

建筑及城市风道对城市通风的影响

田凯强¹, 卢照亮¹, 刘庆宽^{2,3}

(1. 石家庄铁道大学 土木工程学院, 河北 石家庄 050043;

2. 石家庄铁道大学 大型结构健康诊断与控制研究所, 河北 石家庄 050043;

3. 河北省大型结构健康诊断与控制重点实验室, 河北 石家庄 050043)

摘要:近年来,雾霾问题逐渐成为严重困扰我国北方局部区域人们正常工作和生活的因素之一。为了解决雾霾问题和改善城市通风效果,除了减排之外,控制楼房高度、规划建设城市风道也被作为建议见诸报道,其真实效果值得研究。利用建筑结构荷载规范,分析了不同粗糙度类别下不同高度处的风速分布,将田野乡村和城市地貌上的风速进行对比,分析了城市建筑对风速降低的程度,并探讨了城市风道的作用,发现无论是降低城市建筑的高度,还是开辟城市风道,对地表附近风速的增大效果十分有限。

关键词:城市建筑;城市风道;城市通风;建筑结构荷载规范

中图分类号:TU834.1 **文献标志码:**A **文章编号:**2095-0373(2018)02-0010-05

0 引言

自2001年以来,雾霾问题逐渐成为严重困扰我国局部地区人们正常工作和生活的因素之一^[1]。相关统计研究表明,我国严重雾霾现象在空间上呈现出东多西少的分布,主要的高值区集中在长江中下游、华北和华南这3个经济比较发达的地区,其中京津冀地区为中国雾霾最严重的地区^[2-3]。并且,我国雾霾现象还随季节变化,其中冬季为雾霾最严重的时段,春秋季节次之,夏季最少^[4]。2016年入冬以来,河北多地空气质量“爆表”,石家庄市PM_{2.5}指数超1 000。雾霾不仅对人体产生严重危害,还会对工业企业的生产活动、交通运输业等造成巨大的损失。为了治理雾霾,人们提出了许多措施,如企业排污治理、关闭某些重型污染企业、交通限行、建筑施工停止等等。其中有人建议控制城市楼房高度、规划城市风道,通过改善城市的通风,来减小城市的雾霾。无论是针对旧城的改造,还是针对新城区的规划,城市风道的投入都十分巨大,而城市风道的改善对城市通风效果具体如何,目前尚缺乏定量的研究。本文利用建筑结构荷载规范中关于风速沿高度的分布规律,分析了城市建筑和城市风道对风速的影响。

1 城市风道的概念

“城市风道”也叫做“空气引导通道”,是指空气动力学粗糙度较低、气流阻力较小的区域,在城市中,具有顺应城市主导风向、下垫面粗糙度较低、绿化条件好等特点的空间都可以作为城市风道的组成部分^[5-6],如水系、绿化带、道路等。

在20世纪80年代德国卡塞尔大学Katzchner教授开始了“理想城市气候”计划研究,并且提出了在新区规划中建立风环境及风流通系统的概念^[7]。日本从20世纪80年代开始关注风环境,并在2007年完成了“风之道”研究报告^[8],详细介绍了城市风道。我国在城市风道方面的研究始于20世纪80年代末,任超等^[9]针对城市风道在城市规划中的应用展开了详细地讨论,总结了城市风环境评估与城市风道设计策

收稿日期:2017-01-11 责任编辑:车轩玉 DOI:10.13319/j.cnki.sjztdxxb.2018.02.03

基金项目:国家自然科学基金(51308359);河北省高等学校科学技术研究基金(QN20131169, QN2015213)

作者简介:田凯强(1990—),男,硕士研究生,主要从事结构的风荷载、风致振动与控制研究。E-mail:15512469052@126.com

田凯强,卢照亮,刘庆宽.建筑及城市风道对城市通风的影响[J].石家庄铁道大学学报:自然科学版,2018,31(2):10-14.

略,并就我国城市气候规划应用现状提出建议;李军等^[10]通过分析雾霾及其形成原因,认为城市风道是改善城市大气环境低碳、生态、有效的手段,并基于此提出了相应的城市风道建设控制设计指引。除了理论研究以外,一些城市进行城市风道规划建设的提议也见诸报道,例如 2013 年杭州市规划、环保等部门研究,希望建一个“城市风道”,通过城市风道,把郊外的风引入主城区,把空气中的雾霾吹走;南京 2014 年年初通过了《南京大气污染防治行动计划》,在江南和江北各规划了 3 条通风走廊,并计划 2015 年年底划定城市通风廊道^[11]。

除去作为城市风道的河道和绿化带本身的降温的功能、以及由于风道和周边具有温度差形成的空气微循环之外,城市风道对城市通风的作用是假定在城外郊区有风的情况下,城市风道能减弱对风的阻碍作用,使得空气能够吹进或者贯穿城市,从而驱散城市空气中的污染物,达到净化空气的目的。为了研究城市风道的真实效果,需要明确两个方面的内容,其一是城市建筑能在多大程度上阻碍空气的流通,或者说降低从市外吹来空气流动速度的程度;其二是城市风道上风速比非风道上风速的提高比例。城市风道相当于为城市开辟出一条“窄峡谷”,在风道入口附近存在“峡谷效应”,风速急剧增大,但随着城市风道深度的增加,地面及两侧建筑群的摩擦效应的影响越发突出,使得在风道延伸至一定距离后,风速基本上不再变化,“峡谷效应”近似消失。因此针对第一个问题,利用建筑结构荷载规范中关于地表粗糙度和风速的规定,对城市风道对城市通风的影响进行分析和探讨。

2 风速沿高度的变化规律及规范规定

在大气边界层中,风速随地面高度增加而增大。当气压场随高度不变时,风速随高度增大的规律主要取决于地面粗糙度和温度垂直梯度,通常认为在离地面高度为 300~550 m 时,风速不再受地面粗糙度的影响,即达到了“梯度风速”,该高度称之为梯度风高度 H_G ^[12]。从工程应用的角度,风速随高度的变化规律采用统一的风速剖面,以开阔平坦地面上 10 m 高度处的风速为基准,梯度风高度内任意高度风速与同高度的关系式如下

$$v_z = v_{10} \left(\frac{z}{10} \right)^\alpha \quad (1)$$

式中, v_{10} 为开阔平坦地面上 10 m 高度处的风速; v_z 为高度 z 处的风速; α 为粗糙度指数。

建筑结构荷载规范规定地表粗糙度分类和粗糙度指数如表 1 所示。

表 1 地表粗糙度的分类

地表粗糙度类别	地表状况	幂指数 α	梯度风高度 H_G
A	近海海面 and 海岛、海岸、湖岸及沙漠地区	0.12	300
B	田野、乡村、丛林、丘陵以及房屋比较稀疏的乡镇	0.15	350
C	类指有密集建筑群的城市市区	0.22	450
D	只有密集建筑群且房屋较高的城市市区	0.30	550

确定实际某区域的地貌类别时,可以通过实测数值,或者通过如下原则确定:以拟建房屋为中心、2 km 为半径的迎风半圆影响范围内建筑物平均高度 h 来划分地面粗糙度类别,当 $h \geq 18$ m,为 D 类; $9 \text{ m} \leq h < 18$ m,为 C 类; $h < 9$ m,为 B 类;海面、海岛、海岸及沙漠地区为 A 类。影响范围内建筑物不同高度的面域确定原则:每座建筑物向外延伸距离为其高度的面域内均为该高度,当不同高度的面域相交时,交叠部分的高度取大者;平均高度取各面域面积的权数计算。

我国大部分地区出现的严重雾霾现象都是中等尺度以上的天气现象,但由于计算条件的限制,本文仅以某大城市中高楼相对密集的某小区为例进行地面粗糙度类别的计算和划分,选择小区内四边街道环绕的区域为研究对象,其三维地图如图 1 所示。该研究区域有多层住宅 8 栋(图右上),30 层住宅 3 栋(图左上),25 层和 30 层连体住宅 2 栋(图左下),25 层住宅 5 栋(图下中 3 栋和左上 2 栋),14 层公寓 1 栋(图右下),供热厂房 2 栋和多层的幼儿园、宾馆各 1 栋。根据规范中的方法算得用于地面粗糙度划分的建筑平均高度为 10.5 m,属于 C 类地貌,但是由于其平均高度较小,接近 B 类地貌的上限。



图 1 某小区三维地图

3 不同地貌类别上风速沿高度的分布

假定城市之外的郊区为开阔平坦的地面,即规范中的 B 类地貌,进入城区为 C 类地貌,市中心或者部分区域有可能高楼大厦密集,属 D 类地貌。以 v_{10}^B 表示 B 类地貌 10 m 高度处的风速,根据规范,依照吹过同一城市上空梯度风高度及以上的风速相同的原理,由公式(1)和表 1 得出四类地貌任意高度 z 处的风速同 v_{10}^B 的关系为

$$v^A = 1.133 \times \left(\frac{z}{10}\right)^{0.12} v_{10}^B \quad (2)$$

$$v^B = 1.000 \times \left(\frac{z}{10}\right)^{0.15} v_{10}^B \quad (3)$$

$$v^C = 0.738 \times \left(\frac{z}{10}\right)^{0.22} v_{10}^B \quad (4)$$

$$v^D = 0.512 \times \left(\frac{z}{10}\right)^{0.30} v_{10}^B \quad (5)$$

根据式(2)~式(5),计算同样高度处 C 类地貌同 B 类地貌上的风速相对差别,和 D 类地貌同 B 类地貌上的风速差别,见表 2 所示。

表 2 C、D 两类地貌与 B 类地貌的相对风速差

高度/m	C、B 地貌相对风速差	D、B 地貌相对风速差
	$\frac{v^B - v^C}{v^B} \times 100\%$	$\frac{v^B - v^D}{v^B} \times 100\%$
10	26.2	48.8
20	22.5	43.2
50	17.4	34.8
100	13.3	27.7
200	9.0	19.8
300	6.4	14.7
400	2.5	9.2
500	0	2.9

值得说明的是,规范中规定 C 类地貌和 D 类地貌剖面起始高度(C 类 15 m,D 类 30 m)以下的风速均

等于剖面起始高度处的风速^[13],这里为了简便说明问题,统一按照公式(1)计算,并未考虑剖面起始高度的影响。

4 建筑高度和城市风道作用的探讨

通过前面的分析可知,百米高度左右的住宅和多层住宅混合的区域,可以认为是 C 类地貌(建筑平均高度接近 B 类地貌的上限)。即使是大城市,属于 D 类地貌的区域也相对较少,因此这里仅讨论 B 类地貌(城市外开阔平坦的田野乡村和房屋稀疏的乡镇)和 C 类地貌之间的差别。

由表 2 可知,B 类地貌和 C 类地貌之间风速的差别随高度的增加而减小。分别考察 10 m、100 m、300 m 处的风速可知,将一座原本属于 C 类地面粗糙度的城市的楼房全部搬除,变为田野乡村或者房屋稀疏的乡镇(B 类地貌),上述 3 个高度处的风速仅仅分别增大 26.2%、13.3%、6.4%,可见局部改变楼房高度,对整体通风效果的改善是十分有限的。

上述计算是根据规范,针对某个区域的整体平均风速进行的,在不改变该区域地面粗糙度的情况下,局部楼房的改变(如开辟出城市风道),无法改变该区域整体的风速。

如果城市风道在改善城市的空气质量方面能起有效作用,需要如下几个前提:

(1)城市外有风。对于华北地区若干次严重雾霾事件,整个区域都处于无风状态的情况,城市风道不会有任何效果。

(2)如果城外的风速足够小,吹到城市里,在没有城市风道时,受到建筑的阻挡,风速降低到低于驱动污染空气的风速阈值,无法吹走污染空气,而这时城市风道将建筑的阻挡作用在一定程度上减弱(如表 2 所示),来风正好能吹走污染空气,城市风道起作用;如果城外的风速足够大,即使受到建筑物的阻挡依然能吹走污染空气时(如冷空气南下之时),城市风道的作用也可忽略。

(3)污染源或者污染的空气仅在城市里,城市外的空气质量是好的。如果污染源处于风的上游,有风时反而会将污染物吹进城市。

通过上述分析可知:无论是降低城市建筑物的高度,还是开辟城市风道,对于提高城市整体通风的效果都是十分有限的。考虑到无论是对于既有城市的改造,还是新建城市的规划,涉及拆迁和大量占地的城市风道,其代价将十分巨大,在这种情况下,进行城市风道规划和建设之前应全面科学论证其效果。

5 结论

利用建筑结构荷载规范,分析了不同粗糙度类别下不同高度处的风速分布,以田野乡村(B 类地貌)和城市(C 类地貌)为例,分析了城市建筑对风速的影响,并探讨了城市风道的作用,发现无论是降低城市建筑的高度,还是开辟城市风道,对地表附近风速的增大效果都十分有限;如果考虑雾霾天大区域内没有风,以及污染源同城市的相对位置等具体问题,城市风道的作用将更加有限。无论是对于既有城市的改造,还是新建城市的规划,涉及拆迁和大量占地的城市风道,其代价将十分巨大,在其通风效果不明确的情况下,进行城市风道规划和建设之前,建议全面并科学合理论证其作用和效果。

此外,本文是根据规范内平均风速剖面的统计规律,针对某个区域的整体平均风速进行分析的。但对于城市而言,与人类活动紧密相关的城市冠层以内的风的运动规律是紊乱复杂的,一般并不符合指数或对数规律,因此,城市冠层内的紊流风场运动特性对于城市风道的研究十分有必要,将是今后研究的主要方向。

参 考 文 献

- [1]穆泉,张世秋. 中国 2001—2013 年 PM_{2.5} 重污染的历史变化与健康影响的经济损失评估[J]. 北京大学学报,2015, 51(4):694-704.
- [2]高歌. 1961—2005 年中国霾日气候特征及其变化分析[J]. 地理学报,2008, 63(7): 761-768.
- [3]孙彧,马振峰,牛涛,等. 最近 40 年中国雾日数和霾日数的气候变化特征[J]. 气候与环境研究,2013, 18(3): 397-406.
- [4]吴兑,吴晓京,李菲,等. 1951—2005 年中国大陆霾的时空变化[J]. 气象学报,2010, 68(5): 680-688.
- [5]李军,荣颖. 城市风道及其建设控制设计指引[J]. 城市问题,2014,16(9):42-47.

- [6]席宏正, 焦胜, 鲁利宇. 夏热冬冷地区城市自然通风廊道营造模式研究[J]. 城乡规划, 2010, 10(2): 106-107.
- [7]Kress R. Regionale air exchange processes and their importance for the R • Umliche planning[M]. Dortmund: Institute of Environmental Protection of the University of Dortmund, 1979.
- [8]八都县市首脑会议环境问题对策委员会干事会. “风之道”调查研究—调查报告书[R]. 日本: 八都县市首脑会议环境问题对策委员会干事会, 2007.
- [9]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, 10(3): 52-60.
- [10]李军, 荣颖. 城市风道及其建设控制设计指引[J]. 城市问题, 2014, 16(9): 42-47.
- [11]段昊书, 李竞. “城市风道”可引风驱霾[N]. 中国气象报, 2014-07-04.
- [12]中华人民共和国住房和城乡建设部. GB 50009—2012 建筑结构荷载规范[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2012.
- [13]中华人民共和国住房和城乡建设部. JGJ/T 338—2014 建筑工程风洞试验方法标准[S]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014.

The Effect of Buildings and Air Path on City Ventilation

Tian Kaiqiang¹, Lu Zhaoliang¹, Liu Qingkuan^{2, 3}

(1. School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

2. Structural Health Monitoring and Control Institute, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuang 050043, China;

3. Hebei Province Key Lab of Structural Health Monitoring and Control, Shijiazhuang 050043, China)

Abstract: Haze has gradually become one of the most concerned problems in recent years, and has seriously plague the normal work and life of people in northern China. In order to solve haze problem and improve city ventilation, buildings height control and air path construction have been reported as solutions besides carbon emission reduction, while their effects are worth studying. By use of the load code for the design of building structures, wind velocity distribution in different height under different terrain roughness was analyzed. The wind velocity in country and city were compared, and the effect of city buildings on reduction degree of wind velocity was analyzed. Moreover, the effect of air path was discussed. Results show that either reducing the height of urban buildings or opening up urban air ducts, the effect on increasing wind speed near the ground is very limited.

Key words: city building; air path; city ventilation; load code for the design of building structures

(上接第 5 页)

edge-crack and the fracture process zone, the stress functions of four kinds of basic problems are chosen, including the infinite plate with symmetrical edge cracks under bending moment and tensile stresses, the simply supported beam under the uniform load, the semi-infinite plate under distributed shear stresses, and the infinite plate under distributed shear stresses tensile stress. Based on the Duan and Nakagawa's model, a group of analytic solutions of a simply supported beam with the fracture process zone is yielded through mathematical analysis and point selection method. The obtained tensile strain softening curves and natural vibration frequencies of the simply supported beam are compared with the different cohesive distribution with water pressure type, constant type, and the assumed weight function being linear in fracture process zone. The tensile strain softening curve of the water pressure distribution is similar to the one under the linear weight function. The frequency of non-cracked simply supported beam is the biggest; the cohesion constant type is the second; and the water pressure type of cohesive and the one under the linear weight function are the lowest.

Key words: simply supported beam; fracture process zone; stress function; tensile strain softening curve; natural vibration characteristics