

水下三维激光扫描在导管架平台损伤测量中的应用^{*}

刘 彬^{1,2}, 李学成^{1,2}, 曾 晋^{1,2}, 莫子翠^{1,2}, 张 杰^{3**}

(1. 中海辉固地学服务(深圳)有限公司, 广东深圳 518000; 2. 广东省海上油气设施检测工程技术研究中心, 广东深圳 518000; 3. 中国科学院海洋研究所, 山东青岛 266071)

摘要:海洋石油导管架结构受损点的尺寸测量目前主要使用机械卡尺测量, 这种测量方法存在较大的误差, 无法全面评估损伤点对导管架的影响, 为此, 需要引进新的方法和技术来满足导管架损伤点的测量。为准确评估损伤点对导管架的影响, 保证导管架运营的安全, 采用水下机器人(ROV)搭载三维激光扫描仪, 分别对中国某海域导管架的阳极和已知损伤区域进行激光扫描, 通过对激光点云数据的处理, 得到被测物的三维模型, 从而实现损伤结构的尺寸测量。研究结果表明, 激光扫描仪便于 ROV 搭载和安装, 可以应用于导管架已知损伤点的测量, 测量精度可达毫米级。激光扫描测量的精度受诸多因素影响, 作业时需优化作业方式, 从而得到高质量的数据。ROV 搭载水下三维激光技术, 为深水结构物的尺寸测量提供了一种高精度的可行性方案, 可以进行水下结构物的三维建模和尺寸测量, 调查结果准确可靠, 为后续完整性评估提供参考。

关键词:激光扫描 水下机器人 导管架损伤 三维模型 尺寸测量

中图分类号: TN249 文献标识码: A 文章编号: 1002-7378(2020)04-0434-07
DOI: 10.13657/j.cnki.gxkxyxb.20201027.006

0 引言

在海洋石油开发过程中, 钢质导管架固定式平台是应用最广泛的一种形式。部分导管架在安装或者服役过程中, 由于受到外力、腐蚀等影响, 会出现诸多损伤的问题, 对整个导管架平台的服役造成了安全隐患, 严重时会导致巨大的人员伤亡和经济损失, 还会对环境造成污染。因此, 需要对导管架的受损部位进行检测及损伤评估, 为后续的应对策略提供客观依

据。目前导管架损伤点的检测主要是潜水员使用标尺进行损伤点范围、凹陷深度等数据的测量^[1,2]。潜水员作业成本高、风险高, 标尺只能通过网格化的选点测量来模拟损伤点, 难以实现损伤点的测量全覆盖, 测量结果存在人为因素影响大的弊端, 因而是一种粗略式的测量, 难以作为后续的结构分析提供精确的损伤模型。三维激光扫描作为一种精细化的测量手段, 在水下应用方面已得到了广泛的研究^[3-8], 如水下目标物探测、地表地形信息采集、水下结构的精准测量等, 并取得了许多突破性的成果。目前国内对水下

^{*} 国家自然科学基金项目(41376003)资助。

【作者简介】

刘 彬(1986—), 男, 工程师, 主要从事海洋石油水下设施 ROV 检测和安装工作。

【**通信作者】

张 杰(1976—), 男, 研究员, 主要从事海洋腐蚀与阴极保护研究, E-mail: zhangjie@qdio.ac.cn。

【引用本文】

刘彬, 李学成, 曾晋, 等. 水下三维激光扫描在导管架平台损伤测量中的应用[J]. 广西科学院学报, 2020, 36(4): 434-440.

LIU B, LI X C, ZENG J, et al. Application of 3D Underwater Laser Scanner in Damage Detection of the Jacket Platform [J]. Journal of Guangxi Academy of Sciences, 2020, 36(4): 434-440.

三维激光扫描技术的应用还处于起步阶段, 还未有使用三维激光扫描设备水下进行导管架损伤点测量的先例。为推进该技术在海上油气田检测领域的应用, 本研究团队对水下机器人 (ROV) 搭载三维激光扫描设备的导管架损伤测量技术进行研究, 通过激光扫描成像, 采集导管架损伤位置的激光点云三维数据, 后期数据处理可以生成损伤区域的三维模型并测量得到损伤区域尺寸数据, 为导管架的安全评估和损伤修复提供客观依据。

1 材料与方法

1.1 材料

设备选用加拿大 2G Robotics 公司的 ULS-200 中距离 (0.36—2.50 m) 激光扫描测量系统, 如图 1 所示。该设备可以实时生成 3D 模型和可视化结果, 采集高密度点云数据, 生成真实比例的亚毫米级 (由于水下环境影响, 实际应用中只能达到毫米级) 分辨率 3D 模型, 便于识别微小特征和缺陷。

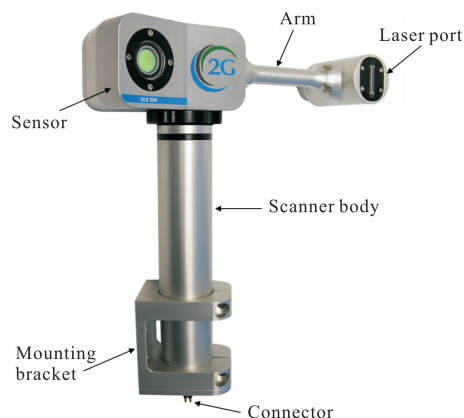


图 1 ULS-200 激光扫描仪系统组成

Fig. 1 System components of ULS-200 laser scanner

ROV 使用中海辉固公司的 125 匹 CFUV1000 系列 ROV 系统, 如图 2 所示。配备 8 个液压推进器、Schilling Titian 4 七功能智能机械手和 Schilling Rigmaster 五功能重型机械手, 数据通过光纤通道进行传输。

1.2 方法

1.2.1 设备的连接

三维激光扫描仪固定在 ROV 机械手上, 确保扫描仪和机械手的相对稳定性, 如图 3 所示。ROV 系统为激光扫描仪提供电力以及信号传输的通道。激光扫描仪采集激光点云数据后, 通过 ROV 脐带缆内的光纤通道将 RS485 数据传输至水面功能盒, 功能盒将 RS485 信号转换为 USB 信号后, 数据处理电脑

对数据信号进行呈现和处理, 数据传输过程如图 4 所示。



图 2 中海辉固 CFUV1000 系列 ROV 系统

Fig. 2 COSL Fugro CFUV1000 ROV system of COFG

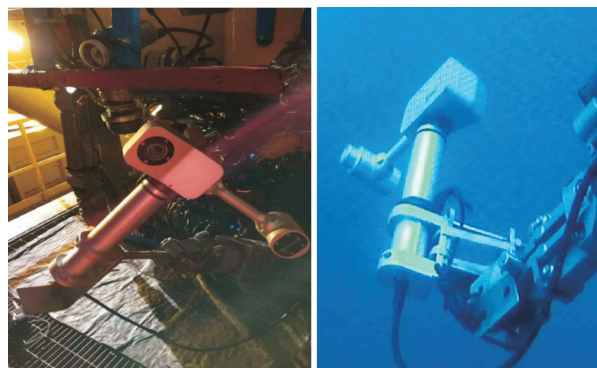


图 3 ROV 搭载三维激光扫描仪

Fig. 3 ROV equipped with laser scanner

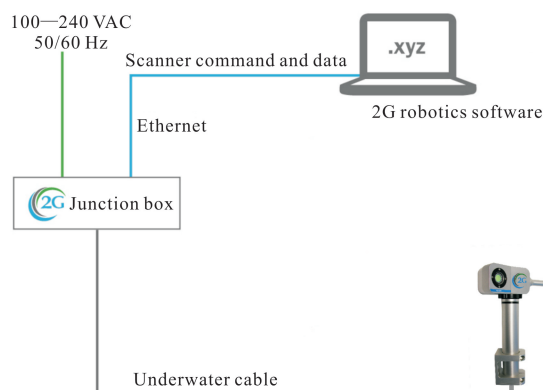


图 4 设备连接线路示意图

Fig. 4 Schematic diagram of equipment connection line

1.2.2 测量数据校准验证

为了验证水下三维激光扫描测量的准确性, 制作一个专用结构用于校准, 如下图 5 所示。分别使用游标卡尺、甲板激光扫描、水下激光扫描三种方式, 对专用结构的卸扣咬合点、板块的长边和短边进行测量, 通过数据的对比, 得到水下三维激光扫描的数据准确度。

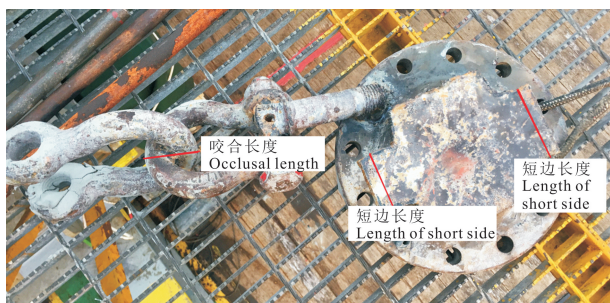


图5 校准专用结构

Fig. 5 Special structure used for calibration

1.2.3 阳极尺寸测量

选取导管架底部外围的牺牲阳极作为测量目标, ROV 机械手搭载三维激光扫描仪到达指定位置, 并稳定于海床上, 调整三维激光扫描仪与待测阳极的距离为 1 m 左右, 如图 6a 所示。保持 ROV 系统稳定并关闭 ROV 自身的光源, 启动三维激光扫描仪, 对待测阳极进行激光扫描, 采集激光点云数据, 如图 6b 所示。

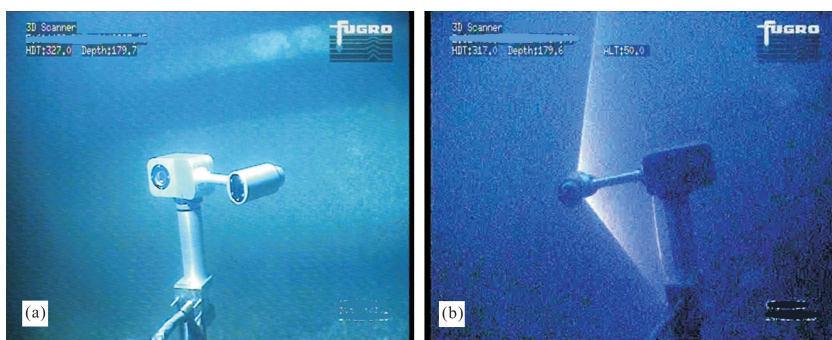


图6 ROV 搭载激光扫描仪进行阳极扫描

Fig. 6 Anode scanning with laser scanner equipped on ROV

1.2.4 凹陷点尺寸测量

南海某导管架在安装过程中受到撞击, 导致某一管状构件上产生长度约 1.7 m 的凹陷区域, 以此为研究对象, 开展三维激光扫描对损伤点尺寸的测量研究。由于损伤面积较大, 一次扫描无法获取所有损伤区域的激光点云数据。首先对损伤区域进行扫描设计, 使用方形磁铁对损伤区域进行分割, 如图 7 所示, 平均分配成长度 0.8 m 左右的 3 个区域, 磁铁作为分割标示, 也是后续拼接的公共参考点。ROV 首先清除导管架损伤杆件上的附着钙质层和海洋生物, 随后 ROV 放置磁铁于损伤点的指定位置, 如图 8a 所示。ROV 机械手搭载水下三维激光扫描仪下水, 坐落在导管架上保持稳定状态, 调整三维激光扫描仪位置,

分别对 3 个区域多角度进行扫描, 中间区域的扫描需要覆盖两组磁铁, 两侧区域的扫描需要覆盖损伤点边缘和一组磁铁, 完成凹陷位置的扫描采集, 如图 8b 所示。

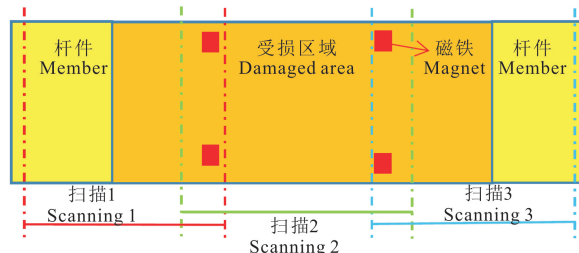


图7 损伤区域扫描设计示意图

Fig. 7 Designed sketch of scanning the damaged area

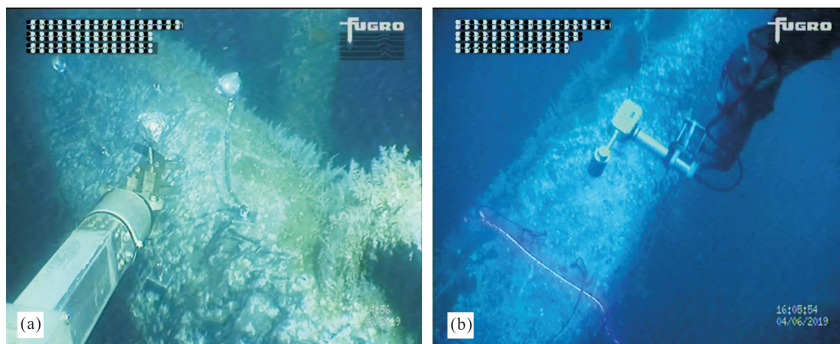


图8 ROV 进行导管架水下作业

Fig. 8 ROV performs underwater operations on jackets

2 结果与分析

2.1 校准验证结果

在甲板和水下完成对校准结构采集激光点云数据后,通过 Cloud Compare 软件对获取的数据进行

拼接组合,得到三维建模后的校准结构如图 9 所示。图 9a 为甲板扫描成像,图 9b 为水下扫描成像。在本次测试时将测试模块的 3 个测量点作为标定,进行对比。相关数据如下表 1 所示。

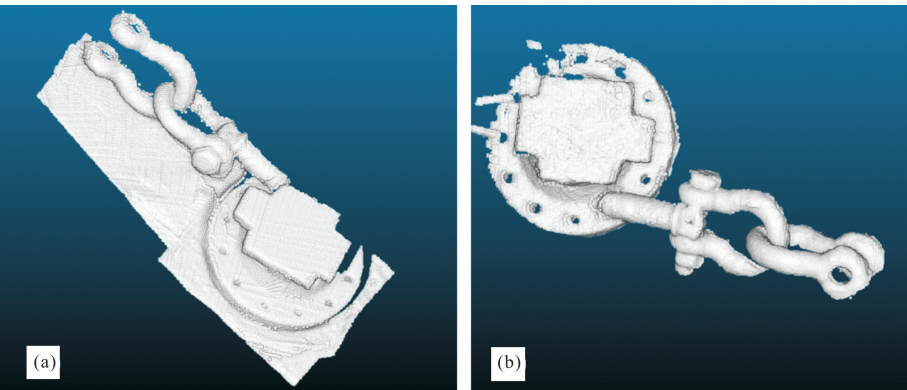


图 9 校准结构激光扫描拼接图
Fig. 9 Matching picture of laser scanning the calibration structure

表 1 校准测量结果

Table 1 Calibration measurement results

测量方式 Measurement method	铁块短边 Short edge of iron block (mm)	铁块长边 Long edge of iron block (mm)	卸扣咬合处 The bite of shackle (mm)
游标卡尺测量 Vernier caliper measurement	68.21	90.65	68.83
甲板激光测量 Deck laser measurement	68.30	90.71	68.70
水下激光测量 Underwater laser measurement	68.20	90.72	67.21

通过分析铁板短边和长边测得的数据,三维激光的扫描测量结果与卡尺的测量误差在 0.1 mm 左右;三维激光在甲板与水下的测量结果误差也在 0.1 mm 左右。对于卸扣咬合处的测量,由于水下扫描姿态的问题,未能完整扫测到咬合处两侧的部位,导致测量误差在 1 mm 左右。综上,三维激光扫描测量技术可以实现水下毫米级的测量。

2.2 阳极测量结果

阳极的水下照片如图 10a 所示,完成采集激光点

云数据后,通过 Cloud Compare 软件对获取的数据进行拼接组合,得到三维建模后的阳极外观如图 10b 所示。通过比较发现,激光点云拼接的阳极与 ROV 高清摄像头拍照的阳极外观形状基本一致。通过将阳极表面积分解成若干个不规则三角形,通过相加法可以得到阳极外围的表面积。

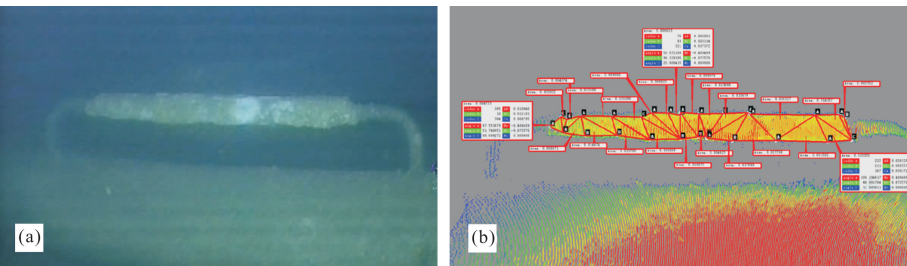


图 10 导管架阳极照片和拼接图
Fig. 10 Photo and matching picture of the jacket anode

2.3 损伤点测量结果

三维激光扫描可以实时生成 3D 模型的可视化结果,ROV 从不同角度对损伤点进行扫描的激光点云图像如图 11 所示。图 11a 和图 11b 为三维激光扫描仪在损伤区域正上方进行扫描的数据模型;图 11c

和图 11d 为三维激光扫描仪在损伤区域侧上方进行扫描的数据模型;激光点云的分布可以定性判断损伤的区域;颜色越深(红色)表明此区域内的激光点云分布越密集。

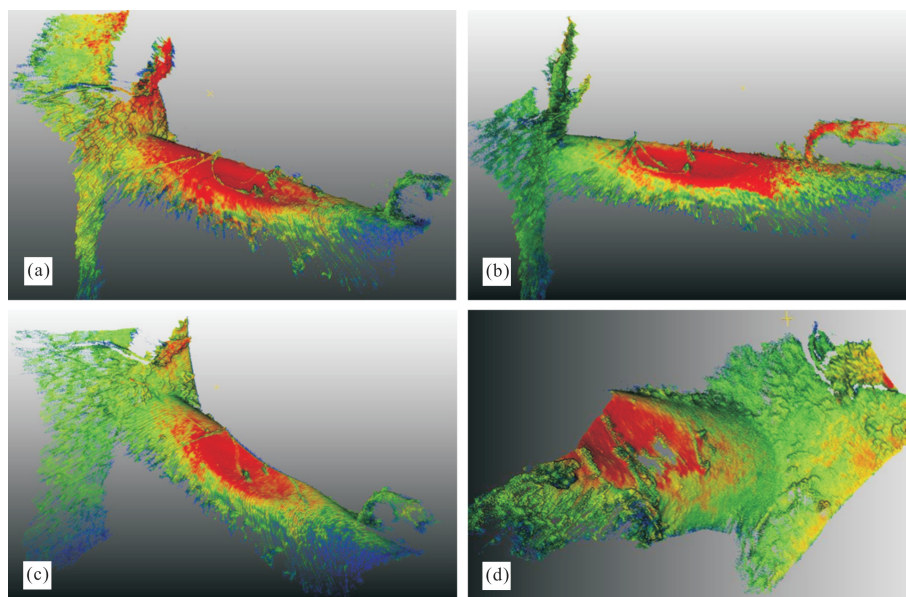


图 11 激光扫描实时数据模型

Fig. 11 Real-time data model of laser scanning

获得不同角度和不同位置的激光点云数据之后,依照数据公共点较多且分散、尽可能覆盖更多不同的区域、点云数据光滑稳定的原则,选择数据质量较好的数据,使用 Cloud Compare 软件并利用不同扫描数据的公共点对水下三维激光扫描结果进行拼接,保证拼接成的数据结果显示更大有效数据面积。损伤点的拼接三维图像如图 12 所示。

软件测量工具可以实现对拼接后图像的尺寸测量,如图 13 所示。测量基于三维模型,可以对损伤点的长度、宽度、深度等数据进行直接测量,获得损伤点的表征数据(表 2);同时可以将三维模型导入相关的受力分析软件,评估损伤点对导管架整体性能的影响,为进行后续的决策提供客观依据。

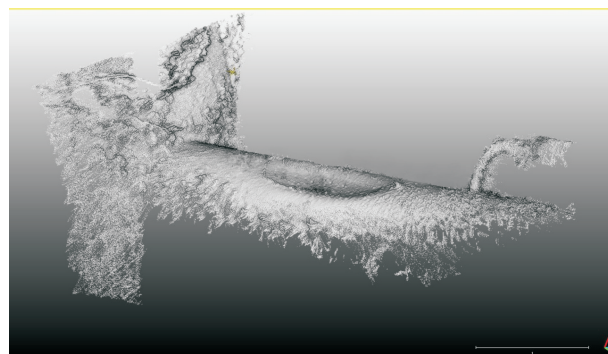


图 12 导管架损伤点拼接后效果图

Fig. 12 Matching picture of the jacket damaged area

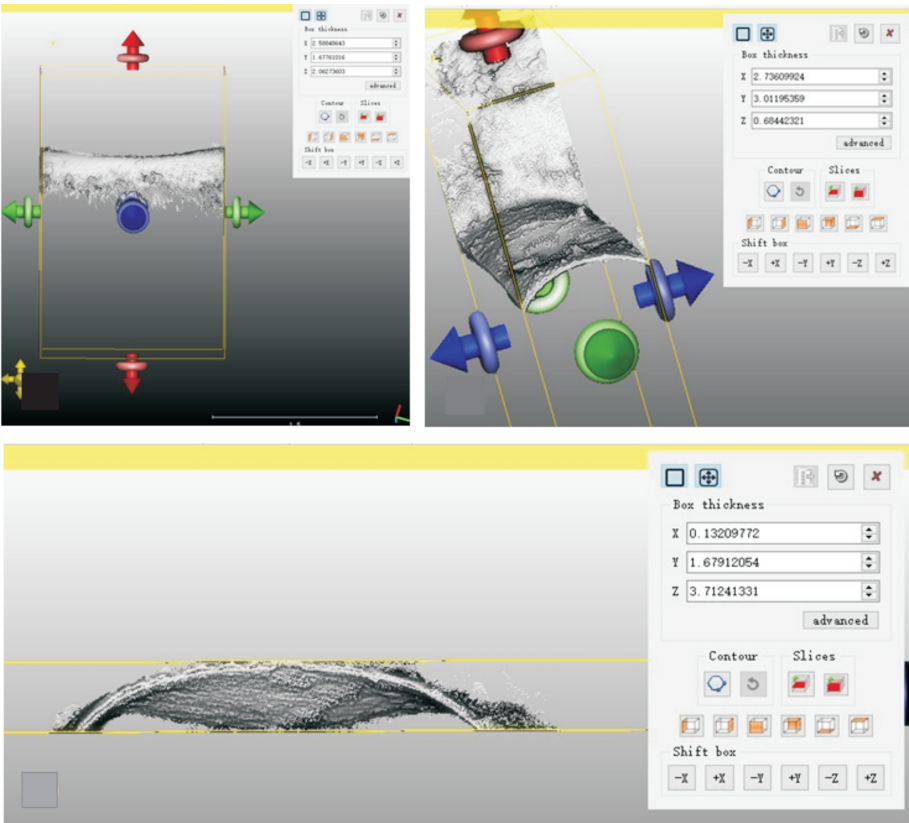


图 13 导管架损伤点尺寸测量

Fig. 13 Dimension measurement of the jacket damaged area

表 2 导管架损伤测量结果

Table 2 Measurement results of the jacket damaged area

测量内容 Measurement content	损伤点长度 Length of damage point (m)	损伤点宽度 Width of damage point (m)	损伤点最大凹陷 Maximum depression of damage point (m)
三维激光扫描结果 3D laser scanning results	1.677	0.684	0.132

3 讨论

水下三维激光扫描技术可以应用于导管架损伤区域的尺寸测量。通过激光点云数据的采集、数据的拼接和处理,建立损伤点的三维模型,从而获取损伤区域相关的尺寸表征数据,测量精度可达毫米级。但由于激光扫描的数据受到水体透明度、环境光线、被测物表面材料、设备稳定性以及扫描仪到目标的距离等因素影响,实际作业中,需对影响数据采集的各种因素进行分析,尽可能减少外部环境对激光扫描作业的影响,获取高质量的点云数据,为后续建模和测量提供更精确的数据。ROV 作为一种安全、经济的检测载体,可以搭载水下三维激光扫描仪实现导管架损伤区域的测量作业,为深水结构物的尺寸测量提供了一种高精度的可行性方案。

参考文献

[1] 姜筠,迟健,刘金沅. 导管架管结构凹陷的损伤评估研究[J]. 船舶,2016,35(6):35-40.

[2] 王亮,邱海荣. 导管架平台受损杆件修复方案比选及应用[J]. 海洋石油,2019,39(1):93-98.

[3] 王红萍,熊俊. 水下激光成像测量技术应用研究[J]. 舰船电子工程,2019,39(7):10-12,86.

[4] 陕毅. 激光面扫描水下三维成像探测技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2005.

[5] 谢晓梦. 水下目标激光扫描深度探测精度分析[D]. 青岛:中国海洋大学,2010.

[6] 黄子恒,李微,杨克成,等. 水下激光距离选通三维成像方法[J]. 激光与红外,2016,46(11):1315-1319.

[7] 孙健. 水下机器人激光成像降噪方法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工程大学,2017.

[8] 何员子, 陈建. 水下目标激光成像系统设计及实现[J].

激光杂志, 2017, 38(11): 105-108.

Application of 3D Underwater Laser Scanner in Damage Detection of the Jacket Platform

LIU Bin^{1,2}, LI Xuecheng^{1,2}, ZENG Jin^{1,2}, MO Zicui^{1,2}, ZHANG Jie³

(1. China Offshore Fugro Geosolutions (Shenzhen) CO., LTD., Shenzhen, Guangdong, 518000, China; 2. Guangdong Offshore IIR Engineering Technology Research Center, Shenzhen, Guangdong, 518000, China; 3. Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, Shandong, 266071, China)

Abstract: The size measurement of the damaged point of offshore oil jacket structure currently mainly uses mechanical calipers. This measurement method has large errors and cannot fully evaluate the impact of the damaged point on the jacket. Therefore, it is necessary to introduce new methods and technologies to meet the measurement of damage point of jacket and accurately assess the impact of the damage points on the jacket to ensure the safety of the jacket operations. In a certain sea area of China, an underwater robot (ROV) equipped with underwater laser scanner was used to scan the anode of the jacket and the known damage area. Through the processing of laser point cloud data, a three-dimensional model of the measured object was obtained, thereby realizing the size measurement of the structure. The laser scanner was easier to be mounted on ROV and could be applied to the measurement of known damage point of the jacket, and the measurement accuracy could reach the millimeter level. The precision of laser scanning measurement is affected by many factors, so it is necessary to optimize the operation method to obtain high-quality data. ROV with underwater laser technology provides a high-precision feasibility solution for dimensional measurement of deep-water structures. It can be implemented for three-dimensional modeling and size measurement of underwater structures. The survey results are accurate and reliable, which will provide a reference for subsequent integrity assessment in the future.

Key words: laser scanning, remotely operated vehicle, jacket damage, 3D model, size measurement

责任编辑: 符支宏



微信公众号投稿更便捷

联系电话: 0771-2503923

邮箱: gxkxyxb@gxas.cn

投稿系统网址: <http://gxkx.ijournal.cn/gxkxyxb/ch>