

某冲沙闸闸墩裂缝成因分析与处理措施

曾辉¹, 陈钢¹

(1. 中国长江电力股份有限公司, 湖北宜昌 443002)

摘要: 某冲沙闸闸墩为预应力结构, 施工期在预应力区产生了裂缝, 运行初期曾评估裂缝处于稳定状态, 一直未经处理。经过近二十年后该裂缝有无发展, 对预应力锚索有无影响, 是否需要处理? 本文对裂缝进行了全面的检测, 对钢筋进行了探测, 通过对裂缝部位进行三维数值计算分析, 分析了裂缝产生的原因, 提出了处理措施, 可为同类工程提供参考。

关键词: 闸墩裂缝; 成因; 处理措施

中图分类号: TV662+.2

文献标识码: B

1 工程概况

某冲沙闸是某水利枢纽的重要组成部分, 位于某航道内, 左侧紧邻船闸, 右接非溢流坝段。

冲沙闸采用大孔口闸型, 共 6 孔(编号 01#-06#), 每孔宽 18m, 后胸墙末端设弧形闸门, 孔口尺寸为 12m×10.5m。闸孔采用墩中分缝, 弧门支承区采用预应力混凝土大梁结构。某冲沙闸下游闸墩预应力区(▽61m 以下)存在裂缝, 该裂缝闸墩施工初期就存在。1993 年专家组通过现场检查、分析测缝计和预应力锚索测力计资料给出了“3 号孔右墩左、右侧裂缝处于稳定状况, 其他裂缝目前无异常变化”的结论, 此后未进行过检查, 也未进行过处理, 因裂缝位于预应力区, 为了掌握裂缝发展情况, 进一步分析对闸墩安全的影响, 有必要进行检测。

2 闸墩检测

闸墩裂缝检测方法采用表观调查, 光学测宽, 超声测深。钢筋保护层厚度及缺陷检测采用阵列超声横波反射, 闸墩表层钢筋锈蚀情况检测采用半电池电位法检测。

2.1 裂缝基本情况

根据裂缝检测及调查成果, 本次总计检查出某冲沙闸下游闸墩预应力区混凝土裂缝 78 条, 总长度 274.7m, 裂缝大多呈竖向分布。大多分布于墩墙底部抗冲耐磨区及闸墩变截面位置, 墩墙中部预应力区裂缝相对分布较少; 裂缝宽度小于 0.4mm 的裂缝占闸墩裂缝总数的 70.51%, 其中宽度在 0.2~0.4mm 之间裂缝数量最大, 占裂缝总数的 43.59%, 见表 1;

表 2 闸墩混凝土裂缝宽度分组统计表

分组 (单位: mm)	频率	分组%	累积 %
0.0-0.2	21	26.92%	26.92%
0.2-0.4	34	43.59%	70.51%
0.4-0.6	6	7.69%	78.21%
0.6-0.8	5	6.41%	84.62%
0.8-1.0	5	6.41%	91.03%
1.0-1.2	4	5.13%	96.15%
1.2-1.4	0	0.00%	96.15%
1.4-1.6	2	2.56%	98.72%
1.6-1.8	1	1.28%	100.00%
其他	0	0.00%	100.00%

裂缝深度介于 50~100mm 之间的裂缝数量最大, 占闸墩裂缝总数的 50.00%; 深度 0~150mm 的裂缝占裂缝总数的 85.90%; 深度在 0~200mm 以内的数量占 94.87%, 见表 2。

表 1

闸墩混凝土裂缝深度分组统计表

分组 (单位: mm)	频率	分组%	累积 %
0-50	9	11.54%	11.54%
50-100	39	50.00%	61.54%
100-150	19	24.36%	85.90%
150-200	7	8.97%	94.87%
200-250	2	2.56%	97.44%
250-300	1	1.28%	98.72%
300-350	1	1.28%	100.00%
其他	0	0	100.00%

本次调查中 02# 闸孔墩墙裂缝最多, 共 17 条; 深度和宽度最大裂缝位于 03# 闸孔右闸墩预应力区, 检测到宽度最大为 1.45mm, 深度最大为 309mm。

查阅设计资料, 主筋保护层厚度最小 250mm, 有 2 条裂缝发展至保护层厚度。闸墩内部预应力锚索的保护层厚度为 800mm, 目前尚无裂缝发展至此深度。

2.2 钢筋保护层厚度及缺陷

通过超声横波反射成像探测得到闸墩存在两层钢筋网, 第一层钢筋至表面的深度为 50~60mm, 第二层钢筋埋深 210~230mm。通过超声横波反射成像在裂缝区域探测成果推断, 探测区域内无明显具有一定规模的混凝土空鼓等缺陷。

2.3 钢筋锈蚀情况

闸墩钢筋锈蚀情况共检测了 8 个测区, 测区的选择原则主要是规模裂缝或者裂缝密集发育区。在所有开展钢筋锈蚀检测的 8 个测区共检测钢筋锈蚀电位测点 856 个, 其中锈蚀概率小于 20% 的测点 775, 占总测点数的 90.5%, 钢筋锈蚀程度较小。

检测发现 03# 冲沙闸右墩墙裂缝发育区域内部钢筋锈蚀概率最大, 锈蚀概率超过 50% 的测点占测点总数的 19%, 其中锈蚀概率超过 80% 的测点占总数的 5%, 且基本位于裂缝正下方区域。此外, 其他测区钢筋锈蚀概率均较小, 仅裂缝处少数测点锈蚀概率超过 80%, 占测点总数比例均小于 5%。

通过钢筋锈蚀情况探测结果得出: 当裂缝深度大于钢筋保护层厚度时, 随着深度的增加, 裂缝区域内部钢筋锈蚀概率也随之增大。当裂缝深度超过第二层钢筋埋深时, 钢筋锈蚀概率较浅裂缝区域明显增大; 无裂缝存在区域钢筋锈蚀概率较小。

统计钢筋锈蚀测区裂缝开度、深度和电位值的相关数据 (见表 3), 计算裂缝开度、深度和电位值区间概率的相关系数 (见表 4)。

表 3

钢筋锈蚀测区裂缝开度、深度和电位值统计表

最大开度 (mm)	最大深度 (mm)	最大电位值 (mV)	测点电位值占测点总数的概率		
			<150 mV	150~200 mV	>200 mV
0.21	99	208	0.94	0.06	0
0.88	207	208	0.88	0.11	0.01
0.25	84	110	1.00	0	0
1.45	309	226	0.81	0.14	0.05
0.19	122	121	1.00	0	0
1.42	216	212	0.85	0.11	0.04
0.78	128	154	0.94	0.06	0

表 4

钢筋锈蚀测区裂缝开度、深度和电位值区间概率相关系数计算表

相关系数	开度	深度	<150 电位值 测点概率	150~200 电位值 测点概率	>200 电位值 测点概率
开度	1.000	0.899	-0.930	0.885	0.905
深度	0.899	1.000	-0.931	0.883	0.913

根据表 4 的计算结果，裂缝开度与深度表现为强相关，即开度越大深度越大；裂缝开度与深度与电位值区间概率值亦表现为强相关，即开度、深度越大，钢筋的锈蚀概率越高。由于墩墙的钢筋分为两层，钢筋锈蚀概率基本上是表层钢筋（深度在 50~60mm）的锈蚀概率。按测点电位值在 150~200mV 区间（钢筋锈蚀概率 50%）的测点数量小于 5% 的考虑，对裂缝深度 $\geq 150\text{mm}$ 裂缝视为钢筋锈蚀，进行适当的结构补强处理。

3、裂缝成因分析

为研究裂缝的成因，考虑到闸墩混凝土的连续施工方式，对于大体积混凝土的温度应力采用约束温度的方法进行热传导稳态分析，建立分离式钢筋混凝土连续介质模型，分析裂缝发展态势的闸墩的受力状态。把混凝土和钢筋作为不同的单元进行处理。采用实体单元模拟混凝土，屈服准则采用带 Rankine 修正的 D-P 准则，钢筋采用 cable 单元模拟。

根据裂缝调查情况，初步推断上述裂缝为温度裂缝。为验证上述推断，采用热-应力顺序耦合的方式计算闸墩大体积混凝土的温度应力以及不考虑温度应力的对比工况。

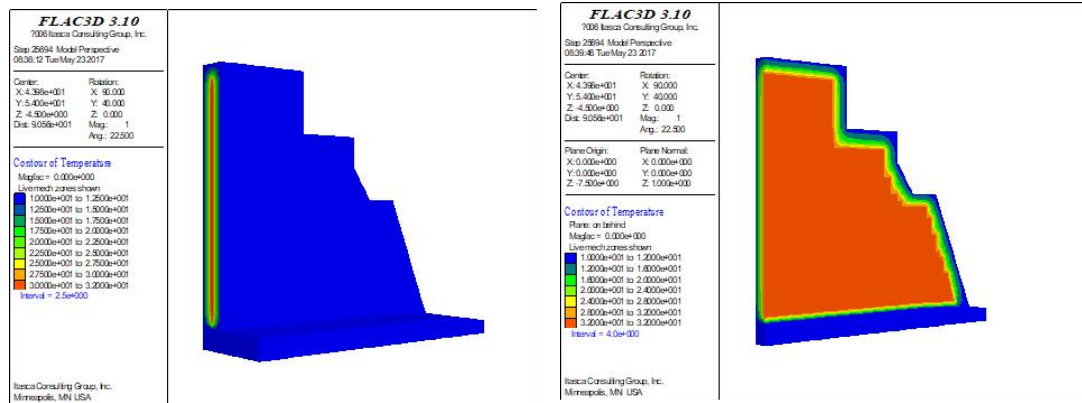


图 1 约束温度法计算大体积混凝土的温度场分布

根据求得的温度场，按内表温差 22°C 计算温度荷载，见图 1。温度荷载分布云图(图 2)揭示，在并仓板与闸墩底部 350#混凝土之间为主应力较大部位，表现为拉应力，最大量值为 1.98MPa，超出混凝土抗拉设计强度，该部位也是竖直裂缝分布区域；不考虑温度荷载，闸墩部位最大拉应力为 0.01MPa，远小于混凝土的抗拉设计强度。图 3 揭示温度荷载下的闸墩大体积塑性区分布，塑性区深度为 60cm，已超出设计钢筋保护层厚度 25cm，未超过锚索的保护层厚度 80cm；不考虑温度荷载，闸墩混凝土处于弹性状态。

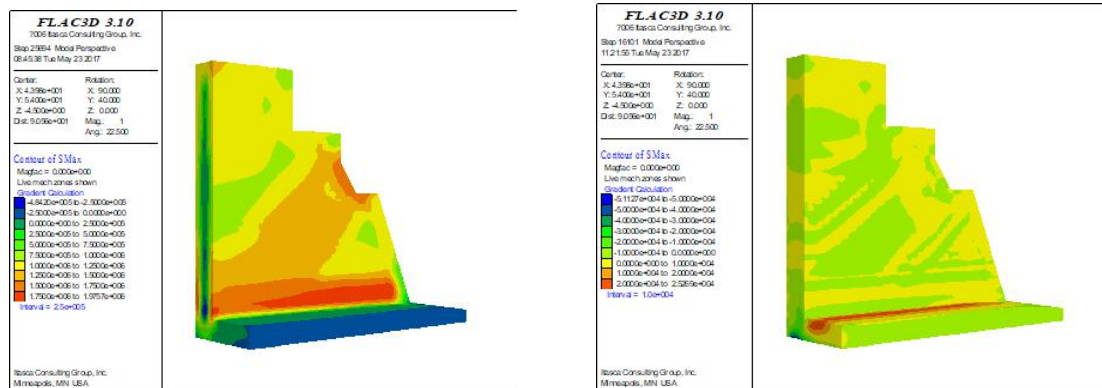


图 2 闸墩大主应力对比云图

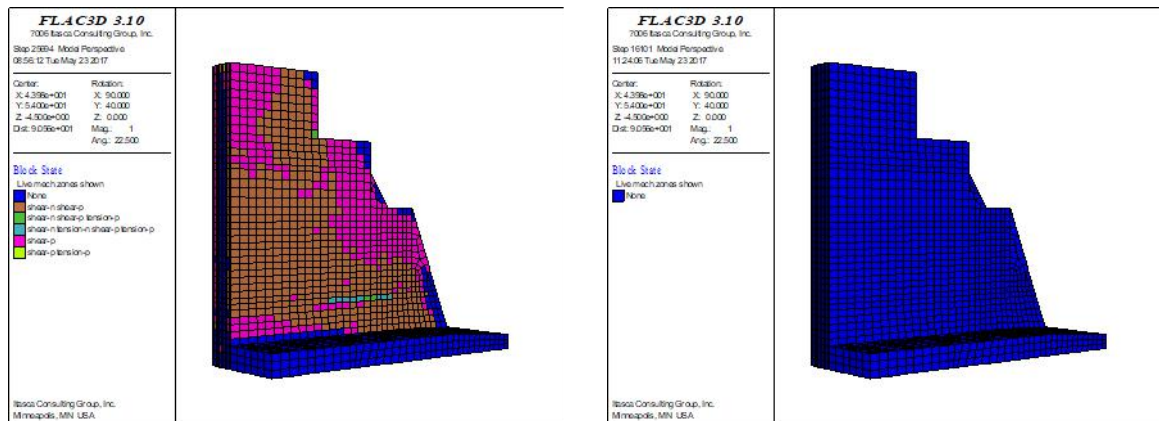


图3 闸墩混凝土塑性区分布对比图

根据上述计算分析,如果不考虑温度荷载,不会发生混凝土的开裂,温度荷载作用下表层混凝土已超出混凝土的抗拉强度。从裂缝分布缝大多呈竖向分布;裂缝重要集中分布于闸墩底部与并仓板连接部位以及预应力区上方,墩墙中部预应力区裂缝相对分布较少。因此闸墩的近垂直向裂缝基本上可以认为是混凝土施工期的温度裂缝。裂缝深度未超过锚索的保护层厚度 80cm,说明预应力锚索未受到裂缝的影响。虽然是表层温度裂缝,不影响结构安全但有 94%已深入表层钢筋,有 6%深入第二层钢筋,为了避免钢筋锈蚀,需要对裂缝进行处理。

4 处理措施

混凝土裂缝的修补措施主要有以下一些方法:表面修补法,灌浆、嵌缝封堵法,混凝土置换法,电化学防护法以及仿生自愈合法^[1]。由于该裂缝均为表层裂缝,对闸墩结构安全没有影响,因此主要是对裂缝进行封护处理,以避免钢筋的进一步锈蚀。采用填充密封法处理,处理的内容包括灌缝和裂缝的表面封护。

对裂缝进行填充密封法选用化学灌浆,灌浆材料选用环氧浆液。化学灌浆对于细微的裂缝有良好的可灌性,因此可以恢复闸墩的整体性,起到结构补强及防止钢筋锈蚀的作用。灌浆处理工作程序为:表面处理→打灌浆孔→封闭缝口→试气→灌浆→检查。

(1) 表面处理:对宽度 $\delta < 0.3\text{mm}$ 以及宽度 $\delta \geq 0.3\text{mm}$ 但深度 $h \leq 100\text{cm}$ 的裂缝用砂轮机磨平混凝土表面,用钢丝刷及砂布将裂缝两边各 5cm 宽的混凝土表面浮渣及油污等清除。对于裂缝深度 $> 100\text{cm}$ 或长度 $> 3\text{m}$ 的裂缝,沿闸墩混凝土现状裂缝混凝土表面凿成 52cm 宽、3cm 深的粘贴槽,槽面用环氧砂浆修复平整,修复后的槽深 $\geq 2.5\text{cm}$ 。

(2) 凿槽:沿裂缝凿出深度 $\geq 30\text{mm}$,裂缝两边宽度不小于 15mm 的 V 形槽。

(3) 打灌浆孔:打骑缝孔,间距 25cm,孔径 20mm。

(4) 封闭缝口:采用封缝胶封闭。

(5) 试气:封闭完成 48h 后进行试气,压力先小后大,采用 0.2-0.3MPa 压力空气进行通气和试漏检查对出现漏气的嵌缝进行修补。

(6) 灌浆:采用低粘度的环氧类材料,水平缝由一端向另一端逐孔灌注,竖直缝由下至上逐孔灌注。最大压力控制在 0.2MPa。灌浆过程中应控制裂缝增开度 $\leq 100\ \mu\text{m}$ 。灌注孔相邻的孔冒浆,即可进行一下孔灌浆^[2]。

为了减少裂缝在循环荷载作用下活动裂缝的继续开展,在对裂缝进行填充密封法处理后,采用粘贴钢板补强法和粘贴复合纤维材料进行裂缝表面的封护,减少裂缝发展的可能性。

根据工程所在地区的气候条件和冲沙闸的工作环境,闸墩表面在夏季工作环境温度较高,因此对处理材料的耐久性有较高的要求。粘钢与粘碳纤维布有同样的加固效果,但是碳纤维布有热缩冷胀的特点(线膨胀系数是钢材的 1/20),与冲沙闸整体的变形特征一致,即在高

温季节, 上下游水位差减小, 裂缝开度减小, 碳纤维布收缩适应裂缝闭合趋势; 低温季节, 上下游水位差增大, 裂缝开度增大, 碳纤维布膨胀适应裂缝张开趋势, 因此推荐对活动裂缝的采用碳纤维布进行封护。在灌浆后应粘贴碳纤维布主要工艺如下:

- (1) 涂刷胶粘剂: 用滚筒将底胶均匀涂抹在混凝土表面。
- (2) 找平处理: 对混凝土表面凹陷部位用修补胶填补平整。
- (3) 粘贴碳纤维布: 按尺寸裁剪好碳纤维布, 配制浸渍胶, 均匀涂抹后粘牢碳纤维布。自然养护 24h 达到初期固化。
- (4) 挂网: 在碳纤维布表面挂钢丝网后环氧砂浆封闭抹平。

5 结语

某冲沙闸下游闸墩预应力区存在裂缝, 本文对裂缝的性状进行了全面的检测, 对混凝土内钢筋进行了探测, 摸清了钢筋的锈蚀状况, 通过对裂缝部位进行三维数值计算分析, 分析了验证了裂缝产生的原因, 提出了处理措施, 有效恢复了闸墩结构的整体性。

参考文献:

- [1] 江磊 《闸墩裂缝成因分析及补救措施》水利建设与管理 2015 (2): 64-66
- [2] 李建 《水闸混凝土闸墩裂缝成因及处理措施》陕西水利 2019 (11): 177-178

作者简介: 曾辉 (1976-) 男, 湖北宜昌人, 高级工程师, 主要从事水工建筑物的运行管理、维护、检修等工作。

通讯地址: 湖北省宜昌市西陵区西坝建设路 1 号,

电话: 07176953560, 13972004023

电子邮件: 286917023@qq.com

Cause Analysis and Treatment Measures of the Gate Pier Crack

ZENG Hui¹, CHEN Gang¹

(1.China Yangtze Power Co., Ltd, Yichang 443002, Hubei)

Key words: gate pier cracks; cause of formation; treatment measures

Abstract: The pier of a sand sluice is a prestressed structure, and cracks are produced in the prestressed area during the construction period. At the beginning of operation, the cracks were evaluated to be in a stable state and have not been treated. After nearly 20 years, does the crack develop and affect the prestressed anchor cable? Does it need to be treated? In this paper, the cracks have been comprehensively detected, the reinforcement has been detected, through the three-dimensional numerical calculation and analysis of the cracks, the causes of the cracks have been analyzed, and the treatment measures have been put forward, which can provide reference for similar projects.