



基于土石围堰的子围堰应用效果评价

符业晓¹, 王彦虎², 曾和余¹

(1. 中交四航局第四工程有限公司, 四川 成都 610000; 2. 四川岷江港航电开发有限责任公司, 四川 乐山 614000)

摘要: 针对航电枢纽工程中土石围堰防渗效果问题, 以岷江龙溪口航电枢纽工程为工程背景, 在围堰内侧增加子围堰差解决围堰渗水的问题。通过对比高喷旋喷桩补强、水泵排水等方式, 研究子围堰在质量、工期、成本等方面的优势。实际应用表明, 子围堰可对原有围堰的防渗效果起到较好的增强作用, 相较于在原有围堰的基础上使用高喷旋喷桩或者水泵强排的方案, 子围堰在施工难度和经济效益方面更有优势。研究成果可为长江上游类似工程提供参考。

关键词: 土石围堰; 子围堰; 应用效果; 防渗

中图分类号: U64; TV551.3+1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)10-0128-05

Application effect evaluation of sub cofferdam based on earth-rock cofferdam

FU Yexiao¹, WANG Yanhu², ZENG Heyu¹

(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)

Abstract: To solve the problem of anti-seepage effect of earth-rock cofferdam in the navigation-power junction project, this article takes Longxikou Navigation-power Junction project in Minjiang River as engineering background, and adds a sub cofferdam difference on the inner side of the cofferdam to solve the problem of cofferdam seepage. The article studies the advantages of sub cofferdam in quality, construction period, and cost by comparing the reinforcement of high-pressure jet grouting piles and water pump drainage. The practical application shows that the sub cofferdam can effectively enhance the anti-seepage of the original cofferdam. Compared with the scheme of using high-pressure jet grouting piles or water pump forced drainage on the basis of the original cofferdam, the sub cofferdam is a good choice in terms of construction difficulty and economic benefits. The research results can provide reference for similar projects in the upper reaches of the Yangtze River.

Keywords: earth-rock cofferdam; sub cofferdam; effect application; anti-seepage

随着社会经济的发展, 我国基础设施建设高速发展, 航电枢纽工程项目因其便捷、绿色及高效等特性而独具优势, 近几年得到快速发展^[1]。土石围堰为施工导流时的一种临时性挡水建筑物, 通过拦挡河水为永久建筑物的施工创造干地条件, 在工程设计和施工中其渗流及边坡稳定问题一直受到重点关注^[2-3]。王常明等^[4]以珠江流域某水利枢纽工程施工中的土石围堰为例, 采用有限元法,

提出防渗墙的优化尺寸; 劳乃胜等^[5]根据围堰堰体地质情况分析了塑性混凝土防渗墙在围堰防渗体系的施工。然而围堰防渗效果与填筑料特性、高压旋喷灌浆及围堰沉降等诸多因素联系紧密, 单一处理方法已无法兼顾成本与效果来解决围堰渗水的问题。本文通过在围堰内侧增加子围堰, 利用围堰内外水位高低差, 抑制土石围堰渗水进入基坑, 创造干地状态施工条件, 结合犍为龙溪

口航电枢纽工程, 综合分析子围堰防渗的可行性, 以期发挥子围堰技术在水利工程施工中的价值。

1 工程概况

岷江龙溪口航电枢纽工程二期二枯围堰采用土石不过水围堰, 分为上游围堰上引航道段、上

游围堰泄洪闸段、下游围堰 3 段。二期二枯围堰平面布置见图 1。二期二枯围堰顶宽按 10 m 设计。围堰结构包括堰体填筑料、防渗结构、防冲结构等。围堰堰体迎水面采用块石护坡, 边坡坡比 1:2; 背水面边坡坡比 1:1.5; 围堰全线采用高喷灌浆措施防渗, 见图 2。

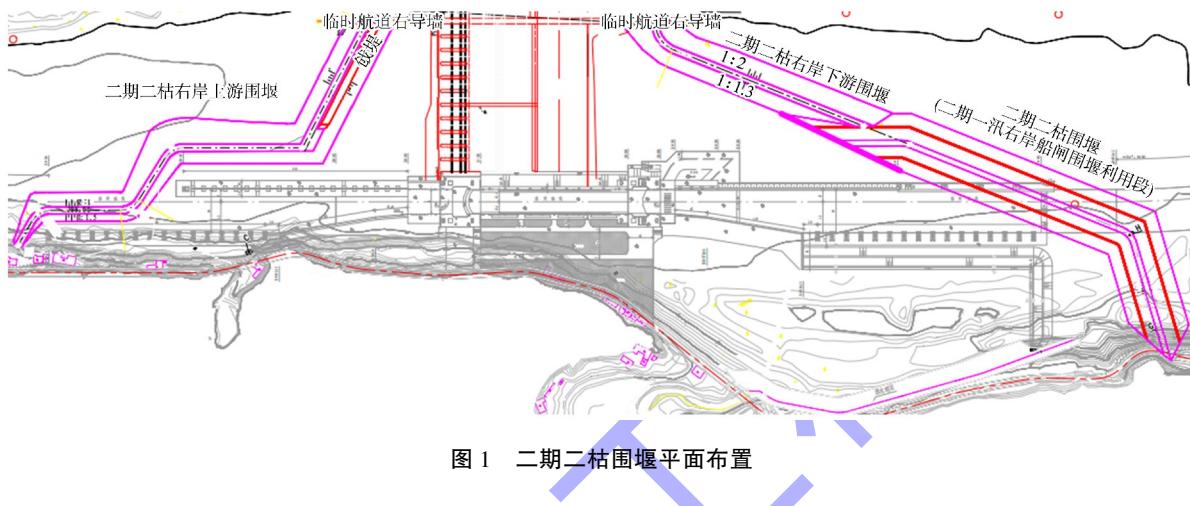


图 1 二期二枯围堰平面布置

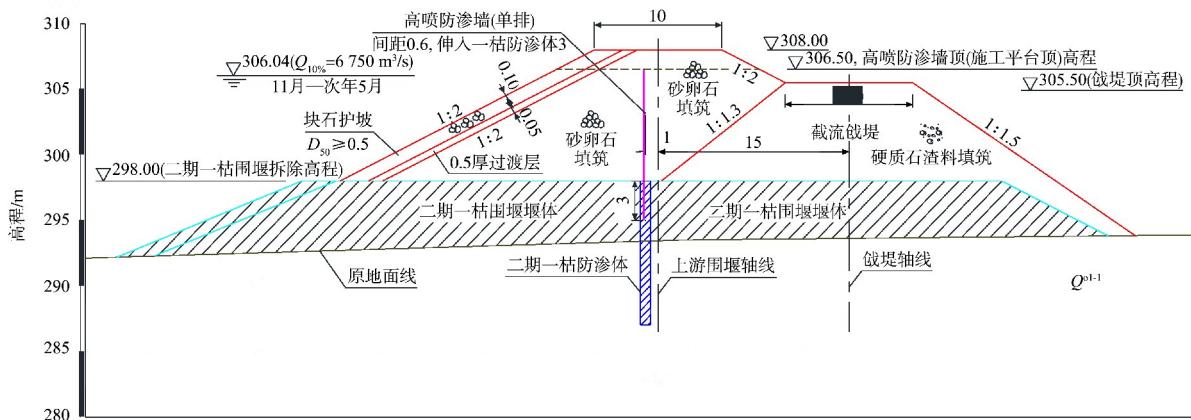


图 2 二期土石围堰设计典型断面 (单位: m)

2 土石围堰方案比选

2.1 土石围堰防渗

二期一枯围堰工程施工时, 由于填筑材料受限, 填料天然河滩上冲刷料, 集配不均匀, 填筑区域河床底覆盖物基本上以大的卵砾石及漂石等为主, 部分空隙有少量细集料填充, 级配不均匀, 河床地质情况复杂, 受以上因素限制, 抽水完成后发现围堰的渗流量较大。为解决该问题, 根据现场情况可采用高压旋喷、围堰抽排水和子围堰填筑 3 种方案。

2.1.1 3 种方案基本概念

1) 高压旋喷。利用钻机钻杆钻入土层的预定位置注浆, 将浆液以高压流的形式压入土层, 对土体造成冲击和破坏: 高压流切搅碎的土层, 呈颗粒状分散, 部分从浆水中带出钻孔, 其余与浆液混合搅拌, 随浆液凝固, 达到一定强度和抗渗能力。

2) 围堰抽排水。在基坑内设置集水井, 将渗漏处以明挖水沟形式汇集入集水坑内, 统一进行抽排, 保证基坑内处于干地状态下施工的方法。

3) 子围堰填筑。在围堰填筑的基础上加设子围堰, 利用围堰内外水头差, 起到引排水作用, 保证基坑内处干地施工。子围堰填筑以渗漏点为依托, 将所有渗漏点包裹在子围堰的填筑范围内, 首先在围堰的内侧选取不同于集水坑的位置, 为子围堰基槽施工创造干地条件, 基槽底高程比围堰集水坑低。子围堰基槽及迎水面采用防水土工卷材封水, 堤体采用黏土填筑, 达到防渗效果。

2.1.2 3 种方案技术特点分析

1) 高压旋喷。适用于处理流沙、淤泥质土、砂卵石、基岩等, 加固深度一般大于 5 m; 旋喷桩(加固体)可用于土石围堰或地基处理等工程的土层加固或防水; 在基坑围护工程中多以定喷或摆喷形式单独作为防渗幕(挡)墙使用。

高喷过程中出现漏浆, 可根据具体情况降低喷管提升速度或停止提升、或降低浆压、流量、原地注浆、浆液中掺加速凝剂、返浆达到设计值后恢复提升。当出现浆液不足时, 可将旋喷管下至原位进行复喷, 反复上下喷浆 2~3 次, 如出现漏浆现象, 可将旋喷管下至原位进行复喷; 当喷浆量过大时, 可适当降低喷浆量孔径, 如提高喷流压力或使喷嘴孔径适当减小, 或使喷嘴孔径加快转动, 提高速度等; 出现串浆现象应立即对被串孔进行封堵, 尽快进行扫孔、高喷浆或注浆完毕后继续钻孔; 串浆多则风压降低, 进浆密度或投浆量增加。

2) 围堰抽排水。适合较为密实的土层、稳定的坑壁、较浅的基坑、较少的降水深度以及不会产生流沙和坑底管涌等降水工程。施工方式简便, 抽水装置少, 便于管理, 费用较低; 地下水沿基坑坡面、坡脚或坑底涌出, 易使基坑软化甚至泥泞, 影响地基强度和施工; 特别是当降水段内夹有粉、细砂层时, 易产生地下水潜蚀、边坡失稳以及地面沉降等危害, 还会使基坑的土方开挖受到影响; 地下水位下降到基底以下的距离较小, 在基坑浸泡时, 易出现水位上升的情况。

集水井位置及大小设计需综合考虑土石围堰

渗水量、施工便道布置及水泵更换或维修便利性等因素, 同时集水坑将在较长时间内作为单独个体使用, 不得随意变迁, 也不得占用基坑内主体建筑物施工。

3) 子围堰填筑。子围堰为单独结构体, 占用基坑中区域较多, 无法在已有构筑物上进行填筑, 因此对工作面要求较高, 适用于有足够空间填筑的情形; 子围堰与原土石围堰结合处防渗处理要求较高, 需要较高的施工技术水平; 子围堰施工环境只适用于干地状态下进行, 进一步提高了施工难度。但子围堰具有填筑体量小, 施工速度快等特点, 投入成本也相对较少, 相较于其他围堰防渗方法, 效果明显。

2.1.3 施工设计及实施

1) 高压旋喷。高压旋喷桩加固区共有 4 处, 其中第 1 处位于二期一枯上游横向围堰, 断面为上 0+54 m—上 0+655 m; 第 2 处位于上 0+87 m—0+98 m; 第 3 处位于上 0+112 m—上 0+125 m; 第 4 处位于二期一枯下游横向围堰下 0+106 m—船下 0+131 m。加固区桩径均为 0.8 m, 排距、孔距均为 1.2 m, 梅花布孔。

2) 围堰抽排水。原计划于围堰上、下游侧各布置 1 个集水坑, 上游布置 4 台 75 kW 水泵, 下游围堰布置 3 台 75 kW 水泵用于抽排水。考虑现场情况和雨季施工, 在上游集水坑增设 75 kW 水泵至 8 台, 下游集水坑增设 75 kW 水泵至 5 台, 以满足施工要求。

3) 子围堰填筑。围堰结构包括堰体填筑料、防渗结构等。本次堰体迎水面边坡坡比 1:2, 背水面边坡坡比 1:1.5。围堰全线采用防水土工卷材加黏土护坡的措施防渗, 防渗底界为从基岩开始。围堰填筑采用全断面进占法进行填筑, 围堰初步形成后再进行围堰防水土工卷材施工。填筑采用自卸汽车倒退法运卸填料、挖掘机及装载机组合填筑的方式进行。

根据经验分析、对比后发现, 子围堰填筑方案造价低、工艺简单且施工难度小, 优势明显, 见表 1。

表 1 3 种方案成本、工期比选

方案名称	名称	数量(工程量)	工期/月	单价/万元	总价/万元	备注
高压旋喷	高压旋喷桩	3 680 m	1.3	261.60	96.27	上游围堰, 双排, 共 160 孔, 23 m
	水泥	120 t		424.77	5.10	上游围堰
	高压旋喷桩	1 920 m	0.8	261.60	50.23	下游围堰, 双排, 共 160 孔, 12 m
	水泥	52.8 t		424.77	2.24	下游围堰
总计			2.1	-	153.84	
围堰抽排水	75 kW 水泵	13 台	5.0	53.20	266.00	按每月 30 d 计
	800 kW 柴油发电机	1 台	5.0	4.20	21.00	备用
	600 kW 柴油发电机	1 台	5.0	3.80	19.00	备用
	维修	1 项	5.0	4.30	21.50	设备维修、人员维护
总计			5.0	-	327.50	
子围堰填筑	开挖	240 m ³	0.1	13.00	0.31	基底
	填筑	3.0 万 m ³	0.2	15.00	45.00	摊铺、压实
	75 kW 水泵期间抽排水	-	0.1	-	2.25	-
	防水土工卷材	2 440 m ²	0.3	5.00	001.22	搭接、铺设
拆除		4.5 万 m ³	0.1	15.00	67.50	开挖、运输 2 km
总计			0.8	-	116.28	

2.2 子围堰方案的难点及控制措施

2.2.1 防水土工卷材搭接问题

防水土工卷材搭接困难、易撕裂和破损, 导致防渗效果减弱。子围堰填筑范围以渗漏点为依托, 归纳整个围堰的渗漏点, 使其能够将渗漏点包裹在子围堰的填筑范围内。因子围堰为单独结构体, 占用基坑区域较多, 且其填筑长度在 300~400 m, 防水土工卷材需搭接铺设, 之间难免出现缝隙, 且施工过程中, 因填筑料的挤压和施工机械施加的外部压力, 易造成土工卷材的撕裂和破损, 导致防渗效果减弱。控制措施: 按照防水土工卷材自身的幅宽依次铺设, 每张防水土工卷材搭接宽度不少于 25 cm, 且搭接处采用沥青粘接。填筑前在底部铺设防水土工卷材, 采用摊铺形式与黏土心墙逐步进行, 分层厚度 50 cm, 采用 26 t 振动碾碾压(静碾 2 遍+动碾 5 遍), 碾压完成后再进行下一层填筑。随着子围堰不断加高, 至设计高程后, 防水土工卷材压顶, 形成整体, 达到防渗作用。如果在施工过程中出现破损, 及时更换或采用沥青胶补漏, 以保证子围堰的防渗效果良好。

2.2.2 黏土的含水量问题

黏土的含水量无法控制。用于子围堰填筑的黏土含水率应在 25%~42%, 含水率过低可能导致

压实后出现裂缝, 含水率过高可能导致碾压工序难以进行。控制措施: 采取适当含水量的黏土进行填筑, 如黏土含水率过低, 则需加水后填筑施工; 含水率过高, 则需摊铺待水分蒸发后进行填筑施工。施工过程中, 在继续铺筑上层新土之前, 对其表面洒水湿润, 将上下游围堰临时供水系统接水管引至工作面, 在进入填筑作业面前设置临时加水站对运输料进行加水, 作业面由人工现场补充洒水, 局部区域采用洒水车加水, 控制含水率在 25%~42%。如需长时间停工, 则应铺设保护层, 复工时予以清除, 验收合格后, 方可恢复填筑。

3 子围堰应用

在土石围堰的基础上增加子围堰后, 在不考虑上游涨水的情况下增加水泵投入, 直接利用子围堰的围蓄作用, 增加内外水位差梯级, 降低渗透水压力, 减小渗水量, 达到原围堰止水效果与渗透水压力的平衡, 以实现渗漏点止水。如江水水位一旦上涨, 土石围堰原渗漏点的渗水可直接进入子围堰内, 当内外水位差达到平衡后即不再继续渗水; 当土石围堰外降水后亦可通过子围堰与江水形成的水位差通过土石围堰渗漏点向江内缓慢渗水, 当内外水位差水位到达平衡后即不再

继续渗水,此举不仅保证了基坑内正常施工,也可大幅度减少水泵的投入,降低成本。正常情况下,通过子围堰可达到内外水调节,无需水泵辅助抽水,且子围堰填筑体量小,干地施工难度降低,成效快。以岷江龙溪口为例,11台75kW水泵每天抽水电费约1.5万元,按泄洪闸工期5个月计,仅抽水电费高达225万元,子围堰填筑方量约5万m³黏土,综合成本(含人员、机械、设备、材料及填拆)约45万元,大大降低了整个工程的成本投入,为泄洪闸及船闸提供干地施工条件。

2022年气候异常,二期二枯围堰在4月经历了2次超标流量未被冲毁。原因是增加了子围堰使得主围堰两侧的水位差减小,从而实现了在不增加成本的前提下,增加了主围堰抗大流量的能力。

4 结论

1) 通过利用子围堰的围蓄作用,可有效地解决原有围堰的渗水问题,增加内外水位差梯级,降低渗流坡降和流速,从而减小渗水量,并降低渗水压力,达到止水的效果。相比于其他防渗方案,如增设高喷防渗墙或直接进行水泵强行抽排等方案,围堰的优势在于具有较好的可持续性和经济性。增设高喷防渗墙需要进行复杂的构造和高强度施工,且难以保证长期的防渗效果;直接

进行水泵强行抽排既不经济,也难以保证环境的安全性。相比之下,通过简单的子围堰结构,有效地解决了渗水问题,同时具有可持续性和经济性的优势,因此在防渗工程中得到了广泛应用。

2) 基于土石围堰的子围堰在岷江龙溪口航电枢纽工程中得到较好的应用,并在工程进度控制、基坑干地施工等方面取得良好效果,为基坑干地施工提供便利,同时兼顾节能环保、成本合理等优势。可为同类型的航电枢纽工程建设围堰防渗项目提供参考。

参考文献:

- [1] 顾文钰,李晓英,蒲楠楠.内河航电枢纽工程发电量指标评价研究[J].水资源与水工程学报,2016,27(2):185-188.
- [2] 刘先珊,刘少炜,余永康.土石围堰渗流场分析及稳定性评价[J].辽宁工程技术大学学报(自然科学版),2009,28(S1):212-215.
- [3] 娄毅博.土石围堰渗流及边坡稳定性研究进展[J].南方农机,2019,50(15):264-265.
- [4] 王常明,鲁鋆,马栋和.土石围堰中混凝土防渗墙设计方案的数值优化[J].吉林大学学报(地球科学版),2020,50(3):857-865.
- [5] 劳乃胜,王金龙,周欣华.水位升降条件下驮英水库上游围堰渗流及稳定性分析[J].广西水利水电,2020(6):21-25.

(本文编辑 王传瑜)

(上接第123页)

参考文献:

- [1] 李莉,李宏达,张军宏.人工砂用于北方水运工程混凝土的试验与应用[J].水运工程,2015(7):51-55.
- [2] 陈东,石安晖.使用机制砂和特细砂混合配制混凝土的性能研究[J].四川建材,2012,38(2):22-23,25.
- [3] 秦明强,朱瑶宏,李进辉,等.人工混合砂在轨道交通工程混凝土中的应用研究[J].铁道建筑,2011(9):77-79.

- [4] 郭明哲.混合砂配制C50预应力混凝土在预制T梁中的应用[J].广东公路交通,2018,44(1):56-59.
- [5] 熊铿.机制砂与天然砂混合级配对混凝土影响的初步探讨[J].建筑工程技术与设计,2014(24):912.
- [6] 郑威.混凝土中混合砂资源应用的现状问题与优化措施研究[J].上海建材,2021(2):16-19.

(本文编辑 王传瑜)