

SCT

Stress
Concentration
Tomography



白皮书

2017



Speir Hunter Ltd

内容

1	总述	4
2	方法概述	7
2.1	方法概述	7
2.2	设备	9
2.3	工作流程	12
3	SCT™ 可交付的成果	16
3.1	功能	16
3.2	理想的工作环境和主要局限性	20
3.3	报告格式	22
4	其他非内检管道检测技术	26
4.1	外腐蚀直接评估 (ECDA)	26
4.2	磁力成像方法 (MTM)	28
4.3	成本和长期使用SCT™ 的主要优势	29
5	SCT™ 的审批流程和参数	32
6	SCT™ 的技术规格	34



1 总述

全世界有超过300万英里不可进行内检的管道，监测这种老化的铁磁管道的完整性对管道业主提出了一个重要的问题。而将这些管道改造成被认为是管道检测黄金标准的内检（ILI）管道成本非常高，并且在许多情况下，由于管线的物理限制，这种改造是不可能的。完整性管理者的替代方法是在使用外部腐蚀直接评估（ECDA）的过程中使用一种或多种检测方法。然而，ECDA流程比管道内检（PIG）的更长，当将挖掘成本计入总价格时，通常更昂贵，同时面临更多的技术限制并且在管道壁条件上提供的深入信息比ILI检测更少。

应力集中扫描技术（简称SCT™技术）由Speir Hunter Ltd.与利兹大学合作开发，目前作为ILI和ECDA检测的补充正在全球主要石油和天然公司进行试验，以优化检测结果的准确性并大大降低检测成本。业界一些受人尊敬的工程师认为，SCT™可为无法进行内检的管道提供一个全面的解决方案，从而无需将非内检型管道改造为可进行内检的管道，并且完全取代ECDA流程。这就是为什么这些业内人士将SCT™描述为一种潜在的“改变游戏规则的技术”。

最近，业界称SCT™为大型支架磁力计（LSM），SCT™是一种真正独创的非接触式检测方法，通过分析远程采集的磁性数据来评估管壁状况的完整性。SCT™是非侵入性的：检测不需要改变管道的任何操作参数，例如压力或流速。此外，不需要将传感器放置在管道上以放大磁场或在检测之后进行挖掘以校准结果。在整个SCT™检测过程中，管道保持其正常工作状态。

在SCT™检测期间，现场操作员直接手持承载有灵敏磁力计的设备在管道上方行走，该设备可远程收集到毫微特斯拉水平的管道自然磁场数据。测绘级GNSS设备跟踪操作员的移动，在实时收集磁场数据时，以每秒40次的频率将精确至厘米的定位数据嵌入在磁场数据上。然后将该数据下载到软件中，该软件分析检测和量化管壁中出现异常局部应力的所有区域的磁特征。

SCT™检测和估计管道壁中所有类型的冶金和机械缺陷（包括应力腐蚀开裂（SCC）和焊缝缺陷）引起的应力，但不包含时钟位置以及缺陷是否在管道内部或外部。它也是世界上唯一能够同时识别管道中缺陷的应力水平，并绘制管道的埋藏深度和横向位置的检测技术。SCT™的3D制图功能提供管道的横向位置和深度并精确到亚米级别。该信息可用于在地下运动导致管道故障之前监测地质灾害，并识别土壤侵蚀导致的管道埋深变浅达到警示级别。

SCT™的可交付成果将成为未来对管道完整性管理的监管要求。例如，它可以用于检测套管的位置，壁厚和直径的变化以及管道的皱纹弯头。其报告的环形焊缝位置可精确至亚米，可用于指导施工队在ILI检测结果指示需修复的位置进行正确挖掘，消除潜在扩展挖掘的需要同时节省操作者大量的开支。此外，SCT™还可以报告堵塞的智能猪和非法热帽的位置，并且使用相同的数据可以从单次调查中交付上述所有特性。在2015年，SCT™在德克萨斯州的管道研究委员会（PRCI）试验中证实了超过80%的检测的可重复性和检测的亚米精度。在2016年，Speir Hunter受邀进行会谈，以建立一个共同的SCT™欧洲标准的制定。该会谈延续至2017年并在伦敦举行了ISO委员会会议。展望未来，发展SCT™用于海底检测和无人机搭载已经正式进入议程。Speir Hunter Ltd.向您介绍应力集中扫描技术SCT™随着技术的发展和增长前景十分乐观。

真挚的，



Speir Hunter 首席执行官
Paul Jarram



图1 UNISCAN™应用在在美国的一条小管径管线上。

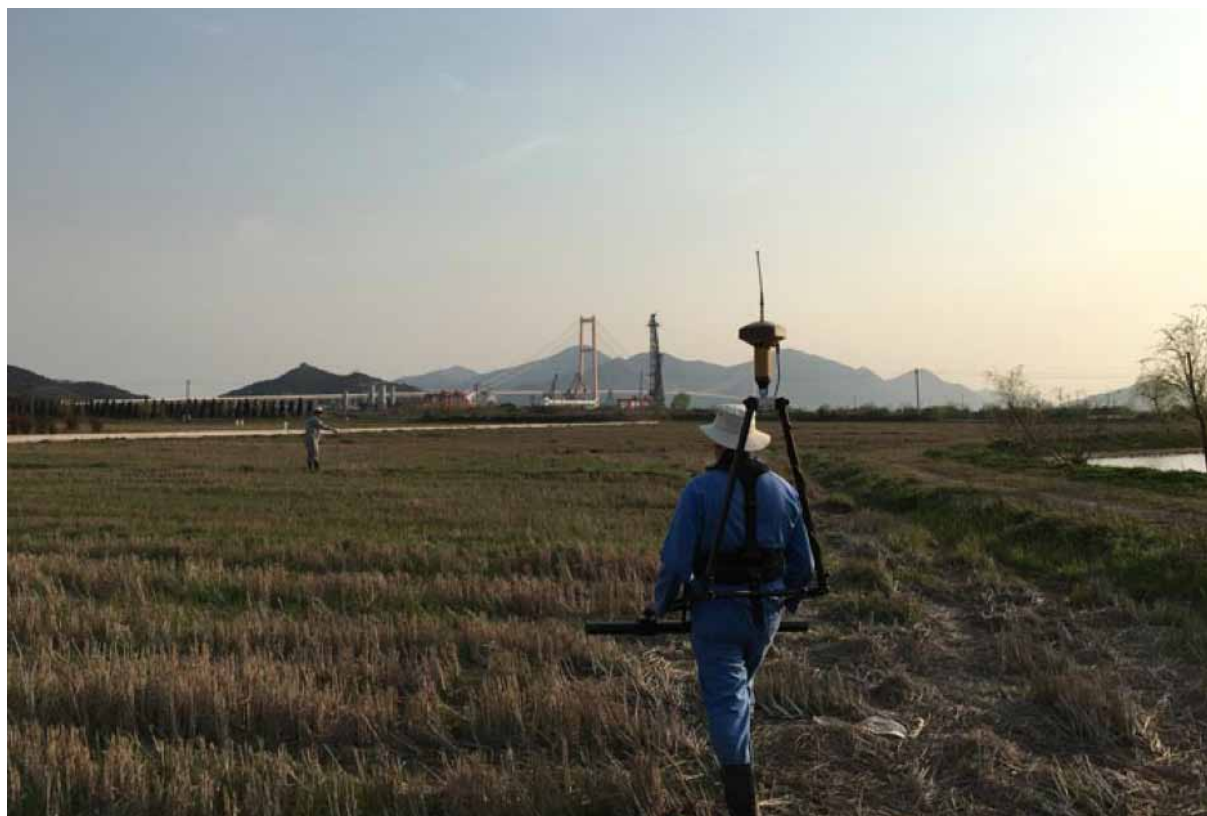


图2 UNISCAN扫描器应用在中国的传输管线上，展示在正常步行速度下不间断的数据收集。

2 方法概述

2.1 基本原理

SCT™ 识别管道上每个 SCZ (应力集中区域) 的位置和估计应力。SCZ是管壁中局部应力的累积，其大于管道的正常环向应力。SCZ 由腐蚀，冶金缺陷导致的管壁减薄和如由不良支撑和地面运动引起的扭曲和下垂引起的机械损伤。反过来，SCZ 增加的局部应力导致磁场范围的局部重新排列组合，其在背景磁场中表现为磁场异常。

SCT™ 识别与管道中的不同类型的局部应力相关联的特定磁特征，并且可以区分由例如腐蚀引起的应力的预期变化和由环形焊缝引起的应力的预期变化。在数学分析之后，无论缺陷的来源，局部应力增加会产生相同的波形，SCT™的自动搜索算法可以识别它们的位置并精确到厘米。同时还将算法进一步开发和训练以检测SCZ内的每个磁信号的特性，以估计引起它们的应力的大小。重要的是，这是直接通过磁数据分析完成，没有通过任何对管壁减薄计算的中间分析，或者需要在检测之前或之后以任何方式的挖掘，校准，验证或调整管道。

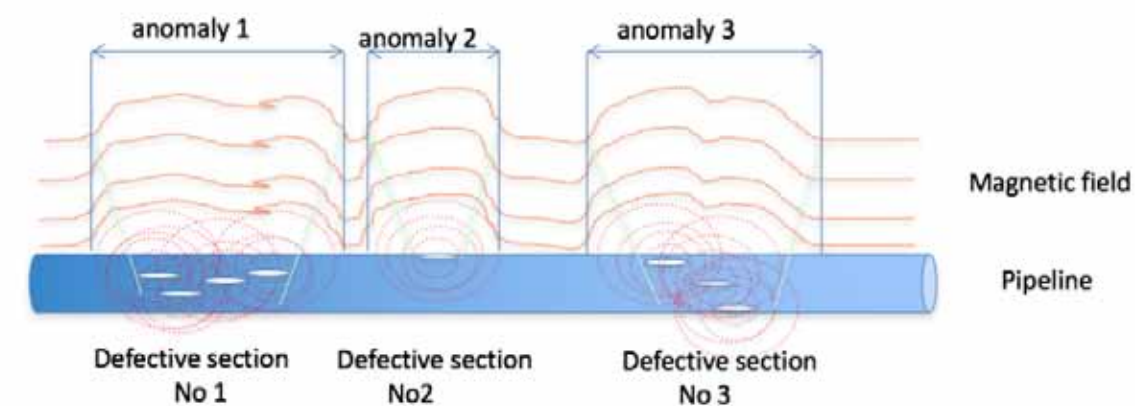


图3：该图显示了管道（蓝色）及其自然磁场（红色波浪线）。缺陷导致应力的局部增加，这又导致在增加应力的区域内的磁场范围的重新分布，从而导致磁场异常。SCT™ 通过将磁力计直接在管线中心上方收集管线的磁场数据。然后分析这些数据以识别 SCZ 的位置，并报告以MPa为单位的应力值大小。SCT™ 还使用相同的磁数据来报告管道的横向位置，埋深，环形焊缝以及壁厚和管壁直径的变化。

SCT™的应力估计算法基于物理定律中铁磁材料的应力和磁化之间的关系，该原理由 Speir Hunter 以及英国利兹大学进行的研究发现并以数学的方式进行表述。管壁中局部应力和其磁场大小的变化是直接相关的。当铁磁材料经受机械应力时，它们的磁场范围重新分布，从而在管线的背景磁场中产生异常。这种关系是可以估测的并可以用物理上的Villari效应描述。例如，管壁减薄将改变该区域中管壁的局部应力水平。这又将导致管道的磁场的相应变化。与 MFL（磁通泄漏）相同的是，SCT™ 通过测量其磁场的异常来评估管壁情况。与MFL的不同在于，SCT™ 不需要磁化管道或向其输入 任何能量，或需要中间计算管壁减薄以估计SCZ的应力水平。相反，SCT™ 利用应力和磁性特性之间的直接关系，通过对管道进行远程连续收集到的数据进行直接分析。SCT™ 在检测过程中不需要与管道进行任何接触，也不需要 在管道壁中引入额外的能量。只要管道由铁磁材料构成，就可能适用 SCT™ 检测，但仍受到本文档稍后描述的局限性的限制。

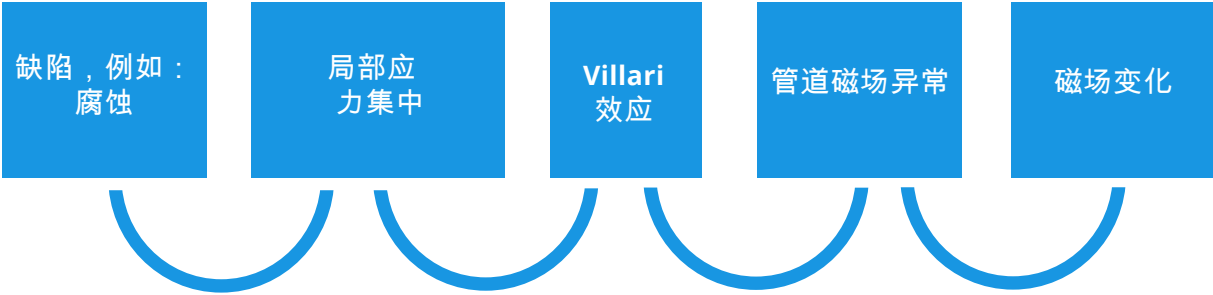


图 4建立在Villari效应基础上，铁磁材料通过根据该效应来响应局部应力

2.2 设备

SCT™是一种完全数字化的检测方法，包含磁场数据收集和分析过程，其中在每个阶段使用专利硬件和软件。UNISCAN™是指给用于收集磁场数据的硬件的术语，UNISCAN™ Tools 是用于分析收集的数据并生成完整的管道状况和映射报告的软件。

UNISCAN™

UNISCAN™ 基本上由附有GNSS时间标识系统的磁场数据收集单元组成。它带有一个磁力计阵列，用于收集管道多个维度的磁场，以及一个板载数据记录器，为现场操作员提供一个 LED 显示单元，以便在沿着管道轴线行走时使用。GNSS 地理坐标以 40Hz 的速率标记在磁数据上，然后将所有数据存储在军用级 USB 数据棒中，每个检测可保存 200km 的数据。UNISCAN™ 装置由轻质碳纤维框架构成。它易于在现场运输和组装，在恶劣的天气条件如雨，雪或高温下耐用，并且易于操作。它重量小于 7kg，由单个现场操作员携带并以步行速度操作。一个两人团队在理想状态下操作，每天可以检测高达 10km 的管道。

UNISCAN™使用测绘级 GNSS 硬件来确定扫描仪的位置和检测到的 SCZ 的位置。其中包括一个独立的基站，与连接到 UNISCAN™ 外框的移动接收器通过无线电连接。在上空无遮挡的情况下，可以检测并报告 SCZ 的几何中心并精确到亚米级别。



图5 UNISCAN扫描器应用在法国的传输管线上以正常的步行速率行走在崎岖的道路上

GNSS 系统有三种使用方式。首先，它用于实时地将位置数据标记到磁数据上。当 UNISCAN™ 操作员沿着管道轴行进时，GNSS 数据以每秒 40 次的频率嵌入磁场数据。然后将该磁场数据和位置数据存储在板载 USB 记忆棒上，并在完成磁性测量后上传到 PC 端。

其次，它用于在 SCT™ 检测之前沿管道路线对地上物体进行地形勘测。在数据分析过程中，这些物体与磁场数据相关，帮助识别磁数据可能受地上金属物体干扰的区域。如果这被确认，则在报告中标明受影响区域的地理坐标。此外，它们还用于建立参考点以辅助挖掘。

第三，GNSS 系统标点功能用于指导挖掘团队到挖掘地点位置，其准确度可达亚米级别。

UNISCAN TOOLS™

UNISCAN Tools™ 是一个软件包，它使用复杂算法的组合来检测 SCZ，定位并估计每个 SCZ 的应力，过滤掉常见的磁干扰源，例如架空电力线，确定管道的埋深，识别环形焊缝的位置并且生成管线路线的三维地图。唯一需要向该软件输入的是由 UNISCAN™ 收集的磁性数据和定位数据（也需要添加由客户提供的管道的通常环向应力和材料的 SMYS（指定的最小屈服强度），在报告中作为参考）。

由于 UNISCAN Tools™ 可以区分由环形焊缝引起的磁信号和由缺陷引起的磁信号，因此 SCT™ 可以检测环形焊缝处或其附近的缺陷。它还可以区分地下金属物体和管道上的缺陷，并生成管道路线（包括埋深）的三维地图，这对于检测系统来说是独创的。所有这一切都是使用 UNISCAN™ 收集的相同数据集实现的。

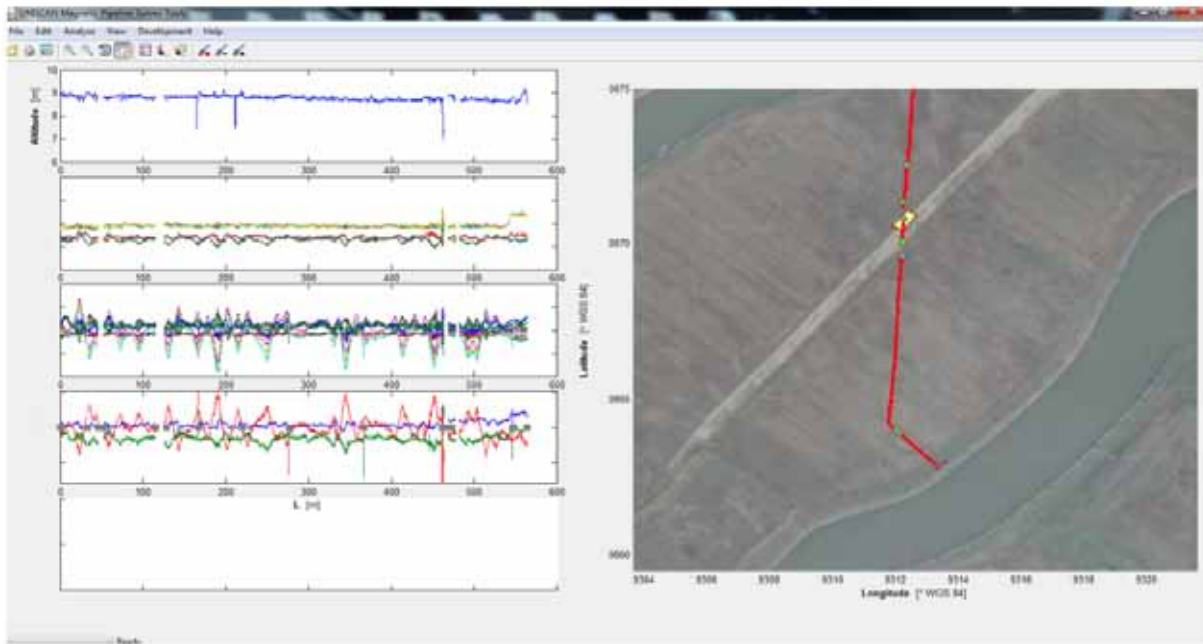


图6： UNISCAN Tools™ 以每分钟1公里数据的速率自动生成初步结果。以这种方式，如果管道的一部分被发现处于严重状况并且潜在地需要紧急措施时，可以尽早地通知客户。为了保护客户信息的机密性，地理坐标已经进行了修改。



图7： SCT可检测位于环形焊缝上及其附近的缺陷。

2.3 工作流程

当管道业主从 Speir Hunter™ 正式要求提供一份提案时，将启动以下流程工作流程。注意，没有隐藏的附加项目，例如操作参数或挖掘要求的变化，并且价格低于使用ILI检测的公司提供的高分辨率工具，并且当考虑挖掘成本时，价格也低于 ECDA。

阶段1：调查

客户联系 Speir Hunter™ 表示在他们的管道上 SCT™ 应用检测的兴趣。Speir Hunter™ 通过向客户发送技术问卷供填写，签署和返回，来评估管道的技术可行性。

阶段2：调查前分析

如果管道技术上适用于 SCT™ 检测，则沿着拟定的调查路线进行预检测，以评估地形对 SCT™ 检测的适用性。这可以在现场进行，或使用管道业主提供的照片和视频进行审查。向业主报告测量路线上的障碍物，并要求其尽可能在检测队到达之前清除障碍物。

阶段4：SCT™ 磁场数据收集和地上地形特征映射

由一个两人小组出发进行 SCT™ 检测。使用管道探测器标记管道路线，并且使用 GNSS 数据记录器记录重要的地上地形特征。一个技术人员携带 UNISCAN™ 沿着测量路线直接在管道上方行走来收集管道的磁数据。数据以步行速度收集并存储在板载USB 记忆棒上。

阶段5：数据分析和报告生成

磁场数据在调查完成后立即上传到英国的数据分析中心，分析人员使用 UNISCAN Tools™ 生成初步结果，然后编译包含管道业主指定结果的最终报告。最终报告可囊括业主管道的全面完整性信息，三维映射图，特定缺陷的位置，例如褶皱弯头和环形焊缝的地理坐标，这些可与ILI报告结合使用以确定准确的挖掘位置，或者报告中包含以上所有内容。如果客户需要帮助解释最终报告中的结果，Speir Hunter™ 在项目完成后提供技术支持。

阶段6：修复和验证

如果客户决定返回现场挖掘修理或使用直接评估高分辨率工具验证结果，SCT™ 的 GNSS 定位系统可以通过使用其亚米级别精度的定点功能进行辅助。



图8：技术人员在组装 UNISCAN™。该设备便于携带，在现场可迅速组装。组装时间约为 10-15分钟。



图9：技术人员正在设立基站，基站可接受 GPS 和 GLONASS 卫星的信号向 UNISCAN™ 框架顶端连接的 GNSS 接收器播报其位置。



图12：UNISCAN™ 应用在地下管道上，其路线已经由管道定位器标记。



图10-11：左：使用 UNISCAN™ GNSS 系统对管线路线上方地形特征的位置进行电子记录。右：SCT™ 的 GNSS 定点功能用于在挖掘期间返回现场时定位预测的内部腐蚀位置。

3 SCT™ 可交付的成果

因为任何局部应力的增加都使SCZ (应力集中区域) 的磁场重新定向，其管道周围的磁场表现异常，SCT™ 能够检测到这些异常，所以SCZ中存在任何类型的冶金或机械缺陷导致的应力增加均可以检测，但无法判断缺陷的时钟位置。

SCT™ 目前不对缺陷类型进行分类 (虽然这种功能目前正在开发中)，但它能够区分由环形焊缝产生的信号和由缺陷产生的信号。SCT™ 可以报告SCZ中的应力幅值并与正常操作环向应力和材料的 SMYS 进行比较，并且在客户指定的情况下，报告包含管道路线的三维地图，报告精度为± 10cm 的横向位置，埋深误差为实际深度的±5%。SCT™ 是世界上唯一能够同时检测和映射管道的技术。

其次，SCT™ 是一种完全远程的检测，因此不受管道配置，紧急转角或阀门的限制。此外，由于它是完全非侵入性的，因此不需要改变管道操作参数。SCT™ 检测可以在管道正常运行时进行，这意味着减少停机时间和降低检测成本。

3.1 功能

SCT™ 报告提供以下信息：

- 高精度的SCZ位置判断和由以下引起的应力幅度：
 - 应力腐蚀开裂 (SCC)。
 - 焊缝缺陷，可以识别环形焊缝位置。
 - 由地面运动引起的应力，例如。沉降，滑坡和冲刷。
 - 内部和外部腐蚀和冶金缺陷 (无时钟位置)。
- 管壁壁厚和管径变化位置，套管的始末位置。
- 检测卡住的智能猪和非法热帽。
- 生成管道路线的高精度三维地图。
- 环形焊缝在短长度上的高精度位置 (以帮助识别开挖位置)。

SCT™ 的主要商业利益

- 无需中断管道操作
- 无需最小或最大工作压力
- 无需改变流量
- 检测期间不会对生产造成损失
- 不要求关闭阴极保护电流
- 不需要开挖直接评估管道或校准结果
- 在检测之前或进行期间，不需要使用直接接触传感器或放大管道磁场

关键指标

SCT™ 已经通过现场项目证明其结果的一致性，同时也证明了检测结果在厘米精度和估算应力值在±10%变化的重复性。SCT™在其当前发展阶段的能力的关键指标总结如下，并在本文档结尾处的技术规范展开介绍。

1. SCZ 检测的可行性：在没有磁性干扰的条件下，超过80%的检测点验证的可信度达到95%。
2. 位置精度：<1m (轴向) ; +/- 10cm (横向)。
3. 环形焊缝检测精度：每200米距离内，80%的置信水平为95%。
4. 埋深：实际深度的±5%，可信度为95%。

环形焊缝检测

SCT™ 不仅提供冶金和机械缺陷检测，还可以将 SCT™ 得出的精确环形焊缝定位数据与 ILI一起使用，业主可以在没有焊缝位置准确记录的情况下确保施工队准确的挖掘以降低挖掘成本。当未安装ILI标记时，ILI 通常根据相对于最近的环形焊缝推断缺陷的位置。然而，ILI 测量通常用从测量起始点的行驶距离来定位环形焊缝的位置，但是当管道上升，下降，转弯和弯曲时，测量的总行驶距离通常变得大于正常的地面距离。这可能导致定位不准确，有时可能长达 60-80m。然而，SCT™ 的 GNSS 定位系统直接从地面定位环形焊缝并精确到亚米精度。

3D 映射功能

SCT™ 还提供清晰的表格和图表来展示管道的横向位置和埋深。在地质灾害区域中，该信息有助于在管道缺陷发生前对管道运动进行识别。SCT™ 地图可以用于检测和报告由于地质运动造成的管道弯曲，在土壤侵蚀区域管道埋深较浅的区段，该数据也可以为防止管道受损提供辅助。



图13 MPI 证实了SCT™检测出的应力腐蚀开裂的微裂缝。



图14&15 SCT™ 的3D制图功能检测到地下地球运动导致一对平行管道的横向变形。

Girth Weld Detection

SCT™ offers more than just metallurgical and mechanical defect detection. SCT™'s precision girth weld positioning data, used together with ILI, can reduce repair costs by directing excavation teams to the correct location in cases where the operator does not have accurate records of the position of the welds. When markers have not been installed ILI usually references the location of defects in relation to the nearest girth weld. However, ILI measures the position of girth welds as a running distance from the start of the survey but as the pipe rises, falls, turns and bends the total running distance of the survey usually becomes greater than the nominal above ground distance. This can lead to positioning inaccuracies, sometimes as large as 60-80m in length. However, SCT™'s GNSS locational system positions girth welds directly from above the ground to sub-meter accuracy.

3D Mapping features

SCT™ also provides clear charts and diagrams showing the pipeline's lateral position and its depth of cover. This information is particularly useful for identifying pipeline movement in geohazardous areas before they cause failure. SCT™ maps can be used to detect and report pipeline buckling due to earth movement but segments with shallow depth of cover reported in regions of soil erosion can also be used to facilitate actions which will reduce the chances of a pipeline strike.

3.2 理想的工作环境和主要局限性

SCT™ 的基本要求是目标管线必须由铁磁材料构成。 如果不满足该条件，则不能使用 SCT™ 进行检测。 在评估管道是否适用于 SCT™ 检测时考虑的其他因素包括沿管道路径的环境条件及其运行参数。

环境限制

- 妨碍UNISCAN™ 操作员在管道上行走以收集数据的地面物理对象和地形特征。
 - 示例: 建筑物，墙壁，围栏，钢悬垂结构，楼梯，宽阔的河流，沼泽。
 - 解决方案: 如果阻塞物体无法移动或处理掉，则没有相应的检测解决方案，但最终报告中会清楚地表明了为什么在管道测量的特定部分没有收集磁数据并标明其位置。
- 钢筋混凝土可以影响应力估算结果。
 - 示例: SCT™ 可以从埋在钢筋混凝土下的管道收集磁数据，但钢筋可能会对缺陷检测和应力估计结果的准确性产生不利影响。
 - 解决方案: 在数据分析阶段需要花费较多的时间对钢筋混凝土下的管线进行人工分析，调整之前自动生成的SCT™ 结果。
- 上空视野受限可能会影响 GNSS 信号精度，并增加检测管道所需的时间长度。
 - 示例: 管道路线穿过具有许多高建筑物或茂密森林的城市区域，这类障碍物会遮挡上方视野。
 - 解决方案: 如果无法清除上空的障碍物，则在现场部署棱镜和激光以及手动分析GNSS数据可以将位置数据恢复到指定的标准。

重要的是要注意，由地下金属物体（例如废弃的焊条）引起的管道磁场中的异常在 UNISCAN™ Tools 的数据分析过程中被识别，但不构成对SCT™ 检测的限制。我们预测这样的特征有存在的可能。

管道物理配置限制

影响 SCT™ 检测精度的技术参数总结如下。 需要注意的是，它们并非绝对的限制，其中一些参数的阈值可以超过。 然而，这样做可能需要在处理磁性干扰区域的数据时进行人为分析。 这些超过阈值的情况不会构成 SCT™ 检测的限制。

- 平行管道可能会对从目标管道收集的数据造成干扰。
 - 期望阈值：如果一对平行管道中的一个管道的外壁距离最接近它的外侧磁力计的距离大于0.5米，则没有磁性干扰。若超过这个阈值，可能导致难以判断检测到的 SCZ 的管道来源，缺陷可能位于目标管道或其平行管道中。
- 管道埋深会影响管道的磁场强度。
 - 期望阈值：如果管道中心到UNISCAN的距离不大于管道直径的12倍，在此情况下的应力估算的结果是最理想的。超过这个阈值，应力估算的准确性可能会受到影响。
- 管道直径会影响管道的磁场强度。
 - 期望阈值：如果管道直径> 150mm（6英寸），则缺陷检测和应力估算结果是可靠的。超过这个阈值，缺陷的检测受影响较小，但是缺陷的应力估算准确性可能受到干扰。
- 磁记忆（MM）阈值。理论上，管道在检测期间或之前需要经历了65MPa的环向应力，否则 SCT™ 应力估计结果将有误差。一旦达到MM阈值，对于由缺陷引起的应力增加的磁响应对由缺陷引起的增加的应力的磁性响应将变成永磁体。在这种情况下，局部磁体的状态是可预测的，并且与运行压力无关。
 - 期望阈值：如果管道在其运行历史中至少达到过一次65MPa的环向应力，则其已经超过MM阈值。环向应力计算基于巴洛方程： $PD / 2T = (\text{工作压力} \times \text{管直径}) / (2 \times \text{管壁厚度})$ 。

检测前曾使用线磁通检测（MFL）造成的限制

- MFL将破坏在SCT™中检测到的自身磁漏（SMFL），因此MFL检测之后需要一段时间使感应磁性衰减，并且重新建立SMFL。 这些条件通常在MFL检测后12个月后才能达到。 通常不建议在MFL检测后12个月内使用SCT™检测确定环形焊缝的位置。

3.3 报告格式

SCT™ 最终报告符合国际标准，并包含直接可操作的数据，允许管道完整性管理员对其管道的完整性做出明智的决策。SCT™ 报告每个 SCZ 的局部环向应力的大小及其位置，并将其用材料规定的最小屈服强度（SMYS）的百分比表示。该数据根据 ASME B31G 中规定的安全值进行分级，根据人群接近度和密度定义环向应力的最大极限。使用这些数据，管道完整性管理员可以决定是否需要在管道上进行进一步的操作，例如通过使用标准高分辨率工具在指定地点进行直接评估进行修复或进一步调查。

最终报告还包含结论和建议，客户提供的技术管道信息的详细记录以及沿管道路线的重要标记物信息。虽然正式书面报告通常需要项目结束后4个星期来准备和提交，但是可以在数据收集完成后进行日常数据分析以确定特别危险的 SCZ。



图16：SCT™ 的环形焊缝检测算法映射到管线路径上。环形焊缝由蓝点表示，并映射到管线路径（红线）上。地面标记杆以黄色三角形表示。为了保护客户信息的机密性，已经对 GNSS 坐标进行了修改。

SCZ ID	Distance [m]	Latitude [WGS84]	Longitude [WGS84]	Altitude [m WGS84]	Estimated Stress [MPa]	Stress in SCZ as % SMYS
59	0.53	XXXXX	XXXXX	185.42	358.190	79.59
106	1.57	XXXXX	XXXXX	185.41	378.243	84.05
152	2.77	XXXXX	XXXXX	185.41	359.530	79.89
283	6.51	XXXXX	XXXXX	185.26	66.753	14.83
323	7.67	XXXXX	XXXXX	185.29	70.373	15.63
723	17.00	XXXXX	XXXXX	185.09	393.897	87.53
1185	27.56	XXXXX	XXXXX	185.45	92.822	20.62

图17: 该管道异常表中每个 SCZ 有唯一的ID，SCZ距离勘测起始点的距离，SCZ 的精确 GNSS 坐标及其应力值估计，并以MPa和管道材料 SMYS 的百分比表示。使用 SCZ ID，用户可以对其位置及其特征以及沿勘测路线的位置（如下图所示）在视觉上进行交叉比对（参见下文）。为了保护客户信息的机密性，已经删除了图中 GNSS 坐标。

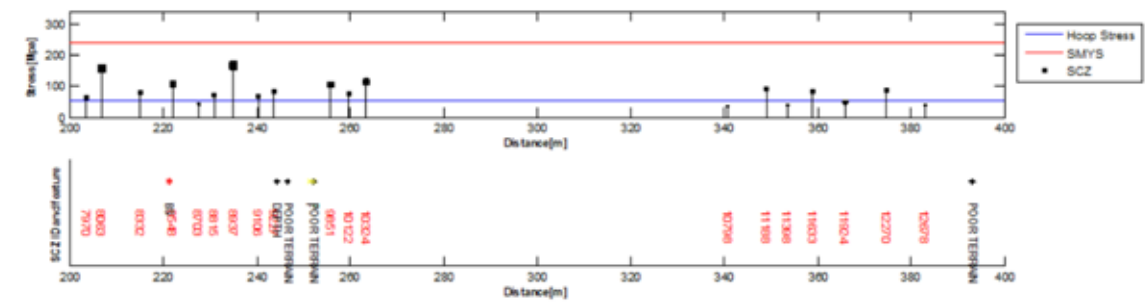


图18: 带状图提供了勘测路线上所有SCZ的位置的可视化视图，以及它们的唯一ID编号、估计应力值以及与地上地形特征的关系。在上图中，蓝线表示管道的额定环向应力，红线表示管道材料等级的 SMYS。这两个数字是根据客户在检测前调查问卷中提供的技术信息计算的。每个黑色正方形是一个 SCZ，其唯一的ID可以在底部的图表中找到，图表同时也记录了明显的地面地形特征。



图19: 勘测地图显示了 SCT™ 检测的管道路线的一部分。红线表示测量路线，黑点表示 SCZ，每个SCZ (红色字体表示) 拥有其唯一ID，可以在异常表和带状图中进行交叉比对。为了保护客户信息的机密性，已经删除了图中 GNSS 坐标。

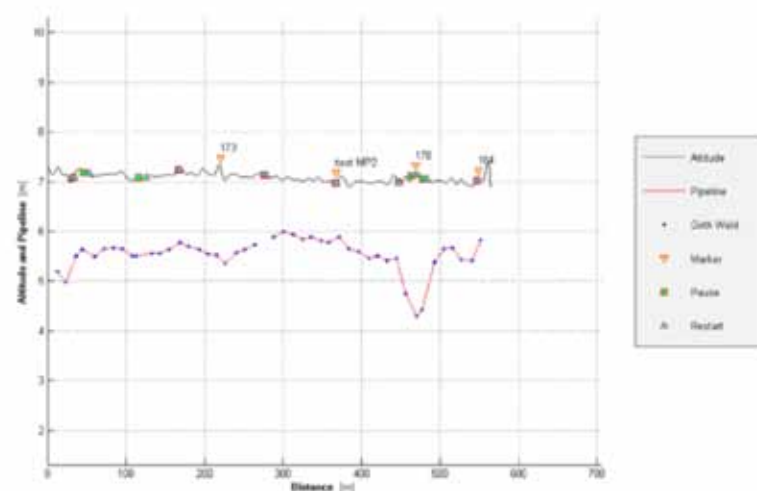


图20: SCT™ 的环缝焊缝检测结果映射到埋深算法的结果的一个例子。黑线表示地球表面的海拔高度，红线表示管道的海拔高度。从而可以推断出管道的埋深。每个蓝点都代表环形焊缝。在该示例中，450-500m 的管线埋深与地面上的道路铺设相对应。

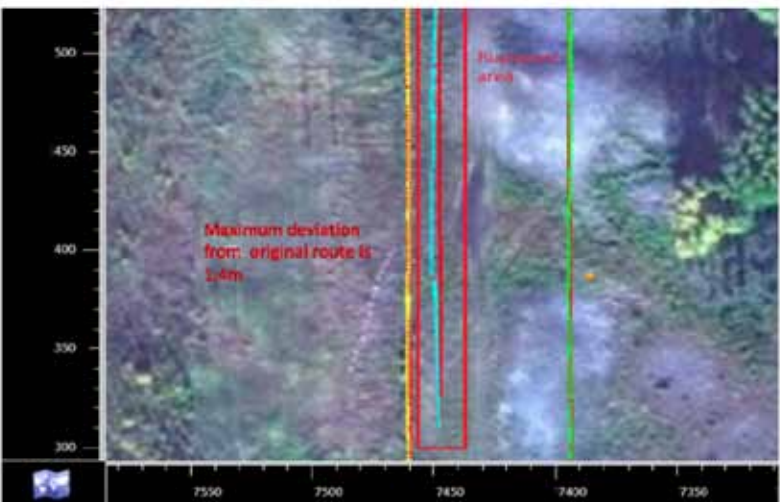


图21: SCT™ 显示管道的横向变形 (蓝线)。该偏转与预期的管路达到最大偏差1.4m，并且发生在已知的滑移区域中。该变形发生在 1440-1480m范围内。为了保护客户信息的机密性，已经对 GNSS 坐标进行了修改。

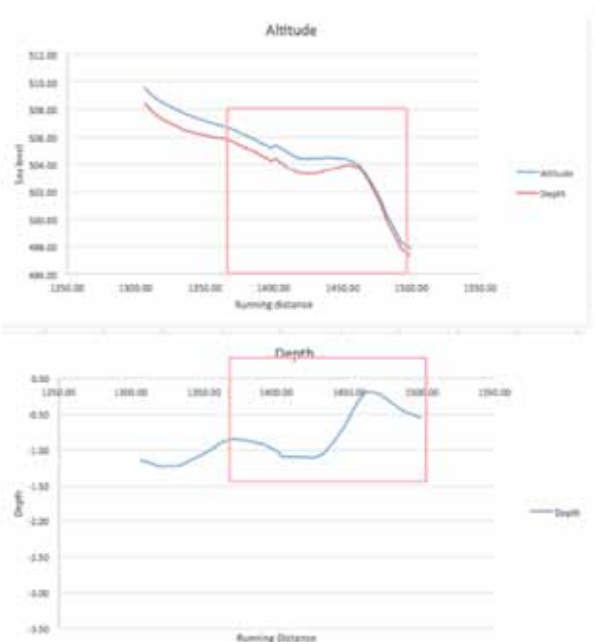


图22: SCT™ 的埋深算法表明，在图21中管道横向变形的部分与上图管道弯曲的部分相符合。在顶部图中，蓝线表示地表的海拔高度，红线示出管线本身的海拔高度。在 1440-1480m 区段，管道向上弯曲至小于 0.5m 的埋深，如底部图所示。

4 其他非内检管道检测技术

4.1 外腐蚀直接评估 (ECDA)

外部腐蚀直接评估 (ECDA) 是检测非内检管道的完整性的最广泛使用的评估方法。这种检测方法的四步程序需要进行预评估，包括收集和评价历史数据和管道特性，间接评估，直接检测和检测后评估，使用以下一种或多种技术进行直接和间接评估：

间接评估方法

- 密闭间隔调查 (CIS)
- 直流电压梯度 (DCVG)
- 交流电压梯度 (ACVG)
- 管道电流映射器 (PCM)
- C-Scan
- 土壤电阻率

直接检测

- 管道涂层条件检测
- 腐蚀测绘和数据收集
- 管道缺陷和金属损耗
- 管道的剩余强度
- 土壤类型，pH值，深度
- 阴极保护评估

随后是制定异常点验证挖掘计划，所有数据将在完成后进行处理分析，并发布最终报告。

SCT™ 在技术上和商业上相比于 ECDA 的优点

尽管 ECDA 的流程建立完善，但仍然面临两个主要弱点：

- 它只能报告使用直接接触式 NDT 检测技术检测的管道金属的状况。 如果不进行挖掘，它只提供腐蚀的概率，而且挖掘的价格高昂。
- 可以通过考虑环境因素和 CP 系统的状况进行预测，但这是一个昂贵和冗长的过程。

从整体上来看，SCT™ 对管道的检测要快于 ECDA 进程。若在检测队伍抵达检测地前将管道标记出来，两人组成的检测队伍每天可以最多可以进行10公里的检测，而 ECDA 采用的多种评估方法效率较慢。使用 SCT™ 时，两名技术人员在抵达检测地后搭设好基站接收器，沿检测路径记录下沿线的重要物体，然后返回检测初始点组装仪器，沿之前标记出的管线连续收集数据进行检测。由两部卫星定位接收器组成的GNSS系统覆盖半径为2.5公里，在基站接收器放置在检测路径中点时可保证单次5公里的检测长度。当使用覆盖半径更大的天下时，单次检测长度可扩展为原来的两倍。

每英里的费用	
美国州际自然天然气协会	\$15,000
美国天然气协会 (成员估计)	\$7,000 - \$8,000 (不包括挖掘)
美国天然气协会 (成员估计)	\$2,500 - \$ 250,000 发掘费用
美国天然气协会 (成员估计)	\$40,000 适用与典型的传输管线
PG & E 报告的使用 ECDA 的平均成本	\$29,000

图23： 该表中的信息源于美国管道完整性管理部门在2001年发布的数据

4.2 磁力成像方法 (MTM)

MTM 是一种磁力计技术，声称能够获得与ILI检测结果细节类似的管道状况。 业内的反馈表明，在16年的商业化之后，其结果的完整性有显著差异。其定位系统使用棉线连接到板载里程表上，并使用低成本的手持式 Garmin GPS 仪表。 磁性数据存储在磁性存储块中，复杂的计算机生成的图表需要由技术人员用肉眼进行分析。

SCT™ 在经济上和技术上比MTM技术更先进

- SCT™ 提供比任何其他形式的 MTM 技术更全面的数据。它是世界上唯一能够提供管道的 3D 映射 (包括管道的埋深和侧向位置) 以及管壁条件报告的唯一检测技术。它还可以报告环形焊缝位置，褶皱弯曲的位置，套管的始末位置以及管壁厚度和直径变化的位置。
- SCT™ 的检测速率优于 MTM，MTM 的起始点由板载棉线连接在计米器上，因此对检测速率有一定限制。
- SCT™ 可以区分表征环形焊缝的磁信号与源自管壁中缺陷的磁信号。因此，它可以在小区间内使用，以准确识别 MFL z报告中推断的特定环形焊缝的位置，指导施工队在正确的位置进行挖掘。
- 与MTM不同的是，SCT™ 使用软件算法自动量化 SCZ 的应力值。而我们的竞争对手仅报告 SCZ 应力的相对严重性，并且使用人为数据分析来挑选细节。这是技术中的主要设计缺陷，不仅因为数据量大增加了人为出错的几率，除此之外，当管道上某处的 SCZ 十分严重的并且 SCZ 间隔较近时，它会隐藏缺陷的真实严重性。
- SCT™ 以符合国际标准 (如ASME B31G) 的格式清晰地报告管壁上应力状况。然而，我们的主要竞争对手使用的一个私人的“交通灯”系统，无法向客户解释用于评估缺陷严重程度的标准。此外，SCT™ 在报告中清楚地表明使结果不准确的磁干扰或者阻碍数据收集的地方，但我们的竞争对手不这样做。因此会误导客户，增加管道故障的几率。与我们的竞争对手不同，SCT™ 有一个板载显示单元，可以实时告诉操作人员磁性数据采集是否有问题。否则，操作者有可能浪费整天收集无效数据，从而增加检测的时间和成本。

4.3 成本和长期使用 SCT™ 的主要优势

在使用 SCT™ 检测时不产生额外成本。提案中的报价包含固定的人员出行费用，固定的实地检测费用和固定的分析和最终报告费用。无隐藏的附加价格，报价低于使用ILI公司提供的“黄金标准”高分辨率工具收取的价格。因此在很大程度上节约成本，这将会在下例的案例分析中说明。

案例分析1：将非内检管道转化为内检管道的开销

从长远角度来看，SCT™ 在提供管道完整性解决方案上经济有效。SCT™ 报告在每个应力集中区 (SCZ) 的局部环向应力的大小，并用其管材的最小屈服强度 (SMYS) 的百分比表示。该数据根据 ASME B31G 中规定的安全值进行分段，根据人口接近度和密度定义环向应力的最大极限。使用该数据，管道完整性工程师可以对是否需要进一步监测或其他行动做出判断。因此，SCT™ 能提供足够的数据以便于对被检测的非内检管道的状况做出判断，而不需要将其转换为可内检的管道。相比之下，ECDA 检测进程慢，效率低和价格昂贵以及要求更完整的管道条件信息。以下1992年公布的数据显示，SCT™ 可以节省大量开支，由此可以合理地假设节约的开支在此基础上将会更多。

项目	最低价 美元/km	最高价 美元/km
卡尺测量工具	620	810
收发装置	500	620
清除限制处	3100	15500

图24：根据美国1992年的数据，该表展示了将非内检管道改造为内检管道所需的费用。由于例如没有智能猪收发装置或减压阀阀门和其他配件等物理限制，其中42%的天然气管线和11%的液体管线由不能使用智能猪进行检测。（来源：美国交通部，华盛顿，美国，1992年）

案例分析1：假设

1. 卡尺测量工具用于识别需要修改的限制处和弯曲处。
2. 改造管道以安装发射器/接收器组合，造假约为\$ 80 - \$ 100k。架设要求是每160公里，图24中的数字是平均成本/公里。
3. 限制清除假设为每平方公里至少1个障碍物，只清除管道弯曲处参考表中最低价计算，如包含阀门更换，参考最高价
4. 注：数字包括生产量损失的成本

案例分析2：低分辨率和高分辨率内检的开销

此案例表明虽然使用低分辨率内检工具比高分辨率内检工具便宜，但是在实际应用中开销却更大。一家加拿大公司曾使用低分辨率智能猪检测了288公里的管道，该工具报告了1809个缺陷，需要开挖这些缺陷以验证检测结果。但是公司决定使用高分辨率的智能猪进行了重新检测而非立即进行验证开挖，结果表明只有3处需要进行挖掘（“通过高分辨率智能猪的交互性腐蚀的评估”，加拿大石油协会会议，加拿大卡尔加里，1990年5月）。因此，低分辨率工具可能由于不必要的挖掘而导致更高的成本。这对于高分辨率智能猪也是如此，因为检验公司收取额外的缺陷分析费用或建议“验证挖掘”来检测智能猪的准确性。

内检费用总计

	Low \$/ km	High \$/ km
Cleaning	315	315
Inspection	1250	2200
Operator Errors	65	65
Throughput Loss	1800	3600
Total	3430	6180

Natural Gas Pipelines

	Low \$/ km	High \$/ km
Cleaning	5620	5620
Inspection	1250	2200
Operator Errors	65	65
Throughput Loss	0	0
Total	6935	7885

Liquid Pipelines

图25：天然气和液体管道中使用低分辨率内检工具的开销（上述数字是根据美国总会计办公室报告的1992年美国成本计算的，GAO / RCED-92-237报告和“MFL技术的比较”提交于于1993年9月在德克萨斯州休斯顿举行的“管道风险评估，修复和修理”会议。）

案例分析2：假设

1. 生产量损失基于价格\$ 6 / mmBtu (历史高点= \$ 15.38 / mmBtu历史低点= \$ 1.05 / mmBtu)
2. 假设天然气管道的清洁只使用机械工具 (刮刀)
3. 液体管道的清洁假定为65%的机械工具和35%的化学工具

5 SCT™ 的审批流程和参数

使用 SCT™ 检测客户管道的工作合同通常包含保密条款，因此，Speir Hunter 不能公开任何管道运营者和业主的信息。同样，这些公司雇用的人员和从事评估过程的人员不得代表他们的公司发言或正式代表他们的公司。但是，以下人员已准许非正式联系：

姓名	公司	邮箱	联系电话
Peter Martin	National Grid (UK)	peter.b.martin@nationalgrid.com	+447 1462 444624
Juan Meja	Enbridge Pipelines Inc (Canada)	juan.meja@enbridge.com	+1 780 420 8589
Greville Turner	Pipe and Tank (South Africa)	greville@pipeandtank.co.za	+27 11 2342 505
Guy Dos-Santos	GRTgaz (France)	guy.dos-santon@grtgaz.com	
Jerome Bonnal	GRTgaz (France)	jerome.bonnal@grtgaz.com	+33 660 559116

以下为南非方面的回复（负责人 Greville Turner）：

“对于您的问题：我们的管道是具有纵向焊缝的钢管。管道以 9m 的间隔沿环向焊接。管道涂层是玻璃纤维增强的沥青，我们认为里层也是相同的材料。管道建于1956年。我们以前根据ECDA类型的研究检测了同一部分的其他四个位置。发现所有这些位点都是未涂覆的或涂层半失效的环形焊缝的位置。在所有位置检测到不同程度的腐蚀，这些位置中的每一个和大多数涂层缺陷都与 SCT™ 异常区域相对应。值得注意的是，在管道的整个 1500m 长度上仅检测到49个涂层缺陷。这些涂层缺陷中的大多数非常严重（未涂覆的连接处）。我们检测的 SCT™ 异常之一是外部腐蚀的部位，但在这一点没有检测到涂层缺陷。在物理检测时发现了许多非常小的涂层缺陷，并且在涂层下面发生了腐蚀。在这一点的一侧有两个非常大的涂层缺陷，这很有可能会掩盖对这些小缺陷的检测。”



图26：英国国家电网官方对 SCT™ 检测表示认可，并接受其为管道完整性管理工具箱的一员。

6 的技术规格

产品信息:

SCT™ 检测系统是一种非接触式，非破坏性和被动技术，收集目标管道中自然出现的磁数据，以评估管道完整性，产生管道位置的三维映射，并识别例如套管，皱纹弯曲和环形焊缝等管道特征。

• 能够检测由以下原因引起的应力集中区 (SCZ) :

- o 金属损耗 (内部或外部)
- o 裂纹和线性缺陷 (包括SCC)
- o 凹痕
- o 由地面运动引起的下垂或弯曲

- 使用磁数据和测绘级GNSS技术的组合，对管道位置的三维映射展示
- 在200米距离内检测环形焊缝的精度大于80% (95%置信水平)
- 每2米至6米对埋深进行估算并显示读数
- 检测铁磁性套管
- 检测壁厚和管道直径变化的位置

工作范围

- 测量管道直径 : > 150mm (6英寸)
- 管壁厚度 : > 3.0 mm
- 管道埋深 : 最佳埋深为管道距UNISCAN扫描器杆的距离为管道直径的12倍

感应 : 被动磁技术

准确性

管道横向位置 : 100 mm以内.
管道埋深 : 实际深度的±5% , 置信度为95%
环形焊缝 : > 80% , 在200m距离内的置信水平为95%
GNSS定位系统: 定位精度 : 测量级多卫星GNSS系统
后期校正前 , 精确到相对于固定点15毫米 (95%置信度) 。后期校正后可达15毫米 (绝对值)

SCZ 位置 : 预测地理坐标的+/- 1m内。 这是指SCZ几何中心的定位精度。无论单个或多个缺陷，其导致磁异常都包含在异常区域内，但是它们的精确位置和数量无法确定

检测概率，遗漏和错误报告

检测概率: 在没有磁性干扰的情况下，验证检测位置的可靠性水平为95%的不低于80%。

遗漏: 在没有磁性干扰的情况下不超过经验证的检测地点数量的20% , 置信水平为95%。

错误报告: 在没有磁干扰源的情况下，不超过20% , 置信水平为95%。

数据

存储器USB: 用于数据采集的耐用工业级USB , 可存储大于200km的管道磁性/ GNSS数据

数据处理: 使用UNISCAN Tools™ 进行离线数据分析

物理和环境质量

环境保护: IP-66
电池类型: 锂 (GNSS) : 镍氢 (UNISCAN)
框架: 碳纤维
连续工作: 不少于12小时
工作温度: -25°C 至 45°C
最大调查长度: 无限
工作环向应力: 当前或历史> 65Mpa
重量: 7Kg (包括GNSS 接收器和电池)
感应器阵列尺寸: 1100mmm x 140mm x 120mm

储存和运输

UNISCAN™ 系统储存在一个安全的PELI安全箱中运输，尺寸为147 x 47.5 x 26.5厘米，重26.8公斤

联系方式

上海市金山区板桥东路229号
+44 (0)21 67295858
service@speirhunter.cn
www.speirhunter.cn