

\*\*\*\*\*  
研究简报  
\*\*\*\*\*

## 地震预报专家系统 ESEP/PC

庄昆元\* 王 炜 黄冰树 夏士华

(中国合肥 230031 安徽省地震局)

自专家系统(赵瑞清, 1986; 1987)问世以来, 人类已经建造了许多卓有成效的系统, 在各自的领域取得了很好的效果. 在地震预报领域建造专家系统的问题, 曾在地震学家之间出现过争论. 我们认为, 企图通过专家系统来解决预报问题显然是困难的, 但用它来代替人类专家工作则是完全可能的. 更何况专家系统的工作还有比人类专家更快速、更客观、更全面和不受专家时空限制的优点. 事实上, 当我们处于强震即将到来之际, 地震预报专家也往往会受环境影响而难于全面和客观地分析已观测到的事实. 因此说建立地震预报专家系统是很有意义的, 再说用专家系统不精确推理的办法还可以为实现概率性的地震预报创造条件.

## 一、系统总体设计基本要求

根据近二十多年来我国地震预报的实践, 我们要求 ESEP/PC 的设计能满足下列基本要求:

1. 系统在工作过程中应能体现我国进行地震预报的基本思路, 即:

- (1) 长、中、短、临四阶段逐步逼近, 重点放在中、短期, 尤其是临震上;
- (2) 尽可能多地利用所收集到的各种异常资料, 通过分析来给出综合预报意见;
- (3) 在综合分析各种异常资料时要能考虑异常资料作为地震前兆的可靠性, 异常形态的典型性;
- (4) 要充分考虑到各类异常与未来地震之间关系的不确定性;
- (5) 在一定程度上考虑异常出现之间的相关性;
- (6) 要考虑所出现的一组异常可能是多个不同地震的异常共同组成的情况;
- (7) 要考虑异常的有效时间, 长期无地震对应时信度应逐步降低, 即考虑虚报的可能性.

2. 为了使系统便于推广, 同时又考虑到地震预报经验的区域性, 系统应建立在目前广泛使用的 IBM-PC 机上; 而在知识获取、建立知识库等方面应有专家系统工具的性能.

3. 系统对用户来说应是透明的, 使用户能完全了解推理过程, 供用户作出决策时参考. 系统利用了 TURBO PROLOG 语言的优良特性, 采用结构化设计方法, 模块之间相互

1990年1月11日收到本文初稿, 1990年6月26日决定采用. 本文由编委朱传镇推荐.

\* 现在地址: 中国上海 200062 上海市地震局.

独立,通过数据文件进行联系,使系统便于维护.同时,也为进一步研制分布式系统打下了基础.

## 二、系统的组成

ESEP/PC 主要由编辑(知识获取)、推理和解释三个子系统组成,对它们分别提出如下要求:

### 1. 编辑子系统 本部份的目的在于组织专家知识,实现知识库和数据库.

地震预报的领域对象是个复杂事物,各项异常证据在时、空域中千变万化.为使知识表示能既确切又灵活,同时知识库也便于修改、扩充或重新建立,我们按工具系统要求提出了知识模型 ESEP/M 并实现之.该知识模型把知识分为结构知识和领域知识二类.结构知识由项目分类树、属性组成树和值描述组成,这三者结合所构成的框架可以描述领域知识中任何最基本的对象或断言.领域知识则以“规则”为骨架建立起断言间的关系,规则的前提和结论由框架或它们的逻辑组合组成.我们称这类知识为规则框架知识,系统中各类地震学和前兆的单项预报知识都由此表示,其结论部份可以是一些确定的目标,也可以是函数表达式.

ESEP/PC 除了以规则框架作为知识的主要表示方法外,还有一部份知识(如反映异常区时、空变化总体特征的综合预报知识等)以“Y/N”型规则和选择型规则来表示.对一些不易用上述方法表示的知识,则用过程的形式在推理过程中体现.为帮助缺乏经验的用户确定异常证据的信度,系统建有确定异常证据信度的知识库和子专家系统,这些知识用类框架来表示.

系统中的预报知识取自国家地震局组织的预报方法清理和实用化攻关成果以及我局的经验.与本系统所改进的 MYCIN(Shortliffe, 1976)不精确推理模型相配合,规则信度由震例统计结果的报准率来表示;对于无震例可求的值,则依据专家经验并考虑规则之间信度相互平衡的原则来确定.系统共存有前兆和测震方面的预报经验 300 多条.由于框架所含的信息量非常大,这些知识几乎包括了除地区特殊性之外的一切情况.

系统的数据库由动态和静态两部份组成.动态数据库内存放异常证据、推理结果及一些过渡性文件;静态数据库则存放一些基本数据,如台站经纬度、潜在震源参数……等.

### 2. 推理子系统 本部份的目的是依据系统所获得的知识及录入的证据实现推理.

ESEP/PC 是个多模块知识系统,单个模块的执行,由推理机完成,模块间的协调或整个系统的执行则由调度来实现.系统通过两套机制分别实现多模块的静态和动态调度.为实现动态调度,我们提出了一种较新颖、实用的半随机调度方法——目标网方法.其基本思路是先确定系统目标,再确定目标间的关系形成目标网.目标网表现为调度规则的结合,目标间的关系则通过调度规则来体现.

地震预报包含时、空、强三要素,其结论是在多维空间中的某一值域而不是 MYCIN 系统中的离散事件.所以在地震预报中直接套用 MYCIN 系统的不精确推理模型是不合理的.为此,我们对结论中时、空、强三要素分别进行推理(降维).但这样推理的结论仍是空间中的某一值域而不是离散的目标,所以还要把它们分解为统一的子目标并配以相应的信度,这样对于相同的子目标就可以用 MYCIN 模型进行综合.对时间和强度来说,我们

容易把不同证据给出的目标分解成统一的子目标,如把时间可分成统一的长、中、短、临四个子目标等.但在空间要素的处理上,由于各项指标的预报区域互不一致,且相互间重叠的情况千变万化,所以不能用上述简单的办法来处理.为使不同证据所得的推理目标统一起来,我们把所涉及的空间范围分解为一个个互不重叠的小单元,把相应的推理子目标定义为限定地震在某一单元 $\Delta A_i$ 内发生破坏性地震这样一个事件.于是子目标的信度就是限定地震发生在某小单元条件下的信度,可称它为条件信度.可以看出,上面定义的子目标是互相独立的,它们的综合应满足 MYCIN 综合法则.留下的问题是如何把规则信度合理地分配给各个子目标,并使它们在 MYCIN 综合的过程中与按规则进行综合的结果相一致.我们研究了这一问题,并对独立子目标提出了满足上述要求的信度分配律及其综合办法.针对地震预报的特点,系统考虑了在推理过程中证据之间的相关问题,并提出了经验性的改正方法.

由于我们输入的一组异常可能是对应多个地震的,所以系统的推理步骤是:(1)先确定存在多少个异常集中区(空间信度高的地区);(2)把高信度区看作是一个孕震区,再回溯寻找与孕震区有关的证据并对它给出综合预报意见.

**3. 解释子系统** 本部份通过记录在推理过程中所使用的规则、证据、结论及其它方面的一系列信息,用自然语言方式回答用户提出的诸如使用了哪些知识……等七项问题,使用户对推理过程有一个透彻的了解.

此外,ESEP/PC 具有良好的人机交互界面,用户可以方便地根据屏幕提示来操作使用本系统,包括建造适合某一地区或专家经验的预报专家系统.系统总框图如图 1 所示.

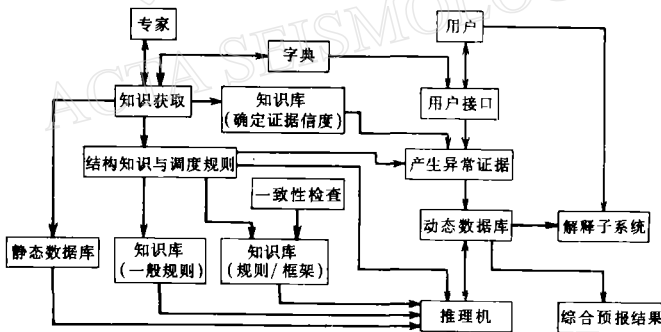


图1 ESEP/PC 总体结构

### 三、结 语

ESEP/PC 是专家系统技术首次应用于地震预报领域的成功尝试.本系统提出了新的知识模型与动态调度方法,改进与扩展了 MYCIN 不精确推理模型,正确体现了预报专家的预报思路,这对研制其它类似领域的专家系统有一定的借鉴作用.在 1989 年 11 月由国家地震局组织的鉴定会上,对 1989 年大同地震震前异常的现场考核表明,本系统的预报效果是满意的.系统的研制成功也为实现地震预报由经验性向概率性过渡创造了条件.

## 参 考 文 献

赵瑞清, 1986. 专家系统初步, 1—86. 气象出版社, 北京.

赵瑞清, 1987. 专家系统原理, 1—190. 气象出版社, 北京.

Shortliffe, E. H., 1976. *Computer-Based Medical Consultations: MYCIN*, 159—194, American Elsevier Publishing.

地 震 学 报  
ACTA SEISMOLOGICA SINICA