

# 海水腐蚀性的双因素环境评价法<sup>\*</sup>

朱相荣 黄桂桥

(钢铁研究总院青岛海洋腐蚀研究所 青岛 266071)

**提要** 根据我国各海域主要环境因素数据、部分碳钢、低合金钢的局部腐蚀深度数据以及用灰关联分析法的研究结果,提出了评价我国海域腐蚀性(包括分类)的探索性方案——双因素环境评价法。该方案根据海水温度和海生物附着面积的等级将海水腐蚀性分为 C1 ~ C5 5 个类别。而 C1 ~ C5 的标准是以碳钢在海水中 1 年的腐蚀深度值划分的 5 个等级。所以,我国各海域的海水腐蚀性分类是:秦皇岛、青岛、舟山属于 C2;厦门、北海、湛江为 C3;榆林、西沙属于 C4。

**关键词** 海水腐蚀性,碳钢,环境因素,评价

**中图分类号** TGI 72.5 **文献标识码** A **文章编号** 1000-3096(2003)01-0065-04

自然环境腐蚀性是腐蚀领域最早关注的问题之一。其中对大气腐蚀性的评价与分类研究得比较早,目前国际上取得了大气腐蚀性分类国际标准 ISO 223,在我国也有相应的国家标准 GB/T 15975-95。土壤腐蚀性问题虽然比较复杂,但腐蚀性分类的标准已处于使用、调整的阶段,国际上以西德的标准 DIN 50929 和美国的 ANSI A21.5 标准评价方法较为流行和通用。我国石油部有几个标准在使用<sup>①</sup>。可是,有关海水腐蚀性的问题尚处在试验、积累和探索阶段。

Pull Bopinder 等 1975 年曾在世界 14 个海水试验点用 3 种典型材料做试验,阐述了不同试验点海洋环境因素对腐蚀的影响,但未对海洋环境因素作统计分析和解析,也未见用环境因素评价海水腐蚀性的研究报道。近年,国内研究者报道过海水环境钢铁成分与钢铁腐蚀的影响<sup>[1,2]</sup>,用人工神经网络技术分析海水环境因素、钢铁成分与钢铁腐蚀三者的关系<sup>[3]</sup>。作者曾以典型碳钢、低合金钢,典型铝合金为实验用材,用灰关联分析方法探讨了海洋环境因素与海水中局部腐蚀的相关性<sup>[4-7]</sup>。研究结果表明,在海水中对碳钢局部腐蚀影响较大的环境因素是海水温度和海生物附着程度。因此,本文在测定了我国各海区主要海洋环境因素数据以及部分碳钢、低合金钢在我国几个海区全浸腐蚀试验的局部腐蚀数据的基础上,提出了以碳钢为试验的基准材料,对我国海域海水腐蚀性评价(和分类)的一个探讨性方案。

## 1 试验结果

### 1.1 我国各海区的主要环境因素(年平均)

数据见表 1。

### 1.2 海水腐蚀性评价和分类的基准点的确定

钢铁材料在土壤、大气腐蚀的情况下,局部腐蚀与均匀腐蚀结果的趋势基本相同。因此可以进行土壤腐蚀或大气腐蚀性的评价和分类。而在海水腐蚀的情况下,由于海生物附着,它对局部腐蚀与均匀腐蚀的影响的效果截然相反。加上海洋环境因素的多元性、复杂性、可变性,因此,对海水腐蚀性的评价和分类就有一定的难度。

根据对水面船舶及水下船艇腐蚀状况的多次调查表明,船舶在南海比在东海、黄海的腐蚀严重,用户反映常有因腐蚀而影响船舶在南海的出航率。在各海域多年挂片数据的统计结果表明,从北到南的局部腐蚀逐渐加重,而均匀腐蚀却逐渐减轻。同一海区各种钢均匀腐蚀的结果基本相当,因为都受氧的扩散控制。而不同海区钢的均匀腐蚀结果相差也不大,但不同海区钢的局部腐蚀结果相差却较大。因此,作者在前报评价海水腐蚀性时<sup>[5]</sup>,采用了以碳钢在海水中的局部腐蚀深度为基准点,用灰关联分析法解析海水环境因素与钢铁在海水中局部腐蚀的关系<sup>[7]</sup>并引入了

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金资助项目 59899142 号

<sup>①</sup> 吴昉. 土壤腐蚀性的影响因素及其分级标准. 石油系统腐蚀论文集, 第一集, 1981, 36-41

第一作者:朱相荣,出生于 1938 年,教授级高级工程师,在研项目:海水腐蚀数据积累及规律性研究(国家自然科学基金重大项目)。E-mail: qmci@mail.qtd.com.cn

收稿日期:2001-08-24;修回日期:2001-12-20

表 1 我国部分海区的主要环境因素(年平均)

Tab.1 Environmental factors of sea zone in China (annual mean)

海区	海水温度(℃)	溶解氧(ml/L)	盐度	pH	流速(m/s)	海生物附着面积(%)
秦皇岛	12.5	5.6	30.5	8.10	0.01	90
青岛	13.6	5.6	32	8.16	0.1	50
舟山	17.4	5.62	24.5	8.14	0.2	65
厦门	20.9	5.3	27	8.17	0.405	100
北海	23.8	5.19	27.9	8.05	0.01	100
湛江	22.3	5.06	32.6	8.15	-	100
榆林	26.7	4.5	34	8.30	0.014	100
西沙 <sup>1)</sup>	26.8	4.45	33.75	-	-	100

1) 莺歌海的数据

海水腐蚀性评价因子:

$$Q = \sum_{i=1}^3 (Y_i \times f_i)$$

式中  $Y_i$  是 3 个影响程度较大的环境因素(温度、海生物附着、pH),  $f_i$  是 3 个影响程度较大的环境因素对腐蚀深度的关联度, 此处, 是以  $Y_i$  与  $f_i$  乘积之和作评价基数的。

## 2 我国海域海水腐蚀性的分级意见

文献[5]的结果只是一种评价海水腐蚀性的方法, 而未能对海水腐蚀性的强弱进行分类(或分级), 但是, 前报的结果<sup>[5]</sup>却为我们提出用海水温度和海生物附着面积这两个主要的环境因素给海区的腐蚀性进行评价和分类, 提供了科学的依据和支持。因此, 将海区的腐蚀性分为 5 个类别的标准见表 2。

表 2 双环境因素评价海水腐蚀性的分类标准

Tab.2 The classified standard of evaluation sea water corrosivity by double environmental factors of sea zone in China

类别	温度 $T$ (℃)	附着面积 $A$ (%)	定级
1	< 5	< 10	C1 = T1 + A1 ~ 2
2	5 ~ 15	10 ~ 30	C2 = T2 + A2 ~ 3
3	15 ~ 25	30 ~ 50	C3 = T3 + A3 ~ 4
4	25 ~ 30	50 ~ 80	C4 = T4 + A5
5	> 30	80 ~ 100	C5 = T5 + A5

注: 以温度  $T$  为主,  $A$  的参数增加一级,  $C$  的等级增加一级

那么, 上列各海区海水腐蚀性的类别应为:

C2 —— 秦皇岛、青岛、舟山; C3 —— 厦门、北海、湛江; C4 —— 榆林、西沙。

C1 ~ C5 的 5 个类别相对于碳钢在海水中局部腐蚀深度的标准, 将如何确定? 表 3 是所示为部分碳钢、

低合金钢在我国海区的全浸区暴露 1 年的局部腐蚀深度数据。根据表 3 的数据, 我们确定以碳钢在海水中 1 年的平均局部腐蚀深度值为基准, 拟把海区腐蚀性分为 5 个类别的标准为:

- C1 ——  $\leq 0.25$  mm 弱腐蚀性
- C2 ——  $0.25 \sim 0.50$  mm 小腐蚀性
- C3 ——  $0.50 \sim 0.70$  mm 中等腐蚀性
- C4 ——  $0.70 \sim 1.00$  mm 强腐蚀性
- C5 ——  $\geq 1.00$  mm 高腐蚀性

例如, Q235 钢在各海区全浸区暴露 1 年的局部腐蚀深度值, 分别为:

- 秦皇岛 —— 0.42 mm; 青岛 —— 0.41 mm;
- 舟山 —— 0.59 mm; 厦门 —— 0.65 mm;
- 北海 —— 0.68 mm; 湛江 —— 0.63 mm;
- 榆林 —— 0.70 mm; 西沙 —— (1.17 mm)

由此可见, 2 种碳钢、8 种低合金钢在我国各海区按照局部腐蚀深度值将海水腐蚀性所分出的类别与上列各海区海水腐蚀性的双因素分类的等级相吻合。现在采用 1 年的局部腐蚀深度为基准点, 它与长周期的结果基本一致(如表 4 所示)。这也表明, 此评价标准是可行的。

## 3 讨论

3.1 本文提到的海水中局部腐蚀深度值是在实海试样上取 10 个点腐蚀深度的平均值, 对海水腐蚀性的评价用的是局部腐蚀深度值为基准数据。

3.2 本文提出的海水腐蚀性的双因素环境评价法, 对碳钢和含 Mn 低合金钢比较合适, 也就是说, 这两类钢铁材料对环境中海水温度和海生物附着这两个因素的敏感性较大。从另一个角度看, 海水环境因素对钢腐蚀的影响以海水温度和海生物附着这两个因素对局部腐蚀较敏感, 其实, 这一点从作者的灰关

表 3 碳钢、低合金钢在我国海区的全浸区暴露 1 年的局部腐蚀深度数据

Tab.3 Localized corrosion depth data of carbon steel and low alloy steel at full immersion zone(1a) in sea areas of China( mm)

材料	海区							
	秦皇岛	青岛	舟山	厦门	北海	湛江	榆林	西沙
Q235	0.42	0.41	0.59	0.65	0.68	(0.63) <sup>1)</sup>	0.70	
3C(j)		0.29		0.77			0.84	(1.17) <sup>2)</sup>
16 Mn		0.34	0.37	0.74			1.10	
921		0.29		0.43			0.98	(1.36) <sup>1)</sup>
15 Mn Nb VN		0.44	0.49	0.75			0.69	
D36		0.32		0.70			1.00	
CF		0.49		0.50			0.86	
09 Mn Nb(j)		0.28		0.84			1.01	
腐蚀类别	C2	C2	C2	C3	C3	C3	C4	C4

1) 不同年份挂片结果; 2) 实船挂片结果

联分析结果已经得到了证明<sup>[5]</sup>。

3.3 本文中提到的我国各海域,是指某海域某一试验点的结果。但海水腐蚀时常受到季节、气候、波浪、海流及污染等的影响,造成海水腐蚀性的主要影响因素可能完全不同,所以,海水腐蚀性所采用的评价方法也可能有不同的方法,本工作只是对已有的几个环境因素条件所作的探索性工作。

#### 4 结论

根据灰关联分析法,确立了影响碳钢、低合金钢

在海水中局部腐蚀的主要环境因素为海水温度和海生物附着程度。因此,以这两个因素不同等级之和成为双因素环境评价方法的探索性方案。该方案的类别相应于碳钢在我国各海域腐蚀试验站点所得到的局部腐蚀深度值的类别(C1 ~ C5)。因此,用双因素环境评价法可以为我国海域的腐蚀性作出评价。其中,秦皇岛、青岛、舟山等海域为 2 类;厦门、北海、湛江等海域为 3 类;榆林、西沙等海域为 4 类。也可以认为,对我国海域的腐蚀性的评价有 2 种方法,它们的分类的档次(C1 ~ C5)相互对应。

表 4 长周期与短周期试验的腐蚀深度数值的比较( mm)

Tab.4 Compare of long and short period Testing corrosion depth dates ( mm)

材料	时间( a)	青岛	舟山	厦门	榆林
Q235	1	0.41	0.59	0.65	0.70
	8	1.14	1.14	1.15	1.40
	16	1.41	-	2.03	2.42
16 Mn	1	0.34	0.39	0.74	1.10
	8	1.12	1.14	1.21	1.35
	16	1.37	-	1.06	2.18
921	1	0.29	-	0.43	0.98
	8	0.63	2.20	1.12	2.66
	16	1.65	-	1.98	-
3C(j)	1	0.29	-	0.77	0.84
	8	0.72	1.10(3Cw)	1.01	1.08
	16	1.04	-	1.46	1.20
15 Mn NbVN	1	0.44	0.49	0.75	0.69
	8	0.92	-	0.99	1.39
	16	1.15	-	1.10	1.66

参考文献

- 1 王相润. 海洋环境因素对钢腐蚀速度的影响. 海洋科学, 1988, (1): 31 - 34
- 2 侯保荣. 海洋腐蚀环境理论及其应用. 北京: 科学出版社 1999. 47 - 52
- 3 孔德英, 宋诗哲. 人工神经网络技术探讨碳钢、低合金钢的实海腐蚀规律. 中国腐蚀与防护学报, 1998, 18 (4): 70 - 74
- 4 朱相荣, 张启富. 海水中钢铁腐蚀与环境因素的灰关联分析. 海洋科学, 2000, 24(5): 37 - 40
- 5 朱相荣, 张启富. 灰关联分析法探讨环境因素与海水腐蚀性关系. 中国腐蚀与防护学报, 2000, 20(1): 29 ~ 34
- 6 朱相荣. 铝合金海水腐蚀与环境因素的灰关联分析. 腐蚀科学与防护技术, 2001 (1): 9 - 11
- 7 朱相荣. 环境因素评价海水腐蚀性的方法探讨, 第二届海峡两岸材料腐蚀与防护研讨会论文集. 台南: 成功大学编印, 2000. 390 - 394
- 8 黄桂桥. 碳钢在我国不同海域的海水腐蚀行为. 腐蚀科学与防护技术, 2001(2): 81 - 84

## EVALUATION METHOD OF SEA WATER CORROSION BY MEANS OF DOUBLE ENVIRONMENTAL FACTORS

ZHU Xiang-Rong HUANG Gui-Qiao

( Qingdao Marine Corrosion Institute CISRI, Qingdao, 266071 )

Received: Aug., 24, 2001

Key Words: Sea water corrosivity, Carbon steel, Environment factor, Evaluation

### Abstract

According to the research results of "STUDY ON DEPENDENCE OF SEA WATER CORROSION ON ENVIRONMENTAL FACTORS BY GREY RELATIONAL SPACE ANALYSIS", the sea water temperature and fouling area are the main environmental factors influencing localized corrosion depth. On the basis of data of the main environment factors in Chinese sea area, localized corrosion data of carbon steel, low alloy steel and the research results of GREY RELATIONAL SPACE ANALYSIS, the evaluation method of double environmental factors has been proposed in this paper. It can evaluate sea water corrosivity of sea area in China. The sea water corrosivity has been divided into five grades C1 ~ C5 by the value of sea water temperature and fouling area or the value of localized corrosion depth of carbon steel in sea water(1a).

Therefore, the grades of sea water corrosivity of sea area in Qinhuangdao, Qingdao, Zhoushan belong to C2; Xiamen, Beihai, Zhanjiang to C3; Yulin, Xisha to C4.

( 本文编辑:张培新)