

目录：

第一章	绪论	1
第二章	阴极保护基本原理	2
第三章	阴极保护主要参数	5
第四章	阴极保护准则	6
第五章	牺牲阳极阴极保护阳极材料	7
第六章	牺牲阳极接地电阻以及发电量计算	10
第七章	牺牲阳极的安装与维护	12
第八章	网状阳极	13
第九章	外加电流阴极保护用阳极材料	14
第十章	辅助阳极的选择及计算	16
第十一章	阴极保护参数的测量	19
第十二章	阴极保护的运行管理	21
第十三章	阴极保护中的几个屏蔽问题	26

## 第一章 绪论

### 一.防腐蚀的重要意义

自然界中，大多数金属是以化合状态存在的。通过炼制，被赋予能量，才从离子状态转变成原子状态。然而，回归自然状态是金属固有其本性。我们把金属与周围的电解质发生反应、从原子变成离子的过程称为腐蚀。

金属腐蚀广泛的存在于我们的生活中，国外统计表明，每年由于腐蚀而报废的金属材  
料，约相当于金属产量的 20~40%，全世界每年因腐蚀而损耗的金属达 1 亿吨以上，金属腐  
蚀直接和间接地造成巨大的经济损失，据有关国家统计每年由于腐蚀而造成的经济损失，美  
国为国民生产总值的 4.2%；英国为国民生产总值的 3.5%；日本为国民经济总值 1.8  
%。

### 二.防腐蚀工程发展概况

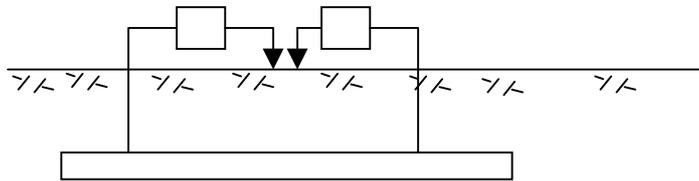
六十年代初，我国开始研究阴极保护方法，六十年代末期在船舶，闸门等钢铁构筑物上得  
到应用。

我国埋地油气管道的阴极保护始于 1958 年，六十年代在新疆、大庆、四川等油气管道  
上推广应用，目前，全国主要油气管道已全部安装了阴极保护系统，收到明显的效果。

## 第二章 阴极保护基本原理

### 一、腐蚀电位或自然电位

每种金属浸在一定的介质中都有一定的电位，称之为该金属的腐蚀电位（自然电位）。腐蚀电位可表示金属失去电子的相对难易。腐蚀电位愈负愈容易失去电子，我们称失去电子的部位为阳极区，得到电子的部位为阴极区。阳极区由于失去电子（如，铁原子失去电子而变成铁离子溶入土壤）受到腐蚀而阴极区得到电子受到保护。



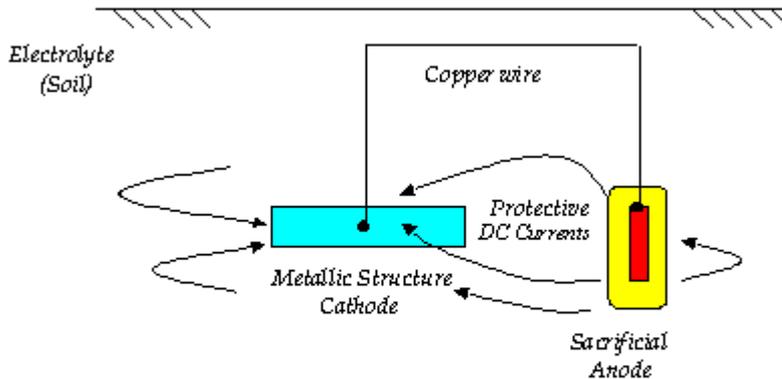
相对于饱和硫酸铜参比电极(CSE), 不同金属的在土壤中的腐蚀电位 (V)

金属	电位 (CSE)
高纯镁	-1.75
镁合金 (6% Al, 3% Zn, 0.15% Mn)	-1.60
锌	-1.10
铝合金 (5% Zn)	-1.05
纯铝	-0.80
低碳钢 (表面光亮)	-0.50 to -0.80
低碳钢 (表面锈蚀)	-0.20 to -0.50
铸铁	-0.50
混凝土中的低碳钢	-0.20
铜	-0.20

在同一电解质中，不同的金属具有不同的腐蚀电位，如轮船船体是钢，推进器是青铜制成的，铜的电位比钢高，所以电子从船体流向青铜推进器，船体受到腐蚀，青铜器得到保护。钢管的本身金属和焊缝金属由于成分不一样，两者的腐蚀电位差有时可达 0.275V，埋入地下后，电位低的部位遭受腐蚀。新旧管道连接后，由于新管道腐蚀电位低，旧管道电位高，电子从新管道流向旧管道，新管道首先腐蚀。同一种金属接触不同的电解质溶液（如土壤），或电解质的浓度、温度、气体压力、流速等条件不同，也会造成金属表面各点电位的不同。

Galvanic Anode Cathodic Protection System

| Back |



Corrosion occurs where current leaves the Sacrificial Anode.  
Electrolyte conducts the current to the cathode.  
No corrosion takes place at the cathode.

## 二、参比电极

为了对各种金属的电极电位进行比较，必须有一个公共的参比电极。饱和硫酸铜参比电极，其电极电位具有良好的重复性和稳定性，构造简单，在阴极保护领域中得到广泛采用。不同参比电极之间的电位比较：

土壤中或浸水钢铁结构最小阴极保护电位 (V)

被保护结构	相对于不同参比电极的电位			
	饱和硫酸铜参比电极	氯化银参比电极	锌参比电极	饱和甘汞参比电极
钢铁 (土壤或水中)	-0.85	-0.75	0.25	-0.778
钢铁 (硫酸盐还原菌)	-0.95	-0.85	0.15	-0.878

## 三、阴极保护

阴极保护的原理是给金属补充大量的电子，使被保护金属整体处于电子过剩的状态，使金属表面各点达到同一负电位，金属原子不容易失去电子而变成离子溶入溶液。有两种办法可以实现这一目的，即，牺牲阳极阴极保护和外加电流阴极保护。

1、牺牲阳极阴极保护是将电位更负的金属与被保护金属连接，并处于同一电解质中，

黄骅市科普防腐材料有限公司 (廊坊)

3

河北省廊坊市和平路文体中心

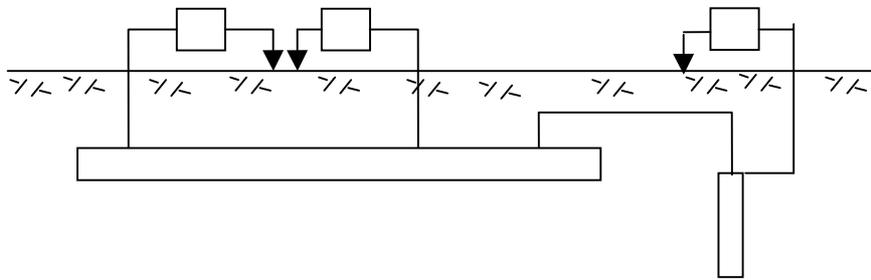
电话(Tel) : 0316-2235133; 13903168421

传真(Fax) : 0316-2232326

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

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

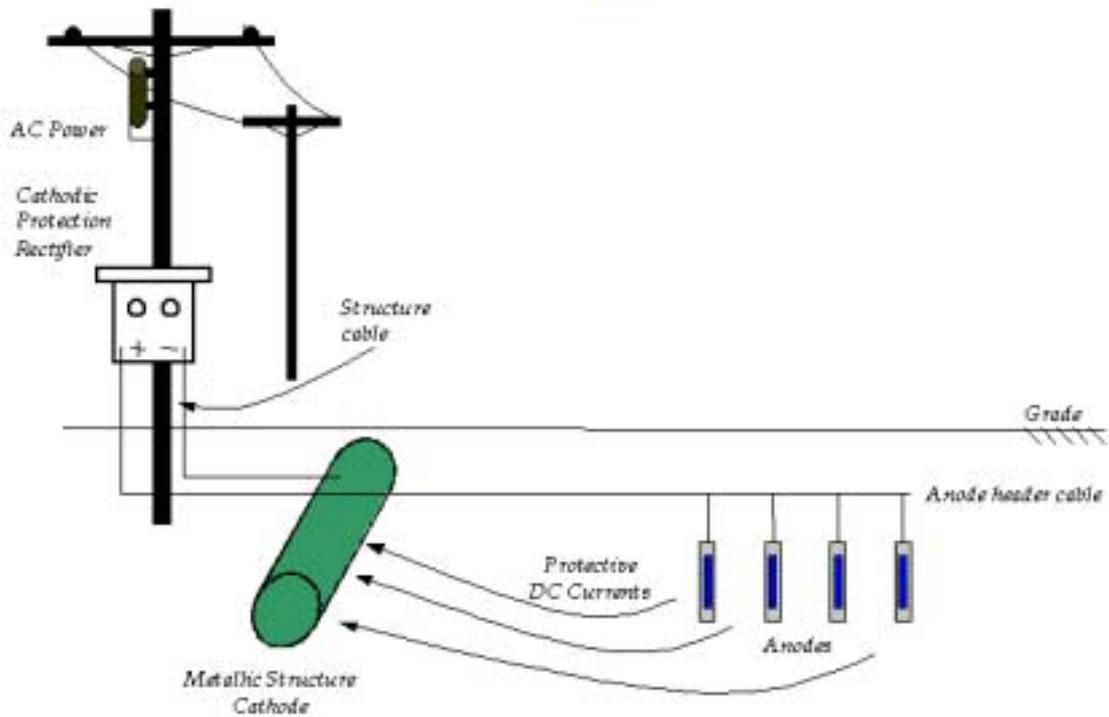
使该金属上的电子转移到被保护金属上去，使整个被保护金属处于一个较负的，相同的电位下。该方式简便易行，不需要外加电源，很少产生腐蚀干扰，广泛应用于保护小型（电流一般小于 1 安培）或处于低土壤电阻率环境下（土壤电阻率小于 100 欧姆·米）的金属结构。如，城市管网、小型储罐等。根据国内有关资料的报道，对于牺牲阳极的使用有很多失败的教训，认为牺牲阳极的使用寿命一般不会超过 3 年，最多 5 年。牺牲阳极阴极保护失败的主要原因是阳极表面生成一层不导电的硬壳，限制了阳极的电流输出。本人认为，产生该问题的主要原因是阳极成份达不到规范要求，其次是阳极所处位置土壤电阻率太高。因此，设计牺牲阳极阴极保护系统时，除了严格控制阳极成份外，一定要选择土壤电阻率低的阳极床位置。



- 2、外加电流阴极保护是通过外加直流电源以及辅助阳极，迫使电流从土壤中流向被保护金属，使被保护金属结构电位低于周围环境。该方式主要用于保护大型或处于高土壤电阻率土壤中的金属结构，如：长输埋地管道，大型罐群等。

Impressed Current Cathodic Protection System

| Back |



Impressed current systems are used for large diameter pipe, bare pipe, tank farms and structures requiring large amounts of current.

### 第三章 阴极保护主要参数

#### 1. 自然电位

自然电位是金属埋入土壤后，在无外部电流影响时的对地电位。自然电位随着金属结构的材质、表面状况和土质状况，含水量等因素不同而异，一般有涂层埋地管道的自然电位在-0.4 ~ 0.7 V CSE 之间，在雨季土壤湿润时，自然电位会偏负，一般取平均值 -0.55V。

## 2.最小保护电位

金属达到完全保护所需要的最低电位值。一般认为，金属在电解质溶液中，极化电位达到阳极区的开路电位时，就达到了完全保护。

## 3.最大保护电位

如前所述，保护电位不是愈低愈好，是有限度的，过低的保护电位会造成管道防腐层漏点处大量析出氢气，造成涂层与管道脱离，即，阴极剥离，不仅使防腐层失效，而且电能大量消耗，还可导致金属材料产生氢脆进而发生氢脆断裂，所以必须将电位控制在比析氢电位稍高的电位值，此电位称为最大保护电位，超过最大保护电位时称为“过保护”。

## 4.最小保护电流密度

使金属腐蚀下降到最低程度或停止时所需要的保护电流密度，称作最小保护电流密度，其常用单位为 mA/m<sup>2</sup> 表示。处于土壤中的裸露金属，最小保护电流密度一般取 10mA/m<sup>2</sup>。

## 5.瞬时断电电位

在断掉被保护结构的外加电源或牺牲阳极 0.2 ~ 0.5 秒中之内读取得结构对地电位。由于此时没有外加电流从介质中流向被保护结构，所以，所测电位为结构的实际极化电位，不含 IR 降（介质中的电压降）。由于在断开被保护结构阴极保护系统时，结构对地电位受电感影响，会有一个正向脉冲，所以，应选取 0.2 ~ 0.5 秒之内的电位读数。

## 第四章 阴极保护准则

为了便于实际应用，通过多年的实践与研究，得出了以下几个判断结构是否得到充分保护得判断准则。

1. NACE RP 0169 建议“在通电的情况下，埋地钢铁结构最小保护电位为-0.85V CSE 或更负，在有硫酸盐还原菌存在的情况下，最小保护电位为-0.95V CSE，该电位不含土壤中电压降（IR 降）”。实际测量时，应根据瞬时断电电位进行判断。目前流行的通电电位测量方法简便易行，但对测量中 IR 降的含量没有给予足够重视。其后果是很多认为阴极保护良好的管道发生腐蚀穿孔。这方面的教训是很多的。如：四川气田南干线，认为阴极保护良好，但实际内检测发现腐蚀深度在壁厚的 10-19% 的点多达 410 处；个别位置的点蚀深度达到 50%。进行断电电位测量发现，很多点保护电位（断电电位）没有达到-0.85V CSE。有效的方法是实际测量几点的 IR

降，保护电位按  $0.85 + IR$  降来确定。IR 降可以通过通电电位减去瞬时断电电位来获得，也可以用瞬时通电电位减去结构自然电位来获得。

2. 瞬时断电电位与自然电位之差不得小于 100mV。在有些情况下，在断开电源 0.2-0.5 秒内测量断电电位，待结构去极化后（24 或 48 小时后）再测量结构电位（自然电位），其差值应不小于 100mV。也可以用通电电位（极化后）减去瞬时通电电位来计算极化电位。
3. 最大保护电位的限制应根据覆盖层及环境确定，以不损坏覆盖层的粘结力为准，一般瞬时断电电位不得低于 -1.10V CSE。由于受旧规范的影响，很多人还认为阴极保护最大电位不能低于 -1.5V CSE。事实上这种观念是错误的，造成的危害也是巨大的。判断阴极保护电位是否过大应以断电电位为判断基础，只要断电电位不低于 -1.1V CSE（西欧为 -1.15V CSE），通电电位再大也没有关系。

## 第五章 牺牲阳极阴极保护阳极材料

一、**镁牺牲阳极**，根据形状以及电极电位的不同，镁阳极可用于电阻率在 20 欧姆·米到 100 欧姆·米的土壤或淡水环境。高电位镁阳极的电位为 1.75V CSE；低电位镁阳极的电位为 1.55V CSE。

镁阳极规格

型号	重量 Kg	牺牲阳极尺寸 mm				
		A	B	C	填包长度 D	填包袋直径 E
9D2	4.08	60.9	76.2	549.3	432	152
14D2	6.35	69.9	76.2	850.9		
20D2	9.07	69.9	76.2	1213		
9D3	4.08	88.9	95.3	352.4	432	152
17D3	7.71	88.9	95.3	641.4	483	165
32D5	14.51	139.7	146.1	504.8	762	203
48D5	21.77	139.7	146.1	765.2	450	254

镁阳极化学成分

元素	高电位阳极	AZ63B	AZ63C	AZ63D	AZ31
AL	0.01	5.30-6.70	5.30-6.70	5.0-7.0	2.5-3.3
Zn		2.50-3.50	2.50-3.50	2.0-4.0	0.6-1.4
Mn	0.5-1.3	0.15-0.70	0.15-0.70	0.15-0.70	0.20
Si	0.05	0.10	0.30	0.30	0.10
Cu	0.02	0.02	0.05	0.10	0.015

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

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

传真(Fax) : 0316-2232326

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

Ni	0.001	0.002	0.003	0.003	0.001
Fe	0.03	0.005	0.005	0.005	0.002
Other	0.05				
Impurity	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Mg	Mg	Mg	Mg	Mg	Mg

镁阳极电化学性能

阳极种类	开路电位 (-V)	理论电容量 (Ah/Kg)	电流效率 (%)
高电位镁阳极	1.70-1.75	2200	50
AZ63 镁阳极	1.50-1.55	2210	50
AZ31 镁阳极	1.57-1.67	2210	50

镁阳极消耗量计算

$$W = \frac{I \times t \times 8766}{U \times Z \times Q}$$

- I = 阳极电流输出 (Amps)  
 t = 设计寿命 (years)  
 U = 电流效率 (0.5)  
 Z = 理论电容量 (2200 Ah/kg)  
 Q = 阳极使用率 85%  
 W = 阳极重量 (Kg)

二、**锌牺牲阳极**, 锌牺牲阳极多用于土壤电阻率小于 15 欧姆.米的土壤环境或海水环境。电极电位为 1.1V CSE。温度高于 40 °C 时，锌阳极的驱动电位下降，并发生晶间腐蚀。高于 60 °C 时，它与钢铁的极性发生逆转，变成阴极受到保护，而钢铁变成阳极受到腐蚀。所以，锌阳极仅能用于温度低于 40 °C 的环境。

化学成分

AL	Cd	Fe	Cu	Pb	Si	Zn
0.3-0.6	0.05-0.12	0.005	0.005	0.006	0.125	Balance

电化学性能

项目	开路电位 V	理论电容量	电流效率
性能	-1.05 - 1.09	820A.h/Kg	90%

锌阳极消耗量计算

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

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

传真(Fax) : 0316-2232326

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

$$W = \frac{I \times t \times 8766}{U \times Z \times Q}$$

I = 阳极电流输出	(Amps)
t = 设计寿命	( years)
U = 电流效率	(0.90)
Z = 理论电容量	(827 Ah/kg)
Q = 阳极使用率	( 85% )
W= 阳极重量	(Kg)

三、**铝牺牲阳极**，大多用于海水环境金属结构或原油储罐内底板的阴极保护。其电极电位为 1.05V CSE。电容量随温度递减，可参考公式：

$$Z=2000-27(T-20), ( T \text{ 阳极工作温度 } ^\circ\text{C}).$$

铝阳极用量计算：

$$W = \frac{I \times t \times 8766}{U \times Z \times Q}$$

I = 阳极电流输出	(Amps)
t = 设计寿命	( years)
U = 电流效率	(0.95)
Z = 理论电容量	(2000Ah/kg)
Q = 阳极利用率	( 85% )
W= 阳极重量	(Kg)

#### 四、带状阳极

为了减小阳极接地电阻，有时会采用带状镁阳极或锌阳极。阳极带沿被保护结构铺设，使电流分布更加均匀。当阳极带沿管道铺设时，每隔一段距离就应该与管道连接一次。间距不应太大，因为随着阳极的消耗，截面积不断减小，阳极带电阻会逐步增大。为了减少沿阳极带的电压降，连接间隔一般不大于 305 米。如果将带状阳极直接埋到土壤或回填砂中，阳极可能会发生自身腐蚀，使用寿命缩短。带状阳极的一般规格为 19x9.5mmx305m 每卷。

#### 五、回填料

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

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

传真(Fax)：0316-2232326

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

当使用填料时，阳极的电流输出效率提高。如果将阳极直接埋入土壤，由于土壤的成分不均匀，会造成阳极自身腐蚀，从而降低阳极效率。采用填料，一是保持水分，降低阳极的接地电阻，二是使阳极表面均匀腐蚀，提高阳极利用效率。

## 第六章 牺牲阳极接地电阻以及发电量计算

### 一、阳极接地电阻

$$Ra = \left( \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \right) \cdot \left( \ln \left( \frac{4 \cdot L}{r} \right) - 1 \right)$$

Ra = 阳极接地电阻 (ohms)

$\rho$  = 土壤电阻率 (ohm-m)

L = 阳极长度 (m)

r = 阳极半径 (m)

需要指出的是，由于填料电阻率很低，阳极的长度和半径是根据填料袋尺寸来确定。

### 二、阳极驱动电位

假设被保护结构的极化电位为 -1.0V，则驱动电压  $\Delta V = V + 1.0$ 。

V = 阳极电位：

高电位镁阳极 -1.75V，低电位镁阳极 -1.55V；锌阳极电位 -1.10V。

### 三、阳极发电量计算

阳极实际发电量  $I = \Delta V / Ra$

#### 四、应用举例：

某埋地管道，长度为 13 公里，直径 159 毫米，环氧粉末防腐层，处于土壤电阻率 30 欧姆.米环境中，牺牲阳极设计寿命 15 年。计算阳极的用量。

由于土壤电阻率较高，设计采用高电位镁阳极阴极保护系统。

1. 被保护面积： $A = \pi \times D \times L$

D = 管道直径，159mm

L = 管道长度，13 x 10<sup>3</sup> m

$A = 3.14 \times 0.159 \times 13000 = 6490\text{m}^2$

2. 所需阴极保护电流： $I = A \times Cd \times E$

I = 阴极保护电流

Cd= 保护电流密度，取 10mA/m<sup>2</sup>

E = 涂层效率，98%

$I = 6490 \times 10 \times 2\% = 1298\text{mA}$

3. 根据设计寿命以及阳极电容量计算阳极用量

$$W = \frac{I \times t \times 8766}{U \times Z \times Q}$$

I = 阳极电流输出 (Amps)

t = 设计寿命 (years)

U = 电流效率 (0.5)

Z = 理论电容量 (2200 Ah/kg)

Q = 阳极使用率 85%

W = 阳极重量 (Kg)

$$W = \frac{1.298 \times 15 \times 8766}{0.5 \times 0.85 \times 2200} = 183 \text{ Kg}$$

选用 7.7 公斤镁阳极，需要 24 支。

4. 根据阳极实际发电量计算阳极用量

$$Ra = \left( \frac{\rho}{2 \cdot \pi \cdot L} \right) \cdot \left( \ln \left( \frac{4 \cdot L}{r} \right) - 1 \right)$$

Ra = 阳极接地电阻 (ohms)

$\rho$  = 土壤电阻率 (ohm-m)  
 $L$  = 阳极长度 (m)  
 $r$  = 阳极半径 (m)

7.7 Kg 阳极填包后尺寸为，长 = 762mm；直径 = 152mm。

$$Ra = \left( \frac{30}{2 \times 3.14 \times 0.762} \right) \cdot \left( \ln \left( \frac{4 \times 0.762}{0.076} \right) - 1 \right) = 16.9 \Omega$$

假设管道的自然电位为 -0.55V，极化电位 -1.0V，保护电流 1298mA，则管道的接地电阻为  $\frac{1.0 - 0.55}{1.298} = 0.35 \Omega$ ，加上导线电阻，则电路电阻共计 17.5 $\Omega$ 。

假设管道的极化电位为 -1.0V，镁阳极的驱动电位为 -1.75V，则镁阳极的驱动电压为 0.75V。

单支阳极的输出电流为：0.75/17.5 = 43 mA，输出 1298mA 电流需要阳极为 1298/43 = 30.1 支，取 30 支。

由于根据接地电阻计算的阳极用量大于根据电流量计算的阳极用量，所以，取 30 支阳极。

将 30 支阳极沿管道每隔 433 米埋设一支，然后与管道连接。

#### 5. 牺牲阳极系统实际寿命验算：

$$W = \frac{I \times t \times 8766}{U \times Z \times Q}$$

$$W = \frac{1.298 \times t \times 8766}{0.5 \times 0.85 \times 2200} = 30 \times 7.7$$

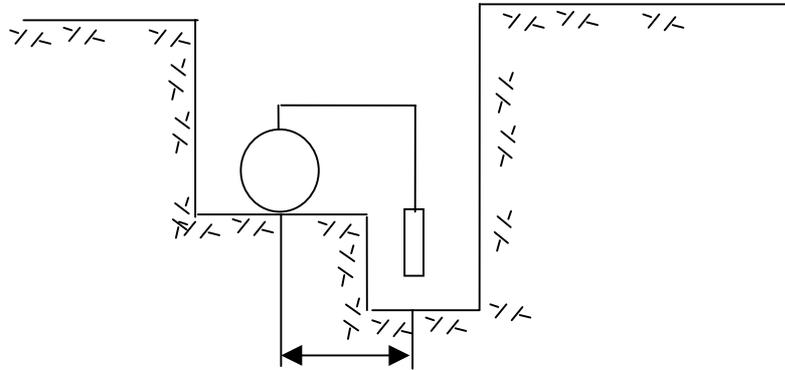
$$t = 19 \text{ yrs.}$$

牺牲阳极系统的实际寿命为 19 年。

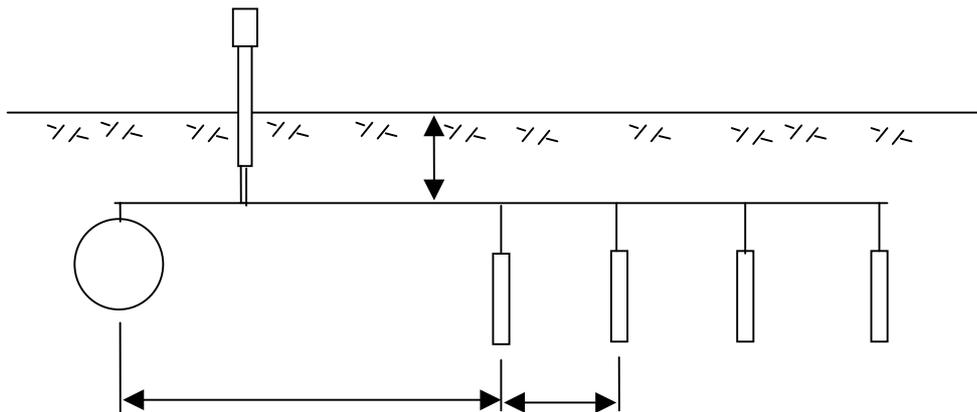
## 第七章 牺牲阳极的安装与维护

与外加电流阴极保护相比，牺牲阳极的安装比较简单。当一个位置有几支阳极时，阳极要直线排列以降低电阻。阳极可以与管道垂直，也可以与管道平行。为了减小阳极场的影响，当阳极与管道平行时，镁阳极与管道的距离最小为 5 米；锌阳极与管道的最小距离为 1.5 米（空间允许时，间距最好 3 米）。如果管道带空间受到限制，也可以将阳极埋设在

较深的部位以满足与管道间距的要求。



牺牲阳极阴极保护系统的维护很简单，经常检查阳极的输出电流，阳极消耗尽后，及时更换。

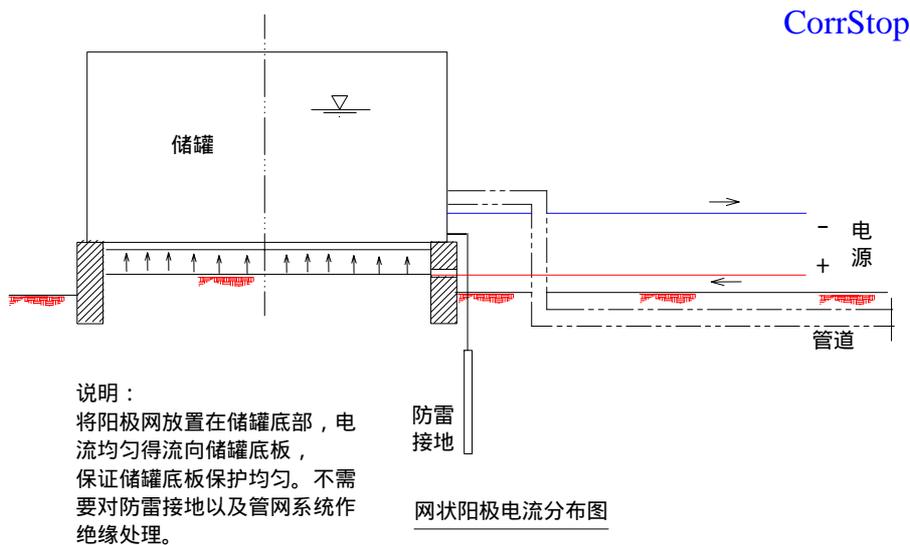


## 第八章 网状阳极

网状阳极 是混合金属氧化物带状阳极与钛金属连接片交叉焊接组成的外加电流阴极保护辅助阳极。将该阳极网予埋在储罐基础中，为储罐底板提供保护电流。与其他方式的阴极保护相比，该系统具有如下优点：

1. 电流分布非常均匀，输出可调，保证储罐充分保护。
2. 产生的杂散电流很少，不会对其他结构造成腐蚀干扰

3. 不需要回填料，安装简单，由于大量工作已经在工厂内完成，质量容易保证。
4. 储罐与管道之间不需要绝缘，不需对电气以及防雷接地系统作任何改造。
5. 不易受今后工程施工的损坏，使用寿命长



## 第九章 外加电流阴极保护用阳极材料

外加电流阴极保护是防止地下金属结构如管道、储罐、等腐蚀的有效方法。辅助阳极是外加电流系统中的重要组成部分，其作用是将保护电流经过介质传递到被保护结构物表面上。

### 1 对阳极的性能要求

地下结构物外加电流阴极保护用阳极通常并不直接埋在土壤中，而是在阳极周围填充碳质回填料而构成阳极地床。碳质回填料通常包括冶金焦炭、石油焦炭和石墨颗粒等。回填料的作用是降低阳极地床的接地电阻，延长阳极的使用寿命。

针对阳极的工作环境，结合实际工程的要求，理想的埋地用辅助阳极应当具有如下性能：

- (1)良好的导电性能，工作电流密度大，极化小；
- (2)在苛刻的环境中，有良好的化学和电化学稳定性，消耗率低，寿命长；
- (3)机械性能好，不易损坏，便于加工制造，运输和安装；
- (4)综合保护费用低。

## 2 各类阳极的性能特点

### 2.1 废钢铁阳极

废钢铁是早期外加电流阴极保护常用阳极材料，其来源广泛，价格低廉。由于是溶解性阳极，表面很少析出气体，因而地床中不存在气阻问题。其缺点是消耗速率大，在土壤中为 8.4 kg/A.a，使用寿命较短，多用于临时性保护或高电阻率土壤中。

### 2.2 石墨阳极

石墨是由碳素在高温加热后形成的晶体材料，通常用石蜡、亚麻油或树脂进行浸渍处理，以减少电解质的渗入，增加机械强度。经浸渍处理后，石墨阳极的消耗率将明显减小。

石墨阳极在地床中的允许电流密度为 5~10 A/m<sup>2</sup>

石墨阳极价格较低，并易于加工，但软而脆，不适于易产生冲刷和冲击作用的环境，在运输和安装时易损坏，随着新的阳极材料出现，其在地床中的应用逐渐减少。

### 2.3 高硅铸铁阳极

高硅铸铁几乎可适用于各种环境介质如海水、淡水、咸水、土壤中。当阳极电流通过时，在其表面会发生氧化，形成一层薄的 SiO<sub>2</sub> 多孔保护膜，极耐酸，可阻止基体材料的腐蚀，降低阳极的溶解速率。但该膜不耐碱和卤素离子的作用。当土壤或水中氯离子含量大于 200×10<sup>-4</sup> %时，须采用加 4.0%~4.5% Cr 的含铬高硅铸铁。高硅铸铁阳极在干燥和含有较高硫酸盐的环境中性能不佳，因为表面的保护膜不易形成或易受到损坏。

高硅铸铁阳极具有良好的导电性能，高硅铸铁阳极的允许电流密度为 5~80 A/m<sup>2</sup>，消耗率小于 0.5 kg/A.a。除用于焦碳地床中以外，高硅铸铁阳极有时也可直接埋在低电阻率土壤中。

高硅铸铁硬度很高，耐磨蚀和冲刷作用，但不易机械加工，只能铸造成型，另外脆性大，搬运和安装时易损坏。为提高阳极利用率，减少“尖端效应”，可采用中间连接的圆筒形阳极。

### 2.5 铂阳极

铂阳极是在钛、铌、钽等贵金属基体上被覆一薄层铂而构成的复合阳极。铂层复合的方法很多，如水溶液电镀、熔盐镀、离子镀、点焊包覆、爆炸焊接包覆、冶金拉拔或轧制、热分解沉积等。铂阳极的特点是工作电流密度大，消耗速率小、重量轻，已在海水、淡水阴极保护中得到广泛使用。

钛和铌是应用最多的阳极基体，钽用得较少，这是因为其价格高，而铌和钛通常又能满足使用性能要求。在含有氯离子介质中，钛的击穿电位为 12~14 V，而铌的击穿电位为 40~50 V。因此在地下水含有较高氯离子的深井地床中采用铂铌阳极更为可靠。

由于铂阳极价格较昂贵，不可能大面积采用；在地床中消耗速率大；而且地床接地电

阻随时间延长逐渐增大，所以铂阳极在地床中远不如高硅铸铁和石墨阳极用得广泛，并且有人不推荐在地床中使用铂阳极。

#### 2.6 聚合物阳极

聚合物阳极是在铜芯上包覆导电聚合物而构成的连续性阳极，也称柔性阳极或缆形阳极。铜芯起导电的作用，而导电聚合物则参与电化学反应。由于铜芯具有优良的电导性，因此可以在数千米长的阳极上设一汇流点，聚合物阳极在土壤中使用，需在其周围填充焦炭粉末而构成阳极地床，其在地床中最大允许工作电流为 82 mA/m，尽管与其它阳极相比，其工作电流密度很低，但由于可靠近被保护结构物铺设连续地床，因此可提供均匀、有效的保护。

聚合物阳极安装简便，特别适于裸管或涂层严重破坏的管道、受屏蔽的复杂管网区的保护以及高电阻率的土壤中。但应注意不能过度弯曲。

#### 2.7 混合金属氧化物阳极

混合金属氧化物阳极是在钛基体上被覆一层具有电催化活性的混合金属氧化物而构成，最早应用于氯碱工业，后推广应用于其它工业，包括阴极保护领域。由于采用钛为基体，因而易于加工成各种所需的形状，并且重量轻，这为搬运和安装带来了方便。由于电极表面为高催化活性的氧化物层所覆盖，在表面的一些缺陷处露出的钛基体的电位通常不会超过 2 伏，因此钛基体不会产生表面钝化膜击穿破坏（在土壤中使用，外加电压一般控制在 60 伏以下）。混合金属氧化物阳极还具有极优异的物理、化学和电学性能。其涂层的电阻率为  $10^{-7}$  Ω·m，极耐酸性环境的作用，极化小并且消耗率极低。通过调整氧化物层的成份，可以使其适于不同的环境，如海水、淡水、土壤中。

混合金属氧化物阳极在地床中于  $100 \text{ A/m}^2$ ，工作电流密度下使用寿命可达 20 年，其消耗速率约  $2 \text{ mg/A}\cdot\text{a}$ ，由于混合金属氧化物阳极具有其它阳极所不具备的优点，它已成为目前最为理想和最有前途的辅助阳极材料。

## 第十章 辅助阳极的选择及计算

辅助阳极又称阳极接地装置，阳极地床。它是强制电流阴极保护中不可缺少的重要组成部分，通过辅助阳极把保护电流送入土壤，经土壤流入被保护的管道，使管道表面进行阴极极化（防止电化学腐蚀）电流再由管道流入电源负极形成一个回路，这一回路形成了一个电解池，管道为负极处于还原环境中，防止腐蚀，而辅助阳极进行氧化反应，遭受腐蚀，也可能是周围电解质被氧化。

阴保站的电能 60% 消耗在阳极接地电阻上，故阳极材料的选择和埋设方式，场所的选择，对减小电阻节约电能是至关重要的。阳极材料必须有良好的导电性能，在与土壤或地下水接触时有稳定的接地电阻，即使在高电流密度下，其表面的极化较小；化学稳定性好，在恶劣环境中腐蚀率小；有一定的机械强度并便于加工和安装；价格低来源方便。

### 1. 辅助阳极埋设位置的选择

辅助阳极与管道距离愈远电流分布愈均匀, 但过远会增加引线上的电压降和投资。从实测数据来看辅助阳极距汇流点 200 米以内时, 对电流分布影响较大, 远于 300 米后影响就不大了。故在长输管道的干线上阳极一般设在距管道 300 ~ 500 米之间为宜。管道较短或油气管道较密集的地区, 采用 50 ~ 300 米之间是合适的。花格线设计是 450m, 对于土壤电阻率很大的地区是否过远, 是值得研究的问题。因此对处于特殊地形、环境的管道, 辅助阳极的距离和埋设方式应根据现场情况慎重选定。

在阴保站址选定的同时, 应在预选站址与管道的一侧选择阳极安装的位置, 其原则是:

- (1) 地下水位较高或潮湿低洼处;
- (2) 土层厚, 无块石, 便于施工;
- (3) 土壤电阻率一般应小于 50 欧姆米, 特殊地区也应小于 100 欧姆米
- (4) 对邻近的地下金属构筑物干扰小, 阳极地床与被保护管道之间不得有其它金属管道。
- (5) 考虑阳极附近地域近期发展规划及管道发展规划以避免建后可能出现的搬迁。
- (6) 阳极地床位置与管道汇流点距离适当
- (7) 地面金属构筑物较多, 用地狭窄时, 可采用深井阳极, 以减小对其它金属构物的干扰又节约用地。

阳极接地电阻约占直流回路电阻 60% 左右, 大部分能量损失是由它造成的, 因此合理选择阳极地床位置, 降低接地电阻是十分重要的工作。

## 一. 辅助阳极的结构

### 1. 浅埋式地床结构

将电极埋入距地表 1 ~ 5 米的土层中, 这是管道阴极保护一般选用的阳极埋设形式。浅埋式阳极又可分为立式, 水平式两种, 对于钢铁阳极可能两种联合称为联合式阳极。

#### (1) 立式阳极

由一根或多根垂直埋入地中的阳极排列构成。电极间用电缆联接。其优点有:

- a. 全年接地电阻变化不大;
- b. 当阳极尺寸相同时, 立式地床的接地电阻较水平式小。

#### (2) 水平式阳极

将阳极以水平方向埋入一定深度的地层中, 其优点有:

- a. 安装土石方量较小, 易于施工;
- b. 容易检查地床各部分的工作情况。

#### (3) 联合式阳极

指采用钢铁材料制成地床, 它由上端联接着水平干线的一排立式阳极所组成。

### 2. 深埋式阳极(深井式)

当阳极地床周围存在干扰、屏蔽、地床位置受到限制, 或者在地下管网密集区进行区域性阴极保护时, 使用深埋式阳极, 可获得浅埋式阳极所不能得到的保护效果。深埋式地床根据埋设深度不同可分为浅深井(20 ~ 40 米)、中深井(50 ~ 100 米)和深井(> 100 米)三

种。

深埋式阳极地床的特点是接地电阻小，对周围干扰小，消耗功率低，电流分布比较理想。它的缺点是施工复杂技术要求高，单井造价贵。尤其是深度超过 100 米的深阳极，施工需要大钻机，这就限制了它的应用。

#### 4. 阳极地床填料的应用

石墨阳极无论采用浅埋或深埋都必须添加回填料。高硅铁阳极一般需要添加回填料，但在特殊地质可能不使用回填料，如沼泽、流砂层地区等。

##### (1) 阳极地床填料的功能

- 1) 增大阳极与土壤的接触，从而降低地床接地电阻；
- 2) 将阳极电极反应转移到填料与土壤之间进行，延长阳极的使用寿命；
- 3) 填料可以消除气体堵塞。

##### (2) 对填料的要求

- 1) 填料颗粒必须是导体，以保证阳极与土壤之间良好的导电性。
- 2) 填料应成本低，来源广，具有较连续的接触表面。

常用的回填料是焦炭粒，也可采用石墨加上石灰充填，以保持阳极周围呈碱性。通常用的焦炭粒性能规格见下表。

阳极地床回填料用焦炭粒性能规格 表.1

种 类	粒 径	比 重	电 阻 率	灰 分	消 耗 率
	(mm)	公斤/米	欧姆·厘米	%	公斤/安·年
煤焦油焦炭粒	6 ~ 15	641 ~ 301	10 ~ 50	< 10	< 0.9
锻烧石油焦炭粒	6 ~ 15	72 ~ 1121	10 ~ 50	< 10	< 0.9

确保阳极与回填料良好的电接触，填料必须在阳极周围夯实。否则会使一部分电流从阳极直接流向土壤而缩短阳极使用寿命。

在粘土地区，若阳极地床通过电流太大，可采用电极带孔的硬塑料管，由填料层直接通地面，及时地将阳极周围产生的气体排出地面。对于较干燥地区可向地床注水降低接地电阻。

##### (3) 回填料的重量

可用下述简单方法估计填料的容积：阳极地床孔径为阳极直径的三倍。且在电极上下各填 300 毫米填料。对粒径为 15mm，比重为 0.6 吨/米<sup>3</sup>的焦炭粒来说，每支 100 × 1500 阳极的参考用量为 200 公斤。

## 二. 阳极数量与接地电阻

阳极数量与接地电阻成反比关系。在一定范围内增加阳极支数会起到降低接地电阻的

作用。但是由于阳极间的屏蔽效应,往往增加较多支的阳极,而降低电阻却很少。所以对于阳极数量的选择是一个经济效益问题。在确定阳极数量时需要考虑主要因素为:

1. 要使阳极输出的电流在阳极材料允许的电流额度内,以保证阳极地床的使用寿命。
2. 在经济合理的前提下,阳极接地电阻应尽量做到最小,以降低电能耗量。即对接地电阻规定一个合适的数值。目前接地电阻一般不大于 1 欧左右,在特殊地区可根据现场情况选定。

## 第十一章 阴极保护参数的测量

### 一. 测量仪器

#### (一) 分类

按测量种类可分为:

- |        |          |            |    |
|--------|----------|------------|----|
| 1. 电流  | 安培计      | 单位安培       | A  |
|        | 毫安计      | 单位毫安       | mA |
| 2. 电压  | 伏特计      | 单位伏特       | V  |
|        | 毫伏计      | 单位毫伏       | mV |
| 3. 电阻  | 欧姆计      | 单位欧姆       |    |
|        | 兆欧计      | 单位兆欧       | M  |
| 4. 电功率 | $P = VI$ | 单位 mW、W、kW |    |

### 二. 测量方法

1. 仪表应具有满足测试要求,显示速度,携带方便,耗电小,坚固耐震,按国家有关规定进行校验。

2. 提高准确度宜选用数字式仪表。

3. 直流电流表选用原则

内阻应小于被测回路总电阻的 5%。

电流表的灵敏阈应小于被测电流值的 5%。

电流表准确度应不低于 2.5 级。

4. 直流电压表选用原则

内阻 100k /V

灵敏阈应小于被测电压值的 5%。

准确度应不低于 2.5 级。

5. 管地电位测量应采用铜--饱和硫酸铜的参比电极

铜电极采用紫铜(纯度 > 99.7%)

CuSO<sub>4</sub> 采用化学纯,用蒸馏水配制



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

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

传真(Fax): 0316-2235228

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

渗透膜采用渗透率高的微孔材料

允许电流密度  $5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$

6. 连接点接触良好

7. 导线宜采用铜芯绝缘软线,若有电磁干扰时宜选用屏蔽导线。

### 三. 管地电位测试

1. 地表参比法

a. 用于测量管道自然电位、保护电位和牺牲阳极的开路, 闭路电位的测量。

b. 线路连接见照片

c. 使用高阻电压表

推荐使用数字万用表, 如 TD-830

d. CSE 放在管道顶上方潮湿土壤, 保证与土壤接触良好。每次采用方法应相同, 不然测量误差太大造成错误判断。

e. 电压表拨到合适的量程上

2. 近参比法

a. 当土壤 IR 降较大时, 推荐采用近参比法。b. 沿管顶方向, 距测试桩 1m 范围内挖一个安放参比电极的探坑, 将参比电极置于距管壁 3~5cm 处。

### 四. 绝缘法兰绝缘性能测试

1) 兆欧表法

用于在安装之前测量绝缘电阻值, 用磁性接头将 500V 兆欧表输入端的测量导线压接在绝缘法兰的短管上, 转动兆欧表手柄, 使手摇发电机达到规定转速 10 秒钟, 此时兆欧表指针稳定指示的电阻即为绝缘兰的绝缘电阻值。

2. 电位法

a. 用于判断安装在管道上绝缘法兰的绝缘性能。

b. 在阴极保护通电之前, 用数字万用表测量绝缘法兰非保护侧法兰盘 a 的对地电位  $V_{a1}$ ; 使保护侧法兰盘的对地位  $V_b$  达到保护电位值 ( $-0.85 \sim -1.5\text{V}$ ), 再测量 a 点的对地电位  $V_{a2}$ , 若  $V_{a2}$  与  $V_{a1}$  基本相同, 一般认为绝缘法兰绝缘性能良好; 若  $V_{a2} > V_{a1}$ , 且  $V_{a2}$  接近  $V_b$  的数值, 则一般认为绝缘法兰绝缘性能很差。

### 五. 土壤电阻率的测量

1. 四极法测量步骤

1) 在测量区沿直线等距离插入四根金属电极, 电极彼此相距 S 米, S 米为测量深度, 插入地表深度为  $1/20S$  为宜。

2) 将仪表稳定平放地面, 调整仪表指针在标准黑线上。

3) 打开 C2 和 P2 连接片, 四根导线分别连接到相应的电极上。

4) 倍率开关置于 X10 档, 转动手摇发电极 (120 转/分) 同时旋转测量标度盘旋纽使指针对准标准黑线, 如小于 1, 倍率减小一档, (倍率标度在 3 挡 X10, X1, X0.1) 至得到准确值,  $R = \text{倍率挡值} \times \text{测量标度盘读数}$ 。

5) 计算  $\rho = 2 \text{ sR}$  为 Sm 深土壤电阻率。

## 六. 牺牲阳极输出电流的测量

将 0.1 ohm. 的标准电阻串联在阳极输出线中, 采用准确度 0.02 级的数字万用表测量电压降, 除以电阻即可以得到输出电流.

## 七. 接地电阻测量

### 1). 辅助阳极接地电阻测量.

采用三极法, 土壤电阻率均匀时, 远电极距阳极 2L, 中间极距阳极 L, 测量接地电阻. 测量过程中, 移动 3 次中间极, 移动距离为 10% L. 如 3 次测量的数据接近, 则取此电阻值. 其中 L 为阳极长度, 测量方向与阳极方向垂直.

2). 测量牺牲阳极接地电阻时, 方法与上述类似, 间距分别为 20 米和 40 米. 注意应把阳极与管道断开. (参见“埋地钢制管道阴极保护参数测试方法, SYJ23-86”)

## 第十二章 阴极保护的运行管理

### 一. 阴极保护投入前的准备和验收

#### (一) 阴极保护投入前对被保护管道的检查

##### 1. 管道对地绝缘的检查

从阴极保护的原理介绍, 已得知没有绝缘就没有保护. 为了确保阴极保护的正常运行, 在施加阴极保护电流前, 必须确保管道的各项绝缘措施正确无误. 应检查管道的绝缘法兰的绝缘性能是否正常; 管道沿线布置的设施如阀门、抽水缸、闸井均应与土壤有良好的绝缘; 管道与固定墩、跨越塔架、穿越套管处也应有正确有效的绝缘处理措施. 管道在地下不应与其它金属构筑物有“短接”等故障.

管道表面防腐层应无漏敷点, 所有施工时期引起的缺陷与损伤, 均应在施工验收时使用 DCVG 检漏仪检测, 修补后回填.

##### 2. 管道导电性检查

对被保护管道应具有连续的导电性能.

3. 旧管道对地绝缘状态的检查, 应按设计要求处理. 对是否修补防腐涂层, 排除接地故障(如防静电接地极等), 应根据技术经济条件比较确定. 对管道导电性的检查, 仍需按前述要求进行.

#### (二) 对阴极保护施工质量的验收

1. 对阴极保护间内所有电气设备的安装是否符合《电气设备安装规程》的要求, 各种接地设施是否完成, 并符合图纸设计要求.

2. 对阴极保护的站外设置的选材、施工是否与设计一致. 对通电点、测试桩、阳极地床、阳极引线的施工与连接应严格符合规范要求. 尤其是阳极引线接正极, 管道江流点接负极, 严禁电极接反.

3. 图纸、设计资料齐全完备.

## 二. 阴极保护投入运行

1. 组织人员测定全线管道自然电位、土壤电阻率、各站阳极地床接地电阻。同时对管道环境有一个比较详尽的了解,这些资料均需分别记录整理,存档备用。

### 2. 阴极保护站投入运行

按照直流电源(整流器、恒电位仪、蓄电池等)操作程序给管道送电,使电位保持在-1.30伏左右,待管道阴极极化一段时间(四小时以上)开始测试直流电源输出电流、电压、通电点电位、管道沿线保护电位、保护距离等。然后根据所测保护电位,调整通电点电位至规定值,继续给管道送电使其完全极化(通常在24小时以上)。再重复第一次测试工作,并做好记录。若个别管段保护电位过低,则需再适当调节通电点电位至满足全线阴极保护电位指标为止。

### 3. 保护电位的控制

各站通电点电位的控制数值,应能保证相邻两站间的管段保护电位达到-0.85伏,同时,各站通电点最负电位不允许超过规定数值。调节通电点电位时,管道上相邻阴极保护站间加强联系,保证各站通电点电位均衡。

4. 当管道全线达到最小阴极保护电位指标后,投运操作完毕。各阴极保护站进入正常连续工作阶段。

## 三. 阴极保护站的日常维护管理

### 1. 阴极保护设施的日常维护

电气设备定期技术检查。电气设备的检查每周不得少于一次,有下列内容:

1) 检查各电气设备电路接触的牢固性,安装的正确性,个别元件是否有机械障碍。检查接阴极保护站的电源导线,以及接至阳极地床、通电点的导线是否完好,接头是否牢固。

2) 检查配电盘上熔断器的保险丝是否按规定接好,当交流回路中的熔断器保险丝被烧毁时,应查明原因及时恢复供电。

3) 观察电气仪表,在专用的表格上记录输出电压、电流、通电点电位数值,与前次记录(或值班记录)对照是否有变化,若不相同,应查找原因,采取相应措施,使管道全线达到阴极保护。

4) 应定期检查工作接地和避雷器接地,并保证其接地电阻不大于10欧姆,在雷雨季节要注意防雷。

5) 搞好站内设备的清洁卫生,注意保持室内干燥,通电良好,防止仪器过热。

### 2. 恒电位仪的维护。

1) 阴极保护恒电位仪一般都配置两台,互为备用,因此应按管理要求定时切换使用。改用备用的仪器时,应即时进行一次观测和维修。仪器维修过程中不得带电插、拔各插接件、印刷电路板等。

2) 观察全部零件是否正常,元件有无腐蚀,脱焊、虚焊、损坏、各连接点是否可靠,



电路有无故障,各紧固件是否松动,熔断器是否完好,如有熔断,需查清原因再更换。

3)清洁内部,除去外来物。

4)发现仪器故障应及时检修,并投入备用仪器,保证供电。每年要计算开机率。

全年小时数 - 全年停机小时数

开机率 =

全年小时数

### 3. 硫酸铜电极的维护。

1)使用定型产品或自制硫酸铜电极,其底部均要求做到渗而不漏,忌污染。使用后应保持清洁,防止溶液大量漏失。

2)作为恒定电位仪信号源的埋地硫酸铜参比电极,在使用过程中需每周查看一次,及时添加饱和硫酸铜溶液。严防冻结和干涸,影响仪器正常工作。

3)电极中的紫铜棒使用一段时间后,表面会粘附一层兰色污物,应定期擦洗干净,露出铜的本色。配制饱和硫酸铜溶液必须使用纯净的硫酸铜和蒸馏水。

### 4. 阳极地床的维护。

1)阳极架空线:每月检查一次线路是否完好,如电杆有无倾斜,瓷瓶、导线是否松动,阳极导线与地床的连接是否牢固,地床埋设标志是否完好等。发现问题及时整改。

2)阳极地床接地电阻每半年测试一次,接地电阻增大至影响恒电位仪不能提供管道所需保护电流时,应该更换阳极地床或进行维修,以减小接地电阻。

### 5. 测试桩的维护。

1)检查接线柱与大地绝缘情况,电阻值应大于100千欧,用万用表测量,若小于此值应检查接线柱与外套钢管有无接地,若有,则需更换或维修。

2)测试桩应每年定期刷漆和编号。

3)防止测试桩的破坏丢失,对沿线城乡居民及儿童作好爱护国家财产的宣传教育工作。

### 6. 绝缘法兰的维护。

1)定期检测绝缘法兰两侧管地电位,若与原始记录有差异时,应对其性能好坏作鉴别。如有漏电情况应采取相应措施。

2)对有附属设备的绝缘法兰(如限流电阻、过压保护二极管、防雨护罩等)均应加强维护管理工作,保证完好。

3)保持绝缘法兰清洁、干燥,定期刷漆。

### 7. 阴极保护管理

1)每条阴极保护管道,都应制符合本管道实际情况的<<阴极保护运行管理规定>>,使阴极保护的日常测试、控制、调整、维修等方面的工作均按此进行。

2)加强阴极保护的组织、领导。保持室内设备整洁,达到无故障、无缺陷、无锈蚀、无外来物。实现三图墙上,即线路走向图、保护电位曲线图、岗位责任制。

3) 阴极保护站投产后, 电气设备接线不得擅自改动, 需要改变的应由主管部门作出方案, 经批准后方可执行。

4) 每日检查测量通电点电位, 填写好运行日志, 向生产调度部门汇报阴极保护站运行情况。

5) 阴极保护站向管道输送电不得中断。停运一天以上须报主管部门备案。利用管道停电方法调整仪器, 一次不得超过 2 小时, 全年不超过 30 小时。保证全年 98% 以上时间给管道送电。

6) 保持通电点电位在规定值, 沿管道测定阴极保护电位, 此种测量在阴极保护站运行初期每周一次, 以后每两周或一月测量一次。并将保护电位测量记录, 造表, 绘图上报主管部门。

7) 每年在规定时间内测量管道沿线自然电位和土壤电阻率各一次。

8) 检查和消除管道接地故障, 使全线达到完全的阴极保护。

#### 四. 牺牲阳极的维护

管道牺牲阳极保护日常维护工作量不多, 除按外加电流阴极保护的要求进行保护电位测量, 测试桩维护保养, 绝缘法兰检测, 接地故障排除等工作外, 建议每月测定各参数。据此分析管道保护状况。若阳极性能变坏, 则需采取相应措施。

#### 五. 阴极保护系统常见故障的分析

##### 1. 保护管道绝缘不良, 漏电故障的危害

在阴极保护站投入运行, 或牺牲阳极保护投产一段时间后, 出现了在规定的通电点电位下, 输出电流增大, 管道保护距离却缩短的现象, 或者在牺牲阳极系统中, 牺牲阳极组的输出电流增大, 其值已超过管道的保护电流需要, 但保护电位仍达不到规定指标的现象。发生上述情况的原因, 主要是被保护金属管道与未被保护的金属结构物"短路", 这种现象称之为阴极保护管道漏电, 或者叫做"接地故障"。

接地故障, 使得被保护管道的阴极保护电流流入非保护金属体, 在两管道的"短接"处形成"漏电点", 这就会造成, 阴极保护电流的增大; 阴极保护电源的过负荷和阴极保护引起的干扰。

另外, 阳极地床断路, 阴极开路, 零位接阴断路都会导致阴极保护不能投保。例如: 格尔木站, 甘森站, 93 年由于阳极电缆断路, 造成阴极保护体系不能正常工作, 判断阳极地床连接电缆断路时, 可采用:

(1) 测输出电流, 将恒电位仪开启, 在恒电位仪阳极输出端串上一电流表, 如果电流为零, 则说明有断路现象。

(2) 将恒电位仪后阳极输出线断开, 接入临时地床或其它接地装置, 若有输出电压、电流, 则可断定阳极地床连接线断路。在阳极电缆与地床阳极接线处应设置接线用水泥井或标志。

## 2. 造成管道漏电的原因

(1) 施工不当, 交叉管道间距不合规范, 即当两条管道, 一条为阴极保护的管道, 另一条为未保护的管道交叉时, 施工要求应保持管道间的垂直净距不小于 0.3m, 并在交叉点前后一定长度内将管道作特别绝缘, 如果施工时不严格按照上述规定去做, 那么在管道埋设一段时间后, 在土壤应力的作用下, 管道相互可能搭接在一起, 会造成绝缘层破损, 金属与金属的相连, 形成漏电点。

(2) 绝缘法兰失效或漏电, 绝缘法兰质量欠佳, 在使用一段时间后绝缘零件受损或变质, 使法兰不再绝缘, 从而使得两法兰盘侧不再具有绝缘性能, 阴极保护电流也就不再有限制; 或者是输送介质中有一些电解质杂质使绝缘法兰导通, 不再具有绝缘性能。从上述原因看, 漏电点只可能发生在保护管道与非保护管道的交叉点, 或保护管道的绝缘法兰处, 因此查找漏电点就带有上述局限性。但如果地下管网复杂, 被保护管道与多条和线有交叉穿越, 则使得漏电点的查找出现复杂现象。常常要根据现场实际情况, 反复测量、多方位检查并综合判断才能找到真正的漏电故障点。

## 3. 漏电点的查找

(1) 利用查找管道绝缘层破损点, 从而确定管道的漏电点或短接点的方法。此方法首先将脉冲信号送到被测管道上, 如果管道防腐绝缘层良好, 流入管道的电流很弱, 仪表没有显示。如果管道防腐层有破损, 电流将从土壤中通过破损处漏入管道, 电流的流动会在周围土壤中将产生明显的电位梯度。当探测人员手持两个参比电极在管道正上方探测行走时, 伏特计将明显的抖动, 当伏特计指针停止抖动时, 两个参比电极的中间即为防腐层漏点位置, 该方法简便宜行, 定位准确, 是目前国际上公认的检漏方法(DCVG)。

(2) 可利用测定管内电流大小的方法寻找漏电点。因为无分支的阴极保护管道, 管内电流是从远端流向通电点。当非保护管道接入后就会形成分支电路, 使保护电流经过漏电点会变小。因此, 可利此法来寻找漏电点的位置。利用此法测定时, 在有怀疑的管段上可依次选点, 用 IR 压降法或者补偿法(详见有关说明)测定管内电流。再通过比较各点电流的大小来确定漏电点的电位。

(3) 绝缘法兰漏电的测定。当绝缘法兰漏电而导致阴极保护系统故障时, 则可通过在绝缘法兰两侧管段上, 分别测量管地电位, 若保护侧为保护电位, 非保护侧为自然电位, 则绝缘法兰正常。否则, 有问题存在。也可在非保护侧测法兰端部的对地电位, 如此电位比非保护管道或其它金属构筑物的电位要负, 则此绝缘法兰漏电。

测定流过绝缘法兰的电流, 也可用来判定绝缘法兰的性能。若绝缘法兰非保护端一侧, 能测出电流, 则法兰漏电; 若测不出电流, 绝缘法兰不漏电。

## (4) 近间距电位测量法 CIPS.

在测试桩上测量保护电位只能反映管道的整体保护水平, 不能说明管道各点都得到了保护. 采用近间距测量方式, 是沿管道每隔 1-2 米测量一次管地电位, 可以准确的检测出没有得到保护的管段.

## 4. 阳极接地故障

阴极保护另一常见故障是由阳极接地引起的。阳极接地电阻与阳极地床的设计与施工质量密切相关。"冻土"会使阳极地床电阻增加几倍至十几倍, "气阻"也会使阳极地床电阻增加。当阳极使用一段时间后, 也会由于腐蚀严重, 表面溶解不均匀造成电流障碍。因此, 在阴

极保护的仪器上会出现电位升高，而保护电流下降的现象。此时，应通过测量，更换或检修阳极地床，来使阴极保护正常运行。另一薄弱环节，是阳极电缆线与阳极接头处的密封与绝缘，若施工不妥则会造成接头处的腐蚀与断路。使阴极保护电流断路而无法输入给管道。

### 第十三章 阴极保护中的几个屏蔽问题

当管道周围有绝缘层或金属结构存在时，会影响阴极保护电流的流动，使管道得不到有效的阴极保护。即：电流屏蔽。目前，国内采用“管中管”进行防腐保温的长输管道都不同程度的发生了腐蚀事故。某些套管内的输油管 and 固定墩内的管道也存在较为严重的腐蚀，这种状况除了与施工质量控制不严有关外，阴极保护电流的屏蔽也是一个重要原因。本文就绝缘层，套管，混凝土固定墩，区域阴极保护，以及罐底板阴极保护时的屏蔽问题进行了分析，以引起管道及储罐设计，施工，管理人员的重视。

#### 金属结构对管道的屏蔽

##### 1. 管道穿越公路，铁路，以及河流时套管的屏蔽

在管道穿越公路，铁路，以及河流时，经常需要将输油管放在金属套管中。以对管道进行附加保护，并认为，套管与输送管充分绝缘。而笔者认为，采用套管时，将有以下情况发生：

- (1). 输送管与套管完全绝缘，套管与输送管的环型空间内没有电解液存在。在这种情况下，阴极保护电流被完全屏蔽，但输送管仅受大气腐蚀。
- (2). 输送管与套管之间没有电气连接，但套管内有电解液或泥土，此时，阴极保护电流从土壤中经过套管到达输送管，在这种情况下，输送管以及套管的外壁会得到阴极保护，而套管的内壁因为排放电流而加快腐蚀。
- (3). 套管与输送管短路，一旦套管与输送管发生短路，阴极保护电流沿套管通过接触点返回到输送管，此时，如果套管与输送管之间有电解液，输送管将发生严重腐蚀，即使没有电解液，如果套管防腐层较差，也会泄漏大量电流，使套管附近的一段管道得不到充分保护。

因此，在设计中，应该尽量避免采用套管，而靠提高输送管的壁厚来提高强度。在必须使用套管的情况下，应采取必要的密封措施，防止电解液进入，并保证套管与输送管的绝缘。

##### 2. 固定墩钢筋的屏蔽

当固定墩内的钢筋与输送管发生意外接触时，其影响相当于一个短路的套管。阴极保护电流通过钢筋并通过接触点返回管道。尽管钢筋之间存在间隙，但密布的钢筋仍能阻断大部分阴极保护电流，使固定墩内的管道得不到充分保护。因此，在设计中应减小钢筋与套管短路的可能性。在施工中也要经常检测钢筋与输送管的电阻。

#### 绝缘体对管道的屏蔽

##### 1. “管中管”防腐保温结构的屏蔽问题。

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

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

传真(Fax)：0316-2232326

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

当管道周围有绝缘体存在,而且绝缘体与管道间有电解液存在时,由于阴极保护电流无法通过绝缘体到达管道表面,管道得不到阴极保护.有人认为,阴极保护电流可以通过绝缘体与管道之间的空隙到达管道表面,事实是如果该空隙之间充满电解液,电阻率很小,这种看法是正确的.通过对“管中管”的腐蚀情况进行调查发现,如果防水层破坏,水分进入保温层,如果水分充足,管道会得到阴极保护,一般不会发生腐蚀.如长期处于水下的管道,如果仅有少量的水分进入管道,则在漏点两侧(2-3倍间隙的距离以外)一般会发生较严重的腐蚀.

另外,如果管道附近有其他绝缘体或岩石存在,也会影响电流的流动,对管道的保护电流起到屏蔽作用.因此,当管道通过岩石地带时,应采取措施,如:采用柔性阳极或带状阳极,保证阴极保护电流顺利的到达管道表面..

### 区域性阴极保护时,土壤的屏蔽

1. 对于位于开阔地带的管道,土壤不会对阴极保护电流产生屏蔽.但对于站内的管网和管群,可能会有这种屏蔽问题.如图2所示,由于管道密度较大,尤其当管道防腐层不好时,电流的泄漏会使其附近区域的土壤电位随之降低.此时,如果参比电极距管道较远,所测电位并不能说明测点处管道的保护状况.

因此,管道较密时,参比电极应尽量靠近测点.

2. 在对罐底板进行阴极保护时,也会产生上述问题.如果阳极布置在罐的周围,则大部分电流沿罐底板周遍进入罐底,使罐中心得不到充分保护.罐直径大时,这种情况更为突出.由于土壤条件的复杂多变,很难根据罐周围的电位估计出罐中心的保护电位.

可靠的方法是采用混合金属氧化物网状阳极系统,将参比电极布置在罐底板中心处.实际测量其保护电位.

### 结论

对于输送管道,不论是金属导体或绝缘体,都会产生屏蔽作用.使之得不到充分的阴极保护.因此,设计时要对屏蔽问题给予足够重视.对于管往或罐底板进行阴极保护时,要充分土壤电位的改变,参比电极尽量靠近测点.远地参比电极法不能说明测点的保护状况.

### 编后语:

1. 本手册由冯洪臣编写,手册中尽量采用了最新、最准确、最可靠的数据。
2. 本手册仅供阴极保护管理人员参考,对于具体的工程,应与本公司联系以获得我们的技术支持。本公司对擅自使用本手册所造成的损失不负责任。
3. 本手册编写过程中,参考了NACE "Control of Pipeline Corrosion" 2001 edition. 有不完善或错误之处,欢迎指正。