

油气田阴极保护技术应用现状及研究进展

吴雨晟, 冯 强, 任 建, 邓伟林, 赵焰峰, 唐顺东, 罗 顺

川庆钻探工程有限公司安全环保质量监督检测研究院, 四川 成都

收稿日期: 2021年12月20日; 录用日期: 2022年1月18日; 发布日期: 2022年1月25日

摘 要

本文简述了阴极保护技术理论趋于成熟的过程; 综述了阴极保护系统在国内油气田的应用情况; 综述了阴极保护硬件设施及工程技术的发展过程及研究热点。

关键词

阴极保护, 油气田, 应用, 硬件设施, 工程技术

Application Status and Research Progress of Cathodic Protection Technology in Oil and Gas Fields

Yusheng Wu, Qiang Feng, Jian Ren, Weilin Deng, Yanfeng Zhao, Shundong Tang, Shun Luo

CCDC Safety Environment Quality Surveillance & Inspection Research Institute, Chengdu Sichuan

Received: Dec. 20th, 2021; accepted: Jan. 18th, 2022; published: Jan. 25th, 2022

Abstract

This paper briefly described the process of cathodic protection technology theory becoming mature. It summarized the application of cathodic protection system in domestic oil and gas fields, the development process and research hotspots of cathodic protection hardware facilities and engineering technology.

Keywords

Cathodic Protection, Oil and Gas Field, Application, Hardware Facilities, Engineering Technology

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

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



Open Access

1. 引言

阴极保护技术[1]本质上是一种电化学保护技术,自 1834 年法拉第发现了金属腐蚀损耗与电流间的定量关系,首次提出了“电解质”、“电极”、“阳离子”和“阴离子”等概念;1890 年爱迪生提出强制电流阴极保护之后,阴极保护技术在理论上趋于成熟,此后阴极保护在工程技术领域发展迅猛[2]。阴极保护法分为牺牲阳极的阴极保护法、外加电流的阴极保护法。前者是以还原性较强的金属作为原电池的阳极,管道、容器等作为阴极被保护起来;外加电流的阴极保护法又称强制电流阴极保护法,这种方法通过外加电流使受保护金属的电位始终低于环境电位从而被保护。二者各有优劣,一般说来牺牲阳极阴极保护前期投入更小,站内或小规模保护采用牺牲阳极阴极保护;长输管线或大范围保护采用外加电流阴极保护,外加电流阴极保护法具有更高的可靠性和效率[3]。

2. 油田阴极保护技术应用

2.1. 牺牲阳极阴极保护

2009 年,哈萨克斯坦境内某油田注水井油管发现严重腐蚀,时常发生腐蚀导致的失效或断裂,频繁的修井作业给日程的生产作业造成了很大的困难。曼格什套油气股份有限公司(MMG 公司) [4]随即针对该油田回注水环境定制了一种新型铝合金阳极,并立即对部分注水井实施了牺牲阳极阴极保护。一年后发现为采取阴极保护的油管外壁局部明显腐蚀,而采取阴极保护的油管外壁均未发现明显腐蚀痕迹。

随着综合含水以及采出液温度的上升,采出液腐蚀加剧,中原油田[5] [6]某计量站站内管网腐蚀较重,穿孔较多。穿孔后大量油水混合物泄漏到站内土壤中,使土壤腐蚀性增强,从而造成站内管网腐蚀穿孔上升和泄漏液体恶化站内土壤的恶性循环。自 1999 年开始试用牺牲阳极阴极保护系统,试用后发现官网穿孔由每月 4.5 次下降为每月 0.65 次,下降达 85.6%,管网得到了有效保护。

塔河油田井下及地面管道水质为 CaCl_2 水型,矿化度及氯离子含量高, pH 值一般为 5~6,管线中 CO_2 和 H_2S 分压高,腐蚀环境恶劣。2007 年在该油田某注水井油管内外壁安装牺牲阳极,2013 年修井作业时发现该注水油管内外壁均未见明显腐蚀,受牺牲阳极保护的 P110S 材质内壁相比未受保护的点腐蚀速率下降 91% [7]。

牺牲阳极阴极保护在站内或局部保护效果显著,目前该技术在国内外各大油田得到了广泛的推广和应用。

2.2. 外加电流阴极保护

延长油田的安亚峰[8]等人发现,即便油田生产中已采取投注缓蚀剂、内涂层和使用耐蚀合金等手段,井筒腐蚀仍然严重。经过前期试验和数值模拟,2013 年末油田用一套外加电流阴极保护系统对某一井场内全部 12 口生产井实施保护。系统运行近一年后,各井保护电位依旧低于自腐蚀电位,套管未发生腐蚀。

大庆油田[9]对其集输系统埋低金属管道实施了区域外加电流阴极保护,并同时采取了远程自动检测调控系统。通过在线监控方式实时根据保护需要调整恒电位工作状态,使得阴极保护系统时刻为管道提供高效的保护。

外加电流阴极保护系统具有可靠的电源,便于与远程监测、远程调控等自动化系统配套使用,在工

业自动化、智能化的趋势下必将得到越来越广泛的应用。

2.3. 两种阴极保护并用

即便如今的设计技术空前发达，但是依旧很难完全避免前期的设计及施工中的缺陷。在外加电流阴极保护系统服役过程中，时常出现管网电位值跨度大，电位分布不均匀等情况，保护效果大打折扣。针对这种情况，通过调整恒电位仪输出电压及电流能够起到一定作用，但效果仍然不理想。在此基础上，对欠保护部位增加牺牲阳极则能很好地解决问题，提升保护效果[10]。华北、岔河、塔河等油田都大范围地采用了这种联合阴极保护，均取得了较为理想的保护效果[11][12][13]。

牺牲阳极和外加电流阴极保护并用，采取联合阴极保护是当下较为合理的方式，既能避免大规模的阴极保护系统改造，又能实现良好的保护。

3. 配套技术研究进展

3.1. 硬件技术

硬件技术的发展解决了阴极保护系统施工及运行中的诸多问题。若某区域管道并排敷设，很容易发生搭接，产生的后果就是管道电流流出点位置不仅不得不到阴极保护，反而会加速腐蚀过程的进行。同时，由于电流的流失，搭接点后方的管道因得不到足够的电流常处于欠保护状态。为诊断出管道间搭接，有专利提供一种用于诊断输油管道之间搭接现象的仪器[14]，该仪器主体由一个蓄电池、3个阻值不同的电阻、1个电流表及1个电压表构成，使用时通过仪器与待测管道间电联通，施加一定电流后观察电流值和电压值，从而判断是否存在管道间的搭接；保护电位是阴极保护系统是否有效的重要测量参数之一，但阴极保护电流流过土壤会存在IR降，即管地测试电位为通电电位，与真实的阴极保护电位即极化电位之间存在IR降，从而产生较大误差。在不同的环境中，有时IR降能高达几百毫伏。且随着埋地管道受到杂散电流的影响，这种IR降往往较难消除。针对该问题，有专利提供一种具有IR降补偿功能的双参比极化探头[15]，利用该探头能够在不断电的情况下消除IR降造成的误差，从而准确测出保护电位，在实际工况下具有很高的应用价值。

此外，对于牺牲阳极阴极保护技术而言，找到更合适的阳极材料一直是研究的热点。Zakowski [16]等人制备了In质量分数不一的Al-Zn-In阳极材料，研究发现，在In质量分数0.02%~0.2%变化范围内，In质量分数为0.05%合金电位相较于Ag/AgCl电极电位下降最多，为-1100 mV。换言之，In质量分数为0.05%的Al-Zn-In合金最适合做阴极保护中的阳极。郭建章[17]等制备了Bi质量分数在0%~0.2%之间的Al-Zn-Ga-Si-Bi合金材料，研究发现当Bi质量分数为0.05%时，合金的实际电容量和电流效率最高，电化学性能良好，并且作为阳极材料时表面溶解形貌最为均匀，作为牺牲阳极的综合性能最优。此类研究不胜枚举，主要集中于在Al、Mg、Zn中引入其他来源广泛的元素以制备性能优异的阳极材料。

有赖于通信技术取得长足进步，长输管道阴极保护系统的检测及维护技术逐渐向自动化、智能化发展。随着智能测试桩、智能恒电位仪在阴极保护系统中的投用，实现了通电电位、断电电位等关键检测数据的实时监测。技术人员能够第一时间发现并定位阴极保护系统中发生的故障，从而及时采取维护，保证长输管道的安全。除此之外，今后的智能测试桩将能够同时监测被保护金属的腐蚀速率、环境温度、土壤电阻率、杂散电流等多项参数[18]，进一步节省人工工时，提高工作效率。

3.2. 设计及施工

阴极保护系统服役期的运行状况和保护效果很大程度上取决于前期的设计及施工质量，腐蚀工程师更应该重视阴极保护系统的前期设计工作。

阴极保护系统的设计通常基于稳态假设, 系统参数在服役期间内被认为是恒定的。然而, 由于电解质特性的变化(土壤电导率的季节性变化、阳极损耗以及阳极材料表面腐蚀沉积物的形成等), 阴极保护是一个瞬态过程。Mansouri [19]等采用一种接近瞬态的电化学模型来描述阴极保护系统的态行为, 并研究其与稳态行为的关键差异, 模拟牺牲阳极床性能随时间的变化, 从而评估系统的保护水平。

很多时候阴极保护系统投用后, 由于条件限制保护电位无法或难以测量, 很难评估阴极保护的有效性。针对这一情况, 刘立[20]等对延长油田某井场阴极保护系统进行了仿真模拟, 得出了阳极发出电流、阳极埋深及阳极数量的最优配置, 为阴极保护系统的设计及施工方案提供了依据。邵守斌[21]等将数值计算方法应用于区域性阴极保护效果预测, 通过数值模拟方法, 建立数学模型、确定边界条件, 摒弃经验设计, 科学预测阴极保护系统的保护能力。通过该技术减少了大庆油田喇 291 站 2 座深井辅助阳极及配套设施, 节约资金约 38 万元。

得益于计算机应用技术的飞速发展, 现如今我们已经能够在阴极保护系统施工前通过计算机模拟对其进行仿真计算, 很大程度上保证了系统投用后的保护效果, 节省了人力物力。

4. 总结与展望

阴极保护系统在国内油气田的应用日益广泛, 同时也取得了广为认可的防腐成效。如今, 随着基础科学和应用科学的进步, 阴极保护系统必将更加自动化、智能化, 更高效地服务于石油天然气行业及其他相关行业。

参考文献

- [1] 颜东洲, 黄海, 李春燕. 国内外阴极保护技术的发展和进展[J]. 全面腐蚀控制, 2010, 24(3): 18-21.
- [2] W.V. 贝克曼, W. 施文克. 阴极保护手册[M]. 北京: 人民邮电出版社, 1990.
- [3] 邵世杰, 陆晓燕. 长输管道的阴极保护及故障分析[J]. 工程技术, 2019, 32(3): 175-176.
- [4] 韩帅, 王月玺, 刘守樑. 牺牲阳极保护技术在注水井中的应用[J]. 全面腐蚀控制, 2018, 32(10): 26-28.
- [5] 唐祖友, 靖朝强, 侯莹, 等. 牺牲阳极保护计量站在中原油田的应用[J]. 油气田地面工程, 2002(3): 30-31.
- [6] 郭丽, 孙丽霞, 魏诗琦, 等. 适用于中原油田计量站的牺牲阳极保护技术[J]. 油气田地面工程, 2010, 29(7): 84-85.
- [7] 张江江, 闫俊龙, 刘冀宁, 等. 电化学保护技术在注水井下及地面管道防腐中的应用[J]. 材料导报, 2014, 28(S1): 422-426.
- [8] 安亚峰, 张军连, 刘艳梅. 井筒防腐外加电流阴极保护技术在延长油田的应用[J]. 化工管理, 2015(28): 154-155.
- [9] 蔡卫军. 区域性阴极保护自动监测调控系统研究与应用[J]. 全面腐蚀控制, 2021, 35(1): 50-51.
- [10] 鲁丹平, 杜艳霞, 唐德志, 等. 油气输送站场区域阴极保护研究现状及存在问题[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2018, 30(1): 84-93.
- [11] 邓卫东, 张磊, 张漪. 油田设备阴极保护系统现场调试问题研究[J]. 石油天然气学报, 2008, 30(6): 369-371.
- [12] 李继述, 刘海俊, 吴宗武. 岔河集油田区域阴极保护技术简述[J]. 油气田地面工程, 1999, 18(6): 22+42.
- [13] 李程, 袁林国, 张淑琴, 等. 塔河油田管道阴极保护电位测试与分析[J]. 腐蚀与防护, 2012, 33(2): 173-176.
- [14] 邓伟林, 张雨, 邓勇刚, 等. 一种用于诊断输油管道之间搭接现象的仪器[P]. 中国专利, CN210135456U. 2020-03-10.
- [15] 邓伟林, 邓勇刚, 任建, 等. 一种具有 IR 降补偿功能的双参比极化探头[P]. 中国专利, CN212103016U. 2020-12-08.
- [16] Zakowski, K., Orlikowski, J., Darowicki, K., *et al.* (2021) The Effect of Increasing the Amount of Indium Alloying Material on the Efficiency of Sacrificial Aluminium Anodes. *Materials*, **14**, 1755.
- [17] 郭建章, 胡崇巍, 张海兵. Bi 含量对 Al-Zn-Ga-Si-Bi 合金电化学性能和腐蚀形貌影响[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2019, 31(5): 489-494.

- [18] 程海军, 任国臣, 孙丽颖. 埋低管道阴极保护监测系统的研究及应用[J]. 测控技术, 2015, 34(11): 33-36.
- [19] Mansouri, A., Binali, A.E., Khan, N., *et al.* (2021) Three-Dimensional Modeling of In-Ground Cathodic Protection Systems with Deforming Anodes. *Scientific Reports*, **11**, Article No. 1894.
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-81184-w>
- [20] 刘立, 刘杰, 张永强, 等. 油田套管阴极保护技术的应用[J]. 材料保护, 2021, 54(3): 144-148+152.
- [21] 邵守斌. 数值模拟技术在区域性阴极保护设计中的应用[J]. 油气田地面工程, 2016, 35(3): 108-110.