

胶凝砂砾石在阿拉沟水库溢洪道基础中的应用

张傲齐, 凤炜, 何建新

(新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052)

摘要: 胶凝砂砾石(CSG)作为一种新型材料,因其造价低、施工快速简便的特点,已在国内外的围堰和挡水大坝等诸多方面得到了应用。本文主要阐述了胶凝砂砾石做为基础填筑材料在阿拉沟水库溢洪道中的应用,从原材料选择、胶凝砂砾石拌和、摊铺碾压、质量检测和等方面做了详细介绍,为今后胶凝砂砾石在水利工程中的应用提供参考。

关键词: 胶凝砂砾石; 配合比; VC值; 溢洪道基础; 阿拉沟水库

中图分类号:TV665.1

文献标识码:A

文章编号:1672-643X(2015)03-0217-04

Application of cement sand and gravel in spillway foundation of Alagou reservoir

ZHANG Aoqi, FENG Wei, HE Jianxin

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Urumqi 830052, China)

Abstract: As a new type of material, the cement sand and gravel (CSG) has the characteristics of low cost and easy construction, so it has been widely applied in many aspects of cofferdam and retaining dam. This article mainly expounded the application of CSG as basis filling material in Alagou ditch reservoir spillway, and made a detailed introduction from raw materials selection, CSG mixture, paving and rolling to quality monitor and control. The result can provide a reference for the application of CSG material in hydraulic engineering.

Key words: cement sand and gravel; mix proportion; VC value; spillway foundation; Alagou reservoir

胶凝砂砾石(Cement Sand and Gravel 简称 CSG)是采用少量的胶凝材料、随机级配的砂砾石骨料(包括砂、石、砾石等)和水,经简易拌和、摊铺和碾压等工艺后形成的具有一定强度的连续介质筑坝材料^[1-3]。这是一种性能上介于散粒体砂砾料和混凝土间的新型建筑材料。法国人隆德(Londe)在1988年提出使用胶凝砂砾石填筑成上下游等坡(1:0.7)的对称剖面坝,用碾压硬填方的施工方法在上游面设面板进行防渗,称之为对称硬填方面板坝,也称为梯形胶凝砂砾石坝。这一技术已在日本、土耳其、希腊等国得到了发展,我国自2004年以来,先后建造福建街面水电站下游围堰,洪口水电站上游围堰,功果桥水电站上游围堰等多座胶凝砂砾石围堰工程,目前国内第一个胶凝砂砾石永久性水利工程——山西守口堡大坝现已开工建设^[4-7]。2012年水利部组织编制了《胶结

颗粒料筑坝技术导则》征求意见稿,这将是国内首个规范性指导堆胶凝砂砾石应用的技术性文件。胶凝砂砾石的应用前景将更为广阔。

1 工程概况

阿拉沟水库位于新疆托克逊县,水库枢纽工程包括大坝、溢洪道、导流泄洪冲砂洞、灌溉输水洞等建筑物。大坝为碾压式沥青混凝土心墙坝,坝高105.3 m,水库总库容4 450.0万 m³,溢洪道布置在大坝右侧,需跨越一条深达52.5 m的冲沟。原设计为现浇浇筑C15混凝土的刚性基础,其浇筑方量达7.0万 m³,施工期通过优化,最终确定采用胶凝砂砾石做为溢洪道通过冲沟的人工基础,既方便了施工,又极大的降低了造价。

收稿日期:2014-12-08; 修回日期:2015-04-07

基金项目:新疆水利水电工程重点学科资助项目(XJZDXK-2010-02-12)

作者简介:张傲齐(1989-),男,河南扶沟人,硕士研究生,从事胶凝砂砾石配合比设计研究。

通讯作者:凤炜(1962-),女,辽宁辽中人,副教授,主要从事当地材料坝设计理论研究。

2 胶凝砂砾石原材料选择与配合比确定

2.1 原材料

(1) 水泥:采用当地生产的 32.5(P. C)普通硅酸盐水泥。

(2) 砂砾料:试验用砂砾石料为水库料场剔除 80 mm 以上颗粒天然砂砾石混合料的筛漏全料,经级配分析,级配变化不大,且细料(<5 mm)平均含量为 40.4%,混合料的含泥量平均为 1.6%。

(3) 外加剂:根据吐鲁番地区环境条件以及施工要求,经过相关试验对比分析,选择与水泥适应性较好的柠檬酸钠作为缓凝剂。减水剂采用 NF-1 高效减水剂。

(4) 水:采用普通自来水,用水量根据拌和物 VC 值确定。

2.2 配合比确定

为确保工程质量且经济合理,胶凝砂砾石的配合比应满足以下工程设计及施工工艺的要求。

- (1) 强度等级及各力学性能满足设计要求;
- (2) 拌和物的表观密度满足压实度要求;
- (3) 施工过程中粗骨料不易发生严重分离;
- (4) 工作度适中,较易碾压密实,通常采用 VC 值进行控制;

(5) 拌和物初、终凝时间满足层间间隔时间的要求。
根据阿拉沟溢洪道基础胶凝砂砾石的运行工况,其拌和物的技术要求和胶凝砂砾石的设计指标见表 1 和表 2。

表 1 胶凝砂砾石拌和物技术要求

最大允许 粒径/mm	湿密度/ (g·cm ⁻³)	机口 VC 值/s	初凝时间/ h	终凝时间/ h
80	≥2.30	≥3	10.0	25.0
150	≥2.40	≥3	10.0	25.0

表 2 胶凝砂砾石力学性能设计指标

设计强 度等级	强度保 证率/%	设计龄 期/d	抗 冻 等级	抗渗 等级	抗剪强度 c f (g·cm ⁻³)	干密度/ 压实力度/ %
≥C3.5	85	28				≥2.30 98

胶凝砂砾石强度主要受胶凝材料用量,细料含量,水胶比等诸多因素影响^[8-9]。胶凝砂砾石在阿拉沟工程中应用于溢洪道基础填筑,经配合比试验研究,胶凝砂砾石拌和物 VC 值为 2~5s,击实后试块干密度为 2.31~2.34 g/cm³,试块 3 d 强度达到 3.5 MPa,28 d 强度均在 5.0 MPa 以上,富余强度大,且初凝时间是 12.4 h,终凝时间是 25.8 h,均能较好的满足工程设计及施工工艺的要求。最终确定胶凝砂砾石配合比如表 3 所示。

表 3 胶凝砂砾石配合比

	水泥	水	砂砾石料		缓凝剂	减水剂	合计
			粗料(>5 mm)	细料(<5 mm)			
质量/(kg·m ⁻³)	80.0	127.0	1274.0	849.0	0.1	0.8	2330.9
含量/%	3.4	5.4	54.7	36.4	0.0	0.0	100.0

注:胶凝材料用量应采用水泥+粉煤灰=40 kg+40 kg,由于当地粉煤灰价格高于水泥,故全部采用水泥。

3 现场碾压试验

为了验证 CSG 填筑设计压实标准的合理性,检验各施工配套机械的适用性及其性能的可靠性,并确定现场施工碾压参数(碾重,碾压遍数、铺料厚度,含水率等),在胶凝砂砾石拌和站周围选取 5 m×10m 的场地进行碾压试验。按 3 种铺料厚度(50、70、90 cm)、两种压实 6 遍(2 遍静碾+6 遍动碾+2 遍静碾)和 10 遍(2 遍静碾+6 遍动碾+2 遍静碾)进行 6 种情况下的碾压试验,用挖坑灌水法测定压实密度,酒精燃烧法测定其含水率,最后计算压实度。设计要求最大干密度为 2.35 g/cm³,压实度为 98%~100%。碾压结果如表 4 所示。

表 4 碾压试验场地各测点压实度度试验结果汇总表

碾压遍数	铺料厚度/cm	检测点数	干密度/(g·cm ⁻³)			压实度/%			合格率/%
8	50	3	2.32	2.31	2.30	99	98	98	100
	70	3	2.31	2.28	2.29	98	97	97	33
	90	3	2.30	2.27	2.27	98	97	97	33
10	50	3	2.34	2.33	2.33	100	99	99	100
	70	3	2.32	2.31	2.29	99	98	97	67
	90	3	2.31	2.30	2.28	98	98	97	67

现场碾压试验结果表明,当铺料厚度为 50 cm,碾压 8 遍和 10 遍时均能满足压实度要求。但为确保碾压质量,最终控制的 CSG 施工参数:铺料厚度

为 50 cm;采用 20t 自行式振动碾碾压 10 遍,行车速度控制在 1.0×1.5 km/h 范围内。

4 施工方法

胶凝砂砾石施工方法与碾压混凝土类似,但更为简单快速。首先,构成胶凝砂砾石的骨料可充分利用施工现场附近的开挖弃料、河床砂砾料等,一般不做筛分,只需剔除超径颗粒即可;其次,由于水泥和用水量少,水化热较低,因此不需进行温度控制,所形成的大体积结构也无需设置变形伸缩缝。以上特点使得胶凝砂砾石的施工工艺大为简化,完全采用常规的、高效的施工设备开展施工。

4.1 拌和

由于国内没有专门用于胶凝砂砾石的拌和设备,一些临时工程(如围堰)均采用反铲挖掘机简易拌和,拌和方式粗放简单,拌和料的均匀性较差。本工程采用公路用的稳定土拌和设备进行胶凝砂砾石拌和,其小时生产能力可达到 50 t,经检验拌和效果尚好。设备运行时需要两辆装载机往料仓中添加砂砾石料。胶凝砂砾石料应充分拌和均匀,拌和设备操作人员应根据砂砾石料含水情况调整用水量,以满足施工的 VC 值要求,严禁不合格的胶凝砂砾石入仓。

4.2 运输与入仓

拌和站距离施工现场运距 300 m 左右,采用 4 辆载重 12 t 的载重车,货箱体积 20.0 m³ 的自卸汽车运输,直接卸料入仓。自卸汽车入仓前应进行车轮轮胎部位冲洗,防止对填筑层面污染,影响层面结合。自卸汽车在仓面行驶速度应控制在 10 km/h 之内。严禁在仓内急刹车,急转弯,以防破坏已碾压好的胶凝砂砾石。

4.3 摊铺

采用抓斗容量 1.2 m³ 的挖掘机进行仓面摊铺。因吐鲁番地区气候炎热多风,要求及时对入仓的胶凝砂砾石进行摊铺,摊铺后的胶凝砂砾石表面应平整,无凹坑,局部不平的部位和紧靠边坡部位由人工辅助铺平。摊铺表面的平整度应控制在 2.0m 范围以内相对高差小于 3cm。若有局部骨料集中现象,可由人工铺洒细料处理。

4.4 碾压

现场碾压作业如图 1 所示。压实机械采用厦工三明 XG6204M 压路机,参数见表 5。为保证在允许的层间间歇时间内完成碾压作业,当仓面过大时应分条带施工,条带面积大小应与拌和能力和碾压能

力相适应。碾压操作人员必须保证碾压 10 遍,不得漏压超压。碾压后的胶凝砂砾石表面应全面泛浆,略有弹性。

对边坡基岩周边震动压路机碾压不到的部位,可采用型号为 HW60A 型蛙式夯实机人工辅助夯实,夯实机性能如表 5。人工辅助夯实时,应放慢行进速度,保证足够的夯实遍数。对两种压实机械碾压的搭接部位,振动压实机应重新碾压,以保证碾压质量合格。

表 5 压实机械参数

机械名称		机械性能	
振动压路机	型号	XG6204M	震动频率 28Hz
	工作质量	20000kg	工作宽度 2130mm
	激振力	350/210 kN	名义振幅 2.0/1.2mm
蛙式打夯机	型号	HW60-A	整机质量 ≤180kg
	夯实能量	60kg·m	夯板尺寸 520 mm×120mm
	夯头跳高	150~200mm	夯击次数 150~160 次/min

4.5 变态胶凝砂砾石施工

对倒悬边坡蛙式夯实机无法工作的部位,应铺筑变态胶凝砂砾石。变态胶凝砂砾石采用打孔法加浆的方式,具体要求:在已摊铺好的胶凝砂砾石上人工打孔,然后将灰浆(水灰比 1:2)均匀注入孔内,孔的间距为 25 cm,孔径 2~4 cm,孔深不小于 25 cm(图 2),严格控制加浆量。灰浆加入后用直径为 100 mm 的振捣棒进行振捣,振捣时间不少于 15 s,直至表面完全泛浆,且胶凝砂砾石表面不再下沉为止。变态胶凝砂砾石与相邻区域胶凝砂砾石搭接宽度应大于 20 cm,结合部位用振动碾补碾 2~3 遍。



图 1 胶凝砂砾石的碾压 图 2 变态胶凝砂砾石打孔注浆

5 质量检测与控制

5.1 VC 值检测

VC 值又称工作度,指在规定振动频率、振幅和规定的表面压强值条件下,振至表面泛浆所需的时间。胶凝砂砾石的 VC 值受气温、风速、日照、空气湿度、降水等因素的影响很大。因此施工过程中 VC

值应动态控制。一般情况下出机口的 VC 值应控制在 2~5 s,入仓时 VC 值宜控制在 3~7 s,碾压时 VC 值宜控制在 3~10 s。出机口胶凝砂砾石 VC 值可由工作人员用维勃稠度仪检测。仓面可根据振动碾行车车辙情况控制,填筑层能够较易压实,而又不陷车便于施工即可。也可由“手检法”进行控制,即胶凝砂砾石手握时能成团不散。

5.2 压实度检测

根据要求,每一碾压层在不同部位选 3 个点采用挖坑灌水法检测压实密度,重点检测振动碾压机碾压较薄弱部位的压实质量,避免漏压、欠压。整个施工期间,共取 84 层,256 个监测点。统计分析后如表 6 所示。干密度最小为 2.29 g/cm³,最大 2.36 g/cm³换算后压实度在 98%~100% 区间内,方差和变异系数均接近于 0,离散程度小,表明胶凝砂砾石拌和摊铺均匀稳定,碾压效果较好。

表 6 压实后的干密度统计特征值

样本容量	最小值/ (g·cm ⁻³)	最大值/ (g·cm ⁻³)	均值/ (g·cm ⁻³)	标准差	方差	变异系数
252	2.29	2.36	2.33	0.02	0.00	0.01

5.3 抗压强度检测

施工期间,按规定每单元留取一组胶凝砂砾石试块,制作试块的拌和物取自出机口。胶凝砂砾石材料试件的成型及养护尚无明确规定,为了使成型试件的环境条件与实际工程应用相接近,引用混凝土中湿筛的方法,将拌和好的原级配胶凝砂砾石通过过 40 mm 的筛子,筛下的料分三层装入 150 mm×150 mm×150 mm 的钢试模中,每层需振捣后击实,击实功为 0.54 J/cm³。成型试件两天后脱模,养护至 28 d 后做抗压强度检测。施工期间,共取 48 组,144 个试块,抗压强度统计分析如表 7 所示。抗压强度最小值 5.3 MPa,满足强度要求,且标准差为 0.71,方差 0.51,离散度较小,抗压强度稳定。

表 7 抗压强度统计特征值

样本容量	最小值/ MPa	最大值/ MPa	均值/ MPa	标准差	方差	变异系数
135	5.3	8.7	6.6	0.71	0.51	0.11

5.4 钻孔芯样检测

钻孔取样是检测胶凝砂砾石质量的综合方法,对评价胶凝砂砾石的各项技术指标十分重要。钻孔应在胶凝砂砾石表层具有一定的强度后进行,一般可在 14 d 后。芯样钻取成功后应立刻存放于养护

室养护至 28 d,测试其抗压强度。整个施工过程中分别在第 44 层和最后一层钻取芯样,共取 5 组,芯样照片如图 3 所示。芯样表面光滑致密,粗细骨料分布均匀。芯样养护至 28 d 后切割成长径比为 1:1 和 1.5:1 两种形状,进行抗压强度试验,最后换算成标准立方体试块抗压强度。抗压强度值如表 8 所示,强度最大值为 8.4 MPa,最小值为 5.9 MPa,平均强度 7.1 MPa,平均强度达到设计强度的两倍,且强度离散程度不大。



图 3 胶凝砂砾石芯样

表 8 胶凝砂砾石芯样抗压强度检测表

工程部位	组数	直径/ mm	长径 比	荷载/ kN	抗压强 度/MPa	立方体试 抗压强度/MPa
44 层	1	100	1	61.8	7.9	7.9
		100	1	59.1	7.5	7.5
		100	1	65.9	8.4	8.4
	2	150	1	127.5	7.2	7.5
		150	1	119.6	6.8	7.0
		150	1	125.6	7.1	7.4
84 层	3	100	1	49.6	6.3	6.3
		100	1	50.3	6.4	6.4
		100	1	46.6	5.9	5.9
	4	150	1	117.0	6.6	6.9
		150	1	121.8	6.9	7.2
		150	1	119.7	6.8	7.1
	5	150	1.5	105.1	5.9	7.1
		150	1.5	103.0	5.8	6.9
		150	1.5	103.5	5.9	7.0

6 结 语

胶凝砂砾石作为一种新型建筑材料,比砂砾料强度大,变形模量高,降低了填方结构的沉降值;与混凝土相比,其水泥用量较低,大体积胶凝砂砾石结构施工期无需温度控制,又具有施工快速方便、造价低廉等特点,已在坝工、基础填方和边坡稳定等结构

(下转第 226 页)

[2] 刘新永,田长彦,马英杰,等. 南疆膜下滴灌棉花耗水规律以及灌溉制度研究[J]. 干旱地区农业研究, 2006, 24 (1):108-112.

[3] 宁松瑞,左 强,石建初. 新疆膜下滴灌棉田水盐运移特征研究进展[J]. 灌溉排水学报,2014,33 (2):121-125.

[4] 虎胆·吐马尔白,谷新保,曹 伟,等. 不同年限棉田膜下滴灌水盐运移规律实验研究[J]. 新疆农业大学学报, 2009,32(2):72-77.

[5] 徐 英,陈亚新,周明耀. 不同时期农田土壤水分和盐分的空间变异性分析[J]. 灌溉排水学报,2005, 24(3): 30-34.

[6] 牟洪臣,虎胆·吐马尔白,苏里坦,等. 不同耕种年限下土壤盐分变化规律试验研究[J]. 节水灌溉, 2011(8): 29-31.

[7] 王一民,虎胆·吐马尔白,弋鹏飞,等. 盐碱地膜下滴灌水盐运移规律试验研究[J]. 中国农村水利水电,2010 (10): 13-17.

[8] 李 敏,李 毅,曹 伟,等. 不同尺度网格膜下滴灌土壤水盐的空间变异性分析[J]. 水利学报,2009, 40(10): 1210-1218.

[9] 甘海华,彭凌云. 江门市新会区耕地土壤养分空间变异特征[J]. 应用生态学报, 2005, 16(8): 1437-1442.

[10] 王 辉. 农学概论[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2009.

[11] 雷志栋,杨诗秀,谢森传. 土壤水动力学[M]. 北京:清华大学出版社,1988.

[12] 新疆维吾尔自治区农业厅,新疆维吾尔自治区土壤普查办公室. 新疆维吾尔自治区土壤[M]. 北京:科学出版社,1996:151-521.

[13] 李少昆,王崇桃,汪朝阳,等. 北疆高产棉花根系生长规律的研究: I. 根系的构型与动态建成[J]. 石河子大学学报(自然科学版), 1999, 3(Z1): 15-25.

[14] 孙三民,蔡焕杰,安巧霞. 新疆阿拉尔灌区棉花苗期耐盐度研究[J]. 人民黄河, 2009, 31(4): 81-82.

[15] 牟洪臣,虎胆·吐马尔白,苏里坦,等. 干旱地区棉田膜下滴灌盐分运移规律[J]. 农业工程学报, 2011,27 (7): 18-22.



(上接第 220 页)

程中推广使用。在阿拉沟水库中选择胶凝砂砾石作为溢洪道基础结构,这是胶凝砂砾石筑坝技术的一种拓广应用。现场检测结果表明尽管骨料级配具有随机性而未严格控制,但胶凝砂砾石的主要物理力学性能是稳定的,溢洪道结构的安全性可以得到保证,阿拉沟溢洪道胶凝砂砾石基础结构的实践为同类工程提供了一个成功的范例。由于这种技术尚处在起步和发展中,有些问题仍需做进一步研究。

参考文献:

[1] 贾金生,马锋玲,李新宇,等. 胶凝砂砾石坝材料特性研究及工程应用[J]. 水利学报,2006,37(5):578-582.

[2] 冯 炜,贾金生,马锋玲. 胶凝砂砾石坝筑坝材料耐久性研究及新型防护材料的研发[J]. 水利学报,2013,44 (4):500-504.

[3] 陈振华,林胜柱,魏建忠,等. 胶凝砂砾石筑坝技术新进展[J]. 水利科技,2011(4):29-32.

[4] 冯 炜,贾金生,马锋玲. 胶凝砂砾石材料配合比设计参数的研究[J]. 水利水电技术,2013,44(2):55-58.

[5] 田育功,唐幼平. 胶凝砂砾石筑坝技术在功果桥上游围堰中的应用[J]. 水利规划与设计,2011(1):51-57.

[6] 魏建忠,吴祖廷,吴友旺,等. 新型贫胶硬填料筑坝技术研究应用[C]//. 中国水力发电工程学会碾压混凝土筑坝专业委员会、中国水利学会碾压混凝土筑坝专业委员会. 中国碾压混凝土筑坝技术,北京,2010.

[7] 孙明权,杨世锋,柴启辉. 胶凝砂砾石坝基础理论研究[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版),2014,35 (2):43-46.

[8] 刘录录,何建新,刘 亮,等. 胶凝砂砾石材料抗压强度影响因素及规律研究[J]. 混凝土,2013(3):77-80.

[9] 中华人民共和国水利行业标准. SL678-2014. 胶结颗粒料筑坝技术导则[S]. 北京:中国水利水电出版社.

[10] 刘学章,李 宪. 胶凝砂砾石坝特点及国外已建工程简介[J]. 广西水利水电,2011,(3):75-79.