

限于短期的防洪效果，而忽略了河道生态系统的长期健康。规划过程中，要注重河道与周边环境的协调性。充分考虑当地的自然风貌、地形地貌和文化特色，使河道治理与周边的山川、田野、村庄等自然和人文景观相融合，形成一个有机的整体。比如，在河道周边设置绿化带、休闲步道等，既能起到防护作用，又能为居民提供休闲娱乐的空间。采用生态友好型的护岸设计是规划中的重要内容。传统的硬质护岸如混凝土、浆砌石等虽然坚固，但阻断了水体与岸坡的物质交换，破坏了生态系统。而生态护坡如植物护坡、石笼护坡等，不仅能够保持岸坡稳定，还能增加水体与土壤的接触面积，有利于水生动植物的生长，提高河道的生态功能。

4.3 提高水资源利用效率

提高水资源利用效率是河道治理与可持续发展的重要策略之一。第一，要大力推广节水技术和措施。在农业领域，普及滴灌、喷灌等高效节水灌溉方式，减少大水漫灌造成的水资源浪费。在工业方面，鼓励企业改进生产工艺，提高水资源的循环利用效率。第二，加强污水处理和回用也是关键。加大污水处理设施的建设和升级改造力度，提高污水处理标准，确保达标排放。同时积极推广中水回用技术，将处理后的污水用于城市绿化、道路清扫、工业冷却等方面，减少对新鲜水资源的依赖。第三，建立水资源统一管理机制也必不可少。通过科学合理地调配水资源，根据不同地区、不同季节的用水需求，优化水资源配置，确保河道生态需水量得到满足^[1]。

4.4 增强公众参与

公众是河道治理与保护的重要力量。（1）加强宣传教育至关重要。通过多种渠道，如电视、广播、社交媒体等，传播河道治理和可持续发展的知识，让公众明白河道不仅是自然景观，更是生态系统的重要组成部分，与人们的生活息息相关。例如，可以制作生动有趣的科普视频，介绍河道生态系统的服务功能，如水源涵养、水质净化、气候调节等，以及河道破坏带来的危害，如洪水风险增加、生物多样性减少等，从而提高公众的认识和重视程度。（2）鼓励公众参

与河道治理的决策过程，充分听取民意。政府和相关部门在制定河道治理规划和政策时，应通过听证会、问卷调查等方式广泛征求公众意见。比如在某城市的河道改造项目中，政府提前公布了多个设计方案，并邀请市民投票和提出建议，最终选择了最符合公众需求和城市发展的方案。（3）建立志愿者机制，组织公众参与河道巡查、监督和保护工作。志愿者可以定期对河道进行巡查，及时发现和报告污染、破坏等问题。还可以参与河道垃圾清理、河岸植被种植等活动，为保护河道贡献力量。

4.5 推动生态产业发展

（1）充分利用河道周边的自然和人文资源，发展生态旅游、休闲农业等产业。比如，打造沿河道的生态旅游线路，让游客欣赏自然风光、体验民俗文化；在河道周边发展有机农业、观光农业，既增加农民收入，又减少农业面源污染。通过这些产业实现经济发展与环境保护的良性互动。（2）鼓励发展绿色产业，减少对河道环境的污染和破坏。引导企业采用清洁生产技术，减少废水、废气、废渣的排放。同时，支持环保产业的发展，如污水处理、固废处理等企业，为河道治理提供技术和服

5 结语

综上所述，河道治理与可持续发展是一个系统性工程。通过对现状的剖析，我们明确了问题所在，也认识到可持续发展的重要性。所提出的一系列策略为解决当前问题提供了方向。但要实现河道治理的可持续发展目标，需要各方共同努力，持续投入和创新。

参考文献

- [1] 赵洪涛.河道治理工程与水生态环境的关系及可持续发展策略[J].工程建设与设计,2023(08):171-173.
- [2] 王勇.城市河道治理与生态修复的可持续发展策略[J].环境工程,2022,40(08):288-292.
- [3] 李萌.河道治理中生态水利的应用及可持续发展策略[J].水利技术监督,2021(05):89-91+134.

Study on quality control of concrete pouring in water conservancy projects

Bin Lou

Yunnan Energy Investment Group, Kunming, Yunnan, 650000, China

Abstract

As a primary construction material in hydraulic engineering, concrete's casting quality directly determines the structural stability and service life of structures. International hydropower projects face multiple challenges in concrete construction due to large-scale operations, complex structures, and climate instability. This paper analyzes the main technical challenges encountered during the roller-compacted concrete gravity dam construction at Laos' Sera Long I Hydropower Station. The study proposes quality control strategies focusing on layered compartmentalization design, material control, and temperature regulation, aiming to provide reliable references for industry peers.

Keywords

hydraulic engineering; concrete casting; quality control; roller-compacted concrete; Sera Long Hydropower Station

水利工程中混凝土浇筑质量控制研究

娄彬

云南省能源投资集团, 中国·云南昆明 650000

摘要

混凝土是水利工程建设的主要建筑材料之一, 其浇筑质量决定着结构的整体稳定性和使用寿命。在国际水电站工程建设中由于工程体量较大、结构复杂和气候不稳定等原因, 在混凝土施工方面面临诸多挑战。本文结合老挝色拉龙一级水电站碾压混凝土重力坝实际情况, 对其浇筑施工中所面临的主要技术挑战进行分析, 并由分层分仓设计、原料控制、温度控制等方面开展质量控制策略研究, 以期为广大同行提供可靠参考。

关键词

水利工程; 混凝土浇筑; 质量控制; 碾压混凝土; 色拉龙水电站

1 引言

水利工程是一项重要的国家基础设施建设, 其运行是否安全与稳定在很大程度上取决于混凝土结构的质量稳定性。在“走出去”和“一带一路”战略发展背景下, 我国企业在东南亚地区承建了大量水电工程, 其中以老挝色拉龙一级水电站为代表的大型水利枢纽工程, 由于其大坝使用的是碾压混凝土坝体, 对混凝土的浇筑质量提出了较高的要求^[1]。由于混凝土质量控制贯穿于设计、材料、施工及后期维护全过程, 任何一环失控都可能引发结构开裂、渗漏、强度不足等工程隐患。因此, 针对该工程实例开展混凝土浇筑质量控制研究具有现实意义。

2 工程概况

色拉龙一级水电站位于老挝中部的沙湾拿吉省色邦亨河的支流色拉龙河下游河段, 坝址控制流域面积 2879km², 坝址多年平均流量 90.6m³/s。水库正常蓄水位 215.00m, 相应库容 8.81 亿 m³, 死水位 206m, 调节库容 2.84 亿 m³, 具有年调节能力。色拉龙一级水电站以发电为主要开发任务, 采用坝式开发。枢纽工程由枢纽主要建筑物由碾压混凝土重力坝、溢流坝、坝式取水口、坝后式发电厂房、主变 GIS 楼及尾水渠等组成, 是集发电、防洪、水资源调配于一体的多功能工程。

3 混凝土浇筑中的主要技术挑战

3.1 结构复杂与浇筑节奏交叉干扰

色拉龙一级电站采用典型的坝后式布置, 其枢纽建筑物包含碾压混凝土重力坝、溢流坝、导流底孔坝段、坝式进水口以及坝后式厂房等多个结构单元, 工程空间布置集中, 功能结构交错。混凝土浇筑在多个工作面同时推进, 不仅涉

【作者简介】娄彬 (1983-), 男, 中国云南石林人, 本科, 高级工程师, 从事地下硐室群开挖、支护、衬砌及大坝研究。

及常态混凝土和碾压混凝土两种不同类型材料的交替使用,还需协调导流设施、厂房结构和边坡支护施工的作业节奏,极易引发施工段落之间的不连续、施工缝处理不到位及振捣遗漏等问题。

在实际施工时,部分坝段由于受位置的限制而无法布置施工机械,特别是部分空间狭小、边缘部位、狭小仓面的混凝土运送、入仓、振捣等工作较难开展,易出现浇筑不密实或者出现层间冷缝等问题。加之坝体各分区在设计上包括闸墩、止水段、坝基冷却管理设区等不同部位,施工组织相对较为分散,“异步性”问题较多,协调工期的难度较大。随着坝体高程越来越高,部分时段出现左岸右岸坝段分段交叉并行工作情况,且该时段出现厂房上部结构、压力管道埋设以及金属结构预埋件安装等诸多工作与碾压混凝土施工相交叉作业情况,若在此阶段施工衔接不畅,则可能出现强度不足、层间错台、保护层偏薄等问题,从而造成结构质量问题。因此,结构复杂、交叉施工节奏不一致成为了该工程混凝土浇筑质量控制的第一难关。

3.2 原材料稳定性差与配合比设计难度高

本项目所使用的混凝土骨料均取自坝址右岸附近的砂岩料场,虽然料源距离工地近,运输距离短、成本低,但原料地质条件不稳定,项目前期的地质勘察和实际开采发现,砂岩中风化程度参差不齐,砂岩结构较为松散,吸水率高达2.5%-3.0%,压碎指标接近规范允许最大值($\leq 26\%$),部分骨料的含粉量大于5%,对混凝土拌合物和易性和稳定性的产生影响。并且,在混凝土拌合物运往施工现场的过程中以及在后期进行泵送时会产生大量的离析现象,尤其是在炎热天气条件下这一问题会更加显著。除此之外,高含粉量的细集料容易吸附过多水泥浆,导致有效胶结料不足,降低了混凝土早期强度增长速率。为了有效处理上述问题,项目部建立现场试验室,按批次进行质量检测,并及时做好配合比的调整工作,确保出口混凝土的工作性能可以满足泵送或者成型需求。项目部在设计配合比过程中会结合具体部分的性能、温度以及浇筑途径来对骨料级配、水胶比、减水剂种类及用量进行相应调整。对于坝基及溢流堰段,考虑其抗渗性要求较高,所以要严格控制砂率及胶凝材料用量。而碾压混凝土要考虑干密度及水灰比,保证成型后的整体性与抗裂能力。因此,由于骨料原始性能的不稳定性,要使设计、生产、施工等各方面协调一致才能达到理想的状态,这是控制混凝土浇筑质量的又一难题。

3.3 高温气候下的温控难题

色拉龙电站所处的老挝南部属热带季风气候区,年平均气温高,且旱季(即施工高峰期)最高气温常突破 35°C 。此类高温环境使得大体积混凝土在初期水化过程中产生的温升更为迅速,坝体内部与表面之间温差显著,极易导致温度裂缝的产生,尤其是在坝基与坝体核心段、压力管道衬砌及止水结构周围更为显著。大体积结构施工内温峰值一

般会在浇筑后48~72小时内产生,在没有做到及时的冷却、保温措施下,很容易发生内热集中而导致混凝土出现早期开裂问题。在该项目中,为了保证混凝土施工质量,在施工期间采取多项温控手段,如用气温在 4°C 以下冷水拌和混凝土,设置冷却水循环系统,并将冷却水管设于大体积结构内通水降温。项目部现场还安设了自动温度监测系统,并且利用铜电阻温度计时时采集各处关键部位的混凝土内部及表面的温度数据,使整个施工过程的温控均处于监控之下。当温度曲线发现有升温速率偏大或者温差超过限度时,则可采取适当推迟浇筑时间或者增大冷却水流量等方式进行调节,甚至还可以采用覆盖保温等应急措施^[2]。但是,不管如何,针对混凝土施工温度高这一现实问题也必然是需要靠设备配置、调度安排和施工纪律的协同作用才能应对和克服的问题。

4 混凝土浇筑质量控制关键措施

4.1 分区分层设计与入仓路径优化

因为大坝具有体量巨大,结构庞大和浇筑强度大等特点,项目建设采取了“左右岸分区、分层分段、纵横有序”的混凝土施工组织方式。整个坝体按功能划分成若干个独立的施工单元,分别为导流底孔段、非溢流坝段、溢流堰段、进水口段等部分,每个施工单元根据高程控制将坝体分成若干个标准层,每侧坝段布置10~11级人行和垂直运输马道,以便于垂直运输施工设备以及人员通行。对坡比大且落差大的坝段,需科学配备混凝土自卸运输车辆卸料平台、临时料斗以及二次转运皮带系统,使得混凝土可以完成拌合站到入仓点“无滞留、高效能”的连续运输。针对浇筑过程中易出现的非规则施工缝,在各仓面做好水平、垂直施工缝的分隔、停缝的时间控制计划,按不同的坝段施工工艺,在缝前进行清理凿毛、冲洗、二次振捣等处理,保证结构连续性与抗渗性能不受影响。对于重要坝段,需要将铜电阻温度计与温控感应电缆预先埋设其中,以便于对不同深度混凝土的温度上升情况进行动态监测,辅助后期冷却控制、防裂及浇筑过程节奏调整^[3]。

4.2 动态配合比设计与全过程原材检测

色拉龙一级水电站所在区域骨料主要由天然风化砂岩组成,由于采区的不同以及剥离深度不同,骨料粒径组成、含水率以及吸湿性的大小存在着一定的差异性,如果不对骨料进行严格把关,则将会给后续的混凝土施工造成严重的危害。为此项目部实行了覆盖原材料“批次检测—配合比试验—动态修正—参数备案”的闭环控制方式形成质量保障体系。首先,试验室坚持“每车必检、每日汇总”,检测骨料的粒径级配、含泥量、吸水率、压碎值等参数指标,一旦发现不合格材料及时进行退场或者调整配合比方案,以此保证原材料的稳定性。其次,配合比设计过程中,在充分考虑各种因素的基础上,注意将水泥用量和掺合料配比进行重点优化,并尽可能地减少单方水泥使用量,以减少水化热释放速