

王伟武 ◇ 著

城市风道

量化模拟分析与规划设计

URBAN WIND CORRIDOR

QUANTITATIVE SIMULATION ANALYSIS
AND PLANNING DESIGN



ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS

浙江大学出版社

城市风道

量化模拟分析与规划设计

URBAN WIND CORRIDOR
QUANTITATIVE SIMULATION ANALYSIS
AND PLANNING DESIGN

王伟武 ◇ 著



 ZHEJIANG UNIVERSITY PRESS
浙江大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

城市风道量化模拟分析与规划设计 / 王伟武著. —
杭州: 浙江大学出版社, 2020. 3

ISBN 978-7-308-20066-0

I. ①城… II. ①王… III. ①风—城市气候—研究
IV. ①P463. 3

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2020)第 036806 号

城市风道量化模拟分析与规划设计

王伟武 著

责任编辑 樊晓燕
责任校对 刘 郡
封面设计 雷建军
出版发行 浙江大学出版社
(杭州市天目山路 148 号 邮政编码 310007)
(网址: <http://www.zjupress.com>)
排 版 浙江时代出版服务有限公司
印 刷 杭州良诸印刷有限公司
开 本 710mm×1000mm 1/16
印 张 14.75
字 数 228 千
版 次 2020 年 3 月第 1 版 2020 年 3 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-308-20066-0
定 价 59.00 元

审图号: 浙杭 S(2020)008 号

版权所有 翻印必究 印装差错 负责调换

浙江大学出版社市场运营中心联系方式 (0571)88925591; <http://zjdxcbbs.tmall.com>

国家自然科学基金项目“基于多源空间数据同化
与风场影响参数量化模拟分析的城市风道规划方
法研究”（51578482）

浙江大学教育基金会建筑工程学院金成城乡规划
学科发展专项基金

前 言

随着改革开放不断深入和社会经济稳步发展,中国城镇化发展进程不断加速,截至 2018 年年底我国城镇化水平已达 59.58%。城镇化发展使得城市人口和城市建设面积大规模扩张。以往在城市规划建设时往往忽视对城市通风性能的考量,导致在城市内人们生产生活产生的热量得不到及时扩散,高浓度污染物得不到及时稀释,从而降低了城市热环境和风环境的舒适性。城市风道的量化研究与规划设计是缓减城市热岛效应、驱散城市雾霾、实现城市人居环境可持续发展需求的有效途径之一。

我国有关城市风道的研究始于 1982 年城市气候学术会议。30 余年来,由于城市规划建设部门与环境部门关注的重点不一致,虽然各自都有一些科研论文成果,但系统综合的城市风道研究却较少见。目前关于城市风道的量化研究还处在方法和内容的探索阶段。本书在阐明城市风道研究的背景和意义、分析国内外城市风道研究进展的基础上,尝试归纳城市风道构建的理论基础与技术方法框架,并以杭州为例,从城市—城区—街区—街道四个空间尺度,开展了城市通风廊道构建、通风潜力及通风效果的量化研究,提出了相应的规划设计管控对策,以期为城市风环境改善及城市空间科学的规划设计等提供科学依据和技术引导。

由于城市风道研究涉及的学科多,知识面广,综合性强,技术要求高,而作者水平有限,经验不足,难免有错误和不当之处,敬请读者批评指正。

王伟武

2019 年 10 月于紫金港

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 研究背景及意义	1
1.1.1 研究背景	1
1.1.2 研究意义	6
1.2 城市风道的基本概念及其基础理论	10
1.2.1 城市风道及其构成	10
1.2.2 城市风道类型与特征分析	14
1.2.3 城市风道研究的学科基础	18
1.3 国内外城市风道研究动态	27
1.3.1 国外城市风道研究进展	28
1.3.2 国内城市风道研究与实践	33
1.4 研究方法及内容框架	37
1.4.1 研究方法	37
1.4.2 本书内容框架	39
第 2 章 基于通风潜力及风特征量化分析的城市风道构建	41
2.1 数据来源及预处理	41
2.2 研究方法	45
2.2.1 作用空间和补偿空间的确定	45
2.2.2 通风潜力量化分析	46
2.2.3 风特征量化分析	61

2 城市风道量化模拟分析与规划设计

2.2.4	城市潜在风道确定路径	64
2.3	杭州市城市潜在风道构建实例探索	65
2.3.1	研究区域概况	65
2.3.2	杭州城市作用空间和补偿空间的分析	67
2.3.3	杭州空气引导通道的分析	70
2.3.4	杭州城市风向分析	85
2.3.5	杭州主要潜在风道的构建	91
2.3.6	杭州主要潜在风道的管控建议	94

第3章 基于多孔介质简化模型的中尺度城市风道量化研究

	100
3.1	多孔介质简化理论	100
3.2	多孔介质理论模型及其参数化简化方案	105
3.2.1	湍流现象及其机理	105
3.2.2	湍流计算方法	105
3.2.3	CFD数值仿真模拟与多孔介质模型	107
3.2.4	模拟实验区风场数据观测与模拟	110
3.2.5	计算区域和网格划定	120
3.2.6	模拟结果分析	123
3.3	杭州城西城市风道量化模拟	125
3.3.1	研究区域概况	125
3.3.2	通风潜力评价	127
3.3.3	风道潜力模拟	135
3.3.4	基于风道模拟的城市设计优化	144

第4章 街区尺度城市风道通风效果的量化分析

4.1	街区尺度城市风道通风效果的量化模拟	150
4.1.1	不同类型城市风道三维空间模型构建	150
4.1.2	不同类型城市风道风场的CFD三维量化模拟	151
4.1.3	风道规划指标参数化	174
4.1.4	城市风道通风效果的改善策略	175

4.2	不同规划设计条件下城市住区通风效果模拟	177
4.2.1	典型板式城市住区通风效果模拟分析	177
4.2.2	城市住区风环境优化策略	196
4.3	建筑形态对城市风道通风效果影响的量化分析	196
4.3.1	数据来源及研究方法	199
4.3.2	建筑形态参数与模拟风速空间分布	202
4.3.3	不同高度的建筑形态参数对通风效果的影响	205
4.3.4	结论与讨论	210
第5章	城市风道量化纳入城市规划设计与管理体的策略	
	和方法	212
5.1	气候适应性城市设计研究进展	212
5.2	城市通风纳入城市总体设计编制的策略和方法	214
5.2.1	前期研究阶段	215
5.2.2	中期编制阶段	217
5.2.3	后期审批阶段	220
5.3	城市通风纳入城市规划管理的策略和方法	221
第6章	总结与展望	224
6.1	总结	224
6.1.1	城市尺度	224
6.1.2	城区尺度	226
6.1.3	街区尺度	227
6.1.4	街道尺度	228
6.2	本书的创新及后续研究展望	229
6.2.1	本书的创新	229
6.2.2	后续研究展望	229

第 1 章 绪 论

1.1 研究背景及意义

1.1.1 研究背景

1. 城市化使得城市气候环境问题日益严重

近年来,我国城镇化进程不断加快,截至 2018 年,我国的城镇化水平已经达到 59.58%。城镇化进程将越来越多的原城郊人口纳入城市,城区建设规模不断扩大,越来越多的自然土地转变为城镇建设用地。城镇化建设引发的城市环境问题日益突出,严重威胁了人类的生存和发展。其中,城市热岛效应和城市空气污染尤为突出,已成为城市规划建设需重点考虑的问题。

城市热岛效应是城市热环境恶化的突出表征。城市热岛效应是指因下垫面热属性的改变、人为热排放以及建筑物和道路等吸热体的增加而导致城市温度明显高于外围郊区的现象。近年来,我国大城市的城市热岛效应愈发汹涌,夏季持续高温的现象频发。这从图 1-1 所示的 1951—2016 年杭州市全年平均气温变化趋势就可见一斑。高温热浪不仅出现在传统的“火炉”城市中,而且已逐渐蔓延至全国各地。城市热岛效应引发的城市热浪以及持续的高温天气不仅给公众的身心健康和社会的经济发展带来不可低估的损害,而且会导致干旱、供水困难、易发生火灾以及极端天气的增加。

首先,城市热岛效应会降低城市居民的生活舒适性,引发或者加剧一

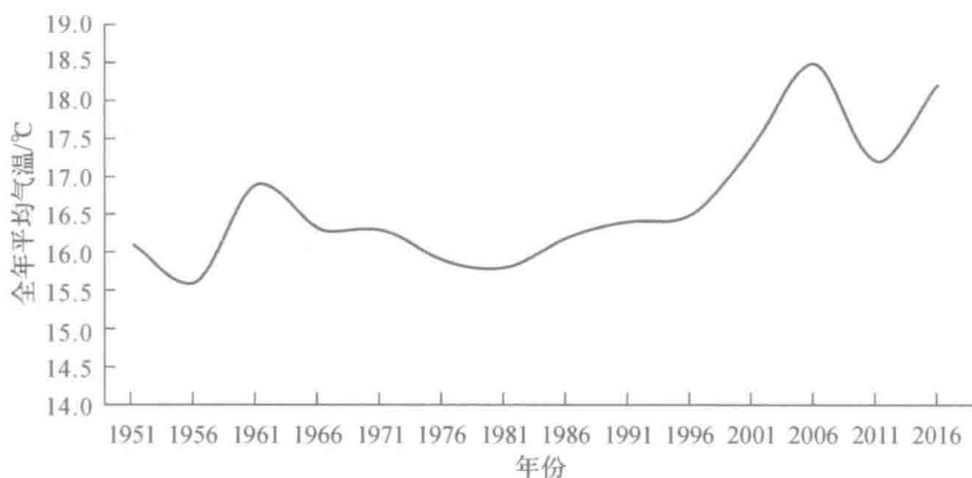


图 1-1 1951—2016 年杭州市全年平均气温变化趋势

些生理或者心理上的疾病。有相关临床医学试验证明,环境温度可以影响人体的生理活动。环境温度在 28°C 以上时,人体会产生不适感,可能会出现消化系统方面的疾病,表现为食欲不振、消化能力下降以及溃疡疾病等。随着环境温度的进一步升高,人们还会出现烦闷焦躁、抑郁不振、记忆减退、神经官能征、精神紊乱等神经系统疾病。当环境温度高于 34°C 时,极易造成人体中暑,并增加心脑血管和呼吸系统方面疾病的发病率,死亡率也会随之上升^①。

其次,城市热岛效应还会增加城市的水电消耗,造成水电供应紧张,给城市经济带来损失。当城市所处的整体环境温度升高时,各种制冷设备将长时间处于工作状态。这不仅会增加水电能耗,而且产生的废热会进入大气中。随着温度的升高,水分的蒸发流失更加严重,城市生产、生活、景观以及绿化用水量都会显著增加。

再次,城市热岛效应还会加剧空气污染,使城市雾霾更加严重。随着空气温度的升高,空气中的部分气体会发生化学反应而形成光化学烟雾。这不仅加重了空气污染,而且会危害人体健康。缓解城市热岛效应已成为当务之急。

城市雾霾是近年来愈来愈严重的另一大城市环境问题。雾霾是空气

^① 张逢生,王雁,闫世明,等. 浅析城市“热岛效应”的危害及治理措施[J]. 科技情报开发与经济,2011,21(32):147-149.

中大量悬浮微粒与气象条件共同作用的结果,是空气污染较严重的状态。不合理的土地利用和城市扩张会导致城市风道受阻,使得途经市区的风速和强度都有所下降,静风频率增加,污染物难以扩散,从而导致城市雾霾的形成。雾霾不仅会影响人的呼吸系统,诱发呼吸道疾病、鼻腔炎症等疾病,还会降低空气能见度,易导致严重的交通事故,迫使高速封道、航班延误或取消,给公众的正常生活造成严重影响。

另外,城市热岛环流还会增强城区与郊区之间的空气对流,使得降水更易集中在城区,从而增加城市的雨涝排放负担。

城市风道研究的主要目的之一就是缓解城市热岛效应及城市雾霾,进而更好地缓解其所带来的各种危害。由于大气具有自我净化能力,而风作为影响大气污染自然净化的主要因素之一,具有重要作用^①。在城市无风或静风的条件下,由于大气流动困难,污染物积累浓度高,城市污染往往是最严重的。加强自然通风是改善城市热环境相对有效的途径之一。研究表明,通风是仅次于遮阳的改善热环境的途径^②。城市通风能够带走城市中的热量与各种污染物,从而释放城市热量并降低污染物浓度^③。由此可见,城市风道缓解空气污染、增强城市通风自净能力的作用尤为重要。因此,城市风道研究对缓减城市化带来的城市气候生态环境问题十分重要。

2. 新型城镇化、节能减排及提升城市人居环境的需求

新中国成立以来,持续高速的城镇化进程及粗犷的发展方式带来了一系列城市社会与环境问题,例如:(1)土地城镇化超越人口城镇化,基本农田不断被侵占;(2)过度依赖和开发石油、煤炭等传统能源,导致能源和资源枯竭;(3)公众的生态环保以及节能意识薄弱,导致长期大规模采用高污染、高耗能、高排放的生产模式等。党的十八大正式提出了“新型城

① 李宗恺,潘云仙,孙润桥. 空气污染气象学原理及应用[M]. 北京:气象出版社, 1985:35-58.

② 张磊,孟庆林,赵立华,等. 湿热地区城市热环境评价指标的简化计算方法[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2008,36(11):96-100.

③ 徐小东. 基于生物气候条件的城市设计生态策略研究:以冬冷夏热地区城市设计为例[J]. 城市建筑,2006(7):22-25.

4 城市风道量化模拟分析与规划设计

镇化”概念。2012年12月中旬召开的中央经济工作会议首次提出要“把生态文明理念和原则全面融入城镇化全过程,走集约、智能、绿色、低碳的新型城镇化道路”。新型城镇化必须坚持可持续的发展观,关注和探索绿色健康、生态文明、低碳转型的发展之路^①。《国家新型城镇化规划(2014—2020年)》对城镇化提出了明确要求,即“生态文明、节约集约、绿色低碳”,提倡绿色生产、绿色消费的新观念。

随着城市的发展以及经济的增长,城市能源的消耗不再局限于生产领域。城市人口规模的扩大、居民生活条件的改善、经济的增长以及空间的扩张都在能源消耗中占据重要份额。能源消耗增大的最直接后果是碳排放压力增大,大量的二氧化碳、废热以及污染物排入大气中,给城市环境和公众的生活带来巨大影响。2013年,中国的碳排放量达到100亿吨,超过美国与欧盟的总和,成为全球碳排放量最大的国家。为了抑制全球变暖,控制碳排放量,在全球范围内各国签署了一系列公约或协议(见表1-1)。

表 1-1 全球范围内签署有关环保的公约或协议

年份	1992年	1997年	2007年	2009年	2016年
名称	联合国气候变化框架协议	京都议定书	巴厘路线图	哥本哈根议定书	巴黎协定

在全球减排的背景下,中国也做出相关承诺并制订了计划。在2016年4月22日《巴黎协定》签署仪式上,中国成为首批签署协议的国家,与其他各国共同承诺将全球气温升高幅度控制在 2°C 以内。我国的“十三五”规划纲要指出,要大幅度降低能源消耗和二氧化碳排放强度,将能源消费总量控制在50亿吨标准煤以内,并制订城市空气质量达标计划,严格落实约束性指标。良好的城市通风环境能间接地促进城市能源消耗的减少。降低空调的使用率、发展绿色建筑等,也将推进低碳城市的建设,有效促进城市向资源节约、环境友好的方向持续发展。

随着居民生活水平的提高,人们对生活环境的要求也在日益提高。

^① 单卓然,黄亚平.“新型城镇化”概念内涵、目标内容、规划策略及认知误区解析[J].城市规划学刊,2013(2):16-22.

环境质量已经成为人们重点关注的问题。问卷统计显示,96.5%的居民认为我国当前的环境问题比较严重,83.4%的城市居民对生活环境质量较为关注^①。1999年李莹等利用意愿调查价值评估法分析了北京市居民为改善大气环境质量的支付意愿。结果表明,居民为降低50%的污染物浓度总的支付意愿是3.36亿元/年,平均支付意愿是143元/(户·年)^②。学者们有关改善城市环境的支付意愿的研究结果充分显示了居民对提升城市环境、人居环境的迫切要求。

3. 城市规划和管理部门对城市风道研究的重视

如何控制快速城镇化进程所带来的负面环境效应,以应对气候变化所带来的不良影响和满足城市居民的宜居性和舒适度需求,是城市规划和管理部门必须要面对的重要课题。2016年2月,国家发展改革委与住房和城乡建设部联合印发了《城市适应气候变化行动方案》,明确提出要“打通城市通风廊道,增加城市的空气流动性,缓解城市‘热岛效应’和雾霾等问题”,并提出到2020年建设30个适应气候变化的试点城市。同年,住房和城乡建设部和生态环境部联合发布了《全国城市生态保护与建设规划(2015—2020年)》,明确提出了城市生态空间保护与管控目标及重点工程。无论是政策热度还是实施力度,风道规划在国家的顶层规划中都已受到高度重视。

4. 城市风道的规划建设缺乏定量分析的支撑

早在20世纪80年代,德国气象部门已经针对土地利用变化与城市气候环境变化之间的关系开展研究,并制作了城市环境气候图以指导城市生态环境方面的建设管理。进入20世纪90年代之后,德国工程师协会委员会制定了有关城市环境评估的指导意见《VDI3787》和技术标准,其涉及风环境评估与规划应用方面。在20世纪90年代,日本也展开了城市气候环境与规划应用相结合方面的研究。21世纪之前,大部分相关研究主要集中在城市热环境的模拟上。进入21世纪之后,人们逐渐将研究

① 顾程亮.城市居民对改善环境质量的支付意愿研究[D].南京:中共江苏省委党校,2016.

② 李莹,白墨,杨开忠,等.居民为改善北京市大气环境质量的支付意愿研究[J].城市环境与城市生态,2001,14(5):6-8.

重心转向城市风环境,总结出了“风、绿、水”的概念^①。与此同时,学术界开始由研究大尺度城市气候模型转向小尺度建筑气候模型,并且引入数值模型对建筑物风环境以及风场参数进行模拟。目前国外对城市风道的研究已经由定性分析进入到数值仿真模拟的阶段。国内应用数值仿真模拟技术进行城市风道研究起步较晚。香港特别行政区规划署于2003年就较早地开始对香港地区的空气流通状况进行评估,并将研究成果纳入了相关规划标准中。其他如武汉、北京、长沙、西安和杭州等城市也陆续开展了城市通风环境方面的研究,提出了一些改善城市风环境的建议。另外,有学者致力于对城市风道构建的定性分析,如朱亚斓等提出从城市外部空间形态、边缘空间结构以及总体规模等方面构建城市风道^②。得益于计算机技术的发展,越来越多的学者可以基于高性能计算机以及云服务平台,运用CFD、WRF、GIS以及MATLAB等软件对不同尺度的城市通风环境进行模拟。但是,目前学术界对于城市风道量化模拟以及规划建设指标参数化方面的研究较少,而这方面的研究对于城市风道的实施具有关键意义。面对城市环境不断恶化的局面,开展相关方面量化研究的重要性日益显现。

早期的城市风道理论是在城市大气环境不断恶化的现实困境中,被动地分析城市气候环境而产生的。德国在对城市气候环境进行评价方面积累了丰富的经验,并将分析成果用于指导土地利用规划和建设规划。日本在学习德国的基础上,通过分析城市风热环境而提出了利用水体、绿带以及海风来构筑“风之道”的方法。

1.1.2 研究意义

在现有技术条件下,国外已经能够成熟运用相关理论对城市风环境和热环境进行模拟分析,并且建立了完整的理论体系和技术体系。我国虽然在这方面的研究起步较晚,但是依托于国外成熟的理论体系,很多城

① 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.

② 朱亚斓,余莉莉,丁绍刚.城市通风道在改善城市环境中的运用[J].城市发展研究,2008,15(1):46-49.

市已经陆续开展了与城市风道相关的研究。但是,这些研究主要集中在风环境评价层面,多为定性分析,定量分析中也较少涉及城市风道量化模拟以及规划建设指标的参数化。

1. 理论意义

城市通风廊道(以下简称“城市风道”)规划即在城市中建设生态绿色走廊或在城市的局部区域打开一个通风口或廊道。城市风道规划的目的是利用温差效应及风的流体特征,将郊区洁净的空气导入城市,并将城市中受污染的空气随风稀释排出,从而起到缓解城市热岛效应和减少城市雾霾的作用。目前,部分国家针对城市风道已有相对成熟的理论以及相关的技术和规划制度,为城市风道的建设提供有力支撑。如德国从20世纪80年代起就致力于此研究,经过多年的摸索和实践,形成了完善的通风廊道构建体系,并将其纳入建设指导规划之中,逐步运用于城市总体规划与土地利用规划中。而我国对城市风道的研究尚处于起步阶段,尚未形成相对完善的制度体系。传统的城市风道规划,主要考虑城市空间布局的合理性以及对建筑关系的科学处理,在总体规划层面上以理论分析、定性为主,确定城市风道的总体布局方案。其定量研究只是停留在住区或建筑的单体尺度上。而且由于缺乏城市三维空间模型与数值模拟分析技术的支撑,目前的城市风道规划很少有定量的分析与三维空间模拟,很难向控制性详细规划和城市设计的层次与深度推进,也难以将规划真正落实。因此,到目前为止,我国城市风道规划的理论与方法尚处于不够系统、不够全面及缺乏定量化分析与科学性的状态。本研究基于归纳总结当前国内外通风廊道的理论基础,提出定性分析与定量分析相结合的城市风道构建方法,具有相对较高的可信度。

城市风道作为缓解城市热岛效应和雾霾的有效方法之一,可以为城市规划和管理提供有力依据,增加规划的前瞻性,有助于使规划设计的理念和价值向更科学、合理的方向发展,使其成为名副其实的环境友好型规划。

从生态环境角度看,城市风道主要有以下六个方面的作用:

(1)缓减热岛效应。城市热环境是城市人居环境的重要组成部分,关系到城市居民的环境舒适度和生活质量。

(2)改善大气污染。风是影响城市大气污染自然净化的主要因素。快速城镇化带来大量废气,这些漂浮在大气中的污染物质不仅降低了城市的空气质量,也阻碍了城市热量的散发。要保持较高的空气质量,城市中的污染物需要通过风来迅速稀释扩散。

(3)防治流行疾病。已有研究表明,城市内部良好的通风环境是一种能有效抑制易通过空气传染且传染性强的流行病传播的重要方法。

(4)降低能源消耗。高温环境导致城市能源消耗增大,使得供水、供电紧张。它不仅消耗了大量的能源,增加城市发展的成本,也给城市居民的生活和工作造成了严重影响。

(5)提供休憩场所。通过风道规划可降低城市的开发强度,带动公园、绿道等生态基础设施建设,为城市居民提供理想的休憩场所。

(6)预留发展空间。结合城市规划和环境保护规划,划定生态红线,城市风道规划可以保护绿水青山,为城市未来发展预留空间。

2. 实践意义

近年来,随着城市规模的不断扩张和公众对生活质量要求的日渐增高,城市建筑愈加密集,机动车保有量逐渐增长,空调使用频率越发频繁,能源消耗也越来越大,由此引发的城市热岛效应和浊岛效应也愈加严重,城市产生的热量已经不能完全由自身的循环系统排出,城市上空聚集的污染物也无法顺利扩散。这些严重影响了城市的热环境和空气质量。风是流动的气体,是自然界气候环境的重要构成因素之一。合理有效地利用风的作用,可以有效改善城市微环境,缓解城市热岛效应和浊岛效应,提高城市的人居生活环境。

城市风道的建立对城市气候的调节和空气污染的治理具有重要作用。城市风道通过输送、切割以及散热作用,打破了城市热岛环流,有助于城郊凉爽气流的渗入,增强城内空气的流动性,改善城市热环境。具体表现为:

(1)输送作用。将城郊的新鲜空气和冷空气以风的形式输送至市区,以达到平衡市区与郊区的温差、缓解城市高温的目的。

(2)切割作用。通过绿廊、水廊等大尺度廊道切割城市热场,缓和城

市热场的辐射作用,以达到消除热岛的规模效应和叠加效应的作用^①。

(3)散热作用。城市风道多为河道、绿地、林荫大道等,本身就具备散热降温的功效,有利于增强城市内的蒸发作用和蒸腾作用,能有效改善城市微气候。

风向和风速与城市空气污染息息相关。风向决定了污染物的输送方向。通常污染源的下风向的污染程度比上风向更严重。风速则决定了空气中污染物的稀释扩散程度,风速越大,对污染物的稀释作用也就越强,空气中的污染物的浓度也就越低。合理的城市风道规划能改善城市风环境,吹散聚集在城市穹形尘盖中的污染物,降低城市热岛效应,达到治理城市空气污染的作用。此外,城市风道多采用绿地、景观的布设形式,可着重培植吸附作用强的植物,吸附空气污染物中的固态或液态微粒,改善空气质量。

与全球气候变暖、冰川融化以及海平面上升等气候性灾难相比,城市热岛效应给在城市中生活的人们以更加强烈的感官冲击。城市热岛效应会危及人们的身心健康,造成城市经济损失,并加剧城市空气污染。人类社会由工业时代、电气时代逐渐进入到信息技术时代,科学技术也随之迅猛发展。与此同时,能源消耗量也逐渐增加,由此产生的温室气体、烟尘颗粒以及其他污染物质进入到空气当中,形成雾霾,对人们的身心健康、空气环境、农业生产和交通运输安全构成严重威胁。城市风道能够利用空气的流体特性以及热力学特征差异疏散城市中受污染的热空气,引入新鲜洁净的冷空气,从而缓解城市热岛效应和减少城市雾霾。

新型城镇化本质上还是城镇化,其结果是大量的人口进入城市中,并且带动土地的城镇化。其催生了城市就业和经济发展,也带来了城市热岛效应和城市雾霾等环境问题。这些环境问题的出现表明城市的生态环境承载力已经出现过饱和现象,同时也是提醒城市管理者及时改善城市通风环境质量的信号。节能减排是对城市可持续、低碳、健康的发展提出的要求。城市热岛效应和城市雾霾因其会增加城市能耗和破坏城市环境而成为急需解决的问题。改善城市通风环境质量、提高城市的生态环境

^① 陶康华,陈云浩,周巧兰,等. 热力景观在城市生态规划中的应用[J]. 城市研究, 1999(1):20-22,63.