

引文格式: 彭安琪, 储征伟, 张书亮. 高斯烟羽模型支持下的城市燃气管网应急系统设计及实现 [J]. 测绘通报, 2016(10): 110-112. DOI: 10.13474/j.cnki.11-2246.2016.0342.

高斯烟羽模型支持下的城市燃气管网应急系统设计及实现

彭安琪^{1,2}, 储征伟³, 张书亮^{1,2}

(1. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210023; 2. 江苏省地理信息资源开发与利用协同创新中心, 江苏 南京 210023; 3. 南京市测绘勘察研究院有限公司, 江苏 南京 210019)

Design and Implementation of a City Gas Pipeline Emergency-aid System Based on Gaussian Plume Model

PENG Anqi, CHU Zhengwei, ZHANG Shuliang

摘要: 由于燃气自身易爆炸、易扩散等特性, 以及燃气设施设备的损坏老化问题, 导致燃气泄漏事故时有发生。本文以高斯烟羽扩散模型为理论基础, 研究与设计了城市燃气管网应急系统, 实现了燃气设施设备管理、燃气泄漏应急、辅助救援决策等功能, 为突发燃气泄漏事件的应急指挥、泄漏影响范围分析提供了数据基础。

关键词: 高斯烟羽模型; GIS; 燃气泄漏应急

中图分类号: P208

文献标识码: B

文章编号: 0494-0911(2016)10-0110-03

伴随城市的快速发展, 燃气管网已经遍布城市的各个角落。燃气设施设备老化破损、安全防护装置失效、供气企业管理漏洞、作业人员违规操作、第三方施工干扰均可导致燃气事故。燃气自身的易燃易爆性、易爆炸性、易扩散性、压力供应性及连续供应性也增加了燃气管道事故的发生概率。城市地区人口密集, 商业活动集中, 经济水平发达, 一旦发生燃气事故, 将会造成严重的人员伤亡、财产损失、环境污染等后果。根据统计, 城市燃气安全事故已成为我国继交通事故、工伤事故之后的第三大杀手^[1]。

城市燃气管网应急系统的建设基于高斯烟羽模型, 能够有效模拟燃气泄漏后气体的污染范围与气体浓度, 并结合应急指挥单位、救援单位、医疗机构等信息提出切实可行的应急救援方案, 结合燃气管网信息提供需立刻关闭的阀门信息及其关闭阀门后会受影响的其他燃气管段信息, 以辅助救援指挥工作, 从而减少燃气事故造成的人员伤亡与财产损失, 保护公民的人身财产安全, 维护社会和谐稳定。

一、燃气泄漏扩散模型

气体泄露扩散模型主要有: 高斯烟羽/烟团模型、BM 模型、Sutton 模型、FEM3 模型、Monte-Carlo、CFD 模型^[2]。在地形因素对大气中物质扩散影响微小的地区(如平原地区), 大气的扩散受盛行风的影响最大, 物质移动的概率符合高斯正态分布, 且高斯扩散模型参数较少, 公式形式相对简单, 计算量

小, 能很好地满足快速预测的需求^[3-4]。本文依据高斯烟羽扩散模型建立燃气泄漏扩散模型。

常规高斯点源烟羽扩散模型可表述为以下形式

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

式中: Q 为源强, 单位为 kg/s ; u 为平均风速, 单位为 m/s ; σ_y 与 σ_z 分别为水平扩散参数与垂直扩散参数, 在大气稳定度等级不变的条件下为常数; H 为泄漏源有效高度, 单位为 m ; $C(x, y, z)$ 为下风方向 x 米、横向 y 米、地面上方 z 米处的扩散气体浓度, 单位为 kg/m^3 。

将式(1)中的 z 赋值为 0, 即可得到地表扩散气体浓度公式

$$C(x, y, 0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right) \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (2)$$

将式(1)中的 y 与 z 赋值为 0, 可得到地面轴线的扩散气体计算公式

$$C(x, 0, 0) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp\left(-\frac{H^2}{2\sigma_z^2}\right) \quad (3)$$

由式(1)可得高斯烟羽模型的等浓度曲线公式为

$$y = \pm \sqrt{2\sigma_y^2 \ln \left[\frac{Q}{2\pi u \sigma_y \sigma_z C(x, y, z)} \right]} \cdot \sqrt{\exp\left[-\frac{(z-H)^2}{2\sigma_z^2}\right] + \exp\left[-\frac{(z+H)^2}{2\sigma_z^2}\right]} \quad (4)$$

收稿日期: 2015-12-15

基金项目: 国家自然科学基金(41171301)

作者简介: 彭安琪(1992—), 女, 硕士生, 主要研究方向为城市地下管线数据共享。E-mail: angelapaq@163.com

通信作者: 张书亮

二、系统设计

1. 系统架构

城市燃气管网应急系统采用 B/S 结构, 整个系统由数据层、服务层与应用层搭建而成, 如图 1 所示。数据层是系统的数据支撑, 包含基础地理信息数据、应急处理数据、应急知识数据及用户数据; 服务层提供系统的数据服务与功能服务, 包括地图数据服务、网络分析服务、燃气扩散分析服务、救援指挥服务、撤离疏散服务等; 应用层位于系统的最上层, 具体实现各种系统功能。

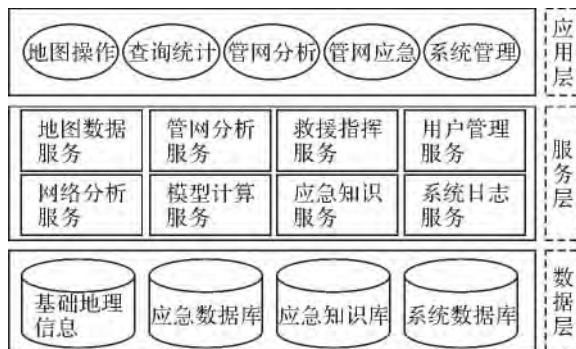


图1 系统架构

2. 数据库设计

系统数据库设计遵循可靠性、可扩展性、可维护性等原则^[5], 分为基础地理信息数据库、应急数据库、应急知识库及系统数据库 4 个部分, 组成系统的数据体系。

基础地理信息数据库主要包含遥感影像数据及用于路网分析的城市各级别道路数据; 应急数据库由燃气管网数据、救援指挥数据、医疗单位数据、公共场所数据、疏散地点数据组成; 应急知识库包括扩散模型参数确定标准、扩散气体理化性质、燃气事故救援办法与处置流程; 系统数据库包括用户信息与日志信息。

以上所有空间数据均通过数据库中间件存储在关系型数据库中, 通过地图数据服务、网络分析服务等方式得以访问; 文档数据直接以文件形式存储在服务器中; 其他属性数据以表的形式存储在数据库中。

3. 系统功能设计

系统由系统管理、地图操作、管网查询统计、管网分析、管网应急 5 大功能模块组成。其中管网应急是系统的核心模块, 包括事故接警、模拟分析、指挥所分析、救援分析、疏散撤离、爆管关阀分析与报

告输出 7 个功能。如图 2 所示。

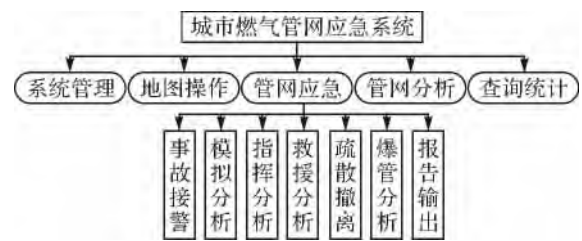


图2 系统功能

三、系统实现

1. 等值线生成

(1) 建立高斯坐标系

以燃气泄漏事故点为原点, 按右手法则建立高斯坐标系, X 轴代表下风方向, Y 轴为横向^[6]。高斯坐标系与平面坐标系之间可通过公式进行转换。

(2) 计算特定时刻 X 轴方向的浓度界线

根据高斯烟羽扩散模型, 计算特定时刻下风向向气体浓度为给定边界浓度的点 X_m 。

(3) 计算等浓度曲线

在以原点为起点、以 X_m 为终点的线段上取若干点, 以这些点为横向扩展中心, 逐一根据式 (4) 计算横向污染范围的边界点, 其中, 污染物浓度为系统给定浓度, 这些点的连线组成等浓度曲线。

(4) 进行坐标转换

高斯烟羽扩散模型所得出的污染物扩散范围基于事故点为中心的高斯坐标系, 通过坐标转换的方法, 给出在 GIS 平面投影坐标系下统一的多源释放模型^[7]。

将高斯坐标系转换成平面地理坐标系, 高斯坐标系 X 轴与地理坐标系的 E 轴夹角为 θ , 事故点坐标为 (X_0, Y_0) , 转换公式为

$$\left. \begin{aligned} E &= X \cos \theta + Y \sin \theta + X_0 \\ N &= -X \sin \theta + Y \cos \theta + Y_0 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

2. 系统功能实现

系统包含系统管理、地图操作、管网查询统计、管网分析、管网应急 5 大功能模块。

系统管理包括用户管理与日志管理; 地图操作提供地图放大缩小、地图平移、地图量测等基本地图工具; 管网查询统计实现燃气管网的空间查询、属性查询、空间统计、属性统计等功能; 管网分析提供针对管网的断面分析、连通分析与空间碰撞分析等功能。

管网应急是整个系统的核心功能模块, 包括以下功能:

1) 事故接警。事故接警是管线应急处置的第一步。事故发生,值班人员接到事故报警后立即响应,填写事故基本信息,并进行事故具体位置的定位,为后续指挥、分析、疏散功能提供参考。

2) 模拟分析。系统利用高斯烟羽模型分析燃气扩散范围,用户在系统辅助下确定模型的详细参数,填写参数完成后开始分析即可获得事故影响人口及影响管线的相关信息。

3) 指挥所分析。系统根据爆破点的位置信息与道路条件等信息自动寻找处于爆破点上风方向的医疗、派出所等相关单位,并形成列表供用户自行选择指挥所;同时,用户也可以自己定义查询范围和查询类型等条件,自行搜索指挥所位置。

4) 救援分析。救援分析是燃气事故应急处置的关键环节,关系人员生命安全与财产安全。救援分析提供医院、派出所等救援单位供用户选择,并自动生成救援单位与事发地点的道路路径供救援工作参考。

5) 疏散撤离。结合事发地点,寻找可供人员疏散的安全地域,并计算事发地点至疏散地点的路径信息供疏散工作参考。

6) 爆管分析。系统通过爆管分析算法自动遍历事故影响的管线,寻找解决泄漏事故所需要关闭的阀门,并分析计算关闭阀门后会受到影响的其他管段。

7) 报告输出。报告输出步骤中可以将整个应急流程中所生成的信息,即事故接警信息、模拟分析参数信息、指挥所信息、救援单位信息、疏散撤离信息、爆管关阀信息统一生成一张 PDF 格式的报表,并输出报表,用以存档。

系统界面如图 3 所示。



图 3 系统界面

四、结束语

城市燃气管网应急系统以高斯烟羽扩散模型为理论基础,采用 SOA 架构,综合了地理信息数据、燃气管网数据、应急数据、应急知识等数据,实现了燃气管网气体泄漏扩散模拟及辅助救援指挥工作等功能,为加强燃气管网应急管理、提升科学救援水平、辅助应急救援指挥提供了决策辅助与技术支持。

参考文献:

- [1] 王起全.基于马尔科夫理论的燃气泄漏事故原因演变分析[J].消防科学与技术,2015(6):807-811.
- [2] 文仁强,黄全义,黄东海.危化品泄漏扩散预测模型与 GIS 集成及其在应急决策中的应用研究[J].测绘通报,2008(4):52-54.
- [3] 郭遵强.大气污染扩散模型的研究及在环境应急系统中的实现[D].青岛:中国海洋大学,2008.
- [4] 徐效波,吴华玲,刘波,等. GIS 支持下的突发性大气污染扩散模拟[J].金属矿山,2011(5):146-148.
- [5] 陈志泊,王春玲.数据库原理及其应用教程[M].2版.北京:人民邮电出版社,2008.
- [6] 邬毅敏.基于 GIS 的大气点源污染高斯烟羽扩散模拟研究[D].上海:华东师范大学,2010.
- [7] ARYSTANBEKOVA N K. Application of Gaussian Plume Models for Air Pollution Simulation at Instantaneous Emissions[J]. Mathematics and Computers in Simulation, 2004, 67(4-5): 451-458.