

脉冲电流与直流电流的阴极保护效果比较研究

徐兴龙, 周好斌, 袁森

(西安石油大学 材料科学与工程学院, 西安 710065)

摘要: **目的** 研究对比脉冲电流与直流电流阴极保护效果。**方法** 采用挂片法,在 NaCl 溶液中,对 Q235 钢在电源输出电压为 4.02 V(直流阴极保护电位为 0.95 V)时,对比直流电流和脉冲电流阴极保护条件下的保护效果。**结果** 电源输出功率相同时,脉冲电流可以获得更好的保护效果和较小的平均电流消耗;随着保护时间的推移,脉冲电流在不同参数条件下,阴极保护电位都会越来越负。**结论** 高频率下,脉冲电流保护效果比直流电流的保护效果好;若要提高保护效果和降低电流消耗,应选择中间范围的占空比、较高的频率,并且优先调整频率。

关键词: 脉冲电流; 阴极保护; 保护电位; 保护电流; 保护度

中图分类号: TG174.41

文献标识码: A

文章编号: 1001-3660(2015)01-0133-03

Comparative Study on the Cathodic Protection Effect of Pulse Current and Direct Current

XU Xing-long, ZHOU Hao-bin, YUAN Sen

(School of Material Science and Engineering, Xi'an Shiyou University, Xi'an 710065, China)

ABSTRACT: **Objective** To study and compare the cathodic protection effect of pulse current and DC current. **Methods** The plate hanging method was used to contrast the cathodic protection effect of pulse current and DC current on Q235 steel in NaCl solution when the power output voltage was 4.02 V (DC cathodic protection potential was 0.95 V). **Results** Under the same power output condition, pulse current had better protection effect and lower power consumption. As time went on, under different pulse current parameter conditions, the cathodic protection potential became more and more negative. **Conclusion** Under the terms of high frequency, pulse current had better protection effect than DC current. To simultaneously improve the protection effect and decrease the power consumption, middle range of duty ratio, high frequency and priority adjustment of frequency should be adopted.

KEY WORDS: pulsed current; cathodic protection; protection potential; protection current; protective property

脉冲电流阴极保护技术是在直流阴极保护的基础上发展而来,已报导的研究结果都认为脉冲电流相

对于传统的直流具有更均匀的电流分布、更深的穿透性、较小的总电流需求等优点^[1-2]。

收稿日期: 2014-09-30; 修订日期: 2014-10-21

Received: 2014-09-30; Revised: 2014-10-21

基金项目: 陕西省科技统筹创新工程计划项目(2013KTCL-04)

Fund: Supported by Shaanxi Provincial Science and Technology Innovation Project Coordinating Projects (2013KTCL-04)

作者简介: 徐兴龙(1987—),男,甘肃人,硕士研究生,主要从事腐蚀与防护技术研究。

Biography: XU Xing-long(1987—), Male, from Gansu, Master graduate student, Research focus: corrosion and protection technology.

通讯作者: 周好斌(1965—),男,陕西人,博士,教授,主要从事腐蚀与防护技术、焊接设备与工艺研究。

Corresponding author: ZHOU Hao-bin(1965—), Male, from Shaanxi, Ph. D., Professor, Research focus: corrosion and protection technology, welding equipment and technology.

本文采用挂片法,在 3% (质量分数,后同) NaCl 溶液中进行试验,研究 Q235 钢在自然腐蚀状态下以及电源输出电压为 4.02 V 时,在直流电流和脉冲电流阴极保护条件下的保护效果。

1 实验

实验所用电源为自制脉冲电源,参比电极为 212 型饱和甘汞电极,阳极为 $\phi 6\text{ mm}\times 50\text{ mm}$ 的石墨棒,阴极为 $\phi 9\text{ mm}\times 50\text{ mm}$ 的 Q235 钢棒,平均接触面积为 14.766 cm^2 ,示波器为 TDS1002 型。

实验前先用抛光机对试样抛光除锈,用 120[#], 140[#],160[#] 金刚石砂纸逐级打磨,丙酮脱脂、干燥 24 h 后称量。通过试样腐蚀速率的计算^[3],得出具体的保护度^[4]。分别在自然腐蚀、直流阴极保护、脉冲电流阴极保护环境下进行实验,实验介质为 3% NaCl 溶液^[5-7]。

1) 自然腐蚀实验:试样装配后在实验介质中自然腐蚀 8 h 后,水洗,清理试样腐蚀产物,丙酮脱脂,干燥 24 h 后测量质量损失。

2) 直流阴极保护实验:采用 WD-5 型微机直流电源供电,HT-1714C 型直流稳压电源进行稳压,根据阴极保护标准,选取保护电位为 $-0.177\sim -1.03\text{ V}$ 时,达到阴极极化范围进行实验^[13]。实验在 5 组不同的阴极保护电位 (750,850,950,1000,1050 mV) 下进行,每组保护电位实验 1 h。

3) 脉冲电流阴极保护实验:脉冲电流阴极保护试验在直流阴极保护实验的阴极极化电位为 950 mV 时的电源输出电压条件下进行。实验示意图如图 1 所示。

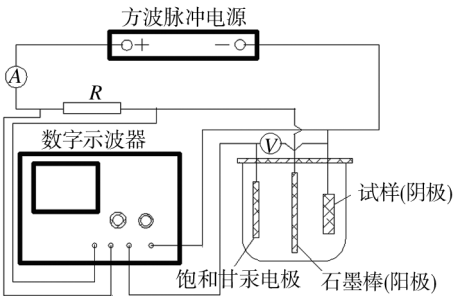


图 1 脉冲电流阴极保护挂片实验装置示意

Fig. 1 Plate hanging experimental setup of pulse current cathodic protection

由自制的简易脉冲电流阴极保护电源提供一定频率、占空比和幅值的脉冲电流。实验开始阶段需不

断调整极化电流值,一般 1 h 后逐渐稳定。用 TDS1002 数字示波器测量阴极电位响应波形,以电位响应波形的最下沿电位作为极化电位。每隔 1 h 分别记录在 800 Hz 和 2400 Hz,不同占空比 20% ,50% , 80% 时的脉冲保护电流值和阴极极化电位值。

2 结果与讨论

表 1 和表 2 分别为直流阴极保护实验和脉冲电流阴极保护实验的结果。可以看出,在直流电流和脉冲电流两种阴极保护条件下,当保护电位为 950 mV 时,脉冲电流频率为 2400 Hz,直流阴极保护的保护度都达到了 90% 以上,且脉冲电流要比直流电流的保护度高,而频率为 800 Hz 的脉冲电流的保护度明显低于直流电流。这表明,在高频率下脉冲电流保护效果比直流电流的保护效果好。由表 3 可见,脉冲电流阴极保护的平均电流消耗明显小于直流阴极保护,且平均腐蚀速率也明显小于直流阴极保护,表明脉冲电流的保护效率高于直流保护。

表 1 直流阴极保护实验结果
Tab. 1 DC cathodic protection results

保护电 位/mV	平均腐蚀速率 /($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$)	保护度 /%	平均保护电 流/mA
750	0.3488	56.81	0.3450
850	0.1530	81.05	0.3938
950	0.0532	93.41	0.5463
1000	0.0434	94.63	0.8675
1050	0.0410	94.92	1.1900

表 2 脉冲电流阴极保护实验结果
Tab. 2 Pulse current cathodic protection results

频率/ Hz	平均腐蚀速率 /($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$)	保护度 /%	平均保护电 流/mA
800	0.1652	79.54	0.4079
2400	0.0184	97.72	0.3629

表 3 3 种实验中阴极质量损失比较
Tab. 3 Comparison of cathode quality loss in 3 different conditions

状态	平均保护 电流/mA	平均腐蚀速率 /($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$)	保护 度/%
自然腐蚀	—	0.8076	—
直流阴极保护	0.5463	0.0532	93.41
脉冲阴极保护	0.3629	0.0184	97.72

图 2 显示,当频率为 800 Hz 时,占空比为 80% 的保护电位变化范围在 675 ~ 950 mV 之间,此时保护电位在最初无法达到阴极极化电位范围,试样上有红褐色铁锈析出,表明试样未被有效保护。当占空比为 50% 的保护电位变化范围在 850 ~ 1000 mV 时,整个过程试样保护电位都在阴极极化电位范围内。当占空比为 20% 的保护电位变化范围在 1030 ~ 1050 mV 时,出现析氢现象,表明试样过保护。由图 3 的电位变化趋势也可以反映出,当占空比为 20% 时,高频率的脉冲电流阴极保护的阴极保护电位更接近有效保护电位范围。从平均电流消耗和保护效果两方面考虑,应尽可能选择中间范围的占空比、较高的频率。

图 2 和图 3 显示,随着占空比和频率的增大,保护电位向正方向移动。随着保护时间的推移,在不同占空比和频率下,阴极表面的保护电位都会变得越来越负。

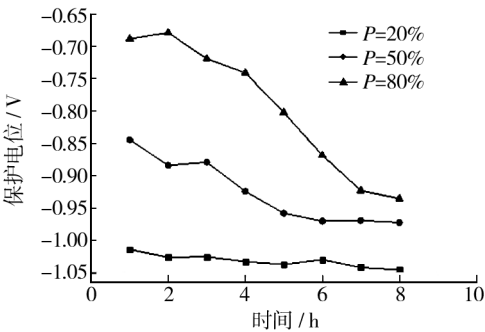


图 2 800 Hz 时不同占空比阴极表面的电位分布
Fig. 2 Distribution of cathode potential at different duty ratio when $f=800\text{ Hz}$

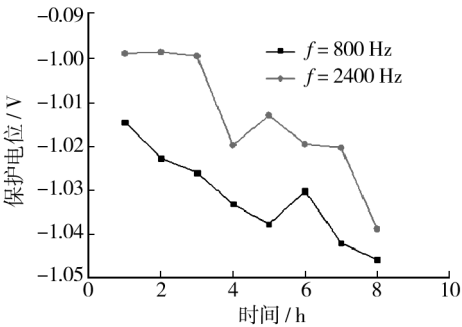


图 3 占空比为 20% 时不同频率的保护电位
Fig. 3 Protection potential of different frequencies when duty ratio was 20%

3 结论

1) Q235 钢在阴极保护电位为 950 mV 的实验条

件下,脉冲电流阴极保护比直流阴极保护消耗平均电流更小,保护效果更好,且脉冲电流阴极保护的电流消耗随着占空比和频率的增大逐渐减小。

2) 要使 Q235 钢在脉冲电流阴极保护条件下达到更好的保护效果和较小的电流消耗,应尽可能选择中间范围的占空比和较高的频率。

3) 随着保护时间的推移,脉冲电流在不同参数条件下,阴极保护电位都会越来越负。

参考文献

[1] 邱于兵,郭稚弧,林汉同,等. 脉冲电流阴极保护技术[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2001,13(4):226—229.
QIU Yu-bing, GUO Zhi-hu, LIN Han-tong, et al. Pulsed Current Cathodic Protection Technology[J]. Corrosion Science and Protection Technology, 2001, 13(4):226—229.

[2] 翁永基. 阴极保护设计中的模型研究及其应用[J]. 腐蚀科学与防护技术, 1999, 11(2):99—110.
WENG Yong-ji. The Research and Application of Matical Modeling in Cathodic Protection Design Techniques [J]. Corrosion Science and Protection Technology, 1999, 11(2):99—110.

[3] 黄永昌,张建旗. 现代材料腐蚀与防护[M]. 上海:上海交通大学出版社, 2012.
HUANG Yong-chang, ZHANG Jian-qi. Modern Materials Corrosion and Protection[M]. Shanghai: Shanghai Jiaotong University Press, 2012.

[4] 胡士信. 阴极保护工程手册[M]. 北京:化学工业出版社, 1999.
HU Shi-xin. Cathodic Protection Engineering Handbook [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1999.

[5] JONES D A. Principles and Prevention of Corrosion [M]. New York:Prentice-hall Simon and Schuster, 1996.

[6] MACDONALD D D. Transient Techniques in Electrochemistry[M]. New York: Plenum Press, 1977.

[7] 邱于兵,朱鸿赫,余成,等. 方波脉冲电流阴极保护效果的实验研究[J]. 腐蚀与防护, 2004, 25(12):520—523.
QIU Yu-bing, ZHU Hong-he, YU Cheng, et al. Effect of Square Wave Pulsed Current on Cathodic Protection [J]. Corrosion and Protection, 2004, 25(12):520—523.

[8] 李波,任呈强,刘丽,等. N80 钢的 CO₂ 腐蚀动力学研究[J]. 材料导报, 2013, 27(5):116—119.
LI Bo, REN Cheng-qiang, LIU Li, et al. Research on the Kinetics of CO₂ Corrosion on N80 Steel[J]. Materials Review, 2013, 27(5):116—119.

(下转第 140 页)

- Industry Press, 2005.
- [8] 王强. 电化学保护简明手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 617—618.
- WANG Qiang. Concise Manual Electrochemical Protection [M]. Beijing: Chemical industry Press, 2012.
- [9] 李淑英. 高效铝合金阳极的研制及其活性溶解机理初探[D]. 大连: 大连理工大学, 1990.
- LI Shu-ying. Study on Preparation and Dissolution Mechanism of High Performance Aluminum Alloyanode [D]. Dalian: Dalian University of Technology, 1990.
- [10] 冯业铭, 朱成栋. 恒电位仪电路原理及其应用[M]. 徐州: 中国矿业大学出版社, 1995.
- FENG Ye-ming, ZHU Cheng-dong. The Potentiostat Circuit Principle and Its Application[M]. Xuzhou: China University of Mining and Technology Press, 1995.
- [11] GB/T 17848—1999, 牺牲阳极电化学性能试验方法[S]. GB/T 17848—1999, Test Methods for Electrochemical Properties of Sacrificial Anodes [S].
- [12] 李敏娅, 王海人, 屈钧娥, 等. 430 不锈钢表面 PFDS 硅烷膜的自组装及缓蚀性能研究[J]. 表面技术, 2013, 42 (5): 66—69.
- LI Min-ya, WANG Hai-ren, QU Jun-e, et al. Self-assembling of PFDS on the Surface of 430 Stainless Steel and Its Corrosion Inhibition Performance[J]. Surface Technology, 2013, 42 (5): 66—69.
- [13] 曹宏涛, 李雪亭. 基于海洋环境的紧固件腐蚀防护要求及采取措施[J]. 表面技术, 2013, 42 (1): 105—108.
- CAO Hong-tao, LI Xue-ting. Based Fastener Corrosion Protection Requirements and Technical [J]. Measures of the Marine Environment, Surface Technology, 2013, 42 (1): 105—108.
- [14] 尹作升, 裴和中, 张国亮, 等. 阳极极化处理对 2024 铝合金电偶腐蚀行为的影响[J]. 表面技术, 2011, 40 (2): 36—37.
- YIN Zuo-sheng, PEI He-zhong, ZHANG Guo-liang, et al. Effect of Anodic Treatment on Galvanic Corrosion of 2024 AL Alloy [J]. Surface Technology, 2011, 40 (2): 36—37.
- [15] 中国腐蚀与防护学会. 腐蚀试验方法与防腐蚀检测技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 1996: 16—17.
- Chinese Society of Corrosion and Protection. Test Method for Corrosion and Corrosion Detection Technology [M]. Beijing: Chemical Industry Press, 1996: 16—17.
-
- (上接第 135 页)
- [9] 魏永庆, 张立新. 地下输水管道阴极保护实验分析[J]. 水利水电技术, 2010, 41 (11): 34—37.
- WEI Yong-qing, ZHANG Li-xin. Analysis on Experiment of Cathodic Protection for Underground Water Conveyance Pipeline [J]. Water Resources and Hydropower Engineering, 2010, 41 (11): 34—37.
- [10] 赵密锋, 李养池, 谢俊峰, 等. 复杂环境下 P110 套管阴极保护参数电化学测试确定研究[J]. 材料热处理技术, 2012, 41 (22): 120—124.
- ZHAO Mi-feng, LI Yang-chi, XIE Jun-feng, et al. Electrochemical Determination of Cathodic Protection Parameters for P110 Well Casings Under Harsh Surrounding [J]. Material & Heat Treatment, 2012, 41 (22): 120—124.
- [11] SHIRO N, ATSUSHI K A. Mixed Layer Depth Front and Subduction of Low Potential Vorticity Water in an Idealized Ocean GCM [J]. Journal of Oceanography, 2007 (63): 125—134.
- [12] FABRIKANTV I. Resultant Forces and Moments in Mixed Problems of the Theory of Elasticity [J]. Math, 1999 (50): 948—971.
- [13] 邱于兵, 王昊, 郭稚孤. 油井套管方波脉冲电流阴极保护模拟研究[J]. 油气田地面工程, 2000, 19 (6): 35—37.
- QIU Yu-bing, WANG Hao, GUO Zhi-hu. Well Casing Simulation of Square Wave Pulsed Current on Cathodic Protection [J]. Oil Gasfield Surface Engineering, 2000, 19 (6): 35—37.
- [14] 杨赫, 刘彦礼. 近年我国油气管道防腐技术的应用[J]. 化学工程师, 2008 (2): 28—31.
- YANG He, LIU Yan-li. Applications of Corrosion Prevention Techniques on Pipeline of Oil and Natural Gas in China in Recent Years [J]. Chemical Engineer, 2008 (2): 28—31.
- [15] 郭军科, 于金山, 卢立秋, 等. 镀锌钢在土壤环境中的阴极保护效果评价[J]. 内蒙古电力技术, 2013, 31 (4): 42—46.
- GUO Jun-ke, YU Jin-shan, LU Li-qiu. Evaluation on Effect of Cathode Protection for Galvanized Steel in Soil Environment [J]. Inner Mongolia Electric Power, 2013, 31 (4): 42—46.
- [16] 陶嘉楠, 黄新敬, 陈世利, 等. 利用集磁环检测管道阴极保护电流方法研究[J]. 传感技术学报, 2013, 26 (10): 1374—1378.
- TAO Jia-nan, HUANG Xin-jing, CHEN Shi-li, et al. Research on the Method of Measuring Cathodic Protection Current in Pipelines using Magnetic Collecting Ring [J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2013, 26 (10): 1374—1378.