

# 有效控制路基施工的 EDTA 标准曲线绘制方法研究

刘凤翰, 陈晓玲

(南京交通职业技术学院, 江苏 南京 211188)

**摘要:** EDTA 滴定法制作标准曲线应用于现场掺灰量检测采用“类比法”, 在工程实际应用中出现诸多问题, 如材料检测时间、压实程度、含水率、养护方式等方面两者测试环境相差较大, 导致制作的标准曲线不能较好地指导现场检测工作。该文以石灰稳定土为例, 对影响 EDTA 标准曲线制作的几个因素进行全面分析, 提出有效控制路基施工的 EDTA 标准曲线的绘制方法, 对现场掺灰量检测及提高路基施工质量具有重要指导意义。

**关键词:** 路基施工; EDTA 标准曲线; 掺灰量; 石灰稳定土

根据现行 JTG/T F20—2015《公路路面基层施工技术细则》(以下简称“细则”), 路面基层、底基层施工质量标准与控制包括原材料检验、施工参数确定、施工过程中的质量检查验收等方面, 其中现场掺灰量检测是质量控制中很重要的一个环节。细则要求: ① 在材料准备阶段, 要绘制 EDTA 标准曲线; ② 在铺筑试验段阶段, 应及时检测拌和时的结合料剂量; ③ 在施工过程中, 结合料剂量控制为后场控制的关键内容; ④ 质量检查时, 监理单位应根据施工单位的质量资料, 对混合料结合料剂量进行独立抽检, 综合评价混合料的质量和施工均匀性。

检测基层和底基层混合料的掺灰量, 目前常用 EDTA 滴定法, 即 JTJ E51—2009《水泥或石灰稳定土中水泥或石灰剂量的测定(EDTA 滴定法)》(以下简称“现规程”), 此法适用于路面基层施工中快速测定稳定土结合料的剂量。规范要求绘制的 EDTA 标准曲线与现场取样检测采用“类比法”。如何在室内制作与现场施工过程相适应的标准曲线? 现规程有诸多不适应性, 目前还没有较为统一的规范。针对这一问题, 该文以石灰稳定土为例, 分析并总结有效控制路基现场检测的 EDTA 标准曲线的绘制方法。

## 1 制作 EDTA 标准曲线的影响因素

室内制作 EDTA 标准曲线的目的是用于现场掺灰量的检测, 要做到两者具有类比性, 需要分析两者在制作过程中的各种影响因素, 保证检测工作的一致性。

### 1.1 测试时间的影响

EDTA 滴定法的原理是通过检测土体中的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  含量进而得出溶液消耗量与掺灰量之间的关系。混合料拌和后, 随着养护时间的增加, 灰土中游离的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  与素土不断发生物理化学反应, 逐渐形成稳定的化合钙, 有效游离的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  相应不断减少, 此含量为一个随时间而改变的量, 而 EDTA 滴定法只能检测出有效游离的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  的含量, 故在室内制作 EDTA 标准曲线检测现场掺灰量时, 一定要注意两者在测试时间上的一致性。

随时间增加灰剂量检测结果减小的现象, 有些文献称之为“灰剂量衰减”, 另有规范及文献称之为“随时间的标准曲线”。该文称之为“灰剂量衰减”。如何保证 EDTA 标准曲线与实际掺灰量检测在测试时间上的一致性, 建议在室内提前做好灰剂量衰减曲线, 绘制时选择不同的测试时间, 得出不同的 EDTA 溶液消耗量, 并以测试时间为横坐标, EDTA 标准溶液消耗量为纵坐标绘图, 如图 1 所示。

由图 1 可知: 随测试时间的延长, EDTA 标准溶液消耗量逐渐减小(混合料中有效游离的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  逐渐减少), 且反映出压实状态比松散状态衰减速率更快。考虑测试时间的影响, 建议在室内均制作 EDTA 衰减曲线, 以方便工程单位查阅。

### 1.2 压实度的影响

“现规程”规定制作 EDTA 标准曲线采用刚拌和好的混合料, 即松散状态。根据“细则”, 现场混合料如为取土坑则为刚拌和好的状态, 即松散状态; 如为试验

段和施工路段则为碾压状态。问题的提出:① 松散与压实状态对检测结果的影响;② 现场检测时,不同的取样深度(对应不同的压实度),对测试结果的影响。

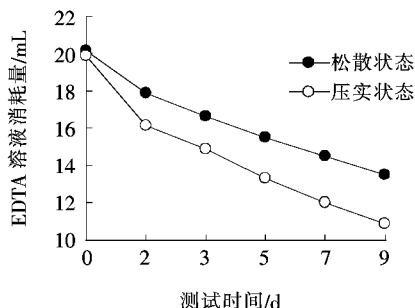


图 1 石灰稳定土不同状态 EDTA 衰减曲线

### 1.2.1 松散与压实状态的影响

在室内准备两种状态的混合料进行对比试验。按以下步骤进行:① 按设计灰剂量(该文选 5%)配土;② 击实试验确定灰土的最佳含水率与最大干密度(该文  $\rho_{d\max}=1.698 \text{ g/cm}^3$ ,  $w_0=15.5\%$ );③ 计算各材料用量。如为压实状态混合料,按现场压实度(该文取 98%)计算混合料制件的质量;④ 做好制件后用塑料袋包裹,放入养护室[(20 °C±1) °C]。

试验结果如图 2 所示。

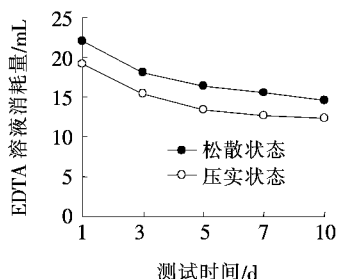


图 2 石灰稳定土松散与压实状态衰减曲线

由图 2 可知:在测试时间一致的情况下,混合料压实状态比松散状态溶液耗量明显减小。从理论上讲,混合料在压实状态下,灰土中游离的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  与素土更易形成稳定的化合钙,则相应有效游离的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  快速减少,故反映出压实状态溶液耗量较松散状态时减小的现象。

根据以上结果,应考虑现场混合料不同状态的影响,如为取土坑刚拌和好的状态,则采用松散状态混合料绘制曲线,如为试验段和施工路段等碾压状态,则应制作与现场同样压实度的制件绘制曲线。

### 1.2.2 不同压实度的影响

根据“细则”,现场混合料摊铺应保证足够的厚度,

碾压成型后每层的摊铺厚度宜为 160~200 mm。材料压实后,其密实度总是上部大、下部小,有时上下部的压实度可能差 8%~10%。

为确定现场取样检测掺灰量时,不同取样深度(不同压实度)对检测结果的影响,选取高速公路和一级公路(对应的压实度标准为 98%),3 个不同压实度:98%、93%、88%;根据设计灰剂量(5%)进行击实试验,得出最佳含水率与最大干密度( $\rho_{d\max}=1.698 \text{ g/cm}^3$ ,  $w_0=15.5\%$ ),分别进行计算并制件试件进行试验。试验结果见表 1。

表 1 不同压实度石灰稳定土制件 EDTA 检测结果

压实度/ %	不同测试时间(d) EDTA 耗量/mL				
	1	3	5	7	9
98	17.5	14.9	13.3	12.0	10.1
93	17.8	15.1	13.0	12.2	10.3
88	17.6	14.9	13.1	12.1	10.1

由表 1 可知:同一时间 3 种压实度检测结果相差很小,都在平行试验误差范围内。由此可得,现场碾压层上下部压实度如相差 10%,在此范围不同深度取样进行检测,对检测结果不会产生影响。

### 1.3 含水率的影响

混合料在现场拌和时均应达到最佳含水率,并在最佳含水率下进行碾压成型。含水率的变化对混合料检测结果有一定的影响。分别对松散及压实状态混合料进行试验,根据设计灰剂量(5%)进行灰土击实试验( $\rho_{d\max}=1.698 \text{ g/cm}^3$ ,  $w_0=15.5\%$ ),根据最佳含水率分别配制 3 种不同含水率(12.5%、15.5%、18.5%)混合料,压实度采用 98% 计算并制作试件进行试验。检测结果如图 3、4 所示。

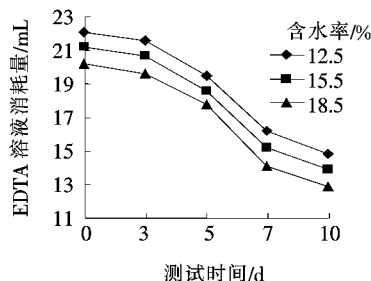


图 3 石灰稳定土(松散状态)不同含水率衰减曲线

由图 3、4 可知:① 不同含水率稳定土随测试时间的延长,溶液耗量随之减少;② 相同测试时间,含水率越大,溶液耗量越小,反之越大;③ 松散状态混合料,3 种含水率测试结果表现出衰减的一致性,而压实状态

混合料,表现出随含水率的增大,衰减速率逐渐增大的现象。

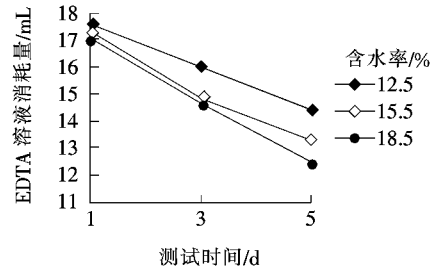


图 4 石灰稳定土(压实状态)不同含水率衰减曲线

1.4 现场养生方式的影响

随着养生温度的上升,混合料物理力学反应加快。对于现场取土坑,应考虑现场拌和温湿度的影响,对于碾压成型的混合料,应根据现场的养生方式及检测时的取样深度,综合考虑环境的设置。一般可考虑采用塑料袋包裹,包裹后的环境也很重要,因为现场取样虽在一定深度范围,但整个大气环境对不同深度碾压层也有着不同程度的影响。室内试验混合料养生方式如表 2 所示,检测结果如图 5 所示。

表 2 室内试验混合料养生方式方案

混合料状态	方案	养生方式
松散	1	塑料袋包裹,室外 8℃ 环境
	2	塑料袋包裹,养护箱 20℃ 环境
压实	1	塑料袋包裹,室外 8℃ 环境
	2	塑料袋包裹,养护箱 20℃ 环境

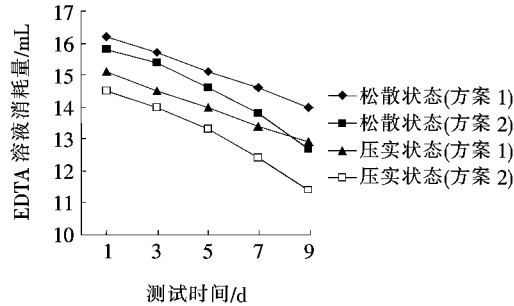


图 5 石灰稳定土不同养生方式衰减曲线

从图 5 可见:混合料不同状态及不同的养生环境,对检测结果影响不容忽视。现场无论是取土坑松散状态还是现场碾压成型状态,在室内制作相应曲线时,一定要考虑尽量与现场的环境相一致(主要指温湿度),不仅要考虑是否将试样包裹,还要考虑包裹后试样放置的环境(主要指温度)。

2 有效控制路基施工的 EDTA 标准曲线的制作方法

根据“细则”,现场检测掺灰量一般在材料准备阶段、试验段铺筑阶段、施工过程中、质量检查时 4 个阶段。与掺灰量检测结果类比的 EDTA 标准曲线一般要求检测单位提前做好备用。根据前述分析可知:测试时间、材料的现场状态(松散或压实)、材料的拌和制作环境、含水率等都不同程度影响标准曲线的制作,从而影响现场掺灰量的检测结果。

针对以上影响诸因素,可将 EDTA 标准曲线的绘制分成两种情况:① 现场取土坑用 EDTA 标准曲线;② 现场碾压成型用 EDTA 标准曲线。路基施工 EDTA 标准曲线制作流程见图 6。

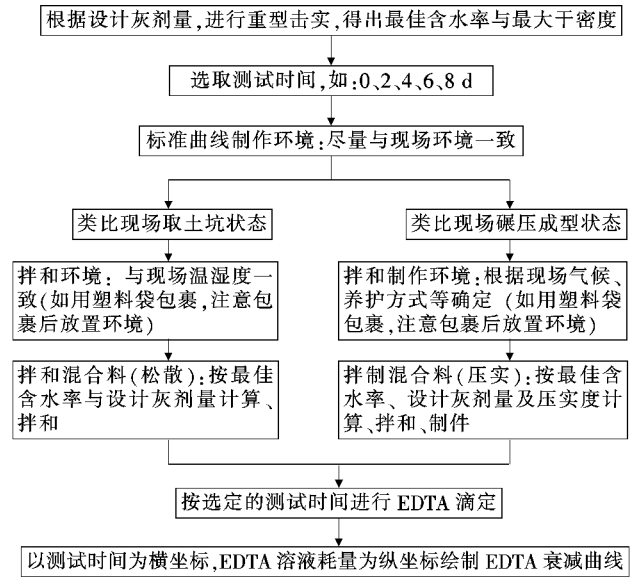


图 6 有效控制路基施工的 EDTA 标准曲线制作流程

在制作过程中,应注意以下事项:

- (1) 类比现场碾压成型状态时,混合料制件可用小刀轻轻削开,并尽量碾碎,现场取样检测时同法操作。
- (2) 考虑测试时间的影响,一般在室内不做某一时刻的 EDTA 标准曲线,而制作 EDTA 衰减曲线,但在查阅时应注意标准曲线查 EDTA 耗量对应的灰剂量,而 EDTA 衰减曲线查相应测试时间对应的 EDTA 溶液耗量。
- (3) 制作曲线选取的测试时间,可取偶数,也可取奇数,如:1、3、5、7、9 d,一般现场检测尽量在 7 d 之内完成。

(4) 测试时间虽以“d”为单位,实际操作时应注意每天在测试时间上的一致性。

### 3 其他应注意的问题

EDTA 滴定法采用的是“类比法”,故在整个检测过程中,应尽量保持原材料、检测试剂、检测设备、检测人员等因素的一致性,从而提高试验的精度。

(1) 原材料质量要求一致,注意储存。

各种原材料应按“细则”要求堆放、储存和应用。如:石灰应堆放成高堆并用篷布和土覆盖,然后,边使用并揭盖。在使用前应重新检测其有效成分,应保证现场检测与室内检测在原材料质量上的一致性。

(2) 试剂应尽量检测前配制,当天用完;氯化铵溶液应当天用完,其他试剂也不宜久存,一般不宜超过 3 d。钙红指示剂颜色变化要比较明显,易于判定。

(3) 混合料各材料用量计算应正确;应提前做好灰土击实试验,得出最佳含水率与最大干密度,根据现场干密度与最佳含水率制件。

(4) 混合料应充分拌和均匀,先拌和干料,拌匀后再喷水湿润,充分拌和均匀。

(5) 在制作灰剂量衰减曲线时,可以设计灰剂量在中间,再增加两个灰剂量(设计灰剂量 $\pm 2\%$ )制作,为现场灰剂量检测提供更可靠的数据。

(6) 整个试验过程应有专人负责,从原材料的控制、试验过程控制、检测结果的分析等制定统一规划,协调一致。操作人员应提高自身操作水平,操作手法要求一致。

### 4 结论

以石灰稳定土为例,并结合现场实际,即取土坑取样(松散状态)和碾压成型状态取样(压实状态),对 EDTA 标准曲线与现场掺灰量检测在测试时间、压实程度、含水率、养护方式等各个方面进行全面分析,提出有效控制路基施工的 EDTA 标准曲线制作方法。

(1) 混合料随养生时间的延长,EDTA 标准溶液耗量逐渐减小(混合料中有效游离的  $\text{Ca}^{2+}$ 、 $\text{Mg}^{2+}$  逐渐减少),且反映出压实状态比松散状态衰减速率更快。故在检测过程中应注意混合料在测试时间上的一致性。

(2) 为了反映不同取样深度对检测结果的影响,选取高速公路和一级公路对应的压实度标准 98%,并

根据“细则”所述实际现场碾压层最大压实度可能相差 10%左右,从而选取 3 个不同压实度(98%、93%、88%)进行试验。结果表明:在此范围不同深度取样,对检测结果无影响。

(3) 含水率对混合料检测结果有一定的影响。松散状态时,混合料检测结果表现出衰减的一致性;压实状态时,混合料检测结果反映出衰减速率逐渐增大的现象。

(4) 混合料不同状态及不同的养生环境,对检测结果影响不容忽视。现场无论是取土坑松散状态还是现场碾压成型状态,在室内制作相应 EDTA 曲线时,不仅要考虑是否将试样包裹,还应考虑包裹后试样放置的环境(主要指温度)。

(5) 建议将 EDTA 标准曲线的绘制分成两种情况:① 现场取土坑用 EDTA 标准曲线;② 现场碾压成型用 EDTA 标准曲线。另考虑不同测试时间的影响,建议 EDTA 标准曲线的制作统一按衰减曲线绘制。

(6) 在制作灰剂量衰减曲线时,可以设计灰剂量在中间,再增加两个灰剂量(设计灰剂量 $\pm 2\%$ )制作,为现场灰剂量检测提供更可靠的数据。

(7) EDTA 滴定法采用的是“类比法”,故在整个检测过程中,应尽量保持原材料、检测试剂、检测设备、检测人员等因素的一致性,从而提高试验的精度。

### 参考文献:

- [1] JTG E51—2009 公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S].
- [2] JTG/T F20—2015 公路路面基层施工技术细则[S].
- [3] 边加敏.石灰改良土灰剂量“衰减”影响因素研究[J].地下空间与工程学报,2016(12).
- [4] 李则,顾建平,高伟琴,等.石灰土灰剂量龄期效应试验分析[J].道路工程,2015(12).
- [5] 孙铨.EDTA 法测定水泥或石灰稳定材料中水泥或石灰的影响因素[J].黑龙江交通科技,2014(8).
- [6] 李瑞.EDTA 法测定灰剂量的影响因素及结果准确性分析[J].太原学院学报(自然科学版),2017(4).
- [7] 雷胜巧.浅谈 EDTA 滴定法在检测稳定土中结合料剂量随时间变化的重要性[J].甘肃科技,2012(1).
- [8] 潘云燕.灰剂量衰减在石灰路基施工中对压实度的影响分析[J].工程技术,2014(4).
- [9] 李国芬,王华阳,高敏杰,等.二灰土灰剂量衰减的试验研究[J].公路工程与运输,2008(5).
- [10] 边加敏,蔡晓飞.改进的石灰土灰剂量检测制样方法及验证[J].水文地质工程地质,2018(1).