新公路膨胀土判别与分类方法对皖中膨胀土的适用性研究

段海澎[1, 3]，陈善雄[2]，余 飞[2]，许锡昌[2]

(1. 安徽省交通投资集团有限责任公司，安徽 合肥 230011；2 中国科学院 武汉岩土力学研究所，湖北 武汉 430071；
3. 成都理工大学 地质灾害防治国家专业实验室，四川 成都 610059)

摘要：《公路路基设计规范》(JTG D30－2004)建议的膨胀土判别与分类的新指标未经广泛验证，其适用性有待探讨，其分级标准更需广泛的试验验证。依托皖中地区在建的合肥—六安—叶集高速公路，开展该判别与分类方法的试验验证研究。开展了系统的膨胀土特性试验，对各项判别指标之间的相关性和判别结果的一致性进行研究，探讨新规范推荐标准在皖中地区膨胀土判别与分类中的适用性以及合理的分级评判标准。研究结果表明，标准吸湿含水率具有较好的分类特性，但按规范推荐标准给出的膨胀等级明显偏高；皖中膨胀土以弱偏中等膨胀土为主，自由膨胀率偏小。综合以上分析，建议皖中地区膨胀土膨胀潜势分级的界限值，按建议的分级标准，其分类结果能达到较好的一致。最后，引入小于0.002 mm胶粒含量、蒙脱石含量指标进行综合判别，验证建议分类标准对于皖中地区膨胀土的适用性较好，具有一定的推广价值。

关键词：土力学；膨胀土分类；标准吸湿含水率；塑性指数；自由膨胀率

中图分类号：TU 41 **文献标识码：**A **文章编号：**1000－6915(2006)10－2121－07

APPLICABILITY OF RECOMMENDED CLASSIFICATION IN SPECIFICATION METHOD FOR EXPANSIVE SOILS IN THE MIDDLE AREA OF ANHUI PROVINCE

DUAN Haipeng[1, 3]，CHEN Shanxiong[2]，YU Fei[2]，XU Xichang[2]

(1. *Anhui Provincial Communications Investment Group Company Limited*，*Hefei*，*Anhui* 230011，*China*；2. *Institute of Rock and Soil Mechanics*，*Chinese Academy of Sciences*，*Wuhan*，*Hubei* 430071，*China*；3. *The National Laboratory of Geological Hazard Prevention and Geological Environment*，*Chengdu University of Technology*，*Chengdu*，*Sichuan* 610059，*China*)

Abstract： The distinguishing index and grading standards of expansive soil are recommended by Specifications for Design of Highway Subgrades(JTG D30－2004). Its feasibility for expansive soils in the middle area of Anhui Province is discussed，and the correlation of three distinguishing indexes and consistence of classification grade are analyzed. The analytical results indicate that the standard absorption moisture possesses the better sort feature，but the classification grade is obviously higher according to the above specification，and the free swelling ratio of expansive soil in the middle area of Anhui Province is lower. On the foundation of above research，the grading standards for the expansive soil in the middle area of Anhui Province is suggested，and the classification result can achieve better unanimity according to the suggested standards. Finally，verification analysis is carried out by consulting the content of colloidal particle less than 0.002 mm and the content of montmorillonite. The analytical

收稿日期：2005－09－20；**修回日期：**2005－11－11

作者简介：段海澎(1971－)，男，硕士，1997年于成都理工大学构造地质专业获硕士学位，现为工程师、在职博士研究生，主要从事公路工程地质及地质灾害防治方面的研究工作。E-mail：hfdhp@163.com

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

results illustrate that the suggested standards possess the better applicability for expansive soil in the middle area of Anhui Province.

Key words：soil mechanics；classification of expensive soil；standard absorption moisture；plasticity index；free swelling ratio

1　引　言

在膨胀土地区进行工程建设，必须正确区分膨胀土与非膨胀土，并对膨胀潜势进行分级，以便为工程的设计与施工提供合理的参数。对于膨胀土的判别分类，国内外学者在各自的研究基础上提出了不同的判别分类方法。南非 Williams[1]利用塑性指数≤2 μm 的黏粒含量建立了黏土膨胀势判别分类图；柯尊敬按最大胀缩性指标进行判别分类[2]；《膨胀土地区建筑技术规范》(GB 112－87)[2]按自由膨胀率进行判别分类；陈开云用数理统计法进行因次分析与逐步回归分析，提出了综合指标的多元线性函数[2]；美国垦务局采用胶粒含量、塑性指数、缩限、膨胀体变为指标的判别分类方法[2]；姚海林等[3]基于土壤标准吸湿含水率与蒙脱石含量、阳离子交换量、比表面积的线性关系的试验研究，建议膨胀土的分类采用自由膨胀率、塑性指数、标准吸湿含水率等 3 项指标。

膨胀土分类较为复杂，目前尚难统一。通过对膨胀土的各类判别分类方法的优缺点、膨胀土工程性质及内在关系的研究，《公路路基设计规范》(JTG D30－2004)[4](以下简称“规范”)在条文说明中初步提出了按标准吸湿含水率、塑性指数和自由膨胀率进行判别和分类的方法，并给出了膨胀潜势分级的参考标准。由于该标准处于试行阶段，用于膨胀土判别和分类的适用性有待探讨，其分级标准也需进行广泛的试验验证工作。本文依托皖中地区在建的合肥—六安—叶集高速公路，应用新规范对沿线广泛分布的膨胀土进行判别和分类。通过对各项判别指标之间的相关性和判别结果的一致性进行研究，探讨新规范推荐标准在皖中地区膨胀土判别与分类的适用性以及合理的分级评判标准。

2　规范判别与分类标准

新规范对于膨胀土的判别采用自由膨胀率、标准吸湿含水率、塑性指数等 3 项指标，见表 1。标准吸湿含水率是在标准温度(通常为 25 ℃)和标准相对湿度下(通常为 60%)，膨胀土试样恒重后的含水量。标准吸湿含水率与比表面积、阳离子交换量、蒙脱石含量之间存在线性相关的关系。膨胀潜势的分级标准如表 2 所示。

表 1　膨胀土的判别指标

Table 1　Distinguishing indexes of expansive soil

自由膨胀率 F_s/%	标准吸湿含水率 w_f/%	塑性指数 I_p
≥40	≥2.5	≥15

注：当符合表中的两项指标时，即应判定为膨胀土。

表 2　膨胀土的分级标准

Table 2　Grading standards of expansive soils

级别	自由膨胀率 F_s/%	标准吸湿含水率 w_f/%	塑性指数 I_p
非膨胀土	$F_s<40$	$w_f<2.5$	$I_p<15$
弱膨胀土	$40\leqslant F_s<60$	$2.5\leqslant w_f<4.8$	$15\leqslant I_p<28$
中等膨胀土	$60\leqslant F_s<90$	$4.8\leqslant w_f<6.8$	$28\leqslant I_p<40$
强膨胀土	$F_s\geqslant 90$	$w_f\geqslant 6.8$	$I_p\geqslant 40$

注：非膨胀土是指土的膨胀特性未达到定义为膨胀土的程度。

3　皖中膨胀土土性判别试验

3.1　皖中膨胀土的主要特征

皖中地区膨胀土由第四系上更新统黏性土构成，主要分布于安徽省江淮丘陵地区，包括合肥、六安、滁州、巢湖等市域，分布面积较广，约占该区面积的 83%。已有的研究资料[5~7]反映：区内膨胀土的颗粒组成以≤2 μm 为主，黏粒含量为 30%～40%；矿物组成中蒙脱石含量为 15%～30%，伊利石含量为 10%～22%，高岭石为 2%～9%；自由膨胀率为 40.0%～68.0%；胀缩总率为 3%～5%，膨胀潜势属弱～中等膨胀土。

3.2　土样采集与试验方法

合肥—六安—叶集高速公路横穿皖中地区，全线膨胀土广泛分布，为棕色、棕黄及棕红色黏土、亚黏土，硬塑状，含铁锰质结核及薄膜，柱状节理发育，节理面光滑，并多见有擦痕。于合肥—

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

六安—叶集高速公路沿线各标段采集了 49 个土样，分别开展了自由膨胀率试验、液塑限联合测定试验和标准吸湿含水率试验。自由膨胀率试验和液塑限联合测定试验依照《公路土工试验规程》(JTJ 051－93)[8]进行；标准吸湿含水率试验参考姚海林等[9]的研究成果采用 JHT20 型恒温恒湿箱(温控精度：±1 ℃；湿控精度：±3%)进行。试验结果如表 3 所示。

3.3 膨胀土判别分类指标相关性分析

根据表 3 的数据，可绘制标准吸湿含水率与自由膨胀率、塑性指数的相关关系图(见图 1，2)。

由图 1 可知，R^2 = 0.64，该系数偏低可能与自由膨胀率试验本身的局限性有一定关系。众所周知，在自由膨胀率试验过程中存在一定的人为干扰因

表 3　膨胀土土性试验结果

Table 3　Soil parameters for expansive soils

取样处	自由膨胀率 F_s/%	塑性指数 I_P	标准吸湿含水率 w_f/%	取样处	自由膨胀率 F_s/%	塑性指数 I_P	标准吸湿含水率 w_f/%
K42+600(深 1.5 m)	58	26.3	6.8	K72+300(深 4.0 m)	71	48.9	9.5
K44+100(深 1.2 m)	59	25.0	6.1	K72+400(深 2.5 m)	22	14.5	3.0
K44+700(深 1.2 m)	60	26.0	6.1	K73+600(深 2.0 m)	46	29.9	6.9
K46+000(深 1.2 m)	62	29.8	7.2	K73+700(深 3.5 m)	52	29.9	6.5
K47+750(深 1.7 m)	56	33.8	7.1	K74+350(深 3.0 m)	36	20.5	2.9
K48+500(深 3.5 m)	58	29.4	7.2	K75+150(深 3.0 m)	64	39.0	8.5
K49+000(深 4.0 m)	79	41.2	7.0	K75+250(深 2.0 m)	52	27.2	5.2
K49+370(深 2.6 m)	65	29.4	5.4	K76+500(深 3.5 m)	58	31.6	5.8
K50+100(深 2.0 m)	51	28.6	5.8	K76+650(深 2.5 m)	51	29.5	5.4
K51+085(深 2.7 m)	65	35.8	7.0	K76+700(深 3.5 m)	64	38.8	8.6
K51+420(深 2.3 m)	54	36.9	7.2	K79+300(深 3.0 m)	60	42.3	6.2
K53+980(深 2.0 m)	57	24.7	5.4	K80+520(深 1.8 m)	59	25.9	6.5
K54+540(深 2.7 m)	40	25.7	4.3	K81+345(深 1.5 m)	60	30.4	6.9
K59+410(深 1.5 m)	50	27.8	6.5	K82+120(深 1.4 m)	69	35.9	7.5
K59+410(深 2.5 m)	71	38.7	7.9	K84+000(深 1.9 m)	58	33.2	7.2
K59+940(深 1.5 m)	55	28.7	5.6	K84+800(深 1.5 m)	50	25.6	6.7
K59+940(深 2.5 m)	57	31.1	7.2	K85+000(深 2.1 m)	24	18.9	4.3
K61+800(深 1.0 m)	33	16.9	3.5	K85+870(深 2.3 m)	63	38.2	7.6
K61+800(深 3.0 m)	48	26.6	5.4	K86+600(深 2.0 m)	55	31.4	6.9
K64+200(深 1.0 m)	19	10.7	2.3	K86+960(深 2.5 m)	55	36.0	7.5
K64+200(深 3.0 m)	42	29.7	5.2	K86+960(深 5.0 m)	57	28.7	5.3
K68+900(深 2.0 m)	53	33.8	5.8	K89+200(深 2.0 m)	42	24.4	5.7
K70+200(深 3.0 m)	66	37.3	7.5	K89+400(深 2.0 m)	41	25.0	5.3
K70+800(深 3.0 m)	62	44.2	8.6	K92+700(深 2.0 m)	57	33.6	6.0
K71+400(深 3.5 m)	57	36.8	9.0				

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

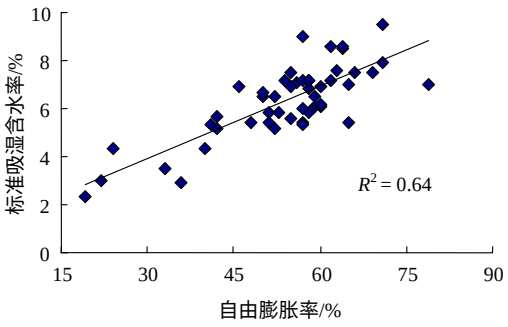

图 1　标准吸湿含水率与自由膨胀率的关系

Fig.1　Relationship between standard absorption water content and free swelling ratio

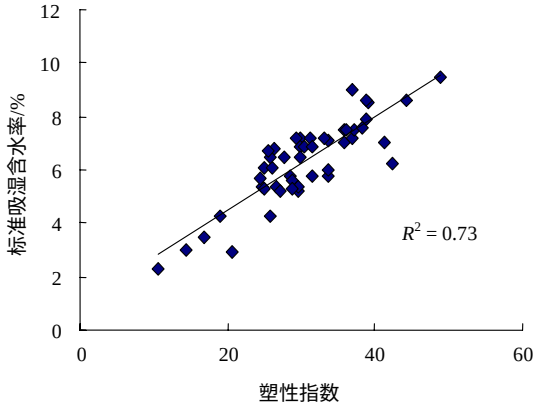

图 2　标准吸湿含水率与塑性指数的关系

Fig.2　Relationship between standard absorption water content and plasticity index

素，其中最主要的问题在于不同的试验人员采用同一标准量筒量所量取的土样密度可相差 10%以上。故对该指标的可靠性及能否反映土的本质等一直存在争议。但是，自由膨胀率的试验方法简单易行，能在一定程度上反映土体的膨胀特性，尽管不宜作为进行土样判别的单一指标，但仍可作为一项辅助判别指标。

由图 2 可知，R^2 = 0.73，稍高于自由膨胀率。从物理意义上讲，塑性指数在一定程度上反映控制形成胀缩性能的浓差渗透吸附结合水的发育程度，即土粒与水的相互作用的程度。所以，塑性指数本身是一种反映膨胀土本质特征的指标。标准吸湿含水率能很好地反映膨胀土蒙脱石含量、阳离子交换量和比表面积等矿物组成特征[3]，其与塑性指数的线性关系说明标准吸湿含水率作为一项膨胀土判别与分类指标具有很强的理论基础和分类特征，能较好地反映膨胀土膨胀潜势的高低，可以作为皖中膨胀土判别和分类指标。

塑性指数、自由膨胀率、标准吸湿含水率均为膨胀土的属性指标，显示了一定的相关性，但由于膨胀土的性质既受控于土的物质组成，又受其微观结构的影响，膨胀土的属性指标表现出一定的非协调性。膨胀土的物质组成、内部结构等本质特性存在一定的联系与区别，任何一个指标都只能代表着某一方面的特性。正因为如此，膨胀土的分类与判别需采用多指标判别法。

3.4　膨胀土分类结果分析

依据规范所推荐的膨胀土分级标准对所取土样进行了判别分类，仅有 3 个土样的各项判别指标能达到一致，而大多数试样的 3 个指标的判别结果出现较大的差异。表 4 所示为依据单个指标得到的膨胀土判别统计结果。从自由膨胀率和塑性指数的判别结果来看，所取土样以弱～中膨胀土为主，其占总土样个数的 89.7%；而以标准吸湿含水率进行判别，共有 43 个土样被判定为中～强膨胀土，占总土样个数的 87.7%。33 个土样的标准吸湿含水率的判别结果比根据自由膨胀率和塑性指数的判别结果高 1 个等级。

表 4　膨胀土判别统计结果

Table 4　Statistical results of classification for expansive soils

判别指标	非膨胀土	弱膨胀土	中膨胀土	强膨胀土
自由膨胀率	5	29	15	0
标准吸湿含水率	1	5	21	22
塑性指数	2	15	28	4

根据前述皖中地区膨胀土的基本物理力学特征和所取土样的野外地质特征，该区域以弱～中膨胀土为主。所以，以自由膨胀率和塑性指数进行判别分类的结果更符合实际情况，而根据标准吸湿含水率给出的膨胀潜势等级明显偏高，与其他指标不协调。这说明新规范所推荐的标准吸湿含水率分级评判标准不适用于皖中地区膨胀土。

由表 4 还可知，单纯按自由膨胀率进行分类，弱膨胀土居多；而按塑性指数进行分类，中膨胀土居多，即两者的分类结果存在着一定的差异。从表 3 所列试验数据可以发现，大量土样的自由膨胀率在 60%左右、塑性指数在 28 左右，即处于弱膨胀土和中膨胀土的分级界限值附近。同一土样的两

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

项指标往往处于不同的分类等级区间，在进行综合判别时，很难界定其是弱膨胀土还是中膨胀土。这与有关研究[6, 7]中显示的皖中膨胀土的试验结果相符合。笔者认为将其定义为弱偏中等膨胀土更为合理，在实际工程中应结合膨胀土的胀缩特性指标、强度指标进行应用范围的限定和处治方案的设计。

4　膨胀土判别与分类标准改进建议

如前所述，自由膨胀率的分类在理论上和操作上存在着较多弊端，对于不同区域的膨胀土，其土体密度不同，自由膨胀率会出现较大的差异，其作为分级标准也就不可能适用于全国各个地区的膨胀土。塑性指数能较好地反映粒度组成、分散特性和阳离子与黏土矿物的相互作用，是表征膨胀土本质特性的一种特征参数，其分级标准已得到大量试验的验证，作为判别分级指标的稳定性较好。本文将塑性指数作为皖中地区膨胀土判别与分类的主要控制指标。

由表 3，4 的试验结果可知，对于塑性指数达到 40 以上的 4 个强膨胀土，其自由膨胀率仅为 60%～79%；对于塑性指数处于 28～40 范围内的 28 个中膨胀土，有 17 个土样的自由膨胀率小于 60%，处于弱膨胀土的分级区间。以塑性指数作为参考标准，皖中地区膨胀土的自由膨胀率偏小。因此，根据皖中地区膨胀土的特点，应适当降低自由膨胀率分级的界限值。

标准吸湿含水率具有很好的分类特性，但设计规范推荐分级标准显然不适用于皖中地区的膨胀土。由试验结果可知，塑性指数主要变化区间为 25～41，标准吸湿含水率为 4.1%～8.5%，以标准吸湿含水率进行土质分类，其膨胀等级明显偏高。因此，应用标准吸湿含水率对皖中地区膨胀土进行判别分类，应提高其分级的界限值。

综上所述，建议对于皖中地区膨胀土，采用如表 5 所示的膨胀潜垫分级标准。

按表 5 对表 3 中土样重新分类，结果如表 6 所示。由表 6 可知，按本文建议的分级标准进行判别分类，其分类结果能达到较好的一致，且大部分土样的 3 项判别指标都能达到较好的统一，说明上述标准对于皖中地区膨胀土具有一定的适用性。

表 5　建议的膨胀潜势的分级标准

Table 5　Suggested grading standards of expansive soil

级别	自由膨胀率 F_s/%	标准吸湿含水率 w_f /%	塑性指数 I_p
非膨胀土	$F_s<35$	$w_f<4.1$	$I_p<15$
弱膨胀土	$35\leqslant F_s<55$	$4.1\leqslant w_f<6.0$	$15\leqslant I_p<28$
中等膨胀土	$55\leqslant F_s<70$	$6.0\leqslant w_f<8.5$	$28\leqslant I_p<40$
强膨胀土	$F_s\geqslant 70$	$w_f\geqslant 8.5$	$I_p\geqslant 40$

表 6　建议的膨胀土判别统计结果

Table 6　Statistical results of suggested classification for expansive soils

判别指标	非膨胀土	弱膨胀土	中膨胀土	强膨胀土
自由膨胀率	4	14	28	3
标准吸湿含水率	4	15	26	4
塑性指数	2	15	28	4

5　推荐的膨胀土判别与分类标准验证

为了验证本文建议的膨胀土判别与分类标准的准确性，本文结合小于 2 μm 黏粒含量、蒙脱石含量等其他本质特性指标，对规范推荐分类标准和上述建议标准进行了对比。表 7 列出了部分按“规范”推荐标准进行分类差异性较大的土样的基本物理特性指标及按单项指标的判别结果，同时参考原《公路路基设计规范》(JTJ 013－95)[10]和《铁路工程特殊岩土勘察规程》(TB10038－2001)[11]，列出按小于 2 μm 黏粒含量、蒙脱石含量单项指标进行分类的结果。

由表 7 可知，按规范推荐标准的 3 项指标进行分类，其单项指标的分类结果出现较大的分歧，尤其是 5#～7#土样，3 项指标的判别结果各不相同，跨越了 3 个区间。这说明规范推荐标准对于皖中地区膨胀土的判别和分类不适用。依据塑性指数的分类结果与小于 2 μm 黏粒含量、蒙脱石含量的分类结果能达到很好的统一。按这 3 项指标进行综合判别的结果的可信度较高。由此可知，按本文建议标准的分类结果与按上述 3 项指标的分类结果基本一致；相对而言，按新规范推荐标准，依据自由膨胀率试验值的分类结果普遍偏低，依据标准吸湿含水率试验值的分类等级偏高，进一步证实了前述

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

表 7　膨胀土土性试验结果

Table7　Testing result of soil parameters for expansive soils

土样编号	取土桩号	自由膨胀率 / %	塑性指数	标准吸湿含水率/%	≤2 μm 黏粒含量/ %	蒙脱石含量/ %	本文建议标准分类结果
1#	K72+300	71(中)	48.9(偏强)	9.6(强)	49(偏强)	23.30(中)	强
2#	K106+370	53(弱)	28.6(中)	5.7(中)	43(中)	18.96(中)	中
3#	K56+360	56(弱)	33.2(中)	5.6(中)	36(中)	19.38(中)	中
4#	K140+260	54(弱)	31.1(中)	6.2(中)	34(中)	18.81(中)	中
5#	K117+985	38(非)	25.2(弱)	4.4(中)	37(中)	10.64(弱)	弱
6#	K132+990	38(非)	22.6(弱)	4.0(中)	30(弱)	10.08(弱)	弱
7#	K136+200	31(非)	26.3(弱)	4.3(中)	30(弱)	9.35(弱)	弱

注：括号中为按“规范”推荐标准进性单项指标的分类结果。

分析的正确性。因此，通过引入小于 2 μm 黏粒含量、蒙脱石含量等指标，证实了本文建议分类标准对于皖中膨胀土的适用性要优于规范推荐标准。

6　结　论

膨胀土的判别与分类是膨胀土研究中的难点问题。《公路路基设计规范》(JTG D30－2004)通过对各种判别与分类方法的优缺点、全国膨胀土工程性质及内在关系研究，初步提出了按标准吸湿含水率、塑性指数和自由膨胀率进行判别和分类的方法。本文依托皖中地区在建的合肥—六安—叶集高速公路，采集大量土样开展该判别与分类方法的试验验证研究，得到如下几点结论：

(1) 标准吸湿含水率与塑性指数、自由膨胀率有着一定的线性关系，其作为一项膨胀土判别与分类指标具有很好的分类特性，可以作为皖中地区膨胀土判别与分类指标。

(2) 按标准吸湿含水率给出的膨胀潜势等级比按自由膨胀率和塑性指数给出的分类结果平均高一个等级。“规范”所推荐的分级评判标准不适用于皖中地区膨胀土。

(3) 结合本文试验数据、皖中地区膨胀土基本物理力学特征以及试样采集点的野外地质特征综合分析，该区域膨胀土以弱偏中等膨胀土为主，自由膨胀率整体偏小。

(4) 综合以上分析成果，本文建议了皖中地区膨胀土膨胀潜势分级的界限值。按本文建议的分级标准进行判别分类，其分类结果能达到较好的一致。

(5) 最后，通过引入小于 2 μm 黏粒含量、蒙脱石含量等本质特性指标，验证了本文推荐分类标准对于皖中地区膨胀土的适用性和准确性较好，具有一定的推广价值。

参考文献(References)：

[1] 贾东亮，丁述理，杜海金，等. 膨胀土工程性质的研究现状与展望[J]. 河北建筑科技学院学报，2003，20(1)：33－39.(Jia Dongliang，Ding Shuli，Du Haijin，et al. Studies on existing and prospect of engineering properties of expansive clay[J]. Journal of Hebei Institute of Architectural Science and Technology，2003，20(1)：33－39.(in Chinese))

[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.(Liu Tehong. Problems of Expansive Soils in Engineering Construction[M]. Beijing：China Architecture and Building Press，1997.(in Chinese))

[3] 姚海林，程　平，杨　洋，等. 标准吸湿含水率对膨胀土进行分类的理论与实践[J]. 中国科学(E集)，2005，35(1)：43－52.(Yao Hailin，Cheng Ping，Yang Yang，et al. Testing study on moisture water content of standard absorption for expansive soil[J]. Science in China(Ser. E)，2005，35(1)：43－52.(in Chinese))

[4] 中华人民共和国行业标准编写组. 公路路基设计规范(JTG D30－2004)[S]. 北京：人民交通出版社，2004.(The Professional Standard Compilation Group of People′s Republic of China. Specifications for Design of Highway Subgrades(JTG D30－2004)[S]. Beijing：China

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

Communications Press，2004.(in Chinese))

[5] 郝安宁. 皖中膨胀土的危害机制研究[J]. 中国地质灾害与防治学报，2003，14(3)：66－70.(Hao Anning. Mechanism of hazards caused by expansive soils in the middle area of Anhui Province[J]. The Chinese Journal of Geological Hazard and Control，2003，14(3)：66－70.(in Chinese))

[6] 王国强. 安徽省江淮地区膨胀土的工程性质研究[J]. 岩土工程学报，1999，21(1)：119－121.(Wang Guoqiang. Study on engineering properties of expansive soil in Yangtze—Huaihe Region of Anhui Province[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering，1999，21(1)：119－121.(in Chinese))

[7] 孙凤贤，阮传贵，马作明. 安徽省中部地区膨胀土的胀缩特性研究[J]. 安徽地质，2004，14(1)：33－39.(Sun Fengxian，Yuan Chuangui，Ma Zuoming. Study on expansion-shrinkage characteristics of soil in the middle area of Anhui Province[J]. Geology of Anhui，2004，14(1)：33－39.(in Chinese))

[8] 中华人民共和国行业标准编写组. 公路土工试验规程(JTJ 051－93)[S]. 北京：人民交通出版社，1993.(The Professional Standard Compilation Group of People′s Republic of China. Test Methods of Soils for Highway Engineering(JTJ 051－93)[S]. Beijing：China Communications Press，1993.(in Chinese))

[9] 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 Hailin，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.(in Chinese))

[10] 中华人民共和国行业标准编写组. 公路路基设计规范(JTJ 031－95)[S]. 北京：人民交通出版社，1995.(The Professional Standard Compilation Group of People′s Republic of China. Specifications for Design of Highway Subgrades(JTJ 031－95)[S]. Beijing：China Communications Press，1995.(in Chinese))

[11] 中华人民共和国行业标准编写组. 铁路工程特殊岩土勘察规程(TB 10038－2001)[S]. 北京：中国铁道出版社，2001.(The Professional Standard Compilation Group of People′s Republic of China. Code for Special Soil and Rock Investigation of Railway Engineering(TB 10038－2001)[S]. Beijing：China Railway Publishing House，2001.(in Chinese))

(上接第 2107 页)

本刊 2006 年增刊 1 被 EI 收录论文(114 篇，收录率为 100%)题录

No.	论　文　题　目	作　者　名	页　码
80	动力扰动导致巷道围岩层裂结构及冲击矿压的数值模拟	张晓春　卢爱红　王军强	3 110－3 114
81	黄土地区框架预应力锚杆支护结构设计参数的灵敏度分析	周　勇　朱彦鹏	3 115－3 122
82	土钉墙的一种可靠性自动优化设计法	朱彦鹏　王秀丽　李　忠等	3 123－3 130
83	基于电性变化进行黄河水下三角洲饱和粉土触变过程研究	郭秀军　贾永刚　黄潇雨	3 131－3 136
84	土压平衡盾构掘进机刀盘扭矩模拟试验研究	吕　强　傅德明	3 137－3 143
85	黄河三角洲细粒土微振液化分析	张　珂　刘正银　单红仙等	3 144－3 151
86	软黏土的动力损伤模型及其应用	熊玉春　房营光　徐国辉	3 152－3 156
87	改良膨胀土施工技术与改良土的性质研究	王保田　张福海　张文慧	3 157－3 161
88	桩网复合地基土工格栅加筋效应的试验研究	曹新文　卿三惠　周立新	3 162－3 167
89	青藏铁路多年冻土区土工格室护坡试验研究	魏　静　许兆义　包黎明等	3 168－3 173
90	垛式新型悬臂式挡墙的数值分析及应用探讨	梁　波　王家东　严松宏	3 174－3 180
91	大直径现浇混凝土薄壁筒桩竖向承载力计算研究	周　建	3 181－3 189
92	桩与滞回阻尼土相互作用时桩基扭转振动时域响应分析	胡昌斌　张　涛	3 190－3 197
93	应用低应变能量分析确定基桩缺陷程度	张献民　李少波	3 198－3 205
94	斜拉桥试验模型相似性推导与动力问题的数值分析	陈星烨　颜东煌　马晓燕	3 206－3 211
95	考虑扰动的饱和软黏土球形孔扩张弹塑性解	徐书平　刘祖德　司马军	3 212－3 217
96	模块式加筋土挡墙墙面板与土工格栅之间的摩擦性质研究	刘卫华　雷胜友　黄润秋等	3 218－3 223
97	基于能量法的强夯频域分析	谢能刚　赵　雷　方　浩	3 224－3 228
98	海洋平台桩基的振动台模型试验研究	冯士伦　王建华	3 229－3 234

(下转第 2139 页)

?1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net