

危险化学品事故应急疏散决策系统设计

张江华, 曹悦, 朱道立, 吴勤旻

复旦大学管理学院, 上海 200433

[摘要] 针对当前危险化学品事故频出的现状, 设计了基于 ArcGIS 的危险化学品事故应急疏散决策系统。详细介绍了系统的整体架构、功能设计以及数据库设计, 并以在风速 5.4 m/s 条件下, 20 t 的槽罐车整体破裂、液氯瞬间全部泄漏事故为例, 演示了系统的危害分析和疏散决策功能。

[关键词] 应急管理; 危险化学品事故; 系统设计; ArcGIS

[中图分类号] TQ086.5, X928.02, TP311.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1000-7857(2007)07-0047-04

Design of Evacuation Decision Making System for Hazardous Chemical Accident

ZHANG Jianghua, CAO Yue, ZHU Daoli, WU Qinmin

School of Management, Fudan University, Shanghai 200433, China

Abstract: With respect to hazardous chemical accidents, this paper proposes an evacuation decision making system based on ArcGIS. Its framework, functions and database design are discussed in details. Through an example of liquid chlorine of twenty tons being leaked totally within a short time under the wind speed of 5.4 m/s, how to analyze the damage and find an effective evacuation method by using the system are demonstrated.

Key Words: emergency management; hazardous chemical accident; system design; ArcGIS

CLC Numbers: TQ086.5, X928.02, TP311.1

Document Code: A

Article ID: 1000-7857(2007)07-0047-04

作为基本的生产资料 and 人民生活不可缺少的重要物资, 人们对危险化学品的需求量越来越大。但危险化学品在生产、运输、包装、储存、使用以及废弃处置等环节都存在着高度危险性, 特别是在运输过程中。近年来, 我国危险化学品事故呈明显上升趋势, 据不完全统计^[1], 在 2002-2004 年, 我国共发生危险化学品(不含爆炸品类危险化学品)事故 1 091 起, 累计造成 977 人死亡、1 477 人受伤。例如, 2005 年 3 月 29 日在京沪高速公路淮安段发生的液氯泄漏事故; 2006 年 10 月 24 日在四川乐山市沙湾区省道 103 线顺河路段发生的苯泄漏事故。这些事故不仅严重地危害了人民群众的生命和财产安全, 而且还污染了环境, 造成了严重的社会影响。

为了对危险化学品事故迅速做出反应, 实现事故

的动态监控、实时决策和管理业务的信息化处理, 相关应急管理部门迫切需要开发一套危险化学品事故应急疏散决策系统。

1 系统概述

危险化学品事故的应急疏散决策是一个复杂的多源信息综合分析过程, 数据处理量巨大, 并且数据结构复杂, 既有空间数据, 又有属性数据。而 ArcGIS 擅长处理这种多源数据, 它具有强大的功能, 整合了 GIS 与数据库、软件工程、人工智能、网络技术等主流技术, 提供了一体化的、完整的地图绘制及显示、编辑和输出的集成环境^[2]。本系统采用了 ArcGIS 系列中的 ArcInfo, ArcEditor, 3D Analyst, ArcSDE, ArcIMS, ArcView, ArcObjects 等模块, 纵向形成客户浏览器(用户层)/Web 服务器+应用

收稿日期: 2006-12-20

基金项目: 国家自然科学基金项目(70673012), 教育部人文社会科学项目(06JA630018), 复旦大学文科“金苗”项目(EYH1019016)

作者简介: 张江华, 男, 上海市杨浦区国顺路 670 号复旦大学管理学院, 博士研究生, 研究方向为应急管理与规划;

E-mail: 051025036@fudan.edu.cn

朱道立(通讯作者), 男, 上海市杨浦区国顺路 670 号复旦大学管理学院, 教授, 研究方向为管理科学与工程;

E-mail: dlzhu@fudan.edu.cn

服务器(中间层)/数据库服务器(数据层)3层结构。此3层结构与传统的C/S结构相比具有很大的优越性。3层结构中的网络环境适应性好,数据库服务器与应用服务器之间可用高速网络连接,客户与应用服务器之间由于是XML传输为主,完全可以在广域网环境运行。同时,数据库服务器设定为只允许应用服务器对其访问,这样安全策略更容易控制^[3]。

用户层即用户和系统的交互界面。应急指挥中心及相关救援部门可以实时地查询危险品的当前状态,发生事故时的撤离路径,以及受灾区域的状况。中间处理层是系统实现的功能,也就是系统的功能模块,中间处理层即系统的应用服务器。数据层是系统底层数据库设计,包括危险化学品的相关属性、地理信息、社会统计信息、维护运营类和模型/方法/知识类。系统以GIS服务器为核心,在GIS服务器上安装基于ArcInfo平台的地理信息系统模块和装载ArcSDE空间数据库引擎,实现海量地理信息数据的数据库管理。在这种3层结构下,用户通过标准的浏览器向ArcMIS提出请求,应用层功能模块获取ArcSDE中的空间数据并进行相应的操作,将结果返回浏览器端。系统的整体架构如图1所示。

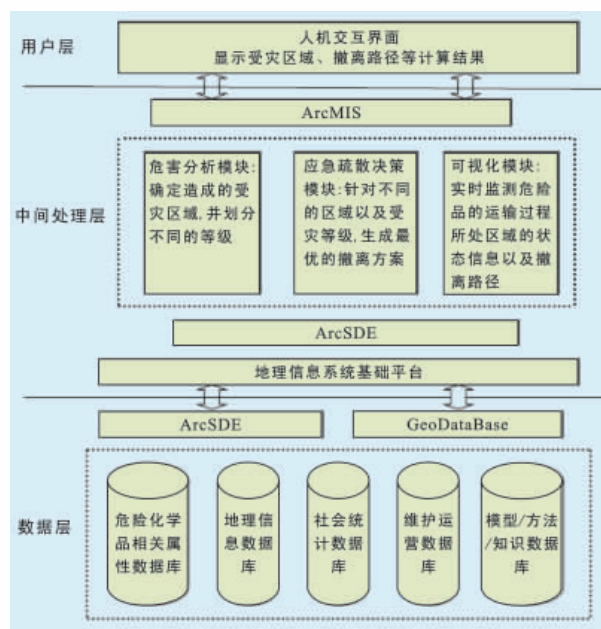


图1 系统整体架构图
Fig. 1 System structure

2 系统的功能设计

系统的基本功能是根据输入的参数确定出危险化学品事故发生时的受灾区域(或疏散区域),然后迅速计算并确定出从受灾区域撤离到急救区域的最优路径,以及使应急指挥中心实时查询受灾区域状况和疏散路径的可视化,及时调度相关救援部门进行救援。因

此,本系统主要包括危险化学品事故危害分析、疏散决策、可视化三大功能模块。

2.1 危险化学品事故的危害分析

危害分析是危险化学品事故应急疏散系统的重要功能之一。危险化学品事故危害分析主要是考虑事故发生的时间、周边环境、人口密度、交通道路状况、气象(如风向、风速、温度)等诸多不确定因素,对危险化学品事故造成的危害进行准确的判断和分级,然后根据评估结果确定出疏散区域^[4]。

下面以在风速5.4 m/s条件下,20 t的槽罐车整体破裂、液氯瞬间全部泄漏事故为例。根据液氯泄漏扩散时液氯的浓度,可将受灾区域依次分为致死圈($3\ 000 \times 10^{-6}$ 以上)、半致死圈($300 \times 10^{-6} \sim 3\ 000 \times 10^{-6}$)、致伤圈($30 \times 10^{-6} \sim 300 \times 10^{-6}$);危害程度分别为致死、致残和致伤。在不同的泄漏时间,致死圈、半致死圈和致伤圈是在空间上不断变化的,距离事故发生地点的位置也在不断发生变化,并且在事故发生地的下风向和垂直方向对疏散决策的影响差异很大。通过危险化学品扩散模型^[5-6]模拟出不同时刻致死圈、半致死圈、致伤圈的范围变化(如表1所示)。图2为液氯泄漏事故发生之后致死圈、半致死圈、致伤圈的包络图及建议的安全撤离方向。

Function c=getConcentrationPerQ(u, t, x, y, z)
//扩散模型

dx=0.425809*abs(x).^0.901074

dy=dx;

dz=0.0799904*abs(x).^1.12154;

c=exp(-(x-u*t).^2./(2*dx.^2)-y.^2./(2*dy.^2)-
z.^2./(2*dz.^2))./(sqrt(2)*pi^1.5*dx.*dy.*dz);

程序中,u为风速,t为泄漏发生的时间,x,y,z表示空间位置坐标。

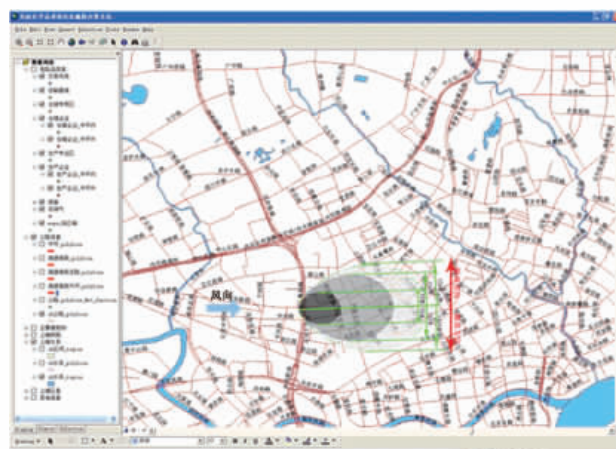


图2 不同受灾区域包络图及安全撤离方向
Fig. 2 Injury range and evacuation direction of different areas

表 1 不同时刻致死圈、半致死圈和致伤圈的数据表

Table 1 Death range, serious injury range, and mild injury range at different times

泄漏后经历 时间/s	致死圈			半致死圈			致伤圈		
	左端点 距发生地 距离/m	右端点 距发生地 距离/m	横向扩散 距离/m	左端点 距发生地 距离/m	右端点 距发生地 距离/m	横向扩散 距离/m	左端点 距发生地 距离/m	右端点 距发生地 距离/m	横向扩散 距离/m
10	23.6	154.1	66.37	22.1	215.1	90.487	21.6	246.1	101.95
20	54.1	220.6	90.33	49.1	300.6	125.91	47.6	339.1	141.65
50	166.6	366.6	115.03	144.1	501.1	192.14	138.1	560.6	221.4
70	263.1	431.6	98.77	216.6	611.1	217.12	206.1	684.6	256.61
90				295.1	708.1	230.76	279.1	796.1	281.98
100				337.1	752.6	233.62	317.1	848.6	291.48
150				576.1	933.6	205.25	526.1	1 078.6	310.22
200							769.6	1 259.6	278.55
250							1 082.1	1 362.1	161.04

2.2 危险化学品事故的疏散决策

根据危害分析功能模块确定受灾区域(或疏散区域),针对不同区域的危险程度,制定相应的疏散决策,找出最佳疏散路径。本模块借鉴已有的疏散模型^[7],同时考虑在紧急状况下个人的行为模式,利用动态网络理论和最优化理论等,通过构建动态网络疏散模型指导疏散决策。将疏散网络看成是一个依赖于时间的扩展的有向图,每段线路上都有容量限制,并随着时间的变化而变化,目标函数为计算出的最小疏散时间或最少的伤亡人数。约束条件分别为人能容忍的最大有害气体浓度和最大拥挤度限制。疏散目的地必须存在,每一疏散点能且只能分配一个疏散目的地。

同样以风速为 5.4 m/s 条件下,20 t 的槽罐车整体破裂、液氯瞬间全部泄漏事故为例。根据上一小节危害分析模块的分析结果,按照动态网络疏散模型算法,通过系统模拟出从不同受灾区域的疏散点到达急救点的最佳撤离路线(图 3)。

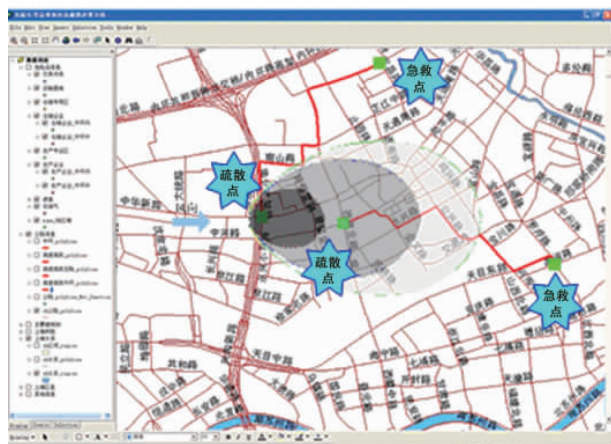


图 3 不同疏散点的应急疏散路线

Fig. 3 Evacuation routes at different injury points

2.3 危险化学品事故的可视化

系统的另一个功能是集成电子地图将受灾区域的状况和疏散路径可视化,并能实时查询。具体而言,当事故发生后,系统通过车载的 GPS 接收机自动计算出所处地理位置的坐标,由 GPS 传输设备将计算出来的位置坐标数据经移动通信系统(GSM)发送到 GSM 公用数字移动通信网^[8],数字移动通信网再将数据传送到应急指挥中心,应急指挥中心将收到的坐标数据及其他数据还原后,与 GIS 系统的电子地图相匹配,并在电子地图上直观地显示车辆实时坐标的准确位置,然后再根据危害分析和疏散决策模块的结果,在电子地图中显示出不同级别的受灾区域状况以及相应的最优疏散路径,应急指挥中心和相关部门根据显示结果迅速组织救援。

3 系统的数据库设计

数据库是危险化学品事故应急疏散决策系统的重要组成部分,其设计质量的好坏将直接影响到系统的应用、维护管理和数据更新。系统的数据库由空间数据库和属性数据库组成,空间数据库主要管理带有空间特性的数据,而属性数据库主要是管理相应空间数据的一些具体描述信息^[9]。在 GIS 面向对象的数据结构中,基础图形都是用点、线、面来表示,通过对这些基础图形标识唯一的 ID 号,将空间数据和属性数据相关联^[10],进行空间分析和处理。

3.1 系统数据分类

系统所涉及的数据包括危险品本身的信息以及所处位置的地理信息等 5 大类。

- 1) 危险化学品相关信息类,如存储形态(固、液、气态)、温度、重量、压力等。
- 2) 地理信息类,如道路状况、周边河流、建筑、附近

的救援单位、安全区域等。

3) 社会统计信息类,如某地区的行政区划、城镇体系、居民分布情况、人口数、经济、气象和水文等。

4) 维护运营类,主要是对使用者的信息维护,如用户信息、权限信息、认证信息以及系统生成的动态信息等。

5) 模型-方法-知识类,这是最重要的一类数据。主要是应急措施的数据源,如政策法规、新闻报道、专业知识、专业模型、方法措施、数据模型等。

3.2 系统数据库的建立

系统首先对相关危险化学品的信息、地理信息以及社会统计信息进行数据采集。系统通过数据采集设备,获取标准信号后,通过中间识别装置转换成计算机能够识别的数据信号,最后发给系统进行处理。对于模型-方法-知识类数据,由于其是模型方法类,同样需要中间转换设备转换成计算机可处理数据;而维护运营类属于属性数据库,可直接录入计算机,经过处理的这5类数据都被录入数据库进行处理。图4所示为系统数据库的建立。

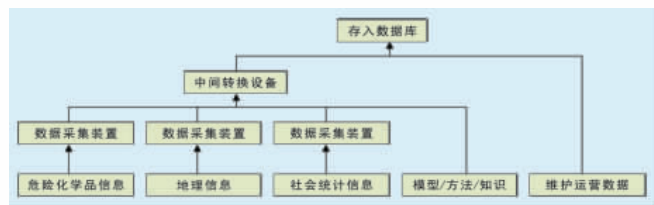


图4 系统数据库的建立

Fig. 4 The system database

4 结束语

本文设计了针对危险化学品事故应急疏散决策的信息系统,概述了系统的整体架构,介绍了系统的主要功能,并以在风速 5.4 m/s 条件下,20 t 的槽罐车整体破裂、液氯瞬间全部泄漏事故为例,具体地演示了各功能模块的运作;最后提出了系统数据库的设计。

本系统的设计对于实现相关应急管理部门对危险化学品事故进行实时决策和控制,迅速调集相关部门进行救援,具有很好的使用价值。但是该系统在应用的过程中还有一些需要改进的地方,比如如何通过更高效的算法快速地找出撤离方案,以及在一些地区 GIS 数据不是很完全的情况下如何找出合适的应急措施,还需要进一步研究。

参考文献(References)

[1] 魏国, 杨志峰, 李玉红. 非爆炸品类危险化学品事故统计分析对策[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2005, 41(2): 209-212.
WEI Guo, YANG Zhifeng, LI Yuhong. A statistic analysis and counter measures on non-explosive dangerous

chemical accidents in recent 3 years[J]. J Beijing Normal Univ (Nat Sci edition), 2005, 41(2): 209-212.

- [2] 党安荣, 贾海峰, 易善桢, 等. ArcGIS 8 Desktop 地理信息系统应用指南[M]. 北京: 清华大学出版社, 2003.
DANG Anrong, JIA Haifeng, YI Shanzhen, et al. Guideline for GIS application of ArcGIS 8 desktop[M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2003.
- [3] 黎华, 王重华, 张勇. 基于 J2EE 和 ArcGIS 平台的 Web GIS 设计与实现[J]. 计算机工程与设计, 2006, 27(6): 966-969.
LI Hua, WANG Zhonghua, ZHANG Yong. Design and implementation of Web GIS based on J2EE architecture and ArcGIS [J]. Computer Engineering and Design, 2006, 27(6): 966-969.
- [4] 吴宗之, 高进东. 重大危险源辨识与控制[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2001.
WU Zongzhi, GAO Jindong. Distinguish and control of very dangerous matter sources [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2001.
- [5] 化工部化工劳动保护研究所. 重要有毒物质泄漏扩散模型研究[J]. 化工劳动保护, 1996(3): 1-19.
Institution of Chemical Industry Occupational Safety and Health, Ministry of Chemical Industry. Research on leakage and diffusion model of major poisonous matters [J]. Chem Ind Occup Saf Health, 1996(3): 1-19.
- [6] 张江华, 赵来军, 吴勤旻. 危险化学品泄漏扩散研究探讨[J]. 中国安全生产科学技术, 2007, 3(1): 8-11.
ZHANG Jianghua, ZHAO Laijun, WU Qinmin. Research on leakage and diffusion of hazardous materials [J]. J Saf Sci Tech, 2007, 3(1): 8-11.
- [7] KAMIYAMA N, KATOH N, TAKIZAWA A. An efficient algorithm for evacuation problems in dynamic network flows with uniform arc capacity [C]. Algorithmic Aspects in Information and Management Proceedings, 2006, 4041: 231-242.
- [8] 赵建有, 杨新征, 王振花. 公路货物运输动态跟踪系统监控中心应用技术 [J]. 长安大学学报 (自然科学版), 2004, 24(5): 86-87.
ZHAO Jianyou, YANG Xinzheng, WANG Zhenhua. Applied technique for monitoring center of road freight transport dynamic tracking system [J]. J Chang'an Univ (Nat Sci edition), 2004, 24(5): 86-87.
- [9] 郑刚, 吴相林. 应用型地理信息系统空间数据库的分析和设计[J]. 华中科技大学学报(自然科学版), 2003, 31(1): 49-51.
ZHENG Gang, WU Xianglin. Analysis of spatial database and its design for applied geographical information system [J]. J Huazhong Univ Sci Tech (Nat Sci edition), 2003, 31(1): 49-51.
- [10] 柳俊, 李伟波. 基于 Web GIS 的重大危险源信息系统研究与设计[J]. 计算机工程, 2006, 32(10): 254-257.
LIU Jun, LI Weibo. Research and design of very dangerous matter sources management information system based on Web GIS[J]. Comp Eng, 2006, 32(10): 254-257.

(责任编辑 李慧政)