

文章编号: 0253-2697(2013)02-0393-08 DOI: 10. 7623/syxb201302025

油气输送站场内外阴极保护系统间干扰数值模拟

董亮¹ 杜艳霞¹ 路民旭¹ 姜子涛¹ 贺哲丰¹ 陈鹏羽²

(1. 北京科技大学新材料技术研究院 北京 100083; 2. 中国石油大学石油工程学院 北京 102249)

摘要: 为了研究油气输送站场内、外阴极保护系统间的干扰问题,通过分析系统间干扰与单一阴极保护系统在数学模型和数值处理方法上的差异,采用数值模拟技术对站场内、外阴极保护系统间的干扰进行了研究,并利用室内模拟实验对干扰数学模型和计算方法进行了验证,同时根据实际案例计算分析了系统干扰程度的影响因素和影响规律。数值模拟结果表明:站内阴、阳极电场的叠加电场强度决定了站外管线所受的干扰程度及规律;由于站内阴极保护系统阳极地床类型及设置位置不同,叠加电场的强弱也不同,干扰程度的差异较大;随着站内阴极保护系统输出电流和土壤电阻率增大,叠加电场强度增加,干扰程度增大;站外管道干线的电位控制点应设置在距干扰侧一定距离之外,以避免站外阴极保护系统输出电流产生较大波动。

关键词: 油气站场; 阴极保护; 干扰; 数值模拟; 影响因素

中图分类号: TE988

文献标识码: A

Numerical simulation of interference between cathodic protection systems inside and outside oil/gas stations

DONG Liang¹ DU Yanxia¹ LU Minxu¹ JIANG Zitao¹ HE Zhefeng¹ CHEN Pengyu²

(1. Institute for Advanced Materials & Technology, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China;
2. School of Petroleum Engineering, China University of Petroleum, Beijing 102249, China)

Abstract: An interference problem could be induced due to the difference between two cathodic protection (CP) systems currently applied inside and outside oil/gas stations. This interference problem was studied with numerical simulation technology by analyzing differences of interference between systems and of a single CP system in processing approaches by mathematical models and numerical simulation methods. Both the mathematical model and the numerical simulation method dealing with interference problems were validated experimentally and then used to analysis influential factors of system interference degrees in the case calculation. The results showed that the degree of interference to pipelines outside an oil/gas station is determined by the electric field intensity superimposed by cathode and anode electric fields inside an oil/gas station. Therefore, different interference degrees are dependent on different types and locations of anode beds in the CP system inside the oil/gas station, and the interference degree increases with increasing the output current of the CP system and soil resistivity inside the oil/gas station, thus, the stronger the intensity of a superimposed electric field, the more the interference degree increases. In addition, the potential control point should be set in a reasonable distance from a station in order to avoid producing larger fluctuation by the output current of the outside CP system.

Key words: oil/gas station; cathodic protection; interference; numerical simulation; influential factor

油气输送站场是油气生产和输送的重要环节,站场内有管网、储罐底板和防雷接地极等多种埋地金属结构物。为了保护站内金属结构物的安全,近年来区域阴极保护(cathodic protection, CP)技术发展迅速^[1-5]。由于站内、外阴极保护系统所需的保护电流及保护对象等存在较大差异,站场内、外常各自采用独立的阴极保护系统。在相对狭窄的油气输送站场及其附

近存在两套阴极保护系统,若设计不合理,站内阴极保护系统会对站外干线阴极保护系统产生严重干扰,从而导致干线阴极保护系统输出异常,无法达到保护效果^[5-6]。目前国内外在进行区域阴极保护设计以及维护管理中,对于干扰问题的处理缺乏相关理论指导,因此亟待开展相应研究。

针对油气输送站场内、外阴极保护系统间的干扰

基金项目: 国家自然科学基金项目(No. 51101015)和中央高校基本科研业务费专项资金项目(FRF-TP-12-145A)资助。

第一作者: 董亮,男,1984年11月生,2007年获北京科技大学材料科学与工程专业学士学位,现为北京科技大学博士研究生,主要从事金属材料的腐蚀与防护研究。Email: keen_dl@gmail.com

通讯作者: 杜艳霞,女,1980年1月生,2007年获中国石油大学(华东)油气储运工程专业博士学位,现为北京科技大学讲师,主要从事金属材料的腐蚀与防护研究。Email: duyanyxia@ustb.edu.cn

问题,若通过调节站内、外阴极保护系统的各种参数来开展现场研究,实施难度较大。随着数值模拟技术在阴极保护系统中的发展,为此方面的研究提供了便利条件^[7-9]。目前利用数值模拟技术进行阴极保护效果预测的研究及应用较多^[10-14],但对于干扰的模拟方法则较少^[15-17]。笔者等在分析干扰问题与单一阴极保护系统数学模型异同的基础上,利用数值计算软件 BEASY^[18] 和迭代方法实现了站内、外阴极保护系统间干扰的模拟,分析了站内、外阴极保护系统干扰水平的影响因素及其规律,以期对站内、外阴极保护系统的设计和避免、减小系统干扰提供参考。

1 干扰问题数学模型的建立及计算方法

油气输送站场内、外阴极保护系统干扰问题涉及两套及以上的独立阴极保护系统,其数学模型包含控制方程和边界条件两部分。下面分别从控制方程、边界条件及计算方法 3 个方面来分析干扰问题与单一阴极保护系统的异同。

1.1 控制方程

干扰问题与单一阴极保护系统电位分布的控制方程相同,即当站场内、外阴极保护系统达到稳定状态时,若研究区域内的土壤均匀,根据电荷守恒定律,土壤中的电位分布满足 Laplace 方程^[7-14]:

$$\nabla^2 \phi = 0 \quad (1)$$

式中: ∇ 是 Laplace 算子; ϕ 为土壤各处的电位, mV。

1.2 边界条件

设所研究干扰问题的区域被表面 Γ 所包围,则

$$\Gamma = \Gamma_{1A} + \Gamma_{1C} + \Gamma_{2A} + \Gamma_{2C} + \Gamma_I \quad (2)$$

式中: Γ_{1A} 和 Γ_{2A} 分别是站场内、外阴极保护系统中辅助阳极的外表面; Γ_{1C} 和 Γ_{2C} 分别是站场内、外阴极保护系统中被保护金属结构物的外表面; Γ_I 为绝缘表面。

辅助阳极外表面(Γ_{1A} 和 Γ_{2A})和绝缘表面(Γ_I)一般采用恒定电流密度作为边界条件,这与单一阴极保护系统中对应的边界条件相似^[19],即辅助阳极的电流密度常取阳极输出电流除以阳极的表面积。绝缘表面上无电流的流入流出,电流密度为 0。

被保护金属结构物外表面的边界条件常根据极化函数 f 确定,该函数表示了极化电流密度 i_c 与极化电位 E_c 之间的关系,可通过实验测量极化曲线确定,即:

$$i_c = f(E_c) \quad (3)$$

这里极化电位定义为构筑物/电解质界面处的电位^[20]。被保护金属结构物为构筑物,电解质为土壤,则极化电位 E_c 等于该处金属本体电位 V_c 与其附近土壤电位 ϕ_c 之差,即:

$$E_c = V_c - \phi_c \quad (4)$$

故被保护金属结构物外表面的边界条件为

$$i_c = f(V_c - \phi_c) \quad (5)$$

对于单一阴极保护系统,如果内回路电阻或电流很小时,往往可将金属结构物本体考虑为等电位,常规规定本体电位为 0^[7-14,21-23]。但对于站场内、外两套阴极保护系统来说,由于二者之间不存在电子回路的连接,故而二者被保护金属结构物本体的电位存在差异。这是干扰问题与单一阴极保护系统数学模型的本质差异所在。假设站内阴极保护系统中被保护金属结构物本体的电位为 0,站外阴极保护系统中被保护金属结构物本体电位为 V_0 ,则由式(5)可得站内阴极保护系统的阴极边界条件为

$$i_{1C} = f_1(E_{1C}) = f_1(-\phi_{1C}) \quad (6)$$

式中: i_{1C} 为站内极化电流密度, A/m²; E_{1C} 为站内极化电位, mV; ϕ_{1C} 为站内附近土壤电位, mV。

站外阴极保护系统的阴极边界条件为

$$i_{2C} = f_2(E_{2C}) = f_2(V_0 - \phi_{2C}) \quad (7)$$

式中: i_{2C} 为站外极化电流密度, A/m²; E_{2C} 为站外极化电位, mV; ϕ_{2C} 为站外附近土壤电位, mV。

未知参数 V_0 可通过现场测量确定或由站外阴极保护系统的电流平衡条件式(8)结合控制方程及边界条件迭代求解可得。

$$\int_{\Gamma_{2A} + \Gamma_{2C}} i d\Gamma = 0 \quad (8)$$

1.3 边界元解法

在干扰问题中,由于引入了站场内、外阴极保护系统中被保护结构物本体电位之差 V_0 ,当无现场测量数据时,可采用插值迭代法得到 V_0 。首先给 V_0 赋以初值,计算得到式(8)中的积分电流并与 0 作比较,采用插值的方法得到下一个 V_0 值,依次反复迭代,直到该积分电流小于 1×10^{-6} A 为止,即认为计算结果满足了式(8)所表述的电流平衡条件。对于非线性极化边界条件,采用分段线性的方法处理^[24]。本文采用边界元计算软件 BEASY 和插值迭代法实现干扰问题数学模型的计算和 V_0 的求解。

2 室内实验验证

为了验证上述所建模型及计算方法的准确性,在室内建立了干扰实体模型(图 1),该模型由站场内、外阴极保护模拟系统及土壤区域组成。土壤区域由尺寸为 $0.64 \text{ m} \times 0.64 \text{ m} \times 0.15 \text{ m}$ 的绝缘箱体及盛装于其中的电阻率为 $8 \Omega \cdot \text{m}$ 的土壤构成。站内阴极保护模拟系统由模拟储罐底板、直流电流源、辅助阳极及电缆构成,用直径为 20 cm 的裸露碳钢圆盘模拟站内储罐底板,并置于土壤表面,采用恒电流方式控制的外加电流

阴极保护系统提供保护,辅助阳极是尺寸为 $\phi 1\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 的碳棒,整体垂直插入土壤中。站外阴极保护模拟系统由模拟管道干线、恒电位仪、辅助阳极及电缆构成,用工厂预制的熔结环氧粉末(FBE)涂层管模拟站外管道干线,其直径为 6 cm ,长为 0.4 m ,埋深 0.08 m ,采用恒电位方式的外加电流阴极保护系统提供保护,辅助阳极是尺寸为 $\phi 1\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ 的碳棒,整体垂直插入土壤中,电位控制点所用参比电极为 $\text{Cu}/\text{饱和}\text{CuSO}_4$ 电极(CSE,以下所有电位均为相对于该参比电极的电位)。

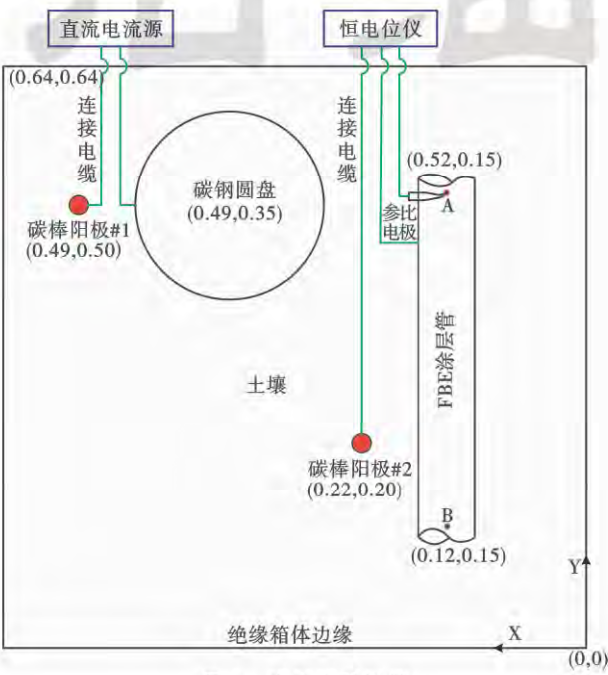


图 1 室内实验装置

Fig. 1 Experiment device

采用 PARSTAT 2273 电化学工作站测试了碳钢(模拟储罐底板)及 FBE 涂层管(模拟管道干线)在实验土壤中的极化曲线,扫描速率为 0.5 mV/s ,结果如图 2 所示。

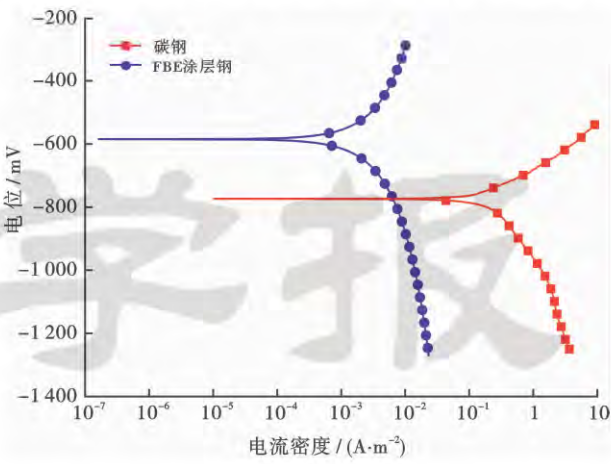
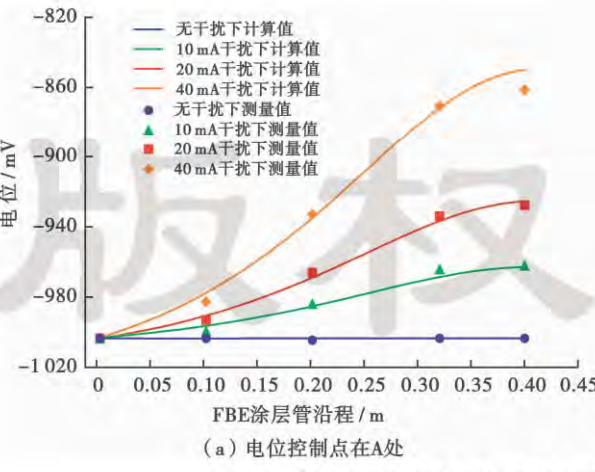


图 2 碳钢和 FBE 涂层钢在室内土壤中的极化曲线

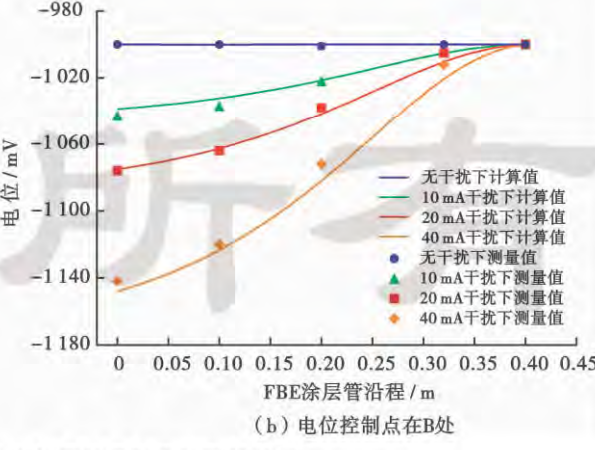
Fig. 2 Polarization curves of mild steel and FBE coated steel in laboratory soil

辅助阳极表面采用恒定电流密度作为边界条件,即等于总输出电流除以暴露表面积。箱体表面和土壤上表面均采用绝缘边界条件,即电流密度为 0。

将站外阴极保护模拟系统的电位控制参比电极分别设置于模拟管道干线的 FBE 涂层管两端,即图 1 中的 A 和 B 两点,控制电位设置为 $-1\,000\text{ mV}$,并在干线上设置 5 个测试点。当站内阴极保护模拟系统未通电以及通电后阳极输出电流分别取 10 mA 、 20 mA 和 40 mA 时,计算得到干线上的电位分布和室内实验测试点的电位测试结果(图 3)。



(a) 电位控制点在A处



(b) 电位控制点在B处

图 3 模拟管道干线上的电位分布计算结果和实验测量结果

Fig. 3 Calculated and experimental results of potential distributions in simulation pipeline

由图 3 可见,站内阴极保护模拟系统通电后,干线上的电位分布会发生较大偏移,说明站外干线阴极保护模拟系统受到了站内阴极保护模拟系统的干扰,且

随站内阴极保护模拟系统输出电流的增大,电位偏移程度增大。同时,干线的电位控制参比电极位置不同时,干线上的电位偏移方向不同:在位置 A 处,电位正

向偏移,说明干线阴极保护模拟系统输出电流因受到干扰而降低;在位置 B 处,电位负向偏移,说明干线阴极保护模拟系统输出电流因受到干扰而增大。从模拟结果可以看出,干线电位分布的计算结果与测量结果吻合较好,最大相对误差不超过 1.5%,说明所建立的干扰问题数学模型及计算方法是准确的。

3 站内外干扰的影响因素及规律

油气输送站场土壤区域内常包含埋地金属管道、储罐底板、设备基座、接地网等金属结构物,我们以站内保护对象为单一储罐底板,站外保护对象为管道干线的算例,来考察站内阴极保护系统对站外管道干线的干扰影响。

3.1 计算算例参数设置

本算例中站内被保护对象是储罐底板,材质为碳钢,表面状态裸露,直径为 20 m;站外被保护对象为管道干线,直径为 330 mm,外涂层为沥青。两者的极化曲线如图 4 所示。站内、外均采用外加电流阴极保护方式,模型如图 5 所示。

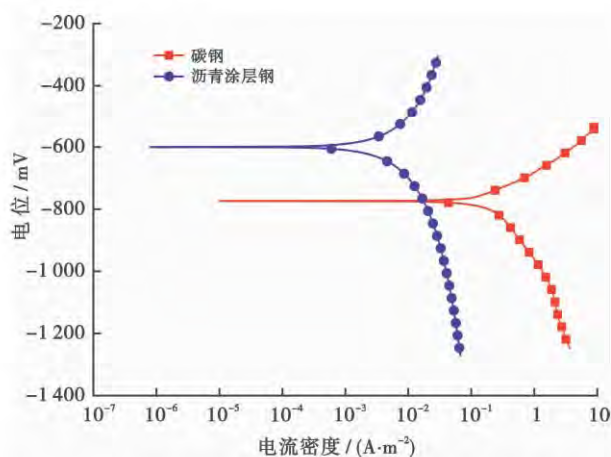


图 4 碳钢和沥青涂层钢在土壤中的极化曲线

Fig. 4 Polarization curves of mild steel and asphalt coated steel in soil

通过改变站内、外阴极保护系统参数以及土壤电阻率来考察站内阴极保护系统对站外干线阴极保护电位分布的影响。未指定固定参数时,站内、外阳极地床均采用深井阳极地床,直径 300 mm,埋深 100 m(定义为阳极底部离地表的距离),其中活性段长 50 m,分别位于图 5 中的 A 和 D 处。站内阳极的输出电流为 3 A,管线长度为 1 km,环境土壤电阻率为 $50\Omega\cdot\text{m}$ 。

3.1.1 站内阴极保护系统参数

(1) 阳极地床的类型。站内罐底阴极保护阳极地床分别采用浅埋阳极地床、网状阳极地床和深井阳极地床 3 种方式,3 种阳极地床的布置如图 5 所示,并分别将

其对站外干线的干扰情况进行对比。其中浅埋阳极地床共有 8 支阳极,对称布置于储罐四周;网状阳极地床是埋在储罐正下方 0.5 m 处的阳极网;深井阳极地床埋深 100 m,规格为 $\phi 300\text{ mm}\times 50\text{ m}$,位于图 5 的 A 处。

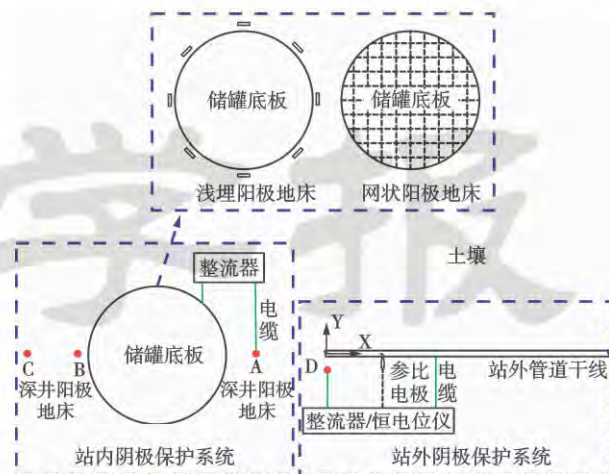


图 5 站内外阴极保护系统间干扰模型

Fig. 5 Interference model of CP systems

(2) 深井阳极地床的位置。保持深井阳极地床埋深为 100 m,改变深井阳极的水平位置,使之逐渐远离站外管道干线,分别置于图 5 中的 A、B 和 C 处,即距管道靠近站内的一端(以下简称近站端),距离为 5 m、30 m 和 45 m,来考察对管道干线阴极保护电位分布的影响。保持深井阳极地床位于 A 处,阳极埋深分别为 60 m、80 m 和 100 m,来考察埋深变化对管道干线电位分布的影响。

(3) 阴极保护系统的输出电流。站内阴极保护系统输出电流分别设置为 1 A、3 A、6 A 和 10 A。

3.1.2 站外阴极保护系统参数

站外管道干线阴极保护系统一般采用恒电位方式控制,因而考察了控制参比电极设置位置以及管道长度对其受干扰程度的影响。

(1) 在管道干线阴极保护系统恒电位条件下控制参比电极位置。将参比电极分别设置于管道干线距近站端 20 m、100 m 和 145 m 处来考察管道干线受站内阴保系统干扰的变化。

(2) 管线长度。站外管道干线的长度分别设置为 1 km、2 km 和 4 km。

3.1.3 土壤电阻率

土壤电阻率会随地域、季节和天气发生变化,这里考察了土壤电阻率为 $20\Omega\cdot\text{m}$ 、 $50\Omega\cdot\text{m}$ 和 $100\Omega\cdot\text{m}$ 时的情况。

3.2 模拟结果与讨论

3.2.1 站内阴极保护系统参数对站外管道干线干扰的影响

(1) 阳极地床类型的影响。当站内阴极保护系统

未通电时,以及采用不同类型的阳极地床通电后,引起站外管道干线上的电位分布变化如图6所示(图6—图11中坐标原点均为站外管道干线近站端)。

由图6可见,对于不同的阳极地床类型,站内阴极保护系统通、断电前后引起站外管线的电位变化呈现较大的差异。其中深井阳极地床对管道干线电位的影响最大,引起管道干线近站端电位由干扰前的 $-1\ 090\text{ mV}$ 正向偏移至干扰后的 -205 mV ,影响距离达到 100 m ,属于典型的阴极干扰。浅埋阳极地床对管道干线电位的影响次之,引起管道干线近站端电位由干扰前的 $-1\ 090\text{ mV}$ 负向偏移至干扰后的 $-1\ 145\text{ mV}$,影响距离约为 15 m ,属于阳极干扰。网状阳极地床对管道干线电位分布基本无影响。

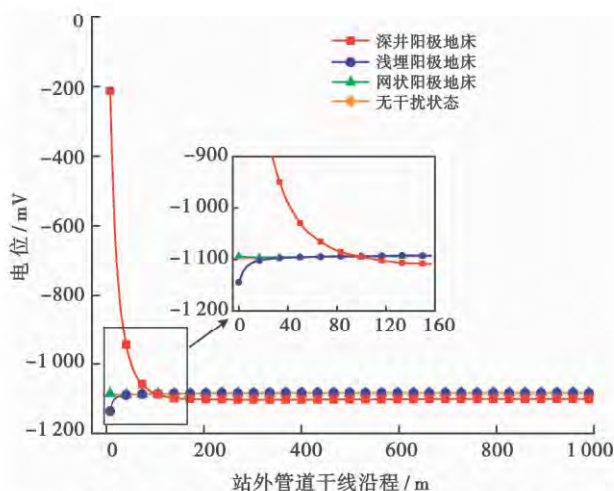


图6 阳极地床类型对站外管线电位分布的影响

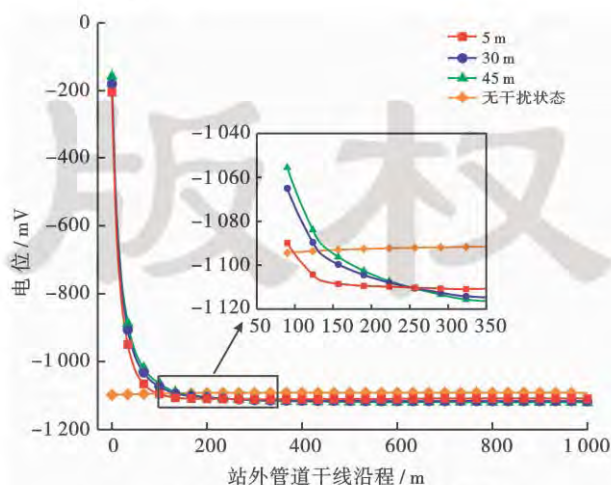
Fig. 6 Influence of anode bed types on potential distribution of outside pipeline

以上结果说明不同类型阳极地床对站外管道干线的干扰程度及规律是不同的,可认为这是由站内罐底阴极电场和辅助阳极地床阳极电场叠加后的电场强度决定。由于深井阳极地床埋设较深,其在地表附近产生的阳极电场强度最小,而罐底距管道干线相对更近且电流集中,其形成的阴极电场占主导,故呈现阴极干扰,靠近站内的管道干线电位正移。浅埋阳极地床中靠近管道干线一侧的阳极离干线较近,其形成的阳极电场占主导,呈现阳极干扰,靠近站内的管道干线电位负移,又因浅埋阳极数量相对较多,电流分散明显,故而干扰相对不大。网状阳极地床和罐底距离较近,二者在站外管道干线所处位置的叠加电场减弱最为明显,故而干扰影响最小。

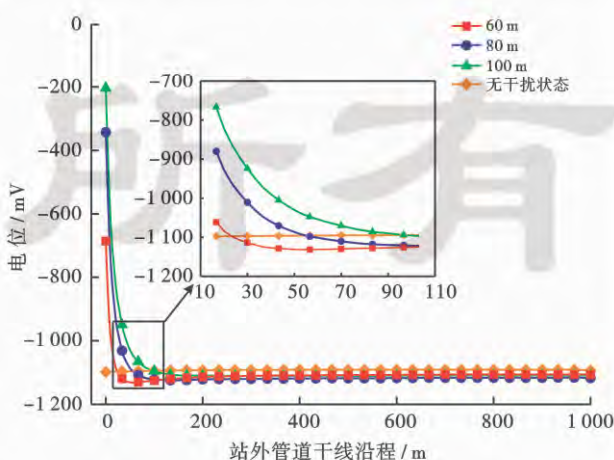
(2) 深井阳极地床位置的影响。由图7(a)可见,当保持埋深不变,随着站内深井阳极地床距管道干线的水平距离由 5 m 增加到 45 m ,管道干线近站端电位正向偏移量稍有增大,影响距离由 100 m 增大到 150 m 。

由图7(b)可见,当保持距站外管道干线的水平距离不变,随着站内深井阳极地床埋深由 60 m 增加到 100 m ,管道干线近站端电位正向偏移量明显增大,影响距离由 23 m 增大到 100 m 。

对应不同的深井阳极地床位置,站内阴极保护系统通、断电前后均引起站外管道干线近站内的管段电位正向偏移,且地床距站外管道干线越远,电位偏移量及影响距离越大,但改变埋深后的影响要大于改变水平距离后的影响。这是由于采用深井阳极地床时,罐底阴极电流集中,其附近阴极电场较强,以阴极干扰为主,故而站外管道干线近站内的管段电位正向偏移。随着站内深井阳极地床的远离,管道干线附近的阳极



(a) 深井阳极地床到管道的水平距离



(b) 深井阳极地床埋深

图7 深井阳极地床位置对站外管线电位分布的影响

Fig. 7 Influence of deep-well anode bed positions on potential distribution of outside pipeline

电场减弱,罐底阴极电场的影响加强,故而干扰程度增加。当深井阳极地床埋深为 100 m 时,其在地表附近产生的阳极电场强度已经很小。改变水平距离对阳极电场强度影响不大,对阴极电场的影响较小。水平距离为 5 m 时,减小埋深对阳极电场强度增大明显,同时阴极电场叠加后的电场强度减弱。故而本例中改变站内深井阳极地床埋深对管道干线的影响要大于改变其水平距离的影响。

(3) 站内阴极保护系统输出电流的影响。由图 8 可见,随着站内阴极保护系统输出电流由 1 A 增大到 10 A,站外管道干线近站端电位由 -800 mV 正向偏移至 1880 mV,所受干扰的程度显著增加,但影响距离变化不大。这是因为站内阴极保护系统的输出电流增大时,其在站外管线周围形成的电场也越强,干扰也越大。

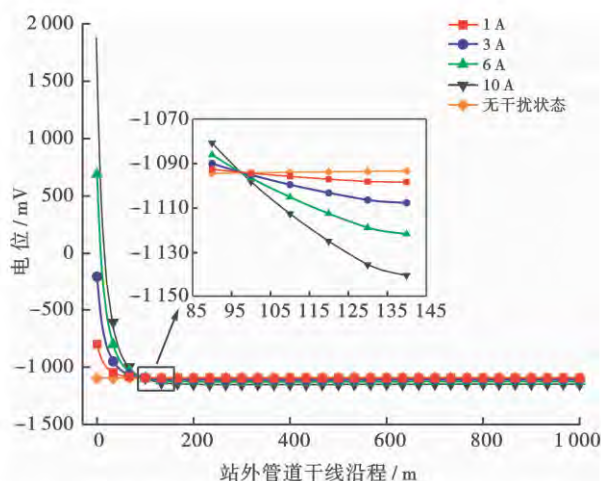
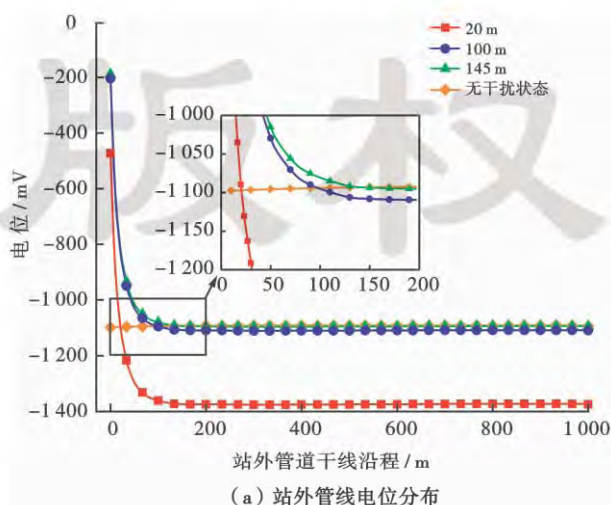


图 8 站内阴极保护系统输出电流对站外管线电位分布的影响

Fig. 8 Influence of output current for inside CP system on potential distribution of outside pipeline

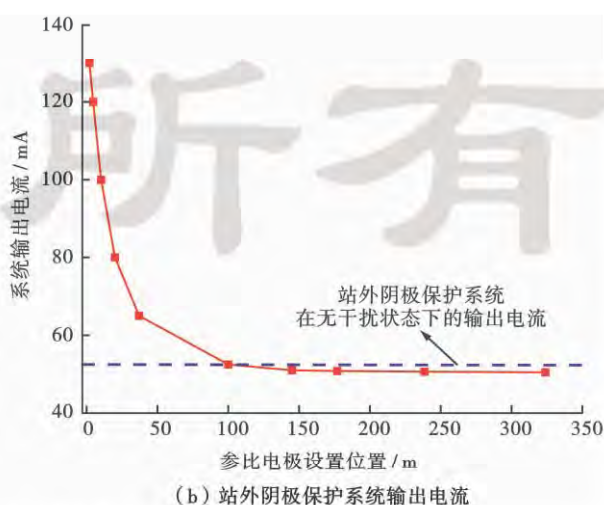


(a) 站外管线电位分布

3.2.2 站外阴极保护系统参数对站外管道干线干扰的影响

(1) 管道干线阴极保护系统恒电位控制参比电极位置的影响。由图 9(a)可见,当参比电极设置在距管道干线近站端 20 m 处,相对于无干扰时,管道干线电位整体出现较大偏移,其中近站端的电位由 -1090 mV 正向偏移至 -475 mV,较远端的电位由 -1090 mV 负向偏移至 -1380 mV;当参比电极设置在距管道干线近站端 100 m 和 145 m 处,相对于无干扰时,管道干线近站管段的电位正向偏移明显,其余管段电位稍有负移,其中近站端的电位分别由 -1090 mV 正向偏移至 -205 mV 和 -190 mV。之所以出现上述情况,是因为本算例中干扰源为站内深井阳极保护的罐底,属于阴极干扰,靠近站内的管段会有杂散电流流出,出现电位正移。当参比电极距站内罐底较近(距近站端 20 m 处)时,为了维持设定的控制电位,系统输出电流会增大,导致管道干线远端电位出现负向偏移;当参比电极距站内罐底较远(距近站端 100 m 和 145 m 处)时,由于其远离了阴极干扰电场,因此该参比电极所在位置所受干扰影响较小,故系统输出电流变化不大,只是在管道干线靠近站内的管段上存在阴极干扰。图 9(b)显示了站内管道干线阴极保护系统输出电流的这种变化规律,即随着参比电极逐渐远离站内干扰源,站外阴极保护系统输出电流受干扰程度逐渐减小。

(2) 管线长度的影响。由图 10 可见,管线长度由 1 km 增加到 4 km 时,管道干线电位正向偏移的管段长度由 100 m 增加到 130 m,且电位正向偏移量随管道干线长度的增加而稍有增大,故而管道干线吸收的总杂散电流在增加。因管道长度增加,吸收杂散电流即电位负向偏移的管段长度也在增大,且电位负向偏



(b) 站外阴极保护系统输出电流

图 9 参比电极设置位置对站外阴极保护系统的影响

Fig. 9 Influence of reference electrode positions on CP system of outside station

移量随管道干线长度的增加由18mV降到了6mV,从而使得电位控制参比电极设置在该段中所引起的系统输出电流的变化在减小。

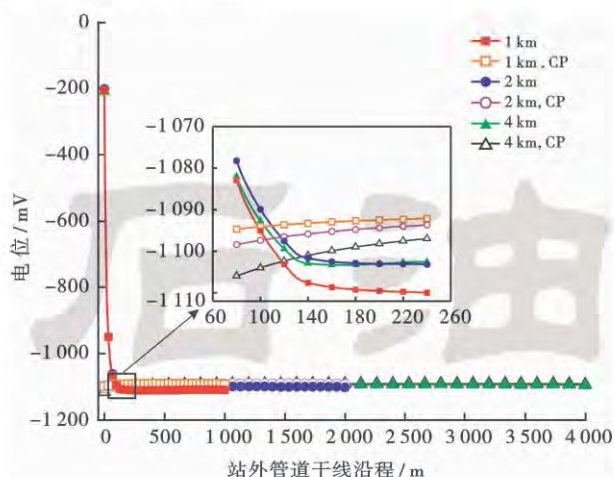


图10 管线长度对站外管线电位分布的影响

Fig. 10 Influence of pipeline lengths on potential distribution of outside pipeline

3.2.3 土壤电阻率的影响

由图11可见,土壤电阻率由 $20\Omega\cdot\text{m}$ 增大到 $100\Omega\cdot\text{m}$ 时,管道干线近站端电位由 -735mV 增大到 675mV ,较远端由 -1100mV 增大到 -1125mV ,总体干扰水平增加。这是由于系统输出电流不变时,管线所处的干扰地电场强度与土壤电阻率正相关,故而土壤电阻率增大时,干扰地电场强度增加,干扰影响增大,更多的杂散电流从管线流入流出,从而引起管线电位发生明显的变化。

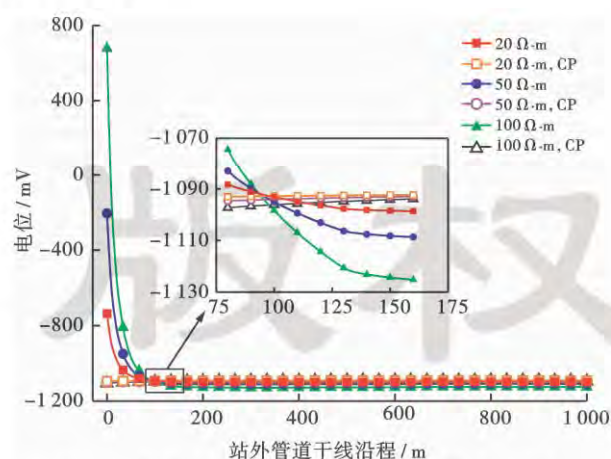


图11 受干扰管道电位分布随土壤电阻率的变化

Fig. 11 Influence of soil resistivities on potential distribution of outside pipeline

4 缓解干扰的建议

受站内阴极保护系统干扰的影响,站外管道干线

电位会出现波动,产生附加极化,站外阴极保护系统输出电流会随电位控制参比电极设置位置的不同而发生改变,从而可能造成干线过保护或欠保护。此时,应考虑将电位控制点设置在电位变化小的受影响区域内以避免产生大的输出电流波动,该位置一般设在距管道近站端即干扰侧一定距离之外,该距离的大小与站内阴极保护系统的阳极地床类型、位置以及站外管线长度有关。尽管移动站外管道干线控制参比电极位置能够保证其系统输出基本不变,但干扰依然存在,杂散电流仍然会从管线上流入和流出,在流出处造成腐蚀。理论上讲,缓解干扰的有效方式是减小站内阴极保护系统在站外管线周围产生的电场或是让站外管线尽量远离强电场。

基于上述的参数分析,在设计阶段要优化站内阳极地床,如选择影响小的网状阳极地床或浅埋阳极地床,以及设置合理的阳极地床位置,这是避免强干扰行之有效的方法。如果严重干扰已经存在,这就需要额外的缓解措施,如安装跨接电阻将站内外设施联合保护或者在杂散电流流出处安装接地极来排流从而避免杂散电流从管线流出,保证管线安全运行。

5 结论

(1) 干扰问题与单一阴极保护系统在数学模型上的不同,主要体现在由于本体电位差异导致边界条件处理方法上的变化,并通过室内模拟实验对此进行了验证。

(2) 站内阴、阳极电场的叠加电场强度决定了站外管线所受的干扰程度及规律。在站内保护对象为单一储罐底板、站外保护对象为管道干线的情况下,深井阳极地床的干扰影响最大,为阴极干扰;浅埋阳极地床的干扰次之,为阳极干扰;罐底网状阳极的干扰影响最小。在采用深井阳极地床时,随地床距管道干线水平距离、埋深以及系统输出电流的增加,管道干线所受阴极干扰增强。

(3) 当站外阴极保护系统参比电极位置不同时,管道干线电位分布及系统输出电流受站内阴极保护系统的干扰程度不同。当参比电极距干扰源较近时,管道干线受影响区域较大;距干扰源较远时,管道干线受影响区域减小,但靠近干扰源侧的管段受干扰程度增强。随着参比电极位置远离干扰源,站外阴极保护系统的输出电流所受干扰减小。

(4) 将站外管道干线的电位控制点设置在其电位变化小的影响区域内可以避免其系统输出电流产生较大波动,该位置一般设在距管道近站端即干扰侧一定距离之外,其大小与站内阴极保护系统的阳极地床类

型、位置以及站外管线长度有关。

(5) 站内阴极保护系统对站外管道干线的干扰程度随管线长度的增加而稍有增强,随土壤电阻率的增大而明显增强。

参 考 文 献

- [1] 刘玲莉,陈洪源,刘明辉,等. 输油气站场区域性阴极保护技术[J]. 油气储运, 2005, 24(7): 28-32.
Liu Lingli, Chen Hongyuan, Liu Minghui, et al. Local cathodic protection for pumping and compressor stations[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2005, 24(7): 28-32.
- [2] 杜艳霞,张国忠. 输油泵站区域性阴极保护实施中的问题[J]. 腐蚀与防护, 2006, 27(8): 417-421.
Du Yanxia, Zhang Guozhong. Regional cathodic protection in pump stations[J]. Corrosion & Protection, 2006, 27(8): 417-421.
- [3] 陈航. 长输油气管道工艺站场的区域性阴极保护[J]. 腐蚀与防护, 2008, 29(8): 485-487.
Chen Hang. Regional cathodic protection in oil & gas pipeline stations[J]. Corrosion & Protection, 2008, 29(8): 485-487.
- [4] 葛艾天,涂明跃. 区域阴极保护在陕京管道站场的应用[J]. 腐蚀与防护, 2009, 30(5): 343-345.
Ge Aitian, Tu Mingyue. Practice of regional cathodic protection in Shaanjin pipeline[J]. Corrosion & Protection, 2009, 30(5): 343-345.
- [5] 陈洪源,范志刚,刘玲莉,等. 区域性阴极保护技术在输气站场中的应用[J]. 油气储运, 2005, 24(5): 41-44.
Chen Hongyuan, Fan Zhigang, Liu Lingli, et al. The application of partial cathodic protection technology in gas transmission station[J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2005, 24(5): 41-44.
- [6] 阮景红,刘国,王修云,等. 塔河油田油气管线阴极保护系统失效原因与对策[J]. 腐蚀与防护, 2012, 33(3): 261-264.
Ruan Jinghong, Liu Guo, Wang Xiuyun, et al. Failure analysis and countermeasures of cathodic protection system for Tahe Oilfield pipelines[J]. Corrosion & Protection, 2012, 33(3): 261-264.
- [7] Chuang J M, Zamani N G, Hsiung C C. Some computational aspects of BEM simulation of cathodic protection systems[J]. Applied Mathematical Modelling, 1987, 11(5): 371-379.
- [8] Yan J F, Pakalapati S N R, Nguyen T V, et al. Mathematical modeling of cathodic protection using the boundary element method with a nonlinear polarization curve[J]. Journal of the Electrochemical Society, 1992, 139(7): 1932-1936.
- [9] Brichau F, Deconinck J. A numerical model for cathodic protection of buried pipes[J]. Corrosion, 1994, 50(1): 39-49.
- [10] Riemer D P, Orazem M E. A mathematical model for the cathodic protection of tank bottoms[J]. Corrosion Science, 2005, 47(3): 849-868.
- [11] 杜艳霞,张国忠,刘刚,等. 金属储罐底板外侧阴极保护电位分布的数值模拟[J]. 金属学报, 2007, 43(3): 297-302.
Du Yanxia, Zhang Guozhong, Liu Gang, et al. Simulation of cathodic protection potential distribution on the exterior of storage tank bottom[J]. Acta Metallurgica Sinica, 2007, 43(3): 297-302.
- [12] Parsa M H, Allahkaram S R, Ghobadi A H. Simulation of cathodic protection potential distributions on oil well casings[J]. Journal of Petroleum Science and Engineering, 2010, 72(3/4): 215-219.
- [13] Sun W. Optimal control of impressed cathodic protection systems in ship building[J]. Applied Mathematical Modelling, 1996, 20(11): 823-828.
- [14] Miltiadou P, Wrobel L C. Optimization of cathodic protection systems using boundary elements and genetic algorithms[J]. Corrosion, 2002, 58(11): 912-921.
- [15] Brichau F, Deconinck J, Driesens T. Modeling of underground cathodic protection stray currents[J]. Corrosion, 1996, 52(6): 480-488.
- [16] Metwally I A, Al-Mandhari H M, Gastli A, et al. Factors affecting cathodic-protection interference [J]. Engineering Analysis with Boundary Elements, 2007, 31(6): 485-493.
- [17] Metwally I A, Al-Mandhari H M, Gastli A, et al. Stray currents of ESP well casings[J]. Engineering Analysis with Boundary Elements, 2008, 32(1): 32-40.
- [18] Diaz E S, Adey R. Optimising the location of anodes in cathodic protection systems to smooth potential distribution[J]. Advances in Engineering Software, 2005, 36(9): 591-598.
- [19] Varela F E, Kurata Y, Sanada N. The influence of temperature on the galvanic corrosion of a cast iron-stainless steel couple (prediction by boundary element method) [J]. Corrosion Science, 1997, 39(4): 775-788.
- [20] 中国石油天然气集团公司. GB/T 21447-2008 钢质管道外腐蚀控制规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
China National Petroleum Corporation. GB/T 21447-2008 Specification for external corrosion control for steel pipeline[S]. Beijing: China Standards Press, 2008.
- [21] Jia J X, Song Guangling, Atrens A. Influence of geometry on galvanic corrosion of AZ91D coupled to steel[J]. Corrosion Science, 2006, 48(8): 2133-2153.
- [22] Abootalebi O, Kermanpur A, Shishesaz M R, et al. Optimizing the electrode position in sacrificial anode cathodic protection systems using boundary element method [J]. Corrosion Science, 2010, 52(3): 678-687.
- [23] Martinez S. Evaluation of the uniform current density assumption in cathodic protection systems with close anode-to-cathode arrangement[J]. Materials and Corrosion, 2010, 61(4): 338-342.
- [24] Jia J X, Song G, Atrens A, et al. Evaluation of the BEASY program using linear and piecewise linear approaches for the boundary conditions[J]. Materials and Corrosion, 2004, 55(11): 845-852.

(收稿日期 2012-08-14 改回日期 2012-11-25 编辑 王培玺)