

水利工程中水工建筑的防渗透技术分析

文 / 陈丽丽 广东省建筑工程集团股份有限公司

摘要：本文着重关注水利工程中水工建筑的防渗透技术，全面细致地对当下防渗透技术在实际应用中的情况以及问题展开分析。围绕地质条件、材料性能、施工工艺等多个方面，深入剖析造成渗透问题出现的各种原因。详尽地阐述混凝土防渗、土石坝防渗、新型材料防渗等多种技术的原理以及在实际应用中的关键点。提出诸如优化材料选择、规范施工工艺、强化监测与维护等改进策略，以便能为进一步提升水工建筑防渗透的能力提供相应的技术参考。

关键词：水利工程；水工建筑；防渗透技术；渗漏防治

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2025.19.091

引言

在水利工程建设期间，水工建筑的防渗透性能与工程的安全性以及耐久性有直接关联。伴随水利工程规模逐步扩大，并且其运行要求也不断提高，渗透问题已然成为影响水工建筑正常运行的关键因素。当下，防渗透技术在实际应用过程中，正面临着地质条件复杂、材料老化、施工质量高低不一等诸多问题，迫切需要对防渗透技术的现状加以细致分析，进而探索出更加有效的防渗措施，以此确保水利工程可以安全地运行。因此，深入研究防渗透技术改进策略具有重要工程意义。

一、水利工程中水工建筑渗透问题的现状

（一）渗透问题的普遍性

在水利工程领域，大坝、渠道以及水闸等各类水工建筑，都潜藏着渗透隐患。相关统计显示，在我国已经运行超过20年的部分水利工程中，大概有40%的水工建筑都出现不同程度的渗漏情况。以土石坝为例，其渗漏率达到35%，而混凝土坝的渗漏问题占比也在25%左右。这些渗透问题一方面会造成水资源浪费，另一方面还有可能致使坝体发生变形、结构遭受破坏等一系列安全事故，进而对水利工程的正常运转构成严重的威胁。

（二）渗透类型与危害

水工建筑的渗透问题，其主要类型包含坝体渗透、坝基渗透以及绕坝渗透等。就坝体渗透来讲，通常因为在混凝土浇筑时不密实，或者土石坝在填筑时质量欠佳而产生；坝基渗透，常常是由于对地基的处理不妥当，使得透水层未能得到有效封闭；至于绕坝渗透，则和岸坡的地质条件不好、防渗设施不完善有关。渗透会让水库的水量有所损失，使得工程维护的成本增加，甚至可能引发像坝体滑坡、塌陷这类重大事故，进而造成极大的经济损失，同时也会带来安全隐患。

（三）防渗透技术的应用现状

当下，在水利工程领域经常用到的防渗透技术有混凝土防渗墙、帷幕灌浆、土工膜防渗以及沥青混凝土防渗等。这些防渗透技术在各种不同类型的水工建筑中已然获得了广泛运用。不过，在实际运用时，还是存在像技术选择不合理、施工工艺不规范之类的状况。比如，

部分工程在砂卵石地层中仅采用单一的混凝土防渗墙，可是地层条件复杂，如此，防渗效果不是很好；还有部分土石坝工程中，土工膜在铺设时其质量没有达到相应的标准，使得防渗层失去效用。

二、水工建筑渗透问题的成因分析

（一）地质条件的影响

地质条件是致使水工建筑出现渗透问题的关键要素。像有复杂地质结构的情况，比如存在断层，以及裂隙发育明显的岩层，另外，透水性强的砂卵石地层同样也会使得渗透风险增加。以在喀斯特地区修筑大坝为例，如果没有针对溶洞、溶蚀裂隙采取有效处理，就容易形成渗漏通道。并且，地基土层如果出现不均匀沉降的状况，也会致使防渗结构产生开裂，进而引发渗透问题。

（二）材料性能的不足

防渗透材料自身的性能会对最终的防渗成效产生直接影响。就传统的混凝土材料来讲，其存在着收缩进而开裂的风险，特别是处于温度变化幅度大的地区，混凝土构筑的防渗墙极易产生裂缝，从而会形成渗透通道。而对于土工膜材料而言，如果它的耐老化性能不足，那么在长期处于水下环境或者受到阳光持续照射的条件下，就容易出现老化以及破损的现象，进而致使防渗的功能失效。另外，灌浆材料在选择上如果不够恰当，这同样也会对帷幕灌浆的防渗效果造成影响，例如水泥浆在细颗粒的地层中，其扩散能力有限，很难形成有效防渗的屏障。

（三）施工工艺的缺陷

在施工过程中，工艺方面的缺陷是造成渗透问题的一个主要缘由。以混凝土浇筑为例，当在这个过程中振捣未能达到密实的程度时，便会产生像蜂窝、麻面这类的缺陷，而这些缺陷也就顺势成为渗漏的通道。再看帷幕灌浆施工方面，在施工时对灌浆压力掌控得不够恰当，并且灌浆的深度也有所欠缺，就会致使灌浆帷幕不连续，对防渗的实际效果产生影响。至于土工膜的铺设工作，倘若焊接质量没有达到合格标准，同时搭接的长度也不够，就很容易在接缝的地方出现渗漏的情况。除此之外，在施工过程中，如果对质量的管控不够严格，同样也会使得防渗透设施的质量无法达到相应标准。

(四) 运行管理的不足

水工建筑于运行期间,因欠缺有效的监测及维护举措,渗透问题没能被及时察觉并加以处理。有部分工程并未构建起完备的渗透监测体系,所以无法实时知晓渗透的具体情况;还有些工程在察觉到渗漏情况后,却未能即刻施行有效的处理办法,如此一来,渗漏问题便逐渐严重。再者,在运行过程中,诸如水位骤然变化、荷载出现变动等因素,同样会给防渗透设施带来损害,如果不及时进行维护,渗透问题将会越发严重。

三、水工建筑防渗透技术分析

(一) 混凝土防渗技术

1. 混凝土防渗墙

混凝土防渗墙属于水利工程中经常用到的防渗技术手段,在坝基以及渠道等相关部位的防渗处理方面比较适用。它的原理是在地基中建造起一道不间断的混凝土墙体,通过这样的方式把渗透的路径截断。混凝土防渗墙在施工时,其工艺主要涵盖了造孔、清孔以及浇筑混凝土等一系列环节。在开展造孔工作时,常用的成槽机械包含冲击钻、回旋钻等,如果遇到砂卵石地层的情况,可以采用抓斗成槽机。清孔的质量对混凝土防渗墙的质量有直接影响,所以要保证孔内沉渣的厚度不会超出设计要求。而混凝土的浇筑则是采用导管法进行操作,以此确保混凝土浇筑能够具有连续性,并且保证其具有密实性。



图1 混凝土墙施工图

2. 预应力混凝土防渗

预应力混凝土防渗技术,是通过给混凝土施加一定的预压应力使混凝土的抗裂性能得以提升,如此,防渗效果也会增强。该技术在像混凝土坝、水闸这类水工建筑的防渗处理比较适用。预应力的施加方式主要包括先张法与后张法,而在水工建筑中,以使用后张法为主。在施工时,首先要浇筑混凝土构件,在所浇筑的混凝土达到特定的强度后,便在构件内部张拉预应力钢筋,再借助锚具把预应力传递到混凝土中。

(二) 土石坝防渗技术

1. 黏土心墙防渗

黏土心墙属于土石坝经常用到的一种防渗结构,其所处位置是在坝体的中央部位,能够发挥出截断坝体渗透路径的作用。对于黏土心墙而言,所选用的材料应是透水性较低的黏土,而且其压缩性要小,抗剪强度要高。黏土心墙在防渗方面存在诸多特点,其优点表现为材料的来源广泛,造价不高,防渗效果也很好;而其缺点则在于黏土本身的抗剪强度相对较低,当坝体出现较大变形时,很容易产生裂缝,并且黏土心墙的施工会在很大程度上受到气候条件的影响,如果在雨季施工,施工难度就会很大。在实际应用的过程中,要留意黏土心墙和坝体的其他部分之间的连接情况,防止出现接触渗漏的问题。比如在黏土心墙和坝基相连接的位置,应设置混凝土底座,以此提升连接的可靠度。

2. 土工膜防渗

土工膜防渗技术,就是要在土石坝的上游坝面抑或是坝基的位置铺设土工膜,如此便能形成防渗层。土工膜自身有很好的防渗性能,而且它重量较轻,施工方便,使得它能够适用于像土石坝、渠道这类水工建筑的防渗处理工作。土工膜防渗有很多优势,比如它的防渗效果优异,施工速度较快,造价较低;不过它也存在一些缺点,就是土工膜很容易受到尖锐物体的损伤,其耐老化性能也不够好,需要设置保护层。在实际的应用过程中,需依据工程具体的要求来挑选合适的土工膜材料以及确定合适的厚度,并且要做好土工膜的保护措施。比如在土石坝的上游坝面铺设好土工膜之后,在它的上方再铺设一层保护层,可以采用碎石或者是混凝土预制块来铺设,这样就能防止土工膜受到阳光照射以及外力损伤。



图2 土工膜防渗图

(三) 新型防渗透技术

1. 纳米复合防渗材料

纳米复合防渗材料是把纳米材料同传统防渗材料加以复合,以此使材料的防渗性能以及耐久性获得提升。比如,在混凝土中添加上纳米二氧化硅、纳米碳酸钙这类纳米材料,能够对混凝土的微观结构予以改善,使混凝土的抗渗性能以及强度都有所提高。纳米复合防渗材

料具备诸多优点,像其渗透系数较低,耐久性良好,而且施工方便,所以它适用于像混凝土坝、防渗墙这类工程。

纳米复合防渗材料在当下的应用尚处于发展中,有必要对其性能以及施工工艺展开更进一步的探究。于实际应用环节,要留意纳米材料的掺入量以及其分散特性,保证纳米材料和基体材料能够达成均匀的混合状态。比如在混凝土中添加纳米二氧化硅时,其掺入量通常是占水泥用量的2%至5%,并且要运用高效分散剂来确保纳米二氧化硅可以均匀地分散,防止出现团聚现象。



图3 混合型防渗墙施工图

2. 智能防渗监测系统

智能防渗监测系统借助在水工建筑中埋设传感器的方式,对渗透压力、渗漏量以及温度等参数展开实时监控,达成对渗透情况实时监控并能及时发出预警的效果。此系统涵盖了传感器、数据采集器、数据传输网络以及监控中心等多个组成部分。就传感器而言,像渗压计、流量计、温度传感器等,它们能够实时收集与渗透相关的数据,并且以无线传输的途径将这些数据传送到监控中心,而监控中心会针对接收到的数据进行分析与处理,一旦察觉到异常情况,便会即刻发出预警信号。

四、防渗技术的优化策略

(一) 优化材料选择

依照工程地质的条件以及实际运行的各项要求,合理地挑选防渗材料。就混凝土防渗结构来讲,能够选用抗渗性能好的混凝土配合比,并且添加外加剂提升混凝土的抗渗以及耐久性能;在土石坝防渗时,可以选用品质优良的黏土或者高性能的土工膜材料;针对新型防渗技术而言,积极推广应用像纳米复合防渗材料这类的新型材料,以此增强防渗的实际效果。与此同时,还应强化对防渗材料的质量检测,保证材料的性能与设计要求相契合。

(二) 规范施工工艺

着手建立起一套完善的施工质量管控体系,将防渗技术的施工流程加以规范。在开展混凝土防渗墙施工期间,要对造孔精度以及混凝土浇筑质量予以严格把控;而在帷幕灌浆施工时,需要合理掌控灌浆压力以及灌浆量,以此保证灌浆帷幕能够具备连续性以及密实性;至

于在土工膜铺设施工的过程中,则要确保土工膜的焊接质量以及搭接长度达标。与此同时,进一步强化针对施工人员的技术培训工作,促使施工人员的专业素质与操作水平得以提升,进而保证施工工艺能够契合相关要求。

(三) 强化监测与维护

构建完备的水工建筑渗透监测体系,运用智能防渗监测的相关技术,对渗透情况进行实时监控,以便能迅速察觉渗透方面的隐患。拟定科学合理的维护规划,定期针对防渗设施展开细致检查以及妥善维护,针对所发现的渗漏问题,需即刻采取有效的处理办法。比如,如果混凝土防渗墙出现了裂缝,那么可以运用灌浆法来加以处理;如果土工膜存在破损情况,便能够采用补丁法来完成修补作业。与此同时,进一步强化针对运行管理人员所开展的培训工作,以此提升他们就渗透问题展开判断以及处理的实际能力。

(四) 加强技术创新

增加对防渗技术研发方面的投入力度,积极鼓励科研机构以及企业开展关于防渗技术的创新性研究工作,致力于开发新类型的防渗透材料以及相关技术。比如,要更进一步地深入探究纳米复合防渗材料的性能特点以及其具体的应用技术,同时要对智能防渗监测系统的各项功能加以完善,以此促使防渗技术的智能化程度得以提升。并且,还需强化在国际交流与合作,引进国外先进的防渗透技术以及相关经验,从而推动我国防渗透技术不断向前发展。

结语

在水利工程领域中,水工建筑所运用的防渗透技术是确保工程安全运行的重要因素。就当下的情况而言,防渗透技术在实际应用时,出现了诸多问题,像渗透问题普遍,产生的原因复杂,以及技术应用不合理等。经过对混凝土防渗、土石坝防渗以及新型防渗透技术进行分析之后,相应地提出了一系列优化策略,比如要优化材料的挑选,使施工工艺更加规范,强化监测与维护工作,并且加强技术创新等方面。在未来,还需要进一步去深入研究防渗透技术,同时加大其应用的力度,持续提升水工建筑的防渗透能力,从而为水利工程可以安全运行提供有力保障。

参考文献

- [1] 钟林. 水利工程中水工建筑的防渗透技术分析[J]. 水上安全, 2025, (04): 133-135.
- [2] 宋斌, 李钟宁. 水利工程施工中堤坝防渗加固技术研究[J]. 现代工程科技, 2024, 3(24): 35-38.
- [3] 曾凡妮, 李瑶. 水利堤坝加固工程中塑性混凝土防渗墙施工技术研究[J]. 产业科技创新, 2024, 6(06): 40-43.
- [4] 董铁庆. 水利工程中水库堤坝防渗施工技术及其防治方法[J]. 中华建设, 2024, (06): 132-134.
- [5] 计永清. 水利建筑防渗工程土工膜焊接施工技术分析[J]. 四川水泥, 2023, (06): 184-186.