

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2017.06.013

王振振, 张社荣. 近海复杂环境因素对闸墩混凝土裂缝的影响[J]. 水利水电工程学报, 2017(6): 92-97. (WANG Zhenzhen, ZHANG Sherong. Impacts of offshore complex environment factors on cracks in concrete piers[J]. Hydro-Science and Engineering, 2017(6): 92-97. (in Chinese))

近海复杂环境因素对闸墩混凝土裂缝的影响

王振振¹, 张社荣²

(1. 中铁工程设计咨询集团有限公司, 北京 100055; 2. 天津大学 水利工程仿真与安全国家重点实验室, 天津 300072)

摘要: 近海大体积混凝土结构所处的外界环境以及地质条件比较复杂,对于带裂缝水闸结构来说,因所处的地理位置、气候变化以及潮汐升降水位等因素的缘故,水闸闸墩裂缝处于张合状态,这降低了水闸结构的稳定性,甚至会影响水闸结构的寿命。沿海环境温度变化对混凝土裂缝宽度变化的实际监测分析,对于混凝土结构安全耐久性评价具有一定价值,依托典型软土地基永定新河防潮闸工程,利用测缝计对闸墩裂缝宽度变化进行健康监测。主要研究运行期环境因素(以空气温度、水温以及潮汐水位为主)对闸墩裂缝的影响,采用健康安全监测软件,通过对数据的挖掘处理,得出环境温度和湿度是影响闸墩水下裂缝宽度变化的敏感性因素的结论,为以后水闸闸墩裂缝的安全维护和裂缝的预防提供思路。

关 键 词: 临海复杂地质; 大体积混凝土; 环境因素; 裂缝; 健康监测

中图分类号: TU528.01

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2017)06-0092-06

临海大体积混凝土结构所处的外界环境以及地质条件相比来说较为复杂,带缝水闸运行在工程结构领域中是相当普遍的现象^[1]。天津市永定新河防潮闸位于华北沉降带的东北部,第四系松散堆积物厚度大,上部地层以软土为主,横向变化大、工程地质性状差,同时位于滨海地区等位置的原因,混凝土结构长期处于对混凝土有弱腐蚀性的 Cl^- - Ca^{2+} 地下海水中,受到海水的冲刷与侵蚀,裂缝引起钢筋的锈蚀问题显得尤为突出。新出现的裂缝易对结构造成不利影响,例如降低结构的稳定性、增强渗漏能力以及削弱混凝土的强度和抗蚀能力等^[2];并且在运行期,由于气温变化以及潮汐升降水位等因素的影响^[3],使得裂缝为张开闭合状态,不利于对水闸的运行管理,甚至会影响结构的寿命;水闸开裂的原因很多,不仅与混凝土材料本身有关,也与外界环境有关^[4],因此对水闸裂缝的安全监测分析十分必要,本文依托永定新河防潮闸工程建立健康监测系统对闸墩裂缝进行监测分析,根据监测资料分析裂缝的稳定性并对水闸的安全运行状况进行评估,通过研究环境温度、湿度对水闸裂缝缝宽的影响,为以后水闸闸墩裂缝的安全维护和裂缝的预防提供思路。

1 工程概况

永定新河位于天津市区北侧,是天津市北部的防洪屏障,河道全长 66 km,流域面积 8.3 万 km^2 ,永定新河防潮闸治理工程主要建筑物级别为 2 级,次要建筑物级别为 3 级,闸室布置采用深浅孔 20 孔方案,每 2 孔一联(中间 8 孔为深孔)。闸址区濒临渤海,河道受潮汐水流控制,近岸地下水受潮水影响较大,地下水埋藏浅,地质环境复杂,地表水和地下水的化学类型属于 Cl^- , K^+ , Na^+ 型水,矿化度高。

永定新河防潮闸工程属于典型的平原地区软土地基水闸,工程环境复杂,永定新河流域气温变幅大,处

收稿日期: 2016-11-10

基金项目: 国家自然科学基金创新研究群体科学基金资助项目(51321065); 国家自然科学基金资助项目(51379141, 51509182); 天津市应用基础与前沿技术研究计划青年项目(15JCQNJC08000)

作者简介: 王振振(1990—),男,河南商丘人,助理工程师,硕士,主要从事水工结构、地下结构分析研究。

E-mail: 2194472008@qq.com

于 $-15.4 \sim 40.9\text{ }^{\circ}\text{C}$,多年平均气温为 $12.6\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。多年降雨量为 $299.9 \sim 941.5\text{ mm}$,平均降雨量 566.1 mm ,多数集中在汛期,汛期降雨量占年总量的 79.9% 。历史最高潮位塘沽海洋站为 3.43 m (黄海56高程系统,下同),历史最低潮位为 -3.72 m ,汛期历年高高潮平均值为 2.37 m ,低低潮平均为 -1.83 m ,汛期历年平均潮位为 0.35 m 。

通过实地调研,永定新河防潮闸工程竣工5个月后闸门槽附近出现多条裂缝,并对裂缝采取了维护措施,清洗裂缝表面后采用防水材料(水泥结晶为主)进行封堵裂缝,水闸正式运行后,裂缝由表面细微裂缝变成很明显的贯穿裂缝,同时闸墩表面伴随一些新的浅表性裂纹,关于裂缝最初开裂位置和时间由于闸室的后期改造造成记录资料丢失而无法详细得到。为了探究裂缝的扩张状态,对裂缝区域进行钻孔试样分析,在钻取试样的过程中,裂缝内部有大量破碎混凝土和水,主要是因为该裂缝已经贯穿,混凝土与海水化学物质的相互作用即在海水的侵蚀下强度降低造成的。试件上的裂缝宽度经过现场量测宽约 1.5 mm ,并且开裂方向非水平向扩裂,通过对试样的观察与量测表明某些裂缝已经达到贯穿的程度,现场典型裂缝分布如图1所示。



图1 裂缝现状

Fig. 1 Crack status quo

2 健康监测方法

2.1 监测软件的确定

本次水闸裂缝健康监测系统采用长沙金码高科技实业有限公司提供的DSC无线数据业务中心系统,该系统是与自动采集模块相配套的使用软件,可对采集模块进行设置与数据采集,同时可对多个模块或不同地方的多个项目进行无人全自动实时采集,自动将采集数据保存进入ACCESS数据库及TXT文档,并具有实时预警功能,软件对采集的数据可进行查询、作图、导出的处理。由于不能常驻于监测现场,此次健康监测采用GPRS网络进行通讯接收,选用振弦式表面测缝计和JMT-36型温度计。

2.2 裂缝观测点位的布设

由于现场出现裂缝的闸墩较多,为研究外界环境对裂缝变化的影响,特选取开裂较为严重的18#闸墩和19#闸墩进行分析(见图2)。本次研究主要采用常规的监测方法(在闸墩裂缝表面设置测缝计和温度计)关注裂缝的开裂变化,研究对象是裂缝的测值(扣除初始监测值)。测值计算如下:测值=测缝计某时刻读数-测缝计初始读数,精度为 0.01 mm ,是一个相对量,表征裂缝的扩张(数值大于零)与闭合(数值小于零),裂缝若保持与起初监测时的裂缝宽度则计算值为零。测缝计、温度计以及水位均是每 10 min 读取1组数据。因为采用了规范的仪器安装方法以及高精度的监测设备,在监测过程中测值比较稳定,同时对比现场对裂缝宽度的人为量测,保证监测数据的可靠性。

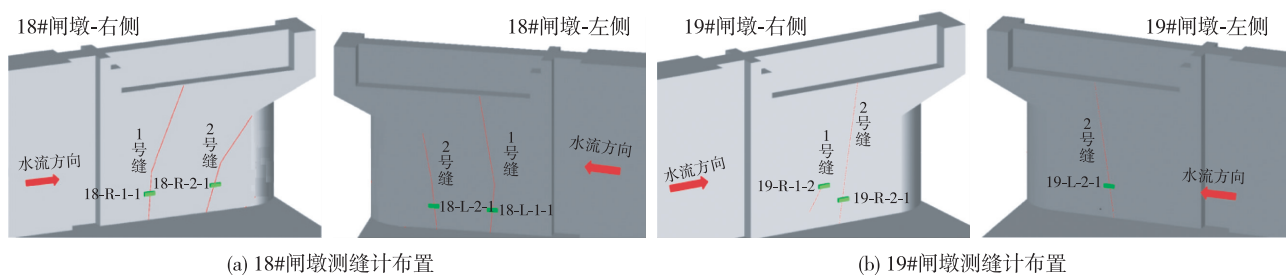


图2 测缝计现场布置

Fig. 2 Arrangement diagram of equipment for crack width measuring

现场监测仪器布置时,为了分析温度对裂缝的影响,特将温度计与19#闸墩右侧2号裂缝第1个测缝计

绑定在一块,为便于识别,用编号 19-R-2-1 代表该测缝计,现场安装见图 2,通过钻取试样确定 18# 闸墩 2 号裂缝已经贯穿。随着潮位的涨落,温度计测得温度主要是空气中的环境温度和水的温度。测缝计 18-R-1-1 与 18-L-1-1,18-R-2-1 与 18-L-2-1,19-R-2-1 与 19-L-2-1 分别布置在 18# 和 19# 闸墩 1 号或 2 号裂缝左侧与右侧对称位置,均距离底板上方 1 m 处,分布位置见图 2。

3 裂缝监测分析

3.1 温度对裂缝变化的影响

取 18# 闸墩 2 号裂缝作为研究对象,以天作为分析周期,对起初监测时刻 2014 年 9 月 14 日、最冷时刻 2015 年 1 月 31 日以及最热时刻 2015 年 8 月 16 日的裂缝宽度变化进行分析,缝宽变化与温度的关系曲线见图 3。

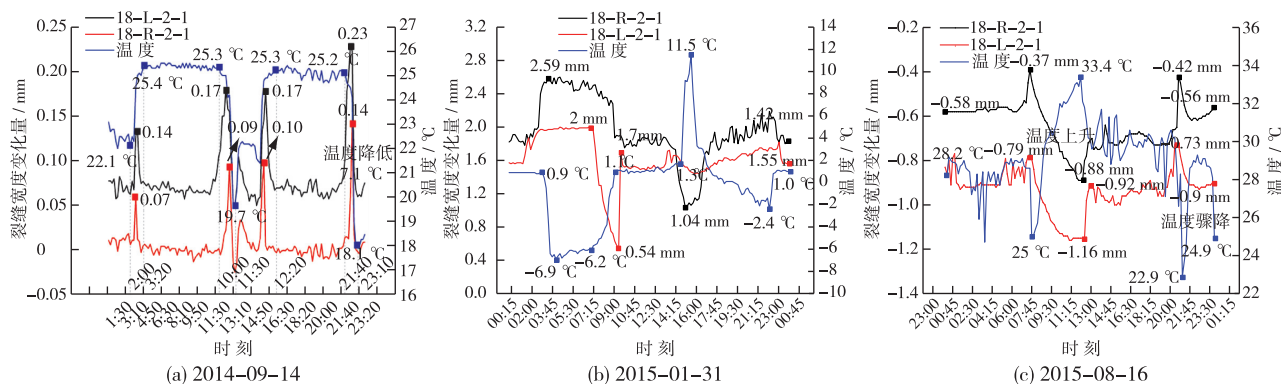


图 3 18# 闸墩 2 号裂缝缝宽变化随温度变化曲线

Fig. 3 Variation of No. 2 seam crack width of Pier 18# with temperature

根据全天各个时刻裂缝宽度随温度的变化曲线可知,裂缝宽度在潮汐水位淹没或浮出裂缝表面时,温差较大,缝宽急剧变化,裂缝位于水下或者空气中的时候温度变化小且稳定,缝宽波动幅度比较小;温度突变时刻一般就是水位淹没或浮出测缝计的时刻,例如 2014 年 9 月 14 日,3:10~10:20 和 13:50~22:10 期间便是测缝计与温度计暴露于空气中,所测温度为空气温度,其余时刻则为水温,由于每天的潮位变化不一样,所以每天测缝计与温度计暴露于空气的时刻也不一样,图 3(b)、3(c)以此类推。以图 3(b)为例,2015 年 1 月 31 日 2:55 到 3:45 期间,温度由 0.9 °C 降至 -6.9 °C,右侧裂缝扩张了 0.59 mm (2.0 mm 增加至 2.59 mm),左侧裂缝扩张了 0.09 mm (1.89 mm 增至 1.98 mm),在此时间段温度虽降至 0 °C 以下,但由于测缝计位于水面以下,现场监测测缝计所在位置并未结冰,不影响正常监测,监测数据有效;在 14:15 到 16:00 期间,温度由 1.3 °C 升至 11.5 °C,右侧裂缝闭合了 0.54 mm (1.58 mm 降至 1.04 mm),左侧为 0.13 mm (1.61 mm 降至 1.48 mm),对于温度在 03:00 左右大幅度下降导致裂缝测值急剧增大这一突变现象,是因为温度降低混凝土收缩导致裂缝急剧扩张,14:00 左右急剧升高导致裂缝测值急剧变小这一突变现象,是由于混凝土膨胀导致裂缝急剧收缩造成的,而右侧裂缝测值要比左侧测值较大,可能是由于闸墩的遮挡导致风压的不同、阳光的阴阳面照射导致温度不同以及裂缝内部遭受海水的侵蚀有差异的缘故^[5]。图 4(a)、4(c)每日缝宽变化量表现出与 4(b)类似规律,均表明:裂缝位于水中或空气中,缝宽随着水温或者气温的升高缓慢闭合,随着水温或者气温的降低小幅度扩张,主要是因为温度升高裂缝混凝土膨胀导致裂缝收缩,温度降低裂缝混凝土收缩导致裂缝扩张,在淹没或露出水面期间由于温差较大,缝宽急剧扩张或收缩,海水易对裂缝中的钢筋造成腐蚀,降低闸墩的耐久性^[6-7]。

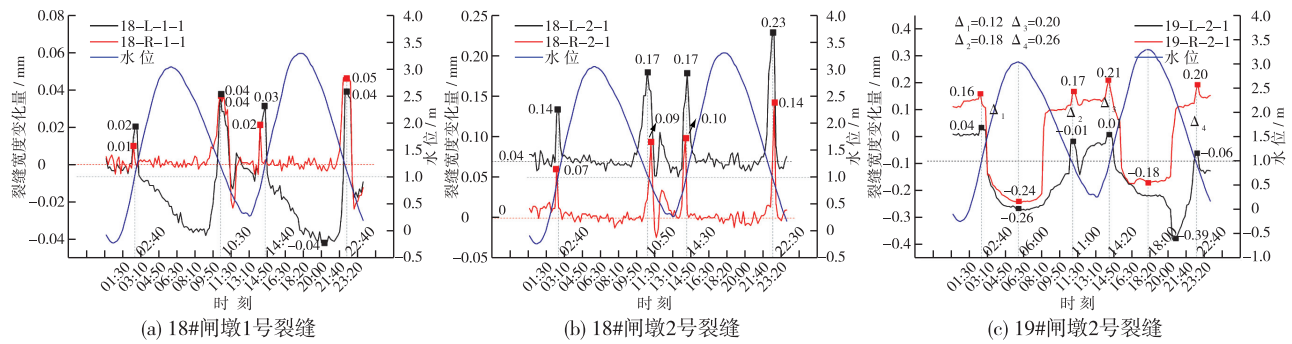


图4 2014年9月14日典型闸墩裂缝缝宽与水位变化

Fig. 4 Typical pier crack width and level change graph on September 14, 2014

3.2 水位对裂缝变化的影响

为研究水位与裂缝变化的关系,主要从短时间序列(每天)和长时间序列(每月)缝宽的变化进行阐述,短时间序列取2014年9月14日和长时间序列取2014年9月、10月,长序列以19#闸墩2号缝为研究对象,正常挡潮水位为3.44 m(水面距闸墩底板下部的距离,其中闸墩底板厚2 m),图中纵坐标显示的水位为水面线距底板的距离,对应时间段的缝宽变化曲线见图5。

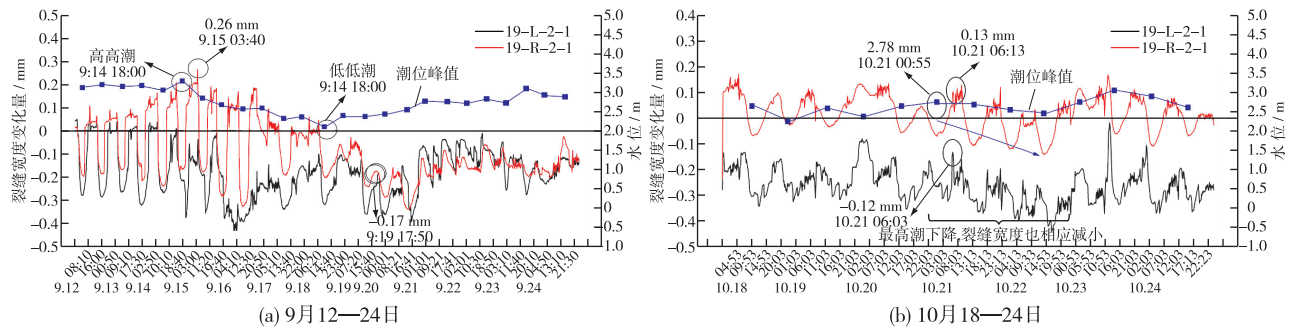


图5 19#闸墩2号裂缝缝宽变化随水位变化曲线

Fig. 5 Change of No. 2 seam crack width of Pier 19# with water level

从短时间序列来看(见图5),典型裂缝每天缝宽的变化规律一致,主要表现在两个方面:①不论裂缝在水面以上或以下,缝宽均在某一个值上下波动,并且幅度不大,以19#闸墩2号裂缝为例,10:50—14:30水位低于裂缝位置,较低水位作用在裂缝表面的压力较小,右侧裂缝测值在0.15 mm上下波动,变化并不大;②裂缝在与海水接触的前后段时间(主要是淹没或露出水面时刻)扩张或收缩的程度较大,以19#闸墩2号裂缝为例,06:00—10:50水位下降,右侧裂缝扩张了0.41 mm(由-0.24 mm增加至0.17 mm),14:30—16:00水位上升,右侧裂缝闭合了0.39 mm(由0.21 mm降低至-0.18 mm),其他裂缝日变化规律一致。③对于测值的突变情况,在高高潮时刻,闸墩裂缝由于水位的瞬间升高,产生较大的水压作用在裂缝表面混凝土,同时较高的潮位在风荷载的作用下,使得裂缝急剧收缩;而相反,在低低潮时刻,由于水位较低,作用在裂缝表面上的水压较小,裂缝的测值较大,裂缝进一步扩张^[8-9]。

从长时间序列来看,测值与水位的关系随时间的变化如同是日变化量的重复循环,也验证了缝宽变化随水位的变化规律,缝宽在潮汐水位的作用下随时间的变化使得活动裂缝进一步扩张甚至贯穿,水位的变化对缝宽影响较严重,并在温度、湿度的叠加作用下,裂缝扩张收缩得厉害,并处于活跃期,不利于水闸闸墩的正常运行。

综合以上温度因素、潮汐水位对缝宽变化的作用分析,各典型裂缝缝宽的变化规律基本一致,现有开展

裂缝仍处于活动期,并出现进一步扩张现象^[10],结合现场监测,闸墩表面出现很多新的裂缝,较多裂缝的宽度大于 0.4 mm,依据混凝土裂缝分类标准,见表 1,此类裂缝属于 D 类裂缝^[11-13],按特征表现又称为贯穿性裂缝,应当采取维护加固措施,建议对裂缝表面进行灌浆处理并外包碳纤维进行加固。

表 1 混凝土裂缝分类标准

Tab. 1 Concrete crack classification standards

项目	裂缝类型	特性	裂缝宽度/mm	裂缝深度
水工混凝土	A 类裂缝	龟裂或细微裂缝	$\delta < 0.2$	$h \leq 300$ mm
	B 类裂缝	表面或浅层裂缝	$0.2 \leq \delta < 0.3$	$300 \text{ mm} < h \leq 100 \text{ cm}$, 且不超过结构宽度的 1/4
	C 类裂缝	深层裂缝	$0.3 \leq \delta < 0.4$	$100 \text{ cm} \leq h < 200 \text{ cm}$, 或大于结构厚度的 1/4
	D 类裂缝	贯穿性裂缝	$\delta \geq 0.4$	$h \geq 200 \text{ cm}$ 或大于 2/3 结构厚度

4 结 语

本文基于健康监测系统,依托典型软土地基永定新河防潮闸工程,通过对外界环境因素对大体积混凝土裂缝的影响进行监测分析,得到影响运行期裂缝变化的敏感性因素,并以此对水闸的安全运行进行评估:

(1) 根据现场监测分析,已有裂缝仍在活动,并伴随着浅表性新裂缝的生成,较多裂缝属于贯穿性裂缝,严重影响水闸的正常运行,应及时采取加固措施对裂缝进行修补维护,建议对裂缝表面进行灌浆处理并外包碳纤维进行加固。

(2) 潮汐水位淹没裂缝的瞬间造成裂缝宽度的大幅度收缩或扩张,并伴随外界其他因素(海水水质、风压等)的影响,缝宽相应波动,降低了闸墩的安全稳定性。

(3) 运行期带缝水闸在温度影响下裂缝出现急剧扩张和收缩,对水闸的运行造成安全隐患。裂缝宽度随着温度的升高而逐渐闭合,随温度的降低而扩张,是因为当温度较低时,裂缝两侧混凝土收缩,导致裂缝表现出扩张状态;随着温度升高,裂缝整体上趋于闭合。由于闸墩的遮挡导致风压的不同、阳光的阴阳面照射导致温度不同以及裂缝内部遭受海水的侵蚀有差异,对裂缝的影响程度不一样,从而闸墩两侧裂缝的扩张程度也是有差异的。

参 考 文 献:

- [1] 高昆,田砾,肖范,等. 临海复杂地质大体积地下混凝土结构防裂控制施工技术[J]. 混凝土, 2012(2): 119-120, 123. (GAO Kun, TIAN Li, XIAO Fan, et al. Technology of cracks control of underground mass concrete construction located in beach complex geological conditions[J]. Concrete, 2012(2): 119-120, 123. (in Chinese))
- [2] 赵之瑾,关新强. 水闸闸墩裂缝成因及防治措施[J]. 水利水电科技进展, 2003, 23(4): 62-65. (ZHAO Zhijin, GUAN Xinqiang. Causes of cracking in sluice abutment and preventive measures[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2003, 23(4): 62-65. (in Chinese))
- [3] 方卫华. 水闸安全监测及可靠性评价研究[J]. 贵州水力发电, 2006, 20(2): 61-65. (FANG Weihua. Research on sluice safety monitoring and reliability evaluation[J]. Guizhou Water Power, 2006, 20(2): 61-65. (in Chinese))
- [4] 韦华,陈迅捷,魏治文,等. 大型水闸挡土墙典型裂缝成因分析及防治措施[J]. 水利水运工程学报, 2013(1): 47-53. (WEI Hua, CHEN Xunjie, WEI Zhiwen, et al. Cause analysis of typical crack on a sluice retaining wall and its prevention measures[J]. Hydro-Science and Engineering, 2013(1): 47-53. (in Chinese))
- [5] 冯德成,田林,曹鹏. 基于扩展有限元方法的路基不均匀沉降纵向裂缝分析[J]. 工程力学, 2011, 28(5): 149-154. (FENG Decheng, TIAN Lin, CAO Peng. Study on longitudinal cracking during settlement of soil based on extended finite element method[J]. Engineering Mechanics, 2011, 28(5): 149-154. (in Chinese))
- [6] 吕杨,张社荣,于茂,等. 基于 XFEM 的寒潮作用下水闸开裂性状分析[J]. 水利水运工程学报, 2015(3): 95-100. (LYU Yang, ZHANG Sherong, YU Mao, et al. Cracking behaviour analysis of sluices under the action of cold waves based on XFEM[J]. Hydro-Science and Engineering, 2015(3): 95-100. (in Chinese))

- [7] 张社荣,王高辉,孙博,等.基于扩展有限元法的重力坝强震潜在失效模式分析[J].水利学报,2012,43(12):1431-1439. (ZHANG Sherong, WANG Gaohui, SUN Bo, et al. Seismic potential failure mode analysis of concrete gravity dam based on extended finite element method[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(12): 1431-1439. (in Chinese))
- [8] 谢石. 澧南闸裂缝成因及加固方案优化研究[D]. 南京:河海大学,2006. (XIE Shi. Study on the cause of Linan sluice crack and the optimization of reinforcement schemes[D]. Nanjing: Hohai University, 2006. (in Chinese))
- [9] 袁明道,肖明,杨光华.长沙拱坝裂缝状况及寒潮影响的数值分析[J].水力发电学报,2012,31(3):175-181,187. (YUAN Mingdao, XIAO Ming, YANG Guanghua. Crack state of Changsha arch dam and analysis of the effects of cold wave[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2012, 31(3): 175-181, 187. (in Chinese))
- [10] 韦华,陈迅捷,魏治文,等.大型水闸挡土墙典型裂缝成因分析及防治措施[J].水利水运工程学报,2013(1):47-53. (WEI Hua, CHEN Xunjie, WEI Zhiwen, et al. Cause analysis of typical crack on a sluice retaining wall and its prevention measures[J]. Hydro-Science and Engineering, 2013(1): 47-53. (in Chinese))
- [11] 朱伯芳.大体积混凝土温度应力与温度控制[M].北京:中国水利水电出版社,2012. (ZHU Bofang. Thermal stress and temperature control of mass concrete[M]. Beijing: China Electric Power Press, 2012. (in Chinese))
- [12] 田振华,郑东健,姚远,等.大体积混凝土寒潮期温度应力及表面保温分析[J].水电能源科学,2011,29(5):93-95. (TIAN Zhenhua, ZHENG Dongjian, YAO Yuan, et al. Surface thermal stress and insulation of the dock foundation mass concrete during the period of cold wave[J]. Water Resources and Power, 2011, 29(5): 93-95. (in Chinese))
- [13] 吉顺文,朱岳明,蒋一鸣.平原地区水工混凝土裂缝成因与防裂研究[J].三峡大学学报(自然科学版),2009,31(4):37-39. (JI Shunwen, ZHU Yueming, JIANG Yiming. A study of causes of hydraulic concrete cracking and its prevention measures in plain area[J]. Journal of China Three Gorges University(Natural Sciences), 2009, 31(4): 37-39. (in Chinese))

Impacts of offshore complex environment factors on cracks in concrete piers

WANG Zhenzhen¹, ZHANG Sherong²

(1. China Railway Engineering Consulting Group Co., Ltd., Beijing 100055, China; 2. State Key Laboratory of Hydraulic Engineering Simulation and Safety, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: The external environment and geological conditions of offshore mass concrete structure are quite complex. For the sluice structures with cracks, because of the geographical position, climate changes and tidal water level fluctuation, the cracks in the sluice pier are in a state of tension, which reduces the stability of the sluice structure and even affects their service life. The actual monitoring analysis of the changes in the coastal environment temperature has a certain value for the safety and durability evaluation of the concrete structures. Therefore, taking the Yongding New River sluice gate works placed on the typical soft soil foundation as a case history, the pier crack width is monitored by the crackmeter. The studies of influences of environmental factors during the period of operation (mainly atmospheric temperature, water temperature and tide level fluctuation) on the cracks of the piers are carried out in this paper. The health and safety monitoring software is adopted to process the measured data. From the analyses it is found that the environmental temperature and water level fluctuation are the sensitive factors affecting the variation of underwater crack width of the pier. The study provides a new idea for the safety maintenance and prevention of the cracks in the floodgate piers in the future.

Key words: offshore complex geological conditions; mass concrete structure; environmental factors; cracks; health monitoring