

文章编号:1001-4179(2015)03-0024-03

# 水泥改性弱膨胀土填筑碾压试验研究

张春燕, 华夏, 陈嘉, 赵峰

(长江勘测规划设计研究有限责任公司 施工设计处, 湖北 武汉 430010)

**摘要:**南水北调中线总干渠穿越膨胀土(岩)渠段累计约387 km,为控制工程投资,部分渠段采用水泥改性弱膨胀土进行填筑。填筑施工前,选取南阳地区膨胀土作为研究对象,开展了一系列膨胀土碾压试验以确定合理的填筑施工参数。试验分析结果表明,不同地区水泥改性弱膨胀土的填筑施工参数略有差别;铺土厚度取30 cm,使用20~25 t振动凸块碾碾压6~12遍时,压实效果较好。

**关键词:**渠堤填筑; 碾压试验; 施工参数; 水泥改性弱膨胀土; 南水北调中线工程

中图法分类号:TV42.1

文献标志码:A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.03.007

南水北调中线工程渠道总长约1 432 km,沿线膨胀土(岩)分布渠段长约387 km,其中50%以上为具弱膨胀潜势的渠段。本文介绍了南阳境内渠段利用水泥改性弱膨胀土开展渠堤填筑的碾压试验研究成果。南阳地区土质主要为第三系(N)河湖相沉积黏土岩、砂质黏土岩、砂岩、砂砾岩,第四系中更新统冲洪积(al-plQ<sub>2</sub>)粉质黏土、黏土,第四系坡积(dlQ)粉质黏土。渠段开挖土料主要为弱膨胀和中膨胀土,渠堤填筑所用土源主要为水泥改性弱膨胀土,其自由膨胀率小于65%。

## 1 碾压试验方案设计

考虑到膨胀土的特性,一般的水泥改性弱膨胀土的设计压实度 $P$ 为0.96~0.98,设计填筑干密度按下式计算。

$$\gamma_d = P \cdot \gamma_{dmax} \quad (1)$$

式中, $\gamma_d$ 为设计填筑干密度; $\gamma_{dmax}$ 为标准击实试验最大干密度,取1.68 g/cm<sup>3</sup>。

弱膨胀土水泥改性后类似非膨胀土,根据所用土料的特性并借鉴其他类似工程的有关经验,本次试验初拟铺土厚度30 cm,最优含水率取2%~4%,然后拟定不同的碾压机械设备(20 t振动凸块碾,20 t轮胎振

动平碾)、不同碾压遍数(6~14遍)等依次进行碾压试验,通过对实验数据的分析比较,得出合理的填筑施工参数<sup>[1]</sup>。复核试验按最优参数复核。

## 2 碾压试验实施

### 2.1 试验土料

填方段弱膨胀土中掺入4%的水泥后拌和均匀制成试验土料,土质主要为dlQ粉质黏土和Q<sub>2</sub>粉质黏土。

(1) dlQ粉质黏土。硬塑状,土体裂隙较发育,具弱膨胀性。压缩系数 $a_{0.1-0.2} = 0.30 \sim 0.54 \text{ MPa}^{-1}$ ,压缩模量 $E = 4.8 \sim 8.0 \text{ MPa}$ ,具中等偏高压缩性。

(2) Q<sub>2</sub>粉质黏土。具弱膨胀性,中等压缩性,土体微裂隙发育,裂隙面充填灰白色黏土条带。

弱膨胀土水泥改性前需破碎至所需粒径以满足设计要求。根据试验测定,弱膨胀土拌和水泥后,土体含水量将会由于水泥改性土在拌和过程中发生水化反应,降低约5~4个百分点。考虑到水泥改性土运输过程中含水量的损失,拟在水泥改性弱膨胀土拌和过程中适当加水,使其含水率高于最优含水率2~4个百分点。室内轻击试验结果表明:所用弱膨胀土掺水泥改

收稿日期:2014-11-20

基金项目:“十二五”国家科技支撑计划项目“南水北调中线工程膨胀土和高填方渠道建设关键技术研究”与示范”(2011BAB10B05、2011BAB10B06)

作者简介:张春燕,女,高级工程师,主要从事水利水电工程施工设计工作。E-mail:zhangchunyan@cjwsjy.com.cn

性后的最优含水率为 19.8%,最大干密度为 1.68 g/cm<sup>3</sup>。

## 2.2 试验场地及施工方法

试验前,先清理试验场地,在表层铺填一层 30cm 开挖料,用推土机平整,采用振动平碾压实至不低于填土设计要求的密实程度。试验场布置区的平整度不超过 5 cm,每组试验的试验场地有效尺寸为 10 m×6 m (长×宽)。

采用 2 m<sup>3</sup> 挖掘机在备料场挖取堆放的弱膨胀土料,20 t 凸块振动碾(或轮胎碾)按初拟的试验碾压遍数压实。碾压机械沿长边采用前进、后退全振错距法碾压,前进、后退一个来回按 2 遍计。碾压过程中,轮胎碾碾压速度为 6.0 km/h,凸块碾碾压速度为 2.5 km/h,碾迹重叠尽量控制在 20 cm 左右。凸块振动碾初始 2 遍为静压,然后 4~8 遍强振,最后 2 遍为弱振。

## 2.3 试验参数检测

(1) 铺土厚度。在基层按 1.5 m×2.0 m 的规格布撒方格网,经纬仪测定各点初始高程,基层上铺设满足试验要求厚度的弱膨胀土,用推土机粗略整平后再由人工精确整平。整平后将基层的方格网再次布撒至虚铺的土料层上,并用石灰撒出方格网线,在对应位置测出虚铺高程。2 次测量差值即为铺土厚度。

(2) 碾压沉降量。每个试验场次布置顶面沉降观测点 12 个,在碾压开始前和完成后分别观测碾压层顶面高程。2 次测量差值即为碾压沉降量。

(3) 含水率及干密度。待碾压完毕后,在试验块

区内使用 200 cm<sup>3</sup> 环刀对各组试验在土层 1/3 处取垂直土样 12 组<sup>[2]</sup>,并在烘箱中烘干(不小于 8 h),检测其含水率,计算填土干密度<sup>[3]</sup>。取样点距边缘或试验场次分区线不小于 1 m。

## 3 试验成果分析

统计整理分析试验的数据结果如表 1~3 所示。

从表 1 结果可以看出:振动平碾和振动凸块碾的碾压效果相差不大,但取样时发现,采用凸块碾碾压的土体黏聚力明显优于平碾,易于取样,且凸块碾可以减少刨毛工作量,故选择凸块碾进行施工。另外,2 种铺土厚度的施工工效相差不大,且经测算,施工成本亦相差不大。但 30 cm 铺土厚度的压实效果较好,故选择 30 cm 铺土厚度作为下步试验的参数。

从表 2 中可以看出,铺土厚度取 30 cm,碾压 12~14 遍时,可以满足压实度为 0.96~0.98 的设计要求。下一组复核试验按碾压 12 遍进行。

从复核试验成果来看,最优含水量弱膨胀土水泥改性后当天碾压,铺土厚度 30 cm,碾压 12 遍,压实度可达 0.96,满足设计要求。

## 4 施工对比

选取浙川、镇平和叶县境内渠道典型弱膨胀土改性碾压试验获得的初拟施工参数,与本文碾压试验(南阳地区)结果对比,如表 4 所示。

由表 4 可以看出,渠道沿线水泥改性弱膨胀土碾

表 1 机械选型的碾压工艺试验成果

碾压设备	土料最优含水率/%	土料室内轻击试验最大干密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	平均铺土厚度/cm	沉降量		含水率/%	干密度/(g·cm <sup>-3</sup> )		压实度
				平均值/cm	相对值/%		范围值	平均值	
20t 轮胎振动平碾	19.8	1.68	30.0	7.7	26	21.23	1.48~1.68	1.61	0.96
20t 振动凸块碾	19.8	1.68	30.2	6.9	23	21.20	1.54~1.66	1.59	0.95

注:碾压 8 遍,水泥含量 4.11%,如无特别注明,则各项指标取值为平均值。

表 2 碾压遍数选择的碾压工艺试验成果

碾压遍数	土料最优含水率/%	土料室内轻击试验最大干密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	平均铺土厚度/cm	沉降量		含水率/%	干密度/(g·cm <sup>-3</sup> )		压实度
				平均值/cm	相对值/%		范围值	平均值	
6	19.8	1.68	29.6	6.7	23	20.63	1.51~1.64	1.57	0.93
8	19.8	1.68	29.8	7.0	23	21.45	1.52~1.62	1.57	0.94
10	19.8	1.68	29.9	7.4	25	22.15	1.55~1.63	1.59	0.95
12	20.0	1.67	29.7	6.8	23	21.67	1.55~1.66	1.60	0.96
14	20.0	1.67	29.8	9.5	32	21.47	1.57~1.65	1.62	0.97

注:使用 20t 振动凸块碾,如无特殊注明,则各项指标取值为平均值。

表 3 复核试验成果

碾压遍数	土料最优含水率/%	土料室内轻击试验最大干密度/(g·cm <sup>-3</sup> )	平均铺土厚度/cm	沉降量		含水率/%	干密度/(g·cm <sup>-3</sup> )		压实度
				平均值/cm	相对值/%		范围值	平均值	
12	20.0	1.67	29.9	5.7	19	21.63	1.55~1.65	1.61	0.96

注:使用 20t 振动凸块碾,如无特殊注明,则各项指标取值为平均值。

表 4 不同地区水泥改性弱膨胀土碾压试验结果对比

渠道区域	最优含水率/ %	水泥掺量/%	最大干密度/ ( $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$ )	铺土厚度/ cm	碾压设备	碾压遍数	压实度
淅川	19.4	4	1.68	30~35	22t 凸块碾	8	0.98
镇平	19.4	4	1.71	30	22t 凸块碾	8	0.98
南阳	19.8	4	1.68	30	22t 凸块碾	12	0.96
叶县	18.9	4	1.67	30~40	22t 凸块碾	6~8	0.98

压施工参数存在差别。考虑到南水北调中线工程渠道线路较长,弱膨胀土土源物理力学性能指标有一定差异,自由膨胀率也有差别,因此碾压试验得出的施工参数不尽相同也属正常现象。

5 结论及建议

根据试验成果分析与对比,可初步拟定技术方案

合理、经济指标优越且现场可使用的水泥改性弱膨胀土填筑碾压主要施工参数为:土料最优含水率 2% ~ 4%;铺土厚度 30 cm,特殊情况下 35 ~ 40 cm;20 ~ 25 t 振动凸块碾碾压 6 ~ 12 遍。

施工过程中,由于所用的弱膨胀土土质存在一定差别,需根据实际情况选取合适的水泥掺量和碾压施工参数,并在以后的施工中,应根据土料的变化及时调整碾压参数,使其压实度满足设计及规范要求。

参考文献:

[1] DL/T5129 - 2001 碾压式土石坝施工规范[S].  
[3] SL260 - 98 堤防工程施工规范[S].  
[2] SL237 - 1999 土工试验规程[S].

(编辑:胡旭东)

Experimental research on filling and rolling of modified weak expansive soil by cement

ZHANG Chunyan, HUA Xia, CHEN Jia, ZHAO Feng

(Construction and Design Department, Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

**Abstract:** In Middle Route Canal of South - to - North Water Diversion, the accumulated length of expansive soil section is about 378 km. In order to control the engineering investment, the weak expansive soil by cement modification was used for filling in partial canal reaches. Before the filling construction, the expansive soil in Nanyang City was selected as a research object and a series of filling and rolling tests were carried out to determine the filling parameters. The analysis results indicate that the filling construction parameters of weak expansive soil by cement modification in different areas were slightly different. The compacting effect reaches the best by rolling 6 ~ 12 times by the scab vibratory roller of 20 ~ 25 t, with the soil thickness of 30cm.

**Key words:** filling of canal bank; rolling test; construction parameter; modified weak expansive soil by cement; Middle Route Project of S - N Water diversion

(上接第 4 页)

Failure types of expansive soil slope in Middle Route Project of South - to - North Water Diversion and its treatment

NIU Xinqiang<sup>1</sup>, CAI Yaojun<sup>1,2</sup>, XIE Xiangrong<sup>1</sup>, YANG Yunhua<sup>1</sup>, LENG Xinghuo<sup>1</sup>

(1. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China; 2. Changjiang Institute of Geoscience Technology of Water Resources Ministry, Wuhan 430011, China)

**Abstract:** There existed 387 km long expansive soil along the Middle Route Project of South - to - North Water Diversion, and more than 100 landslides of certain scale occurred during the construction period. Through detail analysis of massive landslides, deformation monitoring and in - situ test of water physical - chemical index of the soil body, two main types of slope failures are revealed, namely the shallow expansive - contraction creep and the deep structural interface - controlled sliding. The surface layer substitution by cement - improved expansive soil was applied to prevent the reformation action from atmospheric environment; the surface water cutoff combined with underground drainage measures could mitigate the adverse influence of water on soil body and the structural interface. Aiming to the slope structure with long and large low - angle interfaces or soft interlayer, the anti - sliding structural measures should be used to avoid the sliding along the structure plane and maintain the long - term stability of the channel.

**Key words:** expansive soil slope; failure type; channel slope; South - to - North Water Diversion