

钢质立式储罐底板外侧阴极保护电位分布模拟试验研究

周磊¹, 李海涛², 隋民³, 张晓花¹, 王少博¹

(1. 中国石油天然气管道工程有限公司天津滨海分公司, 天津 300457;

2. 中国石油天然气管道局, 河北 廊坊 065000;

3. 中国石油管道公司(管道销售公司), 河北 廊坊 065000)

摘要: 对实际储罐进行简化, 建立了一套室内模拟试验装置, 模拟钢质立式储罐底板以及相应的深井阳极阴极保护系统。通过室内模拟试验, 研究了罐旁一侧布置深井阳极情况下罐底外侧阴极保护电位分布情况, 结果表明, 在罐底周向和径向电位分布具有明显的规律性。

关键词: 金属罐底; 阴极保护; 深井阳极; 电位分布

中图分类号: TE832

文献标志码: A

文章编号: 0253-4320(2016)10-0198-05

DOI: 10.16606/j.cnki.issn0253-4320.2016.10.049

A simulated experimental investigation on the cathodic protection potential distribution of external bottom of vertical steel tank

ZHOU Lei¹, LI Hai-tao², SUI Min³, ZHANG Xiao-hua¹, WANG Shao-bo¹

(1. China Petroleum Pipeline Bureau Tianjin Design Institute, Tianjin 300457, China;

2. CNPC China Petroleum Pipeline Bureau, Langfang 065000, China;

3. Petrochina Pipeline Company (Pipeline Marketing Company), Langfang 065000, China)

Abstract: A simplified laboratory experimental set is built up to simulate the bottom of steel tank and its corresponding cathodic protection system of deep-well anode. Based on a number of laboratory simulated experiments, the cathodic potential distribution of external tank bottom is analyzed in a one-side deep-well anode placement manner. The obvious regular patterns of circumferential and radial cathodic potential distribution are finally achieved.

Key words: steel tank bottom; cathodic protection; deep-well anode; potential distribution

据有关调查资料分析, 在储罐腐蚀中, 底板腐蚀约占 80%, 其中罐底内外侧的腐蚀各占 50%^[1]。罐底内侧的腐蚀主要是由油品存储、输转期间所携带的水分造成的。由于这部分含油污水的矿化度很高, Cl⁻ 或硫酸盐还原菌含量高, 当溶有 H₂S、CO₂ 等有害酸性物质时, 更加剧了罐底的腐蚀。罐底外侧的腐蚀主要是由于罐底部坐落在沥青砂基础上, 由于罐中满载和空载交替, 冬季和夏季温度变化及地下水的影响, 使得沥青砂层上出现裂缝, 致使地下水上升, 接触底板, 从而对罐底板造成腐蚀。同时由于罐底板与砂基础接触不良形成的氧浓差电池也是导致罐底外侧腐蚀的一个重要原因。

目前, 阴极保护技术作为金属腐蚀防护最为经济、有效的方法已经得到了十分广泛的应用。我国

于 1958 年开始采用阴极保护技术, 目前应用于长输管道的阴极保护技术已相对成熟, 全国主要油气干线均采用了这项技术。而大型储罐的阴极保护技术还有待完善, 其中大型储罐罐底外侧阴极保护电位的获取成为该领域中的一个研究热点和难点。

保护电位是监视和控制阴极保护效果的重要指标, 一般通过实际测量获得, 测量可通过使用一个高阻抗电位表和与土壤接触的、稳定的、重现性好的参比电极完成。为了获得准确的电位测量数据, 参比电极应放置于尽可能靠近被测试构件的位置。对于新建储罐, 设计期间可在罐底中心及半径上每隔 5~10 m 布置 1 支参比电极, 测知罐底板的电位分布。但对于已建大型储罐来讲, 由于在罐底中心安装参比电极比较困难, 以往的多数试验都是在罐边

缘放置参比电极,以此来代表罐底外侧中心处的电位值。由于电流的散失和土壤电阻的影响,从阳极上放出的电流,在土壤中产生了电位差,在罐边缘测得的电位值与罐底中心的电位是不相等的。文献[2]中提到,一个直径33.5 m,高14.6 m的钢质地面储罐,使用深井阳极进行阴极保护,阴极保护装置提供约2.0 A的电流,监测罐底板边缘的电位,结果表明完全受到了保护,但在罐底中心的阴极保护电位值仅为 -0.64 V(CSE) ,未达到最小许可 -0.85 V(CSE) 的标准。这说明在罐边缘测得的电位数据并不能代表罐底中心的实际保护水平,尤其是对于大直径储罐,罐底板各处的电位分布是很不均匀的。国外有采用水平钻孔或角向钻孔的方法在已建大型储罐底板下面安装多孔硬质聚乙烯管,通过在管内移动参比电极来测量罐底电位分布^[3-5];也有的在储罐大修更换底板时安装罐底参比电极。对于已建的储罐,由于前者实施技术难度大,在测量过程中也存在一些弊端,而且国内尚无在罐基础钻孔的先例,安全和管理部门不会贸然同意在大型储罐底板下安装参比电极导入测试孔,当没有更换底板的机会可供安装罐底参比电极时,罐底的阴极保护效果只能根据推测判定。在实际生产中,常通过提高罐边缘的电位值以期实现罐底板中心的保护,英国 BSICP1021 标准给出了储油罐阴极保护罐边缘测量电位要求在 $-1.1\sim-1.2\text{ V(CSE)}$ 的指标。这种方法没有考虑罐体、环境等保护参数的差异,既不能保证罐底板中心得到充分保护,也不能保证电能的合理利用。

综上,目前国内外学术界对已建大型储罐底板中心部位保护效果的判定还没有一个统一的方法,因此,研究储罐底板外侧阴极保护电位的分布规律,以便根据储罐阴极保护系统参数以及罐边缘电位测量数据来评价罐底板各处,特别是罐底中心的阴极保护效果具有重要的实际意义。

1 罐底外侧阴极保护电位分布的试验研究情况

国内外学者对于储罐罐底外侧阴极保护电位分布规律和影响因素的研究很少,而且现有的研究主要集中在数值计算方面,试验研究进行得极少,数值模拟结果缺少试验数据的检验。

林荣芳^[6]根据国内普遍采用的罐底结构,建立了一个直径为12 m的模拟罐底板和相应的外加电

流阴极保护系统,对罐底电位的测量方法进行了研究,并测量了不同阳极位置下罐底外侧阴极保护电位分布情况。结果表明,在罐底存在沥青层的情况下,罐底阴极保护电位的分布基本上是均匀的,阳极的位置对阴极保护电位的分布影响较小。该实验所建立的模拟装置规模较大,难以改变实验环境来讨论多种因素对保护电位的影响。

李相怡等^[7]在利用稳流电场理论分析罐底外侧阴极保护电位的分布时,在实验室内 $60\text{ cm}\times 50\text{ cm}\times 50\text{ cm}$ 的水池内进行了罐底电位分布的模拟测量试验。介质为普通自来水,阳极为平铺在水池底部的金属丝网,阴极为钢质金属圆片,与水面接触的待测表面用120#砂纸打磨成裸露面,其余表面用涂层密封保护,通电点设在金属圆片边缘,用稳压直流电源提供保护电流。达到稳定后,用带毛细管的甘汞参比电极在圆片表面移动测量,得到较好的结果。但该试验装置过于简单,与实际情况偏差较大,应在此基础上对试验装置和环境做进一步完善,使之更好地反映实际情况。

2 室内模拟试验简介

2.1 试验装置

(1)电源设备:直流稳压电源,电压输出范围为 $0\sim 30\text{ V}$ 。

(2)测量仪表:毫安表,毫伏表,数字万用表。

(3)辅助阳极:选用直径为10 mm的钢筋材料,制成不同长度的棒状阳极。

(4)土壤场:在 $60\text{ cm}\times 60\text{ cm}\times 25\text{ cm}$ 的塑料方箱内装入试验土样来模拟土壤场。

(5)罐底板:用Q235B钢制作成厚8 mm,不同直径的圆盘,来模拟储罐底板。在圆盘上钻有17个直径为5 mm的电位测量孔,模拟罐底板及测量孔分布如图1所示。

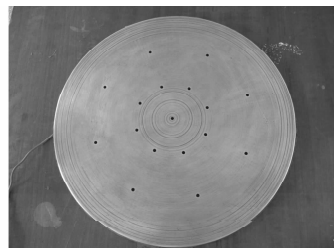


图1 模拟罐底板及测试孔分布

(6)盐桥:为减小液接电位,使用琼脂粉和饱和氯化钾溶液水浴加热制成盐桥。

(7)鲁金毛细管:为了减少欧姆电位降对电极电势测量的偏差,特制针管型鲁金毛细管,安装在模拟罐底板上的测量孔内并与土壤介质接触。

(8)参比电极:采用重现性好饱和甘汞电极,25℃下相对于标准氢电极的电位为 0.2438 V,是实验室内电位测量中常用的标准电极。

模拟装置电路包括极化线路和测量线路,如图 2 所示。图 2 中左侧回路为极化线路,电流从稳压电源正极流出,经电流表、滑动变阻器从辅助阳极流入土壤介质后进入罐底板,由汇流点流回电源负极。右侧回路为测量线路,通过高阻抗电压表测量罐底测量点相对于参比电极的电位值。

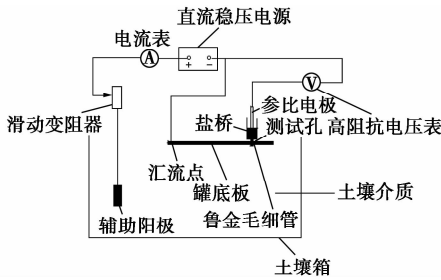


图 2 模拟试验装置示意图

2.2 试验方法

罐底外侧阴极保护电位分布模拟试验在模拟箱中进行。试验采用的模拟罐底板直径为 40 cm,在模拟箱 4 个顶角位置各埋设 1 支阳极,测量罐旁单侧布置阳极情况下模拟罐底板外侧的阴极保护电位分布。试验中模拟罐底板及辅助阳极的相对位置如图 3 所示,依次将 1#、2#、3#、4#辅助阳极连入极化电路,取相同的电源电压 1.0 V,分别测量模拟罐底板外侧 25 个测点相对于饱和甘汞电极(SCE)的电位。

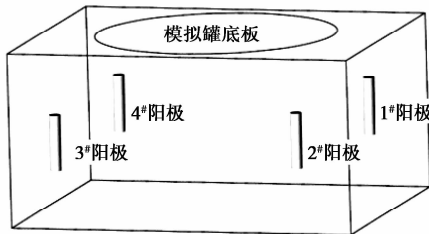


图 3 模拟罐底板及辅助阳极布置示意图

试验前要将模拟罐底板的工作表面用砂纸逐级打磨光亮,其余表面及测试孔内均用绝缘材料密封,并在圆盘侧面连接测量导线。测量时将装满盐桥的针管型鲁金毛细管安装在测试孔内,将饱和甘汞电极插入针管型鲁金毛细管内,来模拟目前常用的多

孔 PVC 管测量法。饱和甘汞电极通过盐桥与腐蚀介质接触,这样既不会污染参比电极,又可利用鲁金毛细管使饱和甘汞电极与被测点足够接近,尽可能减少测量中的 IR 降。

待一切准备就绪,按照图 2 所示连接好电路,通电待数字万用表读数稳定后,即可读出模拟罐底板上测试点相对于饱和甘汞电极的电位。

2.3 模拟罐底板坐标系的建立

建立极坐标和直角坐标双坐标体系来对模拟罐底板电位分布进行描述,建立方式如下。

取罐底板中心为坐标原点,底板中心与罐旁深井阳极的连线作为极轴,极轴正方向由罐底板中心指向辅助阳极,建立罐底极坐标系;以罐底板中心作为原点,以极轴作为 x 轴,与极轴垂直的一条直径作为 y 轴建立直角坐标系。如此建立的双坐标体系如图 4 所示。

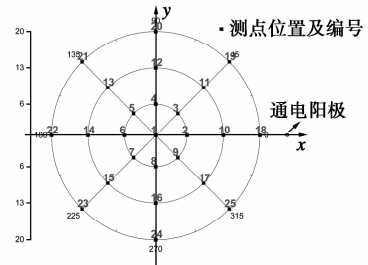


图 4 罐底双坐标系

图 4 中各测点对应的编号及其在各坐标系中的位置对应关系见表 1。

表 1 各测点在相应坐标系中的位置

测点 编号	极坐标		直角坐标	
	r/cm	$\theta/(\text{°})$	x/cm	y/cm
1	0	0	0	0
2	6	0	6	0
3	6	45	4.24	4.24
4	6	90	0	6
5	6	135	-4.24	4.24
6	6	180	-6	0
7	6	225	-4.24	-4.24
8	6	270	0	-6
9	6	315	4.24	-4.24
10	13	0	13	0
11	13	45	9.19	9.19
12	13	90	0	13
13	13	135	-9.19	9.19

续表

测点 编号	极坐标		直角坐标	
	r/cm	$\theta/(^\circ)$	x/cm	y/cm
14	13	180	-13	0
15	13	225	-9.19	-9.19
16	13	270	0	-13
17	13	315	9.19	-9.19
18	20	0	20	0
19	20	45	14.14	14.14
20	20	90	0	20
21	20	135	-14.14	14.14
22	20	180	-20	0
23	20	225	-14.14	-14.14
24	20	270	0	-20
25	20	315	14.14	-14.14

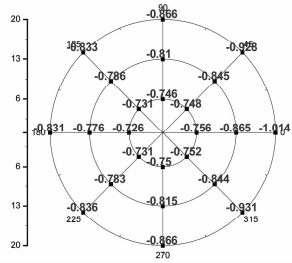


图5 1#阳极通电时模拟罐底板外侧不同半径圆周上的电位分布

在半径为6 cm的圆周上,测点分布密集,电位的绝对值小,而且相邻点之间的电位差别很小,测量误差对于数据的影响较大。随着半径的增大,测点之间的距离相应增加,电位分布规律趋于明显。图6为 $r=20\text{ cm}$ 的圆周上,4支阳极分别通电的情况下的周向电位分布情况进行对比。可以看出各组试验结果具有较好的重复性。

3 试验结果及分析

分别将1#~4#阳极连入电路进行测量并对结果进行分析,可以发现,模拟罐底板外侧阴极保护电位分布具有明显的规律性。

3.1 电位最值点

电位最值点出现的位置及数值的统计结果见表2。

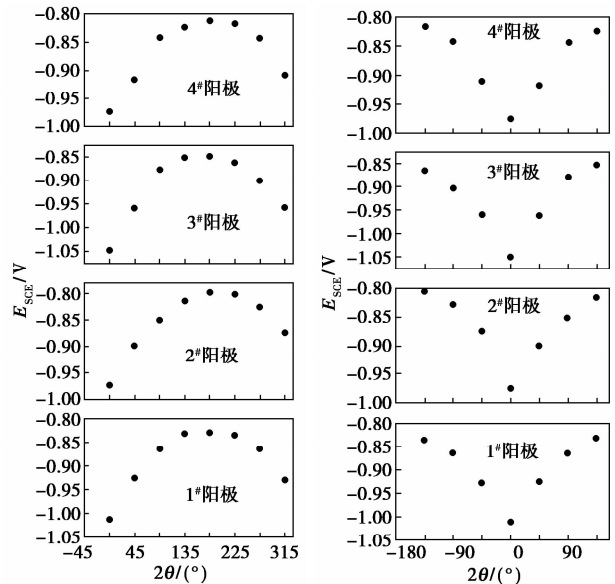
表2 电位最值点出现位置及数值

电位最值	1#阳极通电	2#阳极通电	3#阳极通电	4#阳极通电
最负值				
出现位置	$(20,0^\circ)$	$(20,0^\circ)$	$(20,0^\circ)$	$(20,0^\circ)$
E_{SCE}/V	-1.014	-0.975	-1.049	-0.976
最正值				
出现位置	$(0,0^\circ)$	$(0,0^\circ)$	$(0,0^\circ)$	$(0,0^\circ)$
E_{SCE}/V	-0.726	-0.7	-0.723	-0.711

可以看出,4种情况下的电位最正值均出现在罐底中心 $(0,0^\circ)$,电位最负值均出现在点 $(20,0^\circ)$ 处,即为罐底边缘距离阳极最近的点。这是由于近阳极点与阳极距离最近,从阳极流出的阴极保护电流在土壤中损失较少就可以到达该处,因此该点极化量最大,电位最负。

3.2 周向电位分布

以1#阳极通电的情况为例,罐底半径分别为6、13、20 cm的圆周上电位分布见图5。



(a) 周向电位随极角的变化 (b) 周向电位的对称性

图6 不同阳极通电时半径为20 cm圆周上的电位分布

从以上分析可以看出:①不同半径的各个圆周上均存在电位极正值和极负值,分别出现在极角为 0° 和 180° 的位置,即各圆周上的近阳极点和远阳极点;②在同一条圆周上,阴极保护电位以近阳极点的极负值为起点,分别沿顺时针和逆时针方向的2条半圆弧逐渐变正,直到远阳极点处达到电位的极正值;③关于极轴对称的2条半圆弧上对应测点的电位值仍然以极轴为对称轴呈现对称分布。

3.3 径向电位分布

罐底中心与阳极中心在地表投影的连线(即 x

轴)比较特殊,贯穿了靠近阳极和远离阳极的 2 个半圆面,不但包含了整个罐底平面上电位最正和最负的点,而且包含了每个圆周上的电位极值点,是整个罐底电位梯度最大的一条直径。图 7 记录了 4 支阳极分别通电时 x 轴上的阴极保护电位分布情况。

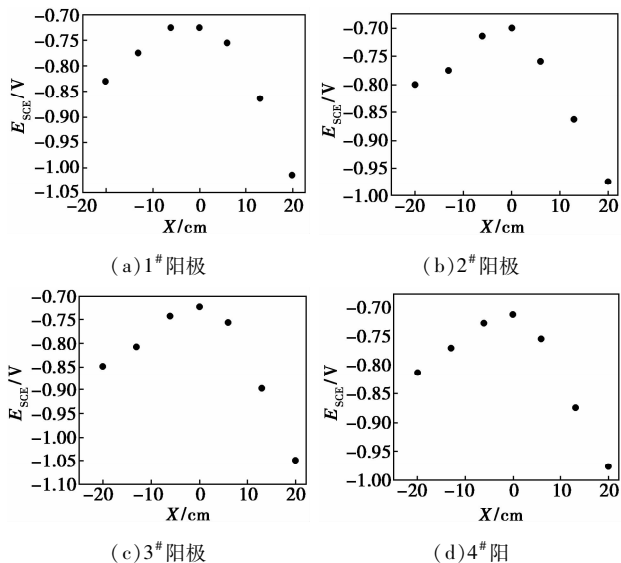


图 7 4 支阳极分别通电时 x 轴上的电位分布

从图 7 可以看出,以上 4 种情况曲线形状相似,具有较好的重复性,并呈现以下规律。

(1) x 轴上的阴极保护电位极正值出现中心点,随着半径的增加,电位值逐渐变负,并在模拟罐底板边缘达到极负值,出现“边缘效应”。

(2) y 轴可将罐底板分成 2 个对称的半圆面,将靠近阳极的部分称为“近阳极面”,远离一侧称为“远阳极面”。近阳极面上电位梯度远大于远阳极面上的电位梯度;也就是说近阳极面的不均匀性较远阳极面更为严重。

4 结论

采用室内模拟试验研究了实际生产中广泛采用的罐旁深井阳极下罐底外侧的阴极保护电位分布规律。整个罐底外侧阴极保护电位存在最正值和最负值,分别出现在罐底中心点和近阳极点;在不同半径的圆周上,以出现极负值的近阳极点为起点,电位沿逆时针和顺时针 2 条半圆弧逐渐变正,在远阳极点汇合并达到极正值,且 2 条半圆弧上相对于极轴对称的点的电位近似相等,也呈现轴对称分布;以最正值为中心,随着半径的增加,电位值变负,并在模拟罐底板边缘达到极负值。

参考文献

- [1] 高琳萍. 油罐底部边缘板的腐蚀与防护[J]. 石油工程建设, 1999, 8(4): 21-25.
- [2] Garrity K C, Urbas M. Cathodic protection of external tank bottoms [J]. Materials Performance, 1988, 27(4): 32-35.
- [3] David H Park. Cathodic protection of aboveground tanks bottoms with secondary containment lines [J]. Material Performance, 1991, 30(4): 12-23.
- [4] Stephen F, Mcjones. Retrofitting hot service storage tanks with double bottoms and improved cathodic protection [J]. Material Performance, 1992, 31(5): 45-60.
- [5] Rials, S R, Kiefer J H. Evaluation of corrosion prevention methods for aboveground storage tank bottoms [J]. Material Performance, 1993, 32(1): 36-41.
- [6] 林荣芳. 区域性阴极保护的综合技术研究 [D]. 天津: 天津大学, 2005.
- [7] 李相怡, 翁永基. 金属储罐底板外侧阴极保护电位分布的解析算法 [J]. 石油学报, 1998, 19(3): 98-114. ■

赢创全新的液态附着力树脂可降低涂料中 VOC 含量

赢创工业集团最新推出用于涂料配方中的附着力树脂 TEGO® AddBond LP 1600 和 LP 1611。该产品具有优异的流动性能,并适宜与食品接触。这两种附着力树脂在降低粘度的同时不会提高涂料的挥发性有机化合物含量(VOC),适用于高固含配方。此外,其活性物含量高达 100%,可减少储存和运输成本。

液态的 TEGO® AddBond LP 辅助树脂是一种聚酯树脂,因应现有涂料体系设计,特别为高固含体系开发(例如双组分聚氨酯体系、双组分环氧树脂体系、烤漆或醇酸配方)。该树脂尤其适用于在开放环境中作业的工业产品,包括大型车辆、船舶和一般工业机械。以上应用

中,长效性、耐候性和耐化学性最受关注。此外,Add-Bond LP 类树脂还通过了 FDA 175.300 认证,适宜与食品接触。TEGO® AddBond LP 1600 和 LP 1611 达到了瑞士生活消费品法规条例(Swiss A)中对包装领域印刷油墨规定的要求。这两种树脂不属于危险品,能够安全处理。

TEGO® AddBond LP 1600 和 TEGO® AddBond LP 1611 的区别在于它们的固有黏度不同,LP 1611 的黏度比 LP 1600 稍高,但对最终体系的硬度影响较低,所以对表面的机械性能影响也较小。与 LP 1611 相比,LP 1600 的黏度较低,因此能降低更多的 VOC 含量。(施嘉)