

· 研究报告 ·

大气污染扩散的高斯烟羽模型及其 GIS 集成研究

张斌才, 赵军

(西北师范大学 GIS 开发应用研究中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要:以 VB6 结合 SuperMap Objects 5.2 为开发平台, 实现高斯烟羽模型与 GIS 的集成, 可视化地表达大气污染物的扩散过程, 并通过实例讨论了 GIS 与烟羽模型集成的方法、技术流程及其他相关问题。

关键词:高斯烟羽扩散模型; GIS 集成; 大气污染

中图分类号: X169 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-2009(2008)05-0017-03

Application of Gaussian Plume Model of Atmosphere Diffusion Integrated with GIS

ZHANG Bin-cai, ZHAO Jun

(Development and Application Research Center of GIS, Northwest Normal University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: The simulation system of Gaussian plume model with GIS was developed by VB6 and SuperMap Objects 5.2 to show process of pollution diffusion in different weather conditions. Also integration of the model with GIS was discussed in the aspects of method, idea and application through its instantiation.

Key words: Gaussian plume diffusion model; GIS integration; Atmospheric pollution

高斯烟羽扩散模型(简称烟羽模型)是国际原子能机构(IAEA)推荐用于重气云扩散模拟的数学模型,该模型在非重气云扩散的应用日益广泛。王凤林等^[1]将烟羽模型应用于气团扩散;潘旭海等^[2]、蒋军成等^[3]将烟羽模型用于氰化氢泄露扩散模拟并完成了图形化的计算机实现;陈宏坤等^[4]分析认为 GIS 与大气扩散模型的整合是发展趋势;沈立峰等^[5]研究了基于 ArcMS 的烟羽模型扩散系统的实现,但对于烟羽模型与 GIS 集成的理论探讨相对不足;N. K. H. Arystanbekova^[6]给出了基于多事故烟羽模型,但不能很好地与 GIS 系统进行集成。

现以烟羽模型与 GIS 空间插值理论为基础,采用将烟羽模型中风向坐标转换为 GIS 投影坐标建立网格图层的方法,得到烟羽模型在 GIS 环境中的完全模拟量的栅格图层。该图层可以方便地转换为矢量图层并计算相关污染指数,完成烟羽模型与 GIS 的集成。

1 高斯烟羽扩散模型

高斯烟羽扩散模型以平流-扩散微分方程为依据,在风速及湍流扩散系数为定值条件下,平流-扩散微分方程的解为标准正态分布。所以通常将烟羽模型用来描述大气突发性污染事故中污染物质量浓度的分布,其表达式为:

$$C(x, y, z, t) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{(x-ut)^2}{2\sigma_x^2}} \times e^{-\frac{(y-vt)^2}{2\sigma_y^2}} \left[e^{-\frac{(z-h-wt)^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{(z+2H+h-wt)^2}{2\sigma_z^2}} \right] \quad (1)$$

式中: t ——时间, s; Q ——污染释放率, mg/s; u, v, w ——风速矢量值; $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ ——水平和垂直方向扩散系数; h ——事故点高度, m; H ——混合层高度, m。

烟羽模型以事故点为坐标原点,风向为 x 轴,得出空间一点 (x, y, z) 的污染物质量浓度值 C 。当 $v=w=0$, 且 $z=0$ 时,方程为:

收稿日期: 2008-03-14; 修订日期: 2008-07-20

基金项目: 甘肃省自然科学基金资助项目(2007GS3614)

作者简介: 张斌才(1982—), 男, 甘肃兰州人, 硕士研究生, 从事 GIS 系统设计与开发研究。

$$C(x, y, 0, t) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{(x-ut)^2}{2\sigma_x^2}} \times e^{-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}} (e^{-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{4H^2}{2\sigma_z^2}}) \quad (2)$$

由 (2) 式得出的污染物质量浓度变化模型是以为单个事故点为中心的独立坐标系, 通过以下坐标变换方法, 给出在 GIS 平面投影坐标系下统一的多源释放模型^[6]。设 I 为污染源, 其在 x0y 坐标系下的坐标为 (x0, y0), (α 90°) 为 0x 轴与风向轴 IX 的夹角, 而其风向坐标系为 X'Y', 现将 X'Y' 坐标按一般坐标变换方法有:

$$X = x \cos \alpha + y \sin \alpha$$

$$Y = -x \sin \alpha + y \cos \alpha$$

因只对 Y 轴作变换, 得到, $Y = (x - x_0) \sin \alpha + (y - y_0) \cos \alpha$

以风速因子 u、v 代替 sin 与 cos 可得到统一坐标系下多个单源释放的模型:

$$C(x, y, 0, t) = \frac{Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} e^{-\frac{I(x-x_0)u - (y-y_0)v - (u^2+v^2)(t-t_0)^2}{2(u^2+v^2)}} \times e^{-\frac{I(x-x_0)v + (y-y_0)u}{2(u^2+v^2)}} (e^{-\frac{h^2}{2\sigma_z^2}} + e^{-\frac{4H^2}{2\sigma_z^2}}) \quad (3)$$

式中: x0、y0 为事故点 GIS 坐标系位置; t0 为事故发生时间; 其余同上。

2 技术方法

2.1 图层网格化

图层网格格式分为结构化网格、非结构化网格。结构化网格是指网格中每个结点都有数量相同的相邻点, 而非结构化网格则不同。由于结构化网格易于实现, 便于进行插值处理, 故多用于实际应用, 如 M. Richards 等在分析大气污染时就采用了结构化网格设置^[7]。考虑到气体污染物质量浓度的空间变化频繁, 采用固定的结构化网格, 以事故发生中心地为整个区域的几何中心, 采用等间距条件将图层的二维空间离散化, 自动生成反映大气污染物质量浓度分布的等间距网格。

2.2 空间插值

2.2.1 克里金插值法 (Kriging)

克里金插值法是常用的一种空间插值方法。它利用区域化变量的原始数据和变异函数的结构特点, 对未采样点的区域化变量的值进行线性无偏最优估计。它在分析已测样点的形状、大小、空间位置, 已测样点与待估样点的相互空间位置关系, 以及变异函数提供的结构信息基础上, 对待估样点

进行的一种无偏最优估计, 可最大限度地利用空间取样所提供的各种信息, 不仅考虑了采样点数据和待估样点与邻近已知样点的空间位置, 还考虑了邻近样点数据以及各邻近样点彼此之间的位置关系, 同时利用了已有观测值空间分布的结构特征, 因此具有较高的精确度, 并且能给出估计误差^[8-9]。克里金插值法主要包括普通克里格方法、泛克里格法、协同克里格法、对数正态克里格法、指示克里格法、折取克里格法等。

2.2.2 反距离加权插值法 (Inverse Distance Weighted, DW)

反距离加权插值法是基于相近相似的原理, 即两个物体离得近, 它们的性质就越相似; 反之, 离得越远, 则相似性越小。该方法以插值点与样本点间的距离为权重进行加权平均, 离插值点越近的样本点赋予的权重越大。设插值函数 F(x, y) 为各实测数据点的加权平均, 即点 (xk, yk) 值对于 F(x, y) 的影响与 (xk, yk) 至 (x, y) 的距离成反比。令 dk =

$\sqrt{(x - x_k)^2 + (y - y_k)^2}$, 插值函数 F(x, y) 为:

$$F(x, y) = \frac{\sum_{k=1}^n \frac{f_k}{d_k^2(x, y)}}{\sum_{k=1}^n \frac{1}{d_k^2(x, y)}} = \sum_{k=1}^n f_k \cdot W_k(x, y) \quad (4)$$

式中权函数:

$$W_k(x, y) = \frac{\frac{1}{d_k^2(x, y)}}{\sum_{j=1}^n \frac{1}{d_j^2(x, y)}}$$

3 系统实现

3.1 系统平台

硬件配置: Pentium 4 处理器, 256 MB 内存, 40 G 硬盘, 该软件占用硬盘空间 33 M (包括数据); 采用绘图仪等为基本输出工具即可。

软件配置: 操作系统采用 Windows 95/98/NT/2003, 开发平台为 VB 6.0 和 Supemap Objects 5.2 开发组件。

3.2 模型参数

烟羽模型主要参数设置以大气稳定度分类为依据, 对扩散系统在水平及垂直方向进行确定, 研究中采用《制定地方大气污染物排放标准的技术方法》中推荐的水平及垂直方向扩散系数^[10-11]。大气稳定度分类见表 1。

表 1 Pasquill大气稳定度分类^[10]

| 高度 10 m 风速 $v/(m \cdot s^{-1})$ | 白天 (太阳辐射) | | | 夜晚 (云量) | |
|------------------------------------|-----------|-------|---|---------|----|
| | 强 | 中 | 弱 | 多云 | 无云 |
| <2 | A | A - B | B | E | F |
| 2 - 3 | A - B | B | C | E | F |
| 3 - 5 | B | B - C | C | D | E |
| 5 - 6 | C | C - D | D | D | D |
| >6 | C | D | D | D | D |

3.3 系统功能及实现

3.3.1 模型实现流程

实现模型的主要步骤见图 1。

(1)确定模型参数,包括空间位置参数及与模型相关的大气条件参数。

(2)GIS图层网格化,采用结构化的网格将图层数据离散化,建立矩形结构的网格节点。

(3)空间插值分析,采用普通 Kriging或 DW对离散化节点进行插值,生成新的栅格图层。在保证足够点数量时,两种插值方法效果接近。

(4)栅格图层可视化及其分析应用。

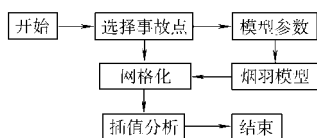


图 1 技术流程

3.3.2 大气污染扩散状态地图

采用二次开发方式,实现了高斯烟羽模型 GIS集成系统的基本输入、输出、编辑、操作等功能。主要功能:

(1)地图操作工具,包括地图打开、显示、漫游、放大、缩小等;

(2)图层编辑及操作,包括图层渲染,专题地图生成,图层添加、删除、移除,地图要素编辑等;

(3)查询功能,包括属性与位置相互查询,面积、距离查询;

(4)制图模板生成,实现将地图要素以推荐的格式自动生成地图并输出。

3.4 应用实例

某市一化工厂发生氯化物泄露事故。设氯化物泄露流量为 0.45 kg/s,高度为 5 m,风速为 4.8 m/s,风向为西南风,大气稳定度按 Pasquill表 1为 C级,时间是白天。应用高斯烟羽模型 GIS集

成系统预测在事故发生后 5 min氯化物的质量浓度分布。

(1)参数输入

输入参数分为 4类:事故点坐标,由图形工具点击加入或人工输入;高度及时间,高度分为污染源高度及混合层高度;大气稳定度分类,采用 Pasquill表分类并确定合适的 Briggs公式;风速因子,按空气流速及方向确定的 x, y方向的矢量值。参数输入界面见图 2。



图 2 参数输入界面

(2)模拟结果

基于高斯烟羽模型 GIS集成系统模拟的事故发生后 5 min氯化物质量浓度分布的模拟效果见图 3,图中将扩散质量浓度分为 5个等级,中心到最小级的距离约为 800 m。

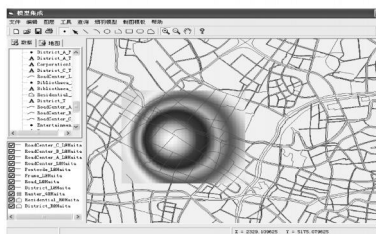


图 3 系统主界面

4 结论

为了探索 GIS与一般模型集成的方法,高斯烟羽模型与 GIS集成无疑是一个较为典型的例子,一方面它在实际工作中的应用较为显著,不但可以快速模拟有毒泄漏物的扩散过程,显示空间上受其影响的范围,而且有利于及时、准确地掌握决策信息,最大限度地减少损失。另一方面,由于大气本身变化较为频繁,尤其在近地面受到温度、地形等影响,需要对模型参数及适用性不断修正,才能进行准确的过程模拟,提供可靠的决策服务。

(下转第 55页)

- 胎发育的毒性 [J]. 中国环境科学, 2006, 26 (S1): 121 - 124.
- [11] 王桂燕, 周启星, 胡筱敏, 等. 四氯乙烯和对二氯苯对草鱼的联合毒性 [J]. 中国环境科学, 2007, 27 (3): 387 - 390.
- [12] SCHURE C, NAGEL R. Testing acute toxicity in the embryo of zebrafish (*B rachydanio rerio*) as an alternative to the acute fish test [J]. Preliminary results, 1994, 22 (2): 12 - 19.
- [13] 洪华常, 周海云, 蓝崇钰. 五氯酚对斜生栅藻的毒性效应研究 [J]. 环境科学研究, 2003, 16 (6): 23 - 25.
- [14] 罗岳平, 邱振华, 李建国. 用水蚤监测水质 [J]. 环境监测管理与技术, 2002, 14 (1): 12 - 16.
- [15] 窦亚卿, 成永旭. 糠虾作为毒性试验标准生物的应用与研究进展 [J]. 实验动物科学与管理, 2006, 23 (3): 47 - 53.
- [16] 周永欣, 章宗涉. 水生生物毒性实验方法 [M]. 北京: 农业出版社, 1989.
- [17] 国家质量检验检疫总局. GB/T 13267 - 1991 水质 物质对淡水鱼 (斑马鱼) 急性毒性测定方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1991.
- [18] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法 [M]. 4 版. 北京: 中国环境科学出版社, 2002: 725 - 728.
- [19] 国家环境保护总局. 化学品测试方法 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2004: 188 - 193.
- [20] 潘力军, 高世荣. 几种农药污染的饮用水生物毒性试验 [J]. 中国卫生工程学, 2007, 6 (1): 5 - 7.
- [21] 杨露云, 刘征涛, 王宏, 等. 五氯苯酚与邻氯苯酚和 2, 4 - 二氯苯酚对斑马鱼的联合毒性 [J]. 环境科学研究, 2006, 19 (6): 145 - 148.
- [22] 李文英, 熊丽, 刘荣, 等. 邻苯二甲酸二丁酯 (DBP) 对斑马鱼 (*B rachydanio rerio*) 生理生化特性的影响 [J]. 生态毒理学报, 2007, 2 (1): 117 - 122.
- [23] 国家环保局有毒化学品管理办公室. 化学品毒性法规环境数据手册 [M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1992: 230 - 445.

(上接第 19 页)

[参考文献]

- [1] 王凤林, 毕彤, 刘振山. 突发性环境污染事故大气扩散数学模型初探 [J]. 环境保护与循环经济, 2004, 20 (2): 35 - 37.
- [2] 潘旭海, 蒋军成. 危险性物质泄露事故扩散过程模拟 [J]. 劳动保护科学技术, 2001, 21 (3): 44 - 46.
- [3] 张明广, 蒋军成, 潘旭海. 基于 GIS 的重大危险源风险管理辅助决策系统 [J]. 天然气工业, 2007, 27 (7): 115 - 119.
- [4] 陈宏坤, 李兴春, 李春晓. GIS 与大气污染扩散模型的整合研究 [J]. 油气田环境保护, 2007, 17 (1): 47 - 50.
- [5] 沈立峰, 赵凌宇. 大气污染事故预测系统的研究 [J]. 污染防治技术, 2006, 19 (5): 3 - 6.
- [6] ARYSTANBEKOVA N K H. Application of Gaussian plume models for air pollution simulation at instantaneous emissions [J]. Mathematics and Computers in Simulation, 2004 (3), 67: 451 - 458.
- [7] RICHARDS M, GHANEM M. Grid-based analysis of air pollution data [J]. Ecological Modelling, 2006, 194 (3): 274 - 286.
- [8] 郑光辉, 黄克龙. 运用克里金空间插值技术进行土地级别划分 [J]. 南京师大学报, 2007, 30 (1): 112 - 116.
- [9] 帅方敏, 卢进登, 王新生. 基于 GIS 空间插值方法的长湖水水质评价 [J]. 环境监测管理与技术, 2007, 19 (4): 40 - 42.
- [10] 国家环境保护局. GB/T 13201 - 1991 制定地方大气污染物排放标准的技术方法 [S]. 北京: 中国标准出版社, 1992.
- [11] 林肇信. 大气污染控制工程 [M]. 北京: 高等教育出版社, 1996: 103 - 106.

本栏目责任编辑 李文峻 薛光璞

· 征订启事 ·

欢迎订阅 2009 年《水资源保护》

全国中文核心期刊 中国科技核心期刊

《水资源保护》是河海大学和环境水利研究会主办的科学技术期刊。本刊 1985 年创刊, 统一刊号: CN32 - 1356/TV, 现为全国中文核心期刊、中国科技核心期刊和江苏省一级期刊, 双月刊, 96 页, 国内外公开发行。

《水资源保护》主要刊登与水资源保护有关的基础研究, 应用技术, 工程措施, 综述述评, 专题讲座, 国外动态, 书刊评介, 科技简讯, 水资源管理、评价、监测、优化配置, 节水技术, 水环境污染控制等方面的文章。近年来, 本刊重点关注与水有关的生态环境领域中的研究方向, 新增设相关的基础研究、防治技术、城市水环境治理等内容。主要读者对象: 全国从事与水资源保护工作有关的工程技术人员、科研人员、管理干部以及大专院校的师生。

邮发代号: 28 - 298, 双月刊, 8 元/期, 全年 48 元, 每逢单月 30 日出版。欲订购者, 请径向当地邮局订购。若无法从邮局订阅, 亦可与编辑部联系索取征订单。

地址: 南京市西康路 1 号河海大学《水资源保护》编辑部 邮编: 210098 电话: (025) 83786642 电子信箱: bh@hhu.edu.cn