

文章编号: 1000-7598 (2010) 02-0535-06

基于熵权的可拓理论在岩体质量评价中的应用

梁桂兰¹, 徐卫亚², 谈小龙²

(1. 河海大学 交通海洋学院, 南京 210098; 2. 河海大学 岩土工程研究所, 南京 210098)

摘 要: 坝基岩体质量综合评价是一个复杂的工程决策问题, 常常表现为指标与指标之间的矛盾、定性信息与定量信息的共存, 解决这类多属性、不相容问题, 应采用定性与定量综合集成的方法加以研究。而可拓学正是采用物元的概念将研究对象、评估指标与其值域结合为一体, 研究事物可拓性及其开拓规律, 解决矛盾问题的一门新学科。应用可拓理论, 基于多指标优化融合的思想, 通过物元变换建立了坝基岩体质量评价的物元体系, 计算评价指标对评价等级的关联系数, 引入熵权法确定物元指标体系的权重系数, 建立了基于熵权的可拓学理论, 并将此理论应用于某工程坝基岩体质量评价, 取得了与工程地质报告相一致的评价结果。

关 键 词: 熵权; 可拓学; 物元模型; 关联度; 岩体质量评价

中图分类号: O 319

文献标识码: A

Application of extension theory based on entropy weight to rock quality evaluation

LIANG Gui-lan¹, XU Wei-ya², TAN Xiao-long²

(1. College of Traffic and Ocean, Hohai University, Nanjing 210098, China;

2. Research Institute of Geotechnical Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: The evaluation of rock mass quality of dam foundation is a complicated decision-making problem, often appearing to be the contradiction between influencing factors and the coexistence of qualitative knowledge and quantitative information. It is necessary to find a new meta-synthesis method which can solve the inconsistent problem of qualitative and quantitative information. Extension theory is used generally to solve such problems. It integrates research objects, evaluation indexes and its value range into a matter element system to research things' extension nature. Through the application of extension theory, the thought of multiple indexes optimal fusion and matter-element transform, the matter element system of rock quality evaluation of dam foundation is established and the relational degree of the comprehensive evaluation index can be calculated, of which the weight coefficients are determined by using entropy weight method. Then the extension theory based on entropy weight is established. The essay applies the model to evaluate rock mass quality of dam foundation of some hydropower station. The result is highly agreement with the geological report of this hydropower station and precisely reflects the practical engineering.

Key words: entropy weight; extension theory; matter element model; relational degree; rock quality evaluation

1 引 言

岩体质量评价不仅是评价岩体工程地质条件和认识岩体工程特性的一种重要手段, 而且是岩体力学参数选用、边坡结构参数设计以及加固的重要参考依据。

岩体质量评价方法主要有单因素评价法、多因素评价法。单因素评价法, 如弹性波速法、基于分维数的分级法、RQD 分级法等; 工程界广泛应用的

多因素评价法, 如 RMR 分级法、Q 系统分级法、Z 系统分级法以及近来发展的综合评判法、专家系统法等。这些方法在解决实际问题 and 指导设计施工方面均发挥了重要作用。但由于自然界岩体本身的复杂多变性, 影响其质量评价的因素之间关系错综复杂, 有的是确定的, 有的是模糊的、随机可变的, 因此, 岩体质量评价是一个复杂的工程系统评价问题, 主要表现在评价因素与因素之间的矛盾、定性 & 定量的共存、划分界线的模糊等。这些问题势必

收稿日期: 2008-08-20

基金项目: 国家自然科学基金项目 (No. 50909038); 国家自然科学基金重点项目 (No. 50539110); 国家科技支撑计划资助 (No. 2008BAB29B01); 教育部博士点基金 (No. 200900094120006)。

第一作者简介: 梁桂兰, 女, 1977 年生, 博士, 讲师, 主要从事岩石力学与工程的研究。E-mail: wendylgl@163.com

造成前述各种方法具有一定的应用局限性,应该寻求一种可以更好地解决这类多属性、不相容、能够进行定性与定量综合评价的方法,而可拓学正是研究事物的可拓性以及开拓的规律与方法,是一种新型的评价方法^[1-6]。

本文应用基于熵权的可拓学理论进行坝基岩体质量评价,可拓学评价法与其他评价方法的不同之处在于,它具有统一的评价模型,特别是把实变函数中距离的概念拓展为距的概念,使得关联函数值域范围得到了拓展,把评价指标由单一的确定值转变为区间值,从而能更全面地评价对象属于集合的程度。采用熵权法来确定各分级指标的权系数,熵权法确定权重的优点在于尽可能地减小了主观确定权重带来的人为干扰。本文将可拓学理论与熵权法相结合,利用熵权法确定岩体质量评价各因素的权系数,利用可拓学理论对坝基岩体进行物元可拓性评级,形成适合于坝基岩体质量评价的新方法。

2 岩体质量评价的可拓学理论概述

可拓理论是20世纪80年代初由蔡文教授提出的,以物元和可拓集合生成的知识体系,用来研究物元及其变换的理论。可拓评价方法实质上是属于多个特性的择近原则问题,是定性与定量的结合,利用物元的可拓性确定定性计算,利用可拓集合论的关联函数进行定量计算,通过建立物元模型将各个评价指标转化为一种相容的问题,然后进行评价,得出与实际相符合的结论。

可拓评价首先要建立评价指标体系,在对指标进行预处理以后,运用物元理论确定待评价物的物元三元体 $R=(N,C,V)$,其中 N 表示事物, C 表示特征的名称域, V 表示 N 关于 C 所取的量值值域,这三者称为物元的三要素,有了物元的概念就可以把客观世界看成是一个复杂的、相互联系的物元网;其次确定物元经典域 $R_0=(N_0,C,V_0)$ 和节域 $R_p=(P,C,V_p)$ 以及待评物元 $R_m=(N_m,C,V_m)$;然后将实变函数中距离的概念拓展为距的概念,如规定实轴上点 x_0 与区间 $X_0=(a,b)$ 的距离为距 $\rho(x_0,X_0)=|x_0-(a+b)/2|-(b-a)/2$,把定性描述拓展为定量描述,再在距的基础上,分别建立单指标关联函数和综合关联函数,用关联函数把“具有性质 x ”的事物从定性描述拓展到“具有性质 x 某程度”的定量描述,即确定指标的权重系数,然后进行关联度计算,确定待评价物元与设定等级的关联度,从而得到最终评价结果。以上便是可拓评价的标准评价方法^[5-9]。

由上可知,运用可拓学理论对岩体质量进行评价时,权重对进行评价和决策起着至关重要的作用,反映了各个因素在评价中所占有的地位,直接影响最终的评价结果。由于标准的可拓评价法在确定评价指标权重时采用简单的关联函数法,没有能客观反映评价指标在评价事物中的重要性差异,本文提出把熵权法引入可拓理论确定权重,以便充分反映实际评价问题中评价指标所发挥作用的不同。

3 评价步骤

本文运用熵权法对可拓学理论进行改进,然后对坝基岩体质量进行评价,具体的计算和评价步骤如下:

(1) 确定坝基岩体质量的物元

确定影响坝基岩体质量的评价指标体系,并对指标进行预处理;设需要评价的坝基岩体有 m 种,影响坝基岩体质量的指标有 n 个,则坝基岩体可用下面的 n 维物元来描述:

$$R=(N,C,V)=\begin{bmatrix} N_i & c_1 & v_{i1} \\ & c_2 & v_{i2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_{in} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_n \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: R 为 n 维岩体质量评价的物元,其中 $N_i(i=1,2,\dots,m)$ 为第 i 种待评坝基岩体, $c_k(k=1,2,\dots,n)$ 为影响坝基岩体质量的第 k 个指标; v_{ik} 为第 i 种坝基岩体对应于其影响指标 k 的量值。

(2) 确定经典域 R_0 、节域 R_p 、待评价物元 R_m

①根据坝基岩体评估等级标准,设坝基岩体分为 y 级,可得物元系统中研究对象的经典物元 $R_{0j}=(N_{0j},C,V_{0j})$:

$$R_{0j}=\begin{bmatrix} N_{0j} & c_1 & v_{0j1} \\ & c_2 & v_{0j2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_{0jn} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} N_{0j} & c_1 & \langle a_{0j1}, b_{0j1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{0j2}, b_{0j2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{0jn}, b_{0jn} \rangle \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: N_{0j} 为岩体物元系统中第 $j(j=1,2,\dots,y)$ 类别; v_{0jk} 为级别 j 第 k 个指标规格化后的量值域,各等级关于对象的评价指标所取的经典域即单因素评价中,对应于某类别时各单因素参量取值的变化范围。

②各指标对应的所有取值范围,从最低值到最高值,即坝基岩体质量的节域物元 $R_p=(N_p,C,V_p)$ 。

N_p 为物元系统中坝基岩体级别的全体, v_{pk} 为特征 c_k 的值域, 即 N_p 的节域。

$$R_p = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & v_{p1} \\ & c_2 & v_{p2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_{pn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_p & c_1 & \langle a_{p1}, b_{p1} \rangle \\ & c_2 & \langle a_{p2}, b_{p2} \rangle \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & \langle a_{pn}, b_{pn} \rangle \end{bmatrix} \quad (3)$$

③确定待评物元 R_m , 对于待评价坝基岩体, 其中第 m 类待评岩体所收集的评价信息用物元表示, 即为待评物元:

$$R_m = \begin{bmatrix} N_m & c_1 & v_{m1} \\ & c_2 & v_{m2} \\ & \vdots & \vdots \\ & c_n & v_{mn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中: N_m 为第 m 类待评坝基岩体; c_k 为影响坝基岩体质量的第 k 个指标 ($k=1,2,\dots,n$); v_{mk} 为第 m 类待评坝基岩体对应于其第 k 个影响指标的量值。

(3) 各指标量纲的规格化

由于影响坝基岩体质量评价的各指标的量纲不同, 不便于统计, 为此对各指标量纲进行规格化, 处理方法如下:

$$\bar{v}_{mk} = \begin{cases} \frac{v_{mk} - v_{mk}^{\min}}{v_k^{\max} - v_k^{\min}} & (\text{对于要求越小越好的指标}) \\ \frac{v_k^{\max} - v_{mk}}{v_k^{\max} - v_k^{\min}} & (\text{对于要求越大越好的指标}) \end{cases} \quad (5)$$

式中: $\bar{v}_{mk}$ 为量纲规格化后的第 m 类岩体第 k 个指标的评价值; v_{mk} 为量纲规格化前的第 m 类岩体第 k 个指标的评价值; $v_k^{\max}$ 为第 k 个指标的最大评价值; $v_k^{\min}$ 为第 k 个指标的的最小评价值。

(4) 计算坝基岩体评价指标的关联函数

第 i 类岩体第 k 个指标关于岩体质量类别 j 的关联函数为

$$r_{ij}(v_{ik}) = \begin{cases} \frac{-\rho(v_{ik}, v_{0jk})}{|v_{0jk}|}, & v_{ik} \in v_{0jk} \\ \frac{\rho(v_{ik}, v_{0jk})}{\rho(v_{ik}, v_{pk}) - \rho(v_{ik}, v_{0jk})}, & v_{ik} \notin v_{0jk} \end{cases} \quad (6)$$

式中: $i=1,2,\dots,m; j=1,2,\dots,y; k=1,2,\dots,n$ 。

$$\left. \begin{aligned} \rho(v_{ik}, v_{0jk}) &= \left| v_{ik} - \frac{1}{2}(a_{0jk} + b_{0jk}) \right| - \frac{1}{2}(b_{0jk} - a_{0jk}) \\ \rho(v_{ik}, v_{pk}) &= \left| v_{ik} - \frac{1}{2}(a_{pk} + b_{pk}) \right| - \frac{1}{2}(b_{pk} - a_{pk}) \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

式 (7) 即为可拓理论引入的距的概念。

(5) 运用熵权法确定权系数

熵是系统无序度的度量, 熵权反映了各指标对决策评价提供的有用信息量的大小, 依据熵的大小来度量 n 个评价指标的信息效用值, 从而确定各指标的熵权, 熵权的确定步骤如下^[10-11]。

①假定被评价坝基岩体分 y 级, 每级被评价岩体的评价指标有 n 个, 构建判断矩阵 R , 该判断矩阵即为上一步所确定的关联系数矩阵:

$$R = (r_{ij})_{y \times n} \quad (i=1,2,\dots,y; j=1,2,\dots,n) \quad (8)$$

②将判断矩阵 R 进行归一化, 得到归一化矩阵。

③根据传统的熵概念可定义各评价指标的熵:

$$H_j = \frac{-1}{\ln y} \sum_{i=1}^y f_{ij} \ln f_{ij} \quad (i=1,2,\dots,y; j=1,2,\dots,n) \quad (9)$$

$$f_{ij} = r_{ij} / \sum_{i=1}^y r_{ij} \quad (10)$$

但由式 (10) 可知, 如果 $f_{ij} = 0$, 则 $\ln f_{ij}$ 无意义, 所以对传统的 f_{ij} 进行如下修正:

$$f_{ij} = (1 + r_{ij}) / \sum_{i=1}^y (1 + r_{ij}) \quad (11)$$

④计算各评价指标的熵权 w

$$w = (\omega_j)_{1 \times n} = \frac{1 - H_j}{n - \sum_{j=1}^n H_j}, \text{ 且满足 } \sum_{j=1}^n \omega_j = 1 \quad (12)$$

(6) 确定坝基岩体质量类别的关联度

坝基待评岩体物元 N_i 关于级别 t 的关联度为

$$k_{it}(N_i) = \sum \omega_j r_{it}(v_{ij}) \quad (13)$$

$$k_{it0} = \max \{k_{it}(N_i), t=1,2,\dots,s\} \quad (14)$$

(7) 根据式 (14) 可判定坝基岩体物元 N_i 所属的岩体质量等级为第 t_0 级。

4 实例应用

以某水电站坝基岩体质量评价为例, 说明基于熵权的可拓理论在坝基岩体质量评价中的应用。

该工程坝址两岸山体雄厚, 谷坡陡峻, 为典型的“V”河谷地形。坝址河床及两岸山体基岩主要为中上三叠系杂谷脑组的绿片岩、大理岩、砂板岩, 由于所处的特殊地形及构造环境, 坝基岩体经受了多期多方位的强烈构造作用和区域变质作用, 因而其成分及结构十分复杂, 既存在原生的层面、节理

面,又有经后期改造形成的构造裂隙、断层错动带、挤压带及深拉裂缝,同时受风化、卸荷等表生改造作用影响,从而使局部岩体变的松散,岩体质量下降,力学强度降低,如何合理评价坝基岩体质量等级,正确提取岩体和结构面的物理力学参数,成为坝基最基本也最为关键的工程地质问题之一,本文应用基于熵权的可拓学理论对其进行评价。

4.1 评价指标的选取及指标的规格化

鉴于该工程特有的地质条件,本文选取如下参数作为该坝基岩体分级评价依据。

(1) 岩石抗压强度 F 该值反映了岩体的软硬程度及岩性特征。

(2) 岩体结构特征 是制约岩体力学特性和影响岩体质量的关键因素,用以下指标表示:

① RQD 指标 该值反映岩块大小及完整程度。

② 体积节理数 J_v 反映了岩体的完整程度。

(3) 岩体紧密程度 反映了岩体所处围压状态对岩体力学性质的影响,用以下指标表示:

① 声波纵波速度值 V_p 声波纵波速度值的高低综合反映了岩体质量的优劣。

② 嵌合程度 G 分紧密、较紧密、较松弛、松弛、极松弛 5 个定性状态进行定量化表示。

③ 完整性系数 K_v 。

对照规范及惯例^[12-13],用单因素法将岩体质量

分为 5 个等级 I~V,如表 1 所示。此表为指标规格化的数值。

表 1 岩体质量评价指标分级表
Table 1 The classification of rock mass quality

级别	F / MPa	RQD / %	J_v	V_p / (m/s)	G	K_v
I	0.50~1.00	0.84~1.00	1.00~0.92	0.75~1.00	0.89~1.00	0.72~1.00
II	0.26~0.50	0.63~0.84	0.92~0.85	0.58~0.75	0.67~0.89	0.48~0.72
III	0.13~0.26	0.42~0.63	0.85~0.80	0.47~0.58	0.44~0.67	0.33~0.48
IV	0.06~0.13	0.21~0.42	0.80~0.70	0.42~0.47	0.22~0.44	0.28~0.33
V	0.00~0.06	0.00~0.21	0.70~0.00	0.00~0.42	0.00~0.22	0.00~0.28

表 2 坝基岩体各段参数值列表
Table 2 Parameter of dam base rock mass

坝基 岩体	F / MPa	RQD / %	J_v	V_p / (m/s)	G	K_v
B1	0.094	0.263	0.7	0.417	0.111	0.222
B2	0.329	0.526	0.83	0.592	0.444	0.354
B3	0.443	0.726	0.88	0.745	0.778	0.667
B4	0.530	0.842	0.93	0.783	0.889	0.737

4.2 坝基岩体物元的经典域 R_0

根据表 1,取 I~V 级坝基岩体质量指标规格化后对应的取值范围作为经典域,6 个影响指标分别为 $c_1 \sim c_6$,经典域物元如下:

$$R_0 = \begin{matrix} & N_{01} & N_{02} & N_{03} & N_{04} & N_{05} \\ \begin{matrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \\ c_4 \\ c_5 \\ c_6 \end{matrix} & \left[\begin{matrix} \langle 0.50,1.00 \rangle & \langle 0.26,0.50 \rangle & \langle 0.13,0.26 \rangle & \langle 0.06,0.13 \rangle & \langle 0.00,0.06 \rangle \\ \langle 0.84,1.00 \rangle & \langle 0.63,0.84 \rangle & \langle 0.42,0.63 \rangle & \langle 0.21,0.42 \rangle & \langle 0.00,0.21 \rangle \\ \langle 0.92,1.00 \rangle & \langle 0.85,0.92 \rangle & \langle 0.80,0.85 \rangle & \langle 0.70,0.80 \rangle & \langle 0.00,0.70 \rangle \\ \langle 0.75,1.00 \rangle & \langle 0.58,0.75 \rangle & \langle 0.47,0.58 \rangle & \langle 0.42,0.47 \rangle & \langle 0.00,0.42 \rangle \\ \langle 0.89,1.00 \rangle & \langle 0.67,0.89 \rangle & \langle 0.44,0.67 \rangle & \langle 0.22,0.44 \rangle & \langle 0.00,0.22 \rangle \\ \langle 0.72,1.00 \rangle & \langle 0.48,0.72 \rangle & \langle 0.33,0.48 \rangle & \langle 0.28,0.33 \rangle & \langle 0.00,0.28 \rangle \end{matrix} \right] \end{matrix} \quad (15)$$

4.3 坝基岩体物元的节域 R_p

根据坝基岩体质量指标的取值整体范围确定节域:

$$R_p = \begin{bmatrix} P, & c_1, & \langle 0.0,1.0 \rangle \\ & c_2, & \langle 0.0,1.0 \rangle \\ & c_3, & \langle 0.0,1.0 \rangle \\ & c_4, & \langle 0.0,1.0 \rangle \\ & c_5, & \langle 0.0,1.0 \rangle \\ & c_6, & \langle 0.0,1.0 \rangle \end{bmatrix} \quad (16)$$

4.4 确定坝基岩体待评物元 R_B

根据表 2 确定坝基 4 种测量段的待评物元,见以下各式:

$$R_{B1} = \begin{bmatrix} B1, & c_1, & 0.094 \\ & c_2, & 0.263 \\ & c_3, & 0.700 \\ & c_4, & 0.417 \\ & c_5, & 0.111 \\ & c_6, & 0.222 \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$R_{B2} = \begin{bmatrix} B2, & c_1, & 0.329 \\ & c_2, & 0.526 \\ & c_3, & 0.830 \\ & c_4, & 0.592 \\ & c_5, & 0.444 \\ & c_6, & 0.354 \end{bmatrix} \quad (18)$$

$$R_{B3} = \begin{bmatrix} B3, & c_1, & 0.443 \\ & c_2, & 0.726 \\ & c_3, & 0.880 \\ & c_4, & 0.745 \\ & c_5, & 0.778 \\ & c_6, & 0.667 \end{bmatrix} \quad (19)$$

$$R_{B4} = \begin{bmatrix} B4, & c_1, & 0.530 \\ & c_2, & 0.842 \\ & c_3, & 0.930 \\ & c_4, & 0.783 \\ & c_5, & 0.889 \\ & c_6, & 0.737 \end{bmatrix} \quad (20)$$

4.5 评价指标关于质量等级的关联度计算

根据式(6),以B4段为例来计算评价指标 c_1 。

因为 $v_{41} \in v_{011}$,所以 c_1 对第1等级的关联度为

$$r_{41}(v_{41}) = \frac{-\rho(v_{41}, v_{011})}{|v_{011}|} = \frac{\left|0.53 - \frac{1}{2}(0.5 + 1.0)\right| - \frac{1}{2}(1.0 - 0.5)}{|1.0 - 0.5|} = 0.06$$

而 $v_{41} \notin v_{021}$,所以 c_1 对第二等级的关联度为

$$r_{42}(v_{41}) = \frac{\rho(v_{41}, v_{021})}{\rho(v_{41}, v_{p1}) - \rho(v_{41}, v_{021})} = \frac{\left|0.53 - \frac{1}{2}(0.26 + 0.5)\right| - \frac{1}{2}(0.5 - 0.26)}{\left\{\left|0.53 - \frac{1}{2}(0 + 1)\right| - \frac{1}{2}(1 - 0)\right\} - \rho(v_{41}, v_{021})} = -0.06$$

同理,按上述原则进行判断后计算,可得坝基B1~B4段岩体各指标关于5个质量等级的关联度,限于篇幅,仅以B4段为例,其关联度列于表3。

4.6 用熵权法确定评价指标的权系数

根据第3节熵权法的步骤确定权系数,限于篇幅,在此只列出B4段各指标的权系数如表4所示。

表3 B4段各指标对5个质量等级的关联度

Table 3 Relational degree of the evaluation indexes of B4

等级	指标					
	v_{41}	v_{42}	v_{43}	v_{44}	v_{45}	v_{46}
I	0.060	0.013	0.125	0.132	-0.009	0.061
II	-0.060	-0.013	-0.563	-0.132	0.009	-0.061
III	-0.365	-0.573	-0.533	-0.483	-0.664	-0.494
IV	-0.460	-0.728	-0.650	-0.591	-0.802	-0.607
V	-0.500	-0.800	-0.767	-0.626	-0.858	-0.635

表4 B4段各指标对5个质量等级的熵权

Table 4 Entropy weight of indexes of B4

等级	指标					
	v_{41}	v_{42}	v_{43}	v_{44}	v_{45}	v_{46}
I	0.113	0.179	0.197	0.166	0.189	0.156
II	0.173	0.163	0.164	0.170	0.163	0.167
III	0.235	0.154	0.126	0.155	0.153	0.177
IV	0.310	0.152	0.088	0.127	0.153	0.170
V	0.389	0.176	0.058	0.082	0.180	0.111

4.7 岩体质量等级的评价

通过第4.5节计算的关联度和第4.6节计算的熵权,可以计算出坝基岩体质量的等级,如表5和图1所示。

表5 坝基B1~B4岩体质量等级

Table 5 The evaluation of rock quality

等级	岩体			
	B1	B2	B3	B4
I	-0.547	-0.383	-0.201	0.064
II	-0.436	-0.065	0.305	-0.136
III	-0.278	0.125	-0.309	-0.505
IV	-0.019	-0.209	-0.488	-0.612
V	-0.034	-0.382	-0.568	-0.658

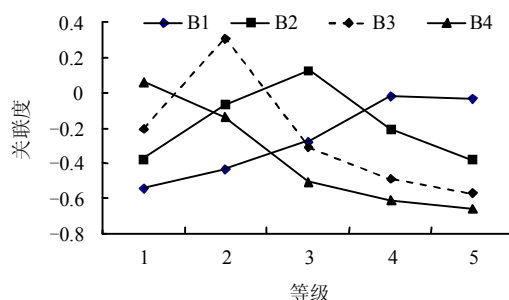


图1 坝基B1~B4岩体质量等级

Fig.1 The evaluation of rock quality of B1~B4

根据第3节步骤(6)、(7)的评价方法,通过表5和图1可以清楚地判断B1~B4段质量等级,分别为IV级、III级、II级、I级。

4.8 评价结果分析及验证

B4段为坝基高程1580~1660 m段,该工程地质报告中指出,该段坝基岩体均一,岩体很大一

部分为微新的 $T_{2-3Z}^{2(3)-(5)}$ 层大理岩, 声波一般大于 5 500 m/s, RQD 都大于 75 %, 嵌合紧密、完整性好, 抗变形能力强, 建基面浅表部岩体经固结灌浆后即可满足大坝承载和变形稳定的要求, 属于 I 类岩体; B3 段为坝基高程 1 660~1 735 m 段, 该段岩体主要为 $T_{2-3Z}^{2(6)}$ 层大理岩组成, 岩体比较均一, 嵌合较紧密, 声波一般在 5 470 m/s 左右, RQD 在 65 % 左右, 属于 II 类岩体; B2 段为坝基高程 1 735~1 820 m 段, 断层 f5 和 f8 发育, 岩体主要由 $T_{2-3Z}^{2(7)(8)}$ 层大理岩组成, 需要进行大范围的地基处理才能达到设计要求, 属于 III 类岩体; B1 段为坝基高程 1 820~1 885 m 段, 岩体主要由 $T_{2-3Z}^{3(1-3)}$ 层砂板岩组成, 完整性极差, 抗变形能力很差, 岩体极不均一, 除断层 f5 和 f8 发育外, 还有很多小断层和层间挤压错动带, 弱~强风化层不能做坝基岩体, 需要做混凝土垫座置换、固结灌浆等基础处理后才能满足大坝承载和变形稳定的要求, 属于 IV 类岩体。

通过分析说明本文对岩体质量评价及分析与地质研究报告相吻合, 评价结果合理可靠。

5 结 论

可拓学评价理论引入物元的概念, 采用定性与定量相结合, 利用物元的可拓性确定定性计算, 对可拓集合论的关联函数进行定量计算, 通过建立物元模型将各个评价指标转化为一种相容的问题, 特别是把实变函数中距离的概念拓展为距的概念, 使得关联函数值域范围得到了拓展, 把评价指标由单一的确定值转变为区间值, 从而能更全面地评价坝基岩体属于岩体质量等级的程度, 最大限度地利用了地质勘察结果, 得出与实际相符合的结论。

利用熵权法确定物元评价指标的权系数, 应用基于熵权的可拓学理论对某工程坝基岩体质量进行评价, 得出的结果与其地质报告研究结果相吻合, 说明基于熵权的可拓学理论能客观实际地对岩体质量进行评价。

参 考 文 献

- [1] 苏怀智, 吴中如, 顾冲时. 大坝工作性态模糊可拓评估的基本原理[J]. 岩土力学, 2006, 27(11): 1968—1973. SU Huai-zhi, WU Zhong-ru, GU Chong-shi. Mechanism of dam behavior assessment with fuzzy extension theory[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2006, 27(11): 1968—1973.
- [2] 苏怀智, 顾冲时, 吴中如. 大坝工作性态模糊可拓评估模型及应用[J]. 岩土力学, 2006, 27(12): 2115—2121. SU Huai-zhi, GU Chong-shi, WU Zhong-ru. Assessment model of dam behavior with fuzzy extension theory and its application[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2006, 27(12): 2115—2121.
- [3] 康志强, 冯夏庭, 周辉. 基于层次分析法的可拓学理论在地下洞室岩体质量评价中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25(2): 3687—3693. KANG Zhi-qiang, FENG Xia-ting, ZHOU Hui. Application of extenics theory to evaluation of underground cavern rock quality based on stratification analysis method[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2006, 25(2): 3687—3693.
- [4] 贾超, 肖树芳, 刘宁. 可拓学理论在洞室岩体质量评价中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2003, 22(5): 751—756. JIA Chao, XIAO Shu-fang, LIU Ning. Application of extenics theory to evaluation of tunnel rock quality[J]. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*, 2003, 22(5): 751—756.
- [5] 汪明武, 金菊良, 李丽. 可拓学在膨胀土胀缩等级评判中的应用[J]. 岩土工程学报, 2003, 25(6): 754—757. WANG Ming-wu, JIN Ju-liang, LI Li. Application of extension method to evaluation of the grade of shrinkage and expansion for the expansive soil[J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 2003, 25(6): 754—757.
- [6] 张洪波, 黄强, 辛琛, 等. 水资源承载力可拓评价方法[J]. 大连理工大学学报, 2006, 46: 206—212. ZHANG Hong-bo, HUANG Qiang, XIN Chen, et al. Study of extension evaluation method for water resources carrying capacity[J]. *Journal of Dalian University of Technology*, 2006, 46: 206—212.
- [7] 蔡文. 物元模型及其应用[M]. 北京: 科学技术出版社, 1994.
- [8] CAI W. The extension set and non-compatible problem[C]//Advances Mathematics and Mechanics in China. Beijing: International Academic Publishers, 1990.
- [9] 杨春燕, 蔡文. 可拓工程研究[J]. 中国工程科学, 2000, 2(2): 90—96. YANG Chun-yan, CAI Wen. Study on extension engineering[J]. *Engineering Science*, 2000, 2(2): 90—96.
- [10] 周惠成, 张改红, 王国利. 基于熵权的水库防洪调度多目标决策方法及应用[J]. 水利学报, 2007, 38(1): 100—106. ZHOU Hui-cheng, ZHANG Gai-hong, WANG Guo-li. Multi-objective decision making approach based on entropy weights for reservoir flood control operation[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2007, 38(1): 100—106.
- [11] 张先起, 梁川. 基于熵权的模糊物元在水质综合评价中的应用[J]. 水利学报, 2005, 36(9): 1057—1061. ZHANG Xian-qi, LIANG Chuan. Application of fuzzy matter-element model based on coefficients of entropy in comprehensive evaluation of water quality[J]. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2005, 36(9): 1057—1061.
- [12] BIENIAWSKI Z T. Engineering rock mass classification[M]. [S. l.]: [s. n.], 1989.
- [13] 中华人民共和国行业标准编写组. GD50287—99 水利水电工程地质勘察规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1999.