

# 基于漏磁检测的某长输管线内检测数据分析

李鸿鹏

(国家管网集团福建公司, 厦门 361113)

**摘要:** 基于国内某长输管线漏磁内检测获得的内检测数据, 对管道缺陷进行分析, 得出了管道金属损失缺陷和环焊缝缺陷的里程分布及缺陷特征, 对缺陷产生的原因进行了初步分析。结合相应的规范和评价方法, 进行了含缺陷管段的适用性评价, 对含缺陷管段的剩余寿命进行了预测, 给出了管线进行维修维护的时间建议; 通过现场开挖, 对比实测数据与内检测数据, 验证了适用性评价的合理性。该研究可望提高长输管线内检测数据的利用程度, 便于展开不同轮次内检测数据的比对工作, 促进后续内检测工作的顺利进行。

**关键词:** 内检测; 数据分析; 适用性评价; 数据比对

中图分类号: TE88; TG115.28

文献标志码: B

文章编号: 1000-6656(2024)06-0089-06

## Analysis of Internal Inspection Data for Long Distance Pipeline Based on Magnetic Leakage Detection

LI Hongpeng

(Fujian Branch of Pipe China, Xiamen 361113, China)

**Abstract:** Based on the internal inspection data obtained from a domestic long-distance pipeline using magnetic flux leakage technology, an analysis was conducted on pipeline defects by internal inspection data. The identification of mileage distribution and characteristic features of metal loss defects and girth weld defects within the pipeline were obtained. A preliminary analysis was carried out on the underlying causes of these defects. Combined with relevant standards and evaluation methods, an applicability assessment was performed for pipe segments containing defects, followed by a prediction of their residual service life. This resulted in recommendations for the timing of maintenance and repair activities on the pipeline. Field excavations were also conducted to compare the data of actual measurements and internal inspection and the rationality of the applicability evaluations. This work was expected to enhance the utilization rate of the internal inspection data, facilitating comparative analyses across different inspection rounds. Ultimately, it aims to facilitate smoother progression of subsequent internal inspection tasks.

**Key words:** internal inspection; date analysis; applicability assessment; date comparison

长输管道对于促进社会经济发展具有重要的保障作用, 近年来, 国内各管道运营公司对于管道安全的重视程度日益提高, 从管理和技术两个层面不断加大投入。对长输管线开展内检测工作, 对于提高管道的输送效率、掌握管道变形情况、跟踪评价管道中腐蚀的位置及发展态势、分析管道缺陷成因并提出控制

措施具有重要作用, 可为管道的维护决策提供技术支持, 现已成为管道完整性管理体系中的重要一环<sup>[1-4]</sup>。

为确保管道内检测的准确性, 降低漏检、误报等对评价结果的影响, 在条件允许的条件下, 建议进行至少两轮内检测工作, 利于更好地确认管道缺陷的发展态势<sup>[5-9]</sup>, 同时可结合管线在设计、施工和运行时的各项数据, 对被检测管线的运行状态进行客观科学评价, 进而给出具有针对性的合理维护整改方案。

某管线自建成投产已近十年, 其管径为1 016 mm, 管道材料为X70钢, 设计压力为10 MPa。为确保管

收稿日期: 2023-12-04

作者简介: 李鸿鹏(1988—), 男, 硕士, 工程师, 主要从事长输管道工艺运行方面的研究工作

通信作者: 李鸿鹏, lhp2007@163. com

线的安全运行,确认管线的腐蚀状况及腐蚀分布情况,运营单位委托某检测公司对该管线进行了漏磁内检测工作,对含有缺陷处管道的适用性进行了评价分析,并根据评价结果给出了维护维修建议及下次内检测时间的建议。

## 1 某管线的内检测质量审查

为检验内检测数据的准确性和可信度,需重点对内检测过程中的检测里程偏差、数据缺失率、管节长度和检测器运行速度等参数进行审核。

(1) 检测里程偏差分析。如果检测里程偏差较大,会对接下来的开挖验证及修复工作带来较大影响。标准GB/T 27699—2023《钢质管道内检测规范》要求,若检测管线长度大于100 km,检测里程的偏差应控制在0.5%以内,大于1%则要重新进行检测。此次内检测里程偏差均在0.2%以内,故符合要求。

(2) 探头数据缺失。根据此次内检测器的技术特征,管道的变形量不得大于0.15倍管道直径,探头数据缺失需控制在总量的5%以内。在整个内检测过程中,各清管器及内检测器运行正常,未检测到大于0.15倍的管径变形,也未发现有组件缺失,故数据缺失项符合要求。

(3) 管节长度信息审核。此环节主要是根据管道的环焊缝信息,计算两条相邻焊缝之间的管节长度,找出与标准管节长度相差较大的管节。通常情况下,若管节长度较大,可能是由于内检测时出现了环焊缝遗漏;若管节长度较小,可能是在此处进行过管段维护或者更换,也有可能是长度较大的管道缺陷,需结合相关的管道运行维护记录来确认。内检测管节长度分布曲线如图1所示,可以看出,大部分的管

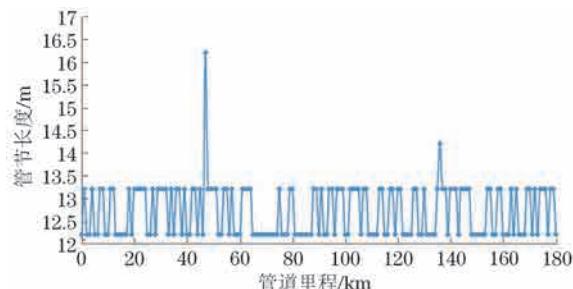


图1 内检测管节长度分布曲线

节长度均在12.1~13.5 m的标准尺寸范围内,有两处管节长度偏长,建议结合此次内检测的管节信息、管道的施工竣工资料以及管道维护更换记录进行对比审核,同时对两处的内检测信号进行复核,核实其是否存在焊缝遗漏。

(4) 内检测器运行速度校核。根据标准GB/T 27699—2023,结合管线实际运行工况,此次内检测器的最佳运行速度范围为2.0~5.0 m·s<sup>-1</sup>,如果运行速度超出了规定的上下限,可能会造成数据的丢失。内检测器运行速度数据和曲线如表1和图2所示,可见此次内检测平均速度为4.25 m·s<sup>-1</sup>,最高速度为4.7 m·s<sup>-1</sup>,最低速度为3.8 m·s<sup>-1</sup>,符合要求。

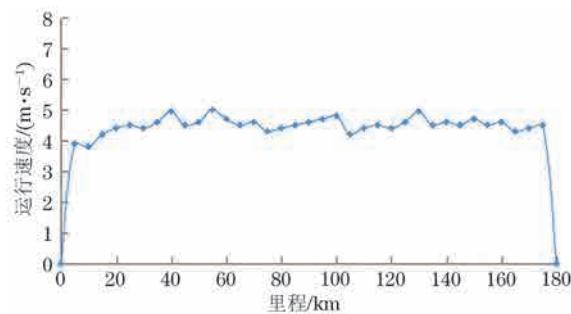


图2 内检测器运行速度曲线

表1 内检测器运行速度数据

序号	里程/km	速度/m·s <sup>-1</sup>	序号	里程/km	速度/m·s <sup>-1</sup>	序号	里程/km	速度/m·s <sup>-1</sup>
1	0	0	14	4.5	4.5	27	4.95	4.95
2	5	3.9	15	4.6	4.6	28	4.5	4.5
3	10	3.8	16	4.3	4.3	29	4.6	4.6
4	15	4.2	17	4.4	4.4	30	4.5	4.5
5	20	4.4	18	4.5	4.5	31	4.7	4.7
6	25	4.5	19	4.6	4.6	32	4.5	4.5
7	30	4.4	20	4.7	4.7	33	4.6	4.6
8	35	4.6	21	4.8	4.8	34	4.3	4.3
9	40	4.95	22	4.2	4.2	35	4.4	4.4
10	45	4.5	23	4.4	4.4	36	4.5	4.5
11	50	4.6	24	4.5	4.5	37	0	0
12	55	5	25	4.4	4.4	—	—	—
13	60	4.7	26	4.6	4.6	—	—	—

## 2 内检测数据分析

根据内检测数据, 分别对管道的金属损失缺陷、焊缝缺陷和管道凹陷进行了统计, 其结果如表2和图3~5所示, 可见此次内检测的缺陷分布有以下特点。

表2 管道内检测缺陷数据统计

内检测缺陷分布		外壁金属损失深度分布	
种类	数量/处	种类	数量/处
金属损失	9 456	大于10%壁厚	36
管体凹陷	56	5%~10%壁厚	486
焊缝缺陷	398	小于5%壁厚	9 478
其他缺陷	29	—	—

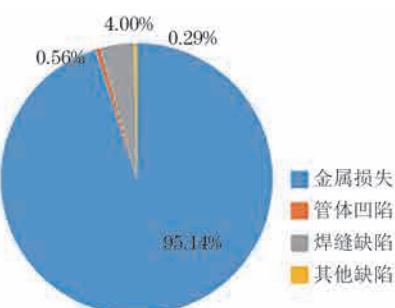


图3 管道缺陷类型统计饼状图

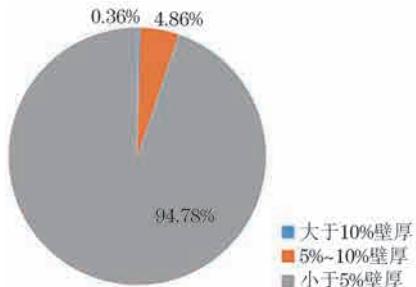


图4 管体外壁金属损失深度分布饼状图

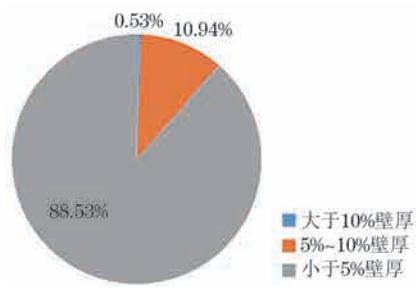


图5 管体内壁金属损失深度分布饼状图

(1) 被检测管段缺陷以金属损失为主, 占到了管道缺陷总数的95.14%, 其次为管道焊缝缺陷, 管道凹陷变形情况则较少。

(2) 金属损失深度普遍较浅, 而管道外壁的腐蚀情况要好于管道内壁的金属损失, 说明被检测管

段的外部环境对管道腐蚀作用相对较轻。

(3) 焊缝缺陷主要表现为环向焊缝异常, 可能是施工时焊接质量不佳造成的。

### 2.1 金属损失缺陷统计分析

金属损失缺陷主要表现为腐蚀、管材制造缺陷或者在管道施工过程中的机械损伤等。此次检测到的金属损失缺陷的里程分布如图6所示, 可见金属损失主要集中在60~80 km及100~110 km处, 这可能是两端管线的材料问题导致的, 初步推测可能采用了同一批出厂缺陷较多的管材或者是采用相同的处理方法致使管道产生了损伤。根据内外金属损失缺陷在管道环向上的分布数据可知, 金属损失缺陷与环向位置无明显关系, 外部金属损失极有可能是管道加工时产生的。

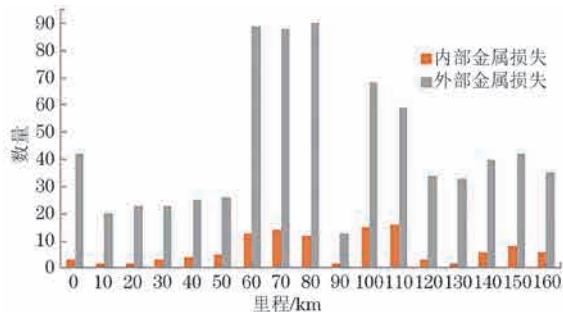


图6 管道金属损失数据的里程分布

### 2.2 环焊缝缺陷统计分析

管道内检测环焊缝缺陷的里程分布如表3所示, 可见, 环焊缝缺陷主要集中在40~70 km处, 可能是同一施工队伍焊接质量不佳造成的。为确定环焊缝缺陷成因及其尺寸, 建议选择具有代表性的地点进行开挖验证, 为之后的适用性评价奠定基础。

表3 管道内检测环焊缝缺陷的里程分布

序号	管道里程/km	缺陷数量/处	序号	管道里程/km	缺陷数量/处
1	0	7	10	90	10
2	10	11	11	100	3
3	20	8	12	110	6
4	30	2	13	120	0
5	40	25	14	130	1
6	50	10	15	140	3
7	60	4	16	150	2
8	70	37	17	160	3
9	80	6	—	—	—

### 2.3 管道凹陷统计分析

为了便于描述管道凹陷在环向位置的分布, 采

用时钟方式来进行描述,即沿着介质流向,12点钟表示管道顶部,6点钟代表管道底部,0点与12点钟重合。管道凹陷的里程-方位分布如图7所示,可见管道凹陷主要集中在管道环向的下半部,即3~9点钟方向范围内,且大多数凹陷集中在80 km处附近的管段范围内,经分析,该缺陷可能是施工期间管道回填时未按照要求回填细土致使管道底部与沟底的硬物挤压造成的。

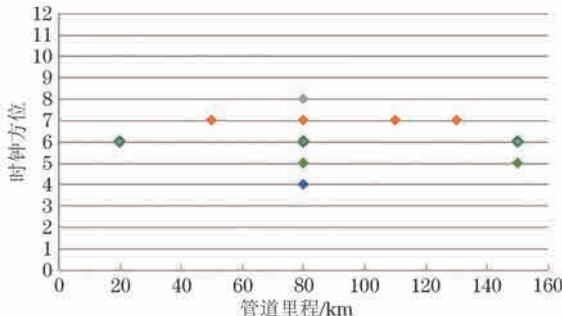


图7 管道凹陷的里程-方位分布

### 3 内检测缺陷的适用性分析

#### 3.1 管道寿命的适用性评价

此次内检测中并未能区分管道腐蚀缺陷和管道制造缺陷,为保守起见,现假设其全为腐蚀缺陷,即管道缺陷均随着时间的增加而加深。

由于被检测管线仅进行过一次内检测,选用内检测数据与原始壁厚对比的方法,利用全寿命缺陷增长预测方法计算腐蚀增长率,即

$$R_c = \frac{d}{T_2 - T_1} \quad (1)$$

式中:  $R_c$  为管道缺陷的腐蚀增长率;  $d$  为管道缺陷深度;  $T_2$  为最近一次管道内检测的时间;  $T_1$  为管道上一次的内检测时间,如果仅有一次内检测则为管道投产时间。

经计算,该管段平均腐蚀增长率为  $0.23 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ,最大增长率为  $0.47 \text{ mm} \cdot \text{a}^{-1}$ ,根据最大腐蚀增长率可推算出该段管线的最短寿命为 25 a,鉴于该管段仅进行了一次内检测,数据不够全面,加上预测方法的保守性,其预测值与实际值可能会有一定偏差,因此该数据仅具有参考性。

#### 3.2 焊缝缺陷的适用性评价

采用标准 BS-7910—2019《金属结构中缺陷可接受性评价方法指南》中的方法对环焊缝缺陷进行评价。该方法对于平面型缺陷分为三级评价<sup>[10]</sup>,此次内检测数据给出了环焊缝缺陷的环向长度和轴向

宽度,而未能给出缺陷的深度数据,因此采用第一级评价中 1A 级评价的失效评价图(FAD),其流程如图8所示,图中  $K_{\text{mat}}$  为材料断裂前吸收的能量与断裂面积的比值,  $\delta_{\text{mat}}$  为材料的冲击功,  $C_V$  为材料的维里强度,  $J$  为材料断裂前吸收的能量,  $S_r$  为施加于缺陷的盈盈,  $K_r$  为断裂力学变量比。笔者采用试算模式,假设缺陷深度,对环焊缝深度对管道剩余强度的影响进行了核定。

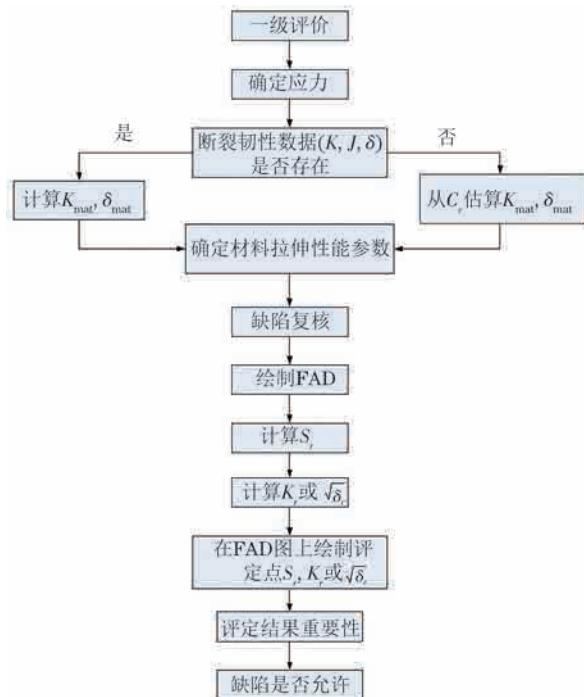


图8 1A 级评价的失效评价流程图

40% 壁厚深度下的环焊缝 FAD 评价结果如图9所示,在 1A 级失效评定图曲线中,  $S_r$ ,  $K_r$  均无量纲,对于所有材料都不变,即  $S_r=0.8$ ,  $K_r=0.707$ ,坐标轴与评价线围成的方形区域代表可接受区,位于方形区域外的则认为是不可接受区,可以看出,在此深度范围内,环焊缝的缺陷尚可接受。

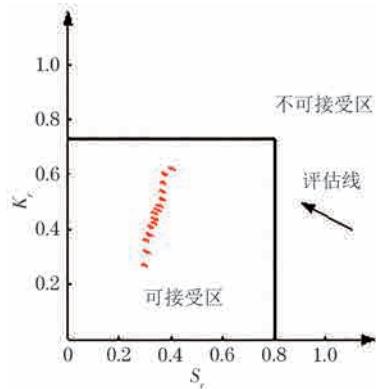


图9 40% 壁厚深度下的环焊缝 FAD 评价结果

当缺陷深度继续加深至不可接受范围时,应选择部分具有代表性的点进行开挖验证,采用超声或射线等检测方法确认环焊缝处缺陷的实际类型,如裂纹、气孔、夹渣或余高不足等,并确认缺陷的相关参数,通过专项FFS来评价是否需要修复。

#### 4 开挖验证

为确保内检测器的检测精度满足评价要求,需选择具有代表性的点进行现场开挖,将现场开挖实测数据与检测数据作对比,以验证内检测器的数据是否符合要求,管道开挖流程图如图10所示。

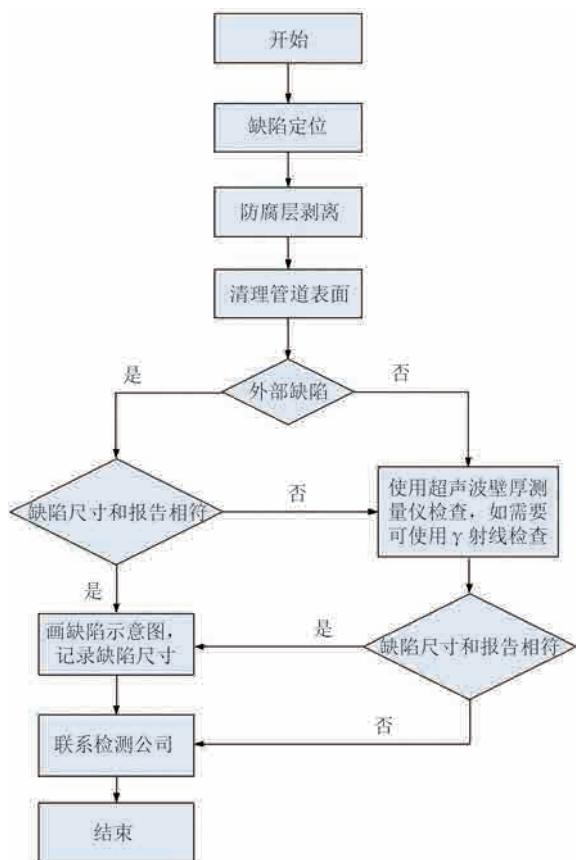


图10 管道开挖流程图

此次内检测中,选定了6处开挖点,所选开挖点的基本信息如表4所示。对于开挖点,一般要求记录介质走向、上下游焊缝的编号和距离、缺陷识别号、

方位、网格示意图、最深点壁厚测量值、管道原始壁厚、比例尺和日期等信息。

首先对开挖点进行定位、开挖、防腐层剥离、缺陷点测量、防腐修复及回填,然后对比分析内检测数据与开挖点实测值,对内检测器的检测精度进行校验。现场开挖和内检测数据误差分析结果如表5所示,可见,缺陷点数据误差均处在检测器的精度范围内,二者数据基本一致,符合相关要求。

根据此次内检测结果及评价结果可知,该管线目前存在的缺陷普遍较轻,根据GB/T 27699—2023标准5.4节规定,新投产管道在投产3年内应进行内检测,之后的检测周期最多不超过8 a,并应加强两次或多次的内检测数据对比工作,以确定管道内活性腐蚀点位置以及其腐蚀增长率、识别新增的腐蚀点等;评估首次内检测或者上次内检测后所采取的腐蚀控制措施的效果,同时,对同一承包商多轮检测或多个承包商的检测数据进行对比分析,评估检测精度,发现可能出现的漏检或误检等干扰信息<sup>[11-13]</sup>。

里程数据对比与内检测特征数据对比工作是内检测数据对比工作的核心内容<sup>[14]</sup>。里程对齐要求多轮内检测的起始点统一,里程数统一,以尽可能全面地筛除漏检与误报。在里程对齐的基础上,方可进行内检测特征数据的比对工作。

#### 5 结语

通过内检测工作可确认管道内外金属损失缺陷、焊缝缺陷及管道变形状况,经开挖验证,可验证管道真实的腐蚀情况,再通过管道适用性评价对管道的运行工况进行客观评价,进而制定相关的维护维修计划。但管道腐蚀或损伤并不是一个独立事件,与管道阴极保护系统运行工况、周边地质环境、人群活动频率、地形地貌与气候等诸多因素息息相关。为提升管道安全,充分利用内检测数据,对于今后的管道内检测工作,建议从管理和技术两个层面进行改进。

表4 现场6处管道开挖点的基本信息

名称	距参考环焊缝距离/m	深度/壁厚	长度/mm	宽度/mm	环向时钟位置	类型
开挖点1	-0.5	5%	79	72	7	金属损失
开挖点2	-1.9	4%	55	57	4	金属损失
开挖点3	0.1	6%	42	92	9	金属损失
开挖点4	2.98	3%	51	99	8	金属损失
开挖点5	-0.32	7%	44	93	4	金属损失
开挖点6	-0.21	6%	87	73	7	金属损失

表5 管道现场开挖和内检测数据误差分析结果

名称	环焊缝误差 /m	深度误差 /壁厚	长度误差 /mm	宽度误差 /mm
开挖点1	-0.03	1.40%	8	-8
开挖点2	0.02	0.40%	-5	-9
开挖点3	0	-1.40%	-6	0
开挖点4	0.013	-2.30%	2	3
开挖点5	0	-1.30%	5	-4
开挖点6	0.005	-1.40%	3	-2

(1) 管理层面。建议在利用内检测报告及内检测数据比对的基础上对管道缺陷进行定位和腐蚀点追踪监控时,综合考虑管线阴极保护工作参数、管线所经地区的地理信息、地质条件及周边人群活动特点等信息,加强各相关部门间的沟通与协作,综合诸类因素进行分析,并进行精细化管理,尽可能提高管道安全。

(2) 技术层面。目前,国内外内检测数据的利用率一直处在较低的水平,如何提高对内检测数据的利用水平也是一直以来的研究热点。为提高内检测数据的利用程度,管道运营方应与内检测承包方在内检测工作前明确好相关的重要技术参数,如内检测的起始点要求、内检测阈值的设定等,要求内检测承包方不仅要提供高于阈值的内检测数据,而且要提供所有识别出来的内检测数据,以方便对比分析不同批次的内检测数据,且阈值的设定值宜尽可能低,当掌握了管道的内外腐蚀状况后,可根据管道运行的实际情况适当调高内检测阈值。

目前,国内主要的长输管线系统大都建有完善的管道完整性评价系统,并推出了相应的评价标准和评价软件等,建议加强内检测数据在管道完整性评价与再评价过程中的应用,并与完整性管理系统

中的其他数据有机结合,以完善管道的完整性评价结果,进而确保管道系统安全。

### 参考文献:

- [1] 郭东升,闫青松,周道川,等. 天然气管道在线清管作业风险识别及控制[J]. 油气储运,2013,32(10):1048-1053.
- [2] 陈传胜. 天然气长输管道在线内检测前的清管技术[J]. 天然气与石油,2013,31(5):1-4,109.
- [3] 王婷,杨辉,冯庆善,等. 油气管道环焊缝缺陷内检测技术现状与展望[J]. 油气储运,2015,34(7):694-698.
- [4] 徐慧,王诗鹏,杜鹃,等. 海底管道内检测技术方案的确定[J]. 天然气与石油,2015,33(1):6-10,24.
- [5] 姜璐,于磊. 基于内检测数据的天然气管道腐蚀缺陷评价[J]. 山东化工,2023,52(11):175-178,181.
- [6] 揭志群. 江西一期管网支线清管内检测作业实施过程分析[J]. 化工管理,2023(7):133-136.
- [7] 孙艳彬,梁思维. 漏磁检测技术在咸阳-宝鸡天然气输气管道中的应用[J]. 石油管材与仪器,2021,7(4):96-100.
- [8] 韦迪. 石油管道内缺陷无损检测技术的研究现状[J]. 清洗世界,2023,39(3):79-81.
- [9] 辛佳兴,陈金忠,李晓龙,等. 油气管道内检测技术研究前沿进展[J]. 石油机械,2022,50(5):119-126.
- [10] 高喆慧,帅健,张思弘. 管道焊缝缺陷的定量安全评定与容限尺寸[J]. 油气储运,2015,34(5):488-492,496.
- [11] 汤荣,苏林,李健,等. 漏磁检测技术在甬沪宁原油管线上的应用[J]. 管道技术与设备,2014(5):18-20.
- [12] 王维斌. 长输油气管道大数据管理架构及应用[J]. 油气储运,2015,34(3):229-232.
- [13] 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.
- [14] 王良军,李强,梁菁嫻. 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.