

调查与评价

山地空气质量模式灵敏度及误差的探讨

唐士豹 陈美芳

(攀枝花市环境保护科研监测站)

摘要 本文通过对山地空气质量模式的灵敏度分析和误差模拟,分析了模式中各参变量的相对重要性及对预测结果的影响. 提出正确地选择模式,合理地使用各参变量,特别是源强、风向、风速、扩散参数、地形订正因子及源高的重要性.

关键词 山地空气质量模式;参变量.

现在一般采用空气质量模式来模拟某区域空气环境的现状和作预测分析. 在应用过程中选择适合于某区域的空气质量模式,正确选择或采用实测的各种参数无疑是十分重要的. 此问题可归类于模式性能的评价研究. 它归结于模式预测值与实测值的接近程度(点对点),模式预测污染物浓度的时空变化及其分布形式的性能(面对面),模式假设的合理性和模式应用范围及可取性. 一般可通过验证分析,诊断分析和灵敏度分析来回答这些问题.

本文采用误差模拟和灵敏度分析,探讨山地空气质量模式中各参变量的相对重要性及各参变量对模式预测结果的影响程度.

一、模式的误差分析

采用点对点或面对面的分析方法来检验模式和参数的综合效果时,往往因某些参变量对输出影响的相互抵消而掩盖了输入的误差. 本文把有变化量的某参变量对模式的输出与参变量取基本值时的输出之差定义为模式的误差. 记为:

$$\delta(m_i) = f(m_i + \Delta m_i) - f(m_i) \quad (1)$$

$i = 1, 2, \dots, n$

式中, $\delta(m_i)$ 为模式对 i 参变量的误差, n 为参变量的总数.

通过模式的误差分析能发现某个输入参变量不精确性对模式输出的影响程度. 为使模拟结果在山地具有代表性,空气质量模式选用山谷有风模式^[1], 其表达式为:

$$C(x, y, 0, H, L) = \frac{2.03kQ'}{\sigma_y \bar{u} x} \cdot \frac{A - |y|}{A} \cdot \sum_{N=-j}^j \text{Exp} \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{TH + 2NL}{\sigma_z} \right)^2 \right]$$

$$\cdot \text{Exp} \left(\frac{-0.693x}{3600\bar{u}t} \right)$$

式中, Q' 为源强 (100000mg/s); k 为浓度换算因子, $k = 101325T'/273p$, 其中 T' 为气温 (293 K), p 为环境气压 (880hPa); \bar{u} 为平均风速 (2m/s); x 为计算点离源点的下风距离 (m); A 为 22.5° 扇形区的横风向弧线长度 ($x\pi/8m$); y 为计算点横风向距离 (om); H 为有效源高,

$$H = H_s + \Delta H(H_s = 50m, u_s = 20m/s, T_s = 343K);$$

T 为地形订正因子,当 $x - z_0 \geq H$ 时, $T = 0.5$, 当 $x - z_0 < H$ 时, $T = 1 - (x - z_0)/2H$, 其中 x 为计算点高度, z_0 为源点高度; L 为混合层高度 (700m); l 为污染物的半衰减期 (8h); $\sigma_z = a_z x^{b_z}$ 为 z 方向的扩散参数 ($a_z = 0.395$, $b_z = 0.721$).

为分析方便,本文只模拟中性条件下模式对高架源下风轴线浓度的影响. 括号内的值为攀枝花市中性平均气象条件下有代表性的数据. 模拟时考虑到山地条件,坡度取 10%. 各参变量的增量取增大 30% (k 除外,取 10%). 计算出的模式的误差列于表 1.

由表 1 可见在小尺度范围内,源强 Q' 、浓度换算因子 k 对全程都有影响, Q' 较显著. 混合层高度 L 在全程不变,若 L 较小时,远距离可能会有影响. 扩散参数的系数 a_z 和指数 b_z 会造成最大落地浓度向近距离位移;且 a_z 对模式的误差在下风向 700m 前为正,700m 后为负,在下风向 300m 处的相对误差为 370%; b_z 在下风向 500m 前为正,700m 后为负, b_z 给模式带来的误差很大,正负误差突变明显,在下风向 300m 相对误差为 1576%, 平均风速 \bar{u} 在下风向近距离内对浓度的影响很大,

表 1 模式的误差 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

$x(\text{km})$	0.10	0.3	0.5	0.7	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
$f(\text{m})$	0	162	1170	1595	1277	459	237	146	100	73	55	44	35	29
Q'	0	49	351	479	383	138	71	44	30	21	17	13	11	9
K	0	17	117	160	127	46	24	15	10	7	6	4	4	3
L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
a_s	0	599	539	24	-174	-90	-50	-32	-22	-17	-12	-10	-8	-6
b_s	1858	2553	148	-862	-901	-357	-179	-104	-66	-44	-31	-24	-17	-13
\bar{u}	0	173	177	-87	-239	-97	-51	-32	-22	-16	-12	-10	-7	-6
I	0	0	1	3	2	2	2	1	1	1	1	0	1	1
ΔH	0	-125	-535	-437	-95	-13	-4	-1	-1	-1	0	0	0	0
T	0	-70	-389	-417	-228	-32	-9	-4	-2	-1	0	-1	0	0
平原模式	0	333	916	438	-41	-243	-179	-126	-92	-69	-53	-43	-34	-29

表 2 各参变量联合作用的误差 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

$x(\text{km})$	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	10.0
$f(\text{m})$	0	15	162	1170	1595	1277	459	237	146	100	73	55	44	29
$f(1.3\text{m})$	2109	3210	2338	1105	614	317	99	64	47	38	31	27	23	18
δ	2109	3195	2176	-65	-981	-960	-360	-173	-99	-62	-42	-28	-21	-11
$\frac{\delta}{f(\text{m})} \times 100\%$	∞	21300	1343	-6	-62	-75	-78	-73	-68	-62	-58	-51	-48	-38

且 500m 前为正, 500m 后为负, 在下风向 300m 处相对误差为 107%。衰减因子 I 对全程的影响可忽略不计。抬升高度 ΔH 和地形订正因子 T 给模式带来负误差, 在下风向 1000m 前明显, 1000m 后影响较小。风向的影响是不言而喻的。

各参变量均增大 30% 对模式的联合影响列于表 2。由表 2 可见联合作用后在近距离内对模式的输出影响很大, 特别是下风向 300m 前, 误差为正且幅度很大, 500m 处误差改为负且数值很小, 700—2000m 误差很大, 2000m 后误差一般。

在山地若用平原模式^[2]模拟, 带来的误差列于表 1 的最后一行。其结果与各参变量以增量 30% 联合作用于模式的误差相当。在下风向 700m 前误差为正, 300m 处的相对误差为 206%, 1000m 处改为负且数值较小, 2000—4000m 误差很大。为此, 正确地选择模式和精确地输入参变量是必要的。

二、模式灵敏度分析

模式输出对其输入的偏导数定义为模式的灵敏度。通过灵敏度分析既可发现输入参变量的不精确性对模式输出的影响程度, 又能揭示出各参变量在模式中的相对重要性。本文采用小变量或线性变化关系的强力偏导数方法对山谷有风模式作灵敏度分析。

设 $z = f(x, u)$, $u = u(x, y)$ 。通常定义

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{\partial f}{\partial x} + \frac{\partial f}{\partial u} \cdot \frac{\partial u}{\partial x}$$

为 z 对 x 的偏导数。而求 z 对 x 的强力偏导数时, 把 z 中的变量 u 当作是不含 x 的变量, 故

$$\frac{\partial z}{\partial x} = \frac{\partial f}{\partial x}$$

模式中各变量的强力偏导数函数形式如下:

$$f_1(\bar{u}) = \left(\frac{E-1}{\bar{u}} \right) \cdot c$$

$$f_2(I) = \left(\frac{EC}{I} \right)$$

$$f_3(L) = C \cdot \sum_{N=-j}^j \left(\frac{-2NDB}{\sigma_x} \right) / \sum_{N=-j}^j B$$

$$f_4(a_x) = C \cdot \left[\sum_{N=-j}^j (D^2B) / \sum_{N=-j}^j B - 1 \right] / a_x$$

$$f_5(b_x) = C b_x \left[\sum_{N=-j}^j (D^2B) / \sum_{N=-j}^j B - 1 \right] / x$$

$$f_6(A) = C \frac{|y|}{A(A-|y|)}$$

$$f_7(Q') = C/Q'$$

$$f_8(K) = C/K$$

$$f_9(H) = C \cdot \sum_{N=-j}^j \left(\frac{-TDB}{\sigma_x} \right) / \sum_{N=-j}^j B$$

$$f_{10}(T) = C \cdot \sum_{N=-j}^j \left(\frac{-HDB}{\sigma_x} \right) / \sum_{N=-j}^j B$$

式中,

$$B = \text{Exp} \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{TH + 2NL}{\sigma_x} \right)^2 \right],$$

$$D = \frac{TH + 2NL}{\sigma_x},$$

$$E = \frac{0.693x}{3600\bar{u}l}.$$

各参变量可取不大的几种变化量 (5%, 10%, 30%, 50%) Δm_i , 按下式计算得出不同下风距离 x 的灵敏度系数 ρ_i 。

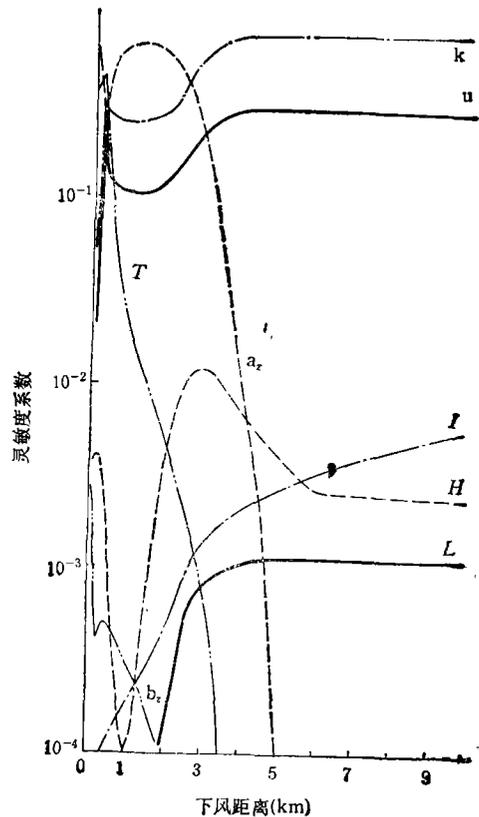


图 1 灵敏度系数

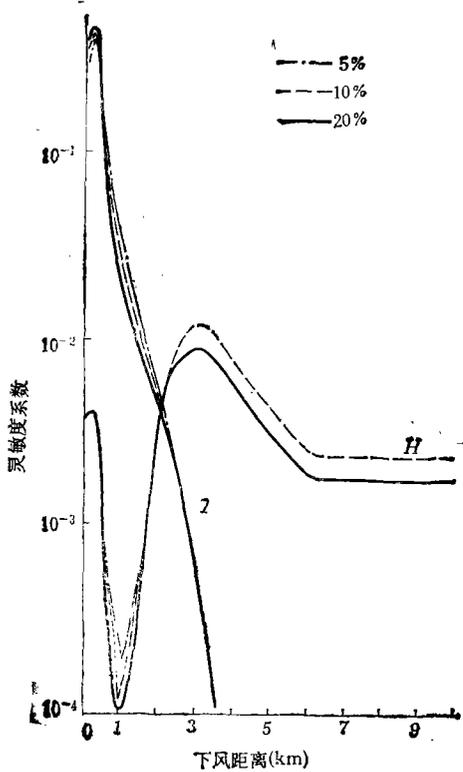


图 2 坡度对灵敏度系数的影响

$$\rho_i = |f(m_i + \Delta m_i)| / \sum_{j=1}^n |f_j(m_j + \Delta m_j)|$$

(i = 1, 2, ..., 9, n = 9)

为统一,各参变量取值与上节一致,且均取30%的变化量(k除外)。图1是计算结果。从图中可以看到下风向300m以前 a_s 的灵敏度系数处于首位,300m后迅速下降,500m时已很不重要。与此相反, k 、 \bar{u} 的灵敏度系数1000m时很小,300m时上升到一个峰值,以后随 a_s 的上升而下降,后又随 a_s 的下降而上升,5000m以后保持着显著的不变水平。由于 k 值的作用, Q 的影响被掩盖,事实上如把 kQ' 看成一个变量 Q , Q 的作用是突出的。地形订正因子 T 的灵敏度系数在1000m前很突出,1000—3000m段也很重要。有效源高 H 的灵敏度系数在下风向500—1500m处不重要,其余下风向处于中等水平。半衰期常数 I 的灵敏度系数随距离的增加而逐渐增大,以后处于中等水平。混合层高度 L 的灵敏度系数也随下风向距离的增加而增大,但在3000m前几乎不起作用,3000m后维持较低的水平。扩散系数的指数 b_s 灵敏度系数在500m前

处于中等水平,以后几乎不起作用。上述分析和表1结果吻合甚好。

改变坡度对模式中各参变量灵敏度系数也有影响。影响最突出的是地形订正因子 T 和有效源高 H 。图2绘出5%,10%,20%坡度时 T 和 H 的灵敏度系数。从图2可以看到坡度对 T 的影响主要在下风向3000m以前,坡度增大地形订正因子 T 的灵敏度下降。在500—1500m段坡度越大有效源高 H 的灵敏度下降。有趣的是3000m以后似乎存在极值现象,5%、20%坡度时 H 的灵敏度系数均比10%坡度小。

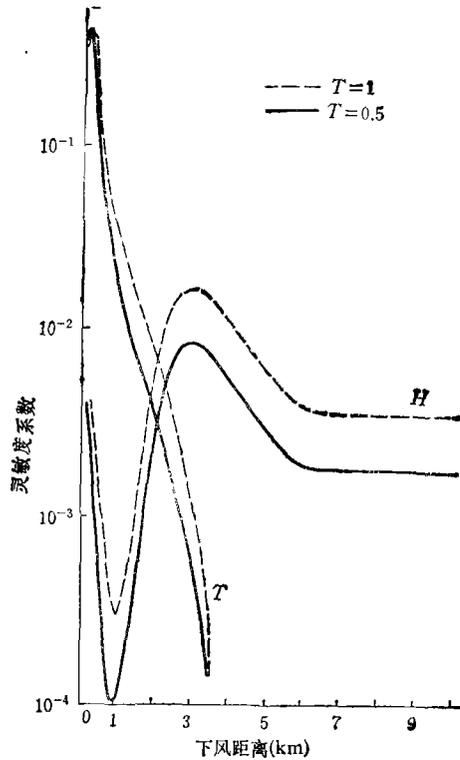


图 3 地形订正因子对灵敏度系数的影响

毋庸置疑,改变地形订正因子 T 的取值会直接改变地形订正因子和有效源高的灵敏度系数。图3绘出当 $T=1$ (地形跟踪轨迹)和 $T=0.5$ (半高度轨迹)时的 T 和 H 的灵敏度系数。从图3可见,当 T 增大时 T 和 H 的灵敏度系数也增大,但 H 增大更多些。

三、结 语

本文选取山地有代表性的地形和气象条件以山谷风模式为代表,在探讨模式的误差和灵敏度后



国际科学组织介绍

世界气象组织介绍

世界气象组织 (WMO) 成立于 1950 年。它的宗旨是通过研究和监测, 提供全球大气和气候的状况和性质及其影响因素的权威性信息和建议。WMO 还致力于观察和测量的标准化, 推进气象与水文服务间的协调。主要从事项目有:

世界气象观察 (WWW): 在世界范围内收集、分析和分发气象资料和其他环境信息的系统。它与各数据处理中心、观察系统和电讯相合作。

世界气候计划 (WCP): 1979 年开始, 与国际科联 (ICSU) 一起实施科学研究; 与联合国环境规划署 (UNEP) 一起掌管影响研究。世界气候研究计划 (WCRP) 目前正研究气候和气候变化的物理

基础, 其课题集中于云(国际卫星云气候学计划)、海面温度与大洋环流(热带海洋和全球大气计划——TOGA)、海洋动力学模拟(世界大洋环流实验研究——WOCE)、大气与水的相互作用(全球能量和水循环实验研究——GEWEX)、以及温室气体特别是 CO₂、甲烷和臭氧浓度的监测。

全球大气观察: 通过对臭氧和空气污染的监测, 作为指示大气成分变化的早期预警系统。

气象学应用: 对实用领域提供服务和信息如农业气象学、航空气象学和海洋气象学。

水文与水资源: 为联合国 1990 年提出的国际减灾 10 年服务。

国际应用系统协会

国际应用系统协会 (IIASA) 成立于 1972 年, 是一个非政府组织。其宗旨是联合东西方科学家, 根据模型技术研究实用政策, 用跨学科手段进行决策研究, 将危险性和不确定性纳入管理过程中。

IIASA 的一些研究直接针对环境问题, 如酸雨、生物圈动态、水资源分配、植被和森林覆盖等, 还研究全球环境、人口增加、能源利用和全球安全之间的联系。该协会越来越强调社会和人类对全球变化的影响幅度, 并寻求对决策者发挥其影响。主要项目有:

酸雨: 已研究出 RAINS (地区酸化信息与模型), 是 IIASA 的杰出成就。模型已为许多欧洲国

家采用, 帮助其判定控制酸化的政策。模型表明, 采用现有最佳技术去控制硫和氮排放可能会获得满意结果, 但费用高昂。通过集中投资以减少几个主要国家的排放量, 可使土壤的酸化稳定, 其费用只及要求每个国家都将其排放削 30% 的三分之一。

森林研究: 包括热带森林和欧洲的针、落叶林。IIASA 的模型将森林地区的极限负荷与硫、氮沉降的最大危害水平联系起来。模型还包括酸雨、生长率、衰减循环、土地利用方式及木材资源等信息。其木材评价模型根据能源消费量、森林和土地利用实际情况、现有排放控制协议与技术等, 提出政策选择的建议。

发现: 山地, 源强、风速、风向、扩散参数是对模式输出有重要影响的参变量, 但地形订正因子和源高等参变量对模式输出的影响也不能忽视。除此之外, 还应根据实际情况正确地选择模式。

参 考 文 献

[1] 渡口环境质量评价大气协作组, 南京大学学报,

22(3), 570(1986).

[2] 中华人民共和国国家标准, GB3840-83, 第 18 页, 1983 年。

(收稿日期: 1990 年 9 月 6 日)

analysing soil, water, coal, plant samples collected in Shanghai.

Key Words: Thorium analysis.

Basic Theoretical Analysis of Gas-Detector Method Used for the Detection of Atmospheric Pollutants. Wang Hongdao, Zhao Pingya (Research Laboratory of Environmental Chemistry Dalian Railway Institute), Zhang Junxiang, Zhang Lairong (Dalian Institute of Chemical Physics Chinese Academy of Science): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(6), 1991, pp. 69—71

According to the basic theory of gas-detector, the relationship between the detection sensitivity and related parameters was derived as follows: $L=C.F\frac{1}{C.A}$. From the equation, the controlling parameters for the operation of gas-detector can be selected easily. The relationship was experimentally verified using the developed H_2S detector.

Key Words: gas-detector; detection sensitivity.

Study on Biodegradability of Coal Gasification Waste water. Jin Chengli, Liu Xuehong, Ou Shanci, Shi Guangmei (Harbin Achi. & Civil Eng. Inst.): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(6), 1991, pp. 72—76

Experimental research on characteristics of waste water resulting from coal gasification and bio-reactor for its treatment was carried out. The research shows that when the ratio of phenol to COD is in the range of 43.7—47.7%, biodegradability of the waste water is high ($m=0.62, n=0.13$). Whereas when phenol is removed and ammonia is stripped, biodegradability of the waste water

becomes much lower ($m=0.34, n=0.22$) due to the removal of phenolic matters, but it is still biodegradable.

Key Words: coal-gasification wastewater; biodegradability; phenol.

Some Problems about Wind Erosion and the Environment. Lü Yuelai (Northwestern Forestry College): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(5), 1991, pp. 77—78

Soil wind erosion is one of the major environmental problems. This paper reviews the influence of wind erosion on plant growth environment, and the relation between wind erosion and dust storms, and analyses the anthropocentric factors causing the wind erosion. Some proposals are also offered to control soil erosion by wind and water in certain reaches of the Yellow River Basin.

Key Words: wind erosion, environment.

An Approach to the Sensitivity and Errors of the Air Quality Model of Mountainous Region Tang Shibao, Chen Meifang (Environmental Monitoring Station of Panzhihua, Sichuan): *Chin. J. Environ. Sci.*, 12(5), 1991, pp. 79—83

This paper analyses the relative significance of parameters of the air quality model of mountainous regions and their influence on the output of the model, based on the analysis of sensitivity and the simulation of errors of the model. It is suggested that great attention should be paid to the selection of correct model and reasonable use of parameters, particularly those like intensity of source, wind direction, wind speed, diffusion parameters, correcting factor of topography and the height of source.

Key Words: air quality modelling.

(上接第 78 页)

期的观测数据。因此,建立永久性的监测网不仅对土壤风蚀与环境质量的评价而且对土壤风蚀的防治都是非常必要的。

参 考 文 献

[1] 吕悦来,土壤学进展, 18(5),(1990).
 [2] 朱震达等,中国北方地区的沙漠化过程及其治理区划,第 18—19 页,中国林业出版社,1981年.
 [3] Williams, J. R. et al., *Transactions of the ASAE*, 27(1), 129(1984).
 [4] Fryrear, D.W., *Transactions of the ASAE*, 18(3), 888(1975).
 [5] Gillette, D.A., *Transactions of the ASAE*, 20(3), 890(1977).

[6] 中国科学院北京农业生态系统试验站,农业生态环境研究,第 421—486 页,气象出版社,1989年.
 [7] 陆鼎煌,北京林业学院学报, (3)19(1982).
 [8] 赵松乔,中国干旱地区自然地理,第 203—216 页,科学出版社,1985年.
 [9] 朱震达等,中国北方地区的沙漠化过程及其治理区划,第 7—16 页,中国林业出版社,1981年.
 [10] Dhir, R. P., 李孝泽译,世界沙漠研究, (3), 32 (1989).
 [11] Lyles, L. et al., *Transactions of the ASAE*, 24(2), 405(1981).
 [12] 吕悦来等,中国水土保持, (3), 29(1991).
 [13] 中国科学院黄土高原综合科学考察队,黄土高原地区综合治理开发研究, 153—162 页,科学出版社,1983年.

(收稿日期: 1991 年 2 月 20 日)