

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

陈世刚¹, 牟伟², 刘军³

(1. 南水北调中线干线工程建设管理局, 北京 100038; 2. 中国水利水电第三工程局有限公司, 西安 710016;
3. 长江科学院 水利部岩土力学与工程重点实验室, 武汉 430010)

摘要:膨胀土水泥改性后换填是“十一五”期间提出的针对膨胀变形引起的渠坡破坏模式的处理方案之一。由于改性土施工技术难度大, 施工工艺复杂, 国内施工队伍缺少现场改性土施工的实践经验, 且在大规模膨胀土输水渠道中应用尚属首次, 因此, 该技术在实际施工中存在一定的困难和问题, 为此, 国家“十二五”科技支撑项目设置“膨胀土水泥改性处理施工技术”研究课题对其开展专门研究。以南水北调中线工程鲁山—郑州段膨胀土渠段的现场科研和施工工作为基础, 分析膨胀土渠段改性土填筑施工中存在的料源、施工工艺、检测方法、检测标准等普遍存在的问题, 通过开展现场试验和室内研究, 提出了相应的解决方案和建议, 研究成果可直接应用于南水北调中线总干渠膨胀土渠段的大规模施工。

关键词:南水北调; 膨胀土; 水泥改性土; 施工技术

中图分类号:TV52; TU443

文献标志码:A

文章编号:1001-5485(2013)09-0085-04

1 研究背景

正在建设中的南水北调中线工程渠线长达1 200 km有余, 渠道穿越水系、河流众多, 工程涉及面广, 沿线地质条件复杂, 遇到的岩土工程问题包括膨胀土(岩)渠道边坡稳定、黄土湿陷破坏、易振动液化饱和砂土等。其中, 涉及膨胀土(岩)地段累计长达340 km有余, 约占渠道总长的四分之一, 是影响工程进度和工程安全的主要岩土工程问题。

2011年底至2012年初, 国务院南水北调工程建设委员会办公室3次组织南水北调中线干线工程建设管理局、中线工程有关设计公司以及特邀专家, 组成南水北调中线工程膨胀土渠段处理施工技术协调工作组, 分3组从陶岔渠首至古运河南, 对中线工程涉及膨胀岩土的渠段进行全渠段调研, 了解目前膨胀土渠段施工中存在的问题。本文以鲁山—郑州段调研工作情况为背景, 论述了当前膨胀土渠段设计和施工中所存在的主要问题, 并针对这些问题的解决提出了意见和建议。

2 鲁山—郑州段膨胀土渠段基本情况

根据设计资料, 鲁山—郑州段全长159.01 km, 涉

及膨胀岩土的渠段全长79.97 km。其中, 弱膨胀岩土渠段长56.9 km, 中膨胀岩土渠段长20.5 km, 强膨胀岩土渠段长2.57 km。本渠段涉及8个设计单元, 共23个标段。根据设计文件, 本段涉及的膨胀岩土渠道的处理, 目前主要有2种处理措施: 一是根据渠段的膨胀性, 采用换填1.5~3.0 m的黏性土或水泥改性土; 二是对于强膨胀渠段或局部中膨胀渠段, 采用1.5 m×2.5 m的矩形或直径为1.80 m的圆形抗滑桩, 抗滑桩的深度一般深达渠底以下10 m。

3 存在的困难

从现场调研情况来看, 目前最突出的问题主要集中在以下几个方面。

3.1 料源不足和土料不满足设计要求

本段大部分渠道采用黏性土和黏性土料掺水泥改性填筑, 由于设计方案变更, 目前大部分渠段的换填黏性土料不满足设计提出的自由膨胀率指标的要求, 因而被迫采用黏性土料掺水泥改性填筑, 弱膨胀开挖料大多作为弃料, 未加利用, 使本段换填土料缺口在数百万方以上; 部分渠段不得不新增黏性土料场, 新增料场往往运距较远, 同时还存在新增征地等问题, 目前已成为制约工期的因素之一。

收稿日期: 2012-07-09; 修回日期: 2012-10-15

基金项目: 国家“十二五”科技支撑计划重点项目资助(2011BAB10B05)

作者简介: 陈世刚(1980-), 男, 黑龙江牡丹江人, 工程师, 主要从事工程建设管理工作, (电话)13910403244 (电子信箱)chenshigang@nsbd.cn。

3.2 土料掺拌、碎土工艺控制困难

目前,各施工单位水泥改性土设备已基本到位,多数单位已开展了生产性试验。从目前已经进行的土料掺拌水泥生产性试验中发现,现场无论是黏性土还是弱膨胀土,土料掺拌水泥施工都存在土料天然含水率高、碎土困难、掺拌不均匀等问题。由于水泥改性土的主要目的就是消除土料的膨胀性,因此,设计提出的有关土料块径、含水率的要求必须严格执行。如何在保证设计标准正确执行,施工质量满足要求的前提下,加快施工进度是一个关键问题。

3.3 半挖半填渠段施工以及施工沉降稳定期

本段渠道存在部分半挖半填渠段,渠道下部开挖后边坡和渠底需要换填黏性土或水泥改性土,上部为填方,因此,存在渠坡换填土层与上部填方段的施工衔接,以及填堤的土料分区施工困难等问题。

此外,根据设计要求,填方渠段需经过一个汛期的沉降稳定,才能进行后续衬砌施工。换填土层的沉降期是否也需要6个月的沉降稳定?若可以适当加快进度,那么究竟需要多长时间才能达到沉降稳定?

3.4 水泥改性土施工的层间结合问题

水泥改性土施工与一般黏土填筑施工相同,需要分层填筑,分层碾压。在分层碾压施工中,同样存在上、下2层的层间结合问题。南阳现场试验段拆除时,针对水泥改性土试验区进行了水泥土碾压施工效果的检测试验,发现在水泥改性土碾压层之间存在分层界面现象。初步分析,认为水泥改性土既不同于水泥土或混凝土,也与一般黏性土有所区别,由于水泥的水化作用,在碾压层的表面,土层易失水形成硬壳,影响上下碾压层的颗粒胶结。

3.5 改性土施工质量检测问题

根据设计要求,水泥改性土处理层单层施工要求在4h内完成水泥掺拌、运输、碾压和检测等工序,其中,改性土的检测需要完成水泥掺量、压实度或密度、含水率等质量检测工作。常规的密度检测方法耗时较长,而水泥土的施工与黏性土碾压施工不同,必须在一定时间内连续施工,因此,现场密度和含水率检测必须缩短检测时间,在下一道工序施工之前尽快完成。

3.6 其它方面困难

(1) 基坑排水:调研过程中还发现,部分地下水位较高的渠段基坑开挖后未及时排水,基坑长期浸泡在水下,对渠道稳定不利。

(2) 坡面临时防护和深挖方渠段的临时监测:从渠道开挖到坡面处理层施工,通常有一定的施工间歇。从现场施工渠道的情况来看,局部深挖方渠

段渠坡已经有开裂或风化现象,对于膨胀土渠道,这些都是十分不利的。

针对上述调研中存在和发现的问题,结合“十一五”科技支撑项目膨胀土课题的研究成果,提出以下意见和建议,供设计和施工单位参考。

4 膨胀土渠道水泥改性土施工建议

4.1 有关料源问题

膨胀土工程问题既要足够重视,同时也要对症下药治理。“十一五”课题的研究成果揭示了膨胀岩土渠坡的2种主要的破坏模式:一种是膨胀变形引起的破坏,另一种是裂隙强度控制的破坏^[1]。针对不同的破坏模式,只有采用相应的处理措施才能从根本上解决膨胀土的渠坡稳定问题。

根据目前的室内模型试验成果,膨胀变形引起的破坏,部分是由于渠坡土体在一定深度范围内受水以后,土体产生膨胀,在受水膨胀土体与下层未受水土体之间产生了剪应力,同时伴随土体的强度降低,进而发生的滑坡。新近开挖的膨胀土渠坡,在没有裂隙的情况下,一般都是稳定的。膨胀土自身的渗透性极低,降雨的入渗深度一般不会很深,最深1~2m。因此,设计采用非膨胀土换填:一是解决表层土体在受水以后的自身膨胀变形问题;二是起到对下部渠坡土体进行保护、压重和抑制膨胀变形的作用。

裂隙强度控制的破坏是由于渠坡土层内部分布有缓倾角裂隙,裂隙面强度极低^[2],渠道开挖后失去了对坡面的支撑,下滑力大于阻滑力产生的破坏。这种破坏有时在开挖过程中就有发生,有时在开挖完成一段时间以后发生,主要看裂隙的倾向、倾角和裂隙贯穿程度而定。对于这类破坏,必须采取挡土墙、抗滑桩、坡面锚固等刚性支挡或抗滑措施。

这样看来问题就很明确了,换填黏性土或改性土主要是解决膨胀变形引起的破坏问题。也就是说,只要换填土层自身不膨胀、稳定就可以了。那么是换填黏性土还是用弱膨胀土改性换填,实际的作用和效果也是一样,而且,用黏性土更为合适。黏性土掺水泥可以提高土体强度,只有在证明黏性土强度不满足自身稳定需要时才有必要。“十一五”期间曾进行了弱膨胀土水泥改性试验^[3-4],无论从室内还是现场试验均证明弱膨胀土改性以后是可以作为填料采用的。

为此,建议在膨胀土渠道换填施工中,首先应尽量采用黏性土回填。对于黏性土不足、有可用的弱膨胀土料的渠段,首先考虑用弱膨胀土料改性换

填中膨胀土渠段,也可以采用弱膨胀土开挖料就地改性回填,尽量避免新的征地。对于部分地下水位较高的弱膨胀土渠段,渠道水下部分甚至可以不换填而直接在开挖断面进行衬砌等结构层的施工。对于桥梁引道回填土,可考虑利用弱膨胀土水泥改性或石灰改性土;对于渠道倒虹吸回填土,可利用弱膨胀土水泥改性或原开挖料。

此外,涉及膨胀土的施工渠段,应加强对开挖料的分类工作,区分黏性土、可利用弱膨胀土和弃料等,尽量利用好已有资源。对于料场地下水位较高的情况,应对料场(或堆料场)进行必要的排水、降水、覆盖防水等,如将料场进行分区,间隔一定距离开挖纵横向排水沟,排水沟的深度应达到开采层以下,以降低料场地下水位等;雨季和冬天要注意及时防护,防止雨水和融化后的雪水渗入土料。

4.2 土料掺拌、碎土工艺

长江科学院为完成“十二五”科技支撑项目“膨胀土水泥改性处理施工技术”课题,于2011年11月在河南镇平1标,与水电三局共同开展了水泥改性土的碎土工艺现场试验。

首先在堆料场附近开辟了一块约20 m×8 m的场地,摊铺约30 cm厚开挖料,现场实测土料含水率25.3%。采用一台旋耕机碎土(如图1),测定碎土不同遍数后土样的含水率和土块粒径(团块块径)。



图1 现场试验旋耕机碎土

Fig. 1 Photo of crashing the soil by rotary tiller

图2为采用旋耕机碎土一定遍数后,土块粒径的变化曲线。结果显示,在旋耕机的碎土作用下,土块粒径显著减小,经过10遍旋耕机的碎土作用,其最大粒径已小于100 mm,100~50 mm土块含量低于5%,50~5 mm土块含量约80%。说明旋耕机的碎土效果是比较明显的。此外,通过检测旋耕机每次碎土后土团的含水率情况,认为采用旋耕机将含水率较高的土团打散后翻晒,可加快土料含水率的晾晒过程(本次试验条件下6 h内,土料的含水率即由初始的25.3%,降低到20%左右,旋耕机的翻晒效果还是比较显著的)。因此,现场实施过程中,若有一定面积的场地,增配机械,提前进行碎土施工,

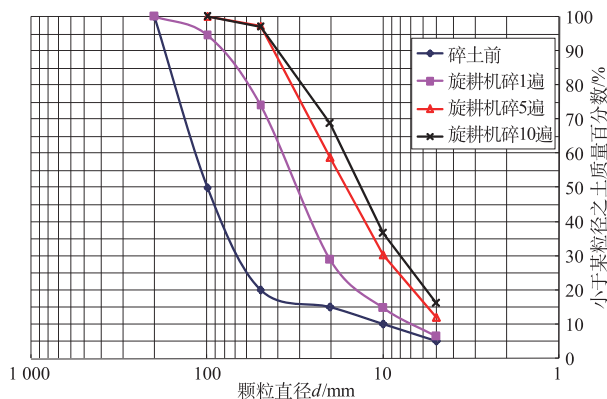


图2 旋耕机碎土前后土团粒径变化

Fig. 2 Variation of the size of expansive soil aggregates before and after the crashing

并对破碎后的土料合理地储存,基本可以解决碎土和含水率的翻晒问题。

4.3 半挖半填渠段施工以及施工沉降稳定期

对于半挖半填渠段施工,设计和施工单位应针对对不同渠段的具体情况(包括料源、堤高等),尽可能简化堤身断面,使用同种土料,优化施工工序。

对于施工沉降稳定期,建议设计单位分别针对高填方区、低填方区、堤芯先填外包土后填换填区等情况,对于不同区域采用不同的沉降期要求。对于换填水泥改性土,可显著缩短沉降稳定期;对于换填黏性土和半挖半填填方区,可根据实际情况调整施工间隙。此外,还可以通过现场的实时监测,通过监测土层沉降变形,根据变形速率及时分析、判别沉降是否稳定。

4.4 关于水泥改性土的层间结合问题

初步的研究结果显示,黏性土掺拌水泥后随着离子交换,絮凝和结团、结块发生得相对较快,最显著的变化发生在混合后的几个小时内,而水泥-加固黏土的强度增长最快发生在1 d到1个月之间。因此,水泥改性土的施工,应尽可能实行流水化作作业,碎土、掺拌水泥、铺土和碾压以及检测应及时进行,施工间歇不宜过长,以免土层硬化,在结合部形成渗漏通道。

4.5 改性土施工质量检测

《土工试验规程》(SL1237—1999)中明确规定,土的含水率试验以烘干法为室内试验的标准方法,在野外无烘箱设备或要求快速测定含水率时,可依土的性质和工程情况采用酒精燃烧法等。针对目前水泥改性土的施工情况,建议施工单位应事先开展烘干法与酒精燃烧法的比对试验,在取得一定的试验经验后,经有关方面认可,采用酒精燃烧法进行含水率的快速检测。对于采用微波炉、核子密度仪等

快速方法或检测设备,应开展有针对性的现场试验,分析比较这些设备与常规设备试验成果,制订相应检测和试验方法,经有关方面认可后使用,同时,还要定期与规定的检测方法进行比对验证,保证施工质量的可靠。

5 结 语

膨胀土的渠道施工是一项复杂的系统工程,从渠道开挖到衬砌施工的完成,涉及到土方开挖、坡面防护、填筑碾压、质量检测等一系列施工工序和施工技术问题,如何在满足设计要求的前提下,提高施工效率、保证工程质量是南水北调中线工程建管、设计、科研和施工单位共同面临的一个重要的课题。当前,随着工程建设的不断深入,有关单位应加强对膨胀土渠道工程施工技术的认识,在施工过程中本着“献身、负责、求实、创新”的南水北调精神,切实担当起加快工程建设任务,完成如期通水的使命。同时,还应肩负起“利在当代、泽被子孙”的责任,履行好光荣而艰巨的历史重任,确保工程施工质量,把南水北调工程建设成为经得起历史和人民检验的工程。

参考文献:

- [1] 程展林,李青云,龚壁卫,等. 膨胀土地段渠道破坏机理及处理技术研究总报告(“十一五”国家科技支撑计

划课题研究报告)[R]. 武汉:长江科学院,2010. (CHENG Zhan-lin, LI Qing-yun, GONG Bi-wei, *et al.* Overall Report on the Failure Mechanism and Treatment Technology for Expansive Soil Canal(The studies of National Science and Technology Infrastructure Program in 11th Five-Year Plan Period)[R]. Wuhan: Changjiang River Scientific Research Institute, 2010. (in Chinese))

- [2] 胡 波,龚壁卫,黄 斌. 水泥改性膨胀土的非饱和强度试验研究[J]. 水利与建筑工程学报, 2010, 8(4): 12 - 15. (HU Bo, GONG Bi-wei, HUANG Bin. Study on Unsaturated Shear Strength Characteristics of Cement-stabilized Expansive Soil[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2010, 8(4): 12 - 15. (in Chinese))
- [3] 黄 斌,聂 琼,徐言勇,等. 膨胀土水泥改性试验研究[J]. 长江科学院院报, 2009, 26(11): 27 - 30. (HUANG Bin, NIE Qiong, XU Yan-yong, *et al.* Experimental Research on Cement-modification of Expansive Soil[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2009, 26(11): 27 - 30. (in Chinese))
- [4] 刘 军,黄 斌,龚壁卫,等. 膨胀土水泥改性均匀性及长期性效果试验研究[J]. 西北地震学报, 2011, 33(增刊): 204 - 208. (LIU Jun, HUANG Bin, GONG Bi-wei, *et al.* Study on Uniformity and Long-term Effects of Cement Modified Expansive Soil[J]. Northwestern Seismological Journal, 2011, 33(Sup.): 204 - 208. (in Chinese))

(编辑:姜小兰)

Construction Difficulties and Countermeasures of Cement Modified Expansive Soil in Mid-route of South-to-North Water Transfer

CHEN Shi-gang¹, MOU Wei², LIU Jun³

- (1. Administration of South-to-North Water Diversion Middle Route Project, Beijing 100038, China;
2. China Water Conservancy and Hydropower Third Engineering Bureau Ltd., Xi'an 710016, China;
3. Key Laboratory of Geotechnical Mechanics and Engineering of Ministry of Water Resources, Yangtze River Scientific Research Institute, Wuhan 430010, China)

Abstract: The replacement by cement modified expansive soil is one of the measures to cope with the slope failure caused by expansive deformation. Since the construction technology of cement modified expansive soil is complex, and the construction team lacks on-site experience, there are some difficulties and problems in the construction. Therefore, it was researched by the Chinese national “Twelfth Five-Year Plan” Science and Technology Support Program: Construction Technology of Cement Modified Expansive Soil. According to the site investigation and construction of the expansive soil canal of Lushan-Zhengzhou segment of the middle route of South-to-North Water Transfer Project, the main difficulties in the construction, such as material source, construction technique, inspection method, and inspection criterion, are analyzed. Through field test and laboratory research, countermeasures and suggestions are put forward. The research results can be directly applied to the large-scale construction of expansive soil segment of the middle route of South-to-North Water Transfer Project.

Key words: South-to-North Water Transfer; expansive soil; cement modified expansive soil; construction technology