

大罐罐底阴极保护全寿命周期 监测技术研究

赵常英 秦海燕 朱加祥 滕 彧

中国石油工程建设有限公司华北分公司, 河北 任丘 062552

摘要:为监测罐底外壁阴极保护效果,建设期在罐底基础砂垫层内埋设长效参比电极(Cu/CuSO_4),由于长效参比电极(Cu/CuSO_4)的寿命最长 10 a,而罐底阴极保护设计寿命至少 30 a,参比电极失效后不能更换,无法对罐底保护电位进行检测。另外,控制用参比电极一旦失效,恒电位仪无法收到控制参比电极反馈的电位信号,无法自动调节电流输出,阴极保护系统将不能正常运行。因此,在储罐基础中预埋参比电极通道,使参比电极可以在储罐基础内测得储罐罐底电位值十分必要。

关键词:罐底阴极保护;参比电极;测试管

DOI:10.3969/j.issn.1006-5539.2019.06.015

Study on Life-Circle Monitoring Technology of Cathodic Protection on Tank Bottom

Zhao Changying, Qin Haiyan, Zhu Jiaxiang, Teng Yu

China Petroleum Engineering & Construction Corp. North China Company, Renqiu, Hebei, 062552, China

Abstract: For monitoring the effect of cathodic protection on the tank bottom, the long-term reference electrode(Cu/CuSO_4) was laid in the sand seam of tank bottom foundation during the construction. Because the longest life of the long-term reference electrode(Cu/CuSO_4) is 10 a, and the design life of the cathodic protection of tank bottom is at least 30 a. If the reference electrode fails, it cannot be replaced and the protection potential cannot be detected. On the other hand, if the reference electrode fails, the transformer cannot receive the potential signal feedback from the reference electrode so that the transformer should not automatically adjust the output current. So the cathodic protection system cannot operate normally. Therefore, it is necessary to embed reference electrode channel in the tank bottom so that the reference electrode can measure the potential value in the tank bottom.

Keywords: Cathodic protection of tank bottom; Reference electrode; Test tube

0 前言

自 2004 年以来,国家石油储备库开始在全国范围内开工建设,大部分储备库建于沿海地带,如舟山、镇海、

大连、黄岛等,大罐设计寿命不少于 30 a,为确保大罐罐底外壁在设计寿命内免受腐蚀,罐底采用涂层加阴极保护的联合保护方式^[1-3]。

收稿日期:2019-08-05

基金项目:中国石油华北石化公司“炼油质量与安全环保技术改造”

作者简介:赵常英(1968-),河北迁西人,高级工程师,学士,主要从事防腐及阴极保护设计工作。

1 罐底阴极保护的必要性

由于储罐罐底置于罐基础之上,罐基础内从罐底起依次由沥青砂绝缘层、中砂垫层、HDPE 土工膜、长丝无纺土工布、中砂垫层、级配砂石垫层、级配碎石褥垫层组成,罐基础结构见图1。

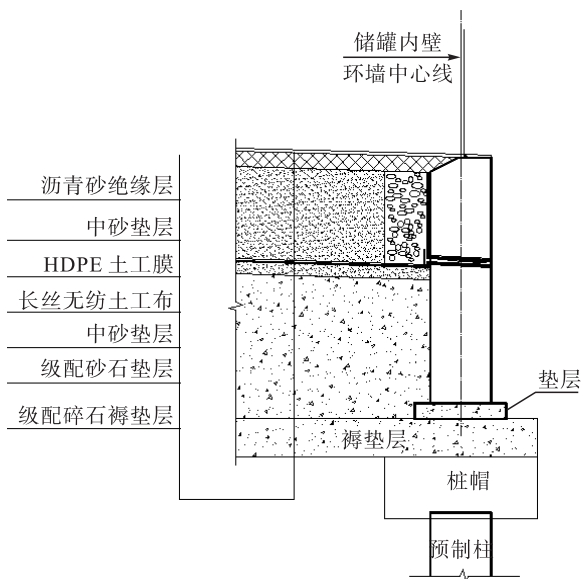


图1 罐基础结构图

罐底板下表面涂有防腐涂层,但在焊接时焊缝处的防腐涂层不耐焊接时产生的高温,造成涂层破损,一旦与腐蚀性介质接触,极易造成腐蚀^[4]。

虽然罐底下表面有沥青砂做绝缘层,但随着时间的增长,沥青砂会逐年老化,基础垫层出现开裂,另一方面,储罐的质量也随着进液高度变化进行波动,久之罐基础垫层在交变应力作用下发生开裂,这样地下水就会通过裂缝接触到储罐底板,储罐罐底板处于腐蚀环境中,随着时间的延长,防腐层不可避免出现老化破损,此时阴极保护对破损处罐底提供了有效保护,因此,储罐的阴极保护十分必要^[5]。

2 罐底阴极保护

2.1 罐底阴极保护系统

储备库原油储罐容积为 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$,罐底直径达 80 m,根据 SY/T 0088-2016《钢质储罐罐底外壁阴极保护技术标准》,罐底外壁采用强制电流阴极保护^[6]。

强制电流阴极保护系统包括供电设备、阳极地床和连接电缆等。

阴极保护供电电源采用恒电位仪。储罐基础采用混凝土环墙,为确保罐底中心部位达到保护准则要求,阳极地床采用在罐底基础内埋设阳极的方式。为监测罐底板的阴极保护电位,在储罐底部中砂层中埋设参比

电极,其中1只为恒电位仪用控制参比电极。

罐底阳极地床分为网状阳极地床和柔性阳极地床,网状阳极地床由混合金属氧化物(MMO)带状阳极和导电钛带组成,纵横交叉构成网格状结构,埋设在砂层中,距罐底板 300 mm 左右,因是网格形,所以常称为网状阳极。柔性阳极分为 MMO/TI 和导电聚合物两种,MMO/TI 柔性阳极是在金属氧化物阳极及连接电缆的外部包覆连续的焦炭及柔性织物覆盖层,导电聚合物柔性阳极是在带有导电聚合物的铜导线外部包覆连续的焦炭及柔性织物覆盖层。罐底柔性阳极地床是采用柔性阳极蛇形或环状敷设于储罐砂层中,与网状阳极具有相同的优点,如电流分布均匀、产生杂散电流少、不需要回填料、储罐与管道不需要电绝缘、不易受今后工程施工的损坏等。网状阳极缺点是阳极产物是 O_2 ,去极化快,且断电电位有不达标现象。柔性阳极优点是阳极产物是 CO 及 CO_2 ,去极化慢,便于测试断电电位^[7-9],且保护电位满足设计要求。

2.2 罐底阴极保护测试点布置

大罐罐底坐落于混凝土基础上,一旦建成,人员无法接近罐底,采用在罐周边设置参比电极的方式,无法获得靠近罐底中心的电位,因此通常建罐前在罐基础内预埋长效参比电极。对于罐底板面积较大的储罐,一般在罐底布置多个参比电极^[10-12]。

通常,在罐底沿半径方向,根据储罐半径大小,布置一定数量的长效参比电极,参比电极选用长效 Cu/CuSO_4 参比电极及 Zn 参比电极,参比电极接入罐附近的测试箱内,通过人工采用万用表,监测各参比电极处的罐底板电位。

3 罐底阴极保护监测电位准确性

自国家石油储备库开建以来,许多原油罐运行超过 10 a,在西部、东部、沿海及内陆对不同地区罐底阴极保护调研,发现部分阴极保护系统不能正常运行,其中长效参比电极失效是影响阴极保护正常运行的首要原因。

以恒电位仪作为供电电源,其工作原理是给定信号(控制信号)和经阻抗变换器隔离后的参比信号一起送入比较放大器,经高精度、高稳定性的比较放大器进行比较放大,然后输出误差控制信号,将这个信号送入移相触发器,移相触发器再根据该信号的大小,自动调节脉冲的移相时间,通过脉冲变压器输出触发脉冲来调整极化回路中可控硅的导通角,改变输出电压、电流的大小,使得保护电位等于设定的给定电位,进一步实现恒电位保护。

长效 Cu/CuSO_4 参比电极,是由铜棒及饱和硫酸铜溶液安装于陶瓷罐中,如果安装环境干燥,或硫酸铜液体流失,就会影响参比电极的准确度,造成测量电位偏

差。锌参比电极同样与使用环境有关,一旦土壤干燥,锌参比电位正移,导致基准改变,也就失去了作为参比的意义^[13]。大罐罐底基础内,由于受到防渗膜的隔离,地下水不易进入防渗膜上部的砂垫层,尤其是对于高于常温的原油储罐,砂垫层受高温影响,更易造成参比电极附近环境干燥,进而造成电位监测不准,甚至经过一定的年限后,长效 Cu/CuSO₄ 参比电极失效,无法读取数据。

阳极干扰区的影响,由于罐底基础空间有限,一般砂垫层厚度为 300~500 mm,砂垫层下部为防渗膜,为避免防渗膜屏蔽阴极保护电流,阳极和长效参比电极只能安装于防渗膜与罐底板的砂垫层中^[14-16]。在受限空间内,长效参比电极无法避开阳极地床的干扰,导致控制用参比电极通电电位偏负,使恒电位仪电流输出量不足,无法使罐底板得到充分极化。

4 罐底阴极保护监测新技术

为确保罐底阴极保护监测数据的准确性,保证参比电极测试电位的准确性是至关重要的。长效参比电极初期运行正常,但无法确保 10 a 以后的正常使用,因此在罐底采用可更换参比电极,每次测试前对参比电极进行校正。

4.1 预埋阴极保护通道的选择

考虑到金属管作为通道存在对阴极保护电流的屏蔽作用,同时因测试通道距离罐底较近,为避免发生金属管与罐底板的搭接,导致阴极保护电流泄漏,故测试通道采用非金属管。

非金属管在罐底安装,应具备一定的强度和刚度,不会因受到罐底压力而产生破碎或变形,因此选用具有超高分子量的聚乙烯管(HDPE),聚乙烯管采用 $\Phi 110 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 。对于 $10 \times 10^4 \text{ m}^3$ 储罐,荷载为 250 kN/m^2 ,根据 CECS 17《埋地硬聚氯乙烯给水管道工程技术规程》^[17],对管道强度及管径直径变形量进行计算,结果表明其完全可承受储罐荷载。

4.2 解决预埋 HDPE 管的屏蔽问题

HDPE 管存在对阴极保护电流的屏蔽^[18-19],为解决该问题,提出了两种方案

方案一是砂垫层中预埋一定长度两端不封闭的测试通道-HDPE 管,一端露出储罐基础,另一端位于需测试位置,参比电极可沿测试通道直接顶到测试位置的砂垫层上。

方案二是砂垫层中预埋贯穿储罐底部基础的测试通道-HDPE 管,要求阴极保护电流可从砂垫层穿过 HDPE 管道,进入管道内的参比电极。考虑在 HDPE 管上需测试的位置开孔槽,阴保电流通过孔槽流向参比电极,对此展开了实验室评价。

评价采用与 HDPE 管具有同样绝缘效果的聚乙烯塑

料管,在管壁上开孔 $\Phi 6 \text{ mm}$,将参比电极用湿布包裹,把聚乙烯塑料管放在砂土中,按照 GB/T 21246-2007《埋地钢质管道阴极保护参数测量方法》^[20]的规定,测试砂土中钢构件的电位。通过测试,该开孔方式可以为阴极保护电流提供通道,测试见图 2。



图 2 参比电极在开孔聚乙烯塑料管的电位测试图

4.3 现场测试效果

某工程 4 座 $5 \times 10^4 \text{ m}^3$ 原油储罐,罐底采用导电聚合物柔性阳极,恒电位仪为 4 回路,每路 30 A/50 V,对其中 2 座储罐进行现场测试,G123#罐阴极保护测试数据见表 1,G125#罐阴极保护测试数据见表 2。

表 1 G123#罐阴极保护测试表

测试点	通电电压 /V	通电电流 /A	通电电位 /V	断电电位 /V
恒电位仪第 1 路	4.52	0.25	-1.5	-0.92
测试点距离罐底环墙基础 1 m(北向)	-	-	-4	-0.9
测试点距离罐底环墙基础 6 m(北向)	-	-	-3.8	-1
测试点距离罐底环墙基础 27 m(北向)	-	-	-2.1	-0.95

表 2 G125#罐阴极保护测试表

测试点	通电电压 /V	通电电流 /A	通电电位 /V	断电电位 /V
恒电位仪第 3 路	3.5	0.18	1.5	0.9
测试点距离罐底环墙基础 1 m(北向)	-	-	3.2	1.2
测试点距离罐底环墙基础 27 m(北向)	-	-	3	0.9
测试点距离罐底环墙基础 1 m(南向)	-	-	2.54	0.96

5 结论

现场试验证明,通过在罐基础砂垫层内预埋测试通

道-HDPE管的方式,可将校准的参比电极随时送入监测位置进行测试,解决了以往在建设初期预埋长效参比电极,其寿命无法满足大罐的设计寿命,且长效参比电极无法进行校准的问题。

参考文献:

- [1] 韩文礼. 储油罐腐蚀及其防护措施[J]. 石油工程建设, 2010, 36(5): 41-47.
Han Wenli. Storage Tank Corrosion and Its Protection Measures [J]. Petroleum Engineering Construction, 2010, 36(5): 41-47.
- [2] 谈平庆, 谢水海, 梅冬勇. 大型原油储罐综合防腐技术[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2005, 22(2): 19-22.
Tan Pingqing, Xie Shuihai, Mei Dongyong. Integrated Corrosion Protection Technology for Large Crude Oil Tanks [J]. Corrosion & Protection in Petrochemical Industry, 2005, 22(2): 19-22.
- [3] 刘栓, 王娟, 程红红, 等. 大型原油储罐内壁底板腐蚀机理及防护措施[J]. 表面技术, 2017, 46(11): 47-53.
Liu Shuan, Wang Juan, Cheng Honghong, et al. Corrosion Mechanism and Protective Measures of Inner Wall Baseplate of Large Crude Oil Storage Tank [J]. Surface Technology, 2017, 46(11): 47-53.
- [4] 洪明东. 地面钢质原油储罐的腐蚀与防护[J]. 石油化工腐蚀与防护, 2008, 25(3): 17-20.
Hong Mingdong. Corrosion of Above-ground Steel Crude Oil Tanks and Protection [J]. Corrosion & Protection in Petrochemical Industry, 2008, 25(3): 17-20.
- [5] 陆军. 保证大型化工金属储罐(区)工程安全运行的设计对策[J]. 中国设备工程, 2008(2): 22-25.
Lu Jun. Design Countermeasures to Ensure the Safe Operation of Large Chemical Metal Storage Tank (Area) Project [J]. China Plant Engineering, 2008(2): 22-25.
- [6] 中国石油天然气集团公司. 钢质储罐罐底外壁阴极保护技术标准: SY/T 0088-2016 [S]. 北京: 石油工业出版社, 2016.
China National Petroleum Corporation. Specification of External Surface Cathodic Protection for the Bottom of Steel Storage Tank; SY/T 0088-2016 [S]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2016.
- [7] 胡士信, 熊信勇. 大型储罐罐底阴极保护监测数据及其分析[J]. 油气储运, 2007, 26(3): 16-22.
Hu Shixin, Xiong Xinyong. Analysis on the CP Detection Data of Storage Tank Bottom [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2007, 26(3): 16-22.
- [8] 贝克曼, 施文克, 普林兹. 阴极保护手册: 3版[M]. 胡士信, 王向农, 译. 北京: 化工出版社, 2005.
Baekman W V, Schwenk W, Prinz W. Handbook of Cathodic Protection: 3rd ed [M]. Hu Shixin, Wang Xiangnong, trans. Beijing: Chemical Industry Press, 2005.
- [9] BSI. Cathodic Protection-Code of Practice for Land and Marine Applications; BS 7361-1991 [S]. London: British Standards Institution, 1991.
- [10] 吴志平, 付立武, 敖镇海, 等. 地上储罐底板阴极保护实施与更新[J]. 油气储运, 2013, 32(10): 1084-1088.
Wu Zhiping, Fu Liwu, Ao Zhenhai, et al. Implementation and Update of Cathodic Protection of Land Storage Tank's Bottom Plate [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2013, 32(10): 1084-1088.
- [11] NACE. External Cathodic Protection of On-Grade Carbon Steel Storage Tank Bottoms; NACE Standard RP 0193-2001 [S]. Houston: NACE, 2001.
- [12] Wilken T, Dimond J R, Ansuini F J, et al. Installation of an Instrumented Cathodic Protection System on a Large Diameter AST [C] // Corrosion 2003, March 16-20, 2003, San Diego, CA, USA. Houston: NACE, 2003.
- [13] 田再强, 李亚军, 王芷芳, 等. 地下液化气储罐实施阴极保护中的几个问题[J]. 腐蚀与防护, 2005, 26(8): 361-363.
Tian Zaiqiang, Li Yajun, Wang Zhifang, et al. Some Problems in Cathodic Protection of Underground Liquid Gas Tanks [J]. Corrosion & Protection, 2005, 26(8): 361-363.
- [14] 郭超, 王璠, 俞龙, 等. 储罐底板下表面阴极保护系统设计的常见问题[J]. 油气储运, 2012, 31(11): 833-836.
Guo Chao, Wang Fan, Yu Long, et al. Common Problems with Cathodic Protection System Design for the Lower Plate Surface of Tank Bottom [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2012, 31(11): 833-836.
- [15] 梁宏, 刘书梅, 肖容鸽. 储罐底板阴极保护电位分布不均匀性分析[J]. 油气储运, 2004, 23(4): 39-42.
Liang Hong, Liu Shumei, Xiao Rongge. Analysis on Distribution Inhomogeneity of Cathodic Protection Potential for Bottom Plate of Oil Tank [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2004, 23(4): 39-42.
- [16] 冯骅, 马健, 李常雄, 等. 储罐防雷接地对阴极保护效果的影响[J]. 油气储运, 2007, 26(1): 51-52.
Feng Hua, Ma Jian, Li Changxiong, et al. Analysis on the Influence of Cathodic Protection Effectiveness to the Earthing of Oil Tank [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2007, 26(1): 51-52.

- Chen Xinming, Zhou Xiaoqin, Han Qunqun, et al. Practice of BOQ Making of Overseas Petroleum Engineering Project [J]. Natural Gas Technology and Economy, 2016, 10 (4): 71-75.
- [17] 王海志. 海外总承包项目投标报价阶段的风险管理[J]. 国际石油经济, 2015, 23(1): 65-71.
- Wang Haizhi. Risk Management at the Bidding Stage for EPC Projects Abroad [J]. International Petroleum Economics, 2015, 23 (1): 65-71.
- [18] 陈进. 浅谈总承包项目风险识别及防范措施[J]. 天然气与石油, 2009, 27(2): 58-61.
- Chen Jin. Discussion on Risk Identification in EPC Project and Preventive Measures [J]. Natural Gas and Oil, 2009, 27 (2): 58-61.
- [19] 黄亚江, 金鑫, 丁玥. 国际工程合同型联合体协议核心条款解读[J]. 中国港湾建设, 2019, 39(4): 73-77.
- Huang Yajiang, Jin Xin, Ding Yue. Interpretation of the Core Clauses of International Engineering Contractual Joint Venture Agreement [J]. China Harbor Engineering, 2019, 39 (4): 73-77.
- [20] 徐庆. 机电产品国际公开招标文件编制的关键点[J]. 中国招标, 2018(6): 17-19.
- Xu Qing. Key Points in Compiling International Bidding Documents for Mechanical and Electrical Equipment [J]. China Bidding Weekly, 2018 (6): 17-19.

(上接第90页)

- [17] 中国工程建设标准化协会. 埋地硬聚氯乙烯给水管道工程技术规程: CECS 17: 2000 [EB/OL]. [2019-07-10]. <https://wenku.baidu.com/view/b36a20f8c8d376eeaeaa3160.html>, 2012-03-28.
- China Association for Engineering Construction Standardization. Technical Specification for Buried Unplasticized Polyvinyl Chloride (PVC-U) Pipeline of Water Supply Engineering: CECS 17: 2000 [EB/OL]. [2019-07-10]. <https://wenku.baidu.com/view/b36a20f8c8d376eeaeaa3160.html>, 2012-03-28.
- [18] 王芷芳, 王健. 阴极保护工程设计中的若干问题[J]. 腐蚀与防护, 2000, 21(4): 164-166.
- Wang Zhifang, Wang Jian. Several Problems on Cathodic Protection Designing [J]. Corrosion & Protection, 2000, 21 (4): 164-166.
- [19] 王芷芳, 杨骁. 牺牲阳极在高温下电化学性能的测定[J]. 化工腐蚀与防护, 1994, 22(2): 21-24.
- Wang Zhifang, Yang Xiao. Determination of Electrochemical Properties of Sacrificial Anode at High Temperature [J]. Chemical Corrosion and Protection, 1994, 22 (2): 21-24.
- [20] 石油工程建设专业标准化委员会. 埋地钢质管道阴极保护参数测量方法: GB/T 21246-2007[S]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- Standardization Committee of Petroleum Engineering Construction. Measurement Method for Cathodic Protection Parameters of Buried Steel Pipelines: GB/T 21246-2007 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2008.

(上接第116页)

- Qiao Ping'an, Yang Lifa. Design of GIS-based Petro and Gas Pipeline Management Information System [J]. Computer Engineering, 2007, 33 (7): 261-263.
- [12] Lin Feng, Lum Kai-Yew, Chen B M. Development of a Vision-Based Ground Target Detection and Tracking System for a Small Unmanned Helicopter [J]. Science in China Series F: Information Sciences, 2009, 52: 2201-2215.
- [13] Xie Xiaowei, Liu Zhengjun, Zuo Zhiqun. Flight Route Designing and Mission Planning of Power Line Inspecting System Based on Multi-sensor UAV [J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2014, 17 (1): 012192.
- [14] Taha Z, Tang Y R, Yap K C. Development of an Onboard System for Flight Data Collection of a Small-Scale UAV [J]. Helicopter Mechatronics, 2011, 21 (1): 132-144.
- [15] Tulum K, Durak U, Yder S K. Situation Aware UAV Mission Route Planning [C] // Proceedings of the 2009 IEEE Aerospace Conference, 7-14 March, 2009, Big Sky, MT, USA. New York: IEEE, 2009.