

埋地管道防护层状况 地面检测技术的评价与验证

一、引言

采用地面技术对埋地钢质管道外防腐层进行缺陷检测定位已经有了多种选择，它们对于对管道进行外腐蚀直接评价（ECDA）都是很有用的。对检测评价方法的选择常常是基于操作者对于可用的检测工具和技术掌握的熟练程度和早先对相关情况的了解程度。工程人员发现，这些检测方法的检测效果是有差异的：某种技术可能只对大型缺陷点的定位和破损面积的估算；而其他技术可能长于对较小的破损点区域定位却不能准确地计算破损点的大小。

其他影响检测结果准确性的重要因素包括：阴极保护系统的类型和保护电流的输出大小，杂散电流干扰情况，防腐层破损在管道上的部位以及管道的铺设环境（土壤类型、湿度）等等。基于每种技术的可用性、准确性以及灵活性等方面的有限信息，通过在真实管道上进行逐个技术的检测结果数据与开挖结果进行对比，可以为在管道工业中有效应用这些技术提供有价值的信息。除此之外，对每种工具可检测缺陷类型，检测的准确性以及可能漏检或错误判断可能性的了解，则是ECDA过程中工具的正确选择、结果解释的关键因素。

针对ECDA的实施过程，对埋地钢质管道外防腐层地面检测及评价技术应用效果的评估和验证有着非常有意义。这些工作表明，针对防腐层破损和腐蚀损伤等方面，在管道路由的地面上进行检测和定位是可行的。由他人进行的验证结果也已经得出类似的结论。本报告在不同方法的准确性和分辨能力的研究验证，是集中在管道防腐层缺陷和管体腐蚀的地面非开挖检测上的。

二、技术背景

当前，埋地管道外防腐层的非开挖检测及评价技术包括如下几种方法：

直流电位梯度 (DCVG)：管道上方地面上近间距电位梯度的调查，是采用两个硫酸铜半电池作为测量电极，通过电流断流器对施加在管道上的阴保电流进行定时通断。同时，在管道上方地面以1.5米左右的电极间距进行测量，测得地面上的电流方向、两个探针之间的电位差大小与防腐层的缺陷大小和位置有关。

交流电位梯度 (ACVG)：典型的管线仪在进行检测时要在管道上施加一个交流的检测信号。进行ACVG检测时，所施加的交流信号在管道上的衰减程度，会与防腐层的完好状态以及存在的缺陷大小相关联。ACVG与DCVG的基本差异就在于在进行ACVG调查时，信号发射机给管道施加的是交流检测信号。

皮尔逊 (Pearson) 检测：在信号电流沿管道的金属管体传输的过程中，管体中的

交变电流会通过防腐层的缺陷点流入到土壤中。当泄露的交流信号通过接收机转变成音频信号时，调查者就可以通过耳机来监听到电流泄露的现象，进而探测出防腐层上存在的破损并将其定位。

管线电流测绘仪 (PCM)：英国雷迪公司 (Radiodetection) 的专门用于管道防腐层检测的仪器PCM，采用“近直流”的检测信号(4Hz)，来模拟由阴极保护系统发出直流阴保电流在管道上的传输情况，集成了数据记录功能的接收机在地面上沿管道以某种间距进行管中电流的测量，所测得的电流发生异常衰减时，对应的位置可能存在着防腐层的缺陷。同时，在绘制出信号电流对应检测距离的电流衰减曲线可以反映出防腐层在每段管道上的平均完好状况。

C-扫描 (C-Scan)：C-Scan交流电衰减测量系统的基本原理是利用管道与测量天线之间的电磁感应耦合效应，在管线沿途每一个测量点上，测量管道内保留信号电流的强度。利用这些数值，在这些测量点之间可以计算出每个点与它相邻前一个点之间的信号衰减率，进而得出点与点之间每段防腐层状况的平均指示数值。理论上讲，这些衰减数值与检测过程所施加的检测电流强度无关，是防腐层完好状况的指示指标。在无需进行每米的检测条件下，给出该段管道的防腐层是否存在缺陷的清晰指示。

密间距 (CIS, CIPS) 电位检测仪：一般不将其划归为防腐层的检测评价工具，而是作为阴极保护效果的评价工具。但是，CIPS检测数据也可用在防腐层状况的评价上。CIPS是在管道路由上，以规则的间距对施加了阴极保护的管道进行管-地电位的测量。当检测到未达到足够保护电位的点(或管段)，可能是在管道上存在有防腐层破损点，其原因是该处防腐层的缺陷过大地消耗了保护电流。

从检测方法的技术原理上，DCVG, ACVG, 和皮尔逊法可以统一划分为地电位梯度技术的范畴，而PCM 和C-scan则可划归为电流衰减技术的范畴。下面对它们的操作原理进行简单的描述。

地电位梯度技术 (DCVG, ACVG, Pearson)

地电位梯度检测方法的原理是在管道与大地之间强制地供入一个交流的电信号 (Pearson和ACVG) 或直流电 (DCVG)，在地面上检测防腐层漏点附近的地面电位变化。

在Pearson检测中，两个人组成的检测组以10米左右的距离，一前一后沿管线路由在地面上行走。每个检测员的脚上穿有一对于地面易于导电的金属底板，这样检测仪就可以测量相距10米的两人之间的电位差。该信号经放大后可以在检测员的耳机中听到，也可以在仪表面板上显示出来。当接近一个防腐层漏点时，可以观察到信号强度的升高，当前一个人在漏点上方时，信号达到最大值。当后面的检测员走过同一位置时，仪器会检测出另一个信号的最大反应。

英国雷迪的PCM检测仪是通过一个叫“A字架”的附件在管道地面上来完成电位梯度的检测 (ACVG)。检测时将A字架的钢质探针插入土壤中进行电位差得出读数。如

果临近位置存在防腐层的破损点，则接收机的面板上会显示一个以dB毫伏的数值以及指向破损点的方向箭头。操作者沿着箭头指示方向以大约两米的间隔继续检测，直到面板的箭头反向指示，表明此时A字架的位置已经跨过破损点。为了测定破损的严重程度，则可将A字架转向90度使其与管道走向呈垂直状态，在破损点上方距离管道3米左右的位置以1米的间距进行重复读数，记录所测得的最大读数，它就代表该破损的严重程度。

进行DCVG检测时，对已施加阴极保护，或对未施加阴保通过建立临时直流电流源的方法给管道施加DC电流，并通过对电流源串入断流器的方法中断该DC电流。电流会从阳极地床处流向地下的金属结构，并在防腐层破损点附近的土壤建立了电位梯度。在管道上方的地面，通过连接了两个半电池电极（CSE）的毫伏表可以测得这个电位梯度，进而对破损点进行定位和评价破损的大小。

AC 电流衰减技术(PCM及C-SCAN)

当电流施加到一个具有完善防腐层的管道时，电流会沿管道向前传播，并从电流的供入点开始随着距离的增加而有规律地衰减，这就叫“电流衰减”。见下图1。

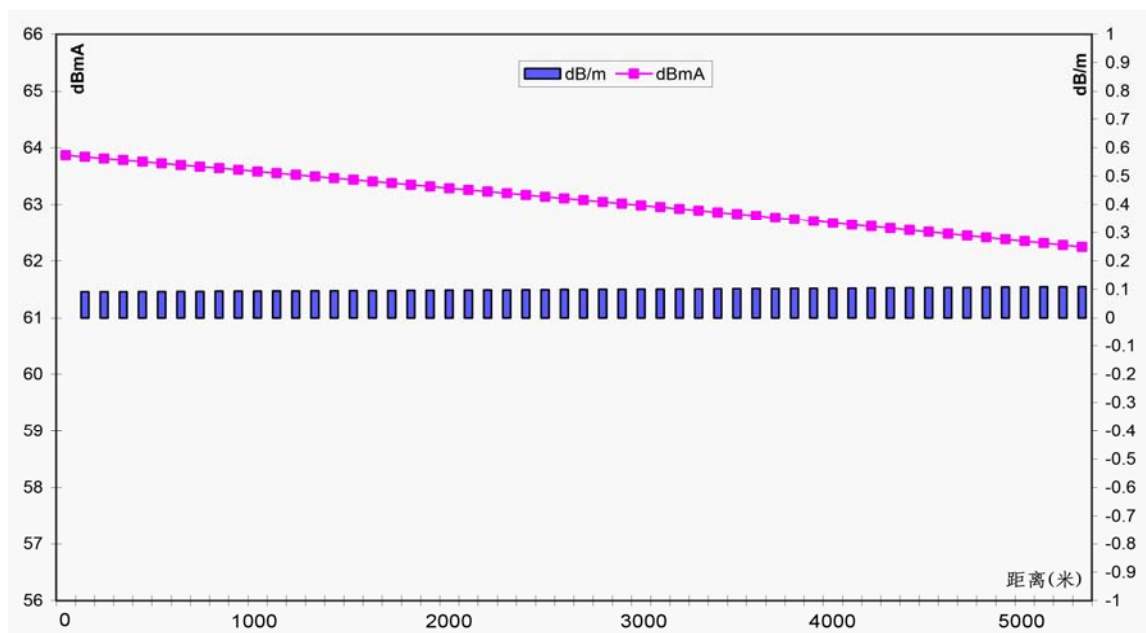


图1：带有良好防腐层管道的电流衰减情形

管道上的信号电流衰减变化呈指数衰减规律。为了方便，可将电流的毫安单位换算成毫安分贝（ $\text{dBmA} = 20 \times \lg(\text{mA}) + K$ ）。在理想的管道上，对应管线的检测距离，所测得的毫安分贝电流则为一条直线。电流衰减率（交流电位梯度法中称之为 Y 值）可以每米上毫贝的下降值 (mB/m) 为单位。如上图1所示，理想防护管线上的电流衰减率是一个常数，它与管道的物理参数有关。参数包括：管径、壁厚、防腐层的介电常数以及检测交流信号的频率等等。

当防腐层存在缺陷时，其介电常数就会发生改变。检测出的电流衰减率也会产生

相应的变化，此时在缺陷处可以检测到一个电流的陡降，如图2所示。图中给出了在一个管段上因防腐层缺陷而导致的管道电流衰减的曲线示例。

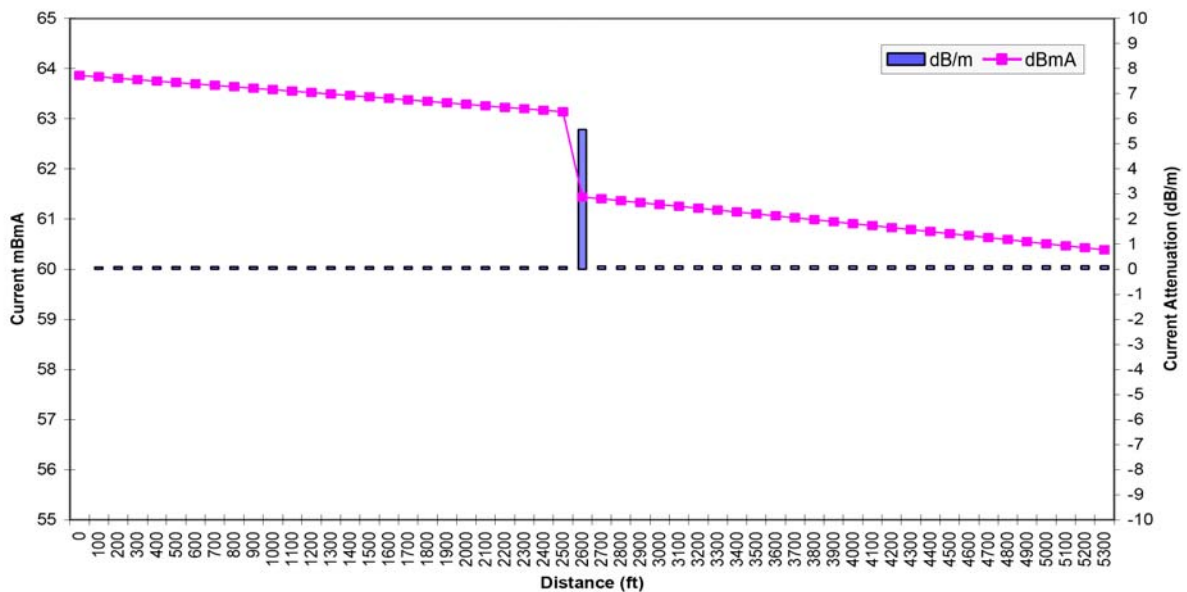


图2：防腐层破损点导致电流衰减的示例

埋地管道电流衰减检测仪是通过测量由管道辐射电磁场的强度，来间接测得管中电流的。进而通过单位管道上两点的电流差来计算电流衰减率。地面上任何电磁场畸变都会导致电流读数的误差甚至测量错误。在图1、2中的示例给出的是没有任何干扰的理想状态下管道电流变化曲线。然而，在现实的检测工程中测得电流衰减会受到很多因素的影响。这些因素可能是：

- 管道防腐层缺陷的存在
- 目标管线附近地上地下的金属构筑物
- 管道附近的AC动力输送线
- 阴极保护系统的地装置，阳极地床等的干扰
- 其他设施（电流发射机的接地装置的不适当布置）

对于电流衰减法检测结果的正确解释，依赖于检测人员对仪器操作原理的正确理解，以及对仪器及方法局限性的必要了解。

在实际的防腐层评估过程中，电流衰减法的检测工具一般用来评估埋地管道每百余米长的单位管段上防腐层的平均完好状况（就像C-Scan检测过程的操作方法一样）。当检测的间距过小时，电流衰减的读数可能会因为电流值会随着距离的变化而变化，表现得不够稳定。正如图3中所示的那样，电流衰减的曲线具有一定的随机性，这种正负变化的偶然性除了认为是由于管道上方电磁场不稳定（各种干扰因素）之外，没有其他的合理解释。此外，该电磁场还会受到从防腐层破损点处流出电流的干扰、以及管道陡然的弯曲和深度变化等结构因素的影响。所有这些因素都可能导致地面上电磁场的畸变，从而导致测得管道中等效电流的测量误差，进而使得在反映防腐层状

况的电流衰减数值出现偏差。

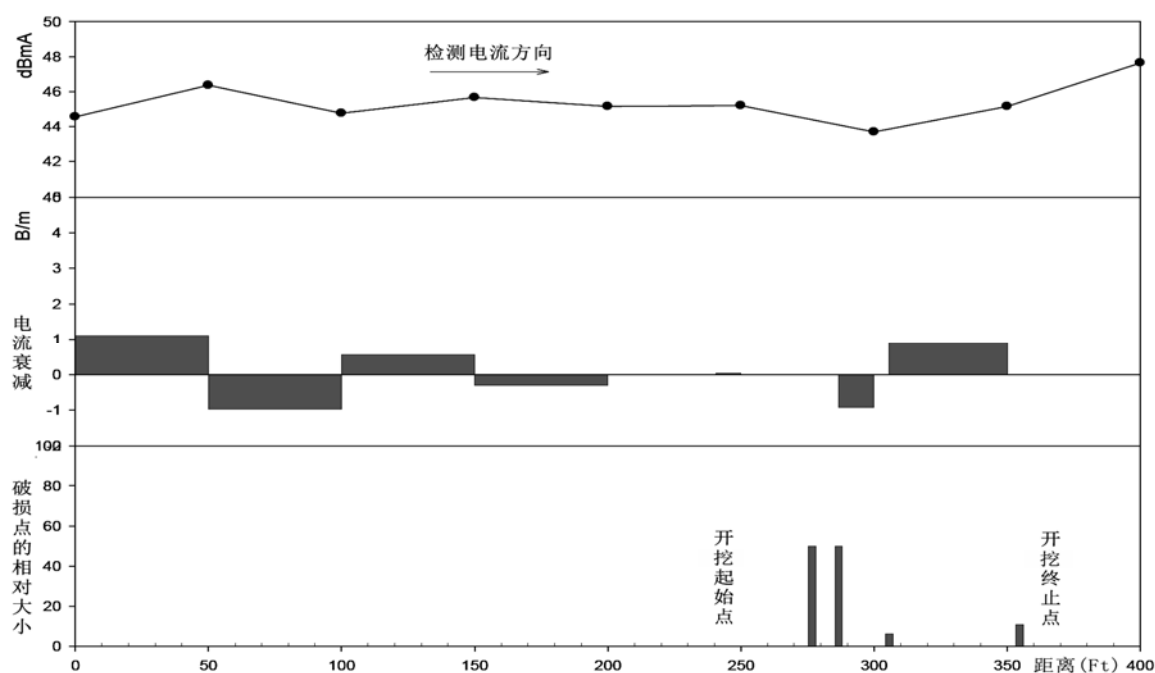


图3: 使用PCM以50英尺间距计算的电流衰减结果曲线

从下图4中可以看出，若采取150英尺的间距计算方法，所得到的电流衰减率的结果则比上图3 采用50英尺的结果要稳定的多。

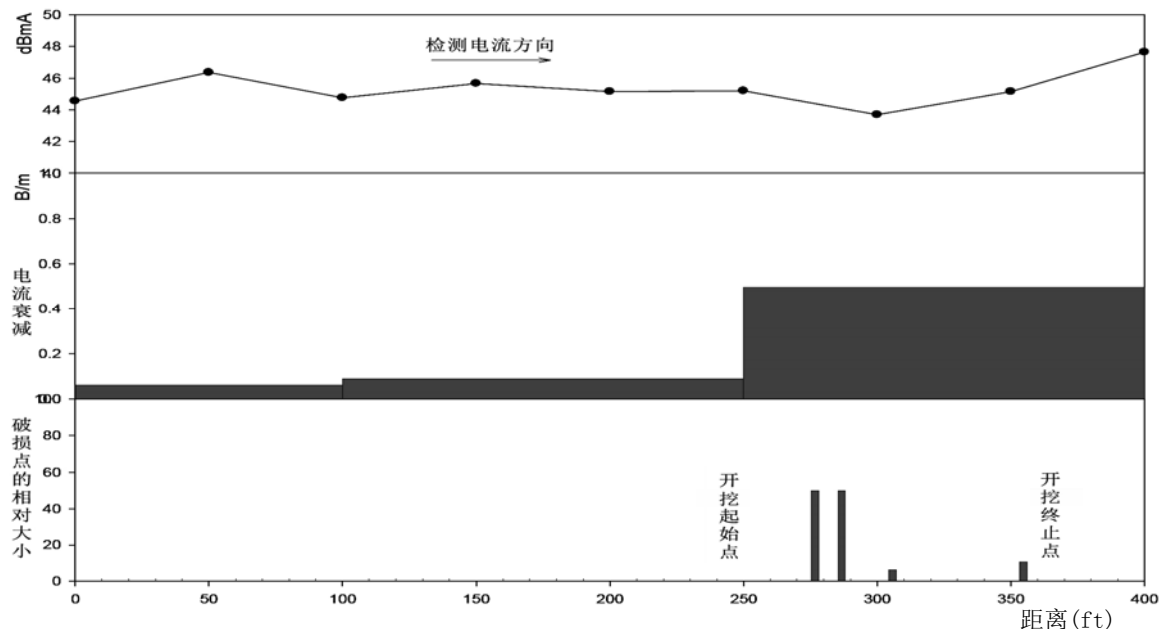


图4: 使用PCM以150英尺间距计算的电流衰减结果曲线

检测设备的制造商推荐，在未知防腐层状况的管道进行检测时，应采用可能的最小检测间距。电流衰减法检测工具在以很小间距对防腐层状况进行评估时，也可以对防腐层的漏点进行定位（10米范围），只要除了因漏点存在电流的泄漏外，此次处管道周围的感应电磁场没有其他的电磁干扰即可。

三、对比验证的目标

本次对比验证的目的是，对典型的埋地钢质管道ECDA工程中地面检测工具，在变化的空间关系和地理条件下的漏点及剥离等缺陷的准确性、分辨率和局限性做出对比分析、判断和验证。这项工作的具体任务是：

1. 采用至少四种不同的地面检测技术，完成对三条埋地管线上的选定管段进行外防腐层的检测。
2. 将每种检测结果与开挖后的直接肉眼的防腐层缺陷检查进行对比。

基于直接对已经确定和进行缺陷尺寸测量的视觉直观检查结果，与采用各种测量方法的偏差（或遗漏的缺陷）结果进行对比，得出对应检测方法有效性的评价结论。

四、验证的实施过程

检测管段的选择

对比验证的三个检测管段有如下的管段特征：

- **防腐层的类型：**两个管段的防腐层为沥青防腐层；第三段为煤焦油磁漆。
- **已知的防腐层状况：**基于历史数据，第一段已知防腐层状况很差，第二段防腐层状态相当完好，第三段上被认为存在着分散的防腐层破损点。
- **土壤条件：**第一管段埋设在多石的管沟内，且土壤为特湿的条件；第二段管道则是粘土/壤土/白垩混合土壤条件；第三段管道的土壤主要为粘土类型。
- **相邻其他管道的情况：**两段管道为跨越乡村的管线，第三段管道穿越市区/商业区的管线，32吋、22吋的管线沿途部分有6英寸管道同沟铺设。

进行的DCVG, ACVG, 及PCM 检测时间是：在2004年秋季对南卡罗莱纳州，2005年夏季在维吉尼亚州分别进行。C-Scan检测则是在同一地区内同样的管段上进行的，只有维吉尼亚的管段是与皮尔逊法检测同时进行的。对进行对比检测管段及区域的选择是基于前述的管道及环境特征。而最终的管段选定则还考虑了所选管段能否在进行验证时，管道是可以能够进行开挖这一因素。也就是，对管段进行及时开挖，且不能干扰管道的正常运行或与运行上的限制规定相冲突。

在完成对所选管段的检测之后，按事先排定的时间表，对要开挖管段进行开挖操作，并测定了发现缺陷的位置和大小。三个不同地点的其中两个分别进行了开挖过程。

管道特征

第一个地点的128英尺长管段的埋设环境是潮湿、多石的土壤，地处靠近南卡罗莱纳的Spartanburg，管道直径是24英寸，使用沥青瓷漆(Asphalt Enamel)防腐层。

第二个地点有两段独立的开挖段。长度分别为203英尺和 125 英尺，中间有大约500英尺的不开挖管段分离开来。这部分管线的铺设环境是粘土/壤土/白垩的混合型

土壤，24英寸直径的管道使用的是煤焦油瓷漆。距离第一个开挖点大约10英里，靠近南北卡罗莱纳州的边界。

第三个地点坐落在维吉尼亚州。两个管段，一段直径是22英寸，另一段直径是32英寸。两段管道都有一条六英寸的管道伴行，大约相距2-3英尺远。随后对两个管段都进行了开挖，一段100英尺长，另一段 203 英尺长。

每个管段的直观检查用了超过24小时的时间。首先，对已经实施了地上检测的指示点实施了肉眼直接检查。之后，对开挖段进行防腐层剥离和漏点的检查，并对检查结果分类和照相。以此方法，使肉眼的检查结果不至于与其他点上的特定的检查结果相混淆。

检测过程

对于检测工作，关于管线的可用参考信息是每年的管道密间隔 (CIPS) 的检测数据以及对阴极保护 (CP) 运行检测数据。上两类检测都是由他人完成的，基于对测试段的检测数据、阴保测试桩以及 DC 电流输出等数据的分析，确定了要进行工作的管段。表1给出的是检测管道相关的汇总信息。

为了取得每种检测技术的良好检测结果，试验了几种设备发射机的不同设置，找出了可用于检测的最好仪器配置。

表1. 检测管段数据汇总

检测点	防腐层类型	管道 ID 号	管径 (英寸)	管段长 (英尺)
1	沥青磁漆 (Asphalt Enamel, AE)	N4	24	128
2a	沥青磁漆	N4	24	203
2b	沥青磁漆	N4	24	125
3a	煤焦油磁漆	Line 4	32	100
3b	煤焦油磁漆	28A	22	203

管线定位，管道埋深，PCM 和 ACVG

对管线的路由定位是采用英国雷迪的管线电流测绘仪 (PCM) 来完成的，探测模式是使用ELF (Extra Low Frequency) 信号模式。发射机的信号输出线分别连接在管道和地极上，并设置成足够的PCM 电流输出。检测过程中按10英尺的方便间距、对每个检测点有插上标志小旗，每个标志旗进行编号。每50英尺的距离测定并记录管道的埋深。每个小旗处测定并手工记录该处的PCM电流大小和信号的方向(图5)。

跟随着PCM的检测，采用PCM的附件A字架进行了ACVG的检测。此时的检测电极是按管道路由的平行方向布置的(图6)。当在PCM的仪器面板上观察到管道防腐层的漏点指示（信号方向指示箭头反向）时，该漏点的严重程度采用A字架在接近漏点和离开漏点过程中的最大强度的分贝值来表示。漏点位置采用距离最近的标志小旗的距离来表示。检测过程中将这些检测数据同时做了手工记录。



图5: PCM检测



图6: ACVG检测

DCVG 检测过程

在进行DCVG检测时，在阴保电流源上安装一个DCVG电流断流器，使整个管段上有充足的检测信号。在检测管段上下游的两个测试桩来检验信号的强度。当DC信号不足够强时，则要升高阴保设备的电流输出来使整个管段有充足的检测信号强度。

操作人员携带DCVG接收机，手持探杖沿管线路由向前行走，观察DCVG接收机面板上指针摆动的大小，并追寻模拟表针的指示方向(如图7)。当观察到指针的一个反方向偏转，此时检测人员应向回走，直到再重新看到那个指针的反方向偏转。在该点的位置，操作者以与管线路由成 90° 的方向重复此过程。当两个垂直的检测方向都能找到表针的反向偏转时，将两个最大信号偏转点连线交叉，交汇点的位置就是DCVG的指示点，称为破损中心点(epicenter)。记录指示点距离最近的标志小旗的距离。之后在破损点周围记录垂直四个方向上的探杖固定距离上的表头指针偏转指示读数。这些读数给出了防腐层破损的形状。漏点相对于远地点的电位梯度可以通过从破损中心点开始，连续的电位梯度测量，直到测不出数值的远处的电位梯度数值之和来取得。在记录本上记下电位梯度的数值。



图 7: DCVG 检测

在完成破损点的读数和记录后，检测人员以开始时小的间距向前继续检测，直到再一次发现前述的表头指针反向偏转。重复上述过程，直到整个管段测完为止。

PEARSON 法检测过程

将信号发射机(音频电信号振荡器)在靠近要检测管段的测试桩附近,将标有“PIPE”的连线通过阴极保护测试桩的接线端接到管线上,另一标有端“GROUND”的连线与临时的接地极相连,构成导电回路供入检测信号。接地极要在与管线垂直方向30米的距离外设置。

12伏的电池连接到信号连线回路内,输出电压选择器设置在2.5伏的位置上,将精细调节钮放置在最大位置上。将中断器置于“断”的状态,打开电源开关。调整输出电压选择器增大输出电压,使得LED指示灯变红,之后调整精细调节钮,使得LED指示灯由红变绿,表明此时的音频电信号输出频率是适当的。最后,将中断器置于“通”的状态。

连接好接收机,调节好接收到的音频信号,两个操作员沿管线一前一后进行检测(见图8)。在信号最强的位置处于两个操作员的中间位置时,减小操作员之间的距离以便更精确地定位信号指示点。将缺陷点距离最近的标示小旗的距离记录在数据记录本上。



图 8: Pearson 法检测

C-SCAN 检测

将C-Scan发射机放置在靠近要检测管段测试桩的附近,通过阴极保护测试桩的接线端和临时的接地极构成导电回路供入检测信号。这样,在管道上建立起可供检测的电磁信号。检测的间隔根据管段的长度来确定。使用C-Scan的接收机通过测定每个间距上的电流衰减测定间隔内的防腐层平均电导(如图9)。对管道进行了密间隔电流单一测量(Close Interval Current Only Survey, CICOS)来确定检测管道中是否包含有局部管段内的防腐层性能变差或电流信号异常衰减。



图 9: C-scan 检测

使用C-Scan 信号接收机沿管道路由很小间距内(3米),测定管道上保留的电流值

来完成对管道的CICOS检测。检测结果可以通过绘制以检测距离为横坐标的电流曲线的方式加以表达。

检测工具的参数设置

表2给出了每种电位梯度检测工具的参数设置。表3给出了每种电流衰减法检测工具的参数设置。Pearson检测设备在1, 2现场进行检测时不能使用。

表2. 电位梯度类检测的参数设置

现场	DCVG			ACVG		PEARSON		
	信号强度 mV		DC信号					
	起始点	终止点		信号供入点	电流输出(A)	供入点	电压输出(V)	精细调整
1	232	226	CP 整流器	CP 整流器	1	未做检测	未做检测	
2-a	790	760	CP 整流器	CP 整流器	1	未做检测	未做检测	
2-b	615	600	CP 整流器	CP 整流器	1	未做检测	未做检测	
3-a	182	184	CP 整流器	CP 整流器	2	测试桩	100	30%
3-b	125	113	CP 整流器	CP 整流器	2	测试桩	100	90%

表3. 电流衰减类检测的参数设置

管段号	C-SCAN		PCM	
	信号供入点	电流输出	信号供入点	电流输出
1	不能检测	不能检测	CP 整流器	1
2-a	CP 整流器	600	CP 整流器	1
2-b	CP 整流器	600	CP 整流器	1
3-a	测试桩	336	CP 整流器	2
3-b	测试桩	105	CP 整流器	2

直观的视觉检查

在完成地面技术对管道的检测之后，对管道实施直观的视觉检查。具体过程是：

1. 根据已经取得的检测数据，对开挖的管段起始和终止位置进行确认。在其中的几个现场，由开挖人员直接在管道上标出开挖的起止位置。在另外的现场，直接使用地面标志物作为开挖的参考点(围栏，测试桩等)。
2. 使用测距轮沿管道路由测量距离，用石灰粉在管道上标出测量所用位置。
3. 检测过程中仪器指示的故障点用石灰粉直观地标出位置，测量和照相。
4. 之后在管段上进行第二次直观检查，以区分地面检测时的仪器指示与直观缺陷点的差异。

没有采用防腐层漏点检查设备来验证已查出漏点的连续性。在多数的现场上，防腐层的缺陷点都是用便携式刀具进行验证的，目的是检查防腐层的破损点处的腐蚀产物的底下防腐层的剥离情况。

五、检测结果

进行地面检测的现场以及之后的开挖情形均在图10-13中得以说明。表4给出的是关于整个检测数据（表5-7）的数据解释说明。



图10: 现场#1 (a) 开挖前 (b) 开挖后

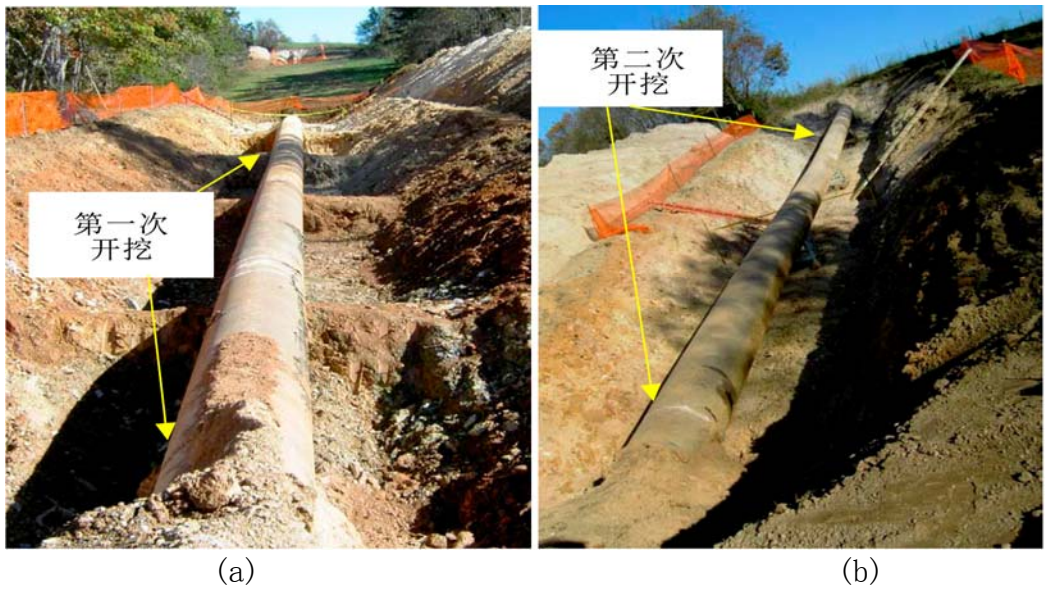


图11: 现场#2 (a) 第一次开挖 (b) 第二次开挖



图12: 现场#3, 第一次开挖(a) 检测中 (b) 开挖后



图 13: 现场#3, 第二次开挖(a) 检测中 (b) 开挖后

表4. 表5-7 内的数据描述

参考	距离开挖桩 1 的距离	DCVG		ACVG	PCM	C-SCAN
		%IR ¹	环向位置	dB ¹	mA	μS/m ^{2 3}
指示点 编号	距离开挖桩的距离 (英尺)	0-15 = 破损轻微	破损在管道上以模拟表盘指示的方位	<50: 很小指示	沿管道路由进行的电流检测。 两点之间大的电流流失意味着大的防腐层漏点。	防腐层质量
		15-35 = 可以推荐维修		50-60: 小的指示		
		36-70 = 推荐维修		60-80: 中等指示		
		70-100 = 立即维修		81-100: 大指示		
¹ From proposed NACE standard on Aboveground Survey Techniques for the Evaluation of Coating Faults						
² From NACE RP 0502, Pipeline ECDA Methodology						
³ From NACE TM 102, Measurement of Protection Coating Electrical Conductance on Underground Pipelines						

表5. 开挖点1的技术对比 (C-scan未能进行)

参考	距离开挖桩1的距离	DCVG %IR	环向位置	ACVG dB	PCM mA
开挖桩1	0				
指示点 1	36	60	5-7	56	
指示点 2	46	63	5-7	56	182
指示点 3	65	65	5-7	52	153
指示点 4	114	59	5-7	55	181
开挖桩2	128				

表6. 开挖点2 的技术对比

(a) 第一次开挖

参考	开挖桩1的距离	DCVG		ACVG	PCM	C-CAN
		%IR	环向位置	dB	mA	$\mu\text{S}/\text{m}^2$
开挖桩1	0					
指示点2A-1	1	27	5-7	80	411	197
指示点2A-2	12	35	5-7	78	411	197
指示点2A-3	23	41	3-9	79	411	197
指示点2A-4	33	N/a	N/a	75	409	197
指示点2A-5	103	32	5-7	81	411	197
指示点2A-6	115	35	5-7	75	411	197
指示点2A-7	128	31	5-7	72	411	197
指示点2A-8	154	36	5-7	76	411	197
指示点2A-9	175	38	5-7	82	150	197
开挖桩2	203					

(b) 第二次开挖

参考	开挖桩3的距离	DCVG		ACVG	PCM	C-CAN
		%IR	环向位置	dB	mA	$\mu\text{S}/\text{m}^2$
开挖桩3	0					
指示点2B-1	56	29	5-7	79	404	3.88
指示点2B-2	61	44	5-7	73	402	3.88
指示点2B-3	91	27	5-7	73	386	3.88
开挖桩4	125					

表7. 开挖点3 的技术对比

(a)第一次开挖

参考	距离开挖桩1的距离	DCVG		ACVG	PCM	C SCAN	Pearson
		%IR	环向位置	dB	mA	$\mu\text{S}/\text{m}^2$	
开挖桩1	0						
指示点3a1	5.6	48.74%	12	-	800	1260	指示点
	6.8	N/A	12	76.0	800	1260	-
指示点3a2	44.0	51.31%	12	76.0	800	6573	-
指示点3-3	50	N/A	N/A	N/A	633	6573	指示点
开挖桩2	100						

(b) 第二次开挖

参考	距离开挖桩3的距离	DCVG		ACVG	PCM	C SCAN
		%IR	环向位置	dB	mA	$\mu\text{S}/\text{m}^2$
开挖桩3	0					
指示点 3b-1	101	42.88%	12	62	74	162
指示点 3b-2	115	38.92%	12	61	84	162
指示点 3b-3	120	N/A	N/A	N/A	52	162
指示点 3b-4	131	N/A	N/A	N/A	80	162*
开挖桩4	203					
*从密间隔电流单一测量 (CICOS) 得到的指示点						



图14：现场1-3,漏点位置的防腐层检查图

六、技术讨论

视觉的直观检查

在对所有被测试的管段进行直观检查的过程中,难免在某些情况下可能被表面现象所迷惑。每个显而易见的破损点的存在,并不能说明在检测期间每个破损点都有电流的衰减。这类破损点都非常小并且没有出现管体裸露现象。当移除一些老化的防腐层,可以看到一些石灰质的附着物在钢体上,这是由于管线存在阴极保护电流而产生的,这个点不能算是直观上的破损点。

在直观检查的过程中,利用破损点探测仪检查破损点可能会产生不同的结果,因为裸露的钢铁可能没有接触到土壤。这种情况从图15中加以说明。

地下水可能通过防腐层破损的空隙渗到了管道钢体的表面,并且在直观检查期间仍然存在。防腐层中存在着导电通路,是地面方法检查出破损点所必需的条件。这种现象普遍存在于沥青瓷漆和煤焦油瓷漆的管线防腐层上。

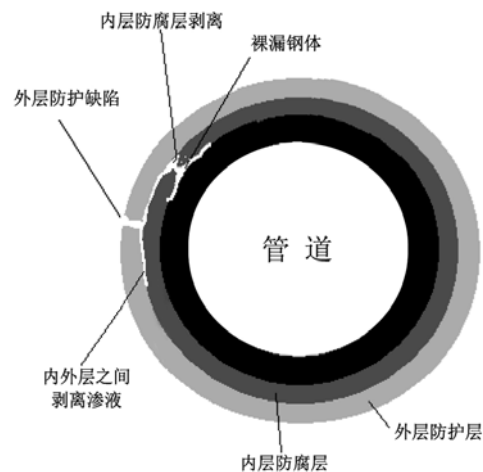


图15：两层防护层的缺陷通常构成示意图

检测数据

表8和9是每种检测方法分别在全部被测管线上测量结果的对比。图17中概括了总体检测部分结果,在此基础上确定了开挖的管段进行直接检查,所有的单项检测结果最终经过开挖验证。

PCM检测适用于大范围的防腐层剥离的检测,如图17中第一张图所示。而DCVG和ACVG在这些地点的检测指示显示为多个破损点而不是大面积的防腐层剥离。除了这个例子,PCM在不确定的管线走向的情况下,只能提供不明确的数据。PCM对检测点2a和2b的检测时,都是每50英尺间距读取数据,电流的衰减并不能说明有破损点的存在。

C-Scan检测方法与PCM类似。在管线开挖期间,C-Scan对防腐层的分级预测与实际防腐层等级是不一致的。防腐层等级评定为“优”的管段,实际上还是存在着防腐层破损点的。

此外,PCM和C-Scan可以检测出电流的衰减速率(mB/m),但是不能以此直接来准确判定防腐层等级和确定它们之间的关系。然而,在测试管段3a时,用PCM检测报出了两个破损点,而用C扫描的密间隔电流测量模式检测该管段也给出了一个缺陷指示,其它检测方法没有能够给出指示,开挖的直接检查则验证了破损是真实存在的。

DCVG和ACVG检测提供了非常类似的数据,而DCVG在判断防腐层破损点尺寸方面比ACVG要好一些。ACVG检测不能在特定的土壤中建立裸露钢体面积与检测信号指示之间

的比例关系,所以估算破损点的尺寸是较为困难的。这两种方法都能够很好的对防腐层破损点进行定位,但在确定破损尺寸方面还需要进行改进。虽然这两种方法提供较为准确的缺陷定位数据,但对于长管线检测来说,利用这两种方法检测比C-scan和PCM检测要复杂的多。

DCVG方法是根据 %IR 数值来计算出防腐层破损点类别的,验证过程的检测结果与开挖验证的破损点类别是一致的。然而,利用%IR并不能给出检测钢体暴露在土壤中的面积与信号指示之间的比例关系。出现这种偏差的原因可能是由于在两个测试桩之间信号线性衰减的假设与实际情况存在着较大的偏差;当两个测试桩之间距离更大,或防腐层性能很差时,则结果的一致性比预计的还要差。这种情形在测试管段2上表现的更为明显。

皮尔逊法检测相对于其他检测方法则是效果最差的。在第二段管线的检测中,它没能找出一个破损点,且结果与其他技术非常不一致。显然,最新的地电位梯度技术是在皮尔逊技术基础上的改进和提高。虽然破损点的定位在某些情况下会偏差几米。但是不会出现误报现象。这些都是经过开挖验证得出的结果。即便在没有清晰可见的缺陷指示下,也可能发现腐蚀产物。

图18是各种检测技术检测防腐层破损点估算的尺寸和直观检查的结果对比。从这些图可以看出DCVG检测的准确性是最高的;ACVG往往会过高的估算破损点的尺寸,并且很难区分破损点的不同。电流衰减PCM和C-scan技术给出的多是“全有或全无”现象,表明防腐层不是很好就是很差,处于中间状态的则很少。

管段1的防腐层大面积剥离被所有的检测员所低估了。虽然PCM和C-scan测量结果比较精确,但是对于这种检测需要有足够大的信号强度,这也是这类仪器的弊端。当然也可能是由于防腐层的粘结力太差,开挖的时候造成防腐层与管体剥离。而之前防腐层可能是完好的。还有另一种可能性使得开挖的验证不能百分之百地可信。也就是说,检查出的漏点也可能有在开挖过程的不当操作造成的。在检测出现负向脉冲指示的情况下,管道上也发现了非常小的破损点,且在管道环向上仔细搜寻才能找到,并不是一目了然。而在这些小的破损点下面也发现了石灰质的腐蚀产物。这可能是一个或多个可能性造成的:

1. 破损是在开挖过程中由铁铲或挖掘机造成的。
2. 防腐层破损真实存在防腐层比较好的管线上,防腐层剥离的位置腐蚀产物和电流的流失量都非常小。
3. 破损点是最近才形成。所以防腐层剥离、腐蚀产物和电流的流失量都还没有达到一定的水平,这个破损是不易检测到的。
4. 破损点被附近其他的大破损点所掩盖,很难确定。
5. 若在检测中破损点附近的土壤干燥,检测电流的流失量会很小,较难检测。

表8. 电位梯度检测的性能总结

	现场编号#	1	2-a	2-b	3-a	3-b
特性	长度(英尺)	123	203	125	100	210
	管径(英寸)	36	36	36	22	32
	防腐层类型	沥青磁漆	沥青磁漆	沥青磁漆	煤焦油磁漆	煤焦油磁漆
DCVG	报告的检测信号指示	4个指示点	8个指示点	3个指示点	2个指示点	3个指示点
	指示的大小	全部指示归入分类3 推荐维修	2 个指示归入分类3 推荐维修; 6个指示归入分类2 可以推荐维修,	1 个指示归入分类3 推荐维修; 2个指示归入分类2 可以推荐维修,	全部指示归入分类3 推荐维修	2 个指示归入分类3 推荐维修; 1个指示归入分类1 一般不推荐维修,
ACVG	报告的检测信号指示	4个指示点	9个指示点	3个指示点	2个指示点	3个指示点
	指示的大小	指示强度以分贝 (dB) 给出 全部指示在52至56 dB之间	指示强度以分贝 (dB) 给出 全部指示在72至82 dB之间	指示强度以分贝 (dB) 给出 全部指示在73至79 dB之间	指示强度以分贝 (dB) 给出 全部指示为76 dB	指示强度以分贝 (dB) 给出 一个指示为46dB 其余指示在61至62 dB之间
PEARSON	报告的检测信号指示	不能检测	不能检测	不能检测	2个指示点	无指示点
	评论	该现场未应用	该现场未应用	该现场未应用	无分类方法可应用	无指示

表9. 电流衰减法检测的性能总结

	现场编号#	1	2-a	2-b	3-a	3-b
	平均电流衰减	不能检测	1. 79	0. 10	9. 23	1. 41
C-SCAN	防腐层 状况分类	不能进行检测, 因为发射机不能提供足够的检测信号	197 $\mu\text{S}/\text{m}^2$, 归类为“良级防腐层”(1), 没有进行近间距电流检测	3. 88 $\mu\text{S}/\text{m}^2$, 归类为“优级防腐层”(1), 没有进行近间距电流检测	6573 $\mu\text{S}/\text{m}^2$, 归类为“差级防腐层”。以10英尺间距进行近间距电流检测。在距测试桩40-50和70-80英尺的位置有单一漏点指示。最差的防腐层段在40-80英尺区间管段的最强信号指示上。	166 $\mu\text{S}/\text{m}^2$, 归为“差级防腐层”。以10英尺间距进行近间距电流检测, 得到3个漏点指示。其中2个为“整个管段防腐层性能下降”。一个是从测试桩开始的10英尺长度; 第二个从测试桩140英尺的长度10英尺管段。第三个位于距离测试桩165英尺的位置, 为“单一漏点”。
PCM	平均电流衰减 (mB/m)	4. 08	0. 00	0. 66	1. 17	3. 34
	近间距 电流读数	以50英尺的间距进行检测; 距离测试桩大约60英尺的位置有1个漏点指示	以50英尺的间距进行检测; 在距离测试桩大约150英尺的位置有1个漏点指示	以50英尺的间距进行检测; 未检出漏点指示	以10英尺的间距进行检测; 在距离测试桩大约50英尺的位置有1个漏点指示, 为最强的信号指示	以10英尺的间距进行检测; 在距离测试桩大约10、30、50、70、100和120英尺位置有漏点指示, 其中120为最强信号指示

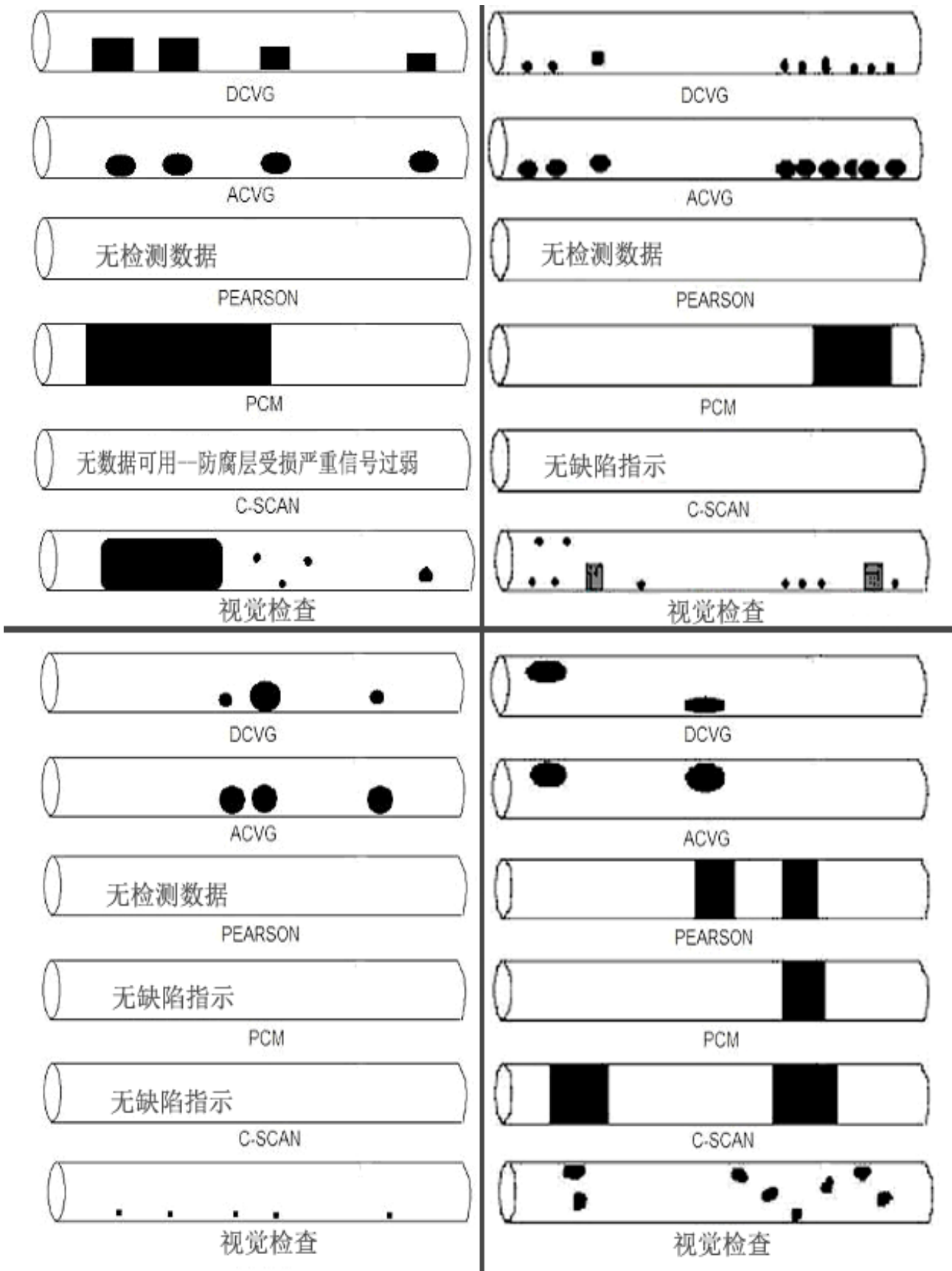


图17: 1-3 位置的检测结果对比图

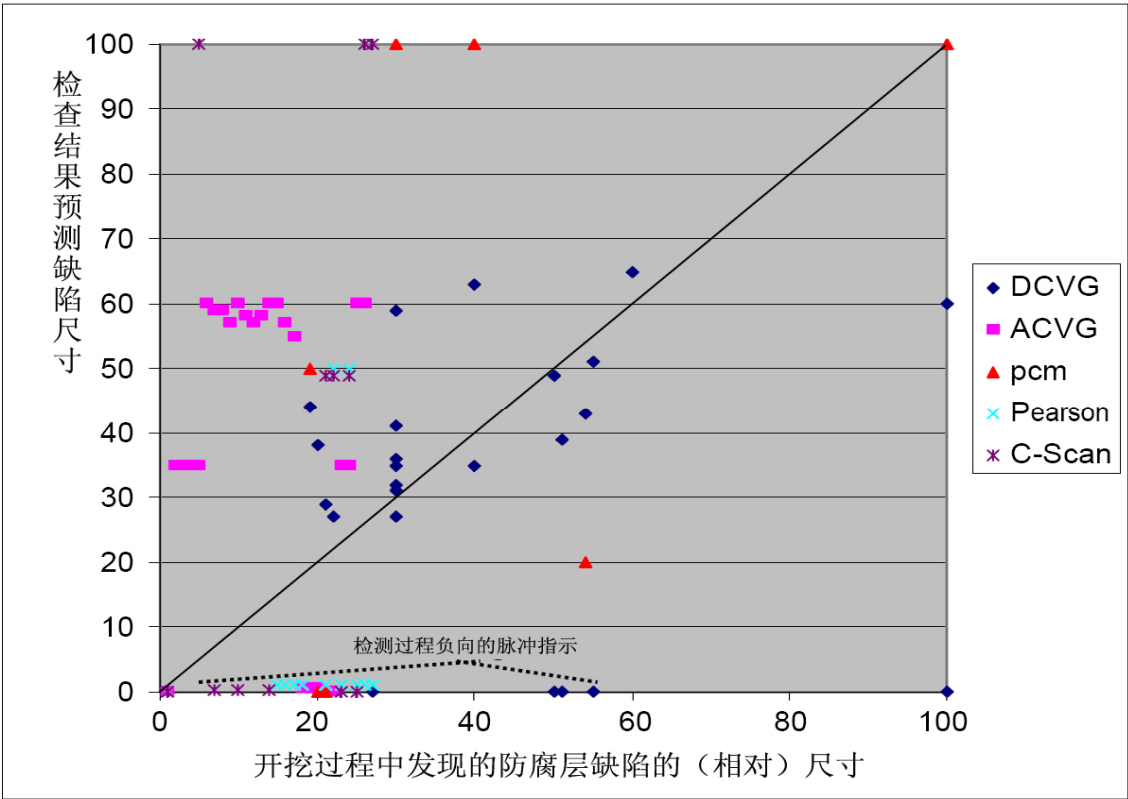


图18：每种技术在缺陷检测方面的性能对比图

七、结论

在对管道防腐层的检测对比中发现：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能够对管道的“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对独立的破损能够很好地定位。Pearson法的检测效果最差。因而，如果有其他方法可用的话不推荐只使用这种技术。

对于防腐层地面检测技术的具体应用情况有如下的结论：

- 以mB/m为单位计算的防腐层平均电流衰减数值，在实际管道维修工程中，并不能为确定需要开挖的管段提供有价值指导性的信息。
- 应用电流衰减法时，两组电流数值的间距会直接影响着结果数据的有效性。
- 电流衰减工具以10英尺的间距检测时，可以定位出防腐层的破损点，也可能给出虚假的指示。（能够使用这类方法的前提是：在检测的管道上除了因防腐层漏点所产生的电磁场变化之外，不存在其他的电磁场干扰）。
- C-Scan 不能对防腐层特别差的管段实施检测。
- 将电流衰减法的检测结果绘制成以距离为横坐标的电流衰减(mBmA)曲线，可以很好地描述管道上存在的防腐层性能变坏的管段。然而，关于防腐层破损的更为详细检测结果，要采用如ACVG, DCVG这样更为精密仪器来检测，或是在没有电磁干扰的管段上以10米左右的间距进行电流衰减法加密检测。
- 在需要对防腐层的每个单一缺陷点进行检测和定位的情况下，电位梯度法的确是一种很有用的检测手段。这种方法不会给出虚假的信息。尽管在开挖过程也发现有漏检缺陷的情况发生。但是在这些漏点上没有发现金属腐蚀产物，也就是说这些破损点也可能是在开挖过程造成的。
- 由大漏点产生的电位梯度可能会妨碍对它附近小漏点的检测。这种现象可以解释为什么在大的缺陷附近会漏检一些小防腐层缺陷的情况。
- 使用电位梯度检测防腐层的破损时，在得到单一指示的情况下，可以确定出破损点在管道环向的不同位置。
- 存在导电通路的情况下，电位梯度法能够对外防护层下的内防腐层漏点进行定位。

天津市嘉信技术工程公司

2012年9月

（林守江编译）