

膨胀土分类方法研究

孟庆云, 杨果林

(中南大学土木建筑学院 长沙市 410075)

摘 要: 膨胀土胀缩等级的确定是膨胀土地区工程建设的重要工作。对国内外现有膨胀土的分类方法进行了综述, 通过对现有膨胀土分类方法的对比, 指出了各种膨胀土分类方法的优缺点。同时通过室内试验, 采用标准吸湿含水率对常张高速公路和南友高速公路地区的膨胀土进行了重新分类, 为今后在这些地区的工程建设提供了参考数据。

关键词: 膨胀土; 分类方法; 研究

膨胀土是在自然地质过程中形成的一种多裂隙并具有显著膨胀特性的土体, 它的成分主要由强亲水矿物(蒙脱石和伊利石)组成。膨胀土吸水膨胀、失水收缩, 并具有反复变形的性质以及土体中杂乱分布的裂隙, 对工程结构物具有严重的破坏作用^[1]。工程实践表明, 对膨胀土漏判将埋下隐患, 给工程活动带来危害; 反之, 如将普通土误判为膨胀土或对其胀缩等级判别有误, 则造成巨大经济损失。故对膨胀土胀缩等级的分类研究显得极为重要, 一直受到工程界的重视, 它也是治理膨胀土的首要任务。

现时, 国内外对膨胀土的分类方法很多, 所选择的指标和标准也不统一, 不同的研究者提出了不同的标准, 归纳起来主要有以下几种。

1 国外、国内对膨胀土分类方法的研究^[2,3]

1.1 印度对黑棉土的判别分类标准

他们将膨胀土分为 4 个等级, 采用的评判指标为塑性指数、收缩指数、胶粒含量、液限、膨胀率、膨胀势、差分自由膨胀率, 其分类方法如图 1 所示。

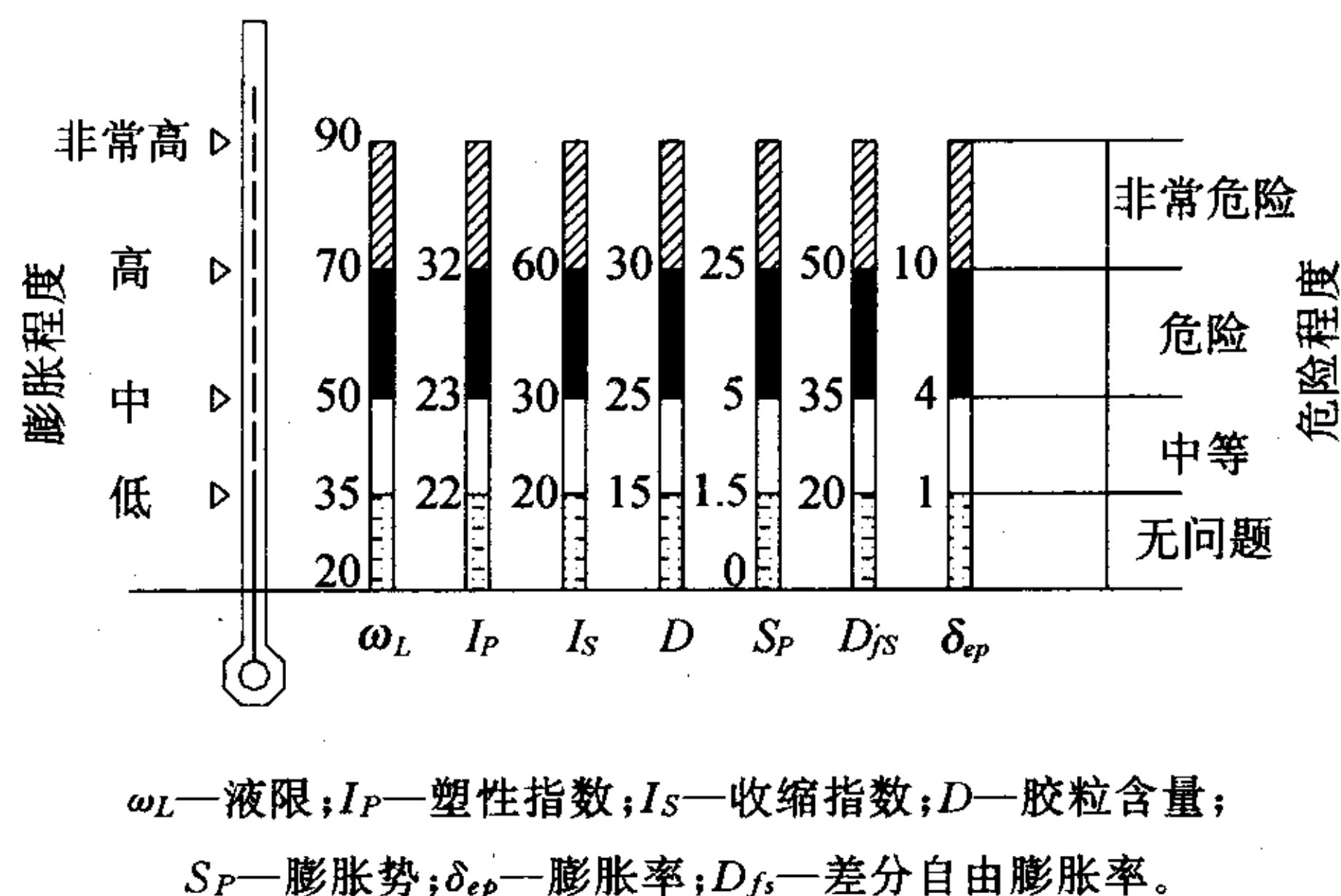


图 1 印度对黑棉土的判别分类标准

1.2 南非威廉姆斯对膨胀土的分类

采用塑性指数及小于 $2\mu\text{m}$ 颗粒的成分含量作为评判指标, 对膨胀土分为极高、高、中等、低等 4 级。具体标准如图 2 所示。

1.3 美国对膨胀土分类方法的研究

美国垦务局将膨胀土等级分为 4 级, 评判指标为塑性指数、缩限、膨胀体变和粒径小于 0.001mm 胶粒的含量(表 1)。

收稿日期: 2005-12-19

的效果, 防渗墙施工完毕后, 水库蓄水情况开始正常。通过开挖检查墙体, 工程质量优良。施工所出现的管道堵塞变形也得到了合理的处理。通过该项目施工, 说明采用单管旋喷工艺处理存在复杂地下管线等建筑物的道路地基工程是可行的, 但在设计时

应根据地下管线等建筑物的具体情况合理选定施工参数, 并精心施工, 避免对地下已建工程产生破坏。特别是正在使用的地下建筑物, 一旦被破坏, 后果可能非常严重, 处理重建的难度也非常大, 并造成无法挽回的经济损失。

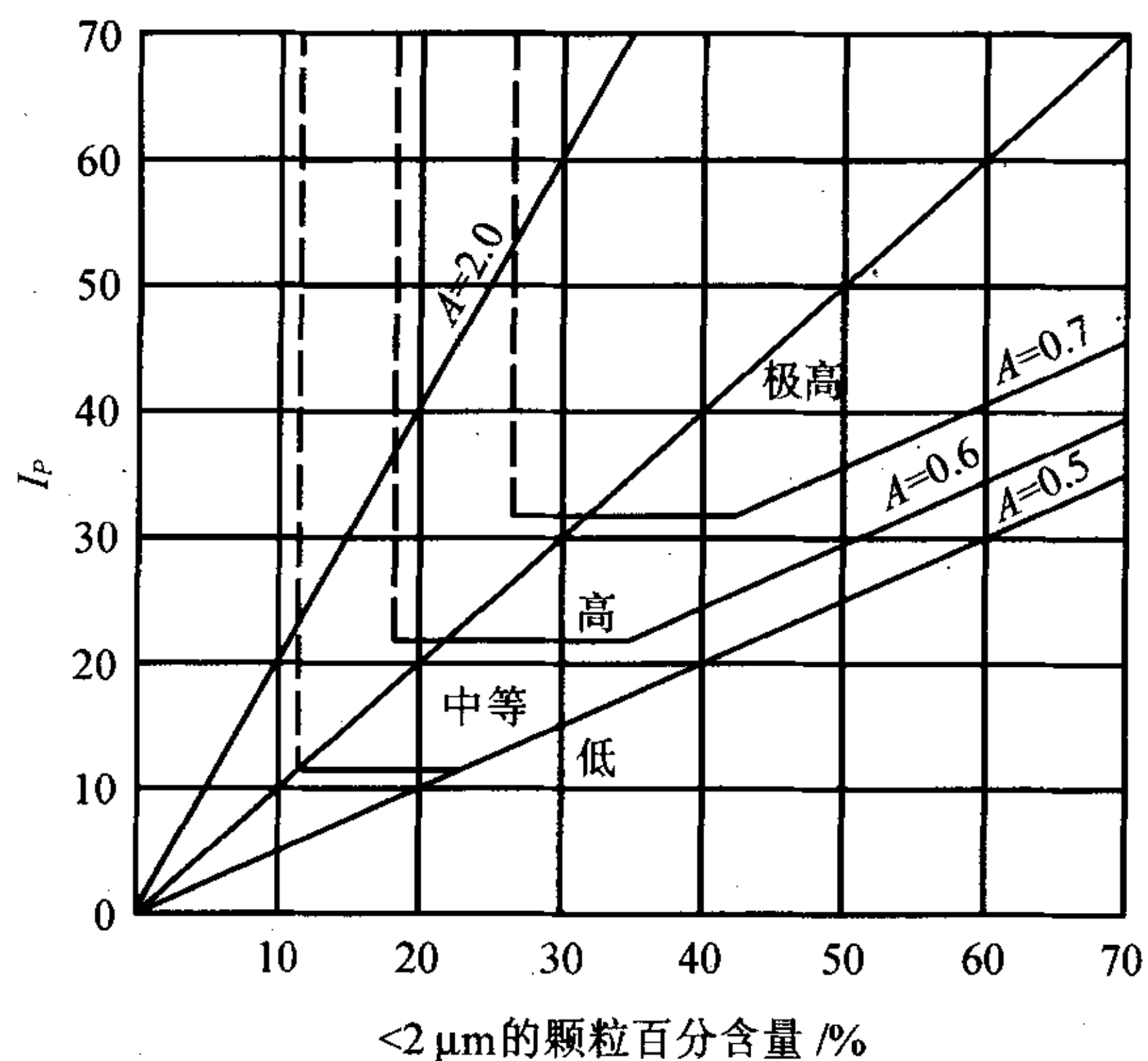


图2 威廉姆斯对膨胀土的分类标准

表1 美国膨胀土的分类标准

膨胀程度	塑性指数 I_p	缩限 ω_s %	膨胀体变 δ_p %	胶粒的含量/%
特强	>35	<11	>30	>28
强	25~41	7~12	20~30	20~31
中等	15~28	10~16	10~20	13~23
弱	<18	>15	<10	<15

1.4 柯尊敬标准^[2]

采用最大线缩率、最大体缩率和最大膨胀率作为评判指标，将膨胀土分为4个等级(表2)。

表2 柯尊敬膨胀土分类标准

等级	弱膨胀土	中膨胀土	强膨胀土	极强膨胀土
线缩率/%	2~5	5~8	8~11	>11
体缩率/%	8~16	16~23	23~30	>30
膨胀率/%	2~4	4~7	7~10	>10

1.5 李生林的塑性图分类法^[4]

如图3所示，该方法以液限和塑性指数为评判指标，将膨胀土分为弱、中、强等3类。

1.6 小结

综上所述，对于膨胀土胀缩等级的判别采用单个或少数几个判别指标进行判别的传统方法简便易得，已被工程设计单位广泛采用。但是，由于影响膨胀土胀缩的因素多，且这些指标在获取时具有一定的片面性、随机性和不确定性，故上述方法不能全面地反映膨胀土特性，有时甚至会出现误判，且不同方法常常会得出矛盾的结论。

为了弥补以上缺陷，人们引入模糊数学判别法、

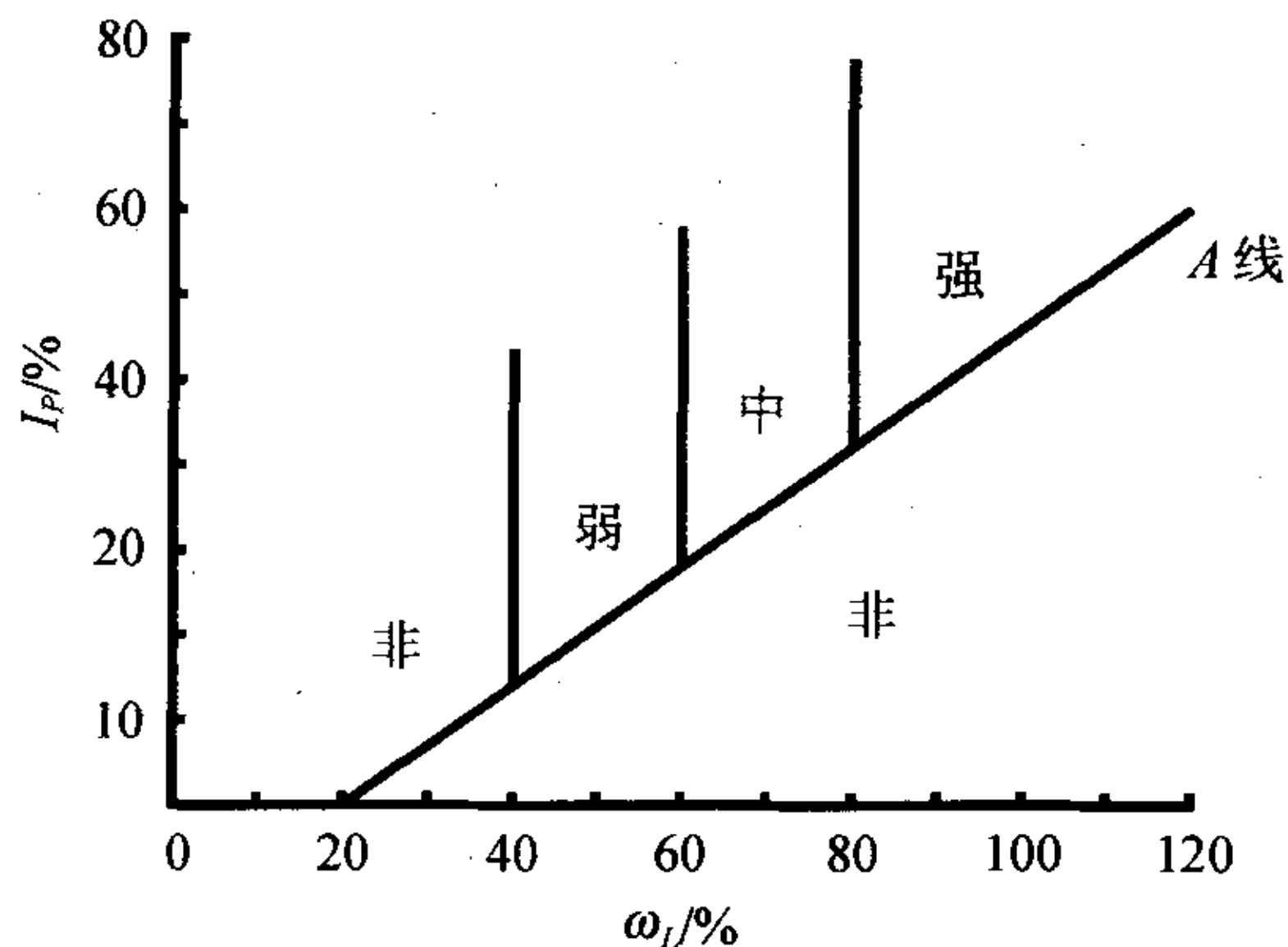


图3 李生林的塑性图分类法

灰色聚类法、神经网络模型以及可拓学理论等用于膨胀土的判别，取得了不错的效果。

2 模糊数学判别法^[2,4,5]

膨胀土是个复杂的土体，它的胀缩性及其危害取决于许多因素。模糊数学的出现弥补了传统方法的局限性，它将实验室里的判别指标和现场宏观特征结合起来，采用多个指标判别模型，避免了用单因子判别的缺陷。

应用模糊数学判别膨胀土的基本思路和步骤如下。

(1)特征因素集和评判结果集的确定。

设 $D=\{d_1, d_2, d_3, \dots, d_n\}$ 为特征因素集。影响膨胀土胀缩因素很多，有些岩土专家认为，与分类有关的主要指标是自由膨胀率(δ_{ep})、胀缩总率(δ_{ps})、膨胀力(P_e)、塑性指数(I_p)、液限(ω_L)和天然含水量(ω)等，这些特征因素基本反映了膨胀土的物质成分与结构特征，也能反映气候、地下水位等因素的影响。

设 $F=\{f_1, f_2, f_3, \dots, f_n\}$ 为评判结果集。现在国内外一般将膨胀土级别分为3级或4级。

(2)在现场观察、工程试验和实践的基础上，综合得出 D 集合上的膨胀土胀缩等级指标。

(3)给出适当的隶属度 P_i 及权数 g_i 。

应用模糊数学进行判别，隶属度 P_i 是一个关键，它反映了膨胀土胀缩性的强弱程度。权数 g_i 是人为给定的，它是指各判别指标对胀缩性贡献的大小。

(4)根据模糊关系的定义和已给 P_i 、 g_i 值，得出 D 到 F 的模糊关系矩阵 U 。

$$U = \begin{bmatrix} g_1 P_1 & g_2 P_1 & \cdots & g_n P_1 \\ g_1 P_2 & g_2 P_2 & \cdots & g_n P_2 \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ g_1 P_m & g_2 P_m & \cdots & g_n P_m \end{bmatrix}$$

(5)通过线性插值修正模糊关系矩阵 U ,既而求得膨胀土胀缩等级评定表,该表即可作为膨胀土胀缩等级的评判依据。

综上所述,模糊数学判别法不仅简单、易于掌握,而且提高了判别的准确性,加快了评判速度。但是模糊数学在分析过程中,需要人为确定一些计算参数,评价指标采用了某一确定值,实际却为区间值,对不同胀缩等级区别也不能具体反映。

3 灰色聚类法在膨胀土分类中的应用^[6,7]

灰色聚类是将聚类对象对于不同聚类指标所拥有的白化数,按几个灰类进行归纳,以判断该聚类对象属于哪一类。

用 A, B, C, \dots 表示聚类对象,用 D 表示分类指标集合,即 $D=[d_1, d_2, d_3, \dots, d_n]$ 。每个指标因素有 m 个状态集,共有 n 个指标因素,则原始数据的样本矩阵为:

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

其具体的判别思路和步骤如下。

(1)分析影响分类因素,选择几个因素作为分类指标,并确定各指标的极性。所选择的指标既要反映膨胀土特性,又必须与不同类型的工程相结合,使其能适应生产的需要。一般取自由膨胀率(δ_{ep})、胀缩总率(δ_{ps})、膨胀力(P_e)、塑性指数(I_p)、液限(ω_L)和天然含水量(ω)等作为评判指标。

(2)在现场观察、试验、工程实践等基础上,得出膨胀土胀缩等级指标。

(3)构造各指标的白化权函数及权系数的计算公式。一般白化权函数分为3种基本类型,其数学模型如下。

假设:高类下限为 H ,中类中限为 Z ,低类上限为 L ,并记为 d_{ij} (i 代表指标分类, j 为指标值)。则灰类白化权函数及类别权系数计算公式如下。

①高类型。

$$f_1(ij) = \begin{cases} 1 & d_{ij} \geq H \\ \frac{d_{ij}-Z}{H-Z} & Z < d_{ij} < H \\ 0 & d_{ij} \leq Z \end{cases}$$

②中类型。

$$f_1(ij) = \begin{cases} 0 & d_{ij} \geq H \\ \frac{H-d_{ij}}{H-Z} & Z < d_{ij} < H \\ 1 & d_{ij} = Z \\ \frac{d_{ij}-L}{Z-L} & L < d_{ij} < Z \\ 0 & d_{ij} \leq L \end{cases}$$

③低类型。

$$f_1(ij) = \begin{cases} 1 & d_{ij} \leq L \\ \frac{Z-d_{ij}}{Z-L} & L < d_{ij} < Z \\ 0 & d_{ij} \geq Z \end{cases}$$

(4)赋予各指标权重并计算权系数矩阵。将自由膨胀率(δ_{ep})、胀缩总率(δ_{ps})、膨胀力(P_e)、塑性指数(I_p)、液限(ω_L)和天然含水量(ω)等指标的类别界限值代入白化权函数及权系数计算公式,并代入各样品指标值,即可得权系数矩阵。

(5)将计算所得的权系数矩阵的对应值进行加权平均,可得综合权系数矩阵,然后根据各样品行向量最大值判别各样品所属灰类。

灰色聚类使膨胀土分类数学化、定量化,对解决在膨胀土多因子分类中,由于指标交叉而不能归类的问题有其优越性。但是,灰色聚类法需要人为确定灰数与功效函数,因此这类评判方法也摆脱不了评判专家主观上的不确定性、认识上的模糊性以及评判过程中的随机性。

另外,还有一些研究学者如南京建筑工程学院的陈新民^[8]采用灰关联分析理论,中国地质大学的易顺民^[9]采用BP神经网络系统,长安大学的张白一、赵祥模^[10]引入Kohonen神经网络模型,合肥工业大学的汪明武等^[11]采用可拓学理论对膨胀土进行分类,他们均采用多个指标进行判别分类,并用权重描述各指标对膨胀土判别分类的重要性,并应用于实际的工程中,取得了良好的效果。这些方法对其他综合评价工作也有一定的借鉴意义。

4 用标准吸湿含水率对南友和常张高速公路膨胀土进行分类^[12]

中国科学院武汉岩土力学研究所姚海林、杨洋和中交第二公路勘测设计研究院的程平、吴万平等人,提出了标准吸湿含水率的概念。通过试验结果发现,土壤的标准吸湿含水率与膨胀土中的蒙脱石含量、比表面积、阳离子交换量之间是线性关系,反映了膨胀土的本质属性。其膨胀潜势的分级如表3

所列。

表 3 采用标准吸湿含水率对膨胀土分类

分类指标	弱	中	强
标准吸湿含水率/%	2.5~4.8	4.8~6.8	>6.8

4.1 标准吸湿含水率的定义

膨胀土的标准吸湿含水率为在标准条件下(温度为 $25^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$, 相对湿度为 $60\% \pm 3\%$), 膨胀土从天然含水量脱湿至平衡后的含水量。

4.2 膨胀土试样简介

(1) 常张高速公路慈利东互通膨胀土土样。

取样位置在慈利县零阳镇万福村(慈利县服装厂东面山坡上), 土样描述情况是: 黄褐色(稍干时), 褐红色(湿土时), 未扰动时, 土样保留原岩块状结构, 且解理裂隙发育; 完全扰动后成碎土状, 可见小块, 块径在 2 cm 左右居多, 块面上可见淋滤有黑色铁质薄膜; 裂隙和解理发育, 湿土的断面可见腊状光泽。

(2) 南友路宁明地段膨胀土土样。

广西南宁明膨胀土为东西构造断层盆地, 沉积了厚约 1 500 m 的始新统那读组(Ny)湖相粘土岩、泥质粉砂岩及少部分砂岩, 土样自然状态下呈高度分散性; 矿物成分中含一定数量的蒙脱石; 土的交换性盐基离子成分以 Mg^{2+} 离子为主; 颗粒团聚体的定向排列及存在延续性强, 发育有良好的层间裂隙。

4.3 试验结果整理(表 6、7)

表 6 常张路试验处理表格

编号	A66	A19	A59	A45	A92
W_0/g	6.793	6.773	6.971	7.214	6.857
W_2/g	10.700	10.665	10.887	11.139	10.755
W_3/g	10.537	10.506	10.722	10.977	10.589
$\omega/\%$	4.35	4.26	4.40	4.31	4.45
ω 平均值/%	4.35(据此可以判断土样为弱膨胀土)				

表 7 南友路试验处理表格

编号	A01	A88	A53	A77	A43
W_0/g	7.046	6.863	6.848	6.458	7.079
W_2/g	11.000	10.771	10.640	10.309	10.645
W_3/g	10.780	10.549	10.432	10.094	10.444
$\omega/\%$	5.89	6.03	5.80	5.91	5.97
ω 平均值/%	5.92(据此可以判断土样为中等膨胀土)				

按下式计算标准吸湿含水量:

$$\omega_a = \frac{W_2 - W_3}{W_2 - W_0}$$

式中: ω_a 为标准吸湿含水量, %; W_0 为干燥铝盒的质量, g; W_2 为铝盒与恒定湿土总质量, g; W_3 为烘干后试样的质量, g; $W_2 - W_3$ 为最大吸湿水量, g; $W_3 - W_0$ 为试验干土质量, g。

5 结语

膨胀土胀缩等级的评判是一个复杂的问题, 它受诸多因素的影响和控制, 且随时间地点而变异。本文通过查阅大量资料和室内试验, 综合评述了国内外关于膨胀土分类方法。各工程和设计单位要根据具体的实际工程, 选择适合的判别方法, 只有把膨胀土进行正确的分类, 并结合工程的实际情况, 才能找到一个实用而有效的膨胀土处理措施。

参考文献:

- [1] 阎国平, 胡举印, 应国刚. 膨胀土性质及分类综述[J]. 交通科技与经济, 2004, (3).
- [2] 刘特洪. 工程建设中膨胀土问题[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [3] VAN DER MERWE D H. The prediction of heave from the plasticity index and percentage clay fraction of soils [J]. The Civil Engineer S Africa Inst Civ Engrs, 1964, (6).
- [4] 李生林, 等. 中国膨胀土工程地质研究[M]. 南京: 江苏科学技术出版社, 1992.
- [5] 蔡奕, 等. GIS 环境下膨胀土胀缩等级的模糊数学评判[J]. 工程勘察, 2002, (2).
- [6] 李玉花, 冯晓腊, 严应征. 灰色聚类法在膨胀土分类中的应用[J]. 岩土力学, 2003, (4).
- [7] 王学萌, 张继忠, 王荣. 灰色系统分析及实用计算程序[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 1992.
- [8] 陈新民. 膨胀土判别和分类的灰色关联法[J]. 岩土力学, 1996, 17(4).
- [9] 易顺民, 同珍. 膨胀土判别与分类的人工神经网络方法[J]. 地质科技情报, 1995, (9).
- [10] 张白一, 赵祥模. 神经网络模型在膨胀土膨胀潜势分类中的应用[J]. 交通与计算机, 2003, (6).
- [11] 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, (11).
- [12] 姚海林, 等. 膨胀土壤标准吸湿含水率及其试验方法[J]. 岩土力学, 2004, (6).

文章编号: 0451-0712(2006)07-0011-03

中图分类号: U416.1

文献标识码: B

退火遗传算法在边坡稳定性分析中的应用

贺咏梅^{1,2}, 王 珣¹, 张 斌^{1,3}

(1. 成都理工大学环境与土木工程学院 成都市 610059; 2. 布鲁克成都工程有限公司 成都市 611731;
3. 四川公路设计研究院 成都市 610041)

摘 要: 在边坡稳定性分析中, 常规方法诸如逐点扫描法受自身的局限, 难以寻找到最危险的滑动面且易受人为因素的影响。将退火法与遗传算法相结合, 既发挥了遗传算法强大的全局搜索能力, 同时又利用退火法加强了遗传算法的局部求精能力。通过引入退火遗传算法, 很好地解决了滑坡最危险滑动面的搜索问题, 为边坡滑动面搜索提供一个新的解决方法, 克服了常规方法的种种弊端。

关键词: 退火遗传算法; 边坡; 滑动面搜索; 稳定性

在边坡稳定性分析中, 条分法计算圆弧形滑动面的主要问题是确定最小安全系数对应的滑动面。工程中最常用的方法, 如逐点扫描法, 被广泛地应用于工程实践中。但是受到这些方法的局限性, 很容易陷入局部极小值。比如, 常因搜索起点、步长及范围等的不同而得到不同的临界滑动面及其安全系数, 致使无法判断出真正的最危险滑动面。为此, 在边坡稳定性分析中引入退火遗传算法搜索最危险滑面。

1 退火遗传算法

遗传算法(GA)是基于自然选择和种群基因的

一种随机搜索算法。由于它对搜索空间不作任何假设, 即它既不要求搜索空间是光滑的, 也不要求它是处处可微的, 因而它能解决很大一类问题, 当然也包括控制领域中的诸多问题。但在GA的应用中不难发现, 该算法并不是完美无缺的, 而是存在一些不足或局限性。首先, GA随着问题规模的增大, 它的寻优性能会降低; 其次, GA在寻优过程中如果个体中的重要基因丢失, 就会出现“早熟”现象; 再就是GA不具备“爬山”的能力, 而最优解往往要越过一个或多个“山谷”才能被找到。因此, 传统的GA需要进行改进, 或与其他方法结合, 取长补短, 才更具实用性。

收稿日期: 2006-05-23

Research on Classification Method of Expansive Soil

MENG Qing-yun, YANG Guo-lin

(School of Civil and Architectural Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: The swell-shrink grade judgment of expansive soil is a key job to engineering construction in the expansive soil area. A survey for many literatures on classification of expansive soil at home and abroad is given. Through the contrast of the current methods, the merits and shortcomings of every kind of methods are pointed out. And in the laboratory a classification of the soil in the area of Chang-Zhang Expressway and Nan-You Expressway is carried out by the method of standard moisture absorption water content of soil. All these provide more data for the engineering construction in these expansive soil area in future.

Key words: expansive soil; classification method; research