

DOI:10.16030/j.cnki.issn.1000-3665.2018.01.16

改进的石灰土灰剂量检测制样方法及验证

边加敏, 蔡晓飞

(南京交通职业技术学院路桥与港航工程学院, 江苏 南京 211188)

摘要: 针对路基石灰剂量检测不准确的问题, 结合路基土的实际工作及环境状态, 从压实度、拌灰含水率及养护方法入手, 全面分析了现行 EDTA 消耗量检测制样方法的不合理性, 依据分析结论对现行 EDTA 消耗量检测的制样方法进行改进, 提出了一套针对路基实际工作环境的 EDTA 消耗量检测的制样方法, 采用 2 种土类(非膨胀土与膨胀土)进行了 2 种制样方法的灰剂量检测对比试验, 结果显示, 采用改进后的 EDTA 消耗量检测制样方法所测得的灰剂量随着时间的衰减率明显小于规范的制样方法, 可以较准确地检测出土样的灰剂量, 证明了改进制样方法的合理性。

关键词: 石灰改良土; EDTA 消耗量; 改进制样方法; 灰剂量衰减

中图分类号: P642.16⁺1; TU411.91

文献标识码: A

文章编号: 1000-3665(2018)01-0111-05

Suggestion and verification of the modified sample preparation methods of the lime-content testing of lime soil

BIAN Jiamin, CAI Xiaofei

(Department of Luqiao and Ganghang Engineering, Nanjing Communication
Institution of College, Nanjing, Jiangsu 211188, China)

Abstract: The inaccurate problem of lime-content testing in lime soil subgrade is examined in combination of the actual environmental status of subgrade soil. By examining the compaction degree and water content of the mixed ash and the maintenance methods, the irrationality of sample preparation methods in the current lime-content testing are analyzed, and the preparation methods of EDTA consume testing is modified and a set methods of EDTA consumption sample preparation considering the work environment of subgrade is proposed. The comparison tests of different lime-content in two preparation methods are conducted. The results show that the attenuation ratio of the verification methods of EDTA consumption is less than that of the specification methods. The former can accurately test the lime-content of soil. The modified sample preparation is more reasonable. It offers a preparation methods of lime-content testing in subgrade which is suitable to the practical engineering.

Keywords: lime-tread soil; EDTA consumption; modified sample preparation; lime-content attenuation

目前常采用换填、掺石灰等方法对路基特殊土进行处置, 其中掺石灰是最为常见的方法, 当前对于石灰土的研究主要集中于性能方面^[1~2], 对于石灰土来说, 灰剂量是最重要的控制指标, 如何准确地确定路基土样施工完成后的掺灰率, 对于减少施工过程中的偷工

减料, 合理确定路基压实度, 避免出现不必要的返工复压, 对提高路基的施工质量具有十分重要的意义。

EDTA 消耗量检测石灰土灰剂量的基本原理是通过检测土体中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 离子含量从而达到检测石灰含量的目的。近些年来部分科研人员在工程施工中发

收稿日期: 2017-07-27; 修订日期: 2017-09-07

第一作者: 边加敏(1979-), 男, 博士, 副教授, 主要从事非饱和土的教学与科研工作。E-mail: 1085972499@qq.com

现了石灰土中的灰剂量随着养护时间的增大而减小的现象^[3-5],并对此进行了试验研究,试验结果总体验证了 EDTA 消耗量随着养护时间的增加而逐渐减小的工程现象。

1 规范 EDTA 消耗量检测方法存在的问题

现行 EDTA 消耗量检测制样方法针对拌灰后立即进行检测,没有考虑时间对 EDTA 消耗量的影响,直接采用不同灰剂量下土体的 EDTA 消耗量进行标准曲线的绘制,但实际中石灰土的灰剂量随着养护时间的增加逐渐减小,石灰土灰剂量衰减的速度归结于土体中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的衰减速度,这与石灰土土体的工作环境密不可分。因此,研究石灰土在实际工作环境中的衰减,并根据石灰土的实际工作状态对灰剂量检测中的制样方法进行改进,对于提高 EDTA 消耗量检测的准确度,具有十分重要的作用。赵玮等^[6]对 EDTA 检测方法中 EDTA 消耗量的影响因素进行了研究,研究表明含水率、压实度等外在因素对 EDTA 消耗量的衰减速度具有明显的影响。因此,对石灰土中灰剂量检测制样方法进行符合实际的改进,提高灰剂量检测的精度,对于提高工程建设质量及降低造价具有十分重要的作用。现从压实度、制样含水率及养护方法方面对 EDTA 消耗量的影响进行研究,提出路堤石灰土 EDTA 消耗量标准曲线的绘制方法。

1.1 压实度

《公路土工试验规程》对灰剂量检测中土样的压实度没有要求,一般试验人员均采用散土进行试验,但工程中石灰土均应用于压实后的路基中。选取临海高等级公路掺灰率为 5% 的石灰土土样,进行压实及松散两种状态土样在不同养护时间下的 EDTA 消耗量对比试验,此处定义 EDTA 消耗量衰减率为:

$$D_e = \frac{c_0 - c_t}{c_0} \times 100\%$$

式中: D_e —— EDTA 消耗量的衰减率;

c_0 , c_t —— 养护时间为 0 及 t 时的 EDTA 消耗量。

不同压实状况下的 D_e 如图 1 所示,由图 1 可得出:

(1) 不同压实状态下石灰土的 EDTA 消耗量不同,在相同的养护时间下,压实状态下的 EDTA 消耗量衰减率较大,而未经压实石灰土的 EDTA 消耗量衰减率较小。

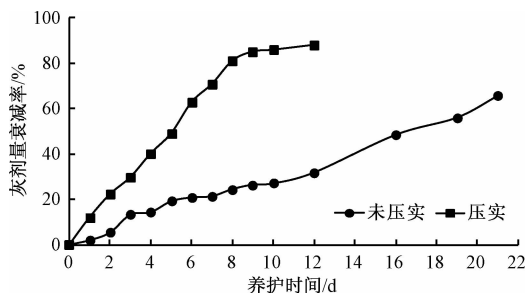


图 1 不同压实状态 EDTA 消耗量衰减

Fig. 1 Decay of EDTA consumption in different compaction status

(2) 两种压实状态石灰土的 EDTA 消耗量衰减率均随着养护时间的增大而逐渐增大,表明随着养护时间的增加,石灰土的 EDTA 消耗量逐渐减少。

1.2 制样含水率

含水率对石灰土 EDTA 消耗量有一定影响,《公路土工试验规程》认为含水率变化 2% 时影响不大,但在实际路基石灰土 EDTA 消耗量测定时存在以下两个问题:①石灰土的最优含水率随着掺灰率的增大而增大^[7];②某些特殊土体在此方法下击实不能得到最优性能,常采用其他方法进行,如膨胀土常采用湿法击实^[8]及 CBR 强度^[9]确定最优含水率。采用这些方法确定的含水率常大于干法击实的最优含水率。为研究不同初始含水率对灰剂量衰减的影响,进行了 12.5%、15.5% 及 18.5% 3 种初始含水率的土体在 0, 1, 3, 5, 7 d 的 EDTA 消耗量试验,图 2 为不同初始含水率下 EDTA 消耗量衰减率与养护时间的关系曲线。

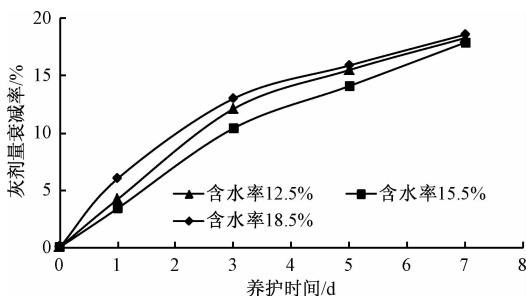


图 2 不同初始含水率下的 EDTA 消耗量衰减

Fig. 2 Decay of EDTA consumption in different initial water content

由图 2 可看出,土样在素土重型击实的最优含水率(15.5%)下拌灰时,在相同的养护时间下,灰剂量衰减率最小,而增大或者减小含水率时灰剂量衰减率均有所增大,增大含水率时土样的 EDTA 消耗量衰减率增大幅度最大,表明含水率变化大于 2% 时对 EDTA

消耗量的测定有一定的影响。

1.3 养护方法

《公路土工试验规程》对于试件的养护方法没有特殊要求,只是根据规范的试验方法在掺灰完成后立即进行试验,不存在养护的问题。当考虑养护时间对 EDTA 消耗量衰减的影响后,不同制样及养护方法会对含水率的变化产生影响,水分的变化速度对于 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的衰减极为重要,因此,土体中水分的变化速度对于土样中 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 的衰减具有较大的影响,石灰土用于路基铺筑时水分的散失速度与规范试验方法的差别较大。图 3 为压实包裹、压实不包裹、松散包裹、松散不包裹 4 种状态下土样分别在 1,4,7 d 的含水率,其中压实状态下选取试样轴线处土样进行含水率测定。由图 3 可见,不同养护方法下,土样的含水率散失速率不同,散土不包裹状态下散失最快,而压实包裹状态下含水率散失最慢,现行规范采用在松散状态下养护,而路基内部的含水率变化与采用压实包裹状态下的养护方法最为相近。

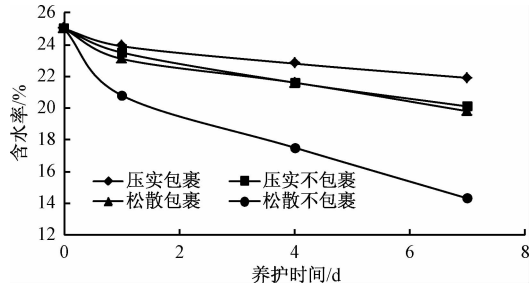


图 3 不同养护方法下土样的含水率散失

Fig.3 Decay of water content in different curing ways

为验证养护方法对石灰土灰剂量衰减的影响,采用塑料袋包裹的方法模拟路基内部石灰土的水分散失,分别对散土与压实状态下的土样在包裹与不包裹两种养护方法下 EDTA 消耗量衰减特征进行研究,4 种制样及养护方法的 EDTA 消耗量随时间的衰减变化如图 4 所示。

由图 4 可见,两种状态下包裹时土样 EDTA 消耗量的衰减率均大于不包裹的养护方法,这表明试样的含水率变化速度对 EDTA 消耗量衰减具有一定的影响,在试验时需考虑采用包裹的养护方法对土样进行不同养护时间的 EDTA 消耗量衰减试验。

2 石灰土改进 EDTA 消耗量的检测方法

近些年来,对于石灰土灰剂量“衰减”问题的研究

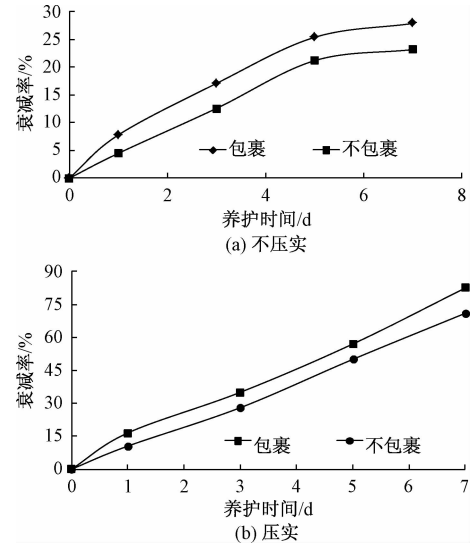


图 4 不同养护方法的 EDTA 消耗量衰减

Fig.4 Decay of EDTA consumption in different curing ways

取得了一系列的成果,主要集中于养护时间对于 EDTA 消耗量衰减的影响,且已经列入施工技术规范,但对于 EDTA 消耗量标准曲线绘制时土样的制样方法却未加以考虑,造成了 EDTA 消耗量标准曲线试样的养护环境与石灰土实际工作环境不符。通过对 EDTA 消耗量标准曲线试样养护方法的改进,可使其养护环境更符合石灰土路基的实际工作状态。现从以下三个方面对 EDTA 消耗量标准曲线中的试样制样及养护方法进行改进。

压实度:在绘制灰剂量标准曲线时,按照路基的实际压实度进行制样,并养护至需要的时间。

制样含水率:在绘制灰剂量标准曲线时,根据不同石灰掺量的最优含水率进行制样。

养护方法:在绘制 EDTA 消耗量标准曲线时,压实试样在养护的过程中采用塑料袋包扎。

修正后的 EDTA 消耗量测定方法主要步骤为:

(1) EDTA 标准曲线的绘制

考虑现行 EDTA 消耗量测定试验方法存在的主要问题,从上述 3 个方面对 EDTA 消耗量测定的标准曲线绘制进行改进,改进后的 EDTA 标准曲线绘制步骤如图 5。

(2) 采用钻芯取样法钻取路基土样进行 EDTA 试验,在相同养护时间的灰剂量与 EDTA 消耗量关系图上查找石灰土的灰剂量。若所测定的 EDTA 消耗量不在任一灰剂量的曲线上,则采用相邻两灰剂量的线性差值法计算。

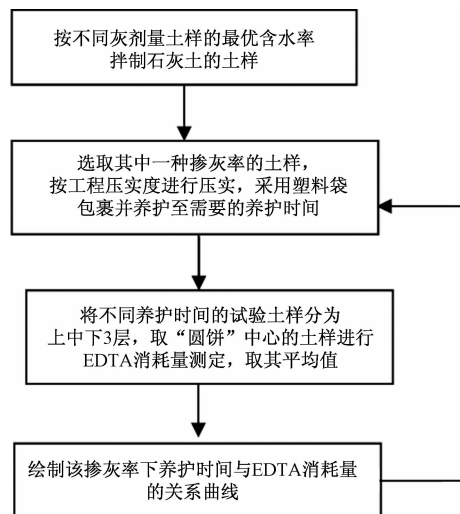


图5 修正后的 EDTA 消耗量标准曲线绘制方法

Fig.5 Modified methods of EDTA consumption standard curve

3 改进制样方法的验证

为验证改进 EDTA 消耗量检测制样方法的合理性,选取 2 种性质不同的土样进行不同制样及养护方法下的 EDTA 消耗量对比试验,试验中的灰剂量选择 5%,改进制样方法的压实度为 95%。

3.1 试验用土的基本性质

2 种试验用土的土性指标见表 1,试验采用石灰的 CaO 含量为 74.2%,MgO 含量为 0.67%,属于Ⅲ级钙质消石灰。

表1 两种土样的基本性质

Table 1 Physical characters of two soils

土样	液限/ %	塑限/ %	塑性 指数	自由膨 胀率/%	最优含 水率/%	最大干密度/ ($\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$)	土性
土样 1	49.0	21.5	27.5	—	15.2	1.80	非膨胀土
土样 2	54.0	25.0	29.0	52.0	17.3	1.63	弱膨胀土

3.2 EDTA 标准曲线中试验含水率的选择

选用 2 种土样分别为一般黏性土及弱膨胀土,故 2 种土样素土的 EDTA 消耗量检测的含水率采用干法重型击实确定的最优含水率,而对于 5% 掺灰率下土样的最优含水率分别采用不同的方法确定,即土样 1 采用干法重型击实的最优含水率,土样 2 采用最大 CBR 值所对应的含水率,EDTA 消耗量标准曲线中各掺灰率的最优含水率见表 2。2 种土样 5% 掺灰率的制样含水率采用线性插值法确定,分别为 19.3% 及 22.8%。

表2 不同掺灰率下的最优含水率

Table 2 The optional water content in different lime-content

土样	素土	掺灰率 2%	掺灰率 4%	掺灰率 6%
土样 1	15.2%	16.9%	18.2%	20.4%
土样 2	19.2%	19.3%	21.9%	23.8%

3.3 分析验证

图 6 为 2 种掺灰率为 5% 的土样在规范及改进后 2 种试验方法下灰剂量衰减结果。

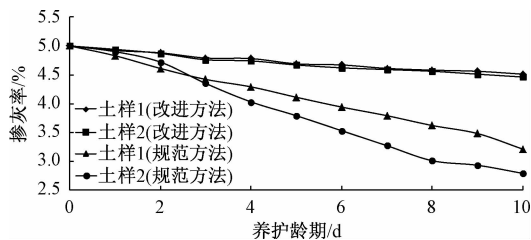


图6 不同试验方法下的灰剂量检测结果

Fig.6 The measured values of lime-content with different methods

由图 6 可知,在 2 种制样方法下所测定的灰剂量均随着时间的增加而减小,但规范制样方法(散土)所测定的灰剂量随着时间的增加而减小的速度更快,规范方法养护至第 10 d 时,2 种土样的灰剂量测定值分别减少 35.8% 和 44.2%,而修改后的方法分别减少 9.8% 和 10.8%,表明修改后的 EDTA 消耗量制样方法可以更准确地测定石灰土的实际灰剂量。

4 结论

(1)标准的 EDTA 消耗量制样方法在压实度、养护时间、拌土含水率及养护方法等方面不能真实反映路基石灰土的实际工作状态,本文提出改进 EDTA 消耗量检测制样方法,主要为采用路基的实际工作压实度,根据不同石灰剂量的最优含水率确定土样的拌土含水率并拌灰,压实石灰土养护时采用塑料袋包扎。

(2)不同土质土性的土样进行规范制样方法与改进制样方法检测结果表明,随着养护时间的增加,《公路土工试验规程》方法所测定的灰剂量与实际值的差距逐渐增加,而改进制样方法后土样的检测灰剂量与实际值具有较好的吻合度。

参考文献:

- [1] 李朝辉,程谦恭,王艳涛,等.干湿循环下石灰改良膨胀土离心模型试验研究[J].水文地质工程地质,2017,44(4):111-117. [LI Z H, CHENG Q G,

- WANG Y T, *et al.* A Centrifugal Model Test Study of Lime-improved Expansive Soil under Drying and Wetting Circles [J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2017, 44(4): 111 – 117. (in Chinese)
- [2] 黄震, 陈铖. 改良膨胀土胀缩裂隙及与抗剪强度的关系研究[J]. *水文地质工程地质*, 2016, 43(3): 87 – 93. [HUANG Z, CHEN C. A Study of the Swelling Shrinkage Cracks of the Modified Expansive Soil and Its Relationship with the Shear Strength[J]. *Hydrogeology & Engineering Geology*, 2016, 43(3): 87 – 93. (in Chinese)]
- [3] 张福海, 王保田, 张文慧, 等. 石灰改良膨胀土的灰剂量衰减规律研究[J]. *公路交通科技*, 2006, 23(12): 50 – 53. [ZHANG F H, WANG B T, ZHANG W H, *et al.* Study on Lime Content Reduction Regularity in Lime Stabilized Soil [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2006, 23(12): 50 – 53. (in Chinese)]
- [4] 向文俊, 刘爱兰, 吴育琦, 等. 改良土二次掺灰工艺的石灰剂量检测方法[J]. *河海大学学报(自然科学版)*, 2004, 32(3): 313 – 315. [XIANG W J, LIU A L, WU Y Q, *et al.* Detecting Method for Lime Content in the Two-step Lime Mixing Technology of Stabilized Soil [J]. *Journal of Hohai University (Natural Sciences)*, 2004, 32(3): 313 – 315. (in Chinese)]
- [5] 郭大进, 程霞, 陈君, 等. 稳定土中水泥或石灰剂量衰减问题的研究[J]. *公路交通科技*, 2002, 19(10): 39 – 41. [GUO D J, CHENG X, CHEN J, *et al.* Research on Content Attenuation in Lime or Cement Treated Base [J]. *Journal of Highway and Transportation Research and Development*, 2002, 19(10): 39 – 41. (in Chinese)]
- [6] 赵玮, 杨扬, 沈晓平, 等. 石灰改良土灰剂量衰减规律试验研究[J]. *现代交通技术*, 2011, 8(6): 20 – 22. [ZHAO W, YANG Y, SHEN X P, *et al.* Study on Lime Content Reduction Regularity in Lime Stabilized Soil [J]. *Modern Transportation Technology*, 2011, 8(6): 20 – 22. (in Chinese)]
- [7] 刘瑞, 王家鼎, 王新忠. 石灰改良弱膨胀土击实特性试验研究[J]. *工程地质学报*, 2013, 21(6): 864 – 870. [LIU R, WANG J D, WANG X Z. Test Study of Compact Characteristic in Lime-tread Weak Expansive Soil [J]. *Journal of Engineering Geology*, 2013, 21(6): 864 – 870. (in Chinese)]
- [8] 张文慧, 王保田, 张福海. 改良膨胀土筑堤压实度控制标准研究[J]. *河海大学学报(自然科学版)*, 2005, 33(3): 198 – 201. [ZHANG W H, WANG B T, ZHANG F H. Compaction Degree Control Standard for Stabilized Expansive Soil in Embankment Construction [J]. *Journal of Hohai University (Natural Sciences)*, 2005, 33(3): 198 – 201. (in Chinese)]
- [9] 郑健龙, 张锐. 公路膨胀土路基变形预测与控制方法[J]. *中国公路学报*, 2015, 28(3): 1 – 10. [ZHENG J L, ZHANG R. Prediction and Control Method for Deformation of Highway Expansive Soil Subgrade [J]. *China Journal of Highway and Transport*, 2015, 28(3): 1 – 10. (in Chinese)]

责任编辑: 张明霞