

海底管道泄漏检测与定位技术的声呐应用研究

张 超（中海石油技术检测有限公司，天津 300452）

摘 要：海底管道所处的环境较为复杂，更容易在外力作用下出现破损，继而引发海底管道泄漏问题。在海底能源运输产业快速发展的推动下，海底管道泄漏相关的检测定位工作难免需要面对困难，需要对此引起关注和重视。在实际地针对海底管道泄漏进行检测和定位时，各类声呐技术具备显著的技术优势，可以在有效的应用中实现理想的检测定位效果。因而应当对声呐技术在海底管道泄漏检测定位中的应用加强研究分析，确保该技术可以实现其可观的价值。为此，应当优先对海底管道状态及其检测技术种类形成更加全面的认知，从传统技术和其他技术两个门类出发把握各类声呐技术的实际应用，在对比分析中明确把握各类技术的适用场景，以便从理论层面出发指导后续应用声呐技术提升海底管道泄漏检测定位效果的实践过程。

关键词：海底管道；管道泄漏；泄漏检测；泄漏定位

0 引言

随着国内能源产业发展，海底能源运输产业处在持续不断的扩张发展过程中，推动海底管道铺设长度不断增加。顾名思义，海底管道位于海底，而海底环境较为复杂多变，存在各类外部影响要素，均会为海底管道的状态产生相应的作用。相较于陆地环境下的能源运输管道，海底管道更容易在外力作用下出现泄漏问题，需要通过有效的检测与定位，确认海底管道泄漏的出现位置，为后续的处理修复工作提供明确的依据。在针对海底管道泄漏进行检测与定位的过程中，声呐技术是当今主流的优质检测定位技术之一，可以利用多元复合信息准确地针对泄漏存在位置相关的信息进行采集，进而经过有效分析形成相应的分析结论，服务于海底管道泄漏的处理维修实践过程。而不同区域的海底管道所处状态和环境均存在差异，声呐技术本身也有其多样化技术类别，需要对不同技术展开深入的分析，以便参考海底管道实际所处状态，选取科学有效的声呐技术检测管道泄漏并予以定位。

1 海底管道状态及其检测技术种类

不同区域海底管道所处的状态存在差异，在检测和定位管道泄漏时可以采用的技术种类同样存在差异，需要对相关的各项内涵进行深入的分析 and 解读，为后续有关声呐技术应用的研究分析指明方向^[1]。

1.1 海底管道的常见赋存状态

在海底环境下，管道的可以处在多种赋存状态，诸如埋藏、悬空、移位以及裸露等，在实际埋深作用下还可以细分为浅埋藏、完全埋藏、部分裸露以及完全裸露等不同状态。在埋设海底管道时，水深、底质、水动力以及地形地貌均属于重要影响要素，需要纳入

具体的管道埋设考量中，以期确保海底管道埋设的有效性。

在浅海区域，海洋的水动力的影响较为显著，同时海底地质活动相对活跃，在埋设海底管道时至少应当埋藏与管道直径相同的深度。而在深海区域，海洋中的波浪、潮流等影响要素可能产生的作用相对有限，无需将海底管道埋藏较深，在条件允许的前提下还可直接铺设于海床。由此可以得知，海底管道实际所处的赋存状态受实际所处的海底环境影响较大，在相关检测中提出的技术需要同样存在显著的差异，应当以海底管道实际的赋存状态为基准作出适当的选择。

1.2 海底管道状态检测技术的种类

在海底石油开发过程中，输油管道安全性和海洋生态环境质量有直接联系，所以工作人员要增强对石油管道的检测，避免管道出现严重的溢油问题^[2]。在实际检测海底管道所处状态时，可选的检测技术种类较为丰富，需要如实分析各种类技术的实际应用。在整体层面，海底管道检测技术可以大致划分为外检测技术和内检测技术两种大类。外检测即在外部分针对管道进行检测，通过确认海底管道的所在位置、赋存状态、海域水温底质条件，对管道外部腐蚀损伤情况实现有效的检测。而内检测是指从海底管道内部出发，利用清管器或是智能检测设备，确认海底管道内部是否出现损伤。

在海底管道检测工作中，外检测技术更为常用，主要可以通过声学、磁法或潜水摸探等形式进行检测。其中，声学检测得益于积极性、高效性以及便捷性等优势，已经成为海底管道泄漏检测中的主流技术手段之一，应从下述几个方面出发，明确基于声学检测的

声呐技术实际的应用。

2 海底管道泄漏检测定位中的声呐技术应用研究

在实际应用声呐技术检测和定位海底管道泄漏时,应当从传统和其他两个类别出发,分别把握各类声呐技术的内涵及其具体应用方向。

2.1 传统声呐技术的应用

在海底管道泄漏的检测与定位中,主要可以从测线布设技术、多波束声呐测深技术、侧扫声呐技术、浅地层剖面技术等角度出发,对传统声呐技术形成更加全面的认知^[3]。当下,不同技术所得数据的应用面互不交叉,可以综合采用多种技术实现更优的检测效果,提升海底管道泄漏检测定位的精确性。多波束数据在水深及地形地貌分布方面服务于划定区域的特征研究,侧扫声呐数据在反映划定区域的自然或人工地貌方面更具优势,而浅地层剖面数据有利于确认海底管道的埋深及底质状况。

2.1.1 测线布设技术

在针对海底管道泄漏进行检测和定位前,应当优先参考管道所在区域进行预判分析,制定与之相匹配的检测定位计划,由此出发布设测线,为后续的检测定位创造必要的条件。在实际布设测线时,工作人员应当针对检测区域的海底环境进行确认,以检测目的和检测区域范围为基准进行。在实际的检查定位工作中,可以将海底管道划分为近岸、路由以及近平台等多段,分段开展测线布设作业。其中,近岸段和近平台段属于重点调查段,应着重围绕这两段进行泄漏检测定位。近岸段潮汐作用更强,更容易出现潜在的冲刷危害。而近平台段海底管道铺设较为复杂,更容易受海底环境或是涡流等因素的影响。

2.1.2 多波束声呐测深技术

在海底管道发生泄漏时,多波束声呐测深技术显示管道的赋存状态,实时量取管道位置、长度和悬空高度等数据方面,具有能够快速准确定位的优势,且无需数据后处理^[4]。在具体的海底管道泄漏检测定位实践中,多波束声呐测深技术多用于采集海底地形环境相关数据,真实呈现海底管道全段穿过的地形,对各段海底管道的赋存状态进行宏观层面的有效反映。就基本原理而言,该技术可以利用相应的设备对海底发射数百单波束形成的扇形波数,在触及海底后相应地产生散射或反射,产生回波并由换能单元负责接收,在针对过程中所得数据参数进行计算后,利用专业软件形成更为直观的海底环境地形特征。

2.1.3 侧扫声呐技术

在针对海底管道泄漏进行检测和定位时,侧扫声呐主要服务于海底表面声反射信息获取过程,可以直观反映海底管道所处的赋存状态,确认管道是否出现悬空或出露等情况。从基本工作原理出发可以得知,侧扫声呐可以利用换能设备发射高频的声波信号,抵达海底表面后发生反射,由换能设备接收反射信号,按照强度高低表示为图像,形成分辨率较高且具备地理参照的声呐图像。当前,国内主流的侧扫声呐系统型号为 KLEIN3000,可以针对检测区域内海底管道附近回填碎石进行确认,同时可以高精度检测软泥区域以及管道管沟,实现有效的海底管道泄漏检测定位成果。在多波束声呐测深技术的辅助下,工作人员可以对侧扫声呐图像进行更加有效的分析,对待检测区域内的自然或人工地貌形态进行展现。

2.1.4 浅地层剖面技术

受到各种因素影响,海底油气管道不可避免会产生泄漏,而海底管道泄漏点的检测方法可分为内检测技术以及外检测技术^[5]。浅地层剖面系统可以对浅层海底的底层结构信息进行有效的采集,用以明确把握海底管道的平面位置,同时对其埋藏深度进行确认。该系统同样机遇声波反射原理,可以顺着垂直于海底管道轴向的测线方向实现走航式的检测,期间利用设备发生高频的声波脉冲信号,经海底管道及海底沉淀物等界面实现反射,经由换能设备接收反射信号,通过数字信号或是模拟信号进行储存输出。一般而言,海底管道在地层剖面将会呈现为开口向下的规则抛物线状,海底管道的顶部由抛物线顶点表示。由此,技术人员可以通过有效的地层剖面确认海底管道在海底底层中实际的埋藏情况,定位各段海底管道的相对位置。当前,SES2000 型参量阵浅地层剖面系统在国内应用较为广泛,主要利用次频实现参量阵技术的应用,依托于穿透海底地层提升数据可信性,实现相对突出的检测精度。

2.2 其他声呐技术的应用

在海底管道泄漏检测定位中,声呐技术经发展已经形成了其他的技术类别,诸如扫描声呐技术以及合成孔径声呐技术等,需要如实分析其具备的崭新特征,为后续应用于泄漏检测定位实践中提供有效的思路。

2.2.1 扫描声呐技术

在海底管道泄漏检测定位中,扫描声呐技术属于相对先进的新兴声呐技术之一,需要如实分析其工作

原理,为后续应用于漏检测定位实践中的过程提供必要的参考^[6]。扫描声呐技术主要利用海底支架实现静态式的布放测量,可以实现即时的探测,同时无需复杂的操作流程,获取较为清晰的成像。在实际的应用过程中,该技术利用换能设备完成声脉冲的发射,同时对回波信号进行接收,经处理后形成相应的图像,之后定点针对探头进行旋转,通过重复上述过程更为清晰地精准呈现完整的海底图像。在具体的应用过程中,该技术可以细分为二维扫描声呐技术以及三维扫描声呐技术两种类型。针对裸露的海底管道,该技术可以直观地展示检测区域的三维水下结构,在能见度较低的检测区域可以发挥的作用尤为可观,需要引起重视。

2.2.2 合成孔径声呐技术

合成孔径声呐技术在本质上属于分辨率较高的水下探测技术,当前在相关研究领域已经成为热点研究内容之一。就基本的工作原理而言,该技术使用小孔径基阵进行匀速直线运动,构成虚拟等效大孔径,通过由此合成的大孔径波束完成回波作业,高分辨率地完成成像。受该过程基本的原理影响,合成孔径声呐技术在横向空间的分辨率更高,同时不会在作业距离或是声呐频率等因素的作用下出现降低。在部分较低的频率下,该技术同样可以完成海底管道泄漏的有效检测定位,穿透地层完成海底环境中埋藏目标的探测。在掩埋物探测场景下,该技术的应用价值尤为可观,可以获取远超其他声呐技术的检测定位成果。

3 海底管道泄漏检测定位中各类声呐技术的适用场景分析

海底管道所处环境复杂多变,在外力或内因的作用下可导致管道断裂,管道断裂具有泄漏位置定位困难、经济损失大和环境污染严重等特点。而在实际的泄漏检测定位工作中,不同声呐技术实际的适用场景存在差异,需要如实进行把握,以具体的检测定位场景为基准选取不同的声呐技术应用。具体而言,侧扫声呐技术以及多波束测深技术在海底管道处在悬空或裸露赋存状态时可以取得更理想的检测效果,对于埋藏赋存状态的海底管道检测效果有限。扫描声呐技术同样如此,对于处在埋藏赋存状态的海底管道难以确认其状态,也难以有效地实现坐标信息的定位,同时可以连续实现直观且精确的检测成图。浅地层剖面技术可以穿透海底管道,在垂向探测场景下效果较为理想,而探测连续性较差,容易在海底环境中的海况及

底质等因素作用下难以对空白段作出相应的判断。而合成孔径声呐技术检测效果较为理想,而所需设备价格偏高,在应用能效比方面逊于传统声呐技术。

4 结语

总而言之,在具体的海底管道泄漏检测定位实践中,声呐技术已经实现了较为广泛的应用,其中部分传统声呐技术已经成为海底管道外检测中必不可少的主流技术,可以帮助工作人员准确地检测并定位可能出现的管道泄漏点位。在实际的应用过程中,各类声呐技术均有其应用场景,同时其检测定位效果会在外部影响要素干扰下产生波动,需要对各类技术形成全面的认知,以此指导实际的技术应用过程,确保海底管道泄漏均可得到有效的检测与定位。在此过程中,首先应当更加清晰地把握海底管道的常见赋存状态,了解海底管道状态检测技术的种类。其次,应当从传统声呐技术和其他声呐技术两个方面出发,明确把握各类声呐技术在海底管道泄漏检测定位中的实际应用。最后,还应围绕具体的使用场景,对各类声呐技术在海底管道泄漏检测定位中的实际应用进行比照分析,以便为声呐技术的选取过程提供理论性的指导。

参考文献:

- [1] 陈林,白兴兰,胡轲.BM3D与PCNN结合的海底管道侧扫声呐图像处理[J].浙江海洋大学学报(自然科学版),2023,42(02):180-188.
- [2] 刘程程,刘晓,曾宇阳,等.基于超声回波法的可变径海底石油管道溢油检测方法[J].当代化工研究,2023(05):53-55.
- [3] 张万远,卞红雨,周天,等.基于多波束测深声呐的海底气体泄漏实时报警系统[J].声学技术,2022,41(06):813-820.
- [4] 杨阳,李东德,芮建明.实时三维多波束声呐在海底管道勘测中的应用[J].水道港口,2021,42(06):820-823.
- [5] 成二辉,于银海,薛方,等.MS1000声呐在海底管道泄漏点检测中的应用[J].化工装备技术,2021,42(03):24-26.
- [6] 党云廷,阳凡林,杨鲲.基于快速双边滤波法的三维成像声呐在海底管道检测中的应用[J].地矿测绘,2020,36(01):20-23.

作者简介:

张超(1990-),男,大学本科,中级职称,研究方向:海底管道勘察测绘。