



胶凝砂砾石施工技术 在围堰工程中的实践与应用

蒋 渊¹, 张 平², 牙琪敏³, 李承轩¹

(1. 中交四航局第四工程有限公司, 四川 成都 610200; 2. 四川岷江港航电开发有限责任公司, 四川 乐山 614000;
3. 四川港航建设工程有限公司, 四川 成都 610023)

摘要: 胶凝砂砾石施工技术是将胶凝砂砾石作为围堰工程中的防冲防渗结合体结构, 以替代传统防渗墙+块石护面的结构形式。针对岷江龙溪口航电枢纽工程二期一汛右岸船闸全年围堰工程的应用实践, 介绍了原材料及配合比的选用、施工工艺及方法、质量控制等, 重点阐述了应用过程中胶凝砂砾石与混凝土、高喷防渗墙等既有结构连接处以及施工缝面等关键部位施工工艺, 并进行施工技术经济性比较。结果表明, 胶凝砂砾石施工技术具有施工工艺简单、工序少、成本低、施工速度快的优势。

关键词: 胶凝砂砾石; 防冲防渗结合体; 围堰; 防渗墙

中图分类号: U64; TV551.3+1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)10-0137-05

Application and practice of cementitious sand gravel construction technology in cofferdam engineering

JIANG Yuan¹, ZHANG Ping², YA Qimin³, LI Chengxuan¹

(1. The Fourth Engineering Company of CCCC Fourth Harbor Engineering Co., Ltd., Chengdu 610000, China;
2. Sichuan Minjiang Port & Shipping & Electricity Power Development Co., Ltd., Leshan 614000, China;
3. Sichuan Port and Channel Construction Engineering Co., Ltd., Chengdu 610023, China)

Abstract: The construction technology of cementitious sand gravel is to use cementitious sand gravel as the combined structure of anti-impact and anti-seepage in cofferdam engineering to replace the structural type of traditional anti-seepage wall + block stone cladding. Aiming at the application practice of the year-round cofferdam project of the right bank lock of the second phase of the Longxikou Navigation-power Junction project in Minjiang River, the selection of raw materials and matching ratio, construction technology and method, quality control, etc., are introduced, and the construction technology of the existing structural connections such as cemented sand gravel and concrete, high-spray impermeable wall and construction seams in the application process are mainly expounded, and the construction technology and economy are compared. The results show that the construction technology of cementitious sand gravel has the advantages of simple construction process, less process, low cost and fast construction speed.

Keywords: gelling grit; anti-impact and anti-seepage combination; cofferdam; impermeable walls

随着我国经济水平的日益提高, 内河航电枢纽工程建设速度加快。在航电枢纽工程建设过程

中, 围堰工程是施工导流必不可少的部分。围堰工程防冲防渗的工艺及实施效果至关重要, 关系

收稿日期: 2023-06-07

作者简介: 蒋渊 (1996—), 男, 助理工程师, 从事船闸工程施工管理。

到工程施工安全及进度。胶凝砂砾石作为一种新型筑坝材料,就地利用河床砂砾石料,用较少的水泥等胶凝材料胶结形成一种固体结构,在大华桥水电站、云南功果桥水电站的围堰中以及岷江犍为航电枢纽工程的塘坝堤防工程永久性结构中得到了应用^[1-3]。陈丽丽等^[4]对胶凝砂砾石预制块体材料的防冲性能研究表明,胶凝砂砾石明显优于传统铅丝石笼、块石护脚等结构形式。胶凝砂砾石具备一定的抗渗能力,对于围堰等临时工程可采用胶凝砂砾石本体防渗^[5]。胶凝砂砾石坝是一种具有竞争力的新坝型,国内外对其研究取得了一定进展,但也存在许多不足^[6]。本文研究了胶凝砂砾石作为防冲防渗结合体的施工技术在岷江龙溪口航电枢纽工程二期一汛右岸船闸全年围堰临时工程中的应用,旨在为后续临时工程应用提供支撑和保障。

1 工程概况

岷江龙溪口航电枢纽工程位于四川岷江干流下游河段,是岷江下游河段(乐山—宜宾)航电规划4个航电梯级中的最末一级。二期一汛右岸船闸全年围堰作为汛期挡水结构,保证船闸工程在汛期正常施工。

围堰设计顶宽8 m,底宽108.5 m,高27 m,轴线长1 501 m,整体采用胶凝砂砾石作为防冲防渗材料,上、下游横向段与原一枯围堰局部交接位置上部采用胶凝砂砾石,底部采用高喷防渗墙+大粒径块石相结合的防冲防渗形式。胶凝砂砾石以护面结构形式设置在围堰迎水面,结构水平宽度4 m,坡比为1:1.75,与高喷防渗墙、混凝土结构连接位置设置富胶凝砂砾石,胶凝砂砾石设计总方量为10.053 6万m³。典型剖面如图1所示。

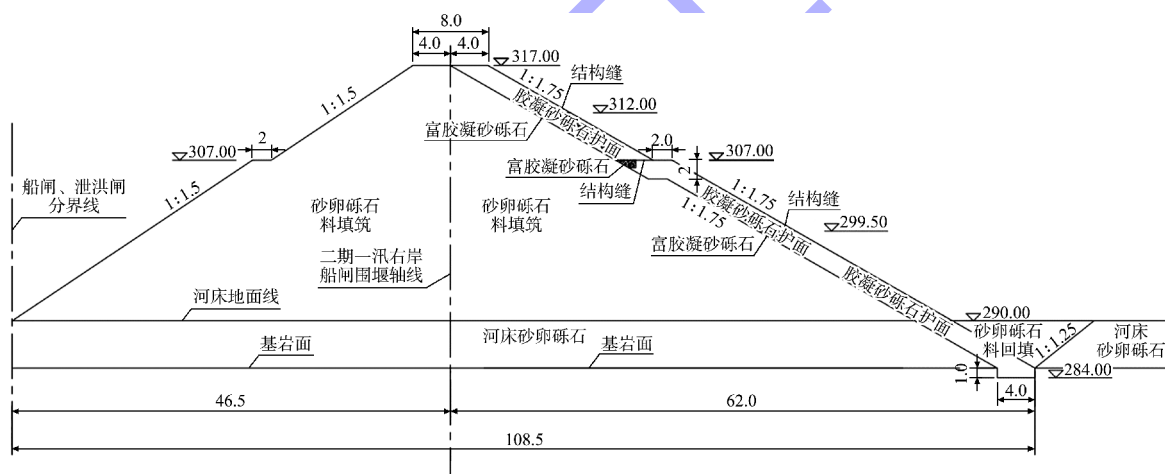


图1 二期一汛右岸船闸全年围堰典型剖面(单位:m)

2 防冲防渗模型论证

考虑设计挡水位下的稳定渗流期及渗透系数

进行渗流计算,胶凝砂砾石防渗模型见图2,渗流计算指标见表1。

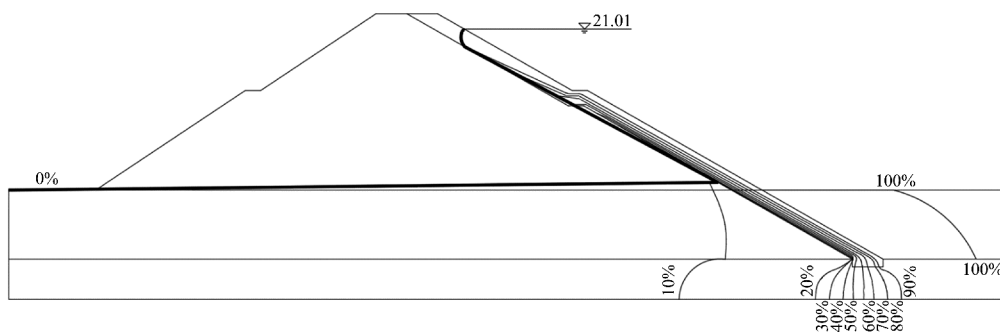


图2 稳定渗流等水头线和浸润线

表 1 渗流计算指标

防渗防冲形式	工况	渗透系数/ ($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)	单宽渗流量/ ($\text{m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	总体渗流量/ ($\text{万 m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$)	备注
高喷防渗墙+块石护面	设计挡水位稳定渗流期	1×10^{-8}	10.56	1.585 1	-
胶凝砂砾石	设计挡水位稳定渗流期	1×10^{-6}	15.29	2.295 0	部分围堰段采用胶凝砂砾石+高喷防渗墙结合形式

综上可知，围堰采用胶凝砂砾石时的总体渗流量比高喷防渗墙大，在运行期采用水泵强排的方式进行补足。二期一汛右岸船闸围堰全长 1 501 m，渗流量 2.295 0 万 m^3/d ，渗漏溢出点位于砂卵石填筑区域与覆盖层界面。

对于防冲能力，当洪峰过境时，水流流速为 5~6 m/s，采用块石护面和胶凝砂砾石均能抵抗汛期洪峰过境时的水流冲刷。

3 胶凝砂砾石施工技术

3.1 原材料及配合比

3.1.1 原材料来源

1) 砂砾石料。推荐砂砾石料指标最大粒径不

宜超过 150 mm，含泥量不宜超过 5%。二期一枯围堰内基坑开挖产生大量砂砾石料，经取样检测现场砂砾石料存在粒径大于 150 mm 的颗粒，含泥量符合要求(表 2)，因此砂砾石料采用基坑内开挖并经筛分后的合格料。2) 水泥。采用普通硅酸盐 P·O 42.5 袋装水泥，在现场设置临时库房用于存储水泥。

3.1.2 配合比

施工前期由于道路受限，施工材料粉煤灰供应及储存问题难以解决，因此用水泥代替粉煤灰。为保证胶凝砂砾石施工质量，实施前进行配合比试验，得出施工配合比为砂率 30.1%、用水量 128 kg/m^3 、水泥 80 kg/m^3 、砂砾石料 2 390 kg/m^3 。

表 2 砂砾石原材料取样筛分比例

序号	>150 mm	特大石>80 mm	大石 40~80 mm	中石 20~40 mm	小石 5~20 mm	河砂	河砂含泥量 %
1	15.0	8.4	29.1	13.8	3.3	30.3	4.8
2	13.1	13.4	20.7	15.2	5.7	31.9	4.3
3	11.3	14.4	24.4	15.4	5.2	29.3	4.7
4	9.5	13.0	25.7	15.2	5.6	31.0	4.4
5	10.0	11.5	31.0	12.6	4.2	30.7	4.9
平均值	11.8	12.1	26.2	14.4	4.8	30.6	4.6

3.2 施工工艺

1) 拌和。采用人工配合反铲挖机现场拌和。具体流程为：自卸车装料过磅→卸料→装载机或挖机平料→人工添加水泥→挖机均匀翻拌 2 次→加水→挖机均匀翻拌 3 次→装载机装车。每个拌合区配置 2 台反铲挖机、1 台装载机，每天可生产 1 500 m^3 胶凝砂砾石，现场可通过增减拌和区和设备来满足强度要求。

2) 运输及摊铺。首先在围堰土石坡面上做好每层松铺厚度 50 cm 的标记。胶凝砂砾石采用 20 t 自卸车运输至卸料点后平均分堆卸料，并采用装载机或反铲挖机进行平仓。平仓过程中出现的大

粒径石料采用人工剔除。卸料后可能会存在少量骨料分离，平仓时采用挖机翻拌即可解决。

3) 碾压及振捣。胶凝砂砾石采用碾压进行铺筑施工，富胶凝砂砾石采用振捣施工。平仓后采用 26 t 压路机进行碾压，2 遍静压+6 遍强振，碾压设备行走速度为 1.5 km/h。碾压方向沿轴线方向，一次碾压成型，碾压过程中沿长度方向搭接长度为 1m。碾压完成后，采用灌水法进行压实检测，对检测结果未达到设计要求的部位及时补碾。碾压完成后采用水灰比为 1:1 的水泥净浆浇洒斜坡面，然后采用挖机将浇洒水泥浆的斜坡面拍实。富胶凝砂砾石在平仓完成后采用 $\phi 100$ mm 高频振

捣棒振捣 25 s。

4) 养护。工程施工时间段为 3—5 月, 气温在 17~30 ℃, 碾压完成 6~10 h 后即开始进行洒水养护, 养护间隔时间为 1 h。

3.3 特殊位置施工工艺

3.3.1 既有混凝土结构结合面处理

围堰工程往往会占压混凝土结构, 胶凝砂砾石作为防冲防渗体与所占压的混凝土结构存在水平面及垂直面两个方向的结合面。胶凝砂砾石及混凝土均为刚性结构, 随着荷载及温度的变化会产生弹性和非弹性变形。

为解决垂直结合面因变形产生较大的间隙而导致渗漏的问题, 在垂直面处设置铜片止水带, 在混凝土结构施工时提前预埋; 若未提前预埋, 则在结合面上人工开槽埋设止水带, 开槽宽度 0.4 m, 深度大于止水带的一半宽度。止水带埋设后随着铺筑高度上升在槽内浇筑微膨胀混凝土, 在胶凝砂砾石侧则浇筑 1 m 宽富胶凝砂砾石并加浆振捣作为过渡区。

水平结合面处对混凝土面进行凿毛, 深度在 10~30 mm, 表面露出 1/3 粗骨料, 然后铺筑富胶凝砂砾石并加浆振捣, 再进行上层胶凝砂卵石摊铺碾压施工。

3.3.2 高喷防渗墙连接处理

龙溪口航电枢纽工程二期一汛右岸船闸全年围堰中, 上、下游横向段与原一枯围堰交接位置上部采用胶凝砂砾石, 底部采用高喷防渗墙+大粒径块石相结合的防冲防渗形式。受场地条件限制, 先施工高喷防渗墙, 后用胶凝砂砾石连接高喷防渗墙桩头。在高喷防渗墙施工完成 7 d 后, 采用小型反铲挖机将高喷桩头开挖揭露出来, 桩头露出高度大于 1 m, 桩头两侧槽宽各 1 m。高压水枪对桩头清洗处理后, 采用富胶凝砂砾石对坑槽回填并加浆振捣, 然后进行上层胶凝砂砾石摊铺碾压施工。

3.3.3 缝面处理

施工过程中会产生施工缝及冷缝的情况, 缝

面处理措施至关重要, 关乎胶凝砂砾石的整体防冲效果。1) 水平缝面处理。层间间隔时间在下层碾压完成 6 h 以内时, 可直接进行上层铺筑施工; 层间间隔时间大于 6 h 时, 先铺洒水灰比为 1:1 的水泥净浆, 再进行上层铺筑。2) 端头横缝处理。在进行胶凝砂砾石施工时, 应阶梯形错开预留横缝。横缝连接时, 先对横缝进行凿毛, 并采用高压水枪对缝面清理, 确保无松散体; 胶凝砂砾石铺设后在缝面处 1 m 长度范围内进行加浆振捣, 再进行跨缝碾压。

3.4 质量检测

根据设计及规范要求对胶凝砂砾石施工质量进行全过程检测。对砂砾石原材料级配、含水率和砂率进行抽样检测, 根据指标的变化对水泥配料和用水量进行实时调整, 对拌合料体积稳定性指数 VC 值和均匀性进行控制。检测 VC 值 531 次, 结果为 2.4~5.0 s, 符合设计及配合比要求; 拌合料均匀性采用现场目测; 对拌合料摊铺及碾压质量进行全过程控制, 在拌合料卸料及摊铺过程中, 对骨料分离情况进行现场目测; 对于层间铺筑间隔时间采用人工计时进行控制, 超过允许时间则必须进行缝面处理; 碾压压实质量检测主要采用灌水法, 同时增加渗透系数检测。压实度检测 198 次, 相对密实度均在 97%~98%; 渗透系数检测 33 次, 渗透系数在 $0.8 \times 10^{-6} \sim 1.0 \times 10^{-6}$ cm/s; 均符合设计要求。

4 运行情况

龙溪口航电枢纽工程右岸船闸全年围堰已施工完成并实现 2021 年顺利度汛, 保障了右岸船闸工程汛期施工条件。在枯期围堰拆除后, 汛期围堰开始挡水时纵向围堰出现较小渗漏, 渗漏位置主要位于纵向基岩接触面, 采用 3 台 15 kW 水泵可保证基岩渗漏排水。2021 年汛期围堰挡水常水位为 305.0~307.0 m, 流量保持在 5 000~7 000 m³/s, 配置 2 台 75 kW 水泵可满足围堰渗漏排水, 渗漏量符合设计标准要求。

围堰共经历 4 次较大洪峰过境, 流量均超过 $1.0 \text{ 万 m}^3/\text{s}$, 最大流量为 $1.5 \text{ 万 m}^3/\text{s}$, 持续时长为 25 h。图 3 为围堰经历最大洪峰过境时刻。整个汛期围堰结构稳定, 迎水面胶凝砂砾石护面完好无损。洪峰过境时胶凝砂砾石渗水正常, 较汛期常水位无明显加大。围堰运行情况表明, 胶凝砂砾石施工技术在围堰中得到了成功应用与实践。



图 3 围堰经历 $1.5 \text{ 万 m}^3/\text{s}$ 洪峰过境

5 经济性分析

龙溪口航电枢纽工程二期一汛右岸船闸全年围堰最初设计的高喷防渗墙+大粒径块石护面的防冲防渗方案成本共计 3 477.62 万元; 采用胶凝砂砾石防冲防渗结合体方案成本共计 2 462.24 万元, 其中胶凝砂砾石 1 490.51 万元, 上、下游横向段与原一枯围堰连接位置高喷防渗墙及大粒径块石护面成本 971.73 万元。采用胶凝砂砾石防冲防渗结合体方案节省投资 1 015.38 万元, 节省成本 29.2%。

6 结论

1) 胶凝砂砾石施工技术用于临时围堰工程安全可行、经济合理、稳定可靠、绿色环保, 可在后续类似工程中推广应用。

2) 围堰胶凝砂砾石护面结构设计宽度为 4 m, 配合比中水泥用量为 80 kg/m^3 , 结构尺寸和强度富余度较大; 未添加粉煤灰, 填筑过程中和运行期未发现明显温度裂缝, 在后续工程中可考虑对结构设计及胶凝材料用量进行优化。

3) 在拌和过程中, 人工配合挖机拌料的现场拌和方式方便实用, 但人工添加水泥的方式可在后续工程应用中考虑优化, 以提高拌制效率; 围堰胶凝砂砾石护面中所采用的砂砾石料的最大骨料粒径存在部分大于 150 mm 的颗粒; 当铺料及碾压过程中, 层面结构中部存在个别骨料集中的现象, 可采用砂浆补满缝隙再重复碾压。

4) 围堰运行过程中, 由于基底水渗透压力较大, 在胶凝砂砾石与基岩的接触面会产生渗漏, 在后续工程中可考虑针对此类问题进行加固研究。

参考文献:

- [1] 段礼坤, 陈华军, 胡建军, 等. 新型围堰技术在水利工程施工中的应用研究[J]. 价值工程, 2019, 38(16): 122-124.
- [2] 徐乐毅, 杜双全, 冯炜. 胶结砂砾石筑坝技术在岷江航电堤防中的创新应用与展望[J]. 中国水能及电气化, 2020(12): 60-66.
- [3] 张勇智, 龚永生. 大华桥水电站胶凝砂砾石过水围堰的“一体化”管理[J]. 水力发电, 2019, 45(6): 10-12, 34.
- [4] 陈丽丽, 首佳, 潘雪倩. 胶凝砂砾石材料在防冲结构中的应用[J]. 水运工程, 2021(12): 135-138.
- [5] 中国水利水电科学研究院. 岷江犍为航电枢纽工程胶凝砂砾石试验段检测成果总结报告[R]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2017.
- [6] 蔡新, 杨杰, 郭兴文. 胶凝砂砾石坝研究综述[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2015(5): 431-441.

(本文编辑 王传瑜)

欢迎投稿 欢迎订阅