

DOI: 10.13476/j.cnki.nsbdtqk.2015.03.039

水泥改性土填筑施工现场试验及其工程应用

宋玉才¹, 焦家训¹, 张玉莉¹, 赵二平²

(1. 中国葛洲坝集团基础工程有限公司, 湖北 宜昌 443002; 2. 三峡大学, 湖北 宜昌 443002)

摘要: 水泥改性土填筑施工质量是影响膨胀岩(土)地区渠道边坡稳定性的重要因素。针对南水北调工程水泥改性土换填的实际情况,通过对传统路拌法、拌合站厂拌法施工工艺现场碾压试验结果的分析研究,提出了一种新的水泥改性土换填施工方法——集中场拌法。该方法克服了路拌法和拌合站厂拌法的缺点,已成功运用于南水北调中线工程水泥改性土换填施工中,为类似工程的施工提供了参考。

关键词: 水泥改性土; 填筑施工; 集中场拌法; 南水北调; 路拌法; 厂拌法; 现场试验
中图分类号: TU74 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672 1683(2015) 03- 0575-05

Field experiment and engineering application of cement modified soil filling construction

SONG Yu cai¹, JIAO Jia xun¹, ZHANG Yu li¹, ZHAO Er ping²

(1. Gezhouba Group Foundation Engineering Co., LTD, Yichang 443002, China;
2. China Three Gorges University, Yichang 443002, China)

Abstract: The quality of cement modified soil filling construction is an important factor affecting the stability of channel slope in the expansive rock(soil) regions. According to the replacement situation of cement modified soil in the South to North Water Diversion Project, a new cement modified soil filling construction method, concentration field mixing method, was proposed based on the analysis of the field roller compaction experiment results of road mixing method and plant mixing method. The new method can overcome the disadvantages of road mixing method and plant mixing method, and has been successfully applied to the cement modified soil filling construction in the Middle Route of South to North Water Diversion Project, which can provide reference for the similar engineering projects.

Key words: cement modified soil; filling construction; concentration field mixing method; South to North Water Diversion Project; road mixing method; plant mixing method; field experiment

水泥改性土已经广泛应用于铁路、公路、大坝等的处理中。早在1938年,奥克拉荷马公路部门就利用水泥改性土来改善膨胀土路基的性能。并经1983年的抽样检测,证实细粒土的水泥改性效果是永久的^[1]。在汤森湖大坝的建设过程中,也采用水泥改性土作为地基回填料^[2]。Neal, Daniel V^[3]、Halsted, Gregory E^[4]等均对水泥改性土的特性进行了相关的试验研究,研究表明水泥改性土用来改善地基的稳定性是十分有效的。张晨辰等^[5]对膨胀土水泥改性掺灰量测定的龄期效应进行了研究。2004年,南水北调工程正式开工建设,沿线经过较长地段的膨胀岩(土)地区,地质条件复杂。膨胀岩(土)吸水膨胀软化,失水收缩开裂。外界环境稍微变化,即导致

渠坡的失稳破坏,对工程的安全运行影响很大。针对这一问题,在南水北调工程中,水泥改性土广泛地作为渠道换填土料^[6-13]。南水北调工程对施工质量要求极高,水泥改性土拌和质量的好坏为整个施工质量的关键点。与之前水利工程相较,本工程水泥改性土有方量大、进度要求紧、高厚度、高层次、高标准等方面的要求,无经验可寻。虽在公路工程中有水泥稳定土成熟的施工工艺,但其与本工程存在很大差别,如公路中水泥稳定土一般厚度较薄不需要分多层进行碾压施工,且没有层间结合防渗要求等。基于此,本文对水泥改性土的换填施工工艺进行了现场试验研究,通过对试验结果的分析,提出了一种新的符合工程实际的水泥改性土填筑施工方法。

收稿日期: 2014-06-13 修回日期: 2015-04-14 网络出版时间: 2015-05-14

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/13.1334.TV.20150514.1139.014.html>

基金项目: 国家自然科学基金(51109120); 宜昌市2013年研究与开发计划自然基础科学研究与应用专项(AB302A-08); 三峡大学人才启动基金(KJ2012B041)

作者简介: 宋玉才(1972-),男,河南舞阳人,教授级高级工程师,主要从事基础及边坡稳定方面的研究。E-mail: 58517507@qq.com

通讯作者: 赵二平(1981-),女,河南许昌人,讲师,博士,主要从事水工结构工程方面的教学与研究工作。E-mail: zhaoping@ctgu.edu.cn

1 工程背景

本工程为南水北调河南安阳段,渠道轴线总长 6.265 km。主要为半挖半填渠道,渠道挖深 4~10 m,边坡岩性基本为泥灰岩。通过现场踏勘取样及室内试验,得出泥灰岩基本物理特性见表 1。

表 1 泥灰岩基本物理特性
Tab. 1 Physical properties of marl

试样	含水率 (%)	密度 $/(g \cdot cm^{-3})$	比重 $/(g \cdot cm^{-3})$	自由膨胀率 (%)
泥灰岩	11.8	2.23	2.67	50.5

由表 1 可以看出,取样地点泥灰岩自由膨胀率小于 65%,依据《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ 112-87)中膨胀土的膨胀潜势分类标准,自由膨胀率在 40%~65%之间的属于弱膨胀,自由膨胀率在 65%~90%之间的属于中膨胀,自由膨胀率大于 90%的属于强膨胀。以自由膨胀率为分类标准,南水北调河南安阳段膨胀性泥灰岩属于弱膨胀。

膨胀岩土中所含矿物化学成分复杂,但归结起来,主要为两大类:黏土矿物和碎屑矿物。黏土矿物中又以蒙脱石($Al_4Si_8O_{20}(OH)_4$)、伊利石($K_yAl_4[Fe_4, Mg_6]Si_8yAl_yO_{20}(OH)_4$)、高岭石($Al_4Si_4O_{10}(OH)_8$)为最典型黏土矿物。碎屑矿物主要为石英(SiO_2)、斜长石($NaAlSi_3O_8$ 、 $CaAl_2Si_2O_8$)、方解石($CaCO_3$)、石膏($CaSO_4 \cdot 2H_2O$)等。采用荷兰帕纳科公司生产的 X 射线分析仪(X'pert MPD Pro)对所取膨胀岩试样进行矿物成分分析,结果显示,试样中蒙脱石含量 15%,石英含量 15%,方解石含量 70%。

膨胀性泥灰岩吸水之后强度降低,当遭遇连续降雨以后,易导致渠道边坡失稳破坏。因此,采用在渠底及边坡 3 m 高度换填水泥改性土,并加以内排水系统和小型抗滑桩的渠坡处理方式。在膨胀岩渠坡的处理过程中,水泥改性土填筑质量是保证工程质量的重要因素之一,因此,本文对水泥改性土的填筑施工展开详细研究。

2 水泥改性土填筑施工现场试验

2.1 试验目的

通过现场碾压试验,确定水泥改性土铺土方式、铺土厚度、拌合方式、碾压方式、碾压遍数。

2.2 水泥改性土原材料

本工程水泥改性土所用土料同总干渠填筑用土标准,水泥改性土土料黏粒含量宜为 10%~30%,塑性指数宜为 7~17,有机质含量不大于 5%,水溶盐含量不大于 3%。本段所采用土料来自专门的料场,土料塑性指数 13.5,自由膨胀率 32.5%,依据《膨胀土地区建筑技术规范》(GBJ 112-87)属于非膨胀土。水泥选用 P·O42.5 普通硅酸盐水泥。此次工艺试验时,水利行业无相关水泥改性土施工规范及要求,参考公路水泥稳定土规范进行操作。依据《公路工程无机结合料稳定材料试验规程》(JTGE 51-2009),对不同掺量的水泥改性土混合料进行室内试配,并根据多次标准 EDTA 试验数据绘制了 EDTA 标准曲线,以检测、控制现场改性土混合料的水泥含量^[14]。本次现场试验水泥掺量 4%。引用

的相关规范有《堤防工程施工规范》SL 260-98,《土工试验规程》^[15]SL 237-1999。

2.3 试验方案

(1) 路拌法。试验方法如下。

a. 摊铺。在试验前进行基础清表,然后用振动碾至压实度不小于 98%,用平地机扫平压实后的基础面,按碾压试验计划用白灰放出试验场地边线框。土料摊铺厚度分别为 25 cm、28 cm、32 cm。采用进占法卸料,推土机散料平整。铺料时设置周边控制标杆,以控制铺料范围及厚度。使用推土机在铺好的素土上平踩,然后使用平地机整平。该工序有利于水泥的均匀摊铺及拌合。根据水泥改性土层的压实厚度、预定的干密度和水泥剂量,计算每 1 m² 水泥改性土需要的水泥用量,并计算每袋水泥(每袋水泥 50 kg)的摊铺面积。将水泥运到摊铺场地后,按事先做好的标记摆放水泥。人工用木刮板将水泥均匀摊开,使每袋水泥的摊铺面积相等。

b. 拌和。采用稳定土拌和机进行现场路拌法,错距搭接法拌和,错距宽度 0.3 m。干拌 1 遍,加水湿拌 1 遍。

c. 碾压。采用光轮碾振动碾压。碾压方式为进退错距法和“静压弱振强振”碾压方式。进退错距 50 cm,行车速度 1.5~2 km/h。碾压遍数:5 遍、7 遍、9 遍。

d. 第 2 层填筑。采用加深拌和及表面拉毛处理两种方式进行对比。加深拌和时,路拌深度超过松铺厚度 10~20 mm,专人跟随路拌机实时检查拌和深度,保证填筑层之间结合紧密。拉毛处理时,在上层铺土施工前,对下层进行拉毛施工,要求拉毛深度 10~20 mm,且无遗漏部位。

(2) 拌合站厂拌法。试验方法如下。

a. 拌合。水泥改性土拌制采用的厂拌设备型号为 MW-BG500I,额定功效 500 t/h。根据水泥改性土掺量计算拌合添加的土料、水泥重量比例,输入拌合站电脑系统内,系统自动控制。

b. 运输及摊铺。拌和好的水泥改性土土料采用自卸车运输至试验场地,进占法卸料,推土机摊铺。水泥改性土松铺厚度分别为:30 cm、35 cm、40 cm。

c. 碾压。采用 20t 凸轮振动碾进行碾压,采用进退错距法和“静压弱振强振”碾压方式,进退错距 50 cm。碾压遍数:4 遍、5 遍、6 遍、8 遍。

d. 第 2 层填筑。第 1 层水泥改性土碾压完成后,控制在 6~8 h 内进行第 2 层施工的,并在表面洒水湿润。

2.4 试验结果分析

(1) 路拌法试验结果分析。

路拌法试验结果见表 2。

从表 2 中可以看出,当铺土厚度为 25 cm、28 cm、32 cm 时,拌合 1 遍后,水泥改性土混合料水泥含量检测平均值分别为 4.2、4.3、4.7,均大于 4,满足要求;标准差分别为 0.708 3、0.744 8、0.923 9,不满足设计标准不大于 0.7 的要求。拌和 2 遍后,水泥改性土混合料水泥含量检测平均值分别为 4.1、4.4、4.9,均大于 4,满足要求;标准差分别为 0.132 9、0.343 0、0.392,足设计标准不大于 0.7 的要求。同时观察试验现场发现,当铺土厚度为 25 cm、28 cm 时,拌合两遍后,混合料没有灰条、灰团和花面,水分合适均匀,层底无素土夹层

表2 路拌法试验结果

Tab. 2 Experiment results of road mixing method

素土铺土厚度/cm	水泥掺量检测				碾压遍数	压实度检测(平均值, %)	备注
	拌和1遍		拌和2遍				
	平均值(%)	标准差	平均值(%)	标准差			
25	4.2	0.708 3	4.1	0.132 9	5	96.3	层底无素土夹层
					7	98.7	
					9	98.4	
28	4.3	0.744 8	4.4	0.343 0	5	96.3	
					7	98.8	
					9	98.9	
32	4.7	0.923 9	4.9	0.392	5	96.7	有素土夹层现象
					7	98.7	
					9	98.6	

现象。但当铺土厚度为 32 cm 时,在拌和后发现层底有明显素土夹层现象,且水泥含量平均值远大于设计水泥含量。根据调查发现造成此现象的原因主要为稳定土拌和机,实际拌和深度不足 30 cm 所致。从碾压遍数与压实度的关系来看,碾压 5 遍,压实度不满足要求。碾压 7 遍时,压实度满足要求。碾压 9 遍时局部有干密度减小情况,存在过压迹象。

(2) 拌合站厂拌法试验结果分析。

拌合站厂拌法试验结果见表 3。

表3 拌合站厂拌法试验结果

Tab. 3 Experiment results of plant mixing method

水泥改性土松铺厚度/cm	水泥掺量检测		碾压遍数	压实度检测(平均值, %)	备注
	平均值(%)	标准差			
30	4.4	0.32	4	96.8	水泥改性土层间结合情况良好
			5	98.9	
			6	99.5	
			8	98.9	
35	4.3	0.197	4	96.8	
			5	98.9	
			6	99.5	
			8	98.9	
40	4.4	0.33	4	95.2	
			5	96.2	
			6	96.7	
			8	97.8	

从表 3 中可以看出,水泥改性土铺土厚度为 30 cm、35 cm 时,碾压 4 遍时,平均压实度不满足设计压实度不小于 98% 的要求;碾压 6 遍时,平均压实度达到最大 99.5%,满足设计压实度不小于 98% 的要求;碾压 8 遍后,平均压实度 98.9%,局部有干密度减小现象,存在过压的迹象。水泥改性土铺土厚度为 40 cm 时,碾压 4 遍、5 遍、6 遍、8 遍时,压实度均小于 98%,不满足设计压实度不小于 98% 的要求。同时,根据试验结果分析,水泥改性土拌合站厂拌法满足本工程要求,可以投入进行大规模施工。但因拌合站对土料适应性较差,受土料含水率及黏粒较大含量影响,实际生产能力不足额定的 40%,且造成水泥超用量严重。

(3) 路拌法与拌合站厂拌法的不足。

路拌法受制于路拌机拌和深度,且大规模施工时铺土厚度无法精确控制,难以避免在接合面处形成素土夹层现象;同时因凸块碾碾压后表面形成密集排列的小坑槽,坑槽深度约 6 cm,无法与路拌法相配合使用,采用平碾碾压会存在明显的层间分界面。路拌法无法满足本工程水泥改性土层间结合防渗要求,所以本工程水泥改性土施工采用拌合站厂拌法。但本工程水泥改性土拌合站实际生产能力不足额定功效的 40%,且水泥浪费严重。无法满足施工强度要求。

3 集中场拌法施工工艺

为解决上述问题,通过现场试验研究提出了采用集中场拌法进行水泥改性土施工。即:在土料场或土料集中堆放区采用路拌机进行集中拌和,然后集料运输至工作面摊铺碾压。对以上路拌法和拌合站厂拌法的试验结果进行分析,确定集中场拌法中,土料拌合厚度 25 cm。工作面摊铺水泥改性土厚度 35 cm。

3.1 集中场拌法施工工艺

集中场拌法施工工艺见图 1。

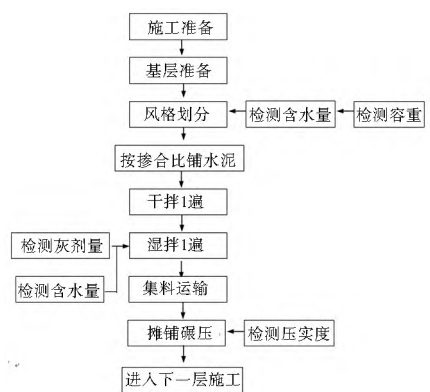


图1 集中场拌法施工工艺流程

Fig. 1 Flow chart of the construction process of concentration field mixing method

(1) 土料摊铺。采用推土机配合平地机对选定的拌和场地顶面进行整平,整平后要求大面平整,无明显凹陷、凸出部分。由试验检测人员对预拌和场地表层(预定 25 cm 厚)土,采用环刀法取样检测其干容重及含水率,用以计算水泥摊铺量及控制拌和后混合料含水量。计算每 1 m² 水泥改性土需

要的水泥用量,并计算每袋水泥的摊铺面积。铺灰时考虑 3% 的损耗系数。将水泥运到摊铺场地后,按事先做好的标记摆放水泥。人工用木刮板将水泥均匀摊开。

(2) 拌和。第一遍拌和:水泥摊铺完成后,稳定土拌合机及时开始拌和,刀片入土深度 25 cm,拌和机匀速平稳行走速度 4~8 m/min,确保拌合均匀、深度一致。稳定土拌和机每道拌和有效宽度为 2.1 m,水泥改性土拌和时,每道搭接宽度不少于 20 cm,设专人跟随拌和机,随时检查拌和深度及搭接宽度,确保工作区内无漏拌。第二遍拌和:第一遍拌和完成一定范围时,由试验检测人员取样检测拌和后的混合料含水率,如果混合料含水量不足,用洒水车及时补充洒水,第二台拌合机开始进行第二遍拌和,以确保水泥拌和均匀度及含水率均匀。加水量根据上遍拌和损失的含水率计算,预加第二遍拌和损失的含水率及运输摊铺含水损失,使碾压时混合料含水率在最优含水率的 +1%~+3% 范围内。拌和现场试验见图 2。



图 2 集中场拌法水泥改性土拌合照片

Fig. 2 Mixture photo of cement modified soil using the concentration field mixing method

(3) 集料装车。

根据相关要求水泥改性土从拌和到碾压完毕时间宜控制在 4 h 内,为缩短拌和、装车运输时间,现场采用 2 台路拌机,第一台拌和后第二台紧接着进行二次拌和,拌和完成一

定范围时开始集料装车。

经试验确定现场采用装载机集料装车,集料开始时由装载机对开头部位进行小方量精细作业直至拌和层底(密实素土面),形成一个标准面。开始进行大方量集料时装载机铲斗调节至平行并紧贴拌和层底(密实素土面),现前方推进集料至满斗后装车。现场专人配合指挥,要求集料时不得掺入素土,同时层底剩余混合料层控制在 0~2 cm 内。利用平地机对集料完成后的作业面进行整平,作为下次拌和场地。

(4) 运输、摊铺及碾压。

拌制完成的水泥改性土混合料,采用自卸车运输至施工场地,严格按碾压试验确定的施工设备、施工方及施工参数进行填筑碾压施工。即:铺料方法:进占法铺料,推土机散料,平地机整平;铺料厚度:35 cm;碾压设备:20 T 凸块振动碾;碾压方法:进退错距法碾压 6 遍(振动碾往返一次为 1 遍),行车速度 2~3 km/h。摊铺图片见图 3。



图 3 水泥改性土摊铺碾压照片

Fig. 3 Paving and rolling photos of cement modified soil

3.2 试验结果分析

集中场拌法试验结果见表 4。

对集中场拌法现场碾压试验结果进行检测,结果如下:由试验检测人员按 600 m³ 不少于六个样的频次进行水泥改性土成品料水泥含量检测,经过跟踪试验检测混合料滴定检测平均值 4.1%,符合设计要求;填筑压实度平均值 99.5%,满足设计压实度不小于 98% 的要求;层间结合面良好,无素土夹层。

表 4 集中场拌法试验结果

Tab. 4 Experiment results of concentration field mixing method

素土铺土厚度/cm	水泥掺量检测				水泥改性土松铺厚度/cm	碾压遍数	压实度检测(平均值)
	拌和 1 遍		拌和 2 遍				
	平均值(%)	标准差	平均值(%)	标准差			
25	4.3	0.33	4.1	0.13	35	6	99.5

3.3 集中场拌法特点

水泥改性土集中场拌法集合路拌法和拌合站厂拌法的优点,并有效去除了上述两种工艺的缺点。具有以下特点。

(1) 在填筑工作面以外土区内集中拌和,相较于路拌法,集中拌和质量容易控制;拌制好的水泥改性土混合料运输至填筑面进行摊铺碾压施工,不受填筑现场环境影响,不存在层间结合处素土夹层等问题。(2) 采用路拌机进行水泥改性土拌和,相较于拌合站厂拌法,不需要修建专门的拌和系统,可灵活调用路拌机,现场施工组织简单;可以在土料场或堆土区就地分层拌和,不需要进行土料转运大幅降低成本。(3) 路拌机对土料的含水率、黏粒含量等适应性远高于拌合站,水泥用量可控性强,解决了拌合站对土料适应性差造成的水泥

超量严重问题,节约了施工成本。(4) 在需要赶工时,可随时增加拌和设备进行突击施工,解决了拌合站修建周期长不适应突击赶工的问题。

4 结语

针对南水北调工程中水泥改性土填筑方量大、工期紧、填筑质量高的特点,对路拌法、拌合站厂拌法施工工艺进行现场碾压试验研究,得出路拌法以及拌合站厂拌法均不能满足现场施工的要求,提出了适应工程需求的集中场拌法施工工艺。通过现场试验,验证了该方法实用有效,经济合理。并且该方法已经成功应用于南水北调工程河南安阳段渠坡的施工中。膨胀岩渠道边坡经处理后,未发现渠道边坡失稳

现象,施工效果良好。该水泥改性土施工方法可以推广应用到其他类似工程中。

参考文献(References):

- [1] Roberts, John D. Performance of Cement modified Soils: a Follow-up Report[J]. Transportation Research Record. 1986: 81-86.
- [2] Cannon, Robert, Marshall, Tillman, Robblee, Gerald, Snider, Frederic, Williams, Allan, Rutledge, Alex, King, Melinda. The new lake townsend dam Design constraints and construction challenges[A]. Association of State Dam Safety Officials- Dam Safety 2012[C]. Denver, CO, United states, 2012.
- [3] Neal, Daniel V. Cement modified Soil (CMS) [J]. Texas Civil Engineer, 1985, 55(6): 1-13
- [4] Halsted, Gregory E. Cement modified soil for long lasting pavements[A]. TAC/ATC 2011[C]. Edmonton, AB, Canada, 2011.
- [5] 张晨辰, 刘斯宏, 张学峰. 膨胀土水泥改性掺灰量测定的龄期效应研究[J]. 南水北调与水利科技, 2012, 10(5): 76-79. (ZHANG Chen chen, LIU Si hong, ZHANG Xue feng. Age effects on EDTA titration in detecting cement content for treatment of expansive soil[J]. South to North Water Transfers and Water Science & Technology, 2012, 10(5): 76-79. (in Chinese))
- [6] 赵峰, 倪锦初, 熊新宇, 等. 水泥改性土施工技术研究[J]. 人民长江, 2010, 41(16): 81-83. (ZHAO Feng, NI Jin chu, XIONG Xir yu, et al. Research on construction technology of modified cement soil[J]. Yangtze River, 2010, 41(16): 81-83. (in Chinese))
- [7] 陈世刚, 牟伟, 刘军. 南水北调中线工程膨胀土渠段改性土施工中存在的困难及对策研究[J]. 长江科学院院报, 2013, 30(9): 85-88. (CHEN Shi gang, MU Wei, LIU Jun. Construction difficulties and countermeasures of cement modified expansive soil in mid-route of South to North Water Transfer[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2013, 30(9): 85-88. (in Chinese))
- [8] 刘志文. 膨胀土水泥改性拌合工艺研究与实践[J]. 西北水电, 2014(1): 88-94. (LIU Zhi wen. Study and practice of mixing and technology of swelling soil modified by cement[J]. Northwest Hydropower, 2014(1): 88-94. (in Chinese))
- [9] 李修磊, 黄永金, 邵春玲, 等. 引江济汉工程水泥改性土填筑碾压试验[J]. 水利科技与经济, 2014, 20(9): 126-128. (LI Xiu lei, HUANG Yong jin, SHAO Chun ling, et al. Water diversion project of cement modified soil compaction test[J]. Water Conservancy Science and Technology and Economy, 2014, 20(9): 126-128. (in Chinese))
- [10] 刘兴, 孔令一. 南水北调中线工程水泥改性土的试验研究[J]. 云南水力发电, 2014, 30(1): 25-27. (LIU Xing, KONG Ling yi. The test and study of the cement modified soil for construction of the middle route project of South to North Water Diversion[J]. Yunnan Water Power, 2014, 30(1): 25-27. (in Chinese))
- [11] 陈尚法, 温世亿, 冷星火, 等. 南水北调中线一期工程膨胀土渠坡处理措施[J]. 人民长江, 2010, 41(6): 65-68. (CHEN Shang fa, WEN Shi yi, LENG Xing huo, et al. Treatment measures for expansive soil canal slope of Phase I of middle route project of S-N Water Diversion[J]. Yangtze River, 2010, 41(6): 65-68. (in Chinese))
- [12] 侯少华, 王国新, 张红娟. 水泥改性土及水泥改性土处理膨胀土地基技术[J]. 人民黄河, 2012, 34(9): 133-134. (HOU Shao hua, WANG Guo xin, ZHANG Hong juan. Treatment technology of expansive soil foundation with cement modified soil and cement soil[J]. Yellow River, 2012, 34(9): 133-134. (in Chinese))
- [13] 靖立秋, 施召云. 某工程水泥改性土换填施工技术[J]. 施工技术, 2012, 41(增刊): 44-46. (JING Li qiu, SHI Zhao yun. Exchange fill construction of modified cement soil in some project[J]. Construction Technology, 2012, 41: 44-46. (in Chinese))
- [14] JTG E 51-2009, 公路工程无机结合料稳定材料试验规程[S]. (JTG E 51-2009, Test methods of materials stabilized with inorganic binders for highway engineering[S]. (in Chinese))
- [15] SL 237-1999, 土工试验规程[S]. (SL 237-1999, Test methods of soils[S]. (in Chinese))