

# 大数据时代油气管道的安全与防护

袁鹏斌<sup>1</sup>, 刘凤艳<sup>1</sup>, 舒江<sup>2</sup>, 刘乃勇<sup>2</sup>, 姜文宽<sup>2</sup>

(1. 上海海隆石油管材研究所, 上海 200949;

2. 盛隆石油管检测技术有限公司, 上海 200941)

**摘要:**针对大数据时代油气管道的安全与防护问题,分析了管道的基本数据、检测数据、评价数据等和管道安全与防护相关的数据。通过对制管、铺管、外检测、内检测、风险评价、完整性评价过程的分析,证明了建立管道大数据的可行性,分析了管道大数据在克服完整性评价标准中的保守性、修正管道评价标准、预测管道未来安全状况等方面的应用。结果表明,管道大数据将成为油气管道安全与防护新的研究方向,将在油气管道安全高效运行中发挥重要作用。

**关键词:**大数据;管道;外检测;内检测;完整性评价

中图分类号:TE88;TE988;TG115.28

文献标志码:A

文章编号:1000-6656(2015)04-0051-05

## Security and Protection of Oil and Gas Pipelines in Big Data Era

YUAN Peng-bin<sup>1</sup>, LIU Feng-yan<sup>1</sup>, SHU Jiang<sup>2</sup>, LIU Nai-yong<sup>2</sup>, JIANG Wen-kuan<sup>2</sup>

(1. Shanghai Hilong Petroleum Tubular Goods Research Institute, Shanghai 200949, China;

2. Shenglong Oil and Gas Pipeline Inspection Technology Co., Ltd., Shanghai 200941, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of the security and protection of oil and gas pipelines in big data era, the basic data, detection data, assessment data, and other data related to the security and protection of pipeline were studied. By analyzing the process of manufacturing pipe, building pipe, external detection, internal detection, risk assessment and integrity assessment, the feasibility of establishing big data of pipeline is proofed, and its application for overcoming the conservative of assessment criteria, improving assessment criteria, predicting the future security of pipeline is analyzed. The results show that the big data of pipeline will be the new research direction of the security and protection of oil and gas pipelines, and it will play an important role in the safe and efficient operation of oil and gas pipelines.

**Keywords:** Big data; Pipeline; External inspection; Inline inspection; Integrity assessment

随着管道服役时间的增长,多种原因将导致管壁腐蚀增多,使管道的承压能力降低而带来安全隐患<sup>[1]</sup>。为了保证管道的安全高效运行,必须采用多种方法对管道进行检测以及安全评价。目前广泛使用的管道检测方法主要有以阴极保护为主的管道外检测技术和以漏磁检测、超声检测为主的在役长输油气管道内检测技术<sup>[2-4]</sup>。根据管道检测结果,采用 ASME B31G、DNV RP-F101 等标准对被测管道进行完整性评价<sup>[5-6]</sup>,确定管道是否需要进

行维修、降压运行或者更换。

每种检测技术、评价方法均有优缺点,不能完全解决管道安全问题,只有对多种检测数据进行综合分析,才能全面掌握管道安全现状;所以,对由管道基本数据、外检测数据、内检测数据、管道评价数据等数据组成的管道大数据的研究和分析,将成为管道安全高效运行新的发展方向。

## 1 大数据概述

随着互联网技术的迅猛发展,各行业和领域所产生的数据种类与数量飞速增长,以油气管道为例,管道的生产、运营、维护都将产生大量数据,将数据整合处理并应用于管道管理必将是未来的发

收稿日期:2015-01-27

作者简介:袁鹏斌(1959—),男,教授级高级工程师,博士,主要从事管道检测及石油装备等方面的研究工作。

展趋势,一个大规模生产、分享和应用数据的管道大数据时代正在开启。

### 1.1 大数据的概念

世界上最早洞见大数据时代发展趋势的数据科学家维克托·迈尔舍恩伯格指出,大数据是指某个现象的全部数据,而不是部分抽样数据<sup>[7]</sup>。

以管道安全为例,在信息处理能力受限的小数据时代,为提高数据分析效率,降低工作量,只对某一种检测方法中部分超过报告阈值的缺陷进行分析和处理,希望通过最少的数据获得最多的管道安全信息。而在大数据时代,随着计算机技术的发展,数据处理能力的增强,管道大数据不是来源于某一种检测方法,而是制管、焊接、铺管等管道基本数据、历史数据、多种检测数据、完整性评价数据、风险评价数据等与管道安全相关的所有数据的总和。

对大数据的深入探讨,能够将影响管道安全的各类因素相结合,更准确地分析管道的安全状况,并避免了因忽略细节信息,不能对某些问题深入研究的情况。

### 1.2 大数据的混杂性

大数据时代更注重数据的混杂性而不是精确性。小数据时代,信息量较少,任何数据都会影响结果,必须确保数据的精确性。大数据时代随着数据量攀升,错误数据不可避免,但大量数据可以弥补数据中的误差和错误;研究表明,对同一问题的分析,基于大量数据的简单算法比基于小数据的复杂算法更高效,此外,大数据可以分析更多的研究对象。

以管道内检测器的里程轮装置为例;如果内检测器只安装一个里程轮,为保证里程信息的精确性,必须确保该里程轮在检测过程中不发生磨损等周长变化和打滑现象;如果内检测器中安装多个里程轮,当某个里程轮脉冲出错时,可以切换信号通道,将正确的里程信息记录到测量数据中。同时,对里程轮信号与管道中的实际情况进行综合分析,还可以分析出里程轮磨损和打滑的原因。

### 1.3 大数据的相关性分析

大数据的核心是通过数据的相关关系预测事物的发展规律。大数据能够预测未来的关键在于能够准确找到关联物,通过监测关联物的变化,预测目标可能发生的变化。

小数据时代,关联物的选择主要根据理想情

况下的理论分析,将主要因素或是公众普遍认为的因素作为关联物,再收集数据对理论和关联物进行验证,通常存在理论验证困难及对实际情况考虑不周等问题。大数据时代,关联物是通过数学和统计学方法对大量实际数据进行相关关系分析的结果,可以分析出主要因素和不受公众重视的或理论分析范围外的非主要因素对被监测目标的影响,该方法更加准确、快捷、贴合实际,不受传统思维的影响,分析结果可以为理论研究提供参考依据。

以阴极保护为例,理论研究表明高压输电线路、交流电气化铁路会使管道产生交流干扰,但根据对多处管道维护经验,地面运行的地铁对管道的影响较小,而地铁维修基地因铁轨绝缘不良、接地不良、触网绝缘不良等问题,附近管道交流干扰腐蚀严重<sup>[9]</sup>。大数据的相关性分析找到了导致管道交流干扰腐蚀的主要原因是管道与地铁平行或就近敷设,也找到了不受公众重视的铁轨绝缘不良、接地不良、触网绝缘不良等非主要因素,根据分析结果,可以对受交流干扰的管段进行风险排序,预测其他受交流干扰管段的腐蚀情况,同时也为研究铁轨绝缘不良、接地不良、触网绝缘不良会导致交流干扰的原因奠定基础。

明确大数据的应用价值,需要根据管道运行的实际情况,分析建立管道大数据的可行性。

## 2 建立管道大数据的可行性分析

管道大数据主要包括管道基本数据、外检测数据、内检测数据、管道评价数据等。

### 2.1 管道基本数据

管道基本数据包括管道材质、生产工艺、连接方式、渡涂特征、内/外径、壁厚等管道制造参数,输送介质、设计压力、最大允许操作压力、工作压力/温度范围、弯头、三通、阀门等管道设计参数,焊接方法、埋深、管道穿/跨越情况等铺设数据,管道是否进行过清管/检测、检测设备、检测时间、是否进行维修、维修情况等管道历史数据以及其他与管道安全相关的基础数据。

笔者目前已开展钢管生产和海底管道铺设业务,可以提供管道制造和铺设数据,管道设计参数、历史数据可以在开展管道内检测的基本信息调查时获取,因此,管道基本数据可以收集。

### 2.2 管道外检测数据

管道外检测主要包括防腐层检测、阴极保护效果检测及管道附近环境监控。外检测技术可应用于长输油气管道和城市管网等多种类型管线的检测。

### 2.2.1 防腐层检测

防腐层地面检漏包括电流衰减法、电位梯度法,其中电流衰减法的原理是:对管道施加交流信号,在管道周围形成感应电磁场,通过接收机测量管道中的等效电流大小;当管道防腐层存在破损或缺陷时,电流因从破损或缺陷处流失而衰减,磁场强度急剧减小,接收机信号发生变化,实现对破损点的定位。电位梯度法原理是向管道施加特定检测信号,当管道防腐层存在破损或缺陷时,破损点与土壤之间会形成电压差,且在接近破损点时电压差最大。

防腐层破损易造成管体腐蚀,对防腐层进行检测、维修可有效防止腐蚀继续发展,对防腐层破损处进行土壤腐蚀性检测,可以监测管道附近环境情况,为管道评价提供参考。

### 2.2.2 管道阴极保护

阴极保护是防止管道在电解质中发生腐蚀的电化学保护技术,主要分为牺牲阳极阴极保护和强制电流阴极保护,牺牲阳极阴极保护输出电流较小,只适用于保护电流在1 A以下、土壤电阻率小于 $100 \Omega \cdot \text{m}$ 的埋地管道;强制电流阴极保护输出电流可调,有效保护范围大,保护装置寿命长,是油田管线和长输干线电化学保护的主要选择,管道的阴极保护系统还能有效弥补防腐层存在的缺陷。

管道防腐层和阴极保护系统会受到复杂干扰因素的影响,降低管道防护的能力。

### 2.2.3 杂散电流排流技术

油气管道与高压输电线路、交流电气化铁路平行或接近敷设时,管道上会因为静电场、地电场、电磁感应耦合的存在产生交流杂散电流干扰,使管道发生交流腐蚀,增加阴极保护难度<sup>[8]</sup>。

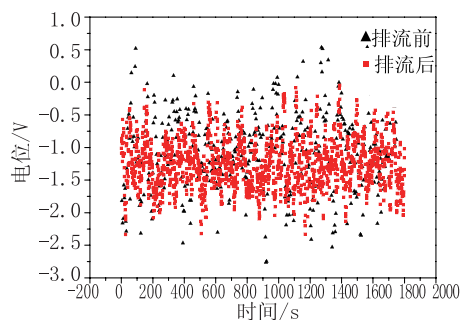
杂散电流可通过检测交流干扰电压进行测量,其中远程遥测技术可实现24 h实时连续监测,可及时、有效地发现管线中受到杂散电流干扰等电位异常情况,并根据杂散电流的运行规律查找杂散电流干扰源。当交流干扰电压超过4 V时,必须采取干扰防护措施。笔者采用角钢接地、屏蔽线、牺牲阳极带、固态去耦合器联合使用的方法对上海某天然气管道进行杂散电流排流保护,排流效果按正电位

平均值下降程度进行评定。

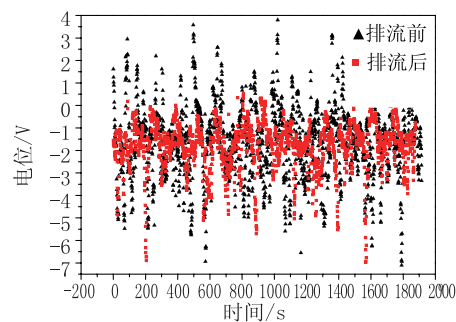
$$\eta_v = \frac{V_1 - V_2}{V_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $\eta_v$ 为正电位平均值比,表征排流前后正电位平均值下降的程度, $\eta_v$ 越大,排流保护的效果越好; $V_1$ 、 $V_2$ 为排流前后的正电位平均值。

管道排流前后电位图如图1所示。1号排流点排流前正电位平均值为0.115 V,排流后正电位平均值为0 V,正电位平均值比为100%,2号排流点排流前正电位平均值为0.140 V,排流后正电位平均值为0.002 V,正电位平均值比为98.6%。说明该排流方法排流效果显著,达到标准要求。目前远程遥测技术和排流技术已应用于上海城市管网的外检测项目中,每年进行660 kM的高压天然气管线检测。



(a) 1号排流点



(b) 2号排流点

图1 排流前后电位分布

管道外检测可以得出土壤腐蚀性数据、管道防腐层数据、阴极保护数据、第三方破坏情况及管道周边的干扰情况等数据,这些数据是影响管道安全的非主要因素的重要来源。

## 2.3 管道内检测数据

### 2.3.1 漏磁检测技术

漏磁检测技术根据磁感线在存在缺陷的管壁分界面上会发生“折射”产生漏磁通的原理,采用霍尔元件测量轴向、径向、周向漏磁通的大小,判断管壁缺陷的类型及尺寸。漏磁检测器采用里程轮跟



踪系统和地面标记对缺陷进行定位。管道漏磁内检测器如图 2 所示。

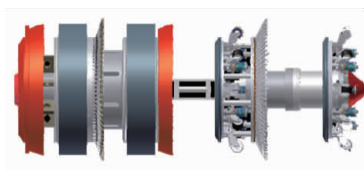


图 2 漏磁内检测器

图 2 所示为笔者与德国 NDT 公司合作的高精度管道漏磁内检测器,适用管道外径为 76.2~1 066.8 mm,适用温度为  $-20\sim 80^{\circ}\text{C}$ ,适用速度为  $0\sim 6.2\text{ m/s}$ ,最大运行压力为 10.342~22.408 MPa,可运行时间为 30~400 h,可检测距离为 24~1 046 km,可检测壁厚为 2.08~25.4 mm,最大曲率为  $1.5D\sim 10D$ , $D$  为管道外径。

通过对检测数据的分析,可以得出管道的焊缝编号、里程等焊缝数据<sup>[9]</sup>,三通、弯头、阀门等管道附件数据,腐蚀长度、深度、宽度、里程、周向钟点、内/外壁分布等缺陷数据,腐蚀缺陷沿里程的分布数据,以及缺陷按照类型、深度等参数的统计数据。内检测之前,需要对管道进行变形检测,可以得出凹陷和椭圆度变形数据。

### 2.3.2 超声波检测技术

超声波检测技术可以分为金属损失检测和裂纹检测。金属损失检测是根据超声波测厚原理,通过测量管道壁厚的变化,判断管壁中是否存在缺陷的方法。超声波裂纹检测是采用  $45^{\circ}$  斜入射的剪切波对管壁进行检测,避免了因垂直入射导致轴向裂纹反射面小的问题。管道超声波内检测器如图 3 所示。

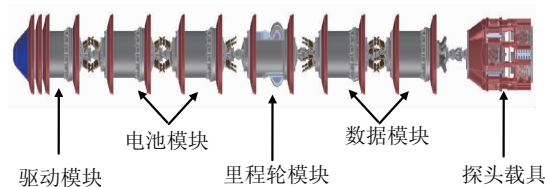


图 3 超声波内检测器

图 3 所示为笔者与德国 NDT 公司合作的管道超声波内检测器,该检测器可检测管径为 152.4~1 219.2 mm 的管道,同时可定制特殊管径的超声波检测器。该检测器环向分辨率可分为 7.5, 5.5, 4 mm 的标准分辨率、高分辨率和超高分辨率,不同

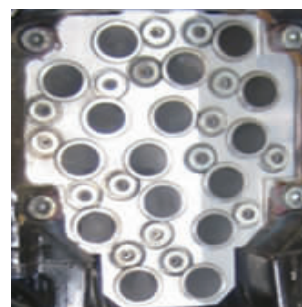
分辨率探头组如图 4 所示。



(a) 标准分辨率



(b) 高分辨率



(c) 超高分辨率

图 4 不同分辨率探头

如图 4 所示,标准分辨率、高分辨率、超高分辨率检测器中每个探头组分别包含 8 个、12 个、16 个传感器。超声波检测器通过增加传感器数量和改变传感器排列方式来提高检测分辨率。与市场其他产品相比,该检测器检测速度更快,可在检测过程中减少产品损失;检测器长度更短,可减少收发球筒的改造,能够同时检测腐蚀和裂纹,提高检测性价比,检测后数据处理速度快,可缩短出具报告时间。

管道漏磁检测与超声波检测相比具有检测速度快,不限制介质种类,对管道内清洁度要求低等优点。与漏磁内检测相比,超声波检测具有检测精度高,可靠度高,机械灵活性好,适用壁厚范围大等优点,可以弥补漏磁检测不能识别裂纹、轴向沟槽缺陷及管壁中存在的缺陷等缺点,可以避免因漏磁

检测精度低造成的误开挖问题。管道漏磁内检测器与超声波检测器配合使用,可以为管道大数据提供更加精确的腐蚀缺陷数据和裂纹数据。管道基本数据、变形检测数据、内检测数据共同构成了管道大数据的主体。

#### 2.4 管道评价数据

管道评价主要包括完整性评价和风险评价。完整性评价主要根据管道的腐蚀缺陷参数及管道参数,采用某种评价标准,计算出被检测管道的剩余强度、金属腐蚀生长率、剩余寿命、再检测周期等参数,并根据评价结果确定管道是否需要维修以及采用何种维修方法<sup>[10]</sup>。管道完整性评价可以确定管道是否可以继续使用,做出运行、修补及更换的决定,从而确保含有缺陷的管道能继续安全运行。风险评价是根据管道的运行情况,分析管道中可能出现的问题、出现问题的概率、出现问题的后果及风险水平,是石油天然气管线安全管理、检测技术选择的前提,是确定检测重点的基本方法。

对管道进行评价需要收集的管道数据种类繁多,数量庞大,评价结果对管道的安全高效运行意义重大,目前管道评价技术已经广泛应用于我国油气管道的安全管理中。

### 3 管道大数据应用

(1) 克服完整性评价标准的保守性。完整性评价标准的评价结果与爆破试验相比更加保守,造成管道输送效率降低,维修成本增大。管道大数据可以通过数据的相关性分析,找出完整性评价结果与管道安全状况之间的关系,以及影响评价标准保守性的因素。根据相关性分析结果,修正评价结果,调整维修策略,节约维修成本。通过对影响因素进行理论分析,对评价标准进行修正,从理论上克服评价标准的保守性。

(2) 提高风险评价准确度。管道风险评价常采用专家打分和失效风险树等方法,这些方法可以在一定程度上预测管道存在的风险情况,但在评价过程中将部分风险项理想化,评价结果在一定程度上

依赖于评价人员的主观意识和经验。基于管道大数据的风险评价建立在实际数据基础上,能够克服理想情况与实际情况之间的误差,克服主观意识对评价结果的影响。

(3) 预测管道未来安全状况。管道大数据可以准确分析影响管道安全的主要因素及次要因素,通过对管线中各类影响因素的分布情况进行分析,可以实现对整个管线安全状况的预测和排序。

管道大数据的应用可以克服完整性评价标准的保守性,修正管道评价标准,提高风险评价准确度、预测管道未来安全状况,为管道的安全与防护开启新的篇章。未来管道安全防护方面思维的转变、商业价值的推动、管道数据的公开以及数据统计分析技术的发展将是管道大数据应用过程中亟待解决的关键问题。

#### 参考文献:

- [1] 帅健. 美国油气管道事故及其启示[J]. 油气储运, 2010, 29(11): 806-809.
- [2] 张永飞, 赵书华, 李平, 等. 长输埋地管道阴极保护故障诊断与排除[J]. 腐蚀与防护, 2014(11): 1168-1172.
- [3] 杨理践, 马凤铭, 高松巍. 管道漏磁在线检测系统的研究[J]. 仪器仪表学报, 2004, 25(1): 1052-1054.
- [4] 曹建树, 李杨, 林立, 等. 天然气管道在线无损检测技术[J]. 无损检测, 2013, 35(5): 20-25.
- [5] ASME B31—2009 Manual for determining the remaining strength of corroded pipelines[S].
- [6] DNV-RP-F101—2009 Recommended practice corroded pipelines[S].
- [7] 维克托·迈尔·舍恩伯格, 肯尼斯·库克耶. 大数据时代[M]. 杭州: 浙江人民出版社, 2012.
- [8] 颜达峰, 刘乃勇, 袁鹏斌, 等. 地铁维修基地杂散电流对埋地钢制管道的腐蚀剂防护措施[J]. 腐蚀与防护, 2013, 34(8): 739-742.
- [9] 高松巍, 郑树林, 杨理践. 长输管道漏磁内检测缺陷识别方法[J]. 无损检测, 2013, 35(1): 38-41.
- [10] 杨理践, 刘凤艳, 高松巍. 基于腐蚀缺陷管道的剩余强度评价标准应用[J]. 沈阳工业大学学报, 2014, 36(2): 297-302.

欢迎网上投稿 欢迎订阅 欢迎刊登广告