

路基膨胀土胀缩等级的模糊评判

Fuzzy judgment about the grade of shrink and expansion for the expansive soil in the subgrade

黄 卫 钟 理 钱振东
(东南大学交通学院, 南京, 210096)

文 摘 膨胀土胀缩等级评判是膨胀土地区工程建设的重要工作。本文在分析了现有膨胀土胀缩等级评判方法与标准的基础上, 提出了模糊评判模型, 涉及到的评判指标包括三项间接反映土的胀缩性能指标, 液限、塑性指数 I_p 、缩限 w_s ; 四项直接相关指标, 自由膨胀率 F_s , 膨胀率 P_e , 50 kPa 压力下的膨胀率 e_{p50} 、胀缩总率 e_{ps} 。特殊情况下允许减少若干评判指标, 但间接指标不得少于二项, 直接指标不得少于二项, 在缺乏间接指标时, 直接指标不得少于三项。根据理论分析和大量实测资料建立了每个指标的权重。评判模型已编写了实用的计算机软件, 经计算分析和工程检验, 证实了本文方法的可靠性。

关键词 膨胀土, 模糊数学, 模糊评判, 路基, 道路

中图法分类号 TU 443

作者简介 黄卫, 男, 1961 年生, 工学博士。现任东南大学常务副校长, 教授, 博士生导师, 主要从事高等级公路设计理论与方法、高速公路交通控制与管理方面教学与研究工作。

Huang Wei Zhong Li Qian Zhendong

(Transportation College of Southeast University, Nanjing, 210096)

Abstract The swell-shrink grade judgment of expansive soil is an important work for engineering construction in the expansive soil area. Based on the analysis of the existing swell-shrink grade judgment methods and standards, this paper presents a fuzzy judgment model, including three performance indexes indirectly reflecting the expansion and shrink of soil such as liquid limit, plasticity index I_p and shrink limit, and four direct relative indexes such as free expansion ratio F_s , swell-shrink ratio P_e , swell-shrink ratio e_{p50} under the pressure of 50 kPa and swell-shrink total ratio e_{ps} . The number of judgment indexes can be reduced under special condition, but that of indirect indexes should not be less than two, or that of direct indexes should not be less than three in shortage of indirect indexes. According to the theoretical analysis and experimental data, the weight of each index is established. The useful computer software of the judgment model has been programmed, and the method in the paper is proved credible through the calculation analysis and engineering test.

Key words expansive soil, fuzzy mathematics, fuzzy judgment, subgrade, pavement.

1 引 言 *

膨胀土是一种对环境湿热变化敏感的塑性粘土。它的主要特征是, 颗粒高度分散, 富含亲水性的粘土矿物, 液限大, 胀缩性能大, 吸水膨胀软化, 失水收缩硬裂。在膨胀土地区进行工程建设往往会遇到意想不到的困难和灾害, 国内外工程实践表明, 膨胀土地区修筑高等级公路常常会出现路面开裂、隆起或沉陷, 路堤滑塌、失稳等病害, 特别是雨季可能造成全线整个路面结构的破坏, 大幅度丧失承载能力。因此, 必须对膨胀土的工程特性做全面研究, 采取经济、工程实施方面可行的处理措施, 解决膨胀土地区高等级公路建设问题。评判膨胀土的胀缩等级是进行膨胀土处治的首要任务, 本文借鉴了国内外的评判方法与标准, 提出了膨胀土胀缩等级模糊评判的模型与方法, 并在实际工程中得到应用。取得了良好的效果。

2 国内外评判方法与标准

2.1 膨胀土及评判的意义

膨胀土是颗粒高度分散, 成分以粘土矿物为主, 对环境湿热变化敏感的高液限粘土。其主要特征是: ①粘粒 ($< 2 \mu\text{m}$) 含量超过 30%; ②粘土矿物中伊利石、蒙脱石类强亲水性矿物占主导地位; ③土体含水量增高时, 体积膨胀产生膨胀压力, 土体受热干燥失水时, 体积收缩形成收缩裂缝; ④膨胀、收缩变形可随环境湿热变化往复发生, 导致强度衰减; ⑤属于液限高于 40% 的高液限粘土。

吸水膨胀, 失水收缩是粘性土的共性, 膨胀土是粘性土中的一种, 由此也就自然地产生如何准确地判别区分膨胀土的问题。准确地判别膨胀土是公路工程建设勘察设计中最先遇到和最迫切需要解决的问题。判

* 到稿日期: 1998

别的目的就是要把膨胀土与其它粘性土相区别出来,并对其胀缩等级进行评判。

经验证明,对膨胀土漏判将给工程埋下隐患,造成事故;反之,如将普通土误判为膨胀土,或对其胀缩等级判别有误,将由于采取不必要的工程措施而造成经济浪费。由此可见,膨胀土评判的意义十分重大。

2.2 评判方法与标准

目前,国内外提出可作为判别膨胀土的指标很多,且其中有的已纳入国家或部门标准,但至今仍意见分歧。现有判别指标大体可归纳为两大类:其一是土的物质组成(粘土矿物组成、粒度组成等);其二是土粒与水相互作用所呈现的水理性指标(塑性指数、液限、自由膨胀率、膨胀力等)。目前国内外评判的方法与标准主要有如下几种^[1]:

(1) 按矿物成分分类,蒙脱石和伊利石具有较高的膨胀潜势。以蒙脱石为主的膨胀土,胀缩性较大,对建筑物危害较大;以伊利石为主的膨胀土,胀缩性相对较小。

(2) 按阿太堡界限分类(见表 1)

表 1 膨胀潜势分类

Table 1 Classification for expansive latent tendency of expansive soil

液 限 / %	塑 指 数 / %	膨胀潜势
> 60	> 35	高
50~ 60	25~ 35	中
< 50	< 25	低

(3) 按活性 A_c 分类

$A_c > 1.25$, 属活动性粘土;

$0.75 < A_c < 1.25$, 属一般粘土;

$A_c < 0.75$, 属不活动性粘土。其中 $A_c = I_p / C$, I_p 为塑指(%), C 为粘粒含量(%)。

(4) 按收缩指标分类(见表 2)

表 2 膨胀土体积变化分类

Table 2 Classification on volume variety of expansive soil

缩 限 / %	线 收 缩 / %	体积变化
< 10	> 8	严重
10~ 12	5~ 8	临界
> 12	< 5	不严重

(5) 以附加荷重 0.32 kg/cm^2 时的膨胀量分类,当膨胀量大于 1.5% 时,体积变化严重,当膨胀量为 0.5 ~ 1.5% 时,为临界状态,当膨胀量小于 0.5% 时,体积变化不严重。

(6) 以胶体含量、塑性指数、缩限三个指标综合分类(见表 3)

(7) 我国《膨胀土地区建筑技术规范》(1985) 规定,自由膨胀率大于 40% 可判定为膨胀土,特殊情况

下尚可根据蒙脱石含量占全量的比例确定,当蒙脱石含量大于 7% 时,亦可判定为膨胀土,具体分类方法见表 4。

表 3 膨胀程度分类

Table 3 Classification on expansive grade of expansive soil

胶体含量 / % (< 0.001mm)	塑性指数 / %	缩限 / %	可能的体积变化 / % (从干燥到饱和, 附加荷重 0.07kg/cm ²)	
				膨胀程度
> 28	> 35	< 11	> 30	很高
20~ 31	25~ 41	7~ 12	20~ 30	高
13~ 23	15~ 28	10~ 16	10~ 20	中等
< 15	< 18	> 15	< 10	低

在膨胀土地区的工程地质勘察中,准确地判定膨胀土的胀缩等级,对拟建的道路桥梁工程中的地基处治、路基路面设计具有十分重要的意义。针对膨胀土进行的土工实验中,测得的指标有液限、塑限、自由膨胀率、膨胀力、膨胀量等,如何利用这些指标进行合理地评判,还没有一个公认的、切实可行的方法。目前判定膨胀土的胀缩等级基本上是采用实测指标与条例规定的界限值进行对比的经验性方法,由于影响膨胀土胀缩的指标较多,按各个指标单独评定时,不仅存在着片面性,而且经常在相互之间得出矛盾的结论。

表 4 膨胀土级别

Table 4 The expansive soil grade standard by China construction ministry

自由膨胀率 / %	蒙脱石含量 / %	膨胀土级别
> 100	> 25	强
70~ 100	15~ 25	中
40~ 69	7~ 14	低

膨胀土的胀缩是一个模糊概念,具有一定的模糊性。美国著名的控制专家查德(L·A·Zadeh)教授^[2]提出的模糊集合论为处理这一类没有明确定义或隶属标准的问题提供了有效方法,它用精确的数学方法去描述和研究这些模糊现象。正是由于胀缩具有中介过渡性或亦此亦彼性,本文采用多个指标的模糊数学模型,来作为提高评判胀缩等级准确性的有效途径。

3 模糊数学的基本概念

3.1 隶属函数及隶属度

隶属函数就是模糊集合的特征函数,它的取值范围从普通集{0, 1}的两个值扩大到[0, 1]闭区间内连续值,查德于 1965 年曾给出如下的定义:

设给定论域 U , U 到[0, 1]闭区间的任一映射 μ_A

$$\mu_A: U \rightarrow [0, 1]$$

$$u \rightarrow \mu_A(u)$$

都确定 U 的一个模糊子集 $\tilde{A}$, $\mu_{\tilde{A}}$ 叫 $\tilde{A}$ 的隶属函数, $\mu_{\tilde{A}}(u)$ 叫作 u 对 $\tilde{A}$ 的隶属度。

3.2 最大隶属度原则

集合 U 为模糊子集, $\tilde{A}_1, \tilde{A}_2, \dots, \tilde{A}_n$ 的全集, 对元素 u_0 , 如果它对 $\tilde{A}_i$ 的隶属度较对其它各类的隶属度都大, 则把 u_0 划分为 $\tilde{A}_i$ 类, 这就是最大隶属度原则。

3.3 欧几里得距离

设论域 U 为有限集, 具有 n 个元素, 论域 $\tilde{A}, \tilde{B}$, 为论域 U 的两个模糊子集, 其隶属函数分别为 $\mu_{\tilde{A}}(x), \mu_{\tilde{B}}(x)$, 其绝对欧几里得距离为

$$e(\tilde{A}, \tilde{B}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n [\mu_{\tilde{A}}(x_i) - \mu_{\tilde{B}}(x_i)]^2} \quad (1)$$

加权欧几里得距离为

$$d_w(\tilde{A}, \tilde{B}) = \sqrt{\sum_{i=1}^n W(x_i) [\mu_{\tilde{A}}(x_i) - \mu_{\tilde{B}}(x_i)]^2} \quad (2)$$

其中 $W(x_i) (i = 1, 2, \dots, n)$ 是加于 x_i 上的权数, 最好能满足归一条件, 亦即有

$$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n W(x_i) = 1 \quad (3)$$

3.4 模糊分析设计优选理论与模型

设 n 个方案相对于 m 个因素的相对隶属矩阵

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

再取标准优等方案为

$$\vec{G} = (V_{r1j}, V_{r2j}, \dots, V_{r_{mj}})^T = (g_1, g_2, g_3, \dots, g_m)^T$$

又设 m 项指标的权为

$$\vec{W} = (W_1, W_2, \dots, W_m)^T$$

则第 j 个方案与优等方案的差异可用广义欧几里得距离表示为

$$\vec{d}_j = \sqrt{\sum_{i=1}^m (g_i - r_{ij})^2}$$

由于第 j 个方案 x_j 以隶属度 $A(x_j)$ 隶属“优”模糊集合, 为了更完善地表达第 j 个方案与优等方案的距离, 我们引入加权优距离

$$\bar{D}_j = A(x_j) \sqrt{\sum_{i=1}^m W_i (g_i - r_{ij})^2}$$

取目标函数为

$$\min F(A_j) = \min \sum_{j=1}^n [A^2(x_j) \sum_{i=1}^m W_i (g_i - r_{ij})^2]$$

为求最优解, 命 $\frac{dF(A_j)}{dA_j} = 0$, 得

$$A(x_j) = (d_j^2 \sum_{j=1}^n d_j^2)^{-1}, j = 1, 2, \dots, n$$

4 胀缩等级判定的模糊评判理论模型

4.1 影响胀缩性的实测指标选取

根据《公路土工试验规程》^[1], 膨胀土的土工试验中不仅包括土的常规物理力学指标测试, 更重要的是反映其胀缩特性的指标测试。实验结果所得的指标很多, 如何选取指标具有重要的意义。参照已有的理论成果以及综合前人的工程实践经验, 现总结了如下三点选取原则:

- (1) 根据经验和胀缩关系比较密切;
- (2) 试验指标容易测定, 且测定结果比较稳定;
- (3) 在已有资料的基础上, 尽量多选用以免遗漏重要的因素。

据此, 选取了如下 7 项指标: ①液限 w_L ; ②塑性指数 I_p ; ③缩限 w_s ; ④自由膨胀率 F_s ; ⑤膨胀率 P_e ; ⑥ 50 kPa 压力下的膨胀率 e_{p50} ; ⑦胀缩总率 e_{ps} 。

这 7 项指标中, 前 3 项由土的物理实验得出, 可间接反映土的胀缩性能, 称之为间接指标; 后 4 项由土的膨胀实验得出, 直接与土的胀缩性能相关, 称之为直接指标。这 7 项指标均可在土工试验室内测得。

4.2 权重的确定

权重的确定可采用专家评判给分的方法, 这虽然会有一定的主观性, 但是却反映了大量的经验积累。本文拟从理论分析入手, 并借助有关文献资料提供的实测数据进行参考和验证。在 7 项指标中, 直接指标较间接指标对土的胀缩性能影响大, 因而不能采用同一权重。在满足式(3)的前提下, 每个直接指标的权重为 $0.65 \times (M_1 + M_2) / M_1$, 每个间接指标的权重为 $0.35 \times (M_1 + M_2) / M_2$, 其中 M_1, M_2 分别为直接指标与间接指标的个数, 且各个直接指标(或间接指标)的权重是相同的。

由于在进行土工试验中, 不一定能得到全部 7 项指标的实测值, 本文认为可以适当少选几项指标, 但应满足如下两项要求之一:

- (1) 根据实际情况, 三项间接指标不能少于两项, 且四项直接指标至少应取两项, 即 $M_1 \geq 2$ 且 $M_2 \geq 2$;
- (2) 未测间接指标时, 直接指标至少取 3 项, 即 $M_1 \geq 3$ 。

4.3 模糊评判模型的建立

设有待测定的 n 个膨胀土样品, 以 m 项影响膨胀土胀缩的实测指标来对每个样品的胀缩等级进行判

定, 其中直接指标 M_1 项, 间接指标 M_2 项, 对 n 个样品的 m 项实测指标值, 有实测指标矩阵

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & x_{12} & \cdots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \cdots & x_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ x_{m1} & x_{m2} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} = (x_{ij}) \quad (4)$$

式中 x_{ij} 为样品 j 指标 i 的实测值; $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。

样品 j 依据 m 项指标值, 按 c 个等级膨胀土级别标准值进行判定, 则有膨胀土 c 级标准指标值矩阵

$$Y = \begin{bmatrix} y_{11} & y_{12} & \cdots & y_{1c} \\ y_{21} & y_{22} & \cdots & y_{2c} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ y_{m1} & y_{m2} & \cdots & y_{mc} \end{bmatrix} = (y_{ih}) \quad (5)$$

式中 y_{ih} 为级别 h 指标 i 的标准值; $h = 1, 2, \dots, c$ 。

因 m 项指标的量纲不尽相同, 对矩阵 X, Y 需进行规格化, 规格化公式有如下两种:

(1) 越大越优型

$$r_{ij} = \begin{cases} 1, & x_{ij} \geq y_{i1} \\ \frac{x_{ij} - y_{ic}}{y_{i1} - y_{ic}}, & y_{i1} > x_{ij} > y_{ic} \\ 0, & x_{ij} \leq y_{ic} \end{cases} \quad (6)$$

$$S_{ih} = \frac{y_{ih} - y_{ic}}{y_{i1} - y_{ic}} \quad (7)$$

(2) 越小越优型

$$r'_{ij} = \begin{cases} 1, & x_{ij} \leq y_{i1} \\ \frac{y_{i1} - x_{ij}}{y_{i1} - y_{ic}}, & y_{i1} < x_{ij} < y_{ic} \\ 0, & x_{ij} \geq y_{ic} \end{cases} \quad (8)$$

$$S'_{ih} = \frac{y_{i1} - y_{ih}}{y_{i1} - y_{ic}} \quad (9)$$

式中 r_{ij}, r'_{ij} 为样品 j 指标 i 的规格化数, $0 \leq r_{ij} \leq 1$; s_{ih}, s'_{ih} 为级别 h 指标 i 的规格化数, $0 \leq s_{ih} \leq 1$; y_{i1}, y_{ic} 为膨胀土指标 i 的 1 级, c 级(未级)标准值。

用规格化公式(6)~(9)分别将矩阵 X, Y 变换为实测指标与标准指标规格化矩阵

$$\tilde{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \cdots & r_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \cdots & r_{mn} \end{bmatrix} = (r_{ij}) \quad (10)$$

$$\tilde{S} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} & \cdots & S_{1c} \\ S_{21} & S_{22} & \cdots & S_{2c} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ S_{m1} & S_{m2} & \cdots & S_{mc} \end{bmatrix} = (S_{ij}) \quad (11)$$

根据矩阵 $\tilde{R}$ 可知样品 j 的 m 个实测指标规格化数为

$$\vec{r}_j = (r_{1j}, r_{2j}, \dots, r_{mj})^T \quad (12)$$

将 $\vec{r}_j$ 中实测指标 i ($i = 1, 2, \dots, m$) 的规格化数 r_{ij} 分别与矩阵 $\tilde{S}$ 中指标 i 的标准指标规格化数 s_{ih} ($h = 1, 2, \dots, c$) 逐个作比较, 若 $\vec{r}_j$ 落入矩阵 $\tilde{S}$ 内的最小级别为 a_j , 最大级别为 b_j , 显然应有

$$1 \leq a_j \leq b_j \leq c \quad (13)$$

将 n 个膨胀土样品依据 m 项实测指标, 按 c 个级别标准加以判定, 设模糊判定矩阵为

$$\tilde{U} = \begin{bmatrix} u_{11} & u_{12} & \cdots & u_{1n} \\ u_{21} & u_{22} & \cdots & u_{2n} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ u_{c1} & u_{c2} & \cdots & u_{cn} \end{bmatrix} = (u_{hj}) \quad (14)$$

式中 u_{hj} 为样品 j 隶属于级别 h 的隶属度, $0 \leq u_{hj} \leq 1$ 。

模糊判定矩阵 $\tilde{U}$ 应满足约束条件

$$\sum_{h=a_j}^{b_j} u_{hj} = 1 \quad (15)$$

设 m 项指标的权向量为

$$\vec{W} = (w_1, w_2, \dots, w_m)^T \quad (16)$$

则样品 j 与级别 h 之间的差异可用广义欧几里得距离表示为

$$d_{j,h} = \sqrt{\sum_{i=1}^m w_i (r_{ij} - s_{ih})^2} \quad (17)$$

根据模糊数学中隶属度可定义为权重的论点, 样品 j 与级别 h 的广义欧几里得距离乘以样品 j 隶属于级别 h 的隶属度 u_{hj} , 更完善地表达出样品 j 与级别 h 之间的差异, 则有

$$D_{j,h} = u_{hj} \sqrt{\sum_{i=1}^m w_i (r_{ij} - s_{ih})^2} \quad (18)$$

为求解最优模糊判定矩阵, 建立目标函数

$$\min \{ F(u_{hj}) = \sum_{h=a_j}^{b_j} D_{j,h}^2 = \sum_{h=a_j}^{b_j} u_{hj}^2 \sum_{i=1}^m w_i (r_{ij} - s_{ih})^2 \} \quad (19)$$

根据目标函数(19)与约束条件(15)构造拉格朗日函数, 从而可求解得到最优模糊判定矩阵 $\tilde{U}$, 其元素——样品 j 对级别 h 的最优隶属度为

$$\begin{aligned} u_{hj} &= [d_{j,h}^2 \sum_{k=a_j}^{b_j} d_{j,k}^{-2}]^{-1} \\ &= \{ [\sum_{i=1}^m w_i (r_{ij} - s_{ih})^2] \cdot \sum_{k=a_j}^{b_j} [\sum_{i=1}^m w_i (r_{ij} - s_{ik})^2]^{-1} \}^{-1} \end{aligned} \quad (20)$$

其中, $a_j \leq h \leq b_j, d_{j,h} \neq 0$ (即 $r_{ij} \neq s_{ih}$)

特殊情况下, 当 $d_{j,h} = 0$ 时, 即 $r_{ij} = s_{ih}$, 则应有 $u_{hj} = 1$; 当 $h < a_j$ 或 $h > b_j$ 时, 根据约束条件(15), 显然应有 $u_{hj} = 0$ 。

综合起来, 得到膨胀土胀缩等级模糊判定理论模型的完整形式为

$$u_{hj} = \begin{cases} 0 & (\text{当 } h < a_j \text{ 或 } h > b_j) \\ \{ [\sum_{i=1}^m w_i (r_{ij} - s_{ih})^2] \cdot \sum_{k=a_j}^{b_j} [\sum_{i=1}^m w_i (r_{ij} - s_{ih})^2]^{-1} \}^{-1}, & (a_j \leq h \leq b_j, r_{ij} \neq s_{ih}) \\ 1 & (r_{ij} = s_{ih}) \end{cases}$$

(21)

该判定模型已用 Fortran77 语言编制了计算程序 PJSSG, 程序框图见图 1。

5 实例验证及在宁连一级公路工程中的应用

5.1 实例验证

某工程膨胀土试验资料^[4]列于表 5, 膨胀土胀缩等级分为 3 级: (1) 强 (2) 中 (3) 弱, 其评判标准值列于表 6。

由表 6 知, $M_1 = 4, M_2 = 0$, 建立数据文件, 通过 PJSSG 程序的评判, 可得到全体土样对膨胀土胀缩各个级别的最优模糊判定矩阵

$$U = \begin{bmatrix} 0.119 & 0.238 & 0.051 & 0.484 & 0.822 & 1.000 & 0.046 & 0.000 & 0.448 & 0.161 \\ 0.618 & 0.524 & 0.881 & 0.407 & 0.178 & 0.000 & 0.867 & 0.463 & 0.403 & 0.553 \\ 0.263 & 0.238 & 0.068 & 0.109 & 0.000 & 0.000 & 0.087 & 0.537 & 0.149 & 0.285 \end{bmatrix}$$

(22)

表 5 某工程膨胀土 10 个样品 4 项指标实测值

Table 5 The four experimental values on the ten expansive soil samples

指 标	样 品 序 号									
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
$F_s/\%$	43	117	64	71	67	86	67	37	40	65
P_c/kPa	72	32	72	57	95	99	56	62	128	38
$E_{ps0}/\%$	0.26	0.12	0.40	0.78	0.79	0.90	0.33	0.35	1.78	0.12
$E_{ps}/\%$	3.82	11.30	3.10	6.81	6.37	8.40	3.60	2.89	4.50	4.59

表 6 膨胀土胀缩等级 7 项指标的标准值

Table 6 The Standard of seven indexes about the grade of shrink and expansion for expansive soil

级别	指 标						
	液限 W_L / %	塑指 I_p / %	缩限 W_s / %	自由膨胀率 $F_s/\%$	膨胀力 P_c/kPa	50 kPa 下膨胀率 $e_{ps0}/\%$	胀缩总率 $e_{ps}/\%$
强	60	35	12	80	85	0.7	4.5
中	50	30	13.5	65	65	0.4	3.5
弱	40	25	15	50	45	0.3	2.5

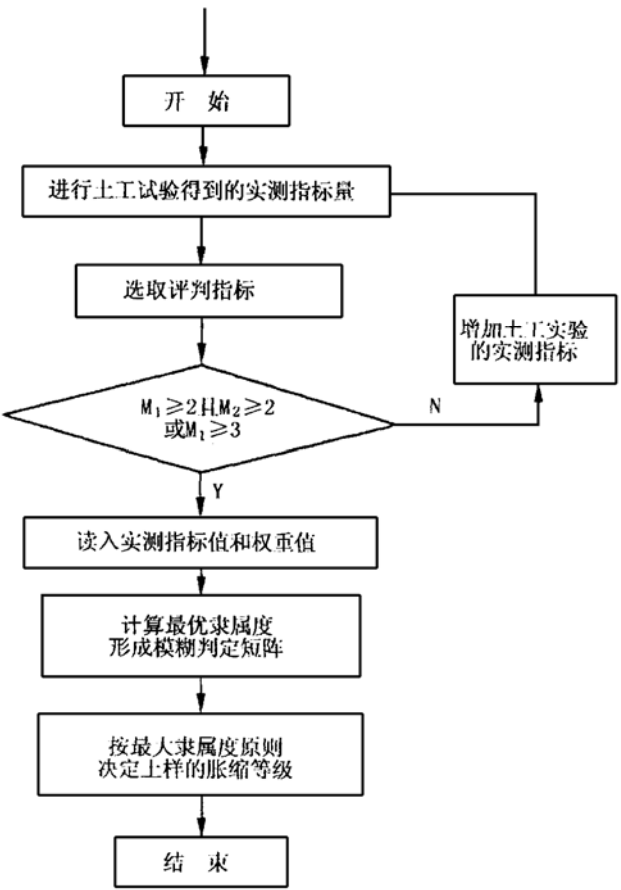


图 1 膨胀土胀缩等级模糊评判计算框图

Fig. 1 Computation framework of fuzzy judgment about the grade of shrink and expansion for expansive soil

表 7 某工程膨胀土胀缩等级判定与比较

Table 7 The judgement and comparison of the shrink and expansion of a expansive soil

判定方法	样 品 序 号									
	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
(1) 本文	中	中	中	强一中	强	强	中	弱一中	强一中	中
(2) 条例	中	中	中	强	强	强	中	中	强	中

表 8 宁连一级公路淮阴路段 2 个典型土样 5 项实验

Table 8 The five experimental values of two expansive soil samples from Nanjing —Lianyungang highway

土 样	指 标				
	液限 $W_L/\%$	缩限 $W_s/\%$	塑指指数 $I_p/\%$	自由膨胀率 $F_s/\%$	膨胀力 P_e/kPa
黄色土	49.6	15.6	27.3	50	58.33
黑色土	61.8	12.5	29.3	72	59.58

按照最大隶属度原则, 兼顾较大隶属度, 由最优模糊矩阵得到某工程膨胀土胀缩等级的判定结果列于表 7(1) 栏内, 表 7(2) 栏内列出了《广西膨胀土地区工业与民用建筑勘察、设计、施工和维护条例》(以下简称条例) 判定的结果。

按条例判定基本上属于定性分析法, 不能给出膨胀土各胀缩等级从属程度, 表达的信息量较少, 而本文这种方法理论分析严谨, 物理概念清晰, 应用简便且易于判定。

5.2 宁连路淮阴段路基膨胀土胀缩等级评判

宁连一级公路淮阴段路基中的黄色土和黑色土, 均具有不同程度的胀缩性, 首先, 必须对这两种土的胀缩等级作出评价, 才能进一步研究相应的处治措施。通过对土样进行土工试验, 得到表 8 的结果。

由表 9 知, $M_1=2$, $M_2=3$, 建立数据文件, 通过 PJSSG 程序的评判, 可得到两个典型土样对膨胀土胀缩各个级别的最优模糊判定矩阵

$$U = \begin{bmatrix} 0.000 & 0.387 \\ 0.433 & 0.517 \\ 0.567 & 0.096 \end{bmatrix} \quad (23)$$

按照最大隶属度原则, 兼顾较大隶属度, 可判定黄色土的胀缩性等级为“弱一中”级, 黑色土的胀缩性等级为“中一强”级。在对路基膨胀土的胀缩等级作出准确的评价后, 才能进一步对路基的膨胀量进行预测计

算, 并对其采取合理的处治措施。

6 结 论

(1) 利用膨胀土的物理力学指标和胀缩特性指标, 并结合模糊数学的知识, 提出了膨胀土胀缩等级评判的模糊评判的理论模型, 该模型选用了液限、塑性指数、缩限、自由膨胀率、膨胀率、50 kPa 压力下的膨胀率、胀缩总率等七项指标。并根据分析和试验结果建立了每个指标的权重。

(2) 在测试数据不足的情况下, 该模糊评判模型仍可使用, 论文具体规定了可以缺省的评价指标及相应的评判方法。

(3) 根据评判模型, 编制了相应的计算机软件, 通过已有案例的分析和工程实际的应用, 检验和证明了本文方法的可靠性。

参 考 文 献

1

Chen F H. Foundations on expansive soils, Elsevier Scientific Publishing Company

2

黄崇福, 王家鼎. 模糊信息优化处理技术及其应用. 北京: 北京航空航天大学出版社, 1995 年 2 月

3

中华人民共和国交通部标准. 公路土工试验规程 JTJ051-93. 北京: 人民交通出版社, 1993

4

梁俊勋. 用灰色聚类法评判膨胀土胀缩等级的初步尝试. 工程勘察, 1992, (2)