

基于拉格朗日混合单粒子轨道模型的大气污染物扩散预报系统研究*

沈 浩¹ 刘端阳²

(1.江苏省江阴市气象局,江苏 无锡 214432;2.江苏省气象局,江苏 南京 210008)

摘要 基于拉格朗日混合单粒子轨道(HYSPLIT)模型内核,采用客户端/服务器(C/S)架构搭建大气污染物扩散预报系统。当突发性大气污染事件发生时,可以利用该系统对污染物输送轨迹和扩散趋势进行即时模拟预报。该系统较好地模拟了2015年天津“8·12”危险化学品仓库爆炸事件的污染物输送轨迹和扩散趋势,表明此次爆炸事件产生的污染物主要向渤海湾方向输送;污染物主要以水平输送为主,垂直输送很弱;随着污染扩散时间的持续,各高度的污染物在水平输送方向上差异明显。

关键词 拉格朗日混合单粒子轨道模型 突发性大气污染 模拟预报 污染物扩散趋势

DOI:10.15985/j.cnki.1001-3865.2016.07.006

Research of atmospheric pollutant diffusion forecast system based on HYSPLIT model SHEN Hao¹, LIU Duanyang².
(1.Jiangyin Meteorological Observatory of Jiangsu Province, Wuxi Jiangsu 214432; 2.Meteorological Observatory of Jiangsu Province, Nanjin Jiangsu 210008)

Abstract: Atmospheric pollutant diffusion forecast system was built, based on hybrid single particle Lagrangian integrated trajectory (HYSPLIT) model and client/server (C/S) architecture programming. When sudden pollution incident happened, this system could be used to simulate the transport trajectory and diffusion tendency of atmospheric pollutant in real time. This system could well simulate transport trajectory and diffusion tendency of atmospheric pollutant after “8·12” hazardous chemical explosion event in Tianjin in 2015, indicating that the pollutants were mainly transported to Bohai Bay. In addition, the pollutants were mainly composed of horizontal conveying and their vertical transport was very weak. Horizontal conveying of pollutants in each layer differed obviously with the extension of pollutant diffusion duration.

Keywords: HYSPLIT model; sudden atmospheric pollution incident; simulation forecast; pollutant diffusion tendency

近年来,随着社会经济的发展,危险化学品泄漏、爆炸等大气污染事件频发,不仅给社会造成了巨大的经济损失,而且给周边环境和人类健康带来了严重影响。在突发性大气污染事件发生时,第一时间掌握污染物的扩散趋势,能为灾害的预报预警提供必要的参考依据。污染物的扩散除了与自身化学性质有关外,主要受气象条件的影响,从现有观测资料来看,针对污染物和影响污染物扩散的气象要素的观测多为定点观测,且观测要素有限,因而仅凭目前的观测资料难以实现对污染物扩散情况的预报。数值模式具有精度高、时效长、可靠性高、内容丰富、结果直观的特性,可以满足人们对大气污染物扩散预报质量的基本要求。

早在20世纪70年代,人们就已经开始对污染

物的输送和扩散规律进行研究,并逐渐开展大气污染的预报工作。20世纪80年代前,大气污染预报多为经验预报,主要通过现有观测资料对影响大气污染物输送和扩散的气象因素进行分析,得出预报结论^[1-5]。针对大气污染物扩散预报的数值模式研究始于20世纪80年代中期,经过几十年的发展,大气污染物扩散模型正朝着更加精细化、多元化及更有针对性的方向发展。施介宽^[6]利用传统的高斯模型研究了垂直气流对大气污染物分布的影响,指出垂直气流的存在将明显影响高架源大气污染物的分布,特别在下沉气流中,地面污染物浓度将增大1~2个量级。朱黎明等^[7]为准确预测煤层气泄露污染的扩散路径及范围,针对高斯模型进行了改进,结果表明,改进后的高斯模型能够较好地模拟煤层气在

第一作者:沈 浩,男,1987年生,硕士,工程师,主要从事大气环境污染和云、雾、降水物理学方面的研究。

* 国家自然科学基金资助项目(No.41340042);江苏省自然科学基金资助项目(No.BK20130111);江苏省科技支撑计划项目(No.BE2012771);无锡市科技发展资金社会发展项目(No.CSE11N1301)。

空气中的扩散分布状况。李航等^[8]采用 WRF-CALPUFF 模型结合美国国家环境预报中心(NCEP)的再分析资料,对日本福岛核电站 2011 年 3 月 12 日的核泄漏事故进行了数值模拟,模拟结果可以较好地反映核物质扩散情况,尤其是关键时间节点的模拟结果与实际一致。马春香等^[9]针对几种大气污染物扩散模式的应用进行了对比,结果表明:CAPPS 模式应用于国内一些城市的大气污染预报,方法简单;NAQPM 模式对物理/化学过程的处理、气象场模拟、污染源排放、地域环境特征、数据处理分析与计算均采用较为科学的方案;ISC 模式在污染源排放清单和气象参数确定方面更加细致、准确。

拉格朗日混合单粒子轨道(HYSPLIT)模型是由美国国家海洋和大气管理局(NOAA)的空气资源实验室与澳大利亚气象局联合研发的一种用于计算和分析大气污染物输送轨迹、扩散浓度的专业模型。该模型具有处理多种气象要素输入场、多种物理过程和不同类型污染物排放源的功能,已经被广泛地应用于多种污染物传输和扩散的研究中。本研究从数值预报角度入手,基于 HYSPLIT 模型中的部分模块来搭建大气污染物扩散预报模型,在突发性大气污染事件发生时,可以即时模拟预报大气污染物扩散趋势,为灾害的处置和救援提供保障。

1 开发工具与运行环境

本研究基于 Microsoft Visual Studio 2010 集成开发环境中的 Visual C# 进行自主开发,通过构建

客户端/服务器(C/S)架构将 HYSPLIT 模型中的部分内核重新进行整合,并实现了与大气污染物扩散预报系统的对接。在利用 Visual C# 进行编程时采用了 Microsoft.net Framework 4.0 环境,因而大气污染物扩散预报系统运行环境限于 Microsoft.net Framework 4.0 及以上版本。

2 大气污染物扩散预报系统的功能结构

大气污染物扩散预报系统的功能结构如图 1 所示,主要功能如下:

(1) 利用 Visual C# 编程实现大气污染物扩散预报系统与 HYSPLIT 模型部分模块接口的对接,并实现 HYSPLIT 模型参数设置和大气污染物扩散预报系统功能性路径设置的界面化,参数设置中污染源起始点位置、污染物起始浓度、污染物扩散起始时间和持续时间均可任意选取。

(2) 实现系统自动定时下载全球预报系统(GFS)的最新预报初始场数据,并自动删除历史数据,防止数据堆积。

模拟预报的质量与精度:污染物输送轨迹模拟初始场数据时效为 180 h(7.5 d),时间分辨率为 1 h,空间分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$;污染物扩散趋势模拟初始场数据时效为 84 h(3.5 d),时间分辨率可达 1 min,空间分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 。

(3) 实现大气污染物在不同高度输送轨迹的模拟预报。

(4) 针对突发性大气污染,实现即时模拟预报

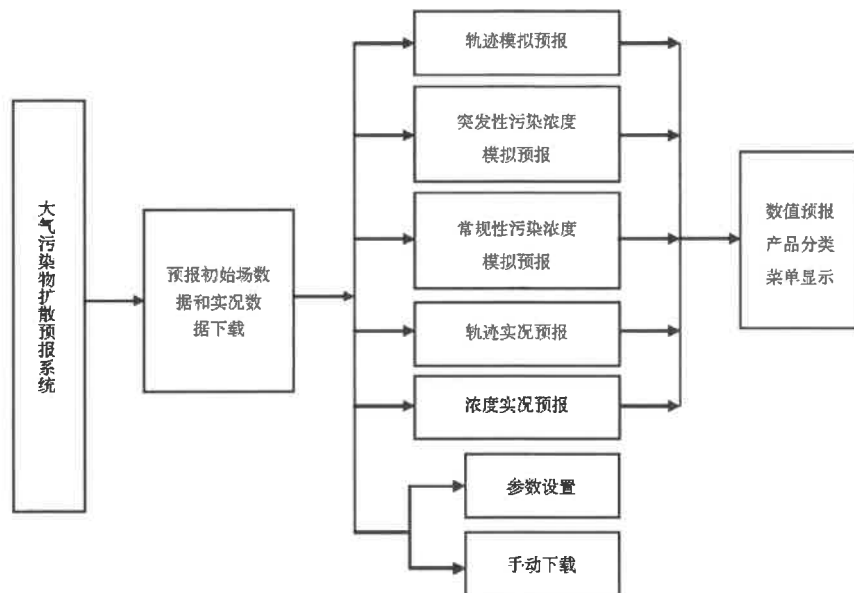


图 1 大气污染物扩散预报系统的功能结构图

Fig.1 Function chart of atmospheric pollutant diffusion forecast system

大气污染物扩散趋势。

(5) 针对常规大气污染源,实现定时定点批量模拟预报单污染源或多污染源的污染物扩散趋势。定时模拟预报分3个时段:前天 20:00 至今天 20:00 (0~24 h);今天 20:00 至明天 20:00 (24~48 h);明天 20:00 至后天 20:00 (48~72 h)。

(6) 实现系统自动定时下载最新全球资料同化系统(GDAS)实况数据(时间分辨率为 1 min,空间分辨率为 $1.0^{\circ} \times 1.0^{\circ}$)。利用实况数据进行预报,实现对模拟预报结果的对比检验。

(7) 自动批处理预报数据成图,并实现图片的分类显示。

3 大气污染物扩散预报系统的界面介绍

3.1 大气污染物扩散预报系统主界面

大气污染物扩散预报系统主界面包含各项功能菜单和图形显示窗口,如图 2 所示。

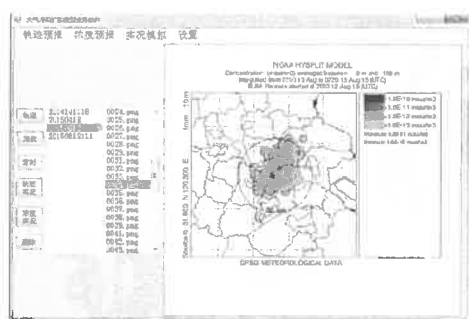


图 2 大气污染物扩散预报系统主界面

Fig.2 Main interface of atmospheric pollutant diffusion forecast system

(1) 轨迹预报菜单:用于设置大气污染物输送轨迹预报参数,并运行轨迹预报的模拟程序。

(2) 浓度预报菜单:用于设置大气污染物扩散浓度的预报参数,并运行浓度预报的模拟程序。

(3) 实况模拟菜单:用于设置大气污染物输送轨迹和扩散浓度的实况模拟参数。

(4) 设置菜单:包括各项路径设置和手动下载按钮。

(5) 图形显示界面:系统自动批处理预报数据成图,并实现图片的分类显示。

3.2 参数设置界面

参数设置界面(以浓度实况模拟为例)如图 3 所示。参数一般包含:

(1) 模拟起始时间:指模拟预报个例的起始时间(以“年 月 日 时”形式描述,以全球通用协调时间(UTC)计)。



图 3 参数设置界面

Fig.3 Interface of model parametric setup

(2) 模拟时间:指模拟预报个例的时间长度(以 h 为单位)。

(3) 模拟时间间隔:指模式模拟的时间间隔(以 h 或 min 为单位)。

(4) 污染物扩散速率:指污染源单位时间排放的污染物质量(以 mass/h 为单位, mass 为任意质量单位)。

(5) 污染扩散起始时间:指污染物从污染源开始扩散的起始时间(以“年 月 日 时 分”形式描述,以 UTC 计)。

(6) 污染扩散持续时间:指污染物从污染源开始扩散到结束的时间(以 h 为单位)。

(7) 模拟区域中心经纬度:指模拟的地理位置中心(以“纬度 经度”形式描述,经度和纬度均以 $^{\circ}$ 为单位)。

(8) 模拟区域范围:以模拟区域中心为原点,以径圈数和径圈间距的乘积作为半径。

(9) 起始位置个数:指污染源个数。

(10) 起始位置:指污染源的纬度、经度、高度,以(“经度 纬度 高度”形式描述,经度和纬度均以 $^{\circ}$ 为单位,高度以 m 为单位);如果有多个污染源,需逐个写入污染源的起始位置。

4 天津“8·12”危险化学品仓库爆炸事件模拟

4.1 污染物输送轨迹

利用大气污染物扩散预报系统,对 2015 年天津“8·12”危险化学品仓库爆炸事件进行污染物输送轨迹模拟,主要参数设置方案见表 1。从各高度的污染物输送轨迹看,模拟预报与实况预报基本吻合(见图 4(a)和图 4(b))。总体来看,此次爆炸事件产生的大气污染物主要输送方向为渤海湾方向。结合美国过境卫星 Terra 于 2015 年 8 月 13 日 3:00 的监测结果可以看出,爆炸后产生的烟团正向渤海湾

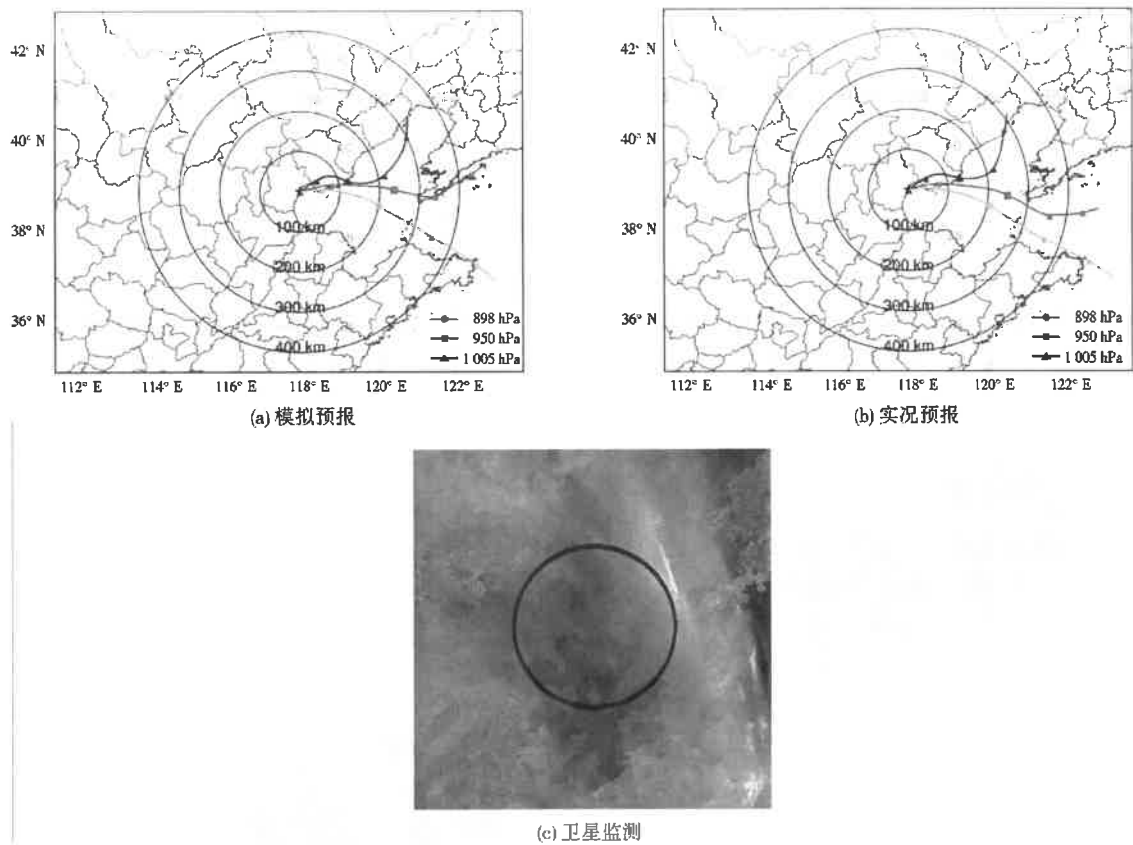


图 4 污染物输送轨迹比较
 Fig.4 Comparison of pollutant transport trajectory

表 1 污染物输送轨迹模拟的主要参数设置
 Table 1 Parameters of pollutant transport trajectory simulation

参数	设置
模拟起始时间	2015 年 8 月 12 日 12 时
模拟时间/h	24
污染扩散起始时间	2015 年 8 月 12 日 15 时 30 分
起始位置	(117.75°,39.04°,10 m)
模拟起始高度/hPa	898,950,1 005

传输,且污染物所在位置与模拟预报基本一致(见图 4(c))。污染物在 24 h 内主要以水平输送为主,垂直输送很弱。随着污染扩散时间的持续,不同高度的污染物在水平输送方向上差异明显。

表 2 污染物扩散趋势模拟的主要参数设置
 Table 2 Parameters of pollutant diffusion tendency simulation

参数	设置
模拟起始时间	2015 年 8 月 12 日 12 时
模拟时间/h	24
污染扩散起始时间	2015 年 8 月 12 日 15 时 30 分
起始位置	(117.75°,39.04°,10 m)
污染物扩散速率/(mass·h ⁻¹)	2.0
污染扩散持续时间/h	4

4.2 污染物扩散趋势

利用大气污染物扩散预报系统,对 2015 年天津“8·12”危险化学品仓库爆炸事件进行污染物扩散趋势模拟,主要参数设置方案见表 2。从图 5 可以看出,在爆炸后 12 h 内,模拟预报的污染物扩散趋势与实况预报基本吻合,说明大气污染物扩散预报系统取得了较好的模拟预报效果。

5 结 语

大气污染物扩散预报系统实现了参数设置的界面化,能自动下载、读取模拟预报的最新初始场数据和实况数据;采用 C/S 架构搭建,稳定性高、响应快、界面简洁美观、操作简单方便。当突发性大气污染事件发生时,可以利用该系统对污染物输送轨迹和扩散趋势进行即时模拟预报。大气污染物扩散预报系统较好地模拟了 2015 年天津“8·12”危险化学品仓库爆炸事件的污染物输送轨迹和扩散趋势,表明爆炸产生的污染物主要向渤海湾方向输送,污染物主要以水平输送为主,垂直输送很弱。随着污染扩散时间的持续,不同高度的污染物在水平输送方向上差异明显。

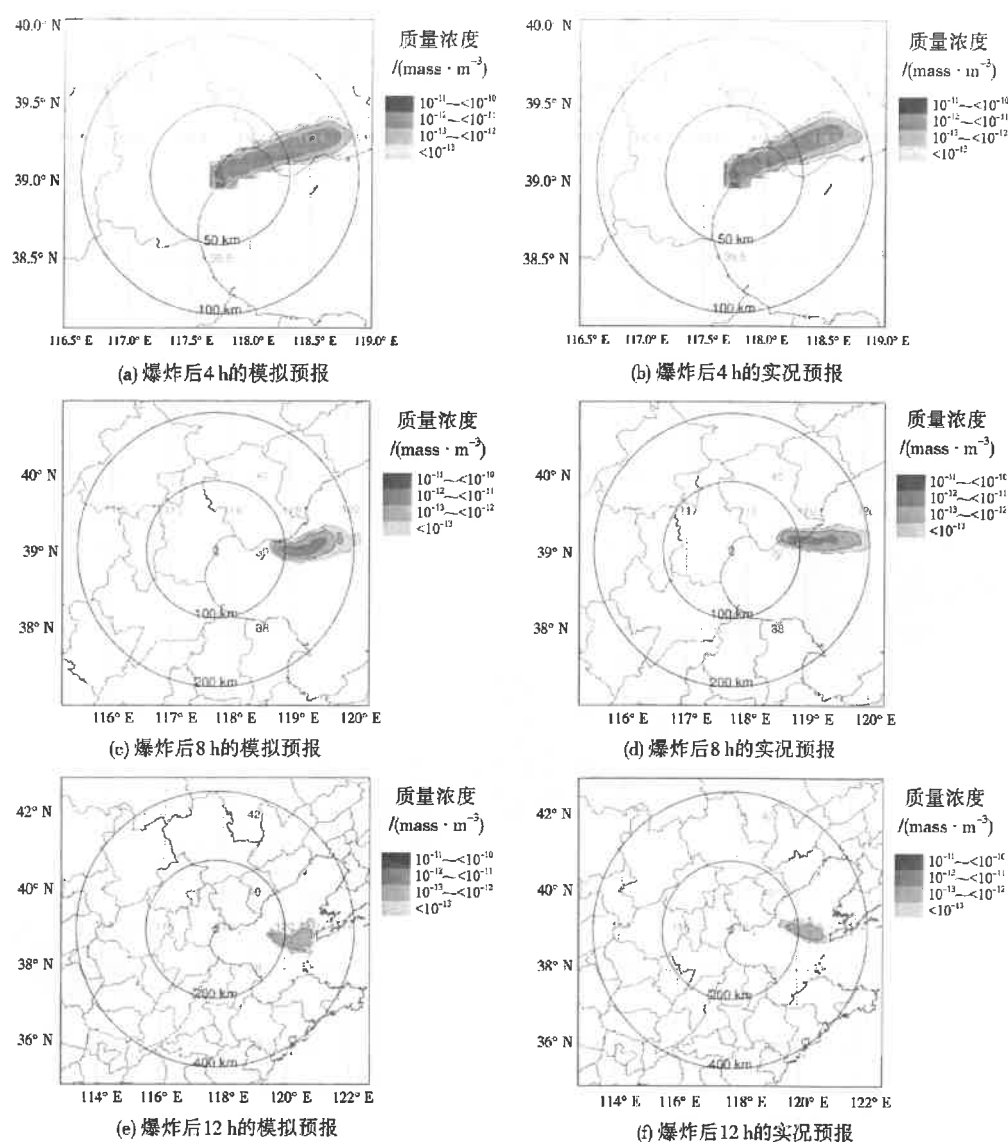


图5 污染物扩散趋势比较

Fig.5 Comparison of pollutant diffusion tendency

参考文献:

- [1] 丁国安.气象条件对大气污染的影响[J].环境保护,1975(1):12-14.
- [2] 中国科学院大气物理研究所四室.大气污染物多源模式在环境规划中的应用[J].环境科学,1976(1):15-24.
- [3] 地球物理系湍流与扩散组.某地区多源大气污染扩散的数值模拟[J].北京大学学报(自然科学版),1978(2):68-79.
- [4] 陶诗言.大气污染对天气和气候的影响[J].环境保护,1978(3):6-8.
- [5] 张锡福,邹孝恒,贾新媛,等.城市边界层大气扩散规律的研究[J].环境科学学报,1981,1(1):81-90.
- [6] 施介宽.垂直气流中大气污染物输送扩散的解析模式[J].环境科学,1987,8(4):24-28.
- [7] 朱黎明,芮小平,李尧,等.模拟煤层气泄露扩散的高斯改进模型[J].计算机工程与设计,2014,35(5):1754-1759.
- [8] 李航,张宏升,蔡旭晖,等.日本福岛核电站泄漏事故污染物扩散的数值模拟与事故释放源项评估[J].安全与环境学报,2013,13(5):265-270.

- [9] 马春香,赵淑敏.几种大气污染扩散模式的应用比较[J].环境科学与管理,2007,32(10):35-36.

编辑:徐婷婷 (收稿日期:2015-11-02)

(上接第30页)

参考文献:

- [16] 白明刚,马长海.河北省畜禽粪尿污染现状分析及对策[J].广东农业科学,2010,37(2):161-164.
- [17] 王晋虎.星云湖流域畜禽养殖污染特征及其定量估算研究[D].昆明:昆明理工大学,2011.
- [18] 周凯,雷泽勇,王智芳,等.河南省畜禽养殖粪便年排放量估算[J].中国生态农业学报,2010,18(5):1060-1065.
- [19] 王军.潍坊市畜禽养殖污染生态防治研究[D].青岛:中国海洋大学,2012.

编辑:黄苇 (收稿日期:2015-07-10)

