

混凝土重力坝防水防渗工程设计探讨

周 展

洛阳水利勘测设计有限责任公司 河南 洛阳 471000

摘 要: 本文聚焦混凝土重力坝防水防渗设计, 阐述其核心原则为“预防为主、防治结合、因地制宜、经济合理”。分别从坝体、坝基、坝肩三方面展开设计要点分析: 坝体注重混凝土自身性能提升、裂缝与分缝处理; 坝基强调防渗帷幕、排水系统及接触面设计; 坝肩关注岩体防渗、排水及与坝体连接部位设计。通过综合运用这些设计措施, 可构建完整有效的防水防渗体系, 保障大坝安全稳定运行。

关键词: 混凝土重力坝; 防水防渗; 坝体设计; 防渗设计

引言: 混凝土重力坝作为重要的水利工程结构, 在防洪、发电、灌溉等方面发挥着关键作用。其安全稳定运行依赖于可靠的防水防渗设计, 一旦发生渗水问题, 将威胁大坝结构安全, 影响其功能发挥。防水防渗设计是一个复杂且系统的工程, 涉及坝体、坝基、坝肩等多个部位, 需综合考虑多种因素。不同部位具有不同的地质条件和结构特点, 对防水防渗的要求和措施也有所差异。因此, 深入研究混凝土重力坝各部位的防水防渗设计, 根据实际情况制定科学合理的设计方案, 对于保障大坝安全、提高工程效益具有重要意义。本文将围绕混凝土重力坝防水防渗设计展开探讨, 分析其核心原则, 阐述坝体、坝基、坝肩等部位的防水防渗设计要点。

1 混凝土重力坝防水防渗设计的核心原则

在混凝土重力坝的建设中, 防水防渗工程设计是保障大坝安全稳定运行的关键环节, 其设计需严格遵循“预防为主、防治结合、因地制宜、经济合理”的核心原则, 全面兼顾防水防渗效果、工程经济性以及施工可行性。(1) “预防为主”原则强调在设计阶段就要具备前瞻性思维, 提前精准预判可能存在的渗水隐患。通过科学合理的结构设计, 如优化坝体断面形式、设置合理的排水系统等; 精心挑选合适的材料, 选用抗渗性能优良的混凝土; 严格控制施工工艺, 确保混凝土浇筑质量, 从源头上最大程度减少渗水通道的产生, 避免在大坝建成后出现渗水问题再耗费大量人力、物力进行补救。(2) “防治结合”原则要求在设计时既要构建完善的主动防渗体系, 采用如防渗墙、帷幕灌浆等技术阻挡渗水的渗透; 又要设置有效的被动防水措施, 如设置排水孔、排水廊道等, 及时排出渗入的少量水体, 防止渗水积聚对坝体造成侵蚀和破坏。(3) “因地制宜”原则指出要充分考虑大坝所处区域独特的水文地质条件, 如地下水位、土层渗透性等, 以及坝体自身的结构形式, 选择与之适配的防水防渗技术和

材料, 切不可盲目照搬其他工程的统一模式。(4) “经济合理”原则要求在确保防水防渗效果达到设计要求的前提下, 对设计方案进行优化, 合理控制工程投资, 实现防水防渗效果与经济性的最佳平衡。同时, 防水防渗设计还需兼顾坝体结构稳定性, 确保其与坝体受力设计相互协调, 共同保障大坝的安全运行^[1]。

2 混凝土重力坝坝体防水防渗设计

2.1 坝体混凝土自身防水设计

坝体混凝土自身的抗渗性能是防水防渗的基础, 其设计核心在于提升混凝土的密实度和抗渗等级, 减少混凝土内部孔隙, 阻断渗水通道。在混凝土配合比设计中, 需合理选择水泥、骨料、掺合料及外加剂, 优先选用水化热低、抗渗性能好的水泥品种, 控制骨料的级配和含泥量, 掺入适量的粉煤灰、矿渣等掺合料, 改善混凝土的和易性和密实度; 同时, 添加高效缓凝型防水剂、引气剂等外加剂, 减少混凝土收缩裂缝, 提升混凝土的抗渗、抗冻性能。混凝土的抗渗等级需根据大坝的水头高度、水文条件等因素确定, 确保混凝土能够抵御相应水压下的渗水渗透。此外, 需严格控制混凝土的施工质量, 加强搅拌、运输、浇筑、振捣及养护等各环节的管控, 避免出现蜂窝、麻面、裂缝等缺陷, 确保混凝土结构的完整性和抗渗性。

2.2 坝体裂缝防水防渗设计

混凝土重力坝在施工和运行过程中, 受温度变化、收缩变形、受力不均等因素影响, 易产生裂缝, 而裂缝是渗水的主要通道, 因此裂缝的防水防渗设计是坝体防水防渗的关键环节。设计中需提前预判裂缝的产生位置和类型, 采取针对性的防控措施。对于施工过程中可能出现的收缩裂缝, 通过优化混凝土配合比、控制浇筑温度、加强养护等方式减少裂缝产生; 对于运行过程中可能出现的受力裂缝, 通过合理的结构设计, 优化坝体受力分布,

减少局部应力集中。对于已产生的裂缝,需根据裂缝的宽度、深度和位置,选择合适的处理方式,常用的处理方法包括表面封堵法、嵌缝填堵法、灌浆加固法等。表面封堵法适用于宽度较小、深度较浅的裂缝,通过涂抹防水涂层、铺设防水卷材等方式封堵裂缝表面,阻止渗水渗入;嵌缝填堵法适用于宽度较大的裂缝,在裂缝内嵌入防水密封材料,填充裂缝空隙,实现防水防渗;灌浆加固法适用于深度较大、影响坝体结构安全的裂缝,通过注入防水灌浆材料,填充裂缝内部,同时提升裂缝周边混凝土的强度和整体性^[2]。

2.3 坝体分缝防水防渗设计

混凝土重力坝为适应温度变化和施工需求,通常会设置横缝、纵缝等结构分缝,分缝处是坝体防水防渗的薄弱环节,需进行专门的防水防渗设计。横缝是垂直于坝轴线的缝,主要用于释放混凝土的温度应力,横缝的防水防渗设计需根据横缝的类型选择合适的方式,对于永久性横缝,需设置止水装置,常用的止水装置包括铜片止水、橡胶止水带等,止水装置需嵌入缝内,确保与混凝土紧密结合,阻断渗水通道;对于临时性横缝,在施工完成后需进行灌浆处理,填充缝内空隙,实现防水防渗。纵缝是平行于坝轴线的缝,主要用于方便施工分块,纵缝的防水防渗设计与横缝类似,需设置止水装置,并在施工完成后进行灌浆封闭,确保纵缝处不发生渗水。此外,分缝处的混凝土浇筑需加强振捣,确保止水装置周边混凝土密实,避免出现缝隙,影响防水防渗效果。

3 混凝土重力坝坝基防水防渗设计

3.1 坝基防渗帷幕设计

坝基是混凝土重力坝的承载基础,也是渗水容易渗透的部位,坝基防渗帷幕设计是阻挡坝基渗水的核心措施,其核心是在坝基设置一道连续的防渗帷幕,减少坝基渗流量,降低坝基扬压力。防渗帷幕通常采用灌浆形成,灌浆材料需选择抗渗性好、强度高、凝固速度快的材料,常用的灌浆材料包括水泥浆、水泥黏土浆等。防渗帷幕的布置需结合坝基的水文地质条件,通常设置在坝轴线附近,帷幕的深度需穿透坝基的透水层,延伸至不透水层一定深度,确保能够有效阻挡渗水渗透;帷幕的厚度需根据坝基透水程度、水头高度等因素确定,确保帷幕的抗渗能力满足设计要求。灌浆施工过程中,需严格控制灌浆压力、灌浆量和灌浆顺序,确保灌浆质量,使防渗帷幕形成连续、完整的防渗屏障^[3]。

3.2 坝基排水系统设计

在混凝土重力坝工程中,坝基排水系统设计与防渗帷幕设计紧密配合、相辅相成,共同构建起坝基可靠的

防水防渗体系。坝基排水系统的主要功能在于及时排出经防渗帷幕拦截后仍少量渗入的渗水,以此有效降低坝基扬压力。过高的扬压力会对坝体产生向上托举力,威胁大坝稳定,同时减少渗水对坝基的侵蚀,全方位保护坝基结构安全。

坝基排水系统主要由排水孔、排水廊道等关键设施构成。排水孔一般布置在防渗帷幕的下游侧,可垂直于坝基表面或呈一定倾斜角度布置。其孔径和孔距需综合考量坝基渗流量、透水程度等关键因素科学确定,确保能高效排出渗水。排水廊道通常设置于坝基内部,与排水孔相连通,将各排水孔排出的渗水汇集后导出坝外。其断面尺寸要兼顾施工便利性与排水需求,且廊道内壁需做好防水处理,防止自身出现渗水问题。此外,还需定期对排水系统进行清理和维护,保障排水畅通,避免堵塞引发渗水积聚,危及坝基安全。

3.3 坝基接触面防水防渗设计

在混凝土重力坝的防水防渗体系里,坝体与坝基的接触面是极易发生渗水渗透的关键薄弱部位。由于坝体所采用的混凝土与坝基的岩体在材质特性上存在显著差异,这导致二者之间的结合面往往难以达到完全紧密贴合,极有可能存在缝隙,而这些缝隙就会成为渗水肆意通过的通道,对大坝的安全稳定运行构成严重威胁。基于此,在设计中必须高度重视对坝基接触面的防水防渗处理。首先要对坝基接触面进行细致清理,彻底清除接触面上的浮渣、杂物以及松动岩体,保证接触面平整、洁净,为后续处理奠定良好基础。接着,在接触面铺设一层水泥砂浆或混凝土垫层,以此增强坝体与坝基之间的结合力,有效减少缝隙的产生。此外,还可在接触面设置止水装置,像止水铜片、橡胶止水带等,进一步阻断渗水路径。对于坝基岩体存在裂隙的部位,要提前实施灌浆处理,填充裂隙,提升岩体的抗渗性能,全方位确保接触面的防水防渗效果。

4 混凝土重力坝坝肩防水防渗设计

4.1 坝肩岩体防渗设计

在混凝土重力坝工程中,坝肩作为大坝与两岸山体的连接关键部位,其防水防渗设计至关重要。由于两岸山体的岩体内部往往存在裂隙、孔隙等天然透水通道,一旦这些通道连通,渗水便会沿着它们从坝肩处渗入坝体内部,对大坝的结构安全和正常运行构成严重威胁,所以坝肩岩体防渗设计是整个防水防渗体系不可或缺的重要组成部分^[4]。

在设计过程中,首先要对坝肩岩体展开全面且细致的勘察工作,精确掌握岩体的透水程度、裂隙的分布走

向与发育规模等关键信息。基于勘察结果,针对不同特性的岩体采取差异化防渗措施。对于透水程度相对较弱的岩体,可采用喷混凝土加固的方法,将混凝土均匀喷涂在岩体表面,有效封闭其表面的细微裂隙,从而减少渗水的渗透路径;而对于透水程度较强、裂隙发育较为密集的岩体,则需设置防渗帷幕,通过高压灌浆技术填充裂隙,构建起一道可靠的防渗屏障,且该防渗帷幕要与坝体、坝基的防渗帷幕相互连接,形成完整统一的防渗体系。

4.2 坝肩排水设计

在混凝土重力坝工程里,坝肩排水设计是保障大坝安全稳定运行的关键环节之一。其核心目的在于及时排出渗入坝肩岩体的少量渗水,有效降低坝肩岩体所承受的渗透压力。若渗透压力过大,岩体易在渗水的长期侵蚀下发生变形、破坏,进而影响大坝整体结构安全。

坝肩排水系统一般与坝基排水系统紧密相连,主要由排水孔、排水沟等设施构成。排水孔通常布置在坝肩岩体的下游侧,沿着坝肩的轮廓线均匀分布。其孔径和孔距需依据岩体的渗流量进行科学确定,以此保证排水畅通无阻。排水沟则设置在坝肩与山体的连接部位,它的作用是将排水孔排出的渗水有效汇集起来,随后导入坝基排水廊道,最终将渗水导出坝外。不仅如此,为确保坝肩排水系统始终处于良好的运行状态,还需对其进行定期维护,及时清理堵塞的排水孔和排水沟,防止因排水不畅导致坝肩岩体出现安全隐患,保障大坝长期安全运行。

4.3 坝肩与坝体连接部位防水防渗设计

在混凝土重力坝工程中,坝肩与坝体的连接部位是整个防水防渗体系的薄弱且关键区域。由于坝肩为山体岩体结构,坝体则是混凝土结构,二者结构形式迥异,受力状态也大不相同。在各种荷载作用以及环境因素影响下,连接部位极易产生缝隙,这些缝隙会成为渗水的便捷通道,严重威胁大坝的安全与稳定^[5]。

因此,在设计阶段,要着重优化连接部位的结构设计。通过科学合理的构造设计,使坝体与坝肩岩体实现紧密结合,从结构层面最大程度减少缝隙的产生。同时,在连接部位精心设置止水装置,像止水铜片、橡胶止水带等,将其准确嵌入连接缝隙之中,形成可靠的物理阻隔,有效阻断渗水通道。另外,在连接部位进行混凝土浇筑时,要严格加强振捣作业,保证混凝土充分密实,使其与坝肩岩体、坝体混凝土完美融合,避免出现蜂窝、麻面等质量缺陷,进而全面提升连接部位的防水防渗性能。

结束语

混凝土重力坝防水防渗设计是一项系统且复杂的工程,关乎大坝的安全与长久运行。从遵循核心原则出发,到坝体、坝基、坝肩各部位防水防渗设计的精细落实,每个环节都紧密相连、不可或缺。通过科学合理的勘察、精准的设计以及严格的施工控制,构建起完整的防水防渗体系,能有效阻挡渗水,降低渗透压力,减少对坝体、坝基和坝肩的侵蚀。未来,随着水利工程技术的发展,还需不断探索创新防水防渗技术和材料,优化设计方案,以更好地适应不同地质条件和工程需求,进一步提升混凝土重力坝的防水防渗能力,为水利事业的安全发展提供坚实保障。

参考文献

- [1]徐玉良,黄力,张宇.混凝土空腹重力坝裂缝扩展仿真研究[J].水利技术监督,2025,(09):206-210.
- [2]慕雷.混凝土结构施工缝留置处理施工技术研究[J].工程质量,2024,42(12):61-65.
- [3]王彪.施工缝防渗漏施工技术融入市政工程中的思考[J].城市建设理论研究(电子版),2024,(18):193-195.
- [4]张通.混凝土坝新型喷雾系统研究与应用探析[J].东北水利水电,2025,43(12):37-41+72.
- [5]李瑶,田志秀.水利工程施工中混凝土裂缝控制技术研究[J].水上安全,2024(21):175-177.