



## 储罐底板外侧的阴极保护

冯洪臣

黄骅市科普防腐材料有限公司

摘要

对于大型储罐施加阴极保护，如何使电流分布均匀以及如何测量保护电位，一直是一个难题。在API 651中明确提出，“在罐周边测得的电位不能代表储罐底板中心部位的保护状况，罐中心的电位可能会比罐周边的电位高的多”。经验也表明，将阳极均布在储罐周围(距罐周边3 - 10米)或在储罐附近安装一个或多个深井阳极地床，常常不能使储罐中心部位得到保护。下面就国外类似工程实例及其存在的问题进行介绍，希望能从中吸取一些经验教训。

### 工程实例<sup>(参考文献4)</sup>

#### 一.旧的深井及短斜井阴极保护系统：

某原油中转站的12个地上原油储罐，直径为59 85米，最初的阴极保护系统是每个储罐安装2个深井(40米)阳极地床，地床对称布置在储罐两侧。每三个储罐共用一个整流电源。6年后，对阴极保护系统进行改造，在罐周围补加阳极床，阳极井与地面夹角30°，沿储罐周边均布，并延伸到储罐底部10米。阳极是由预填包的石墨阳极组成，石墨阳极的直径76mm，长度，152cm，装在直径20cm，长203cm的钢筒内，将钢筒安装在斜向钻入的孔中。地床数量见下表：

储罐直径 m	阳极床数量
59	15
65	18
70	18
85	21

该系统正常运行后，测量储罐底板中心的保护电位，发现电位值达不到NACE标准要求。以后，在对储罐底板进行喷沙除锈时，罐底板被打穿。分析从储罐底板上切割下来的试块发现，储罐底板受到腐蚀。为此，安装了新的阴极保护系统。

#### 二.新的斜井阴极保护系统：

新的阴极保护系统采用斜井阳极，并在储罐下部安装了电位测量管，每隔1.5米测量一次罐/地电位。

##### 1. 电位测量系统，

该电位测量PVC塑料管直径为50mm，自距罐周边3 m处延伸到罐中心，水平安装在储罐底板下面约1 m处。85m直径的储罐安装4根(夹角90°)，其他储罐下面安装3根(夹角120°)。沿塑料管表面每隔15 cm交错钻了6 mm的孔。

黄骅市科普防腐材料有限公司(廊坊)

河北省廊坊市和平路文体中心

电话(Tel)：0316-2235133; 13903168421 传真(Fax)：0316-2232326

Home page: [www.Corrstop.com](http://www.Corrstop.com)

e-mail: [hcfeng@CorrStop.Com](mailto:hcfeng@CorrStop.Com)



## 2. 斜井阳极地床，

### 1). 地床的设计，

设计电流密度 $32\text{mA}/\text{m}^2$ ，斜井直径 $15\text{cm}$ ，与地面夹角 $45^\circ$ ， $85\text{m}$ 直径储罐安装4个斜井地床，夹角 $90^\circ$ ，其他储罐安装3个斜井地床，夹角 $120^\circ$ 。阳极为筒状混合金属氧化物阳极，直径为 $16\text{mm}$ ，长度为 $1.0\text{m}$ ，几根阳极串联在一根专用的NO 5.AWG电缆上。填料为改性石油焦炭，并添加了石墨润滑剂。其比重为 $2.0$ ，炭含量为 $99\%$ ， $92\%$ 颗粒可以通过NO.28筛。

设计数据一览表

储罐直径 m	底板表面积 $\text{m}^2$	设计电流 A	每个斜井阳极数量	斜井数量	斜井长 m
59	2774	89.6	6	3	46
65	4279	105.9	7	3	49
70	3893	125.7	9	3	54
85	5710	184.8	9	4	64

### 2). 地床的安装，

在距储罐周边 $3 - 5\text{m}$ 处用定向钻沿与水平面成 $45^\circ$ 方向钻向储罐中心，到达设计深度后，放入配重块。配重块由一段填充了混凝土的长 $25\text{cm}$ ，直径 $11\text{cm}$ 的塑料管制成，配重块上预留了吊环，用来固定系有阳极的尼龙绳。在配重块上伸出一段直径 $25\text{mm}$ 的PVC塑料管，用来连接直径为 $25\text{mm}$ 的排气管。在排气管上制作了宽度 $0.152\text{mm}$ 的缝隙。每根阳极都有一个金属定位环。拉紧系有阳极的尼龙绳，将注料管伸入井中，注入填料至距最上部阳极约 $5\text{m}$ ，最后填上粗沙。

## 3. 储罐电位测量及分析，

由于地下水位比较高，测量用塑料管中已经充满水，因此，无需另外注水。在每个整流电源回路中串联了电路通断器，以 $10\text{秒通}$ ， $5\text{秒断}$ 周期循环，将有防水装置的饱和硫酸铜参比电极插入测量管中，用高阻电压表每隔 $1.5\text{m}$ 测量一次通电电位和断电电位。

### 1). (2504号储罐)电位测量结果见表一，

该罐直径 $59\text{m}$ ，通过对测量结果进行分析发现，当储罐受两个深井阳极和延伸到储罐底部 $10\text{m}$ 的阳极地床保护时(旧系统)，平均电流密度 $13.5\text{mA}/\text{m}^2$ ，只有在距离罐壁 $21.5\text{m}$ 的范围内达到了 $-0.85\text{V}$ 的电位要求，自该点到储罐中心，电位迅速衰减，储罐中心处几乎没有外加电流。采用新的斜井地床，平均电流密度为 $12.9\text{mA}/\text{m}^2$ ，从罐壁到储罐中心，除了 $15\text{m}$ 处一点电位高于 $-0.85\text{V}$ ，其余各点电位均低于 $-0.85\text{V}$ 。在进行该测量时，罐储量仅为 $9.6\%$ ，电位高于 $-0.85\text{V}$ 可能是部分罐底板翘起所致。



结构对地电位(储罐 2504 号) 表一

参比电极距罐壁 m	旧阴极保护系统	斜井阳极阴极保护系统	
	通电电位 -mV	通电电位 -mV	断电电位 -mV
罐周边	1348	1652	1296
1.5	1360	1515	1240
3.0	1230	1330	1130
4.6	1171	1246	1121
6.1	1190	1223	1120
7.6	1584	1201	1108
9.1	1528	1102	1019
10.7	1185	1042	964
12.2	1368	954	880
13.7	1268	893	822
15.3	1478	1092	997
16.8	1065	1205	1097
18.3	1251	1108	998
19.8	1306	1112	998
21.3	730	1244	1108
22.7	600	1255	1108
24.4	520	1262	1110
25.9	445	1261	1107
27.4	390	1255	1102
29	363	1254	1101
30.5	325	1247	1094
32	260	1241	1090
33.5	107	1240	1085

2). (2502 号储罐) 电位测量结果见表二，

该罐直径59m，在采用旧的阴极保护系统时，平均电流密度 $7.6\text{mA}/\text{m}^2$ ，离罐壁16m的范围内，电位低于  $-0.85\text{V}$ ，且罐中心也得到了一定程度的保护。采用了新的斜井地床后，平均电流密度 $15.4\text{mA}/\text{m}^2$ ，此时储罐储量为48.6%，所测各点通/断电电位均低于 $-0.85\text{V}$ 。采用旧系统时，所用电流仅为新系统的49%，说明电流分布很不均匀。

黄骅市科普防腐材料有限公司（廊坊）

河北省廊坊市和平路文体中心

电话(Tel)：0316-2235133; 13903168421 传真(Fax)：0316-2232326

Home page: [www.Corrstop.com](http://www.Corrstop.com)

e-mail: [hcfeng@CorrStop.Com](mailto:hcfeng@CorrStop.Com)



结构对地电位(储罐 2502 号) 表二

参比电极距罐壁 m	旧阴极保护系统	斜井阳极阴极保护系统	
	通电电位 -mV	通电电位 -mV	断电电位 -mV
罐周边	1761	2618	1855
1.5	1597	2120	1856
3.0	1409	1683	1333
4.6	1310	1418	1188
6.1	1288	1250	1085
7.6	1319	1179	1041
9.1	1324	1163	1030
10.7	1289	1183	1046
12.2	1262	1143	1055
13.7	1160	1163	1010
15.3	895	1152	1005
16.8	701	1236	1086
18.6	580	1227	1076
19.8	520	1152	1001
21.3	474	1195	1039
22.7	782	1120	962
24.4	771	1064	914
25.9	630	1003	862
27.4	842	991	851
29	709	1013	866
30.5	566	1111	958
32	620	1164	1015
33.5	774	1091	944

3). (3001 号储罐) 电位测量结果见表三，

该罐直径65m, 此时储罐储量为100%, 旧系统工作时, 平均电流密度 $9.7\text{mA}/\text{m}^2$ , 只有在距罐壁11.5m范围内, 电位低于  $-0.85\text{V}$ , 采用了新系统后, 平均电流密度为 $12\text{mA}/\text{m}^2$ , 在各点测到的断电电位均低于 $-1.0\text{V}$ , 此时储罐液位为61%。即便平均保护电流密度降低到 $10.76\text{mA}/\text{m}^2$ , 仍能使整个储罐底板得到保护, 且电流分布均匀。

黄骅市科普防腐材料有限公司 (廊坊)

河北省廊坊市和平路文体中心

电话(Tel) : 0316-2235133; 13903168421 传真(Fax) : 0316-2232326

Home page: [www.Corrstop.com](http://www.Corrstop.com)

e-mail: [hcfeng@CorrStop.Com](mailto:hcfeng@CorrStop.Com)



结构对地电位(储罐 3001 号,) 表三

参比电极距罐壁 m	旧阴极保护系统	斜井阳极阴极保护系统	
	通电电位 -mV	通电电位 -mV	断电电位 -mV
罐周边	2234	2111	1571
1.5	2031	1851	1450
3.0	1909	1562	1304
4.6	1804	1450	1250
6.1	1577	1390	1216
7.6	1405	1360	1201
9.1	1085	1272	1129
10.7	868	1202	1063
12.2	740	1266	1116
13.7	961	1312	1152
15.3	780	1237	1076
16.8	741	1324	1150
18.3	645	1324	1152
19.8	713	1284	1104
21.3	647	1345	1146
22.7	648	1274	1067
24.4	592	1419	1183
25.9	736	1417	1176
27.4	736	1425	1174
29	688	1421	1156
30.5	628	1433	1145
32	645	1419	1127

4). (3604 号储罐) 电位测量结果见表四,

该罐直径70m, 外加电流密度 $3.98\text{mA}/\text{m}^2$ 。储量为97%时, 距罐壁33.5m范围内, 通电电位低于  $-0.85\text{V}$ 。采用新的斜井阳极系统, 平均电流密度 $10.87\text{mA}/\text{m}^2$ , 各点通电电位均低于 $-1.0\text{V}$ 。距罐壁33m内, 断电电位均低于  $-0.85\text{V}$ , 自33m至罐中心, 断电电位低于  $-0.76\text{V}$ 。

黄骅市科普防腐材料有限公司(廊坊)

河北省廊坊市和平路文体中心

电话(Tel): 0316-2235133; 13903168421 传真(Fax): 0316-2232326

Home page: [www.Corrstop.com](http://www.Corrstop.com)

e-mail: [hcfeng@CorrStop.Com](mailto:hcfeng@CorrStop.Com)



结构对地电位(储罐 3604 号) 表四

参比电极距罐壁 m	旧阴极保护系统	斜井阳极阴极保护系统	
	通电电位 -mV	通电电位 -mV	断电电位 -mV
罐周边	1919	1888	1568
1.5	1881	1792	1491
3.0	1782	1560	1343
4.6	1670	1450	1289
6.1	1660	1403	1259
7.6	1567	1400	1254
9.1	1555	1422	1256
10.7	1471	1442	1261
12.2	1410	1474	1267
13.7	1348	1500	1274
15.3	1347	1522	1272
16.8	1278	1530	1262
18.3	1235	1520	1231
19.8	1129	1484	1184
21.3	1031	1422	1115
22.7	987	1434	1040
24.4	925	1262	963
25.9	914	1213	916
27.4	904	1189	883
29	900	1182	866
30.5	886	1159	859
32	876	1147	824
33.5	850	1108	794
35.1	833	1088	781
36.6	825	1075	768

对以上测量结果分析发现，

- 罐周边电位和罐中心电位似乎没有任何关系。
- 采用钻孔的PVC塑料管可以方便的测量结构对地电位。
- 与均布在储罐周围的阳极地床以及深井阳极地床相比，斜井阳极电流分布更为均匀，且罐中心也能得到较好的保护。

黄骅市科普防腐材料有限公司（廊坊）

河北省廊坊市和平路文体中心

电话(Tel)：0316-2235133; 13903168421 传真(Fax)：0316-2232326

Home page: [www.Corrstop.com](http://www.Corrstop.com)

e-mail: [hcfeng@CorrStop.Com](mailto:hcfeng@CorrStop.Com)



### 电位测量中注意的问题

保护电位的测量实际是测量被保护结构和参比电极之间的电位差，并假设参比电极的电位是恒定不变的，测量值的任何变化都认为是结构电位发生了变化。但事实并不总是如此，在有些情况下，可能是参比电极的电位发生了变化而不是结构电位。对参比电极电位有影响的因素主要有以下几个：

#### 1. 温度的影响

温度对参比电极电位的影响主要有两方面，一是温度将影响参比电极电位的线性；第二，温度变化时，溶液浓度将发生变化，导致电位的变化。对于铜/硫酸铜参比电极，温度的影响约为 $0.9\text{mV}/^\circ\text{C}$ 。如一条管道在 $26^\circ\text{C}$ 测到的保护电位为 $-0.85\text{V}$ ，当温度降低到 $5^\circ\text{C}$ 时，同样的位置测到的电位只有 $-0.825\text{mV}$ 。因此，当储存加热原油时，对于埋在储罐底部的永久参比电极，应当考虑温度的影响。对于透明的便携式参比电极，阳光的直射会引起数十毫伏的电位变化，有效的方法是用黑色胶带将参比电极包起来。

#### 2. 储罐底板的翘起

温度的变化将引起储罐底板的翘起，而储罐内部的液体又将底板压回到原来的位置。由于储罐中的液位是变化的，所以，有时不能完全将底板压回到原来位置。当底板翘起时，一部分储罐底板不再与罐基础接触，从而得不到保护电流，开始去极化，仍然与罐基础接触的底板将得到较多的保护电流。当储罐再充满时，原来翘起部分与罐基础接触，又开始极化，而一直与罐基础接触的罐底板得到的保护电流将减少。如果参比电极正好处于翘起的储罐底板下面，则所测量的电位是离它较远处仍然与基础接触部位罐底板的保护电位。当储罐再充满时，储罐底板与罐基础接触时，参比电极测量的才是其上方的电位。因此，测量储罐电位时，应保持罐内液位为最高液位的 $2/3$ ，并保持一定时间，使其充分极化。

#### 3. 参比电极位置的影响

参比电极与储罐底板的距离将影响测量结果，一般来讲，可以认为参比电极测量的是：自参比电极 $90^\circ$ 扇形范围内，储罐底板的平均保护电位。参比电极距离储罐底板越远，所覆盖的罐底板面积越大，测量结果也越综合。参比电极距离储罐底板越近，测量结果越确切，同时，IR降也越小。标准的铜/硫酸铜永久参比电极是由装在塑料筒内的硫酸铜电解液和纯铜棒制成的，直径一般为 $15\text{-}20\text{cm}$ ，长度 $30\text{-}45\text{cm}$ ，装在有膨润土和石膏填料的布袋中，设计寿命一般为15年。采用填料，一是可以保持水分，防止电解液蒸发，二是保证参比电极与周围土壤良好接触。填料不能直接与储罐底板接触，其间至少应有 $5\text{-}7\text{cm}$ 的回填沙。否则，将导致局部腐蚀。阴极保护电源经常采用整流电源，如果采用恒电位仪，则控制其输出的参比电极应是处于罐底板不易翘起部位的参比电极。

---

黄骅市科普防腐材料有限公司（廊坊）

河北省廊坊市和平路文体中心

电话(Tel)：0316-2235133; 13903168421 传真(Fax)：0316-2232326

Home page: [www.Corrstop.com](http://www.Corrstop.com)

e-mail: [hcfeng@CorrStop.Com](mailto:hcfeng@CorrStop.Com)



## 结论

1. 对于储罐的阴极保护，应当与储罐同时设计，同时安装，这样，不但投资省，保护效果也会更好，尤其是近些年推出的混合金属氧化物网状阳极系统，可以使阴极保护电流非常均匀，确保储罐底板中心部位得到保护。如果对储罐接地系统进行改造，应注意相关电气设计规范的规定。
2. 对于后期补加阴极保护的大型储罐，只有斜井或在储罐底部打水平井阳极系统能对储罐底板提供较充分的保护。
3. 在进行电位测量时，要考虑温度和储罐液位对测量结果的影响，记录测量时的温度和液位，以便以后分析。
4. 只有实际测量储罐中心的保护电位，才能确切的说明储罐是否得到了充分的阴极保护。

## 参考文献：

1. API 651 “地上储罐的阴极保护”，
2. NACE RP0169 - 96 “埋地或浸水金属管网的外腐蚀控制”，
3. NACE 储罐会议论文集 1996.1，“地上储罐用参比电极”，
4. MP/July 1992，“采用斜井地床可以改善地上储罐的电流分布”  
Ralph.W.Stephens of CPS