

小型水库除险加固施工中坝体防渗墙浇筑技术研究

王强

吉林省应急抢险救援队

DOI:10.32629/hwr.v9i11.6650

[摘要] 小型水库在农业灌溉、防洪减灾等领域发挥着关键作用,但多数建成时间早,坝体防渗性能衰减问题突出,除险加固势在必行。坝体防渗墙浇筑技术作为提升水库防渗能力的核心手段,其施工质量直接决定加固效果。

[关键词] 小型水库; 除险加固; 防渗墙; 浇筑技术; 施工工艺

中图分类号: TV62 **文献标识码:** A

Research on the Pouring Technology of Seepage Control Walls in Small Reservoir Reinforcement and Upgrading Construction

Qiang Wang

Jilin Emergency Rescue Team

[Abstract] Small reservoirs play a crucial role in agricultural irrigation, flood control, and disaster mitigation. However, most of them were built early, and the issue of deteriorating impermeability performance in the dam body is prominent, making reinforcement and reinforcement imperative. As a core measure to enhance reservoir impermeability, the construction quality of the dam body impermeability wall directly determines the effectiveness of reinforcement.

[Key words] small reservoirs; hazard elimination and reinforcement; anti-seepage walls; pouring technology; construction techniques

引言

我国小型水库数量众多,广泛分布于各地乡村及偏远区域,是保障农业生产用水、调节区域水资源、防范中小洪水的重要水利设施。然而,由于多数小型水库建于20世纪五六十年代,受当时技术条件、施工设备及资金投入限制,坝体结构设计简陋,防渗体系不完善。历经数十年运行后,坝体岩土体逐渐风化、侵蚀,普遍出现坝体渗漏、裂缝等病害,不仅降低了水库的蓄水功能,更对下游人民生命财产安全构成严重威胁^[1]。

1 小型水库坝体防渗墙浇筑技术核心原理与技术分类

1.1 核心原理

防渗墙浇筑技术就是在坝体的渗漏通道或潜在风险区,采用特定施工工艺浇筑成连续、完整的防渗墙体,利用墙体材料的低渗透性及结构完整性,堵截坝体内部及坝体与地基之间的渗漏路线,同时增强坝体的整体承载能力和稳定性。在施工过程中,必须综合考虑坝体所在的地质状况,包括岩土体的种类、渗透率,以及渗漏问题的具体特征,如渗漏的具体位置和渗漏量等。根据这些因素和工程的具体要求,合理选择墙体材料和浇筑技术,确保防渗墙与坝体结构之间能够牢固结合,共同构成一个完整的防渗系统^[2]。

1.2 技术分类

刚性防渗墙是利用混凝土、钢筋混凝土等刚性材料浇筑的一种强度高、刚性大的墙体结构。该技术不仅阻断了渗漏,还大幅度提高了坝体的承载能力,该技术适用于坝体变形较小、地质条件较为稳定以及结构强度要求较高的场合。在小型水库加固中常用于坝体中部及下部等关键受力部位,材料密实,抗渗等级达P8以上,可以有效抵御高水头压力下的渗漏风险。柔性防渗墙,主要采用土工膜、沥青混凝土、塑性混凝土等柔性材料浇筑或铺设形成,墙体对变形有较好的适应性,可适应坝体的轻微沉降或温度变形,避免墙体开裂而造成防渗失效。该技术施工方便、成本较低,适用于坝体地质条件复杂、有一定变形风险或者资金投入少的小型水库工程。其中,塑性混凝土防渗墙由于具备一定强度和柔韧性,在小型水库加固中应用最为广泛,其弹性模量较低,与坝体岩土体协同变形,减少界面渗漏风险。组合式防渗墙是利用刚性与柔性技术优势,根据坝体各区域防渗和受力要求,分段采用不同材料或工艺浇筑的复合墙体^[3]。

2 小型水库坝体防渗墙浇筑关键施工工艺

2.1 刚性防渗墙浇筑工艺

保证槽孔成型质量及混凝土浇筑密实性是刚性防渗墙施工

的核心。前期要通过地质勘察确定坝体岩土体分布情况,采用冲击钻或液压抓斗进行槽孔开挖。开挖过程中,要根据岩土体稳定性及时浇筑泥浆护壁,泥浆密度控制在 $1.2\sim 1.3\text{g}/\text{cm}^3$,防止槽壁坍塌。槽孔开挖深度穿透坝体渗漏层至不透水层,宽度按设计要求控制在 $0.6\sim 1.0\text{m}$,相邻槽孔之间应预留搭接长度 $10\sim 15\text{cm}$,保证墙体连续。严格控制混凝土材料制备的配合比,水泥选用强度等级不低于42.5级的普通硅酸盐水泥,骨料采用粒径 $5\sim 20\text{mm}$ 的碎石和中砂,掺加适量的减水剂和膨胀剂,以减少混凝土收缩裂缝。混凝土坍落度控制在 $18\sim 22\text{cm}$,初凝时间 $\leq 6\text{h}$,以保证混凝土流动性满足浇筑要求。采用导管法连续浇筑作业,导管直径 $200\sim 300\text{mm}$,管底距槽孔底部 $30\sim 50\text{cm}$,浇筑过程中导管埋深 $2\sim 6\text{m}$,防止断桩或夹层。浇筑速度控制在 $2\sim 3\text{m}/\text{h}$,保证混凝土面均匀上升,相邻槽孔浇筑间隔时间不超过混凝土初凝时间,不得形成施工缝。

表1 刚性防渗墙施工关键工艺参数表

施工环节	关键控制项目	参数要求	控制目的
槽孔开挖与护壁	成槽设备	冲击钻、液压抓斗	适应不同岩土体条件,保证开挖效率
	泥浆密度	$1.2\sim 1.3\text{g}/\text{cm}^3$	泥浆护壁,防止槽壁坍塌
	槽孔尺寸	深度: 穿透渗漏层至不透水层; 宽度: $0.6\sim 1.0\text{m}$	保证防渗深度及墙体结构尺寸
	相邻槽孔搭接长度	$10\sim 15\text{cm}$	确保墙体连续,避免渗漏通道
混凝土制备	水泥强度等级	不低于42.5级普通硅酸盐水泥	保证混凝土基础强度
	骨料规格	碎石粒径 $5\sim 20\text{mm}$,砂为中砂	优化级配,提升混凝土密实度
	外加剂	适量减水剂、膨胀剂	减少收缩裂缝,改善工作性能
	混凝土坍落度	$18\sim 22\text{cm}$	保证浇筑流动性及密实性
	混凝土初凝时间	$\leq 6\text{h}$	避免浇筑过程中过早凝固
混凝土浇筑	浇筑工艺	导管法连续浇筑	保证混凝土均匀性,防止离析
	导管参数	直径 $200\sim 300\text{mm}$; 管底距槽底 $30\sim 50\text{cm}$	确保混凝土顺利下落,避免窝气
	导管埋深	$2\sim 6\text{m}$	防止断桩、夹层等质量缺陷
	浇筑速度及间隔	浇筑速度 $2\sim 3\text{m}/\text{h}$; 相邻槽孔间隔 \leq 初凝时间	保证混凝土面均匀上升,避免施工缝

2. 柔性防渗墙施工工艺

以应用较为广泛的塑性混凝土防渗墙为例,其施工工艺重点是材料配比控制和浇筑过程中的和易性保障。塑性混凝土材料是以水泥、膨润土、砂、碎石及水按照一定的配比混合而成,膨润土掺量占总胶凝材料的 $30\sim 50\%$,利用膨润土的塑性改善混凝土的变形性能。配合比设计要根据防渗要求,通常抗渗等级不低于P6,抗压强度控制在 $2\sim 5\text{MPa}$,弹性模量低于 1000MPa ,以满足弹性变形的要求。槽孔开挖的工艺与刚性防渗墙类似,但得益于塑性混凝土对槽孔平整度要求不高,因此可以使用小型挖槽

设备来降低施工成本。在材料搅拌方面,使用强制式搅拌机将膨润土与水混合搅拌至糊状,接着加入水泥、砂和碎石,搅拌均匀,确保搅拌时间不少于3分钟,以避免浆液中出现结块,保证其均匀性。浇筑过程采用导管法,鉴于塑性混凝土流动性相对较差,选用直径 300mm 以上的导管,并将浇筑速度控制在每小时 $1.5\sim 2\text{m}$ 。此外,通过使用振捣设备辅助振捣,以确保混凝土的密实度。浇筑完成后及时进行养护,养护时间不少于 14d ,防止水分蒸发过快造成墙体开裂。

2.3 组合式防渗墙浇筑工艺

在组合式防渗墙的施工中,关键在于不同墙体类型的接合处理以及施工顺序的优化。施工前,必须制定一套详尽的建设分段计划,明确刚性墙体与柔性墙体之间的分界线,通常以坝体的一半高度或地质层的分界面作为分界点。先在刚性墙体区域开挖槽孔施工,待混凝土浇筑完成,达到设计强度 70% 以后,再开挖柔性墙体区域槽孔,防止刚性墙体在未成型时扰动。界面衔接采用“搭接浇筑”工艺,刚性墙体浇筑时,在衔接部位预留 50cm 宽的凹槽,凹槽内预埋钢筋或土工格栅增强连接强度。柔性墙体在浇筑前,应清理凹槽内的杂物,涂刷界面处理剂,然后浇筑塑性混凝土,使两种材料紧密结合。此外,应控制各部位的浇筑间隔时间,刚性混凝土浇筑结束后,间隔 $7\sim 10\text{d}$ 再进行柔性混凝土浇筑,既保证了刚性墙体的强度,又避免了两种材料收缩变形不协调而形成界面渗漏。

3 小型水库坝体防渗墙浇筑施工常见问题及成因分析

3.1 槽孔坍塌问题

槽孔坍塌是施工最常见的问题之一,表现为槽壁岩土体脱落、槽孔变形,严重时造成施工中断。其成因主要包括三个方面:一是地质条件恶劣,坝体岩土以粉土、砂土为主,黏聚力低,稳定性差;二是泥浆护壁质量不达标,泥浆密度过低或泥浆面高度不足,无法有效平衡槽壁压力;三是施工操作不当,开挖速度过快,未及时跟进泥浆护壁,或相邻槽孔开挖间隔时间过短,相互扰动导致槽壁失稳。

3.2 墙体渗漏问题

墙体渗漏是防渗墙施工后的主要质量缺陷,表现为墙体局部或沿施工缝出现渗漏现象。核心成因包括:材料配合比控制不严,水泥用量不足或膨润土掺量不合理,导致墙体密实性差、抗渗性能不足;浇筑过程中导管埋深不足或浇筑中断,形成夹层或断桩,成为渗漏通道;施工缝处理不当,相邻槽孔搭接长度不足,或界面清理不彻底,存在杂物影响结合质量;组合式防渗墙刚性与柔性材料衔接不当,界面出现缝隙。

3.3 墙体开裂问题

墙体开裂多发生于刚性防渗墙或组合式防渗墙的刚性段,表现为墙体出现纵向或横向裂缝,部分裂缝贯穿墙体,导致防渗失效。其成因主要有:混凝土配合比设计不合理,水泥用量过高,导致混凝土收缩变形过大;浇筑完成后养护不及时,环境温度变化剧烈,混凝土内外温差过大,产生温度应力;坝体存在不均匀

沉降,刚性墙体无法适应变形,被拉裂;施工过程中未设置伸缩缝,或伸缩缝间距过大,无法释放墙体应力。

4 小型水库坝体防渗墙浇筑技术优化策略

4.1 优化槽孔开挖与护壁工艺

为解决槽孔坍塌问题,需从地质勘察、泥浆护壁、开挖操作三方面优化。施工前需开展详细地质勘察,采用钻探与物探相结合的方式,明确坝体岩土体分布及渗透特性,针对粉砂土等不稳定地层,提前制定专项护壁方案。优化泥浆配合比,采用“膨润土+纯碱+CMC”复合泥浆,提升泥浆黏度和护壁性能,泥浆密度根据地质条件调整为 $1.25\sim 1.35\text{g}/\text{cm}^3$,同时确保泥浆面高于地下水位 1.5m 以上。开挖过程中控制开挖速度,砂土地层开挖速度不超过 $0.5\text{m}/\text{h}$,采用“分层开挖、分层护壁”方式,相邻槽孔开挖间隔时间不少于 48h ,避免相互扰动。对地质条件极差区域,采用“钢板桩超前支护”工艺,提前打入钢板桩稳定槽壁后再进行开挖。

4.2 强化材料质量与浇筑过程控制

针对墙体渗漏问题,核心在于提升材料密实性和浇筑连续性。严格控制材料进场质量,水泥、膨润土等主要材料需提供质量合格证明,进场后进行抽样检测。优化材料配合比,刚性混凝土采用“低水灰比+高效减水剂+膨胀剂”方案,水灰比控制在 $0.4\sim 0.5$,膨胀剂掺量为水泥用量的 $5\%\sim 8\%$,减少收缩裂缝;塑性混凝土调整膨润土与水泥比例,确保弹性模量和抗渗性能满足设计要求。浇筑过程中采用“双导管对称浇筑”工艺,提升混凝土面上升均匀性,导管埋深严格控制在 $2\sim 6\text{m}$,严禁出现导管拔空现象。施工缝处理采用“高压水冲毛+界面剂涂刷”工艺,清理界面浮浆和杂物后,涂刷水泥基渗透结晶型界面剂,增强结合强度。组合式防渗墙衔接部位采用“钢筋锚固+二次浇筑”工艺,在刚性墙体预留锚固钢筋,柔性墙体浇筑时先浇筑 5cm 厚水泥砂浆结合层,再浇筑塑性混凝土。

4.3 优化墙体抗裂与养护工艺

为解决墙体开裂问题,需从配合比优化、施工缝设置、养护工艺三方面入手。刚性混凝土配合比中掺加适量粉煤灰或矿渣粉,替代 $20\%\sim 30\%$ 水泥用量,降低水化热,减少温度应力;在墙体纵向每隔 $15\sim 20\text{m}$ 设置伸缩缝,伸缩缝采用橡胶止水带密封,释

放墙体收缩应力。浇筑完成后及时覆盖土工布洒水养护,养护时间不少于 28d ,高温季节采用遮阳棚降温,避免混凝土内外温差超过 25°C ;冬季施工采用“蓄热法”养护,在墙体表面覆盖保温被,确保混凝土强度增长环境稳定。针对坝体不均匀沉降问题,在防渗墙与坝体结合部位设置“柔性过渡层”,采用土工格栅与塑性混凝土复合结构,提升界面变形适应性。

4.4 引入小型化智能施工设备

结合小型水库施工场地狭窄的特点,引入小型化、智能化施工设备,提升施工精度和效率。槽孔开挖采用小型液压抓斗挖槽机,机身宽度小于 2m ,适配狭窄施工场地,同时配备实时监测系统,实时监测槽壁垂直度和泥浆密度,及时调整施工参数。材料搅拌采用小型全自动搅拌站,精准控制材料配比和搅拌时间,避免人工搅拌导致的配比偏差。浇筑过程中采用超声波液位计实时监测混凝土面上升高度,确保导管埋深符合要求;采用小型振捣机器人替代人工振捣,提升振捣均匀性,尤其适用于狭窄槽孔的振捣作业。

5 结论

坝体防渗墙浇筑技术是小型水库除险加固工程的核心技术,其施工质量直接决定水库防渗性能和安全运行水平。本文通过对刚性、柔性及组合式三种主流浇筑技术的研究,明确了各类技术的核心原理、适用场景及施工工艺要点。针对施工中常见的槽孔坍塌、墙体渗漏、墙体开裂等问题,深入分析成因并提出优化策略,包括优化槽孔开挖与护壁工艺、强化材料与浇筑过程控制、优化抗裂与养护工艺及引入小型化智能设备等。

[参考文献]

- [1]李昕洁,姬浩翔,李金妹.浅谈小型水库大坝除险加固技术和防渗处理措施[J].中国设备工程,2025,(21):220-223.
- [2]方肖晨,李瑞青,周树朋.山东省小型水库除险加固监督检查问题及对策[J].山东水利,2025,(10):40-42.
- [3]姬浩翔,李金妹,李昕洁.浅析小型水库除险加固技术与材料应用[J].中国设备工程,2025,(20):268-270.

作者简介:

王强(1975—),男,汉族,山东安丘人,专科,职称:中级工程师,研究方向:水利施工。