

# 深厚覆盖层堆石坝面板混凝土提高防裂防渗性能研究

陈建军 林天财

中国水利水电第七工程局有限公司 四川 成都 610213

**摘要:** 通过深入研究了在深厚覆盖层上修筑堆石坝面板混凝土提高防裂防渗性能的关键技术。针对以深厚覆盖层做地基的复杂性和面板混凝土裂缝渗漏的常见问题,从混凝土配比优化、浇筑与养护工艺改进、接缝处理加强以及堆石体压实度和抗渗性能提升等方面,提出系统性的解决方案。通过理论分析、实验室试验和工程实践验证,本文成功探索出了一套提高面板混凝土防裂防渗性能的有效方法,为类似工程的设计和施工提供了重要参考。

**关键词:** 深厚覆盖层; 堆石坝面板混凝土; 防裂性能; 防渗性能

## 1 深厚覆盖层上修筑混凝土面板堆石坝结构特点及工作原理

### 1.1 深厚覆盖层上修筑堆石坝情况概述

在深厚覆盖层上修筑的混凝土面板堆石坝是一种重要的坝型结构,本质上仍是土石坝。由于坝址范围覆盖层较厚全部挖除成本较高,故在设计时仅对与坝体基础部位的覆盖层进行处理。这种坝型因其造价相对较低、施工速度快、抗震性能好等优点,在水利水电工程中得到了广泛应用。深厚覆盖层上修筑堆石坝由堆石体和防渗系统组成,其中堆石体主要起到支撑作用,而防渗系统则负责防止水分渗透,确保坝体的安全性和稳定性。在深厚覆盖层上建设堆石坝,需要特别注意地基处理、坝体稳定性和防渗性能等问题。地基处理方面,需要采用适当的加固措施,如固结灌浆、基础强夯、挖除换填等,以提高地基的承载力和抗渗性能。坝体稳定性方面,需要合理设计堆石体的级配和压实度,以确保坝体在承受水压力、地震力等荷载作用下的稳定性。防渗性能方面,需要通过混凝土面板、趾板等防渗结构,以及周边缝和接缝止水等措施,来确保坝体的防水效果。

### 1.2 混凝土面板的结构特点

混凝土面板是堆石坝的重要组成部分,具有多种结构特点,这些特点共同保证了坝体的防渗性和稳定性。第一,面板的防渗作用。面板位于堆石坝体的上游面,主要起到防渗作用。为了符合坝体变形和施工条件,面板通常需要进行分缝分块处理<sup>[1]</sup>。垂直缝之间的间距一般控制在6~18m之间,以减小面板因温度变化、地基变形等因素产生的裂缝。在两坝肩附近的面板应设张性垂直缝(A缝),以适应较大的变形,其余部分的面板则设压性垂直缝(B缝),以提高面板的整体性和抗裂性能。第二,趾板的连接作用。趾板是连接地基防渗体和面板的混凝土板,其作用是确保面板与河床及岸坡之间的防

水连接。趾板的设计厚度和尺寸需要根据坝体高度、地基条件等因素进行合理选择。趾板不仅起到防水连接的作用,还作为基础帷幕的盖板以及滑模施工的起始工作面,趾板的施工质量对坝体的整体稳定性和防渗性能具有重要影响。在趾板施工中,需要特别注意混凝土的浇筑质量、灌浆帷幕的施工质量以及趾板与面板之间的连接质量等问题。第三,接缝止水措施。为确保坝体的稳固和防水效果,需要在周边接缝处设置止水措施。底部的止水铜片是基本的防渗线,中部和顶部的止水则需视实际情况选择使用铜止水或橡胶材料。顶部的止水系统通常由柔性填料、粉细砂和其他防水材料构成,可使用其中的一种或多种材料。止水铜片下应设置橡胶垫片,以确保防水效果;两侧底角则需设置橡胶止水条和其他止水材料。面板水平缝不需要设置止水,但趾板伸缩缝需要使用铜片、橡胶片进行止水,同时需要与周边缝止水构成封闭系统。这些止水措施共同构成了坝体的防渗体系。为保证铜止水施工质量,异型接头部位全部采用专业厂家厂内定制,不采用现场焊接工艺,确保了坝体的防水效果。第四,防浪墙与面板的水平接缝处理。在设置防浪墙与面板的水平接缝时,需要设置两道止水措施。中间和顶部的止水措施应与相邻接缝的底部止水连接,形成一个封闭的结构。对于接缝周边,可以使用橡胶止水带夹具来连接垂直缝处的底部止水,也可以使用柔性填料塞与垂直缝的底部止水相连接。这些措施有助于进一步提高坝体的防水性能和稳定性。

### 1.3 面板混凝土的工作原理

面板混凝土在深厚覆盖层堆石坝中起到至关重要的作用,其工作原理主要涉及到防渗、抗滑稳定性和抗震性能等方面。(1) 防渗原理: 面板混凝土通过其高抗渗性能和良好的施工质量,有效地阻止了水分渗透到坝体内部。当水库水位上升时,面板承受水压力的作用,但

由于其强度高和抗裂性能好,面板能够保持完整并防止水分通过裂缝渗透到坝体内部。趾板和周边接缝处的止水措施也起到了重要的防水作用,确保了坝体的整体防渗性能。(2)抗滑稳定性原理:面板坝具有良好的抗滑稳定性。从结构上看,坝体堆石全部位于面板下游,堆石重量及面板上部水体重量均起到抵抗水平水推力的作用。此外,薄层碾压得到的高密实度的堆石体具有较高的抗剪强度,能够抵抗坝体在水压力作用下的滑动。这些因素共同保证了坝体在承受水压力作用下的稳定性<sup>[2]</sup>。(3)抗震性能原理:面板坝具有良好的抗震性能。堆石体具有良好的排水性能,一般处于无水状态,因此不会因地震形成空隙水压力。此外,高密实度的堆石体在地震作用下产生的变形也很小,能够保持坝体的整体稳定性。虽然地震可能导致面板裂缝而引起坝体渗漏增加,但由于面板混凝土的高抗渗性能和止水措施的作用,这些渗漏通常不会对坝体的整体稳定性造成严重影响。

## 2 面板混凝土裂缝与渗漏的原因分析

### 2.1 裂缝产生的原因

#### 2.1.1 温度应力

面板混凝土在浇筑和硬化过程中,由于水泥水化热的释放,会产生大量的热量,导致混凝土内部温度升高。当内部温度与外部环境温度存在差异时,会产生温度梯度,进而产生温度应力。若温度应力超过混凝土的抗拉强度,就会导致裂缝的产生,面板混凝土在终凝后,随着水化热的消散,混凝土会逐渐冷却并收缩,这种收缩也会增加裂缝的风险。

#### 2.1.2 地基变形

面板堆石坝修筑在深厚覆盖层上,地基本身较为复杂,可能存在不均匀沉降、软弱夹层等问题。这些地基变形会导致面板混凝土受到不均匀的支撑力,从而产生裂缝。特别是在地基处理不彻底或加固措施不到位的情况下,地基变形对面板混凝土裂缝的影响更为显著。

#### 2.1.3 施工因素

施工过程中的一些不当操作也可能导致面板混凝土裂缝的产生。例如,混凝土浇筑过程中的振捣不均匀、模板支撑不牢固等,都可能导致混凝土内部应力分布不均,进而产生裂缝;混凝土养护不当,如养护时间不足、养护温度控制不当等,也会影响混凝土的强度和抗裂性能。

#### 2.1.4 堆石体变形

堆石体在水库蓄水后的压密变形、湿陷变形等,也会对面板混凝土产生压力,导致裂缝的产生。特别是在堆石体级配不合理、压实度不足或地基处理不当的情况

下,堆石体的变形会更加显著,对面板混凝土的影响也会更大<sup>[3]</sup>。

## 2.2 渗漏的原因分析

### 2.2.1 裂缝渗漏

裂缝是面板混凝土渗漏的主要途径之一。当面板混凝土产生裂缝后,水会通过裂缝渗透到坝体内部。裂缝渗漏的严重程度取决于裂缝的宽度、深度和长度,以及裂缝与周围环境的连通性。裂缝宽度越大、深度越深、长度越长,渗漏的风险就越大。

### 2.2.2 止水措施失效

面板混凝土的止水措施,如止水铜片、橡胶止水带等,如果施工不当或质量不合格,就会导致止水措施失效。止水焊接不牢固、破损等,都会导致止水效果降低或丧失。此外,止水措施与面板混凝土之间的粘结不良,也会导致止水失效。

### 2.2.3 地基渗漏

地基处理不彻底或存在软弱夹层等问题,会导致地基渗漏。地基渗漏不仅会降低坝体的防渗性能,还可能对坝体的稳定性和安全性造成威胁。特别是在地基存在地下水流动或渗透压较大的情况下,地基渗漏的风险会更大。

### 2.2.4 施工接缝处理不当

面板混凝土在施工过程中,通常分两期或三期施工完成,分期之间或混凝土浇筑过程中发生特殊情况会设置施工接缝。如果施工接缝处理不当,如接缝处混凝土振捣不密实、接缝面未清理干净等,就会导致接缝处成为渗漏的薄弱点。特别是在接缝处使用止水材料时,如果止水材料的安装、焊接等工艺不到位,也会增加渗漏的风险。

## 3 提高面板混凝土防裂防渗性能的技术措施

### 3.1 优化混凝土配比与材料选择

提高面板混凝土防裂防渗性能的首要技术措施在于优化混凝土配比与合理选择材料。混凝土的性能直接受到其组成材料及其配比的影响,通过科学的配比和优质的材料选择,可以显著提升面板混凝土的抗裂性和防渗性。选用低热水泥是减少混凝土内部温升、降低温度应力的有效手段<sup>[4]</sup>。低热水泥水化热较低,能显著减少混凝土在硬化过程中的温度峰值,从而降低因温度应力导致的裂缝风险,掺加适量的外加剂,如减水剂、缓凝剂等,可以进一步优化混凝土的工作性能,减少用水量,提高混凝土的密实度和强度,从而增强抗裂防渗能力。骨料的选择对混凝土的性能有着重要影响。选择级配良好、质地坚硬、含泥量低的骨料,可以提高混凝土的强

度和耐久性,减少裂缝的产生;合理掺加粉煤灰、抗裂剂、纤维等掺合料,不仅可以降低混凝土的水化热,还能改善混凝土的和易性,提高抗渗性能。通过调整混凝土的配合比,如适当提高水泥用量、降低水灰比、增加砂率等,可以进一步提高混凝土的密实度和强度,减少孔隙率,从而增强抗渗性能。但需注意,过高的水泥用量可能增加水化热,导致温度裂缝,因此需综合考虑各种因素,确定最优配合比。

### 3.2 改进浇筑与养护工艺

浇筑与养护工艺是影响面板混凝土质量的关键因素之一。通过改进浇筑工艺和加强养护管理,可以显著降低裂缝和渗漏的风险。面板混凝土采用低坍落度,自卸车水平运输,溜槽垂直入仓,滑模工艺浇筑的方式,以避免因水含量大而产生裂缝。同时,应加强振捣,确保混凝土内部密实无空隙,减少渗漏通道。振捣应均匀、充分,避免过振或漏振,以保证混凝土的质量。浇筑温度对混凝土内部温升和温度应力有着重要影响。在高温季节浇筑时,应采取降温措施,如使用冷水拌合、搭设遮阳棚等,以降低混凝土入仓温度。在低温季节浇筑时,则需采取保温措施,如覆盖保温材料、加热水拌合等,以防止混凝土受冻。养护是混凝土强度增长的重要过程,对混凝土的性能有着决定性影响。应加强混凝土的早期养护,保持混凝土表面湿润,避免水分过快蒸发导致干缩裂缝。养护时间应根据天气条件、混凝土强度等因素综合考虑,一般不少于90天,或一直养护到蓄水前。还应注意养护期间的温度和湿度控制,以创造有利于混凝土强度增长的环境条件。

### 3.3 加强面板与堆石体之间的接缝处理

面板与堆石体之间的接缝是渗漏的薄弱环节之一。目前接缝处一般采用挤压边墙,面板混凝土浇筑前需对挤压边墙上游面进行平整度处理,达到规范要求的+5cm~8cm之间。通过加强接缝处理,可以显著提高面板混凝土的防渗性能。接缝的设计应充分考虑坝体的变形特性和渗漏风险。应采用合理的接缝形式和尺寸,如设置止水带、嵌缝材料等,以提高接缝的防渗性能,还应注意接缝的布置位置,避免将接缝设置在应力集中区域或易受冲刷部位<sup>[5]</sup>。接缝的施工质量对防渗效果有着重

要影响,应加强接缝处的混凝土浇筑和振捣,确保混凝土与接缝材料紧密结合,还应注意接缝材料的选用和安装工艺,如止水带的焊接、嵌缝材料的填充等,以确保接缝的密封性和耐久性。

### 3.4 提高堆石体的压实度与抗渗性能

堆石体的压实度和抗渗性能对面板混凝土的防裂防渗性能有着重要影响。通过提高堆石体的压实度和抗渗性能,可以进一步降低渗漏风险。堆石体的级配和压实工艺是影响其压实度和抗渗性能的关键因素。应合理选择堆石材料的粒径分布和级配比例,以提高堆石体的密实度和稳定性。同时,还需采用合适的压实参数,如振动碾型号、碾压遍数、行走速率、铺料厚度、加水量等,对堆石体进行充分压实,以提高其压实度和抗渗性能。对于坝基深厚覆盖层中存在的软弱夹层或透水层,应采取防渗处理措施,如设置防渗帷幕、注浆加固、挖除换填等,以提高堆石体的整体抗渗性能。同时,还应注意堆石体与面板混凝土之间的接触面处理,如设置垫层、涂刷防水涂料等,以增强接触面的密封性和抗渗性能。

### 结束语

本文通过对在深厚覆盖层上修筑堆石坝面板混凝土防裂防渗性能的研究,不仅揭示了裂缝渗漏产生的根本原因,还提出了一系列针对性的技术措施。这些措施在理论上是可行的,在实践中也取得了显著成效。未来,随着相关技术的不断发展和完善,有理由相信,面板混凝土的防裂防渗性能将得到进一步提升,为水利水电工程的安全运行提供更加坚实的保障。

### 参考文献

- [1]颜维江,杜昱.关于水利工程施工中防渗技术的应用分析[J].中国设备工程,2021(10):176-177.
- [2]朱成.防渗技术在水利工程施工中的应用[J].建材发展导向,2021,19(08):85-86.
- [3]吴广清.水利工程中防渗施工技术的应用研究[J].建筑技术开发,2020(10):23-24.
- [4]谢玉杰,张光碧,冯锦德,等.混凝土面板堆石坝裂缝的成因及对策探讨[J].四川水力发电,2021,26(5),76-78,132.
- [5]苗延强,史文才,马明哲.梨园混凝土面板堆石坝面板混凝土施工技术[J].水力发电,2021,41(5),80-83.