号: 0367-6234(2017)10-0164-08

LIU Zheming¹, ZHAO Xudong^{1, 2}, JIN Hong¹

(1.School of Architecture, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China; 2.University of Hull, HU6 7RX, UK)

Abstract: To study the thermal environment characteristic of the riverside residential areas in severe cold region in winter, field measurements on air temperature and black-bulb temperature have been carried out in riverside residential area and inland residential area of Harbin on typical weather day, then quantitative methods are used to analyze the thermal environment differences in winter between riverside residential area and inland residential area, and the impact of building layout in residential area on thermal environment. Furthermore, human thermal sensation is evaluated according to the wind chill temperature. The results indicate that the thermal environment of riverside residential area is worse than that of inland residential area, and there are significant differences in thermal environment among varied building layout patterns. The mean air temperature of riverside residential area is $2.45 \$ lower than that of inland residential area, the average black-bulb temperature of riverside residential area is $3.66 \$ lower, the average wind velocity is $0.48 \$ m/s bigger and the average wind chill temperature in winter, the second is buildings' layout. Row layout pattern has the highest cold degree, followed by the square, and the riverside entrance, enclosing and semi-enclosing layout pattern has the lowest cold degree. Besides, increasing the building interval in the row layout can effectively reduce the cold degree and improve the thermal comfort degree.

Keywords: severe cold region; riverside residential area; inland residential area; thermal environment; measurement

随着人们生活水平不断提高,城市居民的亲 水性表现得更加显著,一些高档居住小区和商务 区通常会选择在水体附近建设,滨水区成为了城 市中最具开发潜力的区域^[1].大型城市河流作为城 市水资源中最重要的组成部分^[2],除了其特有的 人文景观为人们提供优质的视觉感觉外,大面积 水体产生的气候效应会对滨水区域的微气候环境

收稿日期:2016-07-25

- **基金项目**:国家自然科学基金重点项目"严寒地区城市微气候调节 原理与设计方法研究"(51438005)
- 作者简介:刘哲铭(1988—),男,博士研究生; 赵旭东(1965—),男,教授,博士生导师; 金 虹(1963—),女,教授,博士生导师 通信作者:金 虹,729443932@qq.com

产生较大的影响^[3-5].居住小区作为与人们生活联 系最为密切的城市基础单元,其内部热环境会直 接影响人们室外活动时体感舒适度^[6-7].近年来, 由于人们对于居住环境和生态系统可持续发展的 认知逐步提升,关于城市滨水区域微气候的研究 已有部分成果.

Murakawa 等^[8]通过对日本广岛的大田江进行 现场实测发现,江水的蒸发冷却效应对周边区域热 环境的影响范围与建筑密度、水体宽度和街道形态 有直接关系.Ishii 等^[9]在对日本福冈市中心公园里 一处水池进行研究,对水池蓄满水与没有水两种情 况下周围环境温度进行对比发现,水池内蓄满水时 公园内温度比水池没有水时低 0.4 ℃.成田健一^[10] 运用风洞试验论证了城市河流周围建筑密度和建筑 布局对水体温度效应作用范围影响很大,宋晓程 等[11-12] 运用室外热环境数值模拟方法讨论建筑布 局、容积率、岸堤高度、滨水间距和绿化对水体周边 温度的影响,结果表明,滨水间距对温度影响较大, 其次为容积率、岸堤高度、建筑布局和绿化.Xu 等[13]以上海市黄兴公园内浣纱湖为研究对象,通过 现场实测与计算酷热指数,分析炎热夏季水体对人 们热舒适的影响.结果表明.水体能够明显降低沿岸 地区的温度,并有效提高人们热舒适性,且在距湖岸 10~20 m 范围内影响最为显著. 冯胜辉等^[14] 对 1956—2005年中国冬季风冷温度的时空变化特征 进行了分析,研究结果为人们冬季日常生活和出行 提供了科学依据和参考.

总体来说,上述研究主要针对夏季城市水体对 滨水区域热环境的改善作用,缺乏对季节气候变化 较大的严寒地区冬季城市滨水住区热环境的研究. 且中国在该领域的研究主要集中在小尺度的城市公 园及广场内的人工水景,和中尺度的城市湖泊或溪 流,对周边区域的降温作用,缺乏对大型城市河流对 住区热环境影响的研究[15].

本文旨在研究严寒地区冬季滨江居住小区与内 陆居住小区热环境差异,以及滨江居住小区建筑布 局对热环境的影响,通过对实测数据的分析,提出滨 江居住小区优化建议.

研究内容 1

1.1 测试地点及测点布置

测试地点选择在严寒地区典型城市哈尔滨市的 滨江居住小区和内陆居住小区,选取两处小区水平 距离为3000m, 且均位于哈尔滨城市中心区域, 建 筑密度相近目下垫面相同,以避免城市热岛效应本 身导致的差异对测试结果造成影响,滨江居住小 区——河松小区、观江首府和河源小区位于哈尔滨 市道里区,距离松花江南界395m,北临顾乡公园,河 松小区内主要为围合式布局,观江首府内为行列式 布局,河源小区内为行列式布局,住区内建筑朝向均 为南偏东 10°,建筑密度为 26.76%.内陆居住小 区——宏业小区位于哈尔滨市南岗区,距离松花江 南界3200m,小区内均为围合式、行列式布局,建筑 朝向为南偏东 29°,建筑密度为 26.59%,本次测试期 间松花江江面结冰,且覆盖大量积雪,公园及住区内 乔、灌木均已落叶.

测试共设置 10 个测点,滨江小区内共布置 8 个 测点,内陆小区内布置2个测点,测点编号及位置如 图1所示.



⁽a) 滨江居住小区测点布置

- (b) 测试小区卫星图 图1 测点布置示意
- Fig.1 Measurement points

1.2 测试仪器及方法

测试时间为 2016 年 1 月 14 日 9:00-17:00.采 用定点测试的方法,测试内容为居住小区内距地面 1.5 m 高度处的空气温度、黑球温度以及风速风向. 测试仪器包括温湿度采集记录器、黑球温度采集记 录器和手持式风速仪,详细参数见表1.测试前已对 仪器进行校准与比对,确认误差在可接受范围内.仪 器自动记录数据间隔均为1 min,但为了更加清晰地 表示测点数据的变化情况,下文数据变化曲线标记 为每 30 min 的平均值.测试中温湿度采集记录器被 放置在自制铝箔套筒内,以防止太阳辐射和地面、墙 面等环境的长波辐射影响.并与黑球温度采集记录

器、手持式风速仪一起用支架固定在距离地面1.5 m 高度处.测试仪器及周边环境如图2所示.

表	1	测试仪	器

1 ap.1 Information on measurement instrument	Tab.1	Information	on	measurement	instruments
--	-------	-------------	----	-------------	-------------

仪器名称	仪器型号	仪器精度	测量范围
温湿度采 集记录器	BES-02	温度:≤0.5 ℃ 湿度:≤3% RH	−30~50 ℃ 0%~ 99% RH
黑球温度采 集记录器	BES-01	温度:≤0.5℃	−30~50 °C
手持式 风速仪	NK4500	风速:≤0.1 m·s ⁻¹ 风向:≤5°	$0.4 \sim 60.0 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ $0 \sim 360^{\circ}$





图 2 测试仪器及周边环境 Views of the field measurements site Fig.2

1.3 城市气候参数

中央气象台发布的气象数据显示,2016年1月 14日,哈尔滨市天气晴,空气温度为-17.2~ -27.9 ℃;相对湿度为 17.7%~40.9%.风速为0.23~ 2.09 m/s,平均风速为0.91 m/s,主风向为东北.太阳 总辐射强度为 0~628 W/m²,太阳散射辐射为 0~ 163 W/m²,太阳辐射变化情况如图 3 所示.测试当日 具备哈尔滨市冬季典型气候条件.



1.4 风冷温度计算方法

风冷温度(wind chill temperature, WCT)是综合 考虑空气温度和风速对环境寒冷程度影响的评价指 标.计算公式为[16]

WCT = $13.12 + 0.621 5 \cdot t - 11.37 \cdot v_{10}^{0.16} + 0.396 5 \cdot t \cdot v_{10}^{0.16}$ 式中:WCT 为风冷温度,℃;v10为标准气象观测站 10 m 高度处风速, km · h⁻¹; t 为空气温度, ℃. 如果 测试为 1.5 m 高度处风速,则应乘以 1.5 后带入公 式.当 $v_{10} \leq 4.8 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ 时,可以视为静风状态^[17],此 时风冷温度与实际气温相等[18].风冷温度对应热感 觉分级标准见表 2.

表 2 风冷温度对应热感觉分级^[16]

Tab.2 Classification of wind chill temperature and thermal sensation^[16]

分级	风冷温度/℃	热感觉
1	-10~-24	寒冷
2	-25~-34	非常寒冷
3	-35~-59	异常寒冷
4	-60以下	极度寒冷

结果与分析 2

2.1 滨江与内陆居住小区热环境差异分析

为对比滨江与内陆居住小区冬季热环境,选取 滨江小区内测点 a1、a2 和内陆小区内测点 b1、b2 进 行分析,测点详细位置说明见表3.

表 3 测点设置说明

Tab.3 Information on measurement points

测点	测点位置	周边环境	居住小区	与江岸 间距/m
al	围合式建筑 布局内部	四周为7层住宅	滨江小区	480
a2	行列式建筑 布局内部	南北均为7层板 式住宅,住宅间距 为35m	滨江小区	540
b1	围合式建筑 布局内部	四周为7层住宅	内陆小区	3 200
b2	行列式建筑 布局内部	南北均为7层板 式住宅,住宅间 距为30m	内陆小区	3 300

2.1.1 测点数据逐时变化分析

滨江与内陆居住小区内空气温度与黑球温度逐 时变化情况如图 4、5 所示.滨江小区温度明显低于 内陆小区,且午间时段(12:00-14:00)温度相差最 大.其中.围合式布局空气温度最大差值为 3.8 ℃. 行列式布局最大差值为4℃;围合式布局黑球温度 最大差值为4.1℃,行列式布局最大差值为7℃.对 比各测点最高温度出现时间发现,滨江小区内最高 温度出现在 13:30,比内陆小区早 30 min.

文献[8]研究结论指出,日本大田江沿岸空气 温度比远离江水区域大约低 3~5 ℃.本文分析结果 为滨江与内陆小区内部空气温度相差约1~4℃.虽 然本文研究地点与气候条件有较大不同,但分析结 果与文献[8]基本一致.

滨江与内陆居住小区风速逐时变化情况如图 6 所示.各测点风速变化曲线波动较大,无明显变化规 律.但滨江小区内风速大于内陆小区,其中,围合式 布局风速相差较小,而行列式布局风速相差较大,最 大可达到 2 m/s.



Fig.4 Air temperature difference between riverside residential area and inland residential area





Black-bulb temperature difference between riverside Fig.5 residential area and inland residential area





滨江与内陆居住小区风冷温度逐时变化情况如 图 7 所示.各测点在 9:00-9:30 风冷温度达到最低, 随后逐渐升高,且各测点间风冷温度差值也随之减 小.滨江小区行列式布局风冷温度波动最大,且在 9:30达到最低值,为-29.84 ℃,热感觉为非常寒冷.内 陆小区风冷温度波动相对平缓,热感觉一直为寒冷.



Fig.7 Wind chill temperature difference between riverside residential area and inland residential area

2.1.2 测点数据平均值分析

滨江与内陆居住小区温度、风速及风冷温度平 均值详见表4.滨江小区平均空气温度和黑球温度明 显低于内陆小区,围合式布局和行列式布局内平均 空气温度分别相差2.06 ℃和2.84 ℃,平均黑球温度 分别相差 2.38 ℃和 4.93 ℃.形成此温度差值的原因 为滨江小区北临松花江,相对开敞,而内陆小区周边 建筑密集,相对封闭,居民生活、交通运输、建筑物等 向外排放更多热量,且热量难以散失,从而导致上述 差异的产生.

滨江与内陆居住小区测点平均值 表 4

Tab. 4 Average data of measurement points in riverside and inland residential areas

inanu	restuentiar	arcas		
测点编号 及位置	空气 温度/℃	黑球 温度/℃	风速/ (m・s ⁻¹)	风冷 温度/℃
a1(滨江围 合式布局)	-13.12	-9.78	0.63	-13.12
a2(滨江行 列式布局)	-15.44	-14.17	1.60	-21.18
b1(内陆围 合式布局)	-11.06	-7.40	0.40	-11.06
b2(内陆行 列式布局)	-12.60	-9.24	0.87	-12.06

滨江小区行列式布局平均风速最大,为 1.6 m/s,比内陆小区大0.73 m/s.围合式布局平均风 速相差较小,滨江小区比内陆小区大 0.23 m/s.此种 现象是由于滨江小区北临松花江,该江段宽为 1.3 km,测试期间主导风向为东北向,导致江面形成 巨大"风道",影响覆盖于整个滨江区域.而内陆小区 周围建筑密集、道路纵横,粗糙的城市下垫层增加了 对风的阻力,使风速降低,从而也导致内陆小区内部 热量不易散失,这也是滨江与内陆小区温差形成的 另一个原因.

滨江小区的寒冷程度与内陆小区相比较高,热 舒适度较低.滨江小区行列式布局和围合式布局平 均风冷温度分别为-21.18 ℃和-13.12 ℃,比内陆小 区分别低 9.12 ℃和 2.06 ℃.

2.2 滨江居住小区建筑布局对热环境影响分析2.2.1 测点数据逐时变化分析

为分析滨江居住小区建筑布局对热环境的影响,选取 c1、c2、c3、c4 和 a2 测试数据进行分析,测 点位置如图 1(a),测点设置说明见表 5.

表 5 滨江居住小区测点设置说明

Tab.5 Information on measurement points of riverside residential area

测点	测点位置	周边环境
c1	小区临江入口处	入口宽度为 16 m
c2	围合式建筑布局内部	四周为7层住宅
c3	广场中央	四周无建筑遮挡
c4	半围合式建筑布局中央	西侧为8层点式住宅,东侧为 7层L型住宅
a2	行列式建筑布局内部	南北均为7层板式住宅,住宅 间距为35m

滨江居住小区各测点空气温度及黑球温度逐时 变化情况如图 8、9 所示.从 9:00-11:00 各点空气温 度逐渐升高,至午间时段(11:00-14:00)气温趋于 稳定,且达到最高,随后气温逐渐下降.黑球温度也 存在相同的变化规律.温度整体变化趋势与测试期 间太阳辐射强度变化趋势基本一致,测点间的温度 差值随着太阳辐射强度的提高会有所增大.

此外,小区广场处空气温度曲线变化幅度较大, 且在 14:00 之前气温明显高于其他测点,最大差值 可以达到 4.1 ℃,随后下午时段气温下降,且下降速 度明显大于其他测点,黑球温度也存在同样的变化 规律,并且更加明显.这是因为小区广场四周开敞空 旷,无建筑遮挡,所受太阳辐射影响最大,但热量容 易散失,所以当太阳辐射强度较大时,温度明显高于 其他测点,而随着太阳高度角变小,太阳辐射强度逐 渐减弱,温度也随之快速下降.

围合式布局、半围合式布局和行列式布局内空

气温度曲线波动相对平缓,且接近平行.这是由于冬季哈尔滨太阳高度角低,测点 c2、c4 和 a2 始终处于 建筑阴影当中,基本没有接受到太阳直射,主要影响 其温度的是散射辐射和地面及建筑墙体的长波辐 射,所以温度曲线波动相对平缓.

小区临江入口处在 12:00 时空气温度出现峰 值,且在峰值前后曲线斜率较大,温度发生明显变 化,黑球温度也同样存在以上现象,且更加明显.这 是因为小区临江入口处在 11:00-12:00 之间在太 阳直射下,温度骤然上升,而随后被建筑阴影遮挡, 黑球温度快速下降约4℃.可见,建筑阴影会削弱太 阳辐射对温度的提升作用.



图 8 滨江居住小区测点空气温度变化







滨江居住小区各测点风速逐时变化情况如 图 10所示.行列式布局内风速变化曲线波动最大, 且明显大于其他测点,最大差值可达 2.6 m/s.广场 处次之,而小区临江入口处、围合式布局及半围合式 布局内风速相对平稳,且较为接近.小区临江入口处 在 13:00-14:00 时风速较大出现峰值,并且此时温 度也略微下降如图 8、9 所示.这说明当太阳辐射强 度较弱时,风速对温度的影响较大.

滨江居住小区各测点风冷温度逐时变化情况如 图 11 所示.行列式布局内风冷温度日间波动最大, 且寒冷程度明显高于其他测点,9:00-10:00 热感觉 一直为非常寒冷.广场和临江入口处寒冷程度次之, 而围合式布局和半围合式布局内风冷温度最高,且 波动相对平稳,热感觉始终为寒冷.



图 10 滨江居住小区测点风速变化

Fig.10 Wind speed of measurement points in riverside residential area



图 11 滨江居住小区测点风冷温度变化



2.2.2 测点数据平均值分析

滨江居住小区各测点温度、风速及风冷温度平 均值见表6.平均空气温度和平均黑球温度最高的是 广场处,分别为-12.22 ℃和-8.24 ℃.这是由于 c3 点在太阳光直射下,而且太阳辐射是冬季室外环境 得热最主要的来源,所以广场处平均温度最高.围合 式布局内平均空气温度,为-13.32 ℃,比半围合式 布局和小区临江入口处分别高 0.70 ℃和 0.74 ℃.行 列式布局内平均空气温度最低,为-15.44 ℃.平均黑 球温度差异趋势与空气温度基本相同,且测点间差 值更大. 由此可见,冬季太阳辐射对居住小区内温度提 升作用效果最大;其次,建筑布局围合程度越高,墙 体面积越大,释放的长波辐射热量相对较多,且热量 不易散失,可提高环境温度.

平均风速最大的是行列式布局内 a2 点,为 1.60 m/s,明显大于其他测点,这是因为测试期间主 导风向为东北向,该测点处出现了狭管效应.其次为 广场中央,为1.08 m/s,由于广场四周相对空旷,无 建筑遮挡,所以此处风速较大.围合式建筑布局与半 围合式建筑布局内部由于受到建筑遮挡,所以平均 风速较小,分别为0.34 m/s和0.41 m/s.李维臻^[19]、 麻连东^[20]均运用数值模拟的方法对寒地住区冬季 风环境进行分析,研究指出冬季行列式布局风环境 最差,围合式布局风环境相对舒适,两者日平均风速 相差约1.5 m/s.与本文研究结果基本一致,存在差 值是由数值模拟边界条件设置造成.

行列式布局内平均风冷温度最低,为 -21.18℃,寒冷程度最高.广场和临江入口处平均 风冷温度次之,分别为-15.98℃和-14.06℃.围合 式布局和半围合式布局内平均风冷温度最高,分别 为-13.32℃和-14.02℃,热舒适度相对较高.

表 6 滨江居住小区测点平均值

Tab.6 Average residentia	data of al area	measurement	points in	riverside
测点编号	空气	黑球	风速/	风冷
及位置	温度/℃	温度/℃	$(\mathbf{m} \cdot \mathbf{s}^{-1})$	温度/℃
c1(临江入口)	-14.06	-11.28	0.63	-14.06
c2(围合式布局)	-13.32	-10.59	0.34	-13.32
c3(广场中央)	-12.22	-8.24	1.08	-15.98
c4(半围合式布局) -14.02	-12.76	0.41	-14.02
a2(行列式布局)	-15.44	-14.17	1.60	-21.18

从上述研究可知,冬季滨江小区行列式布局内 部寒冷程度较高,热舒适性较差.但是近年来新建滨 江居住小区为获取更好的景观视野及室内采光、通 风,多采用行列式布局.所以为进一步分析冬季滨江 小区行列式布局内部热环境,选取测点 c6、c7 和 a2 进行对比分析,测点位置如图 1(a)所示,测点设置 说明见表 7.

滨江居住小区行列式布局内各测点温度、风速 及风冷温度平均值见表 8.c6 点平均空气温度和黑 球温度略高于 c7,均明显高于 a2,分别相差 1.73 ℃ 和 2.24 ℃.c7 点平均风速明显偏大,分别大于 c6, 1.03 m/s和 a2,0.61 m/s.c6 点平均风冷温度最高, 分别高于 c7,2.39 ℃和 a2,3.18 ℃.这说明增大行列 式布局建筑间距能够有效削弱布局内部狭管效应, 提升布局内部温度,从而降低布局内部寒冷程度,提 高热舒适度.但临江侧开口设计对布局内部风环境 及寒冷程度影响很大.

表 7 行列式布局测点设置说明

Tab.7 Information on measurement points of row layout pattern

测点	测点位置	周边环境
a2	行列式建筑布局内部	南北均为7层板式住宅,住宅间 距为35m
c6	行列式建筑布局内部	北侧为 18 层板式住宅, 南侧 7 层板式住宅, 住宅间距为 90 m
c7	行列式建筑布局内部	南北均为 33 层板式住宅,住宅 间距为 65 m

表 8 行列式布局测点平均值

Tab.8 Average data of measurement points of row layout pattern

测点编号	空气 温度/℃	黑球 温度/℃	风速/ (m・s ⁻¹)	风冷 温度/℃
a2	-15.44	-14.17	1.60	-21.18
сб	-13.71	-11.93	1.18	-18.00
с7	-13.72	-12.44	2.21	-20.39

3 结 论

1)通过分析滨江与内陆居住小区热环境差异,可 得到:滨江居住小区温度明显低于内陆居住小区,围 合式布局和行列式布局内平均空气温度分别相差 2.06 ℃和2.84 ℃,平均黑球温度分别相差 2.38 ℃和 4.93 ℃.且滨江小区最高温度出现时间比内陆小区早 30 min.滨江小区围合式布局和行列式布局内平均风 速比内陆小区分别大0.23 m/s和0.73 m/s;滨江居住 小区冬季寒冷程度与内陆小区相比较高,热舒适性较 差.滨江小区围合式布局和行列式布局内平均风冷温 度比内陆小区分别低 2.06 ℃和9.12 ℃.

2)通过分析滨江居住小区不同建筑布局内热 环境,可得到:滨江居住小区日间温度波动主要受太 阳辐射的影响,接受太阳直接辐射区域温度波动较 大,阴影区域温度波动较小,黑球温度相差 2~3 ℃, 空气温度相差 0.5 ℃.并且建筑阴影会削弱太阳辐 射对温度的提升作用,使黑球温度下降约 4 ℃.因 此,在建筑空间布局中,建议减少居民活动区域的阴 影面积;广场处平均空气温度分别比围合式布局、半 围合式布局、临江入口、行列式布局高 1.10、1.80、 1.84、3.22 ℃.广场处平均黑球温度分别比围合式布 局、临江入口、半围合式布局、行列式布局高 2.35、 3.04、4.52、5.93 ℃.因此,冬季太阳辐射对小区内温 度提升作用最为显著,其次建筑布局围合程度越高, 布局内部温度越高;滨江小区行列式布局日间风速 波动最大,广场处次之,而临江入口处、围合式布局 及半围合式布局内风速相对平稳.行列式布局内部 平均风速分别比广场、临江入口处、半围合式布局内部 围合式布局大 0.52、0.97、1.19、1.26 m/s;滨江小区 行列式布局风冷温度日间波动最大,且寒冷程度明 显高于其他建筑布局.广场和临江入口处寒冷程度 次之,而围合式布局和半围合式布局内风冷温度最 高,热舒适度相对较高.并且对于滨江小区行列式布 局,增大建筑间距能够有效降低布局内部寒冷程度, 提高热舒适度.但临江侧开口设计对布局内部风环 境及寒冷程度影响很大.

参考文献

[1] 曲少杰. 城市滨水区域空间的开发与更新机制研究[J]. 工业建 筑, 2004, 34(5): 30-33, 49. DOI: 10.3321/j.issn:1000-8993. 2004.05.010.

QU Shaojie. Research on mechanism of spatial development and renewal of urban water front [J]. Industrial Construction, 2004, 34(5); 30-33, 49. DOI: 10.3321/j. issn: 1000-8993.2004. 05.010.

- [2] 岳隽,王仰麟,彭建. 城市河流的景观生态学研究:概念框架[J]. 生态学报, 2005, 25(6): 1422-1429. DOI: 10.3321/j.issn: 1000-0933.2005.06.029.
 YUE Jun, WANG Yanglin, PENG Jian. A conceptual framework for the study of urban river based on landscape ecology [J]. ACTA Ecologica Sinica, 2005, 25(6): 1422-1429. DOI: 10.3321/j.issn:1000-0933.2005.06.029.
- [3] HATHWAY E A, SHARPLES S. The interaction of rivers and urban form in mitigating the Urban Heat Island effect: a UK case study
 [J]. Building and Environment, 2012, 58: 14-22. DOI: 10.1016/ j.buildenv.2012.06.013.
- [4] SUN Ranhao, CHEN Ailian, CHEN Liding, et al. Cooling effects of wetlands in an urban region: the case of Beijing [J]. Ecological Indicators, 2012, 20: 57 - 64. DOI: 10.1016/j. ecolind. 2012. 02.006.
- [5] LOPES A, LOPES S, MATZARAKIS A, et al. The influence of the summer sea breeze on thermal comfort in Funchal (Madeira). A contribution to tourism and urban planning [J]. Meteorologische Zeitschrift, 2011, 20(5): 553-564. DOI 10.1127/0941-2948/ 2011/0248.
- [6] LAI Dayi, GUO Deheng, HOU Yuefei, et al. Studies of outdoor thermal comfort in northern China [J]. Building and Environment, 2014, 77: 110-118. DOI: /10.1016/j.buildenv.2014.03.026.
- [7] ABDEL-GHANY A M, AL-HELAL I M, SHADY M R. Human thermal comfort and heat stress in an outdoor urban arid environment: a case study [J]. Advances in Meteorology, 2013, 65(3): 1675-1688. DOI: 10.1155/2013/693541.
- [8] MURAKAWA S, SEKINE T, NARITA K, et al. Study of the effects of a river on the thermal environment in an urban area [J]. Energy and Buildings, 1991, 16(3/4): 993-1001.DOI: 10.1016/0378-7788(91)90094-J.
- [9] ISHII A, IWAMOTO S, KATAYAMA T, et al. A comparison of

field surveys on the thermal environment in urban areas surroundings a large pond: when filled and when drained [J]. Energy and Buildings, 1991, 16(3/4): 965–971. DOI: 10.1016/0378–7788 (91)90091–G.

[10]成田健一.都市内河川の微気象的影響範囲に及ぼす周辺建物 配列の影響に関する風洞実験[J].日本建築学会計画系論文 報告集,1992(442):27-35.

NARITA K I. Effects of river on urban thermal environment dependent on the types of on-shore building distribution [J]. Journal of Architecture Planning & Environmental Engineering, 1992(442): 27–35.

[11] 宋晓程,刘京,余磊. 北方地区滨水住宅区设计对夏季热湿环境 的影响分析[J]. 建筑科学, 2015, 31(6): 14-19. DOI: 10. 13614/j.cnki.11-1962/tu.2015.06.003.

SONG Xiaocheng, LIU Jing, YU Lei. Impact analysis of riverfront residential building design in northern region on the thermal and humid environment in summer [J]. Building Science, 2015, 31(6): 14–19. DOI: 10.13614/j.cnki.11–1962/tu.2015.06.003.

[12]宋晓程,刘京,叶祖达,等. 城市水体对局地热湿气候影响的 CFD初步模拟研究[J]. 建筑科学, 2011, 27(8): 90-94. DOI: 10.3969/j.issn.1002-8528.2011.08.020.
SONG Xiaocheng, LIU Jing, YE Zuda, et al. Preliminary CFD study on the effects of urban water body on urban thermal and

study on the effects of urban water body on urban thermal and moisture climate [J]. Building Science, 2011, 27(8): 90-94. DOI:10.3969/j.issn.1002-8528.2011.08.020.

- [13] XU Jingcheng, WEI Qiaoling, HUANG Xiangfeng, et al. Evaluation of human thermal comfort near urban waterbody during summer [J]. Building and Environment, 2010, 45(4): 1072-1080. DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.10.025.
- [14] 冯胜辉,龚道溢,张自银,等. 近 50 年来中国冬季风冷温度的变化[J]. 地理学报, 2009, 64(9): 1071-1082. DOI: 10.3321/j.issn:0375-5444.2009.09.005.

FENG Shenghui, GONG Daoyi, ZHANG Ziyin, et al. Wind-chill

temperature changes in winter over China during the last 50 years [J]. Acta Geographica Sinica, 2009, 64(9): 1071-1082. DOI: 10.3321/j.issn:0375-5444.2009.09.005.

[15]刘京,朱岳梅,郭亮,等. 城市河流对城市热气候影响的研究进展[J]. 水利水电科技进展, 2010, 30(6): 90-94. DOI: 10. 3880/j.issn.1006-7647.2010.06.021.

LIU Jing, ZHU Yuemei, GUO Liang, et al. Research advances in effect of urban rivers on urban thermal climate [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2010, 30(6): 90-94. DOI: 10.3880/j.issn.1006-7647.2010.06.021.

- [16] International Organization for Standardization. Ergonomics of the thermal environment-Determination and interpretation of cold stress when using required clothing insulation (IREQ) and local cooling effects: ISO 11079 - 2007 [S]. Switzerland: International Organization Standardization, 2007.
- [17] OSCZEVSKI R, BLUESTEIN M. The new wind chill equivalent temperature chart [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2005, 86(10): 1453-1458. DOI: 10.1175/BAMS-86-10-1453.
- [18] SHITZER A, De DEAR R. Inconsistencies in the "new" windchill chart at low wind speeds [J]. Journal of Applied Meteorology & Climatology, 2006, 45(5): 787-790. DOI:10.1175/JAM2373.1.
- [19]李维臻. 寒冷地区城市居住区冬季室外热环境研究 [D]. 西安: 西安建筑科技大学, 2015.
 LI Weizhen. Research on winter outdoor thermal environment for the urban residential districts in cold zones [D]. Xi'an: Xi'an University of Architecture and Technology, 2015.
- [20] 麻连东. 基于微气候调节的哈尔滨多层住区建筑布局优化研究
 [D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2015.
 MA Liandong. Architectural layout optimization research of Harbin multi residential district based on the micromate regulation [D]. Harbin; Harbin Institute of Technology, 2015.

(编辑 张 红)