

生石灰改良高液限土路堤施工工艺

曹亮宏¹,洪宝宁²,张文慧²,方庆军²

(1. 广东省长大公路工程有限公司,广东 广州 510620;

2. 河海大学岩土力学与堤坝工程教育部重点实验室,江苏 南京 210098)

摘要:通过现场试验,研究了采用晾晒的方法和在高液限土中掺入生石灰降低高液限土含水率的效果,以及石灰改良高液限土的碾压工艺。试验结果表明:采用晾晒的方法降低高液限土含水率效果不理想,会延长工期,不利于施工;在高液限土中掺入生石灰可以有效降低高液限土的含水率,掺入生石灰后的前2天土料的含水率下降较多,第3天后土料的含水率变化较小,建议掺入生石灰降低高液限土含水率时焖料时间为3d;用生石灰改良高液限土时生石灰的掺量不宜太高,过高则土团之间石灰过多,将导致土团之间黏聚力降低,碾压时难以达到设计要求的压实度;经生石灰改良的高液限土宜采用重型压路机碾压,碾压应以静压为主。

关键词:高液限土;生石灰;含水率;压实度;碾压;路堤施工

中图分类号:U416.12

文献标志码:B

文章编号:1006-7647(2013)S1-0101-04

在我国中部和西南地区高等级公路建设中常常遇到大量的高液限土。高液限土的天然含水率高,液限高,细粒含量多。高液限土作为路堤填料时,主要工程问题有:①含水率控制问题。高液限土的天然含水率高,要降低其含水率至最优含水率附近较困难,碾压时若含水率过高则难以压实,如果含水率低于塑限,则土体坚硬,难以粉碎^[1]。②强度问题。高液限土的强度(CBR)低,一般难以满足规范^[2]要求。③水稳定性问题。高液限土的水稳定性差,当土体失水时,随水分的丧失,表现为土体收缩开裂。鉴于上述问题,JTG D30—2004《公路路基设计规范》^[2]规定:“高液限土不能直接作为路堤填料。当利用挖方路段高液限土填筑路堤时,应进行处治。”

目前国内外常用的高液限土处治方法有换土、改良、包盖(边)、互(夹)层和土工合成材料加筋处治^[3]。国内外许多学者^[4-11]通过室内试验研究了不同改良剂对高液限土的液限、塑限、CBR等的影响。为了利用高液限土填筑路基,福建省早在1996年就开展高液限土路用特性研究^[12],提出主要控制压后土强度指标CBR值,使其满足规范要求的思路,并进行了相应高液限土填筑的试验,经多年使用、监测,证明了其可行性。徐丁良^[13]进行了直接利用高液限土填筑路基的室内-现场联合试验,提出了高

液限土施工工艺控制的关键在于松铺厚度和压前含水率的控制以及必要的防、排水措施,曹沂海等^[14]通过研究也得出了类似结论。吴立坚等^[15]通过现场碾压试验得出了高液限土的理想压实含水率范围。张东等^[16-18]通过试验提出以干密度和饱和度作为控制指标来指导路基施工。

通过这些研究结果可以发现,施工时降低高液限土的含水率主要采用晾晒的方法,且现场碾压试验绝大多数是针对没有改良的高液限土进行的。对于没有经过改良的高液限土路堤,即使压实度达到设计要求,当路堤土体含水率发生变化时(王保田等^[19]通过现场试验发现,随着雨季和旱季的交替,路堤填土的含水率周期性变化幅度可达6%左右),路堤土体会产生胀缩变形进而引起路面开裂。本文以广梧高速公路河口至平台十八合同段高液限土为例,以高液限土利用和改良为依托,研究采用晾晒并在高液限土中掺入生石灰降低高液限土含水率方法的效果以及石灰改良高液限土的施工工艺。

1 降低高液限土含水率试验

由于高液限土的天然含水率远高于其最优含水率,碾压前必须将高液限土的含水率降低到最优含水率附近才能达到设计要求的压实度,通常降低土

料含水率的方法有晾晒或在土料中掺入其他掺料。

1.1 采用晾晒方法降低高液限土含水率试验

试验所用土料为高液限粉土和含砾高液限黏土。高液限粉土的液限为 75.9%，塑限为 35.6%，小于 0.074 mm 的细粒质量分数为 78.1%，室内重型击实所得的最优含水率为 18.2%，最大干密度为 1.64 g/cm³，于 2008 年 1 月 1 日运至路堤填筑断面，晾晒至 1 月 12 日，晾晒期间均为晴天。含砾高液限黏土的液限为 67.4%，塑限为 31.3%，小于 0.074 mm 的细粒质量分数为 50.3%，室内重型击实所得的最优含水率为 14.2%，最大干密度为 1.91 g/cm³，于 2008 年 1 月 3 日运至路堤填筑断面，晾晒至 1 月 9 日。晾晒期间每天上下午用旋耕机各翻拌 1 次，每天含水率试验取样点相同（取样点为 6 个点）。2 种土料的晾晒宽度为 25 m，长度为 110 m，虚铺厚度为 25 cm。晾晒期间土料的含水率变化情况见表 1。

表 1 晾晒期间土料的含水率变化

时间	含水率/%					
	高液限粉土			含砾高液限黏土		
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值
1月1日	35.0	36.7	34.5			
1月2日	33.5	33.8	32.9			
1月3日	34.0	34.1	33.9	20.9	21.0	20.8
1月4日	35.4	36.7	33.3	21.1	21.6	20.5
1月6日	31.2	32.8	29.3	18.7	19.4	17.9
1月7日	30.5	32.0	28.6	17.7	18.5	17.3
1月8日	29.9	31.3	28.8	17.1	17.1	17.0
1月9日	29.7	30.9	28.7			
1月10日	28.2	28.5	27.5			
1月11日	27.2	28.4	25.6			

从表 1 中可以看出，高液限粉土晾晒 10 d 后含水率从 34.5%~36.7% 下降至 25.6%~28.4%，晾晒 10 d 后高液限粉土的含水率高于最优含水率 7.4%~10.2%；含砾高液限黏土晾晒 5 d 后含水率从 20.8%~21.0% 下降至 17.0%~17.1%，晾晒 5 d 后高液限粉土的含水率高于最优含水率 3.8%~3.9%。试验结果表明，采用晾晒方法降低高液限土含水率效果不理想，会使工期延长，不利于施工。

1.2 掺入生石灰降低高液限土含水率试验

掺入生石灰降低高液限土含水率试验所用土料的液限、塑限及小于 0.074 mm 的细粒质量分数见表 2。

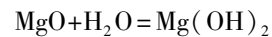
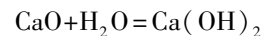
表 2 土料的液限、塑限及细粒质量分数

土类	液限/%	塑限/%	细粒质量分数/%
含砾高液限粉土	66.1	37.3	64.2
含砂高液限粉土(1)	59.5	33.5	60.7
含砂高液限粉土(2)	56.2	35.4	63.0
高液限粉土	65.8	33.5	79.0
高液限黏土	75.3	32.3	78.8

生石灰降低高液限土含水率试验料采用生石灰块，试验时在一定范围内摊铺一层土料（厚度约 1.0 m），然后在土料表面摊铺一层生石灰，再在生石灰上摊铺一层土料，如此反复，形成土堆进行焖料，在掺入生石灰后的第 2 天及以后各天均用挖机翻拌，翻拌后仍将土料打堆。现场试验表明，生石灰掺入土料中 1 d 内基本完全消解，第 2 天翻拌时土料中基本没有未消解的生石灰块。

生石灰焖料期间引起的土料含水率下降的主要原因为：①生石灰消解时吸收土料中的水分，这部分可由公式(1)计算得到；②生石灰消解时产生的热量导致土料水分蒸发，这部分与气温、空气湿度和焖灰过程中的翻拌次数有关，难以用公式进行计算。

生石灰消解时的反应式为



根据含水率的定义，则土料中掺入生石灰后其含水率为

$$\omega' = \omega \frac{1 - n w(\text{Ca}) \left(\frac{18}{56} \right) \left(\frac{1}{\omega} \right) - n w(\text{Mg}) \left(\frac{18}{40} \right) \left(\frac{1}{\omega} \right)}{1 + n w(\text{Ca}) \left(\frac{74}{56} \right) + n w(\text{Mg}) \left(\frac{58}{40} \right) + n(1 - w(\text{Ca}) - w(\text{Mg}))} \quad (1)$$

式中： ω 、 ω' 分别为掺入生石灰前后土料的含水率； n 为生石灰的掺量； $w(\text{Ca})$ 、 $w(\text{Mg})$ 分别为生石灰中有效氧化钙和有效氧化镁的质量分数。

掺入生石灰降低高液限土含水率试验结果见表 3。表 3 中第 1 行数据为高液限土的天然含水率，生石灰掺入时间为表中的第 0 天。含砾高液限粉土生石灰掺量为 5.0%，生石灰中有效氧化钙质量分数为 90.99%，有效氧化镁质量分数为 1.51%；含砂高液限粉土(1)生石灰掺量为 9.7%，生石灰中有效氧化钙质量分数为 58.30%，有效氧化镁质量分数为 39.92%；含砂高液限粉土(2)生石灰掺量为 7.0%，生石灰中有效氧化钙质量分数为 56.62%，有效氧化镁质量分数为 40.82%；高液限黏土生石灰掺量为 9.2%，生石灰中有效氧化钙质量分数为 74.20%，有效氧化镁质量分数为 23.99%；高液限粉土(1)生石灰掺量为 6.0%，生石灰中有效氧化钙质量分数为 90.99%，有效氧化镁质量分数为 1.51%；高液限粉土(2)生石灰掺量为 3.0%，生石灰中有效氧化钙质量分数为 90.99%，有效氧化镁质量分数为 1.51%。没有考虑生石灰消解时产生的热量导致土料水分蒸发所引起的含水率降低，根据生石灰掺量及有效氧化钙和氧化镁质量分数，按式(1)计算所得的掺入生石灰后土料的含水率，得含砾高液限粉土为 28.8%，含砂高液限粉土(1)

表3 掺入生石灰降低高液限土含水率试验结果

%

时间/d	含砾高液限粉土			含砂高液限粉土(1)			含砂高液限粉土(2)			高液限黏土			高液限粉土(1)			高液限粉土(2)		
	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值	平均值	最大值	最小值
0	32.2	33.3	30.8	33.0	33.4	32.8	36.2	37.4	34.2	32.9	34.7	30.2	34.4	34.9	33.4	34.4	34.9	33.4
1	29.0	31.7	25.7	28.8	31.7	26.8	28.4	30.2	26.0	25.0	28.0	20.0	29.0	31.7	25.7	30.1	31.3	29.3
2	24.8	28.1	22.3	24.7	26.4	23.7	26.9	28.8	23.6	27.7	31.7	24.8	29.0	29.8	28.4	29.9	31.3	28.5
3	22.9	24.7	21.7	23.6	25.1	20.9	26.5	28.3	24.2	23.8	27.3	21.8	27.1	27.7	26.2	28.9	29.6	27.3
4	22.9	24.1	20.0				26.5	28.1	23.7				26.5	27.6	24.2			

26.0%,含砂高液限粉土(2)30.7%,高液限黏土26.4%,高液限粉土(1)30.2%,高液限粉土(2)32.2%。考虑生石灰消解吸水及生石灰消解时产生的热量导致土料水分蒸发引起的含水率降低值,与只考虑生石灰消解吸水引起的含水率降低值的比值为:含砾高液限粉土2.74,含砂高液限粉土(1)1.34,含砂高液限粉土(2)1.76,高液限黏土1.40,高液限粉土(1)1.88,高液限粉土(2)2.50。

从表3可以看出,焖料后第1天、第2天土料含水率下降较多,这主要是由于生石灰消解时吸收土料中的水分以及生石灰消解时产生的热量导致土料水分蒸发引起的;从第3天开始含水率下降较少,主要原因是生石灰消解在前2天已经完成,第2天后主要靠生石灰消解时产生的热量导致土料水分蒸发而降低含水率,但此热量在前2天的翻拌过程中大部分散发,导致在第2天后水分蒸发较少,故含水率下降较少。从表3还可以看出,生石灰消解时产生的热量导致土料水分蒸发引起的高液限土含水率降低值可达由于生石灰消解时吸收土料中水分引起的高液限土含水率降低值的0.34~1.74倍,具体倍数与气温、空气湿度和焖灰过程中的翻拌次数有关,宜通过现场试验确定。张文慧等^[20]研究发现,随着掺灰到击实时间间隔的延长,石灰改良土的最大干密度逐渐降低,故为使生石灰改良高液限土在压实时能达到较大的干密度,建议采用生石灰降低高液限土含水率时焖料时间为3d。

2 现场碾压试验

为研究石灰改良高液限土的碾压工艺,在广梧高速公路河口至平台十八合同段进行了一系列的现场碾压试验。广梧高速公路河口至平台十八合同段地处山区,料场土料土性变化很大,本文液限、塑限和击实试验均为土料运至施工断面拌和均匀后所取土样的试验结果。

碾压试验所用压路机为三一重工YZ18C单钢轮振动压路机和宝马BW226DH型单钢轮振动压路机。YZ18C型单钢轮振动压路机的工作质量为18800kg,振动频率为29Hz/35Hz,名义振幅为1.9mm/0.95mm,激振力为380kN/275kN;宝马

BW226DH型单钢轮振动压路机工作质量为26t,振幅为2.5mm,激振力为410kN。

碾压试验路段长度为110m,宽度为25m,土料的松铺厚度为25cm。碾压时沿路堤宽度分为两半,其中一半用YZ18C型单钢轮振动压路机碾压,另一半用BW226DH型单钢轮振动压路机碾压。

2.1 高液限粉土素土

YZ18C型压路机碾压工序为:静压1遍→小振2遍→大振2遍→静压1遍→检测压实度→大振2遍→静压1遍→检测压实度→静压3遍→检测压实度(共碾压12遍);BW226DH型单钢轮压路机碾压工序为:静压1遍→振动3遍→静压2遍→检测压实度→振动2遍→静压1遍→检测压实度→静压3遍→检测压实度(共碾压12遍)。素土压实度与碾压遍数及含水率间的关系见图1。

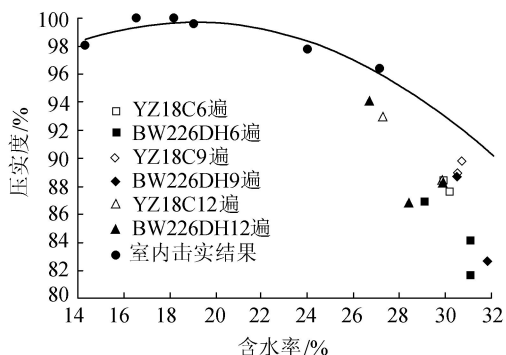


图1 高液限粉土素土的压实度与碾压遍数及含水率的关系

从图1可以看出,压实度检测点的含水率在26.7%~31.8%之间,高于最优含水率9.5%~14.6%。BW226DH型压路机碾压到12遍时只有1个检测点的压实度高于设计要求的93.0%,YZ18C型压路机碾压到12遍时只有1个检测点的压实度刚好达到设计要求的93.0%。

2.2 6%生石灰改良高液限粉土

土料为高液限粉土,其塑性指数为32,掺6%生石灰焖料3天后含水率为24.2%~27.6%。5%生石灰改良土的最大干密度为1.53g/cm³,最优含水率为26.0%,压实度为93%时室内试验CBR为10.1%;7%生石灰改良土的最大干密度为1.51g/cm³,最优含水率为26.3%,压实度为93%时

室内试验 CBR 为 12.2%。

YZ18C 型压路机碾压工序为:静压 1 遍→大振 2 遍→静压 3 遍→检测压实度→静压 3 遍→检测压实度→静压 3 遍(考虑到 YZ18C 型压路机碾压至 6~9 遍期间压实度基本没有增长,最后 3 遍采用 BW226DH 型压路机碾压)→检测压实度(共碾压 12 遍);BW226DH 型压路机碾压工序为:静压 1 遍→振动 1 遍→静压 4 遍→检测压实度→静压 3 遍→检测压实度→静压 3 遍→检测压实度(共碾压 12 遍)。6% 生石灰改良高液限粉土的压实度与碾压遍数及含水率间的关系见图 2。

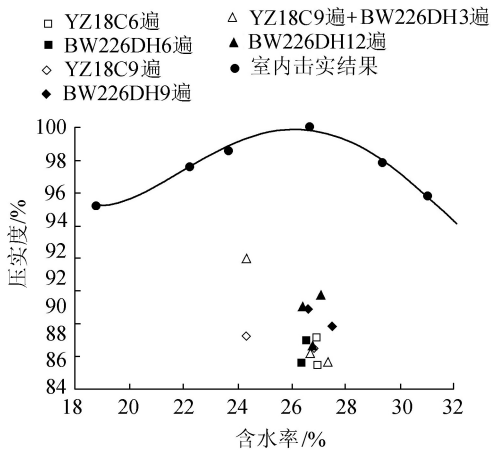


图 2 6% 生石灰改良高液限粉土的压实度与碾压遍数及含水率的关系

从图 2 可以看出,6% 生石灰改良土 YZ18C 型压路机碾压 6~9 遍过程中改良土的压实度基本没有增长,改用 BW226DH 型压路机碾压加压 3 遍后改良土的压实度增长幅度较小;BW226DH 型压路机碾压 6~12 遍过程中改良土的压实度增长幅度较小,碾压 12 遍时所有检测点的压实度均低于设计要求的 93%。初步分析可能的原因为生石灰掺量过高,土团之间石灰过多,导致土团之间黏聚力降低,碾压时难以成型。

2.3 3% 生石灰+2% 熟石灰改良高液限粉土

土料为高液限粉土,其塑性指数为 32,,掺 3% 生石灰焖料 3 d 后含水率为 27.3%~29.6%,在碾压的前 1 天掺入 2% 熟石灰。3% 生石灰+2% 熟石灰改良土的最大干密度为 1.52 g/cm³,最优含水率为 24.2%,压实度为 93% 时室内试验 CBR 为 9.6%。

YZ18C 型压路机和 BW226DH 型压路机碾压工序同 6% 生石灰改良高液限粉土碾压试验,其压实度与碾压遍数及含水率间的关系见图 3。

从图 3 可以看出,3% 生石灰+2% 熟石灰改良土 YZ18C 型压路机碾压 6~9 遍过程中改良土的压实度基本没有增长,改用 BW226DH 型压路机碾压 3

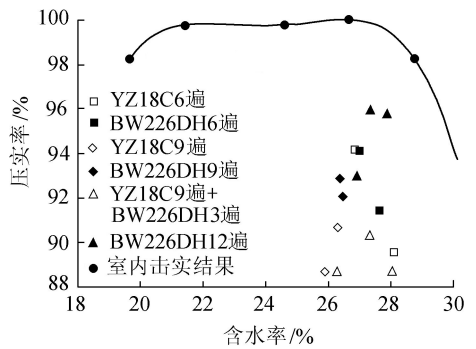


图 3 3% 生石灰+2% 熟石灰改良高液限粉土的压实度与碾压遍数及含水率的关系

遍后改良土的压实度也基本没有增长;BW226DH 型压路机碾压 12 遍时所有检测点的压实度均高于设计要求的 93%。

总结 3 次碾压试验可以得出如下结论:用生石灰改良高液限土时生石灰的掺量不宜太高,生石灰掺量过高时土团之间石灰过多,导致土团之间黏聚力降低,碾压时难以成型。生石灰改良高液限土宜采用重型压路机碾压,碾压时应以静压为主。

3 结论

a. 采用晾晒的方法降低高液限土含水率效果不理想,会使工期大大延长,不利于施工。

b. 在高液限土中掺入生石灰可以有效降低高液限土的含水率,掺入生石灰的前两天土料的含水率下降较多,第 3 天后土料的含水率变化较小,建议采用生石灰降低高液限土含水率时焖料时间为 3 d,即在掺入生石灰后的第 3 天开始碾压。

c. 用生石灰改良高液限土时生石灰掺量不宜太高,生石灰掺量过高时土团之间石灰过多,导致土团之间黏聚力降低,碾压时难以成型。生石灰改良高液限土宜采用重型压路机碾压,碾压时应以静压为主。

参考文献:

[1] 唐健良. 高液限土在路基填筑的应用[J]. 广东交通职业技术学院学报, 2004(2): 19-20.

[2] JTGD 30—2004 公路路基设计规范[S].

[3] 王年香. 高液限土路基设计与施工技术[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2005.

[4] GUNNEY Y, SARI D, CETIN M, et al. Impact of cyclic wetting-drying on swelling behavior of lime-stabilized soil [J]. Building and Environment, 2007, 42: 681-688.

[5] JEGEDE G. Effect of soil properties on pavement failures along the F209 highway at Ado-Ekiti, south-western Nigeria [J]. Construction and Building Materials, 2003, 14: 311-315.

(下转第 136 页)

案》,强化落实技术措施,而且还制定了五项工作制度,理顺了水利普查工作程序,提高了工作效率,有力地保障了普查工作顺利开展。

d. 搞好培训学习,加强能力建设,是水利普查工作顺利推进的有力举措。通过培训,使所有参与普查工作的人员提高对水利普查重要性的认识,熟练掌握普查的对象和范围、技术路线和指标含义、数据获取办法和质量要求、规模要求和时间节点等^[3]。通过培训,使普查工作者强化质量意识,严格按照质量控制细则,进行全过程质量控制。通过培训,组建了一支数量充足、人心稳定、专业素质高、责任心强、有战斗力的队伍,确保水利普查顺利实施。通过培训,明显提高了普查工作人员的业务能力。

e. 部门联动,各负其责,是水利普查工作顺利推进的必要条件。这次水利普查量大面广,不是单一部门能完成的,需要相关部门的大力支持、密切配合。余姚市水利普查工作开展以来,得到了市统计局、市建设局、市环保局、市工商局、市民政局、市国土资源局等有关部门的大力支持,不仅及时提供了有关基础资料,而且还根据工作职责,做好相应普查工作。例如,市财政局及时落实了普查专项经费,市环保局完成有关入河湖排污口的清查登记工作,市建设局落实了5家建筑企业项目用水台账的建设工作。事实表明,相关部门的配合,有效地提高了普查工作效率和工作质量,有力地保证了普查各项工作的顺利开展。

f. 加大宣传,家喻户晓,是水利普查工作顺利推进的重要基础。水利普查工作,需要得到群众的

支持和理解。在实际工作中,我们体会到,如果没有群众的大力支持,各项工作很难全面展开,尤其是社会经济用水台账的建设,直接面向取水用户,更需要用户的支持与理解。事实表明,通过加大宣传,使水利普查家喻户晓、深入人心,得到了普查对象理解、支持和参与,达到了依法普查、如实申报的目的。

4 结 语

第一次全国水利普查是一项重大的国情国力调查,是国家资源环境调查的重要组成部分,是国家基础水信息的基准性调查。余姚市结合本地实际情况,积极探索工作思路,寻求好的做法,圆满完成了各个阶段的普查任务。通过这次普查,全面、系统、深入地获取了余姚市河流湖泊、水利工程、河湖开发治理保护、经济社会用水、水土保持、水利行业能力建设、灌区、地下水取水井和滩涂围垦等海量的水利基础信息,为谋划水利长远发展,科学制定水利及国民经济和社会发展规划创造了基础条件。

参考文献:

- [1] 为加快水利改革发展提供科学依据:省水利厅厅长戴军勇答记者问[N]. 湖南日报,2011-03-10(7).
- [2] 李杰. 对内蒙古第一次全国水利普查工作的认识[J]. 内蒙古水利,2011(3):20-21.
- [3] 振家,关林超. 明确职责,加强沟通,全面完成松辽流域水利普查工作[J]. 东北水利水电,2012(7):4-6.

(收稿日期:2012-09-21 编辑:熊水斌)

(上接第104页)

- [6] ABU-ZREIG M M, AL-AKHRAS N M, ATTOM M F. Influence of heat treatment on the behavior of clayey soils [J]. Applied Clay Science,2001,20:129-135.
- [7] 吴立坚,钟发林,吴昌兴,等. 高液限土的路用特性研究[J]. 岩土工程学报,2003,25(2):193-195.
- [8] 章为民,戴济群,王芳. 高液限路基土改良设计方法研究[J]. 路基工程,2006(5):76-77.
- [9] 叶琼瑶,陶海燕. 高液限红黏土的改良试验研究[J]. 公路,2007(1):148-151.
- [10] 张国炳,余概宁. 高液限土的改良技术研究[J]. 公路交通科技,2005,22(11):71-74.
- [11] 曾胜. 高液限黏土室内改良试验研究[J]. 中外公路,2007,27(3):208-210.
- [12] 陈礼彪,赵宣宪. 高速公路高塑性黏土路基质量控制和施工工艺研究[C]//泉厦高速公路论文集. 北京:人民交通出版社,1998.
- [13] 徐丁良. 直接利用高液限土填筑路基的室内-现场联合

试验法[J]. 岩土工程界,2005,8(3):34-36.

- [14] 曹沂海,陈宏. 改良后的高液限黏土在高速公路施工中的应用[J]. 铁道工程学报,2006(8):34-37.
- [15] 吴立坚,钟发林,吴昌兴等. 高液限土路基填筑技术研究[J]. 中国公路学报,2003,16(1):32-35.
- [16] 张东. 高速公路高液限土路段路基的施工[J]. 施工技术,2007(5):29-30.
- [17] 林光忠. 高液限土在高速公路路基中的应用探讨[J]. 公路交通技术,2006(3):4-7.
- [18] 田洪力,戈祥林,黄贵. 高液限黏土在高速公路路基中的应用[J]. 广西城镇建设,2008(1):84-87.
- [19] 王保田,王永安,陈贵奇. 路基施工过程中填土含水率变化规律研究[J]. 现代交通技术,2007,4(2):1-3.
- [20] 张文慧,王保田,张福海等. 二次掺灰工艺下石灰改良膨胀土压实性试验研究[C]//岩土力学与工程新进展:第六届全国青年岩土力学会议论文集. 上海:同济大学出版社,2007:349-351.

(收稿日期:2012-11-21 编辑:胡新宇)