

全国首届膨胀土 科学研讨会论文集

廖世文 曲永新 朱永林 主编

西南交通大学出版社

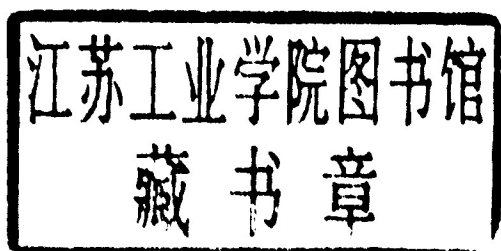


全 国 首 届 膨胀土科学研讨会论文集

编辑委员 (以姓氏笔划为序)

孔德坊 曲永新 朱永林

陆玉琬 苏 森 廖世文



西南交通大学出版社

84407
E

全国首届 膨胀土学术研讨会论文集

(重庆膨胀土研究所) 编委

林永来 廖永曲 谢世文
文世恩 森 茂 袁正刚



全国首届膨胀土科学研讨会论文集
QUANGUO SHOUJIE PENGZHANGTU KEXUE
YANTAOHUI LUNWENJI

廖世文 曲永新 朱永林 主编

西南交通大学出版社出版发行
(四川 峨眉山市)

西南交通大学出版社印刷厂印刷

开本: 787×1092 1/16 印张: 22.25

字数: 526千字 印数: 1—1000册

1990年4月第1版 1990年4月第1次印刷

ISBN 7-81022-158-2/P 002

定价: 9.10元

序 言

膨胀土，以其显著的吸水膨胀和失水收缩特性而得名。膨胀土在世界范围内分布极广，迄今已发现存在膨胀土的国家达40余个，遍及六大洲。我国是膨胀土分布最广的国家之一，尤其在北京—西安—成都—线东南、杭州—广州—线西北这一北东—南西向广大区域内，分布最为普遍。由于这种土的显著胀缩特性，使在这些地区的各类工程建设经常遭受破坏，因之给世界各国造成的经济损失估计每年可达数十亿美元。因此引起了国内、外工程地质学家和工程技术人员的极大重视。

膨胀土对建筑物的危害，随工程建设事业的发展而日益明显。40年代中期以来，首先在工业发达国家开始对其进行专门性研究，并从1965年起先后举行了多次国际学术讨论会议。在我国，对膨胀土作为一种特殊土来对待和研究，大约始自60年代。二十余年来的工程实践表明，膨胀土的胀缩性威胁到膨胀土分布区的各类建筑物，涉及到地基、边坡和地下洞室的稳定性，以及将其有效地用作建筑材料等方面的问题；同时，也在这些工程实践中进行了多方面的专门性研究，积累了丰富的资料，总结出许多可贵的成果，取得了不少成功的经验。

为了系统总结在膨胀土分布区的建筑实践经验，加强对膨胀土研究成果的学术交流和探讨，提高对膨胀土进一步研究的水平，从而促进我国工程建筑事业和经济建设的发展，中国地质学会工程地质专业委员会决定于1990年举行“全国首届膨胀土科学研讨会”，并委托铁道部第二勘测设计院、中国科学院工程地质力学开放研究实验室和西南交通大学共同进行组织和筹备工作。会议筹备组于1988年12月发出包括以下专题的征文通知：

1. 膨胀土的定义、判别和分类；
2. 膨胀土的基本特性和规律；
3. 膨胀土边坡及其防护和加固技术；
4. 膨胀土填筑路堤和筑坝技术；
5. 膨胀土地基及其处理；
6. 膨胀土洞室围岩工程地质；
7. 典型膨胀土工程灾害实例的研究；
8. 膨胀土土质改良的理论和方法；
9. 中国膨胀土的区域系统研究；
10. 膨胀土室内外试验研究的新技术和新方法。

征文通知发出后得到了全国有关工程地质工作者的热烈响应，在不到半年的时间内筹备组收到应征论文共88篇，论文内容涉及上述各个专题，所讨论的膨胀土遍及全国各主要分布省区。其中，不少论文密切结合生产实践，或具有较高的理论意义，反映了我国近年对膨胀土研究的进展和水平。

为了提高会议交流和研讨的效果,筹备组决定从应征论文中评选出一部分汇编成《全国首届膨胀土科学研讨会论文选集》,委托西南交通大学出版社于会议召开前公开出版。为此,筹备组聘请部分专家从88篇应征论文中评选出了44篇编入这部《论文选集》中。

这部《论文选集》的出版,我相信,一定能够有效地提高这次研讨会在学术上的广泛交流和深入讨论效果,而且通过这次研讨会和这部《论文选集》的会外交流也一定能够有力地推动我国膨胀土研究的开展,并将其提高到一个更新的水平。

在这部《论文选集》的出版过程中,铁道部第二勘测设计院廖世文高级工程师、中国科学院工程地质力学开放研究实验室曲永新副研究员和西南交通大学朱永林副教授以及其他有关同志,在组织征文和评审等方面作了大量的工作,西南交通大学出版社的同志们为印刷出版付出了辛勤的劳动。在此,应向他们表示深切的谢意!

成都地质学院教授 孔德坊

1989.12

编 后 话

本文集是由国内学者提交的 88 篇论文中精选编辑而成。在“双百”方针的指导下,为了活跃学术讨论风气,本着文责自负的原则,对各篇论文的立论和观点,编委会不作重大改动,供读者进一步讨论、研究。

文集能在“全国首届膨胀土科学研讨会”召开前出版发行,得到了中国地质学会工程地质专业委员会的有关专家、领导的关心和鼓励,也得到了大会筹备组成员——铁道部第二勘测设计院、中国科学院工程地质力学开放实验室、西南交通大学出版社的领导和同志们的支持,同时,铁道部第二勘测设计院膨胀土工程技术开发研究中心的杨红兵及西南交通大学航地系的文江泉两同志对文集的清稿、联络付出了辛勤劳动,在此一并表示诚挚感谢。

为了确保研讨会按时召开,所以,文集编辑加工的时间短促,编者虽经努力,但错漏之处难免,恳请同行专家和广大读者批评指正。

全国首届膨胀土科学研讨会
论文选集编辑委员会

1990年3月于峨眉

目 录

膨胀土在塑性图上位置的探讨	唐大雄	1
南阳盆地膨胀土的判别与分类	刘特洪	11
膨胀土的模糊评判方法	张楨武 彭宏艳 赵秀兰	18
蒙脱石次微结构变化对水化性能的影响	黎文辉 袁望治 陶大权	25
膨胀土的胀缩与孔径分布	罗鸿禧 康哲良	34
昔格达膨胀土流变特性的研究	彭盛恩	40
土吸力及其在膨胀土中的应用	李洪玉 廖世文 D.J.Williams	46
膨胀土抗剪强度的研究概况	廖济川	53
膨胀土收缩特性的探讨	黄绍荣	63
膨胀土抗剪强度参数的研究	唐永富 李秉生 韩会增 朱永林 李潼桂	68
膨胀土活动带及其运动规律	石庆华 许年金	75
湛江粘土的胀缩特性	孔德坊 张惠英 田金花	82
南阳盆地膨胀土的理化特性	肖振舜 蒋顺清	92
渡口市的膨胀土	曲永新 时梦熊 于锁龙 徐晓岚 吴芝兰	99
邯郸地区膨胀土工程性质	关文章	112
广西膨胀土和膨胀土地基	彭达天	120
我国膨胀土新类型新地区的发现	曲永新 吴芝兰 徐晓岚 濮声荣	133
裂土三向胀缩特性及其对边坡稳定性的影响	张颖钧	139
用“土钉”加固路基边坡	阳昌秀 马 骥	151
采用两级或多级挡墙整治膨胀土路堑滑坡	陆魁祥	160
考虑水平膨胀力后两个膨胀土堑坡的稳定性分析	牛怀俊 王小军	168
膨胀土路基的压实	杨世基	175
膨胀土工程特性及铁路路堤填筑	陈建华	181
膨胀土填土路堤的稳定性	黄尚燕	189
膨胀土地基及其设计	曹可之	196
影响广西膨胀土地基升降变形的因素	魏庭忠	202
蒙脱石对地基土胀缩性能的影响	付景春 李 莉	210
膨胀土地基上几种建筑物防治措施试验概述	王惠亭	216
膨胀土地基的变形特性	张世煊	222
膨胀土地基处理砂垫问题探讨	况礼文	228
膨胀土地区宅旁树木对建筑物的影响及处理措施	苏 森	236
南襄盆地北部膨胀土地基处理与监测	周亮臣 陈山岭	242

膨胀土导致建筑物开裂实例的探讨.....	唐立宪	徐林山	李庚年	246			
隆中地区膨胀性粘土对建筑物损害的调查研究.....	王琦庆	李凤美		251			
膨胀岩土与地下工程.....			张金富	255			
用无机结合料改良膨胀土的试验研究.....			基文贵	261			
膨胀土地区工程地质分区图编制的探讨.....			苏 森	272			
中国膨胀土地基承载力的选用.....	翟礼生	甘厚义	金 谦	李珊林	280		
改良膨胀土工程性质的新材料.....	李安德	赵中秀		292			
膨胀土胀缩特性试验研究							
.....	廖世文	赵 平	郑先才	施吉华	余镇麟	杨红兵	298
膨胀土土体抗剪强度参数测定时试样尺寸的选择方法.....	李安德	赵中秀		305			
测定膨胀土裂隙面强度的一种简易方法.....	李安德	董春美		309			
ZZHT型冷冻升华仪的原理及功能.....	赵 清	朱永林	韩会增	唐永富	313		
膨胀土地区工程建设专家系统的研制.....	吴 恒	马天骏	唐元淑	璩继立	317		

CONTENTS

Searching for Position of Expansive Soil on the Plasticity Chart.....	Tang Daxiong	1
Identification and Classification of Nanyang Expansive Soil	Liu Tehong	11
Methods for Identification of Expansive Soil with fuzzy	Zhang Zhenwu Peng Hongyan Zhao Xiulan	18
Effect of Submicrostructure on the Hydratability of Montmorillonite	Li Wenhui Yuan Wangzhi Tao Daquan	25
Swell-Shrinking Characteristics and Poresize Distribution of Expansive Soil.....	Luo Hongxi Kang Zheliang	34
Study on the Rheological Characteristics of Xigeda Expansive Clay	Peng Shengen	40
Soil Suction and its Applications on Expansive Soil	Li Hongyu Liao Shiwen D.J.Williams	46
A Survey of Studies on Shear Strength for Expansive Soil	Liao Jichuan	53
An Investigation on Shrinking Characteristics of Expansive Soil.....	Huang Shaorong	63
Determination of The Shearing Strength Parameter of Expansive Soil	Tang Yongfu Li Bingsheng Han Huizeng	68
Active Layer of Expansive Soil and its Behaviour	Shi Qinghua Xu Nianjin	75
Expansive and Shrinkage Features of Zhanjiang Clay	Kong Defang Zhang Huiying Tian Jinhua	82
The Physico-chemical Characteristic of Expansive Soil in Nanyang basin.....	Xiao Zhenshun Jiang Shunqing	92
The Expansive Soil in Du kou	Qu yongxin Shi Mengxiong Yu Suolong Xu XiaoLan Wu ZhiLan	99
Engineering Properties of Expansive Soil in Han Dan	Guan Wenzhang	112
EXPansive Soil and Foundation of Expansive Soil in Guangxi	Peng Datian	120

The Discovery of a New Type and Region of Expansive Soil in China.....	Qu Yongxin Wu Zhilan Xu Xiaolan Pu Shengrong	133
The Three Dimensional Swell-Shrinking Properties of Expansive Soil and its Influence on Slope Stability.....	Zhang Yingjun	139
Stabilizing the Slope of Roadbed with Soil Nailing	Yang Changshiu Ma Ji	151
Prevention of Landslide in Expansive Soil Cuts with Multi-grade Retaining Wall	Lu Kuixiang	160
The Stability Analysis of Two Cuts Slope of Expansive Soil by Considering the Horizontal Swelling Pressure	Niu Huaijun Wang Xiaojun	168
Compaction of Expansive Soil Subgrade.....	Yang Shiji	175
The Engineering Characteristics of Expansive Soil and Filling of Railway Embankments.....	Chen Jianhua	181
The Stability of Expansive Soil Embankments	Huang Shangyan	189
Expansive Soil Foundation and its Design.....	Cao Kezhi	196
Factors Effecting Upheaval and Settlement Deformations of Expansive Soil Foundations in Guangxi.....	Wei Tingzhong	202
Influence of Swell-Shrinking Characteristics of Foundational Soil by Montmorillonite.....	Fu Jingchun Li Li	210
A General Report of Some Preventive Measures for Buildings on Expansive Soil Foundations	Wang Huiting	216
The Deformation Properties on Expansive Soil Foundations	Zhang Shixuan	222
Research and Discussion on Problem of Sand Cushioning Treatment on Expansive Soil Foundations.....	Kuang Liwen	228
Effects of Trees on Housing in Expansive Soil Area and the Treatments.....	Su Sen	236
Soil Reinforcement and Monitoring of the Expansive Soil in Northern Nanxiang Basin	Zhou Liangchen Chen Shanling	242
Investigation of Actual Cases of Building Split Caused by Expansive Soil	Tang Lixian Xu Linshan Li Gengnian	246
Investigation of Building Damaged on Expansive Soil in Longzhong Area.....	Wang Qiqing Li Fengmei	251
Expansive Soil or Rocks and Underground Engineerings	Zhang Jinfu	255
Experimental Study on Improvement of Expansive Soil		

With inorganic binders	Qi Wengui	261
Research and Discussion on the Drawing of Engineering		
Geological Map in Expansive Soil Area	Su Sen	272
The Chice of Bearing Capacity of Expansive Soil in China		
.....	Zhai Lisheng Gan Houyi Jin Qian Li Shanlin	280
A New Material for Improving Engineering Characteristics of		
Expansive Soil	Li Tuode Zhao ZhongXiu	292
Experimental Study on the Swell-Shrinking Characteristics of		
Expansive Soil	Liao Shiwen Zhao Ping Zheng Xiancai Shi Jihua Yu Zhenlin Yang Hongbing	298
The Method of Selecting Experimental Soil Scale on Measuring		
Shear Strength of Expansive Soil Body	Li Tuode Zhao Zhongxiu	305
A Simple Way for Measuring Split Face Strength of Expansive		
Soil	Li Tuode Dong Chunmei	309
The Principle and function of ZZHT a Freezing Sublimatory		
instrument	Zhao Qing Zhu Yonglin Han Huizeng Tang Yongfu	313
The Expert System for Engineering Geologic Analysis in Expansive		
Soil	Wu Heng Ma Tianjun Tang Yuanshu Qu Jili	317

膨胀土在塑性图上位置的探讨

长春地质学院 唐大雄

一、评价粘性土胀缩性的指标

膨胀土是具有较显著膨胀和收缩性能的特殊粘性土。粘性土吸水膨胀、失水收缩的基本原因在于土粒与水的相互作用,土中结合水膜厚度的变化而引起土粒间的距离扩大或缩小,因而引起土体积增大或缩小,使土粒间的联结减弱或增强。因此,影响结合水膜厚度变化而使土体积变化的因素,也就是影响粘性土的胀缩性因素。这些因素主要包括两方面:一是土的物质组成(粒度成分、化学成分、矿物成分等);一是土的结构特征和所处状态(微结构特征、结构强度、密实度、压力、含水量等)。前者是形成结合水决定胀缩本质的物质基础,后者决定着土粒移动的空间条件及抵抗土粒移动阻力的客观条件。

粘性土都具有一定的膨胀和收缩性,这是由于物质组成及其所处状态所决定。膨胀土具有较显著胀缩性是由于土中含有较多的粘粒,而粘粒又含有较多亲水性较强的蒙脱石或伊利石,因此,具有较强的胀缩潜势;同时,具有较特殊的结构和状态特征,使之膨胀量和收缩量较大。以往,评价粘性土的胀缩性的直接指标通常采用膨胀量(e_p)和膨胀力(P_p),体收缩量(e_s)和线收缩量($e_{s,l}$),其值越大,土的膨胀或收缩性越强,但指标达到何值才算膨胀土,意见不一。目前,判别膨胀土并评价其胀缩程度,建工系统主要是根据胀缩总率(e_{ps}),它是土在 50 kPa 下的膨胀率($e_{p,0.5}$)及可能收缩的收缩率($C_{s,l} \times \Delta w$)之和,超过 0.7% 为膨胀土,其值越大,说明土的胀缩性越强。直接指标需取原状土样作专门测定,它考虑到土的物质组成和结构、状态特征,能具体判别膨胀土并评定其胀缩程度,可作为建筑设计的参考。

但为初步判别膨胀土,预测土的胀缩潜势,常采用间接指标。它只需取扰动土样,作较简易的常规试验,它是一些说明土粒与水相互作用的指标,取决于土的物质组成,在一定程度上反映土的亲水性能。间接指标很多,主要有各种界限含水量(如液限 w_L , 塑性指数 I_p , 缩限 w_s , 收缩指数 I_s)、自由膨胀率(F_s),粘粒含量(M_c)、活动性指标(K_A)等。目前,由于塑性图考虑到液限和塑性指数两项指标,能较好反映土的亲水性能,用塑性图初步判别膨胀土具有简单易行,有一定精度和理论根据的优点,正被人们充分重视。

本文根据我国湖北荆门、郧县,河北邯郸,河南南阳,安徽合肥,四川成都、广汉,广西柳州等地各典型膨胀土的土质试验资料,进行统计分析工作,以研究我国膨胀土在塑性图上的分布规律,分析有关胀缩性指标在塑性图上不同位置的变化情况,为合理利用塑性图初步判别膨胀土提供科学依据。

二、评价胀缩性的直接指标在塑性图上的变化

膨胀土的胀缩总率 ($e_{p,s}$)，它是可能膨胀和收缩量之和。根据湖北荆门、郧县、当阳等地冲洪积二类膨胀土和广西柳州残坡积红粘土为主的三类膨胀土的测试资料统计表明，(见表1和表2)，湖北的土当 $w_L < 30\%$ 时， $e_{p,s} < 0.7\%$ ，属非膨胀土；而 $w_L > 34\%$ 的土，基本上 $e_{p,s}$ 都大于 2% ，属于中或强膨胀土。广西红粘土的胀缩性较弱，当 $w_L 35 \sim 40\%$ 时， $e_{p,s} < 0.7\%$ 为非膨胀土；而 A 线以上 $w_L 40 \sim 55\%$ 时， $e_{p,s}$ 一般为 $0.7 \sim 2\%$ ，属于弱膨胀土； $w_L > 55\%$ 时，一般属于中——弱膨胀土；而 A 线以下的 15 个土样中有 4 个属于非膨胀土，10 个属于弱膨胀土。可以看出， $w_L < 35\%$ 的土为非膨胀土，而 $w_L 35 \sim 40\%$ 的土，有些可能是弱膨胀土，有些可能为非膨胀土， $w_L > 40\%$ 的土，A 线以上基本为膨胀土，A 线以下可能有部分为弱膨胀土。而且，随着 w_L 或 I_p 的增大，土的胀缩性增强。

湖北二类膨胀土直接指标在塑性图上的变化统计表

表 1

w_L (%)	24~29	34~40	40~45	45~54
I_p	8~10	15~18	17~22	20~26
$e_{p,s}$ (%)	0.24~0.37(0.31)	1.60~3.64(2.75)	2.21~4.54(3.39)	2.53~5.88(3.94)
$e_{p,0.5}$ (%)	(负数)	0.06~0.52(0.22)	0.03~0.95(0.44)	0.16~4.52(1.13)
P_p (kPa)	0~5(3)	15~54(22)	8~169(61)	15~289(96)
$e_{s,l}$ (%)	0.30~0.37(0.34)	2.3~4.6(3.34)	4.14~5.78(5.38)	4.73~5.93(5.14)
$C_{s,l}$	0~0.11(0.06)	0.38~0.66(0.51)	0.45~0.97(0.64)	0.43~0.86(0.58)
F_s (%)	11~16(14)	30~40(34)	33~44(39)	46~63(50)
统计个数	2	5	5	13

注 前面的数值表示变化范围，后面括号内的为平均值。

以往，常以天然状态下土的体积膨胀率 (e_p) 或体积收缩率 (e_s) 来评价土的膨胀或收缩程度，其值越大，说明土的膨胀或收缩越强，一般认为 $e_p > 1\%$ 或 $e_s > 7\%$ 可作为膨胀土处理。根据全国 200 多个土样试验资料在塑性图上不同位置的统计表明 (见表3)，在 $w_L < 35\%$ 、 $I_p < 14$ 区域内，约有 $2/3$ 的土 $e_p < 1\%$ ，和 $2/5$ 的土 $e_s < 7\%$ ，且基本上都是 $e_p < 4\%$ 或 $e_s < 13\%$ 的极弱或弱胀缩性土。在 $w_L < 35\%$ 、 $I_p > 14$ 区域内， $e_p < 4\%$ 或 $e_s < 13\%$ 的土较少些，中等胀缩性的土多些。 $w_L 35 \sim 40\%$ 、 $w_L 40 \sim 50\%$ 、 $w_L > 50\%$ 等区域的统计说明，随着 w_L 或 I_p 的增大，胀缩性弱的土样逐渐减少，而中等或强胀缩性的土逐渐增多。在 A 线以下 $w_L > 50\%$ 区域中的 20 个土样，全部为 $e_s 7 \sim 18\%$ 的弱或中收缩性。分别按广西或湖北等地统计也发现类似的规律 (见表2及表4)。

其他说明原状土样胀缩性的直接指标还有 $e_{p,0.5}$ 、 P_p 、 $e_{s,l}$ 、 $C_{s,l}$ ，它们与 $e_{p,s}$ 或 e_p 、 e_s 有密切关系，从表1、表2、表5看出，也有类似的随着 w_L 或 I_p 的增大其值增大的趋势。

广西柳州三类膨胀土评价指标在塑性图上变化统计表

表 2

A	线	A	线	以	上	A	线	以	下
w_L	(%)	35~40	40~45	>55	>55	40~55	>55		
I_p		<17	>17	>25	>25	<17	<25		
e_{ps}	(%)	0.59~0.66(0.63)	0.81~1.82(1.26)	0.77~5.90(2.22)	0.77~5.90(2.22)	0.53~1.57(1.09)	0.42~2.6(1.01)		
e_p	(%)	0~0.84(0.42)	0.50~1.44(1.08)	0.67~2.54(1.19)	0.67~2.54(1.19)	0.15~1.16(0.78)	0~1.01(0.47)		
$e_{p0.5}$	(%)	<0.35(0.18)	<0.51(0.27)	0.30~0.53(0.38)	0.30~0.53(0.38)	<0.47(0.25)	<0.38(0.14)		
P_p	(kPa)	7~13(10)	3~25(10)	5~46(14)	5~46(14)	5~16(8)	0~25(11)		
e_s	(%)	7.7~12.2(9.9)	10~15.5(10.4)	10.8~22.5(14.3)	10.8~22.5(14.3)	11.0~14.9(13.1)	10.6~13.9(12.3)		
e_{s1}	(%)	0.15~2.36	0.6~2.72(0.71)	0.90~4.80(2.1)	0.90~4.80(2.1)	0.70~3.04(1.79)	0.83~2.15(1.61)		
C_{s1}		0.13~0.25(0.19)	0.06~0.35(0.17)	0.15~0.83(0.29)	0.15~0.83(0.29)	0.15~0.42(0.22)	0.11~0.29(0.21)		
F_s	(%)	23~24(24)	17~26(23)	19~56(33)	19~56(33)	22~30(26)	21~29(28)		
I_s	(%)	21~27(24)	25~35(30)	37~59(43)	37~59(43)	30~39(33)	36~42(38)		
K_A		0.35~1.78	0.37~0.83(0.58)	0.37~0.94(0.70)	0.37~0.94(0.70)	0.41~0.67(0.51)	0.39~1.00(0.60)		
M_c	(%)	10~46(28)	30~61(46)	45~67(57)	45~67(57)	13~54(42)	13~64(52)		
A	(%)	9~37	21~57(36)	31~52(45)	31~52(45)	27~46(39)	33~61(46)		
统计个数		2	7	12	12	7	8		

注 前面的数值表示变化范围,后面括号内的为平均值。

表 3

全国膨胀土膨胀量(e_p)及体积收缩量(e_s)在塑性图上变化统计表

胀 缩 量		位 置		A 线 以 上												A线以下		总 计			
				w _L <35%			35~40			40~50			>50			w _L >50%					
				I _p <14		I _p >14	I _p <17		I _p >17	I _p <25		I _p >25	I _p <25		I _p >25						
				个数	%		个数	%		个数	%		个数	%			个数		%	个数	%
极弱	e _p <1%	11	64.7	9	64.3	9	22.0	10	34.5	17	17.7	2	28.6	7	26.9	1	11.1			66	27.6
	e _s <7%	4	40.0	1	8.3	7	26.9	4	16.0	3	3.0			0	0	1	5.3	0		20	9.2
弱	1%≤e _p <4%	6	35.3	4	28.6	25	61.0	9	31.0	46	47.9	5	71.4	8	30.8	6	66.7			109	45.6
	7%≤e _s <13%	4	40.0	6	50.0	8	30.8	14	56.0	18	18.2			1	14.3	4	21.1	12	60	67	30.7
中	4%≤e _p <8%	0	0	1	7.1	6	14.6	9	31.0	23	24.0	0	0	6	23.1	1	11.1			46	19.2
	13%≤e _s <18%	2	20	3	25.0	8	31.8	7	28.0	44	44.4			0	0	2	10.5	8		74	34.0
强	8%≤e _p <12%	0	0	0	0	1	2.4	1	35.0	7	7.3	0	0	4	15.4	1	11.1			14	5.9
	18%≤e _s ≤24%	0	0	2	16.7	2	7.7	0	0	27	27.3			2	28.6	5	26.3	0	0	38	17.4
极强	e _p ≥12%	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3.1	0	0	1	3.8	0	0			4	1.7
	e _s ≥24%	0	0	0	0	1	3.8	0	0	7	7.1			4	57.1	7	36.8	0	0	19	8.7
总计	e _p	17	100	14	100	41	100	29	100	96	100	7	100	26	100	9	100			239	100
	e _s	10	100	12	100	26	100	25	100	99	100			7	100	19	100	20	100	218	100

表 4

全国膨胀土的自由膨胀率 F_s 在塑性图上变化统计表

位 置 F_s (%)		11~30				A3				线 31~39 以 上				30				A 线 以下				30 总																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
		$w_L < 35\%$				32 35~40				>17				30~48				40~50				$w_L > 40\%$																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
		$I_p < 14$				<17				>17				<25				>25				<17				>17																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																	
		个数		%		个数		%		个数		%		个数		%		个数		%		个数		%		个数		%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
		%		%		%		%		%		%		%		%		%		%		%		%		%		%																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																															
<30	24	54.6	6	35.2	10	41.7	4	9.5	16	13.6	1	7.1	10	55.5	5	8.5	2	33.3	21	77.8	99	26.8																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					

表 5

湖北、河北、河南、安徽等地一、二类膨胀土评价指标在塑性图上变化统计表

指 标	<35			35~40			40~45			>45		
	一般值	平均值		一般值	平均值		一般值	平均值		一般值	平均值	
w_L (%)												
e_p (%)	<2.0	2.48		1.4~6.5	4.03		2.4~6.9	4.34		1.4~13.2	6.96	
P_p (kPa)	<50	21		20~125	57		10~230	67		10~250	72	
$e_{p0.5}$ (%)	<0.24	0.17		<1.0	0.48		<1.5	0.78		<1.1	0.47	
e_s (%)	<10.0	7.4		6.0~15.4	9.0		11.0~18.0	14.6		>13.0	19.9	
e_s (%)	<3.0	2.1		0.8~3.0	1.5		2.0~5.3	3.5		5.5~8.5	6.9	
F_s (%)	<35	27		30~65	40		36~55	44		>49	>65	
I_s (%)	<22	17		19~26	24		26~32	29		32~48	38	
K_A	0.57~0.71	<0.65		>0.57~1.00	0.77		0.62~1.11	0.80		0.69~>1.0	0.88	
M_c	29~43	35		36~48	43		38~45	43		42~53	47	
A	17~26	22		24~31	28		16~31	26		20~35	30	
统计个数		15			20			28			34	