

# 备样方法对标准吸湿含水率的影响

许锡昌, 陈善雄, 余飞, 余颂

(中国科学院 武汉岩土力学研究所, 湖北 武汉 430071)

**摘要:** 利用室内试验手段研究了不同备样方法对标准吸湿含水率的影响。研究表明: 原状样和调制样的试验结果大于风干样和烘干样; 原状样与其他3种备样方法的试验结果呈线性关系, 相关系数的平方为0.94~0.97, 说明在原状样缺乏时可采用其他备样方法的试验结果来代替, 但必须对其进行修正。

**关键词:** 土力学; 备样方法; 膨胀土; 标准吸湿含水率; 结构性; 起始含水量; 脱湿、吸湿过程

**中图分类号:** TU 47

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-6915(2006)10-2135-05

## EFFECT OF DIFFERENT SAMPLING METHODS ON STANDARD ABSORPTION WATER CONTENT

XU Xichang, CHEN Shanxiong, YU Fei, YU Song

(Institute of Rock and Soil Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Wuhan, Hubei 430071, China)

**Abstract:** The testing result of standard absorption water content strongly depends on the initial moisture content, structural property, and moisture elimination and absorption procedure of the samples. It is important to study the standard absorption water content with different sampling methods. The research results show that the value of the undisturbed and remolded samples is greater than that of air-dried and oven-dried samples. A certain linear dependence relation exists between the standard absorption water content of the undisturbed sample and that of other three sampling methods, and the square of correlation coefficient is 0.94 - 0.97. After being modified, the testing results of other sampling methods can substitute for those of the undisturbed samples.

**Key words:** soil mechanics; sampling method; expansive soil; standard absorption water content; structural property; initial moisture content; moisture elimination and absorption procedure

## 1 引言

膨胀土是一种特殊土, 其黏粒成分主要由强亲水性矿物蒙脱石与伊利石组成, 属颗粒高分散、对环境的湿热变化非常敏感的高塑性黏土, 其吸水膨胀软化、失水收缩干裂并反复变形的特性威胁着膨胀土地区各种建筑工程的安全。正确区分膨胀土与非膨胀土并采取合理的处理措施, 对于保证膨胀土

地区建筑工程的安全具有重要意义。

目前, 膨胀土的判别与分类方法主要有两大类<sup>[1]</sup>: 一类是直接指标法, 即用胀缩性指标和土的物化性质指标相结合的方法作为分类指标。这里所说的物化性质指标是指蒙脱石含量、比表面积和阳离子交换量等<sup>[2]</sup>。另一类是间接指标法, 即用液限、塑限、塑性指数、自由膨胀率、黏粒含量等作为分类指标<sup>[3, 4]</sup>。

用直接指标法进行分类虽然比较直观, 但试验

**收稿日期:** 2005-08-23; **修回日期:** 2005-12-30

**作者简介:** 许锡昌(1972-), 男, 博士, 1995年毕业于山东矿业学院矿井建设专业, 现任助理研究员, 主要从事土与结构物相互作用方面的研究工作。E-mail: xcxu@whrsm.ac.cn

方法均比较复杂, 要求试验人员具有较好的专业知识和试验技能。用间接指标法进行分类尽管不那么直观, 但试验方法通常简单易行。

标准吸湿含水率是指在标准温度(通常为 25 °C)和标准相对湿度(通常为 60%)条件下土样的吸附平衡含水量, 该指标已写入《公路路基设计规范》(JTG D30 - 2004)<sup>[4]</sup>条文说明中, 用于膨胀土的判别与分类。

研究发现, 该指标与蒙脱石含量和比表面积有良好的线性关系, 具有较明确的物理意义, 可以作为间接指标对膨胀土进行判别和分类<sup>[5, 6]</sup>。

测定标准吸湿含水率时, 要求从原状土样上削取厚约 1 mm 的薄片进行试验<sup>[7]</sup>, 然而经常会遇到土样偏干而无法削片或根本就没有原状样的情况, 此时比较简便的变通办法是采用风干样代替。

所以, 探讨不同备样方法对膨胀土标准吸湿含水率的影响, 对于弥补测试过程中原状样缺乏所带来的不便以及快速、准确地测定该指标具有重要意义<sup>[8]</sup>。本文采用试验的方法定量研究这种影响, 以期推动相关领域的科研发展。

## 2 试验方案设计

### 2.1 备样方法及其特点

原状样较干而无法备样或缺乏时, 可利用风干样代替, 此时有 3 种备样方法可选: (1) 风干土; (2) 烘干土; (3) 将风干土人工调制成含水量接近液限的土膏。所以, 试验时可设计 4 种备样方法: 原状样、风干样、烘干样和调制样。4 种样品的差异包括试样的起始含水量、结构性和脱湿、吸湿过程等方面。

#### (1) 起始含水量

起始含水量对膨胀土的胀缩特性影响显著, 原状样的含水量一般接近塑限或平衡含水量, 而风干样含水量较低, 一般低于 10%, 夏季经曝晒后常在 5% 以下, 风干样烘干后的含水量为 0, 所以通过此项研究, 可探讨起始含水量对标准吸湿含水率的影响。

#### (2) 结构性

结构性是黏性土的典型特征, 重塑土与原状土的力学指标通常存在较大差异。4 种备样方法中, 原状样具有一定的结构性, 其他则基本丧失或改变了原有的结构性。

#### (3) 脱湿、吸湿过程

与标准吸湿含水率相比, 原状样和调制样的起始含水量较高, 试验为脱湿过程; 风干样和烘干样的起始含水量较低, 试验为吸湿过程。将 4 种备样方法的试验结果进行比较, 可探讨脱湿、吸湿过程对标准吸湿含水率的影响。

4 种备样方法的基本特征见表 1。

表 1 4 种备样方法的基本特征  
Table 1 Basic features of four sampling methods

备样方法	结构性	试验起始含水量	脱湿吸湿过程	
			备样	试验
原状样	具有一定结构性	天然含水量	—	脱湿
调制样	结构性基本丧失	接近液限	脱湿→吸湿	脱湿
风干样	结构性丧失	风干含水量	脱湿	吸湿
烘干样	结构性丧失	含水量为 0	脱湿	吸湿

### 2.2 土样的采集

本次试验共采集 9 个原状土样, 其中 1<sup>#</sup>~5<sup>#</sup>取自合肥一六安高速公路沿线, 6<sup>#</sup>~9<sup>#</sup>取自周集一六安高速公路第 7 标段各取土坑。

原状样与其他备样方法的起始含水量见表 2。

表 2 试样的起始含水量  
Table 2 Initial moisture content of samples

土样编号	取样位置	起始含水量/%			
		原状样	调制样	风干样*	烘干样
1 <sup>#</sup>	K84+400 3.5~4.0 m	20.7	20.7	4.7	0
2 <sup>#</sup>	K83+520 2.5~3.0 m	18.7	18.7	3.2	0
3 <sup>#</sup>	K44+020 1.5~1.6 m	21.5	21.5	6.6	0
4 <sup>#</sup>	K45+910 0.9~1.1 m	21.2	21.2	3.5	0
5 <sup>#</sup>	K45+980, 0.3~0.5 m	25.1	25.1	4.4	0
6 <sup>#</sup>	7-1 <sup>#</sup> 取土坑, 0.3 m	20.8	20.8	2.4	0
7 <sup>#</sup>	7-4 <sup>#</sup> 取土坑, 0.3 m	19.9	19.9	3.4	0
8 <sup>#</sup>	7-5 <sup>#</sup> 取土坑, 0.5 m	20.1	20.1	2.8	0
9 <sup>#</sup>	7-8 <sup>#</sup> 取土坑, 0.5 m	21.5	21.5	2.1	0

注: 风干样一般都经过晾晒。

### 2.3 主要试验仪器和试验方法

#### (1) 主要仪器设备

JHT20 II 型恒温恒湿箱：温控精度为 ±1 °C；  
湿控精度为 ±3%。

梅特勒电子天平：感量 1 mg。

恒温干燥箱：温控精度为(105±1)°C。

(2) 备样方法

原状样：从土样上削取厚约 1 mm 的薄片若干，分装入 6 只直径为 6 cm 的铝盒中，每只铝盒中土的质量约 4~5 g，用电子天平称重。

风干样：原状样或扰动样风干后，在橡皮垫上用木锤碾碎后过 2 mm 筛，称量方法同原状样。

烘干样：取过 2 mm 筛的风干土样，称量方法同原状样，在恒温干燥箱中烘至恒重，时间不少于 6~8 h。

调制样：取过 2 mm 筛的风干土样，按照测定液限的方法，将土样调成含水量接近液限的土膏，将其摊抹成薄片状，稍干后即可装入铝盒中用于试验。

(3) 试验步骤

将装入试样的铝盒放入恒温恒湿箱后，原则上每 24 h 取出称重一次，当连续 2 次的称量结果不超过 0.002 g 时视为恒重。

详细试验步骤请参考姚海林等<sup>[7]</sup>的研究成果。

### 3 试验结果及分析

#### 3.1 试验结果

表 3 所示为不同备样方法得到的标准吸湿含水率试验结果。

表 3 标准吸湿含水率试验结果

Table 3 Testing results of standard absorption water contents %

土样编号	原状样	调制样	风干样	烘干样
1#	9.1	9.1	7.3	6.6
2#	7.8	6.9	5.3	4.9
3#	8.1	6.6	6.4	5.6
4#	7.0	6.5	5.5	4.6
5#	8.8	8.2	6.3	6.4
6#	5.1	5.2	4.0	3.7
7#	4.8	4.0	3.5	2.9
8#	5.3	5.2	4.2	3.7
9#	3.5	2.8	2.5	2.1

#### 3.2 起始含水量对试验结果的影响

图 1 所示为标准吸湿含水率随起始含水量的关系。

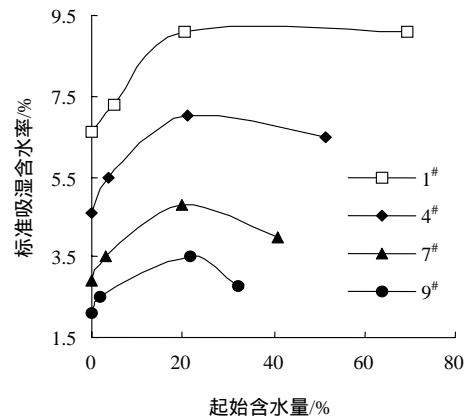


图 1 标准吸湿含水率与含水量的关系

Fig.1 Relationship between standard absorption water contents and initial moisture contents

由图 1 可知：

(1) 对烘干样、风干样和原状样而言，标准吸湿含水率随起始含水量的增大而增大；

(2) 调制样的试验结果与原状样比较接近或稍低于原状样。

总之，起始含水量对标准吸湿含水率影响较大。

#### 3.3 结构性对试验结果的影响

在 4 种备样方法中，原状样的试验结果最大，主要是其具有一定的结构性，调制样为薄饼状重塑土，尽管也具有一定的结构性，但其与原状样相比，相差较大。

#### 3.4 脱湿吸湿过程对试验结果的影响

由表 3 可知，调制样和原状样的试验结果均大于风干样和烘干样，这一现象可用图 2 所示不同备样方法对应不同标准吸湿含水率的示意图来解释，该图有些类似于土 - 水特征曲线。

土的容许最大基质吸力与平衡相对湿度的理论关系式<sup>[8]</sup>为

$$S = -135.022 \ln(P/P_0) \quad (1)$$

式中： $P/P_0$  为相对湿度， $P/P_0 = 60\%$  即为图 2 所示标准相对湿度。

由图 2 可知，由于 4 种备样方法所对应的制备土样在试验中经历的脱湿吸湿路径不同，导致在同

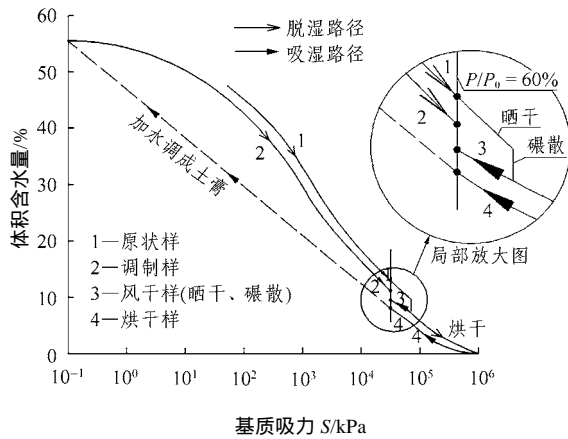


图2 不同各样方法对应不同标准吸湿含水率的示意图  
Fig.2 Sketch of different sampling methods with corresponding standard absorption water contents

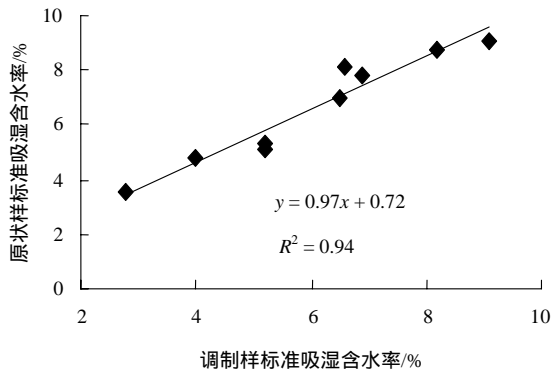


图3 原状样与调制样标准吸湿含水率的关系  
Fig.3 Relationship between standard absorption water content of undisturbed sample and that of remolded sample

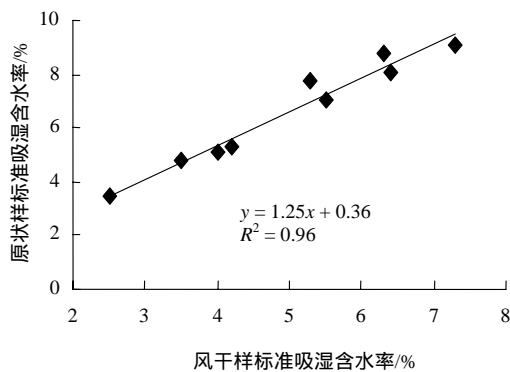


图4 原状样与风干样标准吸湿含水率的关系  
Fig.4 Relationship between standard absorption water content of undisturbed sample and that of air-dried sample

一相对湿度下的平衡含水量也不同。

#### 4 不同备样方法试验结果间的关系

图3~5 分别给出了原状样与调制样、风干样、

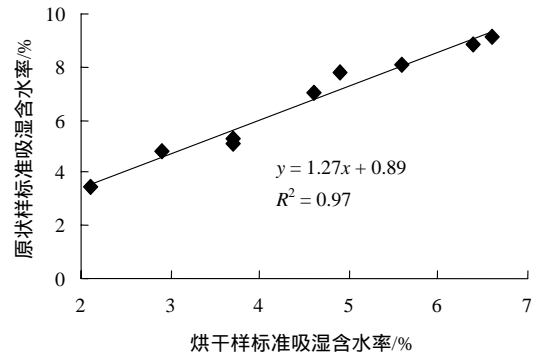


图5 原状样与烘干样标准吸湿含水率的关系  
Fig.5 Relationship between standard absorption water content of undisturbed sample and that of oven-dried sample

烘干样试验结果的关系曲线。

由图3~5可知,原状样与其他3种备样方法的试验结果具有线性相关性,  $R^2$  为 0.94~0.97,说明在缺乏原状样时,可利用风干样、烘干样和调制样来进行试验。

将试验结果利用图3~5中公式修正后可代替原状样的试验结果。

#### 5 结论

作为膨胀土判别与分类的三项指标之一,标准吸湿含水率的测试结果主要受试样起始含水量、结构性和脱湿吸湿过程等因素的影响。根据取样过程中可能遇到的实际情况,研究了原状样、风干样、烘干样和调制样等4种备样方法对标准吸湿含水率试验结果的影响,可得出以下结论:

(1) 备样方法对标准吸湿含水率试验结果的影响较大,本文试验规律为:原状样 > 调制样 > 风干样 > 烘干样。

(2) 试样放入恒温恒湿箱后,逐渐达到平衡含水量。在此过程中,原装样和调制样经历脱湿过程,风干样和烘干样经历吸湿过程。脱湿与吸湿土水特征曲线之间的差别,可以解释不同备样方法所得试验结果的差异。土的结构性在原状样中保留的最多,因此,脱湿过程中瓶颈效应也最明显,与其相应的标准吸湿含水率也最高。

(3) 原状样与其他3种备样方法的试验结果呈线性关系,说明在缺少原状样的情况下,可采用其他备样方法试验结果的修正数据来代替。

**参考文献(References) :**

- [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.(Liu Tehong. Problem of Expansive Soil in Engineering Construction[M]. Beijing: China Architecture and Building Press, 1997.(in Chinese))
- [2] 中华人民共和国行业标准编写组. 铁路工程岩土分类标准(TB 10077 - 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 Rock and Soil Classification of Railway Engineering(TB 10077 - 2001)[S]. Beijing: China Railway Publishing House, 2001.(in Chinese))
- [3] 中华人民共和国国家标准编写组. 膨胀土地区建筑技术规范(GBJ 112 - 87)[S]. 北京: 中国计划出版社, 1989.(The National Standard Compilation Group of People's Republic of China. Technical Code for Building in Expansive Soil Area(GBJ 112 - 87)[S]. Beijing: China Planning Press, 1989.(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 Communications Press, 2004.(in Chinese))
- [5] 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.(Yao Hailin, Yang Yang, Cheng Ping, et al. Testing study on moisture content of standard absorption for expansive soil[J]. Science in China(Ser. E), 2005, 35(1): 43 - 52. (in Chinese))
- [6] 姚海林, 杨洋, 程平, 等. 膨胀土标准吸湿含水率试验研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(17): 3 009 - 3 013.(Yao Hailin, Yang Yang, Cheng Ping, et al. Testing study on moisture content of standard absorption for expansive soil[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2004, 23(17): 3 009 - 3 013.(in Chinese))
- [7] 姚海林, 杨洋, 程平, 等. 膨胀土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))
- [8] 弗雷德隆德 D G, 拉哈尔佐 H. 非饱和土力学[M]. 陈中颐译. 北京: 中国建筑工业出版社, 1997.(Fredlund D G, Rahardjo H. Soil Mechanics for Unsaturated Soils[M]. Translated by Chen Zhongyi. Beijing: China Architecture and Building Press, 1997. (in Chinese))

(上接第 2127 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
99	土工格室在黄土边坡公路中的试验研究及应用	晏长根 杨晓华 石玉玲等	3 235 - 3 238
100	信息化施工在高速公路中的应用	郭庆海 周顺华 王 祥	3 239 - 3 244
101	长江口导堤在波浪荷载作用下的稳定性研究	闫澍旺 侯晋芳 刘 润等	3 245 - 3 249
102	国产 C30 混凝土考虑率型微损伤演化的改进 Johnson-Cook 强度模型	施绍裘 王永忠 王礼立	3 250 - 3 257
103	自平衡试桩荷载 - 沉降曲线的解析算法	蒋益平 杨 敏 熊巨华	3 258 - 3 264
104	极限应力法计算复合桩基沉降	张世民 张忠苗 魏新江等	3 265 - 3 268
105	中深孔爆破分层装药分层填塞研究	李晓杰 曲艳东 闫鸿浩等	3 269 - 3 275
106	综放开采矿震的成因及防治对策	蒋金泉 张开智	3 276 - 3 282
107	不同厚度块石路堤对冻土路基冷却效果对比研究	王爱国 马 巍 王大雁	3 283 - 3 288
108	双层立体加筋砂土的强度特性	张孟喜 王振武	3 289 - 3 298
109	平行顶管施工引起的地面变形实测分析	魏 纲 魏新江 屠毓敏	3 299 - 3 304
110	适于海量数据的三维地层建模方法	张 芳 朱合华 宁民霞	3 305 - 3 310
111	双线盾构越江隧道合理间距优化与分析	王 伟 夏才初 朱合华等	3 311 - 3 316
112	盾构隧道施工引起的地面变形计算方法研究	魏 纲 张世民 齐静静等	3 317 - 3 323
113	高速公路连拱隧道超挖预测及评价研究	魏继红 孙少锐 彭建忠等	3 324 - 3 329
114	膨胀土的自由膨胀比试验研究	余 颂 陈善雄 许锡昌等	3 330 - 3 335

(摘自“EI 中国”)