

# 长输管道腐蚀缺陷检测技术与应用

周方舟<sup>1</sup>

**摘要：**我国一般采用多频管中电流法（RD400-PCM检测仪）对长输管道防腐层破损点进行检测定位，检测结果准确率达到100%；对管壁厚度的检测一般采用超声波检测技术，其精度要高于漏磁检测技术，点蚀达到5 mm<sup>2</sup>，10%管道壁厚的腐蚀量均能定量检测。埋地管道土壤环境评价指标包括土壤的电阻率、氧化还原电位、pH值、土壤含盐量以及含水量，根据各项指标确定了管道腐蚀级别，土壤含水量小于10%为宜，否则土壤对管道的腐蚀速率变大。将上述腐蚀检测体系在长庆油田某14 km的长输管道上进行了应用，结果表明：长输管道防腐层整体质量较好，管体腐蚀较为严重，其中坪五转外输腐蚀剩余管道壁厚最小，为3.81 mm，较大部分管线剩余壁厚均在4.31 mm左右。结合土壤环境，对使用年限较长的管道进行了更换，对有腐蚀现象的管段进行了维护，以延长管道使用寿命，降低长输管道运行风险。

**关键词：**长输管道；腐蚀；检测；剩余强度；评价

Doi : 10.3969/j.issn.1006-6896.2016.3.023

## Technology and Application of Long Distance Pipeline Corrosion Defects Detection

Zhou Fangzhou

**Abstract:** Generally using multi-frequency tube in our country in current method (RD400-PCM detector) to test the coating damage point positioning, test result accuracy by 100%; Detection of pipe wall thickness generally uses the ultrasonic testing technology, its precision is higher than magnetic flux leakage detection technology, achieve 5 mm<sup>2</sup> pitting, 10% amount of corrosion of pipe wall thickness can quantitative detection. Buried pipeline soil environmental evaluation index including soil resistivity, redox potential, pH value, soil salt content and water content, according to the size of the indicators to determine the level of pipeline corrosion, soil moisture content was less than 10% advisable, otherwise the soil corrosion rate of pipeline will increase. Then the corrosion inspection system application on a 14 km long distance pipeline in Changqing oil field, result shows that long-distance pipeline anticorrosive coating is in a good quality, the pipe body corrosion is more serious, which turn flat five transmission corrosion remaining minimum of pipe wall thickness, 3.81 mm, with most of the pipeline residual wall thickness is 4.31 mm or so, combined with the soil environment, to use fixed number of year long pipeline replacement, with corrosion phenomenon of section for maintenance, prolong the service life of pipeline, reduce the risk of long-distance pipeline operation.

**Key words:** long-distance pipeline; corrosion; detection; residual strength; evaluation

20世纪90年代中期，我国对管道剩余强度评价技术的研究开始起步，由于当时长输管道腐蚀预测、剩余强度评价等相关理论基础和综合检测技术落后，导致出现了很多管道运行事故。国外发达国家在长输管道检测、剩余强度评价、运行寿命评价

和预测以及管线运行维护管理方面技术十分成熟（长输管道完整性管理最主要的内容是管道腐蚀缺陷检测和剩余强度评价），现已形成了一套可靠的评价体系和标准。根据这套体系可以对长输管道实施定期检测和维护，时刻监视长输管道运行状况，

<sup>1</sup>中国石化天然气分公司天然气输济管道分公司

及时掌握管线腐蚀缺陷程度,以及制定抢修维护措施<sup>[1-4]</sup>。最近,利用ANSYS有限元分析方法进行管道腐蚀深度、长度以及剩余强度研究较多,该方法主要是对管道轴向、环向腐蚀时管道相互作用力进行分析,确定长输管道腐蚀缺陷尺寸以及管道剩余承载压力<sup>[5-8]</sup>。

## 1 腐蚀缺陷检测技术

### 1.1 防腐层腐蚀检测

在调研国内外长输管道腐蚀缺陷检测技术基础上,为了更精确地检测长输管道腐蚀程度,建议采用多频管中电流法(PCM)对腐蚀管道进行检测。电流在钢质管道中运行会产生电磁场,利用磁场分量可以精确测定电流信号大小,根据电流信号来定位防腐层破损点,以及定量识别腐蚀管道缺陷尺寸。该技术特点是仪器轻巧,操作简便,破损点验证精确率达100%,检测结果准确可靠。表1为国内外长输管道防腐层检测技术对比统计结果。

表1 国内外防腐层检测技术统计

检测方法	管道			防腐层		阴极保护电位
	局部腐蚀	壁厚大小	剥离程度	绝缘边缘	破损点位置	
变频选频法	—	—	—	能	—	—
皮尔逊法	—	—	—	—	能	—
瞬变电磁法	—	能	—	—	—	—
电化学法	—	—	能	—	—	—
电位差法	—	—	—	能	—	能
领间距管地电位法	能	—	—	—	能	能
密集管地电位法	—	—	—	定性	可	能
直流电压梯度法	可	—	—	—	能	定性
PCM (FER-PCM) 法	能	定性	—	能	好	定性
PCM (GDFFW) 法	—	—	—	可	好	定性

注:表中“—”为无意义,表示没有检测对应的该项目。

### 1.2 管道内腐蚀检测

国内外管体腐蚀检测技术主要有漏磁法内检测、超声波内检测、超声导波、管道壁厚数据分析等技术。由于内检测技术目前只能检测管径大于273 mm管道,所以只能采用后两种技术。

(1) 漏磁检测。漏磁检测器装置主要由行走单元、供能单元以及检测单元组成,漏磁检测技术日益成熟,广泛应用于油气长输管道腐蚀缺陷检测,适用于 $\phi 159 \sim 1\,200$  mm输油气任何材料管道的腐蚀在线监测。该检测方法的缺点在于只能检测超过管道壁厚20%~30%的腐蚀量,低于管道壁厚20%的腐蚀量无法精确检测。

(2) 超声波检测。超声波检测在国内外研究已经很成熟,在管道内腐蚀缺陷方面应用十分广泛。超声波检测原理:利用超声波的脉冲反射原理检测

腐蚀管段管壁厚度。具体步骤如下:①将探头垂向置于管道内壁,并发射超声脉冲基波;②垂向探头接收由管道内壁表面反射的脉冲;③垂向探头接收管道外壁表面反射的脉冲,探头接收的管道内外壁表面反射脉冲间距能够反映出腐蚀管道厚度和长度。

超声波检测器检测管道精度:5 mm<sup>2</sup>点蚀,10%管道壁厚的腐蚀量,国内一般采用超声波检测技术来进行管体腐蚀检测。

### 1.3 埋地管道腐蚀环境检测

埋地管道土壤环境是导致管道外腐蚀的直接原因,管道四周的土壤主要由固体、气体和液体组成,其中还包括一些盐分,土壤的电阻率、氧化还原电位、pH值、土壤含盐量以及含水量是导致管道外腐蚀的直接因素,按照现行国家与行业有关规范《钢质管道及储罐腐蚀与防护调查方法标准(SY/T0087—1995)》,埋地土壤环境对管道腐蚀性评价指标如表2所示。土壤含水量小于10%为宜,否则土壤对管道的腐蚀速率变大。目前用的比较多的土壤电阻率检测仪有ZC-8接地电阻测试仪和MK9300腐蚀速率测试仪。

表2 埋地土壤环境对管道腐蚀性评价指标

电阻率/( $\Omega \cdot m$ )	氧化还原电位/mV	pH值	含盐量/%	腐蚀级别
<9	—	<4.5	>0.75	极强
9~23	<100	4.5~5.5	0.10~0.75	强
—	100~200	—	0.05~0.10	较强
23~50	200~400	5.5~7.0	0.01~0.05	中等
50~100	>400	7.0~8.5	<0.01	弱
>100	—	>8.5	—	很弱

注:表中“—”代表该界限数值不确定。

## 2 技术应用

### 2.1 管道防腐层腐蚀分析

采用RD400-PCM检测仪,对长庆某油田14 km长输管道进行了腐蚀检测,结合电流衰减率对管道防腐层状态进行评价,结果如表3所示。

表3 管道防腐层分级标准

电流衰减率/(dB $\cdot m^{-1}$ )	防腐层状态	级别
$\geq 0.011$	良	I
0.011~0.015	中	II
0.015~0.023	差	III
0.023 $\leq$	劣	IV

对14 km的外输管线防腐层状态评价结果如下:47%的管线防腐层处于I级状态,32.15%的管线防腐层处于III级状态,15.72%的管线防腐层处于IV级状态,仅有5.13%的管线防腐层为II级状态,如表4所示。

表4 长输管线防腐层检测评价结果 %

管线	长输管线防腐层分级			
	I	II	III	IV
王十五转外输	35.0	5.0	35.0	25.0
坪五转外输	52.0	5.0	28.0	15.0
坪二转外输	32.6	0	33.0	34.4
王二转外输	63.5	5.0	31.5	0
王二倒外输	65.4	5.0	29.7	0
杏二转外输	20.0	10.0	52.0	18.0
张五转外输	35.6	0	31.7	32.7
张三转外输	68.0	12.0	15.0	5.0
招一转外输	35.1	0	48.9	16.0
谭一转外输	78.5	0	15.0	6.5
贺一转外输	50.0	15.0	21.0	14.0
郭秀玲站外输	10.0	5.0	61.5	23.5
坪桥东营线2	77.2	10.0	12.8	0
坪桥东营线1	35.0	0	35.0	30.0

防腐层破损点检测依据为：①检测点梯度值小于40 dB时，说明该点无破损；②检测点梯度值介于40~60 dB之间，说明该点发生轻微破损；③检测点梯度值大于60 dB时，说明该点严重破损。根据这一原则，采用RD400-PCM检测仪对招一转外输管线出站1 km管段进行检测，检测出防腐层破损点5个，检测结果与实际管道情况基本符合。

### 2.2 管道内壁腐蚀分析

采用超声波检测仪对长输管线管体壁厚进行检测，该段有14条管线，一共36个开挖点。通过该仪器计算出腐蚀段管线剩余壁厚，其中坪桥东营线2腐蚀剩余壁厚最大，为5.72 mm；坪五转外输腐蚀剩余管道壁厚最小，为3.81 mm；超过5 mm的剩余壁厚有坪桥东营线1、坪桥东营线2以及郭秀玲站外输；其余管线壁厚均在4.31 mm左右。

### 2.3 腐蚀环境分析

将ZC-8接地电阻测试仪与MK9300腐蚀速率测试仪结合起来，对14 km的长输管线土壤环境进行检测，按照1 km检测3处的原则，结合埋地土壤环境对管道腐蚀性评价指标进行检测，结果如下：

(1) I级。张五转外输、王二转外输、谭一转外输、坪桥东营线1、贺一转外输，综合表现为：电阻率大于100 Ω·m，腐蚀速率小于0.50 μm·a<sup>-1</sup>。

(2) II级。张三转外输、王十五转外输、坪二转外输、杏二转外输，综合表现为：电阻率不小于50 Ω·m，腐蚀速率为0.70~0.50 μm·a<sup>-1</sup>。

(3) III级。坪五转外输、招一转外输、王二倒外输，综合表现为：电阻率不小于23 Ω·m，腐蚀速率为1.00~0.70 μm·a<sup>-1</sup>。

(4) IV级。王十六转外输、坪桥东营线2，综合表现为：电阻率在23 Ω·m以下，腐蚀速率在1.00 μm·a<sup>-1</sup>以上。

从该条管道腐蚀级别统计结果可看出，管道腐蚀性I级和II级占全部长输管线的64.3%，表明该地段土壤环境对管道的腐蚀威胁不大；应该在III级和IV级管线处进行严格检测，改善管道附近土壤环境，针对土壤品质，筛选适宜的管道防腐覆盖层，降低对管道的腐蚀概率。

## 3 结论

在调研国内外长输管道腐蚀检测技术研究现状的基础上，根据我国油气田长输管道实际情况，一般采用多频管中电流法(RD400-PCM检测仪)，通过检测点梯度值来判断防腐层破损点位置，检测结果准确率达100%。对管道管体腐蚀缺陷检测采用超声波检测技术，结合导波测试技术，可以定量地计算出腐蚀缺陷管段管壁厚度和长度。埋地土壤环境影响指标有土壤的电阻率、氧化还原电位、pH值、土壤含盐量以及含水量，均是导致管道外腐蚀的直接因素。应根据管道处土壤品质进行更换相应的防腐覆盖层，对于使用年限较长的管道定期进行腐蚀检测，老化的管线须及时更换。该套技术在长庆某油田应用，准确找出了14 km长输管线防腐层破损点以及管道腐蚀深度，降低了长输管道运行风险。

### 参考文献

- [1] 宋宁波. 输油管道改输气管道剩余强度评价研究[D]. 四川：西南石油学院. 2003.
- [2] 蔡文军, 陈国明, 潘东民. 腐蚀管线可靠性的研究[J]. 石油机械, 2000, 28 (3): 25-28.
- [3] 洪来凤. 基于ANSYS的双点腐蚀缺陷管道剩余强度评价[J]. 油气储运, 2010, 29 (12): 916-917.
- [4] 衣红兵, 牟宗元, 王学国. 油田埋地管道防腐层检测方法[J]. 石油工程建设, 2010, (2): 112-113.
- [5] 刘海峰, 王毅辉. 在役油气压力管道腐蚀剩余强度评价方法探讨[J]. 天然气工业, 2001, 21 (6): 90-92.
- [6] 涂乙, 吴萌, 管丽, 等. 注水开发油田结垢影响因素分析[J]. 油气储运, 2010, 29 (2): 97-99.
- [7] 赵新伟, 罗金恒, 路民旭. 含腐蚀缺陷管道剩余强度的有限元分析[J]. 油气储运, 2001, 20 (3): 18-21.
- [8] 龙媛媛, 石仁委, 柳言国, 等. 油田埋地管线腐蚀检测与防护[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2009, 26 (6): 14-17.

### 作者简介

周方舟：工程师，2005年毕业于辽宁石油化工大学油气储运专业，从事天然气管道输送工作，13693939765，71556354@qq.com，河南省濮阳市华龙区黄河路与新东路交叉口北50米路东河南维抢修中心，457162。

收稿日期 2015-06-15

(栏目编辑 关梅君)