南海某气田 B 平台腐蚀环境探讨

尹相淳　　徐明德

(国家海洋局第一海洋研究所 青岛 266061)

提要　根据 1997 年 2 月国家海洋局第一海洋研究所和广州二海海洋勘察公司对北部湾南部某气田海区海水及沉积物腐蚀性因子调查的资料，概述了该海区电阻率、溶解氧、Fe^{3+}/Fe^{2+}、Eh、有机质等腐蚀因子的特征。对腐蚀环境进行了综合分析，指出调查区海水腐蚀情况与邻近海区海水接近，各站表层海土腐蚀性偏向于较强级，从而提出了防腐蚀对策。

关键词　B 平台，氧化-还原环境，腐蚀性因子

海水及海洋沉积物中的有机质含量、氧化-还原电位 Eh，Fe^{3+}/Fe^{2+}等反映了海洋环境的化学特征——氧化性或还原性。而海洋的氧化-还原环境直接影响气田设施的腐蚀程度，分析并探讨海洋的腐蚀环境，对于如何防治气田平台的腐蚀，有着重要意义。

1　调查内容及方法

1.1　调查项目

1.1.1　海水腐蚀性因子　水温、溶解氧、盐度、pH、Es、电阻率、Fe^{3+}/Fe^{2+}、硫酸盐还原菌。

1.1.2　海土腐蚀性因子　沉积物类型、泥温、pH、Eh、Es、电阻率、Fe^{3+}/Fe^{2+}、有机质、CO_3^{2-}。

1.2　测站

平台区水样取之 W2、W13 站位，采底层(0.1 h)，

第一作者：尹相淳，出生于 1944 年，副研究员，从事海洋环境化学研究。电话：0532-8897437

收稿日期：2000-09-20；修回日期：2001-08-06

坐标：W2-154510.000 X,2057000.00 Y; W13-161331.235 X,20063431.107 Y。沉积物样每站采表层(泥面下10 cm左右)，-100 cm层，-200 cm层样(视现场取样情况不同，取样层次有所增减)。平台中心位置周边设8个取样点，它们两两一组，分别设在详探区正方形的4个角上和一般勘探区正方形四边的中点上。海土测站位置及采样情况见表1。

表1 测站位置及采样情况(1997-02-10)

Tab.1 Sampling stations and sampling condition (1997-02-10)

站号	坐标		土样深度(m)
	X	Y	
BK1	151611.183	2059819.882	0.1,0.9,1.9
BK2	151970.831	2060754.134	0.1,0.9,1.9
BK3	151323.860	2060466.835	0.1,0.9,1.9
BK4	152258.138	2060107.195	0.1,0.9,1.9
BK5	151532.244	2060172.075	0.1,0.9,1.9
BK6	151905.941	2060028.236	0.1,0.9,1.9
BK7	152049.802	2060401.944	0.1,0.9,1.9
BK8	151676.083	2060545.781	0.1,0.9,1.9

1.3 分析方法及设备[1]

1.3.1 海水腐蚀因子

温度：颠倒温度计法。

盐度：HD-1型电导盐度计测定。

pH：pHS-2C型酸度计，精度0.01 pH。

溶解氧：碘量法，检出限20 μmol/L

Es：pHS-2C型酸度计，精度±1 mV。

电阻率：由盐度换算。

Fe^{3+}/Fe^{2+}：光度比色法。

硫酸盐还原菌：SRB培养基配方 MPN法计数。

1.3.2 沉积物腐蚀因子

沉积物类型：肉眼鉴定。

泥温：水银温度计法。

pH：DF-807型数字pH计，精度0.01 pH。

Eh：电位计法，DF-807型离子极。

Es：碘量法。

Fe^{3+}/Fe^{2+}：EDTA容量法。

电阻率：DDS-11A型电导率仪测电导率，换算为电阻率。

有机质：滴定法。

CO_3^{2-}：酸滴定法。

2 调查结果

2.1 海水腐蚀性因子

W13站 水温：22.6 ℃，pH：8.13，溶解氧：441 μmol/L，Fe^{3+}/Fe^{2+}：1.33，电阻率：19.996 Ω·cm；Es：未检出。盐度：34.578。SRB：3.0×10^{-2}个/cm^3。

W2站 水温：23.2 ℃，pH：8.16，溶解氧：431 μmol/L，Fe^{3+}/Fe^{2+}：1.00，电阻率：19.899 Ω·cm，Es：未检出。盐度：34.500。SRB：1.5×10^{-2}个/cm^3。

由于本海区海流较大，一般为80~90 cm/s，海水交换情况良好，致使不同站位的各项腐蚀因子数值差别不大。

2.2 海土腐蚀因子

详见表2。

2.3 腐蚀性因子特征

2.3.1 海水腐蚀性因子特征

水温范围为22.5~23.5 ℃，pH：8.13~8.16，这两项因子有利于硫酸盐还原菌的活动。溶解氧的含量范围为431~441 μmol/L，属海水正常含氧范围。Fe^{3+}/Fe^{2+}范围为1.00~1.33，为氧化-还原环境范围。电阻率值在19.899~19.996 Ω·cm之间。盐度值为34.550~34.578之间，说明海水含盐量(包括Cl^-离子)较高，对金属材料腐蚀性较强。硫化物未检出。

2.3.2 海土腐蚀性因子特征

沉积物类型：在所调查的8个站位中，表层(0.0~0.1 m)与中层(0.9~1.0 m或0.8~0.9 m)沉积物类型全部为黏土；深层(1.9~2.0 m或1.8~1.9 m)均为粉砂质黏土，看来，整个平台区沉积物在所述深度中，水平分布是比较均匀的(整个平台区水深都为70 m左右)，而在同一站位的不同深度上，海土类型都是不同的，这种沉积物类型上的差异使钢铁设施在海土中的腐蚀性增加，导致平台钢桩发生宏观电偶腐蚀，当然，这仅是可能，具体情况还取决于其他腐蚀因子和平台附近的水动力等状况。

泥温：泥温范围为23.5~24.0 ℃之间，虽然有几个站沉积物温度在测定的各层相同，甚至个别站出现上层高下层低的情况，大多数站呈上层土温低于下层的分布规律，具有冬季的特征。

pH：各站pH范围在7.88~8.65之间，上下层无一定分布规律。

Eh：范围为303~408 mV，表层高于底层，全部在300 mV以上，属于强氧化环境。

Es：各站Es值范围为38.95×10^{-6}~192.32×10^{-6}，多数站位表层值较深层值低。

Fe^{3+}/Fe^{2+}：范围为0.042~0.353，为还原环境，各站都为表层值高于底层。

电阻率：测值范围为111~208 Ω·cm，差异较少，一般分布规律为深层值大于表层。

有机质：有机质在各站测值范围为0.86%

表 2 沉积物腐蚀因子

Tab.2 The corrosive factors of marine sediment

站号	层深 (m)	海土类型	泥温 (℃)	pH	Eh (mV)	Fe^{3+}/Fe^{2+}	电阻率 (Ω·cm)	Es ($\times 10^{-6}$ mV)	CO_3^{2-} ($\times 10^{-2}$)	有机质 (%)
BK1	0.0~0.1	黏土	23.5	7.95	392	0.353	185	102.10	4.99	1.14
	0.9~1.0	黏土	24.0	7.88	365	0.052	147	175.79	4.84	1.00
	1.9~2.0	粉砂质黏土	24.0	8.20	373	0.044	147	150.86	4.85	1.11
BK2	0.0~0.1	黏土	24.0	8.22	399	0.158	143	167.77	4.80	1.13
	0.8~0.9	黏土	23.5	8.30	311	0.157	172	143.75	4.93	1.21
	1.8~1.9	粉砂质黏土	24.0	8.24	341	0.060	161	192.32	5.55	1.12
BK3	0.0~0.1	黏土	23.5	8.38	394	0.175	192	111.79	4.86	1.23
	0.8~0.9	黏土	24.0	8.39	361	0.134	200	153.44	4.88	1.12
	1.8~1.9	粉砂质黏土	24.0	8.34	353	0.136	208	186.97	5.11	1.29
BK4	0.0~0.1	黏土	24.0	8.26	359	0.168	143	70.46	4.69	1.04
	0.8~0.9	黏土	24.0	8.51	306	0.090	175	191.28	5.03	1.05
	1.8~1.9	粉砂质黏土	24.0	8.38	303	0.064	156	171.86	4.99	0.98
BK5	0.0~0.1	黏土	23.5	8.39	408	0.101	147	97.79	4.72	1.22
	0.8~0.9	黏土	24.0	8.04	354	0.061	156	187.30	5.07	1.20
	1.8~1.9	粉砂质黏土	24.0	8.11	383	0.059	154	144.29	4.59	0.86
BK6	0.0~0.1	黏土	23.5	8.10	367	0.142	152	81.29	5.11	1.15
	0.8~0.9	黏土	23.5	7.92	321	0.079	167	158.89	5.09	1.21
	0.8~1.9	粉砂质黏土	23.5	8.05	338	0.042	164	68.37	5.09	1.26
BK7	0.0~0.1	黏土	23.5	8.27	361	0.156	111	38.95	5.55	1.17
	0.8~0.9	黏土	23.5	8.05	355	0.062	141	132.82	5.14	1.04
	1.8~1.9	粉砂质黏土	24.0	8.23	368	0.048	139	161.33	5.03	1.16
BK8	0.0~0.1	黏土	23.5	8.15	358	0.243	125	147.82	4.92	1.15
	0.8~0.9	黏土	23.5	8.50	347	0.165	200	192.23	5.09	1.41
	1.8~1.9	粉砂质黏土	23.5	8.42	344	0.195	187	146.80	4.98	1.08

~1.41 %之间,有一定的差别。大多数站位表层有机质值高于底层。

CO_3^{2-}: 碳酸盐的测值范围为 4.55×10^{-2}~6.61×10^{-2},各站差别不大,基本上是底层值高于表层。

3 腐蚀环境综合分析

3.1 海水腐蚀性

本海区多项海水腐蚀因子数值与邻近海区(台湾海峡、广西沿海)相比,结果大体一致,未发现异常情况。水文资料表明,本海区无特异水团基本上是无污染的氧化性环境。可以认为该海区海水腐蚀情况与一般海水接近。但本海区地处亚热带,海水温度较高。水温是腐蚀性的重要参数之一,细菌在特定的温度条件下,繁衍迅速,使腐蚀性增强,某些细菌在 pH 7~9 时很活跃,其最佳适存温度 20~30 ℃,与本海区全年水温范围相近,这是应特别考虑的因素。

另外,本海区海流较大,深水区为 80~90 cm/s,腐蚀速率随流速加大而迅速增加,为 0.2~0.5 mm/a。因此,设备材料的选定及防护措施的设计应予充分考虑。根据对海水腐蚀因子的调查结果和有关腐蚀实验资料,钢材在本海区的腐蚀速率视其所处区域和使用情况,建议采用以下数值:完全浸没在海水中的短尺钢结构为 0.12~0.16 mm/a。跨越大气、浪溅、潮差及全浸区的长尺钢材结构分别为,大气区 0.04~0.06 mm/a;浪溅区:0.40~0.60 mm/a;潮差区:0.12~0.18 mm/a;全浸区:0.05~0.07 mm/a。以上按检验期为 15 a 计算。

3.2 海土腐蚀性

3.2.1 表层沉积物

沉积物的电阻率是评价海土对钢材腐蚀性的综合性指标。本海区表层沉积物电阻率 150 Ω·cm 左右,属高腐蚀性。通过各项因子加权分析,按海土 5 个

腐蚀等级(弱、较弱、一般、较强、强)划分,各站表层海土腐蚀性于较强级。海区沉积物中未作硫酸盐还原菌分析,而是用氧化还原电位的结果评价细菌对钢铁的腐蚀性,在所调查的 Eh 范围内细菌对其腐蚀作用不大。

3.2.2 深层沉积物

调查资料表明,电阻率随深度的增加而增大,因此这一层的腐蚀作用比表层弱。腐蚀因子之中较重要的一项氧化还原电位值,在大多数站位中也是深层小于表层。再是 CO_3^{2-} 值,大多数站位深层比表层高,土中钢铁结构产生电池腐蚀时,在腐蚀电流的影响下,硫酸钙、碳酸镁在阴极表面形成膜状或层状物附在金属表面,使氧到达困难,从而使去极化作用受阻,则腐蚀作用减弱。将以上各因子加权分析表明,深层沉积物强化腐蚀性因素弱于表层,即腐蚀性低于表层。按五级腐蚀性等级分类,属于一般级。同样,因这层各站海土类型的差异,管线通过这些不同海土区时,可能产生宏观电偶腐蚀作用,应加强监测和防护。根据腐蚀因子调查情况,参考邻近海区海土埋片腐蚀实验数据,不同钢材在本区表层海土中腐蚀速率建议选用 0.06 ~ 0.10 mm/a,深层海土选用 0.02 ~ 0.04 mm/a。

3.2.3 防腐蚀对策建议

本海区地处亚热带,水温较高,常年水交换能力较强,对材料的腐蚀要高于其他海区。油气开采及运输设施的防护措施要得力。根据气候条件,该海区附着生物的生长繁殖,对材料的损害不容忽视。因此,在材料腐蚀余量的选留,防护涂层的选用上应考虑以上较严重的环境因素。

本海区海水盐度高,因而 Cl^- 离子含量也相应高,使钢铁氧化并发生水解,从而加速了钢铁的电化学腐蚀,以上状况对表层沉积物也产生影响。此外,本海区沉积物的 Eh 值很高,全部测量值均大于 300 mV,这样强的氧化环境对钢铁材料的腐蚀作用相当可观。对以上情况需重点进行防护。在阴极保护参数选用上,可参考现有规范和其他海区类似工作的经验。由于本海区表层沉积物腐蚀性强,有发生宏观电偶腐蚀的可能性,因此保护措施从严掌握。要求海底管线材料采用重防腐涂层和阴极保护联合防护[2,3]。在设计和控制阴极保护系统时,建议控制保护电位不正于 - 850 mV,不负于 - 980 mV(相对 $Cu/CuSO_4$ 海水电极)。另外,由于本海区海水及海土的电阻率相对较低,阳极密度相应加大,还须考虑若存在强力电偶腐蚀时的强化防腐措施。总之,目前实用的作法是选用适当材料,采用小腐蚀余量进行重防腐。

参考文献

1 国家海洋局。海洋监测规范。北京:海洋出版社,1991。

2 国家科委。材料土壤腐蚀实验方法。北京:科学出版社,1990。132 ~ 134

3 朱相荣。金属材料的海洋腐蚀与防护。北京:国防工业出版社,1999。236 ~ 278

DISCUSSION ON THE CORROSION ENVIRONMENT OF THE PLATFORM B IN THE OIL-GAS FIELD IN THE SOUTH CHINA SEA

YIN Xiang-chun XU Ming-de

(*First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao*, 266003)

Received: Sep.,20,2000

Key Words: Central platform, Sediment, Oxidation-reduction environment, Corrosiveness

Abstract

The paper briefly introduces the features of corrosion factors such as resistivity, dissovled oxygen, Fe^{3+}/Fe^{2+}, Eh, organic material and so on based on the data of corrosion factors of seawater and sediment in the Oil-gas Field of the Beibuwan Bay investigated by the First Institute of Oceanography, SOA and The Oceanic Prospecting Company in Guangzhou in Feb. 1997. It comprehensively analyses the corrosion environment and points out that the corrosive condition in the investigated sea area has a close relation to the sea water condition in the adjacent sea area and that the corrosion of the marine sediment is rather stronger in each observatory station.

(本文编辑:张培新)