

林奕桐,汤耀国,叶骏菲,等. 基于生态环境决策的城区规划设计研究——以南宁市五象新区为例[J]. 气象研究与应用,2022,43(3):38-44.

Lin Yitong, Tang Yaoguo, Ye Junfei, et al. Research on urban planning and design based on ecological environment decision——A case study of Wuxiang New Area in Nanning[J]. Journal of Meteorological Research and Application, 2022, 43(3): 38-44.

基于生态环境决策的城区规划设计研究

——以南宁市五象新区为例

林奕桐¹, 汤耀国¹, 叶骏菲², 玉建成³

(1.南宁市气象局, 南宁 530022; 2.邕宁区气象局, 南宁 530200; 3.广西海佩智能科技有限公司, 南宁 530200)

摘要: 利用 Landsat8 数据, 分析了南宁市五象新区的植被覆盖情况及热场分布情况, 通过计算流体动力学 (Computational Fluid Dynamics, CFD) 模型分析了五象新区风场分布情况。在此基础上, 开展了基于生态环境决策的城区规划设计实验。结果表明, 通过修改建筑布局, 可使五象新区过风面积提升 2.5%, 同时修改建筑布局及城市下垫面, 过风面积可提升 9.7%。与原设计相比, 基于生态环境决策的五象新区规划设计可以极大提高城市内部的通风效果, 显著提升了居民的体感舒适度。

关键词: 生态环境决策; 宜居; 城市通风; 规划设计

中图分类号: P49

文献标识码: A

doi: 10.19849/j.cnki.CN45-1356/P.2022.3.07

引言

随着国内经济发展和生活水平提升, 人民对优美生态环境的需求也在不断增长。可持续的绿色生态城区已成为城市化建设的必然趋势^[1]。为此, 国家出台了《绿色生态城区评价标准》(GB/T 51255-2017), 对土地利用、生态环境、绿色建筑、资源与碳排放等一系列问题提出了具体的要求, 同时鼓励技术创新, 鼓励有关学者开展更深入的学术研究。

何萍^[2]等对北京市朝阳区生态城区规划的原则与方法进行了探究, 提出了城区生态规划应与区域整体规划目标相协调并将规划措施落实于社会基层单元。王重^[3]等研究了城市 CBD(中央商务区)绿色城区规划指标, 梳理了风环境、热岛强度、用地性质等 17 个指标, 并构建了科学合理的绿色城区评价模型。针对风热环境, 徐瑶璐^[4]等开展了基于热岛效应的福州市主城区通风格局规划策略研究, 将研究区城市热岛强度, 风速等气象参数相结合进行分析, 提

出了福州市主城区通风格局策略。

以上研究主要针对城区整体构建风场及热场的评价模型, 从宏观上分析了城市风场及热场的分布格局, 并提出了规划策略及决策建议。在实际城区规划设计中, 除了需要宏观的总体规划外, 还需要更具体的建筑设计规划。如何通过调整微观建筑布局及下垫面规划, 从而有效地缓解城市热岛, 提高城区的通风面积, 目前还很少有学者研究。本文将以南宁市五象新区为例, 从建筑布局及下垫面调整等微观角度探索改善城区风热环境切实可行的方法。

1 数据与方法

1.1 研究区域与数据来源

研究区域为广西南宁市五象新区, 位于邕江以南、八尺江以西、五象岭以东, 面积约 17500hm²^[5]。五象新区属南亚热带季风气候, 夏长高温多雨, 冬短温暖干燥, 无霜期长^[6]。

研究数据包括 4 景 landsat8 影像, 时间分别为:

收稿日期: 2022-06-09

基金项目: 南宁市兴宁区科学研究与技术开发项目“基于环境数据的绿色建筑性能化设计平台的研发与应用示范”(2021A05)、

广西气象局气象科研计划项目“屋顶绿化建设对南宁城市热岛效应的影响研究”(桂气科 2019M12)

作者简介: 林奕桐(1990—), 男, 工程师, 主要从事遥感技术研究与应用。E-mail: drift_lin@163.com

2019 年 10 月 2 日,2019 年 12 月 5 日,2020 年 4 月 27 日和 2020 年 7 月 16 日。所选的影像,均为大范围晴朗、无风或微风天气。

1.2 研究方法和原理

1.2.1 地表温度反演

Landsat8 卫星的热红外传感器 (Thermal Infrared Sensor, TIRS)具有 2 个热红外波段,但由于 TIRS 11 波段的定标参数尚不稳定^[7],因此研究选用 TIRS 10 波段来进行 Landsat8 地表温度反演。计算方法采用单窗算法^[8]:

$$T_s=\gamma[\varepsilon^{-1}(\alpha_1L+\alpha_2)+\alpha_3]+\delta \tag{1}$$

式中, L 为传感器辐射亮度 (单位: $W/(m^2\cdot sr\cdot \mu m)$), α_1 、 α_2 、 α_3 是通过大气水汽含量计算得到的大气参数, γ 和 δ 为 Planck 函数的 2 个参数, ε 为比辐射率。

1.2.2 植被覆盖度计算

对 Landsat8 卫星的近红外通道及红光通道进行归一化植被指数(Normalized Difference Vegetation Index,NDVI)计算(式 2),并采用像元二分法估算植被覆盖度(f)^[9-10]:

$$NDVI=\frac{R_{NIR}-R_{RED}}{R_{NIR}+R_{RED}} \tag{2}$$

$$f=\frac{NDVI-NDVI_s}{NDVI_g-NDVI_s} \tag{3}$$

式中, R_{NIR} 和 R_{RED} 分别为 Landsat8 数据的近红外通道及红光通道的反射率, $NDVI_s$ 为裸露土壤或无植被建筑表面的 NDVI 值, $NDVI_g$ 为完全植被覆盖像元的 NDVI 值。

计算出平均植被覆盖度后,根据参考文献[1]对南宁植被覆盖度的等级划分阈值对平均植被覆盖度进行如表 1 所示的等级划分,得出植被常年覆盖较高的区域。

表 1 植被覆盖等级划分

植被覆盖等级	对应植被覆盖度阈值
高植被覆盖区	(0.95, 1]
较高植被覆盖区	(0.85, 0.95]
中植被覆盖区	(0.75, 0.85]
较低植被覆盖区	(0.65, 0.75]
低植被覆盖区	(0.55, 0.65]

在高植被覆盖区域选取多个参照点,并记下其经纬度,计算热岛强度时,均以这些点的平均温度作为城乡温差的参照温度。

1.2.3 热岛强度计算

热岛强度可有效地反映出城市热岛面积及强弱。热岛强度定义为城乡温差,其计算方法为^[11]:

$$I_i=T_i-\frac{1}{5}\sum_{n=i}^5T_n \tag{4}$$

式中, I_i 为图像上第 i 个像元所对应的热岛强度(单位:K), T_i 为该点对应的地表温度 (单位:K), T_n 为 5 个城乡温度参照点温度平均值(单位:K)。根据参考文献的分类方法^[11-12],把热岛强度分为 4 个等级(表 2)。

表 2 热岛强度等级划分

热场强度等级	对应热场强度阈值
强热岛	(5.0, 15.0]
较强热岛	(3.0, 5.0]
较弱热岛	(2.0, 3.0]
弱热岛	(1.0, 2.0]
无热岛	(0, 1.0]

1.2.4 环境场数值模型

研究采用计算流体动力学(Computational Fluid Dynamics,CFD)模型作为环境场数值模型。CFD 在风能领域主要指复杂地形的风能资源评估、风能预报、风机最优布局、风机载荷的研究^[13],同时还能研究城市微尺度环境场。在各种 CFD 模式中,流体仿真模式(Fluent)集成了多种成熟先进的计算方案,可应对各种流体力学问题的求解,并且拥有很高的求解精度和收敛速度。

Fluent 使用的控制方程是由 Navier-Stokes 方程演变而来。在模拟小尺度的流场时,Fluent 假设空气运动是三维的不可压缩稳定流动,忽略地转偏向力(科氏力)的影响。

Navier-Stokes 方程可以表示为^[14]:

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \overline{u_i})=0 \tag{5}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho \overline{u_i u_j})}{\partial x_j} = & -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} [\mu (\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \delta_{ij} \frac{\partial \overline{u_l}}{\partial x_l})] \\ & + \frac{\partial(-\rho \overline{u_i' u_j'})}{\partial x_j} + \overline{\rho g} \end{aligned} \tag{6}$$

方程(5)和(6)就是雷诺平均 Navier-Stokes 方程(RANS),其中 ρ 为空气密度, δ_{ij} 为克罗内克(Kronecker)张量, g 为重力加速度。

Fluent 集成了多种湍流雷诺应力参数化方案,包括 $k-\varepsilon$ 方案, $k-\omega$ 方案,雷诺应力输送模型以及大

涡模型(LES)^[15]。其中 $k-\varepsilon$ 方案对计算精度和计算资源进行合适的匹配,确保可靠的结果和稳定,是最为成熟的做法,因此,研究主要采用 $k-\varepsilon$ 方案。

2 结果与讨论

2.1 区位环境分析

2.1.1 五象新区的植被覆盖情况

对 4 景 landsat8 数据进行植被覆盖度计算,并作平均处理。可以得出,建成区内平均植被覆盖度为 0.34,五象新区平均植被覆盖度约为 0.50,比南宁市平均水平高 47%,这主要得益于五象岭森林公园、那安快速路以西以及那马生态规划区。由表 3 可见,那马生态规划区平均植被覆盖度更是高达 0.69,在南宁范围内仅次于“南宁绿肺”青秀山风景名胜(0.73)。五象新区所在位置四面均为高植被覆盖区,北面的青秀山、东面的那安快速路以西、南面的那马生态规划区、西面的五象岭森林公园,平均植被覆盖度均在 0.6 以上。

表 3 南宁市各景区红线范围内平均植被覆盖度

序号	景区名称	平均植被覆盖度
1	青秀山风景区	0.73
2	广西药用植物园	0.58
3	良凤江国家森林公园	0.67
4	五象岭森林公园	0.62
5	狮山公园	0.60
6	人民公园	0.50
7	那马生态规划区	0.69
平均值		0.63

2.1.2 五象新区的热场分布情况

对 4 景 landsat8 数据进行地表温度反演及热岛强度计算,将 4 次计算结果求平均,可得出南宁市热场分布如表 4 所示。

从表 4 中可以明显看出,邕江将南宁市的高温中心分为南北两个部分,北部的热岛中心主要集中在西乡塘区及兴宁区,南部的热岛中心主要集中在江南区。青秀山公园、人民公园、狮山公园、药用植物园、五象岭森林公园和良凤江森林公园因为植被覆盖度较高,相对附近地区温度较低。其中青秀山公园、五象岭森林公园、良凤江森林公园、那安快速路以西高植被覆盖区、那马生态规划区除了本身温度较低外,还对附近区域产生了很好的降温效果。

表 4 南宁市各行政区平均地表温度

序号	行政区	平均地表温度/℃
1	青秀区	27.9
2	邕宁区	27.1
3	良庆区	27.7
4	江南区	28.5
5	西乡塘区	28.8
6	兴宁区	29.0
7	五象新区	27.3
平均值		28.0

五象新区平均地表温度为 27.3℃,远低于南宁市平均地表温度 28.3℃,排名全市第二,仅次于邕宁区 27.1℃。

五象新区平均地表温度较低,主要是因为行政范围内五象岭森林公园、那安快速路以西高植被覆盖区以及那马生态规划区的平均地表温度较低,五象新区的其他区域热场已经较为明显。尤其是近几年发展迅猛的五象重点规划建设区,平均地表温度已达到 28.6℃,其中高温区及次高温区约占重点规划建设区面积的 39%,如果不进行合理规划,很可能会发展成为下一个热岛中心。

2.1.3 五象新区的风场分布情况

对五象新区的高层建筑进行建模(图 1a),再通过 CFD 模型模拟了五象新区的 1.5m 高度风环境现状。CFD 模型初始风向为南宁市夏季典型的东南风向,初始风速为 $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$,结果如图 1b 所示,为了进一步研究五象风环境形成机制,同时模拟了 1.5m 高度的气压场与气温场(图 1c、d),其中气温场结合了卫星遥感模拟的地表温度分析结果,综合考虑了热流量方程中引起气温局地变化的温度平流项与非绝热加热项。

由图 1b、c 可以看出,除了流线形状较好的广西体育中心,其余的建筑设计都会对风的下游区域造成影响,建筑形状、大小、朝向、排布的差异,对风环境的影响均不相同。风在受到建筑阻挡时,会发生绕流,而建筑对风的阻挡作用,会在建筑迎风面形成高压区、背风面形成低压区,风会在气压梯度力的作用下发生偏转,从而改变风的方向;若建筑的排布呈“上风方开阔、下风方狭窄”时,会产生“狭管效应”,风速增大,而城市“峡谷风”是各大城市面临的新问题,有关国际组织已将其列入大都市面临的 20 种新的城市灾害中。

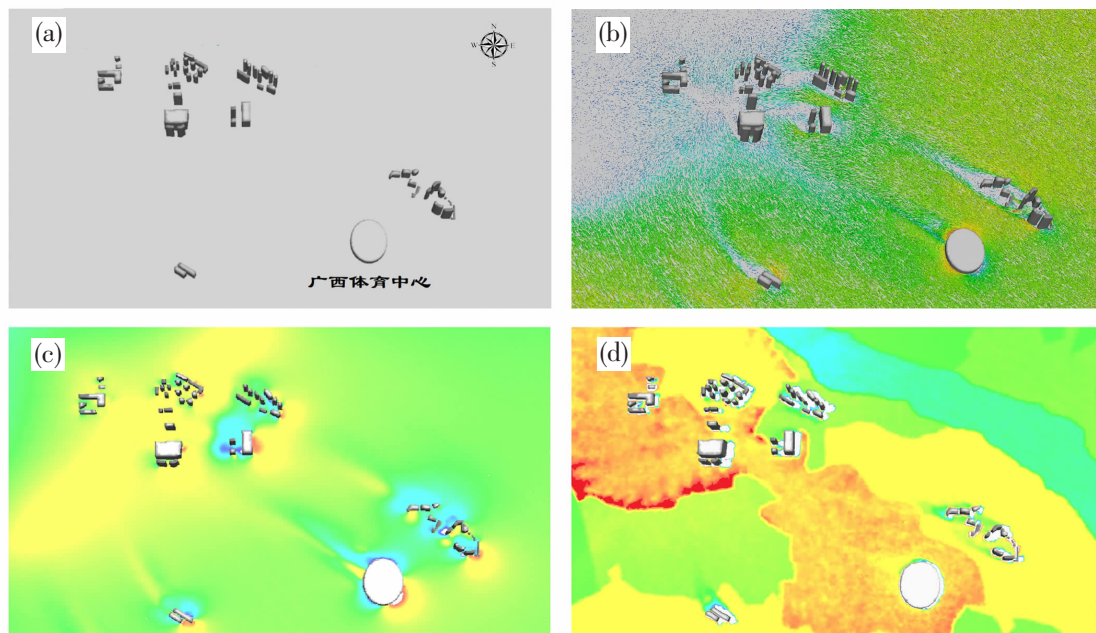


图1 五象新区建模(a)及风场(b)、气压场(c)、温度场(d)的现状分析

由图1d可以看出,五象新区西北侧建筑群附近的下垫面为深色城市用地,该地物类型比热较低,在受到太阳直射时,升温较快,且所能达到的温度较高,由于受到下垫面的影响,该区域的气温较高。星云钱隆首府以南形成了一道显著的高温带,该区域的空气抬升作用明显,夏季南宁市盛行的东南风经过该区域,会受到上升气流的影响逐渐抬升,水平方向风速减弱,由图1c也可以看出,该区域形成了一道明显的“气压墙”,阻碍了气流继续向西北推进。因此,星云钱隆首府的西北侧出现了明显的“弱风区”及“静风区”(图1b)。根据国家绿建标准(GB/T 50378-2019),该区域的风环境并不宜居。其他区域由于建筑较少,通风环境暂时较好。

2.2 基于生态环境决策的城区规划设计实验

随着五象新区的开发,高层建筑的增多,若不经科学的设计,风环境问题将会越发突出,对此开展了一个实验。

图2a是城市规划师、建筑设计师在未经环境分析前做的规划设计,A、B、C三个建筑分别是较典型的建筑排列方式:错列式、行列式和半周边式排列。

由图2a可以明显地看到A、B、C三个建筑群对风场的遮挡作用非常明显,导致其背风面形成大片静风区,且对现有建筑造成了影响。对于A建筑群,东南气流可以通过前排建筑之间的间隙进入建筑群中心,而后排建筑恰好阻挡在前排建筑的通风廊道上,经过两次建筑阻挡后,风力急剧减弱,再加上星

云钱隆首府以南高温“空气墙”影响,在A建筑的下风方直接形成了静风区。且A建筑群西面风速及通风较小,可以修改建筑布局从而引导风场进入A建筑北面静风区。对于B建筑群,最南面的两栋建筑将东南气流分为两支,第一支继续北抬,却被东北面建筑阻挡,很难穿过建筑群,进入下风方;第二支转为偏东风,往A建筑群流动,该气流减弱了进入A建筑的东南风。对于C建筑,优点在于半周边式的外形引导了空气沿边缘流动,将东南气流转变为偏东风,使得北侧气流可以进入到盛科城与和好家园之间,由于盛科城下风方存在低压区,风速加大,继续向内延申,较好地引导了风场。但对于半周边式建筑,气流比较容易从圆心流向边缘,却很难从边缘流入圆心。C建筑群的朝向使得东南风很难穿过建筑,进入到C的下风方。B、C建筑整体朝向呈“喇叭口”型,导致两组建筑群中间出现狭管效应, $5\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 的初始风场在该区域被明显放大,形成 $8\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 劲风,当有台风天气时,该区域风速会对行人造成较大影响。

由此可见,对于方案一,可以提出以下修改建议:(1)A建筑群采用错列式排布既不利于风场流入,也无法将风场从建筑群中间引流,可以考虑修改排列方式,且A建筑西面风速及通风面积较小,可尝试将建筑布局改为半周边式,引导风场进入A建筑北面静风区。(2)B建筑群东北面建筑既阻挡了北抬气流,也容易与C建筑群构成狭管效应,应修改

该建筑的位置,建议可以统一 B、C 建筑群朝向,引导东南风从 B 建筑群背风方吹入静风区。(3)保持 C 建筑群东北侧建筑布局,继续引导风场从 C 建筑群背风方进入盛科城与和好家园之间区域,修改 C 建筑群东南侧建筑布局使得风场容易进入建筑群,或调整 C 建筑群北面建筑布局,使其与和好家园形成“喇叭口”形状,整体增强 C 建筑群北面风场。

根据以上修改意见,设计师对 A、B、C 建筑群进行了修改,结果如图 2b 所示。将 A 建筑群改为半周边式,顺沿夏季主导风向,更好的将风引导至下风区,同时,减少风与建筑的碰撞面积,降低了建筑周围局部的气压差,减少无风区和急流区的区域面积。拓宽了 B 与 C 之间的间隙,同时 C 建筑群顺着夏季主导风向将气流引导至敞口区,便于气流切入盛科

城前方的静风区,提高整个 CBD 区域的通风效果。

另一方面,由于不同的城市下垫面的吸热散热能力不一致,可以通过修改城市下垫面来影响城市风场的分布。将五象西北部及中部建筑群的下垫面,由柏油马路调整为绿化程度较高的城市道路,提高了整个区域的吸热能力。使用新的下垫面数据进行模拟,得到的西北及中部建筑群的地面温度场要低于原始下垫面的模拟结果,说明绿化程度较高的区域,可降低地面热辐射对空气的加热效果(图 2e、d)。

此时,低层空气温度降低会使得减少空气的加热膨胀,垂直上升速度减小,水平风速分量增大。利用风热叠加效应,通过对城市下垫面热属性的进行调整以后,使得水平风可以深入五象新区下风区(图 2c)。

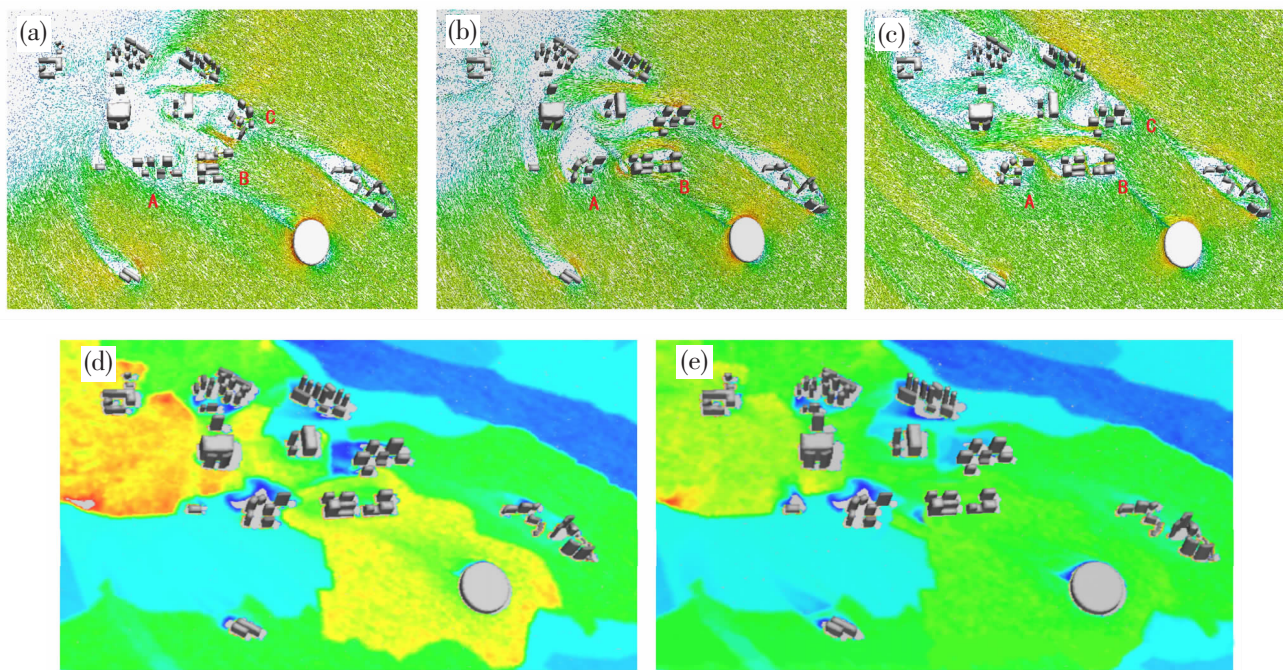


图 2 未经生态环境决策指导的规划设计(a)、仅调整建筑布局的规划设计(b)、基于生态环境决策的规划设计(c)方案比较;下垫面调整前(d)、后(e)的气温场对比

统计三个方案的过风面积占比,结果如表 5 所示。

表 5 三个方案的过风面积占比(单位:%)

方案一	方案二	方案三
87.4	89.9	97.1

由表 5 可以看出,通过修改建筑布局,可使五象新区过风面积提升 2.5%,同时修改建筑布局及城市

下垫面,过风面积可提升 9.7%。与原设计相比,基于生态环境决策的五象新区规划设计可以极大提高城市内部的通风效果,显著提升了居民的体感舒适度。

3 讨论

本文通过开展基于生态环境决策的城区规划设计实验,证明了城市建筑布局及下垫面类型的优化可以有效地提高城市内部的通风效果,同时缓解城市热岛效应。该方法可在城区规划设计中推广应用,

以提升城区生态环境及居民体感舒适性。本文采用的分析方法为 CFD 模式, 该模式有较高的计算精度及稳定性, 但其分析效率与城市三维模型的精度呈反比, 如何在满足模型分析精度的前提下, 提高 CFD 模式的分析效率, 仍有待探究。在未来工作中, 需要进一步开展 CFD 模式的参数优化研究, 进一步完善模型构建及网格划分方法。

4 结论

(1) 五象新区植被覆盖度总体较高, 五象岭森林公园、那马生态规划区、那安快速路以西高植被覆盖区能有效改善五象新区生态环境。

(2) 五象新区平均地表温度较低, 但主要是因为五象岭森林公园、那安快速路以西高植被覆盖区以及那马生态规划区的平均地表温度较低。五象新区的其他区域热场已经较为明显, 尤其是五象重点规划建设区, 平均地表温度已达到 28.6℃, 其中高温区及次高温区约占重点规划建设区面积的 39%。

(3) 受到下垫面的影响, 五象新区星云钱隆首府以南形成了一道显著的高温带, 形成了一道明显的“气压墙”, 使得夏季盛行的东南气流无法进入, 出现了明显的“弱风区”及“静风区”。

(4) 通过修改建筑布局, 可使五象新区过风面积提升 2.5%, 同时修改建筑布局及城市下垫面, 过风面积可提升 9.7%。与原设计相比, 基于生态环境决策的五象新区规划设计可以极大提高城市内部的通风效果, 而提升了居民的体感舒适度。

参考文献:

- [1] 马素贞, 孙大明. 绿色生态城区规划建设模式和项目实践[J]. 建设科技, 2013(16): 42-45.
- [2] 何萍, 高吉喜, 潘英姿, 等. 生态城区规划的原则与方

法——以北京市朝阳区为例[J]. 环境科学与管理, 2007(1): 1-4.

- [3] 王重, 蔡明, 杨海松, 等. 城市 CBD 绿色城区规划指标量化模型研究[J]. 建设科技, 2017(20): 84-85.
- [4] 徐瑶璐. 基于热岛效应的福州市主城区通风格局规划策略研究[D]. 福州: 福建农林大学, 2016.
- [5] 吴云刚. 城市新区概念性总体规划研究探析——以南宁五象新区为例[J]. 广西师范学院学报(自然科学版), 2007, 24(3): 84-89.
- [6] 董欣烨. 南宁平乐大道与玉洞大道互通式立交工程方案研究[D]. 西安: 长安大学, 2015.
- [7] 林中立, 徐涵秋. 基于 LCZ 的城市热岛强度研究[J]. 地球信息科学学报, 2017, 19(5): 713-722.
- [8] Jimenez -Munoz J C, Cristobal J, Sobrino J A, et al. Revision of the single -Channel Algorithm for Land Surface Temperature Retrieval from Landsat Thermal-Infrared Data [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2009, 47(1): 339-349.
- [9] 覃弼勇, 黄肖寒, 陈燕丽, 等. 近 20 年河池市植被覆盖度时空演变特征[J]. 气象研究与应用, 2021, 42(2): 41-45.
- [10] 孙明, 钟仕全, 谢敏, 等. 天宫二号对地观测数据在生态评价中的应用研究[J]. 气象研究与应用, 2018, 39(4): 38-41, 107.
- [11] 林奕桐, 叶骏菲, 林开平, 等. 南宁市热岛效应的遥感研究[J]. 灾害学, 2014, 29(4): 192-197.
- [12] 叶骏菲, 文秀, 林奕桐, 等. 基于遥感的南宁城市热岛效应时空演变分析[J]. 气象研究与应用, 2018, 39(1): 55-58.
- [13] 陈刚, 李克非, 杨洪斌, 等. 基于 CFD 模型风能资源模拟应用进展[J]. 气象与环境学报, 2016, 32(5): 160-164.
- [14] 段中喆. ANSYS FLUENT 流体分析与工程实例[M]. 北京: 电子工业出版社, 2015.
- [15] 李军, 胡非, 程雪玲, 等. CFD 在复杂地形风能开发中的应用研究[J]. 太阳能学报, 2013, 34(7): 1250-1256.

Research on urban planning and design based on ecological environment decision

——A case study of Wuxiang New Area in Nanning

Lin Yitong¹, Tang Yaoguo¹, Ye Junfei², Yu Jiancheng³

(1. Nanning Weather Bureau, Nanning, 530022; 2. Yongning Weather Bureau, Nanning, 530200;

3. Guangxi Hyperion AI Tech Co., Ltd. Nanning, 530200)

Abstract: Based on Landsat8 data and the Computational Fluid Dynamics (CFD) model, the vegetation coverage and thermal field distribution, and the wind field distribution in Wuxiang New District of Nanning City were analyzed respectively. On this basis, this research carries out an experiment on urban planning and design based on ecological environmental decision-making. The results show that the wind-passing area in Wuxiang New District can be increased by 2.5% by modifying the building layout. But the wind-passing area can be increased by 9.7% by modifying the building layout and the urban underlying surface at the same time. Therefore, the planning and design of Wuxiang New District based on ecological environmental decision-making can greatly improve the ventilation effect in the city and significantly enhance the physical comfort of residents compared with the original design.

Key words: Eco-environmental decision-making; Livable; urban ventilation; Urban area; Planning and Design