

水泥改性土换填膨胀土施工技术研究

樊路, 郑道明

(中国水利水电第十工程局有限公司, 四川成都 610072)

摘要:水泥改性土是将一定比例的水泥掺入膨胀土料中以改善膨胀土的性质或结构,使膨胀土丧失膨胀潜能并在一定程度上提高土体强度或承载力。在膨胀土地区可以充分利用开挖弱膨胀土料进行改性,达到土料就地取材的目的。

关键词:南水北调;引水渠;膨胀土;水泥改性土

中图分类号:TV52;TV42

文献标识码: B

文章编号:1001-2184(2015)增1-0074-05

1 概述

膨胀土是一种含有一定数量亲水矿物质(蒙脱石、伊利石、高岭石或混层结构)且随着环境的干湿循环变化而具有显著的干燥收缩、吸水后膨胀与强度衰减的粘性土,其有时裂隙很发育且液限和塑性指数较大、压缩性偏低,在天然含水量状态下较坚硬,一般具有超固结性。在地层分布上一般属于上第三系河湖相砂砾岩、砂岩和第四系中更新统冲洪积分支粘土,在结构上夹层多,上层滞水明显,开挖后易产生卸荷失稳。膨胀土可分为弱膨胀土、中膨胀土和强膨胀土。在渠道水泥改性土换填施工中,将一定比例的水泥掺入到膨胀土料中,可以改善膨胀土的性能。同时,在膨胀土地区可以充分利用开挖弱膨胀土和中膨胀土土料进行改性,实现土料的就地取材。南水北调中线南阳镇平三标段项目引水渠道全长 11.825 km,该段渠道均为膨胀土开挖区,对开挖后的渠道边坡与底板均采用 4%~8% 水泥掺量的改性土进行填筑,其填筑量为:中膨胀土和强膨胀土段改性土填筑工程量为 130 万 m^3 ,弱膨胀土填筑工程量为 27.4 万 m^3 。水泥改性土填筑施工从 2011 年 8 月至 2013 年 10 月全部填筑完成,渠道主体工程施工于 2013 年 11 月完成。这是我国在国内大型引水渠道中首次采用掺水泥改性土换填渠道边坡、底板膨胀土施工。水泥改性土的使用,有效地改善了膨胀土的性质或结构,使膨胀土丧失了膨胀的潜能,并在一定程度上提高了土体强度或承载力。

2 施工特点

收稿日期:2015-01-07

(1)水泥改性土换填施工的特点。在膨胀土地区,可以充分利用开挖料进行改性,实现土料的就地取材,减少对非膨胀土的需求和开采。

(2)由于膨胀土的特殊性质,在其开挖过程中必须采取覆盖、防护等有效措施以减少大气环境对膨胀土的影响,采取分层、分段开挖并预留保护层的方式,一次开挖的工作面不易过大。

(3)在开挖过程中,对有上层滞水的地带需采取逐层设截流沟及逐层排水的方式,可有效减少边坡失稳,对边坡的保护和断面的形成具有重要作用。

(4)采用水泥改性土换填膨胀土渠道边坡与底板在施工中具有操作简便的特点,可以做到连续施工,适宜在膨胀土地区开展的大规模施工中推广应用。

3 施工工艺流程及施工技术

3.1 工艺流程

水泥改性土是指将一定比例的水泥掺入到膨胀土料之中以改善膨胀土的性质或结构,使膨胀土丧失膨胀潜能,并在一定程度上提高土体的强度或承载力。水泥改性土换填膨胀土的工艺流程如下:水泥改性土室内试验→土料检验→施工工艺试验→土料开采运输→摊晒→破碎土料→水泥土拌制→运输→摊铺→碾压→削坡。

3.2 施工技术

3.2.1 水泥改性土室内试验

(1)水泥改性土试验项目。水泥改性土施工前,应首先在试验室内进行所需土料源(改性土)分类指标的相关试验,包括土的自由膨胀率(表 1)。

表 1 原状土自由膨胀率检测结果表

原状土自由膨胀率 /%	改性土水泥掺量参考值 /%	改性土 28 d 自由膨胀率 /%	可使用部位
35 ~ 60	不改性	—	填方渠堤、跨渠交通连接道路、挡土墙后指定区域填筑体的填筑
≤35	不改性	—	
≤20	不改性	—	
20 ~ 35	3	≤30	一般用于保护膨胀土坡面或建筑物地基
35 ~ 45	4	≤35	
45 ~ 55	5	≤40	一级马道以上渠坡、坡顶防水层、建筑物地基处理换填层
55 ~ 65	6	≤40	
改性土超填削坡余料		≤40	

(2) 水泥改性土中的水泥掺量确定。水泥改性土中的水泥掺量根据天然土料膨胀特性、经室内试验确定。选择改性土水泥掺量时,不同自由

膨胀率天然土料改性水泥掺量参考值见表 2,水泥掺量按式 1 进行计算。

$$G_s = S \cdot G_c / (1 + \omega - 0.25) \quad (1)$$

表 2 不同自由膨胀率天然土料改性土水泥掺量室内试验控制指标表

原状土自由膨胀率 a /%	改性土控制指标					
	28 d 自由膨胀率 /%	最大干密度 / $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$	28 d 饱和无侧限抗压强度 /kPa	水泥掺量 S		
				参考值 /%	最小值 /%	掺量的确定
21 ~ 35	—	≥1.67	—	3	3	直接取 3%
36 ~ 45	≤0.7 × a	≥1.66	≥250	4	3	室内试验确定
46 ~ 55	≤0.65 × a	≥1.65	≥300	5	4	
56 ~ 65	≤0.6 × a	≥1.63	≥350	6	5	

式中 G_s 为水泥重量, kg; S 为水泥掺量百分比, 根据不同自由膨胀率天然土料改性土水泥掺量由表 2 确定; G_c 为被改性土重量; ω 为被改性土改性拌和时的含水量。

(3) 天然土料的自由膨胀率。根据实际土料的特性进行分区规划, 根据土料的分层特性确定其开采方式和开采层, 在确定改性土水泥掺量时取天然土料的混合料进行试验。当土体天然含水量偏高时应进行翻晒处理。

(4) 改性土水泥含量的检测。在水泥改性土拌和前, 应选用现场有代表性的被改性土做室内 EDTA 滴定试验, 检测水泥改性土中的水泥含量, 然后进行拌和水泥改性土试验。水泥土的拌和均匀性可采用水泥含量标准差进行控制。

3.2.2 拌和系统及工艺试验

水泥改性土施工前, 应确定拌和时机械的运行控制参数, 拌和称量系统根据土料重量、按确定的掺量比例添加水泥和水, 经充分拌和并取样进行水泥改性土的均匀性检测, 只有检测合格, 才能在施工中使用。

(1) 土料检验。施工前, 对拟开采土料进行

取样并通过试验室检验所取土料的物理指标参数, 检验包括粘粒含量、塑性指数、膨胀率, 最后确定水泥掺量。

(2) 工艺试验。根据试验得到的土料物理指标参数进行改性土的掺水泥拌和试验, 同时进行现场碾压施工工艺试验, 由试验确定碾压机械及铺土厚度、静碾与动碾的遍数、碾压机械振动参数等。通过试验中得到的参数指导下一步的施工, 并根据施工的实际情况进行适当调整。

3.2.3 施工填筑顺序

渠道水泥改性土填筑按 100 m 一个单元(段)进行施工, 其填筑顺序: 从渠道底板由下向上分段分层进行填筑施工, 从渠底逐段逐层进行填筑。单元施工循环按流水作业原则布置: 即相邻的三个单元作业时, 一个单元进行卸料、摊铺、平料; 一个单元进行碾压; 另一个单元进行质量检查验收, 依次循环往复。

3.2.4 土料的开采与运输

土料的开采根据现场施工组织 and 施工场地的不同, 可分为临时性堆放土场和拌和场直接堆放土场。

(1)临时性堆放。将从渠道中开采出的弱(中)膨胀土土料运至指定地点分区堆放,将土料堆成5~8 m高的土牛堆,周边做好排水沟,下雨时及时用彩条布盖住土牛堆。在水泥改性土换填前,用挖掘机挖装、自卸汽车运输,将土料转运至拌和场破碎待用。

(2)直接堆放。为使渠道施工过程中工作面能够做到连续作业,将从渠道中开挖出的合格土料直接运至拌和场堆放、脱水与破碎。

3.2.5 摊晒

为了保持土料的含水量均匀、消除大块土粒径,对所开采的土料在其堆存期间,应对土料进行摊晒、拢堆和翻松并对局部含水量偏低的土料进行洒水调整,对含水量超标的土料进行翻松晾晒。

土料摊晒时,一般采用五铧犁和旋耕机翻松、晾晒,必要时可采用路拌机进行翻松晾晒。对晾晒合格的土料用推土机或装载机收拢堆成土牛堆,并用彩条布覆盖保水待用。

3.2.6 土料破碎

一般情况下,对晾晒合格的土料需要进行破碎,破碎土宜在拌和场内采用碎土机进行。破碎土时,应剔除膨胀土料内粒径大于10 cm的钙质结核或土块;将破碎好的土料采用装载机拢堆,拢好后用塑料布与彩条布临时覆盖保水、防水待用。

(1)破碎土粒径的控制。碎土施工前,需在

现场进行碎土工艺试验,采用筛分法检测碎土的级配,施工时根据试验结果调整碎土的控制参数。土块粒径不大于10 cm,其中5~10 cm粒径土的含量不大于5%,5~50 mm粒径土的含量不大于50%(不计姜石含量)。

(2)破碎合格的土。当所需破碎的土料破碎完成后且含水率能满足要求时,可直接上稳定土拌和楼拌和,将拌和好的水泥改性土直接上渠坡使用。

3.2.7 水泥改性土的拌制

采用稳定土拌和机,为保证拌和的均匀性,除严格控制土料粒径外,拌和时间对均匀性的影响很大,拌和时间应通过试验确定。水泥改性土拌制完成后,需要在现场取样检测拌和质量。检测时,主要检测拌和均匀度以及水泥含量、含水量是否满足要求。改性土取样控制标准见表3。通过试验绘制水泥含量标准曲线,然后按水泥的不同含量在稳定土拌和机中进行水泥改性土拌制试验并确定拌和机的运行控制参数。

①土料的上料方法与称量。将破碎好的土料用装载机运至稳定土拌和机集料斗。为保证土料的质量,将集料斗上口加工成带坡度的型式,并在上口设置钢筋筛网,每个筛网格不宜大于10 cm × 10 cm,

表3 改性土取样控制标准表

项 目	控 制 标 准				
土料、水泥	强度等级为42.5的普通硅酸盐水泥、弱/中膨胀土的土块粒径不大于10 cm,含水率、水泥掺量应符合设计要求,拌和均匀				
水泥改性土均匀度	初期弱膨胀水泥改性土水泥含量标准差不大于0.7,中膨胀水泥改性土水泥含量标准差不大于0.5。每拌和场次且不大于600 m ³ 水泥改性土抽测不少于6个样品(每个样品重量不少于300 g),中后期检测频次可适当减少				
压实度	合格率≥95%,最小值≥设计值的0.98倍,不合格样不得集中在局部范围	取样试验,采用环刀法	1次/(100~200 m ³)且每层不少于3点		
水泥含量	离差系数	成品料土块粒径控制指标% /mm			
		>100	100~50	50~5	备注
成品材料中水泥含量平均值不小于设计掺量	同批次式样的离差系数不大于0.7	0	≤5	≤50	土块粒径颗分时应剔除姜石

且以不过筛粒径为不合格的土料,拌和称量系统按试验参数控制土料的重量。

②土料的拌和。计量后的土料落至皮带机

上,经皮带机传送至拌和机内并充分拌和。拌和时间一般不少于2 min,同时,电脑自动控制水泥罐添加剂把规定重量的水泥送到拌和机内,并适

当添加水进行拌和。

③均匀性检测。土料拌和完成并出料后,对水泥改性土取样进行均匀性检测,用EDTA滴定法测定水泥含量,且其平均值不得小于设计掺量。对于检测合格的水泥改性土,由自卸汽车直接运至填筑工作面。

3.2.8 改性土的运输与摊铺

拌和好的改性土经检测合格后,用自卸汽车把改性土运至填筑工作面卸料并采用推土机铺料。填筑时,每层土摊铺厚度为30 cm左右。为保证碾压机械的工作面、确保边角压实度,铺土边线在水平距离上要进行一定的超填。

(1)水泥改性土经拌和合格后,应及时运至渠道填筑,从加水拌和到碾压结束的延续时间不宜超过4 h。在6~8 h内完成上一层土料的覆盖,如不能及时跟进填筑,应对填筑好的建基面做好防雨和保湿的防护。

(2)在摊铺时,为使处理层与边坡更好地结合,在铺料过程中,应结合铺料和平仓施工将渠道边坡面开挖成小台阶状,台阶高度为每一层铺土的厚度。

(3)采用进占法卸料。为避免卸料车对已铺筑碾压好的改性土面造成过压破坏,采用把土料卸入方框内用推土机摊铺的方式,自卸车退行进入工作面,不在工作面调头并派人现场指挥车辆,使运料车有序进入工作面,进料与铺料方式见图1。

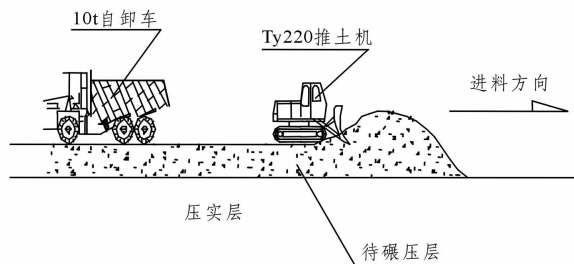


图1 土方填筑进占法铺料示意图

(4)改性摊铺的要求。计算好每一车改性土料摊铺的面积,并用石灰划出所摊铺的面积。在铺料过程中,严格按照碾压试验取得的参数控制铺料厚度,铺料厚度可用插钎检测。

(5)摊铺的平整。将第一车料卸入石灰划出的摊铺区内,由人工摊铺出一块标准面,推土机在铺好的标准面上进行摊铺平整,铺土厚度采用自

制的30 cm量尺插入测量,随铺随量,保证厚度,节省时间,整体铺平后再用水准仪检查和控制高程,每层摊铺平整后校核填筑边线。

(6)摊铺时水泥改性土的含水率宜高于最佳含水率1%~2%,以补偿在摊铺及碾压过程中的水分损失。

3.2.9 改性土的碾压

水泥改性土在填筑前,应对改性土进行现场碾压施工工艺试验,以确定铺土厚度、静、动碾压遍数、含水率、压实机械等参数。施工中严格按照所取得的参数实施,静压、弱振各一遍,然后强振6遍。

(1)碾压方式。碾压时,采用碾压机械沿渠道轴线方向前进、后退全振错距法碾压,前进、后退一个来回按两遍计,碾迹重叠不小于20 cm,将碾压速度控制在2~4 km/h范围内;开始碾压时宜用慢速。

(2)对边角和漏压处的处理。碾压过程中,碾压层间需根据天气和层面干燥情况及时洒水湿润。对边角接头处大型机械碾压不到、易漏压的地带,需由人工采用蛙夯或冲击夯等小型设备夯实。

(3)雨天防护。水泥改性土如遇降雨时,必须及时用彩条布覆盖水泥改性土以防止其表面积水。若在摊铺过程中出现下雨,应及时用光面碾把改性土压实封面,对封面压实的改性土亦用彩条布封盖保护。

(4)结合面的处理。水泥改性土碾压时,由于受天气影响,填筑表层改性土风干很快,为保证其层间结合良好,在进行上一层铺土施工前,需及时对结合面进行洒水保湿,以保证改性土层与层之间有效地结合。

4 质量控制

(1)为保证改性土拌和站拌和的均匀性,除严格控制土料粒径外,拌和时间对均匀性的影响很大。拌和时间应通过试验确定,对于经试验确定的拌和时间施工时应严格执行。

(2)填筑采用进占法施工。由于换填的厚度小,填土时运输车辆不要在同一工作面上反复碾压,否则易造成土料产生剪切破坏并出现弹簧土。在边坡换填时,为减少运输车辆对填筑面的反复碾压,填筑料应采用推土机摊铺。

(3)渠道边坡的处理。边坡的结合面也是质量控制的关键部位,填筑前,应在原渠坡上逐层进行台阶处理,开蹬高度为每一层铺土的厚度。

(4)影响改性土的因素。水泥改性土拌和时,其水泥掺量、拌和均匀度、土料含水量、土粒径、拌和用水量、拌和时间都是直接影响水泥改性土质量的因素。在制备水泥改性土时,必须严格按照试验参数进行拌制,并严格进行检测。

(5)拌和完成后的检测。水泥改性土拌制完成后,需要在现场取样检测拌和质量。检测时主要检测拌和均匀度以及水泥含量、含水量是否满足要求。

(6)摊铺时对含水率的要求。水泥改性土摊铺时的含水率宜高于最佳含水率的1%~2%,以

补偿在摊铺及碾压过程中的水分损失。

(7)雨季施工要求。雨季施工应特别注意天气变化,避免水泥混合料遭受雨淋。降雨时应停止施工,对于已经摊铺的水泥改性土,应快速碾压封面并覆盖。

(8)水泥改性土换填过程中,从加水拌和到碾压完成的延续时间不宜超过4 h。碾压过程中,如有弹簧土、松散土、起皮现象,应及时翻开碾压土重新碾压,碾压后再进行检测直到合格为止。

(9)换填水泥改性土的压实干密度采用环刀法在试坑中下部取样进行检测,换填水泥改性土宜按施工验收长度100 m为一个单元工程,施工质量主控项目见表4。

5 结语

表4 水泥改性土换填主控项目施工质量标准 and 检查方法及数量表

项次	检查项目	质量标准	检查(测)方法	检查(测)数量
1	渗水处理	渠底及边坡渗水(含泉眼)妥善引排或封堵,建基面清洁、无积水	观察、测量与查阅施工记录	全数检查
2	土料水泥	强度等级为42.5的普通硅酸盐水泥,弱/中膨胀土,土块粒径不大于10 cm,含水率、水泥掺量符合设计要求,拌和均匀		
3	水泥改性土均匀度	初期弱膨胀水泥改性土水泥含量标准差不大于0.7,中膨胀水泥改性土水泥含量标准差不大于0.5。每拌和场次且不大于600 m ³ 水泥改性土抽测不少于6个样(每个样品重量不少于300 g),中后期检测频次可适当减少		
4	填料压实	合格率≥95%,最小值≥设计值0.98倍,不合格样不得集中在局部范围内	取样试验,采用环刀法	1次/(100~200 m ³)且每层不少于3个点
5	渠底高程	允许偏差:0~-5 cm	水准仪测量	每个单元测3个断面,每个断面不少于3点

水泥改性土工艺是近年来发展起来的一种对膨胀土实施换填的新技术,水泥改性土换填是南水北调中线工程的关键技术。在膨胀土料中掺入适量的水泥,水泥与膨胀土充分拌和后并发生物理及化学反应,同时改变膨胀土的力学性质,使膨胀土的强度和水稳定性得到大大提高,膨胀性得到有效控制。改性土经碾压后形成的换填层一方面可隔离大气与膨胀土基础的直接作用,另一方面可吸收基建面的膨胀潜能,防止膨胀土边坡产生滑坡。水泥改性土是将一定比例的水泥掺入膨胀土料之中以改善膨胀土的性质或结构并提高土

体强度或承载力。在膨胀土地区,通过对开挖料进行改性,达到减少对非膨胀土需求的目的,以减少对耕地的征用。同时,水泥改性土在施工中具有操作简单、可减少对非膨胀土需求的特点,因此,水泥改性土施工工艺在膨胀土地区值得推广、应用。

作者简介:

樊路(1974-),男,湖北孝感人,项目总工程师,高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作;

郑道明(1955-),男,重庆市人,调研员,教授级高级工程师,从事水电工程施工技术与管理工作。(责任编辑:李燕辉)

上海院获全国优秀工程造价成果一等奖

近日,由上海院报送的青草沙水库及取输水泵闸工程初步设计概算(初步设计报告第九分册)荣获“中国建设工程造价管理协会第四届优秀工程造价成果一等奖”。青草沙水库工程设计概算作为全国唯一的水利项目参加这次评选活动。专家一致认为,项目概算编制所采用的主要技术具有很高的咨询、研究水平,多个子项具有突出的创新性,社会、经济效益十分显著,达到国际先进、国内领先水平。概算编制中的研究和创新为复杂河口深水中筑堤建库以及类似围堰工程的设计概算编制积累了经验,也为水利行业编制相关定额提供了基础资料,对国内外水利工程编制概算具有示范作用。此奖项是全国造价行业领域的专项最高奖,也是上海院自恢复建院以来获得的首个概算专业最高奖项。该成果由上海勘测设计研究院、上海市水利工程设计研究院联合体编制。