防渗墙施工技术在小型水库除险加固工程中的应用研究

周海明[1]　刘可可[2]

1.邳州市水利建筑安装工程有限公司 江苏 邳州 221300

2.江苏地泽建设工程有限公司 江苏 邳州 221300

【摘　要】：小型水库经过长时间的运行，在坝体、坝基与建筑物的接触处容易形成渗漏通道，从而影响到工程的安全。本文以防渗墙施工技术为重点，对渗漏病害的种类、防渗机理和技术控制目标进行了分析，并对墙体结构、材料参数、设备配置和施工流程等进行了研究，着重对导墙修筑、槽孔开挖、泥浆护壁、混凝土浇筑以及墙段连接的关键工艺进行了说明，从质量检测、运行监测以及坝体稳定性等方面对其应用效果进行了评价。研究表明防渗墙的合理设计及加强全过程质量控制，能有效地减少坝体浸润线及渗流量，增强小型水库除险加固的安全性和耐久性。

【关键词】：小型水库；除险加固；防渗墙；施工技术

DOI:10.12417/2811-0528.26.21.062

引言

渗漏是小水库土石坝在运行过程中较普遍存在的隐患，其形成和前期施工质量、坝基透水层厚度、材料老化和不均匀变形有密切关系。防渗墙可在坝体及坝基内构建持续阻水结构，起到切断渗流通道、延长渗径、减小水力坡降等效果，已经成为水库除险加固中一种重要的技术手段。结合某小型水库工程现场窄小、地层变化显著、施工组织有限的特点，从防渗墙方案设计、关键施工工艺、质量检测、运行评价等方面进行了系统的研究，可供类似工程在设计施工中借鉴。

1 小型水库除险加固工程中防渗墙施工的基本要求

1.1 小型水库渗漏病害的主要类型

小型水库渗漏病害多发生于坝体、坝基、坝肩与建筑物的接触处。一些土石坝由于前期填筑标准较低、压实度不够或者土料级配不尽合理等原因，在多年的运行过程中易在局部形成松散区及贯通性的渗流通道，呈现出坝后坡湿润、溢出点增加或者渗水量不正常等特点[1]。坝基渗漏往往与覆盖层透水性强、基岩裂隙发育、原截水槽的处理水深不够等因素有关。坝肩部位由于地形变化、施工接缝及岩土界面等因素的作用，经常发生绕坝渗流现象。输水涵管、溢洪道和坝体的接触区域可能会因为不均匀的沉降、回填不够紧密和止水老化而产生集中的渗漏。在实际工程中，各种渗漏常常是叠加在一起的，不可能单凭表面湿润范围来判断病害发生的部位，要综合考虑地质勘察、钻孔取芯和压水试验等因素，结合渗流观测与历史运行资料进行综合分析，准确地查明主要渗漏通道的位置，从而为防渗墙的轴线、深度及结构形式的确定奠定了基础。

1.2 防渗墙的作用机理与适用条件

防渗墙是利用坝体或坝基内连续低渗透性垂直阻水结构，加长渗径和减小水力坡降，来截断坝体松散区、砂砾石层和岩土接触带集中渗流通道。它的作用不只是减小渗流量，而且能使坝后坡的浸润线下降，缓解渗透变形、管涌及流土的危险，进而改善坝体的总体稳定状况[2]。小型水库常用的防渗墙有混凝土防渗墙、塑性混凝土防渗墙、水泥土搅拌墙和高压喷射灌浆墙等，在具体选型时要考虑坝型和地层组成等因素、最大施工深度、场地宽度、设备进场条件以及工程投资等。对砂砾石覆盖层厚、坝基透水性强以及需形成可靠连续墙体等工程而言，槽孔式防渗墙具有更好的适用性。对场地窄、处理水深浅或者局部补强的项目，采用水泥土搅拌及高压喷射灌浆更具有灵活性。防渗墙不应该离开地质条件而盲目使用，如果坝基有孤石、强风化岩波动大或者地下有障碍物，则应该事先进行试验施工，以优化成槽及嵌岩的方案。

1.3 防渗墙施工的技术控制目标

防渗墙施工工艺控制的中心目的在于确保墙体具有连续性、厚度符合设计要求、材料性能稳定以及与相对不透水层之间可靠衔接。施工中应着重控制墙轴线偏差、槽孔垂直度、孔底沉渣厚度、墙段接头质量及入岩深度等，以防止墙体缩颈、夹泥、断墙及接头渗漏等病害的发生[3]。墙体材料要综合考虑低渗透性、适宜强度及变形协调能力等因素，尤其在土石坝加固工程中，要保证墙体刚度不显著大于周边坝体刚度，降低不均匀变形导致开裂的风险。施工中应控制泥浆的密度、黏度、含砂率及液面高度等参数，以保持槽壁的稳定性，以免塌孔影响坝体的安全。混凝土浇筑要使导管埋深保持稳定、持续供料的状态，禁止长期间断。在保证实体质量的同时，施工期还应

加强对坝体沉降、位移、孔隙水压力及渗流量等参数的监控，以保证加固过程中不会诱发新的隐患。最终控制目标要落实到可检测、可记录、可溯源的质量指标上，以便于竣工验收及后期运行评价有一个完整的基础。

2 防渗墙施工技术方案设计

2.1 防渗墙结构形式与施工方法选择

防渗墙的结构形式与施工方法要根据渗漏产生的原因、地层条件以及水库运行的要求等因素综合考虑确定，而不是简单地套用大型水利工程的方案。对于均质土坝或者心墙坝而言，通常将墙轴线设置于靠近坝顶处，顺接于原防渗体，从而减小对坝体结构产生的干扰[4]。坝基有砂卵砾石层时，宜用抓斗、冲击钻或者抓钻组合成槽，墙底埋设在黏土层、弱透水岩层或者设计所需基岩深度内。如果坝体低矮、地层松软、施工空间受限，可以利用水泥土搅拌墙组成连续防渗体。对于局部渗漏通道、建筑物接触带或者复杂岩土界面等，可以通过高压喷射灌浆的方法予以加固。在方案选择上，应该考虑施工期蓄水位的控制问题，以免在高水位情况下成槽导致槽壁失稳。

2.2 墙体材料及主要参数确定

墙体材料的选用要在综合考虑施工性能和工程经济性的前提下，达到抗渗、耐久及变形适应性的要求。在对小型土石坝进行加固时，由于塑性混凝土具有弹性模量小、极限变形能力强等特点，能很好地适应坝体沉降及温度的变化，因而得到广泛使用[5]。材料配合比一般包括水泥、膨润土、黏土、骨料以及外加剂等，要通过室内试验来测定水胶比、坍落度、扩展度、抗压强度以及渗透系数等指标，以免简单地追求高强度造成墙体的过脆性。普通混凝土防渗墙是针对地基变形小、对墙体受力有较大要求的地方而设计的，但是接头及温控措施有待加强。对于水泥土墙，应依据其原始土壤的水分含量、有机物的含量以及颗粒的构成来决定水泥的添加量，并在试桩或试验阶段对其均匀性进行检验。

2.3 施工设备配置与工艺流程设计

施工设备的配置要与坝顶宽度、墙体深度、地层硬度、施工强度等参数匹配。小型水库坝顶一般比较狭窄，设备布置空间有限，在建设前应对坝顶承载能力进行验证，建立稳定工作平台、排水系统及安全防护设施。液压抓斗和冲击钻可以配置在砂卵砾石地层中，遇到孤石或者基岩，可以使用冲击钻和牙轮钻作为配套成槽设备。泥浆系统要具有制浆、储浆、循环净化及性能检测等功能，以免废浆任意排放对环境产生污染。混凝土浇筑设备要确保拌和、运输与导管浇筑的持续连接，建立备用电源及关键设备。合理的工艺流程通常由施工准备、导墙修筑、槽段分割、泥浆护壁、成槽清孔、接头处理、钢筋笼安装、导管布置、墙体浇筑及质量检测等环节组成。槽段长度要综合考虑地层的稳定性及设备能力等因素来决定，不可盲目延长。

3 防渗墙施工关键技术与质量控制

3.1 导墙修筑与槽孔开挖技术

导墙及槽孔的施工是确保防渗墙形成质量的基本环节，在施工过程中应注重导向精度及槽壁稳定控制。一是对于为钢筋混凝土结构的导墙，在施工前应根据测量控制网放样，使导墙中心线和设计轴线一致，并对导墙顶面高程进行均匀控制，以保证抓斗或者液压成槽机的顺利工作；二是槽孔采用分段和跳槽的方法组织施工，并根据地层情况选用液压抓斗、冲击钻或者抓钻相结合的技术，在成槽时不断对孔深、孔宽和垂直度进行检测，以保证墙体的持续成形；三是在槽底终孔时，及时清孔并验收合格，槽底沉渣达到设计要求，并为以后的浇筑创造了条件。以江西省峡江水利枢纽工程的防渗墙施工为例，该工程采用了“导墙定位+液压抓斗成槽+超声波检测垂直度”的组织施工方法，墙体垂直度及成槽精度达到设计要求，并为之后的混凝土浇筑提供稳定的工作条件。

3.2 泥浆护壁与混凝土浇筑控制

泥浆护壁与混凝土浇筑对墙体的密实性及整体防渗效果有直接影响，在整个施工过程中进行持续控制。一是针对地层特点制备膨润土泥浆，在施工过程中对泥浆的密度、黏度、含砂率和液面高度等参数进行动态检测，以维持槽壁的稳定性，并在此基础上采用循环净化设备对泥浆的性能进行适时的更新；二是在钢筋笼架设完毕后，随即进行导管布置，导管埋深稳定，并采取水下混凝土持续浇注的技术，确保了首盘混凝土的一次性封底顺利进行，浇筑时持续供料且不中断导管的吊装；三是在浇筑完成后，及时测得混凝土顶面标高并记录施工情况，对整个施工过程进行质量追溯。以安徽省下浒山水库项目防渗墙的施工为例，利用泥浆循环净化系统结合导管法进行连续浇注，并对泥浆性能进行了全过程测试，墙体完整性测试结果达到了设计要求。

3.3 墙段连接及施工缺陷处理

墙段连接的好坏决定了防渗墙的整体连续性，在施工时采用标准化工艺保证了各墙段的可靠连接。一是对槽段长度进行合理的划分，采取先一后二的施工次序，并在接头处留设标准的尺寸，以确保相邻墙段的完整搭接；二是在施工时采用接头管或者接头箱进行规则接缝的成型，并在二期槽掘进之前对接头混凝土的表面进行清洗，以确保新老混凝土紧密结合在一起，增强整体的抗渗性能；三是在墙体成型之后，利用钻芯、超声波检测和注水试验验证其质量，并在局部探测位置采取了

补充灌浆的常规技术，改进防渗体系。以浙江省铜山源水库除险加固工程为例，利用接头管法进行防渗墙施工，配合钻芯取样及超声波检测对墙体的连续性进行评估，其施工质量满足设计标准要求，且工程投入使用后防渗效果比较稳定。

4 防渗墙施工应用效果与优化措施

4.1 防渗效果与坝体稳定性评价

防渗墙的设置显著改善了坝体的渗流条件，对坝基与坝肩之间的渗透通道构成了有效的阻挡，使坝后浸润线总体上呈下降趋势，渗流量基本稳定。工程评价一般综合渗流监测、水位变化和坝体变形等数据进行分析，在渗流量稳定、坝体沉降和水平位移在设计容许范围内的情况下，可以判断防渗体系工作是否正常。同时，利用有限元渗流分析结果与现场监测成果相互印证，可以对坝体的稳定性及抗渗安全储备作进一步的评估，从而为水库的长期安全运行奠定了可靠的基础。

4.2 施工质量检测及运行监测分析

防渗墙建成后，要建立以施工检测和运行监测为核心的评价体系。在施工阶段，着重通过超声波成槽检测、钻芯取样、混凝土强度检测以及渗透性能试验等手段，验证墙体的连续性、均匀性以及抗渗性能。项目投入使用后，利用渗压计、测压管、沉降观测点和渗流量监测设施等不断收集运行资料，并结合库水位的变化情况进行综合分析，及时了解坝体渗流场的变化情况，使施工质量评价持续到运行安全评价，从而提高整个项目的管理水平。

4.3 施工技术优化与工程管理建议

防渗墙施工工艺的优化要结合小型水库的特点，做到标准化施工和信息化管理同步进行。在施工组织阶段，可以根据地质条件进行设备的优化组合及槽段的划分，以提高施工效率；在施工中大力推广数字测量、泥浆在线检测及质量信息记录等技术，使关键工序的整个流程可追溯；项目建成后，建立运行监测数据库，并定期对渗流、沉降和位移的变化规律进行分析，以便于后续的养护维修。通过设计、施工、监控及运行管理等环节的协同落实，能够不断提高防渗墙工程质量及水库除险加固的总体效果。

5 结论

防渗墙施工技术能有效地改善小型水库坝体和坝基渗流条件，对提高工程安全至关重要。在项目实施过程中，要在地质勘察与渗漏分析的基础上，对墙体的轴线、厚度、深度、材料的种类以及成槽方式等进行合理的设置，对导墙的精度、槽孔的垂直度、泥浆性能、混凝土连续浇筑及墙段连接质量等进行严格的控制。施工中应配合钻芯、超声检测、渗压、渗流量和坝体变形监测等手段，全面评估防渗效果。通过设计、施工、检测及运行管理等环节的协同实施，可以加强墙体的连续性和耐久性，确保小型水库的长久稳定运行。

参考文献：

[1] 罗毅,周辰.水库深层防渗墙成槽施工工艺及墙体连续性控制研究[J].技术与市场,2026,33(5):140-144.

[2] 成勇,张少阳,张浩.水库除险加固工程混凝土防渗墙施工方法及效果分析[J].陕西水利,2026,(5):133-136.

[3] 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.

[4] 周建波,贺小淳.小型水库工程中混凝土防渗墙穿坝下涵管施工方案对比分析[J].四川水利,2023,44(5):119-120+153.

[5] 王修宁.小型水库除险加固工程坝体防渗措施研究[J].数字农业与智能农机,2023,(7):56-58.