边坡稳定性优势面理论分析评价专家系统

璩继立 牟春梅
（桂林工学院建设工程系，541004）

摘 要 以优势面理论为依据，通过对工程地质领域知识的整理，利用逻辑推理语言prolog，研制出了用以对各类边坡稳定性进行定性和定量分析与评价的专家系统。

关键词 边坡稳定性；优势面；专家系统
分类号 P642.2；TP399

80年代末90年代初，南京大学杨卫东硕士曾在区域稳定性优势面分析方面做出过努力，其成果主要限于理论性探讨和专家系统框架的构造；不具有实用性。边坡稳定性优势面理论分析和评价专家系统（ROPP），是应用优势面理论研制专家系统方面，首次成功突破，是地学和计算机学科卓有成效合作的一个有价值的成果[1]。

1 整理知识

专家系统首先需要系统的专家知识——边坡优势面理论并将其程序化。知识的整理和程序编制过程是同时进行的，二者相辅相成。整理知识的工作主要由作者负责，整理知识的过程实际上就是学习领会的过程，将优势面理论知识系统规则化并使之成为能使电脑程序识别的过程。例如，优势面理论中的时间优势指的是老断裂，新断裂，活断裂，可将其整理为：如果是老断裂则不具有时间优势，如果是新断裂或者活断裂则具有时间优势。不过，新断裂和活断裂推出的时间优势其可信度显然是不一样的。为使问题简单明了，可用图1表示。

“与”“或”（or）规则及可信度标在树形节点的连线上。系统中所有知识均按此办法进行整理。知识结构总框图见图2。

2 程序设计

该项目由集体合作完成，作者只负责赤平投影一实体比例投影求楔形滑坡稳定系数模块。主程序选用人工智能语言PROLOG2.0，为方便接口，其他计算模块选用C语言和PASCAL语言。其运行环境为UCDOS2.0中文系统。

2.1 总体构思

（1）为使较为复杂的问题容易解决，采用模块化程序设计，以使繁杂问题分成较小的容易解决的问题；（2）由于领域专家知识某种不精确性，系统中采用产生式规则——即IF（前提条件）THEN（结论）来表示领域专家的判断性知识，并采用可信度来反映专家经

1996年12月19日收稿。
第一作者简介：璩继立，男，1964年出生，硕士，讲师，工程地质专业。

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

验的不精确性[1]；（3）为方便添加和修改，将知识库与推理机分离；（4）为增加系统的透明度，系统应具有解释功能和半自动的知识获取功能；（5）为方便系统的直接调用，应具有接口功能；（6）为使咨询结果能够保存及方便输出，系统应设有输出文件。

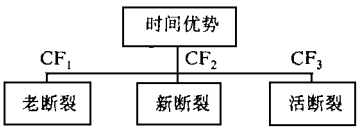


图 1 倒树形知识结构

Fig. 1 The knowledge structure in reverse tree

2.2 具体步骤

首先选择较小的优势面确定部分为突破口，待符合要求之后，逐步扩充。

例如：If “活动断裂” 则为 “时间优势”。

内部表示为：t＝prefer（x，y，z）：－active（A，B）

其中：A 表示活动断裂；B 为可信度；x 为符合匹配的结论：y 为经计算所得可信度；z 为变量传递节点编号等。

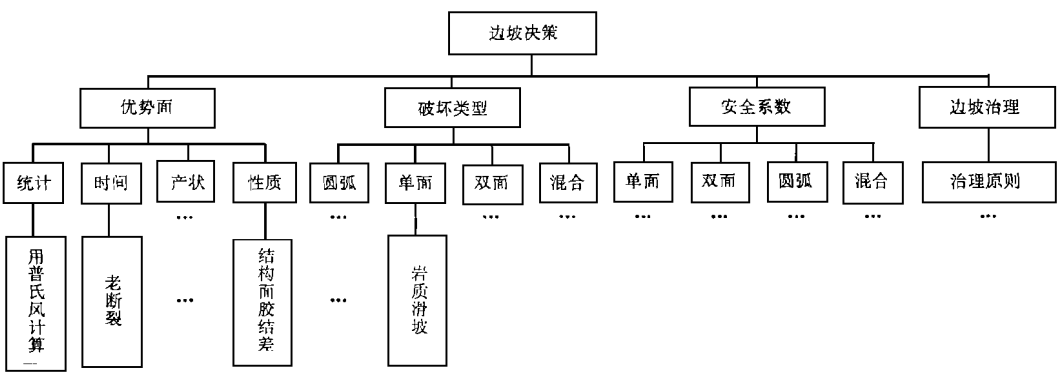


图 2 知识结构树形总框图

Fig. 2 The general chart of knowledge structure in reverse tree

规则和知识的内部表示以及驱动方式均采用数字化。如知识库中每个节点的内部表示如下①：

table（a，b，c，d，e）

其中：a —知识子库编号；b —节点在相应子库中的序号；c —节点属性，可取 0－2 三个整型值；d —为节点内容；e —为解释编号。

知识库中推理规则的内部表示：rule（a，b，c，d）

其中：a —为规则属性，可取 0 和 1 两个整型值，0 表示与规则，1 表示或规则；b —规则前提表，其结构为〔q（x_1，y_1，CF_1）…，q（x_n，y_n，CF_n）〕，这里每个 q（x_i，y_i，CF_i）（i∈（1，n））表示规则前提的一个子节点编号及其规则可信度，即该前提对规则贡献程度的权值；c —规则结论节点所属子树编号；d —规则结论节点编号。

程序设计完成之后，可将其输入机内，并将该部分的知识库也输入机内；然后，执行，调试，直到符合要求为止。

该模块完成之后，其他模块的编制和调试也是类似，全部调试完成之后，再将它们结合起来，由主控模块统一调度，就成为一个完整的专家系统。

2.3 动态数据库 **Value**

① 南京大学计算机科学系、地球科学系．边坡稳定性优势面分析与评价专家系统 ROPP 技术报告．1992．2～12

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www

由系统推理运行期间动态生成，存储在机器内存中。它由多条谓词子句 Value（H，V）组成，其中 H 是标识某一节点的编号，V 表示该节点的证据可信度值。一个 Value 表示一条事实，即节点 H 的可信度为 V。得到该事实的途径有两条：（1）由用户通过选择菜单直接提供；（2）由系统经过推理、计算得出。

3　计算非叶节点 **H** 的可信度

3.1　“与”规则（AND）①

如果该非叶节点（设为 H）是其子节点（设为 E_i，且 $i>1$）的合取，则用 AND 连接各子节点，作为规则的前提条件，每个子前提（即子节点）E_i 后附上其支持父节点 H 的可信度 CF_i，同时得非叶节点 H 作为规则的结论，构成一条关于节点 H 的“与规则”。

IF　E_1（CF_1）　AND　E_2（CF_2）……E_n（CF_n）

THEN　H　（n>1）

其中 CF_i 由专家预先提供，并满足　$\sum_{i}^{n} CF_i=1$　$CF_i\in(0,1)$，　$i\in[1,n]$

3.2　“或”规则

如果该非叶节点 H 是其子节点的分取，则用连接各子节点，作为规则的前提条件，每个子前提后附上可信度，同时得非叶节点作为规则的结论，构成一条关于“或”节点 H 的“或”规则。

IF　E_1（CF_1）　OR　E_1（CF_2）　OR……E_n（CF_n）

THEN　H　（$n>0$）

CF_i 由专家预先给出，$CF_i\in[-1,1]$，$i\in[1,n]$

3.3　非确定性推理策略

非确定性推理过程就是根据 E_i 的可信度 CF（E_i）及规则可信度 CF_i，计算出在推理链中最终结论 H 的可信度 CF（H）。

若在知识库中具有结论 H 的 rule 只有一条，则证据必为单个条件或由 AND 连接的多个条件，这时，　$CF(H)=\sum_{i=1}^{n} CF_i * CF(E_i)$　　$n\geqslant 1$

若具有结论 H 的 rule 不止一条，则每条 *rule* 的证据均为单个条件，合并起来就是一条“或”规则的子前题集①，如：

IF　E_1（CF_1）　THEN　H，

IF　E_2（CF_2）　THEN　H，

…　…　…

IF　E_n（CF_n）　THEN　H，

则令　　$CF(H)=CF_1(H)+CF_2(H)$

其中　　$CF_1(H)=max\{CF_i * CF(E_i)\}$　　$CF_i>0$

① 南京大学地球科学系，中国科技咨询服务中心．黄河黑山峡河段大柳树坝址工程地质论证：斜坡变形破坏分析及边坡稳定性评价．1991．94～95

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www

$$CF_2(H) = min\{CF_i * CF(E_i)\} \quad CF_i @< 0$$

4 计算模块

PROLOG 语言最擅长的是逻辑推理，对于计算特别是复杂的计算往往显得力不从心。为弥补这一缺陷，专家系统研制人员对原推理机进行了大胆的删除、添加、修改、嫁接，使之能与用其他高级语言编制的计算程序互相调用；在这方面作者与同仁们一道付出了艰巨的努力，使用了特殊的接口技术，使得本系统不仅能够推理，且具有极强的计算功能。因而该系统不仅在定性分析方面发挥其长处，而且在定量分析方面对该专家系统作了有力的补充。本系统共有计算模块 17 个，其中最主要的有 3 个：（1）绘制普氏网。等值线图求取优势中心的模块，该模块能对成千成万个结构面进行统计分析，并能将等密度图绘制于绘图仪上；（2）楔形滑坡稳定系数计算模块，该模块能用赤平投影的方法首先作出图形，求出交线方位，根据岩体强度指标求出边坡稳定系数，并能考虑地下水及地震因素对边坡的影响；（3）为多滑面边坡稳定系数计算，即不平衡推力法，又称 Sarma 法。

5 结束语

本专家系统的研制，在下列几个方面达到了预期目的：

（1）咨询范围广，从优势面确定到边坡处理均可咨询；

（2）知识库独立于推理机，使得知识库可在非程序状态下增删和修改，可针对不同的专家建立知识库，适应性强，应用前景广泛。

（3）能解决实际问题，通过对 7 个实例的测试表明，其与实际符合的很好[1]。

研制过程中始终得到罗国煜教授的悉心指导，南京大学的陈兆乾副教授，闫长虹、黄永林博士，宛铭硕士等的通力合作和帮助，在此一并致谢。

参 考 文 献

1 璩继立. 边坡稳定性与区域稳定性优势面分析专家系统:〔硕士学位论文〕. 南京：南京大学，1992. 46

THE EXPERT SYSTEM ON ANALYZING AND EVALUATING SLOPE STABILITY BASED ON THE PREFERRED PLANE THEORY

Qu Jili Mou Chunmei

(Department of Construction Engineering, Guilin Institute of Technology)

Abstract Based on the preferred plane, putting in order the areal knowledge of engineering geology, taking advantage of logical reasoning language PROLOG, the paper discusses the expert system, which can analyze and evaluate quantitatively and qualitatively slope stability of all types.

Key words slope stability; preferred plane; expert system

?1994-2018 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www