

# 环境专家系统进展\*

白 乃 彬

(中国科学院生态环境研究中心, 北京 100085)

**摘要** 本文对国内外环境专家系统的进展及其特点进行了综述, 认为: 环境专家系统可以应用于环境科学的各个领域, 成为解决环境问题的有用工具。目前, 基于事实的推理型专家系统是环境专家系统的主流, 环境专家系统又是环境数据库、环境信息系统的进一步补充与完善。文中最后例举了如何将环境模式计算和环境专家系统结合起来解决区域大气质量评价的实际问题。

**关键词** 环境科学, 专家系统, 环境数据库。

许多环境问题的解决, 涉及方案选择、条件优化、分类识别、未知预报和因果分析等过程, 目前大都靠专家经验指导得以进行。有些问题可以通过模式计算使之定量化, 但是模式选择和计算结果解析仍然凭借专家经验。随着计算机的普及, 人们期待把专家经验存入计算机中, 并使上述过程自动进行, 于是出现了环境专家系统。

## 1 一般专家系统<sup>[1-2]</sup>

专家系统为人工智能的一个分支, 即具有解决专业领域问题能力, 并达到领域专家水平的计算机信息系统。它必须达到:

(1) 有专家知识, 且已存储于该计算机信息系统之中;

(2) 能解决领域专业问题;

(3) 功能达到专家水平。

典型的专家系统起码应该包括四个基本部分:

(1) 知识库 存放用事实或规则来表达的领域专家所提供的经验知识; 知识按语境树层次结构存放, 以利推理; 参数用于赋值。

(2) 推理机 包括利用知识库内的知识进行推理的推理过程和控制策略; 针对人类专家经验知识的不确定性, 采用了不精确推理。

(3) 解释系统 是一组对推理过程给出必要解释的程序, 有助于用户了解推理过程, 学习

领域知识, 从而比较容易地接受该专家系统所导出的结论。

(4) 人机界面 在推理过程中系统与用户进行一系列问答, 直至给出结论为止。

对于一个实用的环境专家系统, 为了综合地解决实际环境问题, 常常有几个知识库, 并辅之以基础环境数据库, 环境模式与方法库, 以及能绘制带有环境属性的地图或图表的图形或图象库。此时, 人机界面还将起连接各子系统和控制过程流动的功能。它一般以伴随图象的菜单形式实现。

## 2 国外环境专家系统

通过 DATASTAR 进行了国际联机检索, 从 1970 到 1991 年中期有 67 篇文献报道了约 57 个专家系统; 而 Hushon 的综论评述了 1987 年前美国环境专家系统水平。依年度统计示于图 1。图 1 表明: 1985 年前尚无环境专家系统; 与医学、气象、化学等环境姐妹科学相比明显落后五年左右, 这或许是制约环境问题的因素十分复杂的原故。然而五年来增长迅速, 且现在正方兴未艾, 这或许是专家系统在环境领域中大有用武之地的证明。

从应用功能来分, 专家系统有以下类型: 评价、预测、诊断、设计、管理、教育和生产控制等

\* 本工作为国家自然科学基金项目  
1992 年 5 月 31 日收到修改稿

表 1 国外环境专家系统

| 类                               | 系 统 名 称                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 数目 | %  |
|---------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|
| 环<br>境<br>评<br>价                | 酸雨数据评价专家系统<br>区域流域酸化评价专家系统<br>大气颗粒物电子显微镜数据评价专家系统<br>城市垃圾焚烧装置的连续监测数据评价专家系统<br>地下水污染评价专家系统<br>地下水污染控制专家系统<br>水质评价专家系统<br>有害废弃物环境影响顾问<br>有害废弃物环境危害评价系统<br>生产装置先期评价专家系统<br>废渣分类专家系统<br>固体废弃物填埋选址专家系统<br>地下蓄水层污染分类专家系统<br>场地环境评价专家系统<br>环境样本红外光谱谱图解析专家系统<br>签发许可证的助手<br>发放 KCRA 许可证系统<br>发放准许堆放垃圾的许可证系统<br>有害化学品生物降解专家系统<br>有害废弃物管理专家系统<br>环境有害物管理的定量构效关系专家系统<br>环境有害物场地堆放风险性评价专家系统<br>化学事故紧急响应处置专家系统<br>化学事故正确判断决策专家系统<br>运输化学品车辆事故报警及处置专家系统<br>中毒事件处置专家系统 | 26 | 46 |
| 环<br>境<br>规<br>划                | 环保计划与任务分派专家系统<br>环境科研管理专家系统<br>挑选测试样品委托单位专家系统<br>地面围堤处置有害废弃物规划专家系统<br>防噪声墙设计专家系统                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 5  | 9  |
| 环<br>境<br>监<br>测<br>与<br>评<br>价 | 活动膜合理使用专家系统<br>水公司环境仪器使用专家系统<br>水库综合利用科学管理专家系统<br>湖水质量控制和管理专家系统<br>环境水体管理模型专家系统<br>水质管理系统<br>水质量顾问<br>地下水质量管理专家系统<br>水灾顾问<br>固体废弃物填埋选址专家系统<br>区域大雨预报专家系统<br>雪山融雪水径流量模型专家系统                                                                                                                                                                                                                                                                             | 12 | 20 |
| 设<br>备<br>诊<br>断                | 焚烧废弃物装置诊断专家系统<br>活性污泥处理装置诊断专家系统<br>废水处理装置诊断专家系统<br>市政供水系统诊断专家系统<br>环境仪器性能考核专家系统                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 5  | 9  |

续 表

| 类    | 系 统 名 称         | 数目 | %  |
|------|-----------------|----|----|
| 过程控制 | 化工过程单元操作专家系统    | 8  | 14 |
|      | 改进废弃物焚烧装置效能专家系统 |    |    |
|      | 活性污泥装置控制专家系统    |    |    |
|      | 水生化处理装置控制专家系统   |    |    |
|      | 工厂区净化环境专家系统     |    |    |
|      | 小型水处理厂专家系统      |    |    |
|      | 减少旋转容污染操作专家系统   |    |    |
|      | 含氟电解废水最小排放专家系统  |    |    |
|      | 环境专家系统教育系统      | 1  | 2  |

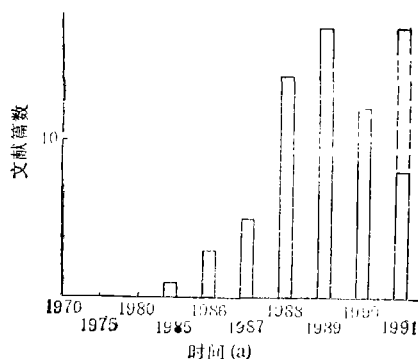


图 1 国外环境专家系统进展状况

等。环境专家系统功能分类示于表 1。表 1 说明：环境各个领域皆出现了专家系统，实用性极强是它们的共同特点。再者，环境评价专家系统约有一半，说明解释系统是当今的热点。最后，生产控制和事故诊断近两年发展很快，表明专家系统与自动控制系统相结合正产生良好的社会效益和经济效益。

### 3 国内环境专家系统<sup>[2]</sup>

国内环境专家系统从 1987 年起步，目前，有几个环境专家系统相继建成，如表 2。据笔者所闻有数以十计的环境专家系统正在构筑之

表 2 国内环境专家系统

| 系 统 名 称        | 开 发 单 位     |
|----------------|-------------|
| 城市环境噪声防治专家系统   | 同济大学        |
| 城市污水处理专家系统     | 同济大学        |
| 水资源保护专家系统研究    | 浙江工学院       |
| 区域环境大气质量评价专家系统 | 中科院生态环境研究中心 |

中。这说明：我们正在迎头赶上国际水平。

### 4 几点浅见

综合国内外发展状况和笔者开发“区域环境大气质量评价”的体会，我们认为目前环境专家系统进展有如下特点：

#### 4.1 专家系统为解决环境问题的有用工具之一

据笔者管见专家系统可能有助于解决下列环境问题：

环境质量评价：数据评价，分类识别、评价指标选择，综合评价等。

环境质量预测：模式选择，计算结果解析等。

环境质量管理：许可证发放。

化学品安全评价：QSAR 模式，未知物效应预报等。

突发性化学事故处置：报警，事故分析和处置方法咨询等。

环境科技管理：计划任务等。

环境规划：模拟，选址，投资等。

灾害预测：大雨，洪水等。

环境工程设计：辅助设计等。

环境设备及装置正确使用：说明书，实例图示运行等。

环境设备及装置事故诊断：事故分析，检修方案等。

治理过程控制：优化条件等。

环境专家系统教育：演示和实例等。

再者,环境问题求解包含不确定因素较多,模式计算或推理的精确性每每受不确定因素的影响而出现的模糊性所掩盖,人们希望精确,但是首先希望正确,起码给出结论的正确程度,即置信度,这正是专家系统所擅长的。

最后,有些环境问题是需要领域专家及时甚至是紧急处理的,诸如突发事故处置、生产故障排除及生产过程控制等。如果事先将领域专家经验存入计算机,建立专家系统,问题就迎刃而解了。

#### 4.2 环境专家系统有较长的应用背景<sup>[3]</sup>

应用是专家系统的最终目的,注重应用,解决领域较窄的环境具体问题是环境专家系统的最大特色。美国近期开发的化学事故紧急响应与处置专家系统(FRES)可以作为说明环境专家系统应用背景的典型。

FRES 被安装在急救指挥车上,为救灾人员提供检出污染物的急性毒性或长期毒性的情报。在向系统输入事故现场环境、所涉及诸化学品的特性及未来处置期间的气象条件之后,系统可提供处置事故的最佳方案。通过人机对话系统提示现场人员:此刻危害性最大的化学品特性;与人接触途径;现场易燃材料特性;人身防护设备与救火器材;现场爆炸之可能性及潜在因素之消除;居民疏散问题建议等。

据报道,美国目前每年出现近六千次与运输化学品有关的直接事故和次生事故,损失惨重。一般说来,处置这样突发事故应有化学家、环境化学家、环境生物化学家参与讨论才能作出正确决策,但事出仓促,不可能再组织合适专家讨论。FRES 囊括了几乎所有用户须知的化学突发事故的应急知识,一旦事发,就能全部或部分起专家会诊作用。十年实践证明该系统使用效果良好。

#### 4.3 基于事实推理型专家系统为目前环境专家系统主流<sup>[4]</sup>

GEOTOX 为美国有毒废弃物排放场地潜在性危害专家系统之简称。通过它可了解当前环境专家系统之一般。

GEOTOX 的基础是 Wilson-Fang 专家系

统模型。该模型把专家系统设计为相互联系的四个部分:知识库、推理机、上下文和结果图形显示。人机界面是沟通用户和系统的桥梁。知识库储存领域专家知识所表达的逻辑推理规则;推理机对输入信息进行加工,储存解决问题的谋略和假设;在上下文中,储存推理网络(语境树),还可存入系统推演出来的事实;绘图系统对结果进行图形显示。该概念模型代表了第一代专家系统的基本特征。

GEOTOX 研究了已有的各类评价方法,采用综合的多学科知识、多类评价指标,由总体到个别,再由个别到总体的解决问题的策略,构成了系统设计思路。首先到野外工作,收集废弃物处理场地、土地及区域性资料。通过污染负荷计算、废弃物分类识别、存在状态及处理方法研究,导出场地废弃物堆放的局地性危害。通过地下水与地表水的相互作用研究,径流渗流特性研究,土壤不饱和区特性研究,导出长期性危害。通过地层整体渗透性研究,地下水流向和流速研究,含水层污染状况研究,导出区域性危害。最后综合局部性、长期性和区域性三方面危害,得出场地有毒废弃物排放危害的综合评价。这一较为全面、细致和科学的推理网络是建造其它环境专家系统的良好借鉴。

控制第一代专家系统发展的“瓶颈”是知识获取。有些领域由于专家不多或较为零散难于从实际调查中获得足够量的“知识”。目前发展了一种以人工神经网络为代表的第二代专家系统。该模型有自适应能力,通过若干实例学习能自己产生适当的规则。知识库系统以符号信息转换、处理为基础的高层次逻辑级的软方法;人工神经网络则是以低层次、子符号为基础的全局统计级的硬方法。在实际工作中人工神经网络和知识库系统是互补的,前者具有较强的联想、分类识别和优化组合解决问题的能力,能及时捕获存于大量事件中的有用信息;后者适用于知识处理。两者有机结合,各择所长可能成为未来环境专家系统的发展方向。

#### 4.4 环境专家系统是环境数据库、环境信息系统的进一步补充与完善

环境数据库、环境信息系统和环境专家系统是互补的。为了便于用户应用环境专家系统目前往往包括前两者。从历史发展来看是先出现环境数据库,再出现环境信息系统,最后出现环境专家系统。从系统模块组成和工作方式来看也是愈加复杂和综合。如表 3。

表 3 环境数据库、环境信息系统和环境专家系统相互关系

| 类      | 环境数据库 | 环境信息系统               | 环境专家系统                     |
|--------|-------|----------------------|----------------------------|
| 系统模块组成 | 数据    | 数据<br>方法<br>模式<br>图形 | 数据<br>方法<br>模式<br>图形<br>规则 |
| 工作方式   | 检索    | 检索<br>计算<br>绘图       | 检索<br>计算<br>绘图<br>推理       |

当然,这里有个为主的问题。如果以数据检索为主,则称为智能数据库;如果以模式计算为中心,则称为智能信息库;如果以规则推理为主,则称为专家系统。

#### 4.5 环境模式计算与环境专家系统<sup>[5-7]</sup>

在环境质量预测和环境容量估计中,传统方法是通过模式计算使之得以定量进行。不同目标区域条件差别较大,应有适宜模式与之相匹配。例如 Lam 等人曾用知识库方法来选择区域范围内流域酸化模型,使之适应于目标区域条件,取得良好效果。选定模式之后,还会碰到一大堆参数的正确选择问题,否则计算结果将与实际相差较远。由计算结果得出判断或决策性结论也须推理。如果把专家系统和模式计算统一起来,形成用专家系统选择模式和参数,用选定的模式进行计算,用专家系统求取计算结果的合理分析的一条龙,就可以把工作做得十分完善,实现整体工作计算机化。在“区域环境大气质量评价专家系统”中,我们根据实用目的用七种影响因素和每种因素各择两种情况来选择模式,其语境树示于图 2。图 2 中规则 1 用于选择大气条件对环境最不利的情况和一般情况;规则 2 用于选择所述两种区域范围;规则 3

用于选择所述两种风速;规则 4 用于选择所述两种风向;规则 5 用于选择所述两种下垫面情况;规则 6 用于选择所述两种应输入的浓度数据类别;规则 7 用于选择所述两种计算繁简要求。在应用天津市大气监测数据考核中取得良好结果。

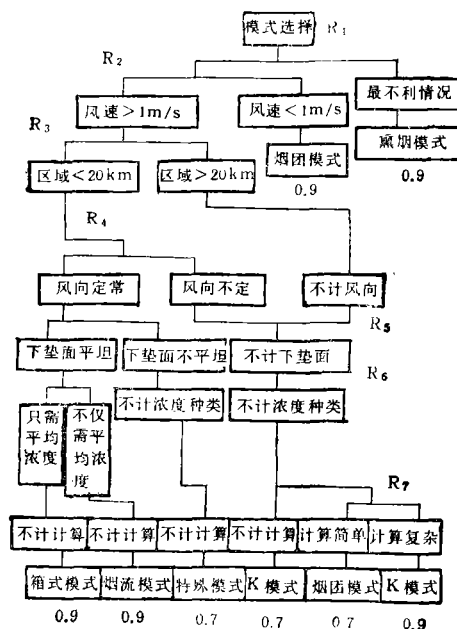


图 2 大气环境预测模式选择语境树图

## 5 小结

环境专家系统虽然是近期发展起来的,但在应用中却显示了强大的生命力,不失为辅助解决环境问题的有用工具之一。

## 参 考 文 献

- 1 Hushon J M. *Environmental Science and Technology*. 1987, 21 (9): 838
- 2 白乃彬. 环境污染与防治. 1989, 11(4): 8
- 3 Hushon J M. *Environmental Science and Technology* 1986, 20 (2): 118
- 4 Mikroudis G K, Fang H Y. *Hazpro-86-Professional Certification Symposium and Exposition*, Northbrook: Pudvan Publishing Co., 1986: 580—594
- 5 Lam D C L et al. *Ecological Modelling*. 1989, 47 (2): 131
- 6 白乃彬,杜敏. 工程建设中智能辅助决策系统. 北京: 电子工业出版社, 1990: 98—105
- 7 姚贵安,杜敏,袁纪文. 工程建设中智能辅助决策系统, 上海: 同济大学出版社, 1991: 122—130

copper can be deposited at the cathode. If the final  $\text{Cu}^{2+}$  concentration was controlled in the range of 0.2—0.3g/L after electrolysis, an average current efficiency above 80% can be achieved.  $\text{NO}_3^-$  was found unchanged after the electrolytic process. In addition, from pilot tests, a numerical model for the treatment of copper-nitrate wastewater by the electrolysis process was developed.

**Key words:** electrolysis, copper-nitrate wastewater, numerical model.

**Decomposition of Poisonous Gases  $\text{SO}_2$  and  $\text{NO}_x$  with Plasma Technique at Low Temperature and Normal Pressure.** Bai Xiyao, Yi Changwu et al. (Anshan Research and Design Institute of Electrostatic Technology): *Chin. J. Environ. Sci.*, **14**(1), 1993, pp. 37—40

A kind of unbalanced high energy plasma was produced by corona discharge of ultrahigh voltage pulse with steep front and back edges at normal pressure and low temperature conditions. The plasma could break the chemical bonds of  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  molecules, and under definitely directional action, the gas molecules could be decomposed into non-poisonous mono-molecular  $\text{O}_2$ ,  $\text{N}_2$  and monoplasma particle S. The decomposition rate of  $\text{NO}_x$  was 94.1%, and that of  $\text{SO}_2$  was 86.7%. All the monoplasma sulphur deposited on the wall of reactor, and may be used as industrial material. This is a new technique providing a kind of effective, feasible way in reducing the risk of "acid rain". It has the advantages of low cost, little land occupation, and low energy consumption. Furthermore, no additional chemicals are needed in the method of treatment of  $\text{NO}_x$ ,  $\text{SO}_2$  containing waste gases. In comparison with the world advanced technique of electron-beam and nano high-voltage pulse corona discharge, this technique can cut down the first investment and routine operation cost by about 90 percent.

**Key words:** pulse discharge, plasma,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$ .

**Application of Immobilized Cells in Wastewater Treatment.** Huang Xia, Yu Yuxin, Wang Lei (Dept. of Environmental

Eng., Tsinghua University, Beijing 100084): *Chin. J. Environ. Sci.*, **14**(1), 1993, pp. 41—48

Wastewater treatment with immobilized cells is a newly developed technique of biological treatment. It offers the potential of improving wastewater treatment with following advantages: (1) it is possible to maintain a high concentration of biomass in the bioreactor resulting in an increased loading rate and decreased bioreactor volume; (2) much less amount of sludge is produced, the excess sludge in the immobilized activated sludge is estimated to be 1/4—1/5 of that in the conventional activated sludge; (3) it is possible to selectively immobilize superior microorganism capable of degrading hardly-decomposable organic compounds so as to enhance their degradation rate; and (4) toxic compounds with higher concentration can also be treated. The present paper reviews the recent investigations on the application of the immobilized cells in wastewater treatment. Finally, the perspective of the technique was forecasted.

**Key words:** immobilized cells, wastewater treatment, activated sludge.

**Expert System in Environmental Sciences.** Bai Naibin (Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085): *Chin. J. Environ. Sci.*, **14**(1), 1993, pp. 49—53

This paper reviews the progress of environmental expert system in China and other countries of the World. It shows that expert system can be used in environmental sciences and will become an useful tool in environmental assessment, planning, management technological design, control of technology process and education. At present, developing the expert system, which can reason out a conclusion from facts, is a main trend in the progress of expert system. The environmental expert system is also a supplement or a improvement for the environmental data base and environmental information system. Finally, the author took his own research work as an example to illustrate the way of integrating the environmental model calculation with the environmental expert system to solve the practical problems in the air quality assessment in a typical city of China.

**Key words:** environmental sciences, expert system, environmental information system.

**Study on the Planned Environmental Capacities of Water Pollutants and the Control of Total Amount of Discharged Sewage at Lanzou Section of the Yellow River.** Cao Lei (Provincial Bureau of Environment Protection of Gansu, Lanzou 730030): *Chin. J. Environ. Sci.*, **14**(1), 1993, pp.54—58

According to the water function, the section of the Yellow River in Gansu is divided into three series sectors, the water resource protection sector, the para-resource protection sector and the comprehensive functional sector. A new conception of planned water environmental capacity of each sector and a scheme for the control of total sewage discharge were proposed. Taking COD, the indicator of organic pollution, as an example, the author calculated the environmental capacities of the sedors based on the U. S. "PDM-PC model", which was simplified for the boundary condition to form an approximate analytic formula. The results thus reckoned from the formula and the planned environmental capacities are both continuous risk values of environmental capacities on the random conditions of different objectives and different probabilities. And these provide more choices for the overall control of sewage discharge and environmental policy-making.

**Key words:** Yelliw River, environmental capacity, environmental programme.

**Preliminary Study on the Biological Negadiversity Country.** Zhang Weiping et al. (China Environmental Science Press, Beijing 100062): *Chin. J. Environ. Sci.*, **14**(1), 1993, pp.59—63

The article discusses the concept of biological megadiversity country and illustrates the great strategic importance of these countries in the worldwide conservation of biological diversity. Seven of the megadiversity countries are introduced to readers. Finally, the way of the determination of megadiversity country is discussed. The megadiversity approach is to attract attention of the world on these highly diverse, strategically critical mega-

diversity countries. The approach is a part of the measure of establishing priorities for conserving biological diversity.

**Key words:** megadiversity country, biological species, level of endemism, biological diversity.

**Effects of Fumigation with SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> and their Mixture on Ascorbic Acid in Chinese Cabbage.** Yu Fei, Xu Yigang, Qin Wenjuan (Nanjing Institute of Environmental Sciences, National EPA of China, Nanjing 210042): *Chin. J. Environ. Sci.*, **14**(1), 1993, pp. 64—66

Effects of different doses of SO<sub>2</sub> (0.1—0.25 ppm), NO<sub>2</sub> (0.05—0.25 ppm) and their mixtures on the contents of ascorbic acid in Chinese Cabbage (*Brassica Chinese*) were investigated by using an top-open field chamber device. The results show that the content of ascorbic acid in Chinese Cabbage goes down as the concentrations of SO<sub>2</sub> and NO<sub>2</sub> increase, and SO<sub>2</sub> exerts greater influence on the level of ascorbic acid in the vegetable than NO<sub>2</sub>. As ascorbic acid in Chinese Cabbage is reduced, the amount of chlorophyll dropped also. A linear correlation exists between the reduction rate of ascorbic acid and the injury rate of leaves of Chinese Cabbage.

**Key words:** Chinese Cabage, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, fumigation Ascorbic acid.

**Toxicity of Mercury Ion and Cypermethrin Pesticide to *Tetrahymena Pyriformis*.** Xu Yongxiang, Xiu Ruiqin et al. (Institute of Environmental Health and Engineering, Chinese Academy of Preventive Medicine, Beijing 100050): *Chin. J. Environ. Sci.*, **14**(1), 1993, pp.67—69

The toxicity of mercury ion and pesticide cypermethrin to *tetrahymena pyriformis* was observed in this study according to the method of aquatic toxicology. Results show that the rate of cell division multiplication of *tetrahymena pyriformis* decreases obviously with the increase of concentrations of mercury ion and the pesticide. The lowest effective concentrations for an observation period of 24h were 0.0001mg/L for mecury ion and 0.01 mg/L for cypermethrin, respectively. The lowest effective concentrations for a 48 h observation