提高埋地管道防腐层分级评价的可靠性

李永年　李晓松　吕桂玉

（中国冶金地质勘查工程总局地球物理勘查院　保定 071051）

摘要：叙述了影响埋地管道防腐层分级评价可靠性的主要因素；概要地介绍了基于“综合参数异常评价法”的应用软件——“地下管道腐蚀检测评价系统” FER-PCM（2.2）。

引言

防腐层老化、剥离、失效、破损常常导致管体腐蚀、脆断、穿孔、泄漏，对地下管网正常运行构成极大危害。

当前，采用各种“非开挖”手段开展埋地管道防腐层检测评价工作，或者为客户提供防腐层检测评价技术服务的事例越来越多。相应地，如何提高评价结果的可靠性也就成了一个十分突出的问题。

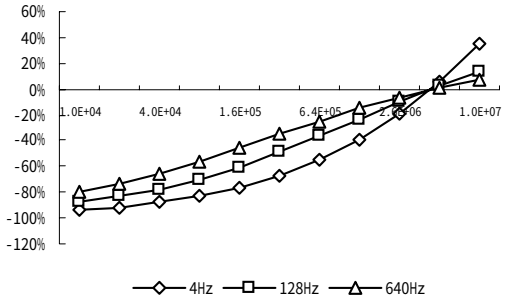
1．影响埋地管道防腐层检测评价可靠性的因素

防腐层绝缘电阻是指单位面积防腐层法线方向上的电阻。

埋地管道经过一个阶段运行后，管体的电导率、磁导率和防腐材料的介电特性以及围土介质的导电特性都会随着时间和环境的改变而发生很大而且很复杂的变化。这些变化都会对埋地管道防腐层的检测计算值产生影响，分述于下。

（1）在运行环境下，管体电阻率会随着时间逐渐增大。导致管体电阻率增高的原因很复杂，晶间腐蚀、氢腐蚀、应力疲劳以及热胀冷缩等都会使其电导率在同一被测管道的不同管段上发生变化。如果不考虑这些变化，即或防腐层的材料物理性质没有差别，检测计算结果也会不同，直接影响评价结果（分级）的准确性（图 1）；

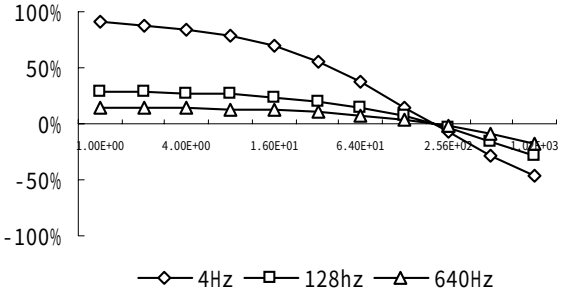
图1 防腐层绝缘电阻-管体电导率关系图



（2）如果被测管段长期处在荷载或周期性应力环境中以致产生疲劳损伤，或者被测管段发生裂纹、腐蚀穿孔、沟槽腐蚀等使管体应力结构变异的过程，其磁导率

都会在地磁场的作用下渐趋增高。如果不考虑被测管段磁导率的实际变化，防腐层绝缘电阻的检测计算结果也不可能准确。在其它条件相同的情况下，磁导率变化对防腐层绝缘电阻检测计算结果的影响如图 2 所示。

图2 防腐层绝缘电阻-管体磁导率关系图



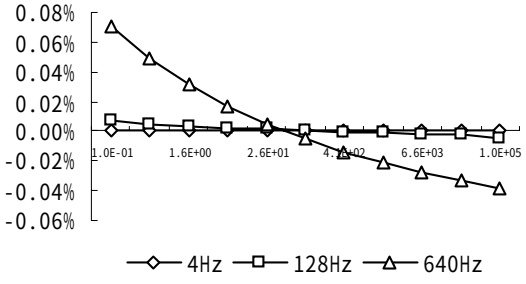
(3) 防腐层的材质和结构决定了它的介电特性。当管道埋入地下以后，随着时间和环境情况的改变，防腐层会发生充水、老化、龟裂、绽断、剥离、植物根系延入、破损等失效现象，无论是防腐层介电常数，还是防腐层材料损耗角正切，其数值都不会再与原材料的相同。防腐层介电特性的变化还会影响观测信号的相位，如果不考虑这些变化和影响，以防腐层的原始材料损耗角正切或介电常数参与防腐层绝缘电阻值的计算，就不可能得到符合实际情况的评价结果。图 3 从一个侧面表示了防腐层介电特性变化对其绝缘电阻计算值的影响。

图3 防腐层绝缘电阻-电容率关系图



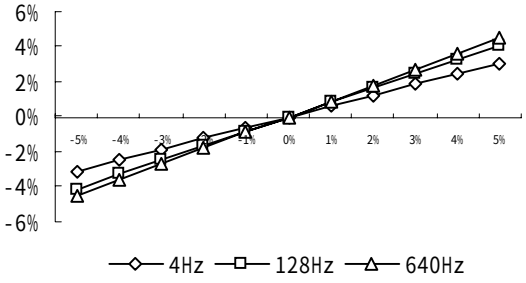
(4) 沿线回填土的导电特性的变化对防腐层的检测计算结果也会产生一定程度的影响，检测信号的频率越高，影响程度就会也大（图 4）。

图4 防腐层绝缘电阻-围土电阻率关系图



(5) 检测频率的选用以及所采用仪器的性能稳定程度也会对检测计算结果产生影响。图 1 至图 4 都已表现出了检测信号频率不同时防腐层绝缘电阻计算值的变化情况，图 5 表示的是所使用检测仪器频率稳定性对检测结果的影响。

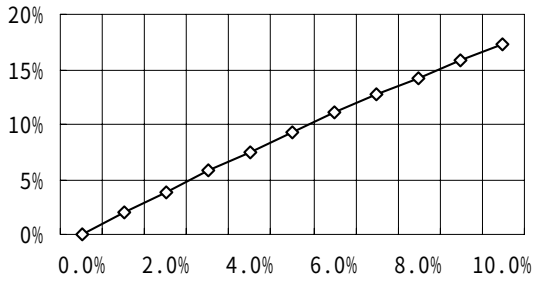
图5 防腐层绝缘电阻-信号频率变化关系图



(6) 观测误差对检测计算结果的影响绝不可以忽视。观测误差来自多个方面，诸如检测设备自身精度、读数方式及其误差、测地（L）误差、电磁干扰的抑制程度以及计算方案等，最终体现为求取

衰减系数的误差。观测误差对防腐层绝缘电阻反演结果的影响如图 6 所示。绝缘电阻的误差几乎是观测误差的 2 倍。

图6 防腐层绝缘电阻精度-观测误差关系图



从以上所述不难看出：防腐层分级评价的依据是绝缘电阻的检测计算值，该计算值的大小与被检测管段的管体实际电导率、磁导率以及防腐层的实际介电特性和围土导电性质密切相关。显然，在计算过程中对那些需要事先设置的物理量（例如，管体电阻、电感、电容，或者防腐层材料的介电常数、损耗角正切等），无论是采用“ 原始值 ”还是代之以“ 经验值 ”，都很难做到与被测管段的实际物理量相符合，所计算出的绝缘电阻值的准确性和分级评价的可靠性就值得怀疑。为了提高检测评价结果的可靠性，应当考虑采用“ 一体化 ”的原位检测技术，即同时检测管体的视电阻率（用以判断管体腐蚀与疲劳损伤程度）、视电容率和绝缘电阻（用以评价防护状况），并利用综合参数进行整体评价。

2．综合参数异常评价法简介

“ 视综合参数异常评价法 ”[1] 是以管体为主要检测对象的“ 一体化 ”方法，只要所采用的检测仪器具有三个以上频率的发-收功能，即可应用此方法。该方法特点如下：

（1）以视电阻率作为探查管体腐蚀情况的基本物理量，在信噪比足够高的情况下还可以对管体腐蚀程度进行量化；

（2）采用视电容率和绝缘电阻两个参数对防腐层的性能进行评价，比其它地面检测方法有效而且准确；

（3）可以检测管体疲劳损伤，但磁导率变异和应力损伤程度之间的量化关系还需要进一步通过实验建立；

（4）不需要“ 预先设置 ”管体电阻、电感、电容或者防腐层材料的介电常数和损耗角正切等必需参与计算的物理量；

（5）与“ 金属蚀失量评价技术 ”[2] 配合使用，可以得到事半功倍的效用。

实践表明，只要按照本方法所要求的技术规程[3] 开展检测工作，就可以获得好效果。为了方便本项技术的推广应用，笔者还专门针对英国 RD-PCM 检测仪定制了一套埋地管道地面检测数据分析软件——FER-PCM。

3．地下管道腐蚀检测评价系统（FER-PCM 2.2）简介

地下管道腐蚀检测评价系统（FER-PCM v2.2）（以下简称“评价系统”）基于“视综合参数异常评价方法”的原理，用于完成地下管道腐蚀与防护状况地面检测评价任务。具有观测数据录入、预处理、参数（管体视电阻率、防腐层电容率和绝缘电阻）反演、管道腐蚀与防护状况图示和报表等多项功能。

“评价系统”采用 Win9x 开发平台制作，图形用户界面，所有运行 Win9x 的计算机均可运行本系统。“评价系统”主要包括数据编辑模块、参数反演模块和图表模块。考虑到数据编辑修改的便利，文件格式均采用文本格式，原始数据的编辑录入可用“评价系统”内置的数据编辑模块来完成，也可用其它文本编辑软件按照“评价系统”解算处理所需的格式编辑完成。考虑到用户使用方便，“评价系统”采用了“单频解算方案”、“双频解算方案”和“三频解算方案”。“单频解算方案”可给出防腐层绝缘电阻；“双频解算方案”可通过双频检测数据给出防腐层绝缘电阻和防腐层视电容率；“三频解算方案”可给出防腐层绝缘电阻、防腐层视电容率和管体视电阻率。用户可根据实际需要采用相应的检测与解算方案。解算结果可以文本格式、图片、报表的形式打印、预览、保存。

主要参考文献

[1] 李永年等，综合参数异常评价法，中国海洋石油总公司“海底管线检测评估及修复技术学术研讨会”论文，三亚，2002 年一月

[2] 李永年等，埋地管道金属蚀失量检测技术，《中国石油化工》，2001 年（上卷）

[3] 李永年等，《综合参数异常评价法技术规定》，企业内部技术标准，2001 年十二月