

以 IMU 为惯导的油气管道内检测问题梳理分析

肖战旗

(陕西省天然气股份有限公司)

摘要: 为研究管道输气事故发生规律与机理,降低生产运行风险,结合油气管道内检测管理经验,构建以 IMU 为惯导中心线的天然气长输管道内检测的完整性管理模式,保障管道的周期性、智能化清管及内检测作业是确保管道安全的重要手段,研究表明,以此管理模式可科学高效的完成管道内外腐蚀的准确修复、变形量的准确定位、裂纹及潜在风险的诊断查找,对提升管道的完整性管理有着重要的意义。

关键词: 油气长输管道;内检测;管道完整性管理;IMU 定位系统

文献标识码: A

Combination and Analysis of Internal Detection in Long-distance Gas Pipelines with IMU inertial navigation

XIAOZhanQi

(Shaanxi Natural Gas Co., Ltd.)

Abstract: In order to study the occurrence law and mechanism of pipeline gas transmission accidents and reduce the risk of production and operation, combined with the experience of oil and gas pipeline internal detection management, an integrity management model for internal detection of long-distance natural gas pipelines with IMU as the center line of inertial navigation is constructed to ensure the safety of pipelines. Periodic, intelligent pigging and internal inspection operations are important means to ensure pipeline safety. Studies have shown that this management mode can scientifically and efficiently complete the accurate repair of internal and external corrosion of pipelines, accurate positioning of deformation, and diagnosis of cracks and potential risks. Finding is of great significance to improving the integrity management of pipelines.

Key words: Long-distance oil and gas pipeline; Internal detection; Pipeline integrity management; IMU positioning system

前言: 如何避免管道输气事故发生,降低运行风险,以 IMU 为惯导中心线的天然气长输管道内检测的完整性管理是确保天然气管道安全,平稳输气的重要手段,从而保障管道的顺利清管,内外腐蚀的准确修复,准确定位变形量,以及查找管道的裂纹,确定管道的走向等,对提升管道的完整性管理有着非常重要的意义。

1 内检测 IMU 定位系统

1.1 IMU 原理

管道惯性测量单元(IMU)内检测的基本原理是牛顿力学运动规律,其核心部件是由三维正交的陀螺仪与加速度计组成的。分别利用陀螺仪和加速度计测量物体 3 个方向的转动角速度和运动加速度,将采集、记录和数据使用专门的计算机进行积分等运算处理,便可以得到检测器不同时刻的速度、位置与姿态信息,继而获得管道中心线坐标^[1]。将惯性器件组合为惯性测量单元(IMU),搭载在管道检测器上进行自主导航而得到管道地理坐标信息^[2]。

1.2 IMU 测绘流程

惯性测量单元(IMU)通常搭载于几何、漏磁等其他内检测器中,与内检测器同步运行。在运行过程中,IMU 以一定的频率采集三路陀螺仪、三路加速度计及里程数据并保存在系统磁盘当中。当内检测器经过地面参考点时,激发地面定标盒,同时记录其内检测器经过的时刻。当检测器完成检测以后,下载

磁盘中数据利用组合软件进行数据处理,结合地面定标点位置参数与里程计参数进行数据修正,得到整条管道的位置数据和中心线轨迹图形^[3]。

2 漏磁内检测设备原理与组成

2.1 漏磁内检测设备原理

漏磁内检测设备,利用稀土钕铁硼永磁体材料将管道管壁磁化,与被测管壁形成闭合磁回路,铁磁性钢管充分磁化,当管壁没有缺陷时,磁力线基本处于管壁之内;当管壁表面或近表面存在缺陷时,管壁中的磁力线被其缺陷阻隔,磁力线发生畸变,部分磁力线泄露出钢管的内、外表面,形成漏磁场。利用高分辨率探头采取金属损失处的漏磁信号,进而发现管道缺陷和其他特征。

2.2 检测器组成

检测器基本由动力节、检测节、里程节三节构成,168 设备由于尺寸限制,增加了一节低频发射节,动力节用皮碗密封,利用输送介质的压差作为驱动力,牵引后面检测节和里程节前进;检测节由钢刷、钨铁组成磁场南北极,中间探头检测漏磁场,探头具备内外缺陷分辨能力;里程节主要检测管道里程和携带 IMU 与低频发射机,配合地面定位标记盒和里程桩、地面特征等,确定管道缺陷、特征等位置^[4]。

3 检测器识别特征类型能力

表 1 检测器识别特征类型能力

异常	缺欠/缺陷/特征	检测能力
金属损失	外腐蚀	可检出, 可判定尺寸
	内腐蚀	可检出, 可判定尺寸
裂纹	狭长轴向外腐蚀	可检出
	环向裂纹 a	有限检出, 可判定尺寸
焊缝异常	未熔合 a	可检出, 可判定尺寸
	环焊缝异常 (气孔等)	可检出
变形	尖锐凹陷	可检出
	平滑凹陷	可检出
	鼓胀	可检出
	皱纹、波纹	可检出
部件	阀和配件	可检出
	套管	可检出
	弯头	可检出
	支管/开孔	可检出
	邻近金属物	可检出
	管道坐标	可检出 (配备 IMU 方可)
维修记录	A 型套筒	可检出
	B 型套筒	可检出
	复合套筒	可检出
	补丁/补强板	可检出
	沉积焊	有限检出
损伤	分层	有限检出
	夹杂物	有限检出
	磨痕 b	有限检出
	疤/毛刺/鼓泡 b	有限检出
a、裂纹特征需要有一定开口宽度, 闭合裂纹减小了 POD。		
b、取决于异常的方位和形貌。		

4 漏磁检测的主要影响因素

4.1 磁化强度

磁化强度的选择, 一般以确保检测灵敏度和减轻磁化器使缺陷或结构特征产生的磁场能够被检测到为目标。

4.2 缺陷方向和尺寸

缺陷的方向对漏磁检测的精度影响很大。当缺陷主平面与磁化场方向垂直时, 产生的漏磁场最强。

4.3 提高值

提高值是指管道内检测的探头与检测表面的距离。当超过缺陷宽度 2 倍时, 随着提高值的增加, 漏磁场强度迅速降低。提高值一般要小于 2mm, 常取 1mm。

4.4 检测速度

在检测过程中, 应尽量保持匀速进行, 速度的不同会造成漏磁信号形状上的不同, 但一般不至于造成误判。最佳运行速度为 1m/s。

4.5 表面粗糙度

表面粗糙度的不同使传感器与被检测表面的提高值发生动态变化, 从而影响检测灵敏度的一致性。

4.6 氧化皮及铁锈

表面的氧化物、铁锈等杂物, 可能在检测过程中产生伪信号。在检测过程中, 应及时确认或复检。

5 工程实例与问题梳理

2019 年 07 月, 宝汉线眉太段约 68KM 进行管道内检测。该管道规格 $\Phi 323.9 \times 6.3/7.1/8.0\text{mm}$, 设计压力 4.0MPa, 最大允许操作压力 3.6MPa, 管道材质 L290, 管道外防腐为三层 PE, 外加强制电流阴极保护^[5]。

5.1 几何变形检测

几何变形检测结果:

表 2 几何变形检测结果

序号	变形类型	2%OD≤变形量 < 6%OD	变形量≥6%OD	合计	共计
----	------	-----------------	----------	----	----

1	凹陷	普通	102	16	118	166
2		焊缝有关	2	1	3	
3		金属损失有关	0	0	0	
4		褶皱	0	0	0	
5		总数	104	17	121	
7	变形类型		1%OD≤变形量<5%OD	变形量≥5%OD	合计	
8	椭圆度		45	0	45	

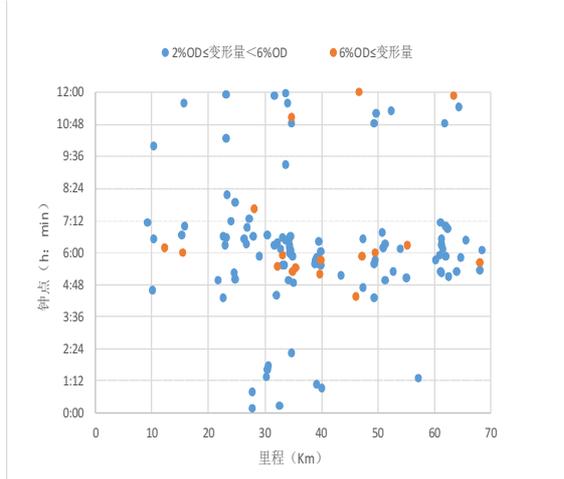


图1 凹陷平面分布

从图中分布分析可知,凹陷在管道底部较为集中。普通顶部凹

陷 27 处,普通底部凹陷 91 处。与焊缝有关的顶部凹陷 1 处,底部凹陷 2 处。(注:顶部凹陷(8:00 经 12:00 到 4:00 包含 8:00 和 4:00)底部凹陷(8:00 经 6:00 到 4:00))

通过管体凹陷位置统计分析:76.86%的凹陷变形位于管道底部,23.14%的凹陷变形位于管道顶部,由于管道沿太白,褒河敷设于陕境秦岭山区,山地是古老的褶皱断层带,管体凹陷在管道底部较为集中。

检测结果:管道的几何变形内检测,共检出变形点 166 处,其中管体凹陷变形 121 处,椭圆度变形 45 处。管体凹陷变形量大于等于 2%OD 小于 6%OD 变形点 121 处,大于等于 6%OD 变形点 17 处,最大凹陷变形量 10.5%OD,其中 3 处凹陷与焊缝有关。

5.2 漏磁检测

5.2.1 漏磁检测结果

表 3 漏磁检测结果

序号	缺陷类型		深度范围	符合条件的缺陷数量(个)	缺陷数量小计(个)	总计(个)
1	金属损失	外部金属损失	金属损失程度 < 10%wt	37	24	83
2			10%wt≤金属损失程度 < 20%wt	40		
3			20%wt≤金属损失程度 < 30%wt	4		
4			30%wt≤金属损失程度 < 40%wt	1		
5			40%wt≤金属损失程度 < 50%wt	0		
6			50%wt≤金属损失程度 < 60%wt	1		
7			60%wt≤金属损失程度 < 70%wt	0		
8	金属损失	内部金属损失	金属损失程度 < 10%wt	26	59	83
9			10%wt≤金属损失程度 < 20%wt	29		
10			20%wt≤金属损失程度 < 30%wt	3		
11			30%wt≤金属损失程度 < 40%wt	1		
12			≤40%wt 金属损失程度	0		
13			制造缺陷	5	/	/
14	焊缝异常		轻度	2	7	21
15			中度	5		
16			重度	0		
17			轻度	1	14	
18			中度	13		
19	重度	0				

5.2.2 统计结果分析:

1、外壁缺陷占总缺陷的 28.92%,内壁缺陷站总缺陷的 71.08%。

2、管道的内壁金属损失缺陷数量大于管道外壁金属损失缺陷数量，管道金属损失表现为内壁为主。

3、本管道 44.58%的缺陷金属损失量小于 10%wt，48.19%的缺陷金属损失量介于 10%wt-20%wt 之间。4.82%的缺陷金属损失量介于 20%wt-30%wt 之间。1.20%的缺陷金属损失量介于 30%wt-40%wt 之间。1.20%的缺陷金属损失量介于 50%wt-60%wt 之间。

5.2.3 金属损失分布图

1、金属损失二维柱状分布

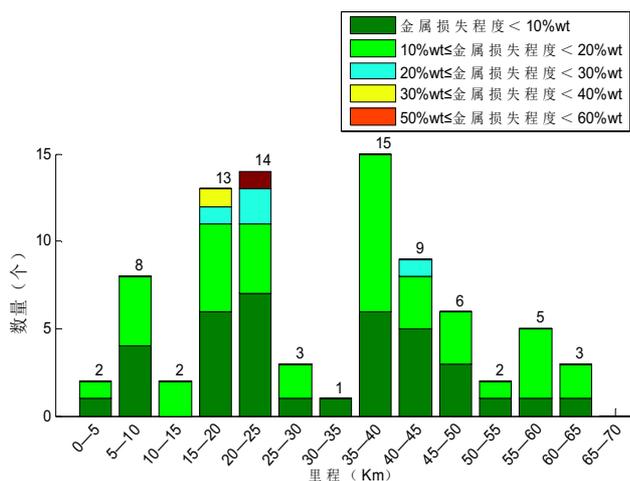


图 2 金属损失二维柱状分布

2、金属损失空间柱状分布

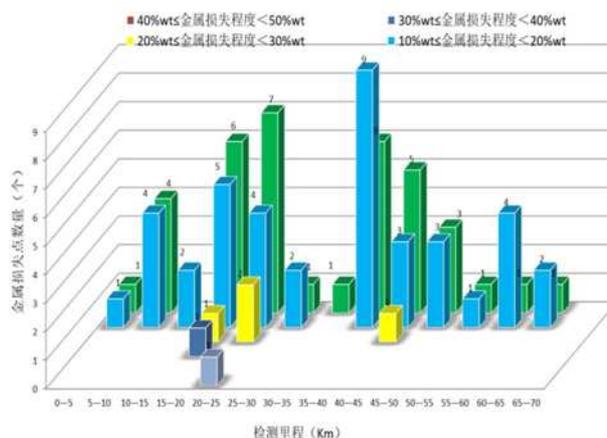


图 3 金属损失空间柱状分布

1、金属损失主要分布在 15-25 公里、35-40 公里管段。
2、由管道金属损失分布统计结果可知，金属损失缺陷较为分散，无明显规律。

3、严重金属损失统计表(≥25%wt)

表 4 严重金属损失统计

序号	特征名称	检测里程 (m)	定位参考点	方位	距离 (m)	距前环缝距离 (m)	距后环缝距离 (m)	长度 (mm)	宽度 (mm)	钟点 (h:min)	金属损失程度 (%wt)	内/外壁	壁厚 (mm)
1	金属损失-制造缺陷	19620.864	16, 47, 桩 0194 右侧 1.2m	下游	418.166	1.708	0.356	42	525	10: 41	33.9	内壁	6.3
2	金属损失	21377.196	19, 45, 222#右 1.6m	上游	123.799	1.348	0.764	21	32	06: 40	51.5	外壁	8.0

本次检测，发现较严重的管道金属损失 (≥25%wt) 2 个。

6 结果与建议

- 1.由于特殊的地形地貌影响，管道凹陷在管道底部较为集中。
- 2.根据标准《管道完整性管理规范-第四部分管道完整性评价》(QS/Y1180.4-2015) 规定，建议对管体凹陷变形量大于 6%OD 的管体凹陷及与焊缝有。
- 3.金属管道损失表现为内壁为主。
- 4.严重金属损失点是管道所有金属损失点中相对较严重的点 (≥25%wt)。应及时采取措施进行处理。
- 5.金属损失分布点相对集中在总长的 22%-36.76%和 51.5%-58.8% 两段中。

参考文献:

[1] Todd R.Porter.Pipeline-thecritical integrity element [C].13th

Annual GIS for Oil& Gas Conference and Exhibition, Houston, Texas, USA, September 20-22,2005.

- [2] 杨洋,杨理践,沈博.管道埋地坐标测量误差校正方法研究[J].传感技术学报.2012, 25(10):1416-1421.
- [3] 杨洋,吴新态,杨理践,李宗.管道内的三维地理坐标检测[J].精密工程.2014,22(10): 2740-2746.
- [4] 熊谷漏磁内检测设备技术能力及特点.
- [5] 2020 年陕西天然气宝汉线内检测工程汇报.

作者简介:肖战旗,男,1978 年 11 月,中共党员,大学本科,西安交大环境工程专业,陕西省天然气股份有限公司工作。二十年来,一直从事野外油气长输管道运营管理工作,具有相当丰富的工作经验。