

埋地钢质管道腐蚀控制中的检测技术方法

林守江

天津市嘉信技术工程公司 天津 300384

摘要：管体腐蚀损伤是埋地钢质管道失效的主要诱因，腐蚀控制是保障管道安全运行的重要手段。当前在很多行业 and 单位的管道运行维护管理中，受经费预算和技术手段的局限，腐蚀检测被等同为防腐层检测。这种错误的观念和管理模式，导致了大多数管道未能实现有效的腐蚀控制。本文针对埋地钢质管道检测的技术方法，从腐蚀控制的检测需求、防腐层检测的局限性，以及 ECDA 技术标准的角度阐述了实施全面腐蚀检测评价的技术方法。

关键词：腐蚀控制、腐蚀检测、管道安全

一、 引言

对于埋地钢质管道来说，减缓甚至杜绝管体腐蚀的主要手段是通过外防腐层和施加阴极保护，两种方法都可以归结到管道的腐蚀控制范畴。目前，国内在用的钢质管道基本都进行了外防腐，对于大部分管线还建有阴极保护设施。完整有效的外防腐层为管体提供了第一道腐蚀控制防线。然而，百分之百完整的防腐层是不存在的，单纯依靠防腐层进行腐蚀控制是有问题的，这就要求在管道上另加阴极保护设施提供第二道防线，为防腐层缺陷点处的管体提供保护。与此同时，有效的外防腐层的存在，大大地减少了整条管线对保护电流的需求，拓展了每个阴极保护装置的保护范围，降低了外加电流阴极保护系统的运行费用，延长了牺牲阳极阴极保护设施的保护年限。两者相辅相成，相互配合，为埋地钢质管线提供了腐蚀控制的科学合理、经济有效的技术方法。

由于埋地管线所处地区的不同，土壤腐蚀环境、管道防腐层的状况、阴极保护有效性、管道运行条件等差异的原因，导致了管体面对的腐蚀威胁状况不同。在工程实践中，对管道进行腐蚀检测主要是对防腐层状况和阴极保护两个方面进行。然而，若只对管道进行外防腐层漏点的检测以期达到对管道腐蚀控制水平的检测和评价是片面和不科学的。尽管管体发生腐蚀往往会伴有外防腐层的破损。但是，若在有效的保护状态下是允许外防腐层存在有少量的小的破损，而管体不会发生腐蚀。同时，管道外防腐层上破损点的存在也会对阴极保护电位分布产生影响，也就是说，防腐层缺陷在管道的阴极保护电位上往往会有明显的反应，只要缺陷点处管体能够达到有效的保护电位，是可以不对防腐层缺点进行维修的。通过对有阴极保护的管道实施保护电位的密间距检测，不但能够对整条管道的阴保状况进行准确的评价，对可能发生的腐蚀部位进行检测定位，也能得到防腐层破损点是否需要修补的相关信息^[1]。

此外，由于管道的历史数据缺乏，加之很多检测工程受预算经费的限制，大多数管道不能完全实施 ECDA 标准中的做法。但是，通过贯彻 ECDA 方法中的先进理念和技术原则，特别是应用 ECDA 标准中管道腐蚀严重程度的准则，对于确定管道的维修范围和工程次序，是完全可以采用和推广的。通过制定合理有效的管道维修范围和维修次序，可以有效地提高管道维修资金的使用效率，降低管道的腐蚀风险。进而对管道腐蚀控制水平的提高，有效保证管道的运行安全，提高管道资产的效益等方面都会起到重要的推动作用。

二、防腐层检测必要性和局限性

外防腐层的检测是我国当前开展最为广泛、技术成熟、检测成本较低的腐蚀检测项目，可应用的仪器也具有较多选择。按防腐层检测的方法划分，可分为防腐层漏点检测、绝缘电阻 R_g 的老化状况和防腐层破损严重程度计算评估三类。采用的检测方法有地面电位梯度法和电流梯度法两类。防腐层的检测可以有效地了解管道防腐层的完整状况，通过对检测出的大的破损点进行维修可以在一定程度上提高管道的腐蚀控制能力，也有利于阴极保护的有效运行。但是，把埋地钢质管道的外防腐层检测等同于管道的腐蚀检测是错误的，针对外防腐层的管道维修所取得腐蚀控制的效果也是有限的。此外，当前的防腐层检测方法不能有效地杜绝防腐层漏点漏检情况的发生；对于检测技术水平不高，检测人员责任心不强的检测工程，防腐层的漏检情况则更为严重，甚至是一笔糊涂帐。单纯的防腐层检测方法对于何种严重程度的防腐层缺陷需要进行维修的界限也是模糊的。这些问题严重地制约了管道腐蚀检测对于管道腐蚀控制效果的发挥，也成为当前我国腐蚀检测领域一大急需解决的问题。

防腐层检测仪 PCM 的应用已经很普遍。该仪器具有使用相对方便，可同时进行防腐层漏点精确定位和评价完好性评价的优点。嘉信公司的交变电流梯度法评价软件(最新升级为 Estec xp) 已经很成熟。PCM 配套的 A 型架应用 ACVG 检测原理，具有检测精度高，检测效率较低的特点，对 PCM 检测方法形成了有利的补充。国产的人体电容法防腐层检漏仪具有检测效率高，应用简便的特点。对于简单环境的检测，特别对高土壤电阻率的地区是一个较好的选择。与 PCM 配合使用，形成高低搭配，提高检测效率的同时可降低检测工程的成本。

随着管道运营管理和检测技术水平的提高，近年来 DCVG 检测方法在国内的应用越来越广泛。该技术是 SY/T0087.1 行业标准中首选的检测方法。尽管该检测技术复杂程度大于 PCM 方法，但所能提供的腐蚀控制信息也大大多于 PCM。DCVG 检测防腐层缺陷的形状和在管道上的环向位置、破损点处管体的腐蚀活性以及计算严重程度指标 %IR 等功能是其他方法无法比拟的。对于有阴保的管道使用起来更为方便，对于没有阴保设施的管道同样可以通过直流发电机建立临时信号源来完成检测^[2]。

DCVG 的独特优势还体现在与配合 CIPS，对有阴极保护的管道进行全面的腐蚀检测，得到管道关于腐蚀控制的全面信息。如判断防腐层漏点的等效面积以及通过测定漏点处管体的阳极倾向来判断管体是否发生了腐蚀等功能。此外，在抗干扰性能方面，DCVG 仪器也具有独到的优势。由于这类检测方法的高劳动强度和对检测人员的技术要求较高，成为仪器在应用过程需要克服的一个问题。但 DCVG 与 CIPS 配合完成腐蚀检测在国外是广为采用的技术手段，在我国的检测领域，若能够改变重防腐层轻阴保的检测观念，也不至于成为推广应用的障碍。

三、密间距电位检测方法及其优越性

阴极保护效果的传统测量方法是，使用伏特表在管道的测试桩位置进行管-地电位测量，通过测得的管体对大地的电位差数值来判断管道是否达到 -0.85V 保护基准电位。一般使用数字万用表和 Cu/CuSO₄ 饱和硫酸铜参比电极，在管线测试桩处进行电位的接触式测量。这种检测方法的最大问题在于检测结果只能对测试桩附近 1 到 2 米的距离有效，而常规管道上的两个测试桩之间相距在一公里以上，这使得管道绝大部分位置上的阴保电位无法得到有效地监测。因此，管道沿线的某些局部影响因素，如距离测试桩很近的较大防腐层缺陷可以对测试桩的检测读数产生较大的影响，对于距离测试桩较远管道上的诸如金属搭接等故障，对测试桩处保护电

位的影响则无法检测出来。由此可见，传统测量方法通过测试桩上得到管道防护方面的信息是十分有限的。

为打破只能在测试桩上阴保电位测量的局限，大约在 50 年前发明了管道密间距电位的检测方法（Close-Interval Potential Survey 简称 CIPS，也称 CIS）。在检测过程中，用一根长导线通过某个测试桩上连线与管体相连，沿着管线路由以小的间距测量管-地电位。在检测范围不大时，可将检测管段的金属管体看成一个等电位体，这样可测出管道路由上任意点的阴保电位数值，进而得到整个管线上阴极保护电位的分布信息。CIPS 检测设备是使用一个具有数据记录功能的灵敏毫伏表替换常规的万用表，并配合数据分析软件进行数据处理和分析。

为了消除电位测量过程中 IR 降，需要中断管道上所有的阴极保护电流源。当管道上应用了多个电流源时，这些电流源都会对这条管道上的阴极保护有所贡献，人工断开电流源的方法显然无法满足测量的要求。此外，进行 CIPS 检测要进行一系列电位测量，要求每次测量均以相同的检测条件进行电位测量。所有这些都要求应用一种设备进行阴保电流的自动、精确定时地完成电流的通断动作，这就要阴保电流断流器来完成。

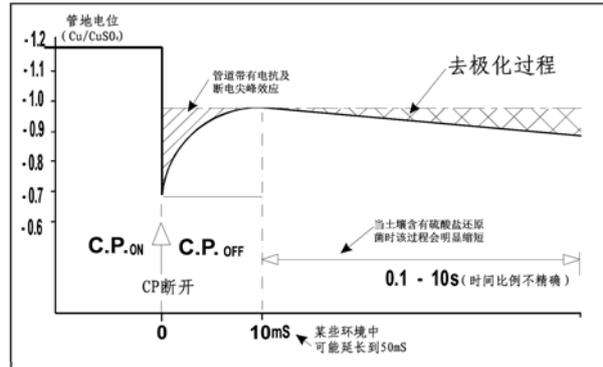


图 1 阴保电流中断的波形及测量定时

由于阴保电流在断开的瞬间，会在管道上产生一个断电尖峰（又称为阳极峰），它的产生通常认为是由于管道自身电抗作用的结果。在某些情况下阳极峰的幅度可能高达 200mV；若从阴保电流断开的时刻测量管道上的 OFF 电位，不能正确得到管道的真实保护电位。阳极峰到最准确 OFF 电位点处所持续的时间一般为 10-20ms 左右，确切的持续时间取决于管道的具体电气特征^[3]。管道上的电位波形变化见图 1。

为了正确地进行管道对地通断电位的测量，CIPS 电位测量过程要进行精确的定时，要求 CIPS 的检测主机能够与电流断流器精确同步。以期能够在正确的时刻测量出管道的真实电位数据。

CIPS 方法对于大的防腐层缺陷也是可以检测的，同时也提供了防腐层维修的技术标准，这就要看破损的存在是否影响管道阴极保护的有效运行。判断准则一是看破损处管体的真实保护电位能否达到 -0.85V；二是确定破损处消耗的保护电流是否影响阴保系统的有效保护范围。若破损点处的真实保护电位能够达标，且不影响保护的的范围，则可以不对破损进行维修。

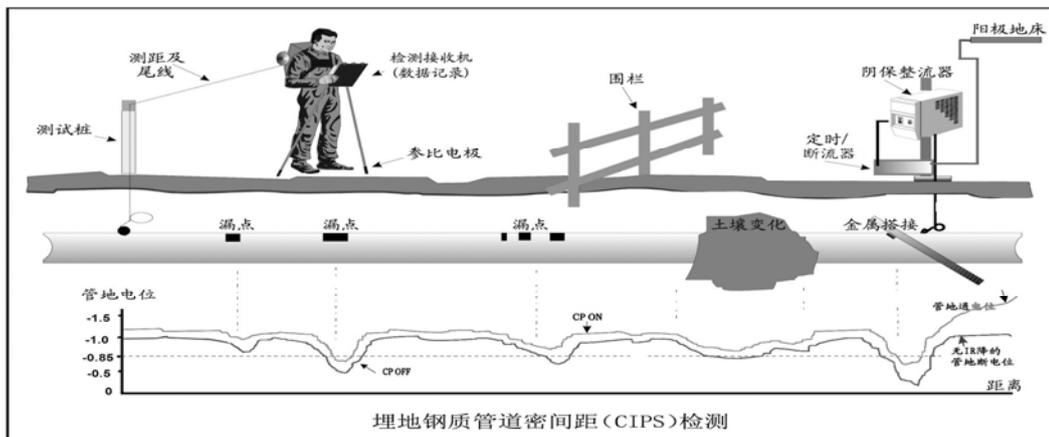


图 2 有阴保的管道实施 CIPS 检测及结果

四、 制定管道维修范围和次序的准则

应用DCVG+CIPS检测方法，一旦检测出管道防腐层和阴极保护系统的故障，就要确定出管道的维修范围。针对阴极保护故障，可以进一步通过PCM来模拟阴保电流的流动情况，确定出管道上存在的绝缘失效点及其位置，进行绝缘恢复即可。对于管线的防腐层缺陷点和区段，根据破损的严重程度可以确定出维修的范围和次序。破损严重程度（破损面积）可以由破损的中心点到远地点之间的电位损失来估算。该电位差作为管道的总电位偏移的一个组成部分，结果值表示为“%IR”，其维修次序分成四类处理^[4]：

类别 1： 1 - 15%IR 的漏点，认为这类情况下漏点的严重程度较低，不需要进行维修。维护良好的CP系统，就可以为管道上暴露的金属表面提供有效的、长时间的阴极保护。

类别 2： 16 - 35%IR 的漏点，在这类漏点在接近地床或其它结构时，建议进行维修。这样的漏点一般认为并非是严重的威胁，更倾向于通过维护良好的CP系统提供充分的保护。对于这类漏点应该加强监管，因为当防护层进一步老化，或阴极保护状况波动时可能归入其它类别中去。

类别 3： 36 - 60%IR 的漏点，认为这类漏点是值得维修的。钢体的暴露面积较大，说明它是CP电流的主要消耗者，此处可能有较严重的防护层损坏。根据接近阳极地床或其它结构的远近程度排入维修计划。它们被认为是对管道完整性的威胁。与*类别 2*的漏点一样，这类漏点要加强监管，因为当防护层进一步老化，或阴极保护状况波动时可能归入其它类别中去。

类别 4： 61 - 100%IR 的漏点，这类漏点一般推荐立即维修，钢体的暴露面积更大，表明它是CP电流的主要消耗者，此处有大块的防护层破损。*类别4*的漏点指示的电位，通常预示着防护层很严重的问题，认为它是管道完整性严重的威胁。

五、 结论

国外对外防腐层的地面检测技术进行过对比^[5]，给出的结论是：DCVG和ACVG技术的效果相似，DCVG在缺陷的尺寸方面表现较好。PCM和C-scan能够对管道“一般”性质的防腐层变坏进行检测，因而在所有的管道状态下能够更为快捷的进行检测。DCVG和ACVG对独立的破损都能够很好地定位，Pearson法的检测效果最差。因此，如果有其他方法可用的话不推荐只使用这种技术。

总的说来，埋地管道腐蚀控制及腐蚀检测评价工作是一项复杂艰苦的系统工程，这对检测评价工程的技术和实施提出了很高的要求。在 ECDA 标准中管理理念和流程的引导下，结合具体的工程实际规划出合理有效的检测方案，检测工具的合理选用，取得必要的、科学准确的腐蚀控制数据至关重要。腐蚀评价的过程则是依照科学的评价模型和方法，使用评价工具和软件得出反映管道真实腐蚀状况的描述信息和数据，并在此基础上制定出管道的维修方案，是保证管道腐蚀得以控制的有效途径。

参考文献

1. 林守江 腐蚀直接评价方法及检测实施过程 天津嘉信技术工程公司培训教材, 2011.8
2. H.Borek and Dr. J.M.Leeds, A practical comparison of above ground techniques for coating defect delineation, March. 1988
3. 林守江 CIPS 技术方法及应用 天津嘉信技术工程公司培训教材, 2011.8
4. NACE SP0502-2010 Pipeline External Corrosion Direct Assessment Methodology (ECDA, 外腐蚀直接技术评价方法)
5. Dr. Gregory Ruschau, Angel Kowalski, Evaluation and Validation of Aboveground Techniques for Coating Condition Assessment. Final report, CC Technologies INC, Feb. 28, 2006