

临海水坝坝体防碳化涂层施工工艺应用技术研究

顾光友

中铁八局集团有限公司海外工程分公司

摘要:随着大西洋潮汛的影响,临海区域的水坝面临着越来越严峻的环境挑战。混凝土坝体碳化化学侵蚀过程,时刻威胁水坝结构安全及功能。本研究方向以公司承建援塞内加尔阿菲尼亚姆水坝修缮工程为例,探讨了临海水坝坝体防碳化涂层施工的重要性和实际工程中新工艺的应用,解决水坝坝体碳化机理技术难题,体现防碳化涂层的施工新工艺技术,在水坝工程中的应用效果和社会经济价值。

关键词:临海水坝;坝体碳化;涂层防护;施工工艺;研究

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2022.09.109

一、引言

水坝随着海水日积月累的潮汛冲刷坝体,造成混凝土坝体结构碳化和设备老化出现了问题,对水坝的安全运行构成了严峻挑战。在临海地区,由于海风携带的盐分加剧了混凝土的碳化进程,使得碳化问题更加凸显。自1988年竣工以来,水坝对当地的水资源管理和农业灌溉防洪、区域经济发展、保障水资源供应起到了不可替代的作用。该工程坝体受到海水侵蚀碳化、设备老化等问题的影响,亟须采取修缮措施以保障其使用功能持续服务于当地社区。本研究以阿菲尼亚姆水利工程为实例,通过对水坝坝体碳化技术难题深入研究,总结了水坝防碳化涂层施工技术。

二、临海水坝坝体防碳化的重要性

混凝土碳化是混凝土中碱性物质与空气中的二氧化碳反应生成碳酸盐,导致混凝土pH值下降,使钢筋混凝土发生腐蚀性。临海水坝在海水中的盐分和潮湿环境加速了水坝坝体碳化的进程。通过采用新材料、新工艺防碳化措施可以增强混凝土防碳化性能,保护钢筋混凝土不受腐蚀,从而确保水坝结构的安全稳定性,延长其使用年限及运行功能。

水坝的主要功能是挡住下游海水,储蓄上游淡水,包括灌溉、供水及船运通航等。碳化导致的结构腐蚀和坝体渗水,直接影响到水坝蓄水能力和供水质量,进而影响到农业生产、居民生活和船运通航。因此,中塞两国实施水坝修缮,是维护坝体结构安全,保障上游水资源可持续利用具有重要意义。

三、阿菲尼亚姆水利工程概述

(一)工程概述

阿菲尼亚姆水坝工程位于塞内加尔大西洋海西南部的卡萨芒斯区比尼奥纳省内,扼守卡萨芒斯河的支流比尼奥纳河下游,是一项挡咸蓄淡工程。此工程自1988年竣工后,通过拦截淡水来改善当地的灌溉并促进农业发

展和当地生活用水。该水坝库容770万 m^3 以上可利用量。

水坝主要结构包括挡潮闸、引水道坝体、过船道设施等。挡潮闸采用开敞式设计,由5孔组成,每孔净宽10米,闸宽达55.44米,长138.14米,顶高程4.3米,坝体混凝土防碳化涂层面积约30000 m^2 。

(二)碳化情况分析

阿菲尼亚姆水利工程经过30多年的运营,坝体结构出现了腐蚀碳化情况,海水中的盐分和临海湿润气候加速了混凝土碳化过程,使得坝体与海水接触部分的碳化现象尤为严重。此外,一些设备器材因长期运行而老化,缺乏必要的维护和备件替换,进一步加剧了工程的功能降低。碳化表现在混凝土结构的表面出现裂缝、剥落及钢筋锈蚀等问题。碳化深度在海水区域达到了4cm~6cm,局部区域也达到了1cm~3cm。这些侵蚀造成了水坝的功能降低,也对坝体构成了安全稳定性威胁。

(三)碳化问题表现

阿菲尼亚姆水利工程的碳化问题主要集中在与水直接接触的混凝土结构部分。这些部位由于长期暴露在海水中加剧了混凝土的碳化过程。碳化主要发生在挡潮闸的闸墩、底板、上部结构的钢筋混凝土,以及翼墙、过船道边墙和底板,上游和下游的引水道部位。挡潮闸作为水坝的核心部分,其受碳化影响较为显著,尤其是闸门的下游海水部位。

碳化深度是衡量混凝土碳化严重程度的重要指标。在阿菲尼亚姆水利工程中,碳化深度不同程度地体现了混凝土结构的侵蚀状况。轻微的碳化区域碳化深度小于10毫米,这些区域的混凝土结构大体上仍然保持了较好的完整性和稳定性。然而,在直接与海水接触的部位,特别是挡潮闸下游侧、过船道的底板和边墙,碳化深度普遍达到了1cm~3cm,局部区域甚至超过4cm~6cm以上。经检测海水面含盐量2.7%,淡水面含盐量0.51%,造成这种较深的碳化不仅显著降低了混凝土的pH值,还

直接侵蚀混凝土的结构完整性，造成坝体出现开裂，渗漏现象，增加了水坝安全运营的风险。

（四）工程修缮需求分析

水坝工程面临的结构碳化问题和设备老化现象凸显了迫切的修缮需求。首先，直接与海水接触的混凝土结构部位，特别是挡潮闸、过船道的底板和边墙，由于长期受到海水侵蚀和碳化作用，出现了明显的结构性碳化腐蚀。这些腐蚀部位的修复不仅需要恢复其结构完整性，还要提高其耐久性，以抵御海水的侵蚀和碳化风险。老化的电气设备和缺乏备件的问题，也影响了水坝的正常运行和管理，需要进行更换。此外，水坝的修缮任务，不仅能提升水坝的结构美观性，还能增强当地居民对中国援建水坝和一带一路的支持和欢迎。

四、防碳化涂层施工技术研究

（一）基面处理技术

1. 表面清洗打磨

坝体表面清洗打磨的主要任务是去除混凝土表面的泥沙和混凝土腐蚀松散的物质，以利于防碳化涂料层与混凝土表面紧密结合，提高涂层的耐久性。采用磨光机进行打磨，针对腐蚀不同程度和表面状况选择合适的磨具。对于表面轻微的泥沙和污垢，只需要使用软毛刷和高压淡水和清洁剂进行清理；而对于表面有老化腐蚀严重或混凝土浮渣的表面，则需要使用砂纸和磨光机进行深入打磨，直至露出坚固、干净的基面。打磨过程中应均匀处理被腐蚀碳化混凝土面层，避免产生不平整的表面，这样不仅可以增强防碳化涂层的附着力，还能提高防碳化涂层的整体防护效果。

2. 高压淡水冲洗

坝体打磨后的混凝土表面需要进行高压淡水冲洗，以确保所有打磨过程中产生的细小颗粒和残留物质被彻底清除。高压淡水冲洗的水流压力和角度需要根据现场实际进行调整，以满足最佳的清洗效果，冲洗过程中需要特别注意混凝土表面的每一处细节，覆盖所有裂缝、孔洞和凹陷处都被彻底冲洗干净。冲洗结束后，让混凝土表面自然风干至干燥状态，再进行下一步的聚合物砂浆修补施工。

（二）聚合物砂浆修补技术

1. 界面剂应用

在聚合物砂浆修补工程中，采用界面剂连接基底材料和新修补材料，显著提升修补材料的黏结性能。界面剂由具有良好粘接性能的国内知名厂家经检验合格提供的聚合物材料，该材料能够增强混凝土基底和聚合物砂

浆之间的粘接力，满足修补材料能够牢固地附着在坝体结构上，防止出现新的剥落和开裂。使用界面剂的涂刷应均匀一致，采用刷子或滚筒进行涂抹，确保覆盖所有需要修补的区域。涂抹界面剂后，需要结合试验样板和材料说明书及检测报告参数时间调整涂刷时间，让界面剂达到最适合的黏度，以便于后续聚合物砂浆的施工。

2. 聚合物砂浆施工

施工前需根据试验验证比例为聚合物防水乳液：水泥：天然砂：井水=1：8.57：17.2：2.86质量比要求准备拌制聚合物砂浆，充分搅拌均匀。使用适当工具将砂浆均匀地涂抹于需要修补坝体的部位，涂抹填补裂缝和空洞密实，并形成平整光滑的表面。对于较大或较深的腐蚀区域，需要分层施工，每层施工后需待砂浆干透后再进行下一层的施工，以满足修补质量。施工过程中要控制好砂浆的厚度和稠度，需要进行充分的养护，避免出现气泡和裂缝。施工后砂浆的强度和耐久性符合要求，可进行防腐防碳化涂层施工。

（三）防腐防碳化涂层施工

1. 施工工艺

防腐防碳化涂层施工是增强水坝混凝土结构抵抗环境侵蚀和延长其使用寿命的关键步骤。这种涂层能够形成一个保护层，隔离混凝土和外界有害物质的直接接触，从而减缓碳化过程和腐蚀现象。在彻底清洗和干燥的聚合物砂浆及混凝土表面上使用滚筒、刷子或喷涂设备，采用由A组份和B组份两种材料配制，配比：A：B=1：1.8~2.2均匀涂抹底层，厚度控制在6~8mm，底涂层与混凝土黏结强度高，抗水渗性好，并有一定的柔性。底涂料可以增强涂层与混凝土基面之间的黏结力，为涂覆防腐防碳化面涂层提供良好的基础。底涂层施工完成后，需要进行养护，满足底涂层完全固化，在施工面涂层6~8mm厚度，两层总厚度不低于15mm、养护时间和施工条件应根据涂层材料的试验特性和施工环境确定，使其效果作用发挥最佳的保护性能。

2. 施工参数优化

涂层施工应避开雨天和高温高湿环境，理想的环境温度通常在10℃~25℃之间，相对湿度低于80%。15mm的涂层厚度能够确保足够的保护性能而又不致于过厚导致裂纹或剥落。整个涂层厚度应根据产品规范和设计保护需求确定，但不低于15mm。涂层施工完成后及时进行洒水养护。为确保质量，须有至少5天以上的养保期，养护期内不得对涂层进行重压、冲击及在水中浸泡。每层涂料后的干燥时间需要控制在试验样板范围内，以确保涂层之间的

良好粘接，满足涂层施工工艺参数最佳状态。

五、工程应用实例分析

(一) 加固处理方案实施

1. 碳化深度 $<10\text{mm}$ 区域处理

在阿菲尼亚姆水利工程的修缮施工中，针对碳化深度小于10毫米的区域，采取的加固处理方案着重于表面保护和局部加固，以防止碳化现象的进一步发展和深入。首先对受影响区域进行彻底的清洁，去除表面的泥沙、疏松层及任何可能影响修补材料粘接性的物质。采用高压淡水冲洗或适当的机械打磨方法，确保基面干净、坚实。对于表面有轻微裂缝或小范围疏松的区域，使用与原混凝土相匹配的修补材料进行填补和平整。选择高黏结力和良好适应性的聚合物防水砂浆，通过试验对比，确定配比粉剂：液体（1.8：1.2），以确保修补层与原结构之间的良好结合。在确保表面处理干净、干燥且修补层充分固化后，均匀涂覆聚合物防水防腐的防碳化涂料。该涂料能有效隔离临海水面抗氯离子渗透，阻止混凝土碳化过程。涂层的选择需考虑材料的透气性、耐候性和当地环境的适应性。

2. 碳化深度 $>10\text{mm}$ 区域处理

水坝工程中碳化深度大于10毫米的区域，处理方案需要更为彻底和强化，以确保结构的完整性和耐久性。这些区域通常表现出较为严重的结构腐蚀，甚至钢筋暴露和锈蚀。首先进行深入的清理工作，去除所有不稳定的腐蚀的混凝土材料，直至露出健康的基底和钢筋。采用电动工具或气动工具和人工配合来完成。对暴露出的钢筋进行除锈处理，并采取沥青涂刷措施保护钢筋免受继续侵蚀。对于大面积腐蚀或结构性缺陷，采用高性能的聚合物砂浆或同等级混凝土进行填补和构造恢复。在侵蚀严重情况下，还需要加入钢筋网或碳纤维布等加固材料来提升结构强度和抗裂性。在修复和加固工作完成后，选择具有高渗透性和强耐久性的防碳化涂层对处理过的区域进行保护。这类涂层不仅能有效阻隔二氧化碳和水分的渗透，还能提供额外的化学防护，延缓碳化过程。所有施工完成后，进行充分的养护，确保新施工的材料能够达到预期的性能。

(二) 施工效果评估

1. 质量检测结果

水坝工程的加固和修缮项目中，施工效果的评估是确保工程质量和延长水坝使用期限的关键所在。通过对修补区域混凝土的取样和测试，评估其聚合物砂浆抗压强度、抗折强度等物理性能指标均达到设计要求。聚

合物砂浆平均强度大于M25等级，抗折大于 3.5MPa ，这些测试数据能够直接反映出修补材料与原有结构的融合程度以及整体的稳定性。其次，采用拉拔测试等方法评估修补材料与原结构之间的粘接强度，确保修补层不会因粘接不良而脱落。测试黏结强度大于 1.5MPa 。再次，对涂覆了防腐防碳化涂层的区域进行碳化深度和涂层厚度测试，测试厚度大于 1.5mm ，碳化深度小于 0.1mm ，涂层的防护效果良好。最后通过水密性测试和渗透性测试结果均大于 0.5MPa ，修补区域和防碳化涂层的防水性和抗渗性良好，通过各项测试质量评估，水坝防碳化结构性能完全满足设计要求。

2. 施工工艺技术总结

援建阿菲尼亚姆水坝工程的修缮过程中，应用防碳化涂层施工工艺技术不仅成功地提升了水坝的结构稳定性和耐久性，还为项目带来了显著的经济效益和受援国的认可。项目实现了近千万元的盈利，这一成果反映了在精细化工程管理中高效的施工技术以及严格的质量控制体系的综合效应。同时该项目还获局级TQC三等奖、局级及省部级中国中铁杯优质工程和塞内加尔国家优质工程、商务部经济合作局援外优秀项目等多项荣誉奖。这不仅是对项目质量严格标准控制的认可，也是对采用新材料，新工艺创新施工方法和技术应用的肯定。



水坝竣工全貌

六、结论

本文通过对阿菲尼亚姆水利工程的施工实际分析研究，展示了碳化问题的具体表现和对水坝安全运行的潜在威胁，而且详细阐述了防碳化措施的实施过程，同时防碳化技术的应用，不仅显著提高了水坝的结构稳定性和耐久性，还为工程项目带来了显著的经济效益和社会美誉度，充分证明了这些施工工艺的有效性和可靠性，也为同类工程提供经验和借鉴。

参考文献

- [1] 《聚合物水泥防水砂浆》JC/T984-2011.
- [2] 《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB50204-2015.
- [3] 《水性防碳化涂料第2部分：化学防腐涂料》GB/T18432.2-2018.