浅谈阴极保护法解决储罐腐蚀问题

王巍

(大庆石化公司，黑龙江省大庆市，邮编 163711)

摘　要　随着阴极保护技术及相关科学技术的发展，钢制储罐的腐蚀控制已较为成熟，许多应用实例表明，阴极保护技术是控制钢制储罐罐底板外壁腐蚀的行之有效的方法。对新建的三千立汽油储罐实施阴极保护,本文主要介绍了阴极保护基本原理及常用方法、储罐罐底板外壁牺牲阳极阴极保护具体施工内容及注意事项等情况。

关键词　阴极保护　保护电位 储罐 腐蚀

一、概况：

炼油厂现有 50 个罐区共有储罐 600 台，多数为六、七十年代投用至今，近年已有十多台储罐发生过腐蚀泄漏。储罐腐蚀泄漏主要发生在罐底内壁、罐底外壁及罐壁外侧距罐底一米范围内。2003 年对有代表性的 4 台六十年代投用储罐进行了较先进的声发射检测，结果是两台罐底腐蚀严重、另两台罐底腐蚀较严重，此类型储罐较多，如果腐蚀防护问题解决不好，将对安全生产造成威胁。

我厂储罐以往普遍采用涂料防腐。由于涂层本身有微孔，老化后又易出现龟裂、剥离等现象，再若施工质量不良，产生针孔，这样裸露的金属形成小阳极，涂层部分成为大阴极而产生局部腐蚀电池，进而使漆膜破坏得更快。露天钢制储罐的罐底基础一般是沥青砂，由于储罐内介质液位的变化（空载或满载）造成储罐底板各部位的压力差，使基础沥青砂产生不同的压实度形成氧浓差电池而可能引起底板外壁的腐蚀。另外，罐内介质液位的变化和因季节改变使土壤温度变化，不可避免地使沥青砂产生裂缝，地下水则沿着裂缝上升至底板外壁处也会造成腐蚀。储罐罐底外壁的腐蚀形态因各罐而异，一般以孔蚀为主，也会由于焊接应力造成局部的应力腐蚀或焊缝部位的局部腐蚀。加之，储罐内侵蚀性介质的腐蚀，底板常会过早损坏。储罐底板因腐蚀而产生穿孔的年限，一般是 7 至 15 年的。腐蚀情况相当严重，其后果不仅造成产品介质的损失，维修费用增加，影响生产的连续性；而且，碳氢污染物很难清除，可能会长期滞留，造成其附近地下水污染。因此，环境污染问题需特别给以重视，造成的损失和危害是十分惊人的，因此解决储罐的腐蚀问题已迫在眉睫。

目前新建储罐防腐中玻璃鳞片树脂、富锌漆、纳米漆的应用减缓了腐蚀，如能结合其它防腐方法效果会更好。随着阴极保护技术及相关科学技术的发展，钢制储罐的腐蚀控制已较为成熟，许多应用实例表明，阴极保护技术是控制钢制储罐罐底板外壁腐蚀的行之有效的方法。我国目前已广泛采用涂料与阴极保护联合防腐。

二、阴极保护基本原理及常用方法

阴极保护是一种控制钢质储罐和管道腐蚀科学有效方法，它使裸露的金属获得了集中的电流保护，有效弥补了涂层缺陷而引起的腐蚀，这种联合有利于电流分布，降低保护电流、扩大保护距离，有效地控制局部裸露表面的腐蚀，延长涂层使用寿命，防止涂层的脱落。能大大延长储罐和管道的使用寿命。从经济上考虑，阴极保护技术成熟、安全可靠、施工费用少 是钢质储罐防腐蚀的最经济的手段之一。

从电化学腐蚀理论可知，浸于同一电介质中的两种不同电位的金属，当处于外部电接触时，就构成了腐蚀电池。高电位金属为阴极，其上发生还原反应：低电位金属为阳极，其上发生氧化反应即腐蚀过程。由于阴极与阳极之间存在着电位差，便有电流流过电池，使阳极金属不断发生腐蚀。腐蚀速度由该电流大小表征，而电流则受电极电位和

电池电阻的控制。

阴极保护是基于电化学腐蚀原理的一种防腐蚀手段。美国腐蚀工程师协会对阴极保护的定义是：通过施加外加的电动势把电极的腐蚀电位移向氧化性较低的电位而使腐蚀速率降低。目前常用的阴极保护主要方法有：

1、储罐罐底外壁的阴极保护

对于储罐罐底外壁的阴极保护，国外已有多项技术标准，如 API RP651, NACE RP0285, BS 7361 等。国内石油行业亦制订了行业标准：SY/0088—95。

标准规定：

⑴ 一般情况下，罐底板对地最小保护电位相对于饱和硫酸铜参比电极应达到-0.85V。当土壤中含有硫酸盐还原菌，且硫酸根含量大于 0.5%时，保护电位应达到-0.95V 或更负；

⑵ 罐底板与和土壤接触的参比电极之间测得阴极极化电位差不小于 100mV。此判据可用于极化的建立过程，也可以用于极化的衰减过程。

⑶ 上述判据可根据具体情况采用其中的一项或全部。

用于储罐罐底外壁的阴极保护有牺牲阳极法和外加电流法两种方式，视现场实际情况选择。

2、牺牲阳极法阴极保护

对于直径小，即底板面积较小的，防护涂层质量良好的储罐，在其周围土壤电阻率低时（一般低于 200Ω·m）可选用牺牲阳极法阴极保护。

新建储罐时，将棒状牺牲阳极均匀水平安装于罐底板下面。对于已建好的旧罐，为安装方便起见，可将阳极布置安装在罐的四周，尽量均匀分布，以求保护电流的分布均匀。棒状牺牲阳极可采用水平式或垂直式埋设。阳极材料可选用镁阳极或锌阳极。

3、加电流法阴极保护

对于直径较大或使用多年的旧储罐，需要保护电流较大的底板则采用外加电流法阴极保护是适宜的。对于底板面积较大的储罐，辅助阳极的布置形式不同，其保护效果各不相同，辅助阳极的位置对底板中心部分的保护水平起着至关重要的作用。

通常阳极布置的方式有以下几种：

⑴ 储罐周围垂直或水平布置阳极（图 1）；

⑵ 储罐罐底下面水平布置阳极（图 2）；

⑶ 在储罐旁边设置深井阳极（图 3）；

⑷ 用倾斜式钻孔技术（倾斜角 35° ∽ 45°）把阳极布置在罐底下部深达 7.6 ∽ 10.7m 处(图 4)。

上述四种阳极布置方式各有优缺点，选用何种布置方式取决于被保护储罐底板的面积大小、现场实际情况、经济因素、运行要求以及设计因素。需要指出的是，第 4 种倾斜式钻孔深埋阳极可使直径较大的储罐整个的罐底电流均匀分布，并提高中心部位的保护水平，保护效果最佳。

当相邻几个储罐均需阴极保护时（罐群）则可将几个储罐连为一体，共同实施阴极保护，此时辅助阳极的布置见图 5。

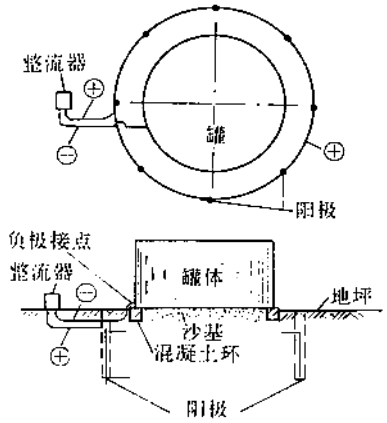


图 1 罐周立式阳极

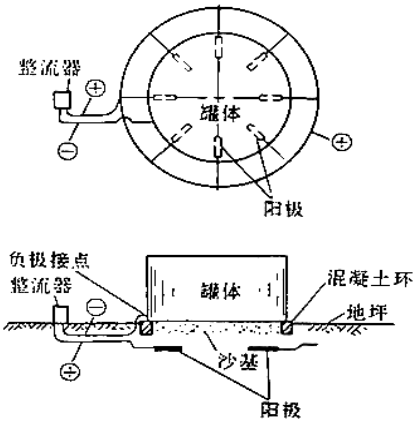


图 2. 罐底水平式阳极

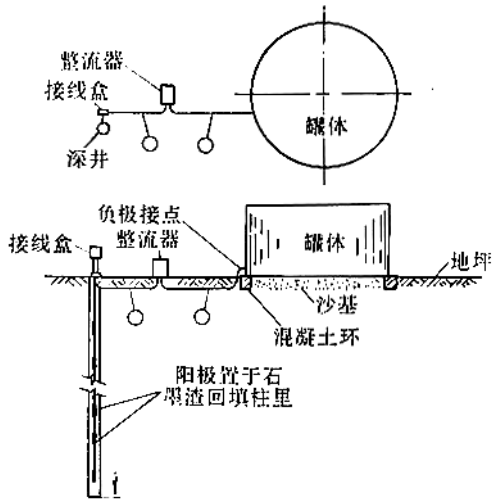


图 3 罐旁深井阳极

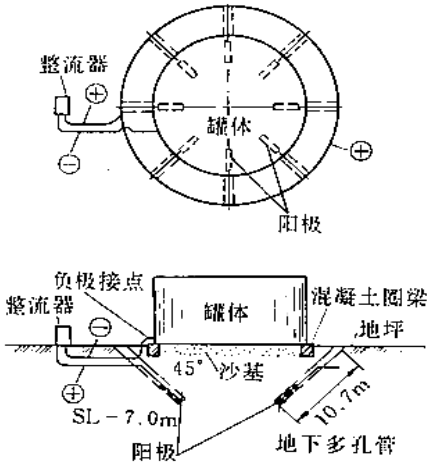


图 4. 罐底斜角式阳极

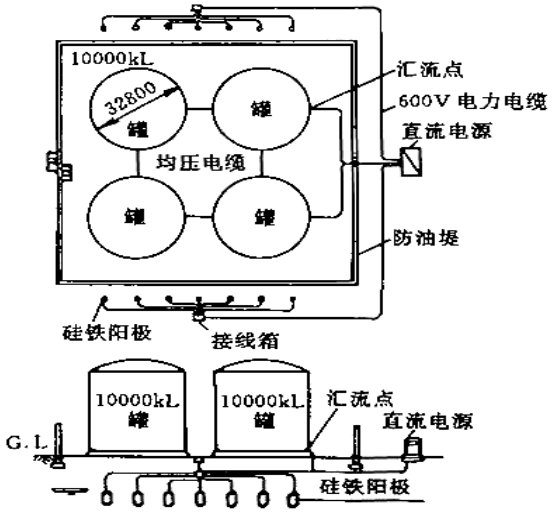


图 5. 罐群阳极的分布

三、储罐罐底外壁保护电位的测量　　储罐罐底外壁的阴极保护系统投入

运行后，需对底板外壁保护效果进行测量，以评价是否达到阴极保护指标：-0.85V 以负（相对于饱和硫酸铜电极）。

对于新建储罐可预埋参比电极，安装方式有两种：

1、将数个永久性参比电极沿着半径方向设置在底板下面，将其电缆引线引至罐周围的测试箱接线板上（图 8），可方便地测出罐底的电位分布。

2、将一根带孔的聚氯乙烯（ＰＶＣ）管，或者纤维增强塑料（ＦＲＰ）管预埋在储罐底板下（图 9），使参比电极在管内移动，也可测出罐底电位分布，特别是罐底板中心部位的电位。

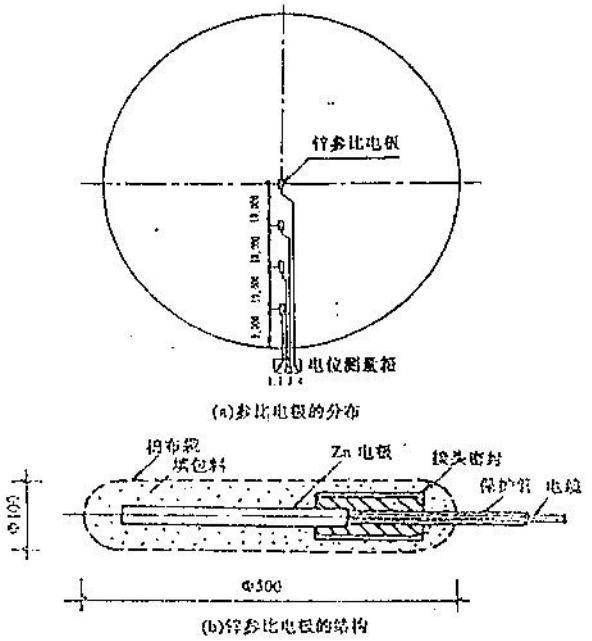


图 8 罐底锌参比电极的结构和布置

对于已有的储罐，罐底电位分布的测量比较困难，但并非没有可能，如同新罐预埋参比电极方式 2，采用定向钻法从罐底周边向中心钻孔，将带孔的ＰＶＣ管或ＦＲＰ管安装在钻孔内（图 9），安装完毕后，将参比电极从周边逐步移到罐底中心处，即可测量罐周至罐底中心之间的电位分布，获得罐底中心保护水平的准确数据。

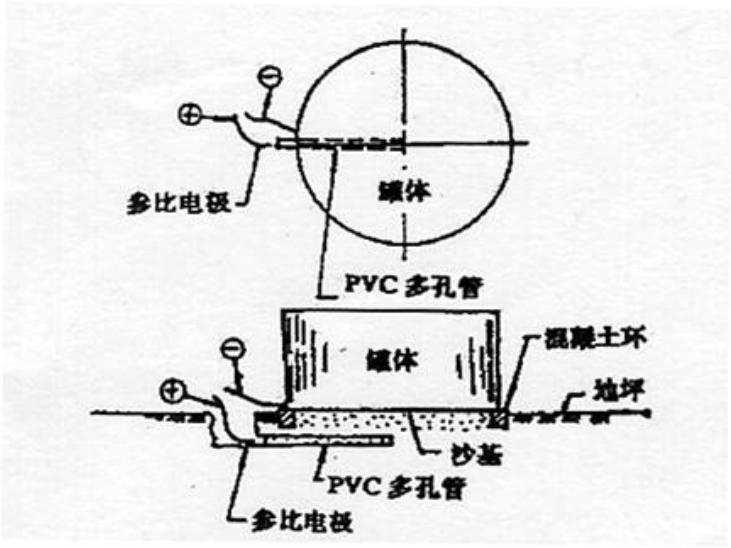


图 9. 罐底多孔的参比电极管

当由于某些原因不能按上述方法进行实际测量时,可以根据经验以测量储罐周边的保护电位来判断。根据国外资料报道，一个直径 36.6m 的储罐底板在阴极保护时,中心处的电位比罐周边的电位正 300mV 左右,这样对于直径等于或小于 36.6m 的储罐，可由测出的罐周边电位推算出罐中心的电位。英国规范（BSI CP 1021）和我国石油行业规范（SY/T 0088-95）规定了在罐周测量电位要求为-1.1V∽-1.2V 的指标。

3、注意事项

⑴ 罐体与外界电绝缘

实现储罐罐底外壁阴极保护应当将被保护的储罐和与其相连的所有进、出管道进行电绝缘，以免保护电流流失到其他不保护的设备上去。可采用绝缘法兰或埋地型绝缘接头。为防止强电冲击发生电火花事故，通常要对绝缘法兰和绝缘接头采取必要的防护措施，如二极管保护器、避雷器保护及锌接地电池，视具体情况选择。其中锌接地电池对已使用阴极保护技术的储罐更为有利。

⑵ 电的连续性

当一群储罐及与其相连接的管道同时进行阴极保护时，应具备良好的电连续性，凡是采用法兰连接的均应焊接跨接导线，罐与罐体之间也应焊接跨接导线或钢条，以有利于电流均匀分布。

⑶ 接地极问题

通常为了避雷和消除静电，储罐均设有接地装置，传统上采用铜材或镀锌钢等材料制作，由于接地材料与储罐的材质不一致，在一定条件下会形成电偶腐蚀电池，储罐因是碳钢制作，此时电位偏负，成为阳极，则被腐蚀。将储罐罐底外壁进行阴极保护时，虽可减轻这种腐蚀，但消耗电流太大，造成浪费，所以必须改造传统的接地极。建议采用锌或镁材质的接地极，结构如图 10 所示。

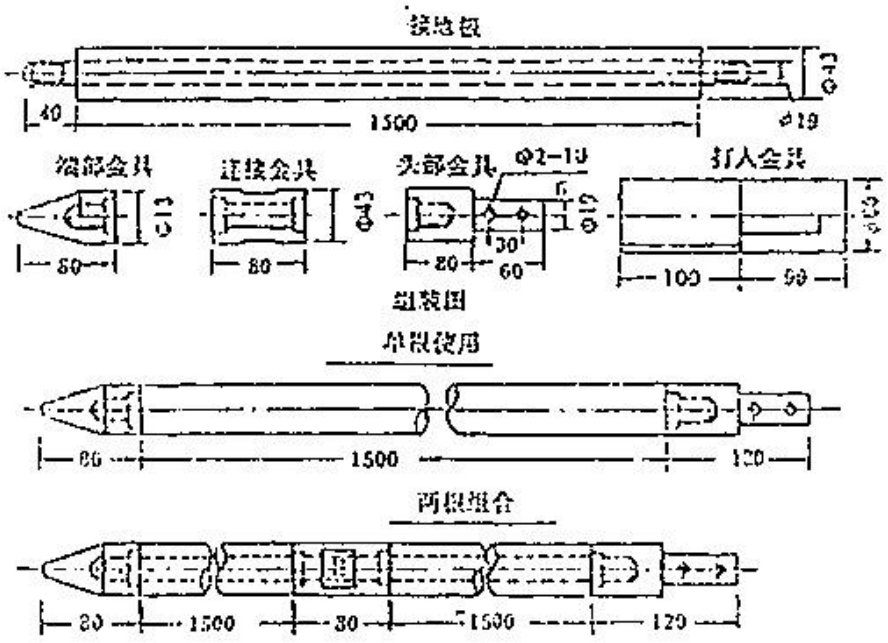


图 10.新型的锌接地极

⑷ 安全问题

对于油气等易燃易爆介质储罐，在阴极保护系统设计中，及其施工期间应遵循有关危险区的安全规程。

此外，阴极保护系统的设计必须把邻近埋地金属构筑物的干扰降至最低程度（如可能有的各种管道及通讯、电力电缆等）。

四、我车间储罐罐底板外壁牺牲阳极阴极保护项目具体工作及注意事项

输转车间 55#罐容积为 3000m^3，储罐储存介质为汽油、直径 16250mm，罐高 14320mm，罐底阴极保护面积 207.3m^3。

1、阴极保护具体工作：采用的牺牲阳极为镁合金阳极，阳极型号为 HFMA，单只重

量 14.5Kg。共 42 只。阳极沿罐周均匀分布，平均分成 6 组，每组 7 只。镁阳极埋设方式为水平式并垂直于罐壁，埋设深度 2.2 米、阳极间距 1.5 米、阳极电缆埋设深度 1.8 米。

2、阴极保护测量调试：电化学参数测量包括土壤电阻率、牺牲阳极（42 支）安装过程中的测量和牺牲阳极阴极保护系统投入运行后效果测量。主要测量各支镁阳极的开路电位、接地电阻及罐底板的自腐蚀电位和保护电位的变化。

输转车间 55#储罐罐底板外壁阴极保护，罐底板周边保护电位测量记录见表 3、55#储罐电化学参数测量结果见表 4、 镁阳极安装测试记录见表 5

表 3. 55#储罐储罐罐底板外壁阴极保护罐底板周边保护电位测量记录

测点 / 日期	保护电位（vs.Cu/饱和 $CuSO_4$ 电极）,V			
	测试桩 1#	测试桩 2#	测试桩 3#	测试桩 4#
2005.11.20	-1.141	-1.172	-1.142	-1.161
2005.11.28	-1.128	-1.156	-1.128	-1.169
2005.12.1	-1.126	-1.167	-1.125	-1.153

表 4. 55#储罐电化学参数测量结果（2005 年 10 月 16 日）

罐体编号	自腐蚀电位，V（vs.Cu/$CuSO_4$）	接地电阻 Ω	土壤电阻率（深 2.5m）Ω×m	备注
55#	-0.488	0.42	15.70	储罐南侧空地测量
55#	-0.448	0.44	11.78	储罐南侧草地测量
55#			15.07	阳极地床沟内测量
平均值	-0.470	0.43	15.5	

表 5. 镁阳极安装测试记录

日期	阳极开路电位 V	阳极接地电阻Ω	备注
2005 年 10 月 16 日	-1.584	6.9	第 2 组
2005 年 10 月 16 日	-1.579	7.0	第 2 组
2005 年 10 月 16 日	-1.586	6.9	第 2 组
2005 年 10 月 19 日	-1.572	7.5	第 6 组
2005 年 10 月 19 日	-1.553	7.8	第 6 组
2005 年 10 月 19 日	-1.546	7.3	第 6 组
2005 年 10 月 20 日	-1.543	8.0	第 4 组
2005 年 10 月 20 日	-1.557	8.1	第 4 组
2005 年 10 月 20 日	-1.586	7.7	第 4 组

3、阴极保护罐底板外壁牺牲阳极阴极保护运行和维护：

⑴ 系统投入运行 3-6 个月后进行初始检测，以验证系统是否达到或满足阴极保护判据，而后可 1-2 月检测一次。

⑵ 罐安装了 4 个测试桩，可在测试桩处进行罐底板外壁保护电位的测量。

⑶ 按照 SY/T0088-95《钢制储罐罐底外壁阴极保护技术标准》规范要求，罐底板外壁各处的最小保护电位应达到-0.85V，或罐周的保护电位达到-1.10～-1.15V。

⑷ 牺牲阳极投入运行后，应定期进行检测和维护，至少每半年一次。如干燥季节时，应在牺牲阳极埋设处及参比电极安装处适当浇水润湿。

⑸ 由于测试桩位于厂区户外，大气污染较严重，应定期检查维护测试桩。主要检查接线板的接线柱和接线片固定是否牢固、

是否腐蚀生锈，如果有锈蚀产物，应用砂纸将其打磨除去，否则将影响电位测量。

⑹ 2007 年 6 月因 55#储罐安装雷达液位计，刷罐后进入罐内对防腐涂料进行检查，目测防腐层坚固有光泽无脱落、开裂等现象，效果理想。

五、经济效益与社会效益

我公司特别是炼油老区大部分储罐腐蚀较严重，我车间储罐多数为六、七十年代建成投用，基本上每年都要进行罐整体更新、罐底板更新、储罐防腐等项目施工。如在施工中将涂料防腐和阴极保护两种方法相结合，可以完全控制腐蚀的蔓延，为企业创造效益。

举例分析：一台五千立储罐如果每 15 年要进行二次刷罐、二次防腐。刷罐人工费、罐底污油损失、防腐涂料、施工费等用共需费用 30 万元左右，而阴极保护总费用为 15 万元左右，保护期限为 30 年。如采用，每台储罐可节省 15 万元，按车间有 50 台同类储罐计算，可节省 15×30＝450 万元，还未包括储罐腐蚀泄漏跑油及引起着火等事故造成的各类损失及影响，经济效益和社会效益可观。

六、结束语

工业发达国家十分关注储罐罐底外壁的阴极保护技术，因为这一技术是解决储罐罐底外壁腐蚀最经济有效的措施。

我国改革开放以来国民经济突飞猛进的发展，石油、石油化工业等都有很大发展，储罐数量逐年增加。阴极保护技术成熟、安全可靠、施工简单、检测方便、施工费用少，配合防腐涂层的保护，可以完全控制腐蚀的蔓延，是钢质储罐防腐蚀的最经济的手段之一。为此，应大力宣传、推广应用阴极保护技术，让阴极保护技术为企业创造更大的经济效益。

参考文献：

1、李征西、徐思文：油品储运设计手册，石油工业出版社，1997。