

长输管道防腐层状况不开挖检测技术探讨

汤志强*

(江西省检验检测认证总院特种设备检验检测研究院, 南昌 300052)

摘要: 本文旨在研究长输管道防腐层状况不开挖检测的常见技术问题, 并提出解决技术措施。长输管道定期检验外腐蚀外检测方法中, 防腐层状况不开挖检测是主要的检验内容, 采用PCM (Pipeline Current Mapper) 检测技术, 其检测质量的高低决定了防腐层破损处的检测效果和长输管道运行的安全。文章在分析长输管道PCM检测重要性的基础上, 探讨长输管道PCM检测中普遍遇到的问题, 结合多年实践操作经验及国家相关法规, 提出针对性的解决方案和处理方法。

关键词: 长输管道; 防腐层状况不开挖检测; 技术探讨

Discussion on the non-excavation detection technology of anti-corrosion coatings for long-distance pipelines

TANG Zhi-Qiang*

(Institute of Special Equipment Inspection and Research, Jiangxi General Institute of Testing and Certification, Nanchang, 330052, China)

ABSTRACT: This article aims to investigate the common technical issues regarding the non-excavation detection of the anti-corrosion coating condition of long-distance pipelines, and propose solutions and technical measures. Among the external corrosion detection methods for the regular inspection of long-distance pipelines, the non-excavation detection of the anti-corrosion coating condition detection is a major aspect. The PCM (Pipeline Current Mapper) testing technology is used. The quality of its detection determines the detection result of damaged areas in the anti-corrosion coating and the safety of long-distance pipeline operation. On the basis of analyzing the significance of PCM detection for long-distance pipelines, this article explores the prevalent problems encountered in PCM detection of long-distance pipelines. In combination with years of practical operation experience and relevant national regulations, targeted solutions and treatment approaches are proposed.

KEY WORDS: long-distance pipelines; non-excavation detection of anti-corrosion coating condition; technical discussion

0 引言

长输管道安全运行事关油气战略物资输送安全 and 人民生命财产安全, 长输管道定期检验对保障长输管道安全运行至关重要, 《中华人民共和国特种设备安全法》第四十条规定未经定期检验或者检验不合格的特种设备, 不得继续使用^[1]。质检总局国资委能源局关于规范和推进油气输送管道法定检验工作的通知(国质检特联〔2016〕560号), 要求进一步贯彻落实《中华人民共和国特种设备安全法》, 不断提升管道质量安全水平, 规范和推进管道的监督检验和定期检验等法定检验工作^[2]。本研究旨在解决长输管道定期检验外腐蚀外检测方法PCM检测的常见技术问题, 目的是通过分析这些问题, 提出解决方案和解决方法, 提高PCM检测技术的准确性和可靠性, 提升防腐层破损处的检测效果和长输管道运行的安全。

1 PCM检测的重要性

按照《压力管道定期检验规则—长输管道》TSG D7003-2022, 现场检验采用宏观检查、内检测、外检测以及耐压试验等方法, 对不具备内检测条件的管道, 应当根据管道的主要损伤模式, 选用一种或多种适合的外检测方法; 外检测方法主要包括内腐蚀、外腐蚀、应力腐蚀开裂等3种外检测方法^[3], 其中外腐蚀外检测是常用的外检测方法, 外腐蚀外检测包括防腐(保温)层状况不开挖检测等内容, 检测实施可以按照GB/T 30582《基于风险的埋地钢质管道外损伤检验与评价》进行^[4]。检测结束后, 应当按照GB/T 19285《埋地钢质管道腐蚀防护工程检验》的相关规定对腐蚀防护系统进行评价^[5]。在外腐蚀外检测方法中, PCM检测是检验环节中重要的一环, 主要用于检测埋地管道外防腐层的状况(如图1)。PCM检测技术利用交变电流梯度法, 采用这种方法不但可对防腐层的破损进行定位, 推算出防

* 通信作者: 汤志强, 高级工程师, 研究方向为长输管道检验。E-mail: tangzhiqiang70@126.com

* Corresponding author: TANG Zhi-Qiang, Senior Engineer, Institute of Special Equipment Inspection and Research, Jiangxi General Institute of Testing and Certification, Nanchang 330052, China. E-mail: tangzhiqiang70@126.com

腐层的性能参数值 R_g ，而且可对管道路由精确定位描述，测量深度^[6]。虽然 PCM 检测可按照 GB/T 19285 进行，但实际检验过程中会遇到一些具体的问题，如果这些问题处理不好，会影响 PCM 检测的精确性和防腐层破损处的检测效果，影响长输管道运行的安全。



图 1 PCM 检测设备
Fig.1 PCM testing equipment

2 PCM 检测问题及处理方法

2.1 土壤干燥无法加大信号问题及处理方法

2.1.1 存在问题

土壤干燥回路电阻较大，发射机额定电压 100 V，造成电流信号无法加大。

2.1.2 处理方法

原则上为了保障检测精度，接地极需要保持独立，这就要求现场要打地极桩，因为土壤干燥，所以可以多打地极桩，增加接地面积(例如，现场打 2 根以上 1.5 米的地极桩并浇水)。另外，如果现场出现干燥沙石等情况，造成无法打地极或打地极也无法加信号的情况，可以选择现成的地极(例如，电线杆拉线、牺牲阳极、与管道平行的河流等)，这种情况需要注意，如果出现长距离电流无衰减或者大量衰减，必须要更换新的地极点。

2.2 在场站周边架设发射机加信号问题及处理方法

2.2.1 存在问题

在场站远端施加发射机，当检测到场站附近时，检测信号太小或者没有信号，造成场站附近没法检测。

2.2.2 处理方法

在场站周边架设 PCM 发射机加信号有两种处理方法：

有阴极保护的管道，管道和场站之间有绝缘装置，这时是在场站周边测试桩加信号的。如果在远处加信号向场站方向检测，需要在测试桩处临时连接管道和场站的连接线，检测完毕后恢复原状。

没有阴极保护的管道，在管道与场站之间没有绝缘装置或者已经失效，这时就不能在场站周边测试桩加信号，因为场站是个大接地体，检测电流绝大部分只会流向场站，而不会流向管道。所以遇到这种情况，只能从远处加信号，向场站方向检测。

2.3 排流桩泄漏电流影响问题及处理方法

2.3.1 存在问题

PCM 检测时受排流桩泄漏电流影响，造成检测信号电流无法向远端传输。

2.3.2 处理方法

排流桩工具箱内，内置一台固态去耦合器，其作用是隔直排交，既可以保护阴保电流不流失，也可以排除因高铁等设施造成的交流杂散电流。

PCM 信号为交流信号，检测时途经排流桩，一般都会发生大量检测电流流失，或者直接就没有信号。根据使用单位要求和实际检测需求，在检测之前，就应该断开固态去耦合器，防止信号电流流失，工作完成后恢复排流桩接线。

断开办法：因为固态去耦合器串联进管道和接地极之间，随意断开任何一根线就可以实现断路。

2.4 两台发射机相互干扰及工作间距问题及处理方法

2.4.1 存在问题

PCM 发射机发送的为交流信号(4+8+128/640 Hz)，当两台发射机距离较近时，两种交流信号相位不同，造成接收机会接收到错乱的信号，造成信号不稳定，无法进行准确的检验工作。

2.4.2 处理方法

从原理上分析，在一条管道上同时施加两台或更多发射机，多少都会互相影响。但影响的程度根据目标信号和干扰信号的强度等因素有极大的关系，例如距离目标发射机的距离、防腐层泄漏电流的能力、干扰信号的强度等。原则上当两台发射机距离较近时，干扰无法避免，至于两台发射机距离多远才能避免较强的干扰，根据检验经验，建议两台发射机距离 20 公里以上，这时信号干扰最强点在中间的位置，当两台发射机无法避免距离更近时，建议只施加一台发射机，两个工作组背向工作。如使用单位要求了检测方向，那只能在目前距离下取中间位置，两个工作组同向工作。另外，识别另外一台发射机是否对本工作组造成影响的办法，可以试验接收机信号是否稳定，如不稳定就证明另外一台发射机已经产生干扰，这时只能加大两个工作组间距。

2.5 验证 ACVG 检测模式有效性问题及处理方法

2.5.1 存在问题

在检测过程中，ACVG 模式经常会出现箭头和 dB 值不稳定，或者长距离没有防腐层漏点等情况，现场检测人员无法直接判断造成的此类问题的原因。

2.5.2 处理方法

验证设备是否有效参考以下几点：

1) 验证前提：确定此处的信号电流大于 100 mA，且接收机电电量不能过低，这两个指标都是肉眼可见的。其中信号电流小于 100 mA 就有可能漏掉一些小缺陷，而接收机电电量过低有时会运算卡顿。

2) 最简单的方法：在地极处 A 字架前端钢钎接触地极，稳定插入地面。这时接收机上的箭头指向背离地极的方向，dB 信号值很高(80~99 之间)，且箭头和 dB 值很稳定。如果出现不稳定情况，则可能仪器出现故障。

3) 模拟缺陷点的方法：如果还不确定是否准确，可在 1 号测试桩施加发射机，在 2 号(临近测试桩)处打地极并浇水，然后连接地极和测试桩内管道线，这时检测信号电流就可以在地极处流失了，在这个位置进行相关 ACVG 测试^[7]。

4) 注意事项：在检测工作开始之前，一定要检查 A 字架两根钢钎和钢钎上方 10 cm 处的螺丝是否牢固，A 字架连线是否牢固等。另外地极点最好是自己打钢钎，不建议用牺牲阳极，因为牺牲阳极离管道太近，会造成检测距离较近和电流分布不均匀的问题，造成漏检的问题。鉴于天气干燥地极施加困难的问题，可以多打几根钢钎串联浇水即可。

5) 树立检测信心：检测过程中设备没问题，检测操作没问题，本着箭头反转和 dB 值变化同时发生才是缺陷的原则，如果发生检测较长距离没有定出缺陷点的情况，检测人员应该相信这个检测结果，树立对检测设备和自身检测能力的信心。

2.6 PCM 检测现场高压线影响问题及处理方法

2.6.1 存在问题

长输管道在环城或者临近区域，政府规定区域建设时，在这个区域内统一规划电力、管道、电信、国防光纤等设施，因为电力部门的高压线属于强信号，有可能对管道造成静态杂散电流影响，同时也会对 PCM 类电磁原理检测设备造成干扰。

2.6.2 处理方法

PCM 是设有 50 Hz 滤波功能的，一般情况下 220 V 市电没有影响，但是高压线属于强磁场，会对检测设备的管道定位、埋深测量、电流读取功能造成影响，而对防腐层漏点检测功能影响较小，针对高压线的干扰问题，一般采用以下两种处理办法：1. 当管道与高压线平行距离较短时，连接准确检测到信号的首末两点(管道是直管的前提)，确定管道大体路径，全线以 5 米间隔进行 ACVG 检测。2. 当管道和高压线长距离并行或管道不

是直管的情况下,通过观察或者与使用单位巡线人员落实,确定管道大体位置,全线ACVG检测。使用单位想要埋深等数值,如果信号干扰不大,可以采用仪器读取值与使用单位巡线人员对比,或者用仪器的70%埋深算法进行对比,相差不大才可写入报告。相差较大的情况下,只能通过开挖探坑,直接测量实际埋深才能确定最终数值。

2.7 ACGV响应模式与缺陷类型关系问题及处理方法

2.7.1 存在问题

在现场进行ACVG检测时,检测人员无法通过信号反应初步判断缺陷的类型和进行相应处理。

2.7.2 处理方法

1. 一般情况下,当有稳定的四箭头指向和dB信号值变化同时存在时,此点可以定为防腐层破损点。

2. 防腐层缺陷类型和ACVG响应:

(1) 管道装运/填埋时因施工质量问题造成的机械损伤,此类型损伤可以肉眼可见,多见为长条状划伤;此时ACVG的前后箭头不是一个明确的反转折点,而是一个前后箭头反复闪烁的线段,此时在此线段前后都是稳定的。

(2) 因长期环境腐蚀造成的点状或圆形防腐层破损(多见于石油沥青防腐层),此缺陷肉眼可见,且防腐土壤多见红褐色(三氧化二铁)。如果是杂散电流造成的缺陷,缺陷处多见灰黑色(四氧化三铁)。此时的ACVG响应模式完全符合前后反转和dB的规律性变化。

(3) 因预制的3PE加工工艺问题造成的麻眼、针孔缺陷,此情况一般无法用肉眼看到,建议参照GB/T 23257标准用25KV电火花进行质量验证,如出现击穿声和电火花则证明此防腐层质量不合格。极特殊情况下,电火花也无法进行验证,则需要进一步的理化试验验证。此类现场,如果只是局部失效,ACVG响应模式符合规律,但如果是整段管道防腐层质量较差,则会出现第(1)点时的反应情况。

(4) 牺牲阳极或者排流地板缺陷类型,这时前后箭头和dB信号值都与管道防腐层缺陷响应相同,但是左右箭头则偏向一侧,不在管道正上方^[8]。同时在进行ACVG检测时,此处现场的dB值数值较大,这也是判断的主要依据。

(5) 因干扰造成的响应。一般遇到此类型的问题,建议检测人员在伴行管道或者较大接地体的另外一侧用钢钎接地,独立的地板点可以尽可能规定信号电流流动方向,极大避免以上问题对检测的干扰。此类情况,ACVG模式的大概率只会出现箭头反转或者dB值变化的单一情况,现场人员要对现场进行宏观观察疑似干扰源,灵活处理异常情况。

在工程检测中没有100%的检出率和复核率,但基于仪器的正常响应,灵活运用仪器的应用原理,多思考多实践,坚定评判标准,不做似是而非的判断,那检测的准确性肯定也会随着时间和实践经验的积累日益提高。

2.8 信号较小对防腐层绝缘性能评估影响问题及处理方法

2.8.1 存在问题

在检测过程中平常为600mA输出电流,局部一段只有300mA甚至更小的输出电流(受接桩影响),是否对防腐层绝缘性能评估产生影响。

2.8.2 处理方法

这种情况下不会影响评估防腐层绝缘性能,电流的衰减都是相对的^[9]。600mA两端分流各300mA,单侧衰减是从300mA慢慢衰减下去的。300mA两端分流各150mA,单侧衰减是从150mA慢慢衰减下去的。两种信号的衰减率完全一样是不可能的,但是非常近似,不会影响评估的结果。无论是从国标还是其他标准中,防腐层绝缘性能的评估本来就是相对正确,没有绝对正确。因为涉及的参数和变量太多,软件计算时绝对参数是管道的规格,相对参数是管道的电容、电感等,还有规定参数例如系数K等。虽然局部电流虽然较小,但是因为绝缘性能造成的信号衰减不会仅参照单点的信号值,而是更多地引用多个检测点信号衰减规律。所以,信号较小对防腐层绝缘性能评估不会造成太大的影响。

2.9 短距离评估防腐层出现3-4级问题及处理方法

2.9.1 存在问题

在一些情况下,例如数据采集段过短(不足30米),短距离评估防腐层会出现3-4级的情况。此类情况,会对埋地管道防腐层绝缘性能评估造成错误性判断。

2.9.2 处理方法

这是因为在线性衰减规律中开始段衰减系数较大,从而导致开始段电流衰减同样较多,结果评判等级为3级或4级的,尤其是4级的,应注明原因或应采取的措施^[10]。短距离段不宜通过电流衰减规律进行评价,应与首尾或相邻的管道进行合并段评价。防腐层评级分析软件一般采用等距或者近似衰减率进行自动分段评级,但是短距离段的评价因为数据过少导致等距分段分析效果较差,易造成局部的防腐质量就会变成3、4级,在这种情况下建议采用人工手动分段。从某种程度上同样表明,根据衰减率的自动分段适用于防腐质量特别好的长输管道^[10]。

3 结束语

本文系统探讨了PCM检测的重要性,详细分析了PCM检测过程中的常见问题。针对土壤干燥无法加大信号、在场站周边架设发射机加信号、排流桩泄漏电流影响、两台发射机相互干扰及工作间距、验证ACVG检测模式有效性、PCM检测现场遇到高压线影响、ACVG测量模式与缺陷类型关系、信号较小对防腐层绝缘性能评估影响、短距离评估防腐层出现3-4级等常见技术问题,本文提出了具体的处理方法,通过处理方法的实施,可以显著提高PCM检测技术的准确性和可靠性,提升防腐层破损处的检测效果,促进长输管道运行的安全。

参考文献

- [1] 中华人民共和国主席令第4号.中华人民共和国特种设备安全法:9787511850782[M].法律出版社,2013.
- [2] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,国务院国有资产监督管理委员会,国家能源局.质检总局 国资委 能源局关于规范和推进油气输送管道法定检验工作的通知:国质检特联[2016]560号[EB/OL].<https://www.samr.gov.cn/zw/zfxgk/fdzdgnr/tzsb/art/2023/art882e10a1c9044faa95a5eba3cfff775a.html> [2024-12-21].
- [3] 压力管道定期检验规则——长输管道:TSG D7003—2022[S].北京:国家市场监督管理总局,2022.
- [4] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.基于风险的埋地钢质管道外损伤检验与评价:GB/T 30582—2014[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [5] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.埋地钢质管道腐蚀防护工程检验:GB/T 19285—2014[S].北京:中国标准出版社,2014.
- [6] 郭勇,邢辉斌.埋地管道外防腐层PCM检测技术[J].腐蚀防护,2011,14(07):63-64.
- [7] 张小兵,刘超,王鲁鹏,等.基于PCM联合检测技术的某天然气长输管道防腐层检测及开挖验证[J].全面腐蚀控制,2023,37(06):118-122.
- [8] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会.埋地钢质管道聚乙烯防腐层:GB/T 23257—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [9] 陈鑫.埋地管线防腐层破损原因分析及检测方法[J].石油和化工设备,2019,22(07):2.
- [10] 国家能源局.钢质管道及储罐腐蚀评价标准第1部分:埋地钢质管道外腐蚀直接评价:SY/T 0087.1—2018[S].北京:石油工业出版社,2018.

作者简介

汤志强,高级工程师,研究方向为长输管道检验。