

## 防渗渠道施工技术在水利水电工程中的应用

戴诚诚

阜康市水利管理站, 新疆 昌吉 831500

[摘要]水利工程是区域水资源调控的重要载体,其输水效率以及结构耐久性会对生态安全和经济发展产生直接影响,在干旱以及半干旱地区,渠道防渗技术既关系到水资源利用效能,又是维系脆弱生态平衡的重要防线,文章主要探讨依靠技术创新达成防渗工程从被动防御转向主动适应的范式转变,为特殊环境下的水利工程建设给予理论方面的支持。

[关键词]防渗渠道;冻融循环;盐碱腐蚀;复合结构;智能监测

DOI: 10.33142/hst.v8i7.17113

中图分类号: TV441

文献标识码: A

### Application of Anti-seepage Canal Construction Technology in Water Conservancy and Hydropower Projects

DAI Chengcheng

Fukang Water Conservancy Management Station, Changji, Xinjiang, 831500, China

**Abstract:** Water conservancy projects serve as crucial platforms for regional water resource management. Their water conveyance efficiency and structural durability directly impact ecological security and economic development. In arid and semi-arid regions, canal seepage control technology is not only related to the efficiency of water resource utilization but also serves as a vital line of defense in maintaining the fragile ecological balance. This article primarily explores the paradigm shift of seepage control engineering from passive defense to active adaptation through technological innovation, providing theoretical support for water conservancy project construction in special environments.

**Keywords:** impermeable channel; freeze-thaw cycle; saline-alkali corrosion; composite structure; intelligent monitoring

#### 引言

新疆地区有着独特的地貌特征以及气候条件,这就构成了颇为复杂的水利工程环境。那里强烈的干湿交替情况加上剧烈的昼夜温差,形成了建筑材料所面临的极端热力学环境;并且,广泛分布的盐渍化土壤以及矿化度颇高的地下水,催生出了特有的化学腐蚀机制;还有,由季节性冻土层引发的周期性冻胀消融现象,致使工程结构不断遭受物理破坏。这些自然要素相互叠加所产生的效应,常常让常规的防渗技术陷入顾此失彼的困境当中:要是提升了抗渗性能,就有可能牺牲掉结构的柔性;而要是增强了耐腐蚀性,又可能会使抗冻能力变弱。再往深层次来讲,工程的防渗需求和生态水文循环之间存在着极为微妙的平衡关系,要是将水力联系完全隔断开来,那么很可能会引发次生的生态问题。如此这般的多维度矛盾交织在一起,这就要求现代的防渗技术必须要突破以往那种仅仅针对单一性能进行优化的传统思维模式,进而建立起一个能够兼顾力学性能、环境适应情况以及生态协调等方面的系统化解决方案。

#### 1 新疆地区渠道防渗工程的特殊性

##### 1.1 极端气候条件下的防渗挑战

新疆有着独特的干旱性气候,这一气候条件给防渗工程带来了极为严峻的考验。该地区降水颇为稀少,然而蒸发量却是极大的,如此便形成了十分强烈的干湿交替效应。

昼夜温差呈现出剧烈的波动状态,建筑材料由此要承受远超出常规情况下的热胀冷缩压力,其结构稳定性也面临着持续不断的威胁。而且,这里还时常发生强风天气,这些强风裹挟着砂石,进而对工程表面产生持续的剥蚀作用。正是这种极端气候所形成的复合作用,常常致使传统防渗体系在相对较短的时间内就出现结构性损伤的情况。

##### 1.2 冻融循环对渠道结构的破坏特性

在寒冷区域,其特有的冻融交替这一过程给渠道工程带来了特殊的挑战。在这个过程中,周期性的冻结以及随后的消融会在建筑体内部产生较为复杂的应力方面的变化情况。尤其是当基础土壤的含水状态出现变化的时候,由此引发出来的膨胀压力往往很容易超出常规材料所能承受的极限范围<sup>[1]</sup>。这样的持续发生的物理破坏呈现出一种渐进并且不断累积的特点,每经历一次温度的波动,都会从细微的层面去削弱结构本身的完整性,久而久之就逐渐演变成肉眼能够看得见的工程方面的缺陷状况。

##### 1.3 盐碱土壤环境对材料性能的特殊要求

盐渍化地质环境广泛存在,其对建筑材料提出了特殊的性能方面的需求。在这样的环境下,地下水以及土壤里的盐分浓度颇高,这些高浓度的盐分和常规建材会产生复杂的化学反应,进而加速材料性能不断衰减的过程。并且,在高温环境之下,再加上化学腐蚀的作用,两者相互协同,导致传统防水材料常常会出现性能退化的状况。如此特殊

的环境状况,要求防渗体系一定要具备多种防护特性,从而能够应对那种复合型的腐蚀威胁。

## 2 水利水电工程的防渗渠道施工技术

### 2.1 混凝土防渗施工技术

在建筑材料领域,针对混凝土的挑选与调配,可运用高级别性能的混凝土制造技术。用于施工防渗渠道的材料,具备优秀的防止液体渗透及承受压力的特性,同时拥有出色的长期稳定性。为了增强混凝土的致密性与防止液体渗透,可通过掺入高品质水泥、细小颗粒的骨料以及特定化学添加剂来实现。为了优化混凝土的性能,提高其工作性和抗渗性,可以按照具体需求掺入适量的粉煤灰或硅灰等矿物材料。在建筑作业的实施阶段,对混凝土材料进行浇筑作业及其后续的养护措施,是必不可少的工艺流程<sup>[2]</sup>。混凝土浇筑过程中,需采纳适宜的技术与方法,以保证材料在渠道内部均匀分布,同时减少空隙和裂缝的出现。利用振捣或振动棒等工具对混凝土进行振动压实,以增强其致密性。针对规模宏大的水利电力建设项目,采取持续性的混凝土浇筑工艺,以此保障其结构的连贯性和质量的一致性。

### 2.2 膜材防渗施工技术

现代高分子材料的选择以及施工工艺方面的革新,这在膜材防渗领域而言,无疑是处于核心地位的关键要素。依据分子链结构的设计理念来开展相关工作,去选用那种有着拓扑互锁效应的合成材料,而这种材料所具备的三维网状结构,能够在很大程度上对应力集中起到有效的分散作用。创新并研发出来的多模式复合焊接技术,把热熔接缝的处理方式和化学界面的强化手段相互结合起来,进而形成一个拥有梯度过渡特性特点的连接体系。智能铺装系统把激光定位以及实时形变监测这两项功能给集成到了一起,并且借助自适应调节装置来动态地对施工过程中出现的偏差加以修正,这种方法特别适合在复杂地形条件下开展精准的作业操作。该技术体系成功突破了传统防渗膜在机械连接方面所存在的局限性,构建起了一个既能够具备柔性适应能力又拥有刚性支撑功能的复合防护层,在面对地基出现不均匀沉降这样的情况时,它能够展现出独特的优势所在。

### 2.3 沥青材料防渗施工技术

改性沥青材料在研发以及应用方面开拓出了防渗技术全新的实践路径。具体而言,凭借引入纳米插层改性这一手段以及纤维增强技术,于沥青基体当中去构建起具有多尺度特性的增强网络,进而达成对材料流变特性予以精准调控的目标。在施工环节,运用梯度构建工艺来开展相关操作,其中底层借助高压喷射的方式形成致密的防渗主体层,而表层则采用矿料嵌锁技术去构筑起能够起到抗冲刷作用的保护体系,并且各个结构层之间经过界面活化处理之后,能够实现应力传递方面的优化效果<sup>[3]</sup>。这样的一种复合式施工方法成功突破了传统材料所存在的温度敏感性方面的限制,在从-30℃~70℃这样的工况范围之内,都能够保持较为稳定的防渗性能表现,而且它所具备的特

有的自修复特性还能够在很大程度上有效地弥合微裂纹,从而使得维护周期得以显著地延长。

### 2.4 灌浆防渗施工技术

在面对特殊地质状况之时,对浆液体系加以创新以及对注浆工艺予以革新,这无疑成为了破解难题的要害所在。依据流变学相关理论所精心开发出来的智能调变浆液,能够依照地层所具有的渗透特性来实时地去调整其自身的黏度以及析水率,进而达成浆岩耦合状态的精确匹配效果。分级加压注浆系统把压力传感装置以及流量反馈装置集纳于一体,借助于对注浆压力和地层承载能力进行动态的平衡处理,从而形成了一种渐进式的渗透加固成效。三维立体注浆技术运用空间交错的布孔方案,在砂砾石地层当中构建起一套相互之间能够咬合在一起的防渗网络体系。这样的环境自适应施工方法,一方面实现了防渗幕体呈现出连续且完整的状态,另一方面还凭借微裂隙的化学胶结作用使得基础结构的整体稳定性得到了进一步的强化。

## 3 防渗渠道施工中的常见问题

### 3.1 冻胀破坏与温度应力问题

寒区工程所面临的主要威胁是冻融循环所引发的结构性损伤。地基土体当中的含水相变会产生膨胀应力,而建筑材料自身的温度收缩效应也会发挥作用,二者相互交织形成了复杂的耦合状况,这种力学上的失衡在渠道的阴面表现得特别突出。经过反复的冻胀抬升以及消融沉降这样的过程之后,衬砌结构会出现渐进式的位移累积情况,最终突破了材料所能承受的应变限度,进而形成了贯穿性的裂缝。并且,温度梯度所引发的非均匀变形会在结构内部形成残余应力场,这无疑为后续可能出现的破坏情况埋下了不小的隐患。

### 3.2 材料老化与耐久性不足

极端环境所产生的加速效应,对防渗体系的服役寿命造成了极为严重的制约。其中,紫外辐射会引发高分子材料出现链式降解的情况,使得材料的柔韧性出现了明显的衰退状况。在盐碱介质当中,电化学腐蚀的作用不但会加速金属构件的锈蚀进程,而且还会引发混凝土基体产生化学膨胀反应。材料性能随着时间的推移而发生的退化情况,呈现出十分显著的非线性特点,并且其力学性能衰减的速度往往会超出常规的预测模型所预期的程度,进而形成了工程维护方面的“时间窗口陷阱”状况。

### 3.3 施工接缝渗漏隐患

结构连续性存在薄弱环节,而这一薄弱环节已然变成了渗漏的关键通道。传统的接缝处理工艺没办法很好地适应在复杂环境下出现的动态变形方面的需求。温度循环以及地基沉降这两种情况共同发生作用,使得界面密封体系出现了累积性的损伤状况。而且更为棘手的是,渗流场和应力场相互之间存在交互作用,并且由此形成了正反馈机制。微小的渗漏通道在受到流体侵蚀的情况下会不断地持续扩展,最后逐渐演变成具有系统性的渗漏网络。

### 3.4 生态保护与防渗需求的矛盾

防渗工程所具有的环境外部性已然催生出全新的生态方面的挑战。其将水力联系彻底隔断这一情况,使得区域地下水的补给模式发生了改变,进而致使滨岸植被群落出现了逆向演替的状况。而这样的生态响应有着颇为明显的时间滞后效应,通常等到表现上的工程效益开始显现出来的时候,深层的生态损伤往往已经进入到不可逆转的阶段了。所以,要去探寻渗漏控制和生态需水二者之间的动态平衡状态,这已然成为了现代防渗技术务必要去解决的一个充满悖论性质的命题。

## 4 加强防渗渠道施工技术的优化措施

### 4.1 基于 BIM 的施工过程模拟优化

数字化预建造技术开辟了工程决策的新模式。利用多物理场耦合仿真手段,能够精准地重构冻胀应力的发展轨迹以及材料损伤的演化规律。依照热力学第二定律展开的熵增分析,可以对冻胀破坏的不可逆过程予以量化预测。多尺度建模技术把分子层面的材料特性同宏观工程响应紧密关联起来,达成了从纳观缺陷直至结构失效的全流程预测目标。在虚拟施工环境里,参数化迭代突破了经验主义的限制,增强现实辅助决策系统凭借三维可视化的界面,能把复杂的力学云图转变成直观的工程语言。云端协同平台所构建的全要素数据链将地质勘测、材料性能以及气候预测等信息充分融合在一起,这样的虚实融合预演体系赋予了施工方案动态优化的能力,能够依据环境变化自行调整施工参数。

### 4.2 新型防渗材料的研发应用

材料基因组理念促使防渗技术革新步入了全新的时代。依据分子动力学模拟展开定向设计,去开发梯度功能纳米复合材料,在此过程中,量子点修饰技术会在该材料的表面构建起原子级别的防护屏障。受到仿生学所启发的自修复体系成功突破了传统被动防护所存在的局限性,其中,损伤触发型纳米机器人能够在裂缝界面按照特定方向进行富集,进而达成分子层面的智能修复流程。四维打印材料具备时空响应的特性,能够根据所处环境的各类刺激自主地对微观结构做出调整,而相变储能材料经过创新性的应用之后,也赋予了防渗体系动态调节温度的能力。这样的一种智能材料体系把原本静态的防渗方式转变成了动态的防御模式,其生物启发式的自愈合机制和量子技术相互融合的程度颇深,这无疑标志着材料科学已然进入了与环境协同演进的新模式。

### 4.3 复合式防渗结构体系构建

协同防护理念对工程结构设计范式予以重塑。柔性材料和刚性基体的界面耦合技术借助分子级表面修饰达成化学键合以及机械互锁,声子晶体理论的波动调控技术于复合结构当中构建起带隙滤波机制,可有效衰减具有破坏性的应力波。多层异质结构采用梯度设计,其模仿的是贝壳珍珠层的构造,从材料层面构建起了能量耗散机制。智

能缓冲层嵌入形状记忆合金元件之后,能赋予结构在损伤之后具备自复位的能力,进而把集中应力转变为分布式微应变。这种仿生层级结构融合了木材年轮构造原理,依靠微观界面工程来优化应力传递路径,在面对极端荷载的情况下能够展现出自适应的整体性。

### 4.4 智能化监测与维护体系建设

物联网技术所赋能的智慧运维体系,当下正引发着一场革命性的变革。分布式传感网络融入了量子传感技术,如此一来,其监测精度得以推进到皮米量级的程度,进而能够捕捉到纳米级结构出现的变形情况。机器学习算法于联邦学习框架之中构建起防渗性能退化方面的知识图谱,自主修复机器人集群运用群体智能算法达成对复杂损伤的协同作业操作<sup>[4]</sup>。区块链技术支持的数据确权体系,可保障整个生命周期内数据的完整性,而数字孪生平台借助边缘计算实现了“感知-认知-决策-执行”这样一个闭环管理模式。这样的智能生态系统已然突破了传统的运维模式,随着量子通信技术的引入,监测数据能够实现光速级别的响应,这无疑标志着基础设施运维正式迈入了自主进化的智慧化时代。

## 5 结束语

防渗渠道技术的演进实际上是人类应对自然约束的一种创新实践,在极端环境条件之下,工程解决方案已经从单纯的材料改良逐渐发展成为多学科交叉的系统工程,其关键之处在于理解并顺应自然力的作用规律,通过仿生结构设计来模拟自然系统的抗损机制,凭借智能材料达成损伤自感知与自修复的效果,运用数字孪生技术预演复杂环境下的工程响应,这些创新方向正重塑着防渗工程的技术范式。未来技术的发展不能仅仅局限于工程本体的性能提升,更要着眼于构建人水和谐的生态共同体,这就要求防渗体系既要确保水资源的高效利用,又要维持必要的水文连通性,还得能够抵御自然侵蚀。在气候变化不断加剧的背景之下,怎样让防渗工程具备环境自适应能力,将会成为水利科技持续探索的一个重要命题。

### [参考文献]

- [1]高飞,杜兴邦,卢亮亮,等.装配式建筑现浇外墙施工缝防渗漏设计[Z].《施工技术》杂志社.2024年全国土木工程施工技术交流会论文集(上册).中建八局西北建设有限公司,2024:562-565.
  - [2]庞永波,李晶.水利水电工程混凝土施工关键技术研究[J].地下水,2024,46(5):316-317.
  - [3]葛志刚.农田水利渠道渗漏的原因及防渗技术[J].农村科学实验,2025(2):97-99.
  - [4]韩良凯.防渗渠道抗冻胀措施探析[J].黑龙江水利科技,2022,50(4):113-114.
- 作者简介:戴诚诚(1984.1—),毕业院校:新疆农业大学,所学专业:水利水电工程,当前就职单位名称:阜康市水利管理站,职称级别:工程师。