

海洋平台压力管道导波检测与失效分析

雷德生（中海石油技术检测有限公司，广东 湛江 524057）

摘要：海洋平台压力管道是海洋工程的重要组成部分，主要起到承载输送水或油气、管道内介质压力、海水压力、波浪荷载等作用，其完整性、安全性是非常重要的，一旦出现问题可能导致管道的破裂和油气的泄露，不仅带来巨大的经济损失，还造成人员伤亡和环境污染。因此应该对海洋平台压力管道进行有效地检测，维护海洋平台管道的安全。文章简单介绍了海洋平台管道导波检测技术，对管道失效及检测失效的原因进行全面的分析，提出了超声检测技术的一些具体应用。

关键词：海洋平台；压力管道；导波检测；失效

海洋平台是人们利用海洋能源的重要设施，压力管道是该平台不可或缺的部分，承担起输送油气的重要责任^[1]。但是压力管道的安全性受到多方面因素的影响，如管道材料、海洋环境、海水腐蚀、外力破坏、疲劳等，可能在使用的过程中出现管道破裂的情况，进而导致油气的泄漏，从而导致海洋污染、人员伤亡等不良事件的发生。因此应该对压力管道利用现代化的技术进行全面系统地监测，维护其结构的完整性，从而确保其安全运行。

1 海洋平台压力管道失效原因分析

1.1 腐蚀

海洋平台压力管道是在海洋中工作，受到管道内外两方面的腐蚀。外部腐蚀主要来自海水、生物、土壤的腐蚀，同时也受到阴极保护失效、防腐绝缘涂层失效、外部水泥防护层缺陷、管材抗腐蚀性差等因素的影响，从而导致压力管道质量的降低，增加了管道破裂的风险，降低了管道运行的安全性^[2]。同时，管道在运行过程中需要输送高温高压油气，这些介质中H₂S、CO₂等气体，溶于水后形成酸性物质，对管道产生一定的腐蚀作用，且给管道带来巨大压力，容易导致管道厚度的减少、防腐绝缘涂层的失效等，进而增加管线穿孔、管线开裂等风险。

1.2 管材缺陷

管材缺陷也是导致海洋平台压力管道失效的重要原因，包括管材本身的缺陷及安装缺陷^[3]。管材本身的缺陷主要由材料性质决定的，不同材质的管材可承受的压力是不一样的，抗腐蚀能力也有一定的差异。同时还受到加工工艺、运输等因素的影响，进而导致椭圆度差、管道壁厚度不均匀等缺陷的产生。安装缺陷指的是管道安装过程中由于施工工艺、人为失误而导致缺陷的出现，包括焊接错边、焊接质量差、防腐

绝缘涂层分布不均匀等，从而导致降低了管线强度和质，增加了管线腐蚀的风险，进而降低了管线运行的安全性与可靠性。

1.3 外力作用

外力作用包括自然灾害和第三方的破坏。海洋环境复杂，海底地震、海底火山喷发、海啸、波浪冲击等都有可能给管道带来毁灭性的破坏，导致油气管道的断裂，容易引发喷射物破坏、火灾等大型安全事故，不仅带来巨大的经济损失，还危及工作人员的人身安全，并引发严重的海洋污染。第三方破坏指的是非管线工作人员带来的破坏或损坏。海上船舶活动或其他活动都有可能对海上平台压力管道造成外部冲击，进而导致管道的破裂、断裂。比如说过往船只的抛锚、撞击、搁浅、拖网、沉船等冲击，还有管线外部的火灾、爆炸等都可能对管线造成严重的影响。此外，管线附近的铺管、平台建造等不合理的施工也会导致管道的失效。

2 海洋平台压力管道导波检测技术

2.1 基本原理

海洋平台压力管道导波检测技术是一种非破坏性检测技术，主要利用超声波或电磁波在管道内壁的传播特点来监测管道结构的完整性、管道内部压力变化以及泄漏情况等，为海洋平台的安全运行提供技术支持^[4]。现阶段海洋平台压力管道导波检测技术主要有超声导波检测技术，这种技术又叫做长距离超声遥探法。主要利用应力波在不同介质中的折射、反射、衍射原理，应力波遇到缺陷后会发出相应的回波信号，人们对这些回波信号进行分析、提炼后可以明确被测物体的受损情况。将超声探头安装到压力管道后，可以对管道进行全面、高效的检测，及时发现管道的疲劳裂纹、焊接缺陷，焊缝错边、环向裂纹、内外部

腐蚀或冲蚀等缺陷,以便相关人员采取及时有效的措施进行处理,从而避免泄漏的危险,为海洋平台的安全运行、工作人员的安全以及海洋环境保护提供强有力的保护。

2.2 磁致伸缩超声导波检测技术

磁致伸缩超声导波检测技术是一种新型的无损检测技术,是基于磁致伸缩效应研发出的检测方法。不同于压电式超声导波检测技术,磁致伸缩超声导波是铁磁性构件自身发出的激励导波,可以对构件本体产生多种模式激励信号,如兰姆波、扭力波、纵波等。只要设定发射频率、激发模式、传播方向后,即可对构件进行全面的超声导波扫描。同时,磁致伸缩超声导波检测系统在进行导波激发时也可以使用铁钻带激发,在高温耦合剂的辅助下进行高温构件的检测,无论任何尺寸的管道,都可以快速完成检测,比压电导波检测系统快捷、方便。因此在役油气管道的检测中可以优先考虑磁致伸缩超声导波检测技术。在检测过程中可将激发模式设定为 T(0,1) 模式,可以获得更高分辨率的数据信息。现如今,研发出来的磁致伸缩换能器的超声检测在非金属材料、非铁磁性材料的管道检测中得到广泛的应用。

3 海洋平台压力管道导波检测技术失效分析

3.1 设备故障

海洋平台压力管道导波检测系统主要由主控制器、超声探头、传感器等部件构成,任何一个部件出现了问题,都有可能影响检测的顺利进行,或无法取得准确的检测结果,不能及时发现压力管道中存在的安全隐患。比如说,传感器的损坏可能导致无法采集到信号或信号采集不准确,降低了检测结果的准确性与可靠性。电路故障可能引发信号处理错误,进而导致检测结果的误差。数据传输故障也会造成数据传输的错误或数据的丢失,无法获得完整的数据,从而降低了检测结果的精确度。因此应该对设备进行定期的维护与保养,保障设备运行的稳定性,降低检测失效的风险。

3.2 环境因素

海洋环境是很复杂的,海洋平台压力管道长期暴露在海水中,受到多种不确定因素的影响,比如说海水的盐度、温度等参数影响管道壁的腐蚀速度,进而导致管道承受强度的降低,进而导致检测结果的波动。海洋中存活大量的贝类、藻类、微生物等生物,这些生物在压力管道表面的附着形成了生物结壳或生物膜,进而增加了管道表面的粗糙度,进而导致传感器

不能完全贴合在管道壁上,降低了检测信号的质量,进而降低检测结果的准确性与可靠性,导致检测失效的出现。因此应该对压力管道采取一些保护性的措施,降低环境因素的影响,进一步提高检测工作的有效性。

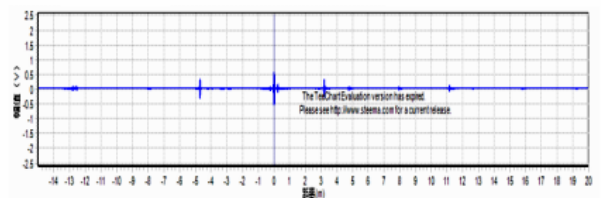
3.3 操作人员的技术水平

操作人员的专业水平对检测工作质量有直接的影响,如果操作人员对导波检测技术的相关知识与技能掌握得不够,很难正确完成高质量的检测工作。比如说,在进行海洋平台压力导管导波检测过程中,应该严格按照相关的操作流程进行,但是如果操作人员在工作过程中出现了违规性操作或工作的疏忽很可能导致检测不够全面,进而导致检测数据信息准确性与可靠性的降低。同时由于操作人员专业知识不够扎实或经验的缺乏,可能导致操作人员对管道中的信号不能准确的识别,或者是无法正确地解读检测的结果,即使检测工作本身是有效的,由于无法正确识别或解读异常信号而导致检测的失效。因此有必要加强操作人员的教育培训,提高其专业水平,避免检测失效的出现。

4 导波检测技术在海洋平台管道检测中的应用

4.1 磁致伸缩超声导波检测技术在液化气管道缺陷中的应用

发射频率 108KHz 原信号



包络信号

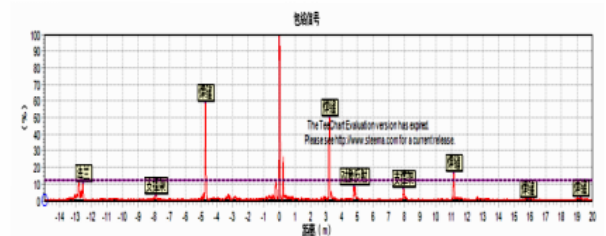


图1 2"-PC-A109-A2 压力管道超声数据波形图

为了验证磁致伸缩超声导波检测技术在海洋平台压力管道缺陷中的应用效果,选取某海洋设施的在役压力管道进行磁致伸缩超声导波检测技术检测^[5]。压力管道的规格为 $\phi 60 \times 3.5\text{mm}$,材料为 20G,管道表面温度约 17~21℃,凝析油为传输介质。数据采集采用 128kHz 超声探头,传播距离在横坐标中显示,管道结构反射信号强度在纵坐标中显示,信号传输后支

架后方已经开始微弱。检测结果如图 1。

结果分析：从图中可以看出传播距离约 20m，而信号强度随着距离的增加而降低。在管道现场进行测量和观察发现，焊缝出现在管道 -4.7m、3.2m、11.15m、15.8m、19.2m 处，管道支柱在 -7.9m 和 7.9m 处。将管道现场数据与波形图进行对比，管道关键部位的信息均显示在图中。并且从数据图中还可以得到管道支座处的信号非常弱。从管道现场来看，管道支座是直接放置于管道下方，而没有进行焊接固定。结合管道现场的具体情况 & 数据分析，可见管道不存在裂纹或腐蚀等不良状况。

4.2 MsS 超声导波检测技术在海上平台的应用

MsS 超声导波检测器的主要部件有主机、带状线圈探头、铁钻带、耦合装置等。以某海洋平台的管线为检测对象，将超声探头 1 安装在平台上管道接头处，数据采集参数为 64Hz，对管道进行正反两个方向的数据采集。检测数据波形图如图 2：

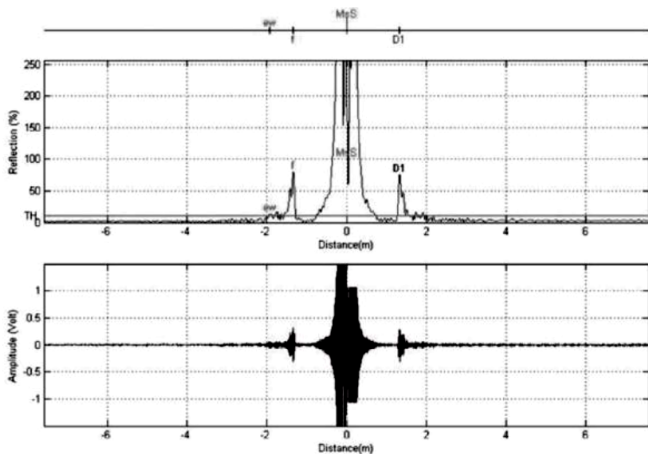


图 2 超声探头 1 波形图

结果分析：根据波形图分析，探头正下方 1.3–2.2m 之间存在不同程度的管道缺陷，其中 1.3m 处的缺陷最为严重，1.7 处为中度缺陷。

为了验证检测结果的准确性，在探头 1 下方 0.2m 处安装上探头进行再次检测，此次数据采集参数为 128Hz，同样对管道进行正反两个方向的数据采集。结果显示在探头下方 1.1–2.0m 之间存在不同程度管道缺陷，其中管道缺陷最为严重处为探头正下方 1.5m 处。与前一次检测结果一致。这两次检测虽然频率不同，但是检测的结果是相同的，都显示在同一段管道内存在缺陷。为了再次验证检查结果的准确性，根据超声导波检测所推断腐蚀位置进行现场拆开查看与测量，发现管道外部存在明显的锈蚀。后进行壁厚测量，管线腐蚀最为严重处的管壁厚度减薄超过 3%。可见，

MsS 超声导波检测技术在管线隐藏腐蚀情况的检测中效果明显，且能够精确定位管道腐蚀的位置，有效预防管道腐蚀而引发的重大安全事故。

4.3 磁致伸缩超声导波检测技术在焦化高温管线中的应用

研究对象为高温管线，规格为 $\phi 273 \times 13\text{mm}$ ，材料为 15GrMo，表面温度约 350°C ，管线表面覆盖保温层，中东原油为传输介质，具有腐蚀性。管线全部架空架设，与地面的距离为 2m，越高马路时高度为 6.5m，架空长度超过 100m。数据采集参数为 35Hz，对管道正反两个方向进行数据的采集。本次研究结果显示信号传播距离约为 40m，信号的强度随着距离的增加而衰减。数据显示所有波形信号均为正常信号，不存在异常信号，推测管道不存在管道缺陷。为了验证研究的结果，拆除管线的保温层，发现管道表面结构完整，与检测结果一致。

通过上海海洋平台压力管道波导检测研究，可以明确超声导波检测技术能对管道进行快速、范围广大的扫描，并可以高效识别管道中的缺陷^[6]。

5 结束语

总而言之，压力导管作为海洋平台的薄弱部位，其结构完整性关系到整个海洋平台的安全运行。但是压力导管是在复杂多变的海洋环境中工作，很容易因为多方面的原因而导致管道破裂、断裂事故的发生，进而导致油气的泄漏。超声导波技术是一种高效的检测技术，能够对管道进行大面积的检测，且具有检测速度快，准确性高等优势，因此应该在海洋平台压力导管的检测中广泛应用，及时发现管道缺陷，为海洋工程的安全提供数据和技术的支持。

参考文献：

- [1] 徐卓. 无损检测技术在压力管道检验中的运用 [J]. 化工管理, 2023(31):113-115.
- [2] 罗嵘等. 超声导波-电磁超声组合技术在油气管道的腐蚀检测应用 [J]. 无损探伤, 2023,47(05):42-44+48.
- [3] 刘丁楠, 等. 充液管道超声导波传播特性及损伤定位的研究 [J]. 噪声与振动控制, 2023,43(04):135-141.
- [4] 卫小龙, 杜国锋等. 基于相似路径的管道焊缝区域超声导波缺陷检测 [J]. 石油机械, 2023,51(07):121-129.
- [5] 孙杰, 等. 高频导波技术在石化设备金属腐蚀检测中的应用 [J]. 石油化工腐蚀与防护, 2023,40(02):35-39.
- [6] 袁东野, 路通. 低频导波技术在海洋石油管道检测中的应用分析 [J]. 中国石油和化工标准与质量, 2019, 39(14):67-68.