

平台钢在海洋环境中腐蚀因子的灰色关联分析

兰志刚^{1,2,3}, 侯保荣¹, 宋积文², 陈胜利², 张杰²

(1. 中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2. 中海油能源发展股份有限公司北京分公司, 北京 100027; 3. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要: 结合海洋平台实测的 pH 值、温度、溶解氧、盐度、生物附着等数据, 通过灰色关联算法分析了海水腐蚀因子对平台钢腐蚀的影响, 并按实际影响大小进行了排序。结果表明海水腐蚀因子对于 A537-1 钢和 SM50B-ZC 钢平均腐蚀速率的影响主次顺序不同。对平台钢的腐蚀规律研究及现场应用提供了可参考的依据。

关键词: 灰色关联分析; 腐蚀因子; 海洋腐蚀

中图分类号: TG174

文献标识码: A

文章编号: 1000-3096(2010)11-0069-03

腐蚀因子分析及腐蚀预测一直是腐蚀领域中重要的研究内容^[1]。在海洋环境中, 金属的腐蚀受到各种环境因素, 如海水温度、溶解氧含量、盐度、pH 值、生物活性等的影响。由于海水环境中许多因素之间是相互联系的, 其中某一因素变化会影响其他因素的数值, 因此很难区分每个因素的单独作用。灰色关联技术可以方便地对部分信息确定、部分信息不确定的系统进行分析, 进而确定各因素的影响大小, 因此可以用来分析各种海洋环境因子对金属腐蚀的影响。王海涛等^[2,3]应用灰色理论中的 GM(1,1) 灰色模型和灰色关联分析预测了碳钢、低合金钢在青岛、厦门和榆林全浸区海水腐蚀速率并研究了海水环境对腐蚀速率的影响。模型经后验差检验显示有很好的精度, 通过灰色关联分析建立的海水环境和腐蚀速率关联度显示, 海水腐蚀的主要影响因素是溶解氧浓度、pH 值和平均盐度。杨晓明^[4]等对海水腐蚀的主要影响因素进行了分析预测。但是尚无针对海洋平台区域的实测数据进行腐蚀因子的灰色关联分析报道。作者利用海洋石油平台在多个海区实测相关的腐蚀因子, 进行了灰色关联分析。

1 海洋环境中腐蚀因子的灰色关联分析的研究方法

灰色关联度理论是一种利用数据相对较少的几何分析方法。它根据因素之间发展态势的相似程度来衡量因素间关联程度。它对样本量的多少没有过分要求, 也不需要典型的分布规律, 且计算量小。

设有 m 个与母序列 x_0 有一定关联作用的子序列 (x_1, x_2, \dots, x_m) 它们有 N 组数据或序列。其中母序列表示为 $x_0(k)$, 式中 $k=1, 2, \dots, N$; 子序列表示为 $x_i(k)$, 式中 $k=1, 2, \dots, N; i=1, 2, \dots, m$ 。对上述数据序列均作归一化处理, 求得:

$$\bar{x}_0 = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_0(k); \quad \bar{x}_i = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N x_i(k)$$

因各指标原始数据量纲不同, 数量级差也是悬殊, 故对各原始数据进行变换, 消除量纲, 合并量级, 使其具有可比性, 则将原始母序列和子序列变换为母序列和子序列的相对值

$$\dot{x}_0(k) = \frac{x_0(k)}{\bar{x}_0(k)}; \quad \dot{x}_i(k) = \frac{x_i(k)}{\bar{x}_i(k)}$$

利用母序列和子序列的相对值计算各点上母序列和子序列差值的绝对值 $\Delta_i(k)$,

$$\Delta_i(k) = \left| \dot{x}_0(k) - \dot{x}_i(k) \right|$$

并求得 Δ_{\max} 和 Δ_{\min} , 其中 $\Delta_{\max} = \max(\Delta_i(k))$, $\Delta_{\min} = \min(\Delta_i(k))$ 。

计算各点母序列与子序列的关联系数:

$$L_i(k) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_i(k) + \rho \Delta_{\max}}$$

式中 ρ 为分辨系数, $0 < \rho < 1$ 。各子序列和母序列之间的关联度为:

收稿日期: 2010-05-04; 修回日期: 2010-08-24

基金项目: 海洋石油总公司综合科研项目

作者简介: 兰志刚(1963-), 男, 山东青岛人, 高级工程师, 中国科学院海洋研究所在读博士, 从事海洋工程环境和海洋工程防腐工作, E-mail: lanzhg@cnooc.com.cn; 侯保荣, 通信作者, 中国工程院院士, 电话: 0532-82898731, E-mail: baoronghou@qdio.ac.cn

$$r_i = \frac{1}{m} \sum_k^m L_i(k)$$

通常情况下 $r_i > 0.6$, 即认为子母因素之间有较强的关联; 如果 $r_i > r_j$, 则认为 x_i 对 x_0 的关联程度大于 x_j 。关联序是各子序列对母序列的关联程度的大小排列, 从关联序中可以看出: 同一母序列来讲, 哪种

因子的关联度大, 则它对母序列的影响亦大; 反之, 哪种因子的关联度小, 则它对母序列的影响亦小。

2 海洋环境中腐蚀因子的灰色关联分析结果

试验钢种见表 1。

表 1 试验钢材的化学成分

Tab. 1 The chemical components of steel sample

试验钢材	试验钢材的化学成分(%)									
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V
A537-1	13	46	148	1.2	<0.5	18	0.4	1.6	17	5.1
SM50B-ZC	18	39	141	1.9	<0.4	<5	<0.5	5	<1	6

在海洋石油平台设计过程中, 平台所在海区环境腐蚀要素, 海区污损生物生长范围和厚度以及各种平台钢耐腐蚀性能等资料是必不可少的参数。为此, 20 世纪 80 年代和 90 年代在南海多个海区利用浮标技术开展了测量周期 1 a 的实海腐蚀挂片试验和环境参数测量。利用 2 种钢样(钢材成分见表 1)以绝缘串挂方式进行挂片试验, 试样加工成 200 mm×100 mm×5 mm。每个钢样投放 3 个平行样, 获得了钢样在表层全浸区(海平面下 2 m 处)的平均腐蚀速度(表 2)。同时利用 HP-2 型颠倒温度计、HD-2 型盐度计、G3D 型数字式 pH 计、赛克盘、水色计、直读式海流计、溶解氧仪获得了相应海区的温度、盐度、

pH、透明度、水色、海流流速、溶解氧、生物附着等腐蚀环境参数(表 3)。其中站位 B1(108°35'00"E, 21°00'12"N)、B2(109°00'00"E, 20°40'00"N)是指北部湾海区, Y1(108°49'18"E, 18°08'48"N)、Y2(109°06'47"E, 17°48'00"N)指莺歌海海区, Z1(115°36'29"E, 20°41'34"N)指珠江口海区, W1(112°19'55"E, 19°40'39"N)、J1(115°36'29"E, 20°41'34"N)指文昌海区。

现以上述试验数据作为样本, 用灰色关联方法研究温度、盐度、pH、透明度、水色、海流流速、溶解氧、生物附着对 A537-1 和 SM50B-ZC 两种不同钢样腐蚀率的影响程度。分析中, 以两种钢样的平均腐蚀率为母序列, 以上述环境因子位子序列。将表 2、

表 2 不同站位全浸区腐蚀速率统计

Tab. 2 Statistics of corrosion rates in submerged zone at different sites

试验钢材	全浸区年平均腐蚀速率(mm/a)						
	B1	B2	Y1	Y2	Z1	W1	J1
A537-1	0.26	0.20	0.28	0.43	0.30	0.24	0.37
SM50B-ZC	0.31	0.25	0.35	0.42	0.34	0.3	0.45

表 3 全浸区平均腐蚀速率与腐蚀环境参数灰色关联度计算结果

Tab. 3 Grey relation analysis between mean corrosion rates and marine environmental factors in submerged zone at different sites

站位	水温(°C)	盐度	pH 值	透明度(m)	水色(号)	流速(kn)	溶解氧体积比(mL/L)	生物附着面积分数(%)
B1	26.12	33.12	8.25	4.7	6.67	1.35	4.54	78
B2	25.94	32.11	8.22	1.3	19	1.82	4.72	79
Y1	28.06	33.66	8.2	8.3	5	1.6	4.66	99
Y2	27.53	34.12	8.2	13.7	2.67	3	4.77	100
Z1	26.9	NA	8.2	11	7.8	1.27	NA	NA
W1	27.9	33.96	8.35	19.3	5	0.97	4.78	100
J1	27.45	33.85	8.34	NA	NA	1.21	4.74	89
A537-1 关联度	0.836	0.813	0.834	0.754	0.732	0.837	0.835	0.836
SM50B-ZC 关联度	0.877	0.858	0.868	0.711	0.719	0.802	0.873	0.869

注: NA 表示无此数据

表 3 的数据代入上述灰色关联计算公式可以算出腐蚀速率与不同海洋腐蚀环境参数之间关联度(表 3)。

从表 2 看出, 与 SM50B-ZC 号钢材相比, A537-1 号钢材腐蚀速率低。从表 3 的计算结果可以看出, 对于 A537-1 号钢而言, 影响平均腐蚀速率的环境因子主次顺序依次为: 流速、水温、生物附着、溶解氧、pH、盐度、透明度、水色; 而对于 SM50B-ZC 号钢而言, 影响平均腐蚀速率的环境因子主次顺序依次为: 水温、溶解氧、生物附着、pH、盐度、流速、水色、透明度。

流速之所以会增加腐蚀速度, 是因为它的去极化作用。流动海水会破坏锈层和提供更多的氧。冲击腐蚀会促使快速蚀穿, 空泡腐蚀损坏钢露出新鲜的表面而进一步腐蚀。在作者的浮标挂片试验中, 这种影响不仅来自于平流, 还来自波浪影响浮标上下运动引起对试样垂直方向上的作用。北部湾海区腐蚀速度较小与其风浪较小, 垂直方向的冲击小有一定的关系。

从以上测得的腐蚀数据还可以看出, 北部湾 B2 站海水溶解氧比莺歌海 Y1 站大, 海水温度比 Y1 低, 钢的平均腐蚀率也比 Y1 小。由此可见, 钢的平均腐蚀率并不随氧的浓度变化而变化, 而是随着海水温度降低而减小。可以认为, 在海水溶解氧达到一定浓度时的腐蚀电化学反应过程中, 电极表面的扩散速度是反应速度的阻滞步骤, 也是反应速度的控制步骤。海水温度升高不仅使电极反应速度加快, 并且使

氧向阴极表面扩散加快, 阴极和阳极的反应产物向海水本体中扩散加速, 从而加剧钢的腐蚀。

3 结论

本文以海洋平台区域实测的 pH 值、温度、溶解氧、盐度、生物附着等海洋环境因子, 利用灰色关联技术分析了上述环境影响因子对海洋平台钢腐蚀的影响, 并按实际影响大小进行了排序。对各个影响因素的关联度进行了分析, 结果表明对于 A537-1 号钢而言, 影响平均腐蚀速率的环境因子主次顺序依次为: 流速、水温、生物附着、溶解氧、pH、盐度、透明度、水色; 而对于 SM50B-ZC 号钢而言, 影响平均腐蚀速率的环境因子主次顺序依次为: 水温、溶解氧、生物附着、pH、盐度、流速、水色、透明度。

参考文献:

- [1] Cottis R A, Turega M. Neural Network Applications in Corrosion Engineering[M]. Chicago: Engineering Books Inc., 1993. 201-204
- [2] 王海涛, 韩恩厚, 柯伟. 灰色理论对碳钢、低合金钢海水腐蚀的预测和分析[J]. 腐蚀与防护, 2005, 26(9): 373-374.
- [3] 王海涛, 韩恩厚, 柯伟. 碳钢、低合金钢大气腐蚀的灰色模型预测及灰色关联分析[J]. 腐蚀科学与防护技术, 2006, 18(4): 278-280.
- [4] 杨晓明, 陈明文. 海水对金属腐蚀因素的分析及预测[J]. 北京科技大学学报, 1999, 21(2): 185-187.

Grey relation analysis of steel corrosion and marine environmental factors

LAN Zhi-gang^{1,2,3}, HOU Bao-rong¹, SONG Ji-wen², CHEN Sheng-li², ZHANG Jie²

(1. Institute of Oceanology, the Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2. CNOOC Energy Technology & Services Limited, Beijing Branch, Beijing 100027, China; 3. Graduate School, the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Received: May, 4, 2010

Key words: grey relation analysis; corrosion indicator, marine corrosion

Abstract: Influence of marine corrosion indicators on platform steel was studied by grey relation analysis based on in-situ measured pH, temperature, dissolved oxygen, salinity, and bio-fouling. The relation was arranged by actual effects. The results show that the influence orders of marine corrosion indicators on corrosion for A537-1 and SM50B-ZC are difference. Our results are useful to understand the corrosion behavior of marine platform steel.

(本文编辑: 刘珊珊)