

水泥石灰综合稳定土水泥石灰剂量检测方法

杜乃红, 叶其业

(天津市滨海新区塘沽滨海建筑工程质量检测中心有限公司, 天津 300456)

摘 要: 现行标准检测水泥石灰综合稳定土中剂量的方法只能检测出结合料的剂量, 而无法区分水泥和石灰各自的剂量, 不利于准确控制施工质量。通过试验详细分析了现行标准检测方法中存在的问题, 并根据 EDTA 滴定反应原理及水泥与石灰在氯化铵溶液中钙溶出速率的不同, 提出新的检测方法, 对不同配比进行室内试验验证。结果表明: 新的检测方法能够准确测得水泥石灰稳定土中的水泥剂量和石灰剂量。该方法可进一步推广应用于其他公路无机结合料稳定材料的水泥(石灰)剂量的测定。

关键词: 水泥石灰综合稳定土; 水泥剂量; 石灰剂量; 检测方法

中图分类号: U654 **文献标志码:** A **文章编号:** 2095-7874(2017)06-0053-04

doi: 10.7640/zggwjs201706012

Detection method of cement dose and lime dose of cement lime composite stabilized soil

DU Nai-hong, YE Qi-ye

(Tianjin Binhai New District Tanggu Binhai Construction Engineering Quality Inspection Center Co., Ltd.,
Tianjin 300456, China)

Abstract: The current standard method for detecting the doses of cement and lime composite stabilized soil can only detect the binder dosage, but unable to distinguish the individual dose of cement and lime, which is not conducive to accurately control the construction quality. Through experiment, we analyzed the problems existing in the current standard testing methods, and according to the principle of EDTA titration reaction and cement and lime in ammonium chloride solution of calcium dissolution rate, we put forward a new detection method, and carried out indoor experiment on different proportion. The results show that the new test method can accurately measure the cement dose of cement lime stabilized soil and lime dose. This method can be further applied to other highway stable inorganic binder materials of cement (lime) dose determination.

Key words: cement lime composite stabilized soil; cement dose; lime dose; detection method

0 引言

在公路工程中, 常采用石灰或水泥稳定材料作为道面的基层或底基层^[1]。但石灰稳定土强度较低, 只能用于底基层, 水泥稳定土虽强度较高, 但因其干缩和温缩特性十分明显, 易导致裂缝。且两者对土质要求也较高, 因此影响其适用性^[2]。水泥石灰综合稳定土不仅兼具以上两者优点, 还克服了对土质的要求, 因此在道路施工中的应用

日趋广泛, 也在实践中取得了良好的效果。

但对于水泥石灰综合稳定土中水泥和石灰剂量的测定, 现有标准规范仅给出了水泥和石灰综合稳定材料中结合料的剂量测定方法, 而无法对水泥和石灰的准确剂量进行测定, 而水泥和石灰剂量的准确性会直接影响道路施工质量。

本文对如何准确测定水泥石灰稳定土中水泥和石灰剂量进行探讨研究。

1 现行标准测定时存在的问题

1.1 水泥石灰稳定土标准曲线的制作方法不统一
根据对现行标准理解的不同, 发现主要存在

收稿日期: 2017-02-16 修回日期: 2017-03-28

作者简介: 杜乃红 (1970—), 女, 天津市人, 高级工程师, 从事试验检测工作。E-mail: 1349132238@qq.com

以下几种标准曲线的制作方法(假定水泥石灰稳定土的设计配比为:水泥:石灰:土 = $a:b:100$):

- 1) 将水泥石灰稳定土中水泥剂量固定 a 不变, 石灰剂量按 $b \pm 2\%$ 递增(减)做标准曲线;
- 2) 将水泥石灰稳定土中石灰剂量固定 b 不变, 水泥剂量按 $a \pm 2\%$ 递增(减)做标准曲线;
- 3) 将水泥石灰稳定土中结合料剂量按照 $[(a \pm 1)\% + (b \pm 1)\%]$ 递增(减)做标准曲线;
- 4) 将水泥石灰稳定土中结合料剂量按照 $[(a+b) \pm 2\%]$ 递增(减)且 a/b 不变做标准曲线。

1.2 不同标准曲线制作方法会导致测定结果有较大的差异

1) 以水泥:石灰:土 = 4:6:100 的水泥石灰稳定土为例对以上 4 种情况进行分析比较。

已知该水泥石灰稳定土最大干密度为 1.80 g/cm^3 , 最佳含水量为 15.2% , 按 JTG E51—2009 标准 T 0809—2009 进行试验^[3], 分别制作出以上 4 种情况标准曲线如图 1~图 4。

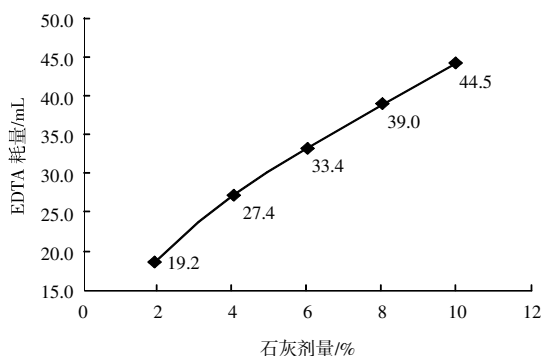


图 1 水泥剂量固定 4% 标准曲线

Fig. 1 4% cement dose fixed standard curve

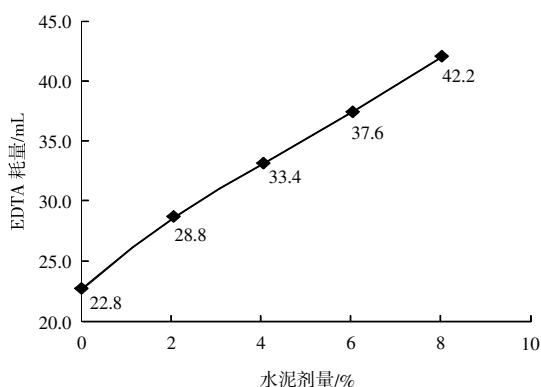


图 2 石灰剂量固定 6% 标准曲线

Fig. 2 6% lime dose fixed standard curve

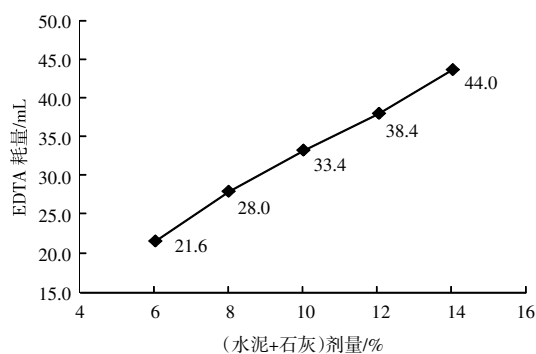


图 3 水泥剂量 $(4 \pm 1)\%$ + 石灰剂量 $(6 \pm 1)\%$ 变化标准曲线

Fig. 3 Change standard curve of cement dosage $(4 \pm 1)\%$ and lime dose $(6 \pm 1)\%$

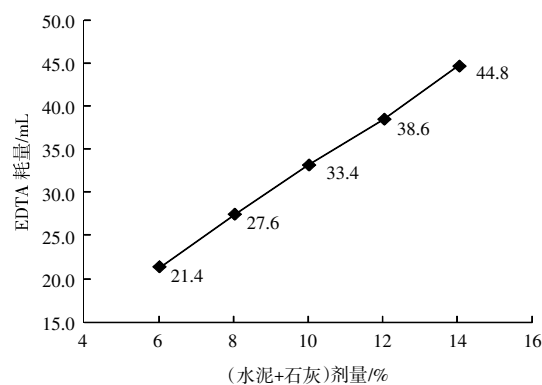


图 4 结合料剂量 $[(4+6) \pm 2]\%$ 变化标准曲线

Fig. 4 Change standard curve of binder dosage $[(4+6) \pm 2]\%$

2) 若现对一水泥石灰稳定土样按 JTG E51—2009 标准进行剂量滴定, EDTA 耗量为 36.0 mL , 则分别按图 1~图 4 计算得样品配比结果如表 1 所示。可以看出: 按不同标准曲线测得(水泥+石灰)结合料剂量结果基本一致; 但计算出水泥石灰剂量结果却相差较大(剂量最大差值为 1.3%), 试验结果可信度和准确度差, 样品实际配比结果不能确定。

表 1 不同标准曲线制作方法测得水泥石灰稳定土水泥和石灰剂量试验结果

Table 1 The test results of cement and lime dose of the cement lime stabilized soil by different standard curve methods

计算配比	标准曲线制作方法			
	1)	2)	3)	4)
水泥:石灰:土	4:7.1:100	5.3:6:100	4.6:6.5:100	4.4:6.6:100
(水泥+石灰):土	11.1:100	11.3:100	11.1:100	11.0:100

2 试验方案

根据上述分析可知,即使对于相同的原材料,在测定石灰水泥剂量试验时 EDTA 的耗量相同时,对于不同曲线,可以得出不同的剂量结果。而在实际施工中,水泥或石灰的剂量可能会存在较大的变化区间,出现对应的配比情况也就很多,因此有必要对 EDTA 耗量相同时水泥石灰稳定土配比存在的可能性进行分析。

1) 仍以上述水泥石灰稳定土(即设计配比水泥:石灰:土=4:6:100)为例,根据水泥和石灰剂量可能变化区间(0~10)%,设计多个配比进行标准曲线试验,试验结果见图 5、图 6。

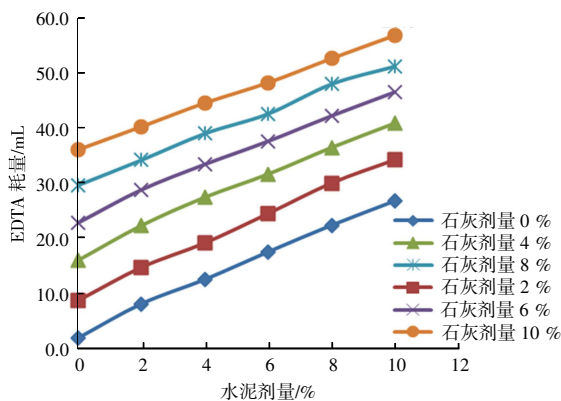


图 5 不同石灰剂量固定值对应标准曲线

Fig. 5 The corresponding standard curve of different lime dose fixed value

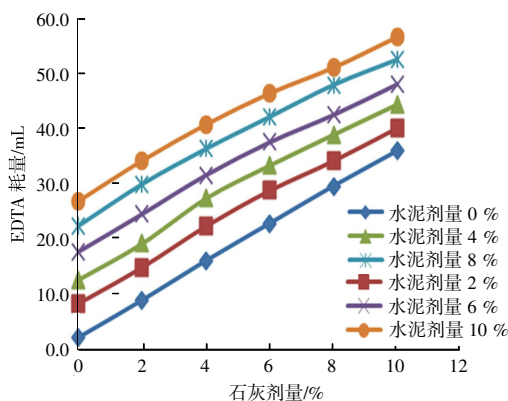


图 6 不同水泥剂量固定值对应标准曲线

Fig. 6 The corresponding standard curve of different cement dose fixed value

2) 将以上标准曲线(图 5、图 6)用线性回归法计算得出与设计配比 EDTA 标液耗量相同($V_0 = 33.4 \text{ mL}$)的稳定材料的配比共有 8 种,分别为:

P①石灰:土=8.9:100; P②水泥:石灰:土=1.4:8:100; P③水泥:石灰:土=2:7.4:100; P④水泥:

石灰:土=6:4.6:100; P⑤水泥:石灰:土=6.6:4:100; P⑥水泥:石灰:土=8:3.0:100; P⑦水泥:石灰:土=9.3:2:100; P⑧水泥:石灰:土=10:1.6:100。

3) 不同配比对稳定材料强度的影响

对以上 8 个配比分别按标准进行击实试验得出各配比的 ρ_{\max} 和最佳含水量(ω_{op}),并进行 P①~P⑧及设计配比(P0)7 d 无侧限抗压强度(R_7)试验。不同配比击实及无侧限抗压强度试验结果如表 2 所示。可以看出: P①、P②和 P③三个配比(水泥剂量均低于设计配比)的水泥石灰稳定土的 7 d 无侧限抗压强度均低于设计配比(P0)的强度值。若施工实际配比为以上 3 种,即使测得其结合料剂量合格,其强度也难以满足施工设计要求,因此准确测定施工现场水泥石灰稳定土的实际配比是十分必要的。

表 2 不同配比水泥石灰稳定土击实及无侧限抗压强度试验结果

Table 2 Compaction and unconfined compressive strength test results of the cement and lime stabilized soils with different ratios

试验项目	试验结果							
	P0	P①	P②	P③	P④	P⑤	P⑥	P⑦
$\rho_{\max}/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	1.80	1.79	1.80	1.80	1.81	1.81	1.82	1.82
$\omega_{\text{op}}/\%$	15.2	16.0	16.0	15.8	15.0	15.0	14.4	14.2
R_7/MPa	1.6	0.9	1.1	1.2	2.1	2.3	2.8	3.1

3 方法研究

3.1 水泥石灰稳定土剂量测定(EDTA 滴定法)的反应原理

水泥石灰稳定土中加入氯化铵溶液,其主要化学反应为水泥水化产物及石灰中 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 与氯化铵的反应,即: $\text{Ca}(\text{OH})_2 + 2\text{NH}_4\text{Cl} \rightarrow \text{CaCl}_2 + 2\text{NH}_3 \uparrow + 2\text{H}_2\text{O}$; 试液中加入氢氧化钠溶液和钙红指示剂,用 EDTA 标准溶液滴定至试液颜色由玫红色变为蓝色即为终点。

3.2 方法确定

3.2.1 理论依据

水泥早期水化产物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 主要是由 C_3S 水化生成的,且 C_3S 早期水化能在 10 min 左右达到峰值^[4-5],但水化产物 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 的溶出与其凝结有密切关系。故水泥土中加入氯化铵溶液搅拌十几分钟左右溶液中钙离子才能达到峰值,而石灰土中加入氯化铵溶液几分钟溶液中钙离子就能达到峰值,利用水泥和石灰中钙离子溶出的时间差即

可区分水泥石灰稳定土中水泥和石灰剂量。

3.2.2 方法提出

1) 取试验用土样(按设计配比计算 300 g 混合料所需量),加水(按最佳含水量计算 300 g 混合料所需量)及 600 mL 10 %氯化铵溶液,以 (200 ± 20) r/min 搅拌 3 min,静置 10 min 倾倒出上部清液,取 10 mL 进行滴定测得土样 EDTA 标液耗量为 V_0 。

2) 分别取试验用水泥样 15 g、石灰样 30 g 加入与步骤 1)试验相同的土样、水拌匀后,加入氯化铵溶液搅拌测定:第 1 次搅拌 3 min,第 2 次将第 1 次试验取出的上部清液重新倒入试样中继续搅拌 10 min,静置 10 min 再次倾倒出上部清液,搅取 10 mL 进行滴定,分别测得水泥样、石灰样前后 2 次滴定 EDTA 标液耗量分别为 V_{1-1} 、 V_{1-2} ; V_{2-1} 、 V_{2-2} 。

3) 取现场有代表性的水泥石灰稳定土样 300 g,加入 600 mL 10 %氯化铵溶液进行 2 次搅拌试验,测得其前后 2 次 EDTA 标液耗量分别为 V_{3-1} 、 V_{3-2} 。

4) 将现场水泥石灰稳定土样在 (105 ± 5) °C 烘箱中烘干 8 h 以上,测得其含水量 w ,计算出干料质量 m_d ($m_d = 300 / (1 + w)$), $w = (m_1 - m_2) / m_2$ 。

5) 计算水泥含量 x 和石灰含量 y

$$x(V_{1-1} - V_0) / 15 + y(V_{2-1} - V_0) / 30 = V_{3-1} - V_0$$

$$x(V_{1-2} - V_{1-1}) / 15 + y(V_{2-2} - V_{2-1}) / 30 = V_{3-2} - V_{3-1}$$

联立方程解得 x , y 值。

6) 计算干土质量 $m_t = m_d - (x + y)$ 。

7) 计算水泥剂量 a : $a = 100x / m_t$, %; 石灰剂量 b : $b = 100y / m_t$, %。

8) 试验中各符号含义:

V_0 为土样滴定消耗 EDTA 标液的体积, mL; $V_{1-1}(V_{2-1})$ 为水泥样(石灰样)第 1 次搅拌 3 min 后滴定消耗 EDTA 标液的体积, mL; $V_{1-2}(V_{2-2})$ 为水泥样(石灰样)第 2 次搅拌 10 min 后滴定消耗 EDTA 标液的体积, mL; $V_{3-1}(V_{3-2})$ 为水泥石灰稳定土样第 1 次(第 2 次)滴定消耗 EDTA 标液的体积, mL。

3.2.3 方法验证

以前述配比号为 P0、P②、P③、P④和 P⑥的水泥石灰稳定土为例对提出方法进行验证,试验结果如表 3 所示。可以看出:用上述方案进行水泥石灰稳定土中水泥和石灰剂量的测定,结果误差最大为 0.4 %,测定结果基本可以真实反映出拌稳定材料的实际配比。

考虑到现场测定实际情况,路拌混合材料不能及时试验,稳定土中水泥和石灰剂量会随时间衰减^[6],尤其对于水泥剂量影响较大,故应对水泥样的溶出率进行修正,即按现场混合料拌合后存放的时间对 V_{1-1} 、 V_{1-2} 修正后再进行剂量计算。

表 3 不同配比水泥石灰稳定土水泥、石灰剂量试验结果

Table 3 Cement and lime dose test results of the cement and lime stabilized soils with different ratios

项目	试验结果				
	$V_0 = 2.0$ mL $V_{1-1} = 17.2$ mL $V_{1-2} = 20.0$ mL; $V_{2-1} = 46.0$ mL $V_{2-2} = 48.2$ mL				
	P0	P②	P③	P④	P⑥
实际配比(水泥:石灰:土)	4:6:100	1.4:8:100	2:7.4:100	6:4.6:100	8:3.0:100
V_{3-1} /mL	33.0	32.8	33.2	32.4	32.6
V_{3-2} /mL	35.8	34.9	35.4	35.9	36.7
m_1 /g	50.00	50.06	50.00	50.10	50.06
m_2 /g	43.42	43.49	43.41	43.51	43.46
w /%	15.15	15.11	15.18	15.15	15.19
m_d /g	260.53	260.62	260.46	260.53	260.44
x /g	9.04	3.93	4.52	14.44	18.82
y /g	14.89	18.29	18.15	10.75	7.86
m_t /g	236.60	238.40	237.79	235.34	233.76
实测配比(水泥:石灰:土)	3.8:6.3:100	1.6:7.7:100	1.9:7.6:100	6.1:4.6:100	8.1:3.4:100
配比误差/%	水泥剂量	-0.2	+0.2	-0.1	+0.1
	石灰剂量	+0.3	-0.3	+0.2	0.0

(下转第 71 页)