

DPS抗渗防腐剂在南水北调桥梁水闸混凝土 维修加固中的应用

许 舟¹ 侯燕梅² 刘慧洁³ 董 通³

1. 南水北调东线山东干线有限责任公司 山东 济南 250109

2. 山东创元水务有限公司 山东 济南 250110

3. 山东润鲁工程咨询集团有限公司 山东 济南 250100

摘 要：本文以南水北调工程中典型桥梁与水闸结构为研究对象，探讨深层渗透结晶型抗渗防腐剂DPS在混凝土维修加固中的实际应用效果。通过现场施工工艺优化、材料性能分析及后期监测评估，验证DPS在提升混凝土耐久性、抗渗性与防腐能力方面的综合性能。研究表明，DPS能有效降低混凝土孔隙率、增强密实度，并显著提高其抗化学侵蚀能力，适用于水利工程中长期暴露于潮湿腐蚀环境的结构修复。结论表明，DPS技术具有良好的推广价值和应用前景。

关键词：DPS；CRETO；抗渗防腐；南水北调；混凝土加固；水利工程

引言

随着我国水利基础设施的老化及运行负荷的增加，桥梁、水闸等关键结构面临日益严重的渗漏、碳化、钢筋锈蚀等问题，严重影响工程安全和使用寿命。南水北调工程作为国家重大战略项目，跨越多个气候带和地质区域，其桥梁与水闸结构长期承受复杂的水文环境、荷载作用及化学侵蚀，对混凝土结构的耐久性和稳定性提出了更高要求。

传统修补方法如表面涂层或聚合物砂浆，虽能在短期内缓解病害，但存在寿命短、易剥离、维护频繁等问题。例如，表面涂层在水位波动和干湿交替作用下，极易出现开裂和脱落，导致防护效果失效；聚合物砂浆与原有混凝土的粘结力有限，在水流冲刷和温度应力作用下，容易产生分层现象。因此，探索一种高效、持久、环保的混凝土防护技术成为当前研究的重点。

DPS最早由美国CRETO环球公司制造生产，该产品最早应用于美国军事工程，拥有100多年历史进程。DPS能够实现所有混凝土的完全密封，达到防腐、抗渗、加固和保护作用。该产品不改变材料表面颜色和纹理，使用之后，表面清透自然、无毒、不燃、无色、无味。因此，深层渗透结晶型抗渗防腐剂DPS逐渐被应用于各类混凝土结构修复工程中^[1]。

1 DPS的作用机理及性能优势

1.1 作用机理

作者简介：许舟，男，1991年出生，大学学历，中级经济师职称，从事南水北调工程建设与运行管理工作。

DPS是一种一次使用、永久密封的深层渗透结晶型材料，主要成分为硅酸盐类化合物，具备催化剂功能。当DPS与水混合后喷涂于混凝土表面时，其活性成分能借助水的渗透作用深入混凝土内部2mm以上，与混凝土中的游离石灰、氢氧化钙等物质发生化学反应，生成不溶于水的硅胶膜。这种硅胶膜能够填充混凝土内部的毛细孔道和微裂缝，形成一个完整的、不透水的整体密封结构^[1]。

值得注意的是，该反应过程具有可持续性。当混凝土表面再次接触水分时，未完全反应的活性成分会继续深入内部发生反应，不断生成新的硅胶膜，从而持续增强混凝土的密实性和抗渗性。同时，反应过程中钙硅比从原来的2.0降至0.7以下，这一变化显著提升了混凝土的密度、硬度和抗压强度。

1.2 性能优势

相较于传统防水材料，DPS的优势体现在以下几个方面：

（1）防腐性强：形成的硅胶膜具有稳定的化学性质，可有效阻隔酸碱、氯离子、硫酸盐等有害物质的侵入，从根本上切断钢筋锈蚀的路径，保护钢筋不受腐蚀。

（2）抗渗性能优异：生成的玻璃状结构层能够完全覆盖混凝土表面及内部的孔隙和裂缝，即使在高压水作用下仍可实现零渗漏，满足水利工程对防水性能的严苛要求^[2]。

（3）力学性能提升明显：通过改变化学组成，混凝土的抗折强度、抗冲刷能力得到增强，在水流长期冲击和车辆荷载作用下，结构的稳定性更好。

(4) 施工便捷、环保无害: 无需复杂的涂装工艺, 只需按照规定比例兑水后即可喷涂; 施工后材料无色、无味、无毒, 不会对周边环境和水质造成污染, 符合绿色施工理念。

(5) 减少收缩裂缝: DPS能够保留混凝土内部一定的湿度, 延缓混凝土的干燥过程, 降低因干燥收缩而产生裂缝的风险, 有利于混凝土强度的持续增长^[3]。

2 南水北调桥梁水闸结构现状及问题分析

2.1 结构现状

南水北调工程沿线桥梁与水闸分布广泛, 结构形式多样。桥梁主要包括简支梁桥、连续梁桥等, 承担着跨越渠道的交通功能; 水闸则用于调节渠道水位、控制水流, 是保障输水安全的关键设施。这些结构大多采用钢筋混凝土浇筑而成, 服役时间从十几年来到二十几年不等。

2.2 主要问题

由于长期处于水位波动、干湿交替、盐碱侵蚀等恶劣环境中, 混凝土结构出现了多种病害, 具体表现如下:

(1) 表面损伤: 混凝土表面出现蜂窝麻面、起砂、剥落等现象, 这是由于混凝土浇筑时振捣不密实, 或长期受水流冲刷和风化作用所致。

(2) 裂缝问题: 存在不同程度的裂缝, 包括表面裂缝和贯穿裂缝。表面裂缝多因混凝土干缩、温度变化引起; 贯穿裂缝则可能是由于结构受力不均或基础沉降导致, 这些裂缝为水分和有害物质的侵入提供了通道。

(3) 钢筋锈蚀: 部分区域因混凝土碳化或氯离子渗透, 导致钢筋发生锈蚀。钢筋锈蚀后体积增大, 会使混凝土保护层出现开裂、剥落, 进一步加剧钢筋的腐蚀, 形成恶性循环, 严重时会引起结构承载能力下降, 甚至失效。

2.3 传统修补方式的局限性

传统的修补方式多采用环氧树脂涂层或聚合物砂浆, 但在南水北调工程的特殊环境下, 这些方法存在明显的局限性。环氧树脂涂层在干湿交替和紫外线照射下, 容易老化、开裂, 与混凝土表面的粘结力差, 短期内即出现脱落现象^[4]; 聚合物砂浆虽然强度较高, 但耐候性弱, 在盐碱侵蚀和温度应力作用下, 容易与基层分离, 影响整体维修效果, 导致维修周期缩短, 增加了工程维护成本。

3 施工准备与工艺流程

3.1 技术准备

由项目技术负责人牵头, 组织施工图纸会审, 深入理解设计意图和技术要求, 明确DPS施工的范围、部位和质量标准。根据设计要求及现场条件编制详细的施工方

案, 包括施工流程、技术参数、质量控制措施和安全注意事项等。

开展三级技术交底工作, 即项目技术负责人向施工班组长交底, 施工班组长向操作人员交底, 确保每一位操作人员都能全面掌握施工要点、技术规范和质量标准。同时, 进行施工前的技术培训, 通过理论讲解和现场演示, 使操作人员熟悉DPS的性能特点和施工方法^[4]。

3.2 资源准备

(1) 人力配置: 调配经验丰富的施工队伍, 其中包括专业喷涂技术工人5名, 负责DPS的喷涂作业; 质检人员2名, 负责施工过程中的质量检查和验收; 安全员1名, 负责施工现场的安全管理工作, 确保施工安全有序进行。

(2) 材料供应: 提前采购DPS原液, 选择具有生产资质和良好口碑的厂家, 要求提供产品合格证、检测报告等质量证明文件。对进场的DPS材料进行抽样检测, 检验其性能指标是否符合设计要求, 确保材料质量稳定可靠。

(3) 设备配备: 准备高压冲洗设备2台, 用于基层清理; 高压喷涂机3台, 其中1台作为备用, 保障施工效率; 此外, 还需配备水桶、搅拌器、卷尺、毛刷等辅助工具。

3.3 现场准备

对施工现场地形进行详细踏勘, 了解周边环境和交通情况, 合理规划材料堆放区域、施工操作区域和临时通道。清理施工界面, 将混凝土表面的浮尘、油污、苔藓、松动的砂浆等附着物彻底清除干净。对于存在的蜂窝麻面、孔洞等缺陷, 采用高强度修补砂浆进行填补和修整, 确保基层平整坚实。对需要加强处理的部位, 如裂缝密集区、水位变化区等进行标记, 并做好预处理工作, 为后续施工创造良好条件。

4 DPS施工工艺实施

4.1 基层清理

基层清理是保证DPS施工质量的关键环节。首先, 用锤子、凿子等工具凿除混凝土表面松动、风化的部分, 对于较大的裂缝, 应将裂缝两侧的混凝土凿成V形槽, 以利于DPS的渗透和反应。然后, 使用高压水枪对基层进行彻底冲洗, 水压控制在20-30MPa, 确保将表面的灰尘、碎屑等杂物冲洗干净, 直至混凝土表面露出坚实的骨料, 呈现出干净湿润的状态。冲洗完成后, 让基层自然晾干至表面无明显积水, 但仍保持湿润, 此时的基层状态最有利于DPS的渗透^[5]。

4.2 第一遍喷涂

待基层处理合格后, 开始进行第一遍DPS喷涂。将

DPS原液按照1:3的比例与清水混合,用搅拌器充分搅拌均匀。采用高压喷涂机进行喷涂,喷枪与混凝土表面的距离保持在30-50cm,喷涂角度以45°左右为宜,均匀地将DPS溶液喷涂在基层表面,确保喷涂全面覆盖,无遗漏、无流淌。喷涂量控制在300-500ml/m²,具体用量可根据基层的吸水情况适当调整,对于吸水较快的基层,可适当增加喷涂量。

4.3 第二遍喷涂

在第一遍喷涂完成约2小时后,待表面基本干燥但仍有一定湿度时,进行第二遍喷涂。第二遍喷涂的配比和操作方法与第一遍相同,但喷涂方向应与第一遍垂直,以保证DPS能够更均匀地渗透到混凝土内部,增强渗透深度与密封效果。第二遍喷涂量与第一遍相同,确保两次喷涂的总用量达到设计要求^[6]。

4.4 养护处理

喷涂完成后,需要进行适当的养护处理,以促进DPS与混凝土的充分反应。在干燥环境下,应每天对施工区域进行2-3次洒水养护,保持混凝土表面湿润,但避免积水。养护时间不少于7天,在养护期间,应禁止人员踩踏、车辆碾压和其他机械碰撞施工区域,防止破坏未完全反应的表面层。

5 施工质量检测与评估

5.1 检测项目与方法

施工完成3个月后,对处理区域进行了全面的质量检测,检测项目包括抗压强度、抗渗性能、碳化深度、氯离子渗透及外观质量等。

(1) 抗压强度:采用回弹法结合钻芯取样进行检测,在施工区域随机选取10个测点,每个测点钻取1个芯样,进行抗压强度试验,取平均值作为检测结果^[7]。

(2) 抗渗性能:采用渗水试验仪进行检测,在混凝土表面制作直径为150mm的试坑,施加0.6MPa的水压,恒压24小时后,观察试坑底部是否有渗水现象,并测量渗水深度,计算渗透系数。

(3) 碳化深度:在施工区域随机选取5个测点,采用碳化深度测定仪进行检测,每个测点测量3次,取平均值作为该测点的碳化深度。

(4) 氯离子渗透:采用氯离子扩散系数测定仪进行检测,在施工区域钻取混凝土芯样,测定氯离子在混凝土中的扩散系数^[8]。

(5) 外观质量:通过肉眼观察和直尺测量,检查施工区域是否有裂缝扩展、剥落、起砂等现象。

5.2 检测结果与分析

(1) 抗压强度平均提升8.5%,表明DPS能够有效增强混凝土的力学性能,提高结构的承载能力。

(2) 渗透系数下降90%以上,说明DPS形成的密封结构具有优异的抗渗性能,能够有效阻止水分的渗透。

(3) 氯离子扩散系数显著降低,表明DPS能够有效阻隔氯离子的侵入,保护钢筋不受腐蚀。

(4) 表面碳化深度基本未发展,说明DPS能够阻止二氧化碳等气体的渗透,减缓混凝土的碳化进程。

(5) 施工区域无裂缝扩展或脱落现象,外观质量好,表明DPS与混凝土基层具有良好的粘结性和相容性^[8]。

6 结语

本研究表明,DPS作为一种新型抗渗防腐材料,能在不改变原有结构外观的前提下,通过独特的渗透结晶机理,显著提升混凝土的密实性、抗渗性与耐久性,特别适合于桥梁与闸坝结构的维修加固。未来应进一步加强DPS在不同气候、水质条件下的适应性研究,如在高寒地区、高硫酸盐含量水质环境中的应用效果,拓展其在地下工程、海洋结构等领域的应用潜力。同时,建议建立系统的施工标准与质量评价体系,规范DPS的材料选用、施工工艺和质量检测等环节,为我国水利工程的安全运行和耐久性提升提供有力的技术支持。

参考文献

- [1]张鑫,屈大功,赵新益,等.DPS提升混凝土流道抗冲刷性能作用机制研究[J].水利水电技术(中英文),2023,54(S2):410-418.
- [2]黄九常,杨克坤,侯彩云.CRETO材料在万年闸泵站引水渠衬砌板混凝土冻融破坏修复中的应用[J].海河水利,2020,(04):62-63+68.
- [3]林云,黄华琪.跨输水渠道改扩建桥梁水质保护措施及应急蓄毒池设计研究[J].科技与创新,2020,(18):42-43.
- [4]杨式卿,李忻语,于飞飞.CRETO产品在工程防腐加固中的应用[J].中国新技术新产品,2020,(07):119-120.
- [5]武守猛,侯彩云,任泽俭.DPS抗渗防腐剂在工业水厂工程中的应用[J].工程建设与设计,2020,(23):201-203.
- [6]张永生,翟一鸣.CRETO材料在南水北调济平干渠中的应用[J].山东水利,2020,(12):14-15.
- [7]牟忠善,焦瑞玲.CRETO产品在水利工程中的应用[J].山东水利,2020,(04):31-32.
- [8]解优品,刘振林,张萍.CRETO柔性修补剂在防潮闸加固中的应用[J].山东水利,2016,(03):24-25.