

面板堆石坝垫层料的保护方式研究

王 森 荣

(中国水利水电第五工程有限公司, 四川 成都 610066)

摘 要: 面板堆石坝的垫层料作为面板混凝土的基础, 其质量直接影响面板混凝土的运行状况。对于面板堆石坝垫层料, 一般采用不同比例的粗细骨料掺配获得, 属于散离结构, 其存在黏聚力较小、抗冲能力较差的缺陷。面板堆石坝垫层料施工期间, 一定要保证垫层料的填筑质量满足设计要求, 且最重要的是要做好保护, 使其不被冲刷破坏而留下质量隐患。阐述了针对面板堆石坝垫层料的保护方式进行的分析与总结, 旨在研究出更为安全、合理、经济、施工简单的垫层料保护方式, 从而实现面板堆石坝工程顺利、有序的建设。

关键词: 面板堆石坝; 垫层料; 保护方式

中图分类号: TV7; TV52

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2024)05-0062-04

Research on Protection Methods of Cushion Materials for Face Rockfill Dams

WANG Senrong

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

Abstract: The cushion material of the face rockfill dam serves as the foundation of the face concrete, and its quality directly affects the operating conditions of the face concrete. Cushion material for face rockfill dams is generally obtained by blending different proportions of coarse and fine aggregates. It has a discrete structure and has the disadvantages of low cohesion and poor impact resistance. During the construction of the cushion material for the face rockfill dam, it is necessary to ensure that the filling quality of the cushion material meets the design requirements, and the most important thing is to protect it from being washed away and damaged, leaving quality hazards. This paper expounds the analysis and summary of the cushion material protection methods of face rockfill dams, aiming to develop a safer, more reasonable, economical, and simpler construction method for cushion material protection, so as to achieve a smooth and effective construction of face rockfill dam project.

Keywords: Face rockfill dam; Cushion material; Protection

1 概 述

我国的混凝土面板堆石坝建设是从 1985 年开始, 经历了“引进、发展、创新、超越”的道路。截止目前, 我国已建成、坝高超过 200 m 的面板堆石坝近十座, 包括天生桥一级、洪家渡、三板溪、江坪河、猴子岩、水布垭等工程。现规划在建的高面板堆石坝有拉哇、大石峡、玛尔挡等且其高度均超过 200 m。随着国家 3060 双碳目标的快速推进, 抽水蓄能迎来了新的建设高峰, 其水库的挡水建筑物绝大多数采用混凝土面板堆石坝。

面板堆石坝的垫层料及其防护层的施工进度直接影响到整个大坝工程的施工进度, 其施工成本在很大程度上影响着整个大坝工程的成本。鉴

于面板堆石坝的大部分垫层料由不同比例的粗细骨料掺配获得, 属于散离结构, 其黏聚力较小, 抗冲能力较差, 对此, 国内、外的许多工程界技术人员一直都在探索、研究垫层料的保护方式, 希望得到保护及时有效、成本可控、操作简单的施工方法和工艺。

现有面板垫层料的固坡技术^[1]包括喷护混凝土或砂浆、碾压砂浆、挤压边墙混凝土、翻模固坡^[2]保护四种形式。笔者针对垫层料的保护方式对其进行了分析与总结, 结合工程实际情况, 研究出了一种更为合理的垫层料保护方式。

2 垫层料保护方式的分析

2.1 喷护混凝土或砂浆

2.1.1 技术原理、路径与工程实例

收稿日期: 2024-03-14

喷护混凝土或砂浆是最早采用的垫层料保护方式，其主要是当坝体超填、碾压后，采用反铲或人工削坡、再喷护混凝土或砂浆的方式实现垫层料的保护。具体做法为：各种坝料按照设计确定的施工参数进行填筑后，坝体填筑每升高 10~15 m，对上游垫层料坡面进行削坡、修整、碾压、喷护混凝土或砂浆予以保护。

采用这种保护方式的工程包括大桥水库、鱼背山、鸡鸣水库等。

2.1.2 该方式具有的优缺点

(1)优点。① 均为传统的施工工艺，工艺简单、易操作；② 填筑与垫层料的保护分阶段进行施工，未相互掺和，工序间的相互影响较小；③ 经过人工修坡后，对体型的控制较好。

(2)缺点。①垫层料填筑时其上游面无挡护、侧压，需要超填才能确保体型线内垫层料的密实性；②需要采用机械削坡，人工修坡整理，导致劳动力密集；③因其只有斜坡碾压才能确保垫层料表层密实，需要配置斜坡碾及相应的牵引设备，但这些设备的通用性较差；④斜坡面喷护作业的安全条件相对较差；⑤坝体每上升 10~15 m 需要进行该段保护，存在保护滞后、未受到保护的垫层料有受到暴雨冲毁的风险，而被冲毁的垫层料极难再填筑到原来的密实状态，导致沉降不均一，易造成面板混凝土裂缝的出现。

2.2 斜坡碾压砂浆护坡

该形式垫层料的基础面处理与喷护混凝土的方式基本相同，坝体超填碾压、机械削坡、人工修整、基础斜坡碾压或振动夯实，最后再铺砂浆、碾压砂浆。丰宁抽水蓄能电站、长龙山、东石湖水库、太子山水库等工程均采用碾压砂浆护坡的方式，其优缺点与喷护混凝土或砂浆护坡形式基本相同。

2.3 挤压边墙混凝土

2.3.1 技术原理、路径与工程实例

挤压边墙混凝土垫层料保护技术是我国于 2002 年最早在公伯峡水电站混凝土面板堆石坝进行研发并应用的。采用挤压式边墙^[3]施工技术，在每层垫层料填筑前采用特制的挤压机沿上游边线挤压出连续的混凝土墙，然后进行垫层料填筑。具体的施工步骤：①将垫层料表面大致找平，采用振动碾碾压，将一定范围内的垫层料碾压

密实并需满足设计要求；②测量放线，将挤压机就位、混凝土罐车卸料入仓、将速凝剂按比例掺入到混凝土中，依靠螺旋式搅龙向外挤压混凝土的反推力使挤压机向前推进并形成梯形断面的挤压墙；③挤压墙混凝土成型且其具有一定强度时（一般为 3~5 h）开始摊铺垫层料。

黄河公伯峡水电站为最初研发并应用挤压边墙护坡技术的工程，陆续有阿尔塔什、水布垭、汉坪嘴、龙首二级、那兰、多儿水电站等工程相继应用。

2.3.2 该方式具有的优缺点

(1)优点。① 混凝土挤压式边墙技术与传统方法相比，能够提高垫层料的填筑质量，简化施工工艺，能够跟进对垫层料进行保护；② 省去了削坡及坡面修整的工序，使坡面工作减少，从而使施工安全状况得到了大幅度改善；同时，减少了处理超填、坡面机械与人工修整、碾压砂浆或喷护混凝土的费用；③ 挤压边墙能够形成规则、平整、整洁美观的垫层料上游坡面，能够明显改善现场文明施工的形象；④ 工序和施工设备、机具得到简化，减少了人工修整坡面的工程量。

(2)缺点。① 因挤压边墙施工层间受填筑面平整度的影响控制难度较大，在层间处易形成错台，存在后期坡面修整问题；② 因挤压边墙尺寸较大，需要耗用的混凝土较多，导致混凝土费用高；③ 因挤压边墙混凝土的强度较低，需要待强后方能恢复垫层料的填筑，导致施工不连续；④ 挤压边墙的底面与顶面厚度相差悬殊，为面板混凝土提供了坡面厚度不均的基础，对面板受力产生了不利的影响；⑤ 挤压边墙的刚度相当大，其与坝体协调变形不一致，导致面板混凝土出现受力破坏或与垫层料之间脱空、挤压墙损伤^[4]等问题；⑥ 增加了横缝开槽工作量与费用。

2.4 翻模固坡保护

2.4.1 技术原理、路径与工程实例

利用在大坝上游坡面安装的模板支撑系统作为挡护结构，再填筑垫层料并经适当碾压后，通过模板与垫层料间预埋的楔板拔出后形成间隙，在该间隙内灌注砂浆，最后振动碾压，砂浆与垫层料结合形成对垫层料上游表面的保护。具体步骤：①在大坝上游坡面支立带楔板的模板；②在模板内填筑垫层料并适当振动碾压；③ 拔出楔板，使垫层料与模板之间形成上宽下窄的间隙，一般上

部宽 6~7 cm,下部宽 4~5 cm;④在该间隙内灌注砂浆;⑤再次按照设定的施工参数进行振动碾压,使垫层料密实度满足设计要求。

最早是由中国水利水电第一工程局在双沟水电站面板堆石坝建设时研发并应用了翻模固坡垫层料保护技术。该技术在丰宁抽水蓄能电站、沙坪河水电站、小云南水库等工程中相继得到应用。

2.4.2 该方式具有的优缺点

- (1)优点。① 固坡采用的砂浆刚性较挤压边墙护坡工艺明显降低;② 能及时对垫层料形成保护,且能有效防止垫层料被冲毁损坏;③ 护坡砂浆的厚度仅为 5~7 cm,故护坡的工程量明显减少;④ 坝体不需要实施超填、斜坡碾压等工序,使工艺得到了简化;⑤ 施工成本得到了有效控制。根据中水一局在双沟工程应用时进行的统计,对比挤压边墙护坡每 m² 固坡成本降低了 28 元;⑥ 采用翻模固坡法能够使坝前砂浆的平整度得到明显提升(丰宁抽水蓄能电站上水库对比碾压砂浆提升了 16.27%);⑦ 固坡外露的拉筋可以作为后期面板混凝土所需浇筑的架立钢筋的一部分。
- (2)缺点。① 翻模护坡法的模板安装、拆卸工作量大、周转次数频繁;② 在坡面上进行翻模固坡模板安拆过程中存在安全风险高等问题;③ 施工交叉作业干扰大;④ 作业人员需要量大,劳动强度

高,实施翻模固坡过程受气候因素影响较大;⑤由于固坡砂浆强度等级低,其强度增长较慢,待强时间长,而待强阶段无法实现连续填筑;⑥若坝体沉降后其基础平整度体型无法满足面板混凝土的施工条件,导致坡面修整较为困难;⑦ 属于薄壁刚性结构,仍存在因坝体沉降变形使固坡砂浆产生裂缝的问题。

2.5 定型板拼装式护坡方式的创新

2.5.1 技术原理、路径

(1)思路的提出。笔者在总结并分析已有各种护坡方式优缺点的基础上研究出一种新的面板堆石坝垫层料^[5]护坡方式,即采用定型预制混凝土板拼装护坡的快速施工方法,能够实现面板堆石坝垫层料连续、快速填筑的要求。同时,若需修整坡面,其具备快速拆除护坡结构进行坡面处理的能力。

(2)面板堆石坝垫层料定型板拼装式护坡方式。笔者所研究的垫层料定型板护坡支撑系统与预制的强度和满足要求的定型板拼装形成共同的受力结构,通过埋设在上一层垫层料中的拉杆形成拉力,在填筑下一层垫层料前,能够实现垫层料的连续填筑。垫层料定型板护坡支撑系统的安装情况见图 1。该方式尚处于试验验证阶段。

2.5.2 该方式具有的优缺点

该护坡方式是在笔者总结了之前多种固坡保

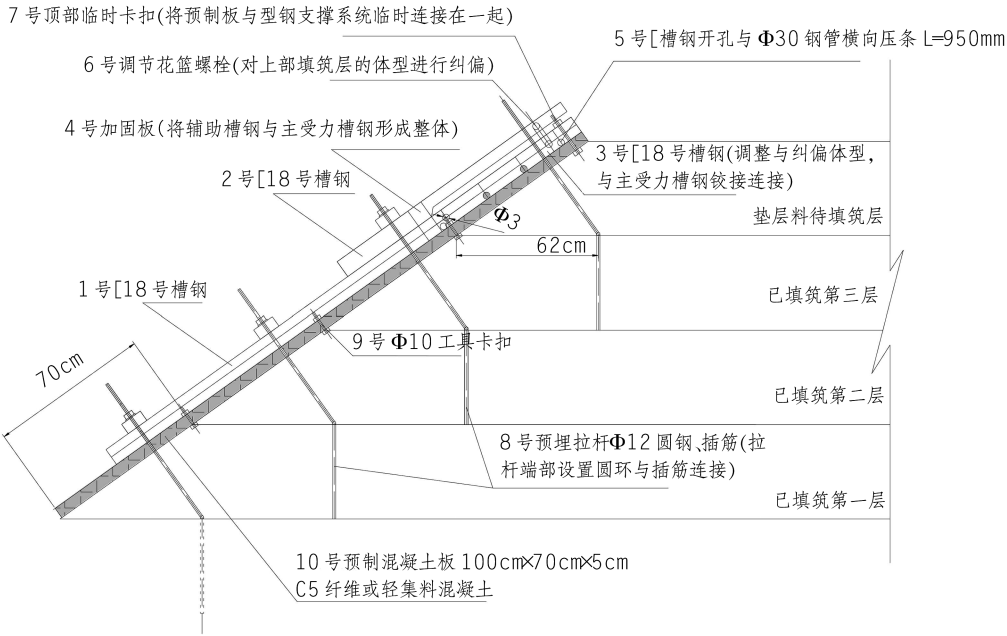


图 1 垫层料定型板护坡支撑系统安装示意图

护的基础上形成的新思路,现已申报专利,正在总结完善中,力争早日将其投入工程应用。

(1) 优点:①其结构与工艺简单、易操作且结构在现场安装、拆卸工程量少;②能精准控制所填筑坝体的体型尺寸与平整度,从而为面板混凝土提供良好的基础;③预制混凝土可工厂化制作,在施工现场仅进行拼装,受不良气候(负温、降雨)影响较小;④预制件提前制作并待强,安装后没有再待强的要求,能创造出垫层料连续、快速填筑的条件;⑤可标准化、产品化,推广价值高;⑥纵横向均具有类似“多节棍”形式的结构,能够更好地适应坝体变形;⑦若坝体沉降后体型不能满足面板混凝土施工要求时,该形式更有利于修整,仅需将预制混凝土板拆除即可进行处理。

(2) 缺点:①需要规划出预制混凝土的场地;②需要配置预制块运输车辆;③因预制混凝土强度等级较低,在其搬运过程中需要小心作业;④在斜坡面安装、拆除作业过程中,需要按照安全技术要求作业。

3 结 语

面板堆石坝自 1985 年在我国开始作为挡水建筑物建设已经历了近 40 a 的发展,一次又一次地突破与超越使其优越性逐步得到业界的一致认可,并将其作为主要坝型继续担当重任。然而,解决好垫层料的保护是保证垫层料质量的重要环

节,也是控制面板变形及裂缝的基础。为此,对垫层料的保护方式进行总结与分析,并将其作为根据大坝特点、所处地理位置等因素选择安全、合理、经济、施工简单的垫层料保护方式的依据,进而实现工程顺利有序的建设。

笔者通过对面板堆石坝垫层料保护方式进行的总结与分析,研究并提出了采用定型板拼装式护坡方式的垫层料保护的创新思路,旨在为解决面板堆石坝施工中垫层料保护出现的问题探索出新路,避免因垫层料保护给工程安全与质量造成影响,使面板堆石坝更好地得到发展。

参考文献:

[1] 王志明,张利荣. 混凝土面板堆石坝固坡技术的发展简述[J]. 水利建设与管理,2008,28(10):73-77.
[2] 李岱,常焕生,张云山,等. 面板堆石坝翻模固坡技术[J]. 水利水电技术,2008,39(12):20-23.
[3] 黄秋丽,林新平,杨正卿,等. 公伯峡水电站混凝土挤压式边墙试验[J]. 人民黄河,2003,55(12):33-34.
[4] 邹德高,陈楷,等. 基于跨尺度精细方法的面板坝面板损伤演化尺寸效应分析[J]. 土木与环境工程学报,2019,63(6):87-90.
[5] 李仙. 混凝土面板堆石坝垫层料上游坡面施工技术简介[J]. 广西水利水电,2014. 43(6):49-51,60.

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)

(上接第 57 页)

占有较大的比例。但不同结构类型的轮胎在露天矿山中的适应性表现的不一样,而不同厂家生产的轮胎在矿山应用时的实际使用寿命亦千差万别。在实际工程应用中,矿山的气候特点、金属矿山的工程地质特点及道路环境状况等均对巨型工程轮胎的使用寿命具有直接影响,因此,选择能适应矿山气候特点、工程地质特点及道路环境状况的巨型工程轮胎可以很好地提高轮胎的使用寿命,进而提高运输安全,降低运输成本。笔者对此进行了研究并将取得的成果用于工程,取得了较好的效果。

参考文献:

[1] 李曰煜. 全球巨型工程轮胎发展概述及我国巨型轮胎制造业面临的机遇和挑战(二)[J]. 现代橡胶技术,2010,

36(2):8-13.

[2] 董晓斌,李方园,睢安全. 13/80-2016PR 工程机械斜交轮胎的设计[J]. 轮胎工业,2015,35(7):403-405.
[3] 薛梓晨,贺建芸,邓世涛,等. 新型子午斜交轮胎结构设计与力学性能研究[J]. 轮胎工业,2016,36(3):136-141.
[4] 徐龙靖. 滚动轮胎表面对流换热规律的研究[D]. 青岛科技大学,2017.
[5] 王松威,徐维欣,李曰煜. 全球巨型工程机械轮胎发展概述及我国巨型轮胎制造业面临的机遇和挑战[J]. 橡胶工业,2011,58(1):51-62.
[6] 宋自平,钟杰,刘铭. 巨型工程轮胎在莱比塘露天铜矿的应用分析[J]. 采矿技术,2018,18(6):124-126.

作者简介:

吴建军(1967-),男,四川简阳人,国际公司副总经理,副高级工程师,硕士,从事水利水电工程施工技术与管理工作。

(编辑:李燕辉)