

公路隧道围岩分级的集对分析模型

王迎超^{1,2,3}, 徐兴华³, 刘永莉³, 周路军³

(1. 中国矿业大学 力学与建筑工程学院, 221008 江苏 徐州; 2. 中国矿业大学 深部岩土力学与地下工程国家重点实验室, 221008 江苏 徐州, wych12345678@126.com; 3. 浙江大学 建筑工程学院, 杭州 310058)

摘 要: 针对隧道围岩分级问题的复杂性, 基于集对分析理论, 选取岩石单轴抗压强度 R_c 、岩体完整性指数 K_v 、洞轴线与主要结构面的夹角 θ 、结构面状况 S_f 和地下水流量 W 5 个因子建立隧道围岩分级的评价指标体系, 将围岩分级的各个评价指标与评价标准构筑成一个集对, 建立隧道围岩分级的集对分析模型, 并引用围岩实测样本数据进行模型检验, 运用集对分析法以实际的围岩为例进行级别判别. 研究表明: 集对分析法判断结果与实际围岩级别相符, 由此证明该方法用于隧道围岩判别是可行的, 具有较高的准确度. 集对分析法原理简单、算法简捷、可操作性强, 可作为一种有效的围岩分级方法.

关键词: 隧道工程; 围岩分级; 集对分析法; 联系度; 指标体系

中图分类号: TU457

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2011)04-0114-06

Set pair analysis model in surrounding rock classification of highway tunnel

WANG Ying-chao^{1,2,3}, XU Xing-hua³, LIU Yong-li³, ZHOU Lu-jun³

(1. School of Mechanics & Civil Engineering, China University of Mining & Technology, 221008 Xuzhou, Jiangsu, China; 2. State Key Laboratory for Geomechanics and Deep Underground Engineering, China University of Mining & Technology, 221008 Xuzhou, Jiangsu, China, wych12345678@126.com; 3. College of Civil Engineering and Architecture, Zhejiang University, 310058 Hangzhou, China)

Abstract: Considering the complexity of surrounding rock classification, some factors such as rock uniaxial compressive strength, integrality coefficient of rock mass, the angle between tunnel axis and the main joint, joints condition and seepage measurement of groundwater are selected as evaluation indexes. The evaluation indexes and the standard for surrounding rock classification are used to constitute a set pair. A model of tunnel surrounding rock classification based on set pair analysis is established, which is tested by measured samples of surrounding rock. The model is applied to actual tunnel. The research concludes that the results of SPA are in good agreement with practical situation of surrounding rock. Also, the method of set pair analysis applied to the classification of surrounding rock is feasible and has high accuracy. SPA is simple and has strong maneuverability, which is a good method for surrounding rock classification.

Key words: tunnel; surrounding rock classification; set pair analysis; connection degree; index system

随着国民经济的快速发展, 隧道工程建设越来越多. 客观、正确的围岩分级(或称分类)是隧道设计、施工的依据, 是隧道稳定性评价的基础.

但由于隧道所处工程地质条件的复杂性, 往往使围岩分级不够准确, 与实际围岩级别有一定的出入. 因此导致隧道建设过程中经常需要变更设计, 误工误时, 严重影响施工进度. 如何快速、实用、正确、有效地判定围岩的级别, 已成为业主、监理以及施工单位迫切希望解决的问题.

围岩分类一直是岩土工程界研究的热门课题. 目前许多新的理论和方法应用于隧道围岩分

收稿日期: 2009-12-26.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51074162); 中国矿业大学人才引进科研启动项目; 中国矿业大学力学与建筑工程学院青年科技基金项目.

作者简介: 王迎超(1982—), 男, 博士, 讲师.

类中,如灰色优化理论^[1-2]、模糊数学^[3-4]、人工神经网络^[5-7]、支持向量机^[8]、可拓学^[9]、距离判别分析理论^[10-11]、属性数学理论^[12]等,均取得一定的研究成果,极大推动了围岩分类研究的进展。但由于每种理论和方法都有其自身的特点和不足,还不能很好地服务于实际隧道工程建设,因此探讨新的围岩分级方法是很有必要的。

集对分析法是一种处理不确定性问题的优良方法,具有分析步骤简洁,评价结果准确、客观、全面的优点,目前已广泛应用于环境质量评价^[13-17]、生态承载能力评价^[18]、军事作战方案评估^[19]、社会经济^[20-21]、医疗^[22]等领域,取得了良好效果。由于围岩是多因素多水平耦合作用的复杂系统,分级具有极大的不确定性,本文尝试采用集对分析理论对公路隧道围岩进行分级,建立基于五元联系度的围岩分级模型,并通过相关文献中围岩实测样本检验其可行性和合理性,最后将其应用于实际围岩等级判别中,为隧道的设计和施工提供可靠依据。

1 集对分析法原理

1.1 基本思想

集对分析^[23](Set pair analysis, SPA)是我国学者赵克勤先生于1989年在包头市召开的全国系统理论上提出的,其基本思想是在一定的问题背景Ω下把2个具有一定联系的集合Ψ、Φ组成的对子H=(Ψ,Φ)称为集对,对2个集合的特性作出对立同一分析。

若2个集合(Ψ,Φ)具有某些相同特性,称这2个集合具有同一性关系,简称同关系;若2个集合(Ψ,Φ)具有相反特性,称对立关系,简称反关系;若2个集合(Ψ,Φ)既不是同关系,又不是反关系,称此关系为差异性关系,简称异关系。实际上,2个集合(Ψ,Φ)常常同时既有同关系,又有反关系,还有异关系,是一种复杂的不确定性关系,可简称为同异反关系。在集对分析中,将确定性分成“同一”与“对立”两个方面,将不确定性称为“异”,从同、异、反三方面分析事物,认为同、异、反三者相互联系、相互影响、相互制约,又在一定条件下相互转化,主要通过联系度来描述系统的不确定性。

1.2 联系度及其数学表达式

集合Ψ、Φ的联系度表达式为

$$\mu = \frac{S}{N} + \frac{F}{N}i + \frac{P}{N}j. \tag{1}$$

式中: N 为集对特性总数; S 为集对中相同的特性数; P 为集对中相反的特性数; F 为集对中既不相

同又不相反的特性数, $F = N - S - P$; S/N 、 F/N 、 P/N 分别为组成集对的 2 个集合在指定问题背景下的同一度、差异度、对立度。

令 $a = S/N, b = F/N, c = P/N$, 则式(1)可简写为

$$\mu = a + bi + cj. \tag{2}$$

其中: a 、 b 、 c 应满足归一化条件, 即 $a + b + c = 1$; i 为差异度系数, $i \in [-1, 1]$. i 在 $-1 \sim 1$ 变化, 体现确定性与不确定性之间的相互转化. 随着 i 趋近于 0, 不确定性明显增加, 当 i 为 1 时, 不确定度转化为同一度; i 为 -1 时, 则不确定度转化为对立度. j 为对立度系数, 运算时恒取 -1 . 联系度 μ 与差异度系数 i 组成集对分析理论的核心, 其包含随机、模糊、灰色等常见的不确定性。

联系度具有可展性, 假定有 N 个评价指标和不同的评价等级, 则由式(1)扩展的联系度一般形式为

$$\mu = \frac{S}{N} + \frac{F_1}{N}i_1 + \frac{F_2}{N}i_2 + \cdots + \frac{F_m}{N}i_m + \frac{P}{N}j. \tag{3}$$

式(3)可简写为

$$\mu = a + b_1i_1 + b_2i_2 + \cdots + b_mi_m + cj. \tag{4}$$

式中: $i_1, i_2, \cdots, i_m$ 为差异度系数, j 为对立度系数。

2 隧道围岩分级的集对分析模型

2.1 评价指标体系的建立

影响隧道围岩好坏的因素很多, 大致可以概括为岩石本身的强度、岩体结构面的影响、工程因素和隧道所处的工程地质环境 4 个方面. 参考相关研究成果^[3,7,9-10,24], 考虑影响围岩好坏的指标间的相关性, 本着评价因素简单、易于测定的原则, 选取岩石单轴抗压强度 R_c 、岩体完整性指数 K_v 、结构面状况 S_s 、洞轴线与主要结构面的夹角 θ 和地下水流量 W (以 10 m 计), 共 5 个因子建立围岩分级的评价指标体系, 如图 1 所示. 按照围岩从好到坏, 划分为 I ~ V 5 个等级, 分级标准见表 1. 其中结构面状况分类参照文献[9]确定。

2.2 构建评价模型

2.2.1 确定围岩分级的五元联系度

按照表 1 中的各指标评价标准把隧道围岩的等级划分为 5 级, 将围岩分级的各评价指标与评价标准构成一个集对, 符合 I 级标准的作为同一度, 符合或超过 V 级标准的作为对立度, 符合 II、III、IV 级标准的分别作为差异偏同度、差异度和差异偏反度^[13]. 参照式(3)和(4), 建立围岩分级的五元联系度表达式为

$$\mu_n = a + b_1i_1 + b_2i_2 + b_3i_3 + cj = \frac{S}{N} + \frac{F_1}{N}i_1 + \frac{F_2}{N}i_2 + \frac{F_3}{N}i_3 + \frac{P}{N}j. \tag{5}$$

式中 n 为第 n 个待评价的围岩样本, N 为评价指标的总数, S 为符合Ⅰ级标准的评价指标的个数, F_1 为符合Ⅱ级标准的评价指标的个数, F_2 为符合Ⅲ级标准的评价指标的个数, F_3 为符合Ⅳ级标准的评价指标的个数, P 为符合Ⅴ级标准的评指标的个数.

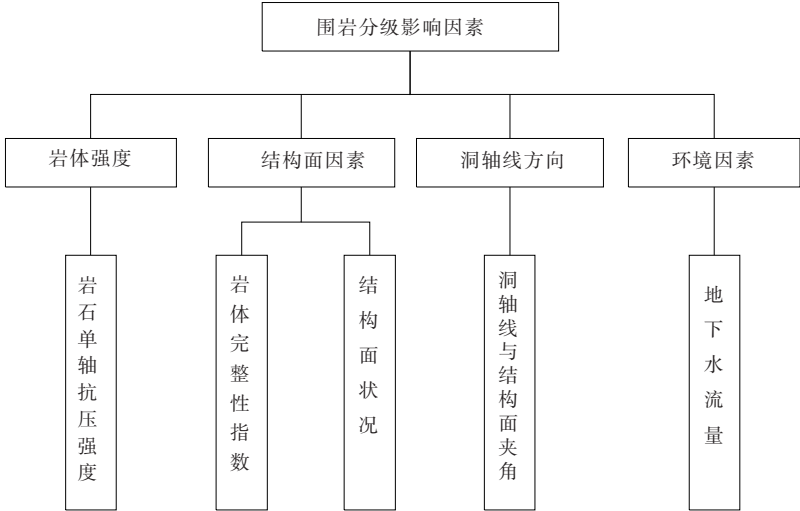


图 1 隧道围岩分级的评价指标体系

表 1 隧道围岩各指标分级标准

级别	R_c/MPa	K_v	S_s	$W/(\text{L}\cdot\text{min}^{-1})$	$\theta/(^{\circ})$
Ⅰ	250~300	0.75~1.0	9~10	0~5	80~90
Ⅱ	100~250	0.55~0.75	7~9	5~10	70~80
Ⅲ	50~100	0.35~0.55	4~7	10~25	30~70
Ⅳ	25~50	0.15~0.35	2~4	25~125	10~30
Ⅴ	1~25	0~0.15	0~2	125~250	0~10

2.2.2 各评价指标联系度的确定

在所建立的围岩分级评价指标体系中,包括效益型指标和成本型指标两大类^[18].若是效益型指标,即指标数值越大,围岩稳定性越好,等级越高;若是成本型指标,即指标数值越大,围岩稳定性越差,等级越低.在选取的5个围岩评价指标中,岩石单轴抗压强度 R_c 、岩体完整性指数 K_v 、结构面状况指标 S_s 和洞轴线与主要结构面的夹角 θ 为效益型指标,地下水渗流量 W 为成本型指标.

对于效益型指标,其每个评价指标的实测指标值相对于评价分级标准的联系度表达式为

$$\mu_{nk} = \begin{cases} 1 + 0i_1 + 0i_2 + 0i_3 + 0j, x \in [S_1, +\infty]; \\ \frac{x - S_{II}}{S_I - S_{II}} + \frac{S_I - x}{S_I - S_{II}}i_1 + 0i_2 + 0i_3 + 0j, x \in [S_{II}, S_I]; \\ \frac{x - S_{III}}{S_{II} - S_{III}} + \frac{S_{II} - x}{S_{II} - S_{III}}i_2 + 0i_3 + 0j, x \in [S_{III}, S_{II}]; \\ 0i_1 + \frac{x - S_{IV}}{S_{III} - S_{IV}}i_2 + \frac{S_{III} - x}{S_{III} - S_{IV}}i_3 + 0j, x \in [S_{IV}, S_{III}]; \\ 0i_1 + 0i_2 + \frac{x - S_V}{S_{IV} - S_V}i_3 + \frac{S_{IV} - x}{S_{IV} - S_V}j, x \in [S_V, S_{IV}]; \\ 0i_1 + 0i_2 + 0i_3 + 1j, x \in [0, S_V]. \end{cases} \quad (6)$$

对于成本型指标,其每个评价指标的实测指标值相对于评价分级标准的联系度表达式为

$$\mu_{nk} = \begin{cases} 1 + 0i_1 + 0i_2 + 0i_3 + 0j, x \in [0, S_I]; \\ \frac{S_{II} - x}{S_{II} - S_I} + \frac{x - S_I}{S_{II} - S_I}i_1 + 0i_2 + 0i_3 + 0j, x \in [S_I, S_{II}]; \\ \frac{S_{III} - x}{S_{III} - S_{II}} + \frac{x - S_{II}}{S_{III} - S_{II}}i_2 + 0i_3 + 0j, x \in [S_{II}, S_{III}]; \\ 0i_1 + \frac{S_{IV} - x}{S_{IV} - S_{III}}i_2 + \frac{x - S_{III}}{S_{IV} - S_{III}}i_3 + 0j, x \in [S_{III}, S_{IV}]; \\ 0i_1 + 0i_2 + \frac{S_V - x}{S_V - S_{IV}}i_3 + \frac{x - S_{IV}}{S_V - S_{IV}}j, x \in [S_{IV}, S_V]; \\ 0i_1 + 0i_2 + 0i_3 + 1j, x \in [S_V, +\infty]. \end{cases} \quad (7)$$

式(6)和(7)中 $S_I, S_{II}, S_{III}, S_{IV}, S_V$ 分别为Ⅰ~Ⅴ级的评价分级标准限值, x 为各评价指标的实际值, n 为第 n 个待评价的围岩样本, k 为第 k 个评价指标.

2.2.3 求解平均联系度^[14]

平均联系度是通过求得各指标相对于各个级别的联系度后,把它们相加并取其平均值.它反映了各评价对象与各国岩标准等级之间的亲疏关系.平均联系度的计算公式为

$$\bar{\mu}_n = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N \mu_{nk}. \quad (8)$$

式中 $\bar{\mu}_n$ 为待评价围岩样本 n 的平均联系度, N 为评价指标的个数, μ_{nk} 为第 k 个评价指标相对于评价分级标准的联系度.

2.2.4 围岩级别判定

求出平均联系度 $\overline{\mu_n}$ 后,根据联系度四则运算法则^[23],用式(8) 处理式(5),经归一化处理得到待评价围岩样本 n 的集对分析联系度 $\overline{\mu'_n}$. 根据最大原则,选取经归一化处理后的平均联系度所对应的围岩级别即为待评价围岩的所属等级.其计算公式为

$$\delta = \max \{ \overline{\mu'_n} \}.$$
 (9)

当 $\{ \overline{\mu'_n} \}$ 中对应于各标准围岩级别的平均联系度出现最大值和次大值较接近的情况时,从施工安全角度考虑,将两者中所对应的较低围岩级别作为最终判定结果.

2.3 模型检验

为了检验所建立的围岩分级集对分析模型的有效性和适用性,引用文献[24]提供的围岩实测样本进行计算分析.最终判别结果如表 2 所示.可以看出,除了样本 16 误判为 III 级(实际为 II 级)外,其他判别结果与实际围岩级别相符.发生误判可能是因为把介于两级围岩之间的样本确定为其中某一级,判别结果偏安全,从工程安全角度考虑是允许的.经计算,样本 4 相对于 II 级围岩的同一程度为 34.72%,相对于 III 级围岩的同一程度为 37.57%,两者的值相差很小,因此从施工安全角度考虑,取较低等级围岩级别 III 级作为最终判定结果.从检验样本的判别结果可以看出,所建立的围岩分级集对分析模型具有较高的准确度,集对分析法用于隧道围岩级别判别是可行的、合理的.

以围岩的 I ~ V 级各个指标的标准值作为集对分析联系度表达式中的同一度、差异度、对立度的取值依据,利用式(5),求得样本 1 的集对分析联系度为

$$\mu_1 = 0 + \frac{2}{5}i_1 + \frac{2}{5}i_2 + \frac{1}{5}i_3 + 0j.$$
 (10)

根据式(6)和(7)求得样本 1 每个评价因子相对于评价分级标准的联系度为

$$\begin{aligned} \mu_{11} &= 0 + 0i_1 + 0.620i_2 + 0.380i_3 + 0j; \\ \mu_{12} &= 0 + 0i_1 + 0.6i_2 + 0.4i_3 + 0j; \\ \mu_{13} &= 0 + 1i_1 + 0i_2 + 0i_3 + 0j; \\ \mu_{14} &= 0 + 0.6i_1 + 0.4i_2 + 0i_3 + 0j; \\ \mu_{15} &= 0 + 0i_1 + 0.66i_2 + 0.34i_3 + 0j. \end{aligned}$$

根据联系度四则运算法则,用式(8)将以上 5 项指标平均后,求得平均联系度为

$$\overline{\mu_1} = 0 + 0.32i_1 + 0.456i_2 + 0.224i_3 + 0j.$$
 (11)

用式(11)处理式(10),并归一化处理得到样本 1 的集对分析联系度为

$$\overline{\mu'_1} = 0.360\ 4i_1 + 0.513\ 5i_2 + 0.126\ 1i_3 + 0j.$$
 (12)

所以样本 1 相对于 II 级围岩的同一程度为 36.04%,相对于 III 级围岩的同一程度为 51.35%,相对于 IV 级围岩的同一程度为 12.61%,相对于 I 级和 V 级围岩的同一程度为 0.根据式(9),样本 1 最终判定为 III 级围岩.

表 2 集对分析法判别结果表

样本号	R_c/MPa	K_v	S_s	$W/$ ($\text{L} \cdot \text{min}^{-1}$)	$\theta/(^{\circ})$	综合评价五元联系度	本文判 别结果	实际围 岩级别
1	81.0	0.47	9.0	59.0	76	$\overline{\mu'_1} = 0 + 0.360\ 4i_1 + 0.513\ 5i_2 + 0.126\ 1i_3 + 0j$	III	III
2	90.0	0.31	8.5	106.0	20	$\overline{\mu'_2} = 0 + 0.084\ 1i_1 + 0.139\ 0i_2 + 0.776\ 9i_3 + 0j$	IV	IV
3	100.0	0.67	8.5	32.0	45	$\overline{\mu'_3} = 0 + 0.526\ 0i_1 + 0.383\ 8i_2 + 0.090\ 2i_3 + 0j$	II	II
4	123.0	0.67	6.0	87.0	36	$\overline{\mu'_4} = 0 + 0.347\ 2i_1 + 0.375\ 7i_2 + 0.277\ 1i_3 + 0j$	III	III
5	120.0	0.13	3.0	102.0	35	$\overline{\mu'_5} = 0 + 0.018\ 6i_1 + 0.171\ 1i_2 + 0.600\ 4i_3 + 0.209\ 9j$	IV	IV
6	123.0	0.49	2.0	127.0	34	$\overline{\mu'_6} = 0 + 0.023\ 0i_1 + 0.495\ 5i_2 + 0.328\ 6i_3 + 0.152\ 9j$	III	III
7	67.0	0.17	9.0	47.0	53	$\overline{\mu'_7} = 0 + 0i_1 + 0.546\ 8i_2 + 0.453\ 2i_3 + 0j$	III	III
8	112.5	0.63	7.3	7.7	64	$\overline{\mu'_8} = 0 + 0.593\ 2i_1 + 0.406\ 8i_2 + 0i_3 + 0j$	II	II
9	132.5	0.73	9.0	10.0	28	$\overline{\mu'_9} = 0 + 0.912\ 2i_1 + 0i_2 + 0.087\ 8i_3 + 0j$	II	II
10	140.0	0.62	7.5	9.7	84	$\overline{\mu'_{10}} = 0.045\ 6 + 0.954\ 4i_1 + 0i_2 + 0i_3 + 0j$	II	II
11	110.0	0.72	9.8	12.5	46	$\overline{\mu'_{11}} = 0.1 + 0.487\ 5i_1 + 0.412\ 5i_2 + 0i_3 + 0j$	II	II
12	60.0	0.71	7.6	10.0	27	$\overline{\mu'_{12}} = 0 + 0.69\ 61i_1 + 0.121\ 6i_2 + 0.182\ 3i_3 + 0j$	II	II
13	95.0	0.61	7.5	7.5	78	$\overline{\mu'_{13}} = 0 + 0.743\ 7i_1 + 0.256\ 3i_2 + 0i_3 + 0j$	II	II
14	57.5	0.64	7.7	12.5	72	$\overline{\mu'_{14}} = 0 + 0.389\ 6i_1 + 0.610\ 4i_2 + 0i_3 + 0j$	III	III
15	63.8	0.62	7.3	7.5	37	$\overline{\mu'_{15}} = 0 + 0.434\ 7i_1 + 0.565\ 3i_2 + 0i_3 + 0j$	III	III
16	120.7	0.64	9.3	10.5	64	$\overline{\mu'_{16}} = 0.031\ 8 + 0.238\ 9i_1 + 0.729\ 3i_2 + 0i_3 + 0j$	III	II
17	160.0	0.65	7.5	5.0	60	$\overline{\mu'_{17}} = 0 + 0.579\ 8i_1 + 0.420\ 2i_2 + 0i_3 + 0j$	II	II
18	54.0	0.30	2.3	11.0	78	$\overline{\mu'_{18}} = 0 + 0.285\ 6i_1 + 0.114\ 4i_2 + 0.600\ 0i_3 + 0j$	IV	IV
19	39.0	0.23	2.7	7.0	84	$\overline{\mu'_{19}} = 0.168\ 6 + 0.168\ 6i_1 + 0i_2 + 0.662\ 8i_3 + 0j$	IV	IV
20	57.0	0.34	2.1	17.0	74	$\overline{\mu'_{20}} = 0 + 0.132\ 0i_1 + 0.341\ 6i_2 + 0.526\ 4i_3 + 0j$	IV	IV

3 工程应用

3.1 工程概况

西华岭隧道位于浙江省诸永高速公路金华段 S109 合同段和 S110 合同段内,属于单向行车双车道分离式隧道.左洞全长 4 277 m,右洞全长 4 302 m.隧道出口位于磐安县双峰乡杜坑溪,属侵蚀剥蚀中低山丘陵区,隧道穿越地层岩性主要为火山凝灰岩.隧道轴线通过最高海拔高程约 810 m,最大相对高差约 350 m,山体走向近东西向.区内溪流狭窄、弯曲,树枝状水系相当发育,雨季溪水湍急,瀑涨瀑落,枯水期流量较小,部分干涸.

表 3 西华岭隧道围岩数据资料及判别结果

隧道位置	$R_c /$ MPa	K_v	S_s	$W /$ ($L \cdot \min^{-1}$)	$\theta / (^{\circ})$	综合评价五元联系度	本文判 别结果	实际围 岩级别
左洞 K106 + 760—790	62.1	0.31	3.0	12.0	28	$\overline{\mu'_1} = 0 + 0i_1 + 0.077\ 9i_2 + 0.922\ 1i_3 + 0j$	Ⅳ	Ⅳ
左洞 K106 + 790—820	61.5	0.25	2.5	17.6	28	$\overline{\mu'_2} = 0 + 0i_1 + 0.168\ 8i_2 + 0.831\ 2i_3 + 0j$	Ⅳ	Ⅳ
右洞 K107 + 776—806	72.3	0.63	4.3	0.0	43	$\overline{\mu'_3} = 0.172\ 0 + 0.068\ 8i_1 + 0.759\ 2i_2 + 0i_3 + 0j$	Ⅲ	Ⅲ
右洞 K107 + 806—836	77.6	0.71	5.0	3.0	37	$\overline{\mu'_4} = 0.179\ 2 + 0.143\ 4i_1 + 0.677\ 4i_2 + 0i_3 + 0j$	Ⅲ	Ⅲ

3.3 围岩等级判别

根据建立的隧道围岩分级集对分析模型进行计算分析,求取西华岭隧道各洞段的五元联系度,根据式(10),得到西华岭隧道所选洞段的围岩级别,判别结果列于表 3 中.

可以看出,采用集对分析法判断西华岭隧道围岩级别与实际围岩级别相一致.如左洞 K106 + 760—K106 + 790 采用集对分析法计算出其综合评价五元联系度为 $\overline{\mu'_1} = 0 + 0i_1 + 0.077\ 9i_2 + 0.922\ 1i_3 + 0j$,得出其相对于Ⅳ级围岩的同一程度最大,为 92.21%,故判定为Ⅳ级围岩,与该洞段实际围岩级别相符.围岩分级集对分析模型在西华岭隧道中的成功应用证明了该法用于隧道围岩分级具有较高的准确度,能很好地满足工程应用需要,值得推广.

4 结 论

1)应用集对分析法从同、异、反三方面分析问题,通过联系度来描述模糊、随机、中介和信息不完全所致不确定性,能够较好地处理不确定性问题,且具有计算简单、准确、可靠等优点,为公路隧道围岩分级提供了新的途径和方法.

2)选取岩石单轴抗压强度 R_c 、岩体完整性指数 K_v 、结构面状况 S_s 、洞轴线与主要结构面的夹角 θ 和地下水流量 W 共 5 个因子建立隧道围岩分

3.2 确定评价指标

选取西华岭隧道左洞 K106 + 760—K106 + 790, K106 + 790—K106 + 820;右洞 K107 + 776—K107 + 806, K107 + 806—K107 + 836.所选左洞洞段穿越的地层为上侏罗统西山头组火山凝灰岩,3 倍洞径内围岩主要为破碎岩体,稳定性比较差.节理裂隙发育,节理面光滑,节理面上有白色钙质方解石,用手揉搓,有滑腻感,地下水发育.所选右洞洞段 3 倍洞径内围岩主要为弱、微风化火山凝灰岩,稳定性一般,围岩呈块(石)碎(石)状镶嵌结构,节理裂隙不甚发育,节理面较粗糙,节理延展性较差,地下水不发育.表 3 为西华岭隧道所选洞段围岩的各评价指标实际值.

级的评价指标体系,将围岩分级评价指标与评价标准构筑成一个集对,建立隧道围岩分级的集对分析模型.通过相关文献中围岩实测样本进行检验,证明集对分析法应用于隧道围岩分级是可行的.

3)将隧道围岩分级集对分析模型应用于西华岭隧道中,所得围岩级别与实际围岩级别一致,对设计、施工起到很好的指导作用;同时也证明所建模型实用性好,能较好地满足工程应用的需要,具有一定的推广价值.

参考文献:

[1] 张庆飞,巫锡勇.灰色聚类法在围岩分级中的应用[J].西部探矿工程,2005(5):112-113.

[2] 冯玉国.灰色优化理论模型在地下工程围岩稳定性分类中的应用[J].岩土工程学报,1996,18(3):62-66.

[3] 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.

[4] 王迎超,严细水,胡建平,等.隧道围岩模糊分类研究[J].华东公路,2007(5):53-57.

[5] HUO R K,LIU H D. An application of neural network to surrounding rock stability classification[J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 1998,19(2):62-63.

- [6] 周翠英,张亮,黄显艺. 基于改进 BP 网络算法的隧洞围岩分类[J]. 中国地质大学学报:地球科学版, 2005, 30(4): 480-486.
- [7] 邱道宏,陈剑平,阙金声,等. 基于粗糙集和人工神经网络的洞室岩体质量评价[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2008, 38(1): 86-91.
- [8] 赵洪波,冯夏庭,尹顺德. 基于支持向量机的岩体工程分级[J]. 岩土力学, 2002, 23(6): 698-701.
- [9] 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.
- [10] 王吉亮,陈剑平,杨静. 距离判别法在公路隧道围岩分类中的应用[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2008, 38(6): 999-1004.
- [11] 宫凤强,李夕兵. 距离判别分析法在岩体质量等级分类中的应用[J]. 岩石力学与工程学报, 2007, 26(1): 190-194.
- [12] 刘金和,刘金海. 属性数学理论在公路围岩分类中的应用[J]. 湘潭师范学院学报:自然科学版, 2008, 30(4): 67-71.
- [13] 邱林,冯晓波,冯丽云,等. 集对分析法在湖泊水质富营养化评价中的应用[J]. 人民长江, 2008, 39(5): 52-54.
- [14] 陆洲,马涛. 地下水环境质量评价的一种新方法——集对分析法[J]. 环境保护科学, 2005, 31(5): 53-55.
- [15] 张文艺,方华,蔡建安,等. 利用集对分析法对马鞍山市大气环境质量进行综合评价方法[J]. 南京理工大学学报, 2003, 27(4): 426-430.
- [16] 彭刚,禹辉煌. 城市环境质量综合评价的集对分析方法[J]. 湖南理工学院学报:自然科学版, 2008, 21(1): 78-82.
- [17] SU M R, YANG Z F, CHEN B. Set pair analysis for urban ecosystem health assessment [J]. Commun Nonlinear Sci Numer Simul, 2009, 14(4): 1773-1780.
- [18] 邓红霞,李存军,朱兵,等. 基于集对分析法的生态承载能力综合评价方法[J]. 长江科学院院报, 2006, 23(6): 35-38.
- [19] 张天文,袁山增. 基于改进 AHP 与集对分析法的防空兵群阵地选择[J]. 指挥控制与仿真, 2008, 30(3): 39-41, 57.
- [20] 舒昌. 集对分析法在中小企业人才选聘中的应用[J]. 桂林航天工业高等专科学校学报, 2006, 11(1): 78-80.
- [21] 潘杰义,杨青青,司公奇. 基于集对分析法的产学研合作创新风险综合评价研究[J]. 科技管理研究, 2008, 28(10): 49-51.
- [22] 覃杰,赵克勤. 联系数在医院医疗质量发展趋势分析中的应用[J]. 中国卫生统计, 2006, 23(6): 502-504.
- [23] 赵克勤. 集对分析及其初步应用[M]. 杭州:浙江科技出版社, 2000.
- [24] 肖云华. 双峰隧道围岩稳定性非线性系统研究[D]. 长春:吉林大学, 2009.

(编辑 魏希柱)