

浅议水利工程施工中堤坝防渗加固技术的应用

赵青松*

太和县津达水利工程有限公司, 安徽 236300

摘要: 水利工程已经成为促进社会经济可持续发展的重要工程项目, 堤坝为其重要的组成部分, 长期处于恶劣的工作环境下容易发生渗漏情形, 导致整个水利工程稳定性下降, 甚至引发严重的事故, 所以对其进行防渗加固尤为重要。本文通过对现有研究进行深入分析, 从水利工程施工中堤坝防渗加固技术类型、优缺点及适用条件进行总结, 以为不同地区水利工程施工中堤坝防渗加固技术的合理使用提供帮助。

关键词: 水利工程; 堤坝; 防渗加固技术

一、前言

我国幅员辽阔, 水力资源丰富, 对于促进农业生产起到重要的推动作用。然而, 受制于历史、技术等因素影响, 我国兴修的水利工程中普遍存在众多的安全隐患, 如防洪标准低、渗透稳定性差、坝体老化等, 给水利工程的平稳运行以及周边人民群众生命财产安全带来了严重不利影响^[1]。自从改革开放之后, 我国陆续研发和引进了十数种堤坝防渗加固技术, 为消除堤坝安全隐患提供了强有力的帮助。近些年来随着技术及工艺的快速发展, 堤坝防渗加固技术不断推陈出新, 但每种技术均有着各自的优势及不足, 要想合理使用就必须全面掌握各个技术的具体内容。因此, 梳理并总结目前应用的水利工程施工中堤坝防渗加固技术对于指导今后工作而言具有重要意义。

二、水利工程施工中常用的堤坝防渗加固技术

(一) 高压喷射灌浆防渗技术

高压喷射灌浆防渗技术最早诞生于日本, 于20世纪70年代初引入我国, 目前最先进的施工技术为挖掘-混合-喷射灌浆连续施工法, 该技术是在原有静压灌浆基础上融入水力采煤技术后衍生出来的一种施工技术, 借助射流作用改变堤坝所处地层的结构后灌入水泥浆或者是复合浆促使其内部形成凝结体, 实现加固堤坝以及防渗透的目的^[2]。当前根据采用的高压喷射灌浆方法可以分为以下几种:

1. 单管法 (Chemical Churning Pile, CCP)

该方法依托于高压泥浆泵, 于施工过程中以30 MPa的压力将水泥浆喷射而出, 形成的水泥浆射流在冲击力作用下破坏原有组织结构, 在灌浆管提升或者是旋转作用下促使水泥浆能够与崩落的土粒向混合, 掺搅之后形成稳定性高的凝胶体。单管法的优势在于水灰比容易控制, 能源利用率高, 尤为适用淤泥以及流砂等地层结构的坝体加固防渗施工中。但该方法的不足之处在于严重依赖高压泥浆泵, 最终形成凝胶体无论是桩径还是延伸长度均相对较小。

2. 二管法 (Jumbo Special Grout, JSG)

利用双通道注浆管在堤坝底部同轴双重喷射出高压水泥浆以及空气, 在二者共同作用下促使破坏面积进一步扩大, 形成桩径或者是延伸长度更长的凝胶体。该方法的优势在于相同压力下高压水泥浆以及空气两种介质能够相互协作, 提高加固防渗效果, 但不足之处在于仅适用于软土层。

3. 三管法 (Columu Jet Pile, CJP)

该方法是通过三个通道直接输送高压水泥浆、空气、清水不同介质, 在超高压 (30 MPa-60 MPa) 作用下对土体进行冲切, 再通过其他泥浆泵向其中注入稠浆以形成凝胶体的目的。三管法的优势在于施工机械损耗小, 喷射压力高, 最终形成的凝胶体更大, 主要用于软土地基以及含有砂土的地层加固防渗漏。

4. 多管法 (Super Soil Stabilization-Management, SSS-MAN)

*通讯作者: 赵青松, 1985年5月, 男, 汉族, 安徽淮北人, 现任太和县津达水利工程有限公司经理, 工程师, 大学专科。研究方向: 水利工程施工。

在实施过程中首先在地表面钻一个倒空，由此置入多重管，借助向下运动旋转的超高压射流破坏四周土体结构，高压水冲切崩解的土石，再借助真空泵将形成的泥浆由多重管之中抽出以形成内部空间巨大的操作空间，喷嘴附近的超声波传感器采集到相应数据信息后根据工程所需将水泥浆、砂浆、砾石等材料充分混匀后充填此空间，于地层之中浇灌出大直径的固体^[3]。

由于不同地区的气候、水文、地层条件存在着较大的差异性，所以水利工程施工中高压喷射灌浆防渗技术需要结合实际情况合理选用，以获得最佳的加固防渗透效果。但是，无论是哪种施工方法，压力以及水量均对最终形成的凝胶体/凝结体[延伸长 (cm)/有效长 (cm)]产生相同的影响，具体见表1。

表1 高压喷射灌浆防渗技术中压力和水量对凝胶体/凝结体的影响

压力 (MPa)	水量 (L/min)	喷射形式		
		旋喷	摆喷	定喷
15~20	90~120	35~100/30~90	60~180/50~150	85~280/75~235
21~30	75~100	75~100/60~125	130~220/100~210	180~395/150~305
31~40	75~100	110~185/90~160	190~300/150~255	275~450/220~385

(二) 振动沉模防渗板墙技术

振动沉模防渗板墙技术是一项具有我国自主知识产权且处于世界先进水平的加固防渗技术，诞生于20世纪90年代末并获得五项国家专利。在施工过程中该技术通过振动机械原理、振动沉模原理得以实现，具体内容如下：

1. 振动机械原理

振动沉模防渗板墙技术以振动锤作为动力设备，两根轴上各配置一个偏心块，电动机启动后牵引偏心块形成偏心，双轴同向同速运动时横向的偏心理被抵消，在竖向运动时就会形成激振力，促使其形成垂直方向的往复高频震动，冲击动量直接作用于空腹模板并促使其迅速沉降至地层。

2. 振动沉模原理

空腹模板在被沉入地层之后启动灌浆设备向其注入水泥浆，当振动模板在牵拉力作用下向上提时水泥浆就会在重力自然作用下由模板底端迅速填满因上提而形成的空间。由于振动沉模防渗板墙技术中模板上提、注浆同步完成，空腹模板给形成的防护墙提供了良好的防护作用，所以并不会存在防护墙壁坍塌情形，加之空腹模板底部含有多个槽孔，地层内部存在的洞穴、废弃管道、渗水点等均会被高压水泥浆灌满，使得整个加固防渗效果得到了有效地提升^[4]。空腹模板在沉降以及上提过程中振动锤源源不断的施加压力，与重力共同作用于灌注的水泥浆，内部空间被进一步压缩，形成的板墙厚度均匀，密闭性好，防渗透效果更佳。

(三) 其他堤坝防添加固技术

除了前述两种国内外常用的堤坝防渗加固技术外，劈裂帷幕灌浆技术、土工膜防渗技术、级配料灌浆技术、混凝土防渗墙技术亦在水利工程施工中较为常用。

1. 劈裂帷幕灌浆技术

该技术同样是我国独创的一项施工技术，沿着水利工程的堤坝的轴线均匀分布灌浆孔，充分结合坝体应力规律之下借助高压水泥浆的压力将坝体按照轴线方向劈开，形成的两侧坝体之中形成一定的空间，将水泥浆注入其中，促使其形成一道坚直的、连续性的防渗帷幕，以解决水利工程中坝体渗透稳定性差的问题^[5]。此外高压水泥浆注入期间坝体内部存在的应力不足位置将会被其充分灌注，从而促使堤坝重新维持应力平衡状态，提高整体结构的稳定性。但是，需要注意的是，不同地区的水利工程堤坝破坏原因不宜，并且堤坝整体结构亦不尽相同，所以在防添加固技术实施前需要开展灌浆试验，准确总结堤坝破坏的原因以及明确地层物理力学性质等信息，以便于确定最佳的灌浆方案。

2. 土工膜防渗技术

该技术是近些年来随着材料技术、工程施工工艺快速发展下形成的全新技术，主要用于堤坝的防渗斜墙、垂直防

渗墙、水平防渗铺盖（透水地基上的堤坝）等防渗加固工作中。在施工过程中首先需要在堤坝垂直方向钻出槽孔，之后将与槽孔深度相一致的整卷土工膜沉降至槽孔内，倒转土工膜轴卷促使其充分展开后于两侧相邻之间采用搭接的方式相互连接，最后于土工膜两侧填充混凝土即可以形成防渗帷幕。由于土工膜防渗技术形成的防渗帷幕质量与使用到土工膜密切相关，所以我国现行的《水利水电工程土工合成材料应用技术标准》要求土石堤坝所使用的土工膜厚度需 $> 0.5 \text{ mm}$ ；重要工程或者是关键部位结合实际情况适当加厚；次要部位或者是次要工程最小厚度不得低于 0.3 mm ^[6]。

3. 级配料灌浆技术

该技术主要用于喀斯特地貌、断层地带、存在大裂隙的地区水利工程堤坝防渗加固。首先根据防渗加固所需配比水分、砂石等骨料，形成的混合泥浆借助压力泵直接灌入堤坝内部，在压力以及重力双重作用下填补堤坝内部存在的缝隙以及空洞，形成一个密实的凝固体^[7]。由于我国南方多丘陵地区，西南地区水力资源丰富但亦属于喀斯特地貌，所以该技术的涌现给该地区水利工程堤坝防渗加固提供了强大的助力，级配料灌浆技术的具体流程见图1。

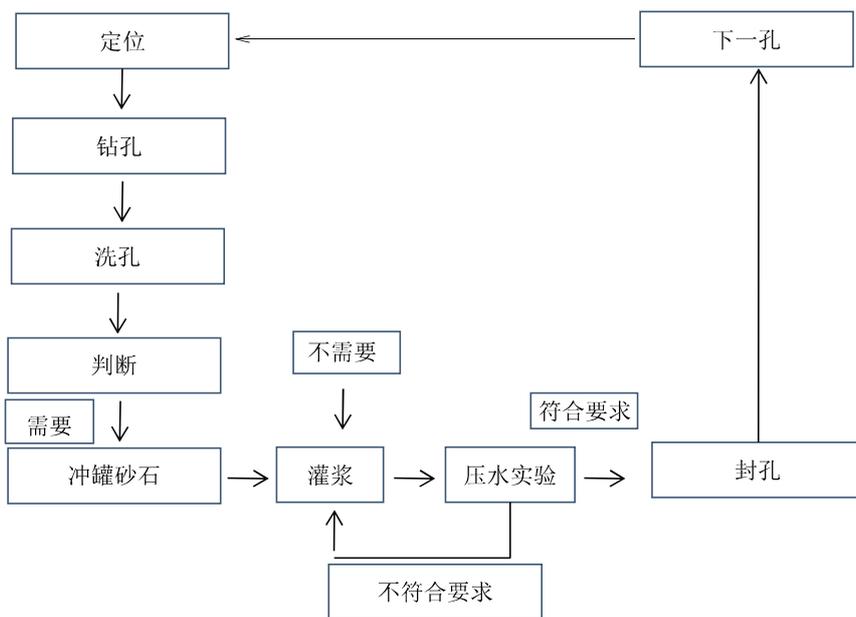


图1 级配料灌浆技术施工流程图

表2 水利工程施工中常用的堤坝防渗加固技术优缺点及适用条件

技术手段	优点	缺点	适用条件
高压喷射灌浆防渗技术	适用范围广泛、对施工机械设备要求低、施工便捷且经济性好、形成的防渗墙连接可靠、使用寿命长、施工材料来源广泛、便于施工现场管理	对施工连续性要求高，一旦施工现场发生断电将会导致施工中断，造成极大的人力、物力资源浪费	低水头土坝、松软地层防渗/堵漏、隐患堤坝的修补。适用地层包括软土层、砂土层、黏土层、黄土层、淤泥层、砂砾石地层（砂砾粒径 $< 20 \text{ cm}$ ） ^[9] 。
振动沉模防渗板墙技术	施工工艺简单，施工速度快，板墙质量佳	厚地层（卵石、漂石含量高）沉降困难，无法沉入基岩以及大块石之中。振动过程中容易削弱坝体稳定性。造墙深度 $< 25 \text{ m}$ ^[10]	砂性土层、黏土层、淤泥土层、砂卵石层。
劈裂帷幕灌浆技术	堤坝防渗加固设计合理、施工速度快、凝固体质量好、经济效益高	适用范围狭窄	坝体质量较差、坝体表面存在裂缝、塌陷等隐患的低均质土坝或者是心墙坝等。
土工膜防渗技术	施工所用防渗材料性能良好，开槽机的经济性高、施工速度快、能够大幅提高堤坝结构稳定性	使用的土工膜属于高分子化合物，在施工期间容易发生断裂、脆裂等风险。耐化学腐蚀性差 ^[10] 。开槽深度存在较大限制。	以低水头水利工程常用，不适合灌浆处理的水利工程斜墙坝、面板堆石坝。

4. 混凝土防渗墙技术

该技术诞生于20世纪50年代初,至今已经有60余年发展历史,而随着机械设备以及施工工艺的进步,混凝土防渗墙技术的实用性得到了显著地提升。在实际施工中混凝土防渗墙技术利用专门的造槽机械于坝体表面进行钻孔,利用泥浆灌注于槽孔之中形成的压力防治堤坝内部结构坍塌,再利用混凝土将泥浆置换出来,形成由混凝土构成的墙体^[8]。

三、水利工程施工中常用的堤坝防渗加固技术优缺点及适用条件

以上堤坝防渗加固技术在目前国内外水利工程中较为常用,各自均具有一定的优势,但又存在着一定的不足之处,所以总结常用防渗加固技术的优缺点以及适用条件对于指导水利工程堤坝防渗加固工作而言具有重要意义。本文围绕现阶段我国水利工程中常用的高压喷射灌浆防渗技术、振动沉模防渗板墙技术、劈裂帷幕灌浆技术、土工膜防渗技术4种技术进行总结,具体内容见表2。

四、小结

水利工程是一项惠及当代、造福子孙的工程,但堤坝长时间受到水流冲击以及施工技术等因素影响,存在较大的安全隐患,所以对堤坝进行防渗加固尤为重要。目前常用的防渗加固技术包括高压喷射灌浆防渗技术、振动沉模防渗板墙技术、其他堤坝防渗加固技术(劈裂帷幕灌浆技术、土工膜防渗技术、级配料灌浆技术、混凝土防渗墙技术)等。本文在选取目前国内常用的堤坝防渗加固技术后,对其优缺点以及适用条件进行总结,对于堤坝防渗加固技术的合理使用能够起到良好的指导作用。

参考文献:

- [1]肖迎.水利工程施工中堤坝防渗加固技术的运用[J].水电站机电技术,2019,42(9):67-69.
- [2]王杰生.浅析高压喷射灌浆技术在水利工程防渗中的应用[J].建筑与装饰,2018,25(21):149-150+154.
- [3]平伯瑜.水利工程施工中堤坝防渗加固技术的探讨[J].科学技术创新,2019,10(7):106-107.
- [4]王诗蕊.水利工程施工中堤坝防渗加固技术的应用[J].科学技术创新,2019,25(26):117-118.
- [5]罗明.水利工程防渗处理施工关键技术分析与研究[J].科技创新与应用,2019,33(28):147-148.
- [6]胡剑,张俊航.水利工程施工中堤坝防渗加固技术应用及质控要点分析[J].装饰装修天地,2018,11(14):376.
- [7]邢磊.水利工程施工中堤坝防渗加固技术应用及质控要点分析[J].中国高新区,2018,10(8):200.
- [8]庄鹏.水利工程施工中堤坝防渗加固技术应用及质控要点分析[J].大陆桥视野,2017,22(24):154-155.
- [9]李海艳.水利工程施工中堤坝防渗加固技术应用及质控要点分析[J].河南科技,2017,14(15):94-95.
- [10]朱晓霞,刘伟,杨莉.浅谈防渗加固工艺在水利堤坝工程施工中的应用研究[J].建筑工程技术与设计,2017,35(33):2773-2773.