

水利水电工程的超高堆石坝结构及其施工方法

刘成程¹ 褚婷婷¹ 徐海童²

1. 南京长山建设有限公司, 中国·江苏 南京 210000

2. 南京海童峰建设有限公司, 中国·江苏 南京 210000

摘要:一种适用于水利水电工程的超高堆石坝结构及其施工方法。超高堆石坝是先在处理好的坝基上浇筑坍落度在 70~150mm 下层混凝土, 在下层混凝土未初凝前, 选取颗粒粒径 40mm 以上的块石或卵石堆砌中层块石, 再在中层块石上浇筑 VC 值在 1~5s 的一级配碾压混凝土, 最后碾压至表面均匀泛浆, 之后重复上述步骤形成 90~110m 高的碾压块石混凝土底座, 然后在底座上施工 200~300m 的混凝土面板堆石坝体, 最后在整个坝体的上游浇筑混凝土防渗面板。本方法充分利用当地开挖料, 基本做到无弃料, 节能环保, 提高工效、缩短工期, 成本低, 整体性能良好。

关键词:水利水电工程; 超高堆石坝; 结构; 施工方法

Structures and Construction Methods of Ultra-high Rockfill Dams in Water Conservancy and Hydropower Projects

Chengcheng Liu¹ Tingting Chu¹ Haitong Xu²

1. Nanjing Changshan Construction Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

2. Nanjing Haitongfeng Construction Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract: An ultra - high rockfill dam structure and its construction method applicable to water conservancy and hydropower projects. For the ultra - high rockfill dam, first, pour the lower - layer concrete with a slump of 70mm - 150mm on the treated dam foundation. Before the lower - layer concrete sets, select block stones or pebbles with a particle size of over 40mm to stack the middle - layer block stones. Then, pour the first - grade crushed - stone roller - compacted concrete with a VC value of 1s - 5s on the middle - layer block stones, and finally roll it until the surface evenly shows mortar. After that, repeat the above steps to form a roller - compacted rubble - concrete base with a height of 90 - 110m. Subsequently, construct a concrete - faced rockfill dam body with a height of 200 - 300m on the base. Finally, pour a concrete anti - seepage faceplate on the upstream side of the entire dam body. This method makes full use of local excavation materials, basically achieving zero waste, being energy - saving, environmentally friendly, improving work efficiency, shortening the construction period, having a low cost, and presenting good overall performance.

Keywords: water conservancy and hydropower projects; ultra-high rockfill dams; structure; construction methods

0 前言

混凝土面板堆石坝是目前坝工建设中最富竞争力和最具发展前景的坝型之一。该坝型具有造价低、安全性高和适应性强等诸多优点, 因而受到坝工界的普遍重视, 具有极好的应用前景, 是许多工程的首选坝型, 目前中国已建和在建的面板堆石坝已超过 150 多座, 其中 100m 以上的 37 座。现代混凝土堆石坝的发展趋势是坝越建越高、工程规模越来越大, 中国通过天生桥一级(最大坝高 178m)、水布垭(最大坝高 233m)等工程的建设实践, 筑坝技术相对成熟, 为 300m 级超高面板堆石坝的发展奠定了一定的技术基础。

随着中国西南水电开发进度的加快, 在交通不便经济欠发达地区如金沙江、澜沧江、怒江、雅砻江、大渡河和黄河上游以及西藏的雅鲁藏布江等, 有许多适宜建设高面板堆石坝的河谷地形地质条件, 如古水、马吉等水电站, 坝高都在 250~300m, 因不能把握 300m 级高面板堆石坝的工程特性、

关键技术和运行特点, 不能直接选择面板堆石坝方案, 而选用外来运输量大、造价高的混凝土坝方案或体积大且占用耕地多对环境和水土保持易造成不利影响的土心墙堆石坝方案, 有的工程在近坝区甚至没有可用的防渗土料, 这使得水电站经济指标竞争力降低。因此, 工程建设各方迫切希望在 300m 级高面板堆石坝筑技术上有所突破。

然而, 面临 300m 级甚至更高的超高堆石坝的建设目标, 仍存在多个关键技术难题, 如超高堆石坝的合理分区、筑坝材料特性对大坝变形特性的影响、超高堆石坝的变形特性及安全性、抗震安全性及工程措施等, 尤其是在深厚覆盖层基础上筑坝, 难以突破坝高的局限性, 这些成为发展超高面板堆石坝的技术瓶颈。

1 技术方案

提供一种适用水利水电工程的超高堆石坝结构及施工方法, 该超高堆石坝结构的混凝土基座采用碾压块石混凝土

结构,从材料、结构及施工方式等角度,解决深厚覆盖层基础上筑坝难题,突破坝体高度局限性,实现超高面板堆石坝的建设目标。

提供的技术方案:一种适用水利水电工程的超高堆石坝结构,其特征为:堆石坝包括碾压块石混凝土底座、堆石坝体和混凝土防渗面板,碾压块石混凝土底座是由多层碾压块石混凝土层通过振动碾压形成的高度为 90~110m 的底座,每层碾压块石混凝土层是由下层混凝土、中层块石和上层混凝土通过振动碾压形成,混凝土防渗面板是在堆砌好的碾压块石混凝土底座与堆石坝体上游采用混凝土浇筑形成的防渗面板。

①每层碾压块石混凝土层的高度为 0.5~1.0m。

②每层碾压块石混凝土层的下层混凝土采用二级配混凝土,混凝土坍落度在 70~150mm;上层混凝土采用一级配碾压混凝土,混凝土 VC 值在 1~5s;中层块石为施工现场挖的直径为 40mm 以上的块石或卵石。

③上层混凝土的砂石料采用施工现场挖的直径为 0~5mm 和 5~20mm 的砂石料;下层混凝土的砂石料采用施工现场挖的直径为 0~5mm、5~20mm、20~40mm 的砂石料;中层块石为施工现场挖的直径为 40~300mm 的块石或卵石。

④堆石坝体采用面板堆石坝。

⑤提供进一步的技术方案:一种适用水利水电工程的超高堆石坝结构的施工方法,其特征为具体步骤如下:

A. 施工前期的工作,按照面板堆石坝的相关技术要求,处理坝基与岸坡;

B. 待步骤 A 完成之后,在处理好的坝基上采用二级配混凝土浇筑下层混凝土,下层混凝土的坍落度在 70~150mm,厚度为 200~300mm;

C. 在下层混凝土未初凝前,选取颗粒粒径 40mm 以上的块石或卵石在下层混凝土上堆砌中层块石;

D. 待中层块石堆砌好之后,将其整理平整后再在中层块石上浇筑上层混凝土,直至上层混凝土填充中层块石的石块空隙,并高出中层块石 100~200mm 高,上层混凝土采用 VC 值在 1~5s 的一级配碾压混凝土;

E. 上层混凝土平仓后,且在未初凝前,采用振动压路机在上层混凝土上振动碾压直至表面均匀泛浆,待上层混凝土凝固后形成碾压块石混凝土层,其振动频率 20~40Hz,激振力 200~400kN,振动碾压行走速度在 1.0~1.5km/h;

F. 重复步骤 B 至 E,实现碾压块石混凝土底座的分层施工,直至 90~110m 的高度,形成碾压块石混凝土底座;

G. 在碾压块石混凝土底座上采用常规面板堆石坝的施工方法继续施工 200~300m 高的堆石坝体,堆石坝体从上游向下游依次分为垫层区、过渡区、主堆石区及下游堆石区;

H. 待步骤 H 中的堆石坝体施工完成之后,在碾压块石混凝土底座和堆石坝体的上游分期浇筑混凝土防渗面板。

在步骤 E 的振动压路机采用全液压单钢轮振动压路机,每层碾压块石混凝土层碾压遍数 0~15 遍,碾压完成后每层碾压块石混凝土层高度为 0.5~1.0m^[1]。

2 附图说明

堆石坝结构示意图见图 1,碾压块石混凝土层未碾压时的结构示意图见图 2,碾压块石混凝土层碾压后的结构示意图见图 3。

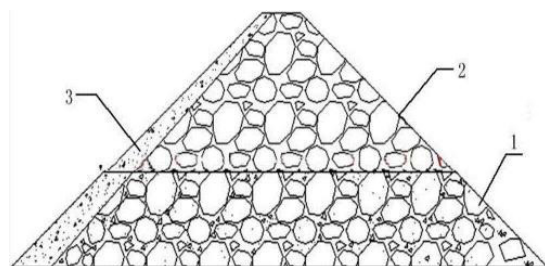


图 1 堆石坝结构示意图

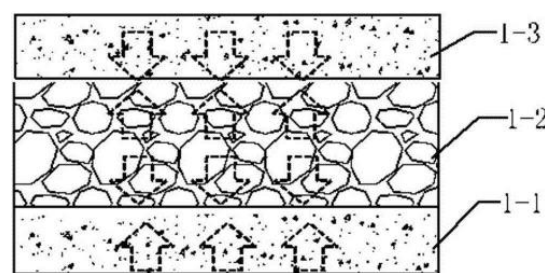


图 2 碾压块石混凝土层未碾压时的结构示意图

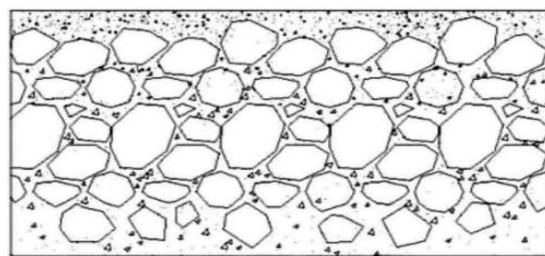


图 3 碾压块石混凝土层碾压后的结构示意图

3 具体实施例

如图 1 所示的一种适用水利水电工程的超高堆石坝结构,其特征为:堆石坝包括碾压块石混凝土底座 1、堆石坝体 2 和混凝土防渗面板 3,堆石坝体 2 采用面板堆石坝,碾压块石混凝土底座 1 是由多层碾压块石混凝土层通过振动碾压形成的高度为 90~110m 的底座,每层碾压块石混凝土层是由下层混凝土 1-1、中层块石 1-2 和上层混凝土 1-3 通过振动碾压形成,上层混凝土 1-1 的砂石料采用施工现场挖的直径为 0~5mm 和 5~20mm 的砂石料;下层混凝土 1-1 的砂石料采用施工现场挖的直径为 0~5mm、5~20mm、20~40mm 的砂石料;中层块石 1-2 为施工现场挖的直径为 40mm 以上的块石或卵石。混凝土防渗面板 3 是在堆砌好的碾压块石混凝土底座 1 与堆石坝体 2 上游采用混凝土浇筑形成的防渗面板。每层碾压块石混凝土层的高度为 0.5~1.0m。每层碾压块石混凝土层的下层混凝土 1-1 采用二级配混凝土。

土,混凝土坍落度在 70~150mm;上层混凝土 1-3 采用一级配碾压混凝土,混凝土 VC 值在 1~5s。

为了满足水利水电工程超高堆石坝的建设需求,从材料、结构及施工方式等角度,提出碾压块石混凝土的设计理念,并通过室内试验对本方法做进一步说明,具体试验步骤如下:

①浇筑下层混凝土。室内试验的模具为 450mm×450mm×450mm,混凝土拌制与浇筑按照 DL/T5151《水工混凝土试验规程》规定进行,采用常规的水工混凝土原材料及配合比,拌制并浇筑下层混凝土,本试验原材料包括水泥、粉煤灰、人工砂、碎石和减水剂、引气剂,拌和水采用自来水,二级配混凝土坍落度为 110mm,共浇筑 69.3kg,厚约 250mm。

②中层堆石。选取颗粒粒径为 80~150mm 的碎石,堆砌在下层混凝土上,共使用 79.1kg。

③浇筑上层混凝土。混凝土拌制与浇筑按照 DL/T 5433《水工碾压混凝土试验规程》规定进行。采用常规的水工碾压混凝土原材料及配合比,拌制并浇筑上层混凝土,本试验原材料包括水泥、粉煤灰、人工砂、碎石和减水剂、引气剂,拌和水采用自来水,一级配混凝土 VC 值为 2s,共浇筑 38.3kg,层厚 150mm,度约 80mm。

④振动碾压。采用室内试验用振动器,在上层混凝土上进行振动碾压,并脱模硬化后形成碾压块石混凝土。

结果表明,本试验中碾压块石混凝土总厚度 380mm,容重达 2478kg/m³,结构均匀稳固,效果良好,验证了碾压块石混凝土结构从技术上是可行的。

实施例:使用本方法的方法来施工某水电水利工程的超高堆石坝结,其特征在于具体步骤如下:

①按照混凝土面板堆石坝的施工规范和相关技术要求,处理该水电水利工程的坝基与岸坡;处理步骤和要求均与现有的面板堆石坝的处理步骤和要求相同。

②将施工现场开挖的石料根据粒径大致分为 0~5mm、5~20mm、20~40mm 及 40~300mm,甚至更大粒径。

③在施工现场采用原材料配制二级配混凝土,二级配混凝土采用所在工程的混凝土用原材料:水、水泥、矿物掺和料、外加剂和步骤②中粒径为 0~5mm、5~20mm、20~40mm 的砂石料搅拌制成,在处理好的坝基上采用配制好的二级配混凝土浇筑下层混凝土,下层混凝土的坍落度在 70~150mm,厚度为 200~300mm。

④在下层混凝土未初凝前,选取步骤②中颗粒粒径 40mm 以上块石或卵石在下层混凝土上堆砌中层块石。

⑤在施工现场采用原材料配制一级配碾压混凝土,一级配碾压混凝土采用所在工程的混凝土用原材料:水、水泥、矿物掺和料、外加剂和步骤②中粒径为 0~5mm 和 5~20mm 的砂石料搅拌制成,待中层块石堆砌好之后,将其整理平整后再在中层块石上采用配制好的一级配碾压混凝土浇筑上层混凝土,直至混凝土填充中层块石的所有石块空隙,并高出中层块石 100~200mm 高,上层混凝土的 VC 值在 1~5s。

⑥待步骤⑤中上层混凝土平仓后,且在未初凝前,采用全液压单钢轮振动压路机在上层混凝土上振动碾压直至表面均匀泛浆,待上层混凝土凝固后形成厚度为 0.5~1m 的碾压块石混凝土层,其振动频率 20~40Hz,激振力 200~400kN,振动碾行走速度在 1.0~1.5km/h。

⑦重复步骤②至⑥,实现碾压块石混凝土底座的分层施工,直至 90~110m 的高度,形成碾压块石混凝土底座。

⑧在碾压块石混凝土底座上采用常规混凝土面板堆石坝的施工方法继续施工 200~300m 高的堆石坝体,堆石坝体从上游向下游依次分为垫层区、过渡区、主堆石区及下游堆石区。

⑨待步骤⑧中的堆石坝体施工完成之后,在碾压块石混凝土底座和堆石坝体的上游靠近水的一侧分期浇筑混凝土防渗面板^[2]。

4 有益效果

①混凝土层中的砂石以及中层块石均为表面清洁的当地水电水利工程开挖块石或卵石,开挖料根据粒径大致分 0~5mm、5~20mm、20~40mm 及 40~300mm,甚至更大粒径,其中在碾压块石混凝土中,0~5mm 和 5~20mm 的砂石料用于拌制上层混凝土,0~5mm、5~20mm、20~40mm 的砂石料用于拌制下层混凝土,40~300mm 甚至更大粒径的砂石料用于中间堆石体,充分利用当地开挖料,基本做到无弃料,节能环保。

②本方法的性能优良,满足超高面板堆石坝基座的技术要求。力学性能适中、水化温升小、良好的体积稳定性、层间抗剪能力强。作为超高面板堆石坝的基座结构,有利于减少坝体大变形,降低整体沉降,保障结构稳定性及抗震安全性,尤其是在深厚覆盖层基础上筑坝,采用碾压块石混凝土新技术,有望突破面板堆石坝坝高的局限性,消除 300m 级超高面板堆石坝的技术发展瓶颈。

③本方法可以节约工程成本。无须设置砂石弃料的料场,砂石料仅需简单筛分,便可利用,对比常规的大坝混凝土,碾压块石混凝土中砂石料比例高、水泥用量少、当地矿物掺和料掺量高,显著节约原材料成本;还减少了混凝土坝方案通常采用的温控措施,提高工效、缩短工期。

④具有广阔的工程应用前景。碾压块石混凝土坝工程成本低,整体性能良好,更适用于超高堆石坝的工程建设,或其他可适用的建筑结构部位,有望在大型工程中推广应用^[3]。

参考文献:

- [1] 杨华全,郑守仁,翁永红,等.一种适用水利水电工程的超高堆石坝结构:201620347156[P].2025-01-14.
- [2] 杨世林.水利水电施工混凝土面板堆石坝技术现状[J].2024(4): 64-66.
- [3] 夏勇森.水利水电工程施工中的混凝土面板堆石坝坝体填筑工艺研究[J].建筑工程技术与设计,2018.