

# 高原山区城市流场观测研究

张朝能<sup>1,2</sup>, 宁平<sup>1</sup>, 沈武艳<sup>1</sup>, 马彩霞<sup>1,3</sup>, 赵志坚<sup>4</sup>

(1 昆明理工大学 环境科学与工程学院, 云南 昆明 650093; 2 昆明市环境科学研究院, 云南 昆明 650032;

3 云南省环保产业科技开发中心, 云南 昆明 650032; 4 个旧市环境保护局, 云南 个旧 661000)

**摘要:** 小球测风观测结果表明某高原山区城市建筑物和周围山体导致下垫面粗糙度增大, 从而风速高度指数  $p$  较平原地区大很多, 也大于国家大气环境影响技术导则中推荐的城市风速高度指数, 达到 0.518 以上。根据该市 100 m 烟囱排放的二氧化硫量, 在年平均风速、相同稳定度下, 采用实测拟合  $p$  值预测的最大落地浓度及其出现距离分别比使用导则推荐  $p$  值预测的结果减少 22.2% ~ 30.2%, 9.4% ~ 12.4%。

**关键词:** 大气扩散; 测风仪; 大气污染物

**中图分类号:** X131.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2008)04-0077-04

## Flow Field Observation on Plateau Mountainous City

ZHANG Chao-neng<sup>1,2</sup>, NING Ping<sup>1</sup>, SHEN Wu-yan<sup>1</sup>, MA Cai-xia<sup>1,3</sup>, ZHAO Zhi-jian<sup>4</sup>

(1 Faculty of Environmental Science and Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China;

2 Kunming Institute of Environmental Science, Kunming 650032, China;

3 Yunnan Sci-Tech Development of Environmental Protection Industry, Kunming 650032, China;

4 Gejiu Environmental Protection Bureau, Gejiu, Yunnan 661000, China)

**Abstract** The results of the pitball observation show that the exponent of wind velocity  $p$  of 0.518 is greater than the plain's and the value recommended by atmospheric environmental impact assessment technical guidelines because the surface roughness varies with the buildings of the city and the terrain in the plateau mountainous city. The maximum ground concentration and its distance predicted with observational value is reduced by 22.2% - 30.2%, 9.4% - 12.4% respectively than that with the value recommended by the guidelines at the annual average wind velocity on the condition of the same atmospheric stability and the SO<sub>2</sub> emission of stack with 100m physical height in the city.

**Key words** atmospheric dispersion; wind meter; air pollutant

## 0 引言

为了正确地反应大气污染物在城市大气中扩散情况, 通常需要准确地了解 200~300 m 高度以下风速分布, 或某些特定高度上的风向风速状况。通常情况下没有直接的风向风速观测资料, 针对高原山区就更少了, 常常是利用指数律公式并选取适当的风速高度指数  $p$  值, 根据气象站或某些专业气象站观测的风速来推求其它高度的风速, 因此, 关键的问题是如何选取风速高度指数  $p$  值。一般只是采用 HJ/T2.2-93《环境影响评价技术导则 大气环境》(以下简称“导则”)推荐的风速高度指数  $p$  值。然而, 对于建筑群较密、较高且夹在两山之间的高原城市, 下垫面粗糙度较大, 导致风速高度指数较大, 采用导则推荐的城市风速高度指数值, 已不能真实反应风随高度的变化情况。

本研究以某高原山区城市为例, 进行小球测风观测风随高度的变化, 并收集该城市常规气象观测资

收稿日期: 2007-12-24 基金项目: 教育部春晖计划项目 (项目编号: 2003009)。

第一作者简介: 张朝能 (1966-), 男, 在读博士, 高级工程师。主要研究方向: 大气扩散与大气化学。

E-mail: zhangchaoneng@163.com

料,对地形风进行分析.采用实测拟合与导则推荐的风速高度指数分别预测点源最大落地浓度及其出现距离,从而为城市大气环境规划和大气环境容量测算等提供科学依据.

### 1 观测地的地形地貌和气象特征

该市地处高原山区,属于中山地貌,全市地貌类型以丘陵、低山为主,大致呈狭长状分布,一面为相对高差约 400 m 的陡山,一面为相对高差约 200 m 的缓坡山脉,最低海拔 1 686 m. 该市位于北亚热带山地季风气候区,多年 (1971-2000 年)平均气压 828.4 hPa 平均气温 16.2℃,主导风为南风,风频为 33%,平均风速 3.6 m/s(观测点离地面高度约 30 m). 根据 2006 年该市气象站风向观测结果进行统计分析,得到风向玫瑰图 (见图 1).

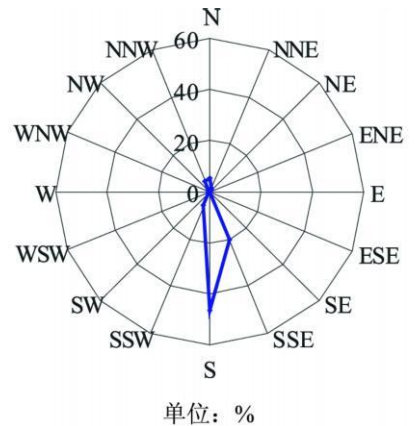


图1 2006年风向玫瑰图

Fig.1 Wind direction rose diagram in 2006

由图 1 可知该市主导风向为南风,风频 46.2%,这个结果与多年主导风向是一致的;偏东风和偏西风的频率很小,说明山谷风不明显. 尽管该市东面为高约 400 m 的山脉,西面为高约 200 m 的缓山坡,但由于两山形成的系统风——渠道风效应较明显,故山谷风被系统风掩盖.

### 2 风速高度指数

#### 2.1 导则中的风速高度指数

根据导则<sup>[1]</sup>,风速高度指数见表 1

表 1 导则中的风速高度指数

Tab 1 Exponent of wind velocity of the guidelines

大气稳定度	不稳定	中性	稳定
风速高度指数 p 值	0.15	0.25	0.30

#### 2.2 现场观测的风速高度指数

本次现场观测采用小球测风法 (两测点之间的连线尽可能垂直盛行风向) 进行,即用两台经纬仪观测所施放的

测风气球,每 10 s 读取两台经纬仪的仰角和方位角,然后通过矢量法来确定气球的空间位置 (x, y, z 坐标),再求算不同高度的风速,从而进一步弄清现场的风速垂直变化规律. 本次观测共获得数据 28 组,根据矢量法要求的短线长度不超过 2 m,通过取舍共获得有效数据 17 组.

风速随高度的变化有正常型、极值型、等值型、反向型、不规则型,本次现场观测的代表结果见图 2

由于下垫面较为复杂,加上天气变化较大,现场风向变化的频率过快,因此观测结果显示,正常型和极值型所占比例均为 35.3%,不规则型占 23.5%,反向型占 5.9%. 正常型风速随高度的变化采用指数律<sup>[2]</sup>,公式如下:

$$u = u_1 \left(\frac{z}{z_1}\right)^p$$

式中, u 为 z 高度处的风速值, m/s; u<sub>1</sub> 为 z<sub>1</sub> 高度处的风速值, m/s; z<sub>1</sub> 为已知高度, m, 一般取 10 m; p 为风速高度指数.

采用上述公式对正常型观测结果计算得出南风条件下风速高度指数 p

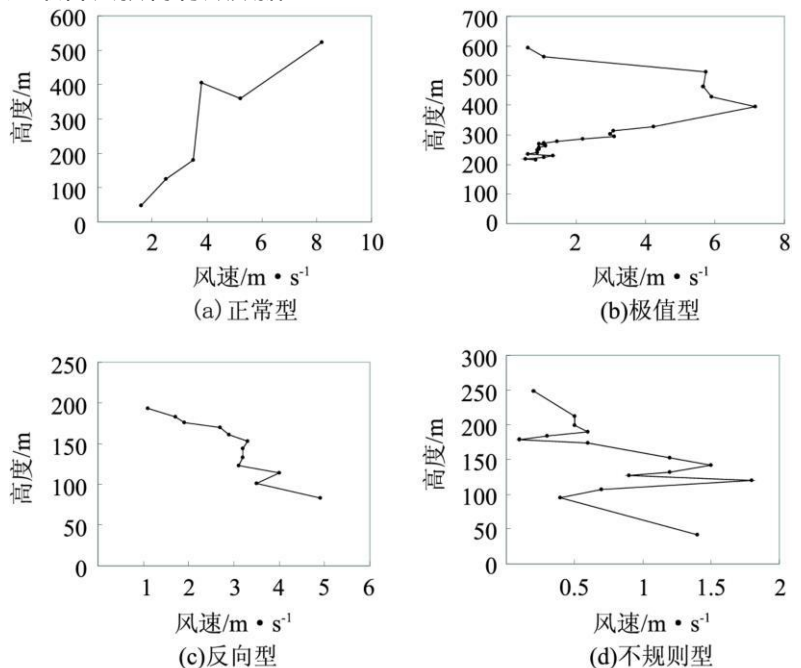


图2 风随高度的变化

Fig.2 Wind variation with height

和  $z = 10\text{ m}$  处的风速值  $u_1$ , 详见表 2

由于该城市为高原山区城市, 城市建筑物密集且较高, 地表粗糙度也比较大, 同时城区夹在两山之间, 处于山坳之中, 并呈狭长带分布, 因此使得观测点所在位置南风时的不稳定、中性和稳定条件下的风速高度指数  $p$  分别达到了 0.518 0.594 0.615 北风时中性条件下的风速高度指数  $p$  为 0.661, 高于南风时的  $p$  值. 由于观测点位于城市南部, 因此, 北风时城市建筑物对风的阻挡更加明显, 风受到的地面摩擦力也更大, 导致同一稳定度条件下北风的  $p$  值高于南风的  $p$  值. 与常规的小球测风结果<sup>[3-4]</sup>和导则推荐的城市风速高度指数相比, 本观测结果较大, 也大于位于北京市区内的中国科学院大气物理研究所 325 m 气象塔的实测拟合值<sup>[5]</sup>. 运动速度不同的相邻两层大气层之间以及贴近地面运动的大气和地表之间, 都会产生阻碍大气运动的阻力, 即摩擦力. 前者称为内摩擦力, 后者称为外摩擦力. 外摩擦力的方向与大气运动方向相反, 其大小与其运动速度和下垫面的粗糙度成正比<sup>[6]</sup>. 内摩擦力和外摩擦力的向量和称为总摩擦力. 摩擦力的大小, 随大气高度的不同而不同, 在近地层中最为显著, 高度越高, 作用越弱, 一直到 1 000 m 高度为止<sup>[2]</sup>. 由于本观测点位于高原山区城市, 且观测高度位于 600 m 以下, 地形起伏和高楼林立使得下垫面粗糙度加大, 地面摩擦力也加大, 导致风速随高度增加而增加, 进而使风速高度指数加大<sup>[7]</sup>. 从图 2(b)可以明显看出, 同时在出山脊顶处即 400 m 左右高度, 由于风出口变得开阔, 因此风速出现了突然下降的现象.

表 2 实测风速高度指数

Tab 2 Observational exponent of wind velocity

大气稳定度	$p$	$u_1 / \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	相关系数 $R$
不稳定	0.518	0.45	0.873
中性	0.594	0.60	0.934
稳定	0.615	0.20	0.902

### 3 风速高度指数对大气污染物浓度预测结果的影响

根据导则, 城市扩散参数需作提级处理, 即不稳定情况不提级, 中性和稳定情况向不稳定方向提一级. 以点源为例 (排放情况见表 3), 采用高斯模式预测大气污染物浓度, 结果见表 4

表 3 点源排放清单

Tab 3 Emission inventory of point sources

污染源名称	烟气量标准 $/\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$	$\text{SO}_2$ 排放量 $/\text{kg} \cdot \text{h}^{-1}$	烟囱高度 $/\text{m}$	出口内径 $/\text{m}$	烟气温度 $/\text{C}$
烟化炉系统	121 218	102.8	100	1.5	48

表 4 不同风速高度指数的大气污染物浓度预测结果

Tab 4 Prediction value of atmospheric pollutant concentration under different

项目	实测拟合 $p$ 值			导则推荐 $p$ 值		
	不稳定	中性	稳定	不稳定	中性	稳定
烟囱口出口的环境风速 $/\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$	6.7	7.4	7.5	4.3	4.9	5.2
与实测拟合 $p$ 值的差别 $/\%$	-	-	-	-35.8	-33.8	-30.7
烟气抬升高度 $/\text{m}$	23	21	20	35	31	29
与实测拟合 $p$ 值的差别 $/\%$	-	-	-	52.2	47.6	45.0
最大落地浓度 $/\text{mg} \cdot \text{标准} \cdot \text{m}^{-3}$	0.0447	0.0364	0.0194	0.0582	0.0468	0.0237
与实测拟合 $p$ 值的差别 $/\%$	-	-	-	30.2	28.6	22.2
最大落地浓度点与污染源距离 $/\text{m}$	844	1468	4146	923	1609	4662
与实测拟合 $p$ 值的差别 $/\%$	-	-	-	9.4	9.6	12.4

由上表可以看出, 在多年平均风速和同一稳定度下, 实测拟合  $p$  值预测的最大落地浓度及其距离均小于导则推荐  $p$  值预测结果, 最大落地浓度减少 22.2% ~ 30.2%, 最大落地浓度出现距离减少 9.4% ~ 12.4%. 根据高斯模式, 大气污染物浓度随烟气有效高度的减小而增加, 随烟囱口环境风速的增加而减小, 风速比烟气抬升高度对浓度的影响更大一些.

## 4 结论

1) 尽管该市东西两面为高约 200~400 m 的高山,但由于渠道风较突出,因此山谷风不明显,被渠道风形成的系统风所掩盖。

2) 高原山区城市由于下垫面粗糙度较大,使风速高度指数较平原地区的大很多,也高于导则推荐的城市风速高度指数,使不稳定、中性、稳定条件下风速高度指数分别达到 0.518 0.594 0.615

3) 在年平均风速,相同大气稳定性和源参数下,采用实测拟合  $p$  值预测的最大落地浓度及其出现距离分别比使用导则推荐  $p$  值预测结果减少 22.2%~30.2%, 9.4%~12.4%。因此,如果采用导则推荐的风速高度指数进行预测,在城市大气环境规划等工作中将导致测算的城市大气环境容量偏小,进而影响城市的经济社会发展。

致谢 感谢 个旧市环境监测站对现场观测工作的大力支持和昆明理工大学周崇本老师对现场观测的帮助!

### 参考文献:

- [1] 国家环境保护局. HJ/T2 2-93 环境影响评价技术导则大气环境[S], 1994
- [2] 马文斗. 空气污染控制工程·第二版[M]. 北京:冶金工业出版社, 1994
- [3] 沈武艳,张朝能,宁平. 化工厂大气污染扩散风洞模拟实验[J]. 环境科学导刊, 2007, 26(1): 1-3
- [4] 傅抱璞,于静明. 南京 164米铁塔观测风速廓线的研究[J]. 南京大学学报(自然科学版), 1981, 4: 552-561
- [5] 王宝民,刘辉志,桑建国,等. 大风条件下城市冠层流场模拟[J]. 大气科学, 2003, 27(2): 255-264
- [6] 郝吉明,马广大. 大气污染控制工程·第二版[M]. 北京:高等教育出版社, 2002
- [7] Environmental Sciences Research Laboratory. Guideline for Fluid Modeling of Atmospheric Diffusion[R]. Research Triangle Park, 1981.

(上接第 73页)

## 4 结语

本文在地下洞室群施工建模仿真中融合了网络计划分析和数字仿真技术,采用以简单的 CPM 网络做框架,调用封装好的比较复杂的 CYC ONE 层模型的思想,解决了 CPM 不适合处理复杂具有循环特征的工程和 CYC ONE 技术过于专业的问题,取长补短,达到方便使用的目的。然后根据建立起来的整体施工网络模型利用数字仿真技术进行了仿真,获得了施工进度、关键路径等仿真结果。

利用此方法对惠蓄地下洞室群的实际工程施工进行建模和仿真研究,仿真结果得到各单项洞室的施工工期、施工进度安排、关键路线与施工强度等信息,为惠蓄地下洞室群施工具体工作提供了科学依据,大大提高了地下厂房系统施工组织设计的现代化水平。同时也证实该项技术为优化安排施工进度,制定经济合理的施工管理方案提供了有效的工具。

### 参考文献:

- [1] 钟登华. 隧洞循环施工过程模拟研究[D]. 天津:天津大学, 1987
- [2] HA PN DH. CYC ONE - method for modeling job site processes[J]. Journal of Construction Division ASCE, 103, 1977 489-499.
- [3] 钟登华,刘东海. 大型地下洞室群施工系统仿真理论与应用[M]. 北京:中国水利水电出版社, 2004
- [4] 钟登华,李景茹,刘奎建. 全过程动态仿真技术及其在大型工程施工管理中的应用[J]. 天津大学学报, 2003, 36(3): 347-352
- [5] 肖田元,张燕云,陈加栋. 系统仿真导论[M]. 北京:清华大学出版社, 2000
- [6] 谢行皓. 建筑工程系统仿真[M]. 北京:科学出版社, 2001
- [7] 熊光楞. 连续系统仿真与离散事件系统仿真[M]. 北京:清华大学出版社, 1991.