

宿迁运河段堤防防渗墙设计及施工方法

汤瑞 李晴晴 张健

江苏淮禹建设有限公司，江苏宿迁，228000；

摘要：针对传统堤防防渗墙施工效率低、边坡稳定性差及渗透控制不足等问题，本研究提出新型防渗墙结构及其施工方法。通过将防渗墙本体划分为主体段、插入黏土心墙4m的上部及嵌入岩石层0.5m的下部，结合底部预埋帷幕灌浆孔（渗透系数 1×10^{-6} cm/s），构建复合防渗体系。创新施工工艺包括：基于水力学的分区钻孔深度计算（拦河堤防、溢洪隧洞及取水隧洞）、开挖/半挖半填双模式施工平台（坡比1:2，安全宽度8-10m）、钻劈法成槽与拔管-钻凿联合接头技术。实施水下导管浇筑混凝土并配合高塑性黏土包裹（压实度0.98，干密度 $1.68-1.78$ g/cm³），通过帷幕灌浆孔口封闭分段循环工艺增强防渗效果。工程应用表明，该方法减少基座开挖量30%，同步施工效率提升25%，边坡稳定性达标率100%，渗透系数降幅达2个数量级，为复杂地质堤防工程提供了可靠防渗解决方案。

关键词：堤防；防渗墙设计；施工方法

DOI： 10.69979/3060-8767.25.03.018

1 背景技术

一般而言，在水利工程中，防渗墙修筑于松散透土层或土石坝中，具有防渗作用。

防渗墙技术最早起源于20世纪50年代的欧洲，因其技术结构可靠、防渗效果良好，且适用于各类地层环境，施工简便、造价较低，特别是对坝基渗漏与坝后流土问题的防治效果良好，因此得到了广泛的应用。其中，我国水利水电覆盖层与土石围堰等防渗压力的防渗处理首选就是防渗墙。

防渗加固是处理病险水库堤防的主要工程措施，常用的防渗加固技术包括灌浆防渗加固与防渗墙加固技术。其中高强度的混凝土或塑性混凝土防渗墙技术在堤坝工程除险加工中得到广泛应用。

在现有技术中，水库除险加固堤防防渗墙施工方法，该施工方法利用水库枯水期水位较低，堤防受水的侧压力较小，并通过采用开挖降低坝顶高程产生的土料，就地构筑施工平台，与传统坝顶单侧土体加培相比，施工效率高，并且加剖堤防坝体横断面，有效降低了防渗墙施工期间堤防坝体的因结构扰动而出现的安全风险，但可能存在问题：

1、在实际施工时，单纯地采用就地构筑施工平台，或导致平台开挖上开口线远；

2、开挖量大，开挖形成的缺口增加后期坝体填筑量平台施工完成后，平台填筑料需要清理；

3、开挖形成的缺口需要在坝体填筑时补足，增加坝体填筑量，并且设备和材料运输困难，需要修建临时运输便道，并且修建平台形成的较大面积的临时边坡无支护措施，汛期在强度较大的雨水冲刷下，临时边坡的稳定性难以保证，作业人员的安全和施工进度均会受到较大影响。

另外，在现有技术中，防渗墙施工方法对于渗透系数的改善程度有限，对于如何改善渗透系数的防渗墙的具体施工内容并未进行系统的研究，基于此，本申请提供一种堤防防渗墙及其施工方法。

2 附设计图

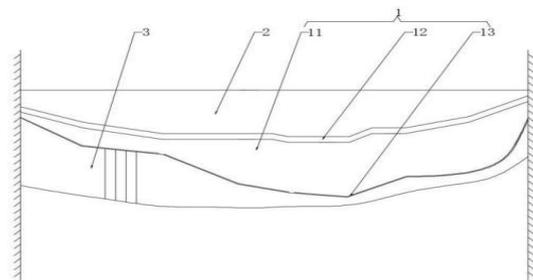


图1为本防渗墙纵剖面结构示意图；

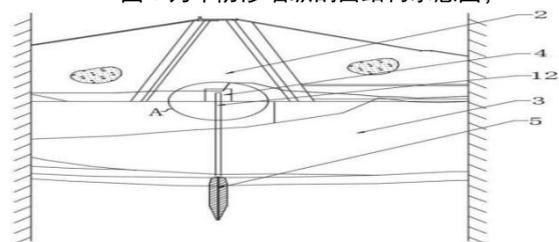


图2为本防渗墙横剖面结构示意图；

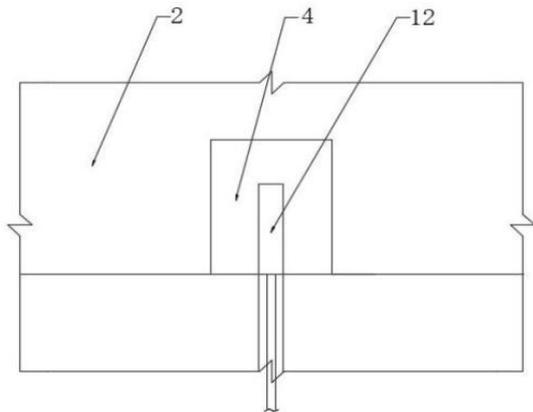


图3为图2中A处放大结构示意图；

图中：1、防渗墙本体，11、防渗墙主体段，12、防渗墙上部，13、防渗墙下部，2、黏土心墙，3、岩石层，4、高塑性粘土，5、帷幕灌浆孔。

3 技术方案

(1) 提供一种堤防防渗墙，包括防渗墙本体，防渗墙本体采用C20砼结构，防渗墙本体位于黏土心墙和岩石层之间，防渗墙本体包括防渗墙主体段、防渗墙上部和防渗墙下部；防渗墙本体与黏土心墙共轴线设置，防渗墙上部插入黏土心墙，防渗墙下部埋设在岩石层内。

进一步的：防渗墙上部插入黏土心墙的深度为4m，防渗墙下部埋设在岩石层的深度为0.5m，防渗墙上部插入黏土心墙部分采用高塑性粘土包裹，如此，可形成牢固的防渗墙结构，提升其整体结构的强度，有效避免坍塌。

进一步的：高塑性粘土的填筑要求为：小于5mm颗粒的含量为50%~55%，小于0.005mm颗粒的含量为20%~25%；压实度为0.98~0.99，干密度值为1.68~1.78g/cm³，渗透系数为 1×10^{-6} cm/s。

进一步的：防渗墙本体的底部设置有多个帷幕灌浆孔，帷幕灌浆孔的轴线和防渗墙本体轴线重叠，帷幕灌浆孔设置采用预埋灌浆管法，预埋管采用无缝钢管，预埋灌浆管时，在灌浆管的孔口设置孔口架和孔夹，上端用卡管器固定在槽口板上，管脚加设支承架和定位盘，并在灌浆管的1/3和2/3部位加设导向环。

(2) 一种堤防防渗墙的施工方法，该施工方法具体包括：

步骤S1，临时工程：

步骤S11，堤防分区，将堤防划分为拦河堤防、溢洪隧洞和取水隧洞三个部分，并在堤防上开挖导向槽；

步骤S12，导向槽的底部和顶部均设置有纵向受力钢筋，在开挖导向槽时所挖出的泥沙淤积通过泥浆系统制备泥浆，设置沉浆池和储浆池，固壁泥浆由泥浆泵沿固定输浆管送至各槽段，废浆经回收处理后重新使用；

步骤S2，防渗墙钻孔：

步骤S21，对水库河道的泥沙淤积进行清理，计算水库河道的水面线，根据水面线的高度，确定拦河堤防的防渗墙钻孔深度，对溢洪隧洞进行水力学计算，确定溢洪隧洞的防渗墙钻孔深度，对取水隧洞进行取水流量计算，确定取水隧洞的防渗墙钻孔深度；

步骤S22，采用带有十字钻头的冲击式钻机钻孔，形成防渗墙槽段，防渗墙槽段采用间隔分序法施工，先施工单数槽段，再施工双数槽段，造孔采用钻劈法成槽，先钻进主孔，后劈打副孔，出渣采用抽砂筒装渣，排入排渣沟；

步骤S3，混凝土浇筑形成防渗墙：

步骤S31，混凝土采用水下导管浇筑方式，将水下导管对准所开挖的钻孔，水下导管的上端设有料斗，混凝土采用泵送；

步骤S32，在浇筑过程中，定时测量混凝土面的上升情况，并与所浇筑的混凝土量相核对，避免水下导管拔离混凝土面，并根据混凝土面的上升情况及时调整水下导管的混凝土注入量，保证混凝土面的均匀上升；

步骤S4，防渗墙槽段连接：

步骤S41，在槽孔浇筑混凝土前将接头管置于槽孔两端，浇筑混凝土，待混凝土初凝后，用吊机将接头管拔出，从而在槽段的两端形成光滑的半圆柱面；

步骤S42，采用钻凿法在已浇混凝土终凝后开始钻凿接头孔，钻孔时减少套接孔两次孔位的偏差值，将槽孔两端主孔凿除，同样形成一个半圆柱面；

步骤S5，穿墙帷幕钻孔和钻孔灌浆：

步骤S51，穿墙帷幕钻孔采用预埋灌浆管法，灌浆管采用无缝钢管，预埋灌浆管时，在钻孔口设置孔口架和孔夹，灌浆管上端用卡管器固定在槽口板上，灌浆管管脚加设支承架和定位盘，并在灌浆管的1/3和2/3部位加设导向环；

步骤S52，帷幕灌浆采用自上而下分段，孔口封闭，孔内循环灌浆，灌浆孔采用地质钻机回转式钻进；

步骤S6，心墙基座浇筑，心墙基座由混凝土搅拌站拌制，经溜槽或振动溜管入仓，振捣器捣实，采用卸料、

摊铺、碾压流水循环施工:

步骤 S61, 采用自卸汽车运输至填筑区卸料, 即自卸汽车在碾压检测合格的粉质粘土夹碎砾石料层上卸料, 推土机配合自卸汽车边卸边推, 自卸汽车在已摊铺好的松土层上行走, 碾压, 铺筑按平行堤轴线顺次进行, 分段作业时作业面分成铺土、碾压、检验三个工序流水作业;

步骤 S62, 分层统一铺土, 统一碾压, 相邻施工作业面均衡上升, 若不可避免出现高差时, 以 1: 3~1: 5 的斜坡连接, 粉质粘土夹碎砾石料采用凸块振动碾沿平行坝轴线方向进行, 沿轴线方向进退错距法碾压, 边角及局部碾压不到的部位采用平板夯压实;

步骤 S63, 分段碾压碾迹搭接宽度垂直碾压方向 0. 25~0. 3m, 顺碾压方向为 1. 0~1. 5m, 在接合的坡面配合填筑上升速度, 将表面松土铲除至已压实合格的土层为止;

步骤 S64, 坡面经刨毛处理, 心墙上下游不能碾压到边的部位采用冲击夯予以补夯, 心墙盖重混凝土表面上填土碾压, 待混凝土表面以上的填筑厚度达到 1. 0m 时, 振动碾到心墙上施工;

步骤 S21 中,

水库河道的水面线计算, 依据水力学公式迭代:

$$Z_u - Z_d = \frac{(\alpha + \xi) Q^2}{2g} \left(\frac{1}{A_d^2} - \frac{1}{A_u^2} \right) + \frac{\Delta s Q^2}{2} \left(\frac{1}{K_d^2} + \frac{1}{K_u^2} \right)$$

式中: Z_u 、 Z_d 为上、下游断面水位, 单位为 m; A_u 、 A_d 为上、下游断面过水面积, 单位为 m^2 ; K_u 、 K_d 为上、下游断面流量模数, 单位为 m^3/s ; ξ 为局部水头损失, 对渐变流, $\xi=1$, $\xi=0$; Δs 为上、下游断面间距, 单位为 m; Q 为断面流量, 单位为 m^3/s ; g 为重力加速度, 单位为 m/s^2 ;

溢洪隧洞的水力学计算包括泄流能力和消能水力, 其中, 泄流能力计算公式为:

$$Q = C \times m \times \varepsilon \times \sigma_m \times B \times \sqrt{2gH_0^{1.5}}$$

式中: Q 为流量, 单位为 m^3/s ; B 为溢流堰总宽度, 单位为 m; H_0 为计入行进流速的堰顶水头; g 为重力加速度, 单位为 m/s^2 ; m 为流量系数; C 为上游面坡度影响修正系数; ε 为收缩影响系数, 根据闸墩墩头形状及位置、闸墩宽度, 闸孔数目, 堰上水头及相对堰高因素选定; σ_m 为淹没系数;

取水隧洞进行取水流量计算, 取水隧洞的取水流量

包括两部分: 一部分水历经拦栅间隙流进取水廊道, 另一部分水流仍沿水流方向流向下游, 两部分水流相互制约,

对无压取水廊道取水流量按下式计算:

$$Q = \mu p b l \sqrt{2gh}$$

式中: Q 为廊道引进流量, 单位为 m^3/s ; μ 为流量系数; p 为栅条间隙系数, $p=s/(s+t)$; s 为栅条间隙, 单位为 m; t 为栅条宽度, 单位为 m; b 为栅条水平投影宽度, 单位为 m; l 为拦栅长度, 单位为 m; h 为拦栅顶部平均水深, $h=(h_1+h_2)/2$; h_1 、 h_2 分别为拦栅顶上、下游边缘水深, 单位为 m;

当拦栅顶部将水流全部引进廊道时, 取 $h_2=0$, 采用下列公式为:

$$Q = \mu p b l \sqrt{0.8gh_k}$$

$$q = 2.66 \times (\mu p b)^{\frac{3}{2}}$$

式中: h_k 为拦栅上游边缘临界水深, 单位为 m;

$h_k = \sqrt{\frac{q}{g}}$; q 为单宽流量, 单位为 m^3/s 。

进一步的技术方案: 步骤 S1 中, 开挖导向槽前修建施工平台, 施工平台的修建包括开挖修建施工平台和半挖半填修建施工平台;

其中, 开挖修建施工平台是指自灌浆平洞上方向下开挖至防渗墙顶, 并利用开挖的土石方填筑外侧的边坡, 施工平台侧按 8—10m 的作业安全保护宽度, 在施工平台上修建导向槽, 并且填筑区进行逐层碾压, 坡比为 1: 2; 填筑料不足部分采用现场弃渣补充, 施工完成后清除填筑料;

半挖半填修建施工平台是指自灌浆平洞上方高洞口程向下开挖至高程所需位置, 并在该位置修建施工平台, 施工平台侧按 8—10m 的作业安全保护宽度, 并且填筑区进行逐层碾压, 外侧坡比为 1: 2, 在施工平台上修建导向槽; 填筑料采用现场弃渣, 施工完成后清除填筑料。

4 有益效果

1、将防渗墙本体分为防渗墙主体段、防渗墙上部 and 防渗墙下部, 防渗墙本体与黏土心墙共轴线设置, 防渗墙上部插入黏土心墙 4m, 防渗墙下部埋设在岩石层内 0. 5m, 并在防渗墙下布置帷幕灌浆形成可靠的防渗系统, 可形成牢固的防渗墙结构, 整体结构强度高, 不易坍塌;

2、在浇筑防渗墙前, 对堤防进行分区, 通过计算水库河道的水面线、对溢洪隧洞进行水力学计算、对取

水隧洞进行取水流量计算,确定拦河堤防部分、溢洪隧洞部分以及取水隧洞部分的防渗墙钻孔深度,进而可确保施工的精准度,并且在防渗墙钻孔时,先钻进主孔,后劈打副孔;出渣采用抽砂筒装渣,排入排渣沟;混凝土浇筑前需进行清孔,清除孔底淤积,置换新鲜泥浆,保证混凝土浇筑质量;

3、在防渗墙施工时,采用开挖修建施工平台与半挖半填修建施工平台相结合的施工模式,开挖修建施工平台能够把基座基槽同步开挖完成,可明确基座基础岩层的准确位置,减少基座后续开挖的难度,半挖半填修建施工平台开挖形成的临时边坡面积小,可采用防雨布遮盖度汛,施工安全和进度受到的影响小,因此能够根据具体的岸基情况选择修建相应的施工平台,并且对于

防渗墙槽段连接采用钻凿法和拔管法相结合的连接方式,可在对拔管浇筑的同时,能够对浇筑凝固的混凝土进行钻凿,即能够同步施工,提高施工效率;

参考文献

- [1]胡静.复合地基堤防水泥深层搅拌桩防渗墙施工设计研究[J].陕西水利,2016(4):3. DOI:CNKI:SUN:SXS N.0.2016-04-049.
- [2]张家发,李思慎,王文新.长江重要堤防垂直防渗工程[C]//水利水电地基与基础工程学术会议.2002.
- [3]杜法力,高原.堤防防渗墙施工工艺探讨[J].治淮,2007,000(002):41-42. DOI:10.3969/j.issn.1001-9243.2007.02.022.