

胡辉<sup>1</sup> 陈佳欣<sup>1</sup> 余玲<sup>1</sup> 刘立<sup>1</sup> 邢攀<sup>1</sup> 梁胜文<sup>2</sup>

# 武汉城市区域水陆风环流的形成与转化特征研究

## 摘要

大气细颗粒物 PM<sub>2.5</sub> 污染引起的雾霾天气既与本地污染物排放密切相关,也受局地特殊的风场影响.本文以武汉城市区域为研究对象,分别研究了长江沿岸的江陆风环流、东湖沿岸湖陆风环流的形成与转化特征,发现江风、湖风开始时间均为 07:00—08:00,一年中最大风速均能达到 2 m/s 左右,而春夏季江风的持续时间高于秋冬季,夏季湖风的持续时间高于春季.同时发现区域附近温度和相对湿度之间有明显的相关性,湿度变化趋势大体上跟温度变化趋势相反,且温度对相对湿度的影响存在一定的滞后性,延迟时间大约为 1 h.

## 关键词

江陆风;湖陆风;湿度;温度;特征

中图分类号 P425

文献标志码 A

收稿日期 2018-08-10

资助项目 国家重点研发计划(2017YFC02212605);武汉市 2013 年重大科技攻关专项“武汉市大气灰霾成因与来源研究”

## 作者简介

胡辉,男,博士,教授,博士生导师,研究方向为大气污染控制、环境催化材料、碳减排技术.wuhanhuhui@163.com

陈佳欣(通信作者),女,博士生,研究方向为大气污染控制.852395723@qq.com

1 华中科技大学 环境科学与工程学院,武汉,430074

2 武汉市环境监测中心,武汉,430015

## 0 引言

目前,国内外对水陆风环流特征的研究主要集中在海陆风环流.Prtenjak 等<sup>[1]</sup>研究发现克罗地亚海岸的海陆风发生频率在 37%~60% 之间,海风一般出现在早晨 08:00,并持续约 10 h,下午 14:00—15:00 时海风风速达到最大值.荀爱萍等<sup>[2]</sup>研究发现,厦门地区海边站点海陆风日的天数较少,内陆站点的天数较多,这种区别在夏季更加明显.邱晓暖等<sup>[3]</sup>研究发现,华南、长三角、环渤海地区的海陆风特征具有明显的差异性,海风出现时间不同,低纬度较晚.同时,研究还发现,大气污染物的扩散和累积与海陆风环流特征有直接关系.Bouchlaghem 等<sup>[4]</sup>发现海风进入陆地后促使污染物向下游输送,造成下游地区污染物浓度上升.王坚等<sup>[5]</sup>发现 1989—2014 年厦门鼓浪屿环境空气质量受工业污染影响程度的加大,与海陆风环流特征的变化密切相关.赵文龙<sup>[6]</sup>基于 WRF-CMAQ-SMOKE 模式系统,验证了典型时段的海陆风对 O<sub>3</sub> 及其前体物的影响.吴蒙等<sup>[7]</sup>利用局地环流指数方法,发现珠三角地区在海陆风影响下低层风场的有效输送能力较弱,不利于污染物的输送扩散.刘树华<sup>[8]</sup>研究发现,京津冀地区重污染天气的形成与海陆风环流影响有关.

武汉是我国特大城市之一,市内陆地与包括长江、汉江及东湖在内的众多水域纵横交错,使得四季湿度偏大.由于每个相对独立的水域具有自己的湿度场、温度场和风场,形成局地风场环流.然而,目前有关江陆风或湖陆风环流特征的报告很少,而高湿度是形成严重雾霾的必要条件之一.因此,研究武汉城市区域水陆风场的转化特征,对武汉雾霾形成的早期诊断及预警具有重要意义.

## 1 实验仪器及研究方法

为研究武汉长江段和东湖水域的水陆风场环流特征,在位于汉口江滩大气污染物国控监测站点布设自动气象观测设备(锦州阳光气象科技有限公司,型号为 PC-4),记为 A 点(114°30'E,30°95'N);在位于湖北省体育局水上运动管理中心对面的东湖岸边约 20 m 处,布设同样的自动气象观测设备,记为 B 点(114°37'E,30°54'N).观测点位周边环境及设置满足《地面气象观测规范(2004)》对监测点位周边环境条件要求.观测时间为 1 a.

利用气象观测设备的记录数据和 Grapher 软件,研究武汉城市区

域江陆风和湖陆风的发生、发展及转换规律。

## 2 武汉城市区域水陆风环流特征分析

定义  $A$  点的 NE—S 风向范围内的风为江风, 则 SSW—NNE 风向范围内的风为陆风. 当陆风转为江风时开始计时, 直到其转为陆风为止, 期间持续的时间为江风持续时间. 通过对  $A$  点观测数据的统计分析, 得到了  $A$  点区域四季江陆风的开始时间和持续时间等特征. 图 1 是从四季中各选择具有典型特征的江陆风气象日, 绘制的江陆风场变化曲线。

由图 1 可知,  $A$  点汉口江滩区域一年四季的江陆风场具有明显的不同, 四季都受江陆风的影响, 这表明江陆风已经成为长江沿岸地区一种常见的天气现象. 对比图 1 中四季风速可知, 江风的风速明显高于陆风风速, 四季的最大风速都是江风, 分别为 1.5、1.7、2 和 1 m/s, 夏秋季高于冬春季节, 陆风的风速虽小, 但多在 21:00—22:00 左右或 02:00—04:00, 出现陆风的峰值。

表 1 给出了  $A$  点江风和陆风春夏秋冬四季的基本特征. 从表 1 可知, 江风开始时间在 07:00—08:00, 其中冬季江风开始时间相对春夏秋季节偏迟; 同时, 春夏秋冬四季江风持续时间存在差异, 其

中春夏季江风的持续时间高于秋冬季节. 陆风开始时间为 17:00—19:00, 其中春夏季陆风开始时间相对秋冬季节偏迟; 同时, 冬季陆风的持续时间最长. 对比江风和陆风的持续时间可知, 除夏季外, 陆风的持续时间比江风的持续时间要长。

表 1 长江水域  $A$  点江风和陆风春夏秋冬四季的基本特征  
Table 1 Basic characteristics of river wind and land wind in four seasons at the  $A$ -point of the Yangtze River

地点	季节	江风时间	江风持续时间/h	陆风时间	陆风持续时间/h
$A$ 点	春	07:00—18:00	11	18:00—07:00	13
	夏	07:00—19:00	12	19:00—07:00	12
	秋	07:00—17:00	10	17:00—07:00	14
	冬	08:00—17:00	9	17:00—08:00	15

同理, 定义 NNW—SE 风向范围内的风为湖风, S—W 风向范围内的风为陆风, 当陆风转为湖风时开始计时, 直到其再转为陆风为止, 期间持续的时间为湖风持续时间. 通过对  $B$  点观测数据的统计分析, 得到了  $B$  点区域有代表性的春夏季湖陆风的开始时间和持续时间等特征. 图 2 是从春夏季中各选择具有典型特征的湖陆风气象日, 绘制的湖陆风场变化曲线。

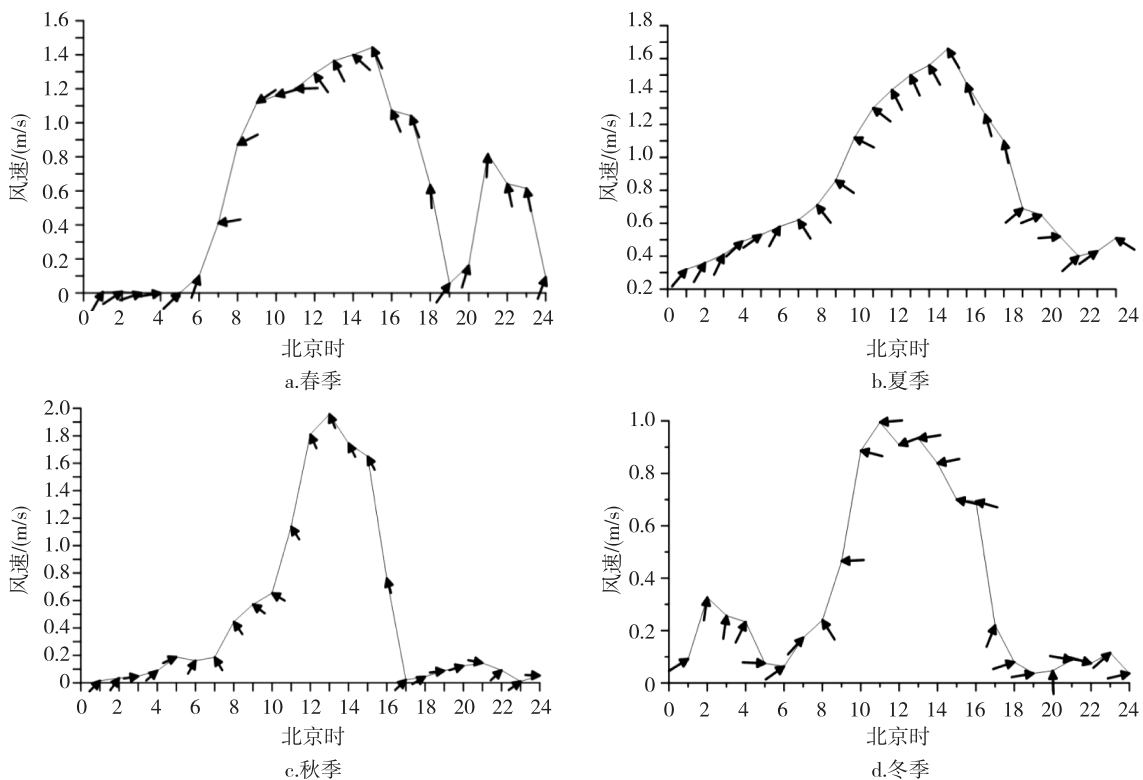


图 1 武汉城市区域长江江岸  $A$  点四季的江陆风场变化

Fig. 1 Changes of river-land wind fields in the four seasons at the  $A$ -point of the Yangtze River in Wuhan urban area

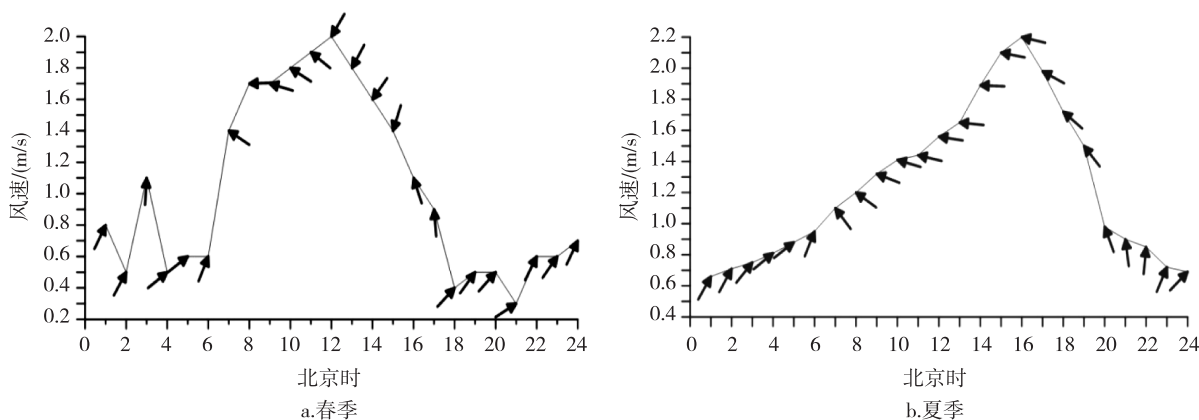


图2 东湖湖岸B点春、夏季节的湖陆风场变化

Fig. 2 Changes of lake-land wind fields in spring and summer at the B-point of the East Lake

由图2可知,B点东湖湖岸区域春夏季的湖陆风场具有明显的不同.对比图2中的a和b可知,湖风风速都高于陆风风速,夏季风速最大,在2 m/s左右.陆风的风速峰值小,春夏季在0.6~0.8 m/s,出现在20:00左右或00:00左右.

表2是B点湖风和陆风春夏秋冬四季的基本特征.从表2可知,湖风开始于早晨07:00左右,其中冬季湖风开始时间相对春夏秋季节的偏迟,约在08:00—09:00左右;夏季湖风持续时间大于春秋季,故而夏季陆风开始时间较迟,开始于20:00,春季陆风开始于17:00.夏季湖风的持续时间高于陆风持续时间,春季陆风的持续时间则高于湖风持续时间.

表2 东湖水域B点湖风和陆风春夏季的基本特征

Table 2 Basic characteristics of river wind and land wind in spring and summer at the B-point of the East Lake

地点	季节	湖风时间	湖风持续时间/h	陆风时间	陆风持续时间/h
B点	春	07:00—17:00	10	17:00—07:00	14
	夏	07:00—20:00	13	20:00—07:00	11
	秋	07:00—18:00	11	18:00—07:00	13
	冬	08:00—17:00	9	17:00—08:00	15

### 3 武汉城市区域温度湿度特征分析

每个相对独立的水域具有自己的湿度场、温度场和风场,形成局地风场环流.因此,由于水陆风场的不同,导致武汉长江水域和东湖水域温度与相对湿度之间存在明显的相关性.利用A点和B点气象观测数据进行温度和相对湿度的统计分析,发现温度对于相对湿度有着明显的影响.结果分别如图3

和图4所示.

由图3可知,武汉城市区域长江江岸A点四季的温度湿度变化趋势一致,其中,温度变化曲线和相对湿度变化曲线几乎相对于x轴对称,且湿度变化趋势大体上跟温度变化趋势相反.从图3曲线变化还发现,温度开始升高或降低后1h左右,相对湿度才开始减小或增大,故而温度对相对湿度的影响存在一定的滞后性,延迟时间大约为1h.

由于相对湿度是空气中实际的水汽压与当时气温下的饱和水汽压之比,因此,当温度升高时,饱和水汽压升高,则相对湿度必然下降,反之亦然.相对湿度大小跟地面蒸发作用有着直接的关系,而蒸发作用与温度和太阳辐射有关,温度越高蒸发作用必然越强,向外扩散水汽,使得相对湿度减小,温度降低蒸发作用必然也减弱,相对湿度就会回升.

由图4可知,东湖湖岸B点春夏季节的温度与相对湿度变化趋势一致,温度相对于相对湿度而言存在一定的滞后性,延迟时间大约为1h.这种变化关系,与长江江岸A点四季的温度湿度变化趋势相似,只是温度与相对湿度的峰值位置不同而已.

结合图3和图4可知,温度高低影响水陆风的发生发展.受江风和湖风影响带来的大量水汽,使得A、B点的相对湿度都偏高.因此,相对湿度的大小必然随着温度的升降而呈近相反趋势变化.

为了说明相对湿度与江陆风和湖陆风之间的关系,结合A点和B点气象观测数据,统计了A点和B点水陆风相对应的风速和相对湿度,结果分别如表3和表4所示.

由表3和表4可知,当吹江风和湖风时,环境空气的相对湿度低于吹陆风时的相对湿度,平均风速

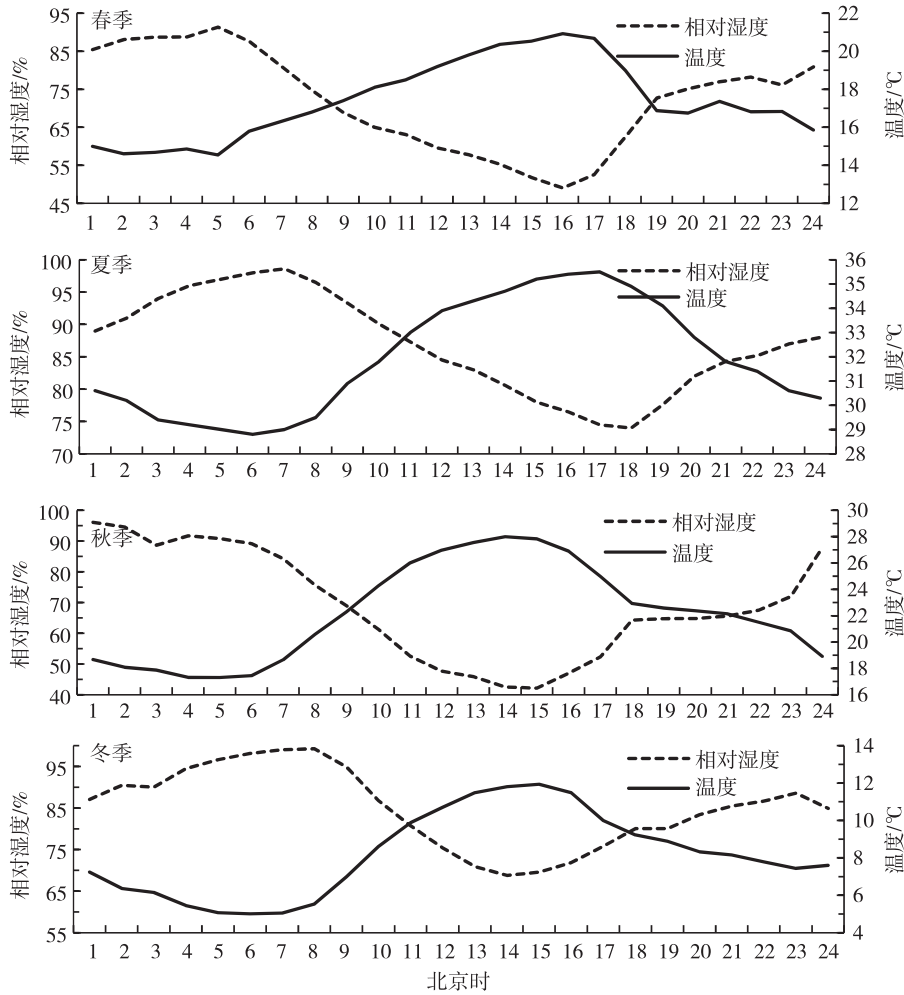


图3 武汉城市区域长江江岸A点四季的温度湿度变化

Fig. 3 Changes of temperature and humidity in the four seasons at the A-point of the Yangtze River in Wuhan urban area

表3 武汉城市区域长江江岸A点  
水陆风四季风速和相对湿度

Table 3 Summary of wind speed and relative humidity in the four seasons of the A-point at the Yangtze River in Wuhan urban area

季节	江陆风	平均风速/ (m/s)	最大风速/ (m/s)	相对湿度/%
春	江风	1.1	1.4	67.5
	陆风	0.2	0.8	80.4
夏	江风	1.2	1.7	84.7
	陆风	0.5	0.7	89.1
秋	江风	1.1	2.0	56.8
	陆风	0.1	0.2	77.1
冬	江风	0.7	1.0	79.8
	陆风	0.1	0.2	88.1

高出陆风时2倍以上;四季江风的最大风速在1~2 m/s之间,湖风的最大风速在1~2.2 m/s之间.除夏

季外,江风和陆风的相对湿度差为10%~15%,夏季时的相对湿度差大约为5%.而湖陆风在季节变换时,湖风和陆风时的相对湿度差较小.

表4 东湖湖岸B点水陆风四季风速和相对湿度

Table 4 Summary of wind speed and relative humidity in the two seasons of the B-point at the East Lake

季节	湖陆风	平均风速/ (m/s)	最大风速/ (m/s)	相对湿度/ %
春	湖风	1.6	2.0	62.3
	陆风	0.6	1.1	65.4
夏	湖风	1.6	2.2	66.7
	陆风	0.8	1.0	71.8

#### 4 结束语

通过在长江江岸A点和东湖湖岸B点的气象观

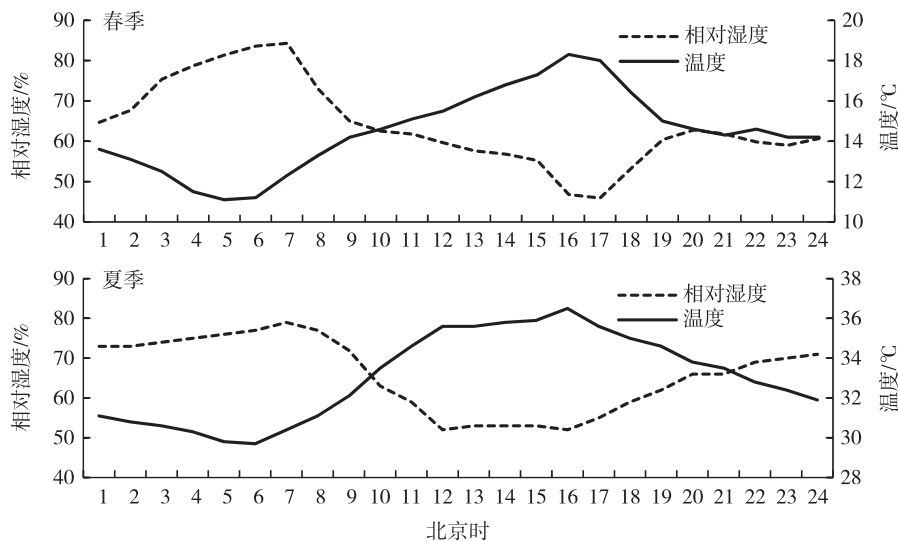


图4 东湖湖岸B点春夏季节的温度湿度变化

Fig. 4 Changes of temperature and humidity in spring and summer at the B-point of the East Lake

测研究发现,武汉城市区域的水陆风场具有以下特征:

1)江(湖)风开始时间在07:00—08:00,冬季开始时间相对偏迟在08:00—09:00,江(湖)风四季持续时间不同,春、夏季节江风的持续时间高于秋、冬季节,夏、秋季节湖风的持续时间高于冬、春季节,陆风开始于傍晚17:00—19:00,在春季、秋季、冬季,陆风的持续时间大于江(湖)风持续时间,在夏季江(湖)风持续时间大于或等于陆风持续时间。

2)相对湿度的大小受温度影响,并随着温度的升降而呈近相反趋势变化,温度对相对湿度的影响存在一定的滞后性,时间大约为1 h。当吹江风和湖风时,相对湿度低于吹陆风时的相对湿度,平均风速高出陆风时2倍以上,四季江风的最大风速在1~2 m/s之间,湖风的最大风速在1~2.2 m/s之间。除夏季外,江风和陆风的相对湿度差为10%~15%,夏季时的相对湿度差大约为5%。而湖陆风在季节变换时,湖风和陆风时的相对湿度差较小。

## 参考文献

### References

- [ 1 ] Prtenjak M T, Grisogono B. Sea/land breeze climatological characteristics along the northern croatian adriatic coast [J]. *Theoretical and Applied Climatology*, 2007, 90 (3): 201-215
- [ 2 ] 苟爱萍, 黄惠镛, 陈德花. 厦门地区海陆风环流观测及特征分析[J]. *海峡科学*, 2017(12): 3-7
- XUN Aiping, HUANG Huirong, CHEN Dehua. Analysis and characteristics of sea-land wind circulation in

- Xiamen [J]. *Strait Science*, 2017(12): 3-7
- [ 3 ] 邱晓暖, 范绍佳. 海陆风研究进展与我国沿海三地海陆风主要特征[J]. *气象*, 2013(2): 186-193
- QIU Xiaonuan, FAN Shaojia. The research progress of sea-land wind and the main characteristics of sea-land wind in China's coastal areas [J]. *Meteorological Monthly*, 2013(2): 186-193
- [ 4 ] Bouchlaghem K, Mansour F B, Elouragini S. Impact of a sea breeze event on air pollution at the eastern Tunisian Coast [J]. *Atmospheric Research*, 2007, 86(2): 162-172
- [ 5 ] 王坚, 赵丽娟. 厦门海陆风环流特征与环境空气质量影响研究[J]. *环境科学与管理*, 2017, 42(6): 30-33
- WANG Jian, ZHAO Lijuan. Study on the influence of Xiamen sea-land wind circulation characteristics and air quality [J]. *Environmental Science and Management*, 2017, 42(6): 30-33
- [ 6 ] 赵文龙. 广州地区海陆风条件下臭氧污染的数值模拟研究[D]. 广州: 暨南大学, 2017
- ZHAO Wenlong. Numerical simulation of ozone pollution under sea-land wind conditions in Guangzhou [D]. Guangzhou: Jinan University, 2017
- [ 7 ] 吴蒙, 罗云, 吴兑, 等. 珠三角干季海陆风特征及其对空气质量影响的观测[J]. *中国环境科学*, 2016, 36(11): 3263-3272
- WU Meng, LUO Yun, WU Dui, et al. Characteristics of the dry season sea-land wind in the Pearl River Delta and its impact on air quality [J]. *China Environmental Science*, 2016, 36(11): 3263-3272
- [ 8 ] 刘树华. 京津冀地区大气边界层结构与多尺度大气环流对大气污染扩散影响研究与展望[C] // 2017 中国环境科学学会科学与技术年会论文集(第一卷), 2017: 2
- LIU Shuhua. Research and prospect of atmospheric boundary layer structure and multi-scale atmospheric circulation on air pollution diffusion in Beijing-Tianjin-Hebei region [C] // Proceedings of Science and Technology Conference of China Environmental Science Society in 2017 (Volume I), 2017: 2

## Study on formation and transformation characteristics of water-land wind in Wuhan city

HU Hui<sup>1</sup> CHEN Jiabin<sup>1</sup> YU Ling<sup>1</sup> LIU Li<sup>1</sup> XING Pan<sup>1</sup> LIANG Shengwen<sup>1</sup>

1 School of Environmental Science & Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074

2 Wuhan Municipal Environmental Monitoring Center, Wuhan 430015

**Abstract** Smog caused by atmospheric fine particulate matter ( $PM_{2.5}$ ) pollution is closely related to local pollutant discharge and is also affected by local wind fields. This study used the urban area of Wuhan as the research object and examined the formation of river-land wind along the Yangtze River and the formation and transformation of lake-land wind along the East Lake. It was found that when the start time of the river wind and lake wind was 07:00–08:00, the maximum wind speed could reach 2 m/s. Additionally, the spring and summer river winds lasted longer than the autumn and winter seasons. The summer lake winds lasted longer than the spring. At the same time, it was found that there was a significant correlation between temperature and relative humidity near the area. The trend of humidity was generally opposite to that of temperature change, and the effect of temperature on relative humidity exhibited hysteresis with a delay time of about 1 h.

**Key words** river-land wind; lake-land wind; humidity; temperature; characteristic