

300 m 级高土石坝反滤料制备技术研究

王 森 荣

(中国水利水电第五工程有限公司, 四川 成都 610066)

摘 要:两河口水电站大坝为 303 m 高的砾石土心墙堆石坝, 大坝反滤料 I 和反滤料 II 的设计要求与同类工程相比具有包络线范围较窄、制备难度大的特点。阐述了利用 DGP1000B 电子皮带秤对多种物料实施精确、快速、连续的掺配集中控制, 并结合前期取得的经验教训, 在瓦支沟反滤料系统中研究并采用了全湿法、两级反滤料掺配原料的方式, 为大坝填筑提供了质量稳定、可控的反滤料, 在施工现场通过精细化施工, 保证了大坝高效、优质填筑, 取得了提前 387 d 大坝填筑到顶的佳绩。

关键词:两河口水电站; 反滤料; 电子皮带秤; 两级原料砂; 质量稳定; 制备技术

中图分类号:TV7;TV641.1;TV541+,1;TV640.33;TV52 **文献标志码:** B **文章编号:**1001-2184(2024)04-0001-03

Study on the Process Technology of Filter Material for the 300 m-high Earth-rock Fill Dam

WANG Senrong

(Sinohydro Bureau 5 Co., LTD., Chengdu Sichuan 610066)

Abstract: The Dam of Lianghekou Hydropower Project is a 303 m-high earth-rock fill dam with gravel-soil core. The design requirements for the dam's filter materials I and II have narrower envelopes and greater difficulty in preparation than similar projects. This paper describes the use of the electronic belt scale of DGP1000B to implement precise, rapid, and continuous centralized mixing control of multiple materials. Combined with the experience and lessons learned in the early stage, the full wet method and two-stage filter material mixing method were studied and adopted in the Wazhigou filter material system, providing stable and controllable filter materials for dam filling. Through refined construction at the site, the efficient and high-quality filling of the dam was ensured, and the dam was filled to the top 387 days ahead of schedule.

Keywords: Lianghekou Hydropower Project; Filter material; Electronic belt scale; Two-stage filter material; Stable quality; Preparation technology

1 概 述

两河口水电站为雅砻江中、下游的“龙头”水库电站, 以发电为主, 兼顾防洪, 其水库总库容为 108 亿 m^3 , 电站装机容量为 300 万 kW。大坝为砾石土心墙堆石坝, 坝高 303 m, 填筑总方量约为 4 300 万 m^3 。在砾石土心墙上下游各设置了两层反滤层, 其上游侧反滤料 I 和反滤料 II 的宽度均为 4 m, 下游侧反滤料 I 和反滤料 II 的宽度均为 6 m, 反滤料的填筑总量约为 200 万 m^3 。通过研究分析得知, 两河口水电站大坝工程的反滤料较同类工程要求更高、更严, 采用同一种砂掺配反滤料 I 与反滤料 II 无法得到品质优良的反滤料成品, 需要研究并采取相应的措施。

2 反滤料的设计

鉴于两河口水电站大坝心墙部位涉及五个料场的来料, 为保护心墙土料不被破坏并确保大坝安全运行, 设计单位提出了包络线范围较窄的反滤料 I 和反滤料 II, 其具体指标见表 1、2。

2.1 反滤料 I 的主要控制指标

(1) 最大粒径应不大于 20 mm, $D_{15}=0.15\sim 0.5$ mm, $D_{60}=1.3\sim 3.4$ mm, $D_{85}=4.3\sim 9$ mm;

(2) 粒径小于 0.075 mm 的颗粒含量应小于 5%;

(3) 渗透系数应大于 1.0×10^{-3} cm/s;

(4) 2 825.00 m 高程以下反滤料 I 压实后的控制相对密度应大于 0.85, 对应参考干密度应大

表 1 两河口水电站反滤料 I 设计级配表 /mm

项目		小于某粒径颗粒含量 /%						
		20	10	5	2	0.5	0.25	0.075
反滤料 I	上包线	/	100	88	63	28	17	5
	平均线	100	93	77	51.5	21.5	12.5	3
	下包线	100	85	66	40	14	8	0.5

表 2 两河口水电站反滤料 II 设计级配表 /mm

项目		小于某粒径颗粒含量 /%								
		60	40	20	10	5	2	0.5	0.25	0.075
反滤料Ⅱ	上包线	/	100	85	68	50	24	6	/	3
	平均线	100	92	70	52	34	13	/	/	/
	下包线	100	83	55	35	18	2	/	/	/

于 2.10 g/cm³; 2 825.00 m 高程以上的反滤料 I 压实后的控制相对密度应大于 0.90, 对应参考干密度应大于 2.14 g/cm³。

2.2 反滤料 II 的主要控制指标

- (1)最大粒径应不大于 60 mm, $D_{15}=1.5\sim 4.4$ mm, $D_{60}=8\sim 24$ mm, $D_{85}=18\sim 42$ mm;
- (2)粒径小于 0.075 mm 的颗粒含量应小于 3%;
- (3)反滤料的渗透系数应大于 1.0×10^{-2} cm/s;
- (4)2 825.00 m 高程以下的反滤料压实后的控制相对密度应大于 0.85, 参考干密度应大于 2.13 g/cm³。2 825.00 m 高程以上的反滤料压实后的控制相对密度应大于 0.90, 参考干密度应大于 2.16 g/cm³。

3 反滤料设计指标分析

笔者通过对已建成的糯扎渡^[1]、长河坝等 300 m 级高土石坝反滤料设计情况进行对比分析得知:(1)两河口水电站大坝反滤料 I 具有级配包络线较窄、掺配反滤料的原料砂更细(按细骨料的细度模数分析, FM 小于 2.2)的特点, 其中掺配反滤料 I 的砂掺入量为 80% 左右, 且原料砂中粒径小于 0.075 mm 的颗粒含量必须控制在 6% 以内。(2)两河口水电站大坝设计反滤料 II 具有级配包络线偏细、掺配反滤料 II 的原料砂需要更粗(按细骨料的细度模数分析, FM 大于 3.2 以上), 且粒径小于 0.075 mm 的颗粒含量还必须受控等特点。

通过分析得知:采用传统规格的原料砂不能实现同时掺配满足设计要求反滤料 I、反滤料 II 的条件, 需要通过研究并采取精细化反滤料制备技术予以解决。

4 反滤料的加工^[2]与施工面临的难点分析

鉴于两河口水电站大坝工程为 300 m 级心墙土石坝, 且其地处高寒、高海拔藏区腹地, 施工质量尤为为重要。进一步的分析得知, 反滤料的加工制备及施工具有以下难点:

- (1)该工程高土石坝首次采用砂板岩制备反滤料, 尚无成熟经验可供借鉴, 其石粉含量、含水率、关键粒径含量控制难度大。
- (2)按照传统“平铺立采”和“变频给料机”工艺掺配反滤料难以满足两河口水电站包络线较窄的要求, 需要对反滤料掺配^[3]的精准度进行控制。
- (3)采用常规推土机和反铲摊铺工艺存在仓面分界难控制、摊铺尺寸不规范、效率低等问题, 需要对反滤料与心墙土料分界、摊铺宽度、厚度及偏差进行控制。

(4)鉴于两河口水电站地处高寒高海拔地区, 高寒冬季反滤料的施工需要采取必要的保温措施。

通过对两河口水电站大坝工程施工具有的难点及反滤料的设计要求进行分析得知:若要使工程施工顺利、有序进行, 在立足现实情况的基础上必须提升掺配反滤料原料砂的质量。而工程前期利用庆大河反滤料加工系统较好地解决了反滤料的品质问题, 但随着大坝填筑上升, 反滤料工程量占比增大, 就需要解决生产反滤料掺配原料砂的问题, 进而从根本上改变反滤料品质问题。为此, 笔者进行了以下分析、总结与研究。

5 施工工艺流程及施工措施

5.1 前期庆大河系统工艺流程

工程前期, 设置在庆大河的反滤料掺砾料加工系统采用干法与湿法相结合的方式, 基本按照常规砂石骨料系统进行设计。实施中发现其存在以下三个问题:①同一种砂不能保证同时满足掺

配优质反滤料Ⅰ、反滤料Ⅱ的条件,砂细时对掺配反滤料Ⅰ较为有利,砂粗时对掺配反滤料Ⅱ较为有利;②掺配难度较大,出现不合格的频次相对较多;③间断性地切换生产掺配反滤料Ⅰ的细砂与掺配反滤料Ⅱ的粗砂需要更换筛网,导致控制难度增大。

5.2 后期优化后的瓦支沟系统工艺流程

为保证两河口水电站大坝为高质量工程,反滤料的质量是大坝成败与否的关键,亦为大坝运行的重要保证。通过工程前期积累的经验及所进行的研究,为确保能同时生产出高品质的反滤料Ⅰ、反滤料Ⅱ,工程后期对其加工掺配反滤料系统进行了优化。

该系统为保证反滤料原料砂中粒径小于 0.075 mm 的颗粒满足要求,采用全湿法工艺,同时将反滤料原料砂的粒径分为 0~3 mm、3~5 mm 两级,其中粒径为 0~3 mm 的颗粒进入螺旋洗砂机中进行加强冲洗,以保证粒径小于 0.075 mm 的颗粒含量小于 6%,并在集水池中安装了轮斗式捞砂机和细砂回收装置,用以回收粒径为 0.075~2 mm 的颗粒,目的是减少废弃料的产生。

5.3 加速反滤料原料砂的脱水措施

鉴于两河口水电站生产反滤料的原岩中含有油性碳物质,给砂料脱水造成极大困扰。根据《两河口水电站大坝填筑施工技术要求》,正常时段填筑时,其反滤料的含水率不应超过 5%;冬季在无保温措施的情况下要求反滤料的含水率小于 2%。为此,项目部使用插管人工干预法加速了反滤料原料砂的加速脱水,进而保证了反滤料的含水率满足要求。

5.4 反滤料的精确掺配

通过试生产,将加工工艺及参数固化,依据土工试验规程^[4]检测粒径为 0~3 mm 的细砂、3~5 mm 的粗砂、5~20 mm 的小石、20~60 mm 的中石级配情况,通过在电脑上模拟掺配比例以及少量人工掺配试验确认反滤料Ⅰ、反滤料Ⅱ均在包络线中间区域,最后通过设置在成品堆场下方廊道内的 20 台 DGP1000B 电子皮带秤实现反滤料的精确掺配。

6 效果评价

(1)反滤料Ⅰ。通过对前期采用庆大河反滤料加工系统掺配加工的 1 835 组反滤料与后期瓦

支沟系统优化采用粗细砂掺配加工的 1 510 组反滤料颗粒级配曲线进行对比分析得知:采用两级砂掺配的反滤料Ⅰ的颗粒级配线趋向包络线的中部,其颗粒级配曲线较前期系统生产的料更为圆滑,品质得到了明显提升,掺配控制难度大幅度降低,未出现掺配不合格的情况。

(2)反滤料Ⅱ。通过对前期采用庆大河反滤料加工系统掺配的 1 738 组反滤料与后期采用瓦支沟系统优化采用粗细砂掺配加工的 1 562 组反滤料Ⅱ颗粒级配曲线进行对比分析得知:采用两级砂掺配的反滤料Ⅱ的颗粒级配线趋向包络线的中部,颗粒级配曲线较前期系统生产的料更为圆滑,反滤料Ⅱ的品质得到明显提升,掺配控制难度大幅度降低,未出现掺配不合格的情况。

7 精细化施工^[5]

7.1 反滤料填筑方法

对于靠近心墙侧 1.5 m 宽的反滤料Ⅰ提前由自卸汽车在铺料前方卸料形成料堆,然后采用自制双料摊铺器铺料,铺料厚度为 30 cm。双料摊铺器由推土机沿反滤料Ⅰ与心墙砾石土料边线顺坝轴线方向牵引,然后采用反铲将提前堆好的反滤料Ⅰ上料至自制双料摊铺器内铺料,心墙砾石土料由装载机上料,各占一边。

对于其余的反滤料则采用挖机顺坝轴线方向铺料(铺料厚度为 30 cm)、20 t 自卸汽车后退法卸料以降低卸料高度。铺料过程中,若检查发现反滤料Ⅰ与反滤料Ⅱ接触面有骨料集中现象出现则对其予以清除或使用反铲拌和均匀。对于左右岸坡接头处、局部坡度较陡或狭小的边角部位则采用小反铲配合人工辅助铺料。

对于反滤料大面采用 18 t 振动碾碾压,左右端与岸坡接头处等局部边角部位采用 BS500 型冲击夯碾压密实。土料与反滤料平起同步填筑,两层反滤料与一层过渡料平起进行接缝碾压。振动平碾的行驶方向及铺料方向平行于大坝轴线,采用搭接法碾压。

7.2 心墙土料与反滤料Ⅰ的精准分界

采用双料摊铺器简化了心墙分界面的施工工序,实现了土砂精准分界,打破了传统的犬牙交错形式,料界清晰、美观。有院士评价:两河口工程的填筑施工形象赏心悦目。

(下转第 9 页)

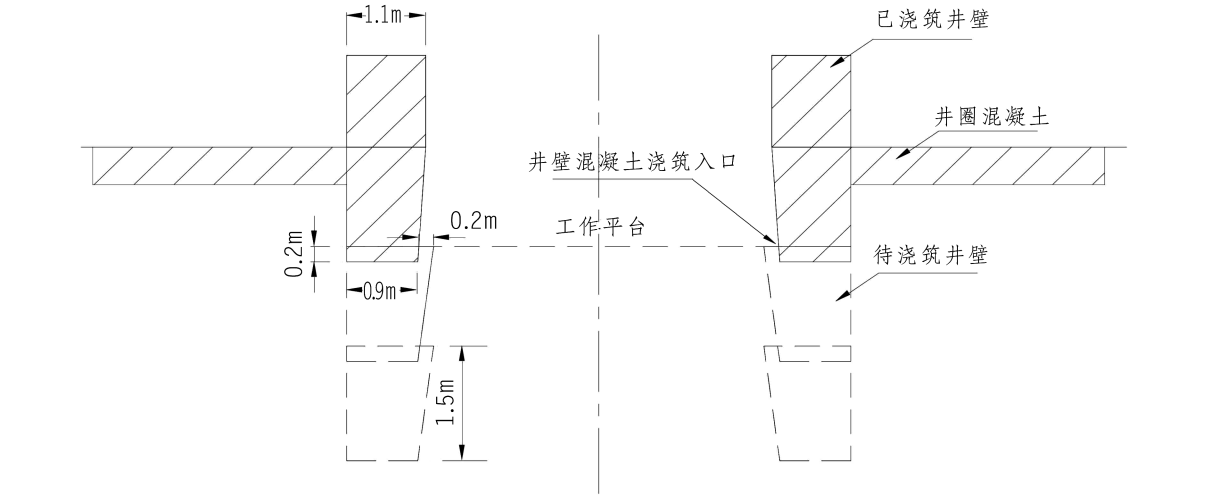


图6 逆作法浇筑剖面示意图

参考文献:

[1] 陈宏宇,高颖涛,史岩.逆作法施工在盾构竖井施工中的应用[J].探矿工程,2008,52(1):78-80.

[2] 高军凯,贺会萍.穿黄工程盾构始发井内衬混凝土逆作法施工技术[J].隧道建设,2009,29(5):569-573.

[3] 林健,李建平.喷锚逆作法在某顶管井施工中的应用[J].广东建材,2011,27(7):569-573.

[4] 赵长海,车黎明,等.水利水电工程锚喷支护技术规范[M].北京:中国水利水电出版社,2008.

[5] 张磊.复杂环境下逆作井与沉井施工工艺[J].云南水力发电,2017,33(6):135-136.

作者简介:

毛勇(1969-),男,四川平武人,项目总工程师,副高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

熊亮(1989-),男,四川成都人,项目副总工程师,工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作;

罗飞轮(1983-),男,四川成都人,项目经理,副高级工程师,从事水利水电工程施工项目管理工作. (编辑:李燕辉)

(上接第3页)

7.3 反滤料冬季保温措施

笔者研究了高寒地区反滤料冬季保温技术,最终采用两膜一布复合土工膜保温材料对反滤料实施覆盖保温,同时研制出一种保温材料快速收放装置,进而保证了反滤料冬季施工质量和施工效率。

8 结 语

两河口水电站大坝前期采用庆大河反滤料加工系统为大坝填筑提供反滤料,在反滤料生产过程中曾采取了生产一种反滤料砂(粒径为0~5 mm)的同时掺配反滤料Ⅰ、反滤料Ⅱ的方式,但其存在不能同时掺配高品质反滤料Ⅰ与反滤料Ⅱ的问题。为提升反滤料的品质,采取了间断性分别生产粗砂与细砂的方式,其中采用粗砂掺配反滤料Ⅱ,细砂掺配反滤料Ⅰ曾取得一定效果,但存在需要更换筛网、生产工艺需要及时调整等问题,给生产的组织造成了一定难度,只能算作补救措施,其能够在一定程度上提升反滤料的质量。

鉴于大量的反滤料是在工程后期使用,若其

从本质上得不到改善,将因反滤料的质量问题影响到大坝填筑施工的进度,为此,项目部研究并优化了施工方案,将原来粒径为0~5 mm的砂分为粒径为0~3 mm的细砂与粒径为3~5 mm的粗砂,通过应用后发现反滤料的掺配与质量控制难度明显降低,两种反滤料的品质较原来的水平得到了显著提升,保证了大坝填筑施工进度,取得大坝填筑较合同工期提前387 d的佳绩,亦为双江口等同类工程提供了可供借鉴的宝贵经验。

参考文献:

[1] 张志文,赵彦辉.心墙堆石坝反滤料生产工艺及方法[J].云南水力发电,2018,34(6):111-114.

[2] 余学明,何兰.瀑布沟水电站砾石土心墙堆石坝设计[J].水力发电,2010,36(6):39-42.

[3] 周一峰.砂板岩生产反滤料及掺砾料加工系统工艺设计及其设备配置[J].水利水电施工,2017,36(6):18-23.

[4] 土工试验方法标准:GB/T50123-2019[S].

[5] 碾压式土石坝施工规范:DL/T 5129-2013[S].

作者简介:

王森荣(1969-),男,四川青川人,技术中心总工程师,副高级工程师,从事水利水电工程施工技术与管理工作.

(编辑:李燕辉)