

膨胀土判别与分类的 Fisher 判别分析方法

余 颂^{1,2}, 陈善雄^{1,3}, 余 飞¹, 许锡昌¹

(1.中国科学院武汉岩土力学研究所, 武汉 430071; 2.中铁大桥勘测设计院有限公司, 武汉 430050;
3.华中科技大学 土木工程与力学学院, 武汉 430074)

摘 要:介绍了数理统计中常用的判别分析方法——Fisher 判别分析法, 结合合(肥) - 六(安) - 叶(集)高速公路工程, 利用 SPSS 软件对沿线采集土样进行了 Fisher 判别分析, 得出了适合该地区膨胀土判别与分类的判别方程。分析表明: (1)利用 Fisher 判别分析法仅需几项基本物理性质指标, 参数的试验操作大众化、规范化, 试验条件明确、设备简单、周期短。在统计意义的基础上可以对膨胀土正确分类; (2)判别函数中, 塑性指数的系数最大, 说明判别函数对塑性指数敏感, 塑性指数能较好反映土的膨胀潜势; (3)利用 SPSS 软件进行判别分析, 简易方便, 分类效率高, 对膨胀潜势的划分结果统计意义明显, 能够为膨胀土的分类提供依据。对该判别方程进行了检验, 发现其适用性好, 判别分析方法在膨胀土判别与分类中有较好的应用前景。

关键词:膨胀土; SPSS; Fisher 判别分析; 判别与分类

中图分类号: TU 443

文献标识码: A

Fisher's discriminant analysis method for identification and classification of expansive soil

YU Song^{1,2}, CHEN Shan-xiong^{1,3}, YU Fei¹, XU Xi-chang¹

(1. Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430071, China; 2. China Zhongtie Major Bridge Reconnaissance and Design Institute Co., Ltd; 3. College of Civil Engineering and Mechanics, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: A usual discriminant analysis method-Fisher's discriminant analysis is introduced. Based on Hefei-Liu'an-Yeji Expressway Project, sampling soil's discriminant analysis of swelling potential utilizing the software of SPSS is conducted, discriminant equation suiting for the district is obtained; and several conclusions are drawn as follows: (1) Only several basic physical indices are acquired in the analysis, the operation of which is popularization and standardization. Lots of advantages such as easy test condition, simple facility and short periodic time can be obtained and a correct classification can be done on the basis of statistics. (2) The value of coefficient of plastic index is maximum, which means that discriminant equation is sensitive to plastic index and that plastic index can reflect swelling potential to a well extent. (3) It is easy and efficient to do discriminant analysis making use of SPSS, statistic significance of classifying is explicit and it can provide grounds for the discriminant of expansive soil. Tests for the equation are carried out and from which we can see that it has good prospect for the identification and classification of expansive soil.

Key words: expansive soil; SPSS; Fisher's discriminant analysis; identification and classification

1 引 言

膨胀土是颗粒高分散、成分以黏土矿物为主、对环境的湿热变化敏感的高塑性黏土。它是一种吸水膨胀软化、失水收缩干裂的特殊土。膨胀土在我国分布范围极其广泛, 其胀缩性直接影响建筑物的安全性, 可造成建筑物开裂, 公路、铁路的塌方, 膨胀土边坡产生浅滑等灾害。决定膨胀土特殊工程性质的因素是多方面的, 其中黏土矿物成分是内在

的主要属性, 是控制膨胀土工程性质的决定性因素。因此, 判别某种土是不是膨胀土, 应根据其固有属性来区分。能否充当膨胀土判别指标, 主要看它是否符合以下情况: (1) 能反映膨胀土的本质; (2) 指标的测定简单便捷; (3) 指标数据可靠, 重现性好。为了合理判别膨胀土, 必须认真研究反映膨胀土基本性质各指标间的关系, 以及这些指标的组合规律。

膨胀土的判别和分类, 一直是工程界关心的问

题^[1-8]。长期以来,人们在这方面作了不懈的努力,提出了许多判别方法,如谭罗荣等的风干含水率分类法^[1],李生林的塑性图分类法^[2]。《土的分类标准》^[9]只利用塑性图给出了判别标准,李生林虽给出了分类标准,但这个判别是根据76 g锥10 mm对应含水率为液限,与《土工试验方法标准》^[10]中利用76 g锥17 mm液限含水率、《公路土工试验规程》^[11]中利用100 g锥20 mm液限含水率不接轨,无法进行比较,实际中很难加以应用。南非威廉姆斯分类法^[3]简单明了,但采用此方法分类结果明显偏高,且理论依据不是很明确。风干含水率分类法有一定的理论基础,但风干含水率试验条件过于宽松,使结果离散性大。美国垦务局 USBR 法^[4]、柯尊敬的最大胀缩指标分类^[5]和印度黑棉土分类法都是采用多指标分类法,这些分类方法都采用了一些非独立的因子,如天然含水率、天然孔隙比、胀缩特性指标等都是随客观环境变化的量,会造成同一种膨胀土在不同的环境状态下出现不同的胀缩等级的情况。为了能合理地判别和分类,必须认真研究反映膨胀土基本性质的有关指标。这些指标的获取都具有片面性、随机性和不确定性,因此,靠单一指标对膨胀土进行判别和分类不能全面反映土性,有时甚至会出现误判、漏判。采用能够反映膨胀土本质的指标进行多指标联合分析是一个较理想的做法^[7]。

本文利用国际上通用的数理统计分析软件 SPSS,对合(肥)-六(安)-叶(集)高速公路沿线所取土样进行了综合性指标的判别分析,建立并验证了膨胀土的判别方程。通过分析研究发现,该统计分析方法及所建立的判别方程可较理想地应用于膨胀土判别和分类中。

2 判别指标的选取

采用单一的指标很难准确判别膨胀土与非膨胀土,如单一采用界限含水率特征值作为膨胀土的判别指标有其局限性,因为界限含水率是所有黏土的共性指标。另外,它只是反映土的膨胀性的间接指标;而自由膨胀率只是土粒膨胀特性的量度指标,却不能反映土体的结构性。因此,膨胀土的判别应综合各类指标而进行,且宜以反映膨胀土基本特性的粒度成分、自由膨胀率、标准吸湿含水率、液限、塑限、塑性指数等参数作为判别指标。从能反映土的成分和影响指标中选取了如下指标:

(1)界限含水率:通常指液限、塑限2个定量指标,在一定程度上反映了土的亲水性能,它与土

的颗粒组成、黏土矿物成分、阳离子交换性能和比表面积以及水溶液的性能等有着十分密切的关系。

(2)粒度组成:土中小于0.002 mm的胶粒成分的含量愈高,通常表明蒙脱石成分愈多,分散性愈好,比表面积愈大,亲水性愈强,膨胀性亦愈大。

(3)自由膨胀率:反映土中细粒含量的多少或土样的分散程度。当然,分散性与矿物成分有密切关系,蒙脱石含量愈高,自由膨胀率亦愈大。

(4)标准吸湿含水率:土的标准吸湿含水率是在标准条件下(温度为 (25 ± 2) ,相对湿度为 $(60 \pm 3)\%$),土样从天然含水率脱湿至平衡后的含水率。标准吸湿含水率能够很好地反映土的矿物组成特性,它与比表面积、阳离子交换量、蒙脱石含量之间存在线性相关的关系^[12]。因此,标准吸湿含水率的大小可以反映土的膨胀性强弱。

以上指标是常用的判别分类指标,具有较好的可操作性、广泛性、实用性,因此,选取以上指标作为膨胀土判别和膨胀潜势分类的基本指标。

3 数据采集

根据以上所选指标对合-六-叶高速公路典型土样进行了基本物理性质试验,即自由膨胀率、界限含水率、标准吸湿含水率、颗粒分析试验,试验参照《公路土工试验规程》^[11]开展,同时还开展了物化分析试验,测定了矿物中蒙脱石的含量。试验结果如表1所示。

表1 膨胀土物理性质指标及膨胀潜势的划分

Table 1 The indices of physical properties for expansive soil and its classification of swelling potential

土样 编号	蒙脱石 含量 /%	自由膨 胀率 F_s /%	液限 W_L /%	塑性 指数 I_p	标准吸湿 含水率 W_a /%	<0.002 mm 胶粒含量 C /%	膨胀 潜势
1	5.97	25	36.8	16.5	2.8	25	非
2	6.10	24	38.9	18.9	4.3	30	非
3	6.47	31	38.1	17.3	3.2	29	非
4	9.35	31	46.9	26.3	4.3	30	弱
5	10.08	38	44.1	22.6	4.0	29.5	弱
6	11.00	27	46.7	26.4	4.3	30	弱
7	11.68	40	45.3	23.4	4.0	40	弱
8	14.01	48	53.1	28.6	4.9	38	弱
9	15.25	44	53.2	29.6	4.5	37.5	弱
10	16.93	48	55.4	32.7	5.3	35	弱
11	17.14	46	59.6	35.5	5.4	38	中
12	18.81	54	54.6	31.1	6.2	34	中
13	19.67	55	69.0	42.6	6.0	45	中
14	20.65	64	62.7	39.0	8.5	46	中
15	—	71	74.8	48.9	9.5	49	强
16	—	69	74.2	48.3	7.6	51	强
17	—	60	79.9	53.3	7.0	48	强

注:蒙脱石含量采用亚甲基蓝滴定法测定,见铁路土工试验规程^[13]。

4 Fisher 判别分析

4.1 Fisher 判别分析基本思想

抽象概括地讲，判别分析的统计模型可这样来描述：有 m 个 p 维总体 G_1, \dots, G_m ，分别服从一定的分布 $F_1(x), \dots, F_m(x)$ 。现在有一个新的样品 $x = (x_1, \dots, x_p)$ ，它可能来自这 m 个总体中的某一个。问题是要依据该样品的 p 项指标，判别它最可能来自哪一个总体，欲完成该工作，可以采用 Fisher 判别分析法^[14]。

Fisher 判别分析方法的基本思想是投影，即将原来的自变量组合投影到维数较低的 D 维中去，然后在 D 维中进行分类，投影的原则是使得每一类的差尽可能小，而不同类间的投影的差尽可能大。设有 n 个样本，分别归属于第 1 类至第 m 类 ($m < n$)，每个样品有 p 个可供判别分类的变量，其线性判别方程的表达式为

$$y = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_px_p \quad (1)$$

式中： c_1, c_2, c_p 均为判别函数的待定系数。

4.2 判别分析求解方法

4.2.1 判别分析求解

设观测值来自 p 个变量， g 个总体（分别用 $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_g$ 表示），第 i 个样本为 x_i 。 l_1 为 $(W^{-1}\hat{B}_0)$ 的第 1 个特征向量； l_2 为 $(W^{-1}\hat{B}_0)$ 的第 2 个特征向量...； l_s 为 $(W^{-1}\hat{B}_0)$ 的第 s 个特征向量， $S = \min(g-1, p)$ 。本文将膨胀土划分为非膨胀土、弱膨胀土、中膨胀土、强膨胀土，因此 $g=4, S=3$ 。

其中， $\hat{B}_0 = \sum_{i=1}^g (\bar{x}_i - \bar{x})(\bar{x}_i - \bar{x})'$ 为样本协方差，

$$\bar{x}_i = \frac{1}{n_i} \sum_{j=1}^{n_i} x_{ij} \text{ 为样本 } x_i \text{ 均值， } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^g n_i \bar{x}_i}{\sum_{i=1}^g n_i} \text{ 为样本总平}$$

均值； $W = \sum_{i=1}^g (n_i - 1)S_i = \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{ij} - \bar{x}_i)'$ 为组内样本矩阵，本文中所有“'”符号均表示转置；如果式 (1) 中的 y 满足下式：

$$\sum_{j=1}^r (\hat{y}_j - \bar{y}_{kj})^2 = \sum_{j=1}^r [\hat{l}'_j(x - \bar{x}_k)]^2 = \sum_{j=1}^r [\hat{U}'(x - \bar{x}_k)]^2 \quad (2)$$

式中： $\hat{y}_j = \hat{l}'_j x, \bar{y}_{kj} = \hat{y}'_j \bar{x}_k$

则将 x 判到 π_k 类 S

4.2.2 判别函数的建立

定义组间样本矩阵 $B = \sum_{i=1}^g n_i (\bar{x}_i - \bar{x})(\bar{x}_i - \bar{x})'$ ；根

据组内样本矩阵 $W = \sum_{i=1}^g (n_i - 1)S_i = \sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (x_{ij} - \bar{x}_i)(x_{ij} - \bar{x}_i)'$ 得出 的估计值，即 $W / (n_1 + n_2 + \dots + n_g - g) = S_g$ 就是 的估计值。

设 l'_1, l'_2 是矩阵 $W^{-1}\hat{B}_0$ ($S = \min(g-1, p)$) 非零特征值对应的特征向量，且 $l'_i S_p l'_i = 1$ ；则第 k 个判别方程为 $y_k = l'_k x$ ，一般第 1 个判别方程可解释大部分样本的信息，可作初步判别，如仅用第 1 判别函数难以作判别时，可结合后续的判别方程综合考虑。以下用这种方法进行膨胀土膨胀等级划分。

5 SPSS 软件的判别分析情况

5.1 判别分析

从矿物学观点看，膨胀土的胀缩性主要取决于黏土矿物的种类、含量，蒙脱石的含量是其本质因素，对其影响程度最大^[5]，文献^[15]也有相关方面的研究成果，因此，对表 1 中土样按蒙脱石含量进行分类，分类所用标准见文献^[16]。土样 15~17 蒙脱石含量未知，但根据几项基本物理性质指标可以非常肯定地将它划分为强膨胀土组。划分结果表明，土样 1~3 为非膨胀土，4~10 为弱膨胀土，11~14 为中膨胀土，15~17 为强膨胀土。以各土样的间接性判别指标自由膨胀率、液限、塑性指数、<0.002 mm 胶粒含量、标准吸湿含水率作为判别分析的变量进行了判别分析，分析结果如表 2~4 和图 1 所示。

表2 判别函数结果

系数	第1判别函数	第2判别函数	第3判别函数
自由膨胀率	0.103	-0.144	-0.214
液限	-0.387	1.411	0.101
塑性指数	0.697	-1.653	-0.092
标准吸湿含水率	-0.186	1.724	0.983
<0.002 mm胶粒含量	-0.044	-0.141	0.144
常数项	-3.020	-22.298	-3.532

表3 判别函数方差及其意义

Table 3 The variance of discriminant equation and its significance

函数	特征值	方差 / %	累计解释方差量 / %	典型相关系数
1	14.23	95.7	97.3	0.967
2	0.327	2.2	99.5	0.497
3	0.075	0.5	100.0	0.264

表4 各判别函数在各组别的中心值

Table 4 The values of functions at group centroids

膨胀类别	第1判别函数	第2判别函数	第3判别函数
非膨胀土	-4.558	0.292	0.372
弱膨胀土	-1.445	-0.428	-0.170
中膨胀土	1.690	0.774	-0.184
强膨胀土	5.676	-0.327	0.271

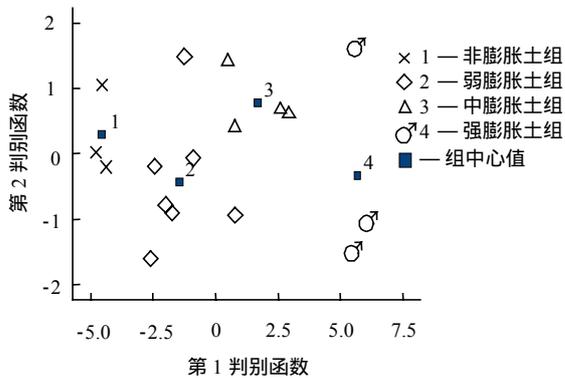


图1 利用第1、第2判别函数的分组图

Fig.1 The figure of grouping using the first and second discriminant functions

表2给出了第1、第2、第3判别函数的系数项和常数项,因此,通过判别分析分别可以得出以下3个判别函数:

$$y_1 = 0.103x_1 - 0.387x_2 + 0.697x_3 - 0.186x_4 - 0.044x_5 - 3.020 \quad (3)$$

$$y_2 = -0.144x_1 + 1.411x_2 - 1.653x_3 + 1.724x_4 - 0.141x_5 - 22.298 \quad (4)$$

$$y_3 = -0.214x_1 + 0.101x_2 - 0.092x_3 + 0.983x_4 + 0.144x_5 - 3.532 \quad (5)$$

Fisher 判别分析中,判别方程的解释量可以用其方差所占的比例来解释。从表3中可以看出,式(2)方差所占的比例为97.3%,说明式(3)可以解释样品97.3%信息,仅利用此函数可完成绝大部分样品的判别,式(3)~(5)可以解释所有样本的信息,即当利用式(3)无法对样本属类作出明确判断时,可结合式(4)甚至式(5)来实现完全的判断。

表4说明式(3)在非膨胀土组的中心得分 z 值为-4.558,弱膨胀土的中心得分点为-1.445,中膨胀土的中心得分点为1.690,强膨胀土组的中心得分值为5.676,因此,可以通过距离的比较将4组样本区分开来,并可以通过比较与4组中心点的距离将某一新样本纳入到该组中来,实现对土样膨胀潜

势的分类。

图1为利用第1、第2判别函数进行分组的示意图。另外,从判别式(3)中还可以看出,塑性指数的系数最大,这表明判别函数对塑性指数值最敏感,塑性指数在一定程度上能较好反映膨胀潜势。

5.2 分析结果自带检验

用SPSS自带的检验功能对上述判别分析结果进行检验,见表5所示。

表5 判别分析自检结果

Table 5 The results of self-test for discriminant analysis

样本编号	实际组别	预测组别	第1判别函数值	第2判别函数值	第3判别函数值
1	非	非	-4.786	0.029	-0.341
2	非	非	-4.527	1.048	2.057
3	非	非	-4.361	-0.199	-0.600
4	弱	弱	-1.738	-0.910	0.685
5	弱	弱	-2.433	-0.198	-1.122
6	弱	弱	-2.004	-0.781	1.512
7	弱	弱	-2.594	-1.599	0.006
8	弱	弱	-1.238	1.489	-0.800
9	弱	弱	-0.896	-0.066	-0.49
10*	弱	中	0.789	-0.931	-0.983
11	中	中	0.760	0.401	0.141
12	中	中	0.480	1.414	-1.460
13	中	中	2.586	0.672	0.106
14	中	中	2.934	0.610	0.475
15	强	强	5.563	1.603	0.702
16	强	强	5.436	-1.522	-0.455
17	强	强	6.030	-1.061	0.566

注:带*表示出现错判现象。

从表5可以看出,17个样本中只有1个根据判别方程预测的结果与实际结果有差别,判别正确率达94.1%,可见利用统计学中的Fisher判别分析方法可以较好地解决膨胀土判别与分类问题,可信度高。出现错判的样本编号为10,该样本的蒙脱石含量为16.93%,以蒙脱石含量为划分标准时该土样属于弱膨胀土组,但十分接近中膨胀土组,它们之间并没有很明显的界限;其物理性质指标中,自由膨胀率为48%,液限为55.4%,塑性指数为32.7,标准吸湿含水率为5.3%,<0.002 mm胶粒含量为35%,综合各项基本物理指标考虑,该膨胀土的膨胀潜势介于弱~中之间,因此,很难将其膨胀潜势严格划分开来。事实上,实际工程中一般也将该类土作为中膨胀土处治。

6 讨论

建立的判别函数可用于合-六-叶高速公路其

他桩号土样判别，以确定这些土样的膨胀潜势。选取 A, B, C, D 共 4 个土样进行了基本物理性质试验，试验结果如表 6 所示。

表 6 土样的基本物理性质指标
Table 6 The indices of basic physical properties for expansive soil

土样编号	自由膨胀率 / %	液限 / %	塑性指数	标准吸湿含水率 / %	<0.002 mm 胶粒含量 / %
A	54	54.6	31.1	6.2	34
B	47	52.2	29.7	5.8	37
C	71	65.9	38.7	7.9	50
D	38	41.1	19.4	3.8	33

仅通过以上指标很难确定 A、B 两种土样的膨胀潜势，也没有一定的理论依据，主观因素大。液限、塑性指数都略高于规范推荐的弱~中膨胀土划分标准；自由膨胀率都属于弱膨胀土的范畴，但该指标可信度不高，因为合肥膨胀土的自由膨胀率低于国家标准，划分标准有待商榷。而且很多研究表明，自由膨胀率高的土样膨胀潜势一般也很高，而土样膨胀潜势高的自由膨胀率有时较低；标准吸湿含水率的划分标准未得到广泛验证，胶粒含量本身与膨胀土膨胀潜势的相关性也不是很好。因此，可采用上述的判别函数来进行综合判定。

将以上指标代入到判别式(1)中去，结果如表 7 所示。

表 7 土样的判别分析结果
Table 7 The results of discriminant analysis for expansive soil

参数	得分值	距第 1 类距离	距第 2 类距离	距第 3 类距离	距第 4 类距离	判别结果
y_A	0.439 3	4.997 3	1.884 3	1.250 7	6.146 3	中膨胀土
y_B	-0.386 3	4.171 7	1.058 7	2.076 3	6.146 3	弱膨胀土
y_C	2.094 2	6.652 2	3.539 2	0.404 2	3.665 8	中膨胀土
y_D	-3.648 7	0.909 3	2.203 7	5.338 7	9.408 7	非膨胀土

y_A 距第 3 类中心点的距离最小， y_B 距第 2 类中心点距离较近，可将 A 土样判别为中膨胀土， y_B 距第 2 类中心距离较近，B 土样判别为膨胀土，同理也可对土样 C、D 进行判别。

以上判别方法从数理统计的角度出发，理论性较强，判别成功率较高。事实上，通过后来的矿物成分分析，以上判别结果得到了进一步的验证。例如矿化试验表明，土样 A、B 的蒙脱石含量分别为 14.6%，18.8%，根据蒙脱石含量的划分结果和上述判别分析划分结果一致，说明判别分析可用于膨

胀土膨胀潜势的分类。

7 结 论

膨胀土判别与分类是一个目前还没有很好解决的复杂问题，开展膨胀土判别与分类方法研究具有重要工程价值。本文所建议的 Fisher 判别分析法，为膨胀土分类提供了一条数学化、定量化的途径，提高了判别的精度，同时得出了以下几方面的结论：

(1) 利用对膨胀土几项基本物理性质指标进行判别分析，参数的试验操作大众化、规范化，试验条件明确，设备简单，周期短，操作简单易行，在统计意义的基础上可以充当分类指标。

(2) 建立的判别函数中，塑性指数的系数最大，说明判别函数对塑性指数值敏感，塑性指数能较好反映膨胀潜势。

(3) 利用 SPSS 软件进行判别分析，操作简单，分类效率高，分类判别结果统计意义明显，能够为膨胀土的分类提供依据。

另外，需要说明的是判别函数不是唯一的，虽然表达式不同，但不会影响判别结果。

参 考 文 献

- [1] 谭罗荣, 张梅英, 邵梧敏, 等. 风干含水率 W_{65} 用作膨胀土判别分类指标的可行性研究[J]. 工程地质学报, 1994, 2(1): 15 - 26.
TAN Luo-rong, ZHANG Mei-ying, SHAO Wu-min, et al. The practicability research on use of air-dry moisture content W_{65} as identification index of the swelling soil[J]. *Journal of Engineering Geology*, 1994, 2(1): 15 - 26.
- [2] 李生林, 秦素娟, 薄遵昭, 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.
- [3] Williams A A B, Donaldson G. Building on expansive soils in South Africa[A]. *Proceedings of 4th International Conference on Expansive Soils*[C]. Colorado: Denver, 1980, 2: 834 - 838.
- [4] Holts W G, Gibbs J J. Engineering properties of expansive clays[J]. *Transact. ASCE*, 1956. 121: 641 - 677.
- [5] 刘特洪. 工程建设中的膨胀土问题[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.
- [6] 廖世文. 膨胀土与铁路工程[M]. 北京: 中国铁道出版社, 1984.
- [7] 陈善雄, 余颂, 孔令伟, 等. 膨胀土判别与分类方法探讨[J]. 岩土力学, 2005: 26(12): 1 895 - 1 900.

- CHEN Shan-xiong, YU Song, KONG Ling-wei, et al. Study on approach to identification and classification of expansive soils[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2005, 26(12): 1 895 - 1 900.
- [8] JTG D30-2004, 公路路基设计规范[S].
- [9] GBJ145-90, 土的分类标准[S].
- [10] GBJ123-88, 土工试验方法标准[S].
- [11] JTJ 051-93, 公路土工试验规程[S].
- [12] 姚海林, 杨洋, 程平, 等. 膨胀土壤标准吸湿含水率及其试验方法[J]. *岩土力学*, 2004, 25(6): 856 - 859.
- YAO Hai-lin, YANG Yang, CHENG Ping, et al. Standard moisture absorption water content of soil and its testing standard[J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2004, 25(6): 856 - 859.
- [13] TB10102-2004, 铁路工程土工试验规程[S].
- [14] Richard A, Johnson Dean W Wichern. Applied Multivariate Statistical Analysis[M]. [s. l.]: Prentice Hall, 2002.
- [15] 燕守勋, 曲永新, 韩胜杰. 蒙皂石含量与膨胀土膨胀势指标相关关系研究[J]. *工程地质学报*, 2004, 12(1): 74 - 82.
- YAN Shou-xun, QU Yong-xin, HAN Sheng-jie. A study on the relationship between smectite content and swell potential indices[J]. *Journal of Engineering Geology*, 2004, 12(1): 74 - 82.
- [16] TB10038-2001/J126-2001, 铁路工程特殊岩土勘察规程[S].

第十届全国岩石动力学学术会议 (第一号通知)

(2007 年 8 月 15 ~ 18 日)

主办单位：中国岩石力学与工程学会岩石动力学专业委员会

承办单位：辽宁工程技术大学

中国岩石力学与工程学会岩石动力学专业委员会拟定于 2007 年 8 月召开第十届全国岩石动力学学术会议暨岩石动力学专委会成立 20 周年庆祝大会，会议主题为岩石动力学在国民经济建设中的地位与作用，欢迎全国相关学科的专家、学者、科技工作者与工程技术人员踊跃撰稿与参加会议。

会议专题：岩石动力学学科发展与回顾；岩石动态力学性质与本构关系；岩石和岩体中应力波的传播与衰减规律；岩石动态断裂机制与数值模拟；岩石动力学与防护工程；岩石洞、基、坡动态稳定性分析；岩石锚杆、锚索、土钉抗动载效应；岩石爆破与控爆技术；岩爆与冲击地压机制研究；岩石动力参数的测试新技术与新方法；桩基动测技术及其应用；其他与岩石动力学相关的研究。

会议论文与出版：第十届全国岩石动力学学术会议论文征稿截止日为 2007 年 4 月 15 日。论文格式与要求见《岩石力学与工程学报》征稿启示，论文经评审合格将刊登在《岩石力学与工程学报》2007 年增刊上。按惯例，本次学术会议仍对优秀论文进行评奖（注：因学报编辑部要求截稿时间提前 1 月）。

会议内容：岩石动力学专委会会议；岩石动力学学术交流；纪念岩石动力学专委会成立 20 周年；工程考察。

会议日程与会议地址详见会议第二号通知

联系人：黄理兴 电话：(027)87198263 传 真：(027)87198263 手机：13907148025

E-mail：lxhuang@whrsm.ac.cn 邮编：430071 地址：武昌小洪山中科院武汉岩土力学所

(摘自 中国岩石力学与工程学会网)