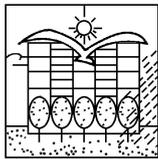


面向空间对策和实施管理的街区尺度清风廊道规划

——以宿迁市为例

付朝伟 谢俊民 陈龙 梁洁



提要 清风廊道规划是通过规划风廊道、增加城市通风能力从而减缓城市热岛效应及改善雾霾状况的一种规划类型。基于控制性详细规划确定建设模型，基于长年气象站数据形成气象模型，以城市街区尺度进行风道模拟计算，综合确定宿迁市中心城区的夏季、冬季城市清风廊道，构建三级清风廊道系统，划定风道、补偿区和作用区，以此提出了城市空间布局、产业空间布局以及对污染源控制的优化策略，并从清风廊道体系建设要求出发对现有控规提出了优化建议。清风廊道规划是我国生态文明建设要求下对城市空间布局与管控的一种重要的规划方法。

关键词 风廊道；宿迁；空间对策；实施管理

Fresh Wind Corridor Planning at Urban Block Scale for Spatial Strategies and Implementation Management—A Case Study of Suqian City

FU Chaowei, XIE Junmin, CHEN Long, LIANG Jie

Abstract: Fresh wind corridor planning helps to mitigate urban heat island effect and reduce haze by allowing airflow paths and improving urban ventilation. Fresh wind corridor plan determines development outcomes through regulatory plans and helps forms a meteorological model based on the long-term weather station data. Afterwards, the wind corridor simulation is carried out at the scale of urban block, and the summer and winter wind corridors in the central urban area of Suqian city are comprehensively determined. Finally, the three-level wind corridor system is constructed, the wind corridor, the control areas and the activity areas are designated, and location of industrial land and pollution control strategy in the central urban area are proposed. The plan enriches existing regulatory plan and it represents an important method for urban spatial planning and control in the context of China's ecological civilization construction.

Keywords: wind corridor; Suqian city; spatial strategy; implementation management

中图分类号 TU984 文献标识码 A
DOI 10.16361/j.upf.201903010
文章编号 1000-3363(2019)03-0081-06

作者简介

付朝伟，上海同济城市规划设计研究院有限公司，高级工程师，full_up@163.com
谢俊民，同济大学建筑与城市规划学院，大数据与城市分析实验室，副教授，博导
陈龙，上海同济城市规划设计研究院有限公司，规划师
梁洁，上海同济城市规划设计研究院有限公司，主任总工，高级工程师，通讯作者，liangjie114@126.com

在城市发展的过程中，自然地表减少、人工铺面增加，人口的聚集与活动的增长导致热岛效应和雾霾问题在当今的城市中愈发严重（陈宏，等，2014；Krüger，2011；Gartland，2008）。针对这些现状与其引发的问题，国内外开始注重对于风环境的优化。德国各大城市和区域都积极开展气候条件评估方面的研究，将其作为城市结构调整和住区及主要功能设施规划选址的依据，结合气候评估进行开发强度控制；日本大力推行和倡导城市环境气候图研究，提出城市热岛效应和通风控制的措施和导则；（冷红，等，2014；刘姝宇，2014；Gál，等，2009）。香港风廊道的研究开展较早，主要是提出基于都市气候环境研究纳入法定规划图则实施规划管控；北京与武汉等地对风廊道以及城市气象的研究理论与应用体系也在逐渐形成的过程中，既有针对城市总体结构的通风廊道规划引导，也有根据不同的建筑空间布局特征提出具体的形态设计管控措施（杜吴鹏，等，2017；任超，等，2014；李军，等，2014）。同时，在研究方法上也形成了众多的理论，有学者提出通过控制城市的地表粗糙度来改善城市风廊道的方法，亦或利用天然河道、绿地系统形成良好的通风廊道（尹杰，詹庆明，2016；Juan，2013），也有学者通过电脑模拟来研究整个城市或是区域的风环境（谢俊民，等，2013；Nichol，2008）。

本研究基于宿迁市的实例开展：2017年宿迁市提出“江苏生态大公园”的城市定位，建设生态经济示范区。从长三角区域历年PM_{2.5}日均值统计数据来看，宿迁市现状

污染指数排名在前列，这与其年污染总量在区域的总体排名靠后的情况不对等。清风廊道研究工作及规划建设在这样的背景下被提出，旨在从风环境角度找到能减缓城市热岛、改善雾霾状况的部分措施。另一方面，本研究也是基于国内外已有的研究与实践开展：吸纳成功经验，以风环境研究优化城市空间对策，并重视与实施管理需求的对接；优化研究方法，强调通过量化分析与模拟分析为规划设计与管理决策提供科学支撑，并积极探索在街区尺度实现研究分析与对应管控。

1 清风廊道规划基本原理及街区尺度分析方法的提出

1.1 清风廊道规划基本原理

清风廊道规划的工作原理是把温度较低的凉风与干净的清风，吹送至城市中心区域，通过空气交换，降低中心区温度，缓解城市雾霾。

(1) 送“清风”：合理利用城市内外的“冷岛”，保护冷空气与新鲜空气形成并通过城市区域，调节气候。

(2) 挡“浊风”：降低城市外围大面积雾霾天气对城市影响及减弱市域外污染天气对生活空间的影响。

(3) 通“风道”：优化城市空间布局形态，将河道、绿地系统等开敞空间与通风走廊结合。

(4) 控“排放”：控制风道相关区域内污染源的活动，实行限排严控措施。

其中，挡“浊风”更多是需要从区域层面对生态系统建设提出要求（图1），针对中心城区的清风廊道规划重点则是在中心城区及周边划定通风廊道、补偿区和作用区，构建使得清风可以从补偿区经由通风廊道到达作用区的城乡环境系统。

通风廊道由连续、较开敞的空间组成，包括大面积水域、集中绿地、广场、非建设用地、低矮建筑群、与主导风向平行或成小角度的城市主要道路。风道的起点为风道口，清风从风道口位置进入风道，再输送至城市其他片区，风道口在这一过程中起着重要作用，因

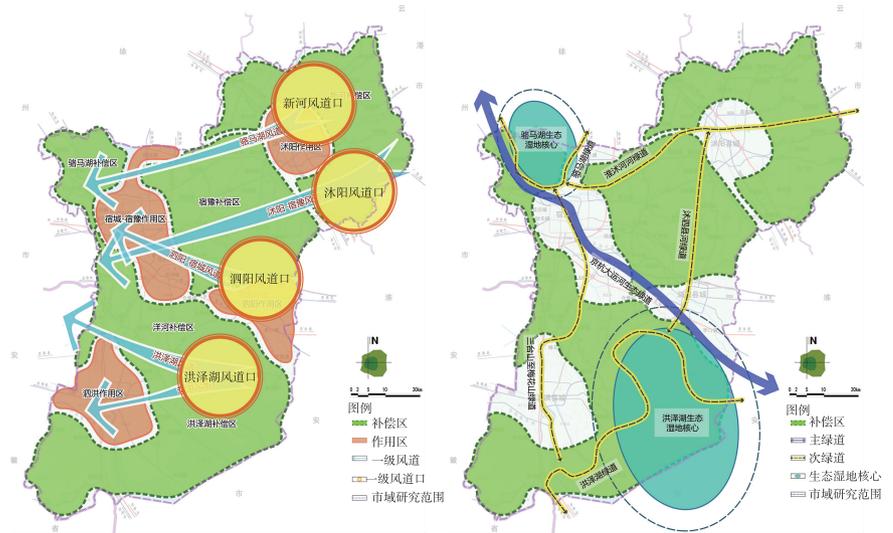


图1 宿迁市域清风廊道结构与生态系统结构的对应示意图
Fig.1 The fresh wind corridor and ecosystem structure of Suqian City
资料来源：上海同济城市规划设计研究院有限公司，2017。

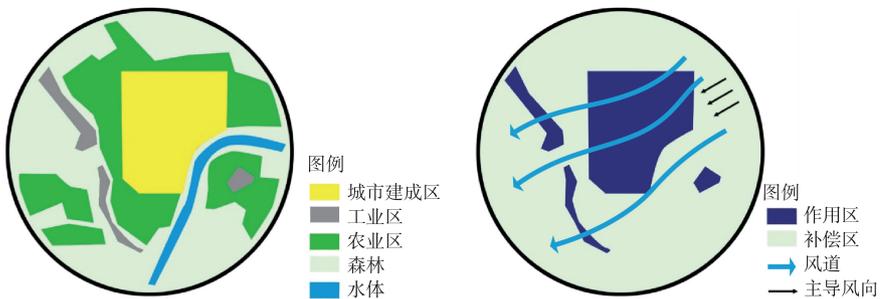


图2 清风廊道系统概念示意图
Fig.2 Conceptual diagram of fresh wind corridor
资料来源：上海同济城市规划设计研究院有限公司，2017。

此同样需要纳入到清风廊道系统。补偿区则是在这一系统中产生新鲜空气或局地风的来源地区，清风廊道系统的工作效率与补偿区的位置、质量与规模密切相关。存在热污染、空气污染的建成或待建区域就是作用区，也是建设清风廊道要重点改善的对象（图2）。

1.2 街区尺度分析方法

国内目前风道规划多与气象学者合作，采用宏观尺度上模拟方法作为分析工具，其计算单元的水平分辨率通常在1000m范围。本研究细化到城市街区尺度，即以控制性详细规划确定的街坊、地块为分析单位，实现分辨率可达到100—500m精度的风廊道模拟。城市街区尺度的研究是十分必要的，其可应用于城市风道规划使用（Hsieh, 2016）。

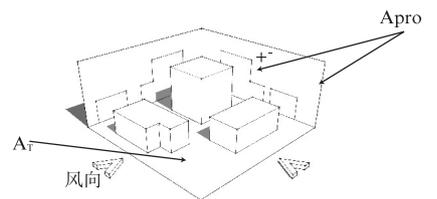


图3 Frontal area index 计算示意图
Fig.3 Calculation of Frontal area index
资料来源：作者自绘。

(1) 工作原理：采用地表粗糙度指标分析城市风廊道，计算城市风道路径。

地表粗糙度指标FAI对每个平面单位面积计算其建筑物的迎风面投影面积（图3），计算公式如下：

$$\lambda_f(\theta) = \frac{A_{proj}}{A_T}$$

式中， λ_f 为FAI指标； θ 为盛行风向； A_{proj} 为所有建物迎风面之投影面积； A_T 为研究区域面积。

建筑物迎风面会对于风造成阻力；城市街区尺度分析法采用地表粗糙度指标FAI网格成本分析城市风廊道，以主要风向（包括主导风向及其他高频风向）计算FAI值风向，以WindPerfectDX软件为工具计算城市风道路径。

(2) 具体方法：以现状及控制性详细规划的建筑高度和开发强度为主要参数，实现街区尺度的地表粗糙度指标计算；找到最小成本路径，并以计算流体力学CFD进行模拟验证。

风会沿着较低的地表粗糙度前进，以ArcGIS为工具计算最小成本路径LCP风向的FAI地图；通过计算起点与相连所有结点，得出路径型的成本值，以求出最小成本加总之路径。最小成本计算会由起始地到目的之间，反复计算距离成本函数与路径距离函数，找到最低成本路径；在此基础上以计算流体力学CFD进行模拟验证。进一步，明确相对具有热负荷潜力及污染扩散可能的地区，结合最低成本路径共同考虑清风廊道的规划布局。

以改善城市热岛现象为例，根据主要风向，在上风处（始端）与下风处（终端）各设置端点，计算最小成本路径，并结合热负荷分布累计潜在升温面积，即为在研究区域内相对较具有降温潜力的路径，如能够将清风廊道导引在此潜力降温路径，则能让城市潜在降温与空间管制、土地使用、建筑管理实现耦合，藉由城市风廊道的影响，改善下风处的城市温度，进而减缓城市热岛效应。

2 宿迁清风廊道体系构建

2.1 风道模拟的模型构建及分级识别

图4为宿迁城市清风廊道规划所使用的数据与模型，具体操作根据夏季和冬季的气象模型（含风玫瑰、风速分布、气温分布及表面气温等），结合土地使用（含建筑高度与开发强度模型、绿地及水域空间）和污染物模型（含工业点源、机动车及道路铺装），分别计算夏季和冬季的风道路径。应用风道模拟程序模拟逐个风向条件下城市的廊道，最终得到风道模拟图。

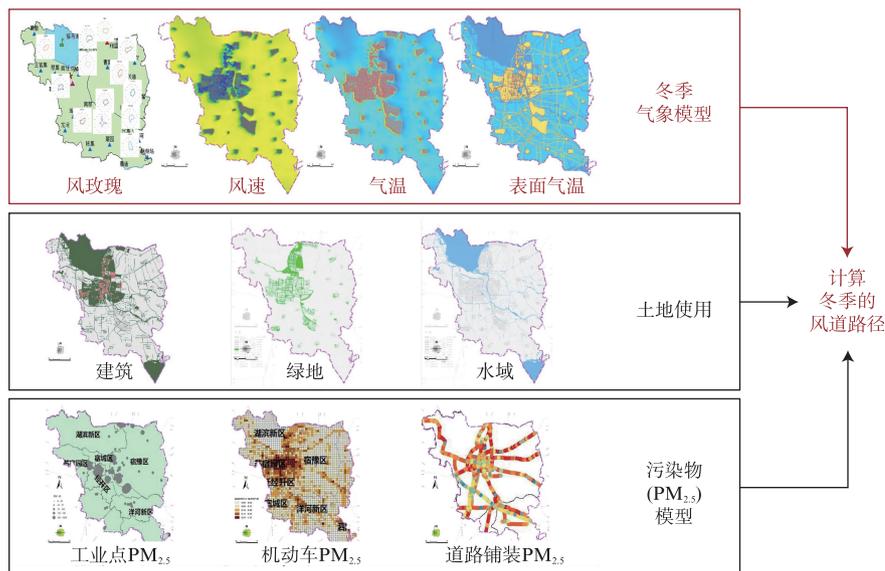


图4 城市风道模拟数据库与技术路径（以冬季为例）
Fig.4 Urban wind corridor simulation database and technological path (take winter as an example)
资料来源：上海同济城市规划设计研究院有限公司，2017。



图5a 中心城区总体模型
Fig.5a The overall model of central urban area
资料来源：上海同济城市规划设计研究院有限公司，2017。



图5b 中心城区某片区土地使用模型
Fig.5b Land-use model of a selected area in the central urban area
资料来源：上海同济城市规划设计研究院有限公司，2017。

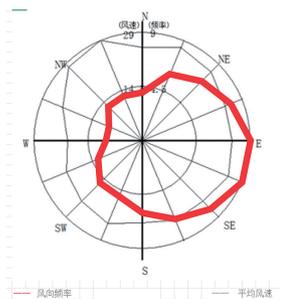


图6a 全年风玫瑰图

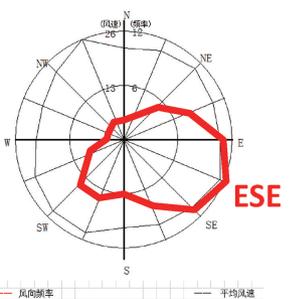


图6b 夏季风玫瑰图

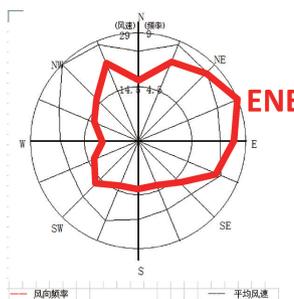


图6c 冬季风玫瑰图

Fig.6 Year, summer and winter wind-rose diagram
资料来源：根据项目资料作者自绘。

需特别说明的是，土地使用模型以控制性详细规划的地块指标为基本依据，重点考虑开发强度、建筑高度等控制要求，模拟街区建设情况，并作为地表粗糙度指标的主要参数。

在气象模型建构中，主导风向是关键的基础数据。本次研究以长年气象数

据作为研究基础，采用一个基准站数据为主，其他站数据为校核。因此，选取国家一般气象站宿迁站为基准站，其他1个国家一般气象站（泗阳站），2个国家基本气象站（沐阳站、泗洪站）和13个自动气象观测站为辅助站，共16个气象观测站的风向、风频及风速等数据，

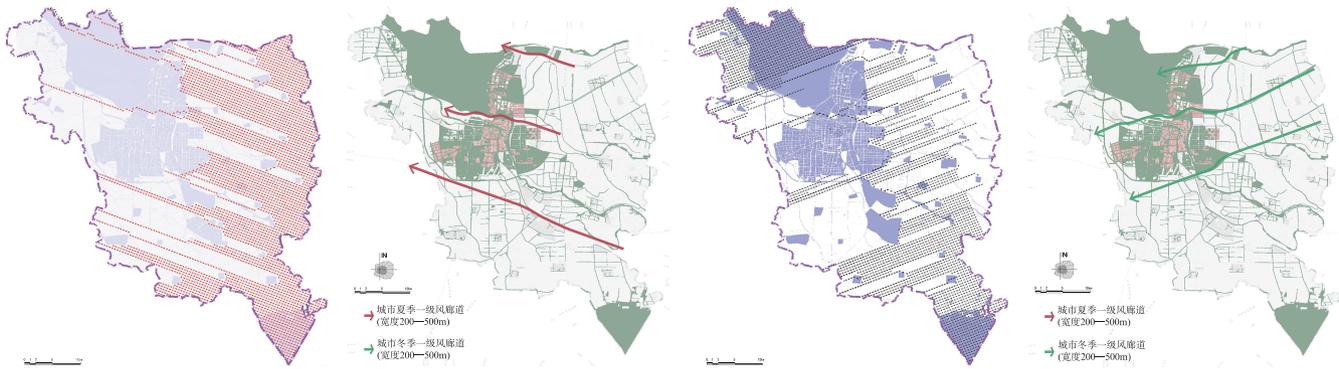


图7a 夏季一级风道路径计算模拟原理图

图7b 冬季一级风道路径计算模拟原理图

Fig.7 Calculation stimulation of first-level wind corridor path in summer and winter

资料来源：上海同济城市规划设计研究院有限公司，2017。

用于风道位置识别及评价，为清风廊道规划提供支撑。

宿迁站近30年风向频率数据(两分钟数据)统计分析后，绘制风向频率图，如图6所示。1987—2016年宿迁市全年主要风向为东南东风(ESE)，占10%；同时，东风(E)、东南(SE)、东北东(ENE)等次多风向比率也较大(图6a)。图6b、图6c显示宿迁市的常年主导风向，经由分析基准气象观测站(宿迁站)，得出夏季主要风向是东南东风(ESE)，冬季则是东北东风(ENE)。

结合气象模型的构建，宿迁市分为三级风道系统：依托夏季与冬季季节主导风向，规划一级风道；配合城市生态系统与建设布局，考虑东风、东南东风、东北风、北北西风、西南风等5个风向，此5个风向占所有风向风频超过50%，为城市的高频风向，依托高频风向规划二级与三级风道。

其中，一级风道要求廊道宽度在500m以上，二级风道要求宽度在200m以上，三级风道要求宽度为80—120m。空气的流动必然是分布在城区内外的每一处地方，在风道识别中要求一定宽度，其原因在于只有达到一定的宽度，一级风道及其体系才能起到“有清风、送清风”的作用，二级、三级风道才能起到“清风入城、清风到家”的作用。

2.2 城市一级风道布局

通过风道模型的模拟，可以清楚地看到一级风道可能的路径位置。图7a为夏季一级风道路径计算模拟原理图，其



图8 夏季风道路径计算(从左至右依次为：ESE、E、SW)

(图中，红色点为风廊道网格分析粒子，一条连续的粒子为一条模拟200m风束)

Fig.8 Calculation of wind corridor path in summer (from left to right: ESE, E, SW)

资料来源：上海同济城市规划设计研究院有限公司，2017。

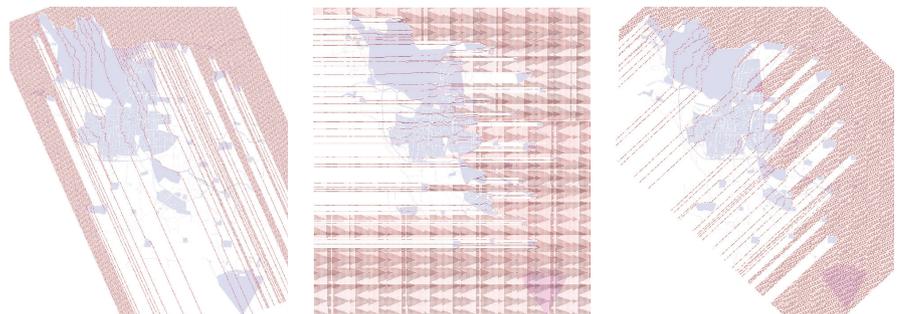


图9 冬季风道路径计算(从左至右依次为：NNW、E、NE)

(图中，红色点为风廊道网格分析粒子，一条连续的粒子为一条模拟200m风束)

Fig.9 Calculation of wind corridor path in winter (from left to right: NNW, E, NE)

资料来源：上海同济城市规划设计研究院有限公司，2017。

中红色连续点表示宽度大于500m的风束，仅有三条这样的路径能使该宽度的风束通过中心城区，为三条夏季一级风道路径。冬季风主导风向为东北东风，图7b为冬季一级风道路径计算模拟原理图，其中灰色连续点表示宽度为500m的风束，也只有三条这样的路径能使该宽度的风束通过中心城区，为三条冬季一级风道路径。

2.3 城市二级风道与三级风道

二级与三级风道在主导风向的基础上同时考虑东风、东南东风、东北风、北北西风、西南风等5个风向(此5个风向占所有风向风频约50%)，模拟结果如图8、图9。

风道模拟图基于城市规划模型计算得出，为了得到更合理的风道系统图，需要结合现状进行微调，调整原则包

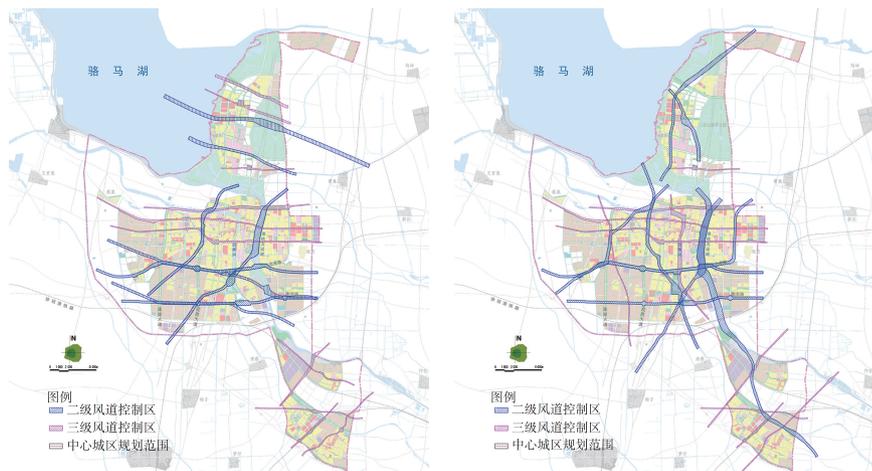


图10 中心城区二、三级风道范围图 (左图为夏季, 右图为冬季)
Fig.10 Areal map of second and third level wind corridor in the central urban area (Left:summer, Right:winter)

资料来源:上海同济城市规划设计研究院有限公司, 2017.

括:以最短距离绕过已经建成的项目;以最短距离绕过高密度建成的街区;偏移到最近的生态绿地和水域;重点地区保留较多风道,其他地区约减风道总数。

以此为原则,对夏季与冬季风道进行选取,结果如下图10。二级风道作为中心城区重要廊道,连接一级风道及补偿区,均匀分布,全覆盖中心城区各片区,主要依托主干路、绿地、河湖水系。三级风道相对稀疏,连接二级风道及补偿地区,呈现分散的状态,在二级风道的基础上补充提高局部通风能力。

3 基于清风廊道体系的空间对策

根据模拟的宿迁中心城区清风廊道体系构建及布局情况,提出对中心城区开发建设空间布局、生态空间布局以及产业空间布局的优化引导要求(图11):

(1) 考虑到夏季东南东风道的关系,应严格控制中心城区各组团发展边界,特别是应避免主城区与洋河新区、运河宿迁港连接成片,确保二者之间补偿区的布局;严格控制洋河新区、运河宿迁港的工业项目类型,避免形成东南东风道上新的污染源。

(2) 从夏季东南方向及西南方向的风道关系来看,中心城区东南及西南两处产业片区应在配合高污染企业的整改措施的同时,逐步强化主城区生活片

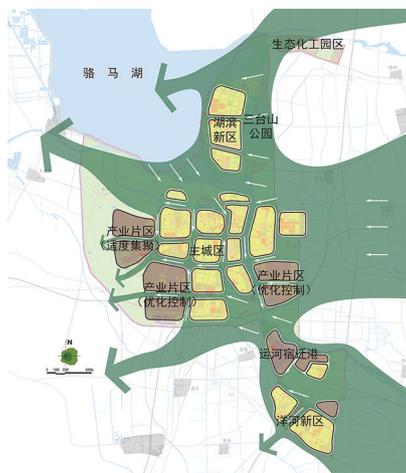


图11 中心城区空间布局优化引导图
Fig.11 Optimization of spatial layout in the central urban area

资料来源:上海同济城市规划设计研究院有限公司, 2017.

区的生态空间建设,形成规模较大的补偿区。

(3) 从东北东风道的关系来看,东北部的生态化工园区对中心城区的环境影响主要存在于湖滨新区的北部。规划提出控制湖滨新区北部的开发建设,即减少可能影响的作用区;同时强化对生态化工园区的治理,即优化风道口地区。

(4) 从骆马湖与主城区的空间关系来看,湖体是中心城区重要的新鲜空气来源地;考虑到冬季北北西风道的关系,建议在规划布局中控制出三角形态的生态空间,确保冬季新鲜空间能有足

够的风道从骆马湖吹进主城区。

(5) 东风风道在冬季夏季对中心城区都是重要的风道体系,且与道路布局、地块划分具有相对较好的吻合度,对中心城区大气环境的改善具有重要作用,建议在主城区、湖滨新区都进一步强化东西廊道空间的建设;其中,湖滨新区要特别增加骆马湖与三台山公园之间的廊道体系。

(6) 从清风廊道体系建设的角度出发,提出“产业优化控制区”和“产业适度集聚区”;产业优化控制区针对处在清风廊道体系重要位置的现状产业空间,要求保障风道建设需求,适当增加开敞空间,同步推进污染性企业技术改造、转型升级和达标排放;产业适度集聚区避开主导风向的上风向,周围用地情况相对充足,可用于其他片区不适宜布置的工业企业在该空间内适度集聚。

4 基于清风廊道体系的实施管理

为适应规划管理的需要,强调在控制性详细规划层面对清风廊道建设内容进行精细化的空间落实。具体来说,将清风廊道规划管理内容图则化,以控规单元为单位对管控内容定位置、定要求、定行动;如图12所示。

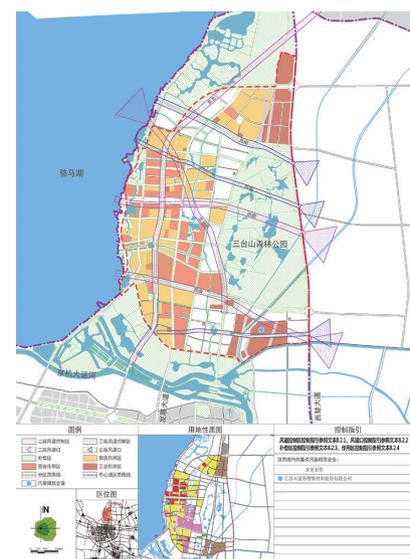


图12 中心城区清风廊道控制图则
Fig.12 The fresh wind corridor control charts in the central urban area

资料来源:上海同济城市规划设计研究院有限公司, 2017.

清风廊道的实施管理并不是机械化地要求将清风廊道管控范围全部划为开敞空间或生态空间,这本身也不现实;而是针对这些区域所在街区、地块在控制性详细规划一般要求的基础上,从风道建设的角度提出需要进行控制的要素和要求,通过长期性的精细化管理,逐步实现风廊道、风道口、作用区和补偿区各自的空间、环境要求。

风廊道地区所在街区的控制要素主要有用地布局、街道走向、建筑布局、建筑高度、建筑密度、场地间口率、绿化环境等;并根据所经过区域的不同类型提出针对性的控制要求,区分居住地区、商业地区和产业地区等;在风道口则增加产业类型选择的控制内容;作用区所在街区规划控制重点应引导优化街道走向、建筑布局和场地绿化,促进高密度地区的空气流通,缓解热岛效应并抑制其蔓延;补偿地区主要对应主城区内的绿地,其管控要求与宿迁市现行的绿线管控内容相对接。除此以外,依据污染源企业所在清风廊道系统中的位置(包括所在分区、与风向关系等)、污染排放程度等因素,提出分类分级的控制措施。

5 结果与讨论

本次规划以宿迁市气象与大气环境多年数据明确城市所在区域的宏观风环境,首先夯实了宿迁市中心城区清风廊道体系构建的基础。研究方法上,以城市街区尺度应用计算机模拟技术,探索出城市潜在风道,逐步深入模拟得出城市一级、二级、三级风道的可能情况,并回到街区尺度作为管控落脚点进行精细化的空间落实。

清风廊道研究的目的是要实现风环境和城市空间布局的协同,从城市结构

优化到产业空间管治分别提出具体的建议及措施;同时将城市风道建设要求按照风道口、风廊道、补偿区及作用区的不同要求纳入控制详细规划成果成为相关地块实施管理的依据。

参考文献 (References)

- [1] 陈宏,周雪帆,戴菲,等.应对城市热岛效应及空气污染的城市通风道规划研究[J].现代城市研究,2014(7):24-30.(CHEN Hong, ZHOU Xuefan, DAI Fei, et al. The study of urban ventilation corridor planning based on the accommodation of urban heat island and pollutions[J]. Modern Urban Research, 2014(7): 24-30.)
- [2] 杜吴鹏,房小怡,刘勇洪,等.面向特大城市的风环境容量指标和区划初探——以北京为例[J].气候变化研究进展,2017,13(6):526-533.(DU Wupeng, FANG Xiaoyi, LIU Yonghong, et al. Indexes and zoning research of wind environmental capacity for metropolis—a case of Beijing[J]. Climate Change Research, 2017, 13(6): 526-533.)
- [3] GÁL T, UNGER J. Detection of ventilation paths using high-resolution roughness parameter mapping in a large urban area [J]. Building and Environment, 2009, 44(1): 198-206.
- [4] GARTLAND L. Heat islands: understanding and mitigating heat in urban areas[M]. Earthscan, 2008.
- [5] HSIEH C M, HUANG H C. Mitigating urban heat islands: a method to identify potential wind corridor for cooling and ventilation [J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2016, 57: 130-143.
- [6] JUAN A A, JON A, SEBASTIAN K, et al. Deriving an urban climate map in coastal areas with complex terrain in the basque country (Spain) [J]. Urban Climate, 2013, 4: 35-60.
- [7] KRÜGER E L, MINELLA F O, RASIA F. Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil [J]. Building and Environment, 2011, 46(3): 621-634.
- [8] 冷红,袁青.城市微气候环境控制及优化的国际经验及启示[J].国际城市规划,2014,29(6):114-119.(LENG Hong, YUAN Qing. International experience and enlightenment on urban microclimate environment control and optimization[J]. Urban Planning International, 2014, 29(6): 114-119.)
- [9] 李军,荣颖.武汉市城市风道构建及其设计控制引导[J].规划师,2014,30(8):115-120.(LI Jun, RONG Ying. Urban design control for wind corridor: Wuhan case [J]. Planners, 2014, 30(8): 115-120.)
- [10] 刘姝宇.城市气候研究在中德城市规划中的整合途径比较[M].中国科学技术出版社,2014.(LIU Shuyu. Comparative research on integration approaches of urban climate studies in urban planning between China and Germany[M]. Science and Technology of China Press, 2014.)
- [11] NICHOL J E, WONG M S. Spatial variability of air temperature and appropriate resolution for satellite-derived air temperature estimation [J]. International Journal of Remote Sensing, 2008, 29(24): 7213-7223.
- [12] 任超,袁超,何正军,等.城市通风廊道研究及其规划应用[J].城市规划学刊,2014(3):52-60.(REN Chao, YUAN Chao, HO C K, et al. A study of air path and its application in urban planning [J]. Urban Planning Forum, 2014(3): 52-60.)
- [13] 谢俊民,郑子捷.基于土地使用的城市风廊道规划策略[C]//中国城市规划学会.2013中国城市规划年会论文集(09-绿色生态与低碳规划),2013:13.(XIE Junmin, ZHENG Zijie. Strategies of urban wind corridor planning based on landuse[C]//China Association of City Planning. Annual National Planning Conference proceedings 2013(09-green ecology and low carbon planning), 2013:13.)
- [14] 尹杰,詹庆明.城市通风与形态关联性探究——以武汉市为例[J].环境保护,2016,44(22):59-63.(YIN Jie, ZHAN Qingming. The relationship between ventilation and urban morphology based on the method of morphology——taking Wuhan as an example [J]. Environmental Protection, 2016, 44(22): 59-63.)
- [15] 上海同济城市规划设计研究院有限公司.宿迁市中心城区清风廊道规划[R],2017.(Shanghai Tongji Urban Planning and Design Institute Co. Ltd. The fresh wind corridor planning in the central urban area of Suqian [R], 2017.)

修回:2019-05