

数值与统计方法在广东核事故 应急系统中的应用*

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 根据研究区域(310 km×220 km)三年的气象资料,将每天的天气按季节、天气状况和风向与风速及其日变化等因子划归为具有代表性的不同天气类型,然后用中尺度气象模式模拟这些天气类型的风温场,使得模拟的风温场能反映下垫面动力和热力不均匀性的影响,并以此统计出研究区域内关心点的天气状况、风向和风速与天气类型之间的相关关系和相关判据。在已知关心点的季节、天气状况、风向和风速后,依据这种相关关系,找出相应天气类型的风温场,并用以预报核泄漏物的污染路径、强度和范围。

关键词: 核事故应急系统; 中尺度气象模式

1 引言

核事故应急系统是在核事故发生后能及时预报中尺度范围内核泄漏物的污染路径、强度和范围的模式系统,为核事故指挥部门采取应急措施时提供决策依据。这里,中尺度范围的水平尺度约为20 km至200 km,时间尺度约为几小时至十几小时;预报内容包括风温场和核泄漏物的浓度分布,预报时效为20~30 min。

大亚湾核电站和岭澳核电站位于广东省东南沿海地区,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。大亚湾核电站与岭澳核电站相距约1000 m,周围地形以山丘为主,710 m高的排牙山位于岭澳核电站以北3500 m处,870 m高的七娘山位于大鹏半岛的南部,与岭澳核电站隔海相望,相距8000 m。在中尺度范围内,地形(见图1)和下垫面型十分复杂,有城市、森林、高山、谷地和大面积的海洋。野外测试¹⁾、风洞和水槽实验²⁾以及数值模拟^{3),4)}结果表明,中尺度范围大气参数具有明显的非均匀性和非平稳性。

大气参数的非均匀性和非平稳性对核泄漏物的浓度分布具有十分重要的影响,所以预报风温场的准确性非常重要。虽然现有的中尺度气象模式能很好地描述下垫面动力和热力作用对风温场的影响,但由于计算速度的限制,目前还不能满足应急系统对时效的要求。为了满足核事故应急系统对时间和精度的要求,我们尝试在大量气象观测资料的

1998-12-21收到,1999-03-15收到修改稿

* 本文得到了中国科学院“九五”重大项目KZ951-A1-403-03-01的资助

1) 水利电力部苏州热工研究所,1996,广东核电站场址大气弥散规律的研究

2) 北京大学环境科学中心,1996,广东核电站岭澳场址大气扩散的风洞与水槽实验

3) 中国科学院大气物理研究所,1995,广东第二核电站工程中距离大气弥散因子的数值试验

4) 中国科学院大气物理研究所,1996,岭澳核电站与大亚湾核电站场址大气相关性研究

基础上用统计方法找出具有代表性的天气类型,并用客观分析方法^[1-3]获得各类天气类型的平均风温场。以平均风温场为初始场和资料同化场,我们采用中尺度气象模式^[1]模拟风温场,使得风温场能反映下垫面动力和热力不均匀性的影响,同时填补气象观测资料固有的资料窗。

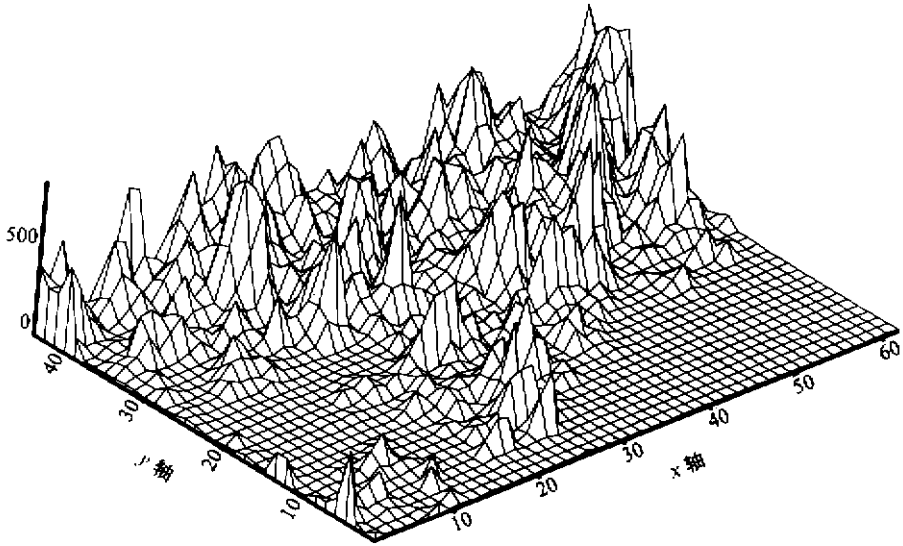


图1 研究区域的地形标高(格距为5 km)

在模拟风温场的基础上,用统计方法找出关心点的气象因子与天气类型之间的相关关系,并在此基础上建立起关心点气象因子与模拟风温场之间的对应关系。当关心点的气象因子确定后,我们可以通过关心点气象因子与模拟风温场之间的关系,找出对应的风温场,并以此为预报场预报核泄漏物的浓度分布。

2 天气类型的分类及其基本特征

2.1 气象资料的搜集与整理

为了使统计概率具有较好的稳定性和考虑到工作量的限制,我们收集了研究范围内26个气象台站3年的地面风向、风速、温度以及降水、云量和地温资料。具体的3年为1984年9月1日至1985年8月31日和1995年3月1日至1997年2月28日。除1984年9月1日至1985年8月31日期间所有台站及1995年3月1日至1997年2月28日期间博罗、海丰和番禺站的数据获取率为每天4次外,其余资料的获取率均为每小时1次。

在高空资料方面,我们收集了广州、连平、汕头和阳江4个台站同期的高空风、温及其位势高度,资料的获取率为每天2次(当地时间08:00和20:00)。因广州站的迁移,1996年1月1日起广州站改为清远站。

其他资料有大亚湾核电站铁塔 5 层风温、香港天文台的地面和高空气象资料、欧洲气象中心资料、大万山和凌角水文站观测资料以及研究范围内地形标高和下垫面特征资料。按照预定目标, 希望通过对 3 年气象资料的统计分析, 建立起关心点风向、风速等气象因子的空间相关关系, 进而预测核泄漏物的浓度分布, 所以气象观测资料的准确性具有特别重要的意义。由于种种原因, 气象观测数据存在着误测和漏测问题以及资料获取率达不到预计要求。在解决误测和漏测问题时, 我们依据气象参数的时空相关性, 逐一检查了 28 个地面站和 6 个空间站 3 年 1096 天的风向、风速和温度资料并对误、漏数据进行了订正。在解决资料获取率不足问题时, 我们根据季节、天气、下垫面特征等因素采用了类比和经验插值等方法¹⁾。

2.2 天气类型的分类和基本特征

研究区域地处低纬度的热带地区, 有大面积海洋和山地, 气流比较复杂。根据 3 年气象资料的分析, 我们将风型分为 14 类 (风型的划分没有考虑风速大小, 主要是因为该工作是第一次尝试, 所以尽量减少统计样本数以降低计算量, 但又不失去代表性)。若按风型、季节 (春、夏、秋和冬) 和天气状况 (阴和晴) 3 个因子组合, 可得 112 个天气类型, 但研究发现, 一些天气型并不存在, 另外一些出现的概率很小, 其中出现 3 天以上的天气类型共有 52 个 (见表 1)。

表 1 不同季节、不同天气条件下的天气类型频率 (%)

风型	季节与天气		春天		夏天		秋天		冬天		3 年
			晴	阴	晴	阴	晴	阴	晴	阴	
东北风型			12.0	7.0	2.2	0	34.6	5.5	33.7	7.2	25.4
东风型			12.0	4.3	6.0	9.2	21.4	6.6	18.2	2.2	20.0
东南风型			23.9	3.8	8.7	10.9	8.8	1.6	7.7	0	16.4
南风型			8.2	2.1	7.6	2.7	0	0	0	0	5.2
西南风型			2.7	1.6	26.6	9.8	1.1	0	1.1	0	10.8
西风型			0	0	2.7	0	0	0	0	0	0.7
北风型			1.1	0	0	0	8.2	1.1	7.7	2.8	5.2
东风转南风型			3.3	0	1.6	2.2	1.1	0	1.7	0	2.5
东南风转西南风型			1.6	0	0	0	0	0	0	0	0.4
辐散型			0	0	1.1	0	1.1	0	0	0	0.5
辐合型			2.7	1.6	0	0.5	2.2	0.5	6.1	0	3.4
乱型			3.3	2.2	3.8	4.4	6.0	0	9.3	0.6	7.4
东北-西南辐合型			3.8	1.6	0	0	0	0	1.7	0	1.8
南平北扰型			1.1	0	0	0	0	0	0	0	0.3

从表 1 可以看到: 3 年中, 在研究区域内整天吹东北风的频率最高, 为 25.4%, 其次为东风和东南风, 频率分别为 20.0% 和 16.4%, 而辐散型、南平北扰型、东南风转西南风型出现的频率比较小, 都不超过 0.5%; 天气类型具有明显的季节变化, 如, 春季东南风出现的频率最高, 夏季主要以西南风为主, 秋季和冬季东北风出现的频率最高; 西风只出现在夏季, 南风只出现在春、夏两季, 南平北扰型只出现在春季, 东北-西南辐合型只出现在春季。

1) 中国科学院大气物理研究所, 1998, 适合于大亚湾核电站周围地形类别的核事故后果预测评价软件开发研究项目——风场及扩散数值模拟

3 风温场的数值模拟

3.1 风温场的数值模拟

大气的流动特征及其时空变化是研究大气中物质输运的重要信息。实测风温资料经内插和调整所构造的流场在一定程度上反映了下垫面地形的影响，但下垫面的热力作用、边界条件的约束等并没有得到考虑^[1]。为了更好地描述复杂地形条件下热力和动力共同作用下的风温场，在实测资料的基础上我们采用了一个基于流体静力平衡的中尺度气象模式^[3]以模拟研究区域的风温场。

中尺度气象模式采用了地形追随坐标系和四维资料同化技术^[4]。在本文中，模式的水平格距为 5 km，垂直方向采用不等距网格（见表 2），时间积分步长为 18 s，模式的输入资料包括地形标高和下垫面类型、初始风温场及地面温度。

表 2 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

用中尺度气象模式模拟了全部天气类型 24 小时的风温场，其中模式的初始风温场及同化场为所属天气类型的所有天的逐时风温场的总平均。本文中一天的逐时风温场是采用客观内插^{[3],1)}的方法将实测风温插值到模式网格点上取得的。

3.2 关心点与天气类型的相关关系

现在我们采用统计分析方法，在模拟风温场的基础上将天气类型与事故发生后可立即获取气象因子的有限关心点的气象因子建立起相关关系和相关判据。通过相关关系的研究，一方面在事故一旦发生时，只要知道关心点的风向、风速、事故发生的季节、时刻及其天气情况（阴天、晴天和下雨天），便可预测未来 24 小时不同时段的污染路径、强度和影响范围，另一方面可以研究选取的关心点的代表性。

广东核事故最关心的空间点是大城市和人口密集区，加上关心点与排放点的位置必须具有多方位的覆盖，所以本研究选取广州（大城市和西北方位）、惠州（中等城市和北方方位）、深圳（中等城市和西方方位，可代表大城市香港）和海丰（中等城市和东方方位）作为关心点和大亚湾核电站（排放点）。统计发现，广州、惠州、深圳、海丰和大亚湾核电站与天气类型之间相关关系是一个多维的复杂的时空相关问题，如在风向方面，大亚湾核电站与广州的相关性好的只有东北风，与深圳的只有东北风、东风、东南风和西南风。相关判据是按风型、季节和天气状况的顺序组合的。由于在预报核泄漏物的浓度分布时，浓度分布的走向非常重要，因而确定天气类型的首要因子是风型。确定风型后可以找到相应的天气类型，然后根据季节和天气状况从中选出满足要求的概率最大者。在中尺度范围内，由于关心点之间季节和天气状况具有很好的相关性，所以这里仅介绍确定风型的判据。为了得出风型与关心点之间的相关关系，我们对关心点和风

1) 中国科学院大气物理研究所，1996，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

型中最多风向带及其频率进行了统计, 统计结果见表 3。

由表 3 我们可以归纳出以风向作为挑选天气类型的判据, 如广州、惠州、深圳、海丰和大亚湾核电站为东北风, 或者大亚湾核电站春天为东南风及冬天为北风时的风型属东北气流型 (包括 7 个天气类型)。为了检验判据的代表性, 我们对不同天气型资料的拟合率作了统计分析, 其平均结果如表 4 所示。

从表 4 可以看到, 本研究划分的 52 类天气类型较好地反映了研究区域内 3 年的风场特征, 其代表率大约为 60%~70%, 其中代表性最好是辐合线型, 最差是东风转南风型。

表 3 关心点和风场中最多风向带及其频率 (%)

风型	广州		惠州		深圳		海丰		大亚湾核电站	
	风向	频率	风向	频率	风向	频率	风向	频率	风向	频率
东北风型	东北风	80 ± 11	东北风	83 ± 9	东北风	81 ± 10	东北风	77 ± 9	东北风 东南风 北风	59 ± 8 53 ± 3 50 ± 6
东风型	东风	62 ± 9	东风	65 ± 5	东风	79 ± 6	东风	65 ± 6	东风	70 ± 7
东南风型	东南风	63 ± 10	东南风	74 ± 7	东南风	71 ± 7	东南风	67 ± 18	东南风	70 ± 12
南风型	南风	65 ± 8	南风	60 ± 9	南风	50 ± 7	南风	66 ± 4	西南风	40 ± 8
西南风型	南风	62 ± 10	南风	52 ± 11	西南风	68 ± 13	西南风	75 ± 11	西风	64 ± 3
西风型	西北风	65 ± 1	西风	79 ± 2	西风	74 ± 1	西风	55 ± 4	西风	84 ± 6
北风型	北风	68 ± 3	北风	62 ± 2	北风	64 ± 3	北风	58 ± 10	北风	60 ± 10
东风转 南风型	东风转 南风	52 ± 4	东风转 东南风	55 ± 6	东风转 东南风	56 ± 2	西南风	51 ± 15	东南风 西北风 西风	51 ± 2 51 ± 3 38 ± 8
东南风转 西南风型	东南风	63 ± 3	东南风	60 ± 5	东南风	50 ± 4	西南风	66 ± 1	东南风	47 ± 3
辐合型	东北风	51 ± 20	东南风	59 ± 4	东风	61 ± 7	西南风 东风 东南风	45 ± 2 62 ± 3 54 ± 5	东南风	54 ± 6
乱型	东北风 东南风 南风	58 ± 11 46 ± 2 42 ± 6	东南风 东北风 东风	56 ± 3 46 ± 5 44 ± 2	东北风 东南风 东风 西南风	47 ± 18 43 ± 4 48 ± 9 46 ± 7	西南风 东北风 东南风	54 ± 2 34 ± 5 37 ± 2	北风 东南风 东风 西北风	46 ± 4 44 ± 5 39 ± 4 54 ± 1
东北-西 南辐合型	东北	74 ± 15	东北	75 ± 7	东风	76 ± 3	东北风 东风 东南风	91 ± 1 75 ± 4 54 ± 9	东南风	72 ± 7

表 4 不同风型的平均拟合率 (%)

风型	东北 风型	东风型	东南 风型	南风型	西南 风型	西风型	北风型	东风转 南风型	东南风转 西南风型	辐合型	辐合 线型	平均
拟合率	76	68	69	60	64	71	62	53	57	54	78	65
标准差	10	7	4	7	8	12	4	2	8	6	8	8

4 结论

通过对研究区域内 3 年多点逐时观测风向、风速和温度的分析,并结合降水和云量资料,按一天中的逐时风向(14 类)、季节(4 类)及天气状况(2 类)划分为具有代表性的 52 类天气型,并导出了相应的风温场。每类天气类型有它的形成原因和分布特征,其风温场是所属天气类型的所有天的逐时风温场的总平均。

用中尺度气象模式模拟了全部天气类型 24 小时的风温场,使得模拟的风温场能充分反映下垫面的影响,以便很好地描述风温场的局地变化。在模拟风温场的基础上导出了 5 个关心点与天气类型的相关关系及其相关判据。对风型相关判据的检验发现,本研究划分的 52 类天气类型较好地反映了研究区域内 3 年的风场特征,其代表率大约为 60%~70%,其中代表性最好是辐合线型,最差是东风转南风型。

参 考 文 献

- 1 Lei Xiaoen, Han Zhiwei and Zhang Meigen, *Physical, Chemical, Biological Processes and Mathematical Model on Air Pollution*, Meteorological Press, Beijing, 1998.
- 2 桑建国、温市耕, 大气扩散的数值计算, 北京: 气象出版社, 1990.
- 3 雷孝恩、张美根、韩志伟, 大气污染数值预报基础和模式, 北京: 气象出版社, 1998.
- 4 Pielke, R.A., 中尺度气象模拟, 北京: 气象出版社, 1990.

Application of Numerical and Statistical Methods to Contingency System for Nuclear Power Plants in Guangdong

Zhang Meigen, Han Zhiwei and Lei Xiaoen

(State Key Laboratory of Atmospheric Boundary Physics and Atmospheric Chemistry,
Chinese Academy of Sciences, Institute of Atmospheric Physics, Beijing 100029)

Abstract Based on three years' meteorological data obtained from the routinely meteorological stations in the studied area, some different weather types were measured off by meteorological factors, such as season, weather and hourly wind speed and direction. Its wind and temperature fields were simulated by mesoscale meteorological model in order that the simulated wind and temperature fields can render effects of thermal and dynamical inhomogeneity of underlying surface. With these fields, correlation of meteorological factors of concerned points with weather types could be built statistically, and relevant wind and temperature fields could be found by this correlation and used as forecasted ones to calculate concentration distributions of unclear pollutants when meteorological factors of concerned points were known.

Key words: contingency system for nuclear power plant; mesoscale meteorological model