

doi: 10.3969/j.issn.1006-1576.2011.01.012

# 基于 GIS 的化工毒气危险区域分析

伍宗卿

(解放军理工大学 工程兵工程学院, 江苏 南京 210007)

**摘要:** 为避免因毒气短时间内泄漏扩散而造成大范围的人员伤亡, 以主要毒气扩散模型为基础, 研究分析了毒气扩散原理, 基于毒气扩散特点选择了合适的泄漏扩散模型。并根据毒负荷准则计算公式和实时条件参数, 基于 GIS 进行了毒气扩散后危险区域的划分计算; 最后对其显示流程进行模拟, 包括计算参数输入、模块选择计算、图层生成和结果显示, 使毒气危险区域分析结果直观实用。

**关键词:** GIS; 高斯模型; 毒负荷准则; 区域分析

**中图分类号:** C934 **文献标志码:** A

## Analysis Dangerous Area of Chemical Poison Gas Based on GIS

Wu Zongqing

(Engineering College of Engineering Corps, PLA University of Science & Technology, Nanjing 210007, China)

**Abstract:** In order to avoid large-scale casualties caused by gas leak in short time, this article which based on the main diffusion model of poison gas analyze the diffusion principle of poison gas, and choose suitable leakage and diffusion model. After that, according to poison load norm calculation formula and the condition of real-time parameter, the article carried out the partition calculation of dangerous area after diffusion of poison gas which based on GIS. Finally, to make the dangerous area analysis result of poison gas intuitive and practical, this thesis simulate the display process, including calculation parameters input, module selecting calculation, the layer formation and results show.

**Keywords:** geographic information system; gauss model; poison load norm; area analysis

### 0 引言

在战争条件下, 一旦工业、科研设施中储存的大量化工产品、放射性物质和生物制剂的容器和管道破坏或破损后, 毒气在短时间内泄漏扩散, 会造成大范围的人员伤亡, 产生次生灾害, 会给应急救援带来难以预料的困难<sup>[1]</sup>。因此, 建立毒气泄漏扩散模型并与 GIS 集成, 预测毒气扩散范围并在地理信息系统上实时显示, 对应急救援行动的指挥及实施是十分实用和必要的。故针对毒气扩散特点合理分析了有关毒气扩散模型, 并根据毒负荷危害程度划分了危险区域范围, 最后结合 GIS 的集成分析模拟了显示流程。

### 1 毒气扩散模型

表 1 列出了 5 种主要的扩散模型。其中, BM

模型是由一系列重气体连续泄放和瞬时泄放的实验数据绘制成的计算图表组成, 属经验模型, 外延性较差; Sutton 模型是用湍流扩散统计理论来处理湍流扩散问题, 但在模拟可燃气体泄放扩散时误差较大; FEM3 模型是三维有限元计算模型, 针对密度比空气大的较多的气体(氯气、液化石油气等), 适用于处理连续源泄放及有限时间的泄放, 但其用计算机模拟较为繁杂。高斯模型适用密度与空气相当的气体或经很短时间的空气稀释后密度与空气接近的气体的扩散。因此以高斯模型为例分析毒气扩散原理。高斯模型适用于点源的扩散, 由于实验数据多, 计算结果与实验值能较好吻合, 因而较为成熟<sup>[2]</sup>。

表 1 模型特性比较表

模型名称	适用对象	适用范围	难易程度	计算量	计算精度
BM 模型	中性、重气体	大规模、长时间	较易	少	一般
Sutton 模型	中性气体	大规模、长时间	较易	少	较差
FEM3 模型	重性气体	不受限制	较难	大	较好
高斯烟羽模型	中性气体	大规模、长时间	较易	少	较差
高斯气团模型	中性气体	大规模、短时间	较易	少	较差

#### 1.1 高斯烟羽模型

当连续泄漏产生的气团中有毒物质浓度分布服从高斯分布、密度为接近空气密度的中等密度时, 采用高斯烟羽模型<sup>[3]</sup>:

1) 风速大于 1 m/s,  $\sigma_z \leq 1.6L_0$  时, 以泄漏源为坐标原点, F 风向为 x 轴的三维空间中点(x,y,z)处浓度为:

$$C_{(x,y,z)} = \frac{Q}{2\pi\mu\sigma_y\sigma_z} \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (1)$$

收稿日期: 2010-07-22; 修回日期: 2010-09-15

作者简介: 伍宗卿 (1984-), 男, 湖南人, 硕士研究生, 从事作战模拟与决策支持研究。

式中： $C_{(x,y,z)}$  为空间点  $(x,y,z)$  处的浓度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ； $Q$  为泄漏源强度， $\text{kg}/\text{s}$ ； $\mu$  为风速， $\text{m}/\text{s}$ ； $\sigma_x$  为下风向扩散系数， $\text{m}$ ； $\sigma_y$  为横风向扩散系数， $\text{m}$ ； $\sigma_z$  为垂直风向扩散系数， $\text{m}$ ； $L_b$  为人气混合层高度， $\text{m}$ ； $H$  为有效源高， $\text{m}$ ，它等于泄漏源高度与抬升高度之和。

2) 当风速小于  $0.5 \text{ m/s}$ ，假定蒸气围绕泄漏源，在全方位呈均匀分布，此时距泄漏  $r$  处的浓度  $C_{(r)}$  为：

$$C_{(r)} = \frac{2Q}{(2\pi)^{3/2}} \cdot \frac{b}{b^2 r^2 + a^2 H^2} \cdot \exp\left(-\frac{b^2 r^2 + a^2 H^2}{2a^2 b^2 (m\Delta)^2}\right) \quad (2)$$

式中： $C_{(r)}$  为距泄漏源  $r$  处的浓度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ； $a$ 、 $b$  为扩散系数， $\text{m}$ ； $m\Delta$  为静风持续时间， $\Delta=3600 \text{ m}$ ，

$$C(x,y,z) = \frac{2Q}{(2\pi)^{3/2} \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \cdot \exp\left[-\frac{(x-ut)^2}{2\sigma_x^2}\right] \cdot \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \cdot \left\{ \exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right] \right\} \quad (4)$$

式 (4) 中的符号意义同高斯烟羽模型。

## 2 基于 GIS 的毒气危险区域分析

地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 作为一种可对空间数据进行强有力分析的工具，不仅可进行一般的查询、检索、管理和传输，还可对空间数据进行模拟以及可视化的表达。GIS 强大的空间数据和属性数据存储及辅助分析功能，为毒气泄漏与扩散模拟的实现提供了必要的保证<sup>[4]</sup>。

### 2.1 毒气危险区域的划分计算

毒气危险区域的划分以人员为对象，而毒物对人员的伤害程度用毒负荷衡量，毒负荷是毒物浓度与接触时间的函数，表达式是：

$$TL = kc^n m^t \quad (5)$$

式中： $TL$  为毒负荷； $k$  为系数，通常  $k \leq 1$ ； $c$  为毒物浓度， $\text{g}/\text{m}^3$ ，由高斯扩散模式计算； $t$  为接触时间， $\text{min}$ ； $n$ 、 $m$  为系数，如对氨  $n=2$ ， $m=1$ ，对氯  $n=m=1$ 。

以上就是毒负荷准则。在 GIS 中，笔者选取毒负荷准则来进行危险区的预测。其中，有毒物质的作用时间  $t$  应按应急救援准备程度估算。在周围居民无任何准备的情况下，以危险源按其最大储量排放 (泄漏) 完的时间估算。按从事故发生到转入防护所需时间估算。一般地，按照引起 50% 动物死亡的毒负荷的大小把危险区域划分为致死区、重伤区、轻伤区和吸入反应区 4 个区域<sup>[5]</sup>。

### 2.2 基于 GIS 的危险区域范围分析显示

GIS 作为公共数据处理平台，不仅为各项地理

$m$  取 1, 2, 3, ...。

3) 当风速大于  $0.5 \text{ m/s}$  而小于  $1 \text{ m/s}$  时，把连续泄漏看作  $\Delta t$  时间内气团泄漏量为  $Q\Delta t$  的瞬时泄漏的迭加，只考虑对地面的影响，垂直方向不予考虑。于是，以泄漏源为坐标原点，下风向为  $x$  轴的三维空间一点  $(x, y, z)$  处的浓度为：

$$C(x,y,z) = \frac{Q}{4\pi u \sigma_x \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \cdot \left\{ 1 - \left[ 1 - \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma_x^2}\right) \right]^{1/2} \right\} \quad (3)$$

### 1.2 高斯气团模型

短时间泄漏的扩散 (即泄放时间相对于扩散时间比较短的情形，如突发性泄放等)，或重气体作用消失后气团的扩散，应用高斯气团模型<sup>[3]</sup>计算，以泄漏源为坐标原点，下风向为  $x$  轴的三维空间一点  $(x, y, z)$  处的浓度见式 (4)：

信息服务提供了共享的基础数据，其运行能力更受到所加载计算模型的种类和数量的限制<sup>[6]</sup>。所以，毒气扩散模型与 GIS 的集成应实现紧密耦合而非一体化，GIS 和毒气计算模型有共同的用户界面来管理之间的数据传递。借助于 GIS 的开发语言，实现 GIS 与模型组件的结合，向用户提供 GIS 空间分析功能。

基于 GIS 的毒气扩散危险区域显示流程如下：

- 1) 计算参数输入：为了模拟有毒气体源在不同时刻、不同泄漏方式、不同大气稳定度以及不同风速下的扩散情况，需要在 GIS 下实现毒气泄漏扩散参数的输入；
- 2) 模块选择计算：通过调用 GIS 下实时输入的参数进入计算模块，根据毒气泄漏扩散的不同选择相应扩散模型进行计算，并将计算结果反馈到 GIS 中，该计算结果随时间和参数而不断变化；
- 3) 图层生成：根据以泄漏源为坐标原点的点坐标计算毒物浓度和毒负荷，再对照危险区域的划分标准对系列点坐标的区域归属，即可计算出危险区纵深和危险区面积。将计算模块中计算的浓度空间分布结果调入 GIS 中，生成可视化 GIS 图层显示毒气扩散范围；
- 4) 结果显示：最后利用 GIS 生成的毒气扩散图层以及已建立的基础数据图层进行叠加分析，根据需要的效果在地图上给出各种危害性区域的显示图。同时，结合 GIS 通过分析各区域内道路和人员状况，采用带权的路径搜索算法可计算出距离受灾区域最近的疏散区域的路径，进而确定救灾条件、避难疏散和应急抢险的路线。流程图显示如图 1。

(下转第 52 页)

果如图 1、图 2，其匹配结果的统计概率及利用支持向量机的分类结果如表 2（-1 代表不适合匹配区，1 代表适合匹配区）。

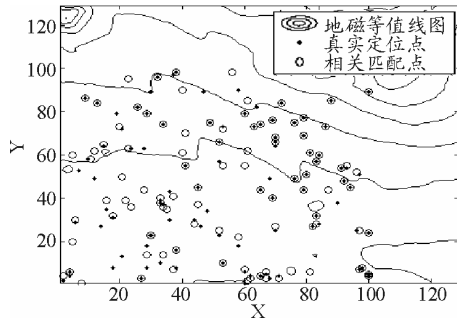


图 1 地磁图 1 的匹配定位结果

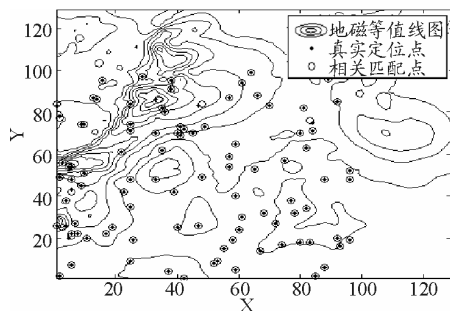


图 2 地磁图 6 的匹配定位结果

表 2 地磁图的匹配概率及分类结果

地磁图	匹配概率	分类结果	地磁图	匹配概率	分类结果
1	0.46	-1	4	0.34	-1
2	0.96	1	5	0.99	1
3	0.99	1	6	0.95	1

### 4 结束语

由实验结果可知，该方法充分考虑了不同特征参数之间的关系，具有简单、有效，适应性强的特点，为实现匹配区域的选择提供了参考。由于目前

\*\*\*\*\*

(上接第 40 页)

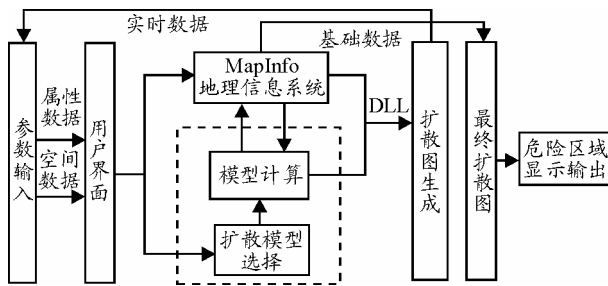


图 1 毒气扩散危险区域显示流程

### 3 结论

毒气模型和 GIS 的集成在实际应用中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。但由于大气本身变化较为频繁，

的实验结果还存在第二类错误，下一步，将从数据处理、改进优化核函数等方面着手，严格杜绝第二类错误的出现，并提高总体定位精度。

### 参考文献:

- [1] 程力, 张雅杰, 蔡体菁. 重力辅助导航匹配区域选取选取[J]. 中国惯性技术学报, 2007, 15(5): 559-563.
- [2] 夏冰, 蔡体菁. 基于 SPSS 的重力匹配区域选择算法[J]. 中国惯性技术学报, 2010, 18(1): 81-84.
- [3] 杨亚鹏, 罗诗途, 吴美平, 等. 面向相关匹配算法应用的地磁图适应性分析[J]. 导航与控制, 2009(2): 9-15.
- [4] N. Bergman. Recursive Bayesian Estimation Navigation and Tracking Application[C]. Sweden: IEEE Proc. of Position Location and Navigation Conf. 1984: 286-293.
- [5] N. Bergman. A Bayesian approach to terrain-aided navigation[C]. In Proc. of SYSID'97, 11th IFAC Symposium on System Identification, 1997: 1531-1536.
- [6] 冯庆堂. 地形匹配新方法及其环境适应性研究[D]. 长沙: 国防科学技术大学, 2004.
- [7] 张宏基. 信源编码[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1987.
- [8] Ratkovic J A. Estimation techniques and other work on image correlation[C]. //ICSP Proceedings. Feb. 1997: 54-60.
- [9] 齐志泉, 田英杰, 徐志浩. 支持向量机中的核参数选择问题[J]. 控制工程, 2005, 12(4): 379-381.
- [10] 杨朝辉, 陈映鹰. 基于支持向量机的景象匹配区选择方法[J]. 同济大学学报, 2009, 37(5): 690-695.
- [11] V ladimir N Vapnik. 张学工 译. 统计学习理论的本质 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000.
- [12] 朱永松, 国澄明. 基于相关系数的相关匹配算法的研究[J]. 信号处理, 2003, 19(6): 531-534.
- [13] Inglada J. Automatic recognition of man-made objects in high resolution optical remote sensing images by SVM classification of geometric image features[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2007, 62(3): 235-238.

尤其在近地面受到温度、地形等影响，下一步，还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。

### 参考文献:

- [1] 赵俊龙, 徐迎, 王英宇. 重要经济目标的次生灾害风险分析[J]. 中国人民防空, 2007(1): 36-37.
- [2] 杜建科. 毒气泄漏过程及其危险区域分析[J]. 中国安全科学学报, 2002, 12(6): 55-59.
- [3] 李骥. 化工储罐区空袭次生灾害危险性评价及减灾对策研究[D]. 合肥: 解放军理工大学, 2008.
- [4] 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): 115-117.
- [5] 潘旭海. 事故性泄漏动力学过程的理论与实验研究[D]. 南京: 南京工业大学, 2004.
- [6] 汤国安, 赵牡丹. 地理信息系统[M]. 北京: 北京科学出版社, 2000.