

文章编号: 1000-5013(2008)03-0443-04

地下工程围岩稳定性评价的熵权系数法

陈荣淋, 曾志兴

(华侨大学 土木工程学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 针对地下工程围岩稳定性评价问题, 综合考虑影响围岩稳定性的主要因素, 提出围岩稳定性综合评价的熵权系数方法, 并建立基于熵权系数法的围岩稳定性综合评价模型. 基于该模型, 对工程实例进行熵权系数法综合评价, 得到与可拓学方法和模糊模式识别直接法基本一致的评价结果. 结果表明, 基于熵权系数法基本原理的围岩稳定性综合评价模型, 可以应用于地下工程围岩稳定性的评价, 且评价结果可靠、合理.

关键词: 地下工程围岩; 稳定性评价; 熵; 熵权系数

中图分类号: TU 457

文献标识码: A

岩体是复杂的地质体, 它不仅可有多种岩石组成, 而且包含了大量各种成因的结构面, 处于复杂的地下水 and 地应力环境之中, 并且经历了长期的次生和表生改造作用. 地下工程围岩是指地下工程周围受开挖影响范围内的岩体, 其复杂性不仅表现在组成结构及影响因素方面, 而且还表现为各因素的影响程度因不同的岩体、受力状态和运营环境而异. 随着各种不同类型和不同用途的地下工程和地面工程的日益增多, 在工程建设的各阶段对工程围岩的稳定性作出正确的评价, 具有十分重要的意义^[1-2]. 熵的概念源于热力学, 表示不能用来做功的热能, 为热能的变化量除以温度所得的商, 后来由 Shannon 引入信息论, 现已在工程技术、社会经济等领域得到了广泛的应用^[3-6]. 本文尝试运用熵权系数法对地下工程围岩稳定性进行评价研究.

1 熵权系数评价模型的建立

设已选定了评价围岩稳定性的指标 m 个, 待评围岩 n 个, 则 n 个待评围岩对应于 m 个指标的指标值构成评价指标特征值矩阵为

$$X = \begin{bmatrix} x_{1,1} & x_{1,2} & \cdots & x_{1,n} \\ x_{2,1} & x_{2,2} & \cdots & x_{2,n} \\ \vdots & \vdots & \cdots & \vdots \\ x_{m,1} & x_{m,2} & \cdots & x_{m,n} \end{bmatrix}. \quad (1)$$

由于各项评价指标具有越大越优型和越小越优型两种, 对式(1)中的特征值进行归一化处理, 有

$$x_{i,j}^* = \begin{cases} \frac{x_{i,j}}{x_i^*}, & x_i^* = \max X_i, \quad \text{越大越优型,} \\ \frac{x_i^*}{x_{i,j}}, & x_i^* = \min X_i, \quad \text{越小越优型.} \end{cases}$$

式中, $\max X_i$ 为矩阵 X 中第 i 行的最大值, $\min X_i$ 为矩阵 X 中第 i 行的最小值. 第 i 个评价指标的第 j 个待评围岩的评价指标特征值比值 $P_{i,j} = \frac{x_{i,j}^*}{\sum_{j=1}^n x_{i,j}^*}$. 第 i 个指标的熵值 $E_i = - \sum_{j=1}^n P_{i,j} \ln P_{i,j}$, $i = 1, 2, \dots, m$;

收稿日期: 2007-06-12

作者简介: 陈荣淋(1981-), 男, 助理实验师, 主要从事工程抗震的研究. E-mail: oscar@hqu.edu.cn.

基金项目: 福建省青年科技人才创新项目(2004J031); 华侨大学科研基金资助项目(03BS407); 福建省闽港人才合作项目(2006)

$j=1,2,\dots,n$. 由熵的极值性可知, $P_{ij}(i=1,2,\dots,m;j=1,2,\dots,n)$ 越接近相等条件, 熵就越大, 说明各待评围岩在该指标上的取值与该指标最优之间的差异程度越小.

当 $P_{ij}(i=1,2,\dots,m;j=1,2,\dots,n)$ 相等时, 熵达到最大, 即 $E_{\max}=\ln n$. 用 E_{\max} 对 E_i 进行归一化, 则可得到表征第 i 个评价指标的评价决策重要性的熵值为

$$e_i=\frac{1}{\ln n}E_i,\quad i=1,2,\dots,m.$$

(2)

从统计学的角度看, 偏差越大的评价指标更能反映各个待评围岩稳定性的差异. 因此, 采用熵的互补值进行归一化处理后作为指标的客观权重, 第 i 个指标的客观权重为

$$\theta_i=\frac{1-e_i}{\sum_{i=1}^m(1-e_i)},\quad i=1,2,\dots,m.$$

(3)

由式(2)可知, $1-\theta_i\geq 0$, 且 $\sum_{i=1}^m\theta_i=1,(i=1,2,\dots,m)$.

为了全面反映评价指标的重要性, 需要同时考虑专家的经验评判能力. 将专家对各指标给出的主观权重 $\omega_1,\omega_2,\dots,\omega_m$ 与客观权重 $\theta_i(i=1,2,\dots,m)$ 相结合, 最终确定各评价指标的权重为

$$\forall_i=\frac{\theta_i\omega_i}{\sum_{i=1}^m\theta_i\omega_i},\quad i=1,2,\dots,m.$$

(4)

对于第 j 个待评围岩, 所有评价指标的接近度与待评围岩的理想接近度差的加权和 s_j 为

$$s_j=\sum_{i=1}^m\forall_i(x_i^*-x_{ij}),\quad j=1,2,\dots,n.$$

(5)

式(5)中, x_i^* 为最优值. 由式(5)可以得出各待评围岩的综合评价系数, 即熵权评价值 λ_j , 即

$$\lambda_j=1-s_j,\quad j=1,2,\dots,n.$$

(6)

不难看出, 综合评价系数 λ_j 越大, 围岩的稳定性越高.

2 工程应用

2.1 评价指标的选取

对地下工程围岩稳定性进行评价, 首先要确定影响围岩稳定性的因素, 尤其是独立性因素. 目前, 作为围岩稳定性评价的独立因素只有围岩质量、围岩的完整性和地下水的影响. 为了将采用熵权系数法进行评价的围岩稳定性结果与现有方法的评价结果进行对比, 本文参照文[7]选取了岩体质量指标(RQD)、岩石单轴饱和抗压强度(R_w)、岩体完整性指数(K_v)、结构面强度系数(K_f)和地下水渗水量(w)等5个因素作为地下工程围岩稳定性评价的定量指标. 指标采用5级分类, 即I(稳定)、II(基本稳定)、III(稳定性差)、IV(不稳定)、V(极不稳定), 各单项指标的分类标准, 如表1所示^[7].

表 1 围岩稳定性各指标分类标准

Tab. 1 Standards of index classification of surrounding rock stability

分类级别	$RQD/\%$	R_w	K_v	K_f	$w/L\cdot(\min\cdot m)^{-1}$
I	> 90	> 120	> 0.75	> 0.8	< 0.5
II	75~ 90	60~ 120	0.45~ 0.75	0.6~ 0.8	0.5~ 1.0
III	50~ 75	30~ 60	0.30~ 0.45	0.4~ 0.6	1.0~ 2.5
IV	25~ 50	15~ 30	0.20~ 0.30	0.2~ 0.4	2.5~ 12.5
V	< 25	< 15	< 0.20	< 0.2	> 12.5

2.2 围岩稳定性评价

根据所建立的地下工程围岩稳定性的熵权系数评价模型, 将处于稳定性临界状态的围岩作为待评围岩参与评价, 围岩稳定性各指标分类标准临界值, 如表2所示. 考虑评价结果的可比性以及对照样本的代表性和全面性, 实测待评围岩选用了文[7]中比较有代表性的8组数据, 如表3所示. 由4个构造待评围岩和8个实测待评围岩的各指标值构成 5×12 的评价指标特征值矩阵 X 为

$$X = \begin{bmatrix} 90.0, & 75.0, & 50.0, & 25.0, & 51.0, & 52.0, & 76.0, & 87.0, & 52.5, & 78.0, & 30.2, & 52.5 \\ 120.0, & 60.0, & 30.0, & 15.0, & 40.2, & 25.0, & 95.0, & 95.0, & 70.5, & 130.5, & 8.4, & 28.6 \\ 0.75, & 0.45, & 0.30, & 0.20, & 0.38, & 0.22, & 0.70, & 0.70, & 0.60, & 0.75, & 0.18, & 0.38 \\ 0.80, & 0.60, & 0.40, & 0.20, & 0.50, & 0.50, & 0.50, & 0.50, & 0.40, & 0.50, & 0.18, & 0.16 \\ 5.0, & 10.0, & 25.0, & 125.0, & 10.0, & 10.0, & 10.0, & 10.0, & 15.0, & 10.0, & 50.0, & 23.0 \end{bmatrix},$$

而对评价指标特征值矩阵进行归一化计算评价指标特征值比值, 得到评价指标特征值比值矩阵 P 为

$$P = \begin{bmatrix} 0.125, & 0.104, & 0.070, & 0.035, & 0.071, & 0.072, & 0.106, & 0.121, & 0.073, & 0.108, & 0.042, & 0.073 \\ 0.167, & 0.084, & 0.042, & 0.021, & 0.056, & 0.035, & 0.132, & 0.132, & 0.098, & 0.182, & 0.012, & 0.040 \\ 0.134, & 0.080, & 0.053, & 0.036, & 0.068, & 0.039, & 0.125, & 0.125, & 0.107, & 0.134, & 0.032, & 0.068 \\ 0.153, & 0.115, & 0.076, & 0.038, & 0.095, & 0.095, & 0.095, & 0.095, & 0.076, & 0.095, & 0.034, & 0.031 \\ 0.204, & 0.102, & 0.041, & 0.008, & 0.102, & 0.102, & 0.102, & 0.102, & 0.068, & 0.102, & 0.020, & 0.044 \end{bmatrix}.$$

表 2 围岩稳定性各指标分类标准临界值

Tab.2 Critical value of index classification of surrounding rock stability

临界类别	$RQD/\%$	R_w	K_v	K_f	$w/L \cdot (\text{min} \cdot \text{m})^{-1}$
II ~ I	90	120	0.75	0.8	0.5
III~ II	75	60	0.45	0.6	1.0
IV~ III	50	30	0.30	0.4	2.5
V ~ IV	25	15	0.20	0.2	12.5

表 3 各指标实测值

Tab.3 Tested results of indexes

序号	$RQD/\%$	R_w	K_v	K_f	$w/L \cdot (\text{min} \cdot \text{m})^{-1}$	已知分类
①	51.0	40.2	0.38	0.50	1.0	III
②	52.0	25.0	0.22	0.50	1.0	III
③	76.0	95.0	0.70	0.50	1.0	II
④	87.0	95.0	0.70	0.50	1.0	II
⑤	52.5	70.5	0.60	0.40	1.5	III
⑥	78.0	130.5	0.75	0.50	10.0	II
⑦	30.2	8.4	0.18	0.18	50.0	V
⑧	52.5	28.6	0.38	0.16	23.0	IV

计算得到 5 个评价指标的客观权重 $\theta_i(i=1, 2, 3, 4, 5)$, $RQD=0.088$, $R_w=0.343$, $K_v=0.159$, $K_f=0.131$, $w=0.279$. 参考相关文[1, 2, 7], 各指标的主观权重均取为 0.2, 即 $\omega_i=0.2(i=1, 2, 3, 4, 5)$. 由式(4)~(6)可计算得到 12 个待评围岩的综合评价系数 $\lambda_j(j=1, 2, \dots, 12)$, 如表 4 所示.

表 4 各待评围岩的综合评价系数

Tab.4 Comprehensive evaluation coefficients of surrounding rock

待评围岩	II ~ I	III~ II	IV~ III	V ~ IV	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧
λ_j	1.050	0.977	0.934	0.906	0.960	0.949	0.999	1.000	0.969	1.017	0.906	0.930

从这 12 个评价项目的综合系数大小排序, 可以得到待评围岩的稳定性评价结果. 例如, 编号为 ①的待评围岩, 其综合评价系数为 0.960, 介于 III~ II 和 IV~ III 的临界构造围岩综合评价系数之间, 因此其围岩稳定性的结果应为 II 级(稳定性差); 编号为 ⑦的待评围岩, 其综合评价系数为 0.906, 等于 V ~ IV 临界构造围岩的综合评价系数, 可以判定其围岩稳定性为 V ~ IV(介于不稳定和极不稳定之间). 以此类推, 得到其他 6 个待评围岩的稳定性评价结果, 可与已知分类和 BP 神经网络评价法进行对比, 如表 5 所示. 从表 5 可以看出, 本文采用熵权系数法所得出的围岩稳定性评价结果, 和已知分类及文[7]采

表 5 围岩稳定性评价结果

Tab.5 Evaluation results of surrounding rock stability

编号	本文方法	已知分类法	文[7]方法
①	III	III	III
②	III	III	III
③	II	II	II
④	II	II	II
⑤	III	III	III
⑥	II	II	II
⑦	V ~ IV	V	IV
⑧	IV	IV	IV

用的 BP 神经网络方法评价的结果基本一致,且可根据熵权系数法所得出的综合评价系数可以对待评围岩的稳定性进行排序.

3 结束语

根据熵的概念和性质建立的熵权系数法,其优点在于各指标的权值来源于各待评项目和固有信息,减少了指标权值确定中的主观性,同时又结合了专家的主观信息进行综合评价,使评价更为可靠、可信.将熵权系数法应用于地下工程围岩的稳定性评价,可以得到与其他方法较为一致的结果,这为围岩的稳定性评价提供了又一新的途径.

参考文献:

- [1] 连建发,慎乃齐,张杰坤.基于可拓方法的地下工程围岩评价研究[J].岩石力学与工程学报,2004,23(9):1450-1453.
- [2] 许传华,任青文.地下工程围岩稳定性的模糊综合评判法[J].岩石力学与工程学报,2004,23(11):1852-1855.
- [3] 汤瑞凉,郭存芝,董晓娟.灌溉水资源优化调配的熵权系数模型研究[J].河海大学学报:自然科学版,2000,28(1):18-21.
- [4] 冯利华.最大熵原理与地震频度-震级关系[J].地震地质,2003,25(2):260-265.
- [5] 陈 斌,刘 宁,卓家寿.岩土工程反分析的最大熵原理[J].河海大学学报:自然科学版,2002,30(6):52-55.
- [6] 汤瑞凉,王 .农作物品种综合评判的熵权系数法研究[J].资源开发与市场,2002,18(5):3-4.
- [7] 蔡广奎.围岩稳定性分类的 BP 网络模型研究[D].南京:河海大学,2001:49-54.

Method of Entropy Coefficient to Evaluate the Surrounding Rock Stability of Underground Engineering

CHEN Rong-lin, ZENG Zhi-xing

(College of Civil Engineering, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: Based on entropy coefficients, a comprehensive evaluation method is proposed to evaluate the surrounding rock stability of underground engineering, which considers the main factors influencing the stability of surrounding rock, and the corresponding model is also established. The stability of practical engineering is evaluated by this model, the results are fundamentally the same as the ones by the method of extenics and the direct method of fuzzy pattern recognition. Therefore the evaluation by this mode is reliable and rational.

Keywords: underground engineering surrounding rock; stability evaluation; entropy; entropic coefficients

(责任编辑:黄仲一 英文审校:方德平)