

Research and Application of Treatment Measures for Penetrating Cracks in the Chest Wall of Water Gates

Yanchang Liu

Xinjiang Changji Fanghui Hydropower Design Co., Ltd., Changji, Xinjiang, 831100, China

Abstract

With the rapid development of China's water conservancy engineering industry, water gates, as an important water conservancy engineering equipment, have played an important role in flood control, flood control, irrigation and other aspects. However, with the emergence of cracks penetrating the chest wall of the water gate, it poses a serious threat to the safety and efficiency of water conservancy projects. This article takes the through crack of the water gate breast wall as the research object to deeply analyze the causes of the crack, and systematically studies the technical principles, construction processes, and application effects of three treatment measures: chemical grouting, steel plate bonding reinforcement, and carbon fiber cloth reinforcement. After verification through actual engineering cases, the results show that the three treatment measures can effectively repair cracks, enhance structural bearing capacity, and provide scientific technical solutions and practical experience for the treatment of through cracks in the breast wall of water gates.

Keywords

sluice chest wall; Penetrating cracks; Handling measures

水闸胸墙贯穿裂缝处理措施研究及应用

刘彦昌

新疆昌吉方汇水电设计有限公司，中国·新疆 昌吉 831100

摘 要

随着我国水利工程事业的快速发展，水闸作为一种重要水利工程设备，在防洪、除涝、灌溉等方面发挥了重要的作用。然而伴随水闸胸墙贯穿裂缝的出现，给水利工程项目的安全与效益带来严重威胁。本文把水闸胸墙贯穿裂缝当作研究对象来深入分析裂缝产生的原因，系统研究化学灌浆、粘贴钢板加固以及碳纤维布加固这三种处理措施的技术原理、施工工艺和应用效果。通过实际工程案例进行验证后结果表明三种处理措施能够有效修复裂缝、增强结构承载能力，为水闸胸墙贯穿裂缝处理提供科学的技术方案和实践经验。

关键词

水闸胸墙；贯穿裂缝；处理措施

1 引言

水闸作为水利工程建设的重要部分，起到了防洪除害、调蓄水能等重要功能，所以水闸胸墙作为承受水压、温差及其他外界压力影响的关键部位，随着水闸使用年限的不断增加，水闸胸墙贯穿裂缝问题也随之显现，贯穿裂缝会影响水闸的承重力，同时导致水闸渗水、钢筋锈蚀等问题，对水闸的安全造成了严重影响。目前国内外已经开展了混凝土裂缝修复方面的研究，不过针对水闸胸墙贯穿裂缝的系统性治理方案仍有不足。

2 水闸胸墙贯穿裂缝成因分析

2.1 混凝土材料因素

混凝土是水闸胸墙的主要建筑材料，混凝土的性能将直接关系到胸墙结构的稳定。水泥水化热量大，混凝土体内温度急剧上升，混凝土体表面散热又快，体表温差大，产生温度应力，超过混凝土拉应力就产生裂缝。混凝土收缩是产生裂缝的主要原因。混凝土在硬化过程中产生塑性收缩、干缩和碳化收缩。塑性收缩，是混凝土浇灌成活后一段时间混凝土没干固表面水分蒸发过快，混凝土表面干缩混凝土体内混凝土是塑形状态，起不了约束表面混凝土收缩的作用而产生裂缝。干缩，是混凝土在空气中硬化，混凝土不断失水导致体积收缩而产生。碳化收缩，是混凝土中氢氧化钙与空气中的二氧化碳产生化学反应，造成混凝土体积收缩而产生^[1]。

【作者简介】刘彦昌（1980-），男，中国新疆昌吉人，本科，高级工程师（副高级），从事水库枢纽工程设计研究。

2.2 施工质量因素

施工质量问题是水闸的胸墙贯通裂缝的重要成因之一。混凝土的浇筑过程中的振捣不密实，混凝土内存在蜂窝、孔洞等问题，降低了混凝土的强度、抗裂能力，浇筑快、高度高，混凝土易产生离析，混凝土的均匀性遭到破坏。混凝土的养护不及时，养护的时间不足，混凝土表面的水分散失快，无法达到水泥的水化需求，降低混凝土表面强度，增大混凝土的收缩裂缝；模板的拆除过早，混凝土强度不足，过早的承担荷载也会导致裂缝的出现^[2]。

2.3 环境因素

环境因素对水闸胸墙的影响也不容忽视，水闸常年位于水位变化区，水的冲刷、浸泡使水对混凝土中一些物质发生化学反应，混凝土质量变差。温度升降引起裂缝。由于夏天温度高，混凝土表面温度升高较快，夜间温度降低较快，温度反复引起混凝土反复热胀冷缩，混凝土内积温较大，应力超过混凝土强度时便产生裂缝。冻融循环对地处严寒区的水闸胸墙影响较大，冬季混凝土孔内水冻成冰，膨胀挤压孔壁，压力超过混凝土抗拉强度时混凝土产生裂缝。春季到来气温开始逐渐回升，冰融化之后水分会渗入裂缝，接着水分再次冻结产生膨胀现象，如此这般反复不断进行循环，最终会使得裂缝持续不断扩展。

2.4 荷载作用因素

水闸胸墙在实际运行过程当中承受着多种荷载作用，水压力属于胸墙承受的主要荷载其中之一，伴随水位不断发生变化胸墙受到的水压力大小和方向也会改变。水压力越大，就会使胸墙出现过大的应力，造成混凝土出现开裂。胸墙还要承受风浪压力、土压力荷载等，强风的荷载会使水面形成风浪冲击胸墙，尤其是台风等恶劣天气，风浪压力会增加，对胸墙造成较大的破坏。土压力主要是指胸墙的填土，填土的性质与高度、填土的压实程度都会影响土压力的大小，如果土压力不合理，也会使得胸墙出现开裂。

3 水闸胸墙贯穿裂缝处理措施研究

3.1 化学灌浆处理技术

化学灌浆是以渗透扩散原理为依托，使化学浆液在压差作用下渗透到裂缝中，通过物理填充和化学胶结修复裂缝、改良结构性能，是材料性能和施工工艺共同作用的结果。化学灌浆技术对修复水闸胸墙裂缝具有优势。从材料方面来说，化学灌浆材料包括有机类材料和无机类材料，有机类材料主要用于水工结构裂缝处理，环氧树脂类浆液粘合力强，固化后的抗压强度可以达到 50~80MPa，抗拉强度 10~30MPa，对于混凝土材料具有较高黏合力，有效保护了结构完整性，环氧低缩水率（<1%），避免了固化收缩导致的二次裂缝形成。聚氨酯类浆液能够遇水膨胀，膨胀率可达到 100%~300%，适用于水工渗水裂隙治理，固化后弹性体适用于小变形，能够在动态荷载下进行封闭。此外，近年来出现的新型丙烯酸盐类能够渗透 0.05mm 以下裂缝，且没

有污染，可以用于微小裂纹治理^[3]。

在施工工艺方面，化学灌浆得遵循严格操作流程。裂缝预处理阶段，要通过高压空气吹扫、机械打磨等方式，彻底清除裂缝表面灰尘、油污及疏松混凝土，以此确保裂缝界面清洁又干燥。灌浆嘴埋设属于关键环节，对于 0.1~0.3mm 的细微裂缝，适合采用间距 15~25cm 的梅花形布置方式，0.3mm 以上裂缝可适当把间距增大到 30~50cm。封缝质量会直接影响灌浆效果，通常采用高强度封缝胶来进行封闭，要求封缝宽度不小于 5cm、厚度不低于 2mm，并且要确保密封层无气孔、无裂缝。浆液配制过程当中，需严格控制主剂与固化剂的配比精度（误差 $\leq \pm 1\%$ ），采用机械搅拌方式来确保混合均匀。灌浆压力的控制要根据裂缝宽度、深度及材料特性灵活调整，一般细微裂缝采用 0.1~0.3MPa 低压灌浆，较宽裂缝可采用 0.3~0.8MPa 中压灌浆。灌浆结束之后，需对灌浆嘴进行切除并采用环氧砂浆进行修补，从而确保结构表面平整。

3.2 碳纤维布加固技术

碳纤维布技术主要是利用了抗拉强度 $\geq 3000\text{MPa}$ 、弹性模量 $\geq 230\text{GPa}$ 等高强度材料的碳纤维布技术特性，通过碳纤维布加固，利用高性能的粘结剂将碳纤维布和混凝土复合后达到原结构加固，提高受弯、受剪能力的一种技术。该技术具有质量轻、耐腐蚀、便于施工的特性，多见于结构自重较大的水闸胸墙部位。粘结剂是影响粘结加固效果的主要因素，环氧树脂粘结剂要满足浸润性和触变性，粘度通常控制在 3000℃~8000℃，保证在工时，垂直方向不流淌和浸润碳纤维布。碳纤维布根据加固要求进行选取，通常情况下，碳纤维布 I 级 300g/m² 极限拉应变为 1.6% 以上，当进行多层贴的时候，层与层之间的时间间隔必须保证，确保底层的粘结剂处于干燥状态（一般不超过 2h），避免分层^[5]。

施工过程需注重细节控制。对混凝土地面面层的修复，在施工中需要贴钢板，但针对蜂窝、孔洞的修补则需用环氧砂浆找平，粘接剂需称量好，搅拌的时间也要超过 3min。碳纤维布的长度要比设计值大 5~10cm，留出锚固长度。碳纤维布的粘贴，采用滚筒，顺着纤维的方向滚一滚，排一排，滚一滚，保证碳纤维布的粘结剂浸渍率大于 95%，对转角处要进行倒圆角处理（半径不应小于 20mm），避免因用力过大而将碳纤维布剥离。加强养护，养护时间 7d 以上，养护时气温为 5℃~35℃，湿度 $\leq 80\%$ 。

4 水闸胸墙贯穿裂缝处理措施的应用与效果分析

4.1 工程案例概况

呼图壁青年渠首右岸冲沙闸闸室段采用整体开敞式胸墙钢筋混凝土结构，胸墙为板梁式钢筋砼结构，尺寸 6.5×4m，厚度 0.40m，材料为现浇 C25F200W6。安全鉴定检查发现，顺水流方向冲砂闸右侧闸孔板梁式钢筋砼胸墙存在斜向贯穿裂缝，缝宽 1~5cm，部分钢筋外露，需进行处理

以保障水闸正常使用。

4.2 处理措施应用过程

针对该胸墙裂缝问题,采用上下游分别处理的方案,形成多层防渗和加固体系。

4.2.1 上游堵漏

裂缝开槽需沿裂缝采用人工辅助小型机械设备进行,槽体尺寸为下口宽 3cm、上口宽 5cm、深 5cm,需保证槽口整齐,开槽后需清除槽内浮尘、浮渣并冲洗干净;嵌缝时,槽内底部 3cm 深填充大坝专用弹性聚氨酯密封胶,上部 2cm 填充高性能环氧砂浆,需压实充填材料^[4],确保与混凝土紧密结合且表面平整;嵌缝完工后,需对处理裂缝两侧各 20cm 范围内进行碳纤维网格布贴缝处理,处理宽度为 40cm;表面封闭时,以裂缝为中心,沿缝两侧将面板整体混凝土表面打磨并清理粉尘,涂刷界面剂,待界面剂表干后涂刷单组分聚脲,先刷 1 遍聚脲,铺设 1 层胎基布,再刷 1 遍聚脲,表干后进行第 3 遍涂刷,形成以缝中心 4mm 到边界 2mm 的渐变涂层,确保表面光滑平整。

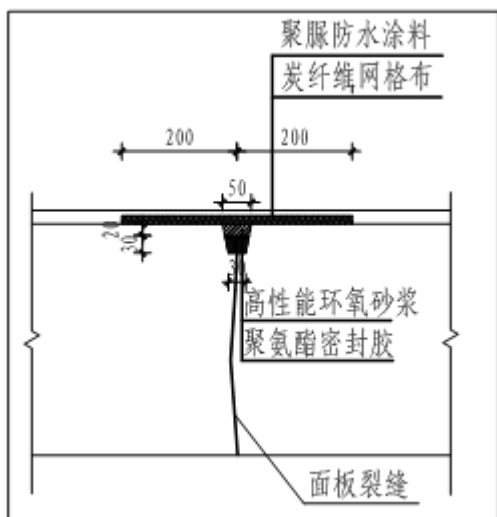


图 1 上游面板裂缝堵漏示意图

4.2.2 下游堵漏

布孔与钻孔采用交叉斜孔两侧布置,两侧孔间距 25cm、单孔间距 50cm,使用 $\phi 14$ 电锤钻孔,钻孔位置位于混凝土缝深度 1/2 处左右,穿缝深度控制在 5~10cm,离缝直线距离约 8cm,同时控制孔斜角度确保与缝相交垂直深度;清孔与埋嘴时,钻孔后用带压气体或压力水清理孔内粉尘碎末,再采用旋转膨胀密封专用止水针头埋嘴;灌浆需配制环氧灌浆浆液,遵循从低处到高处、从缝一边到另一边的顺序逐孔灌浆,针对裂缝宽度 $\geq 1\text{mm}$ 及伸缩缝灌浆时需边封堵边灌浆,未完全愈合的进行第二次注浆,灌浆压力控制在 20MPa 以下,以缝中浆液互窜并连续溢出为结束标准,每个孔灌浆时间不小于 3min;封孔修整时,待浆液凝胶固化后取出止水针头,清理孔壁并使用高性能环氧砂浆嵌填封孔,最后清理表面;后续处理包括清理缝表面残留灌浆料,

进行压水试验检测,合格后按上游处理方式粘贴碳纤维网格布,最后按上游表面封闭工艺进行表面封闭。

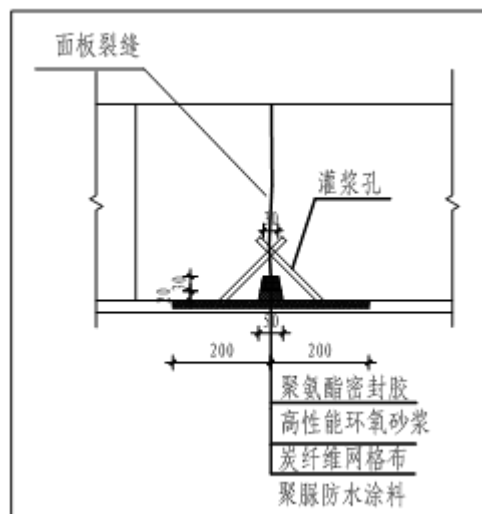


图 2 下游面板裂缝堵漏示意图

4.3 效果分析

处理完成后对胸墙开展外观检测与性能监测。外观显示,上下游处理部位表面光滑,无渗液、空鼓及剥离现象。压水试验表明渗漏问题有效遏制,防渗体系作用良好。碳纤维网格布与聚脲防水涂料结合,约束混凝土变形、减少裂缝宽度并防渗。整体措施修复裂缝,增强结构整体性与抗渗性,运行中裂缝未扩展,水闸安全稳定,为类似工程提供借鉴。

5 结语

水闸胸墙贯穿裂缝的防治是保障水利工程安全运行的关键环节。研究证实,混凝土材料特性、施工缺陷、复杂环境及荷载作用等因素相互交织,是裂缝产生的核心诱因。化学灌浆、粘贴钢板加固、碳纤维布加固等技术各有所长,通过针对性应用,可有效修复裂缝、提升结构承载性能。实际工程监测数据表明,经处理后的胸墙结构整体性显著增强,裂缝扩展得到有效遏制,且在长期运行中保持良好稳定性。这些成果不仅为水闸病害治理提供了可靠方案,也为同类水工结构的维护修复积累了宝贵经验。

参考文献

- [1] 李旭光,樊祥船.降低泄水闸胸墙底缘负压的数值模拟研究[J].水电能源科学,2021,39(09):128-130.
- [2] 胡顺志,唐振华,姜军.泄水闸胸墙布置型式对宽顶堰泄流能力影响的研究[J].水利规划与设计,2019(09):135-139.
- [3] 罗焕玲.浅谈水闸胸墙预制及吊装施工工艺[J].居舍,2018(07):53+47.
- [4] 王泽军.碾压混凝土重力坝坝体贯穿裂缝渗漏封堵技术[J].中国建筑防水,2023(09):37-42.
- [5] 周海明.现浇混凝土板贯穿裂缝原因及预控措施[J].大众标准化,2023(06):25-27.