

引文: 常景龙. 受潮汐干扰管道分布调查及干扰影响规律[J]. 油气储运, 2025, 44(2): 230–239.

CHANG Jinglong. Investigation on the distribution of pipelines affected by tidal interference and research on the interference law[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2025, 44(2): 230–239.

受潮汐干扰管道分布调查及干扰影响规律

常景龙

国家石油天然气管网集团有限公司

摘要: 【目的】潮汐干扰会给管道带来严重的腐蚀风险, 明确受潮汐干扰管道分布与管道受潮汐干扰规律对中国油气管道事业至关重要。【方法】采用埋地试片法进行了 24 h 电位监检测, 通过试片的波形变化对潮汐干扰规律进行了分析, 并利用傅里叶变换对电位监检测数据进行了频域分析。通过数值模拟计算研究了不同干扰电压、管道距干扰源间距、土壤电阻率等因素对管道受潮汐干扰的影响规律。【结果】中国受潮汐干扰管道主要集中在东部沿海区域, 分布于江苏、福建、浙江、辽宁、山东共 5 个省份, 干扰源主要为海洋与大型水体, 潮汐干扰区域管道普遍叠加有地铁杂散电流干扰。干扰源对管道产生潮汐干扰影响时的最大间距为 55 km, 干扰源距管道超过 25 km 时, 管道管地电位波动幅度显著减小。【结论】管道受到潮汐干扰时, 管地电位变化曲线与附近大型水体潮汐涨落曲线趋势基本一致, 呈“双峰双谷”波动特征, 波动周期约为 12 h, 频率为 2.3×10^{-5} Hz。与海岸线平行的管道受到潮汐干扰时, 管道距离干扰源最近处为杂散电流流入时, 远离管道两侧末端杂散电流流出; 反之, 当管道距离干扰源最近处为杂散电流流出时, 远离管道两侧末端杂散电流流入。随着管道远离海岸线, 管道受潮汐杂散电流强度呈指数下降。研究成果可为潮汐干扰下管道腐蚀风险评估与干扰防护提供理论依据与参考。(图 15, 表 1, 参 24)

关键词: 埋地管道; 杂散电流干扰; 潮汐干扰; 管地电位; 数值模拟

中图分类号: TE988

文献标识码: A

文章编号: 1000-8241(2025)02-0230-10

DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2025.02.012

Investigation on the distribution of pipelines affected by tidal interference and research on the interference law

CHANG Jinglong

China Oil & Gas Pipeline Network Corporation

Abstract: [Objective] Tidal interference can pose serious corrosion risks to pipelines, and it is crucial to clarify the distribution of pipelines affected by tidal interference and the laws governing their susceptibility to tidal interference for China's oil and gas pipeline industry. **[Methods]** A 24-hour potential monitoring was conducted using the buried test piece method. Tidal interference patterns were analyzed through the waveform changes of the test piece, and frequency domain analysis of the potential monitoring data was performed using Fourier transform. The effects of various interference voltages, pipeline proximity to interference sources, soil resistivity, and other factors on tidal interference patterns were investigated through numerical simulation calculation. **[Results]** In China, pipelines affected by tidal interference are primarily concentrated in the eastern coastal region, specifically in Jiangsu, Fujian, Zhejiang, Liaoning, and Shandong. The main interference sources are oceans and large water bodies, with subway stray current interference typically superimposed on pipelines in areas experiencing tidal interference. This study found that the maximum distance at which an interference source can affect a pipeline through tidal interference was 55 km. Beyond 25 km, the fluctuation amplitude of the pipe-to-soil potential decreased significantly. **[Conclusion]** When the pipeline is affected by tides, the variation curve of pipe-to-soil potential closely follows the tiding trends of nearby large water bodies, exhibiting a “double peaks and double valleys” fluctuation pattern with a period of approximately 12 hours and a frequency of 2.3×10^{-5} Hz. For a pipeline parallel to the coastline and affected by tides, the point nearest to the interference source experiences incoming

stray current, while both ends farthest from such source experience outgoing stray current, and vice versa. As the pipeline moves away from the coastline, the intensity of tidal stray current on the pipeline decreases exponentially. The research results provide a theoretical basis and reference for assessing pipeline corrosion risk under tidal interference and for developing interference prevention strategies. (15 Figures, 1 Table, 24 References)

Key words: buried pipelines, stray current interference, tidal interference, pipe-to-soil potential, numerical simulation

随着中国油气管网建设的飞速发展,油气管道分布错综复杂,管道在服役过程中受到来自城市轨道交通^[1~3]、铁路^[4]、交流输电线路^[5~6]、高压直流接地极^[7~8]及地磁^[9~12]等多方面的杂散电流干扰。杂散电流干扰将引起管道阴极保护电位异常波动,导致管道欠保护或者过保护,增大外腐蚀风险^[13~16]。对于靠近海洋及大型水体的管道,在潮汐地电场(Tidal Geoelectrical Field, TGF)作用下,管道沿线电位将发生波动,即潮汐干扰,其给管道带来的腐蚀风险不容忽视,但目前国内外关于潮汐干扰影响的研究较少。赵耀峰^[17]研制了埋地油气管道GIC-PSP监测装置,并在沿海地区管道监测到管地电位随着涨潮退潮的周期性变化。熊树海^[18]提出沿海管道腐蚀受地磁海岸效应与潮汐感应共同作用,并建立了海岸效应模型与潮汐感应理论模型。方莉^[19]利用有限元法对山东地区受潮汐干扰管道在复杂地质构造下的管地电位进行数值计算。Liu等^[20]对山东地区受潮汐干扰管道进行了管中电流与管地电位检测,结果显示潮汐干扰引起的管中电流为3.07~6.65 A,所造成的管地电位偏移量超过了国家标准规定;提出潮汐对管道的干扰机制与地磁暴对管道的干扰机制不同,与地磁暴相比,在大型水体附近持续的TGF带来的管道腐蚀风险更高。廖文举等^[21]研究了X65钢在青岛海水、滨海土壤及海水潮汐多重环境因素作用下的短期腐蚀行为,发现X65钢在潮汐过程中腐蚀产物主要为Fe₃O₄,平均腐蚀速率63.411 g/(dm²·a),远高于在青岛海水与滨海土壤中的腐蚀速率。

目前尚无中国受潮汐干扰管道分布的相关报道,且缺乏管道距干扰源间距、土壤电阻率等因素对管道受干扰影响规律的研究。在此,对国家管网集团所辖管道的杂散电流干扰情况进行调研,明确了受潮汐干扰管道分布规律,发现了中国5个省份的管道存在潮汐干扰。并以上述管道作为研究对象,分析了受潮汐干扰管道分布及潮汐干扰的典型特征,结合数值仿真计算,对管道潮汐干扰规律进行了深入分析,以期为中国管道杂散电流干扰的防治提供数据与理论支撑。

1 研究方法

1.1 数据采集方法

研究对象管道材质为L360M钢,防腐层为3PE,服役年限为5年。参照GB/T 21246—2020《埋地钢质管道阴极保护参数测量方法》中的土壤管法,在管道沿线埋设极化试片,进行24 h阴极保护电参数监检测,试片面积为6.5 cm²,参比电极为饱和硫酸铜便携参比电极,研究中电位如无特殊说明,均相对此电极得出。选用cortalk-Udl2 Data Logger数据记录仪监测试片通电电位、断电电位、试片直流电流(图1),其通断周期为15 s,其中通12 s、断3 s,断电电位在断电后200 ms时采集,采样频率为1 Hz。

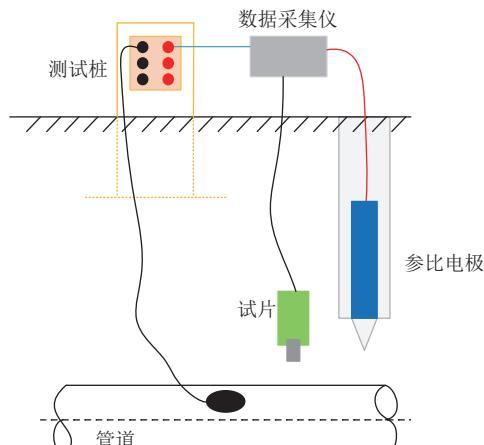


图1 电位测试示意图
Fig. 1 Schematic diagram of potential test

1.2 信号分析方法

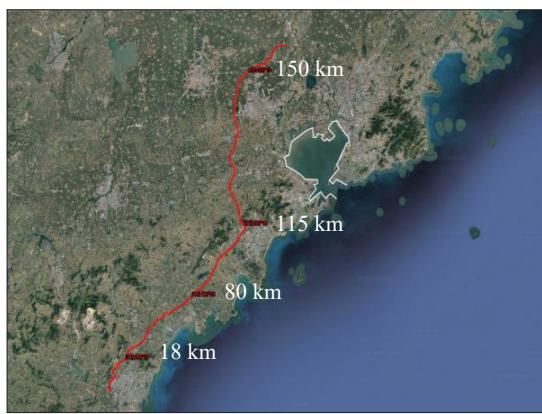
受地铁干扰而产生的管道电位波动具有明显的频域分布特征,其波动频率与地铁运行间隔因素有关,相关研究显示地铁主要干扰波动周期为0~250 s,干扰频率多为0~10⁻² Hz^[2];对于潮汐干扰引起的管道电位波动,其波动频率受海水潮起潮落周期、地磁等影响。研究显示^[22],TGF振幅最强的一阶、二阶谐波的频率为1.2×10⁻⁵ Hz、2.3×10⁻⁵ Hz、3.5×10⁻⁵ Hz、4.6×10⁻⁵ Hz、5.8×10⁻⁵ Hz。地铁干扰频率与潮汐干扰频率均具有明显的差异频段,采用快速傅里叶变换(Fast Fourier

Transformation, FFT)低通滤波对收集到的管道干扰电位进行频谱分析,以略高于潮汐干扰频率 6×10^{-5} Hz作为截止频率,去除地铁干扰影响,以表征潮汐干扰影响。

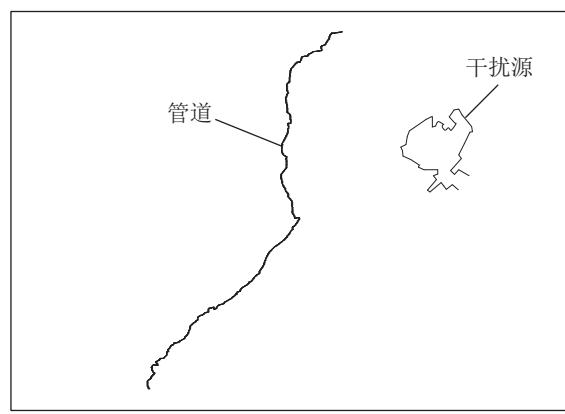
1.3 数值模拟

Longuet-Higgins^[23]指出海峡两侧受潮汐影响于海岸两侧形成“类充电平行板”电势差,该潮汐电势差对临近管道存在潮汐干扰。为明确管道受潮汐干扰影响因素及规律,采用 CDEGS 软件就潮汐干扰规律开展研究。研究过程中,建立简化模型(图 2),将两侧潮汐海岸线设置为多束线性导体并赋值于恒定电压激励以

简化潮汐干扰规律;针对潮汐涨潮、落潮工况下潮汐海水速度方向变化特点,潮汐海岸干扰电压分别设置正、负极性电压以模拟评估涨潮、落潮工况下潮汐干扰规律。干扰计算中,埋地管道规格为 508 mm × 8 mm(管径×壁厚),全长 170 km,管道埋深 2 m。管材电阻率取 0.135 Ω·mm²/m,埋地管道由涂层与外加电流阴极保护系统联合保护,分别于 18 km、80 km、115 km、150 km 处设置 4 座阴极保护站。不同间距位置处海岸两侧潮汐电压假定为固定值,且设置不同的潮汐电压 V、左侧海岸距管道最小间距 L、土壤电阻率 ρ 等参数(表 1)。



(a)管道与干扰源相对位置关系



(b)管道与干扰源简化模型

图 2 干扰数值模拟计算模型示意图

Fig. 2 Schematic diagram of numerical simulation calculation model for tidal interference

表 1 干扰数值模拟参数设置表

Table 1 Parameter settings of numerical simulation for tidal interference

潮汐电压/V	左侧海岸距管道 最小间距/km	土壤电阻率/ (Ω·m)	管道涂层面 积电阻率/(Ω·m ²)	阴极保护输出电流/A			
				18 km 处	80 km 处	115 km 处	150 km 处
6, 12, 18	8.2, 18.2, 28.2, 38.2	20, 50, 100, 150, 200	100 000	2.4	2.4	0.8	2.4
-6, -12, -18							

2 中国受潮汐干扰管道分布及特征

对全国范围内的管道杂散电流干扰情况进行调查(图 3),按照管地电位曲线呈“双峰双谷”波形,且波动周期约为 12 h 的特征进行筛选,在江苏、福建、浙江、辽宁、山东 5 个省测得管道存在潮汐干扰,受潮汐干扰管道主要位于山东半岛、辽东半岛、杭州湾、福州港等地,干扰源主要为海洋与大型水体。分析管地电位曲线特征,由于受潮汐干扰的沿海区域多为经济发达区域,城市轨道交通设施发达,潮汐干扰区域管道普遍叠加有地铁杂散电流干扰。一方面,管道受到地铁干扰,在地铁运行期间电位波动剧烈;另一方面,沿

海地区管道受到周期性的潮汐干扰,管道电位呈“双峰双谷”变化,在峰值最高点,管道电位正向偏移程度最大,在一定程度上导致管道极化电位正于阴极保护准则。管地电位的偏移程度随时间发生变化,且因距海岸线距离、所处地域不同存在差异。以山东地区为例,受潮汐干扰叠加地铁干扰时,管道断电电位正于阴极保护准则比例达 31.75%;而浙江地区受潮汐干扰叠加地铁干扰时管道断电电位仍负于 -850 mV,满足阴极保护准则要求。

管道与海岸线或其他水域的距离是影响潮汐干扰的重要因素。统计 5 个省份受潮汐干扰管道与水域距离(图 4),发现距海洋或大型水体 55 km 以内的管道

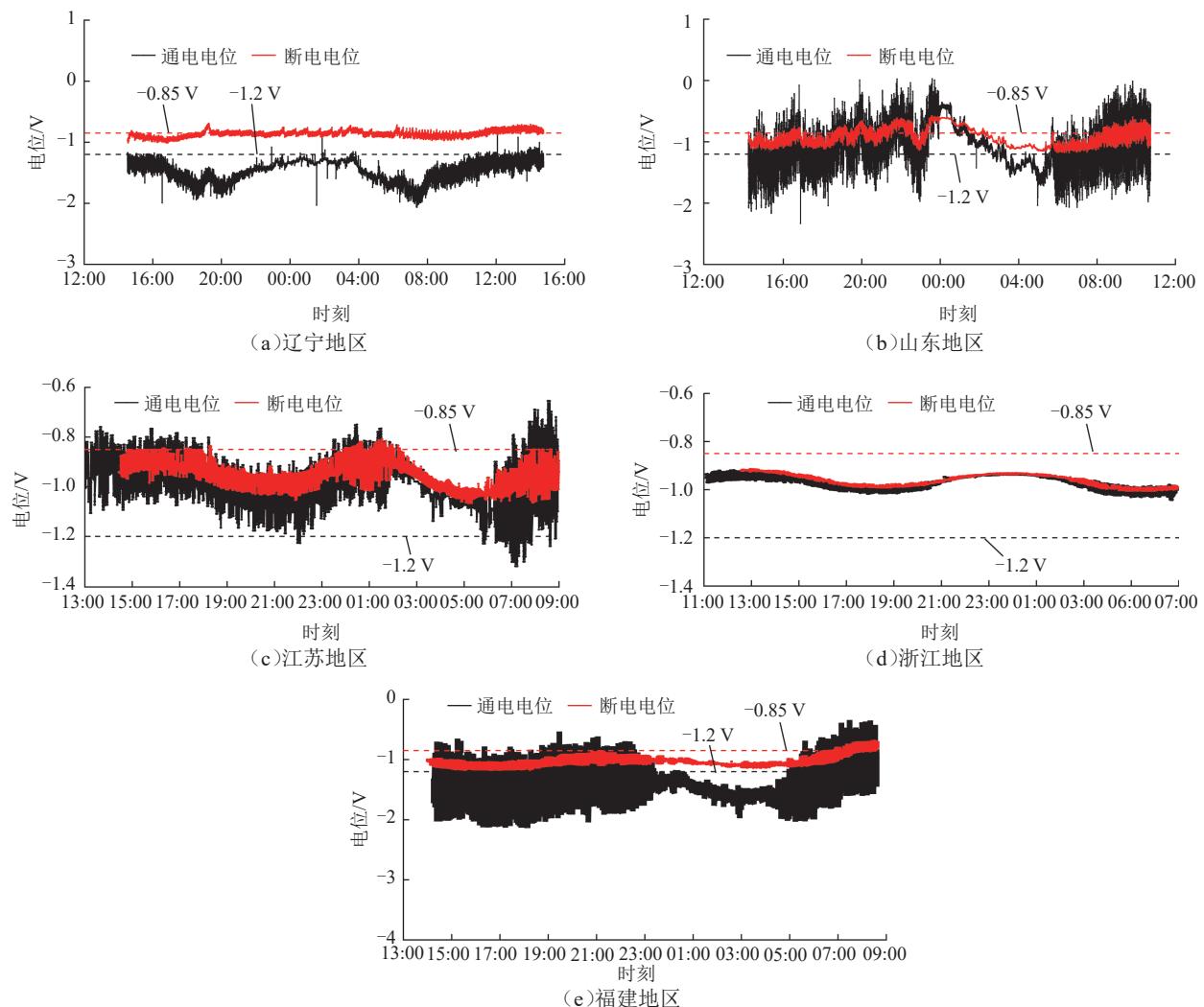
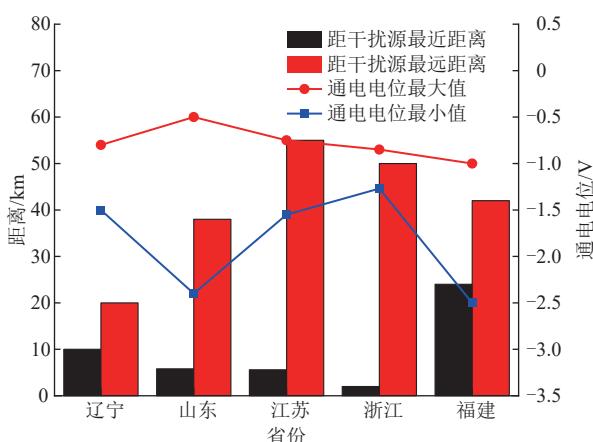


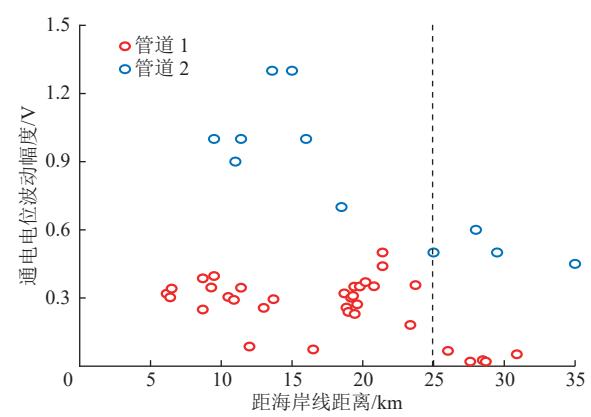
图3 各地区受潮汐干扰管道电位波动曲线

Fig. 3 Potential fluctuation curves of pipelines under tidal interference in various areas

图4 各省份管道与潮汐干扰源距离及电位波动统计图
Fig. 4 Statistics of potential fluctuations and distances from pipelines to tidal interference sources by province

将受到潮汐干扰。谭大诚等^[24]发现, 大水域附近地电场呈峰-谷形态概率高, 在距海岸 30 km、百平方千米湖泊 20 km、数平方千米小湖泊群 1 km 的区域范围内,

测得较清晰近正弦或近梯形日变曲线的概率超过 80%。统计山东地区某管道管地电位波动分布情况(图 5), 可见当管道与干扰源之间的距离超过 25 km 时, 管地电位波动幅度显著降低。

图5 山东地区某管道管地电位波动分布图
Fig. 5 Distribution of pipe-to-soil potential fluctuations of a pipeline in Shandong province

3 管道受潮汐干扰规律

以山东沿海地区某管道为例,对潮汐干扰特征及规律进行深入分析。该管道与海岸线平行,与海岸线距离最近为6.2 km,最远为30.9 km(图2)。

3.1 管道电位波动时域分析

采用试片法对受干扰管道的24 h管地电位进行了监测,并采用FFT低通滤波方法对地铁干扰频率及潮汐干扰频率进行分离(图6),结果显示管地电位呈“类正弦波形”波动。

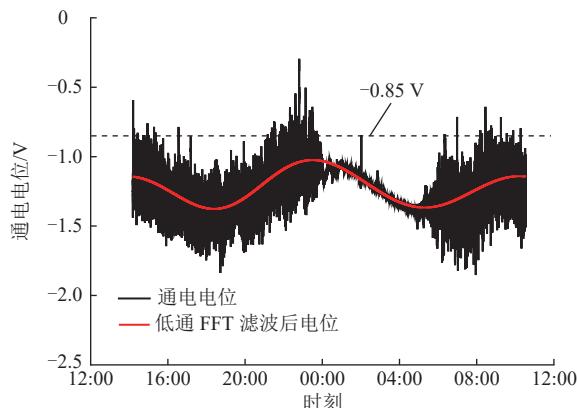


图6 山东地区某受潮汐干扰管道电位时域分析图

Fig. 6 Potential time-domain analysis of a pipeline affected by tidal interference in Shandong

根据Longuet-Higgins^[23]推导的海峡两侧电势差公式,在忽略因海底回流对电压造成部分“短路”对公式简化后,产生的电势差 U 与水流速度、垂直磁场强度、海峡宽度的关系式为:

$$U = v_w B_z W \quad (1)$$

式中: v_w 为水流速度, m/s; B_z 为垂直磁场强度, T; W 为海峡宽度, km。

在涨潮与退潮过程中水流速度最大时,海峡两侧电势差最大,引起管地电位的波动最大,故理论上管地电位波动过程中最大值与最小值出现在潮高波峰与波谷之间。由去除地铁干扰频率后,同一时刻管道电位波动变化与胶州湾区域水体潮汐涨落对应关系(图7)可见,管地电位变化曲线与附近大型水体潮汐涨落曲线具有对应变化趋势,且与理论分析一致,表明该管道管地电位周期性波动确实与附近水体潮汐相关,干扰类型为潮汐干扰。进一步分析原始电位信号及滤波后电位信号,发现该段管道同时受到潮汐干扰与地铁杂散电流干扰,潮汐干扰波动周期约为12 h,波形呈“双峰双谷”特征;管地电位偏移由潮汐干扰引

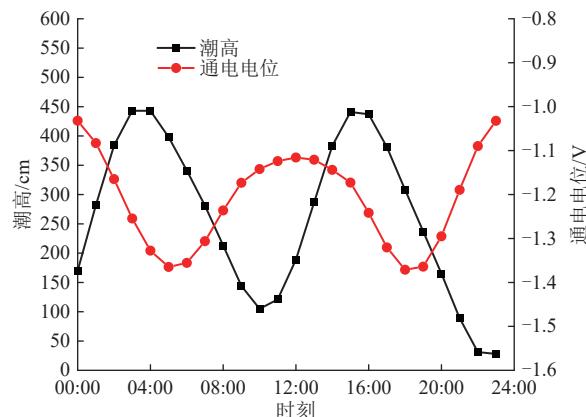


图7 管道电位波动变化与附近水体潮高对应关系图

Fig. 7 Relationship between pipeline potential fluctuations and tide heights of adjacent water bodies

起的电位变化与地铁干扰造成的电位波动叠加构成。

3.2 管道电位波动频率

研究表明^[22],TGF振幅最强一、二阶谐波的频率为 1.2×10^{-5} Hz、 2.3×10^{-5} Hz、 3.5×10^{-5} Hz、 4.6×10^{-5} Hz、 5.8×10^{-5} Hz。采用傅里叶变换对管地电位进行频谱与振幅分析(图8),在2个不同测试桩上测得的管地电位频率均为 2.3×10^{-5} Hz,与TGF频率一致。不同测试桩测得的电位振幅有所差异,这与测试位置、管道阴极保护状况等参数有关。

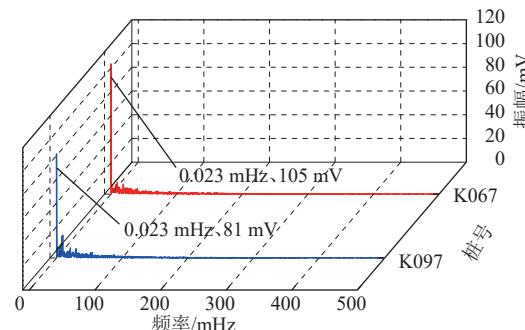


图8 管地电位频域分析图

Fig. 8 Frequency domain analysis of pipe-to-soil potential

3.3 管道沿线受潮汐干扰电位波动规律

月球的引力作用是海洋潮汐形成的主要原因,受地月互绕影响,海峡两岸潮汐干扰电压大小各异且方向交替变化,管道管地电位受潮汐干扰呈动态变化。由去除地铁干扰频率后管道沿线管地电位(图9)可见,在潮汐干扰的作用下,管道管地电位将出现波动,幅度为-1.90~-1.38 V,距海岸线距离超过25 km后(桩号K032以下),管道管地电位波动幅度显著减小。

统计同一时间段管道沿线不同位置处的24 h管地电位(图10),管道沿线可分为4个干扰特征段,管道南侧与北侧管段在同一时刻,电流互为流入流出,

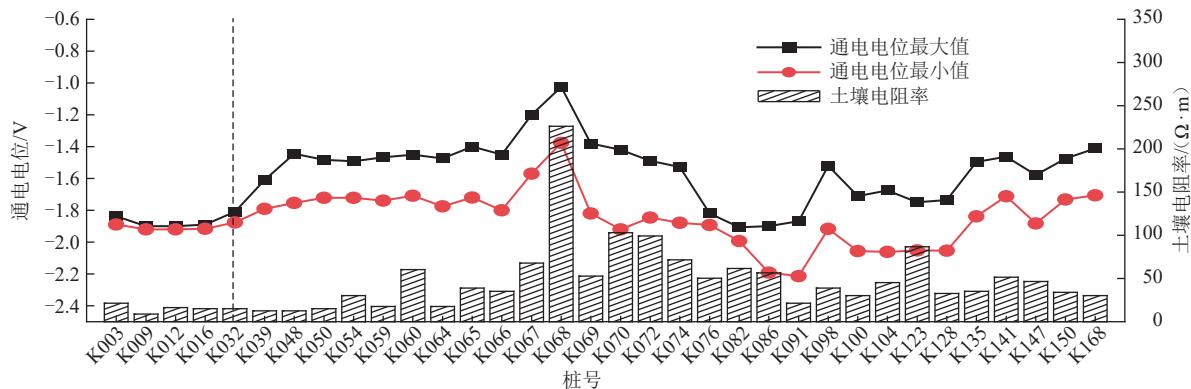


图 9 去除地铁干扰频率后管道沿线管地电位分布图

Fig. 9 Distribution of pipe-to-soil potential along the pipeline after removing subway interference frequencies

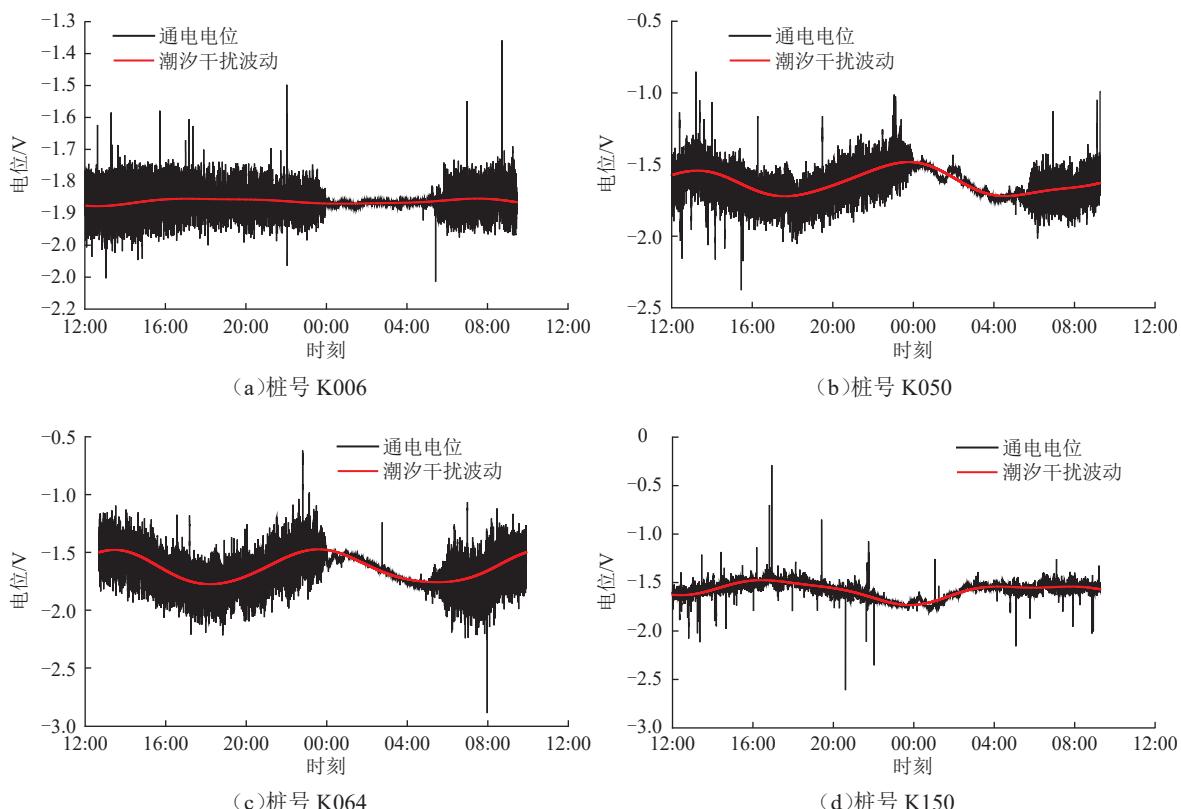


图 10 同一时间段管道沿线不同测试桩处 24 h 管地电位时程曲线

Fig. 10 24-hour pipe-to-soil potential time-history curves at different test posts along the pipeline during the same time period

具体情况为:①管道距干扰源较远时(K001~K043 范围),管道受潮汐干扰较小;②管道逐渐靠近干扰源时(K043~K076 范围),于 12:00 至次日 00:00,管地电位逐渐负向偏移至“波谷”,而后正向偏移,随着管道与干扰源的逐渐接近,峰谷高度渐强,即电流流入且受潮汐干扰程度逐渐增强;③管道逐渐远离干扰源时(K077~K084 范围),管道受潮汐干扰较小;⑤管道进一步逐渐远离干扰源时(K085~K170 范围内),于 12:00 至次日 0:00,管地电位逐渐正向偏移至“波峰”,而后负向偏移,峰谷高度渐强后逐渐减弱,即电流流

出且受潮汐干扰程度先增强后减弱。

4 分析与讨论

4.1 潮汐干扰机理

大型水体受到地球自转与月球引力的影响发生周期性涨落,即为潮汐。地球磁场在大地中产生地磁电流,感应电场在电导率分界面处发生畸变,陆地侧电场升高,海水侧电场降低。潮汐引起海岸线往复移动,电场畸变随之发生周期性变化,出现 TGF(图 11)。

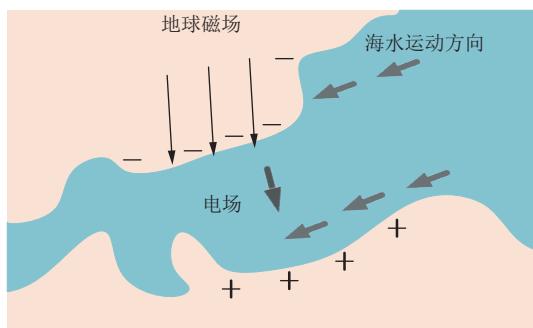


图 11 潮汐地电场原理示意图
Fig. 11 Schematic diagram of tidal geoelectric field

谭大诚等^[22, 24]对 TGF 的产生机制进行了研究发现, 潮汐在地表产生 TGF 有两条途径, 包括峰-谷波形全天连续的 TGF-A 型与仅在午前午后出现的 TGF-B 型。TGF-A 型地电场主要来自固体潮汐力, 潮汐力直接作用于岩石, 固体潮导致岩石裂隙水周期性渗流, 产生过滤电场, 此类 TGF 多分布在大型水域附近。TGF-B 型地电场为电离层地磁静日变化电流在大地的感应电场, 多分布在地下含水度、渗透率较高的区域。

4.2 潮汐对管道干扰规律

在有阴极保护条件下, 统计两侧海岸内海水速率均为 0(静止), 即两侧海岸潮汐干扰电压差为 0 时, 不同土壤电阻率下管道全线管地电位分布(图 12)。可见, 通电点电位随土壤电阻率增大而负移, 除通电点外, 沿线管道电位约为 -1 500 mV, 以该工况下管道全线电位作为后续潮汐杂散电流干扰研究的基准电位。

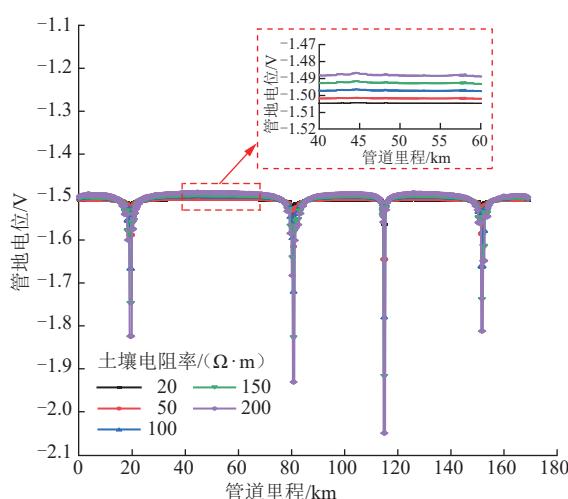


图 12 无潮汐杂散电流且有阴极保护时不同土壤电阻率下管道全线管地电位分布曲线

Fig. 12 pipe-to-soil potential distribution curves along the entire pipeline with cathodic protection and without tidal stray currents, under various soil resistivities

海峡两侧存在潮汐电压时, 其潮汐电势差随水流

速度、垂直磁场强度及海峡宽度增大而增大, 随水流速度方向变化, 海岸两侧潮汐干扰电压呈现正负极性变化。管道敷设于海岸附近时, 管道可能受潮汐电压差干扰影响。统计不同潮汐电压下管道受干扰时管地电位分布(图 13), 可见随潮汐干扰电压增大, 管道受干扰强度增大, 管道距海岸线最近位置处(管道里程 57.9 km)所受干扰影响最大, 该位置管道电位正向偏移 143 mV、负向偏移 -140 mV, 随着管道远离海岸线, 其所受干扰强度逐渐减小。潮汐干扰电压大小与方向交替变化, 管道所受干扰电压相应动态变化。受潮汐干扰电压影响, 管道距离干扰源最近处为杂散电流流入时, 远离管道两侧末端杂散电流流出, 反之, 当管道距离干扰源最近处为杂散电流流出时, 远离管道两侧末端杂散电流流入。以管道中性点位置两侧管道互为杂散电流流入区、流出区进行数值模拟, 结果显示管道中性点位置相对稳定。该计算模型管道存在 2 处中性点位置, 分别位于管道里程 26.5 km、96.7 km 处, 0~26.5 km 管段与 26.5~57.9 km 管段、57.9~96.7 km 管段与 96.7~170 km 管段互为流入、流出区。

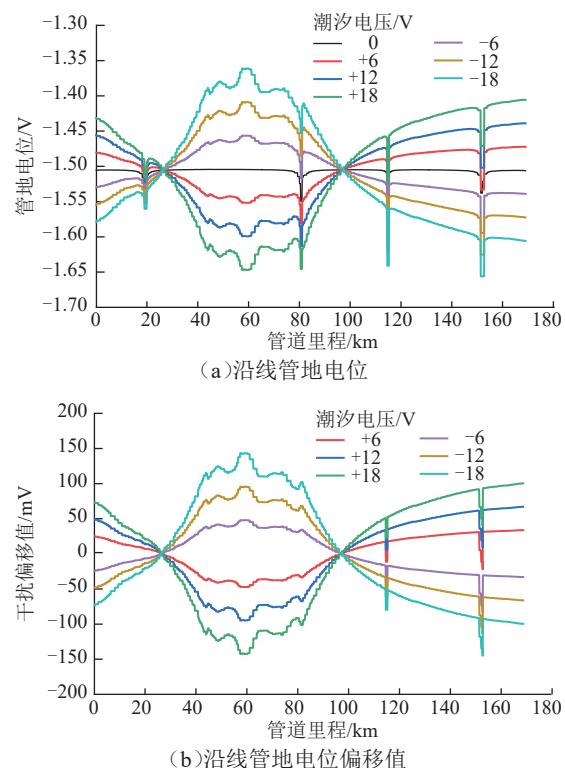


图 13 不同潮汐干扰电压对管地电位影响图
Fig. 13 Impact of varying tidal interference voltages on pipe-to-soil potential

由与海岸不同间距管道受潮汐杂散电流干扰时的管地电位分布(图 14)可见, 随着管道与海岸间距增大,

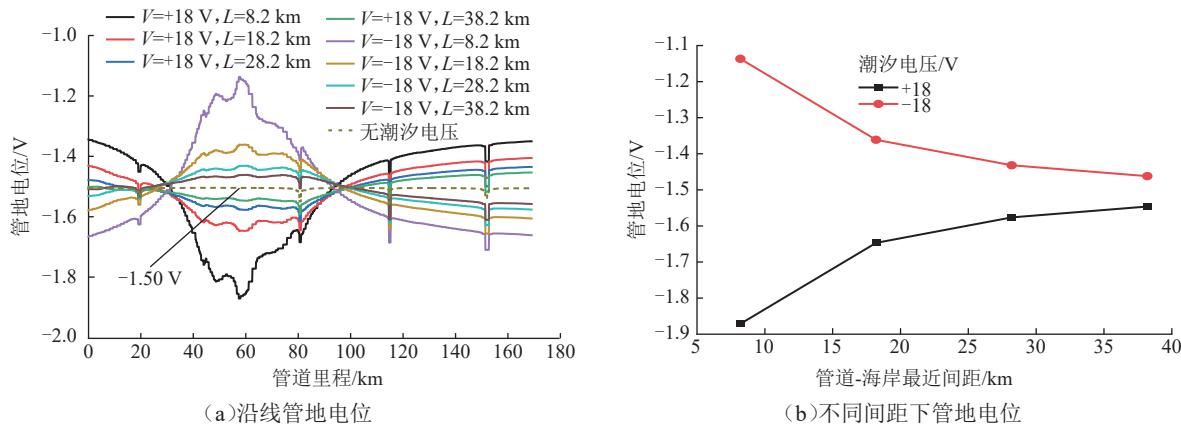


图 14 与海岸不同间距管道受潮汐杂散电流干扰时的管地电位分布曲线

Fig. 14 Distribution of pipe-to-soil potential when pipelines with different distances from the coast are disturbed by tidal stray currents

管道于潮汐电压场内所受电场梯度减小、干扰驱动电压减小,此时管道受潮汐干扰强度随间距增大呈指数式减小,与潮汐干扰电压随距离衰减规律一致。统计

管道在不同土壤电阻率条件下受同等潮汐电压干扰时的管地电位分布(图 15),可见随土壤电阻率增大,干扰偏移量略有增大。

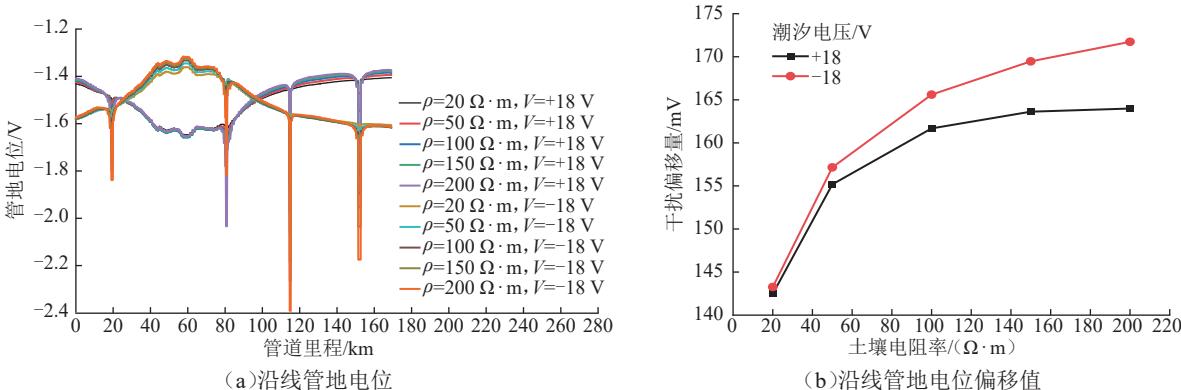


图 15 管道在不同土壤电阻率条件下受同等潮汐电压干扰时的管地电位分布曲线

Fig. 15 Distribution of pipe-to-soil potential under different soil resistivity conditions when subjected to the same tidal voltage interference

5 结论

1)中国受潮汐干扰管道主要分布于江苏、福建、浙江、辽宁、山东共 5 个省份的海岸线沿线区域,调查结果显示,潮汐干扰源影响范围最大为 55 km,距海岸线距离超过 25 km 时,管道管地电位波动幅度显著减小。受潮汐干扰的管道,管地电位变化与附近大型水体潮汐涨落曲线趋势基本一致,呈“双峰双谷”波动特征,波动周期约为 12 h,频率为 2.3×10^{-5} Hz,管道干扰峰值出现在潮高峰谷之间。

2)动态潮汐干扰下管道中性点位置相对固定且两侧互为杂散电流流入、流出区;管道距离海岸线最近位置处干扰强度最大,随着管道远离海岸线,管道受潮汐杂散电流强度呈指数下降趋势。

3)目前关于管道受潮汐干扰相关研究较少,为此,在大范围调查的基础上,汇总了受潮汐干扰管道的分布现状,通过埋地试片干扰参数分析并结合数值仿真计算,研究了管道受潮汐干扰规律及影响因素,以期为受潮汐干扰管道防治提供数据与理论支撑。管道受潮汐干扰相关研究仍需积累更丰富的数据,建议未来对管道受潮汐干扰时实际腐蚀风险开展更深入的研究。

参考文献:

- [1] 朱祥剑,杜艳霞,覃慧敏,张熠,葛彩刚.地铁杂散电流干扰下埋地管道管地电位动态波动规律[J].腐蚀与防护,2019,40(12):878-885. DOI: 10.11973/fsyfh-201912003.
ZHU X J, DU Y X, QIN H M, ZHANG Y, GE C G. Dynamic

- fluctuation characteristics of pipe-to-soil potential on buried pipelines under interference of stray current from subway[J]. Corrosion & Protection, 2019, 40(12): 878–885.
- [2] 李敏锋, 吴广春, 陈玉亮, 赵万里, 濮春明, 张梦梦. 苏州地区管道受地铁杂散电流干扰的规律[J]. 腐蚀与防护, 2023, 44(8): 83–88, 116. DOI: 10.11973/fsyfh-202308015.
LI M F, WU G C, CHEN Y L, ZHAO W L, PU C M, ZHANG M M. Metro stray current interference regularity of buried pipeline in Suzhou area[J]. Corrosion and Protection, 2023, 44(8): 83–88, 116.
- [3] 张梦梦, 徐友鹏, 胡贵斌, 冯德佳, 吴广春, 杜雪麟, 等. 管道地铁杂散电流干扰腐蚀风险评估与防护措施[J]. 腐蚀与防护, 2023, 44(6): 82–89. DOI: 10.11973/fsyfh-202306013.
ZHANG M M, XU Y P, HU G B, FENG D J, WU G C, DU X L, et al. Corrosion Risk Evaluation and Protection Measures of Pipeline Interfered by Metro Stray Current[J]. Corrosion & Protection, 2023, 44(6): 82–89.
- [4] 陈乐, 杜艳霞, 梁毅. 高速铁路交流干扰下埋地管道交直流参数动态波动特征[J]. 腐蚀与防护, 2023, 44(5): 69–77. DOI: 10.11973/fsyfh-202305013.
CHEN L, DU Y X, LIANG Y. Dynamic fluctuation characteristics of AC and DC parameters of buried pipeline under AC interference from high-speed railway[J]. Corrosion & Protection, 2023, 44(5): 69–77.
- [5] 吴广春, 李德明. 交流输电线路单相接地故障时埋地管道安全距离确定及其影响因素研究[J]. 材料保护, 2022, 55(增刊 1): 27–33. DOI: 10.16577/j.issn.1001-1560.2022.1005.
WU G C, LI D M. Research on the determination of safe distance of buried pipeline and its influencing factors in case of single-phase grounding fault of AC transmission line[J]. Materials Protection, 2022, 55(S1): 27–33.
- [6] 闫茂成, 石薇, 王彬彬. 埋地阴极保护管线的交流干扰腐蚀[J]. 装备环境工程, 2021, 18(4): 1–8. DOI: 10.7643/issn.1672-9242.2021.04.001.
YAN M C, SHI W, WANG B B. Research on AC interference corrosion of buried pipeline with cathodic protection[J]. Equipment Environmental Engineering, 2021, 18(4): 1–8.
- [7] 胡亚博, 吴志平, 吴世勤, 倪少清, 常景龙. 高压直流接地极对埋地管道腐蚀的影响和管控思考[J]. 油气储运, 2021, 40(3): 256–262. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2021.03.003.
HU Y B, WU Z P, WU S Q, NI S Q, CHANG J L. Influence of HVDC grounding electrode on corrosion of buried pipelines and thought on risk management and control[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2021, 40(3): 256–262.
- [8] 顾清林, 姜永涛, 曹国飞, 葛彩钢, 丁疆强, 高荣钊, 等. 高压直流接地极对埋地管道的干扰监测及影响规律[J]. 油气储运, 2021, 40(1): 26–32. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2021.01.005.
GU Q L, JIANG Y T, CAO G F, GE C G, DING J Q, GAO R Z, et al. Interference monitoring and influence rule of HVDC grounding electrode to buried pipelines[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2021, 40(1): 26–32.
- [9] 翟维枫, 梁志珊, 左信, 毕武喜, 蓝卫. 地磁暴引起的埋地管道管地电位“波节”和“纠缠”分布特征[J]. 石油学报, 2020, 41(8): 1001–1010. DOI: 10.7623/syxb202008009.
Zhai W F, Liang Z S, Zuo X, Bi W X, Lan W. Distribution characteristics of wave joint and entanglement of pipe-to-soil potential on buried pipeline and induced by geomagnetic storm, 2020, 41(8): 1001–1010.
- [10] 刘连光, 张鹏飞, 王开让, 毕武喜, 葛艾天. 地磁暴侵害油气管道的管地电位效应[J]. 电工技术学报, 2016, 31(9): 68–74. DOI: 10.19595/j.cnki.1000-6753.tces.2016.09.009.
LIU L G, ZHANG P F, WANG K R, BI W X, GE A T. PSP interference effect of geomagnetic storm on buried pipelines[J]. Transaction of China Electrotechnical Society, 2016, 31(9): 68–74.
- [11] 梁志珊, 王鹏, 胡黎花, 张举丘. 埋地油气管道地磁感应电流(GIC)的混沌特性研究[J]. 物理学报, 2014, 63(17): 96–104. DOI: 10.7498/aps.63.170505.
LIANG Z S, WANG P, HU L H, ZHANG J Q. Chaotic characteristic study of GIC in buried steel oil pipeline[J]. Acta Phys. Sin., 2014, 63(17): 96–104.
- [12] 张鹏飞, 刘连光, 马成廉. 油气管网与电网的地磁暴干扰机理比较研究[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(25): 48–54, 87. DOI: 10.3969/j.issn.1671-1815.2015.25.009.
ZHAG P F, LIU L G, MA C L. Comparison of geomagnetic storm interference in pipelines and power system[J]. Science Technology and Engineering, 2015, 15(25): 48–54, 87.
- [13] 王军, 吴昀, 张响, 杜艳霞, 朱敏, 李自力. 直流杂散电流对埋地管道腐蚀规律及干扰影响的研究进展[J]. 材料保护, 2023, 56(4): 169–177, 182. DOI: 10.16577/j.issn.1001-1560.2023.0098.
WANG J, WU Y, ZHANG X, DU Y X, ZHU M, LI Z L. Research progresses on the corrosion law and interference effect

- of DC stray current on buried pipelines[J]. Materials Protection, 2023, 56(4): 169–177, 182.
- [14] 吴广春, 李德明, 张梦梦. 交流电对 X80 钢腐蚀行为影响研究[J]. 表面技术, 2022, 51(6): 307–316. DOI: 10.16490/j.cnki. issn.1001-3660.2022.06.029.
- WU G C, LI D M, ZHANG M M. Alternating current on corrosion behavior of X80 steel[J]. Surface Technology, 2022, 51(6): 307–316.
- [15] WANG C, LI W, WANG Y. A probabilistic-based model for dynamic predicting pitting corrosion rate of pipeline under stray current interference[J]. Journal of Pipeline Science and Engineering, 2021, 1(3): 339–348. DOI: 10.1016/j.jpse.2021.09.003.
- [16] 吴长访, 钟婷, 冯永强, 石胜明, 闫茂成, 刘文会, 等. 脉冲阴极保护下剥离防腐层管道的极化行为[J]. 油气储运, 2024, 43(6): 649–655. DOI: 10.6047/j.issn.1000-8241.2024.06.006.
- WU C F, ZHONG T, FENG Y Q, SHI S M, YAN M C, LIU W H, et al. Polarization behavior of pipelines with peeled anti-corrosive coating under pulsed current cathodic protection[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2024, 43(6): 649–655.
- [17] 赵耀峰.埋地油气管道 GIC-PSP 监测原理与装置研制[D].北京: 中国石油大学(北京), 2016.
- ZHAO Y F. The GIC-PSP of buried oil and gas pipeline monitoring theory and device designed[D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2016.
- [18] 熊树海. 潮汐感应和地磁海岸效应对沿海埋地管线腐蚀机理的研究[D]. 中国石油大学(北京), 2017.
- XIONG S H. Study on corrosion mechanism and algorithm of coastal pipeline by coastal effect and tide induction[D]. China University of Petroleum (Beijing), 2017.
- [19] 方莉. 管道管地电位(PSP)潮汐效应机理研究[D]. 中国石油大学(北京), 2019.
- FANG L. Study on tidal effect mechanism of buried pipeline pipe-soil potential (PSP)[D]. Beijing: China University of Petroleum (Beijing), 2019.
- [20] LIU L G, YU Z B, WANG X, LIU W L. The effect of tidal geoelectric fields on GIC and PSP in buried pipelines[J]. IEEE Access, 2019, 7(99): 87469–87478. DOI: 10.1109/ACCESS.2019.2920944.
- [21] 廖文举, 杜翠薇, 刘智勇, 李晓刚. 管线钢在青岛滨海潮汐环境中的腐蚀行为[C]. 北京: 2015 第二届海洋材料与腐蚀防护大会, 2015: 14–18.
- LIAO W J, DU C W, LIU Z Y, LI X G. Corrosion behavior of X65 steel in Qingdao coastal tidal environment[C]. Beijing: Complete Collection of Papers at the Second 2015 Ocean Materials and Corrosion Protection Conference, 2015: 14–18.
- [22] 谭大诚, 王兰炜, 赵家骝, 席继楼, 刘大鹏, 于华, 等. 潮汐地电场谐波和各向波形的影响要素[J]. 地球物理学报, 2011, 54(7): 1842–1853. DOI: 10.3969/j.issn.0001-5733.2011.07.018.
- TAN D C, WANG L W, ZHAO J L, XI J L, LIU D P, YU H, et al. Influence factors of harmonic waves and directional waveforms of tidal geoelectrical field[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2011, 54(7): 1842–1853.
- [23] LONGUET-HIGGINS M S. The electrical and magnetic effects of tidal streams[J]. Geophysical Supplements to the Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, 1949, 5(8): 285–307. DOI: 10.1111/j.1365-246X.1949.tb02945.x.
- [24] 谭大诚, 赵家骝, 席继楼, 杜学彬, 徐建明. 潮汐地电场特征及机理研究[J]. 地球物理学报, 2010, 53(3): 544–555. DOI: 10.3969/j.issn.0001-5733.2010.03.008.
- TAN D C, ZHAO J L, XI J L, DU X B, XU J M. A study on feature and mechanism of the tidal geoelectrical field[J]. Chinese Journal of Geophysics, 2010, 53(3): 544–555.

(编辑:张腾)

基金项目:国家管网集团科学技术研究总院分公司自立课题“杂散电流排流设施效能评价及寿命评估技术研究”, ZJGS-AQWH202403-YJZY-001。

作者简介:常景龙, 男, 1971 年生, 高级工程师, 1995 年毕业于内蒙古大学化学专业, 现主要从事管道防腐技术方向的研究工作。地址: 北京市朝阳区东土城路 5 号城科大厦 518 室, 100013。电话: 010-87981893。Email: changjl@pipechina.com.cn

- Received: 2024-01-27
- Revised: 2024-04-11
- Online: 2024-11-01

