

The Application of Electromagnetic Eddy Current Detection Technology in Natural Gas Pipeline Testing

Dan Zhou¹ Qianglin Li²

1. Shandong Zhongyuan Natural Gas Technology Service Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250000, China
2. Shandong Province Natural Gas Pipeline Co., Ltd., Jinan, Shandong, 250000, China

Abstract

This paper first introduces the basic principle and detection process of electromagnetic eddy current detection technology, and then introduces the application of electromagnetic eddy current detection technology in natural gas pipeline detection, including the identification and positioning of corrosion defects in natural gas pipeline, the excavation verification of corrosion defects outside natural gas pipeline and the integrity evaluation of natural gas pipeline corrosion defects. Through related research shows that the electromagnetic eddy current detection technology has a wide application range, high sensitivity and the advantages of low detection cost, for the gas pipeline defect detection results have certain reliability, can provide reliable guarantee for the safe operation of natural gas pipeline, suggested that the technology in the field of natural gas pipeline detection technology.

Keywords

electromagnetic eddy current detection technology; natural gas pipeline; corrosion defect; residual strength

电磁涡流检测技术在天然气管道检测中的应用

周丹¹ 李强林²

1. 山东省中远天然气技术服务有限责任公司, 中国·山东 济南 250000
2. 山东省天然气管道有限责任公司, 中国·山东 济南 250000

摘要

论文首先介绍了电磁涡流检测技术的基本原理和检测流程, 然后介绍了电磁涡流检测技术在天然气管道检测中的应用, 包括对天然气管道内腐蚀缺陷的识别和定位、天然气管道外腐蚀缺陷开挖验证以及天然气管道腐蚀缺陷的完整性评价。通过相关研究表明: 电磁涡流检测技术所具备的应用范围广、灵敏度高以及检测成本低等优势, 对于天然气管道缺陷的检测结果具备一定的可靠性, 能够为天然气管道的安全运行提供可靠保障, 建议该技术在天然气管道检测领域中实现技术推广。

关键词

电磁涡流检测技术; 天然气管道; 腐蚀缺陷; 剩余强度

1 电磁涡流检测技术概述

1.1 电磁涡流检测技术的概念

电磁涡流检测技术是建立在电磁感应原理基础上的一种无损检测方法, 特别适用于导电材料。当导体置于交变磁场之中, 导体内就会产生感应电流(涡流), 导体内感生涡流的幅值、相位、流动形式及其伴生磁场受导体的物理特性影响。电磁涡流检测技术无需与被测物体直接接触就可以对其进行检测, 这一优势使得检测人员能够大大降低因接触而产生的安全隐患, 同时也不会影响到被检测材料的性能。

1.2 电磁涡流检测流程

1.2.1 检测准备

在进行检测之前需要调查管道的尺寸, 不同管道管壁

厚度、管道长度、管道有效使用的期限, 管道所能承受的压力限度, 管道实测高程与设计高程的差异等, 通过以上全面调查深入了解管道现状^[1]。

1.2.2 清管

为促使后续检测工作达到标准要求, 需利用钢丝刷清管器、磁性清管器、强力除垢清管器、高密度泡沫海绵清管器和清管球等清管器具彻底清理管道中残存的液体、杂质、污垢。不同管道具有不同功能且对应不同的清理要求, 可结合管道实际情况选择最适宜的器具按照相应的顺序进行清理, 从而达到清管标准。如果出现某一清理工作不达标现象, 则需要反复进行管道清管操作, 直到满足标准要求为止^[2]。

1.2.3 内检测

若想将涡流检测器发出需具备相应条件, 首先需明确管道中不存在变形问题, 其次对于涡流检测器触发条件能够全部满足, 此时才可以进行下一步操作。在检测器发出后,

【作者简介】周丹(1990-), 女, 中国山东济宁人, 本科, 输气技师, 从事长输天然气管道安全生产运行研究。

需时刻关注检测器运行速度，其速度范围应为 0.4~5m/s，还应明确管壁中金属是否存在损耗问题以及气田管道具备的特征，将上述内容全面整合后以信号分析的形式将其转化为内检测初报告，通过这份报告可以为确定验证开挖点、维修金属缺失点提供明确的方向。

2 天然气管道检测中电磁涡流检测技术的具体应用

2.1 检测对象及作业流程

本次检测对象为含硫湿天然气集输管道，检测全长 20.025km，设计压力位 7.5MPa。技术人员在应用电磁涡流检测技术过程中主要通过检测器来实现检测作业，在检测器开始作业前需要对管道内部情况是否能够达到电磁涡流检测的相关标准进行检验。在检验达标后对管道中线区域进行测绘作业，同时测量管道的高程和平面位置，使后续在管道缺陷检测的定位过程能够更加顺利。为了更好地提升检测作业的整体效率，检测前需要先后 6 次对管道内部进行清理，保证管内的杂物不会对检测结果造成误差和影响。

2.2 检测结果分析

在整个检测过程中，电磁涡流检测器一并在管道内部检测到 104 处金属缺失，其金属缺失深度统计表如表 1 所示。通过表 1 可以看出，金属缺失最普遍的深度集中在 20%wt~40%wt 范围内，为 56 处；其次为 20%wt 深度以下范围内，为 35 处，深度大于 60%wt 的金属缺失仅为 1 处。

表 1 金属缺失深度统计表

深度范围 (wt: 壁厚)	数量
深度 < 20%wt	35
20%wt ≤ 深度 < 40%wt	56
40%wt ≤ 深度 < 60%wt	13
深度 ≥ 60%wt	1
总数	104

为了能够更加直观地分析含硫湿天然气集输管道内部金属缺失在里程维度上的分布情况，笔者对金属缺失的平面分布图进行了详细绘制。可以得出以下结论：含硫湿天然气集输管道内部的金属缺失的集中区域为 0~4000m、6000~10000m 以及 14000~18000m 三个区域范围内，其余里程区域未发现金属缺失情况，因此检测人员可以缩小检测范围，并集中对以上三个里程区域进行重点监测。

2.3 缺陷开挖验证

为了验证电磁涡流检测技术在含硫湿天然气集输管道金属缺失检测结果的精确性，技术人员采用 DR 数字成像技术和 C 扫技术对具有代表性的 10 处金属缺失位置采取现场开挖验证的方式，其中 D24-D40 缺陷位置采用 C 扫技术进行验证，D43-D74 缺陷位置采用 DR 数字成像技术进行验证，表 2 为开挖验证取点表。

表 2 开挖验证取点表

缺陷标号	绝对距离 /m	宽 /mm	长 /mm	深度 /mm	深度百分比 /%	验证方式
D24	1193.30	60.00	47.60	1.85	24.00	C 扫
D26	1194.99	60.00	11.76	3.39	43.00	
D32	1690.40	40.00	12.04	2.02	26.00	
D36	2167.14	80.00	36.21	3.31	42.00	
D40	2305.09	40.00	35.76	3.08	39.00	
D43	2761.50	40.00	28.00	2.59	33.00	DR
D44	2962.30	80.00	42.00	4.09	52.00	
D47	2992.20	40.00	29.00	3.46	44.00	
D73	9364.93	40.00	45.00	2.19	28.00	
D74	9375.62	40.00	194.00	2.67	34.00	

2.3.1 C 扫验证

由于 C 扫技术对于金属缺失缺陷的深度更为敏感，对长度的敏感性不高，因此本次采用 C 扫检测时主要对比深度指标，表 3 为 C 扫检测数据对比表，其中括弧内为管壁的真实厚度。

表 3 C 扫检测数据对比表

缺陷标号	数据来源	深度 /mm	深度百分比 /%wt
D24	涡流检测数据	1.94	25.10
	C 扫检测数据	2.00 (5.80)	25.42
	检测误差	-0.06	-0.32
D26	涡流检测数据	3.39	44.00
	C 扫检测数据	2.00 (5.80)	25.22
	检测误差	1.39	18.78
D32	涡流检测数据	2.02	27.00
	C 扫检测数据	1.70 (6.10)	21.42
	检测误差	0.38	5.58
D36	涡流检测数据	3.30	43.00
	C 扫检测数据	2.10 (5.70)	26.48
	检测误差	1.20	16.52
D40	涡流检测数据	3.08	40.00
	C 扫检测数据	2.70 (5.10)	34.08
	检测误差	0.38	5.92

将缺陷标号 D24 作为参考，通过 C 扫技术对管道内部投影后得到该含硫湿天然气集输管道 D24 处存在管道内部厚度不均匀的情况，所测数据与管道真实厚度相差 2.0mm。通过表 3 可以看出，经过 C 扫的 5 次检测中，最小误差为 -0.32%，最大误差 18.78%，而电磁涡流检测技术的检测精度为 ±20%，因此本次 C 扫检测精度满足检测要求，其检测结果符合精度标准。由此也可以说明电磁涡流检测技术对于含硫湿天然气集输管道金属缺失检测的结果具备一定的可靠性。

2.3.2 DR 验证

由于 DR 数字成像技术对于金属缺失缺陷的长度和宽度更为敏感，对深度的敏感性不高，因此本次采用 C 扫检

测时主要对比长度和宽度指标,表4为DR检测数据对比表。

表4 DR检测数据对比表

缺陷标号	绝对距离/m	数据来源	宽/mm	长/mm
D43		涡流检测数据	39.00	28.00
	2761.50	DR检测数据	10.00	1.00
		检测误差	29.00	28.00
D44		涡流检测数据	79.00	42.00
	2962.30	DR检测数据	33.60	16.00
		检测误差	45.40	26.00
D47		涡流检测数据	39.00	29.00
	2992.20	DR检测数据	1.56	1.66
		检测误差	38.34	27.34
D73		涡流检测数据	39.00	46.00
	9364.93	DR检测数据	17.18	32.24
		检测误差	22.72	13.76
D74		涡流检测数据	39.00	195.00
	9375.62	DR检测数据	12.00	128.30
		检测误差	27.00	66.70

将缺陷标号D43作为参考,通过DR数字成像技术对管道内部投影后得到该含硫湿天然气集输管道D43处内壁缺陷的长度为28mm,宽度为29mm。通过表4可以看出,经过DR的5次检测中,D74的长度和D44的宽度都超过了±45mm的误差范围,而余下的全部指标均符合标准,这也能够基本上表明电磁涡流检测技术对于含硫湿天然气集输管道金属缺失检测的结果具备一定的可靠性。而超出误差的项数据可能是电磁涡流检测器在检测过程中出现气压不稳或检测器探头损坏所产生的误差结果。

2.4 缺陷完整性评价

通常而言,由腐蚀行为或制管导致的或是在管道建设过程中出现的由于管壁变薄而形成的累积缺陷,被称为“金属缺失”。经过一系列的验证结果确认后,丢失的金属部件是由于生产工艺引起的则被称为“制造缺陷”。为了科学、合理地评价管道内部的缺陷问题,需综合考虑被标记为“金属缺失”的特征,并初步判定为“腐蚀”所致,后续再通过缺陷完整性评价对其进行综合评价^[1]。

2.4.1 内腐蚀增长速率分析

当管路中存在少量水分时,管路内的自由水具有流动性特点,会在管壁上生成一层亲水性薄膜,管路传输介质中的硫物质会溶解在水中,从而生成原电池,这一过程会发生电化学腐蚀,使管道厚度逐步降低或者出现一系列的凹坑,从而容易发生腐蚀并出现孔洞。使用全寿命腐蚀速率方法分析内部腐蚀增长速率的具体步骤为,暂且认定管道内部的腐蚀环境没有明显改变,处于稳定的状态,而内腐蚀是流动性的,而且在管线投入运行后就呈现稳定增长趋势。

2.4.2 缺陷剩余强度评价

在检测过程中没有出现金属缺失超过安全评价曲线的情况,如果腐蚀环境未出现任何变化,则5年之后仍会出现一定缺陷超过安全评价曲线的现象,所以5年在检测后需要采取更进一步的维修与检测措施。

3 结语

论文主要以电磁涡流检测器为研究对象,通过一系列措施验证电磁涡流检测器与小管径低压低流速的油气田集输管道之间是否适用,针对其中的缺陷开展了完整性评价。将电磁涡流检测数据输入C扫技术和DR成像技术实验平台中进行验证,可得出电磁涡流检测器对管道内部金属缺失缺陷深度具有更高的灵敏度,可以实现对金属厚度变化的全面呈现,但对缺陷长度和宽度的识别缺少较高的精确度,经分析后发现,管道运行5年后,管道最大内腐蚀深度损失有极大的可能性会由61%t增长到89.58%wt。另外,缺陷剩余强度也将会突破安全指标,因此在检测后5年内制定相应的检测计划和维修方案。

参考文献

- [1] 刘小齐,刘菊会,何诚,等.电磁涡流检测技术在石油管道检测中的应用[J].中国石油和化工标准与质量,2024,44(4):57-59.
- [2] 胡洪宣,刘鑫,谢崇文,等.电磁涡流检测技术在天然气管道检测中的应用[J].材料保护,2022,55(2):183-188.
- [3] 吴超,唐世东,张本同,等.长输天然气管道无损检测裂纹焊口案例浅析[J].全面腐蚀控制,2023,37(12):87-90.