

53-55

Hamming 贴适度模型在膨胀土胀缩等级判定中的应用

李振亮

(本溪冶金高等专科学校·本溪·117022)

p642.114

在膨胀土地区工程地质勘察中,一个重要任务是要判定膨胀土的胀缩等级。而评价方法基本上是采取将各因素实测指标值与条例中规定的各等级界限值进行比较,确定膨胀土的胀缩等级的定性评判方法;建立定量的多指标综合判定评价模型。本文提出一种 Hamming 贴适度判定模型,理论分析和实测资料判定表明,优于灰色聚类模型。

1 Hamming 贴适度判定模型

1.1 建立单因素隶属函数

$$\mu(x) = \begin{cases} 1 & x \leq S_{n1} \\ 1 - \frac{(1-\epsilon)(x-S_{n1})}{S_{im}-S_{n1}} & S_{n1} < x \leq S_{im} \\ \frac{\epsilon \cdot S_{im}}{x} & x > S_{im} \end{cases} \quad (3)$$

式中 x 为各单因素实测指标值; S_{n1} 、 S_{im} 为第 i 个因素的起始和最末两个等级限值; ϵ 为隶属度系数 ($0 \leq \epsilon \leq 1$), 可按式确定:

$$\epsilon = 1 - \exp\left[-\frac{1}{nr} \sum_{i=1}^r \frac{C_i}{S_{im}}\right] \quad (4)$$

式中 $C_i = \max_{1 \leq k \leq p} \{C_{ik} > S_{im}\}$, r 为超标因素的个数(以 S_{im} 为界), n 为参与评价的因素总数。

1.2 确定单项隶属函数

由单项隶属函数公式分别计算出每个膨胀土样的分项隶属度, 记为:

$$C_k = (\mu_{1k}, \mu_{2k}, \dots, \mu_{mk}) \quad k=1, 2, \dots, p \quad (5)$$

m 个等级标准作为特殊膨胀土样计算其各分项隶属度, 记为:

设某膨胀土含有 n 个评价的单项因素, 每个因素分为 m 个胀缩等级, 各等级 n 项因素标准限值向量表示为:

$$S_j = (S_{1j}, S_{2j}, \dots, S_{nj}) \quad j=1, 2, \dots, m \quad (1)$$

待评价的膨胀土样各项实测指标值向量表示为:

$$C_k = (C_{1k}, C_{2k}, \dots, C_{mk}) \quad k=1, 2, \dots, p \quad (2)$$

取各评价因素的 1 级(起始等级)标准限值为评价基准, 建立各单因素的隶属函数, 其公式如下:

$$\underline{S}_j = (\mu'_{1j}, \mu'_{2j}, \dots, \mu'_{mj}) \quad j=1, 2, \dots, m \quad (6)$$

1.3 确定模糊距离

由 Hamming 相对距离公式计算出各等级限值隶属度向量 $\underline{S}_j$ ($j=1, 2, \dots, m$) 与评价基准隶属度向量 $\underline{S}_1$ 之间的模糊距离, 记为 δ_j

$$\delta_j = \|\underline{S}_j - \underline{S}_1\| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\mu'_{ij} - \mu'_{i1}| \quad j=1, 2, \dots, m \quad (7)$$

同理, 计算出各膨胀土样隶属度向量 C_k ($k=1, 2, \dots, p$) 与 $\underline{S}_1$ 之间的模糊距离, 记为 d_k

$$d_k = \|\underline{C}_k - \underline{S}_1\| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\mu_{ik} - \mu'_{i1}| \quad (8)$$

1.4 确定评价等级

用如下公式确定各膨胀土样 C_k ($k=1, 2, \dots, p$) 相对于所有等级标准 S_j ($j=1, 2, \dots, m$) 的贴近度:

$$\langle C_k, S_j \rangle = 1 - |d_k - \delta_j| / \sum_{j=1}^m (1 - |d_k - \delta_j|) \quad k=1, 2, \dots, p \quad (9)$$

由最大贴近原理决定各膨胀土样的评价等级, 即当 $\langle C_k, S_j \rangle = \max_{1 \leq j \leq m} \{\langle C_k, S_j \rangle\}$ 时, 就将膨胀土样 C_k 综合判定为 j 级。

2 应用实例与比较分析

以某工程 10 个膨胀土样实际试验资料作为评判对象(列于表 1), 采用 Hamming 贴近度评判模型进行评价, 膨胀土胀缩等级分为强(S_3)、中(S_2)、弱(S_1) 3 个等级, 各等级分项标准限值列于表 2。

表 1 某工程 10 个膨胀土样 4 项指标实测值

实 测 值 土 样	因 素	F_s (%)	P_p (kPa)	ep_{50} (%)	ep_r (%)
C_1		43	72	0.26	3.82
C_2		117	32	0.12	11.30
C_3		64	72	0.40	3.10
C_4		71	57	0.78	6.81
C_5		67	95	0.79	6.73
C_6		86	99	0.90	8.40
C_7		67	56	0.33	3.60
C_8		37	62	0.35	2.89
C_9		40	128	1.78	4.50
C_{10}		65	38	0.21	4.59

表 2 膨胀土胀缩等级 4 项指标的标准值

因 素	等 级		
	弱(S_1)	中(S_2)	强(S_3)
F_s (%)	50	65	80
P_p (kPa)	45	65	85
ep_{50} (%)	0.2	0.4	0.7
ep_r (%)	2.5	3.5	4.5

由(4)式确定出隶属度系数 $\epsilon=0.35$, 代入(3)式得各单项因素的隶属度计算公式:

$$\mu_{F_s}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 50 \\ 1 - 0.0217(x - 50) & 50 < x \leq 80 \\ 28/x & 80 < x \end{cases}$$

$$\mu_{P_p}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 45 \\ 1 - 0.0163(x - 45) & 45 < x \leq 85 \\ 29.75/x & 85 < x \end{cases}$$

$$\mu_{ep_{50}}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 0.2 \\ 1 - 1.3(x - 0.2) & 0.2 < x \leq 0.7 \\ 0.245/x & x > 0.7 \end{cases}$$

$$\mu_{ep_r}(x) = \begin{cases} 1 & x \leq 2.5 \\ 1 - 0.325(x - 2.5) & 2.5 < x \leq 4.5 \\ 1.575/x & 4.5 < x \end{cases}$$

由各单项隶属函数公式分别计算出膨胀土评价标准中 3 个等级的分项隶属度如下:

$$\underline{S}_1 = (1 \quad 1 \quad 1 \quad 1)$$

$$\underline{S}_2 = (0.675 \quad 0.675 \quad 0.740 \quad 0.675)$$

$$\underline{S}_3 = (0.35 \quad 0.35 \quad 0.35 \quad 0.35)$$

同理计算出 10 个膨胀土样的分项隶属度:

$$\underline{C}_1 = (1 \quad 0.5613 \quad 0.9220 \quad 0.5710)$$

$$\underline{C}_2 = (0.2393 \quad 1 \quad 1 \quad 0.1394)$$

$$\underline{C}_3 = (0.6962 \quad 0.5613 \quad 0.7400 \quad 0.8050)$$

$$\underline{C}_4 = (0.5443 \quad 0.8050 \quad 0.3141 \quad 0.2313)$$

$$\underline{C}_5 = (0.6311 \quad 0.3132 \quad 0.3101 \quad 0.2340)$$

$$\underline{C}_6 = (0.3256 \quad 0.3005 \quad 0.2722 \quad 0.1875)$$

$$\underline{C}_7 = (0.6311 \quad 0.8213 \quad 0.8310 \quad 0.6425)$$

$$\underline{C}_8 = (1 \quad 0.7238 \quad 0.8050 \quad 0.8440)$$

$$\underline{C}_9 = (1 \quad 0.2324 \quad 0.1367 \quad 0.3500)$$

$$\underline{C}_{10} = (0.6745 \quad 1 \quad 0.9870 \quad 0.3431)$$

由(7)式计算出膨胀土 3 个等级标准隶属度向量与评价基准隶属度向量 S_1 之间的 Hamming 相对距离: $\delta_1=0, \delta_2=0.3089, \delta_3=0.65$ 。

由(8)式计算出 10 个膨胀土样隶属度向量与 S_1 之间的 Hamming 相对距离: $d_1=0.2364, d_2=0.4053, d_3=0.2994, d_4=0.7687, d_5=0.6279, d_6=0.7285, d_7=0.2685, d_8=0.1568, d_9=0.5700, d_{10}=0.2489$ 。

由(9)式分别计算出各膨胀土样相对于弱、中、强 3 个等级的模糊贴近度,用矩阵形式表示为:

	S_1	S_2	S_3
C_1	0.3353	0.4072	0.2575
C_2	0.2639	0.4010	0.3351
C_3	0.2993	0.4232	0.2775
C_4	0.1399	0.3268	0.5332
C_5	0.1832	0.3353	0.4815
C_6	0.1531	0.3273	0.5196
C_7	0.3167	0.4155	0.2678
C_8	0.3836	0.3858	0.2306
C_9	0.2071	0.3559	0.4369
C_{10}	0.3280	0.4105	0.2615

根据最大贴近原理确定 10 个膨胀土样的胀缩等级列于表 3。为了便于比较,采用灰色聚类法和按条例直接判定的评价结果也列于表 3。

现将 3 种判定法对膨胀土 10 个样品的判定结果作如下分析。由表 3 可见,除土样 C_2 外,其余 9 个土样 3 种方法判定的结果是相同的,拟合率为 90%。由表 1 知,土样 2 的 4 项实测指标值分别为: $F_s=117\%, P_p=32\text{kPa}, e_{ep}=0.12\%, e_p=11.30\%$, 据表 2 所列各项目评价标准, F_s 和 e_p 两项实测指标值属于强,而 P_p 和 e_{p50} 两项实测指标值则属于弱,综合起来加以考虑,笔者认为土样 C_2 判定为中,较为符合实际。

采用灰色聚类法求得 C_2 对强、中、弱 3 个等级的聚类系数分别为 $\delta_{21}=0.578, \delta_{22}=0.245, \delta_{23}=0.440$, 即 $\delta_{21} > \delta_{23} > \delta_{22}$ 。聚类系数的这种排列次序不合理,因为从一般物理概念出发,最大聚类系数与次最大聚类系数总是应当对应于某相邻的两个等级,两者之间不应该间隔一个等级,即按最大聚类系数 δ_{21} 已经判定为强的情况下,中的聚类系数 δ_{22} 理应大于弱的聚类系数 δ_{23} , 出现 $\delta_{23} > \delta_{22}$ 显然缺乏明确的物理依据。

表 3 某工程 10 个膨胀土样判定结果

判定法	土 样 代 号									
	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6	C_7	C_8	C_9	C_{10}
Hamming 贴近度法	中	中	中	强	强	强	中	中	强	中
灰色聚类法	中	强	中	强	强	强	中	中	强	中
按“条例”	中	中	中	强	强	强	中	中	强	中

相比较,Hamming 贴近度评判法没有这种现象,对各土样计算出的最大贴近度和次最大贴近度均对应相邻的评价等级。

应该指出,按条例直接判定基本上是一种定性分析法,这种方法不能给出每一个评价对象(土样)相对于各不同等级的从属程

度,因此综合评价结果所能提供的可供参考信息量小。而 Hamming 贴近度法利用其最大贴近度信息判定膨胀土样胀缩等级,同时还可以利用次最大贴近度信息对判定为相同等级的不同土样作进一步的比较和分辨,这对提高评价的准确性无疑具有更重要意义。