

科技述评

工程地质类比分析的扩展及实现方法

吕小平

(西南交通大学, 成都)



本文借助于计算机技术, 将传统的工程地质类比方法作了扩展, 称之为工程地质类比系统。根据地质体复杂多样的特点, 提出了不追求概括出一般知识和它的应用, 而是从每个个体的特征类比入手, 把成功的经验、失利的教训应用到研究对象中去的模型及实现方法, 它的应用能避免其它评价方法对条件的过于简化而产生的偏差, 还能有助于发掘出隐含在地质体内还不被认识的有用信息, 并加以利用。初步应用表明, 该方法具有良好的适用性和发展前景。

关键词 类比 评价 分析 工程地质

1 引言

工程地质学中的类比分析方法, 沿用了地质学中的经典分析方法, 是目前工程地质评价中常用的一种方法。它的实质就是把研究对象的工程地质条件与众多的研究得比较清楚或已被验证了的对象的工程地质条件作比较, 从中选择一个最相似的并把其经验应用到对新对象的评价及设计中去。例如边坡的类比设计、隧道围岩分类、岩土工程分级等^[1]都是这种方法的应用。但是它们的表达是工程实例总结或统计结果, 常以定性描述的关联表或统计公式给出, 由于它的容量有限, 很难覆盖整个地质类型及其与工程建筑的关系, 所以应用起来就存在着或多或少的随意性与不确切性。尽管如此, 有深刻内涵的类比思想是值得进一步挖掘和继承的, 然而它的方法却有待进一步发展。

在知识工程中的类比推理^[2], 主要用在知识的获取、机器类比学习等方面, 它的核心是将过去问题求解的知识转换到求解与已有问题对应相似的新问题上, 以此构造新问题的解。从这里可以看出工程地质类比和机器类比的实质是一致的。但由于各个应用领域的背景知识和应用具体目标的不同, 每个领域都可能出现自己独特的方法。通过广泛的应用可将类比上升为一种方法论, 并能将其推向在更广泛问题中应用。

借助于计算机技术, 从大量的人类工程活动的数据中, 寻找与新问题的相似点, 通过类比分析方法作出对新问题的评价。这不仅会弥补个人经验或部门经验的不足, 而且能发掘出隐含在地质体中还不被认识的信息并且加以利用。本文将结合笔者近年在铁路沿线边坡稳定性分析及地质灾害评价研究中的工作, 探讨这方面的有关内容及实现方法。

2 基础工作

2.1 典型工点数据库

上面已提到, 传统的工程地质类比方法, 是对统计结果和经验的总结, 所用数据是在一定时

间区段内搜集得到,其中的经验也只是几个人或某个部门的经验。另外由于地质体的复杂性和多样性,只用公式或关联表,是很难对地质体内部的各项联系及其与工程的作用关系表达清楚与充分的。为了避免这些局限,将研究得较深入的地质体的各项实测、实验数据,工程经验教训,地质灾害等数据存入数据库。可以根据不同的需要与研究内容,不同的研究方法,采用相应的处理方法,提取所需信息。这样随着库内数据的增加或删除,数据质量的提高,评价结果也会不断改善。

2.2 知识库

用框架表示的知识库,主要存放工程地质专业知识和地质学的一般数据。选择框架表示的原因有三,一是工程地质中的各种分类表示,能和框架表示相吻合或接近;二是目前已建成的工程地质数据库,大多采用了关系数据库,它能和相应的知识框架配套使用;最重要的是其三,框架表示的层次结构,能较好地反映地质体内各因素构成之间的联系。

例如图1所示的铁路沿线土质边坡稳定性评价中的层次关系,它与已建成的铁路沿线边坡知识库、数据库的结构相同。由于所有信息都用统一的形式表示,因此,无论是知识还是数据,其增删或修改都用统一程序处理。

3 类比评价模型

设某工程地质问题可用 n 个典型工点的集合来抽象表征;其工程地质条件的集合为 $T(X) = \{T(X_1), T(X_2), \dots, T(X_n)\}$, $T(X_A)$ 为某待评工点 A 的工程地质条件; SI 为 $T(X)$ 与 $T(X_A)$ 相似关系集合, H 为一映射, $H: T \rightarrow SI$, 对于任何的 $T(X_i)$ 有, $SI_i = H(T(X_i))$, $SI = \{SI_1, SI_2, \dots, SI_n\}$; $SM = \{R_i | i=1, 2, \dots, n\}$, $R_i = (T(X_i), T(X_A), H)$ 建立了类比相似关系; STA 为工程岩土体稳定程度,或变形程度,或破坏类型,或工程分类等评价参数的集合, $STA = \{O(X_1), O(X_2), \dots, O(X_n)\}$; 若 F 为一映射, $F: SM \rightarrow STA$, 对于任何的 R_i , 就有一个 STA 的子集 ST_i 使得 $F(SM_i) = ST_i$, 则 $M = (SM, STA, F)$ 为一工程地质类比评价模型。

4 一种类比评价的实现方法(以边坡稳定性分析为例)

4.1 典型工点的稳定性排序

4.1.1 权重体系

层次结构分析^[3]中,通过在某一准则或属性下一组元素两两比较的相对强度,用1—9之间的整数及其倒数表示成一个正互反判断矩阵。用它的右特征向量作为该组元素的权重向量。

例如在如图1所示的层次结构中,从上到下逐层进行。先得到目标层下,地形,地质体,影响因素的相对比例标度。若认为地形相对地质体的比例标度为1/4,地形相对影响因素的比例标度为2,地质体相对影响因素的比例标度为6,则就得 3×3 的正互反矩阵。这个正互反矩阵的右特征向量为 $W^{(2)} = (0.1929, 0.7010, 0.1061)^T$, 就可作为第二层相对目标层的权重。再往下,分别计算各分支层中的权重,如先比较在地形(稳定性)准则下斜坡类型(山谷斜坡,河谷斜坡,…)的相对重要性,得到 6×6 的正互反矩阵;再往下是在斜坡类型的各因子(稳定性)准则下,坡面横向形态(平面坡,凹型坡,…)的相对重要性,得到6个 3×3 的正互反矩阵;坡面横向形态各因子(稳定性)准则下,坡面纵向形态因子(直线坡,折凹坡,…)的3个 5×5 的正互反矩阵;坡面纵向各因子(稳定性)准则下,指标(坡高、坡角)的5个 2×2 的正互反矩阵。然后再以类似的方法计算地质体和影响因素分子支的权重。

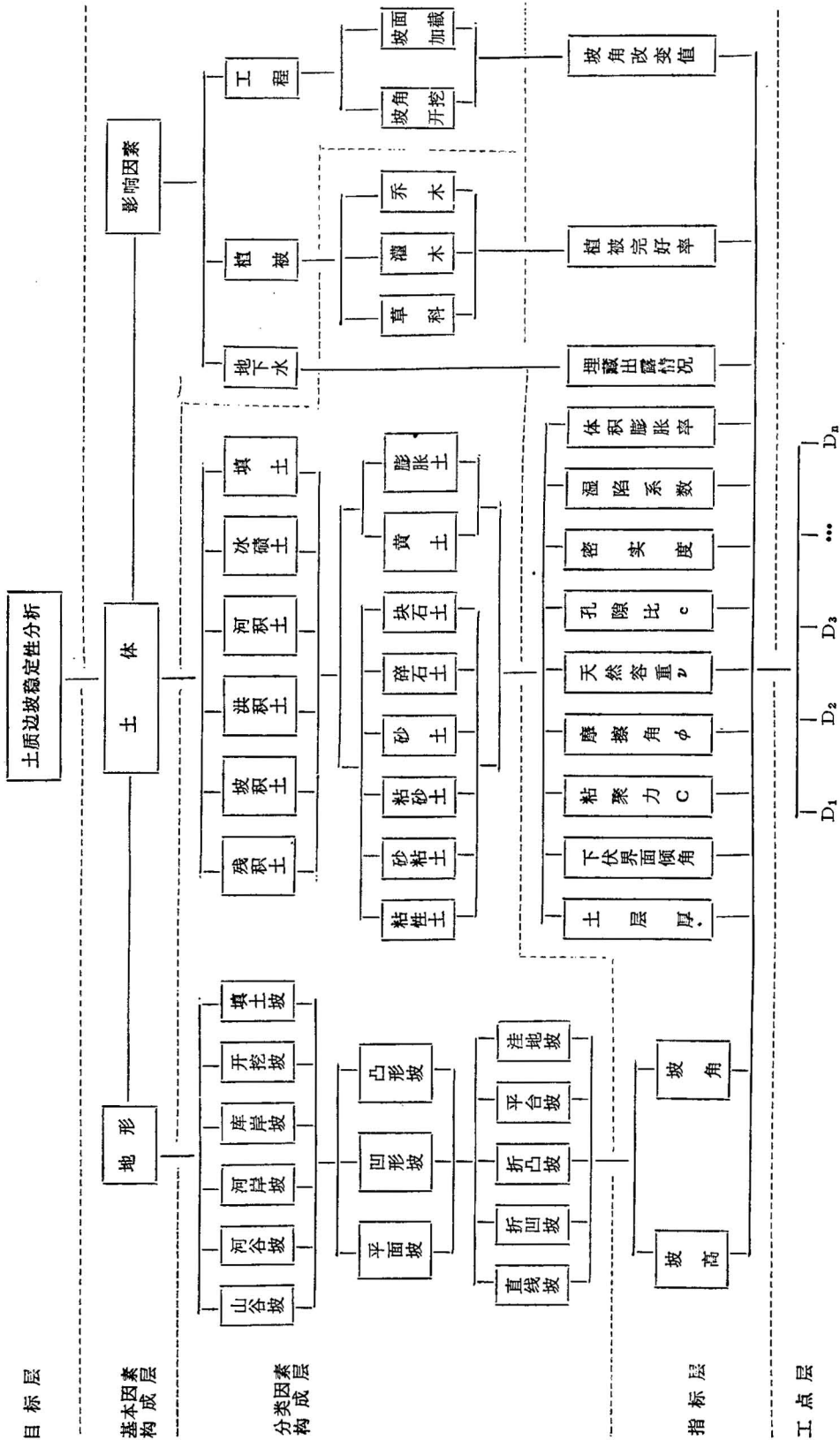


图 1 土质边坡稳定性分析层次结构图

.....—Differentiating one type of element levels from another

这样一层一层建立起来的权重系统, 统一了有形与无形, 可定量与不可定量的众多因素, 把各因素之间的关系表达得很清楚。

4.1.2 稳定性排序

在递阶层次关系中^[3], 在单一准则下, 层次内部是独立的, 同时不考虑下层对上层的反馈作用, 所以可以用加权法来排序。

在图 1 的层次结构中, 三个分支是相对独立的, 设地形分支中 h_1 层, 地质体分支中有 h_2 层, 影响因素层中有 h_3 层, 指标层相对于目标层的权重为:

$$W = \begin{pmatrix} W_1^{(2)} \cdot W_1^{(h_1)} \\ W_2^{(2)} \cdot W_2^{(h_2)} \\ W_3^{(2)} \cdot W_3^{(h_3)} \end{pmatrix} \quad (1)$$

其中

$$\begin{aligned} W_1^{(h_1)} &= P_1^{(h_1)} \cdot P_1^{(h_1-1)} \cdot \dots \cdot P_1^{(2)} \\ W_2^{(h_2)} &= P_2^{(h_2)} \cdot P_2^{(h_2-1)} \cdot \dots \cdot P_2^{(2)} \\ W_3^{(h_3)} &= P_3^{(h_3)} \cdot P_3^{(h_3-1)} \cdot \dots \cdot P_3^{(2)} \end{aligned}$$

其中 $P_i^{(k)}$ 表示相应分支中 k 层上相对于上一层的权重。如 $P_1^{(3)}$ 表示地形分支中坡横向形态相对斜坡类型的权重, 它是一个 3×6 的矩阵。

n 个工点的排序向量为:

$$W_D = P_D \cdot W \quad (2)$$

其中 P_D 为 n 个工点相对指标层的权矩阵。在工点较多时, 不便用两两比较方法, 所以第 i 个工点相对第 j 个指标的权重为:

$$\phi_{Dij} = \frac{|x_{ii} - x_j^*|}{x_{imax} - x_{jmin}} \quad (3)$$

x_{imax} 、 x_{jmin} 分别为 n 个工点第 j 指标的最大值和最小值, x_{ij} 为第 i 个工点的第 j 指标的取值。当指标的大小序列与权重序列一致时, $x_j^* = x_{jmin}$, 否则 $x_j^* = x_{jmax}$ 。

计算出 $W_D = (W_{D1}, W_{D2}, \dots, W_{Dn})^T$ 后, 就可按其大小对 n 个工点排序。

4.2 相似尺度

如果把图 1 的层次结构转化成一个树形图。在这个树形图中, 结点表示层次结构中的元素, 有向线表示关系, 线的长度表示权重, 目标为树形图的根, 工点为树形图的叶。若图 1 中只有一个工点, 则它可转化为 1413 结点 (1 个根点, 797 个内结点, 615 个叶), 1412 个枝的树形图。

由于在分类层中的一组分类元素, 一个工点只和其中一个元素相匹配, 若把分类层中和某工点不相匹配的元素和它下部的子树删去, 一个工点就可得到一个子树形图。这个子树形图有 44 个枝点 (1 个根点, 29 个内枝点, 14 个叶), 43 个枝。工点与工点的子树形图之间, 结点数和结点之间的关系是完全相同的, 只是枝的长度不同。那么就可把第 i 个典型工点与待评工点 A 的相似特征系数, 用两个子树对应枝长差的平方和的均方值表示:

$$r_i = \left[\sum_{j=1}^m (W_{ij} - W_{Aj})^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

其中: W_{ij} 表示第 i 个典型工点第 j 个结点的权重 (枝的长度)。 W_{Aj} 表示待评工点第 j 个结点的权重。 m 为子树中枝的个数。

对于 $i=1, 2, \dots, n$, 可得相似系数 $R = (r_1^*, r_2^*, \dots, r_n^*)$ 。

4.3 类比评价的实现

设典型工点的稳定性排序为 $(D_1, D_2, \dots, D_n)$ 。从典型工点与 A 的相似系数 R^* 也可以得到一个相似性排序 $R = (r_1, r_2, \dots, r_n)$ 。从稳定性排序和相似性排序的对比中, 就可得到排序

$\{D_1, D_2, \dots, D_i, A, D_i, \dots, D_n\}$; 或排序 $\{D_1, D_2, \dots, D_i, A, D_i, \dots, D_n\}$ 。

从 A 在稳定性排序的位置, 就可对 A 的稳定性作出评价, 另外还可从因素空间中进行多方面的分析。如是新边坡的设计, 从坡角, 坡高的相似类比可得设计参数。如是滑坡、潜在崩塌体, 在得到目前稳定状态的基础上, 若在层次结构中加入降雨、地震等诱发因素就可作出稳定性预测。

从稳定性的排序和相似系数的计算过程来看, 二者的差异是明显的, 前者考虑的综合因素较多, 而后者考虑的类别特性因素较多。在最后排序中可能出现不是最相似点和次最相似点在 A 的两边, 其中可能会出现其它的点。正是从这种现象中我们可以得到更多工点的特征信息, 从而作出更准确的评价。若把 A 和典型工点同等看待, 用排序方法就可一次形成 $n+1$ 个工点的排序, 而省去相似系数的计算, 这样就会丧失可贵的信息。正是从多方位的比较中, 才可得到比较全面的评价。

5 结束语

工程地质类比系统, 不仅应用了传统方法所积累的经验, 而且赋予了现代技术的活力, 使其从概念上和方法上都有了扩展。从笔者在宝成、黔桂铁路沿线部分区段边坡稳定性的评价结果来看, 效果令人满意, 从中也看到了良好的发展前景。

参 考 文 献

- 1 中华人民共和国铁道部标准, 铁路工程地质技术规范 (TBJ 12-85). 北京: 中国铁道出版社, 1986. 81—97页。
- 2 林尧瑞, 马少平. 人工智能导论. 北京: 清华大学出版社, 1988. 348—351页。
- 3 王莲芬, 许树柏. 层次分析法引论. 北京: 中国人民大学出版社, 1990.

EXPANSION OF ENGINEERING GEOLOGICAL ANALOGY AND ITS APPLICATION

Lü Xiaoping

(Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan)

Abstract

The conventional method of engineering geological analogy is expanded by means of the computer technique. This expansion method is called the engineering geological analogy system. As geologic bodies are very complex and highly varied, a model for the engineering geological evaluation is proposed. It does not call for summarizing common knowledge and its application but applies experience or lessons in the evaluation of objects of study by means of analogy of the characters of individual objects. Its application can avoid the errors caused by other evaluation methods owing to oversimplification of the conditions and is conducive to finding out and utilizing useful information hidden in geologic bodies not known yet. Its preliminary application indicates that it is suitable to many cases and has a rather good prospect.

Key words: analogy, evaluation, analysis, engineering geology

作者简介

吕小平，男，陕西扶风人，生于1957年。西南交通大学工程地质系讲师。1981年1月于西南交通大学工程地质系毕业后，留校任教。从事工程地质、数学地质的教学与山地崩塌、滑坡等地质灾害的研究工作。通信地址：四川成都市九里堤，西南交通大学工程地质系。邮政编码：610031。