

文章编号:1671-8879(2008)04-0017-04

路基过湿土处治中生石灰质量分数的计算方法

戴学臻¹, 蒋应军^{1,2}, 陈忠达¹

(1. 长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室, 陕西 西安 710064;

2. 东南大学 交通学院, 江苏 南京 210096)

摘要:以六盘山地区过湿土为例,在分析比较各种外掺剂处治过湿土效果的基础上,选用生石灰作为外掺剂,对生石灰处治过湿土填料进行了研究。结合掺入生石灰后含水质量分数的损失试验,分析了其含水质量分数损失原理,并利用BP神经网络方法建立了生石灰处治过湿土的掺量公式。工程实例表明:该公式应用简便,当生石灰质量分数为6.5%~7.0%时,施工效果良好。

关键词:道路工程;路基;生石灰;过湿土;质量分数

中图分类号:U416.1

文献标志码:A

Computing method of mass ratio of quicklime used to treat super-wet soil under subgrade

DAI Xue-zhen¹, JIANG Ying-jun^{1,2}, CHEN Zhong-da¹

(1. Key Laboratory for Special Area Highway Engineering of Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, Shaanxi, China; 2. School of Transportation, Southeast University, Nanjing 210096, Jiangsu, China)

Abstract: Taking the super-wet soil in Liupanshan mountain area as an engineering example, the treating effects of the super-wet soil with different additives are studied, the quicklime is chosen as the applied additive. The loss of water's mass ratio in super-wet soil after being treated by quicklime is tested, its loss principle is presented. A formula to determine the optimum mass ratio of quicklime to treat super-wet soil is put forward with BP neural net work. The engineering results show that: this formula is convenient; when the mass ratio of quicklime is from 6.5% to 7.0%, the treating effect is good. 5 tabs, 5 figs, 9 refs.

Key words: road engineering; subgrade; quicklime; super-wet soil; mass ratio

0 引言

宁夏六盘山地区属白垩纪构成,河湖相沉积,地层多以软弱页岩为主,地处西华山—南华山—六盘山地震带,地层受挤压变得非常破碎。六盘山地区降水比较丰富,蒸发量少,造成地下水丰富,部分地区地表覆盖层常常处于过湿状态,含水质量分数较高,

承载力低,稳定性差,容易变形,施工时常常出现“弹簧”现象而无法压实;竣工后在行车荷载的作用下,极易导致路基路面产生沉陷、变形和失稳等破坏。

现行规范规定^[1,2],过湿土只能做弃方处理。然而六盘山地区缺乏砂石材料,换填费工费时,这对工期和投资有很大的影响。因此,如何降低过湿土的含水质量分数,改变过湿土的物理、化学和工程性

收稿日期:2007-08-09

基金项目:国家西部交通建设科技项目(200131800075)

作者简介:戴学臻(1974-),男,江苏南京人,讲师,工学博士研究生,E-mail:Tiger@sxhighway.gov.cn.

质,使之满足路基填料强度、耐久性和稳定性的要求,已成为六盘山地区公路建设中迫切需要解决的问题。过湿土处治的关键是如何快速、有效地降低土的天然含水质量分数,使之能够压实,并具有一定的强度和稳定性^[3-9]。因此,常在过湿土中掺加具有吸湿能力和固化作用的外掺剂,降低含水质量分数,满足施工碾压要求,提高强度和稳定性。

本文依据六盘山地区广泛分布的低液限粉土的土质特点和当地的气候环境,对比分析中国常用的外掺剂,最终选用生石灰作为外掺剂。在分析掺加生石灰后含水质量分数损失原理的基础上,通过大量试验,建立了处治过湿土的生石灰掺量公式,可供过湿土路基填料处治时参考应用。

1 原材料

1.1 土的物理化学性质

试验土样 T_A 、 T_B 分别取自宁夏六盘山地区什字—泾源二级公路 K390+520 和 K394+400 采土场,其物理、化学性质如表 1、表 2 所示。

表 1 土样颗粒组成(体积分数) %

样品	砾石(\geq 2 mm)	砂(2~ 0.074 mm)	粉土(0.074~ 0.002 mm)	粘土(< 0.002 mm)
T_A	0.5	7.8	72.8	18.9
T_B		4.5	83.7	11.8

表 2 土样物理性质

样品	液限/ %	塑限/ %	塑性 指数	最大干密度/ ($g \cdot cm^{-3}$)	最佳含水质量 分数/%
T_A	29.5	18.3	11.2	2.00	12.5
T_B	32.4	20.1	12.3	1.90	14.0

根据试验结果,确定 T_A 为含砂低液限粉土, T_B 为低液限粉土。

1.2 生石灰

生石灰采用西安建筑材料市场购买的块灰,化学性质如表 3 所示,加工磨碎,过 5 mm 筛,用塑料袋包好备用。

表 3 生石灰化学性质 %

活性成分(质量分数)		
CaO	MgO	CaO+MgO
66.65	3.38	70.03

活性钙镁质量分数达 70.03%,属Ⅲ级生石灰。生石灰要注意密封,以免与空气中的水分和 CO_2 发生化学反应,导致有效钙质量分数降低。

2 掺生石灰后含水质量分数损失原理

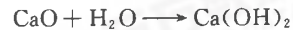
假设过湿土干重为 P_0 ,水分为 W_0 ,过湿土含水

质量分数为 w ,Ⅲ级生石灰掺量(生石灰质量分数)为 C ,其中 CaO 的质量分数为 θ 。

(1) 生石灰粉掺入土中后,直接使土中的干料增加 ΔP_1 ,从而导致土中的含水质量分数降低

$$\Delta P_1 = CP_0$$

(2) 生石灰中的 CaO 与土中的水分发生化学反应,即



该化学反应为放热反应,反应过程中固体成分增加量为 ΔP_2 ,水分减少量为 ΔW_2 。根据化学反应式可知

$$\Delta W_2 = 0.32\theta CP_0$$

ΔP_2 与 ΔW_2 数量相等,即

$$\Delta P_2 = 0.32\theta CP_0$$

生石灰中的 MgO 与水分发生类似的化学反应,但因考虑到 MgO 的质量分数很少,故忽略不计。

(3) 生石灰掺入土中后,过湿土水分蒸发引起水分减少量为 ΔW_3 。这种水分蒸发产生于两方面的作用:一是拌和、闷料过程中水分的自然蒸发;二是生石灰化学反应过程中释放出大量热量,加速水分蒸发,这种蒸发对过湿土含水质量分数的减少更为重要。研究证明 ΔW_3 与多种因素有关,比如试验的温度和湿度、过湿土原来的含水质量分数 w 、生石灰的掺量 C 、生石灰有效钙质量分数 θ 。为推出生石灰的掺量公式,设

$$\Delta W_3 = \beta W_0 C \theta = \beta w P_0 C \theta$$

式中: β 为综合系数。

过湿土掺加生石灰后,水分减少 ΔW ,固化物增加 ΔP ,则有

$$\Delta W = \Delta W_2 + \Delta W_3 = 0.32\theta CP_0 + \beta W_0 C \theta$$

$$\Delta P = \Delta P_1 + \Delta P_2 = CP_0 + 0.32\theta CP_0$$

由此,可以计算过湿土含水质量分数的变化 Δw 为

$$\Delta w = \frac{W_0}{P_0} - \frac{W_0 - \Delta W}{P_0 + \Delta P} = \frac{W_0 \Delta P + P_0 \Delta W}{P_0 (P_0 + \Delta P)} =$$

$$\frac{W_0 (CP_0 + 0.32\theta CP_0) + P_0 (0.32\theta CP_0 + \beta W_0 C \theta)}{P_0 (P_0 + CP_0 + 0.32\theta CP_0)} =$$

$$\frac{w P_0 (C + 0.32\theta C) + P_0 (0.32\theta C + \beta w C \theta)}{P_0 (1 + C + 0.32\theta C)} =$$

$$\frac{w(C + 0.32\theta C) + (0.32\theta C + \beta w C \theta)}{(1 + C + 0.32\theta C)} \approx$$

$$w C + 0.32\theta C(1 + w) + \beta w C \theta \quad (1)$$

式(1)表明,过湿土掺加生石灰后含水质量分数的损失与 w 、 C 、 θ 和 β 有关。

3 掺生石灰后含水质量分数损失试验

为了测试生石灰对过湿土的减水效果,按照不同的含水质量分数和石灰掺量(石灰质量分数)进行对比试验。3个水平生石灰掺量分别为3%、5%和8%;5个水平含水质量分数分别为18%、21%、24%、27%和30%。部分试验结果如图1~图4所示。图示中:W-1表示含水质量分数为第一个水平18%时生石灰掺量与单位掺量含水质量分数降低率的关系;S-3表示生石灰掺量为第三个水平8%时含水质量分数与单位掺量含水质量分数降低率的关系,其余照此类推。

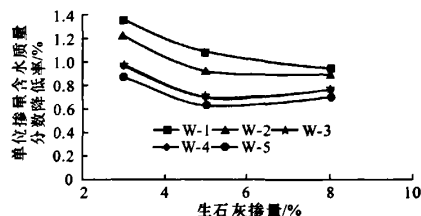


图1 T_A 单位掺量含水质量分数降低率与生石灰掺量的关系

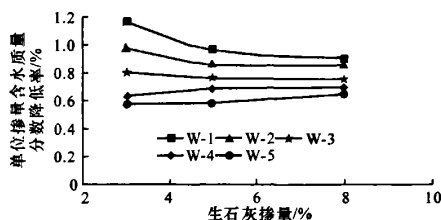


图2 T_B 单位掺量含水质量分数降低率与生石灰掺量的关系

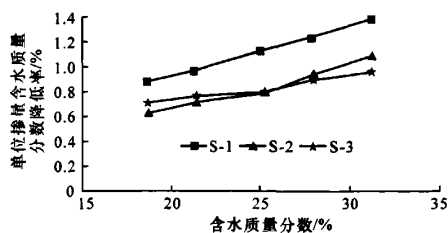


图3 T_A 单位掺量含水质量分数降低率与含水质量分数的关系

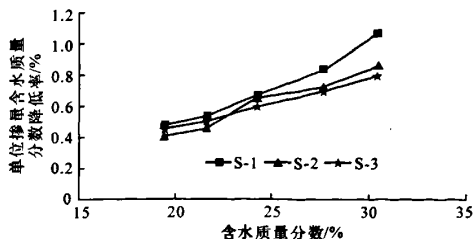


图4 T_B 单位掺量含水质量分数降低率与含水质量分数的关系

从室内试验结果可以看出,过湿土掺加生石灰后含水质量分数的降低主要取决于以下几个因素:①

土的含水质量分数;②生石灰的掺量;③外界的温度和湿度(室内试验没有考虑不同的温度和湿度下含水质量分数的变化,但对实际工程而言,施工时的温度和湿度对含水质量分数的变化有很大的影响)。土的含水质量分数越大,掺生石灰后的单位掺量含水质量分数降低率呈上升趋势,如图1、图2所示。生石灰的掺量越大,过湿土含水质量分数降低的越多,但是单位掺量含水质量分数降低率呈下降趋势,如图3、图4所示。外界的温度越高,湿度越小,蒸发量越大,过湿土含水质量分数降低的又快又多。另外,土质对生石灰的减水也有很重要的影响, T_A 的减水效果要好于 T_B ,因为 T_A 的粘粒比较多,接近于粘性土,从而与生石灰的反应更加充分。生石灰的单位掺量含水质量分数降低率为0.45%~1.37%。大量研究证明,有效钙质量分数对生石灰降低过湿土的含水质量分数有至关重要的影响。

4 生石灰掺量的确定

过湿土含水质量分数的变化 Δw 与 C 、 θ 、 w 有关,同时与试验温度、湿度、土质有一定的关系。为了简化和易于在工地使用,本文结合室内试验结果,根据含水质量分数变化式(1),得出生石灰处治过湿土的掺量公式为

$$C = \frac{w - w_0}{w(1 + \beta\theta) + 0.32\theta(w + 1)} \quad (2)$$

式中: w_0 为生石灰处治土的适宜压实含水质量分数(以小数记)。

由于试验条件的限制,当过湿土掺加生石灰时,蒸发量无法测量,从而使与试验温度、湿度、生石灰掺量、生石灰有效钙质量分数和过湿土试验前的含水质量分数密切相关的 β 值无法在实验室得到。为此,本文利用BP神经网络方法,反算得出生石灰为Ⅲ级、掺量为3%、5%和8%、过湿土含水质量分数为18%~30%状况下的 β 值,供工程实践和以后更深入的研究作参考。反算过湿土中掺生石灰后含水质量分数损失实测值与利用BP神经网络得到的预测值间的关系,结果见表4和图5。

表4 BP神经网络训练结果

神经网络模式	训练样本	误差均方根	相关系数 R^2
BPN(3-6-1)	60	0.491	0.90

根据BP神经网络反算得出部分条件下的 β 值,见表5。

考虑到现场施工的特殊性,建议生石灰掺量 $C \geq 3\%$ 。

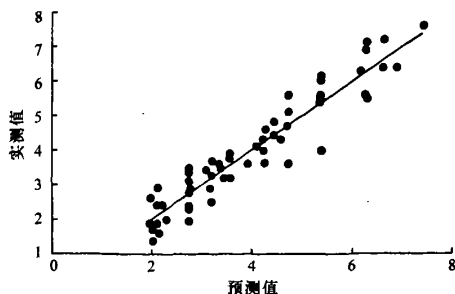


图5 含水质量分数损失实测值和预测值的散布

表5 综合系数 β 值(CaO 质量分数为 70%)

过湿土含水质量 分数 / %	生石灰掺量 / %		
	3	5	8
18	1.05	0.58	0.32
21	1.20	0.67	0.50
24	1.51	0.92	0.65
27	2.20	1.47	0.92
30	2.47	1.83	1.26

5 应用实例

结合什字—泾源二级公路施工,实测 K390~K394 段路基土含水质量分数为 24%,生石灰处治土的适宜压实含水质量分数为 19.6%。生石灰活性 CaO 质量分数为 72%。根据式(2),生石灰掺量初拟为 8%,则 $\beta = 0.65$,计算 C 值为

$$C = \frac{w - w_0}{w(1 + \beta\theta) + 0.32\theta(w + 1)} = \frac{0.24 - 0.196}{0.24(1 + 0.65 \times 0.72) + 0.32 \times 0.72 \times (1 + 0.24)} = 6.9\%$$

拟定的生石灰掺量与计算不符。根据初步计算结果,采用 6.5% 生石灰掺量计算,此时对应的 $\beta = 0.78$,代入式(2),计算得到 $C = 6.6\%$,基本上接近 6.5%,因此采用生石灰掺量为 6.5%。考虑到拌和均匀性问题,实际施工时采用 7.0%,取得了良好的施工效果。

6 结 语

(1)六盘山地区过湿土处治的关键是如何快速、有效地降低土的天然含水质量分数,使之能够压实,并具有一定的强度和稳定性。依据六盘山地区广泛分布的低液限粉土的土质特点和当地的气候环境,对比分析中国常用外掺剂,最终选用生石灰作为外掺剂。

(2)掺生石灰后过湿土含水质量分数损失主要包括 3 个方面:一是直接使土中的干料增加,导致土中的含水质量分数降低;二是生石灰中的有效钙与土中

的水分发生放热化学反应,反应过程中固体成分增加,水分减少;三是过湿土水分蒸发引起水分减少。

(3)在分析掺生石灰后含水质量分数损失原理的基础上,通过掺生石灰后含水质量分数损失试验,建立了处治过湿土的生石灰掺量公式,可供过湿土路基填料处治时参考应用。

参考文献:

References:

- [1] JTJ 033-95,公路路基施工技术规范[S].
- [2] JTJ 013-95,公路路基设计规范[S].
- [3] 文飞国. 过湿土处治技术研究[D]. 西安:长安大学, 2004.
- [4] 周焕云,黄晓明. 高速公路软土地基沉降预测方法综述[J]. 交通运输工程学报, 2002, 2(4): 7-10.
ZHOU Huan-yun, HUANG Xiao-ming. Summary of forecasting methods of expressway settlement on soft ground [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2002, 2(4): 7-10.
- [5] 吴立坚,钟发林. 高液限土路基填筑技术研究[J]. 中国公路学报, 2003, 16(1): 32-35.
WU Li-jian, ZHONG Fa-lin. Study of subgrade construction from high liquid limit soil [J]. China Journal of Highway and Transport, 2003, 16(1): 32-35.
- [6] 蒋鑫,魏水幸,邱延峻. 斜坡软弱地基路堤填筑全过程稳定性[J]. 交通运输工程学报, 2003, 3(1): 30-34.
JIANG Xin, WEI Yong-xing, QIU Yan-jun. Stability of subgrade embankment on sloped weak ground [J]. Journal of Traffic and Transportation Engineering, 2003, 3(1): 30-34.
- [7] 王晓谋,袁怀宇. 河滩相软土地基路堤施工[J]. 长安大学学报:自然科学版, 2003, 23(3): 26-29.
WANG Xiao-mou, YUAN Huai-yu. Embankment construction on alluvial soil foundation [J]. Journal of Chang'an University: Natural Science Edition, 2003, 23(3): 26-29.
- [8] 丁洲祥,龚晓南,李又云,等. 考虑变质量的路基沉降应力变形协调分析法[J]. 中国公路学报, 2005, 18(2): 6-11.
DING Zhou-xiang, GONG Xiao-nan, LI You-yun, et al. Method of stress-deformation compatibility analysis considering variable mass for roadbed settlement [J]. China Journal of Highway and Transport, 2005, 18(2): 6-11.
- [9] 肖武权,冷伍明. 软土路基沉降实时建模动态预测[J]. 岩土力学, 2005, 26(9): 1481-1484.
XIAO Wu-quan, LENG Wu-ming. Real-time modelling and dynamic predicting of settlement of soft soil roadbeds [J]. Rock and Soil Mechanics, 2005, 26(9): 1481-1484.