

海底光缆检测技术综述

汤 钟¹, 邵 浩¹, 张 斌²

(1.中国人民解放军 91039 部队, 北京 102401; 2.中国科学院 沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110169)

摘 要 据统计,我国近岸70%以上海底光缆失效是遭受了渔船拖网作业或抛锚等活动的破坏。维护损坏的海底光缆,首先需要快速准确地定位光缆损坏段,同时获取光缆在海床上的布设状态以及布设区域的海床地形特征、地貌与底质特征等信息。在实际工作中,复杂的海床环境为海底光缆的检修及维护带来巨大的技术困难。围绕海底光缆巡检的技术需求,系统分析了常规海底光缆检测技术的特点,基于国内外水下无人机器的发展现状,为提高海底光缆的检测效率、识别准确率和智能化水平提供了技术支撑。

关键词 海底光缆; 断点检测; 光缆维护

中图分类号 TN913.33 **文献标识码** A **文章编号** 2096-5753(2020)06-0499-05

DOI 10.19838/j.issn.2096-5753.2020.06.009

Overview of Inspection Technology for Submarine Optical Cable

TANG Zhong¹, SHAO Hao¹, ZHANG Bin²

(1. No.91039 unit of PLA, Beijing 102401, China;

2. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110169, China)

Abstract The trawling operation of fishing boats poses a great threat to the long-term survivability of submarine optical cables. About 70% of the inshore cable failures in our country are caused by fishing boats or ship anchorage. In order to carry out maintenance work, it is necessary to quickly and accurately locate the damage part of the optical cables, and obtain the actual cabling status on the seabed and the features of the seabed's topography, landform and sediment in the cabling area. The complicated seabed environment brings great technical difficulty to the daily inspection, operation and maintenance of submarine optical cables. Based on the technical requirements for routing inspection of submarine optical cables, the conventional routine inspecting technology is analyzed in this paper. Based on the domestic and international situation of unmanned robots development, this paper provides a strong technical support for the improvement of self-inspection efficiency, accurate recognition and intelligent level for the submarine optical cables.

Key words submarine optical cable; damage inspection; optical cable maintenance

0 引言

海底通讯电缆是用绝缘材料包裹的导线,铺设在海底用来实现国家之间的电信传输。首批海底通讯电缆提供电报通讯,后来开始引入电话通讯和互联网通讯,而现代的光缆还使用了光纤技

术,因此被称为海底光缆。自从1985年海底光缆诞生以来,海底光缆建设遍布全世界^[1]。目前海底光缆系统已成为国际跨海、洲际通讯的主要方式,也是岛屿和大陆之间信息传递的重要途径。海底光缆载量大、可靠性高、传输质量高,在军事和民用通讯方面发挥重要作用,尤其是在国际

通讯方面^[2],具有不可替代的地位。但自其诞生之日起,海底通信就面临着各种威胁和挑战,海底光缆系统经常遭受渔网、鱼钩、铁锚等钩抓,发生弯曲、变形甚至断裂,导致海底光缆系统通讯阻塞,造成巨大经济损失^[3]。海底光缆的修复难度甚至高于铺设的过程。浅海区域还可借助人来完成检测及简单修复,要从深达几百米甚至几千米的海床上找到直径不到10 cm的损坏光缆,就如同大海捞针。目前,对海底光缆进行断点定位和维修仍是非常困难的技术问题。

1 海底光缆检测技术研究背景

1.1 海底光缆损坏原因及损坏情况

1.1.1 海底光缆损坏原因

造成海底光缆损坏的因素可分为2类:一类是人为因素,诸如渔业活动、船只抛锚等;另一类是自然灾害,包括地震和海啸等。人类活动是海底光

缆损坏的主要因素^[4],据有关统计,海洋水产养殖及渔业活动、船舶抛锚(见图1)、海洋工程等因素造成的光缆损坏占全部光缆损坏的95%左右。近年来,随着海洋的深度开发,海上活动愈加频繁,人类活动对海底光缆安全运营的威胁越来越大,尤其是被船锚破坏的频率越来越高。2009年12月,舟山定海澳头水道的海底光缆断裂;2010年7月,烟台长岛海底光缆断裂。由于地震造成的光缆、电缆破坏居于次要地位,但历史上也曾多次发生。纽芬兰地震和我国南海地震均对海底光缆造成毁灭性破坏,如:2006年台湾地区发生的强震造成了多条国际海底光缆受损、甚至中断;2011年日本地区发生的强震,也导致海底光缆的通讯中断。地震影响海底光缆的主要因素为崩塌、滑坡、错位。从印度洋地震破坏来看,强烈的地面运动和海啸对敷设与海床的海底光缆影响很小,但海啸严重影响海底光缆的登陆段^[5]。

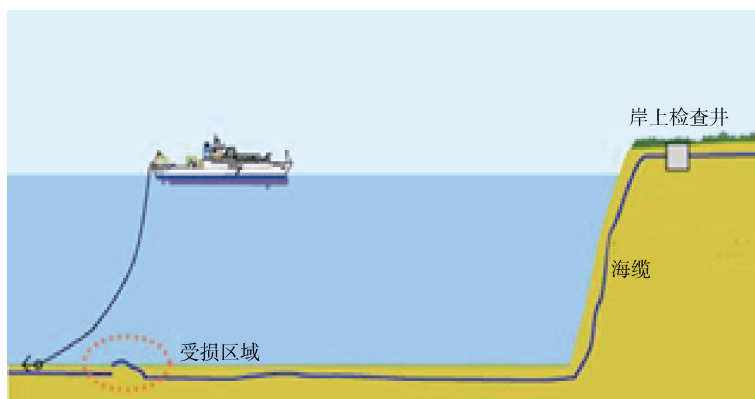


图1 人类活动对海底光缆造成的破坏示意图

Fig. 1 Damage of submarine optical cable caused by human activities

1.1.2 海底光缆损坏情况分析

通常情况下,抛锚能够破坏海底光缆的绝缘层、电导体、光纤,甚至完全切断海底光缆,进而引起绝缘失效、电路损坏、光纤失效甚至光缆断裂。根据1995年11月至2002年1月间由抛锚导致48次海底光缆损坏统计:绝缘失效和电路损坏26起,占比54%;光纤损坏14起,占比29%;海缆断裂8起,占比17%。与此同时,1994年4月至2006年3月发生在东海的抛锚损缆数据,同样支持上述结论。总体来说,绝缘失效和电路损坏占主导,占

到光缆损坏的66%,光纤损坏占27%,海缆断裂占7%。统计结果表明,抛锚主要导致海缆绝缘失效、电路损坏和光纤损坏^[6]。

1.2 海底光缆的维修

首先,对损坏的海底光缆进行测试,根据测试结果,可初步确定海底光缆的状态和大致损坏位置,制定维修方案;其次,打捞海底光缆,根据打捞方案,使用海缆敷设船在靠近断点附近打捞回收海底光缆,处理断点两端,系上标记;随后,清扫维修段海底路由,找到合适维修和掩埋布设路由。

完成上述操作后, 海底光缆重新接通; 打捞出水的海底光缆被连接起来, 并做好绝缘处理; 测试正常后, 完成第一次接通。随后, 维修段运至预期埋设点, 转运至埋设机准备埋设; 接着, 进行第二次接通测试; 最后, 使用水下机器人对海底光缆断点两端进行测试; 测试正常后, 两端托起光缆, 敷设船进行敷设施工, 完成光缆维修。

在整个维修过程中, 测量断点位置并精确定位断点位置是一个关键技术。定位断点包括测试断点距离近岸距离和准确定位断点位置 2 个方面。

1.3 确认海底光缆断点位置

在岸上确定光缆断点的方法有多种, 常用的方法包括光时域反射计测试法、电压测试法、电容测试法、音频测试法、在线监测法等。光时域反射计测试法, 利用瑞利散射原理, 根据测试数据, 可判断出断点距离, 并与原始记录进行比较, 可在海图上大致确定断点的经纬度。方便的做法是将断点坐标标注在海底光缆施工图上, 同时标注相应的打捞

区域, 确定打捞位置、打捞路径及其他打捞标志。但是, 由于裸露段光缆被海水冲刷, 相对施工位置有较大偏移, 导致通过比对断点距离和施工图纸准确确定断点位置的可能性很小。

1.4 海底光缆检测方法

近年来, 随着声呐技术的发展, 声呐提供了一种经济有效的海底光缆维修手段。使用声呐, 可探测海底光缆在海床的裸露段, 测量掩埋深度, 确定光缆位置, 检测光缆在海床状态, 调查布设区海床地形地貌等, 如图 2 所示。与此同时, 海底光缆水下机器人巡检、维修技术也得到快速发展。通过潜水员和作业船进行海底光缆检测、打捞的方法, 逐渐被水下机器人作业取代。由于在工作深度、探测范围、连续工作时间等方面的优势, 水下机器人探测技术突破了深度、潜水员工作时间和环境要求、作业船低效率拖曳等瓶颈, 在深水海底光缆检测、维护方面已完全取代潜水员和船只拖曳作业模式。

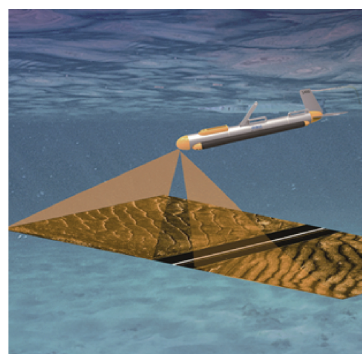
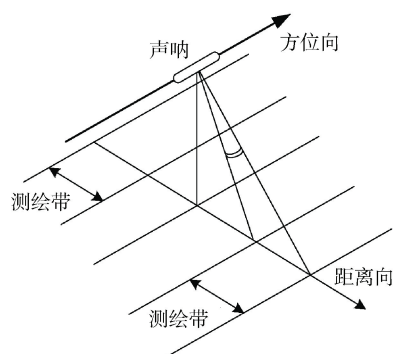


图 2 声呐工作原理和海底光缆检测示意图

Fig. 2 Sonar's working principle and inspection of submarine optical cable

1.4.1 海底光缆水下机器人检测技术

水下机器人用于海底光缆巡检时, 首先使用 AUV 对海缆布设区域进行扫测, 找到光缆断点位置。然后使用 ROV 辅助打捞作业, 吹除泥沙暴露光缆, 使用机械手剪断光缆, 抓取光缆带到海面。与此同时, 水下机器人将无线信号收发器放置光缆断点位置, 以便后续维修时连接使用。通过信号收发器提供的位置, 将光缆另一端打捞出水。在工作母船上, 用相应装置连接光缆两端, 使用近端登陆站信号进行检测, 确定光缆故障端。切除故障部分,

进行重新接通, 进行信号测试, 通讯正常后, 按程序进行水下重新布设^[7]。

通过以上分析可以看出, 水下机器人技术解决了我国海底光缆打捞的重大难题, 即工作深度的限制、定位精度和检测效率问题。水下机器人工作深度不受限制, 可以根据巡检作业要求设计不同工作深度的 AUV。机器人技术代替人工作业, 可避免潜水员生命危险, 大大提高工作效率。通过缆线跟踪技术, 探测传感器可获取更多稳定的探测效果, 取得更高质量的数据。AUV 可在广阔范围内, 以

极高的效率、极低的花费,实现管线目标的连续跟踪探测。因此,水下机器人在海底光缆检测、维修方面具有广阔的应用空间。

1.4.2 海底光缆无人艇检测技术

除了使用水下机器人进行海底光缆巡检外,无人艇在水下管线自动检测方面也展现出极大潜能。无人艇是集成多传感器的智能化设备,通过传感器获取海底管线状态,自动、经济地完成管线检测。其体积小、质量小、吃水浅,且无需人员随艇作业,非常适合执行浅水区域(如海岛礁周边、滩涂区、潮间带等)海底光缆检测任务^[8]。2019年,装载多波束测深仪的M40型无人艇完成了海底石油管线检测,发现总长超过1 000 m的7处暴露段。2019年9月,XOCEAN使用XO-450型和MBES型管线检测无人艇在英格兰东海岸和德国沿岸开展了管线检测。2019年3月,搭载侧扫声呐的TC40型无人艇用于长江流域排污管道检测。

2 海底光缆无人自动检测发展现状

2.1 国外发展现状

国外海底光缆无人检测机器人正快速发展,技术已较为成熟。成立于1936年的法国ECA公司,已供货军用和民工水下潜艇。早在1980年,公司设计了第一代无人水下自动无人艇(ALISTAR 3000 AUV),用于海底管线检测。随后又发展出A18TD和A18D型产品。工作深度覆盖20~3 000 m,连续工作时间可达12 h,巡航速度3 kn。能够携带多种传感器,如侧扫声呐、多波束测量装置、浅地层剖面仪及其他便携型传感器。

A18TD工作水深20~3 000 m,相对第一代产品,续航能力提高一倍,达到24 h,巡航速度3 kn,右舷可搭载右视合成孔径声呐、多波束测量设备、摄像机;左侧可搭载左视合成孔径声呐、浊度计、荧光计、甲烷传感器等。A18D工作水深5~3 000 m,3 kn航速下可续航24 h,可搭载侧扫声呐、多波束声呐、浅地层剖面仪、前视声呐、温盐深剖面仪及其它海洋环境测量传感器。

挪威CC公司研制的HUGIN管线检测AUV

可搭载多波束声呐(Kongsberg EM 2040)、侧扫声呐(EdgeTech 120/410 kHz)、浅地层剖面仪(EdgeTech 1~6 kHz)、高分辨率水下相机、温盐深剖面仪等设备。除了传统传感器,德国Ilmenau大学研制的AUV还可搭载磁场探测阵列。

休斯顿机械电子公司称其研制的Aquanaut水下机器人是世界首款双模机器人,具有水下变形重组能力。通常来讲,传统的水下无人航行器可分为2类:一类是鱼雷型自航航行器,另一类是用于业务化测量侦察的滑翔型航行器。Aquanaut机器人兼具两者优势,在执行长航程任务时,是一个鱼雷型机器人,具有长距离探测海底管线的能力,使用锂电池时其续航能力可超过200 km。

2.2 国内发展现状

目前,国内一些研究所涉足AUV自动监测海底管线研究领域。大部分研究仅依靠单一传感器,如水下相机、低照度相机、前视声呐等,在水池开展实验,还不具备独立探测海底管线的技术。海底光缆自动检测,在国内还有很大发展空间。中国海洋大学研制的“蓝鲸”海缆检测机器人已初具能力,实现了精确导航、实时观测、智能航行、灵活自适应跟踪等功能。在此基础上,“蓝鲸”可进一步升级,加装高精度设备,提高海缆检测精度,进行模块化设计,根据检测目标定制针对性设备,实现机器人的多功能扩展。浙江启明电力集团公司研制的“启明”海底光缆维修机器人,能够准确快速定位光缆断点,大大缩短搜寻时间。能够安全、高效完成附属设施的打捞,并在修理完毕后进行布设。此外,该AUV还可搭载更多设备,完成多种水下作业。中信重工机械股份有限公司研制的KC-ROV水下机器人,可加载声呐探测设备,实现大范围、长距离探测,最大作业深度300 m,最远探测距离120 m。中科院研制的“远征2号”水下机器人,搭载了高低频合成孔径声呐,能够同时工作在高低频段,比其他声呐技术更适合海底管线探测。低频具有一定穿透能力,能够探测掩埋管线目标,探测掩埋深度可达2 m,具有较强的探测效能,探测效果如图3所示。

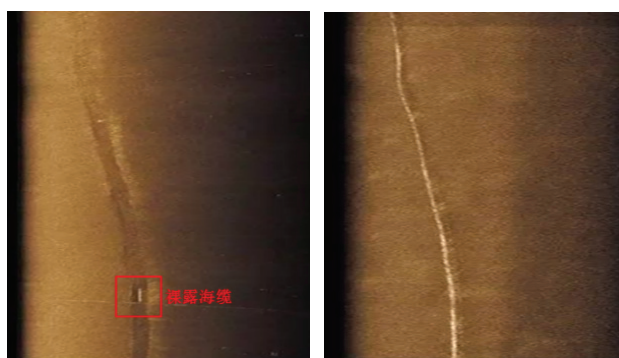


图3 无人潜航器检测掩埋光缆目标

Fig. 3 Inspection of the buried underwater cable by AUV

3 结束语

长期以来,海底光缆屡遭破坏,导致海底光缆系统通讯阻塞,造成巨大经济损失。维护损坏的海底光缆,首先需要快速准确地定位光缆损坏段,断点的快速检测和精确定位是一个重要问题。随着水下无人技术的发展,为海底光缆检测提供了一种有效手段,通过多平台多传感器的搭配使用,可逐步实现光缆断点的三维检测和精确定位。

在无人艇加装高、低频合成孔径声呐、多波束声呐及其它长距离探测设备,可实现海底以上200 m 内的快速大范围探测,通过多传感器数据融合,获取海底光缆的位置信息,引导AUV设备进行抵近探测。AUV设备上搭载的探测设备,如磁探阵列、高分辨率水下相机、激光扫描仪等,探测精度较高,但探测范围有限。在领受任务后,AUV航行到相关区域,在固定高度(如距底5 m)进一步获取目标的精确位置、尺寸、磁特征、损坏状况等信息。因此,使用水下无人装备开展海底缆线的智能化自动检测,实现海底缆线的高效探测、准确识别,是未来的发展趋势和应用方向之一。

参考文献

- [1] 高军诗. 跨洋海底光缆技术及其发展[J]. 通信世界, 2004 (38): 41-42.
- [2] 潘登. 基于虚拟仪器的海缆监测设备的研究与开发[D]. 武汉: 华中科技大学, 2007.
- [3] 董向华. 基于 ϕ -OTDR 技术的海缆扰动监测系统的研究[J]. 光纤与电缆及其应用技术, 2016(3): 32-33.
- [4] YUAN F, ZHA M, ZHANG P Y. Anchor threat and protective measures of submarine optical cable[J]. Optical Fiber & Electric Cable and Their Applications, 2015, 253 (6): 29-32.
- [5] LIU A W. Analysis of seismic impact of submarine optical cable[J]. Recent Developments in World Seismology, 2007 (2): 21-25.
- [6] 林开泉, 王红霞, 张雁农, 等. 基于有限元法对海底光缆抗锚害的研究[J]. 光纤与电缆及其应用技术, 2010 (6): 38-41.
- [7] 甘纯, 敬强, 卢志飞, 等. 基于水下机器人平台的海缆快速抢修的研究与实践[J]. 电力需求侧管理, 2016 (10): 81-83.
- [8] 董超, 刘蔚, 李雪, 等. 无人水面艇海洋调查国内应用进展与展望[J]. 导航与控制, 2019 (1): 1-9.

(责任编辑: 张曼莉)