

# 16Mn钢与101钢在海水中的接触腐蚀\*

季明棠

(中国科学院海洋研究所)

某种金属材料在电解质中由于与特种金属材料电接触而大大加快其本身的腐蚀速度,这一现象称为接触腐蚀。在海洋工程中,接触腐蚀是一个广泛存在,危害很大,而又很易被忽视的问题。国外对此已有很多研究<sup>[1-4]</sup>。本工作对16Mn钢能否与101钢在海水中搭配使用问题进行了研究,取得了一些有助于认识海洋工程接触腐蚀实质及其危害的结果。

## 一、实验方法

实验材料为16Mn钢和101钢,成份列于表1。试样分别加工为面积约30cm<sup>2</sup>的正方形板状试样和直径约1cm、表面积约10cm<sup>2</sup>的柱状试样。柱状试样两端分别刻有螺栓和螺母,通过旋紧螺栓可以实现多个柱状试样完好的电接触。样板均用600#砂纸打光。称重后放入盛2升海水的玻璃槽中,在室温下进行下述实验。海水每三天更新一次。

1. 自由腐蚀电位的测定:在10多天內,分别测定了16Mn钢和101钢在静止海水中的自由腐蚀电位。测量用UJ 1型电位差计,参比电极用饱和甘汞电极。

2. 间接偶接腐蚀试验:选用上述16Mn钢、101钢板状试样组成四组偶对:

16Mn钢对16Mn钢	面积比约	1:1
16Mn钢对101钢		1:1
16Mn钢对101钢		1:2
101钢对101钢		1:1

各偶对试样分别串连一电流表进行间接偶接腐蚀试验。实验共进行19天(其中有7天未串接电流表)。通过电流表测量电偶电流,同时观察样板腐蚀特征并测定腐蚀失重。

3. 直接偶接腐蚀实验:选用等面积的16Mn钢柱状试样两块,101钢柱状试样一块,按16Mn钢(1)—16Mn钢(2)—101钢顺序螺接好,进行直接偶接腐蚀实验。实验共进行19天。通过试样失重研究直接偶接情况下偶对不同部位的接触效应。

4. 搅动海水对接触腐蚀的影响:用长约3cm的螺旋形搅拌器以每分钟约300转的转速搅动海水,测量16Mn钢和101钢的自由腐蚀电位的变化以及间接偶接偶对中电偶电流的变化情况,研究海水运动与接触腐蚀的关系。

## 二、实验结果

1. 在10多天的时间内,16Mn钢和101钢的自由腐蚀电位(相对饱和甘汞电极)变化情况示于图1。

表1 16Mn钢和101钢的化学成份

钢种	成份	C	Mn	Si	P	S	V	Mo	Ti	Nb
101钢 (10MoVNbTi)		0.06	0.50	0.40	0.04	≤0.030	0.30	0.45	0.04	0.05
		-0.12	-0.80	-0.70			-0.50	-0.70	-0.10	-0.12
16Mn钢		0.20	1.64	0.23	0.027	0.028				

\* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第1028号。

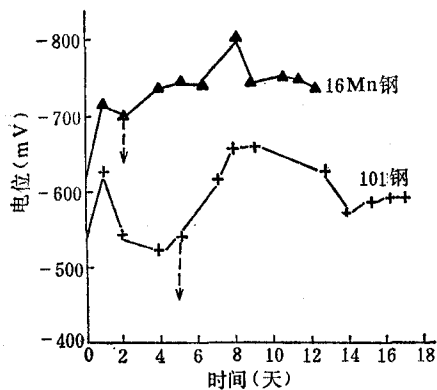


图1 16Mn钢和101钢自由腐蚀电位变化情况

2. 间接偶接腐蚀试验各偶对的腐蚀电流示于图2。经19天偶接腐蚀试验后, 间接偶接及直接偶接各偶对试样表面腐蚀特征、腐蚀速度和接触效应(接触腐蚀速度与自由腐蚀速度之差)、接触效应比率(接触效应与自由腐蚀速度之比), 列于表2。

3. 搅动海水时16Mn钢和101钢自由腐蚀电位的变化情况如图1中虚线箭头所示, 各偶对腐

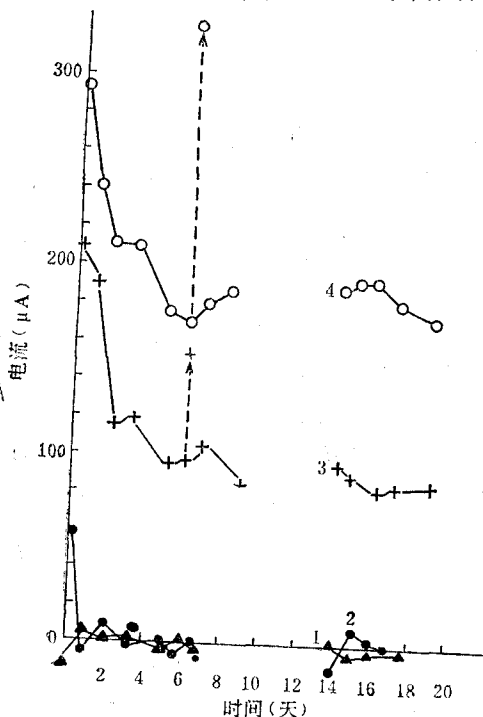


图2 间接偶接各偶对腐蚀电流变化情况  
1为101钢对101钢(1:1); 2为16Mn钢对16Mn钢(1:1); 3为16Mn钢对101钢(1:1); 4为16Mn钢对101钢(1:2)。

表2 16Mn钢与101钢电接触偶对组合情况及其实验结果

编号	偶对材料		面积 (cm <sup>2</sup> )		失重 (mg)	腐蚀速度 (mg/day·dm <sup>2</sup> )		接触效应 (mg/day·dm <sup>2</sup> )		接触效应比率 (%)		样板腐蚀表面特征	偶接方式	
	阳极	阴极	阳极	阴极		阳极	阴极	阳极(加速)	阴极(减缓)	阳极(加速)	阴极(减缓)			
1	16Mn钢	16Mn钢	28.12	28.12	101.0	102.5	(平均值) 19.1	19.1	—	—	—	两块样板皆呈均匀腐蚀	间接	
2	16Mn钢	101钢	28.12	30.66	157.7	1.5	29.5	0.3	10.4	12.8	54	16Mn钢严重腐蚀 101钢无可见锈迹	间接	
3	16Mn钢	101钢	28.12	61.32	189.2	0.9	35.4	0.1	16.3	13.0	85	两块样板皆有严重局部凹蚀	间接	
4	101钢	101钢	30.66	30.66	67.1	85.4	(平均值) 13.1	13.1	—	—	—	16Mn(1)钢和16Mn(2)钢皆严重腐蚀, 101钢无锈迹	直接	
5	16Mn(1)钢	101钢	17.04	11.1	102.2	0	35.0	0	15.9	13.1	83	16Mn(1)钢和16Mn(2)钢皆严重腐蚀, 101钢无锈迹	直接	
	16Mn(2)钢	101钢	17.27	17.27	114.7	0	39.3	0	20.2	106	106	106	106	106

蚀电流变化情况如图2中虚线箭头所示。

### 三、讨论

1. 由图1可见, 16Mn钢在静止海水中自由腐蚀电位的相对稳定值为 $-750\text{mV}$ 左右, 而101钢则在 $-600\sim-650\text{mV}$ 左右波动(相对饱和甘汞电极)。101钢比16Mn钢正约 $100\text{mV}$ 左右。可见, 对16Mn钢而言, 101钢具有相当大的电正性。这可能与其中含钼、钛量较高有关。因此若在海水中将它们直接接触搭配使用将会形成宏观腐蚀电池, 16Mn钢作为阳极腐蚀将被加速, 101钢作为阴极将会得到一定的电化学保护, 这在以下偶接腐蚀实验中得到证实。

2. 从图2曲线3、4可以看出, 16Mn钢与101钢偶接产生数值相当大的接触腐蚀电流, 本实验在偶对间串有电表<sup>1)</sup>的情况下, 其值也达 $100\mu\text{A}$ 以上, 说明宏观腐蚀电池的作用还是相当强烈的。比较曲线3、4可以看出, 电偶电流与两极面积关系很大。在16Mn钢与101钢面积比近于1:1时(偶对2), 电偶电流为 $100\mu\text{A}$ 左右; 而16Mn钢与101钢面积比近于1:2时(偶对3), 电偶电流则增至 $180\mu\text{A}$ 左右。由于偶对间串有电表电阻, 虽然这些电流值不能准确地表示出面积改变与接触腐蚀间的定量关系, 但随着101钢面积的加大, 16Mn钢将会受到更为严重的加速腐蚀却是确证无疑的。这从各偶对试样的腐蚀速度不同也可以看出, 在16Mn钢与101钢面积比为1:1时, 16Mn钢的腐蚀速度为 $29.5\text{mg}/\text{day}\cdot\text{dm}^2$ , 比16Mn钢自由腐蚀速度 $19.1\text{mg}/\text{day}\cdot\text{dm}^2$ 增大 $10.4\text{mg}/\text{day}\cdot\text{dm}^2$ (即接触效应为 $10.4\text{mg}/\text{day}\cdot\text{dm}^2$ ); 而16Mn钢与101钢面积比为1:2时, 16Mn钢腐蚀速度增至 $35.4\text{mg}/\text{day}\cdot\text{dm}^2$ , 接触效应增大为 $16.3\text{mg}/\text{day}\cdot\text{dm}^2$ 。可见作为阴极的101钢面积越大, 其对16Mn钢的加速腐蚀作用也就越大。由此可见, 在海洋工程中将16Mn钢和101钢接触搭配使用是不当的。

3. 由表2偶对(5)可知, 尽管此偶对中101钢与16Mn钢的面积比仅约1:3, 但由于是直接偶接, 回路中无串连电阻, 电偶腐蚀的电流密

度较大, 因此其接触效应大于101钢面积比较大的偶对(2)。因实际工程结构中不同金属交接处的电阻多为短路, 因此其类似于本实验直接偶接这一情况。从表2(5)还可看出, 直接与101钢试样接触的16Mn(2)钢试样, 接触效应远比离101钢试样稍远的16Mn(1)钢试样为大。说明接触腐蚀首先产生于与阴极性金属更为邻近处。可见, 在实际工程结构中, 与电正性金属相距最近的结构部位遭受接触腐蚀的危害就会更大, 更应注意采取保护措施。

4. 由图1中虚线箭头可见, 当搅动海水时, 16Mn钢和101钢的自由腐蚀电位皆向正向移动。而101钢正移幅度更大。这可用101钢其钼、钛含量较高, 当海水搅动氧的扩散增强时, 101钢趋向钝态的倾向更强来解释。这样在16Mn钢与101钢所形成的偶对中, 在海水搅动时, 由于101钢电位正移幅度比16Mn钢大, 作为电偶腐蚀驱动力的两者的电位差也就变得更大, 因此腐蚀电流也会相应变大。这由图2中虚线箭头所示现象得到证实。当然, 搅动海水, 氧的扩散加快, 加强了去极化过程, 这也是腐蚀电流加大的原因。在自然海洋环境中, 由于海浪运动, 充气条件远比室内静止海水要好, 可以推论, 16Mn钢与101钢的接触腐蚀将会比室内更为严重。

### 四、结语

101钢由于在海水中比16Mn钢表现出更大的电正性, 因此若将它们在同一海洋构筑物上直接接触搭配使用将会产生强力接触腐蚀。16Mn钢的腐蚀将会被大大加速。101钢的相对面积越大, 对16Mn钢的加速腐蚀作用也越大, 而腐蚀最严重处将是16Mn钢构件上与101钢构件最邻近的部位。这些部位腐蚀的增加会造成整个构筑物过早的损坏。可见将16Mn钢与101钢搭配使用是不当的。建议避免使用。本工作还证明, 不仅不同类型的金属材料例如铜和钢不能在海水中简单接触搭配使用, 就是一般工程

1) 本工作进行时, 国内尚未有零电阻电流表生产, 所串电表电阻 $300\Omega$ 左右

用钢, 相互间也应充分注意接触腐蚀问题。在一定要将不同金属材料组合使用时, 则可使不同材料间相互绝缘以切断接触腐蚀电路, 或施行有效防护措施如阴极保护等来消除或减少接触腐蚀的危害。

### 参 考 文 献

- [1] Mansfeld, F., 1973. The relationship between galvanic current and dissolution rate. *Corrosion* 29(10): 403—

405.

- [2] —, 1973. Galvanic corrosion of Al alloys coupled to coated pH 13—8 Mo stainless steel. *Corrosion* 29(7): 276—281.
- [3] J. A. Von Fraunhofer and P. J. Staheli, 1972. The measurement of galvanic corrosion currents in dental amalgam. *Corrosion Science* 12(10): 767—773.
- [4] Mansfeld, F. and E. P. Parry, 1973. Galvanic corrosion of bare and coated Al alloys coupled to stainless steel 304 or Ti-6Al-4V. *Corrosion Science* 13(8): 605—621.

## THE GALVANIC CORROSION OF 16Mn STEEL-101 STEEL IN SEA-WATER

Ji Mingtang

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

### Abstract

In the present paper the galvanic corrosion of 16Mn steel-101 steel in sea-water has been investigated. The influences of various area ratios and motion of sea-water on the galvanic current and weight loss are given. The causes of galvanic corrosion of the system have been analysed. Experimental results showed that the use of 16Mn steel and 101 steel with electrical coupling in sea-water is unfit.