

DOI: 10.3969/j.issn.1001-8972.2010.16.002

基于产生式规则和归结原理的环境污染事故应急处理处置专家系统

孙新升 康彩霞 周淳 王玉珏 金勤献 清华大学环境科学与工程系环境工程设计研究所 100084

摘要

利用环境科学与工程学的专家知识,将各种重大环境污染事故的处理处置技术方案做成一个专家系统。开发了一个用于工业集群区重大环境污染事故应急处理处置的专家系统。该系统采用产生式规则推断重大环境污染事故与污染物的关系,利用归结原理分析这些规则,并采用输出表单的形式将数据库中的应急处理处置方案向用户公开,便于用户对系统的操作和使用。为计算机在工业集群区的应用提供了新的例证。

关键词

专家系统;产生式规则;归结原理;应急处理处置

引言

经验表明,重大环境污染事故(如爆炸、毒气泄漏、海上溢油等)是化学工业集群区长期稳定运行的重要安全隐患,在一些环境污染事故应急处理中,处理效果不理想、费用高以及引起周围群众恐慌等现象往往是由处理处置技术与方案不合理引起的。由于针对重大环境污染事故处理处置技术的解决策略在书籍中难以找到,且在不同的环境条件下现场解决方案不尽相同,长期以来应急处理处置人员往往是根据多

年积累的经验对工业集群区重大环境污染事故进行应急处理处置。然而这些经验技术的积累要求具有较长时间的实际工作经验和广泛的知识,所以只为少数人员所掌握。目前我国工业正在蓬勃发展,各地新建了不少工业集群区。在这些新建的工业集群区中,由于缺乏有经验的重大环境污染事故应急处理处置人员,一旦出现诸如有毒气体泄漏等重大环境污染事故时,应急处理处置就显得捉襟见肘。因此十分有必要开发一套用于指导化学工业集群区出现重大环境污染事故时用于应急处理处置的决策支持系统。根据目前的实际情况,专家系统是解决诸如此类问题的首选方法。

1 专家系统及其功能

目前对专家系统的定义是:一个能在特定领域内,以人类专家水平去解决该领域内困难问题的计算机程序。其主要特征是它依靠人类专家经验性的规则来分析和解决问题,也就是说将工作人员多年积累的工作经验收集整理,加以计算机决策辅助,来解决某领域的困难问题。它是将经验性的知识应用于尚未完全得到理解的领域的一种方法,因而很适合在重大环境污染事故应急处理处置技术这样一个尚未完全成熟的领域中应用。

本专家系统是化学工业集群区重大环境污染事故应急处理处置决策支持系统的一个组成部分,其主要功能是:①诊断功能:根据用户输入的数据和信息,对重大环境污染事故的实际现场情况作出及时分析,根据以往类似案例的解决经验以及数据库中收集的应急处理处置技术流程、应急物资、应急设备等迅速给出最佳处理处置方案。②检索功能:对重大环境污染事故常见处理处置技术流程、应急物资与设备、应急处理处置方案,采用列表的形式进行检索,对具体的案例给出原因和解决策略的详细分析。③培训功能:充分利用计算机多媒体的优势,运用文字、图形等多种方式向用户介

绍重大环境污染事故应急处理处置的有关法律法规,相关知识以及经验教训等对化学工业集群区的职工进行演习和培训。

本专家系统和化学工业集群区大气、海洋日常气象数据运行模型数值模拟软件相互支持、相互验证,共同为化学工业集群区的重大环境污染事故应急处理处置提供决策与帮助。以期最大程度减少重大环境污染事故造成的经济、环境危害。

2 专家系统的开发

系统的开发过程可以分为以下几个步骤。

2.1 知识的获取

这是专家系统开发过程中最为重要的阶段。专家系统的成功在很大程度上取决于从人类专家处获得的知识。在本系统的开发过程中,从重大环境污染事故应急处理专家、化学工业集群区工程师、实际工作人员和环境污染事故应急处理处置指导书籍中获得了大量有用的知识。

2.2 知识的转化

在系统的开发过程中,采用假设和结论(If ..., Then...)的形式把从人类专家处获得的知识和数据转化成为适合于计算机表达应用的形式,存储在系统的数据库中。在知识转化过程中,不断从相关工业集群区专家、相关科技书籍以及现实生活中重大环境污染事故处理处置的方案等处获得反馈信息,及时对知识转化和表达中出现的错误进行修改,并更新处理处置方案。

2.3 专家系统的构建

根据数据库的内容与结构,确定逻辑推理的方式并编程实现逻辑推理,开发友好的用户界面,实现和完善专家系统的功能。

2.4 专家系统的验证

在本专家系统开发完成以后,首先由重大环境污染事故应急处理专家对知识的转化过程进行了验证,确定重大环境污染事故应急处理处置的知识被正确地转化成为数

数据库中的知识;然后针对化学工业集群区中的具体问题,比较专家系统给出的解决方案与人类专家给出的解决方案,验证本专家系统的准确性。本专家系统的验证工作拟在天津某化学工业集群区进行,根据实际使用情况,对数据库中不合理的规则和知识表达形式进行了修改。

3 专家系统的总体结构

重大环境污染事故应急处理专家系统就是运用电子计算机技术来模拟环境专家的综合、分析、判断等思维过程的过程。针对上述功能定位,本系统在分析环境专家分析处理实际污染事故过程的基础上,综合应用一般模型和形象思维模型,设计工作模型。本系统采用标准的专家系统机构。包括知识库、推理机、综合数据库、人机界面、解释机构等几个部分。

3.1 知识库

知识库的构建分三步,第一步是从领域专家处吸取知识;第二步是将知识归纳整理,以一定的数据结构存入计算机;第三步是建立知识库管理系统来对知识进行组织、检索和维护。知识库中,大约存放着几百条辨别规则和几千条关于重大环境污染事故应急处理方面的知识。一边与用户进行对话,一边进行推理诊断。这种推理规则称为“产生式规则”。

从人类专家处获得的知识,经过组织后以规则If ..., Then ...的形式存储在知识库中。根据以往的经验,知识的良好组织是系统能够灵活应用的必要条件。为此知识库采用了模块化结构,即把知识分成若干相互独立的知识库,如故障诊断知识库,故障检索知识库,活性污泥法培训知识库等。系统在工作时,推理机根据实际情况将相应的知识库调入内存使用。

3.2 推理机

推理机包含解决问题的策略和推理方法,它是专家系统的“思维”机构,模拟领域专家的思维模式,控制并执行问题的求解和答案。它接收从“人机界面”传送来的信息,根据数据库汇总的记录,调用知识库中的有关知识对该信息进行相应的处理,并将处理结果送往人机界面或其它结构。

该系统在使用过程中,根据不同情况,采用的推理策略以产生式规则的正向推理为主,以实例推理为辅。根据重大环境污染事故产生的污染物在规则知识库中搜索与之匹配的标准应急处理处置技术、物资以及设备,得到重大环境污染事故应急处

理处置的最佳方案。利用用户输入的相关知识点,采用的是关键词启发式搜索策略。

3.3 综合数据库

数据库用于存放所有的原始数据资料,求解过程中的中间数据、动态数据查询表、最后结果及推进记录。知识库和数据库涉及的环境科学术语、污染物名称应急物资设备等转换为由数字或者英文字母组成的代码。规范化的代码可以避免环境科学术语以及污染物的不一致以及人为原因引起的输入差错。

3.4 人机界面

即专家系统与环境专家、设计者以及最终用户间的界面,由几组程序和相应的硬件组成,负责将用户输入的信息转化成系统内规范化的表示形式,再把这些内部表示交给相应的模块去处理,系统输出的内部信息也由它转化成用户易于理解的外部表示形式显示给用户,完成输入和输出工作。

目前,我国多数突发性环境污染事故应急体系仍处于初级应用阶段,处理处置技术及应急响应等方面存在诸多不足,缺乏以技术为支撑的应急处理处置系统,人海战术仍然是目前应对紧急情况时的主要处理手段。因此,研究科学、合理的应急处理处置技术,增强突发性环境污染事故中的快速反应和组织抢险能力,具有重要的经济价值和社会意义。

4 重大环境污染事故应急处理处置专家系统在海洋溢油污染事故中的应用

以海洋溢油几种常见的处理处置方法为例,利用产生式规则推断溢油状况与处理处置技术的关系,关于溢油状况的推断过程除了考虑到形式化的推理过程,还应该考虑到气象水文条件的多样性、多变性和不确定性,在面对某些气象条件复杂、溢油状况不典型或合并气象条件海洋条件较多的溢油事故时,添加专家的特异性判别指标。溢油状况、气象水文条件等与溢油事故处理处置办法的产生式规则表述如下:

4.1 气象水文条件与溢油事故处理处置方式:

A、平静海面,附近航道畅通,离海岸距离较近→人工回收、机械回收(油回收船、油吸引装置、吸油材料、

网袋装置、油拖把等)、生物处理

B、平静海面,附近航道畅通,离海岸距离较远→机械回收(油回收船、油吸引装置、吸油材料等)、深海沉降、外海燃烧

C、风速 $\leq 15\text{m/s}$,潮流 $\leq 2\text{m/s}$,波高 $\leq 2\text{m}$,离海岸距离较近→围油栏,人工回收、机械回收、生物处理

D、风速 $\leq 15\text{m/s}$,潮流 $\leq 2\text{m/s}$,波高 $\leq 2\text{m}$,离海岸距离较远→围油栏,机械回收、深海沉降、外海燃烧

E、风速 $>15\text{m/s}$,潮流 $>2\text{m/s}$,波高 $>2\text{m}$ 之一,离海岸距离较近→使用分散剂

F、风速 $>15\text{m/s}$,潮流 $>2\text{m/s}$,波高 $>2\text{m}$ 之一,离海岸距离较远→使用分散剂、外海燃烧

G、风速、潮流、波高两个或者两个以上未知→添加专家的特异性判别指标

4.2 溢出油量与溢油事故处理处置方式:

A、溢出油量 ≤ 10 吨(这种场合多属油轮装卸时的跑、冒、滴、漏和小型油轮发生事故以及岸上油罐溢油事故等,多数是在港区内发生的溢油,一般海况比较平稳)→围油栏,人工回收、机械回收、使用分散剂等。

B、 $10\text{吨}<\text{溢出油量}<500\text{吨}$ →围油栏,机械回收。

C、溢出油量 500吨 →围油栏,机械回收、外海燃烧

4.3 油种与溢油事故处理处置方式:

A、流动点 $\geq 30^\circ\text{C}$ 的原油[我国原油(如大庆、胜利、任丘原油)、印尼原油等流动点的温度均在 30°C 以上]→人工回收、机械回收(采用刮板式、倾斜板式回收船等)

B、流动点 $<30^\circ\text{C}$ 的原油(中东、阿拉伯原油)→围油栏,使用分散剂、机械回收(刮板式装置的油回收船、油吸引装置、吸油材料、油拖把等)

C、重油等燃料油→围油栏,人工回收、机械回收

D、当同时出现气象水文条件、溢出油量、油种几种情况,且相互之间无共同处理处置方法时,以气象水文条件为最先考虑对象,其次为溢出油量、油种。

4.4 将上述各影响因素以及溢油事故处理处置方法用谓词表示出来

利用Robinson归结原理分析这些规则,用启发式搜索的方法推断出处理处

置方法。对海洋溢油的处理处置工作提供支持。

用谓词演算和 Robinson 归结原理总结溢油事故处理处置方法, 下列列出部分产生式规则:

$$H1 \wedge H2 \rightarrow Z2, Z3, Z5 \quad (1)$$

$$W1 \wedge W2 \wedge W3 \rightarrow Z1, Z2, Z3, Z5 \quad (2)$$

$$J1 \wedge W2 \wedge W3 \wedge H2 \rightarrow Z4 \quad (3)$$

$$(J1 \wedge W2 \wedge W3 \wedge H2) \vee S2 \vee K1 \rightarrow Z4 \quad (4)$$

$$(J1 \wedge J2 \wedge J3 \wedge H3) \vee S3 \vee K3 \rightarrow Z4 \quad (5)$$

... ..

其中, “ \wedge ”表示合取, “ \vee ”表示析取, “ \neg ”表示求反。

4.5 推理过程

假设有一艘装载巴林原油的大型油轮从波斯湾驶往中国渤海曹妃甸, 在印度洋某处发生部分泄露, 已知泄露地点距离海岸较近, 风速为 30 m/s, 潮流为 5 m/s, 波高为 3 m/s, 溢出油量 9.5 吨。

结论推理过程如下:

① $H2 \wedge J1 \wedge J2 \wedge J3 \wedge S1 \rightarrow Z4$; ② $H2$; ③ $J1$; ④ $J2$; ⑤ $J3$; ⑥ $S1$ 。

问: 结论是什么?

可化为子句集: ① $\neg(H2 \wedge J1 \wedge J2 \wedge J3 \wedge S1) \vee Z4$, 即 $\neg H2 \vee \neg J1 \vee \neg J2 \vee \neg J3 \vee \neg S1 \vee Z4$; ② $H2$; ③ $J1$; ④ $J2$; ⑤ $J3$; ⑥ $S1$ 。

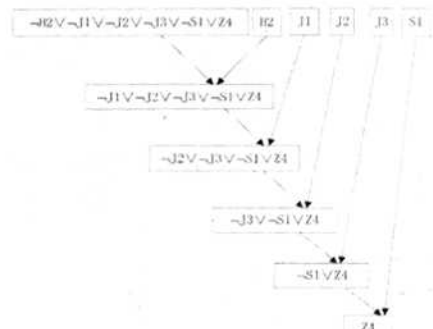


图1 Robinson 归结反演过程

由图1可见, 根据 Robinson 归结原理, 得出结论是 $Z4$, 即使用分散剂。

该溢油应急处理处置专家系统采用 Robinson 归结原理得到了正确的结论。具体的推理判断过程主要靠软件具体完成。该系统采用正向推理, 其中, 中止条件是知识库中再无适用的知识或经推理得到了问题的解。推理过程如图2。

研究人员主要用于协助重大污染事故应急工作人员提出各种情况下如何处理处置重大污染事故。重大污染事故应急工作人员只要懂得如何操作计算机, 通过人一机对话的方式, 按环境科学知识即可生成一个重大环境污染事故应急处理处置专家咨询系统, 可提出各种重大环境污染事故的应急处理处置决策方案。

5 结论

利用环境科学的专家知识, 将各种重大环境污染事故的影响因素以及处理处置方法做成一个专家系统。该系统在对重大环境污染事故专家提出处理处置决策方

案的全过程分析研究的基础上, 综合采用产生式规则、利用各种环境事故影响因素与处理处置方法的关系, 用 Robinson 归结原理推断出最佳处理处置方案, 为重大环境污染事故应急工作人员提供决策支持。作为一个重大环境污染事故应急处理处置专家系统的例子, 为计算机技术在环境学领域的进一步应用提供了新的例证。

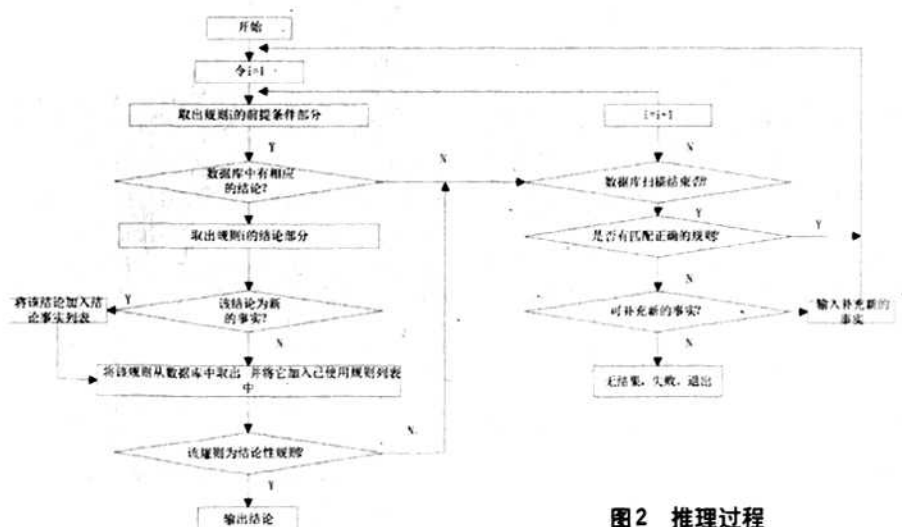


图2 推理过程

参考文献

- [1] 施汉昌, 王玉珏. 污水处理厂故障诊断专家系统[J]. 中国给水排水. 2001, 27(8): 88-90
- [2] 刘秋红, 焦仁普, 张钰等. 基于产生式规则和归结原理的农业专家系统[J]. 安徽农业科学. 2008, 36(10): 4307-4309.
- [3] 廖振良, 刘宴辉, 徐祖信. 基于案例推理的突发性环境污染事件应急预案系统[J]. 环境污染与防治. 2009, 31(1): 86-89.