

涵洞工程洞身段安全诊断技术探究

孙超君¹, 孙 猛², 董兆华², 韩 影¹, 万 青²

(1. 江苏省水利科教中心, 江苏 南京 210029; 2. 江苏省灌溉总渠管理处, 江苏 淮安 223200)

摘要: 淮河入海水道大运河立交地涵洞身段常年在水下, 洞身段日常检查较为困难。为实现深水环境中地涵缺陷快捷、准确和安全的检测要求, 研究提出采用水下无人潜航器搭载水下光学摄像头, 结合水下图像声呐、全向成像声呐等多参数传感器等, 查明涵洞内部淤积情况及混凝土表面是否存在缺陷, 采用水下回弹法检测结合水下取芯等方法查明涵洞混凝土强度的整套涵洞工程安全诊断技术, 为地涵开展水下检查提供可借鉴的方法和参考。

关键词: 涵洞工程; 安全诊断; 水下检测

中图分类号: TV698

文献标识码: B

文章编号: 1007-7839(2023)10-0067-0006

Study on safety diagnosis technology of culvert body section

SUN Chaojun¹, SUN Meng², DONG Zhaohua², HAN Ying¹, WANG Qing²

(1. Jiangsu Water Conservancy Science and Education Center, Nanjing 210029, China;

2. General Irrigation Canal Management Office of Jiangsu Province, Huai'an 223200, China)

Abstract: The culvert at Grand Canal Interchange is underwater all year round, and the routine inspection of the culvert is a difficult problem. In order to meet the requirements of rapid, accurate and safe detection of earth culvert defects in deep water environment, an underwater optical camera mounted on an unmanned underwater vehicle (UAV) is proposed in this paper, combined with multi-parameter sensors such as underwater image sonar, omnidirectional image sonar and so on, it is found out whether there is any defect in the internal siltation of culvert and the surface appearance of concrete, a whole set of safety diagnosis methods for culvert engineering are adopted to find out the strength of culvert concrete by using the method of underwater rebound and the method of underwater coring, which can provide a reference for the underwater inspection of culverts.

Key words: culvert project; safety diagnosis; underwater inspection

1 概 述

1.1 工程概况

淮河入海水道大运河立交地涵建成于2003年10月, 位于淮安市淮安区南郊, 是淮河入海水道与京杭大运河立交工程, 满足入海水道泄洪和京杭运河航运双重需求。大运河方向为渡槽, 槽宽80.0 m, 长125.7 m; 入海道方向为涵洞, 共15孔, 单

条涵洞长约108.6 m, 涵洞宽6.8 m, 高8.0 m, 工作闸门为潜孔式平面定轮钢闸门^[1]。上游进口斜坡段长12.0 m, 中部平段长88.0 m, 下游斜坡段长8.6 m。为方便涵洞里程定位, 从上游闸门处设定起始桩号为0+000.00 m, 下游出口处设定截止桩号为0+096.60 m。

1.2 涵洞检查难点分析

涵洞工程常年在水下, 对涵洞工程定期开展安

收稿日期: 2023-02-16

基金项目: 江苏省水利科技项目(2022019)

作者简介: 孙超君(1988—), 女, 高级工程师, 硕士, 主要从事水利工程管理工作。E-mail: 490963339@qq.com

全诊断,及时掌握工程质量,是确保工程安全运行的重要依据。但涵洞洞顶为填土覆盖时,洞身覆盖填土的沉降较为明显,不能真实体现洞身段的沉降,洞顶为过水通道时,洞身段无法开展沉降观测。入海水道大运河立交地涵洞身段常年在水下,在工程日常管理维护中如何快速、准确开展洞身段检查是一个难题。本文结合工程实际情况,研究提出了一套简便实用、经济准确的涵洞工程洞身段安全诊断技术,为涵洞工程安全运行和维护检查管理提供参考。

2 洞身段安全诊断技术研究

传统的涵洞工程水下检查是由潜水员下水或划小船检查,该检查方法效率低、费力、危险性较大且检查结果不精确,不能满足快捷、准确和安全等诸多要求。水下无人潜航器(Remotely Operated Vehicle,简称ROV),也叫水下机器人,是能够在水下环境中长时间作业的高科技装备,尤其是在潜水员无法承担的高强度水下作业或潜水员不能到达的深度和危险条件下更显现出明显的优势,近年来,被越来越多地应用于水工建筑物水下检测中。胡明昱等^[2]采用ROV对密云水库白河泄空隧洞闸门井前有压段洞壁混凝土、裂缝和洞内淤积进行水下探测;张凯等^[3]在ROV上搭载4K高清摄像头,实现水下涵洞缺陷图像智能检测并应用于六塘河地涵。这些工程应用案例均表明水下机器人检查技术具有明显优势,因此本文研究提出采用水下无人潜航器搭载水下光学摄像头,结合水下图像声呐、全向成像声呐等多参数传感器等方法开展洞身段水下检查,查明涵洞内部淤积情况及混凝土表面是否存在缺陷,采用水下回弹检测方法开展涵洞混凝土强度检测,判断洞身现状质量是否满足设计或规范要求的整套涵洞工程洞身段安全诊断

技术(图1)。

2.1 涵洞淤积情况诊断方法

ROV由控制主机、脐带连接线缆、水下潜器、辅助成像声呐及其他附件组成,具有作业灵活、工作高效、结果直观、数据可靠等优点^[4],但无法有效应用于水流流速快或存在大量垃圾杂物等复杂水体,且当水质浑浊时,水下高清摄像头不能有效拍摄,只能通过声呐图像进行粗略判断。入海水道大运河立交地涵水体能见度在5 cm以内,闸门开启状态下水流速约0.4 m/s,上游洞口附近水面漂浮有大量水草、杂草、生活垃圾等。结合工程特点,提出涵洞淤积情况诊断方法如下:水下无人潜航器需从地涵下游洞口进入,沿涵洞中轴线往上游方向行进,采用二维图像声呐扫描普查洞内淤积及过流面阻塞情况,了解掌握洞内基本环境情况。水下无人潜航器沿洞轴线返回期间,采用全向成像声呐采集涵洞淤积断面数据,直至整条涵洞淤积情况检查完成。

2.2 涵洞混凝土表面情况诊断方法

采用水下无人潜航器搭载二维图像声呐及水下光学摄像设备对涵洞内表面混凝土进行扫描,剪辑提取出清晰的影像资料,对其进行解译分析,并进行结构等特征部位及其他相关信息的标注(图2),检查表面混凝土是否存在明显破损、剥落等缺陷。

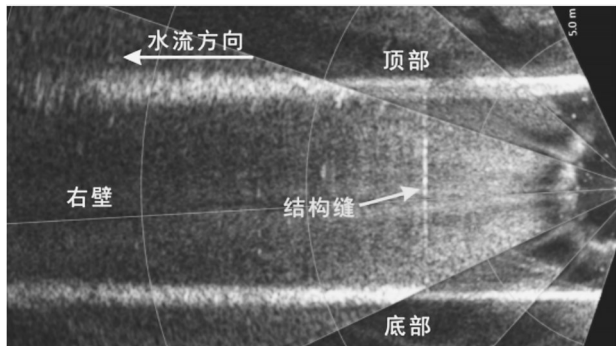


图2 混凝土二维图像声呐检查影像成果

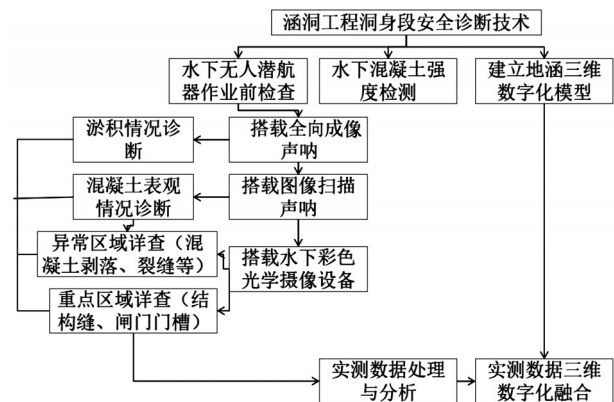


图1 涵洞工程洞身段安全诊断技术路线

视水体能见度情况,采用水下光学摄像设备,对声呐扫描显示异常部位(如混凝土剥落、裂缝、露筋等)、重点关注部位(如结构缝、闸门门槽等)抵近观察。影像记录包含的信息有:影像资料、潜器单元的前进方位角、前倾/侧倾角度、摄像头姿态、下潜深度、拍摄时间(与声学定位成果相对应)、潜器单元工作时长等参数,结合现场水下检查记录日志,生成典型缺陷摄像成果图,对洞壁混凝土表面进行局部抽查,验证、复核图像声呐检查的准确性。

2.3 涵洞混凝土强度诊断方法

依据《水工混凝土试验规程》和《水利工程施工质量检验与评定标准》,在不破坏原混凝土结构的前提下,采用回弹法检测涵洞混凝土现龄期抗压强度^[5]。以2#涵洞为例,水下回弹沿涵洞走向按照间距10 m布置断面测线,每个断面测线弹击16个点。回弹测试时,始终保持回弹仪的轴线垂直于混凝土测试面。

测区回弹代表值从该测区的16个回弹值中剔除3个较大值和3个较小值,其余10个有效回弹值的计算式为

$$R_m = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} R_i \quad (1)$$

式中: R_m 为测区平均回弹值; R_i 为第*i*个测点的有效回弹值。

选取有代表性的芯样进行碳化值测试,由测区平均回弹值及碳化深度值,根据《回弹法检测混凝土抗压强度技术规程》,查表得出相应测区混凝土强度换算值,对混凝土强度进行修正。

构件混凝土强度推定值计算式为

$$f_{cu,e} = m_{f_{cu,e}} - 1.645 S_{f_{cu,e}} \quad (2)$$

式中: $f_{cu,e}$ 为构件混凝土强度推定值; $m_{f_{cu,e}}$ 为测区混凝土强度换算值的平均值; $S_{f_{cu,e}}$ 为构件混凝土强度换算值的标准差。

3 检查成果分析

3.1 涵洞淤积检查成果分析

以2#涵洞为例,将实测涵洞断面数据进行整理,按间距5 m提取涵洞典型横断面数据,将实测断面数据与设计资料对比分析,获取淤积厚度数据,并标注结构部位、尺寸大小等信息,制作生成涵洞淤积断面成果图。桩号0+002至桩号0+015涵洞淤积断面成果对比见图3,涵洞淤积三维模型展示成果见图4。

入海水道大运河立交地涵2#涵洞底部淤积厚度情况见表1,检查结果表明,2#涵洞内部总淤积量约1 088.68 m³,占比涵洞体积约20.72%,淤积厚度介于0.05~2.93 m之间,上游至下游淤积厚度基本呈递增趋势。上游闸门后桩号0+000~0+020 m范围,淤积相对较少,平均淤积厚度约0.31 m;桩号0+020~0+096 m范围,淤积相对较厚,淤积厚度介于0.50~2.93 m之间,在下游桩号0+085 m附近淤积厚度最大。

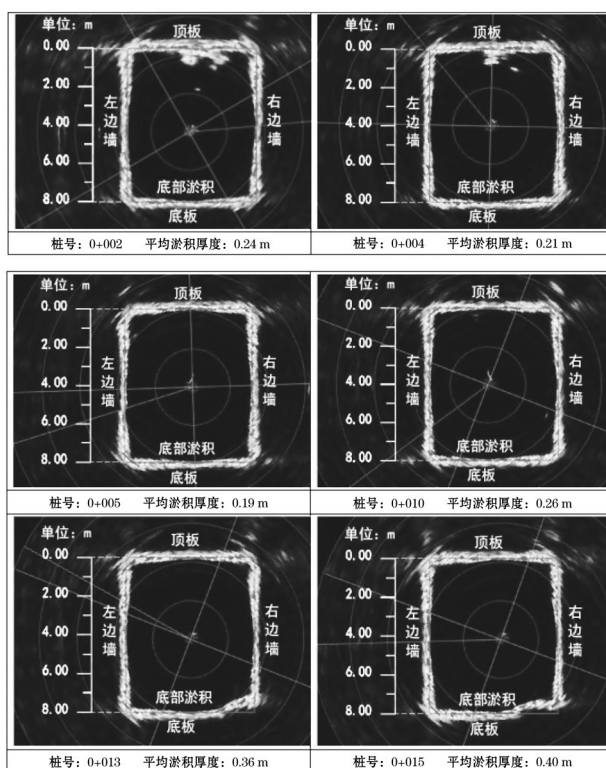


图3 涵洞实测与设计横断面对比

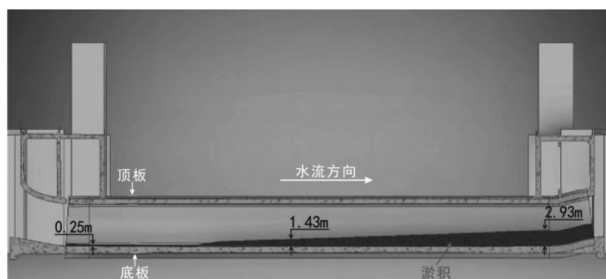


图4 涵洞淤积与三维模型融合展示成果

3.2 涵洞混凝土表观检查成果分析

2#涵洞混凝土二维图像声呐检查影像成果见图5,由图5可以看出,涵洞洞壁表观混凝土未见明显破损、剥落等缺陷。

2#涵洞声呐扫描表观混凝土未见明显破损、剥落等,采用水下光学摄像的方法只对涵洞结构缝、闸门门槽等重点关注部位抵近观察。入海水道大运河立交2#涵洞水下光学摄像检查成果见表2,结果显示结构缝未见明显缺陷,闸门门槽表观混凝土完好,洞壁表观混凝土未见明显缺陷。水下光学摄像验证结果与二维图像声呐检查结果一致。

3.3 涵洞混凝土强度检查成果分析

选取有代表性的芯样进行碳化值测试,经测试平均碳化深度值统一取0.5 mm。用芯样抗压强度标准值对相应取芯孔周围水下回弹仪测取换算得

表1 涵洞底部淤积厚度情况

断面桩号	距左1 m / m	距左2 m / m	距左3 m / m	距左4 m / m	距左5 m / m	平均厚度/m	淤积量占设计断面比率/%
0+002	0.28	0.20	0.12	0.25	0.35	0.24	3.69
0+004	0.31	0.17	0.05	0.20	0.34	0.21	3.29
0+005	0.25	0.20	0.05	0.19	0.24	0.19	2.86
0+010	0.37	0.18	0.10	0.23	0.40	0.26	3.94
0+015	0.35	0.22	0.18	0.50	0.75	0.40	6.15
0+020	0.23	0.20	0.23	0.65	0.77	0.42	6.40
0+025	0.77	0.73	0.82	0.82	1.13	0.83	12.71
0+030	1.24	1.03	1.00	1.00	1.43	1.14	17.60
0+035	1.57	1.52	1.71	1.71	1.82	1.63	25.11
0+040	1.85	1.82	1.86	1.86	1.98	1.87	28.73
0+045	2.08	2.00	2.18	2.18	2.23	2.11	32.43
0+050	2.38	2.35	2.43	2.43	2.58	2.42	37.26
0+055	2.42	2.41	2.52	2.52	2.51	2.46	37.88
0+060	2.45	2.44	2.56	2.56	2.57	2.49	38.37
0+065	2.69	2.55	2.57	2.57	2.67	2.60	40.00
0+070	2.76	2.61	2.62	2.62	2.63	2.63	40.52
0+075	2.77	2.72	2.80	2.80	2.91	2.78	42.80
0+080	2.68	2.64	2.78	2.78	2.81	2.70	41.60
0+085	2.85	2.79	2.88	2.88	2.93	2.85	43.82
0+095	2.83	2.71	2.63	2.63	2.65	2.70	41.57

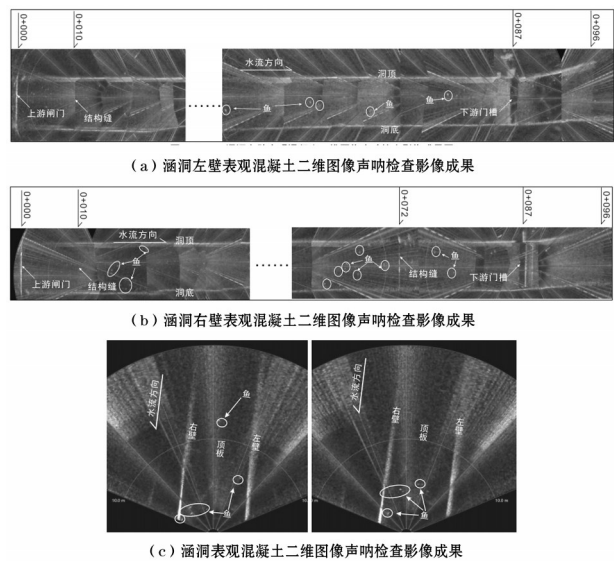


图5 涵洞混凝土二维图像声呐检查影像成果

到的混凝土强度换算值进行修正,得到最终修正后混凝土强度值如表3所示。结果表明,涵洞混凝土整体现龄期抗压强度为26.5~29.2 MPa,满足工程设

计强度等级C25要求。

4 结 语

(1)采用水下无人潜航器搭载全向成像声呐和二维图像声呐扫描方法可以普查洞内淤积及过流面阻塞情况,得到涵洞淤积断面数据,了解掌握洞内基本环境情况,具有快速、简便、无损、精确等优点,满足涵洞身段淤积情况的检查要求。

(2)采用水下无人潜航器搭载二维图像声呐可以对涵洞混凝土表观进行普查,采用水下光学摄像设备可对声呐扫描显示异常部位及重点关注部位进行详查,能有效直观地检查表观混凝土是否存在明显破损、剥落等缺陷,具有快速、直观、准确等优点,满足涵洞洞身段混凝土结构表观检查的要求。

(3)采用回弹法检测涵洞混凝土现龄期抗压强度,选取有代表性的芯样进行碳化值测试,对混凝土强度进行修正,得到最终修正后混凝土强度值,可以确定工程涵洞混凝土现龄期抗压强度。

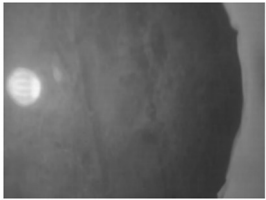
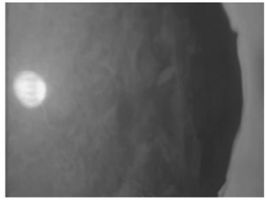
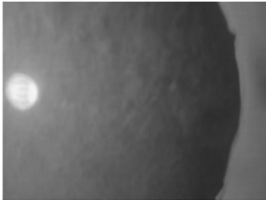
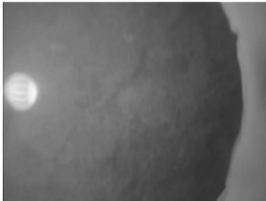
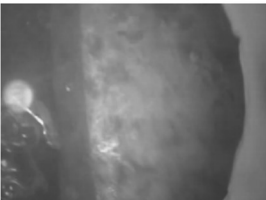

表 2 涵洞水下光学摄像检查成果			
桩号	结构部位	特征描述	典型摄像图
0+041	左壁结构缝	结构缝整体未见明显缺陷,表观混凝土完好	
	右壁结构缝	结构缝整体未见明显缺陷,表观混凝土完好	
0+060	左壁	混凝土表观完好,未见明显缺陷	
	右壁	混凝土表观完好,未见明显缺陷	
0+087	左侧闸门门槽	门槽金属结构完好,未见明显缺陷	
	右侧闸门门槽	门槽金属结构完好,未见明显缺陷	

表 3 混凝土抗压强度				
序号	桩号	位置	强度换算均值/MPa	强度推定值/MPa
1	0+005	左右边墙	37.9	27.3
2	0+010	左右边墙	38.6	28.8
3	0+020	左右边墙	38.7	28.8
4	0+030	左右边墙	38.8	29.2
5	0+040	左右边墙	38.8	29.2
6	0+050	左右边墙	37.4	26.5

(4)涵洞工程洞身段日常检查应着重检查洞壁、底板、伸缩缝等部位混凝土是否有损坏,水平止水垂直止水有无损坏,涵洞淤积情况等。入海水道立交地涵工程通过采用水下无人潜航器搭载水下光学摄像头,结合水下图像声呐、全向成像声呐等多参数传感器等无损检测技术对涵洞进行检测,对涵洞工作状况有了全面的了解,为工程安全运行提供可靠依据和技术支撑。

参考文献:

[1] 宋乃聪. 入海水道立交地涵的断面设计[J]. 江苏水利,

2001(3):27-28.

[2] 胡明罡,左丰收,邢立丽. 水下机器人技术在密云水库白河泄空隧洞水下探测中的应用[J]. 北京水务,2016(6):59-62.

[3] 张凯,孟颖,程正飞. 搭载4K高清摄像系统ROV在长距离地涵水下检查中的应用[J]. 水电能源科学,2020(12):126-128.

[4] 徐刚. 水下机器人在福建水电工程水下建筑物质量检测中的应用[J]. 水利水电快报,2019(11):60-63.

[5] 严励. 淮安二堡船闸安全检测技术应用[J]. 江苏水利,2021(6):66-68.

(上接第45页)

助于提升突发性水事件进行快速处置能力,实现水资源的优化配置和科学调度,助力经济社会的高质量发展。

5 结 语

推进数字孪生流域建设作为智慧水利体系的核心组成,是适应现代信息技术发展形势的必然要求,也是实现精细化、数字化管理的迫切需要。按照“先行先试”的原则,初步建立优化水资源调度管理的数字孪生平台,开展技术探索和经验积累,在探索和尝试中对数字孪生技术优化完善,以提高流

域内“四预”的科学性、实用性、可操作性,从而创新水资源管理方式。

参考文献:

[1] 徐福龄. 对黄河二十六次大改道的看法[J]. 人民黄河,1987,9(6):61-63.

[2] 余庆. 浅议黄河故道国土综合整治与生态修复[J]. 中国土地,2021(10):48-49.

[3] 李亮亮,黄志. 数字孪生黄河建设挑战与推进举措[J]. 中国水利,2022(20):42-44.

[4] 万吉祥. 宿迁黄河故道及以南地区水资源开发利用[J]. 建筑技术开发,2020(11):99-100.