



## 海水管道内壁阴极保护——牺牲阳极法

张 经 磊

(中国科学院海洋研究所)

作者曾介绍过海水管道内壁外加电流阴极保护法<sup>1)</sup>。本文主要是介绍牺牲阳极保护法。该法是借助于电位更负的金属(牺牲阳极)本身的消耗,放出电流来保护管道。如图1所示,牺牲阳极“1”在海水中溶解,放出电流,通过海水进入钢管,使管壁电位负移至保护电位,从而钢管得到保护。

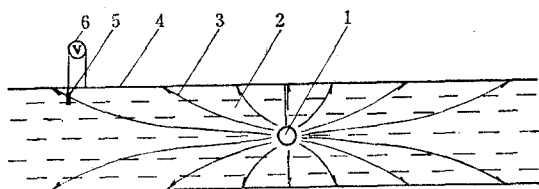


图1 牺牲阳极保护示意

1. 牺牲阳极; 2. 海水; 3. 电流线; 4. 钢管;  
5. 参比电极; 6. 电位差计。

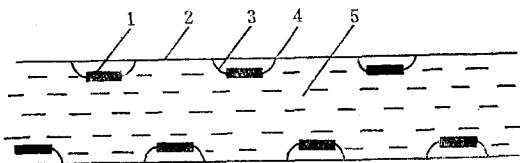


图2 块状阳极装配法

1. 牺牲阳极; 2. 钢管壁; 3. 阳极钢芯;  
4. 焊接点; 5. 海水。

1. 牺牲阳极保护系统的设计;主要有以下几项。

(1) 根据实际情况选择阳极材料。基本原则是海水电阻率高时(如河口水)选用驱动电位大的阳极材料;电阻率低时选用驱动电位低的阳极。目前所用的牺牲阳极材料主要有镁基、锌基和铝基三大类。它们的主要性能列于表1中<sup>[1]</sup>。

(2) 根据钢管所需要的保护电流密度<sup>[2]</sup>和设计寿命,计算所需阳极材料的总重量:

$$W_{\text{总}} = 1.2ITW_{\text{失}}$$

式中,  $W_{\text{总}}$  为所需阳极材料的总重量(kg);  $I$  为总防蚀电流强度(A);  $T$  为设计寿命(yr);  $W_{\text{失}}$  为每放出1安培年电量时阳极材料的消耗量(kg/A·yr); 1.2为安全系数。

(3) 阳极的装配。为了适应管道细而长的特点和使保护电流分布均匀,牺牲阳极装配主要有三种方

式。(A)等距离两侧交错焊接式。该法主要适用于大口径管线(人可以进入管道内施工)。根据模拟实验确定阳极的大小和间距,将阳极在管线对称的左右或上下两侧焊接在管内,如图2所示。(B)串状阳极法。该法是将计算好的阳极材料等距离的浇铸在数根钢丝上(为了牢固起见可以用较粗的钢筋代替钢丝),每根钢丝长度与一节或二节管道的长度相等。然后将串阳极穿入管道中,把钢丝焊在管子的端部,如图3所示。(C)条状阳极法。该法是将阳极均匀地浇铸在数根钢质芯棒上,制成条状。每条阳极的长度和一节管道的长度相等。然后穿入管子中,将阳极钢芯棒露出的两端焊接在管端,如图4所示。

后两种方法对于大口径管道、小口径管道均适用,因为人不必进入管内,只需在管口操作即可。不难发现,第三种方法保护电流较均匀(大口径管可用两条阳极),而第一种则稍差一些。另外,由于管线内部维修、更换阳极困难,要根据装置的设计寿命计算阳极的相应寿命,进行一次性设计和安装,中间就

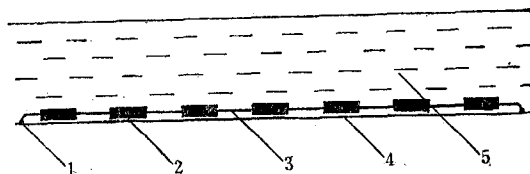


图3 串状牺牲阳极装配法

1. 焊接点; 2. 牺牲阳极; 3. 串阳极钢芯;  
4. 钢管壁; 5. 海水。

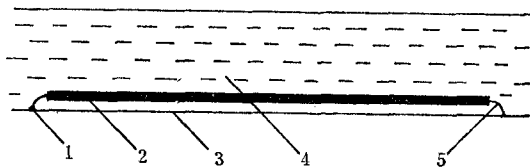


图4 条状牺牲阳极装配法

1. 焊接点; 2. 条状牺牲阳极; 3. 钢管壁;  
4. 海水; 5. 阳极钢芯。

1)张经磊, 1984. 海洋科学。(待出版)

表 1 牺牲阳极材料及其性能

| 阳极材料及主要成分                                 | 开路电位<br>(V) | 电流效率<br>(%) | 发电量<br>(A·h/kg) |
|-------------------------------------------|-------------|-------------|-----------------|
| Mg (纯)                                    | -1.56       | 50          | 1100            |
| Mg+5.3—6.7%Al+2.5—3.5%Zn+0.15—0.6%Mn      | -1.45—-1.50 | 55—65       | 1210—1430       |
| Mg+5—7%Al+2—3%Zn+0.15—0.5%Mn              | -1.29—-1.58 | 60          | 1320            |
| Zn+0.3—0.6%Al+0.025—0.1%Cd                | -1.12       | >90         | >740            |
| Zn+0.1—0.5%Al+0.025—0.15%Cd               | -1.1        | 95          | 780             |
| Zn+0.1—0.5%Al+0.1—0.2%Hg                  | -1.08       | 95          | 780             |
| Zn+0.1—0.3%Sn                             | -1.05       | 95          | 780             |
| Zn+0.5—0.7%Al+0.2—0.4%Mn                  | -1.1        | 90          | 740             |
| Al+4.5—5%Zn                               | -0.96       | 80          | 2300            |
| Al+2.6%Zn+0.023%V                         | -1.07       | 80          | 2340            |
| Al+2.8%Zn+0.024%In+0.015%Cd               | -1.08       | 83          | 2404            |
| Al+2.5%Zn+0.02—0.035%In+0.02% $\text{Sb}$ | -1.09       | 82—95.5     | 2300—2670       |
| Al+2.5%Zn+0.01%Sn+0.03%Bi+0.10.02%Ga      | -1.01—-1.09 | 94.5        | 2440            |
| Al+4.5—5.6%Zn+0.03—0.04%Hg                | -1.1        | 95          | 2830            |

表 2 牺牲阳极同外加电流保护法的比较

| 牺牲阳极法           | 外加电流法                   |
|-----------------|-------------------------|
| (1) 适用于无电源地点    | (1) 无电源处不能用             |
| (2) 不需要支付电费     | (2) 需要支付电费              |
| (3) 小规模设施费用低    | (3) 对大设施便宜              |
| (4) 维护管理简单      | (4) 需要专门人员管理            |
| (5) 对邻近构筑物干涉小   | (5) 必须采取措施防止对邻近设施的干扰    |
| (6) 保护电流无法调节    | (6) 可根据需要调整电流           |
| (7) 海水电阻率高时费用高  | (7) 海水电阻率高时电流仍能容易排泄     |
| (8) 阳极寿命短, 需要更换 | (8) 辅助阳极可采用不溶性阳极, 使用寿命长 |

无需更换阳极。因此设计要相对准确, 阳极要相对地保证质量。为了检查保护效果, 同样可以安装参比电极和失重挂样, 方法同外加电流法<sup>1)</sup>。

2. 与外加电流保护法的比较: 该法与外加电流保护法相比, 各有优缺点, 须根据具体情况选择。表 2 列出了两种方法的比较。

为了降低保护电流密度、阳极材料的消耗, 以及使保护电流散布开, 管道保护也可与油漆等涂层配合使用。此时要求油漆有较好的封闭性、绝缘性、耐碱性及耐通电性能。

3. 实例: 据丹麦Björn LinDer报道<sup>[2]</sup>, 他们用串状锌基牺牲阳极对海轮压载舱水管内壁进行了阴极保护。首先在离心球墨铸铁管中进行模拟实验。在直径为 3 毫米、长为 5 米的钢丝上, 每隔 10 公分浇铸一块圆柱形阳极 (长为 200 毫米, 直径为 22 毫米)。设计寿命 4 年。每串阳极总重量为 8600 克, 管内海水电阻率为 50—100 欧姆·厘米, 海水流速为 4 米/秒, 水温为 28—32℃, 海水流动静止交替进行, 在管子底部装有锌参比电极, 用以测量管子的保护电位。实验共进行 12 个月, 结果表明其保护效果良好, 失重为 2022 克, 与设计寿命相一致。实验结束后, 在 T/T Sta Scont 油轮的部分管路中装上了寿命为 4 年的串阳极。使用两年后进行检查, 在装有阳极的管子中未发现任何腐蚀现象, 在未装阳极的管子中有不同深度的孔蚀。证明保护效果是相当好的。阳极材料消耗了 50% 左右, 证明原设计 4 年寿命与实际消耗也是相符的。随后将船上的所有管道都装上了串阳极。

## 参 考 文 献

- [1] 上海交通大学 560 教研组, 1979. 金属腐蚀与防护 (1—2): 52—71.
- [2] Björn LinDer, 1981. Materials Performance 20 (11): 34—38.

1) 张经磊, 1984. 海洋科学. (待出版)