

文章编号: 1000-2618(2009)03-0305-05

【土木工程】

皖西膨胀土标准吸湿含水率特征

杨 明¹, 许锡昌², 罗红明², 马晓英³

(1. 合肥工业大学土木与水利工程学院, 合肥 230009; 2. 中国科学院武汉岩土力学研究所岩土力学与工程国家重点实验室, 武汉 430074; 3. 安徽瑞通交通开发有限公司, 合肥 230088)

摘 要: 以周集—六安高速公路为工程背景, 探讨标准吸湿含水率在皖西膨胀土判别和分类中的适用性, 以及与其他判别指标的相关性. 研究表明, 标准吸湿含水率和塑性指数在膨胀土的判别上较为一致, 但按自由膨胀率判别的膨胀潜势整体较弱, 说明新公路规范推荐的判别与分类标准不适用于皖西膨胀土; 标准吸湿含水率与液限、塑性指数、自由膨胀率和胶粒含量等判别指标具有一定的相关性, 决定系数达 0.50~0.73. 在一定程度上反映了膨胀土的本质属性, 可作为辅助判别指标.

关键词: 标准吸湿含水率; 膨胀土; 膨胀潜势; 液限; 塑性指数; 自由膨胀率; 胶粒含量
中图分类号: TU411.2 **文献标识码:** A

正确区分膨胀土与非膨胀土是膨胀土地区工程建设的首要问题. 针对膨胀土的判别与分类, 学术界开展了大量研究, 提出了最大胀缩性指标法、塑性图法^[1]和风干含水率法^[2], 以及基于模糊数学、神经网络和灰关联分析的多指标判别与分类法^[3,5]等. 姚海林等^[6]提出了含自由膨胀率、标准吸湿含水率和塑性指数等 3 个指标的膨胀土判别与分类方法 (简称三指标法), 该法已纳入《公路路基设计规范》(JTG D30-2004)^[7]. 段海澎等^[8]对三指标法的适用性进行了探讨, 认为标准吸湿含水率具有较好的分类特性, 与其他判别指标的相关性较好, 但按规范推荐标准判定的皖中膨胀土膨胀等级明显偏高, 提出皖中地区膨胀土膨胀潜势分级的界限值建议. 许锡昌等^[9]讨论了备样方法对标准吸湿含水率试验结果的影响, 指出在原状样缺乏时可采用其他备样方法的试验来代替, 但必须对其进行修正. 由于标准吸湿含水率概念提出不久, 是否适用于皖西膨胀土的判别与分类尚无研究涉及. 为此, 本文以周集—六安高速公路为工程背景, 通过大量土性试验数据, 研究标准吸湿含水率在皖西膨胀土判别分类中的适用性, 以及与其他判别指标的相关性.

1 土样采集和试验说明

周集—六安高速公路穿越皖西地区, 全长 91.452 km, 其中膨胀土路段约 40 km, 约占全程的 45%. 工程沿线膨胀土的膨胀性存在一定差异, 自起点向终点膨胀性略微增强, 岩性以棕色、棕黄及棕红色的黏土、亚黏土为主, 含铁、锰质结核及薄膜, 呈硬塑状, 柱状节理发育, 节理面光滑.

为了对沿线土质进行详细鉴别, 在工程沿线各挖方段和取土场共采集 43 个土样进行判别试验, 主要开展自由膨胀率、液塑限联合测定、颗粒分析以及标准吸湿含水率等试验. 前 3 项试验均依照《公路土工试验规程》(JTJ051-93)进行. 标准吸湿含水率试验按照《公路路基设计规范》和文献^[10]进行, 试验温度控制在 (25±3) °C, 相对湿度控制在 (65±5)%. 天平精度为 0.01 g, 干燥箱采用电热烘箱, 温度控制在 105~110 °C.

取代表性风干土样用橡皮锤碾散, 过 0.5 mm 筛, 取筛下土 10 g 左右放入编号的铝盒中, 在电热烘箱中以 105~110 °C 的温度烘至恒重. 将盛有烘至恒重土样的铝盒盖好盒盖, 在干燥器中冷却至室

收稿日期: 2009-02-10 修回日期: 2009-05-01

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (50279050)

作者简介: 杨 明 (1968-) 男 (汉族), 辽宁省建昌县人, 合肥工业大学高级工程师、博士. E-mail: ym@126.com

http://jurnal.szu.edu.cn

温, 称量干土质量, 记为 m_0 . 打开盒盖, 放在温度为 $(25 \pm 3)^\circ\text{C}$, 湿度为 60% ~ 70% 的环境中自然吸水至恒重, 这一过程通常需要 48 ~ 72 h (本次试验全部试样在 72 h 内达到恒重). 称量吸湿土质量, 记为 m_1 . 按 $(m_1 - m_0) \times 100 / m_0$ 计算标准吸湿含水率. 限于篇幅, 43 个土样的试验结果详见文献 [11].

2 基本特征

根据文献 [11] 试验数据, 图 1 给出 43 个土样标准吸湿含水率试验结果的频次直方图.

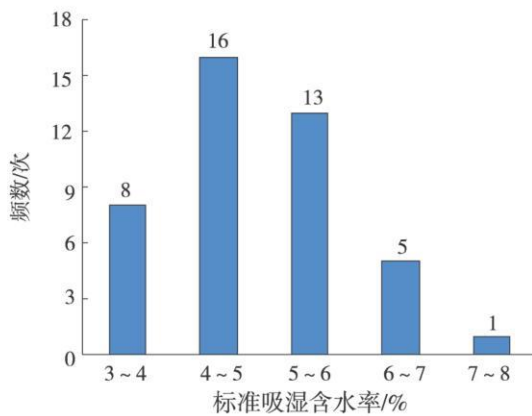


图 1 标准吸湿含水率频次直方图

Fig 1 The frequency histogram of standard absorption moisture

由图 1 可见, 皖西膨胀土的标准吸湿含水率呈近似正态分布特征, 分布区间集中在 3% ~ 6%, 均值为 4.9%, 说明该区域膨胀土膨胀潜势的地区差异不大. 图 2 列出了依照规程 JIG D30-2004 按单个指标进行膨胀土等级判别的统计结果.

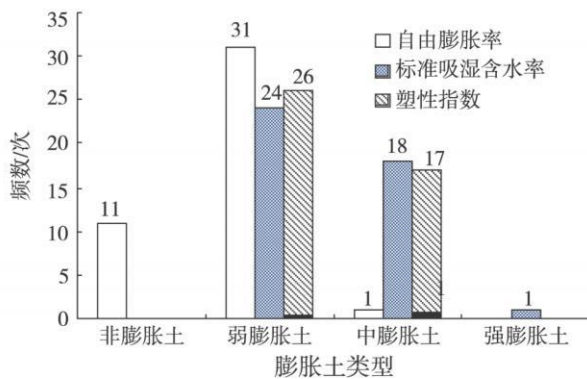


图 2 膨胀土判别统计结果频次直方图

Fig 2 The frequency histogram of classification for expansive soil

从图 2 可知, 弱膨胀土和中膨胀土的标准吸湿含水率与塑性指数较接近, 但自由膨胀率与其他两项指标不一致, 整体判别的膨胀潜势等级偏弱, 而标准吸湿含水率判别的膨胀潜势等级偏强, 说明规程推荐的膨胀土判别与分级标准不完全适合于皖西膨胀土.

3 与其他判别指标的关系

3.1 与液限的关系

图 3 给出根据试验结果 [11] 绘出的标准吸湿含水率与液限关系图.

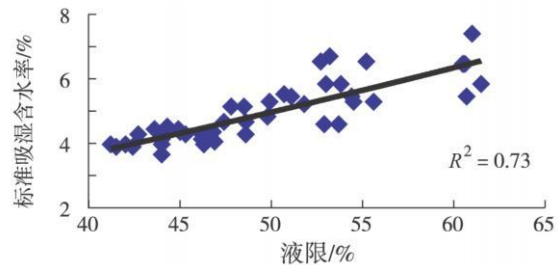


图 3 标准吸湿含水率与液限关系图

Fig 3 Relationship between standard absorption moisture and liquid limit

由图 3 可见, 标准吸湿含水率与液限的相关性较好, 决定系数 R^2 达 0.73. 土的界限含水率是反映土粒与水相互作用的灵敏指标之一, 在一定程度上反映了土的亲水性能. 通常液限越高, 缩限越低, 膨胀土的膨胀潜势就越大. 这说明标准吸湿含水率可作为判别指标.

3.2 与塑性指数的关系

图 4 给出标准吸湿含水率与塑性指数的关系. 由图 4 可见, 标准吸湿含水率与塑性指数相关, 决

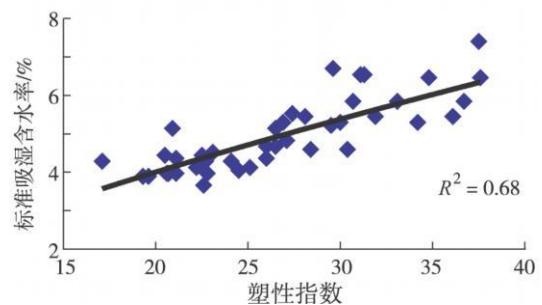


图 4 标准吸湿含水率与塑性指数关系图

Fig 4 Relationship between standard absorption moisture and plasticity index

定系数 R^2 达 0.68。土的胀缩性能是土粒与水作用形成的结合水变化的结果, 影响土的胀缩性能的主要因素是浓差渗透吸附结合水的变化, 浓差渗透吸附结合水的数量可近似用塑性指数表示, 其变化幅度主要取决于液限的高低。因此, 塑性指数也是一个反映膨胀性能的重要指标。标准吸湿含水率和塑性指数的相关性较好, 说明标准吸湿含水率可作为判别指标。

3.3 与自由膨胀率的关系

图 5 给出标准吸湿含水率与自由膨胀率的关系, 标准吸湿含水率与自由膨胀率的决定系数达 0.63。自由膨胀率的测试方法简捷, 常作为土膨胀特性的直接量度指标之一。也有学者不主张采用该指标^[12], 原因有: ① 测试过程中存在较多人为因素干扰, 短颈漏斗的上下口径、漏斗口距离量杯的高度以及漏斗口堆土高度等对土的质量影响很大; ② 土样的破碎程度对 10 cm^3 土样的质量影响较大, 不同破碎程度的土样, 质量相差可达 1% 左右; ③ 该测试方法使土颗粒间结合力丧失, 膨胀得到充分发挥, 其结果并不能代表土体的真正膨胀潜势。笔者认为, 将自由膨胀率作为单一的判别指标是不可取的, 但将它与其他指标联合判别是可行的。标准吸湿含水率与自由膨胀率的相关性也说明标准吸湿含水率可以作为膨胀土的辅助判别指标。

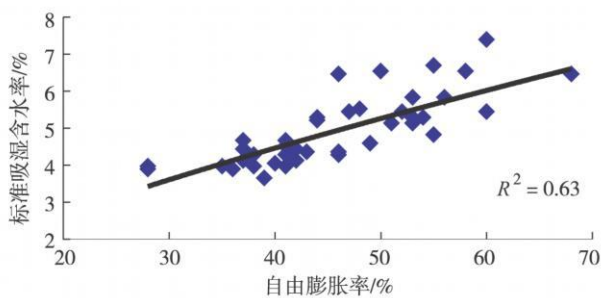


图 5 标准吸湿含水率与自由膨胀率的关系
Fig 5 Relationship between standard absorption moisture and free swelling ratio

3.4 与胶粒含量的关系

图 6 给出标准吸湿含水率与胶粒含量的关系。粒度成分是反映膨胀土物质组成的基本特性指标, 土中粒径小于 0.005 mm 的黏粒与小于 0.002 mm 的胶粒越多, 表明蒙脱石成分较多, 分散性较好, 比表面积大, 亲水性强, 膨胀性也越大。所以, 不少规程将粒径小于 0.002 mm 的胶粒含量作为膨胀土

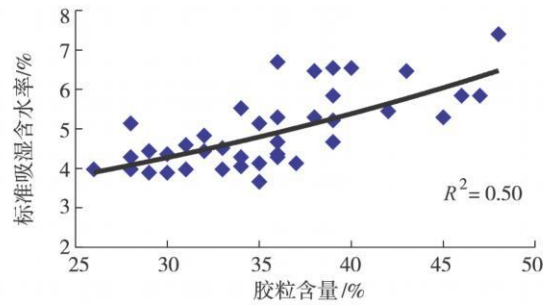


图 6 标准吸湿含水率与胶粒含量的关系
Fig 6 Relationship between standard absorption moisture and the content of colloidal particle

的判别指标之一。由图 6 可见, 标准吸湿含水率随粒径小于 0.002 mm 胶粒含量的增多呈升高趋势, 标准吸湿含水率与胶粒含量高度相关。可见, 标准吸湿含水率也能在一定程度上反映胶粒含量的多少, 可作为膨胀土的判别指标, 但其数据相对离散, 两者的决定系数相对其他 3 个判别指标偏低, 其值仅为 0.50。

3.5 讨论

对于皖西膨胀土, 标准吸湿含水率和塑性指数在膨胀土的判别上较为一致, 而自由膨胀率判别的膨胀潜势整体较弱。每一个判别指标都直接或间接地反映出膨胀土某一属性, 各判别指标又呈现出一定的差异性, 因此在膨胀土的判别与分类方面还有大量工作要做, 如: ① 样本偏少。本文仅考察了周集—六安高速公路沿线的 43 个土样, 数量偏少。标准合理的验证应基于大量样本数据分析, 标准吸湿含水率在膨胀土判别与分类中的适用性尚需经过更多膨胀土试验验证; ② 皖西膨胀土自身的特殊性。以自由膨胀率为例, 许多学者曾建议将判别皖西膨胀土的下限定为 30%, 说明该地区的膨胀土的确与其他地区的膨胀土存在差异。鉴于此, 应对皖西地区的膨胀土作进一步研究, 找出适合皖西地区膨胀土的判别与分类标准; ③ 标准吸湿含水率与液限、塑性指数、自由膨胀率和黏粒含量之间线性相关, 能反映膨胀土的本质, 但存在一定的离散性, 这主要归因于原状土样的不均一性和差异性, 因此, 应结合工程实际建立适宜的分类标准进行膨胀土判别; ④ 现有标准的局限性。任何一部标准都有其局限性, 固守规程或依靠单个指标判别是不可取的, 只有考虑多个指标综合判断, 才能得到合理的分类。

<http://journals.szu.edu.cn>

结 语

标准吸湿含水率能反映膨胀土膨胀潜势的强弱,但规程 JIG D30-2004 推荐的判别与分类标准不完全适合皖西膨胀土,需要进一步验证和完善皖西地区膨胀土的判别与分类标准. 标准吸湿含水率与液限、塑性指数、自由膨胀率和胶粒含量具有一定的相关性,决定系数达到 0.50~0.73,说明标准吸湿含水率能够反映膨胀土的本质属性,可以作为辅助判别指标,在实际工程中应与其他判别指标相结合制订科学适宜的分类标准.

参考文献:

- [1] 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: 78-93.
- [2] 谭罗荣, 张梅英, 邵梧敏, 等. 风干含水率 W₆₅ 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.
- [3] 郭昱葵, 熊友山, 姚海林, 等. 模糊数学在当宜高速公路膨胀土判别和分类中的应用 [J]. 岩土力学, 1999, 20 (3): 61-65.
- [4] 陈新民, 李生林. 膨胀土判别与分类的灰关联分析法 [J]. 岩土力学, 1996, 17 (14): 30-34.
- [5] 陈爱军, 杨和平. 神经网络在公路膨胀土胀缩等级判别中的应用 [J]. 长沙交通学院学报, 2003, 19 (2): 21-25.
- [6] 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 辑), 2005, 35 (1): 43-52.
- [7] 中华人民共和国行业标准编写组. 公路路基设计规范 (JIG D30-2004) [S]. 北京: 人民交通出版社, 2004.
- [8] 段海澎, 陈善雄, 余飞, 等. 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 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25 (10): 2121-2127.
- [9] 许锡昌, 陈善雄, 余飞, 等. 备样方法对标准吸湿含水率试验结果的影响 [J]. 岩石力学与工程学报, 2006, 25 (10): 2135-2139.
- [10] 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.
- [11] 中国科学院武汉岩土力学研究所. 周一六高速公路膨胀土工程特性及其处治试验研究阶段报告: 周一六高速公路第 1~8 标合同段土性试验报告 [R]. 武汉: 中国科学院武汉岩土力学研究所, 2006.
- [12] 张倩. 谈谈自由膨胀率的局限性 [J]. 交通标准化, 2004, 18 (4): 24-25.

Abstract: 1000-2618(2009)03-0308-EA

【Architecture and Civil Engineering】

Character of standard absorption moisture of expansive soil in western Anhui

YANG Ming, XU Xi-chang,
LUO Hong-ming, and MA Xiao-yin

1) School of Civil Engineering
Hefei University of Technology
Hefei 230009
P. R. China

2) State Key Laboratory of Geomechanics and Geotechnical Engineering
Institute of Rock and Soil Mechanics
Chinese Academy of Science
Wuhan 430071
P. R. China

3) Anhui Ruitong Traffic Exploiture Co. LTD
Hefei 230088
P. R. China

Abstract: Taking Zhouji-Lu highway as a project example, the applicability of standard absorption moisture for

<http://journals.szu.edu.cn>

classification of western Anhui expansive soil and the correlated character with the other discrimination index are discussed. The standard absorption moisture is consistent with plasticity index in the identification of expansive soil but the scale of expansive potentiality according to the free swelling ratio is weaker than that of other indexes. This indicates that the criterion recommended by Specifications for design of highway subgrades (JTG D30-2004) is unsuitable for expansive soil in western Anhui. There are certain relations between standard absorption moisture and other indexes such as liquid limit, plasticity index, free swelling ratio and the content of colloidal particle. The coefficient of determination is from 0.49 to 0.73. Therefore, standard absorption moisture can be used as the auxiliary index for classification of expansive soil as it reflects the nature of the expansive soil.

Key words: standard absorption moisture; expansive soil; expansive potentiality; liquid limit; plasticity index; free swelling ratio; content of colloidal particle

References

- [1] LIU Te-hong. The Problems of Expansive Soils in Engineering Construction [M]. Beijing: China Architecture & Building Press, 1997: 78-93 (in Chinese).
- [2] TAN Luo-long, ZHANG Mei-yin, SHAO Wu-ming et al. The practicality research on use of air-dry moisture content W₆₅ as identification index of the swelling soil [J]. Journal of Engineering Geology, 1994, 2(1): 15-26 (in Chinese).
- [3] GUO Yu-kui, XIONG You-shan, YAO Hai-lin et al. Application of fuzzy mathematics in classification of expansive soils for Expressway from Dangyang to Yichang [J]. Rock and Soil Mechanics, 1999, 20(3): 61-65 (in Chinese).
- [4] CHEN Xin-ming, LI Sheng-lin. A New approach for identification and classification of expansive soils with grey correlation analysis [J]. Rock and Soil Mechanics, 1996, 17(4): 30-34 (in Chinese).
- [5] CHEN Ai-jun, YANG He-ping. Application of neural network to the grading of shrinkage and expansion of expansive soils for highways [J]. Journal of Changsha Communications University, 2003, 19(2): 21-25 (in Chinese).
- [6] YAO Hai-lin, CHENG Ping, YANG Yang et al. Testing study on moisture water content of standard absorption for expansive soil [J]. Science in China (E Engineering & Materials Science), 2005, 35(1): 43-52 (in Chinese).
- [7] The Professional Standard Compilation Group of the People's Republic of China. Specifications for Design of Highway Subgrades [S]. Beijing: China Communications Press, 2004 (in Chinese).
- [8] DUAN Hai-peng, CHEN Shan-xiong, YU Fei et al. Applicability of specifications recommended classified method for expansive soil in the middle of Anhui Province [J]. Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(10): 2121-2127 (in Chinese).
- [9] XU Xi-chang, CHEN Shan-xiong, YU Fei et al. Effect of different sampling methods on standard absorption water content [J]. Rock Mechanics and Engineering, 2006, 25(10): 2135-2139 (in Chinese).
- [10] 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 (in Chinese).
- [11] Institute of Rock & Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences. Experimental research on engineering properties of expansive soil and its treatment measures for Zhouji-Lu'an highway stage report. Experimental report of engineering properties of expansive soil for 1th ~ 8th contract parts of Zhouji-Lu'an highway [R]. Wuhan: Institute of Rock & Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, 2006 (in Chinese).
- [12] ZHANG Qian. Discussion on limitations in free expansive rate test [J]. Communications Standardization Issue, 2004, 18(4): 24-25 (in Chinese).

【中文责编: 坪梓; 英文责编: 之隼】

http://journals.szu.edu.cn