

基于直流电位梯度法的滩浅海海底管道外防腐层 破损检测技术研究

王志涛^{1,2}, 韩文礼^{1,2}

(1. 中国石油集团工程技术研究院, 天津 300451;
2. CNPC 石油管工程重点实验室 涂层材料与保温结构研究室, 天津 300451)

摘要: 目的 介绍基于直流电位梯度法的滩浅海海底管道外防腐层破损检测的研究思路及所开发的配套的检测设备。方法 通过模拟检测实验, 考察了直流电位梯度检测方法在海底管道外防腐层破损检测中的可行性、检测装置运行及测量功能的适用性。结果 模拟检测实验实现了滩浅海海底管道外防腐层破损的有效检测, 且不受海底管道正常填埋的影响, 可实现管道外防腐层 8 mm×8 mm (8 mV/m) 以上破损的非接触式检测。结论 基于直流电位梯度法的滩浅海海底管道外防腐层破损检测技术可行。可以利用所研发的检测装置, 通过海底管道沿线电位梯度的测量, 判断管道外防腐层破损及牺牲阳极块位置, 从而为管道的运行维护提供技术支持。

关键词: 滩浅海海底管道; 外检测; 外防腐层破损; 直流电位梯度测量; 非接触式检测

中图分类号: TG174 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3660(2016)11-0134-05

DOI: 10.16490/j.cnki.issn.1001-3660.2016.11.021

External Coating Damage Inspection Technology for Submarine Pipelines in Paralitic Zone Based on DC Potential Gradient Method

WANG Zhi-tao^{1,2}, HAN Wen-li^{1,2}

(1. CNPC Research Institute of Engineering Technology, Tianjin 300451, China; 2. Research Division of Anti-corrosion Coating and Thermal Insulation Structure, CNPC Key Tubular Goods Laboratory, Tianjin 300451, China)

ABSTRACT: The work aims to introduce the research approach and developed supporting testing equipment of external coating damage inspection for submarine pipelines in paralitic zone based on DC potential gradient method. Feasibility of DC potential gradient method in external coating damage inspection for submarine pipelines in addition to applicability of detector operating and measuring functions were investigated by virtue of a simulative test. This method was proved to be effective by the simulative test. Damage larger than 8 mm×8 mm (8 mV/m) on the external coating could be inspected contactlessly in regardless of the effects of normal filling of submarine pipelines. The external coating damage inspection technology for submarine pipelines in paralitic zone based on DC potential gradient method turns out to be feasible. Position of external coating damage and sacrificial anode can be determined by utilizing the developed detector and measuring potential gradient along the submarine pipelines. This method can provide technical support for operation and maintenance of the submarine pipelines.

收稿日期: 2016-03-22; 修订日期: 2016-06-04

Received: 2016-03-22; Revised: 2016-06-04

作者简介: 王志涛 (1978—), 男, 博士, 高工, 主要研究方向为管道检测技术。

Biography: WANG Zhi-tao (1978—), Male, Doctor, Senior Engineer, Research focus: inspection technology for pipeline.

KEY WORDS: submarine pipelines in paralic zone; external inspection; external coating damage; DC potential gradient survey; contactless inspection

海底管道是海上油气田开发工程设施的主要组成部分,担负着海上油气输送的重要任务。安全是管道运行最基本的条件,但随着管道使用年限的增加,由于腐蚀或其他原因,管道的外防腐层会产生缺陷,降低防护效果,导致管道被腐蚀,甚至发生管道泄漏等恶性事故,造成经济损失、能源浪费和环境污染。因此,有计划地开展管道外防腐层检测工作十分重要。

目前,滩浅海海底管道的外检测主要集中在管道路由、埋深、悬跨等常规调查检测^[1-2],而对于管道外防腐层破损这一引起管道外腐蚀的主要因素缺乏有效的检测方法。本文介绍了基于直流电位梯度法的滩浅海海底管道外防腐层破损检测研究思路,开发了配套的检测设备,并通过模拟检测实验和现场检测试验,实现了滩浅海海底管道路由、外防腐层破损及阴保工作状况的有效检测。

1 直流电位梯度法海管外防腐层破损检测技术特点

海底管道的外腐蚀保护一般由防腐涂层和阴极保护组成的联合防护系统来承担,在此联合防护系统中,可以通过管道阴极保护系统的检测来判断管道外防腐层缺陷。管道阴极保护系统的检测,最常用的方法是电位分布测量法^[3-6],但要测量管地电位,一定间距的测试点是必不可少的,而对于海底管道而言,除非管道距离平台或登陆端较近,否则显然不具备这样的条件,在这种情况下,非接触式的直流电位梯度测量法更为可行。

直流电位梯度检测技术^[7-9]是目前应用比较广泛的陆上埋地管道检测技术之一。将其用于海底管道检测,其检测原理是:在施加了阴极保护的海底管道上,如果管道防腐层有破损,阴保电流将通过海水介质到达防腐层存在破损的金属管道处,在破损处区域形成电位梯度场。电流越大、距离防腐层破损点越近,电位梯度越集中。针对直流电位梯度测量的特点,可以将这种方法用于滩浅海海底管道外防腐层的非接触式检测,并开发配套的检测设备,避免目前滩浅海海底管道外防腐层检测中潜水

员受季节、区域及海况限制的弊病,降低检测成本。采用直流电位梯度法的海底管道外防腐层检测示意图^[10-12]如图 1 所示,通过海底管道沿线电位梯度的测量,判断管道外防腐层破损点的位置及大小。目前已进行了基于直流电位梯度检测的测量用电极性能、配套检测装置研发、滩海模拟管道测试及油田海底管道现场测试等实验研究。

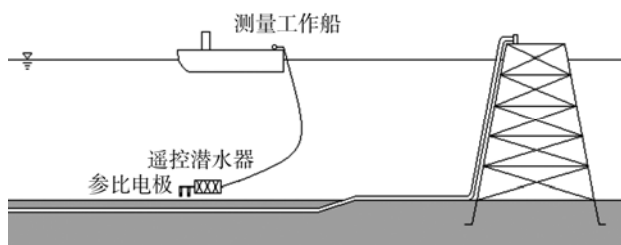


图 1 直流电位梯度法海底管道外防腐层检测示意
Fig.1 Schematic representation of direct current voltage gradient survey for submarine pipeline

2 配套检测装置的研发

为了实现海底管道沿线电场信号的采集,开发了基于直流电位梯度测量法的海底管道综合检测装置,其由动力推进系统、控制系统、测量系统、水面定位系统、数据传输系统、数据存储系统、显示系统、固定系统和密封系统等子系统组成。检测装置如图 2 所示。所研发的海底管道检测装置具备水下三维运动(最大速度 1 m/s)、管道路由探测(精

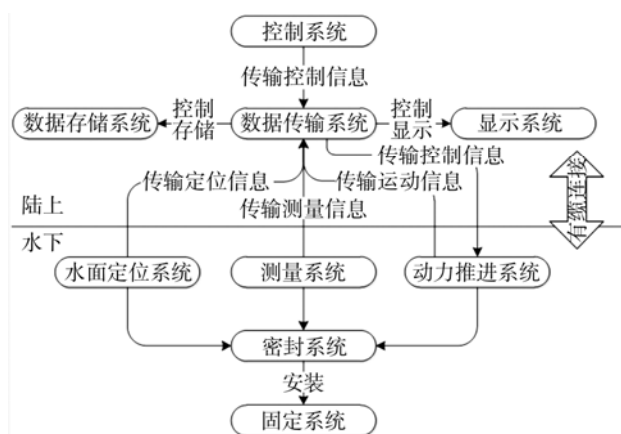


图 2 海底管道检测装置结构原理
Fig.2 Structure principle drawing of inspection device for submarine pipeline

度 ± 0.5 m)、管道外防腐层破损及阴保检测(电位采集精度 ± 2 mV)、水下照明及可视(分辨率 530 电视线以上)、数据传输及存储(UDP 配合光纤传输)、数据处理及分析(测试及控制软件)等功能。

3 滩海模拟管道测试

为了验证直流电位梯度法管道外防腐层破损检测技术装备的检测效果,进行了滩海模拟管道检测实验。利用研发的海底管道检测装置读取管道周围电场信号,判断管道破损及牺牲阳极块位置,并进行了地表参比法复测。

3.1 实验部分

采用南京中科院供应的 CP-0707 银/氯化银电极,电位梯度测量装置自制。自制实验管段,管段长 4 m,直径 51 mm,环氧涂层防腐处理。其中一根管道中部有镁合金牺牲阳极,管道 1/4 处有 1 cm \times 1 cm 破损,另一根管道 1/2 处有 8 mm \times 8 mm 破损。

实验前,首先将两根管段进行电连接(连线长 1 m),然后将管段埋入海泥中约 40 cm 处,并进行泥沙回填。实验时,利用海水的涨潮与退潮(海水潮差近 3 m),分别利用所研发的海底管道检测装置和地表参比法进行管道沿线的阴极保护系统伴生电场信号的测量:海水涨潮后,利用海底管道检测装置进行管道路由上的电位梯度数据采集与存储,并进行检测数据的分析处理;海水退潮后,使用高精度万用表与银/氯化银电极测量管道沿线的电位梯度数据。

3.2 检测结果与讨论

海底管道检测装置的管道电位梯度数据采集测试结果如图 3 圆点标示曲线所示。实验测试距离 9 m,测试点位共 26 个。实验结果显示:从 1 号测试点开始,电位梯度值开始增大,这是由于测量电极向管道牺牲阳极靠近所致;在 3 号测试点有 18 mV/m 左右的电位梯度值的衰减现象出现,跨过 3 号测试点后,电位梯度值又逐渐变大,说明 3 号测试点对应一处管道外防腐层破损;6 号测试点至 8 号测试点间有一个较大的电位梯度衰减,并在 7 号测试点附近出现了电位梯度数值的变向,此点即为

管道牺牲阳极位置,而跨过牺牲阳极后,电位梯度值再次出现,并由正变为负,且电位梯度的绝对值逐渐增大;由 8 号测试点至 11 号测试点,电位梯度绝对值变小,电位梯度趋缓,说明随着测试距离推移,测量电极已远离管道牺牲阳极;由 11 号测试点至 14 号测试点,电位梯度曲线先下降后上升,并在 13 号测试点出现电位梯度谷值,电位梯度绝对值约为 12 mV/m,此处与两个管段的电连接点位置相对应;由 14 号测试点至 26 号测试点,电位梯度值总体趋缓,并接近于零,仅在 22 号测试点出现了 8 mV/m 左右的电位梯度值,此处与管道的 8 mm \times 8 mm 破损相对应。实验表明,所研发的检测装置可实现对管道阴极保护系统的伴生电场信号数据的采集,并且对管道外防腐层破损及牺牲阳极位置的判断准确。

为了验证检测装置的测量准确性,利用地表参比法^[13-15]进行了管道沿线电位梯度的复测,测试结果如图 3 方块标示曲线所示。由测试结果可以看出:3 号测试点(管道沿线 1 m 处)有 17 mV/m 左右的电位梯度值出现,其与管道 1 cm \times 1 cm 的防腐层破损点相对应;7 号测试点(管道沿线 2 m 处)与管道的牺牲阳极位置相对应;13 号测试点(管道沿线 4 m 处)有近 10 mV/m 的电位梯度值出现,此处与两个管段的电连接点位置相对应;22 号测试点(管道沿线 7 m 处)出现 9 mV/m 左右的电位梯度,与管道的 8 mm \times 8 mm 的破损相对应。

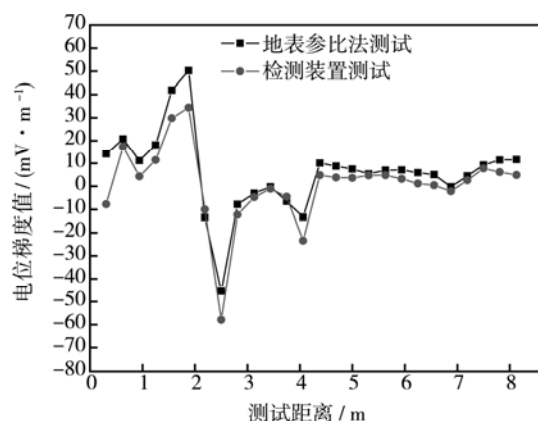


图 3 地表参比法与检测装置的测试结果的对比
Fig.3 Comparison of the experiment results between two different methods

由图 3 可以看出,利用地表参比法和海底管道检测装置两种方法测得管道沿线电位梯度数据重现性较好,这也说明所开发的海底管道检测装置对管道电位梯度数据读取的可靠性。

4 油田海底管道现场测试

为检验研发的海底管道检测装置的实际应用效果,对冀东某海底管道进行了管道外防腐层及阴极保护状况检测评价试验。

4.1 管道路由探测

管道路由探测由海底管道检测装置搭载的管道检测仪实现。实验时,首先利用管道登陆端将发射机的信号输出端与管道相连,并将地极沉入海水中,然后通过发射机管道发射信号,利用检测装置前端的接收探头接受信号,从而判断管道位置。

4.2 外防腐层破损点检测

海底管道的外防腐层破损检测主要是利用管道沿线电位梯度的读取与分析得以实现。实验时,管道检测装置沿管道路由行进,实时观测并记录管道沿线的电位梯度。管道沿线的电位梯度测试结果如图4所示。

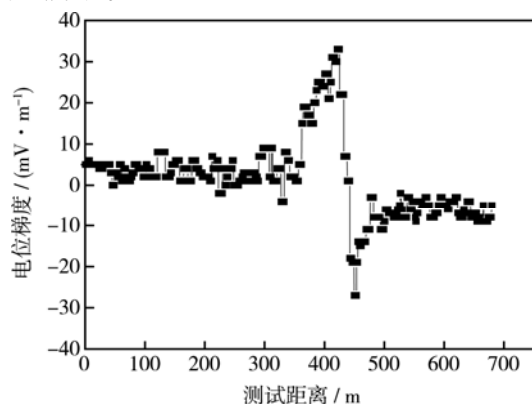


图4 管道沿线的电位梯度数据

Fig.4 Results of the direct current voltage gradient survey of the pipeline

由管道沿线的电位梯度数据曲线可以看出,在管道约350~500 m测试区域内,其电位梯度波动较大,存在一个先上升然后再下降的过程,并在约420 m处跨越了电位梯度零值,该测试位置为管道牺牲阳极所在位置,此结果与管道竣工图数据吻合。除此之外,管道的局部电位梯度的最大变化量均小于5 mV/m(电位梯度最大值出现在管道约140 m处),根据前期的管道外防腐层破损模拟实验结果,均不能将上述测试数值变化点确认为管道外防

腐层破损,但应注意对电位梯度变化较大处进行跟踪测量,并监控海床冲刷情况。

5 结论

基于直流电位梯度法的滩浅海海底管道外防腐层破损检测技术可行。可以利用研发的检测装置,通过管道沿线电位梯度测量,判断管道外防腐层破损及牺牲阳极块位置,实现管道外防腐层破损的非接触式检测,从而为管道的运行维护提供技术支持。

参考文献:

- [1] TIAN Wen-min. Integrated Method for the Detection and Location of Underwater Pipelines[J]. Applied Acoustics, 2008(69): 387—398.
- [2] LUCA B. Prevention of Steel Corrosion in Concrete Exposed to Seawater with Submerged Sacrificial Anodes[J]. Corrosion Science, 2002(44): 1497—1513.
- [3] 周兰. 埋地钢质管道强制电流阴极联合保护研究[J]. 表面技术, 2015, 44(4): 118—122.
ZHOU Lan. Experimental Studies on the Impressed Current Cathodic Joint Protection of Buried Metallic Pipelines[J]. Surface Technology, 2015, 44(4): 118—122.
- [4] 侯保荣. 海洋腐蚀环境理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 1999.
HOU Bao-rong. Theory of Marine Corrosion Environment and Its Application[M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [5] 胡舸. 边界元方法在海床管道阴极保护系统中的应用研究[C]// 第三届国际海洋腐蚀控制大会. 河南: 海洋科学, 2006: 325—331.
HU Ge. Boundary Element Methods in the Seabed Pipelines Cathode Protection System Applied Research[C]// The Third International Symposium on Marine Corrosion and Control. Henan: Marine Sciences, 2006: 325—331.
- [6] Chin D T. Current Distribution and Electrochemical Environment in a Cathodically Protected Crevice[J]. Corrosion, 2000, 56(3): 336—340.
- [7] 胡士信. 阴极保护手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
HU Shi-xin. Handbook of Cathodic Protection[M]. Beijing, Chemical Industry Press, 2005.
- [8] SAM A W. 管线腐蚀控制[M]. 北京: 化学工业出版社, 2004.
SAM A W. Pipeline Corrosion Control[M]. Beijing,

- Chemical Industry Press, 2004.
- [9] 宋光铃, 曹楚南, 林海潮, 等. 土壤腐蚀性评价方法综述[J]. 腐蚀科学与防护技术, 1993, 5(4): 268—277.
SONG Guang-ling, CAO Chu-nan, LIN Hai-chao, et al. Review on the Evaluation Methods of Soil Corrosivity[J]. Corrosion Science and Protection Technology, 1993, 5(4): 268—277.
- [10] ASHWORTH V, BOOKER C J L. Cathodic Protection [M]. Chichester: Ellis Horwood LTD, 1986.
- [11] BRICHAU F, DECONINCK J. A Numerical Model for Cathodic Protection of Buried Pipes[J]. Corrosion, 1994, 50(1): 39—49.
- [12] 胡舸. 海底管线腐蚀检测与腐蚀预测的研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
HU Ge. Study on Submarine Pipeline Corrosion Detection and Corrosion Prediction[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.
- [13] GB/T 19285, 埋地钢质管道腐蚀防护工程检验[S].
GB/T 19285, Inspection of Corrosion Protection for Buried Steel Pipelines[S].
- [14] 景世刚. 金属管道防腐技术动向[J]. 表面技术, 1998, 27(1): 28—29.
JING Shi-gang. Development Tendency of Anti-corrosion Technology for Metal Pipeline[J]. Surface Technology, 1998, 27(1): 28—29.
- [15] 张明奇. 埋地输油管道外防腐层的检测与评估[J]. 管道技术与设备, 2003(6): 26—28.
ZHANG Ming-qi. Detection and Assessment of Outer Corrosion Resistant Layer of Buried Oil Pipeline[J]. Pipeline Technique and Equipment, 2003(6): 26—28.