

杂散电流对埋地管道动态干扰的检测治理方法及工程实践

林守江

(天津嘉信技术股份有限公司 300384)

摘要 轨道交通的驱动系统所泄漏的电流可能会对沿线范围内的地下金属结构形成动态杂散电流干扰,导致管道等地下构筑物短时间内发生穿孔泄漏事故。随着我国以城市地铁、高速铁路为代表的轨道交通的快速发展,电性干扰危害问题也越来越突出。本文阐述了动态杂散电流的检测技术手段,对干扰的来源、干扰模式以及危害程度等进行定量的检测和评价方法。介绍了控制和治理这些干扰的工程案例。

关键词 埋地管道、杂散电流、检测、干扰治理。

1. 引言

随着我国经济的飞速发展,近年来以高速铁路、城市地铁为代表的轨道交通有了突飞猛进的发展。这些城市的基础设施建设给人们的出行带来极大方便的同时,也对原已十分密集的地下设施产生了前所未有的危害和挑战。在轨道交通系统中,一般采用交/直流电机牵引,走行轨回流的驱动方式。一旦回流通路与大地的绝缘存在问题,巨大的驱动电流会从缺陷处流入大地,对埋地管道等地下金属构筑物形成了强烈的电性干扰,导致金属构筑物受到剧烈的电解腐蚀,使得它们在短时间内发生泄漏或腐蚀损伤。由于采用传统技术手段难于对杂散电流的动态干扰实施检测,在杂散电流传导路径不明的情况下,盲目采取的排流等治理措施对干扰的治理成效很差,无法达到有效地减缓杂散电流干扰的目的。这些未能有效治理的杂散电流严重地威胁着管道等地下金属构筑物的结构安全。

特别是城市中的埋地燃气管网,分布广泛铺设密度大。一旦发生事故,往往会造成灾难性的后果。此外,杂散电流对城市建筑的电性危害也同样不可忽视,杂散电流会造成建筑物地下结构的钢筋腐蚀,会破坏混凝土的整体性能,降低其结构强度和耐久性,给建筑物的整体结构带来严重的安全隐患。轨道交通系统是一个运动变化的负荷,杂散电流干扰情况千差万别,影响腐蚀过程的因素很多。国外对地铁杂散电流的腐蚀都做了较为深入的研究,但国内工程应用还处于探索阶段。在理论分析的基础上结合大量现场调查、研究和试验,才能提出有针对性治理杂散电流的方法。所以,轨道交通的杂散电流对地下金属构筑物危害的检测和治理,已经成为当前摆在城市管理者 and 防腐工作者面前的重要课题。

2. 动态杂散电流干扰的模式及危害

所谓的杂散电流是指在规定的电路或意图电路之外流动的电流。轨道交通系统驱动电流一旦泄漏,会从驱动回路流出,流入大地、水体等环境中,形成了在大地中流动的杂散电流。埋地钢质管道经过受干扰的区域,电流会从防腐层薄弱点处流入,传导一段距离后再从另外的防腐层薄弱点流出管道(也称放电点),该处的管体会受到剧烈的电性腐蚀。埋地管道的电性腐蚀原理同金属电解的情况基本是一样的,即阳极进行氧化反应,阴极为还原反应。杂散电流从土壤进入金属管道的区域带有负电,为阴极区。当干扰程度较小时,处在阴极区的管道一般不受什么影响;当杂散电流由某一点流出时管体带正电,这一区域称为阳极区,阳极区的管体以铁离子的形式溶入周围介质中,因此阳极区的管体受到强烈的腐蚀破坏。

杂散电流腐蚀的破坏特征是在管道上的阳极区段伴随有剧烈的局部腐蚀。经验表明，1 安培直流电流在钢体上流出，一年内将导致大约9Kg的金属蚀失。而在干扰严重的区域，电流可达几十安培甚至几百安培，造成的管体局部腐蚀是相当严重的。对于长距离带有防腐层的埋地金属管道，流入管道的杂散电流很大，而只能从防腐层的破损处流出，因而更容易集中在管道的局部，腐蚀的速度更是惊人的。而当干扰程度较大时，在干扰的阴极区也可能有危害，致使阴极区的电位过负。若管体电位负于-1.7V 时，管体表面会析出大量的氢气，造成管道防腐绝缘层破坏，发生剥离甚至脱落，管体则发生氢致开裂。在动态干扰的模式下，当杂散电流流出管道时，原来阴极区的管体电位向正向偏移，同样也会发生管体的腐蚀破坏。

轨道交通对地下金属构筑物的干扰有两种主要的形态，最为典型的一种是因电力机车的直流牵引系统的供电线路泄漏而导致的杂散电流，其特点是在机车运行过程中形成的。它会因为机车的运行规律而变化，构成典型的动态杂散电流干扰。

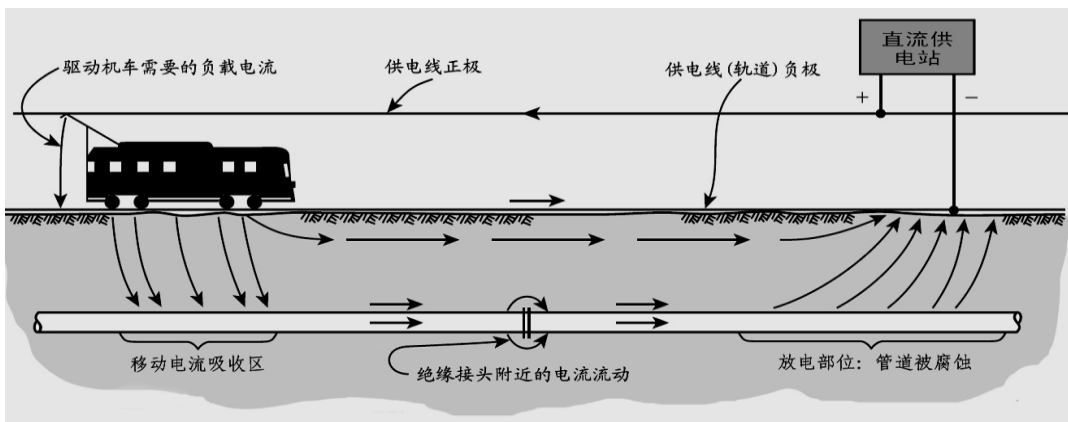


图 1 电力机车铁轨泄漏的电流对管道的危害

在轨道交通供电系统的附近会安装有接地装置。当其安装位置不合适时，也会在其周围形成静态杂散电流，这是干扰的另一种形态。它对地下构筑物会产生电性干扰，其危害同样严重。所不同的是，这种静态干扰基本上长期存在，其危害较为容易确定。国家标准GB/T 28026.2-2011中指出：直流牵引系统可产生杂散电流，并对轨道和轨道以外相关系统产生负面影响，为了确定影响范围，应与受影响方共同进行评估。任何控制杂散电流的措施均应进行验证和确认。即使确定没有影响或无需采取改进措施，也应考虑建立定期检查制度。

3. 静态杂散电流的检测

相比较而言，静态杂散电流的检测较为容易，检测手段也更为成熟。传统的地电位梯度法应用效果较为理想。所谓地电位梯度检测法，就是使用高内阻的万用表，两只表笔分别与硫酸铜参比电极相连，以与管道走向平行和垂直的方向以一定的间距测量干扰区段的电位梯度，根据相关的标准就可以确定该处杂散电流的危害程度。此外，在管道上测试桩测得的管-地电位也能反映杂散电流的干扰程度。同样，应用 CIPS 检测

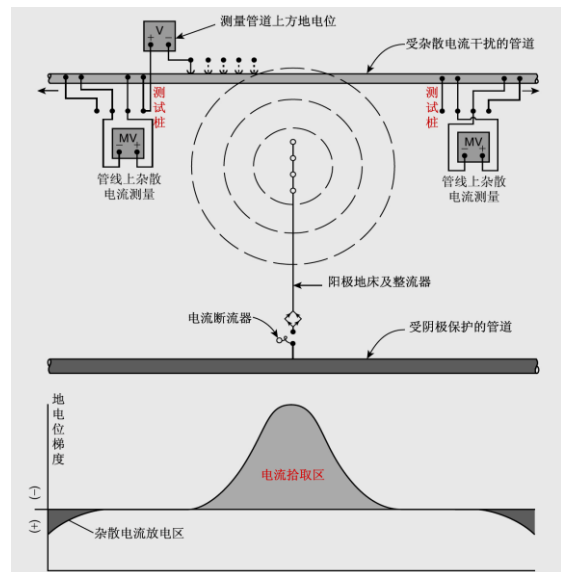


图 2 使用毫伏表检测杂散电流示意图

仪也可以较为简便地实现这一检测过程。

此外，使用嘉信公司带存储的 JX-SCM (Stray Current Mapping) 是一个更好的选择。它可以沿着管道检测任何杂散电流的方向和强度。通过 JX-SCM 的检测数据，用户能够找出管道上的杂散电流进入点和放电点。根据这些检测数据，可以确定在管道存在的杂散电流干扰的区段，配合现场调查就可以确定出静态杂散电流的来源，进而找到解决问题的方法。

4. 动态杂散电流干扰的确定

轨道交通造成的杂散电流大多属于动态杂散电流。相比之下，动态杂散电流的检测和评价就要困难得多。这是因为，这类杂散电流是由于电力机车的供电系统的缺陷产生的，它的产生与机车的运行规律密切相关。换句话说，倘若轨道交通设施设计和施工等环节存在的缺陷，导致驱动电流泄漏到大地形成杂散电流。当机车运行到附近，这种杂散电流会急剧增大；同样，当机车逐渐远离后，杂散电流会逐渐减小。这种干扰的程度会在每天的不同时段，因轨道交通的繁忙程度不同而变化。因而，对于动态杂散电流的检测仅仅应用简单的地面电位梯度法往往不能有效地检测出动态杂散电流的存在规律，以及对区域内地下构筑物的危害程度、干扰模式。

动态杂散电流的检测，最有效的检测方法是使用多台带存储的 JX-SCM 检测仪，在杂散电流的可能干扰地段多点布置。实施连续 24 小时检测，将记录下的检测数据应用数据分析软件进行对比分析、相关性分析，确定出杂散电流的拾取点和流出点，从而得出杂散电流干扰源的位置和干扰的模式。这种方法可以有效地确定出管线上存在杂散电流干扰的区段，以及不同时段，不同地点上杂散电流的电流方向、干扰强度及其变化程度等干扰规律。基于这些检测数据和分析结果，进而制定出有效的杂散电流治理方案，通过排流和屏蔽的治理措施，控制直至消除杂散电流对管道的干扰危害。

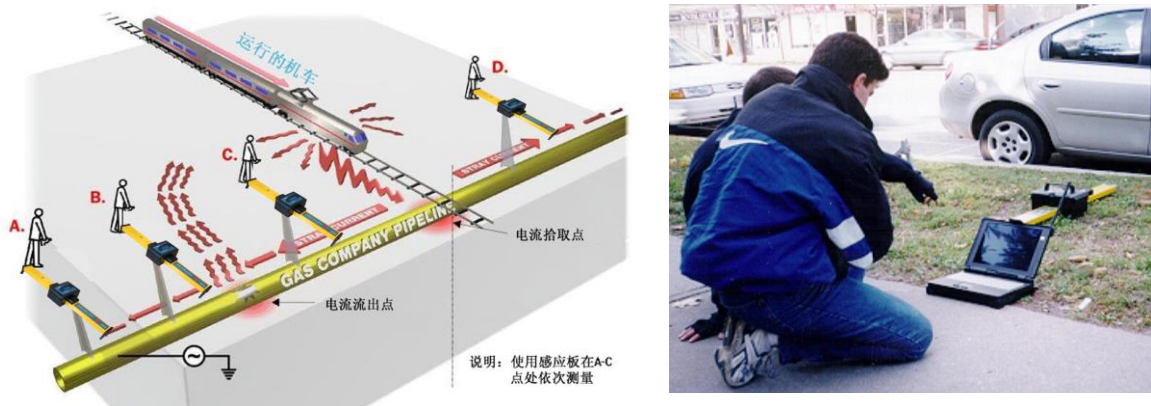


图 2 使用动态 SCM 检测系统示意图

5. 杂散电流干扰危害的控制和治理手段

就轨道交通导致的动态杂散电流干扰而言，可能采取的控制手段有：减小回流回路（铁轨）的电阻、增大泄漏路径对地电阻、增加大地和金属结构之间的电绝缘。这些是从源头上消除杂散电流的办法。但是，这些方法往往因轨道交通系统线路太长，实施起来过于复杂，很难达到理想的效果；对于已经存在的杂散电流干扰，通常的治理手段是在管线的合适地点，采取有针对性的控制治理措施。治理的有效方法是在杂散电流进入点处采取管道的屏蔽措施使电流通过旁路跨过管道回流；在放电点处附近对管道采取排流措施，使管道内的杂散电流按规定的路径

排出管道，使管体免遭腐蚀。下面分别介绍具体的实施方法。

5.1 管道的电屏蔽措施

在管道上电路流入点处建立电屏蔽的措施，实质上是建立杂散电流回流的旁路，相对加大通过管道形成导电回路的回路电阻，以减小管道内的杂散电流强度。这是一个非常有效的治理干扰的方法，具体做法是在管道两侧约 0.5 米处平行敷设两根裸铜线（镀锌扁钢或锌带），分别将裸铜线和管道引出连线到地面，在地面的测试桩上用接线排将它们短接在一起。若管道采用外加电流阴极保护时，要在管道与铜线之间接入一个管道保护器，通常为固态去耦合器。使得当杂散电流试图流入管道时，电流会通过这两根连接的导体跨过管道，而避免流入管道。

电屏蔽法常用于因第三方管道外加电流保护设施的阳极干扰段，或轨道交通干扰区内的管道杂散电流干扰的治理。为达到消除阳极干扰的目的，须将裸铜线一同连接到阴极保护整流器的电流输出负极上。这种作法的缺点是要消耗大量的保护电流。

此外，这种治理措施还可以与钳位式排流措施配合使用，对于治理因高压输电线路给管道带来的交流干扰效果更好。具体方式是将管道两侧的裸铜线分别更换成一组牺牲阳极，在管道和两组牺牲阳极之间接入钳位式排流节。通过排流节与管道连接。

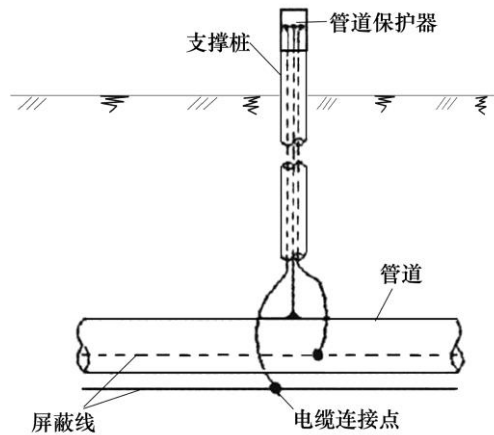


图 3 杂散电流的电屏蔽方法示意图

5.2 管道的排流措施

针对投运的轨道交通系统，治理已经在管道中存在的杂散电流方法，就是在合适位置引入排流装置。这种做法尽管不如通过整改轨道交通的供电回路的措施那样经济有效，但对于受技术和条块分隔的行业壁垒等因素限制的很多场合，不失为一种有效的减轻电性干扰危害，保护地下管道等金属构筑物安全的选择。通过对可能存在的杂散电流进行检测之后，在合适的位置补建排流装置，可以选择的排流方式如下表 1 所示。

表 1 排流保护方式

方式	直接排流	极性排流	强制排流	接地排流
示意图				
应用条件	有稳定的阳极区；靠近接地体或回归线	被干扰管道上管-地电位正负交变	管-轨电位差较小	不能直接向干扰源排流
优点	1. 简单经济 2. 效果好	1. 安装简便 2. 应用范围广 3. 不要电源	1. 保护范围大，可用于其他方式无效场合 2. 电车停运时可对管道提供阴极保护	1. 应用范围广 2. 对其他设施干扰较小 3. 可提供部分保护电流（采用牺牲阳极接地时）
缺点	应用范围有限	当管道距铁轨等干扰体较远时，保护效果差	1. 加剧干扰源体的电蚀； 2. 对电位分布影响较大 3. 需要电源	1. 效果稍差 2. 需要辅助接地床

5.3 干扰防护效果的评定

基于对杂散电流的检测结果，通过在管线上合适的位置建立排流或电屏蔽等设施进行杂散电流的治理。治理的效果要通过现场的检测数据加以评定。具体方法可以采用排流前、后的电位正向偏移平均值的变化来评定干扰的防护效果。

$$\eta = \frac{V_{前} - V_{后}}{V_{前}} \times 100\%$$

式中： η — 排流保护前后电位正向偏移平均值的下降率，%

$V_{前}$ — 排流前的电位正向偏移平均值，V； $V_{后}$ — 排流后的电位正向偏移平均值，V。

评定检测点一般不少于三个，应包括排流点、干扰缓解大的点、干扰缓解小的点，其它点可根据情况来选择，干扰段较长或干扰复杂多变时应增加评定点。防护效果的评定值不应高于 GB/T 50991-2014 表 7.0.2 中所列的判定指标。

6. 工程案例 1—中石化石太成品油管线动态杂散电流检测治理

中石化石太成品油管线的管径为 $\Phi 323\text{mm}$ 、 $\Phi 355\text{mm}$ ，防腐层类型为三层 PE。管道全线设有 5 座工艺站场，5 座阴保站，8 座阀室，采用强制电流法进行阴极保护。近年来管道周围的电气化铁路及输电设施对管道运行产生了严重干扰腐蚀，管道电位波动较严重。为了治理杂散电流干扰，2009 年 10-12 月嘉信公司对该管线约 10 公里管段进行杂散电流检测和排流治理。

检测人员在 09 年 10 月 22-27 日，应用英国雷迪 SCM 及天津嘉信自行研制的杂散电流检测设备对该管线上 140-150 测试桩之间的干扰状况进行检测，检测结果如下：

表 2 杂散电流检测数据

桩号	140	142	143	144	145	148	149
电流值(A)	0.572	0.574	1.029	5.708	2.239	1.696	0.564



图 4 动态杂散电流治理前后的管地电位对比图



图 5 动态杂散电流治理的施工现场图

依据检测结果，制定了在 140、144、145、148、149 号测试桩附近进行钳位式排流保护的方案。施工人员在 12 月 2-27 日期间对该条管线 140-150 测试桩之间的管道施加排流保护。在完成其余三点的杂散电流排流设施后对治理效果进行检测，排流保护后的检测结果如下：

表 3 杂散电流检测数据（排流后）

桩号	140	142	143	144	145	148	149
电流值(A)	0.021	0.416	0.431	3.468	1.632	0.017	0.015

由表 3 的数据可见，成功施加钳位式排流的地段，杂散电流得到了有效地治理，对于 144、145 处的杂散电流也有一定的缓解作用。运用嘉信公司自行研制的杂散电流检测仪 SCM-Logger 测量记录的电位曲线对比如图 4 所示。

7. 工程案例 2-中石化小广线动态杂散电流检测

7.1 检测管线及轨道交通概况

中石化华南销售公司的小广成品油输送线，建设于 2003 年，2004 年正式投入运营。该管线为钢质管道，管径 219 毫米，环氧煤粉末防腐层，外加电流阴极保护，平均埋深 1.2-1.3 米。在小广线的附近，有一条广东大鹏液化天然气有限公司的 LNG 管线。在 22 号至 23 号电位测试桩之间（22#+280）处与广州地铁 4 号线石碁站相邻，地铁站西侧有一个移动信号发射塔。

广州地铁 4 号线为南北走向，北起科学城东，南至南沙，全长 68.96 公里，共设 27 座车站，有 9 座地下站。四号线的列车采用了日本技术的直流电机驱动，其额定电压为 1500V、驱动电流高达 3000A。

在对小广线的运行管理过程中，华南销售公司管道管理处发现在 22 号电位测试桩附近（在 22 号电位测试桩附近广州地铁四号线上共穿越 4 次），管线受到动态杂散电流的严重干扰，主要表现在干扰段的管地电位波动巨大，且波动的变化与地铁 4 号线上的机车运行规律关系密切。运行单位怀疑该段管线受 4 号线的驱动直流杂散电流干扰。

受中石化华南销售公司管道管理处委托，天津嘉信技术工程公司对杂散电流干扰源进行检测。基于中石化华南销售公司管道管理处提供的其他检测单位先期的检测报告，针对小广线干扰较严重地段在石碁站附近的输送管线进行重点杂散电流检测工作。

7.2 受杂散电流干扰段环境描述

根据此前提供给中石化华南销售公司管道管理处的检测方案，以及参考华南管理处提供的《小广线受广州地铁四号线干扰初步测试报告》，认为小广线受杂散电流干扰的区段位于地铁4号线的石碁站与海傍站之间。其中杂散电流引起的电位波动点位于 K022 号桩的北侧。为了更好地掌握检测区域的周边环境，更为准确及客观反映地铁与管线的相对关系，检测过程中应用了 RTK 技术进行了管线与地铁4号线石碁站周边环境的测量工作，并编绘了该区域的管线图(详见图 16)。

7.3 动态杂散电流检测的实施过程及数据分析

7.3.1 SCM 动态杂散电流检测过程描述

自 2009 年 9 月 21 日至 26 日期间，进行了小广线动态杂散电流的检测。

9 月 21 日上午，检测人员对小广线 23 至 21 号测试桩管线情况进行现场勘察，并结合检测人员前期收集的管线资料，依据现场情况确定杂散电流检测点的布设位置。

9 月 22 日至 24 日进行管道中杂散电流分布情况检测。首先，应用 RD8000 管线仪精确测定出检测管线在 21 至 23 号测试桩区间的管线精确位置和埋深。之后，在 22 号电位测试桩的北侧放置 SCM 智能感应板，作为本次杂散电流检测的参考基准点。同时，指定一名检测人员在基准点处，记录动力机车经过时间及行驶方向。

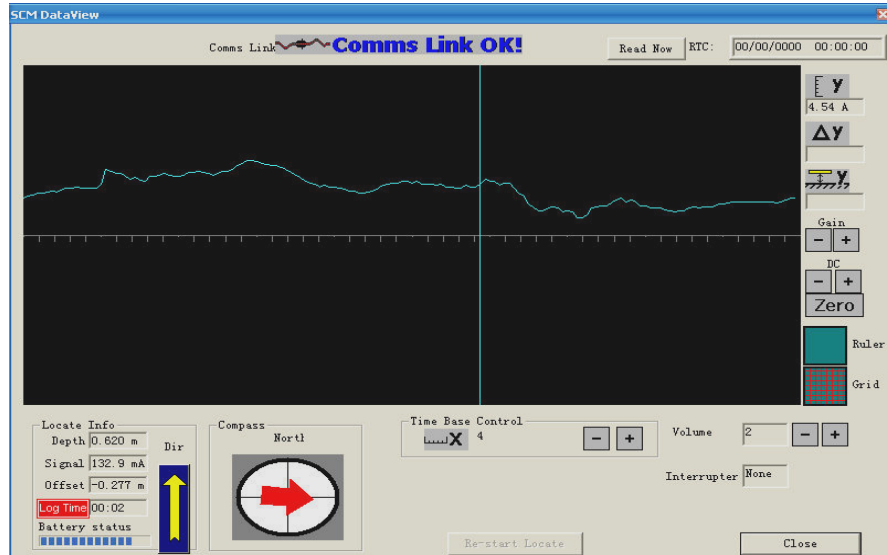


图 6 检测过程中参考基准板和移动版的设置图

进而，检测人员在管线上按照事先设定好的检测点布设移动感应板，有测试桩的检测点同时进行电流和电压检测，没有测试桩的检测点只进行管道上的杂散电流测定，检测时间长度均设置为 1 小时。该检测阶段中，共有基准感应板检测点 1 处，移动感应板检测点 9 处，获取检测数据 10 组。

基于对 9 月 22-24 日的检测数据分析的基础上，25 日进行杂散电流干扰源检测。在小广线与地铁四号线的高架桥之间布设杂散电流干扰源检测位置，以定位杂散电流干扰源。共布设基

准感应板检测点 1 处，移动感应板检测点 9 处，获取检测数据 10 组。

25 日在管线上进行 PCM 检测，检测管线的防腐层状况，查找防腐层缺陷点并进行 GPS 定位。依据以上检测数据分析结果确定杂散电流流入及流出点。

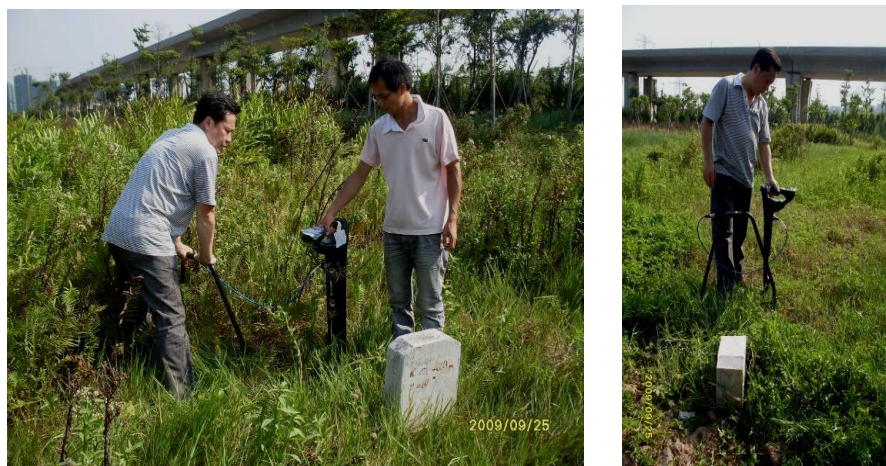


图 7 应用 RD PCM + 进行防腐层漏点定位

9 月 26 日在 23-20 号桩之间，沿管线路由以垂直和平行管线的方式进行地电位梯度测量，观测点间距为 50 米。

7.3.2 检测数据分析

1) 干扰管段上杂散电流的分布状况检测及分析（测定杂散电流的大小及方向）

A. 动态检测数据分析

在获取参考感应板和移动感应板的数据后，应用英国雷迪的 SCM 分析软件进行数据分析。

首先，创建时间段文件来存放 SCM 的检测数据。当建立好一个时间段并且把需要分析文件加入到时间段后，打开检测数据文件数据将会显示在屏幕上。

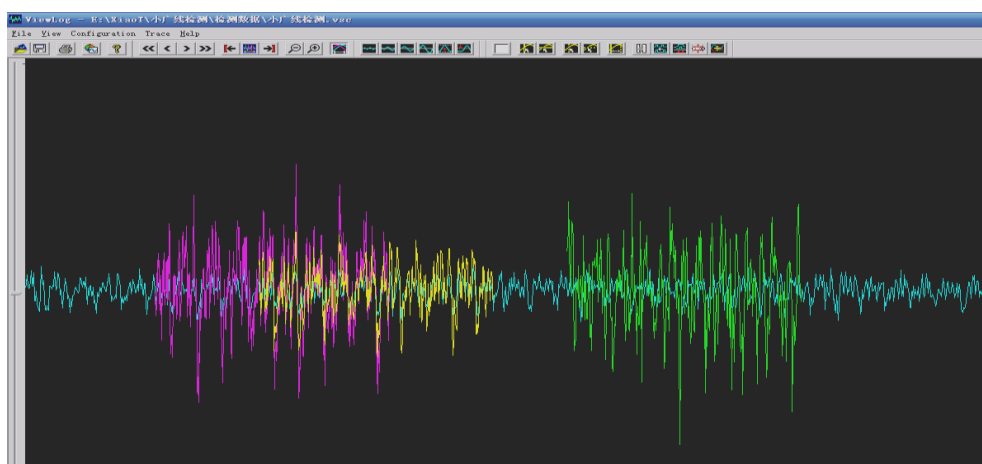


图8 载入检测数据打开的数据曲线图

利用软件工具对要分析的曲线进行调整，调整时段位置到适合分析的程度。在曲线上设置四条光标线来标示检测曲线的波动程度，并且记录下曲线产生波动的时间和波动值大小（即 Δ 值），曲线波动值是进行数据分析的重要数值。

最后，使用参考板数据与移动板数据进行对比分析，可获得各个测点的杂散电流相关性、衰减趋势，确定出杂散电流在管道上的流入与流出段，进而确定电流的流入、流出点。

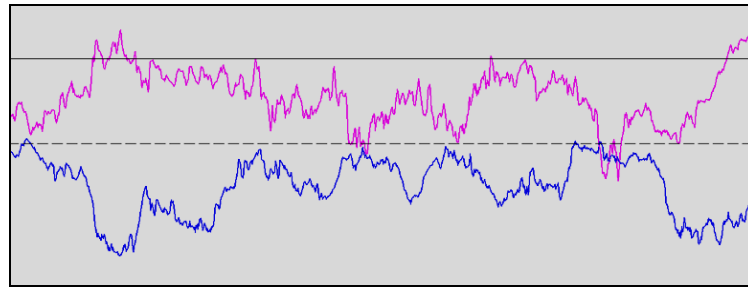


图9 YDDL01与YDDL02曲线对比图

对 YDDL01 与 YDDL02 检测数据曲线进行对比分析结果表明：两处电流波动方向有镜像现象，这说明这两处的电流为同一干扰源的杂散电流，且流动方向相反。另外，通过检测数据的电流衰减趋势也可以验证杂散电流在管道中的传播流动方向。通过 SCM 数据分析软件计算杂散电流的波动值，分析杂散电流流动方向。动态杂散电流检测数据与位置的对应表 4 如下：

表 4. 检测数据及对应位置表

序号	编号	检测位置	电流波动值 (A)	与假设电流方向
1	JZDL01	22#测试桩	17.1	反向
2	YDDL01	22#测试桩南侧	17.04	反向
3	YDDL02	21#测试桩	21.87	反向
4	YDDL03	22#测试桩北侧	9.08	反向
5	YDDL04	23#测试桩	0.17	反向
6	YDDL05	23#测试桩北侧	0.001	同向
7	YDDL06	20#测试桩	11.34	同向
8	YDDL07	17#测试桩	0.08	同向
9	YDDL08	19#测试桩	0.07	同向
10	YDDL09	18#测试桩	0.02	同向

将检测数据的分析结果及管道走向示意图结合，可以得出管道上的动态杂散电流在管道上的分布状况示意图如下：

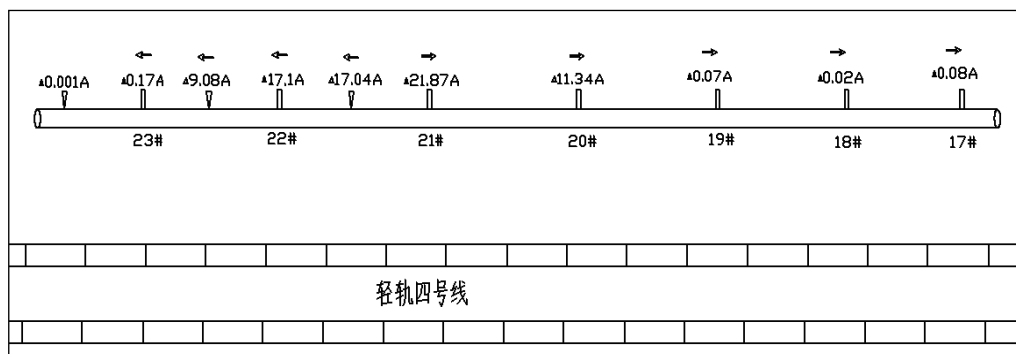


图10 小广线上杂散电流方向和分布示意图

依据上图可以得到如下检测结果：

① 小广线上动态杂散电流的干扰段主要集中在 20 号至 23 号桩之间。23 号电位测试桩向北和 20 号测试桩向南的管线受到的杂散电流干扰很小。

② 小广线上动态杂散电流流入点在 YDDL01 测点与 YDDL02 测点之间的区段上。流出的点在 YDDL03 测点与 JZDL01 测点之间的区段上。

B. 管道上杂散电流相关性分析

管道上的杂散电流是否为同一干扰源造成,可以通过 SCM 数据分析软件上提供的曲线相关性分析获得相关系数来判断。

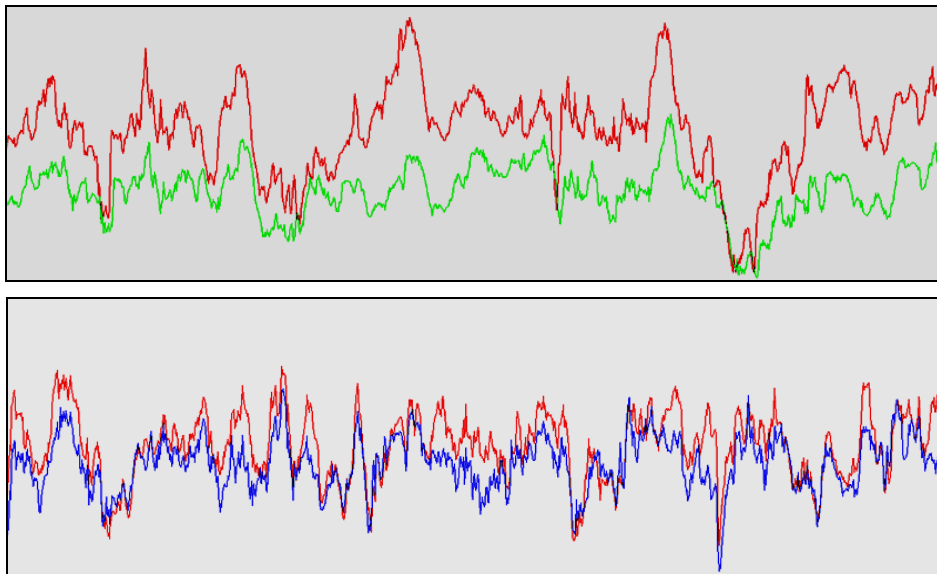


图11 JZDL01与YDDL03曲线

上面两图可以表明：基准检测点曲线与两处移动检测点曲线能够很好的吻合，每当动力机车经过检测点时，都会在检测数据曲线上形成一个尖峰电流，而这中尖峰电流在 JZDL01、YDDL01 与 YDDL03 时形成的电流波动趋势和形成的曲线形态相同,只是波动幅度的大小不同,波动幅度的不同是与杂散电流在管道中衰减大小有关。并且通过软件计算得出的结果为两条曲线与基准点电流曲线的相关性分别为 77.76%与 83.51%，这说明在这三个点处的管道中的杂散电流为相同干扰源造成。

C. 电流衰减趋势分析

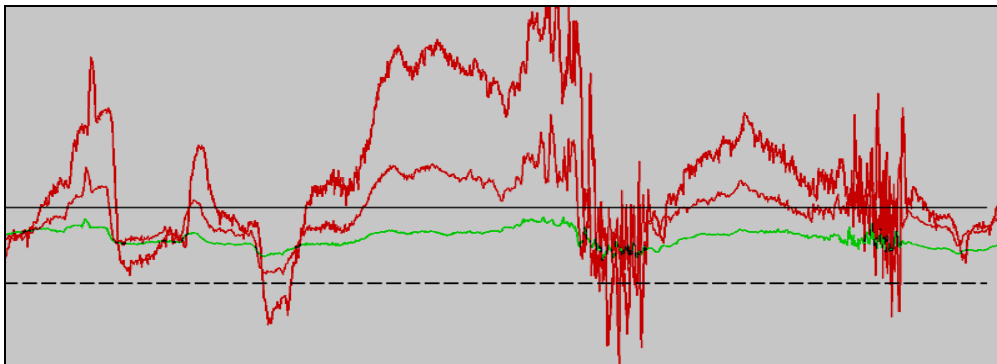


图12 JZDL01、YDDL01、YDDL03曲线衰减趋势图

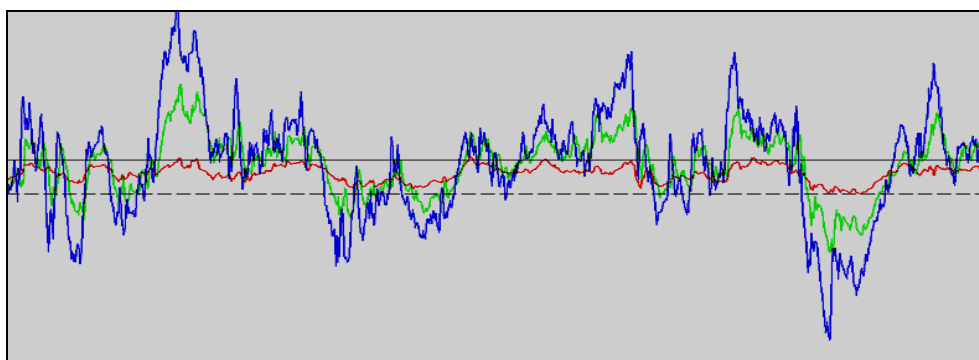


图 13 JZDL01、YDDL01、YDDL03曲线衰减趋势图

三条曲线随着离开干扰电流的流入点距离的增加，电流逐渐衰减，对电流的波动程度也越来越小，杂散电流的电流值也随着在管道上的传输而减少。

2) 检测并定位对管道构成杂散电流干扰的动态电流源的通路位置

数据分析 1 中已经确定杂散电流流入段，在该段管道和轻轨之间，进一步寻找杂散电流的来源及传播路径，重新布置感应板的检测位置进行第二轮动态杂散电流干扰源检测。对干扰源检测数据进行数据分析结果如下：

表 5 杂散电流干扰源检测数据表

序号	编号	检测位置	电流波动值 (A)
1	Yuan01	轻轨桥墩33-27	1.038
2	Yuan02	轻轨桥墩33-28	1.456
3	Yuan03	轻轨桥墩33-29	2.794
4	Yuan04	轻轨桥墩33-30	1.276

将检测结果及管道走向示意图结合，分析得出杂散电流干扰源位置示意图（图 14）如下：



图14 干扰源检测示意图

下图（图 15）是在 33-29 号桥墩处，检测到当 13 点 12 分北行的地铁机车通过时的电流波动曲线图。在图中可以看出，最近的感应板上检测到一个巨大电流波动（图中红圈内），瞬间的电流波动高达 17.56 安培。说明该处为杂散电流传导通路的主要地段。

此外，当南行机车通过时，并没有检测到类似的电流波动，说明地铁的南行轨道并不存在牵引机车供电的泄漏故障。



图 15 33-29 号桥墩附近检测的电流波形及接地钢带

3) PCM+ 检测数据分析

管道防腐层缺陷点是与杂散电流流入流出密切相关，是杂散电流流入、流出的途径，所以进行管道杂散电流检测的同时也需要对防腐层性能进行相应的检测，找出管道防腐层缺陷点。

PCM+ 电流检测数据如下：

序号	距离 (m)	电流 (mA)	I_{dB}	Y (mB/M)	圆滑电流
1	15	214	106.61	0	106.61
2	30	230	107.23	-41.752	106.89
3	45	210	106.44	52.678	105.78
4	60	128	102.14	286.679	103.45
5	75	129	102.21	-4.506	102.25
6	90	132	102.41	-13.312	102.38
7	105	133	102.48	-4.37	102.46
8	120	133	102.48	0	102.43
9	135	130	102.28	13.211	102.3
10	150	128	102.14	8.978	102.19
11	190	128	102.14	0	102.05
12	210	124	101.87	13.788	101.9
13	230	122	101.73	7.062	101.74
14	245	121	101.66	4.766	101.62
15	260	118	101.44	14.538	101.46
16	275	116	101.29	9.899	101.35
17	290	117	101.36	-4.97	100.95

应用天津嘉信的防腐层数据处理软件 ESTEC，对 PCM 检测数据的结果分析结果：21# 桩 +833 米起，至 21#桩+870 米止的防腐层质量不好，评价等级为“劣”，并且存在两处明显的防腐层破损点（也可能为后期加装的牺牲阳极，用于杂散电流的排流功能）。破损点分别位于 21#桩+ 833 米处和北侧 10 米的位置上。

小广线杂散电流检测结果综合图

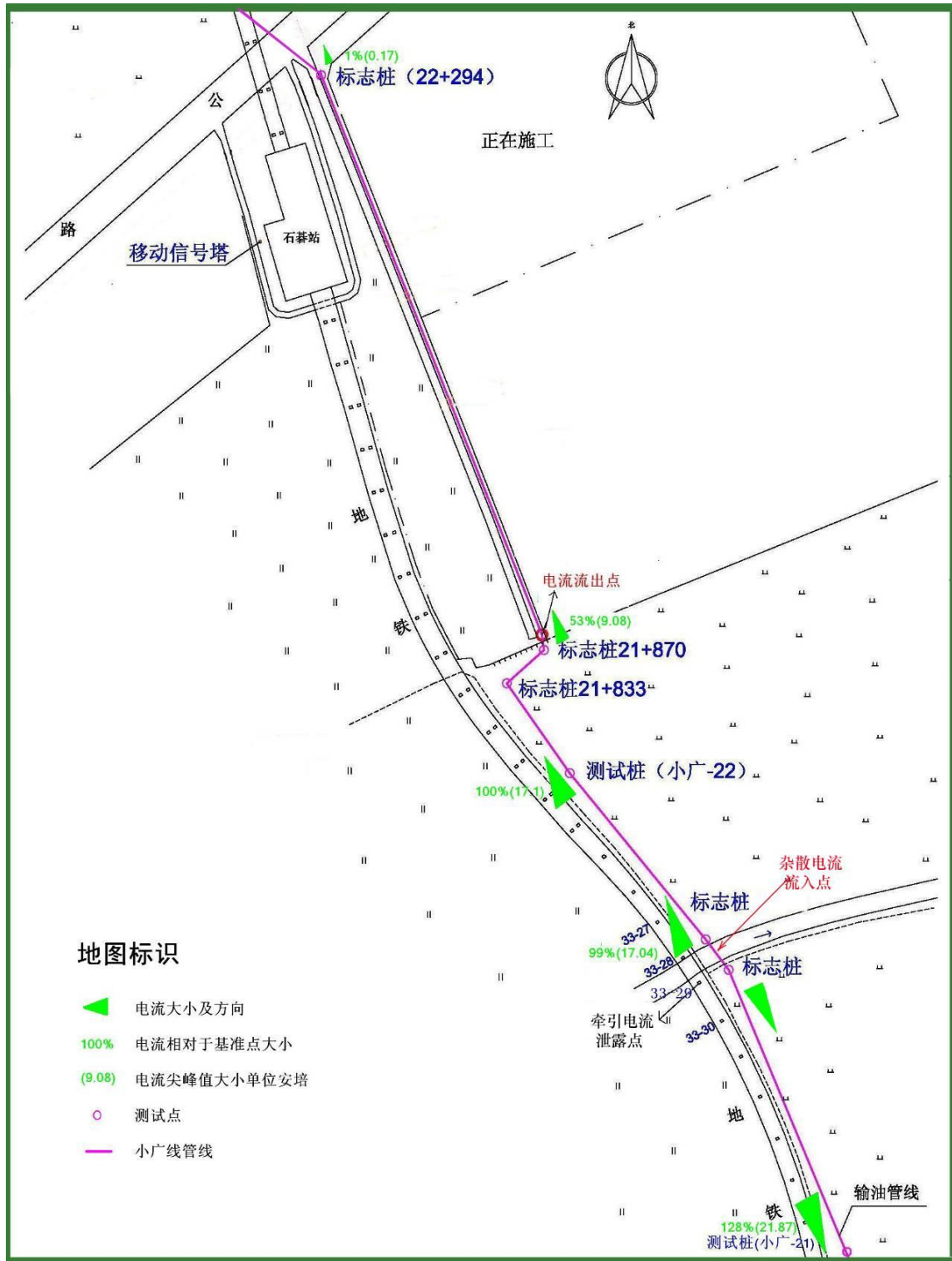


图16 检测区段内管道上杂散电流分布结果图

4) 确定管道上杂散电流的流入、流出点。

在 1-3 步骤的数据分析结果上，综合各种检测结果可以确定杂散电流的流入及流出点如图（图 16）所示：

7.4 检测结果及结论

7.4.1 检测结果

基于本次检测过程及检测数据的处理分析，将本次 SCM 检测结果综述如下：

1) 由地铁 4 号线机车牵引直流电流引起的杂散电流，对小广线形成了强烈的动态杂散电流干扰。干扰电流峰值达 21.87 安培，**干扰的区间位于 21 号桩至 21#+880 米的范围内。**

2) 动态杂散电流的**流入点**位于地铁 33-29 号桥墩附近的小河南侧标志桩与小河北侧的标志桩之间的位置上。**流出点位于 21#桩 + 833 米 以及 21#桩+880 米的两点**，在电流流出点管道受到杂散电流的腐蚀。

3) **地铁牵引电流的泄漏点位于 33-29 号高架桥墩处，通过该处的接地钢带流入大地，进而流入小广线。**该接地钢带与附近的**北行线轨道**上的牵引供电线路存在绝缘缺陷。

4) 小广线 21# 桩+833 米起，至 +870 米止的管道防腐层质量不好，存在两处明显的防腐层破损点（也可能为后期加装的牺牲阳极，用于杂散电流的排流功能）。

5) 检测区段内管线受到交流杂散电流的干扰程度并不明显，表明区域内的移动通讯塔以及交流输电线路没有对管线形成明显的交流干扰。

此外，需要说明的是：由于检测时间相对紧迫等原因，在 21#电位测试桩向南侧的杂散电流流出点没有进行详细的测量。从检测结果数据上（详见图 10）分析，在该区段内杂散电流流入的数值也很大，说明该区段受到干扰程度也相当严重，建议在合适的时机内进行杂散电流流出点的补测。但是，由于本次测量已经精确地定位出杂散电流的干扰源以及 21 号电位桩北侧的杂散电流流入点，并不影响对整个区域内管线杂散杂散电流的治理和腐蚀控制的有效实施。

7.4.2 检测结论

综合本次检测成果可得出如下结论：

1) 通过本次 SCM 动态杂散电流检测，查明了小广线受动态杂散电流的干扰的来源，杂散电流的流入点、流出点和杂散电流干扰的传播通路情况。

2) 检测结果表明：本次 SCM 检测达到了预期的工作效果，可根据本次检测结果结合现场检测的管道防腐层状况，对小广线成品油输送管线的杂散电流干扰进行有针对性的治理工作。

7.5 杂散电流干扰的治理方法建议

基于检测结论，**对于 33-29 号高架桥墩接地线引起的杂散电流干扰（北行轨道的供电系统的对地绝缘缺陷），最为有效的方式是联系地铁建设/运行单位对该处的绝缘缺陷进行维护和改造。**这样就可以从根本上解决对小广线以及 LNG 管线的杂散电流干扰。

此外，对干扰源附近的管线（20#-21#电位测试桩之间）进行管线**电屏蔽**，或在 22 号试桩的两端特别是 21#桩+833 米至 870 米的管段**加设排流装置进行排流是合理的辅助治理手段。**

在本次检测过程中发现：在 21#桩+833 米至 870 米的管段防腐层存在很大的缺陷（含两个大的漏点，也可能是先前加设的牺牲阳极点，未得到委托方的确认），建议在**合适的时机尽快安排维修**。

上述措施的正确实施，可以有效地治理当前的杂散电流对该区域内长输管道造成的危害，有效地控制该区域内的管道腐蚀危险，确保长输管道能够安全、正常运行。

8. 结论

轨道交通产生的杂散电流对地下金属结构、管线设施腐蚀造成的危害是极为严重的，已经引起了业界足够的重视。尽管动态杂散电流的检测和治理还有相当的难度，只要在调查分析的基础上应用先进的检测技术，结合现场检测的数据结果，采取有针对性的治理方案实现危害控制是完全可能的。此外，从工程实际出发，采取不同的技术方案以尽量减少杂散电流的产生，应是更为经济合理的途径。只有结合对于扰的科学检测、合理的治理手段，将腐蚀危害降至最低水平，才能为经济发展和人民的生命财产安全提供强有力的保障。

参考文献

- [1] Dr. Thomas J. Barlo and Dr. Alan D. Zdunek, Stray Current Corrosion in Electrified Rail Systems -- Final Report, May, 1995.
- [2] 林守江译，应用SCM技术对市区受杂散电流干扰管线的评价 加拿大雷迪公司 2004年10月
- [3] 闫明珍等，忠县 - 武汉输气管道遇到的交直流干扰及防护措施， 腐蚀与防护 2008 年 2 期
- [4] 胡士信，阴极保护工程手册，北京：化学工业出版社，1999 年
- [5] GB 50991-2014 埋地钢质管道直流干扰防护技术标准。

（林守江 2024 年 10 月修订）