

## 遥测浮标牺牲阳极保护\*

张经磊 孙可良 李乐绥 白秀华

(中国科学院海洋研究所, 青岛)

**提要** 用铝基牺牲阳极对中国科学院海洋研究所研制的气象遥测浮标进行了阴极保护防腐蚀研究。提出并运用了一个新的设计计算方法, 以确保在阳极设计寿命的后期仍能释放出足够的电流, 使浮标壳体达到保护要求。浮标的设计保护电流密度为  $40\text{mA}/\text{m}^2$ 。用失重法测得的保护度为 96%。

遥测浮标可用来获得大量的、连续的、有关海洋水文气象等要素的资料。但是, 由于海水的强腐蚀作用, 使浮标壳体受到严重腐蚀, 从而直接影响浮标的使用寿命和安全运行。所以, 对浮标壳体进行防腐保护是该项技术中不可缺少的一环。目前国内外文献中尚未见有关这方面的报道。本文作者根据在其他防腐工程中的经验, 采用本单位研制的铝基牺牲阳极材料, 对遥测浮标进行了阴极保护, 并取得了满意的保护效果。

### 1. 遥测浮标壳体构造

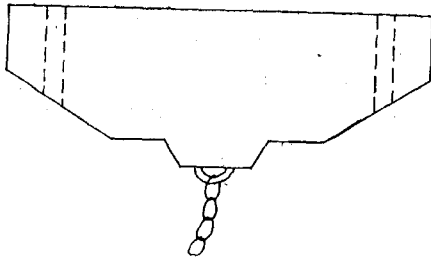


图1 遥测浮标构造示意图

Fig. 1 Schema of telemetering buoy

浮标壳体由  $A_3$  钢制造, 壁厚 10mm, 其形状如图 1 所示。浮标布设两个对称的仪器释放孔, 系留锚链与壳体之间无绝缘装置。壳体表面按海船要求涂有防腐防污油漆<sup>1)</sup>。

### 2. 保护方法及材料的选择

我们根据有关文献报道<sup>[1-3, 7, 10]</sup>, 比较了不同保护方法的优缺点以及可行性, 决定选择牺牲阳极法来进行保护, 并选用铝基牺牲阳极作为保护用的阳极材料。

铝基牺牲阳极的配方很多<sup>[1]</sup>。我们选择了 9 种不同成分的阳极材料进行了室内<sup>[2]</sup>和海上性能试验<sup>[3]</sup>, 其成分及性能列于表 1, 2。根据实验结果我们选用 1 号阳极配方, 即含 Zn 2—3%, In 0.02—0.03%, Cd 0.01—0.015%, Cu  $\leq 0.01\%$ , Fe  $\leq 0.16\%$  的铝合金材料作为阳极材料。

### 3. 设计安装

#### (1) 保护电流密度的选取

在海洋中, 钢铁的保护电流密度主要受两个因素影响: A. 海水的流速(即去极化能

\* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 1452 号。

收稿日期: 1985 年 5 月 21 日。

1) 中国科学院海洋研究所研制的新型油漆。

表 1 9 种铝阳极材料合金成分(%)

Tab. 1 Composition of 9 types of Al-basic anodes (%)

序号	Zn	In	Cd	Sn	Bi	Mg	Ga	Zr	Be	B	杂质		Al
											Cu	Fe	
1	2.87	0.024	0.015								≤0.01	≤0.16	余
2	2.87	0.024	0.015								≤0.01	≤0.16	余
3	4.64	0.034	0.013								≤0.01	≤0.16	余
4	2.64	0.023									≤0.01	≤0.16	余
5	2.55	0.035						0.0011	0.001	0.0036	≤0.01	≤0.16	余
6	2.52	0.024							0.0008	0.0027	≤0.01	≤0.16	余
7	0.52	0.030				2.9				0.0022	≤0.01	≤0.16	余
8	4.82			0.09			0.024				≤0.01	≤0.16	余
9	9.95			0.57	0.55		0.069				≤0.01	≤0.16	余

表 2 9 种铝阳极的性能及与 Zn, Mg 阳极电容量的比较

Tab. 2 Properties of 9 types of Al anodes and comparison of their capacities with Zn, Mg anodes

序号	平行试样号	开路电位 (-V) (Ag/AgCl)	电流效率(%)	平均电流效率 (%)	平均电容量 (Ah/kg)	铝阳极电容量	
						锌阳极电容量	镁阳极电容量
1	1	1.08	83	83	2404	3.10	2.18
	2	1.08	84				
	3	1.08	83				
2	1	1.07	78	81	2358	3.03	2.13
	2	1.07	76				
	3	1.07	79				
3	1	1.05	80	75	2169	2.78	1.96
	2	1.05	73				
	3	1.05	73				
4	1	1.07	78	80	2340	3.00	2.12
	2	1.07	78				
	3	1.07	85				
5	1	1.06	73	75	2168	2.78	1.96
	2	1.06	78				
	3	1.06	73				
6	1	1.06	77	79	2299	2.95	2.08
	2	1.06	81				
	3	1.06	79				
7	1	1.01	72	75	2199	2.82	1.99
	2	1.01	74				
	3	1.01	78				
8	1	0.98	42	43	1236	1.59	1.12
	2	0.98	43				
	3	0.98	44				
9	1	0.97	61	57	1588	2.04	1.44
	2	0.97	53				
	3	0.97	58				

力), B. 金属表面涂复情况。海水流速大, 氧到达金属表面的速度加快, 去极化能力增强, 需要的保护电流密度增大。例如加利福尼亚海岸和墨西哥海湾的石油平台, 由于海水比较平静, 只需要  $65\text{mA}/\text{m}^2$  的电流密度就可达到保护; 而在阿拉斯加库克湾的钢铁设施, 由于有  $10\text{kn}$  的潮流速度, 需要的保护电流密度高达  $484\text{mA}/\text{m}^2$ 。还有文献报道, 当流速为  $12\text{m}/\text{s}$  时, 需要的保护电流为  $11\,000\text{mA}/\text{m}^2$ <sup>[6]</sup>。当钢铁表面有涂层时, 由于阻止了氧向钢铁表面的扩散, 能大大降低所需要的保护电流密度。如在静止海水中无涂层的钢板的保护电流密度为  $80\text{—}100\text{mA}/\text{m}^2$ , 而涂上几层乙烯树脂后, 保护电流密度降到了  $10\text{—}15\text{mA}/\text{m}^2$ <sup>[6]</sup>。所以, 保护电流密度的选取必须根据被保护物的表面状况、海水流动情况等具体条件及已有的经验来确定, 或进行现场模拟试验来确定。

文献[10]中采用的保护电流密度列于表 3。

表 3 保护电流密度 ( $\text{mA}/\text{Sq Ft}$ )

Tab. 3 Protective Current Density ( $\text{mA}/\text{Sq Ft}$ )

环 境	裸 钢		涂 复 钢	
	极化电流	维持电流	极化电流	维持电流
动海水	30—35	7—10	3—5	1.0—1.5
静海水	15—25	4—7	1—3	0.5—1.0
海泥中	4—5	1—1.5	0.5—1.0	0.1—0.5

在中国渤海石油平台的保护中, 所需要的保护电流密度为  $65\text{mA}/\text{m}^2$ 。在青岛黄岛油码头钢桩的阴极保护中, 由现场实验得出的设计保护电流密度为  $120\text{mA}/\text{m}^2$ <sup>[4]</sup>。根据以上资料及其他有关报道<sup>[6,10],1)</sup>, 同时考虑到浮标的涂复情况, 确定本浮标壳体的年平均保护电流密度取  $40\text{mA}/\text{m}^2$ 。

## (2) 设计计算

浮标浸水总面积为  $24\text{m}^2$ 。

需要的总保护电流:

$$I_{\text{总}} = 24 \times 40 = 960\text{mA} = 0.96\text{A}。$$

在一年内(阳极的设计寿命)所消耗的阳极材料重量:  $W_{\text{耗}} = T \cdot I_{\text{总}}/Q = 3.8(\text{kg})$ 。此处,  $T$  为设计寿命,  $Q$  为阳极的电容量。

阳极共分为 4 块, 每块的消耗量为:

$$W_{\text{单耗}} = W_{\text{耗}} \div 4 = 0.95(\text{kg})。$$

每块阳极需要释放的电流为:

$$I_{\text{单}} = I_{\text{总}} \div 4 = 0.24\text{A}。$$

为了确保在使用寿命的后期阳极能释放出足够的保护电流(即  $0.24\text{A}$ ), 必须计算出在设计寿命终了时阳极的最小剩余尺寸, 即阳极的最小剩余半径(设阳极在使用过程中其长度  $15\text{cm}$  不变), 进而计算出阳极的剩余重量和初始重量。根据在青岛海域的实验结果<sup>[9]</sup>

1) 陈光章, 1984。港工设施牺牲阳极保护。海水、工业水及生物专业委员会第三届腐蚀与防护学术报告会论文集摘要, 28—29 页。

和渤海石油平台钢桩牺牲阳极保护的报道<sup>1)</sup>, 阳极电流输出量基本符合 Dwight 修正式:

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

式中,  $\Delta V$  为阴阳极之间的电位差, 即驱动电压 (0.2v);  $L$  为阳极长度 (15cm);  $\rho$  为海水电阻率 ( $30\Omega \cdot \text{cm}$ );  $I$  为阳极输出电流 (0.24A);  $r$  为阳极半径 (cm)。

将上述数值代入公式后, 可以计算出阳极释放 0.24A 电流时的阳极半径值 (即最小剩余半径) 为:  $r_{\text{剩}} = 1.7\text{cm}$ 。

每块阳极的剩余重量为:

$$W_{\text{剩}} = \pi r_{\text{剩}}^2 \cdot L \cdot d = 0.37(\text{kg})$$

所以每块阳极的实际重量为:

$$W_{\text{实}} = W_{\text{单耗}} + W_{\text{剩}} = 1.32(\text{kg})$$

所需要的阳极总重量为:

$$W_{\text{总}} = 1.32 \times 4 = 5.28(\text{kg})$$

每块阳极的实际半径 (初始半径)  $r_{\text{实}}$  根据下式计算:

$$r_{\text{实}} = \sqrt{\frac{W_{\text{实}}}{d\pi L}} = 3.2(\text{cm})$$

式中,  $d$  为阳极材料的比重;  $L$  为阳极长度。

### (3) 阳极的安装

由于遥测浮标布设两个释放仪器的圆孔, 为使电流分布均匀, 既能保护整个壳体的外面, 又能保护释放仪器的孔壁, 本设计采用 4 块阳极。在两圆孔附近各安放一块, 另外两块与它们交叉对称地安在壳体上 (图 2)。阳极钢芯弯成 90 度角, 用焊接方法将阳极固定到浮标壳体上。钢芯裸露部分用环氧树脂玻璃布包扎, 以防消耗电流。

### 4. 保护效果

用两种方法检查该设计的保护效果: (1) 测量浮标壳体的保护电位; (2) 用失重挂片法测量壳体的保护度。

用 DT-830 数字万用电表和 Ag/AgCl

参比电极定期测量浮标壳体的保护电位, 结果示于图 3。由图 3 可看出, 无论是浮标壳体还是仪器释放孔内, 其电位均在保护电位范围内。只有最后一次测量值稍低于保护电位。

失重挂片法是取与壳体同一牌号的钢板, 加工成  $100 \times 100 \times 2\text{mm}$  的试片。然后打孔, 编号, 测量面积, 酸洗<sup>[8]</sup>和称重。分成两组, 一组与壳体电连接, 另一组与壳体绝缘 (用

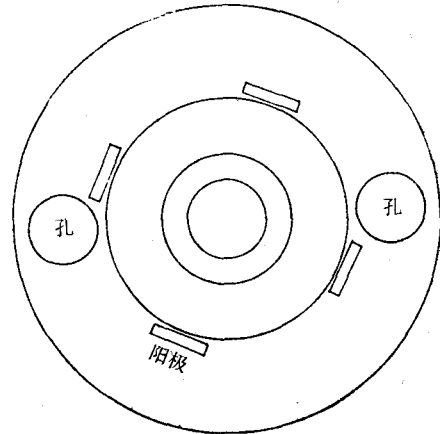


图 2 阳极安装底视图

Fig. 2 Bottom view of assembly of anodes

1) 张尔茹, 1984。海上石油平台牺牲阳极保护设计。海水、工业水及生物专业委员会第三届腐蚀与防护学术报告会论文摘要集, 22—23 页。

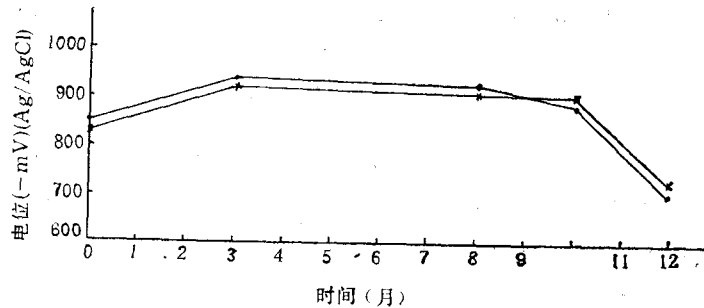


图3 保护电位随时间的变化

● 两阳极中间壳体的保护电位; × 仪器释放孔内壳体的保护电位。

Fig. 3 Protection potential-time curves

● Potential on buoy shell between anodes;

× Potential on buoy shell in the holes for releasing instrument.

绝缘垫片),用螺栓固定到壳体两阳极间的中部位置。试验结束后,将试片取下,照像,再用原来的方法酸洗,称重。根据试样的失重计算壳体的保护度。测量结果为:与壳体绝缘的4块平行试片平均腐蚀速度(自由腐蚀速度)为0.26mm/a,与壳体电连接的4块平行试片(被保护试片)的平均腐蚀速度为0.011mm/a;保护度为96%。未保护与被保护试片的照片示于图版I。

### 5. 讨论

(1) 在牺牲阳极、阴极保护中,一般是将阳极的消耗量乘以使用因子1.2后作为阳极的实际用量<sup>[10]</sup>。本设计中采用了一种新的计算方法,即根据阳极输出电流公式计算当达到被保护体所需要的保护电流时阳极的最小半径(即剩余半径)的方法。这样能确保阳极在设计寿命结束时,仍能释放出足够的电流使结构达到完全保护。

(2) 由保护电位曲线(图3)可以看出,在大部分时间内,浮标壳体的电位(外部壳体与仪器释放孔内)均在保护电位范围内。最后一次稍低于保护电位,这主要是由于浮标壳体与锚链之间没有进行电绝缘,锚链要消耗一部分电流造成的。在保护初期,由于阳极半径大,所放出的电流多,既能满足浮标保护的要求,又能满足部分锚链保护的需要。到使用后期,随着阳极不断的消耗,阳极半径逐渐变小,所放出的电流不断降低,不能满足两方面的需要,因而使保护电位降到了最低保护电位以下。解决这一问题的办法,一是将浮标与锚链电绝缘,二是对浮标和锚链同时进行牺牲阳极保护。作者认为后者较好。虽然多用一些阳极材料和经费,但对整个浮标锚链系统的保护是有利的。特别是对易磨损的活链节处的防腐更是有利和必要的。

### 6. 结语

(1) 该保护设计是合理的,极化电位除最后一次测量值外,其他均在-780至-1000 mV (Ag/AgCl)之间,即在完全保护电位范围内。

(2) 通过本工作再一次证明在类似情况下用Dwight修正式计算阳极的电流输出,基本上是合理的。

(3) 在有油漆的情况下,遥测浮标的保护电流密度取40mA/m<sup>2</sup>是可行的。

(4) 建议对锚链同时进行保护, 使整个浮标锚链系统都得到保护。

### 参 考 文 献

- [1] 上海交大 560 教研室, 1979. 牺牲阳极法阴极保护之现状及前景. 金属腐蚀与保护 1-2: 52—72。
- [2] 马士德, 1979. 海洋钢铁结构物阴极保护 30 年. 金属腐蚀与防护 3: 61—72。
- [3] 周遵产, 1979. 漫谈电化学保护的若干问题. 金属腐蚀与防护 1-2: 29—40。
- [4] 交通部第一航务工程局科学研究所, 中国科学院海洋研究所, 1979. 黄岛钢管桩码头外加电流阴极保护. 金属腐蚀与防护 3: 57—61。
- [5] 张经磊, 郭公玉, 1984. 实际海洋条件下铝基牺牲阳极性能研究. 海洋科学集刊 22: 315—327。
- [6] 张经磊, 1984. 海水管道内壁阴极保护——外加电流法. 海洋科学 8(4): 56—58。
- [7] 张经磊, 1984. 海水管道内壁阴极保护——牺牲阳极法. 海洋科学 8(5): 60—61。
- [8] 张经磊, 侯保荣, 1983. 几种金属除锈剂配方. 腐蚀与防护 3: 36。
- [9] 郭公玉, 张经磊, 1979. 铝基牺牲阳极在海水中电化学性能的研究. 金属腐蚀与防护 4: 15—21。
- [10] Dismuke. T. D., S. K. Coburn and C. M. Hirsch, 1981. Handbook of Corrosion Protection for Steel Pile Structures in Marine Environments. American Iron and Steel Institute, pp. 70, 92, 111, 134, 142, 159.

## CORROSION PROTECTION FOR TELEMETERING BUOY BY SACRIFICIAL ANODE\*

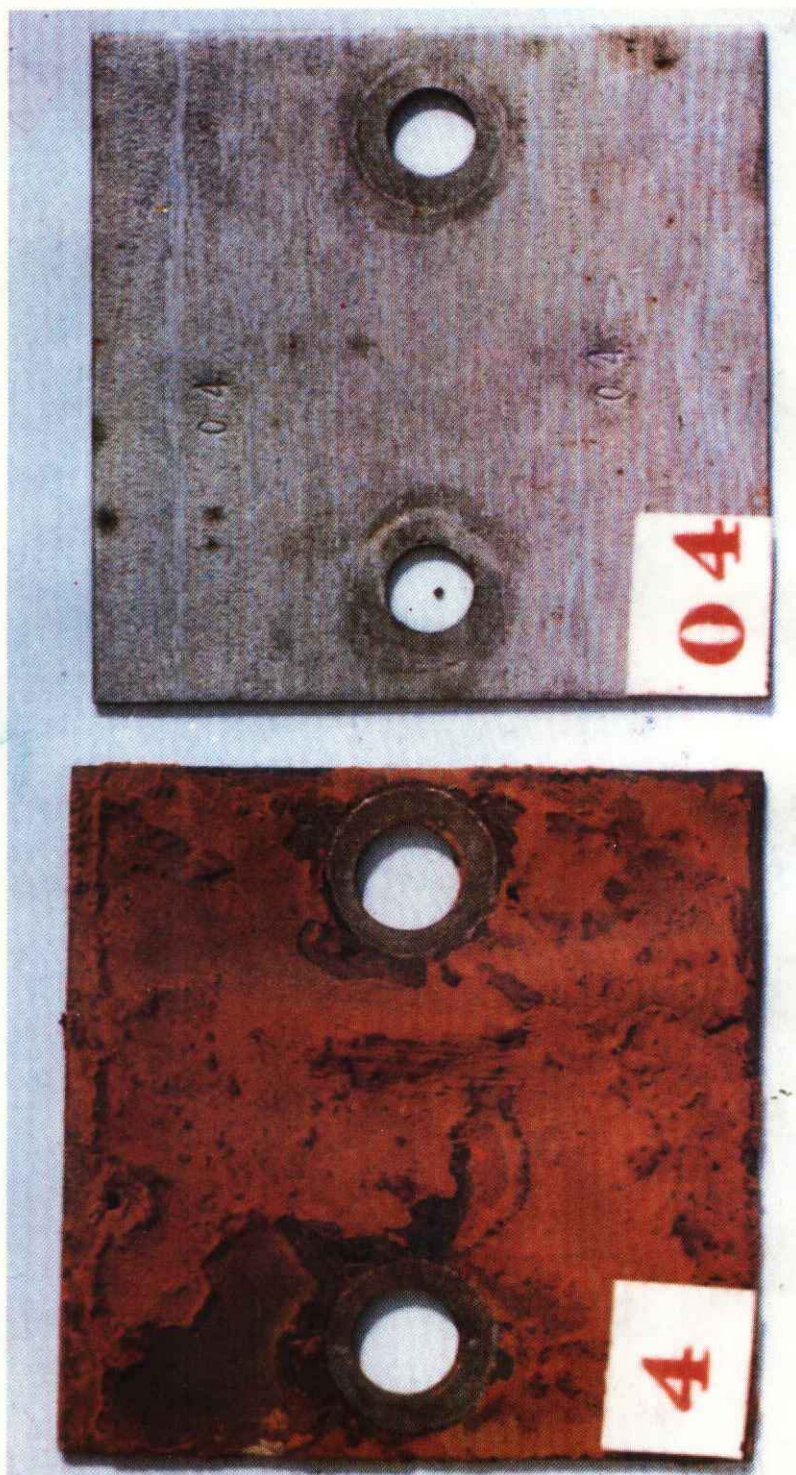
Zhang Jinglei, Sun Keliang, Li Lesui and Bai Xiuhua

*(Institute of Oceanology, Academia Sinica, Qingdao)*

### ABSTRACT

A telemetering buoy was successfully protected from corrosion by Al-basic sacrificial anode in sea water. The total anode weight needed for cathodic protection during the design life was generally calculated by multiplying expended amount calculated from protection current and protection surface by a factor of 1.2. A new design calculation method is used here according to suitable anode current formula and protection current amount needed. Minimum anode radius needed (i.e. surplus anode radius) is first calculated, then the surplus anode weight. The total anode weight is obtained by adding the expended and the surplus amount. This design calculation method would enable the Al-basic sacrificial anode to release sufficient current to protect the telemetering buoy shell from corrosion throughout the design life of the anode. The buoy shell was painted according to the seaship standard. A protection current density—40 mA/m<sup>2</sup> was selected to polarize the buoy shell. A protection potential between -780 mV and -1000 mV (Ag/AgCl) was obtained with a protection rate of 96%.

\* Contribution No. 1452 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.



未保护试片 ( 4 ) 和被保护试片 ( 04 )  
Photos of samples non protected( 4 ) and protected( 04 )