

混凝土面板堆石坝防渗处理措施研究

李亚威

云南大唐国际文山水电开发有限公司 云南 文山 663000

摘要: 混凝土面板堆石坝防渗体系由面板、接缝、坝基及岸坡防渗结构构成, 防渗效果受材料性能、施工工艺及地质条件影响。本文系统梳理面板材料优化、接缝止水构造、坝基帷幕灌浆等防渗措施, 提出施工质量控制要点, 包括原材料检验、过程监测及成品检测, 为保障坝体防渗性能、提升结构稳定性提供技术支撑。

关键词: 混凝土面板堆石坝; 防渗处理; 渗漏问题; 施工工艺; 质量控制

引言: 混凝土面板堆石坝因适应性强、造价低, 广泛应用于高水头水利枢纽工程。然而, 坝体结构复杂, 面板裂缝、接缝渗漏及坝基不良地质等问题易引发渗漏风险, 威胁工程安全。本文基于防渗体系协同原理, 从材料选择、结构优化及施工控制三方面探讨防渗处理技术, 为同类工程防渗设计提供理论依据与实践参考。

1 混凝土面板堆石坝结构与渗漏问题

1.1 坝体结构特点

混凝土面板堆石坝由多个功能明确的结构层协同工作。混凝土面板位于坝体上游面, 作为防渗的首道屏障, 直接与库水接触。其材料以抗渗性良好的混凝土为主, 通过连续浇筑形成完整的防渗表面, 承受库水压力并阻止水流渗入坝体内部。面板厚度沿坝高变化, 顶部较薄、底部较厚, 这种设计既能保证防渗性能, 又能合理分配应力^[1]。垫层区紧邻混凝土面板, 采用级配良好的细石料填筑。该区域作用是为面板提供均匀支撑, 同时具有一定的排水功能, 防止面板底部积水产生扬压力。垫层料颗粒细小且密实, 粒径过渡均匀, 可有效阻止堆石区颗粒进入面板底部, 避免因不均匀沉降导致面板破坏。过渡区位于垫层区与堆石区之间, 其材料粒径介于两者之间。过渡区的存在确保不同粒径的坝料间实现平稳过渡, 防止垫层料被堆石颗粒刺破, 维持坝体结构稳定。过渡区对垫层区的排水功能起到辅助作用, 保障坝体内部渗水顺利排出。堆石区作为坝体的主体部分, 占据坝体大部分体积。采用开挖石料或爆破石料填筑, 利用石料的大粒径和高孔隙率特性, 提供强大的承载能力和抗剪强度。堆石区的填筑质量直接影响坝体的整体稳定性, 石料的强度、级配和压实度需严格控制, 以满足大坝受力要求。

1.2 常见渗漏部位与原因

混凝土面板裂缝是常见渗漏源。面板在施工过程中, 若混凝土配合比不合理, 水泥水化热过高易引发温

度裂缝; 浇筑振捣不密实或养护不到位, 会产生收缩裂缝。运行期间, 库水位频繁升降、坝体不均匀沉降, 使面板承受复杂应力, 导致裂缝扩展。这些裂缝为库水渗漏提供通道。面板与趾板接缝处也易发生渗漏。趾板嵌入基岩, 是连接面板与坝基的关键结构。接缝止水材料若存在质量缺陷, 如止水铜片厚度不足、橡胶止水带老化, 或止水安装工艺不达标, 未能完全密封接缝, 库水便会沿缝隙渗入坝体。施工时接缝处理不当, 如填充料不密实, 也会形成渗漏隐患。坝基及岸坡渗漏与地质条件紧密相关。若坝基地质存在断层、破碎带等不良地质体, 未进行有效处理, 库水易通过这些薄弱部位渗透。岸坡岩体完整性差、裂隙发育, 同样为渗漏创造条件。坝基帷幕灌浆若未达到设计深度或灌浆质量不佳, 无法形成连续有效的防渗帷幕, 会导致坝基渗漏。施工中坝体与岸坡结合部位处理不规范, 存在架空或松散区域, 也会加剧渗漏风险。

2 混凝土面板堆石坝防渗要求

2.1 防渗性能指标

防渗材料的性能直接决定混凝土面板堆石坝的防渗效果。抗渗性是衡量防渗材料的核心指标, 对于混凝土面板而言, 需具备足够的密实度以抵御库水压力^[2]。面板混凝土通过优化配合比, 控制水灰比和骨料级配, 减少内部孔隙率, 降低渗水通道形成的可能性。同时采用掺加矿物掺合料如粉煤灰、硅灰等方式, 改善混凝土微观结构, 进一步提升抗渗能力。耐久性指标关乎防渗材料的长期有效性, 面板长期处于干湿交替、冻融循环等复杂环境, 材料需具备抗侵蚀、抗碳化和抗冻性能。例如, 通过添加外加剂提高混凝土抗冻标号, 防止冻胀破坏; 选择耐腐蚀性强的止水材料, 避免因化学侵蚀导致止水失效。这些性能指标相互关联, 共同保障坝体防渗功能稳定, 若某一指标不达标, 会加速其他性能劣化, 削弱整体防渗效果。

2.2 防渗系统设计原则

整体性原则要求防渗系统将混凝土面板、趾板、止水结构及坝基防渗措施视为有机整体。面板与趾板的连接需确保无缝衔接，止水结构在接缝处形成连续密封，坝基帷幕灌浆与面板底部防渗体系贯通，避免出现渗漏薄弱环节。各部分材料特性、施工工艺相互匹配，保证应力传递顺畅，共同抵御库水渗透。可靠性原则强调防渗系统在设计使用年限内稳定运行。设计时充分考虑坝体可能面临的极端工况，如超标准洪水、地震等，预留足够安全储备。选用成熟可靠的防渗材料和施工技术，对关键部位如面板接缝、坝基防渗体进行冗余设计，即使部分结构出现损坏，仍能维持基本防渗功能。经济性原则要求在满足防渗要求前提下，合理控制成本。优化防渗材料选型，在保证性能的基础上选择性价比高的材料；简化施工工艺，减少不必要的工序和复杂构造，降低施工难度与成本。应综合考虑防渗系统全生命周期成本，平衡初期建设投入与后期维护费用，实现经济效益与防渗效果的统一，确保防渗系统与坝体结构长期协同工作。

3 混凝土面板堆石坝防渗处理措施

3.1 混凝土面板防渗

3.1.1 材料选择与配比优化

混凝土面板作为坝体防渗的核心屏障，原材料特性直接影响其防渗性能。水泥作为胶凝材料，需选用水化热低、抗硫酸盐侵蚀能力强的品种，减少因水化热过高产生的温度裂缝，抵御库水对混凝土的化学侵蚀。骨料的级配与品质同样关键，粗骨料宜选用质地坚硬、清洁的碎石，严格控制针片状颗粒含量，确保骨料间形成良好的嵌挤结构；细骨料则需关注细度模数，中粗砂更有利于提高混凝土密实度^[3]。掺合料的使用可显著改善混凝土性能，粉煤灰能降低水泥水化热，填充混凝土内部孔隙；硅灰具有高火山灰活性，可细化混凝土微观结构，提升抗渗性。配合比设计是提升面板防渗性能的重要环节。通过精确控制水灰比，在满足施工和易性的前提下尽量降低用水量，减少混凝土硬化后的孔隙率。合理调整骨料级配，优化砂率，使骨料形成紧密堆积，降低混凝土内部渗水通道。添加高效减水剂可在保持流动性的同时进一步降低水灰比，提升混凝土强度与抗渗性；引气剂则通过引入微小气泡，改善混凝土的抗冻性能，增强其在复杂环境下的耐久性。

3.1.2 施工工艺控制要点

面板浇筑的分层分块直接关系到施工质量与防渗效果。分层厚度需根据混凝土浇筑能力、设备性能及温控

要求确定，过厚易导致振捣不密实，过薄则增加施工缝数量。合理划分浇筑块，设置伸缩缝，可有效释放混凝土收缩应力，避免裂缝产生。浇筑过程中，振捣密实是关键环节，振捣棒需快插慢拔，确保混凝土内部气泡充分排出，防止蜂窝、麻面等缺陷形成渗水通道。振捣时间与间距需严格把控，避免过振导致骨料下沉、水泥浆上浮，破坏混凝土均匀性。表面处理对面板防渗至关重要。混凝土初凝前进行表面抹压，可消除表面浮浆与塑性裂缝，提升表面密实度。采用机械抹光或人工压光工艺，确保面板表面平整光滑，减少水流冲刷对面板的破坏。及时进行养护工作，通过覆盖土工布、喷洒养护剂等方式，保持混凝土表面湿润，延缓水分蒸发，促进水泥充分水化，提高混凝土强度与抗渗性能。

3.2 接缝防渗处理

3.2.1 面板与趾板接缝防渗

面板与趾板接缝处的防渗是防止库水渗漏的关键部位。止水材料的选择与布置方式决定防渗效果。常用止水材料包括止水铜片、橡胶止水带和塑料止水带等。止水铜片具有良好的延展性与抗腐蚀性，适用于重要部位的止水；橡胶止水带弹性好，能适应较大变形；塑料止水带则具有成本低、安装方便的特点。止水结构设计需形成多道防线，通常采用“止水铜片+橡胶止水带+沥青玛蹄脂”的组合形式，止水铜片布置在接缝中部，橡胶止水带位于顶部，沥青玛蹄脂填充缝隙，确保接缝处形成连续、可靠的防渗体系。施工过程中，止水材料的安装精度要求极高，止水铜片的搭接长度、焊接质量，橡胶止水带的固定方式等，均需严格按照设计要求执行，避免因止水失效导致渗漏。

3.2.2 面板分缝防渗

面板伸缩缝和沉降缝的止水构造直接影响面板防渗性能。伸缩缝用于释放混凝土温度变形应力，沉降缝则应对坝体不均匀沉降。止水构造通常采用“止水带+填缝材料”的形式。止水带需具备良好的弹性与耐老化性能，适应缝隙开合变形。填缝材料选择需兼顾密封性与柔韧性，常用的有闭孔泡沫板、聚硫密封胶等。闭孔泡沫板具有良好的压缩回弹性能，可填充缝隙；聚硫密封胶则具有优异的粘结性与耐水性，用于密封缝隙表面。施工时，需确保填缝材料填充充实，与止水带、混凝土表面紧密结合，防止库水沿缝隙渗入坝体内部。

3.3 坝基与岸坡防渗

3.3.1 坝基防渗处理

帷幕灌浆是坝基防渗的主要手段，通过向坝基岩体注入水泥浆液或化学浆液，形成连续的防渗帷幕，截断

渗水通道。对于裂隙发育、透水性强的岩体,采用水泥-水玻璃双液浆,利用其快速凝固特性封堵大裂隙;对于细微裂隙,则选用超细水泥浆或化学浆液,提高灌浆效果。固结灌浆可增强坝基岩体整体性与强度,降低岩体渗透性。根据坝地质条件,合理确定灌浆孔深度、间距与排数,确保灌浆范围覆盖整个防渗区域。在岩溶发育地区,需采用特殊的防渗处理方法,如溶洞填充、高压喷射灌浆等,形成复合防渗体系,保障坝基防渗安全。

3.3.2 岸坡防渗处理

岸坡开挖修整是防渗的基础工作,需清除表面松散岩体、植被,确保岸坡岩体稳定。对于风化破碎岩体,采用锚杆、挂网喷混凝土等措施进行加固。防渗墙设置为解决岸坡渗漏的有效方法,通过在岸坡内建造混凝土防渗墙,截断渗水通道。防渗墙深度需嵌入基岩一定深度,确保与坝基防渗体系衔接。施工过程中,严格控制防渗墙的垂直度与墙体质量,避免出现夹泥、蜂窝等缺陷。同时对岸坡与坝体结合部位进行特殊处理,采用渐变式过渡结构,保证防渗系统的连续性,防止库水从岸坡部位渗漏。

4 防渗处理施工要点与质量控制

4.1 施工工艺要点

混凝土面板堆石坝防渗处理施工中,各部位施工顺序对防渗效果起决定性作用。坝基防渗施工作为首要环节,需在坝体填筑前完成帷幕灌浆与固结灌浆。帷幕灌浆沿坝轴线向两岸推进,分层分段钻孔,确保孔位精准、孔径与孔深符合设计标准,注入的浆液在地基裂隙中扩散凝结,形成连续防渗帷幕;固结灌浆针对坝基表层岩石,增强其整体性与承载能力,为坝体构筑稳定基础。坝体填筑时,垫层区、过渡区与堆石区依设计层级有序施工。垫层区紧邻面板,需严格筛选填筑材料,精准控制级配,保证密实度,为面板提供均匀稳定的支撑;过渡区与堆石区施工着重与垫层区衔接,防止材料混杂,确保坝体结构稳定。待坝体填筑至预定高程,方可开展面板施工^[4]。面板采用分层分块浇筑,合理规划浇筑块尺寸,相邻块间预留伸缩缝;浇筑过程中,根据混凝土坍落度与浇筑厚度,选用适配的振捣设备,保证振捣密实,避免蜂窝、麻面等缺陷;浇筑完成后及时进行抹面、压光处理,提升面板表面平整度与抗渗性能。特殊环境对施工技术提出更高要求。高温环境下,通过对原材料降温、安排夜间浇筑等措施,降低混凝土入仓温

度;低温环境时,采用暖棚法或覆盖保温材料,做好混凝土保温养护,防止冻害;雨季施工则加强现场排水,避免雨水冲刷混凝土,保障浇筑质量不受影响。

4.2 质量控制方法

原材料检验是质量把控的首要环节。混凝土面板原材料包括水泥、骨料、外加剂等。水泥需检验强度、凝结时间、安定性等指标,确保符合设计要求;骨料严格控制含泥量、泥块含量、颗粒级配;外加剂根据其功能进行适应性检验。止水材料检验重点关注止水带物理力学性能,如拉伸强度、撕裂强度、硬度等,保证止水效果。施工过程监测贯穿整个防渗处理施工。坝基灌浆施工中,监测灌浆压力、注入率等参数,判断灌浆效果;坝体填筑过程监测每层填筑厚度、压实度,通过环刀法或灌砂法检测;面板浇筑时,监测混凝土坍落度、入仓温度、浇筑速度,观察振捣情况,及时调整施工参数。成品质量检测在施工完成后进行。面板混凝土强度检测采用钻孔取芯、无损检测等方法,验证混凝土强度是否达标;面板裂缝检测通过目视检查与仪器检测相结合,及时发现裂缝并采取处理措施。止水结构检测检查止水带安装位置是否准确、连接是否牢固,对止水带与混凝土结合部位进行密实性检查。通过原材料检验、施工过程监测、成品质量检测多环节把控,保障混凝土面板堆石坝防渗处理施工质量。

结束语

混凝土面板堆石坝的防渗处理是保障其长期稳定运行的关键环节。通过优化材料选择、规范施工工艺、强化接缝止水以及完善基础与岸坡防渗体系,可有效提升整体防渗性能。在实际工程中,还需结合地质条件与环境因素,科学制定防渗方案,并加强施工全过程的质量控制,确保防渗体系的安全可靠。

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] 杨万高.混凝土面板堆石坝高强度填筑施工技术管理[J].智能城市,2021,7(7):133-134.