

# Experiments to Explore the Decrease of Stray Current Interference from Cathode Protection

Yang Wang<sup>1</sup>, Yaping Zhang<sup>1\*</sup>, Xiuhong Han<sup>1</sup>, Xue Han<sup>1</sup>, Dongxu Ju<sup>1</sup>, Lianqing Yu<sup>1</sup>, Yan Li<sup>2</sup>

<sup>1</sup>School of Science, China University of Petroleum (East China), Qiangdao Shandong

<sup>2</sup>School of Mechatronic Engineering, China University of Petroleum (East China), Qiangdao Shandong

Email: \*[zhangyp@upc.edu.cn](mailto:zhangyp@upc.edu.cn)

Received: May 8<sup>th</sup>, 2015; accepted: May 22<sup>nd</sup>, 2015; published: May 29<sup>th</sup>, 2015

Copyright © 2015 by authors and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

---

## Abstract

This paper adopts the method of laboratory simulation to research the effect that using anode in intersections and using coating have on reducing or eliminating the interference of stray current from cathodic protection facilities, and compares the experiment results with the results of computer simulation software ANSYS. Then, this paper provides some scientific basis for eliminating stray current corrosion influence from cathodic protection facilities to cross pipeline.

## Keywords

Stray Current, Sacrificial Anode, Coating Protection, Electrode Potential

---

# 减小来自阴极保护装置杂散电流干扰的实验探究

汪 洋<sup>1</sup>, 张亚萍<sup>1\*</sup>, 韩秀虹<sup>1</sup>, 韩 雪<sup>1</sup>, 句东旭<sup>1</sup>, 于濂清<sup>1</sup>, 李 焰<sup>2</sup>

<sup>1</sup>中国石油大学(华东)理学院, 山东 青岛

<sup>2</sup>中国石油大学(华东)机电工程学院, 山东 青岛

Email: \*[zhangyp@upc.edu.cn](mailto:zhangyp@upc.edu.cn)

\*通讯作者。

收稿日期：2015年5月8日；录用日期：2015年5月22日；发布日期：2015年5月29日

## 摘要

采用实验室模拟的方法，研究在管线交叉处使用牺牲阳极和涂层保护两种措施的实验效果，将两种措施减小或消除来自阴极保护设施杂散电流干扰的实验效果与用计算机软件ANSYS模拟的结果进行比较，进而为消除来自阴极保护设施杂散电流对交叉管线的腐蚀影响提供一定的科学依据。

## 关键词

杂散电流，牺牲阳极，涂层保护，管地电位

## 1. 引言

杂散电流具有多源性特点，按照其来源不同，可将杂散电流腐蚀分为直流、交流和地杂散电流腐蚀。直流杂散电流对金属腐蚀情况类似于电解原理，阳极(正极)为腐蚀区，进行氧化反应，金属发生氧化反应转变为离子进入介质(土壤)，阴极(负极)为非腐蚀区，进行还原反应。直流杂散电流通过土壤(离子导体相)进入埋地金属构件的区域为阴极去，从金属构件(电子导体相)另一处流出的区域为阳极区，杂散电流会引起该区域金属的阳极溶解，造成严重的“腐蚀”破坏。强制电流阴极保护技术因其具有防腐效果好、便于监测和调整等优点而广泛应用于埋地长输钢质管道[1]，沿管线外加电位和电流的分布规律受强制电流阴极保护系统的影响，当外部管线或其他金属结构与被保护管线交叉分布时，在交叉区域电流由外部结构流向被保护管线，会导致外部管线因受杂散电流腐蚀而损坏的情况[2]。

## 2. 实验装置及测量管地电位的方法

在一个绝缘性能良好，长 80.0 cm、宽 60.0 cm、高 70.0 cm 的长方体塑料绝缘箱里填充颗粒度和电阻率分布均匀的土壤，如图 1 所示。

其中 A、B、C、D 为直径 4.0 cm，长 40.0 cm 的管线，强制电流阴极保护系统用于保护管线 D，该管线与外部管线 A、B、C 交叉。在每条外部管线的交叉处安装了测试桩(结构如图 2 所示)，从每条管线上引出两种颜色的导线至测试桩的接线盒内。对直流电压源设定周期性操作(本实验采用通电 1 分钟，断电 1 分钟的操作)，这样阴极保护电流对外部管线的作用可以很清楚地加以辨别。利用直流电压源的通断以及铜/硫酸铜参比电极可以在每个外部管线交叉点测量出电流通、断条件下各管线的管地电位。

## 3. 减少交叉点处杂散电流干扰的措施及模拟实验结果

### 1) 未加牺牲阳极和涂层保护

表 1 为未采用牺牲阳极和涂层保护的情况下，管线交叉点处的实验数据。通常，在解释管线管地电位的测量数据时，受阴极保护装置保护的管线，当管地电位小于临界保护电位 $-0.85\text{ V}$ 时，管线受到充分保护；不受阴极保护的管线上腐蚀最严重的部位，电位读数最负，而腐蚀较轻或不腐蚀的部位电位较正[3]。从表 1 中测量数据可以看出，在有电流通过时管线 D (被保护管线)被完全保护，但是由于电源由“断”切换到“通”时，外部未被保护管线 A、B、C 的管地电位明显降低，这表明在管线 A、B、C 与管线 D 的交叉处，外部管线存在更为严重的放电现象，使得交叉点处外部管线周围的土壤变得更负，从而导致外部管线的杂散电流腐蚀[4]。

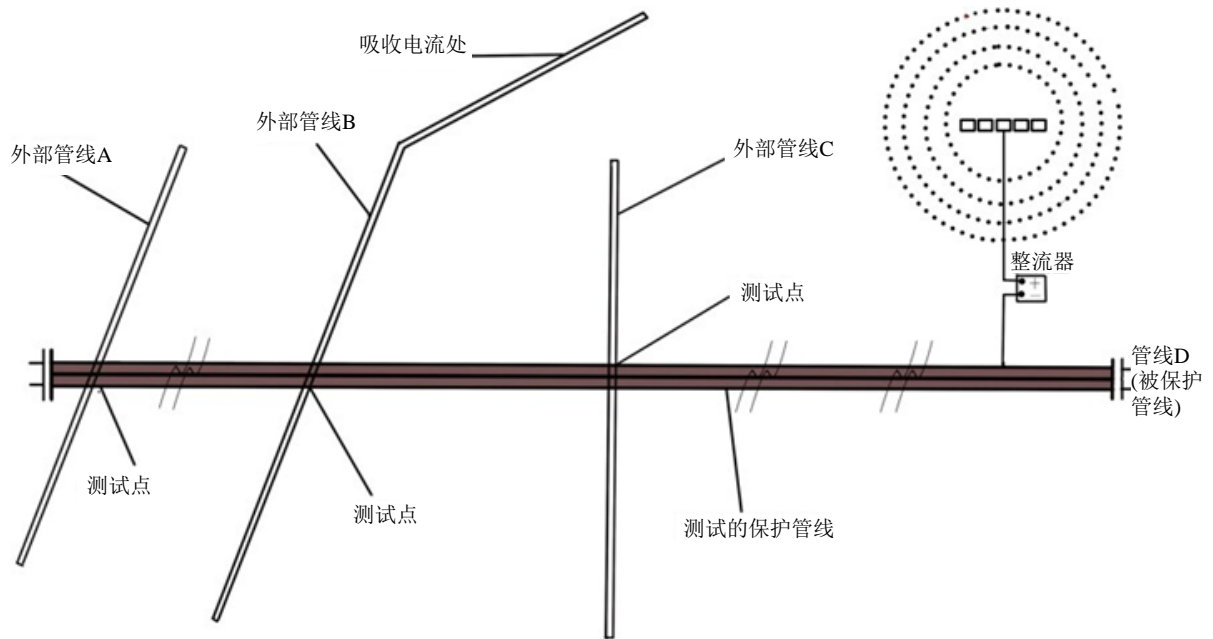


Figure 1. Experimental device

图 1. 实验装置图

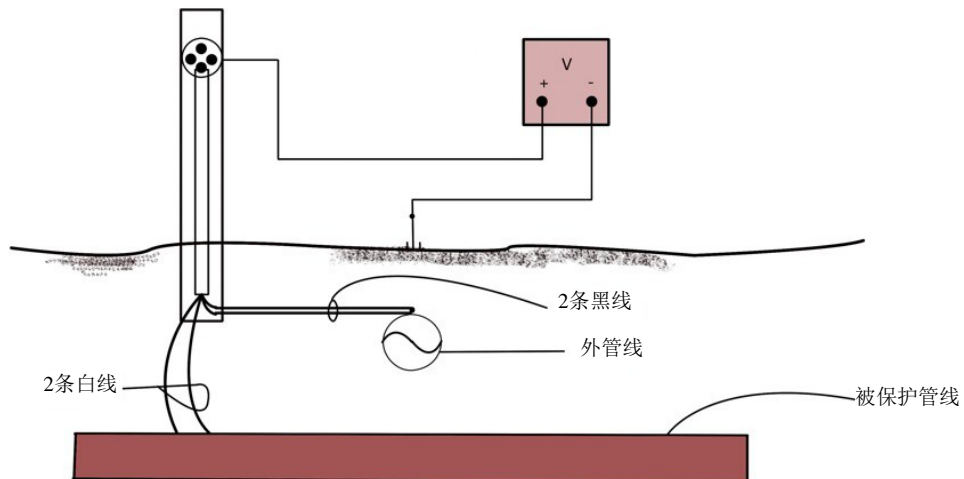


Figure 2. Testing pile structure

图 2. 测试桩结构图

Table 1. Measurement data of no anode and coating measurement at the intersection

表 1. 未在交叉点处加阳极和使用涂层的测量数据

测试的代号及位置		电位(相对于近 Cu/CuSO <sub>4</sub> 参比电极)					
		被保护管线管地电位/V			外部管线管地电位/V		
测试点代号	位置(距外电源)	通电流	断电流	通断电位差	通电流	断电流	通断电位差
A	30.0 cm	-1.062	-0.594	-0.468	-0.410	-0.289	-0.021
B	20.0 cm	-1.071	-0.565	-0.506	-0.916	-0.361	-0.055
C	10.0 cm	-1.077	-0.559	-0.518	-1.092	-0.546	-0.546

## 2) 使用牺牲阳极

表 2 为采用牺牲阳极保护情况下, 管线交叉点处的实验数据。从表 2 中实验数据可以看出, 在通电流时管线 D (被保护管线) 仍然被完全保护, 电源在断开时, 由于管线 A、B、C 与管线 D 的交叉点处加了一个镁阳极, 测试点处的外部管线管地电位均达到了被保护的范围  $-0.85\text{ V}$  以下。当通电时, 外部管线要受到来自阴极装置的杂散电流影响, 管地电位向正移动, 除了 A 管线仍然被保护之外, 较靠近阴极装置的 B 和 C 管线都没有被完全的保护。

图 3 和图 4 是用 ANSYS 软件模拟的加镁阳极和裸管两种情况下外部管线管地电位的数值模拟结果。

从图 3 的模拟结果可以看出, 未采取任何保护措施, 外部管线在与受到阴极保护的管线交叉点处, 管地电位大约在  $-0.5531\text{ V}$  至  $-1.3369\text{ V}$  之间。根据在解释管线管地电位的测量读数时, 受阴极保护装置保护的管线管地电位小于临界保护电位  $-0.85\text{ V}$  时管线受到充分保护; 不受阴极保护的管线上腐蚀最严重的部位, 电位读数最负, 而腐蚀较轻或不腐蚀的部位电位较正, 可以得知交叉点处的外部管线有较为严重的杂散电流腐蚀倾向。从图 4 的模拟结果可以看出, 在对外部管线使用了牺牲阳极的保护措施之后, 外部管线在交叉点处的管地电位大致在  $-0.3623\text{ V}$  到  $-0.9679\text{ V}$  之间, 这说明管线得到了较好的保护, 但仍然会有管地电位大于  $-0.85\text{ V}$  的情况出现。计算机模拟的结果与实验结果吻合较好, 在一定程度上说明了实验结果的准确性。

## 3) 涂层保护和牺牲阳极的综合方法

表 3 为采用涂层保护(如图 5)和牺牲阳极的情况下, 管线交叉点处的实验数据。从表 3 中数据可以看出, 在有电流通过时管线 D (被保护管线) 仍然被完全保护, 电源在断开和通电时 A、B、C 管线均被完全地保护。图 6 是 ANSYS 的数值模拟结果, 与图 3 和图 4 比较可以明显看出, 在采用综合防护措施的情况下, 外部管线在交叉点处的管地电位在  $-1.1525$  左右, 计算机模拟的结果与实验结果吻合, 由此表明, 使用涂层保护和牺牲阳极的综合保护措施, 对外部管线的保护效果较好。

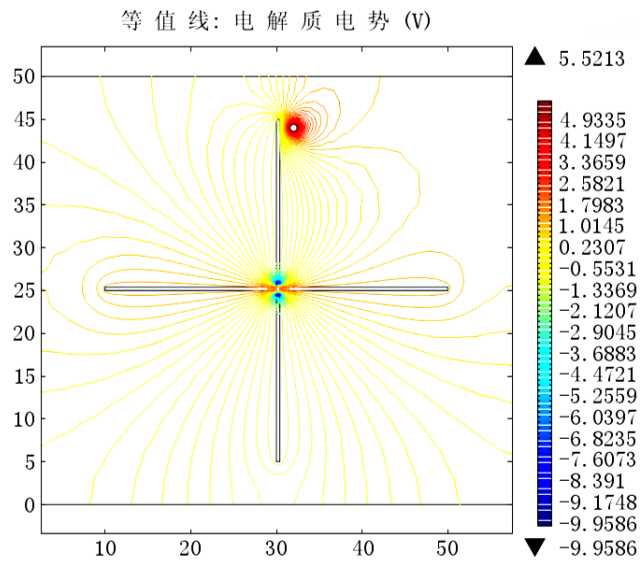
## 4. 实验结果分析

图 7 简要说明了导致该类杂散电流干扰的机理[4]。从阴极系统排入土壤的杂散电流流入周围的外部管线, 并在外部管线与被保护管线交叉处流出。埋地金属管线在没有杂散电流时, 腐蚀类型为原电池型, 驱动电位差大约几百毫伏, 腐蚀电流几十毫安; 从阴极系统排入土壤的杂散电流引起管线金属的电解型腐蚀, 电位和电流远远超过原电池型所产生的电位和电流。杂散电流流入金属管线的区域电位较高[5], 属于腐蚀电池的阴极, 阴极区一般不会受到影响, 但是阴极区电位过大时, 管道表面会发生析氢反应[6], 杂散电流流出管线区域的电位一般较低, 成为腐蚀电池的阳极, 阳极发生剧烈的氧化反应, 使管线发生局部腐蚀, 如点蚀、孔蚀等。这种腐蚀一般情况下很难被发现, 危害性极大, 管线在使用较短的时间内就可以造成腐蚀穿孔, 致使原油泄露, 影响油田正常生产。

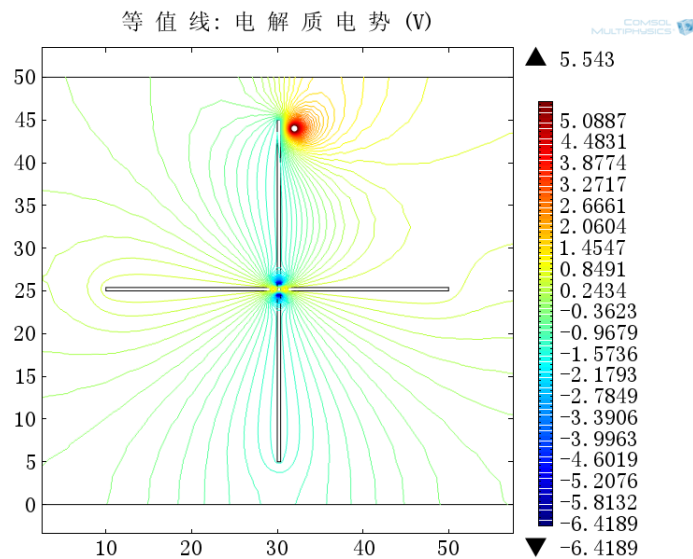
使用牺牲阳极这种方法利用了牺牲阳极周围的阳极电位场来抵消管线周围的阴极电位场。由于镁阳极具有比锌阳极更高的阳极电位梯度场, 因此本模拟实验采用的是在管线交叉点处对外部管线使用牺牲镁阳极的保护方案。在腐蚀保护过程中, 镁的电位低于管线的电位作为阳极腐蚀掉而管线作为阴极被保护。即使使用牺牲阳极的方法可以在一定程度上减轻交叉区域的腐蚀, 但放电仍有可能发生, 这往往是由于被保护管线在与外部管线交叉区域包含了不良涂层的情况而导致的结果。涂层保护防腐蚀性性能好, 并且具有较好的机械性能和绝缘性能, 水渗透率低的特点[7], 耐阴极剥离性好牺牲阳极与使用涂层联合, 此时只需要钝化覆盖不严实的管线, 临界钝化电流大大减少[8], 因此对外部管线的保护效果也达到了最佳。

**Table 2.** Measurement data of sacrificial anode protection measures  
**表 2.** 使用牺牲阳极保护措施的测量数据

测试点代号及位置		电位(相对于近 Cu/CuSO <sub>4</sub> 参比电极)					
		被保护管线管地电位/V			外部管线管地电位/V		
测试点代号	位置(距外电源)	通电流	断电流	通断电位差	通电流	断电流	通断电位差
A	30.0 cm	-1.085	-0.964	-0.121	-0.919	-1.071	0.152
B	20.0 cm	-1.068	-0.955	-0.113	-0.812	-1.056	0.244
C	10.0 cm	-1.064	-0.969	-0.095	-0.819	-1.095	0.276



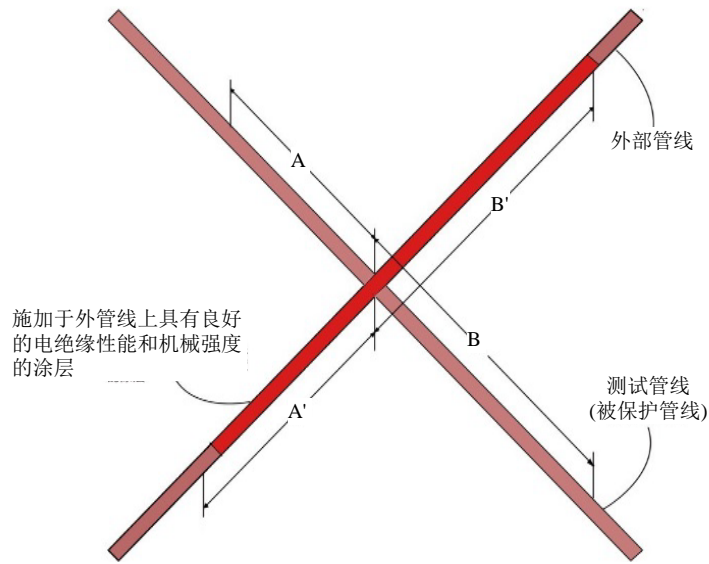
**Figure 3.** Simulation results of bare pipes  
**图 3.** 裸管模拟结果



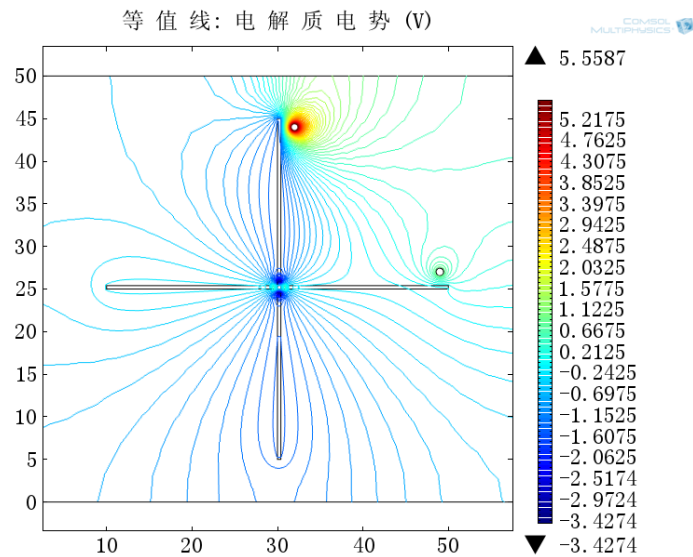
**Figure 4.** Simulation results of adding magnesium anode  
**图 4.** 加镁阳极模拟结果

**Table 3.** Measurement data of comprehensive protection measures  
**表 3.** 综合防护措施的测量数据

测试点代号及位置		电位(相对于近 Cu/CuSO <sub>4</sub> 参比电极)					
		被保护管线管地电位/V			外部管线管地电位/V		
测试点代号	位置(距外电源)	通电流	断电流	通断电位差	通电流	断电流	通断电位差
A	30.0 cm	-4.951	-1.186	-3.765	-0.889	-0.918	0.029
B	20.0 cm	-4.927	-1.197	-3.730	-0.895	-0.915	0.02
C	10.0 cm	-4.865	-1.196	-3.669	-0.861	-0.875	0.014



**Figure 5.** Coating protection device  
**图 5.** 涂层保护装置图



**Figure 6.** Simulation results of comprehensive protection  
**图 6.** 综合防护模拟结果



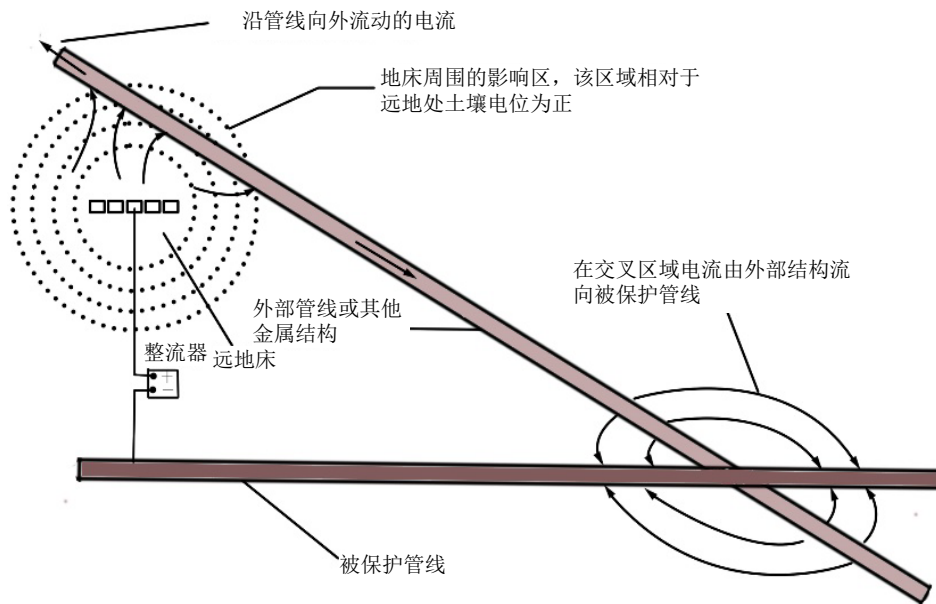


Figure 7. The mechanism figure of stray current interference  
图 7. 杂散电流干扰机理图

## 5. 结论

阴极保护装置的杂散电流对和被保护管线交叉处的外部管线腐蚀严重，在某些情况下，所需的防护措施可能太过于复杂且防护效果并不理想或者理想高效的防护系统并不经济，本文中的模拟实验考虑了这两方面的因素，实验结果和 ANSYS 的数值模拟结果相当吻合，因此建议在强制电流阴极保护管线与外部管线或其他金属结构交叉分布区域使用牺牲阳极和良好涂层保护的综措施，可以简单而高效地防护来自阴极保护装置的杂散电流对外部管线腐蚀影响。对来自阴极保护装置的杂散电流腐蚀防护相关的工程设计施工起到一定的指导意义。

## 基金项目

国家级大学生创新创业训练计划项目(201310425064)、国家自然科学基金面上项目(21476262)和青岛市科技成果转化引导项目(NO. 14-2-4-108-jch)。

## 参考文献 (References)

- [1] 曹阿林 (2010) 埋地金属管线的杂散电流腐蚀防护研究. 重庆大学, 重庆.
- [2] 邓树滨 (1995) 杂散电流腐蚀及其对牺牲阳极阴极保护的影响. *材料开发与应用*, **2**, 41-49.
- [3] Metwally, I.A., Al-Mandhari, H.M., Nadir, Z. and Gastli, A. (2007) Boundary element simulation of DC stray currents in oil industry due to cathodic protection interference. *European Transactions on Electrical Power*, **17**, 486-499.
- [4] 原著【美】A.W.皮博迪, 主编【美】R.L.比安切蒂, 翻译: 吴建华, 许立坤, 等 (2004) 管线腐蚀控制(原著第二版). 化学工业出版社, 北京, 66-68.
- [5] 于家付, 谢娜娜, 吴巍巍, 等 (2013) 埋地金属管道杂散电流腐蚀与防护. *重庆科技学院学报*, **2**, 89-93.
- [6] 唐永祥, 宋生奎, 朱坤峰, 等 (2006) 油气管道的杂散电流腐蚀防护措施. *石油化工安全技术*, **4**, 26-29.
- [7] 祝馨 (2006) 长输管道的腐蚀与防护. *石油化工腐蚀与防护*, **1**, 51-53.
- [8] 赵慧萍, 赵文娟, 张晓芳 (2013) 金属电化学腐蚀与防腐浅析. *化学工程与装备*, **10**, 135.