

大亚湾核电站厂址区域大气扩散研究^{*}

张美根 韩志伟 雷孝恩

(中国科学院大气物理研究所大气边界层物理和大气化学国家重点实验室, 北京 100029)

摘要 采用一个基于流体静力平衡的动力学诊断模式对大亚湾核电站厂址区域的气象场进行实际模拟, 研究了复杂地形和下垫面对流场的动力和热力作用。数值实验表明: 模式能很好地模拟中尺度局地环流的基本特征和变化规律。在模拟气象场的基础上, 利用 Monte Carlo 多源模式计算了污染物的时空分布和干湿沉积量。模拟结果显示: 模式很好地反映在海陆风和山谷风环流及排牙山影响下大气参数的非均匀性和非平稳性。

关键词: 复杂地形; 局地环流; Monte Carlo 多源模式

1 引言

大亚湾核电站位于东南沿海地区, 海洋性气候特征十分明显。夏季受西南季风、台风和雷暴的影响, 天气较为潮湿, 冬季受东北季风影响, 天气较为干燥。大亚湾核电站周围地形以山丘为主, 其中最高的排牙山 (710 m) 位于岭澳核电站以北 3500 m 处。在厂址区域 (12 km × 12 km) 内, 地形和下垫面十分复杂, 有小城镇、灌木林、山丘、谷地和大面积海洋。

实践和理论表明, 下垫面的起伏不平 and 冷热不均能引起机械性强迫运动 (如地形波、下风波、尾流) 和热力强迫运动 (如热导环流、海陆风、山谷风等)。这些地形性中尺度环流对局地天气以致天气尺度天气都会产生明显的影响, 有时甚至是支配性的影响^[1~3]。为了研究复杂地形和下垫面的动力和热力作用影响, 我们利用一个基于流体静力平衡的动力学诊断模式^[1]模拟厂址区域气象场。

为了研究厂址区域大气扩散特征, 我们采用 Monte Carlo 多源模式^[1]模拟污染物的时空分布和干湿沉积量。Monte Carlo 多源模式能较好的反映行星边界层内湍流结构的非均匀性和非平稳性, 没有数值求解物质连续方程中计算不稳定的问题, 对点源的处理有明显的优势^[4~7]。

2 动力学诊断模式的输入资料和模拟结果

2.1 模式参数

模拟区域为 12 km × 12 km, 模式的水平格距为 500 m, 垂直方向采用不等距网格

1999-02-20 收到

^{*} 本文得到了中国科学院大气物理研究所所长择优基金 98-209 的资助

[1] 中国科学院大气物理研究所, “岭澳核电站与大亚湾核电站厂址大气相关性研究”研究报告, 1996, pp.279

(见表 1)，共 14 层，时间步长为 1 s。

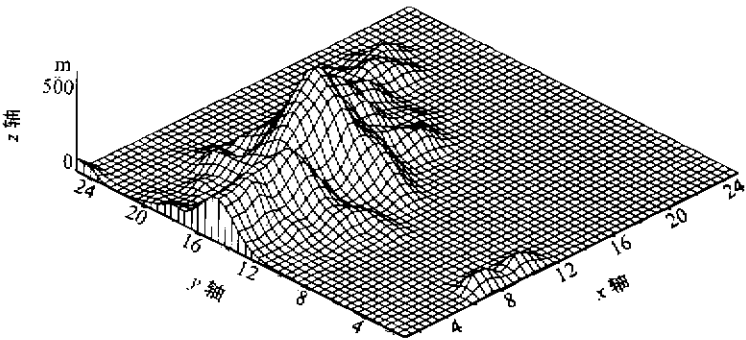
表 1 模式垂直网格点高度 m

层 次	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
全位面	0	4	16	34	66	84	120	280	520	680	920	1080	1920	2080	2920
半位面	/	2	10	25	50	75	100	200	400	600	800	1000	1500	2000	2500

2.2 输入资料

2.2.1 地形标高和下垫面类型

厂址区域地形复杂，地形等高线如图 1 所示。从图 1 可以看到，厂址区域三面环水，250 m 等高线呈东北-西南走向，最高点海拔 710 m。下垫面类型分为 4 种类型，即小城镇、水面、灌木林和农田与灌木林混合区，其对应的粗糙度为 0.4、0.001、0.8 和 0.3 m。



图：研究区域地形等高线
网格距为 500 m

2.2.2 气象资料

收集了 1984 年 9 月到 1985 年 8 月以下站点全年资料：大坑、惠东、惠阳、深圳、横澜岛和香港站的逐时地面风向和风速；大坑铁塔 5 层（10、25、50、75 和 100 m）的逐时风向、风速和温度；大坑和惠东站的逐时降水量；欧洲中心诊断的高空风向、风速、温度和湿度；香港天文台的高空风向、风速、温度和湿度。

从这些气象资料中，我们按季节（春、夏、秋和冬）、天气（阴、晴和降水）、风向和风速等因子找出了 47 类具有代表性的天气型，以研究复杂下垫面对局地流场的影响。

模式的初始风温场由观测资料获得。用加权插值法将地面观测点的观测风速按 u 和 v 分量分别插值到模式网格点上，即为地面初始风场。其风速分量插值公式为

$$u(x,y)=\sum_{k=1}^N u(x_k,y_k)w(r)/\sum_{k=1}^N w(r).$$

其中， $w(r)$ 为权重函数，这里取最常见的反平方内插，即：

$$w(r) = \begin{cases} r^{-2}, & r \leq R, \\ 0, & r > R. \end{cases}$$

这里, R 称为影响半径 (表示超过这个距离的测站, 对网格点上的取值已没有任何影响); $r = \sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2}$, 为格点 (x, y) 到第 k 个观测点 (x_k, y_k) 的距离。

考虑到地面风测点较多, 200 m 以下各层初始风场由风速的幂指数率推算得到并用高空观测风速资料进行订正¹¹, 即:

$$u = u_{10}(z/10)^p \quad \text{和} \quad v = v_{10}(z/10)^p.$$

其中, u_{10} 和 v_{10} 为 10 m 高度风速的观测值, 幂指数 p 的值由大气稳定度和地面粗糙度决定。200 m 以上高度各层风场则根据实测风速廓线由线性插值获得。

初始地面气温由实测地面温度按下垫面特性插值, 高空气温按风速插值方法插值。模式的底边界也是由实测资料获得。地表温度随时间的变化按照 02:00、08:00、14:00 和 20:00 观测的地表温度插值。插值公式¹¹为

$$T_s = A + B \sin \omega + C \sin 2\omega + D \cos \omega + E \cos 2\omega.$$

其中, $A = (T_{02} + T_{08} + T_{14} + T_{20})/4$, $B = (T_{14} - T_{02})/2$, $D = (T_{08} - T_{20})/2$, $E = A - B - T_{02}$, $C = (T_{02} + T_{20})/2 - A + 0.707(B + D)$, $\omega = 2\pi(t - 8)/24$, t 为小时。地表水温被认为不随时间变化。

3 模拟结果及分析

用动力学诊断模式模拟了 47 类天气型 24 小时的风温场。对所有风温场的分析发现, 在一定的天气系统下, 动力学诊断模式能很好地描述下垫面热力和动力作用下局地流场的变化。图 2 给出了典型秋天, 天气晴朗和弱西风气流控制下海陆风的发展过程。

从图 2 可以看到, 凌晨 04:00 时 (图 2a) 陆地为陆风控制, 以最高点排牙山山脊为中心, 气流由陆地流向海面; 09:00 时 (图 2b) 地面加热, 陆地与海面的温差消失, 研究区域的气流为系统风控制, 此时为陆风向海风过渡的气流型; 14:00 时 (图 2c) 陆地与海面的温差达到最大, 影响范围也达到最大, 气流从四周流向排牙山山脊, 形成一强大的气流辐合中心; 19:00 时 (图 2d) 地面加热消失, 加上散热较快, 此时陆地和海面的温差消失, 故研究区域的气流为系统风。

3 Monte Carlo 多源模式的输入资料和模拟结果

3.1 模式参数

模拟区域为 $12 \text{ km} \times 12 \text{ km}$, 模式的水平格距为 500 m, 垂直网格距为 10 m, 共 20 层, 时间步长为 180 s, 每个时步释放 2000 个质点。考虑到模拟区域和计算效率, 我们仅统计最近 100 批的质点分布。

1) 中国科学院大气物理研究所, “重庆市大气污染控制规划研究——大气环境参数及大气污染诊断和预测模式” 专题研究报告, 1996, pp.312.

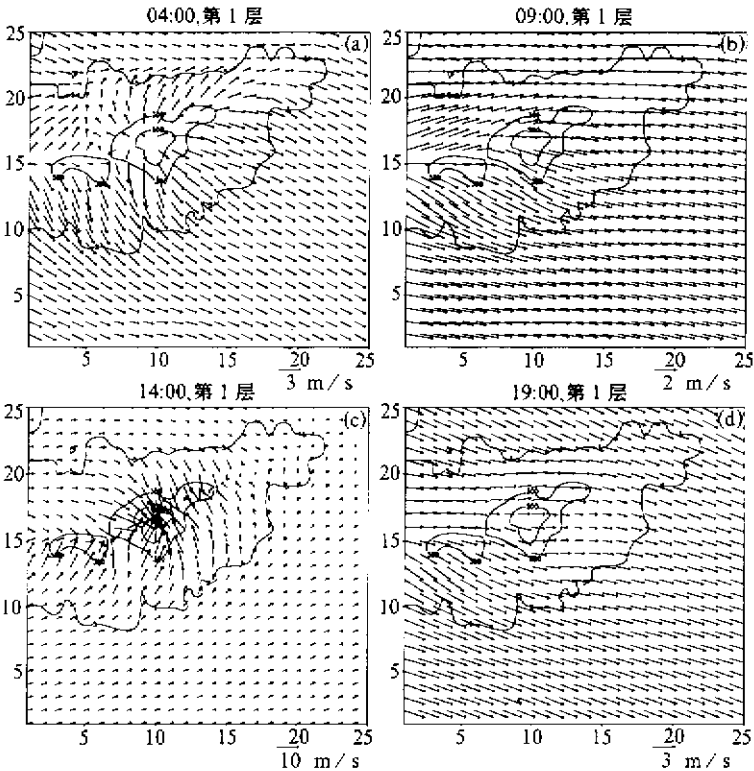


图2 模拟区域 10 m 高度流场随时间的变化
实线为地形标高, 网格距为 500 m
(a) 04:00; (b) 09:00; (c) 14:00; (d) 19:00

3.2 输入资料

气象场: 动力学诊断模式输出的逐时风温场和实际观测降水量。污染源资料: 污染源为连续源, 高度为 10 m, 强度为 1 kg / s。地形标高和下垫面类型: 同动力学诊断模式。行星边界层湍流统计量 u_* (摩擦速度), $T_{L,i}$ (拉普拉斯时间尺度), σ_i (脉动速度方差) 和 z_i (混合层高度): 根据下垫面型和地面粗糙度, 由输入的风温场用参数化方法^[8~9]获取, 其中 i 代表 u 、 v 和 w 。

3.3 模拟结果及分析

用 Monte Carlo 多源模式模拟了 47 个天气型 24 小时的浓度分布和地面沉积量。分析结果表明, 模式能很好地反映天气状况、系统风、地形和下垫面生态型对污染物浓度分布和干湿沉积因子的影响。图 3 给出了海陆风气流控制下污染物浓度的水平分布及其日变化过程。

图 3a 为 10 m 高度 04:00 时污染物浓度的水平分布。此时大亚湾核电站排放出的污染物在陆风 (见图 2a) 控制下, 污染物被吹向海面。在陆风的发展过程中, 气流由西风向西北西风过渡, 污染物质点随之运动、浓度分布的不对称正好反映了这一点。一般来讲, 海上下垫面均匀, 加之夜间大气处于稳定状态, 所以水平扩散很小、夜间海面的

参 考 文 献

- 1 寿绍文, 1993, 中尺度天气动力学, 北京: 气象出版社, 1993, 27~76.
- 2 Pielke, R. A., 中尺度气象模拟, 张杏珍、杨长新译, 北京: 气象出版社, 1990, 494~538.
- 3 Atkinson, B. W., Mesoscale Atmospheric Circulation, Academic Press, 1981, 124~287.
- 4 Thomson D. J., Random walk modeling of diffusion in inhomogeneous turbulence, *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1984, **110**(466), 1107~1120.
- 5 Sawford B. L., Lagrangian statistical simulation of concentration mean and fluctuation fields, *J. Climate Appl. Meteor.*, 1985, **24**, 1152~1166.
- 6 Thomson D. J., Criteria for the selection of stochastic models of particle trajectories in turbulent flows, *J. Fluid Mech.*, 1987, **180**, 529~556.
- 7 邓玉珍, 雷孝恩, 用 Monte-Carlo 法模拟中尺度范围污染物分布, 中国科学院大气物理研究所集刊 (第 14 号), 北京: 科学出版社, 1990, 29~38.
- 8 雷孝恩, 行星边界层中湍流统计量和风速随高度变化的参数化, 中国科学院大气物理研究所集刊 (第 14 号), 北京: 科学出版社, 1990, 1~28.
- 9 袁素珍, 雷孝恩, 北京地区边界层厚度特征的统计研究, 环境科学学报, 1983, **3**(4), 365~375.

A Numerical Study of Atmospheric Dispersion in the Area of Nuclear Power Plant Dayawan

Zhang Meigen, Han Zhiwei and Lei Xiaoen

(State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Physics and Atmospheric Chemistry,

Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

Abstract A dynamic diagnostic model based on hydrostatic equilibrium was applied to simulate meteorological fields in the area of Nuclear Power Plant Dayawan, dynamic and thermal effects of non-homogeneous underlying surface upon wind field were investigated. Numerical experiment shows that, this model can simulate basic characteristics and variation rules of local terrain-induced circulation very well. With simulated meteorological fields, tempo-spatial distribution of pollutant and its deposition amount were studied by using Monte Carlo model for multiple sources. Simulated results assert that, Monte Carlo model for multiple sources can simulate non-homogeneity and non-stability of atmospheric parameters under influences of land-sea and mountain-valley circulation.

Key words: complex terrain; local circulation; Monte Carlo model for multiple sources