基于 Visual Basic. NET 的油气事故应急资源需求预测支持决策系统*

邢 冀，钱新明，刘 牧，刘振翼

（北京理工大学 爆炸科学与技术国家重点实验室，北京 100081）

摘 要：针对油气事故后应急资源需求预测困难的问题，在对油气事故特性及应急资源需求类型分析的基础上，构建了基于案例推理(CBR)的油气事故应急资源需求预测模型，并使用 Visual Basic. NET 及 SQL Server 数据库开发了油气事故应急资源需求预测支持决策系统。将该系统应用于实际油气事故案例进行验证，结果表明系统中应急资源需求预测模型科学可靠，系统对油气事故应急资源需求预测结果与其实际用量基本吻合。该系统可为油气事故后快速有效开展应急救援活动提供相应的理论依据。

关键词：油气事故；CBR；应急资源；需求预测；支持决策系统

中图分类号：X928. 7 **文献标识码**：A **文章编号**：1000 - 811X(2010)S0 - 0291 - 05

0 引言

油气事故通常会产生剧烈的化学反应，很难直接获得出事地点所需的应急资源需求信息，从而影响后续应急资源的筹集、供应和调运。目前，尚没有成熟的油气事故应急资源需求预测方法，而是主要以专家经验判断为准，因此既缺乏科学合理性，又没有将以往事故或演习的经验加以利用[1-2]，而现有的应急资源需求预测模型多停留在理论层面，没有对其进行深入的应用研究[3]。采用科学的方法，建立相对可靠的油气事故应急资源需求预测模型，开发用于工程实际的应急资源需求预测软件对油气事故应急救援活动的成功开展具有重要意义。本文采用 Visual Basic. NET[4] 作为软件开发工具，使用 SQL Server 构建相关数据库，开发了油气事故应急资源需求预测支持决策系统，实现了应急资源需求预测数学模型的工程应用。同时，该系统兼具自学习功能，随着该系统的不断应用，其相关数据库不断丰富，预测结果也将日趋准确。油气事故应急资源需求预测支持决策系统的应用可为事故后应急救援活动快速有效的开展提供科学的理论依据。

1 基于 CBR 的需求预测模型

案例推理(Case - based Reasoning，CBR)是一种新兴的人工智能推理方法，它是由目标案例(Target Case)的提示而获得记忆中的源案例(Base Case)，并且通过源案例来指导目标案例求解的一种策略[5]。虽然各油气事故属性及处置方法不尽相同，但针对某个事故而言，历史上一般都存在与其相近的案例，在事故属性相近的前提下，开展应急救援活动所需的应急资源需求也具有相关一致性，可以考虑利用油气长输管道事故的历史数据建立源案例库，构造基于案例推理的油气长输管道事故应急资源需求预测模型，选取相似源案例并从中抽取决定应急资源需求的关键因素，应用相似原理对新目标案例的应急资源需求情况进行预测。

1.1 案例的表示

假设已建立油气长输管道历史源案例信息库，库中共有 n 个源案例，可将源案例集记为 $\boldsymbol{C} = \{C_1, C_2, \cdots, C_i, \cdots, C_n\}$，$i = 1,2,\cdots,n$。每个源案例有 m 个属性，可将源案例的属性集记为 $\boldsymbol{F} = \{F_1, F_2, \cdots, F_j, \cdots, F_m\}$，$j = 1,2,\cdots,n$。与 $\boldsymbol{F}$ 相对应，每个源案例的属性值集可记为 $\boldsymbol{X} = \{X_1, X_2, \cdots, X_j, \cdots, X_m\}$。每个 $\boldsymbol{F}$ 的影响权重集记为 $\omega = \{\omega_1, \omega_2, \cdots, \omega_j, \cdots, \omega_m\}$，且满足 $\sum_{j=1}^{m} \omega_j = 1$。目标案例则记为 $\boldsymbol{T} = (T_1,$

* 收稿日期：2010 - 09 - 25

作者简介：邢冀(1983 -)，河北唐山人，博士研究生，主要从事系统安全分析与安全评价技术研究. E-mail：xingji@ yeah. net

$T_2, \cdots, T_j, \cdots, T_m$)。这样，即可构造属性值矩阵：

$$\Omega = \begin{vmatrix} \boldsymbol{X} \\ \boldsymbol{T} \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X_{11} & X_{12} & \cdots & X_{1m} \\ X_{21} & X_{22} & \cdots & X_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ X_{n1} & X_{n2} & \cdots & X_{nm} \\ T_1 & T_2 & \cdots & X_m \end{vmatrix},$$

式中：X_{ij}为第 i 个源案例中第 j 个属性的值。

1.2 属性值归一化及权重计算

为求工程计算的准确性，需将各不同量纲属性值按式(1)进行归一化处理。

$$\Omega_j^* = \frac{\Omega_j - \min\Omega_j}{\max\Omega_j - \min\Omega_j}, \tag{1}$$

式中：Ω_j^* 为属性值整合矩阵中属性 j 的无量纲值，Ω_j 为属性 j 的实际值，$\max\Omega_j$、$\min\Omega_j$ 为属性 j 的最大值和最小值。

权重计算可由数学期望式(2)、标准差式(3)及属性值权重式(4)顺序求得。

$$\overline{W}_j = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} X_{ij}^*, \tag{2}$$

$$V_j = \left[\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_{ij}^* - \overline{W}_j)^2}{n}\right]^{\frac{1}{2}}, \tag{3}$$

$$\omega_j = \frac{V_j}{\sum_{j=1}^{m} V_j}。 \tag{4}$$

1.3 相似度计算

(1)属性相似度

油气长输管道事故案例的属性主要包括数字属性值(Crisp Numeric, CN)和符号属性值(Crisp Symbolic, CS)两大类。

①数字属性可由经归一化后的海明公式(Hamming)求得。

$$d_{Ti}^P = 1 - |X_{ij}^* - T_j^*|, \tag{5}$$

式中：d_{Ti}^P为目标案例与源案例之间的海明距离，d_{Ti}^P越接近 1 说明它们之间越相似。

②符号属性分为无序枚举和有序枚举两类，其属性值相似度分别由式(6)、(7)计算。

$$d_{Ti}^P = \begin{cases} 1, & X_{ij} = T_j \text{ or } X_{ij} \subset T_j; \\ 0, & X_{ij} \neq T_j。\end{cases} \tag{6}$$

$$d_{Ti}^P = 1 - \left|\frac{X_{ij}^* - T_j^*}{n}\right|。 \tag{7}$$

(2)结构相似度

计算 C_i 与 T 的结构相似度，先将 C_i 的所有的非空属性构成的集合记为 $\boldsymbol{A}_i$，T 的所有非空属性构成的集合记为 $\boldsymbol{B}$。计算 $\boldsymbol{M}_{Ti} = \boldsymbol{A}_i \cap \boldsymbol{B}$ 与 $\boldsymbol{N}_{Ti} = \boldsymbol{A}_i \cup \boldsymbol{B}$。令 $\varphi_{M_{Ti}} = \sum_{M_{Ti}} \omega_j$，$\varphi_{N_{Ti}} = \sum_{N_{Ti}} \omega_j$，表示 $\boldsymbol{M}_{Ti}$ 与 $\boldsymbol{N}_{Ti}$ 中所有属性权重之和。则 C_i 和 T 的结构相似度为

$$d_{Ti}^S = \frac{\varphi_{M_{Ti}}}{\varphi_{N_{Ti}}}。 \tag{8}$$

(3)全局相似度

按式(9)求取源案例与目标案例的全局相似度，相似度最大的源案例即为相似案例。

$$D_{Ti} = d_{Ti}^S \sum_{j=1}^{m} \omega_j d_{Ti}^P。 \tag{9}$$

1.4 关键因素及需求预测

确定最相似源案例后，分析其应急资源需求的品类和结构，抽取如事故影响范围 R、危险品(油气)耗量 Q、被困人员数量 U 分别决定基础救援设备需求量 Φ_1、抢险救援设备需求量 Φ_2 和医疗救援设备的需求量 Φ_3 的关键因素。若目标案例中事故影响范围为 R^T，危险品耗量为 Q^T，被困人员数量为 U^T。根据等比例原则，目标案例中基础救援设备、抢险救援设备和医疗救援设备的需求量 Φ_1^T、Φ_2^T、Φ_3^T 可分别确定为

$$\Phi_1^T = R^T\frac{\Phi_1}{R},\ \Phi_2^T = Q^T\frac{\Phi_2}{Q},\ \Phi_3^T = U^T\frac{\Phi_3}{U}。 \tag{10}$$

2 系统总体设计

根据决策系统目标，按照结构化系统分析与设计的思路，该系统可分为三个模块：用户登陆模块，数据信息管理模块，数据录入及计算模块。用户可通过对这三个模块的操作最终得到应急资源需求预测结果。图 1 为决策支持系统的流程图。

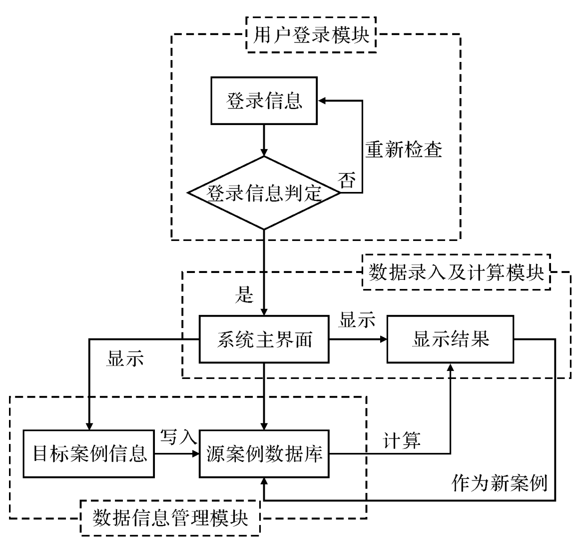

图 1 决策支持系统流程图

用户登录模块用来检查客户输入的用户名及

密码，只有输入正确的用户名和密码，才能进入程序主界面，用户登录界面如图 2。数据信息管理模块提供对数据的添加、修改、保存和删除等功能，便于用户向数据库录入和修改案例数据，并能够直观的显示数据库中的表格信息。计算模块用来求解用户需求的信息，并能够将计算结果更新至数据库作为原始数据，以实现系统的自学习功能。

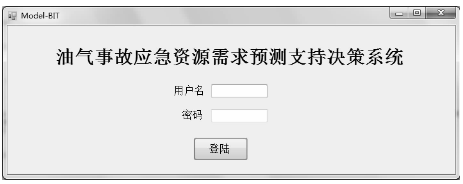

图 2　用户登录界面

3　数据库设计

该系统后台数据库采用 Microsoft SQL Server 建立，使用 ADO. NET[6] 数据访问模型提供所建立的数据源的访问接口，具有良好的开放和扩充性能。根据系统需实现的功能要求，在数据库中建立一张包含 12 个字段的历史源案例信息表。字段分别为：序号、事故等级、危险品类型、储罐容积半径、罐区面积、罐区人员密度、基础救援设备、抢险救援设备、医疗救援设备、事故影响范围、危险品耗量、被困人员数量(表 1)。该表格包含了历史源案例的各种属性信息和关键因素信息，且能够存储目标案例的属性信息和关键因素信息，计算出目标案例的应急资源需求量后，经检查修正后，可自动将其作为一条新的案例存储起来，以丰富历史源案例数据库，为日后应急资源需求预测提供更为准确的数据信息。用户根据实际需求以管理员身份进入数据库后可对除“序号”以外的字段进行诸如删除、添加和变更等修改，从而使系统能更好的适应不同用户对属性信息和关键因素信息需求不同的情况。

表 1　**案例信息表格数据类型**

列名	序号	事故等级	危险品类型	储罐容积半径/m	罐区面积/m^2	罐区人员密度/(人/km^2)
数据类型	int	float	nchar(10)	float	float	float
列名	基础救援设备/t	抢险救援设备/t	医疗救援设备/t	事故影响范围/m^2	危险品耗量/t	被困人员/人
数据类型	float	float	float	float	float	float

4　VB 实现的关键技术

4.1　同步数据库

历史源案例信息数据库是该系统中的重要组成部分，对其进行合理的管理维护是保证该系统成功应用的前提，数据的同步更新是其中的关键技术。当用户通过客户端对历史源案例信息进行添加、保存、删除或修改命令时，程序将保持界面表格数据与数据库中数据同步更新，将修改的数据实时地保存至数据库，为计算目标案例应急资源的需求量提供原始参数。首先，利用 Visual Studio 工具箱[7] 中的 DataGridView 控件实现历史案例信息的显示功能，用户可以在该控件中进行添加、删除和选中行数据等操作；然后通过“保存”与“删除”两个 Button 按钮来实现数据的添加、修改和删除功能。源程序新建了一个 DataSet 数据集，将其表格内容赋予 DataGridView 控件的 DataSource 属性，再通过 Command 类里的 Update( ) 方法把 DataSet 数据集中的数据更新至数据库。对数据进行删除操作时首先需要选中一行或多行数据，然后根据选中的行数使用 For 循环语句逐行删除数据，最后通过 EndEdit( ) 方法结束对 DataGridView 控件的编辑并用 Update( ) 方法再次更新数据库。图 3 为历史源案例信息管理界面。

图 3　历史源案例信息管理界面

4.2　应急资源需求量求解

根据历史源案例信息及目标案例属性及关键因素信息，预测目标案例应急资源需求量是本程序的核心部分，即将前述的案例推理模型用计算机语言来实现。首先，从数据库读取历史源案例信息，并将其用矩阵表示，依据输入项目判断数据属性类型。然后，建立属性矩阵并对其进行归一化处理，求出属性权重后将其储存在矩阵当中。如果历史源案例没有属性值缺失，该源案例与目标案例结构相似度为 1，否则将根据权重结果来计

算结构相似度。进而求出全局相似度后进行数值对比，把全局相似度值最大的历史源案例作为参考案例，用以参与后续应急资源需求量的预测。图 4 为应急资源需求量预测求解过程。

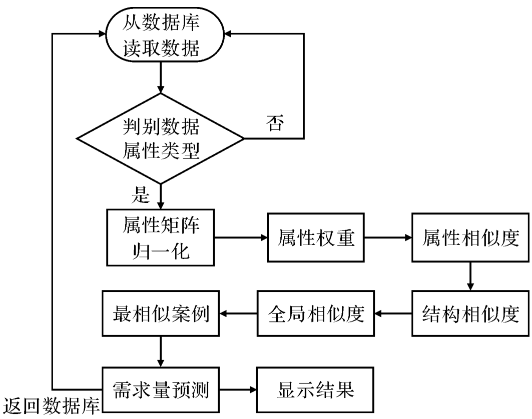

图 4 应急资源需求量求解过程

5 某油罐火灾事故应急资源需求预测

油气长输管道沿线某油罐场站发生火灾爆炸事故，现对其应急救援活动中应急资源需求量进行预测。假定历史源案例数据库已构建，表 2 ~ 表 4 为数据库中已经储存的历史源案例信息及目标案例相关信息，要求对目标案例相应应急资源需求量进行预测。

表 2 历史源案例应急资源需求量

事件	基础救援设备/t	抢险救援设备/t	医疗救援设备/t
C_1	30	50	20
C_2	15	40	15
C_3	20	55	18

表 3 历史源案例及目标案例属性信息

事件	事故等级	危险品类型	储罐容积半径/m	罐区面积/m^2	罐区人员密度/(人/km^2)
C_1	Ⅰ	天然气	20	1 000	30
C_2	Ⅱ	成品油	10	950	缺失
C_3	Ⅲ	原油	18	1 500	20
T	Ⅱ	原油	15	1 200	25

表 4 历史源案例及目标案例关键因素信息

事件	事故影响范围/m^2	危险品耗量/t	被困人员/人
C_1	2 200	15	200
C_2	1 700	7	140
C_3	2 000	12	100
T	1 800	10	160

在程序主界面输入目标案例属性信息及关键因素信息后，计算得出目标案例的基础救援设备需求量为 18 t，抢险救援设备需求量为 45.8 t，医疗救援设备需求量为 28.8 t(图 5)，为更加可靠有效的进行应急救援活动，可在所求应急资源需求量的基础上增加一定比例的余量。根据得到的应急资源需求量可进一步指导确定应急资源优化调运方案，而后将实际应急资源需求量记入历史源案例数据库实现系统自学习。

图 5 程序计算界面

6 结论

(1)构建了基于案例推理的油气长输管道应急资源需求预测数学模型，给出了其计算过程，以 Visual Basic. NET 为工具，使用 SQL Server 构建相关数据库，开发了油气事故应急资源需求预测支持决策系统，用以对油气长输管道事故中应急救援活动所需的应急资源需求做出预测，并通过模拟算例验证了该系统的可行性和可靠性。

(2)该系统能够帮助决策者快速、客观、科学的预测应急资源需求量，改变了由管理人员凭借经验主观判断需求量的现状，并可将新案例自动更新至数据库，实现系统自学习功能，以此不断丰富历史源案例信息，使下一次预测结果更加趋于准确。

(3)该系统虽然能够根据历史源案例直接预测应急资源需求信息，但预测值与实际消耗的应急资源量难免存在一定偏差，如何通过实际消耗真值来修正储存在数据库中的预测值将是本系统有待改进的一个方向。另外，系统中案例属性类型如模糊数、模糊区间等还需进一步丰富。

参考文献:

[1] Ricci F, Avesani P, Perini A. Cases on fire: applying CBR to emergency management[J]. The New Review of Applied Expert Systems, 1999, 5(6): 175 - 190.

[2] Zhang D S, Zhou L N, Jr Nunamaker J F. A knowledge management framework for the support of decision making in humanitarian assistance/disaster relief [J]. Knowledge and Information Systems, 2002, 4(3): 370 - 385.

[3] Yalta A T, Olaf J. On the importance of verifying forecasting results [J]. International Journal of Forecasting, 2009 (25): 62 - 73.

[4] Tanimoto H, Arai T Y, Grondahl K. Development of software for dental radiology education using VB. NET [J]. International Congress Series, 2005(1281): 1262 - 1266

[5] Daniel S K, Claudia B M, Heloisa V R. Supporting modeling and problem solving from precedent experiences: the role of workflows and case - based reasoning [J]. Environmental Modelling & Software, 2005, 20(6): 689 - 704.

[6] Robert H, Malcolm C, David P. Programming Review of Visual Basic. NET for the Laboratory Automation Industry [J]. Journal of the Association for Laboratory Automation, 2007 (32): 25 - 32.

[7] 埃克道尔. Visual Basic. NET 程序设计高级教程[M]. 北京：清华大学出版社，2005.

Visual Basic NET-Based Decision Support System for Forecasting Emergency Resource Demand in Oil and Gas Accident

Xing Ji, Qian Xinming, Liu Mu and Liu Zhenyi

(*State Key Laboratory of Explosion Science and Technology*, *Beijing Institute of Technology*, *Beijing* 100081)

Abstract: Considering difficulties in forecasting emergency resource demand for oil-gas accident, the property and type of emergency resource was analyzed, and case-based reasoning (CBR) emergency resource demand model in oil-gas accident was set up. A decision support system for forecasting emergency resource demand in oil and gas accident with using Visual Basic. NET and SQL Server database was developed. Take an example for verifying this decision support system, confirming forecasting model of this system reliable. It also shows that the forecasting result from this decision support system meets situation requirement, which could provide theoretical basis for emergency rescue activity after accident.

Key words: oil-gas accident,; case-based reasoning (CBR); emergency resource; demand forecast, decision support system