

## 唐徕渠水工混凝土缺陷修补加固技术应用与思考

桑淑娟

宁夏唐徕渠管理处, 宁夏 银川 750001

[摘要]唐徕渠作为宁夏引黄灌区的重要干渠,在冬季极端低温天气下,水工混凝土结构容易发生冻融剥蚀破坏,严重影响了渠道的稳定运行。文中以唐徕渠水工混凝土冻融剥蚀破坏为背景,对其修补加固技术进行了研究和分析,通过对唐徕渠工程概况和冻融剥蚀破坏的原因进行了分析,提出了修补加固技术的试验方案和具体工艺要求。同时,从提高人员素质和做好前期物资设备准备两个方面进行了思考,以期为宁夏引黄灌区水工混凝土缺陷修补加固提供参考和借鉴。

[关键词]唐徕渠;水工混凝土;冻融剥蚀;修补加固

DOI: 10.33142/hst.v7i8.13172

中图分类号: TV698.2

文献标识码: A

### Application and Reflection on the Repair and Reinforcement Technology of Concrete Defects in Tanglaiqu Hydraulic Engineering

SANG Shujuan

Ningxia Tanglaiqu Management Office, Yinchuan, Ningxia, 750001, China

**Abstract:** As an important main channel in the Ningxia Yellow River Diversion Irrigation Area, Tanglaiqu is prone to freeze-thaw erosion and damage to the hydraulic concrete structure under extreme low temperature weather in winter, which seriously affects the stable operation of the channel. This article takes the freeze-thaw erosion and damage of Tanglaiqu hydraulic concrete as the background, studies and analyzes its repair and reinforcement technology. By analyzing the overview of Tanglaiqu engineering and the causes of freeze-thaw erosion and damage, a test plan and specific process requirements for repair and reinforcement technology are proposed. At the same time, thoughts are given from two aspects: improving personnel quality and preparing materials and equipment in the early stage, in order to provide reference for the repair and reinforcement of hydraulic concrete defects in Ningxia Yellow River Diversion Irrigation Area.

**Keywords:** Tanglaiqu; hydraulic concrete; freeze thaw erosion; repair and reinforcement

水工混凝土结构作为灌溉、供水和水电站等关键设施的核心组成部分,其性能直接关系到水资源的有效利用和保护<sup>[1]</sup>。然而,这些结构面临着极端气候的挑战,尤其是冻融循环,对混凝土结构的完整性构成了严峻的威胁。唐徕渠作为中国西北地区重要的灌溉渠道,其水工混凝土结构的破坏现象尤为严重,影响了渠道的正常功能和水资源的分配效率。

冻融剥蚀破坏是指水分在混凝土孔隙中冻结时体积膨胀,使得混凝土表面或内部结构受到破坏。这种破坏不仅减少了结构的使用寿命,还增加了维修和加固的经济负担。因此,本文围绕唐徕渠水工混凝土的冻融剥蚀破坏现象及其修补加固技术进行深入探讨,期望为我国乃至全球范围内水工混凝土结构的保护和维修提供有力的技术支持。

#### 1 工程概况

唐徕渠是宁夏引黄灌溉系统中规模最大的主干渠道,总体长度达 314 公里。这条渠道沿线建有丰富的水利设施,包括 513 座直开口、44 座涵洞、51 座水闸、20 座渡槽以及 1 座陡坡跌水和 240 座桥梁,总计 869 座各类建筑物,这些设施共同维护着灌溉系统的高效运行。

作为宁夏重要的水源输送通道,唐徕渠的干渠进口设计流量为 127m<sup>3</sup>/s,平均年行水时间约为 185 天。近年来,

年均引水量达到 9.8 亿 m<sup>3</sup>,主要用于支持宁夏 9 个市县的 120 多万亩农田灌溉需求。此外,唐徕渠还肩负着向典农河、沙湖、星海湖等 19 万亩湖泊湿地提供必要补水的任务,对维护地区生态平衡与农业发展起着至关重要的作用。

#### 2 唐徕渠水工混凝土出现冻融剥蚀破坏及其原因分析

##### 2.1 唐徕渠水工混凝土冻融剥蚀破坏分析

唐徕渠灌区位于中国西北部的干旱半干旱地带,冬季气温骤降,导致该地区必须进行冬灌以增加土壤墒情,通常冬灌会在每年 11 月 20 日前后结束。随着日平均气温下降至零度以下,渠道停水,原本蓄积在渠道内侧的水分在完全渗透前就已冻结,导致土壤在极端低温下发生冻胀,严重损害渠道的结构完整性。尤其在挖方渠道中,停水后内侧水分未能及时排出,加之外部水源的补给,导致渠道土壤的水分含量大幅增加,从而加剧了混凝土的冻融剥蚀现象。

以唐徕渠西门桥下的具体案例为例,该段渠道在 2003 年进行了全断面衬砌,使用了 40cm 厚的 C30、F200、W6 标号混凝土。十余年运行后,该区域的混凝土出现了大面积的冻融剥蚀破坏,局部剥蚀深度达到了约 10cm,甚至部分区域的底板表面钢筋已露出,严重影响了渠道的

使用安全和寿命。

### 2.2 唐徕渠水工混凝土出现冻融剥蚀破坏的原因分析

唐徕渠作为宁夏引黄灌区的重要灌溉工程,其水工混凝土结构的冻融剥蚀破坏问题是当前工程运行中亟待解决的难题。冻融剥蚀破坏是指混凝土结构在冬季停水期间,由于水分冻结导致土壤膨胀,进而对混凝土结构表面产生脱落、剥蚀的现象。唐徕渠水工混凝土冻融剥蚀破坏的主要原因包括停水期间水分无法及时排出、混凝土抗冻性能不足、振捣不密实以及养护不到位等因素<sup>[2]</sup>。

第一,冬季停水期间渠道内的水分无法及时排出是导致冻融剥蚀的主要原因。冬季停水时,渠道内的水分被封存在土壤中,随着温度的下降而冻结膨胀,给混凝土结构带来了极大的压力,导致表面脱落和剥蚀,特别是挖方渠道中,土壤的含水量更大,冻胀的压力更加剧烈,从而使剥蚀情况更为严重。

第二,冻融剥蚀破坏与混凝土的抗冻性能密切相关。混凝土的含气量远低于抗冻混凝土的要求,表明在混凝土的制作过程中存在着引气剂的大量损失,导致混凝土的抗冻性能不足,混凝土的抗冻性能不足则会使得其在冬季遇到冻融循环时更容易发生剥蚀破坏。

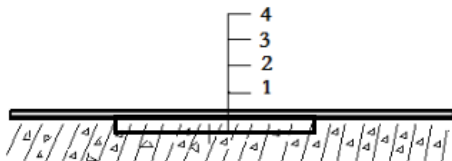
第三,振捣不密实以及养护不到位也是导致冻融剥蚀破坏的重要原因。混凝土的振捣不够密实会导致混凝土内存在空隙,容易受到水分渗透和冻胀的影响;而养护不到位则会使得混凝土表面过早失水,影响其抗冻性能,增加了冻融剥蚀的风险。

### 3 唐徕渠水工混凝土冻融剥蚀破坏修补加固技术分析

鉴于唐徕渠水工混凝土因冻融剥蚀出现严重破坏,迫切需要采取措施以延长其使用寿命。在保持原有功能和技术规格不变的前提下,推荐对唐徕渠混凝土表面实施一系列修复和加固措施,包括表面粗糙化、结构加固、增强防渗效果及提升抗冻能力的综合处理,旨在有效减轻或消除冻融带来的负面影响,从而保障渠道及其建筑物的长期稳定运行<sup>[3]</sup>。

#### 3.1 试验方案

方案一:重度剥蚀部位修补。剥蚀深度大于 30mm 区域为重度剥蚀区,采用聚合物混凝土和聚合物砂浆进行修补处理,具体方案见图 1。

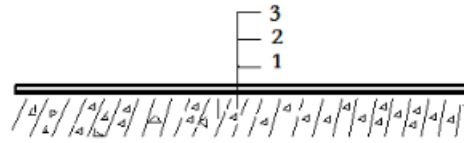


1—混凝土基面; 2—SPC 界面剂(1道); 3—聚合物混凝土; 4—SPC 聚合物砂浆(10mm)

图 1 重度剥蚀部位修补处理方案

方案二:中度剥蚀部位修补。剥蚀深度 5~30mm 区域为中度剥蚀区,建议采用聚合物砂浆进行修补处理,具体

方案见图 2。

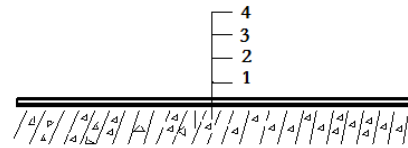


1—混凝土基面; 2—SPC 界面剂(1道); 3—SPC 聚合物砂浆(20mm)

图 2 中度剥蚀部位修补处理方案

方案三:轻微剥蚀或暂未剥蚀需修补部位,采用不同三种防护材料进行整体防护处理。整体防护的目的主要是为混凝土提供一个整体防护、防渗涂层,杜绝空气、水分进入混凝土内部,防止冻融剥蚀、钢筋锈蚀、混凝土碳化等老化病害的发生和发展。

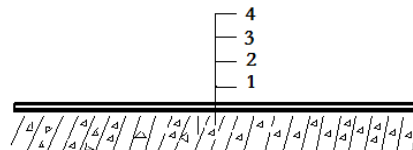
第一种:聚合物水泥基类涂料,如 SK9608 渗透型防渗防碳化涂料,是由高分子聚合物乳液、水泥、石英粉、外加剂组成的水性涂料,属绿色环保材料,具体方案见图 3。



1—混凝土基面; 2—SPC 界面剂; 3—SK9608 渗透型防渗防碳化涂料 1.5mm; 4—面漆(1道)

图 3 SK9608 涂层防护处理方案

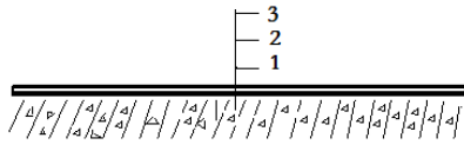
第二种:环丙涂层材料。以环氧树脂、丙烯酸聚氨酯为主要材料,如 HY804 有机硅环丙树脂涂料,具体方案见图 4。



1—混凝土基面; 2—HY801 底涂界面剂; 3—HY804 有机硅环丙丙烯酸复合涂料(1.2mm); 4—M901 丙烯酸聚氨酯面漆(1道)

图 4 HY804 环丙涂层防护处理方案

第三种:聚脲涂层。聚脲是由异氰酸酯组份反应生成的一种弹性体涂层材料,具体方案见图 5。



1—混凝土基面; 2—底涂(1道); 3—聚脲(厚 2mm)

图 5 聚脲防护处理方案

方案四:重新浇筑混凝土表面撒播强化料处理方案。凿除冻融剥蚀混凝土,凿除深度 20cm,重新浇筑 C30F200W8 混凝土,表面撒播混凝土强化料进行压光。

#### 3.2 修补工艺及技术要求

##### 3.2.1 基础处理

基础处理是修复唐徕渠水工混凝土冻融剥蚀破坏的

重要步骤,通过对混凝土表面的打磨、漏筋部位的修复、裂缝、漏水部位的灌浆处理以及表面的清洗,有效地修复已受损的混凝土结构,恢复其原有的功能和稳定性<sup>[4]</sup>。

第一,采用合金磨片对混凝土表面进行打磨,去除混凝土表面的老化、松散和污染物质,直至露出坚硬、新鲜的混凝土基面,通过打磨,使修复层更好地附着在混凝土基面上,确保修复效果的持久性和稳定性。

第二,针对冻融剥蚀、漏筋部位,采用 SPC 聚合物砂浆进行修复。SPC 聚合物砂浆具有优良的附着性和抗渗性,能够有效地填补混凝土表面的裂缝和凹坑,增强结构的密实性和耐久性,修复混凝土表面的局部损坏,提高结构的整体性能。

第三,化学灌浆是常用的修复技术,通过在混凝土裂缝和漏水部位注入化学灌浆材料,填充空洞,加固结构,提高混凝土的抗渗性和抗压性,能够有效地修复混凝土的裂缝和漏水问题,提高结构的密封性和稳定性。

第四,采用高压水对混凝土表面进行冲洗干净。通过高压水冲洗,彻底清除混凝土表面的灰尘、污垢和残渣,确保修复层与基面之间的粘结牢固,同时提高修复效果的美观度和持久性。

### 3.2.2 配制材料

一方面,涂层材料的配比设计是经过工程设计和材料试验验证的,目的是确保涂层能够达到设计要求的性能,包括抗冻性、耐磨性、附着力等,随意加水稀释,将严重影响涂层的性能,导致涂层附着力不足、耐久性下降,甚至影响整体修复效果。同时,涂层材料的配比严格控制是为保证施工质量和工程的长期稳定性,特别是在冻融环境下,涂层必须能够有效地保护混凝土表面免受水分和气候变化的侵蚀。

另一方面,涂层材料在使用前必须充分搅拌均匀,并且采取随用随拌,目的是确保涂层材料内部各组分充分混合,均匀分布,从而确保施工过程中每一块混凝土表面都能获得相同的保护效果和性能表现。如果一次拌料过多,涂层材料会因为是在容器中静置时间过长而发生部分组分的沉淀或分层现象,从而影响到施工效果和涂层的均匀性。

### 3.2.3 涂层施工

涂层施工是修复唐徕渠水工混凝土冻融剥蚀破坏的重要环节,要求对于保障涂层修复效果和结构稳定性至关重要。

其一,充分湿润混凝土表面,并均匀涂刷 1 道 SPC 界面剂。充分湿润混凝土表面有利于涂层材料的附着和渗透,提高涂层与基面的黏结力和稳定性,而 SPC 界面剂则起到了促进涂层与基面粘结的作用,增强了涂层的附着力和耐久性。

其二,不同的涂层材料可能具有不同的要求,如底漆、中涂、面漆等,根据设计要求和进行逐层施工,

并且控制好每一层的厚度,以确保涂层的性能和效果。

其三,在涂层施工过程中,对于立面、斜面和底部等特殊部位,需要注意一次涂层厚度要薄,防止涂层流淌,因为这些部位涂层的流淌可导致涂层厚度不均匀,影响涂层的美观性和稳定性。施工过程中需要特别留意这些部位的涂层厚度控制。

其四,为了加强对这些特殊部位的保护和修复,确保涂层能够有效地填补缺陷、修复损坏,提高整体涂层的耐久性和防护性能。

其五,涂层施工完成后,根据各自材料特性需要进行自然养护 7~14 天即可投入运行,为了让涂层材料充分固化和稳定,确保其性能达到设计要求,从而保障涂层的持久性和可靠性。

综上,涂层施工需要遵循充分湿润表面、均匀涂刷界面剂、控制刮涂厚度、特殊部位增加涂层次数以及自然养护等步骤,不仅影响涂层修复效果和结构稳定性,还关系到整个工程的长期稳定运行和维护成本。

## 4 关于宁夏引黄灌区水工混凝土缺陷修补加固的应用思考

### 4.1 提高水工混凝土修补加固人员的素质

提高水工混凝土修补加固人员的素质是确保修复工程质量和工程安全的关键<sup>[5]</sup>。第一,人员需要具备扎实的专业知识和技能,包括对混凝土结构的理解、修复方法的熟悉以及施工工艺的掌握。第二,具备良好的团队合作意识和沟通能力,能够与其他相关部门和人员协调配合,确保施工进度和质量。第三,注重安全意识和操作规范,严格执行施工现场的安全操作规程,确保施工过程中人员和设施的安全。同时,不断提升自身的学习能力和创新意识,关注行业最新技术和发展趋势,不断完善修复技术和工艺方法,提高修复工程的效率和质量。第四,重视职业道德和责任心,始终以客户满意和工程质量为首要目标,坚持诚实守信、勤奋工作,为保障水工混凝土结构的安全稳定运行而不懈努力。

### 4.2 做好水工混凝土修补加固前的物资和设备准备

在进行水工混凝土修补加固前,充分准备好必要的物资和设备至关重要,直接影响修复工程的顺利开展和质量效果。首先,物资准备包括修复所需的混凝土材料,如水泥、砂、骨料、添加剂等,确保材料质量合格、配比准确;同时要准备好界面处理剂、密封胶、填缝剂等辅助材料,确保材料种类齐全、质量可靠。其次,需要准备各种施工设备,如混凝土搅拌机、打磨机、切割机,确保设备性能良好、操作安全;同时准备好作业工具,如批刀、抹子、刷子等,确保施工工具完善、齐全。此外,还要根据工程实际情况准备好安全防护设施,包括安全帽、手套、防尘口罩等,提高施工人员的安全意识和保护水平。最后,要充分考虑施工现场的条件,如

施工道路、通风条件、水电设施等，确保施工现场整洁有序、环境安全。

## 5 结束语

通过对唐徕渠水工混凝土缺陷分析和修复措施的详细讨论，不仅为具体的工程实践提供了指导，也为相关领域的研究提供了理论基础和实践经验。基于本文的相关分析，可有效保障唐徕渠水利工程的安全稳定运行，挖掘古代水利工程的建设智慧，推动水利工程技术创新和产业发展，实现经济、社会和文化的双重效益。

### [参考文献]

- [1]刘阳,李雪.隧道混凝土衬砌表面缺陷修补关键技术和质量控制[J].公路,2024,69(2):169-171.
- [2]刘付.某电站高速水流过流面混凝土缺陷修补技术应用[J].四川水利,2023,44(6):105-109.
- [3]牛洲强.住宅建筑工程施工中应用混凝土修补技术[J].居舍,2023(4):45-48.
- [4]陈文婷,马宇.西北严酷环境下大型渡槽成套修补加固及防护技术应用实践[J].中国建筑防水,2022(11):46-50.
- [5]徐辉,陶东,康婷.唐徕渠水工混凝土缺陷修补加固技术应用与思考[J].科技与创新,2022(19):11-13.

作者简介：桑淑娟（1980.11—），毕业院校：宁夏大学，所学专业：水利水电工程，当前就职单位：宁夏唐徕渠管理处，职称级别：中级。