

三种与地质灾害相关的突发性气象灾害应急预报 系统研究新进展

谭季青, 章志英, 戚丹青, 徐 娟, 袁小超, 郑朝霞

(浙江大学气象信息与灾害预测研究所, 杭州 310027)

摘 要: 本文介绍了在火山灰、核放射性物质和强沙尘暴引发的沙尘粒子的长距离输送数值模拟领域里近年来获得的有关新进展。其基本进展是: 1) 引进美国 NOAA 空气资源研究所的 HYSPLIT-4 模式。并以此为核心形成火山灰、核放射性物质和强沙尘暴的浓度与轨迹数值模拟与预报系统。2) 提出一个非连续性空间分布污染场的平流输送方案。3) 新发现一个数值模式中的误差污染机制。

关键词: 火山灰; 核放射性物质; 强沙尘暴; HYSPLIT4 模式; 数值模拟; 长距离输送

中图分类号: P429

文献标识码: A

文章编号: 1673-8047(2010) 04-0001-06

0 引言

运用计算机及其数值计算方法对自然界内任何一种自然现象进行数值模拟, 是国内外科学界最先进的科学方法之一。由于大气运动极其复杂, 就任何污染物在大气中的传播现象而言, 如果扩散模式所采用的气象场资料是静态的数据, 其数值模拟的技术水平和科学价值就会很低。所以, 使用数值天气预报模式与扩散模式嵌套的长距离输送预报系统的设计方法, 成为当今模拟各种污染物在大气中传播现象的主流技术。谭季青和纪立人^[1]针对数值天气预报模式的实际可预报性展开过细致的研究; 谭季青和 MASARU CHIBA^[2]发现了污染物长距离输送的数值模拟倘若使用传统的欧拉方法会引发很大的描写误差。经研究表明, 扩散数值模式对污染场的非连续性场的长距离输送的描写误差是最根本的原因之一。鉴于此研究, 谭季青和 MASARU CHIBA^[3]在日本提出了一个关于非连续性场平流输送的 PTPR 方案。2002 年, 谭季青和 MASARU CHIBA^[4]将日本全球衡量气体全球输送模式 (GTMM) 与日本气象厅 T63 中期数值预报模式 (日本气象厅 Katayama 提供的并行计算版本) 嵌套, 在日本气象厅气象研究所 (MRI) 的超级计

算机 SR8000 上, 针对美国 2401 个化工厂二氧化硫的全球排放的长距离输送进行了数值模拟。将非连续性场平流输送的 PTPR 方案引入 GTMM 模式后, 成功地模拟出了污染物在大气中长距离输送的非连续性结构。形成了以下学术观点: 传统数值模拟建模的思路, 常是把污染场当做连续性空间分布结构来处理。因而可以运用欧拉法, 借助计算机来对描述污染场的长距离输送方程进行数值求解。许多初始场的处理也隐含了连续性假定, 例如: 根据几个离散的污染气体监测站的数据, 来进行空间差值运算, 从而获得在数值模拟初始时刻的初始场分布数据。虽然这种把污染场当做连续性空间分布结构来处理的思路, 在平稳天气条件下, 对 1~10 km 范围内的小尺度空气污染事件运用连续性假定所产生的模式描写误差不大, 但非平稳天气条件下以及 10 km 以上的突发性污染事件的数值模拟, 其平流计算方案就不能不考虑非连续性污染场的平流计算方案。

为了探索非连续性现象影响数值模拟准确性的深层次的科学原因, 我们重新围绕数值天气预报的实际可预报性问题展开了一系列研究^[5-7]。这些研

收稿日期: 2010-07-01

基金项目: 东亚台风水汽非一致连续性的诊断及数值模拟 (批准号: 40875091); 东亚大尺度天气过程的实际可预报性研究 (批准号: 40475043); 非连续性污染物长距离输送的数值模拟研究 (批准号: 40345025); 中科院大气物理所联合创新青年学者计划项目: 全球格点大气环流模式 GAML 模式水汽平流输送新方案; 中国气象局灾害天气国家重点实验室开放课题: 台风预报中非连续性水汽源长距离输送研究

作者简介: 谭季青 (1963—), 男, 湖南新化人, 博士后, 副教授, 主要从事环境气象及数值天气预报模式数值模拟科研工作。

究最具学术价值的发现是 5 d 预报的预报技巧呈现准周期性的变化特征。这个特点的发现与非连续性误差之间有无联系,一直是困扰作者多年的学术问题。

国际上针对数值天气预报模式的实际可预报性领域,最近取得了突破性进展。它提高了本文第一作者对困扰自己多年的学术问题的认识。最著名的研究是 Palmer 和 Tibaldi^[8]与 Palmer^[9]发现 7~10 d 预报的预报技巧与 PNA 指数相关。尤其是 Shukla^[10]指出 Lorenz^[11-13]在研究数值天气预报模式误差的权威研究中出现的两个错误,由于他出色的研究获得了美国气象学会颁发的 Rossby 奖。他们的研究意义在于:过去 Lorenz 认为影响数值天气预报模式的主要误差是初始气象资料的随机观测误差,由于观测误差不可避免,描述大气运动的偏微分方程组中的非线性项,在计算过程中会呈现“混沌现象”,从而误差会按幂指数倍增长。因而中期延伸数值天气预报的可预报时效存在可预报界限,根据初始误差加倍的时间估算,可预报时效的界限为两周。但是,Palmer 等发现的欧洲中期预报中心的 7~10 d 的预报产品的预报技巧与太平洋北美遥相关指数(PNA Index)有关;谭季青等^[5]发现中国气象局 5 d 的预报产品的预报技巧存在准周期变化的现象表明:目前影响中期数值天气预报模式预报技巧变化的诸多因子中,存在某种可确定性的误差因子,使预报技巧呈现准周期变化或是与太平洋北美遥相关指数(PNA Index)有关。倘若如 Lorenz 所说目前影响中期数值天气预报模式预报模式预报技巧变化的诸多因子以随机观测误差为主要影响因子,则中期数值天气预报模式产品的预报技巧变化应该呈现随机性特征。

Shukla (2005) 指出 Lorenz 在研究数值天气预报的模式误差的权威论文中出现的两个错误。这更进一步表明我们认为存在某种被人忽视的可确定性的误差因子的观点的正确性。2008 年本文第一作者仔细检查了数值模式设计中涉及到的每一个技术环节,并检查了传统计算方法常用的基本假定和技术参数。之所以这样做是因为从数值天气预报模式实际可预报性研究的进展来看,很可能是某个常用的基本假定里含有能造成预报模式预报技巧的变化呈现准周期性的变化。经初步研究表明:所模拟场的非一致连续性问题,是目前最大的误差来源。该思想运用到台风水汽场的长距离输送的数值

模拟^[14-15],得到了一些专家的认同。

1 环境紧急响应预报系统

核电站事故(例如:1986 年 4 月切尔诺贝利核事故)发生核放射性物质泄漏后,根据不同事故级别和不同时间长度估算,核放射性物质可在周边方圆 1 km 至 1 000 km 范围内,乃至几千千米内传播。由于核放射性物质对人体伤害极大,极难清除,再加上放射性物质的半衰期很长(例如:铯 137 的半衰期为 33 年),因而破坏植被和生物链结构,从而使周边土壤性质发生改变,进而引发次级影响区的地质灾害的发生频率。

根据在法国图卢茨环境紧急响应中心、美国华盛顿环境紧急响应中心、加拿大蒙特利尔环境紧急响应中心和日本东京环境紧急响应中心等地研究的数据显示:从 1945 年到 1996 年全世界共发生较大的核物质泄漏事件 300 次,平均每年发生 6 次,这个数字是惊人的。因此,核泄漏决非推广核技术的商人们所宣传的概率极小的事件。

1996 年本文第一作者主持了 LMTTP 北京环境紧急响应系统。该模式参加了 1997 年 7 月 24 日的世界气象组织(WMO)和国际原子能机构(IAEA)组织的第 2 届有 66 国参加的关于环境紧急响应(EER)行动的全球演习中技术评比获第 5 位。

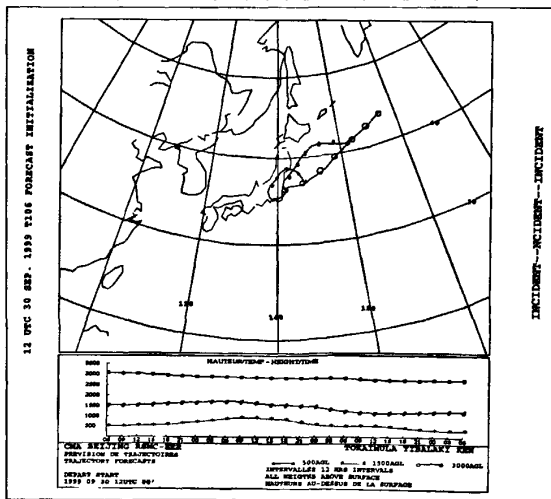


图 1 日本核泄漏事故的轨迹模拟预测图

值得一提的是,该模式系统曾对 1999 年 9 月 30 日日本茨城县发生真实的核泄漏事件进行过实战预报。笔者在北京环境中心,一接到 WMO 以及 IAEA 总部在第一时间发来的日本核事故请求发

布未来 72 h 的 EER 预报产品的传真指令，就立刻启动应急模式系统，并在第一时间内，向 IAEA 总部和世界上八大发布了 LMTTP-2 模式的 EER 预报产品。

图 1 是轨迹模拟预测图。从图中可以看出,当时的风场在同一地点上空的三种高度(500 m、1 500 m 和 3 000 m)出发的放射性物质的最大浓度中心移动的路径是不一样的,这是因为这三种高度分别对应于大气边界层、850 hPa 低空大气层及 700 hPa 低空大气层,而这三个层次的风向不一致,所以,在同一地点污染物浓度扩散方向也不同。我国的 EER 产品之所以准确,是因为我国的长距离输送模式 LMTTP-2 预报系统与我国当时的中期数值预报模式(T106 模式)是实时(On-Line)嵌套。反观法国图卢茨环境紧急响应中心、美国华盛顿环境紧急响应中心和加拿大蒙特利尔环境紧急响应中心的环境紧急响应系统是非实时(off-line)嵌套,他们的长距离模式是使用最靠近事故发生时间的气象预报场作为初值(大约相差 6 h),因而,他们预报的结果出现了与实况不相符合的现象(图略)。他们的 EER 预报产品覆盖日本本岛,给当时日本政府带来了很大压力。而因为按 WMO/IAEA 关于环境紧急响应行动计划的协议,日本政府应立刻在 72 h 内疏散当地成千上万的居民。日本气象厅根据其自身的气象模式的预报结果及实时监测,最后采信了我国 LMTTP-2 模式的 EER 预报产品,事后也证明我国的 EER 预报产品与实况吻合。图 2 是我国 LMTTP-2 模式的 EER 预报产品中的未来 72 h 的浓度预报图。

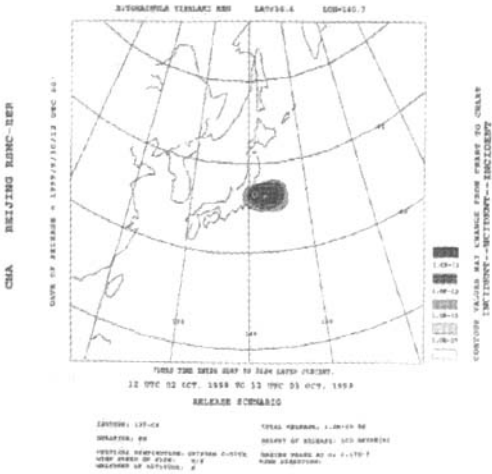


图 2 日本核泄漏事故的 72 h 浓度分布图

此外,章志英 2005 年^[16]和 Tan Jiqing ,Zhang Zhiying 2006 年^[17],在浙江大学围绕秦山核电站未来倘若发生类似切尔诺贝利核事故时短期内浓度中心扩散的可能路径和范围展开了研究。

2 东亚强沙尘暴预报系统

沙尘暴事件是大气将地表面的浮尘高高扬起,然后连续不断地向不同高度的大气层次中传播的一种地质与气象双重灾害事件。因而引起大气科学界和地质科学界的科学家们的强烈关注。1997 年 12 月 1—5 日,由世界气象组织(WMO)、国际原子能机构(IAEA)和全面禁止核试验组织(CTBTO)在奥地利维也纳召开了环境紧急响应专家会议。会上,确立了核事故、火山灰和沙尘暴等突发性事件为环境紧急响应中心的重点业务预报服务的内容。1993 年至 1995 年,笔者在北京大学做博士后流动站期间,将长距离输送与扩散模式与北京大学国家重点暴雨实验室的区域气象模式耦合设计形成了一个东亚沙尘暴预报系统,并成功对 1988 年发生在北京市的沙尘暴个例进行了数值模拟^[18]。

2005 年又在浙江大学开发了使用 HYSPLIT-4 模式的强沙尘暴预报系统^[19]。

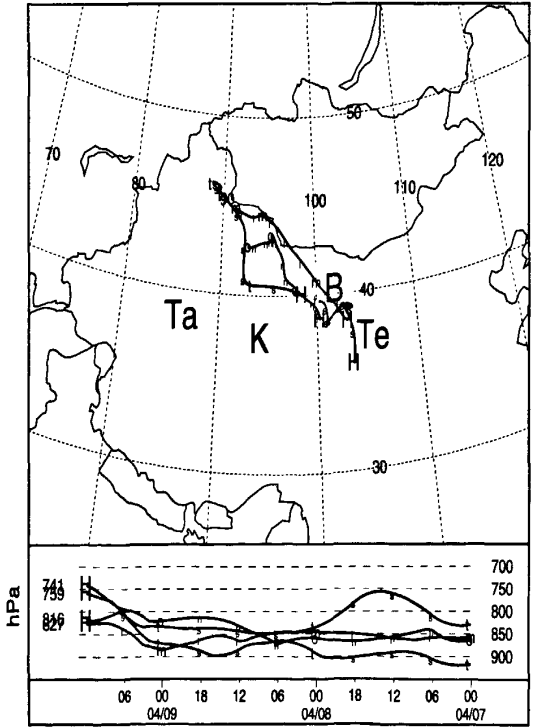


图 3 甘肃省站点后向轨迹图

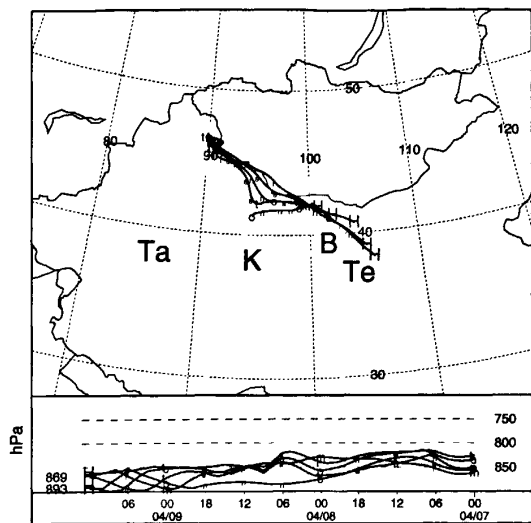


图 4 内蒙古自治区站点后向轨迹图

图 3 是甘肃省站点后向轨迹图。图 4 是内蒙古自治区站点后向轨迹图。用图 3 和图 4 可以很好地模拟 2003 年 4 月 9 日发生在我国西北的这次强沙尘暴的源地。确定了沙尘源地后, 我们根据起沙模型成功地再现了该次沙尘暴的浓度场的演变情况 (见图 5、6、7)。

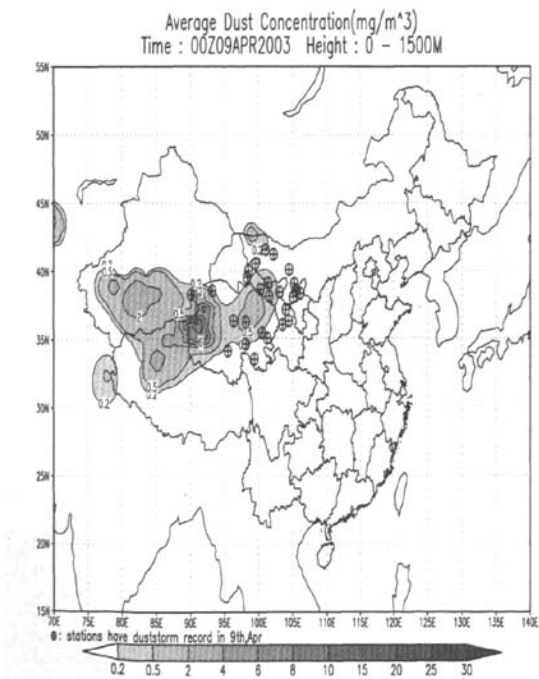


图 5 4 月 9 日 00 时 0~1 500 m 平均沙尘浓度

万方数据

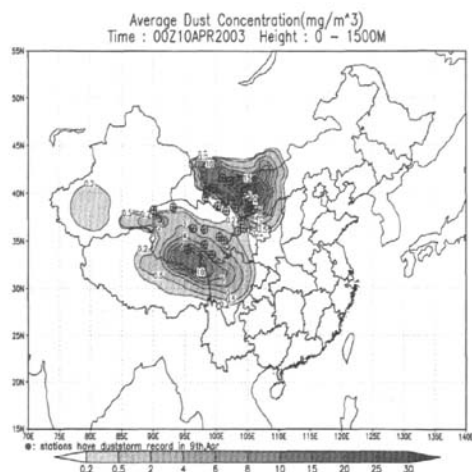


图 6 4 月 10 日 00 时 0~1 500 m 平均沙尘浓度

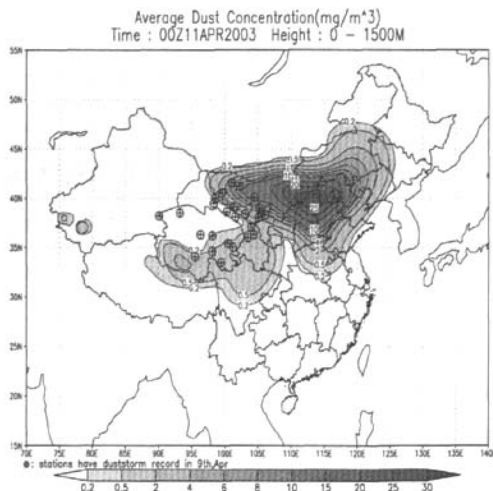


图 7 4 月 11 日 00 时 0~1 500 m 平均沙尘浓度

3 皮纳图博火山灰长距离输送预报系统

1991 年 6 月 15 日, 沉睡了 600 多年的菲律宾皮纳图博火山再次爆发, 大约 2 000 万吨的火山灰、二氧化硫等直接注入平流层大气, 使得平流层气溶胶粒子的含量急剧增加。火山灰云影响大气最直接方式减弱太阳的辐射, 从而使近地面温度降低。由于形成对流层大气中的大气环流的机制, 主要是由地面长波辐射和太阳辐射的收支平衡。而火山喷发将减少地面吸收太阳辐射的份额, 因而, 地面长波辐射减少。另一方面, 大气中气溶胶粒子增加, 势必增加大气吸收太阳辐射的份额。这样一“减”一“增”, 地面长波辐射和太阳辐射的收支平衡就将被打破, 进而大气环流发生改变。大气环流的改变, 势必影响天气, 从而使得水汽平衡的格局会发生细

微改变,不同区域降水的分布格局也将发生细微改变。这样,由于引发地质灾害事件的天气发生了异动,频发地质灾害的地点和季节特征也会发生细微的改变。

本节要介绍的火山灰长距离输送模式预报系统的研究,是从突发性事件应急的角度和需求,解决非学术机构(例如:政府和媒体)关注的实际问题来展开的。假定未来某个时刻经地质学家们预计皮纳图博火山将再次爆发,那么,火山灰对我国影响的短期情况如何?用科学的思路解决这个问题,需要建立一个关于火山灰长距离输送的数值预报系统。

徐娟 2005 年^[20]和 Tan Jiqing, Xu Juan 2006 年^[21]公布了围绕此问题的主要研究成果,得出的初步结论是:火山是目前世界上最主要的突发性自然灾害之一,位于环太平洋火山带中的火山一旦喷发我国将直接受到火山灰气溶胶的影响。本文以菲律宾的皮纳图博火山为例,采用长距离输送模式 HYSPLIT4 模拟该火山在 1983—2003 年的夏半年和冬半年喷发后火山灰的输送,对皮纳图博火山喷发后火山灰可能的输送路径做统计分析,研究火山灰在不同高度层上的扩散以及火山灰浓度的演变和火山灰云的发展,探讨不同季节影响皮纳图博火山灰输送的大气环流条件。全文的研究得到如下主要结论。

1) 以 1983—2003 年时段的不同季节的历史气象资料为初值,使用 1991 年皮纳图博火山的喷发参数为场景,建立以 HYSPLIT-4 长距离输送模式的火山灰预报系统,并利用该系统进行时间长度为 15 d 的数值模拟。并根据所有浓度最大中心的模拟结果数据进行分类统计分析,结果表明:皮纳图博火山灰的输送有四类不同的路径:西南路径,偏西路径,偏北路径和东北路径。

2) 火山灰在皮纳图博火山喷发的短期内,浓度最大中心主要集中在 1 500 m 以下的低层,随后逐渐向高空扩散,一周的模拟中,最高的可以到达 8 000 m 左右。由于大气不同层次上风场结构不同,火山灰在输送中,常呈现明显的双中心结构,高层的扩散比低层快得多。如果皮纳图博火山在夏季以偏北方向的路径输送,高层火山灰可在喷发 3 d 后到达我国上空。

3) 皮纳图博火山灰输送路径视不同年份的哈德莱环流的强弱有关,不同季节、年份差异性很大。

冬半年,西向输送较多,夏半年,以北向输送路径居多。7 月份和 3 月份的向北输送过程中,不同高度层相比,7 月份低层路径偏西,3 月份偏南。同一时间,3 月份火山灰中心的浓度值比 7 月份大约高四个量级,因此,3 月份如果皮纳图博火山灰输送到我国,对我国上空气溶胶含量的影响比较大。

4) 火山灰输送浓度场的演变情况很敏感地依赖大气初值场。主要影响火山灰输送的天气系统是副热带高压、热带气旋以及东风波。

4 讨论与展望

重大核电站核事故所产生的放射性物质、强沙尘暴所产生的沙尘气溶胶粒子和火山喷发所产生的火山灰是 3 种对人类环境破坏极强的突发性气象灾害。这类物质在大气中的长距离输送过程一般呈现很强的非连续特征。因而,在数值模拟的一些计算方案中采用一致连续性的基本假定是不合理的,容易产生巨大的模式描写误差 (Model Describing Error),特别是在初值插值处理方案、平流计算方案和模拟结果后处理方案中尤为重要。本文介绍了作者多年来在火山灰、核放射性物质和强沙尘暴引发的沙尘粒子的长距离输送数值模拟领域里近年来获得的有关新进展。这些工作将为我国未来应对火山灰、核放射性物质和强沙尘暴等突发性紧急灾害事件,提供一个强有力的科技平台。

参考文献:

- [1] Tan, J. and Ji Liren. Diagnostic analysis on forecast skill Acta Meteorological Sinica[J]. 1996, 54(2):248-256.
- [2] Tan Jiqing, Masaru Chiba. Old Problem, New Ways and New Applications on the Numerical Forecasting Techniques of Long Distance Dispersion Phenomenon[M]. Dynamics of Atmospheric and Oceanic Circulations and Climate, 2001:853-862.
- [3] Tan Jiqing, Masaru Chiba. A New Advection Scheme for Global Models[R]. 日本气象学会春季大会 (79), 2001: 128.
- [4] Tan Jiqing, Masaru Chiba. A New Study to Submit Global "Chemical Weather Chart" of Sulfer Dioxide. Fourth Conference on Atmospheric Chemistry: Urban, Regional, and Global-Scale Impacts of Air Pollutants. 2002:57-64.

- [5] Tan, J. and Xie Zhenhui., Ji Liren. 2003: A new way to predict forecast skill Adv[J]. in Atmos. Sci. Vol 20, NO. 5, 2003:837-841.
- [6] 王小萍, 谭季青. 对 T213 预报场可预报性的检验评价[J]. 科技通报, 2005 (1):91-98.
- [7] 王小萍, 谭季青, 吴书成. 基于支持向量机的预报技巧的预报模型研究[J]. 科技通报, 2006 (6):747-752.
- [8] Palmer, T. N., and S. Tibaldi. On the prediction of forecast skill. Mon[J]. Wea. Rev. 1988, 116:2453 - 2480.
- [9] Palmer, T. N. Medium and extended range predictability and stability of the pacific/North American mode. Quart[J]. J. Roy. Meteor. Soc. 1988, 114:691 - 713.
- [10] Shukla, J. Have we reached the limit of weather predictability? The Ed Lorenz Symposium The 85th AMS Annual Meeting. 2005
- [11] Lorenz, E. N. A study of predictability of a 28-variable atmospheric model[J]. Tellus, 1965, 17:321-333.
- [12] Lorenz, E. N. The Predictability of a Flow Which Contains Many Scales of Motion[J]. Tellus, 1969, 21:289-307.
- [13] Lorenz, E. N. Atmospheric predictability as revealed by naturally occurring analogues[J]. J. Atmos. Sci. 1969 (26):636-646.
- [14] 谭季青, 于跃飞, 戚丹青. 一个考虑非连续性的水汽输送方案[G]. 中美定量降水监测与预报国际研讨会论文摘要文集, 2005.
- [15] 谭季青, 陈中赞, 许福星, 等. 台风预报中关于水汽源长距离输送数值模拟的初步研究[G]. 中国气象学会 2007 年年会天气预报预警和影响评估技术分会场论文集, 2007.
- [16] 章志英. 核污染长距离输送的数值模拟[D]. 浙江大学, 2005.
- [17] Tan Jiqing, Zhang ZhiYing. Numerical Simulation of Long Distance Transport of Pollutants of Environment Emergency Response Activity at Qinshan Nuclear Power Plant. 14th Joint Conference on the Applications of Air Pollution Meteorology with the Air and Waste Management Assoc 2006, USA.
- [18] 谭季青. 沙尘暴预报系统研究[D]. 北京大学博士后出站报告. 1995.
- [19] 戚丹青, 谭季青, 孙长. 一次强沙尘暴长距离输送的数值模拟研究[J]. 浙江大学学报, 2006 (2): 216-222.
- [20] 谭季青, 徐娟, 何歆. 关于区域可持续发展的火山灰长距离输送的数值模拟研究[G]. 中国气象学会 2005 年年会论文集, 2005.
- [21] Tan Jiqing, Xu Juan. Numerical Simulation of Long Distance Transportation of Volcano Ash From Pinatubo. Eighth Conference on Atmospheric Chemistry, 2006, USA.

New Progresses on the Study of Emergency Forecasting Systems of Three kinds of Sudden-happening Meteorological Disaster Events Related to Geological Disaster Events

Tan Jiqing, Zhang Zhiying, Qi Danqing, Xu Juan, Yuan Xiaochao, Zheng Zhaoxia
(Institution of Meteorological Information and the Prediction of Disaster Events, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027)

Abstract: In this paper, some progresses are introduced on the simulation study of the long distance transport of volcano ashes, nuclear radioactive pollutants and severe dust storms. The basic progresses are 1) The American HYSPLIT-4 model of Air Resource Laboratory has been successfully introduced to form the forecasting system of volcano ashes, nuclear radioactive pollutants and severe dust storms. 2) A new advection scheme has been developed to simulate discontinuous fields of pollutants. 3) An error contamination mechanism of numerical models has been founded.

Key words: volcano ash; nuclear radioactive material; severe dust storms; HYSPLIT-4 model; numerical simulation; long distance transport.