

# 长输油气管道内检测数据的比对

胡 朋, 陈金忠, 康小伟, 史冠男, 周汉权, 马义来

(中国特种设备检测研究院, 北京 100029)

**摘 要:** 管道内检测数据是目前国内外长输油气管道完整性管理基础数据的来源, 内检测数据的比对是内检测数据深度挖掘和综合利用的主要方向。调研和综述了国内外管道内检测数据比对的发展状况, 详细介绍了管道内检测数据比对的主要内容, 在环焊缝等基础信息的比对, 变形、金属损失和焊缝缺陷的比对, 以及管道坐标比对的基础上, 提出了内检测数据比对的建议, 对内检测数据比对技术的提升具有重要的实际意义。

**关键词:** 长输油气管道; 内检测数据; 数据对齐; 数据比对

中图分类号: TE88; TG115.28

文献标志码: A

文章编号: 1000-6656(2021)07-0090-05

## Internal inspection data comparison in long distance oil and gas pipelines

HU Peng, CHEN Jinzhong, KANG Xiaowei, SHI Guannan, ZHOU Hanquan, MA Yilai

(China Special Equipment Inspection and Research Institute, Beijing 100029, China)

**Abstract:** Internal inspection data are currently the source of basic data for the integrity management of long distance oil and gas pipelines at home and abroad. The comparison of internal inspection data is the main direction for deep mining and comprehensive utilization of internal inspection data. The development status of internal inspection data comparison at home and abroad was investigated and summarized, and then the main contents of internal inspection data comparison were introduced in detail: comparison of basic information such as girth weld, deformation, metal loss and weld defect comparison, pipeline coordinates. Suggestions on the comparison of internal inspection data were put forward, which has important practical significance for the improvement of theoretical technology.

**Key words:** long distance oil and gas pipeline; internal inspection data; data alignment; data comparison

随着我国对石油和天然气能源的需求越来越大, 被称作“国家重大生命线”的油气管道的作用越来越突出<sup>[1]</sup>。近些年, 油气管道事故频繁发生, 管道的安全运行也越来越受重视。

如今大数据管理的时代已经到来, 使大数据更有效地应用于管道的完整性管理与安全评价中, 成为目前油气行业的一个热点课题<sup>[2]</sup>。内检测是完整性管理及评价内容的一个至关重要的环节, 也是管

道大数据的主要数据来源。近年来, 国内油气管道逐步开展了内检测, 部分管道已经进行了两轮甚至多轮内检测, 但是大量内检测数据的挖掘和使用却相对滞后。两轮及以上内检测数据的比对, 已成为方便数据挖掘且能够有效利用的研究内容, 其不但能够评估检测承包商的设备性能和检测结果, 而且能够完善和修正被检测管道的基础信息, 掌握缺陷的变化情况, 预测管道的剩余寿命和评估管控措施的应用效果等, 对管道的科学管理和运行维护具有重要的指导作用。

## 1 国内外管道内检测数据比对的发展和应用现状

国外油气管道内检测技术的数据比对工作起

收稿日期: 2020-12-31

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFF0215000); 国家市场监督管理总局科技计划项目(2020MK177)

作者简介: 胡 朋(1987—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事长输管道无损检测技术的研究及设备研发设计工作

通信作者: 马义来, 496173783@qq.com

步较早。一些国外管道运行单位和检测承包商已对多条实施两轮及以上内检测的管道进行了数据比对工作。

GU等<sup>[3]</sup>通过应用回归树算法和比对分析软件,研究了腐蚀缺陷的生长模型和成因;NESSIM等<sup>[4]</sup>研究了以腐蚀增长率为单一参数,来表征腐蚀增长和测量误差关系的概率分布方法以及腐蚀速率计算方法;DESJARDINS等<sup>[5]</sup>对比了不同检测承包商的检测设备性能和检测成果;KARIYAWASAM等<sup>[6]</sup>研究了腐蚀缺陷的增长速率和模型,分析了影响检测可靠性的因素;DANN等<sup>[7]</sup>研究了以内检测数据自动对齐来代替人工对齐的方法,用于标识未能对齐的异常点和分析腐蚀增长情况;CHOQUETTE等<sup>[8]</sup>研究了惯导检测的管线坐标和基础坐标的比对,提出了获取管线位移和弯曲应变的方法。

国内内检测数据比对的研究进展相对滞后,自2015年后才有公开发表的内检测数据比对的文章。随着国内内检测技术的进步和广泛应用,我国内检测数据比对的研究近几年发展迅速。国内数据比对技术和比对软件逐步得到应用,并编制了数据比对标准。

王良军等<sup>[9]</sup>提出应以识别新增缺陷和原有缺陷的增长率作为内检测数据比对的主要工作,从而提高数据的应用;林现喜等<sup>[10]</sup>提出应加大对内检测数据的深度挖掘与应用,并指出管道的比对数据是管道大数据中极其重要的组成部分;李睿等<sup>[11]</sup>研究了通过两轮及多轮内检测的惯性测量单元(IMU)数据比对来计算管道位移的变化;姜晓红等<sup>[12]</sup>给出了两轮内检测数据的比对方法,以及如何运用数据比对成果查找和处理完整性评价中的不足;王丹丹等<sup>[13]</sup>研究了内检测数据在关键点对齐后的处理方法,并进行了案例应用;在王良军等编制的钢管道及储罐腐蚀评价标准第5部分油气管道腐蚀数据综合分析标准中,规范了数据比对分析的流程与方法;孙浩等<sup>[14]</sup>分析了内检测数据在匹配关键点过程中可能存在的问题,总结了关键点比对的步骤和处理方法;季寿宏等<sup>[15]</sup>提出了内检测数据关键点和缺陷比对及管道中心线位置变化等的计算方法;王波等<sup>[16]</sup>运用软件和人工相结合的方式对内检测数据的比对,开展了数据可靠度评估、腐蚀增长评价等工作;杨贺等<sup>[17]</sup>针对管道多轮内检测数据对齐算法展开研究,建立了提高数据比对效率的模型;陈翠翠<sup>[18]</sup>研究了通过漏磁内检测数据的比对,能够有效识别管

道缺陷增长的情况。

## 2 内检测数据比对的主要内容

随着我国内检测技术的成熟,国内外的技术差距也在逐渐缩小,国内开展内检测业务的承包商也越来越多。国内外内检测承包商主要开展了变形、金属损失和IMU内检测,并提供了检测报告。

常规内检测报告信息表的主要内容包括:特征名称、特征类型、绝对里程、参考定位点、相对里程、前后焊缝编号、管节长度,前后环焊缝的距离、长度、宽度、钟点方位、程度、表面位置、壁厚、ERF(预估维修比)、备注、坐标信息等。虽然检测商都有各自的数据格式、特征表述方式、报告及信息表格格式等,但是特征信息可以通过对照和整理进行一一对应,然后采用人工对齐或软件+人工对齐的方式实现内检测数据的比对。

### 2.1 管道基础特征比对

内检测管道基础特征包括焊缝(环焊缝、螺旋焊缝、直焊缝)、直管、弯头或弯管、阀门、三通、法兰、外接金属物,以及检测商设定的参考定位点等。其中环焊缝的内检测数据可靠度较高,也是比对的首选对象。

国内外内检测数据比对的研究成果和应用经验表明,环焊缝的成功对齐是整体数据比对的首要任务,也为缺陷的比对打下了良好的基础。在环焊缝对齐的过程中,管节长度、弯头或弯管、阀门、三通(含改线三通)、直焊缝或螺旋焊缝交点等其他基础特征信息能够辅助检查和判断环焊缝对齐的准确性,以便及时修正直至完成全部基础特征的比对。由环焊缝特征比对结果可得到以下结论。

(1) 由于里程轮打滑、数据丢失、改线或换管等原因,环焊缝的绝对里程和管节长度等信息存在一定的差值。

(2) 环焊缝未能实现完全对齐的原因主要有收发球筒和阀门等附件附近环焊缝的标注方式不同、改线或者换管、检测数据丢失或者特征漏标等。

(3) 由于检测商对直焊缝或者螺旋焊缝与环焊缝的交点信息的定义方式不同,从而其钟点方位不一致,不过可以通过相互校正调成一致。

(4) 由于检测商设定的参考定位点不同,相对里程对环焊缝比对的参考意义不大。

### 2.2 管道缺陷的比对

内检测管道缺陷特征主要包括变形缺陷、金属

损失缺陷(腐蚀缺陷、机械划伤或制造缺陷)和焊缝缺陷。依据缺陷的两轮或多轮比对结果,能够分析缺陷数量和程度的变化情况,从而评估其对管道危害的严重程度。

### 2.2.1 变形缺陷的比对

依据查阅公开发表的文献资料,笔者尚未发现变形缺陷被纳入内检测数据比对的范畴,但是几何变形检测是油气管道内检测中很重要的一个环节,且变形缺陷作为管道缺陷的一种常见形式,威胁着管道的安全运行,甚至会导致管体失效,故很有必要对检测两次及以上的变形缺陷进行比对。

变形缺陷主要包括凹陷、褶皱、屈曲等。在管道基础特征对齐的基础上,变形缺陷主要依据前后环焊缝的相对距离、钟点方位等数据差别较小的特征来完成对齐。因为变形缺陷的长度、宽度和深度数值一般较大且其数量相对较少,所以实现比对较为容易。

针对对齐后变形增大的缺陷,可以参考腐蚀缺陷的全寿命增长速率的计算方法来评估和预测变形缺陷的增长速率和发展情况,计算方法如式(1)所示。

$$R_D = \frac{(D_2 - D_1) \cdot r}{T_2 - T_1} \quad (1)$$

式中: $R_D$  为变形缺陷的增长速率; $r$  为管道外径; $D_2$  为下一轮检测的变形程度; $D_1$  为上一轮检测的变形程度,若无,则为管道无变形; $T_2$  为下一轮检测的年份; $T_1$  为上一轮检测的年份。

由变形缺陷比对结果可得到以下结论。

(1) 变形缺陷数量或尺寸有差别是由变形检测器的精度和置信度不同或作业环境不同导致的,整体对齐率较高。

(2) 能够识别新增变形缺陷,通过计算增长速率可以预测变形缺陷的发展情况,为制定修复计划和下一轮检测提供依据。

(3) 通过比对修复后的变形缺陷,尤其是去除约束后存在回弹或回圆的变形缺陷,能够评估回弹后的变形情况和修复效果。

### 2.2.2 金属损失缺陷的比对

金属损失缺陷是影响管道安全运营的关键因素,主要包括腐蚀、机械划伤、制造缺陷等。依据国内外发表的文献资料和工程经验发现,内检测数据比对的工作主要是以金属损失缺陷的增长率及新增点为研究对象开展的。

在管道基础特征对齐的基础上,金属损失缺陷主要根据前后环焊缝的相对距离、钟点方位和表面

位置等数据差别较小的特征来实现对齐。考虑到金属损失缺陷的长度、宽度和深度数值一般较小,其数量较多且有时分布较为密集,故不能把绝对里程、相对里程、深度、长度及宽度等参数作为对齐的参考,加大对齐与比对的难度和工作量。

金属损失缺陷对齐后的比对工作首先根据两轮或者多轮检测数据源的精度、置信度或已知缺陷数据的检测误差等来设置评定金属损失缺陷变化的阈值,可将其分成活性缺陷(深度增加 $\geq$ 阈值)、非活性缺陷(深度增加 $<$ 阈值)、新增缺陷(新增深度增加 $\geq$ 阈值)及其他缺陷4种类型。通过计算新增缺陷的增长速率,可以评估管道腐蚀的剩余寿命,并制定合理的维护维修计划和满足管道完整性管理的需求。金属损失增长速率的计算方法如式(2)所示。

$$R_{ML} = \frac{\Delta M_d \cdot W_T}{\Delta t} \quad (2)$$

式中: $R_{ML}$  为金属损失的增长速率; $\Delta M_d$  为金属损失深度在 $\Delta t$ 时间内的增量; $W_T$  为管道壁厚。

若采用全寿命法,则 $\Delta t$ 为该次检测日期与上一轮检测日期的间隔;若采用半寿命法,则 $\Delta t$ 为该次检测日期与上一轮检测日期间隔的一半。

管道腐蚀剩余寿命采用《压力管道定期检验规则 长输(油气)管道》的方法进行计算,具体方法如式(3)所示。

$$R_L = C \times S_M \frac{t}{G_R} \quad (3)$$

式中: $R_L$  为管道剩余寿命; $C$  为校正系数, $C=0.85$ ; $G_R$  为腐蚀速率; $t$  为名义厚度; $S_M$  为安全裕量。

$$S_M = \frac{\text{计算失效压力}}{\text{屈服压力}} - \frac{\text{管道许用压力}}{\text{屈服压力}} \quad (4)$$

由金属损失缺陷的比对结果可得到以下结论。

(1) 金属损失缺陷数量或者部分缺陷长度、宽度和深度数据相差较大,这是由于检测器精度和置信度不同或作业环境不同,但是大部分缺陷都能够实现比对。

(2) 其他类型的缺陷是指最近一次内检测误检或者漏检的缺陷。

(3) 通过比对修复后的金属损失缺陷,能够评估缺陷的修复效果,为后期的缺陷修复提供一定的指导。

### 2.2.3 焊缝缺陷的比对

近年来,国内外出现了多起管道焊缝失效引起的事故,危害重大。焊缝缺陷是油气管道的主要失效形式之一,已经成为各大管道运营公司重点关注



的风险点。

焊缝缺陷主要包括环焊缝缺陷、螺旋焊缝缺陷和直焊缝缺陷。尽管在缺陷识别和尺寸量化方面精度相对不高,但是管道内检测仍是埋地管道焊缝缺陷特征数据最主要的来源,也是管道运行公司焊缝缺陷排查和管理的主要依据。目前,国内外管道内检测公司正致力于攻关焊缝缺陷的内检测技术,提高检测精度<sup>[19]</sup>。

在管道基础特征对齐的基础上,焊缝缺陷可依据钟点方位、表面位置等数据相差较小的特征来实现对齐。由于内检测能力的局限性,焊缝缺陷长度、宽度和程度等数据误差相对较大,所以焊缝缺陷的比对相对较为困难,尤其是不同检测商的焊缝缺陷比对。

鉴于国内目前尚无基于内检测方法的焊缝异常分级评价标准,中油管道检测技术有限责任公司、中国特种设备检测研究院等根据管道运行公司的需求,参照各自管体金属损失评价方法,将焊缝异常分级为轻度、中度和重度,以作为焊缝缺陷的增长速率和剩余寿命预测的计算和评价方法。由焊缝缺陷的比对结果可得到以下结论。

(1) 可以估算焊缝缺陷的生长发展情况,分析焊缝缺陷产生的原因。

(2) 焊缝缺陷大多是在施工制造阶段产生的,非活性缺陷较多。

(3) 建议管道运行公司根据焊缝缺陷的程度进行底片复评或选择性开挖,并采用有效的无损检测方法进行检测和评价。

### 2.3 管道坐标的比对

管道内检测器上加载 IMU 已成为国内外油气长输管道常用的测绘方法,将 IMU 数据与变形、漏磁、超声等内检测数据进行坐标匹配,可以获取管道的全部特征和中心线的精确坐标。管道基础特征和缺陷特征的对齐,意味着坐标数据也完成了对齐。由 IMU 内检测数据的比对结果可得到以下结论。

(1) 通过相互验证不同检测商的管道特征和中心线的坐标精度,结合更多的管道精确坐标数据源(修正点)对坐标进行修正,可以获取更高精度的管线坐标。

(2) 作为管道特征的新型定位手段,管道缺陷和基础特征坐标精度的提高,极大满足了快速精确定位管道特征(比如焊缝、缺陷等)的需求,不但大大降低了开挖工作量和费用,还有助于维修方案的制定和保证维修维护的及时性。

(3) 依据两轮及多轮的 IMU 内检测中心线测绘数据,能够计算出管道全线的应变和位移变化,从而识别位移变化较大或较快的缺陷或其他特征点,便于管道缺陷的维修和维护,同时有助于监测和预警可能引起高风险和高后果区的管道位置。

(4) 内检测与 IMU 结合获得的管线坐标精度受 IMU 自身的精度、参考修正点的坐标精度和数据结算及整合技术能力等的影响,这也是导致坐标数据比对出现问题的原因。

## 3 建议

管道内检测技术是目前各大管道公司检测管道状况和位置信息及支撑完整性管理的首选手段。在发展管道系统大数据的道路上,如何应用和管理管道内检测数据来保障管道的安全运行是目前一项紧要的任务。笔者在管道内检测数据比对方面提出以下建议。

(1) 内检测和管道运行公司等应加大对内检测数据深度挖掘和综合利用方面的研究,尤其是在多轮内检测数据比对方面,应建立管道系统数据平台和综合分析机制。

(2) 管道运营公司在进行下一轮内检测时,应明确检测的起点和终点、参考定位点、统一的内检测数据列表等,这样有利于后续内检测数据比对工作的开展。

(3) 国内尚未有成熟应用的管道内检测数据比对分析系统。只有少数单位开发了内检测数据比对分析软件,但应用效果有待验证。建议对内检测数据比对分析系统进行深入研究,逐步实现手动对齐到自动对齐+手动修正再到全自动对齐,以及多轮内检测海量数据比对的智能分析。

(4) 内检测数据比对方面的标准规范很少,建议尽快制定有针对性的标准规范,为内检测数据的比对提供明确的指导。

### 参考文献:

- [1] 何仁洋,唐鑫,赵雄,等.管道石油天然气腐蚀防护的相关技术研究进展[J].化工设备与管道,2013,50(1):53-55.
- [2] 冯庆善.基于大数据条件下的管道风险评估方法思考[J].油气储运,2014,33(5):457-461.
- [3] GU B, KANIA R, SHARMA S, et al. Approach to assessment of corrosion growth in pipelines [C]// Proceedings of 2002 4th International Pipeline

- Conference. Calgary:[s. n.],2009:1837-1847.
- [4] NESSIM M,DAWSON J,MORA R,et al. Obtaining corrosion growth rates from repeat in-line inspection runs and dealing with the measurement uncertainties [C]//Proceedings of 2008 7th International Pipeline Conference. Calgary:[s. n.],2009:593-600.
- [5] DESJARDINS G,NICKLE R,SKIBINSKY D,et al. Comparison of in-line inspection service provider magnetic flux leakage (MFL) technology and analytical performance based on multiple runs on pipeline segments [C]// Proceedings of 2012 9th International Pipeline Conference. Calgary:[s. n.],2013:89-94.
- [6] KARIYAWASAM S,WANG H. Useful trends for predicting corrosion growth[C]//Proceedings of 2012 9th International Pipeline Conference. Calgary:[s. n.],2013:245-256.
- [7] DANN M R,DANN C. Automated matching of pipeline corrosion features from in-line inspection data [J]. Reliability Engineering & System Safety,2017,162:40-50.
- [8] CHOQUETTE J J,CORNU S,ELSEIFY M,et al. Understanding pipeline strain conditions:case studies between ILI axial and ILI bending measurement techniques [C]// Proceedings of 2018 12th International Pipeline Conference. Calgary:[s. n.],2018.
- [9] 王良军,李强,梁菁嫵.长输管道内检测数据比对国内外现状及发展趋势[J].油气储运,2015,34(3):233-236.
- [10] 林现喜,李银喜,周信,等.大数据环境下管道内检测数据管理[J].油气储运,2015,34(4):349-353.
- [11] 李睿,张琳,赵晓利,等.油气长输管道长期应变及位移监测[J].石油机械,2016,44(6):118-122.
- [12] 姜晓红,洪险峰,刘争,等.管道内检测数据对比对完整性评价的影响[J].油气储运,2016,35(1):28-31.
- [13] 王丹丹,林晓,骆秀媛,等.海底管道两轮漏磁内检测数据的比对方法[J].船海工程,2016,45(3):122-126,130.
- [14] 孙浩,帅健.长输管道内检测数据比对方法[J].油气储运,2017,36(7):775-780,794.
- [15] 季寿宏,丁楠,张国民,等.管道内检测数据比对分析软件开发及应用研究[J].石油化工自动化,2018,54(4):47-51,60.
- [16] 王波,吕超,明连勋,等.基于不同内检测数据的对齐与分析研究[J].管道技术与设备,2019(5):24-27.
- [17] 杨贺,刘新凌,李强,等.油气管道多轮内检测数据对齐算法研究及应用[J].管道技术与设备,2020(1):21-24,28.
- [18] 陈翠翠.长输管道漏磁内检测数据的对比及综合应用[J].石油和化工设备,2020,23(3):71-74.
- [19] 王富祥,玄文博,陈健,等.基于漏磁内检测的管道环焊缝缺陷识别与判定[J].油气储运,2017,36(2):161-170.
- (上接第 89 页)
- [16] 何亮亮,杨永跃,孙盼庆.一种轮胎胎面磨损的简洁实用测量方法[J].电子设计工程,2012,20(17):128-131.
- [17] WANG J K,HUANG S Y. Measuring tread depth with light-spot analysis[C]//2017 IEEE International Conference on Mechatronics and Automation (ICMA). [S. l.]:[s. n.],2017.
- [18] 崔敏,杨怀斌,谢盛珍,等.基于机器视觉的汽车轮胎磨损检测系统设计[J].制造业自动化,2020,42(1):10-14.
- [19] LUNG C W,CHIU Y C,HSIEH C W. A laser-based vision system for tire tread depth inspection[C]//2016 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C). Xi'an:[s. n.],2016:850-853.
- [20] 王希波,李爱娟,高金胜,等.基于机器视觉的轮胎花纹深度测量系统研究[J].国外电子测量技术,2019,38(4):66-70.
- [21] HUANG S Y,CHEN Y C,WANG J K. Measurement of tire tread depth with image triangulation[C]//2016 International Symposium on Computer, Consumer and Control (IS3C). Xi'an:[s. n.],2016:303-306.
- [22] MATSUZAKI R,TODOROKI A. Wireless flexible capacitive sensor based on ultra-flexible epoxy resin for strain measurement of automobile tires [J]. Sensors and Actuators A:Physical,2007,140(1):32-42.
- [23] SERGIO M,MANARESI N,TARTAGNI M,et al. On a road tire deformation measurement system using a capacitive-resistive sensor [J]. Smart Materials and Structures,2006,15(6):1700.
- [24] PALMER M,BOYD C,MCMANUS J,et al. Wireless smart-tires for road friction measurement and self state determination[C]//43rd AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference. Virginia: AIAA,2002:1548.
- [25] YI J. A piezo-sensor-based "smart tire" system for mobile robots and vehicles [J]. IEEE/ASME Transactions on Mechatronics,2008,13(1):95-103.