

党冰,房小怡,吕红亮,等,2017. 基于气象研究的城市通风廊道构建初探——以南京江北新区为例[J]. 气象,43(9):1130-1137.

基于气象研究的城市通风廊道构建初探 ——以南京江北新区为例^{*}

党冰¹ 房小怡¹ 吕红亮² 程宸¹ 杜吴鹏¹
刘勇洪¹ 张硕¹ 杨帆³

1 北京市气候中心,北京 100089

2 中国城市规划设计研究院,北京 100044

3 北京万云科技开发有限公司,北京 100089

提 要: 利用南京江北新区的气象观测数据、NCEP 全球再分析资料和卫星遥感数据,采用统计分析、数值模拟以及地表温度反演技术,综合分析了江北新区的背景风场特征和城市热岛分布状况;并结合江北新区土地利用现状及未来规划资料,构建了其核心规划区域的通风廊道系统。结果表明:(1)江北新区主导风向为偏东风,局地存在山谷风和水陆风,风速主要集中在 $2\sim 4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 风速段,且近 10 年呈下降趋势;(2)在空间分布上,城镇、工业园区风速较小,同时是强热岛区域且有热岛连片发展趋势;长江、老山和林地等冷岛区风速较大,空气较为清新,可利用其与城镇进行空气交换;(3)结合当地气候条件、地形特征、用地类型及未来规划,以山体地势为脊骨,以顺势输引导风向为基本,以沟通冷源和弱风区为目的,构建了东北—西南走向的 1 条主通风廊道和 3 条次通风廊道,以及东南—西北、东—西走向的 8 条局部通风廊道;并对通风廊道的走向、宽度、布局等提出控制指标和构建策略。

关键词: 城市通风廊道,风场特征,热岛分布,控制指标,构建策略

中图分类号: PX16

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.09.010

Preliminary Study on Building Urban Ventilation Corridors Based on Meteorological Research——Taking Nanjing Jiangbei New Region as the Example

DANG Bing¹ FANG Xiaoyi¹ LÜ Hongliang² CHENG Chen¹ DU Wupeng¹
LIU Yonghong¹ ZHANG Shuo¹ YANG Fan³

1 Beijing Municipal Climate Centre, Beijing 100089

2 China Academy of Urban Planning and Design, Beijing 100044

3 Beijing Wanyun Science and Technology Development, Co. Ltd., Beijing 100089

Abstract: Based on the data of meteorological observation, NCEP and satellite remote sensing, the wind field characteristics and heat island distribution of Nanjing Jiangbei New Region were analyzed by using the methods of statistical analysis, numerical simulation and surface temperature retrieval. The ventilated corridor system of core area would be built with combinations of the land use status and new construction plan. The results indicate that the dominant wind direction is easterly, mountain-valley wind and land-river

^{*} 北京市科技计划课题(Z161100001216011)、中国气象局气候变化专项(CCSF201728)、住建部软科学研究项目(R22016076)和北京市气象局“城市气候评估”创新团队共同资助

2016年8月5日收稿; 2017年5月8日收修定稿

第一作者:党冰,主要从事气候分析及应用气候方面的研究. Email:dangb07@163.com

通信作者:房小怡,主要从事应用气候研究. Email:fangxybj@163.com

wind existing in local field. The wind speed is mainly concentrated in the period of $2-4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$, presenting downward trend in the recent 10 years. The wind speed in town and industrial park is small, for town and industrial park are stronger heat islands region. The fast wind speeds and fresh air area are in the cool island area like Yangtze River, Laoshan and woodlands, where winds help air exchange with town. Combined with the local climate condition, topographic feature and land-use planning, we suggest the ventilated corridor system including 1 main ventilation corridor (northeast-southwest), 3 minor ventilation corridors (northeast-southwest) and 8 local ventilation corridors (southeast-northwest, east-west) could be built. In addition, the control index and construction strategy to the design length, width and layout of ventilated corridor were proposed.

Key words: urban ventilation corridors, wind field characteristic, heat island distribution, control index, construction strategy

引言

随着中国城市化进程的不断推进,城市下垫面建筑物与高密度人口组合形成了特殊的城市气候,其典型特征表现为城市弱风甚至静风(赵景柱等, 2009;刘学锋等, 2009;冯娴慧, 2014)。数据显示近 50 年中国年平均风速呈现显著下降趋势[$-0.1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}$],风速减弱并非气候变化唯一作用的结果,城市化亦是不可忽视的因素。研究表明当城市化率增加 10%,相应的观测风速则减弱 $0.11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (江滢等, 2007;段春锋和缪启龙, 2010;邹立尧等, 2010;查进林, 2015;史培军等, 2015)。城市弱风或静稳天气频率的增加,不利于空气流通和污染物扩散,进而加重城市热岛效应和空气污染,最终影响城市的宜居性和可持续发展。城市通风廊道是利用城市自然气象条件改善城市环境的一种节能生态方式,为风在城市中的良性运动创造了便捷通道,同时为其他环境因子创造了调节气候的条件。因此,有必要根据不同城市的气候特点和地理条件,合理构建城市通风廊道,连通城市内外的生态冷源,将新鲜空气引入城市内部,促进城市空气流通运动、缓解热岛,以达到改善局地气候,提高人体舒适度的目的(Masmoudi and Mazouz, 2004;朱亚斓等, 2008;黄柏良, 2011;郑拴宁等, 2012;朱飙等, 2013;房小怡等, 2015)。

在城市通风环境研究方面,德国的斯图加特市堪称城市尺度通风道研究应用的典范,其根据当地气候条件和城市特点,将生态冷源与城市中心沟通,设置风道并提出构建建议,相关研究成果形成规划指引和技术标准,应用于城市发展当中(Baumüller

et al, 2009;刘姝宇和沈济黄, 2010)。日本通过分析首都东京湾的海陆风、山谷风和公园风环流,规划出 5 级风道系统(张晓钰等, 2014;李军和荣颖, 2014a)。香港总结了当地的环流系统类型和空间分布,划分出 9 个市区风环流区,评估了适用于香港城市规划的风环境状况(袁超, 2010;任超等, 2014)。此外,武汉、广州和西安等大城市也开展了城市通风道规划相关研究(李军和荣颖, 2014b;梁颖严等, 2014;赵红斌和刘晖, 2014)。以上研究主要针对城市气候问题突出的大城市,且对通风廊道的规划应用大多停留在定性研究层面,然而如何在城市规划初期考虑风道建设引导,有效地付诸实践,相关研究与规划方法还缺乏一定的针对性。本研究着力于城市建设开始时通风廊道的保留和构建,结合当地气象条件和发展规划,将优化城市内部自然通风的思路提升至规划及应用层面,对城市未来发展和维持气候宜居性更具有实际意义。

因此,本研究利用江北新区的气象观测数据、NCEP 全球再分析资料和卫星遥感数据,综合分析了江北新区的背景风场特征和城市热岛分布状况;并结合地形地势、土地利用、水网、绿地等,构建面向江北新区核心规划区域的通风廊道系统,并对廊道的走向、宽度、布局等提出控制指标和构建策略。旨在用于改善城市气候的土地在规划伊始得到保护和合理建设,减轻因城市建设引起的通风能力下降和热岛效应,助力江北新区的生态宜居和绿色发展。

1 研究区概况

南京江北新区位于南京市长江以北,总面积约 2451 km^2 ,占全市面积的 37%,是南京都市圈、宁镇

扬同城化的核心区域之一,也是长江经济带与东部沿海经济带的重要交汇节点。此次作为国家级新区,其总体规划区域包括六合区和浦口区,核心规划范围为 788 km²,是总体规划确定的主要建设区域(图 1)。其中,六合区位于江北新区东北部,地势北高南低,城镇处于中南部的平原区域,地势较为开阔;浦口区位于西南部,地势中部高南北低,老山山脉由东向西横亘中部,城镇处于老山和长江之间的狭长地带。南京江北新区属亚热带季风湿润气候区,年平均气温 16℃,平均气压 1014.9 hPa,相对湿度 71%,平均风速 2.2 m·s⁻¹;具有气候温和,四季分明,冬冷夏热,雨量充沛,光照充足的特点。

2 资料与方法

2.1 资料来源

气象数据来源于南京江北新区范围内 2 个国家基本气象站和 27 个区域自动站的气象观测资料,包括风向、风速和气温。其中基本气象站为 1981—2012 年数据,代表区域整体气候特征;区域自动站资料为 2014 年的观测数据,代表局地气象特征。该资料经过了数据校验和订正,具有较高的可信度和代表性。

江北新区土地利用现状数据来自 2014 年规划建设部门更新数据,2020 年土地利用规划数据来自规划部门制定的《南京江北新区近期建设规划方案(2015—2020 年)》。

2.2 数值模拟方法

采用美国大气研究中心研发、世界上广泛应用的新一代非静力平衡、高分辨率的 WRF(Weather Research Forecasting)中尺度数值模式,选择研究区域典型天气个例进行数值模拟。模拟中心经纬度为 32.11°N、118.62°E,范围涵盖江北新区;模式进行 4 重嵌套,相应的水平分辨率分别为 27、9、3 和 1 km,垂直方向 1000~100 hPa 分为 33 层;模式采用的初始场是由美国国家环境预报中心(NCEP)提供的 1.0°×1.0°每 6 h 一次的全球再分析数据(NCEP FNL)。

2.3 热岛分析方法

基于 Landsat 8 卫星双通道热红外数据,采用

劈窗算法反演江北新区地表温度,利用远离城市的农田地区平均地表温度作为郊区温度,计算研究区域内地表温度与郊区温度的差值,并采用地表热岛强度指数(urban heat island intensity index, UHII)的计算方法来估算城市地表热岛强度(葛伟强等, 2010;叶彩华等, 2011),并将其划分为 7 级:强冷岛、较强冷岛、弱冷岛、无热岛、弱热岛、较强热岛和强热岛(表 1)。

表 1 热岛强度等级划分

Table 1 Level of heat island intensity index		
等级	UHII/℃	等级定义
1	≤ -7.0	强冷岛
2	-7.0 ~ -5.0	较强冷岛
3	-5.0 ~ -3.0	弱冷岛
4	-3.0 ~ 3.0	无热岛
5	3.0 ~ 5.0	弱热岛
6	5.0 ~ 7.0	较强热岛
7	> 7.0	强热岛

2.4 通风廊道构建方法

(1) 顺应城市主导风向。Givoni(1998)研究表明为了使城区内通风与空气运动达到最大化,应使主要通风廊道走向与主导风向的夹角不超过 30°。因此,依据长时间序列气象数据分析所得的背景主导风向确定主廊道走向。

(2) 利用局地环流。城市内部受地形影响存在局地风环流(山谷风、水陆风等),可因地制宜,利用局地风场特征构建局部通风廊道,辅助主廊道通风。因此基于气象观测数据分析和数值模拟结果,识别局地环流系统,确定城市局部通风廊道走向。

(3) 依托城市路网及河道。街道和河道可作为城市通风廊道的载体,因此基于风场特征和用地规划,选择适宜的街道和河道;在街道两侧建设紧密型道路绿带,修复、拓宽和保护河道,并控制通风廊道两旁的建筑高度、密度和布局方式。

(4) 结合城市生态规划。整合城市自然山水要素,利用生态绿地、江河湖泊水系等具有通风排热功能的天然冷源系统,营造城市通风廊道。佟华等(2005)研究结果表明:城市大型绿地内温度较周围温度平均低 1~2℃;绿地使吹向四周的风速增加,可令其周围尤其是下风方向的温度降低,影响范围可达 3 km。因此,依据城市地貌和用地规划确定城市生态冷源,结合风场特征,构建通风廊道将冷源的新鲜空气引入城区。

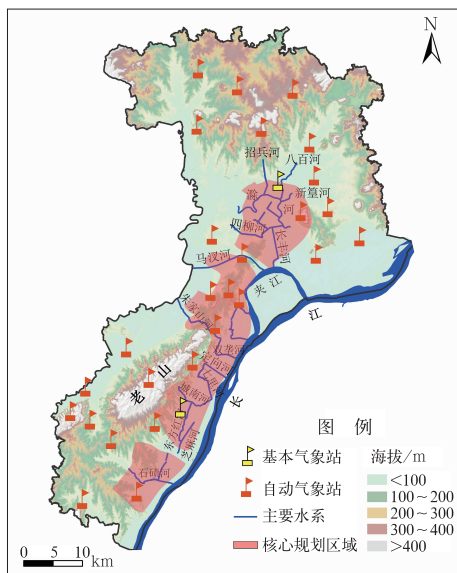


图1 南京江北新区核心规划区域及29个气象站分布示意图

Fig. 1 The core planning zone and 29 weather stations in Nanjing Jiangbei New Region

(5) 关注热岛区域。基于热岛分析结果,确定热岛区和冷岛区。结合风场特征,在强热岛区合理设置通风廊道,切割城市热岛;并保持空间的开阔程度以防止热岛加剧和连片发展。构建通风廊道连通冷岛与热岛区,促进空气交流,缓解城市热岛。

3 结果分析

3.1 背景风场特征

3.1.1 风速特征

六合区和浦口区近30年平均风速分别为 2.23 和 $2.16 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$,图2显示近10年六合 $[-0.06 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}]$ 和浦口 $[-0.11 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \cdot (10 \text{ a})^{-1}]$ 平均风速均呈下降趋势。风速下降不利于空气流通交换,同时加剧城市热岛效应。

3.1.2 风向特征

图3为六合区和浦口区风向频率和风速的分布特征。六合区以偏东风为主,累积出现频率达 32.9% ,其他风向出现频率相对较少,各风向的风速主要分布在 $2 \sim 4 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 风速段;浦口区以东北风

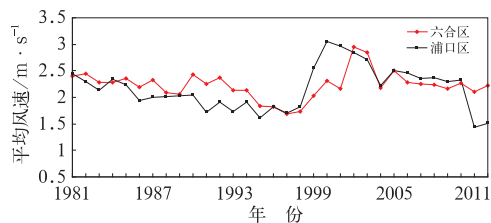


图2 江北新区平均风速年变化

Fig. 2 Variation of annual average wind speed in Jiangbei New Region

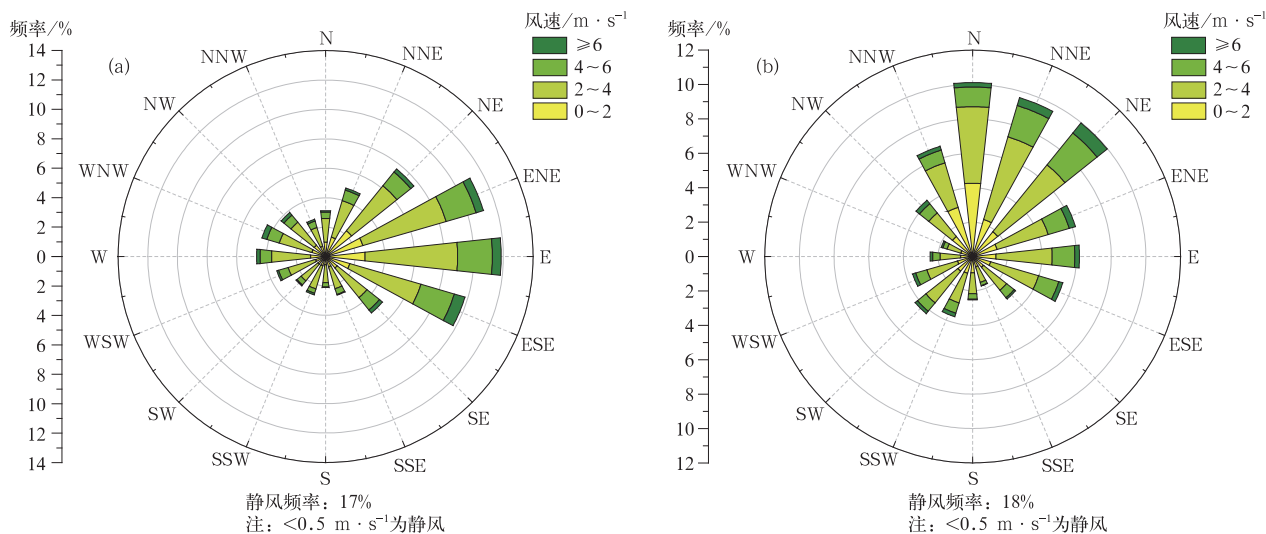


图3 江北新区风玫瑰图

(a)六合区,(b)浦口区

Fig. 3 The wind rose plot of Jiangbei New Region

(a) Luhe District, (b) Pukou District

和北风为主,累积出现频率达 29.6%,偏西风 and 偏南风出现频率相对较少;各风向的风速主要分布在 $2\sim 4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 风速段,其次是 $4\sim 6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。基于以上长时间序列的背景风场分析,可确定城市主要通风廊道的走向。

3.1.3 风玫瑰空间分布特征

江北新区风向玫瑰的空间分布特征如图 4 所

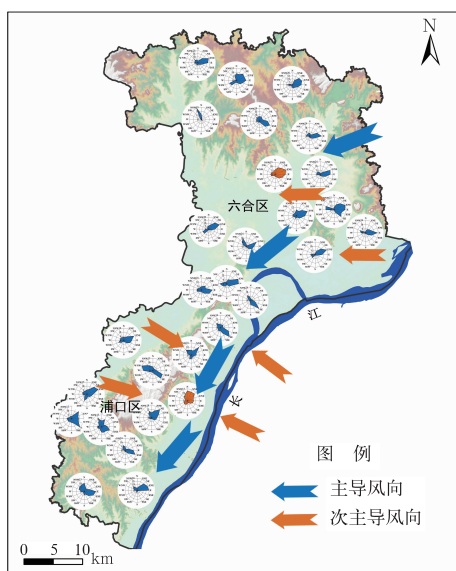


图 4 江北新区风向频率空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of wind direction frequency in Jiangbei New Region

示,可以看出,江北新区全年主导风向为东北风;其中六合区地势北高南低,北部丘陵地区以东北风为主,中南部平原地区以偏东风为主;浦口区地势中部高南北低,城区处于长江和老山之间的狭长地带,除东北风主导外,东南—西北转换的山谷风和水陆风明显。因此,在通风廊道规划时应因地制宜,对局地特殊风向区别对待。

3.2 典型个例数值模拟

基于背景风场特征分析结果,选取江北新区主导风向(东北风)天气个例(2014 年 2 月 2 日),模拟江北新区常见流场特征,结果如图 5 所示。从空间用地看,长江为风速高值区,山区林地其次,城区风速较小;六合区因地势开阔,流线以较为平直的东北风为主;浦口区除东北风主导流场外,有城区吹向老山的谷风和江面吹向城区的江风局地环流。表明河流、山区和林地等新鲜空气生成地风速较大,且会产生山谷风和水陆风的局地环流,在规划通风廊道时,应着力促进这些区域与城区的空气交换。

3.3 热岛分布特征

图 6 显示了遥感反演的 2014 年 6 月江北新区热岛强度分布。其中,强热岛区主要集中在人口较为聚集、建筑较多的中心城镇、工业园区等地,且有热岛相连成片趋势;周边郊区和农村除建筑和裸土

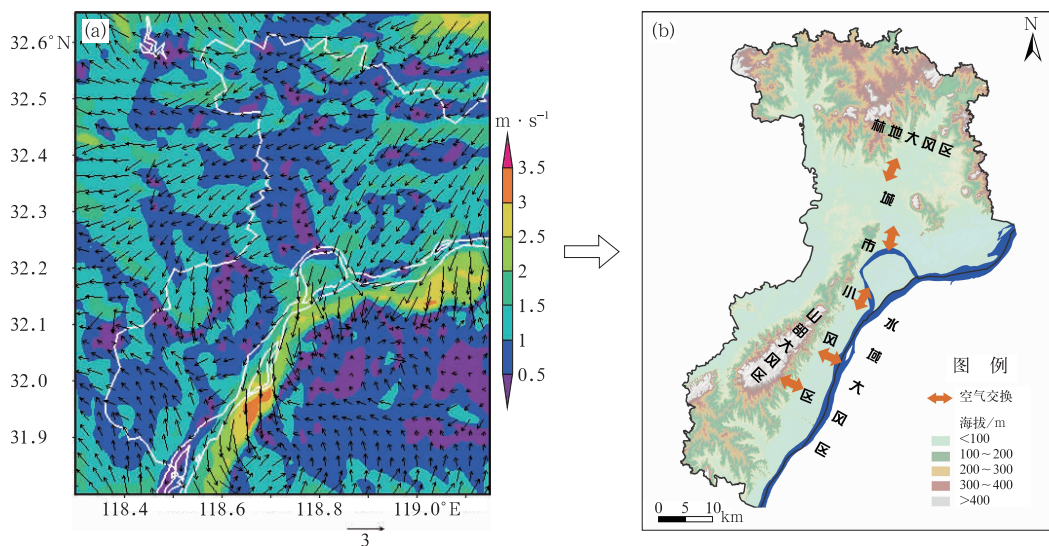


图 5 江北新区典型天气个例模拟

(a)2014 年 2 月 2 日 16 时模拟风场,(b)空气交换示意图

Fig. 5 Simulation of typical wind case in Jiangbei New Region

(a) wind field simulation at 16:00 BT 2 February 2014, (b) air exchange sketch

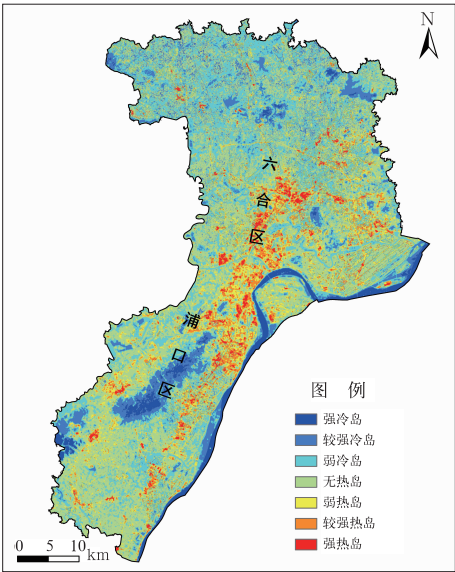


图 6 江北新区 2014 年 6 月热岛强度反演
Fig. 6 Heat island intensity inversion
of Jiangbei New Region in June 2014

区域呈弱热岛,其余基本无热岛出现;山区和林区为冷岛,水体为强冷岛。由此,长江、老山山脉、城郊绿地和城区河道为城市冷源,在规划通风廊道时,应利用主导风串连起冷源和城区,将冷源的自然风引入,导出城市原空气,形成局地气流良性运转,阻止城区热岛连片发展,缓解城市热岛效应。

3.4 通风廊道构建策略

3.4.1 控制指标

表 2 总结了国内外城市通风廊道相关研究(布朗和马克·德凯,2008;刘姝宇和沈济黄,2010;李军和荣颖,2014b;梁颖严等,2014),可以看出通风廊道构建主要从廊道宽度、长度及走向等方面考虑。其中,城市主通风廊道的规划宽度一般不低于 100 m,局地通风廊道宽度不低于 30 m;廊道长度以 500 m 以上为宜,或长宽比 $\geq 20:1$;廊道走向应尽量与主导风向平行,夹角不宜过大;廊道内垂直于气流流动方向的障碍物宽度应尽量小于廊道宽度的 10%;廊道内建设用地比例 $\leq 25\%$ 。

参考国内外研究,综合南京江北新区的背景风场、热岛分布、地形地势、城市结构和用地规划,将通风廊道分为 3 级,并制定相应的控制策略,如表 3 所示。其中,1 级为城市主通风廊道,通风条件好、对城市热岛和环境改善作用明显,在未来规划中必须要受到充足保护,对廊道上以及临近建筑的规划严格限制;2 级为次级通风廊道,主要作用为在各城区内部辅助主通风廊道,提高城市风速,促进城区与郊区的空气流通,缓解城市热岛;3 级为城区局部通风廊道,长度较短,其作用主要是沟通城区内相近的生态冷源,切割城市热岛,改善局部人体舒适度。

表 2 国内外通风廊道控制指标

Table 2 Control index of ventilation corridors in China and abroad

	廊道宽度/m	廊道长度	廊道走向
主通风廊道	布朗: ≥ 100 (布朗和马克·德凯,2008)		
	广州: ≥ 150		
	西安: ≥ 200		
	武汉: ≥ 300	斯图加特: ≥ 500 m 或长宽比 $\geq 20:1$	广州:与主导风向夹角 $\leq 45^\circ$
局地通风廊道	斯图加特: ≥ 30	西安: ≥ 500 m	Givoni(1998):与主导风向夹角 $\leq 30^\circ$
	广州: ≥ 80		
	西安: ≥ 30		
	武汉: ≥ 100		

表 3 江北新区通风廊道控制指标

Table 3 Control index of ventilation corridors in Jiangbei New Region

级别	廊道	走向	宽度/m	长度/m	廊道内建设用地比例/%
1 级	主通风廊道	与主导风向夹角 $\leq 30^\circ$	≥ 200	≥ 4000	≤ 20
2 级	次通风廊道	与主(次)导风向夹角 $\leq 30^\circ$	≥ 120	≥ 2000	≤ 25
3 级	城区局部通风廊道	与局地风向夹角 $\leq 30^\circ$	≥ 60	≥ 1000	≤ 30

注:“廊道内建设用地”是指除道路、绿地、广场以外的建设用地;廊道内障碍物垂直于气流流动方向的宽度应尽量小于廊道宽度的 10%。

Note: The construction land in corridors refers to the construction land except roads, green space and square. The width of the obstruction perpendicular to the air flow direction should be less than 10% of the corridor width.

3.4.2 构建策略

江北新区通风廊道构建策略如图 7 和表 4 所示。

(1) 主通风廊道

江北核心规划区域的结构特征为东北—西南长条形走向,主导风向为偏东风,因此选取江北大道作为主通风廊道载体,设置东北—西南走向的主通风廊道,贯穿六合、浦口城区。该廊道引入六合东北方向大范围林区绿地农田的自然风,结合路旁河流和绿地,尽量拓宽道路及河道,增加绿化带,打通障碍点,严格控制廊道两侧建筑物高度和密度。

(2) 次通风廊道

由于城区人口较多、建筑密集,热岛效应较强,因此分别在六合和浦口城区内依托适宜的河道、绿地、道路再设置东北—西南走向的次级通风廊道,辅助主廊道通风。其中,六合城区东北部的招兵河和八百河,以及浦口城区的东方红河、芝麻河水系与主通风廊道距离适宜,走向亦与主导风向相近,可作为自然风的输送载体,再结合城区内适宜道路构建次级通风廊道,辅助主廊道通风。

(3) 城区局部通风廊道

六合城区地势较为平坦开阔,以偏东风为主,因此可利用与风走向相近的滁河、四柳河等水系,结合城区内适宜冷源,在六合主城区内设置东—西走向的局部通风廊道。浦口城区处于老山和长江之间的

表 4 江北新区通风廊道构建策略

Table 4 Construction strategy of ventilation corridors in Jiangbei New Region

廊道	走向	布局
主通风廊道	东北—西南	1 江北大道
次通风廊道	东北—西南	六合区: 2 招兵河—长丰河—夹江
		3 八百河—滁河(东段)
		浦口区: 4 中心大道—东方红河—芝麻河
		六合区: 5 新篁河—滁河(北段)
城区局部通风廊道	东—西 东南—西北	6 滁河(东段)—龙池—滁河(西段)
		7 四柳河
		浦口区: 8 长江—双垄河—朱家山河
		9 长江一定向河—老山
		10 绿水湾—七里河(城南河)—老山
		11 和平河—胜利河—中心河—老山
		12 长江—石碛河
		A 化工园北侧
隔离带	东—西 东北—西南	B 化工园西南侧
		C 南钢西侧
		D 南钢南侧

狭长地带,水系较多,东南—西北转换的山谷风和水陆风明显,可有效利用局地风环流,依托城区内与局地风走向相近的朱家山河、定向河和七里河等水系作为载体,在浦口主城区设置东南—西北走向的局部通风廊道,连通长江与老山两个大型生态冷源,并在长江北侧和老山南侧邻近区域构建带状绿地,控制邻江邻山建筑物高度、密度和布局方式,规划开敞的导风区域,提高新鲜空气的穿透性,以促进江风、山风进入城区内部,发挥微气候调节功能。

(4) 隔离带

江北新区的化工企业主要集中在化工园和高新大厂等地,为防止排放的大气污染物加重风向下游区域的污染,不宜在工业区下风方向设置通风廊道。建议工业区内部加强绿化,周围设置大范围隔离带,并与城镇居住区扩大间距,尤其注重下风方向的隔离设置,尽量减少下风方向的污染。

4 结 论

本文通过翔实的气象条件分析,揭示了江北新区风环境特质,即偏东风的主导风向、局地明显存在的山谷风和水陆风,以及近 10 年风速显著下降的变化趋势、连片发展的热岛态势。在此工作基础上,结

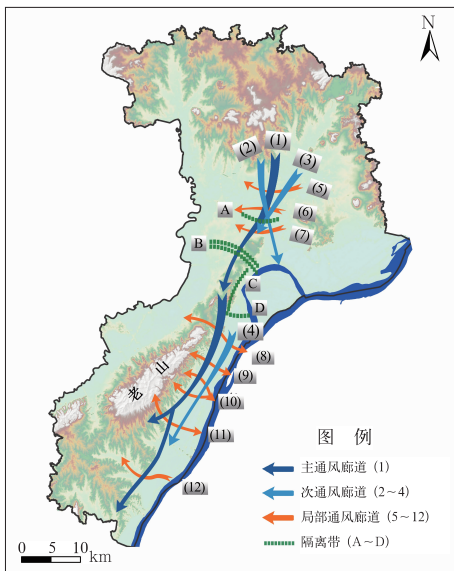


图 7 江北新区通风廊道构建策略图
Fig. 7 The construction strategy map of ventilation corridors in Nanjing Jiangbei New Region

合现有城市用地类型和发展规划,构建了1条主通风廊道和3条次通风廊道,以及8条局部通风廊道,将长江、老山、林地等冷源的新鲜空气引入城区内部,并对通风廊道的走向、宽度、布局等提出控制指标和构建策略。研究结果应用到《南京江北新区近期建设规划方案(2015—2020年)》中,为江北新区通风廊道规划提供了科学的技术支撑和针对性的指导策略。下一步,将继续研究深化,在城市街区尺度层面构建3级通风廊道,针对不同地块气候敏感度提出适宜的建筑设计指引。

参考文献

- 布朗G·Z·,马克·德凯,2008.太阳辐射·风·自然光[M].常志刚,刘毅军,朱宏涛,译.北京:中国建筑工业出版社:359.
- 段春锋,缪启龙,2010.中国风速变化特征及其影响因素[C].第八届博士生学术年会论文摘要集.
- 房小怡,杜吴鹏,李磊,等,2015.我国城市规划中气候信息应用回顾与展望[J].地球科学进展,30(4):445-455.
- 冯娴慧,2014.城市的风环境效应与通风改善的规划途径分析[J].风景园林,(05):97-102.
- 葛伟强,周红妹,杨何群,2010.基于MODIS数据的近8年长三角城市群热岛特征及演变分析[J].气象,36(11):77-81.
- 黄柏良,2011.城市通风及其影响城市热岛效应与空气质量研究[D].长沙:中南大学.
- 江滢,罗勇,赵宗慈,等,2007.近50年中国风速变化及原因分析[C]//中国气象学会2007年年会气候变化分会场论文集.
- 李军,荣颖,2014a.城市风道及其建设控制设计指引[J].城市问题,(9):42-47.
- 李军,荣颖,2014b.武汉市城市风道构建及其设计控制引导[J].规划师,30(8):115-120.
- 梁颖严,李晓晖,肖荣波,2014.城市通风廊道规划与控制方法研究以《广州市白云新城北部延伸区控制性详细规划》为例[J].风景园林,(5):92-96.
- 刘姝宇,沈济黄,2010.基于局地环流的城市通风道规划方法——以德国斯图加特市为例[J].浙江大学学报(工学版):44(10):1985-1991.
- 刘学锋,任国玉,梁秀慧,等,2009.河北地区边界层内不同高度风速变化特征[J].气象,35(7):46-53.
- 任超,袁超,何正军,等,2014.城市通风廊道研究及其规划应用[J].城市规划学刊,2014(03):52-60.
- 史培军,张钢锋,孔锋,等,2015.中国1961—2012年风速变化区划[J].气候变化研究进展,11(6):387-394.
- 佟华,刘辉志,李延明,等,2005.北京夏季城市热岛现状及楔形绿地规划对缓解城市热岛的作用[J].应用气象学报,16(3):357-365.
- 叶彩华,刘勇洪,刘伟东,等,2011.城市地表热环境遥感监测指标研究及应用[J].气象科技,39(1):95-101.
- 袁超,2010.缓解高密度城市热岛效应规划方法的探讨——以香港城市为例[J].建筑学报,(S1):120-123.
- 查进林,2015.中国地区土地利用/覆盖变化影响近地面风速的分析[D].昆明:云南大学.
- 张晓钰,郝日明,张明娟,2014.城市通风道规划的基础性研究[J].环境科学与技术,37(120):257-261.
- 赵红斌,刘晖,2014.盆地城市通风廊道营建方法研究——以西安市为例[J].中国园林,(11):32-35.
- 赵景柱,崔胜辉,颜昌宙,等,2009.中国可持续城市建设的理论思考[J].环境科学,30(4):1244-1248.
- 郑拴宁,苏晓丹,王豪伟,等,2012.城市环境中自然通风研究进展[J].环境科学与技术,35(4):87-92,194.
- 朱亚澜,李书严,李春华,等,2013.兰州市新区规划气候条件评估分析[J].高原气象,32(2):2588-2596.
- 朱亚澜,余莉莉,丁绍刚,2008.城市通风道在改善城市环境中的运用[J].城市发展研究,15(1):46-49.
- 邹立尧,国世友,王冀,等,2010.1961—2004年黑龙江省近地层风速变化趋势分析[J].气象,36(10):67-71.
- Baumüller J, Hoffmann U, Reuter U, 2009. Climate Booklet for Urban Development-References for urban planning[M]. Stuttgart; Ministry of Economic Affairs Baden-Württemberg.
- Givoni B, 1998. Climate Considerations in Building and Urban Design[M]. New York: A Division of International Thomson Publishing Inc:480.
- Masmoudi S, Mazouz S, 2004. Relation of geometry, vegetation and thermal comfort around buildings in urban settings, the case of hot arid regions[J]. Energ Buildings,36(7):710-719.