

文章编号:1006-3471(2001)04-0459-06

# 钢在中国北部海区海泥中的腐蚀

郭公玉\*,张经磊,侯保荣,杨芳英

(中国科学院海洋研究所,山东 青岛 266071)

**摘要:** 在青岛海区以及渤海南部的埭岛海区进行了 A<sub>3</sub> 钢、16Mn 钢、20# 钢及 Z 向钢的实海滩涂埋片实验,埭岛海区的海泥属于砂质泥类型,青岛海区为海沙,埋片方式分为单独埋片和电连接埋片两种方式,三年的实验结果表明:对同一种钢材而言,海沙中的腐蚀速度高于海泥中的腐蚀速度;单独埋片的腐蚀速度高于电连接埋片的腐蚀速度,但两者相差不大;钢材短期实验的腐蚀速度要高于长期实验中的腐蚀速度,而以海沙中最为明显。

**关键词:** 钢;海底土;腐蚀率

**中图分类号:** TG 174. 41

**文献标识码:** A

海洋石油开发中的钢铁构筑物,如石油平台等,整体处于海洋中的不同区带,有海洋大气区、浪花飞溅区、潮差区、全浸区及泥下区。对于前4个区带中钢的腐蚀行为,已经有了较多的研究,并积累了大量的腐蚀数据<sup>[1]</sup>。但对钢材在海泥条件下的腐蚀数据,国内以往基本上没有做过。我们知道海泥实际是饱和了海水的土壤,它是一种比较复杂的腐蚀环境,既有土壤的腐蚀特点,又有海水的腐蚀行为。另外,部分海泥中含有大量的硫酸盐还原菌,会对钢材造成比较严重的腐蚀。随着海洋石油开发的不断发展,将会有越来越多的钢铁设施处于海泥环境,其中最大量的是海底输油管线。因此,研究钢铁在海泥中的腐蚀也就更加必要了。

## 1 实验方法

### 1.1 试样

本实验所采用的钢材为 A<sub>3</sub> 钢、16Mn 钢、20# 钢及 Z 向钢(ZCE36-235)。所用钢材的化学成份列于表 1。

试样尺寸为 100 × 50 × 30 mm,用打孔法进行试样编号。其中心钻一个 Ø10 mm 圆孔以备挂在试样架上用。试样表面酸洗去氧化皮、水洗、干燥后,称重。

修稿日期:2000-12-24,修订日期:2001-03-28

\* 通讯联系人

基金项目:国家自然科学基金(59271057);第二届海峡两岸材料腐蚀与防护研讨会选辑论文

表 1 实验用钢材的化学成份 (wt %)

Tab. 1 The chemical composition of 4 kinds of steels(wt %)

|                 | C    | Si   | Mn   | P     | S     | Cu     | Ni    | Mo    | Al    | Nb    | Cr    | V     | Ti    |
|-----------------|------|------|------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| A <sub>3</sub>  | 0.16 | 0.21 | 0.52 | 0.045 | 0.055 | —      | —     | —     | —     | —     | —     | —     | —     |
| 16Mn            | 0.16 | 0.36 | 1.40 | 0.009 | 0.025 | <0.005 | —     | <0.05 | <0.03 | —     | <0.10 | <0.03 | <0.03 |
| 20 <sup>#</sup> | 0.25 | 0.26 | 0.49 | 0.013 | 0.027 | <0.05  | <0.10 | <0.05 | <0.05 | —     | 0.43  | <0.03 | <0.02 |
| ZCE36<br>- 235  | 0.17 | 0.30 | 1.32 | 0.010 | 0.002 | 0.09   | 0.05  | 0.03  | 0.03  | 0.013 | 0.10  | —     | —     |

## 1.2 试样的装挂

试样架用角钢焊接而成,尺寸为(宽)800 mm ×(高)1 500 mm.在试样架的不同高度上,水平方向固定 4 根  $\varnothing 8$  mm 的园钢,将试样分 4 层穿挂在园钢上,试样与园钢之间绝缘.上下 4 层按纵向分成 2 组.即单独埋片组 (noelectric connected mode),与电连接埋片组 (electric connected mode),图 1 为挂片架的示意图.

## 1.3 埋片地点及方法

渤海南部海区的埋片地点选在埭岛海域东营海港码头附近的潮间带滩涂上,埋片点的海泥为沙质泥,涨潮时埋片点被海水全部浸没;落潮时海水全部退出.该处为单日潮,每天只有一次高潮和低潮.青岛海区的埋片地点为汇泉湾的纯海沙沙滩,涨潮时全部被海浸没,落潮时海沙全部露出,此处为双日潮,即每日有 2 次高潮和低潮.

两地的埋片都是在低潮位时进行,当海水全部退下之后,于选定的埋片点先挖一个 1.6 m 的深坑,将 3 个试样架垂直埋入,其顶端离地面约 10 cm.实验共分 3 个周期,每周期 1 年,同一周期的试样装挂在同一试验架上.

## 2 结果及讨论

4 种实验钢材在埭岛海泥及青岛海沙中的腐蚀速率列入表 2.表中的腐蚀速率数值为 4 个埋片深度的平均值.

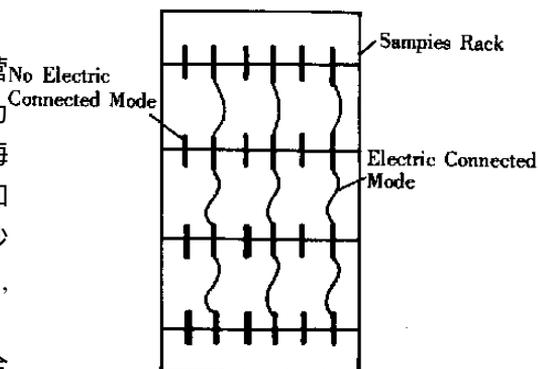


图 1 钢材试样挂片架示意图

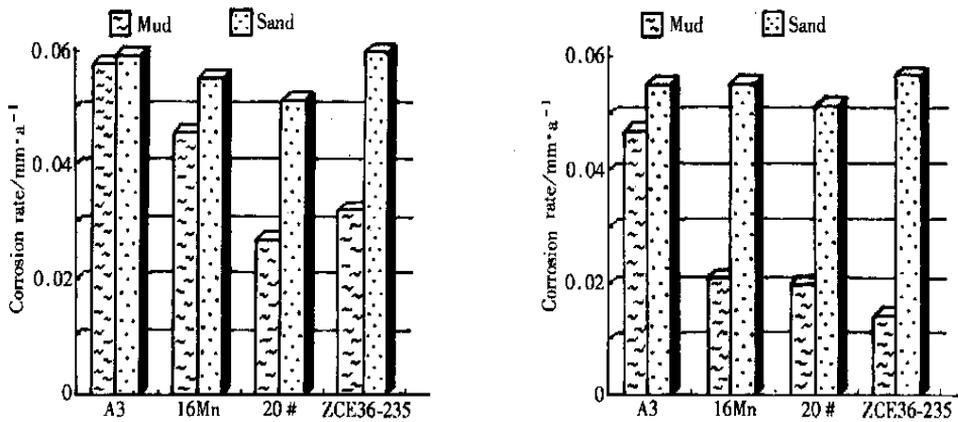
Fig. 1 The setup of samoples rack

表 2 钢材在海底土中的腐蚀速度( $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ )  
Tab.2 The corrosion rate of steels in sea mud( $\text{mm} \cdot \text{a}^{-1}$ )

| steel samples   | time/ a | sand mud                       |                              | beach sand                     |                              |
|-----------------|---------|--------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
|                 |         | (Southern Bokai sea area)      |                              | (Qingdao sea)                  |                              |
|                 |         | noelectric con-<br>nected mode | electric con-<br>nected mode | noelectric con-<br>nected mode | electric con-<br>nected mode |
| A <sup>3</sup>  | 1       | 0.0548                         | 0.0516                       | 0.0869                         | 0.0871                       |
|                 | 2       | 0.0676                         | 0.0595                       | 0.0713                         | 0.0720                       |
|                 | 3       | 0.0578                         | 0.0471                       | 0.0590                         | 0.0556                       |
| 16Mn            | 1       | 0.0559                         | 0.0571                       | 0.0862                         | 0.0875                       |
|                 | 2       | 0.0532                         | 0.0518                       | 0.0678                         | 0.0615                       |
|                 | 3       | 0.0460                         | 0.0206                       | 0.0556                         | 0.0555                       |
| 20 <sup>#</sup> | 1       | 0.0495                         | 0.0505                       | 0.0932                         | 0.0758                       |
|                 | 2       | 0.0543                         | 0.0605                       | 0.0650                         | 0.0660                       |
|                 | 3       | 0.0273                         | 0.0199                       | 0.0571                         | 0.0515                       |
| ZCE36<br>- 235  | 1       | 0.0613                         | 0.0626                       | 0.1032                         | 0.0946                       |
|                 | 2       | 0.0633                         | 0.0670                       | 0.0868                         | 0.0620                       |
|                 | 3       | 0.0323                         | 0.0138                       | 0.0597                         | 0.0571                       |

### 2.1 海土类型对钢材腐蚀的影响

图 2 示出了 4 种钢材在单独挂片方式和电连接方式下经连续实验 3 年的腐蚀速率. 可以看出: 不论是单独埋片或电连接埋片, 每一种钢在埕岛海泥中的腐蚀速率都低于在青岛海沙中的速率. 如 20<sup>#</sup> 钢单独挂片 3 年期的腐蚀速度在海泥中为 0.027 3  $\text{mm}/\text{a}$ , 于海沙中则为



A 单独挂片 (noelectric connected mode)

B 电连接挂片 (electric connected mode)

图 2 4 种钢材在海泥、海沙中埋片 3 年后的腐蚀情况

Fig.2 Effect of the type of sea mud on steel corrosion

0.057 1 mm/a;而电连接挂片的腐蚀速率在海泥中为0.019 9 mm/a,在海沙中则为0.051 5 mm/a.海沙中的孔隙率一般都大于海泥中的孔隙率.孔隙率大,包含的海水就多.由于海水中的溶解氧去极化作用,钢在其中的腐蚀速率也就越大.孔隙率的多少是引起钢铁在不同类型海泥中产生不同腐蚀速度的原因之一.

### 2.2 不同埋片方式对钢材腐蚀的影响

再比较图 2 中的 A、B 两分图看出,二种埋片方式中无论在埕岛海泥还是在青岛海沙中,电连接方式的钢材腐蚀速率基本上都低于单独埋片方式,但两者之间的差别不是很大,而且其在 4 种钢材所反映出来的的腐蚀规律也基本一致.因此,在一般情况下可以用单独埋片方式进行钢材在海土中的腐蚀实验.

### 2.3 实验时间与钢材腐蚀速度的关系

从以往大量的海水挂片实验结果来看,长时间实验所测得的腐蚀速率要低于短期的实验结果,另外由于各种钢材所含合金元素不同,它们腐蚀产物的性质也不相同,因而,腐蚀速率的变化规律亦各有别,即短期实验腐蚀速度高的钢种,长期实验其腐蚀速率可能会降低,而短期实验腐蚀速率低的钢种,长期实验可能反而会升高<sup>[1]</sup>.如从评价的准确性来说,实验时间越长其结果的准确性越高.本研究共进行了三年的埋片实验,图 3 显示出 4 种钢以单独埋片方式连续在海沙中实验 3 年后,实验钢腐蚀速率随实验时间的变化关系.从图 4 中可以看到,四种钢材在青岛海沙中第 1 年的腐蚀速率最大,第 3 年的腐蚀速度最小.

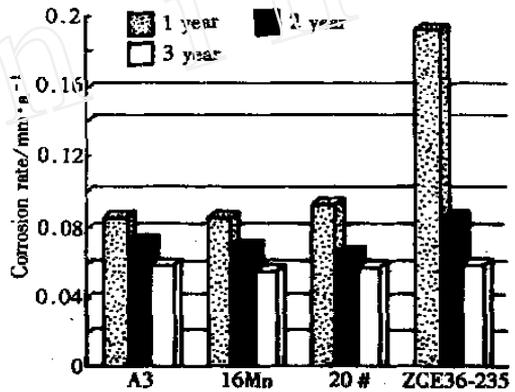


图 3 钢材腐蚀速率随埋片时间变化关系

Fig. 3 The effect of experimentime on steel corrosion

### 2.4 埋片深度对钢腐蚀速率的影响

表 3 列出了在海泥和海沙中不同的埋片深度下,4 种钢的腐蚀速率.可以看出:

1)海泥中:4 种钢的腐蚀情况有着明显的差异,A<sup>3</sup> 钢和 16Mn 钢当埋片深度为 1.5 m 时其腐蚀速率最高,0.5 m 及 1.0 m 处的腐蚀速率明显的小于 1.5 m 处,但此两者之间相差不大.ZCE36 - 235 钢则与 A<sup>3</sup> 和 16Mn 钢相反,1.5 米处的腐蚀速率最低,其最高腐蚀速率发生在 1.0 m 处,其次为 0.5 m 处.20 # 钢在 3 种埋片深度下的腐蚀速率相差很小,几乎可以认为埋片深度对它们的腐蚀速率没有什么影响.

2)海沙中:A<sup>3</sup>、16Mn、20 # 钢的最高腐蚀速率发生在 1.0 m 处,而且 0.5 m 处的腐蚀速率也十分接近最高值.ZCE36-235 钢的最高腐蚀速率发生在 0.5 m 处,随着埋片深度的增加,腐蚀速率明显地降低.当埋片深度为 1.5 m 时,4 种钢的腐蚀速率都是最低的.这说明在 1.0 m 以上部分的海沙中,由于孔隙率大、所含海水能够比较充分的交换,使得钢的腐蚀速率增大.

表3 埋片深度对钢腐蚀速度的影响(单独埋片)

Tab. 3 The effect of depth of samples on steel corrosion (mode: no electric connected)

| steel samples   | time/ y | depth of the samples to be cover up |         |         |                      |         |         |
|-----------------|---------|-------------------------------------|---------|---------|----------------------|---------|---------|
|                 |         | sandy mud (Southern Bohai sea area) |         |         | beach sand (Qingdao) |         |         |
|                 |         | 0.5 m                               | 1.0 m   | 1.5 m   | 0.5 m                | 1.0 m   | 1.5 m   |
| A <sup>3</sup>  | 3       | 0.041 8                             | 0.050 9 | 0.096 3 | 0.071 6              | 0.078 5 | 0.037 7 |
| 16Mn            | 3       | 0.031 4                             | 0.030 0 | 0.091 7 | 0.065 8              | 0.068 2 | 0.034 0 |
| 20 <sup>#</sup> | 3       | 0.025 7                             | 0.022 3 | 0.023 2 | 0.070 7              | 0.074 4 | 0.026 6 |
| Z向钢             | 3       | 0.033 2                             | 0.046 6 | 0.017 1 | 0.070 2              | 0.053 7 | 0.034 1 |

### 3 结 论

1) 钢材在海底土中的腐蚀速率与海区的土质类型有很大的关系. 对本文研究的四种钢材, 在青岛海沙中的腐蚀速度明显地大于在埕岛海泥中的腐蚀速度.

2) 无论在埕岛海泥或者青岛海沙中, 四种钢材的单独埋片腐蚀速率均高于电连接埋片的腐蚀速率.

3) 总体而言, 钢在海土中埋片的腐蚀速率对时间的关系与在海水中挂片的情况相一致, 即短期实验得到的腐蚀速率高于长期实验的结果.

4) 由于海泥的封闭性使得海泥具有很强的局域特性, 从而使得钢在海泥中的腐蚀情况变的复杂而没有明显的规律性. 海沙的表层比较疏松, 属于半开放性, 这不仅使得钢的腐蚀速率增加, 而且钢在其中的腐蚀也表现出比较的有规律性.

5) 四种钢材经过3年实验其腐蚀速度的排列顺序为

(1) 埕岛海泥单独埋片:

$$A3 > 16Mn > Z向钢 > 20 \# ;$$

(2) 埕岛海泥电连接埋片:

$$A3 > 16Mn > 20 \# > Z向钢 ;$$

(3) 青岛海沙单独埋片:

$$Z向钢 > A3 > 20 \# > 16Mn ;$$

(4) 青岛海沙电连接埋片:

$$Z向钢 > A3 > 16Mn > 20 \# .$$

## Corrosion of Steel in Sea-bottom Mud of Northern China Sea Area

GUO Gong-yu ,ZHANG Jing-lei , Hou Bao-rong , YANG Fang-ying

( *Inst. of Oceanology, Chinese Academy of Science. Qingdao 266071, China* )

**Abstract :** Corrosion experiments of A<sub>3</sub>, 16Mn, 20<sup>#</sup> as well as ZCE36-225 steel were carried out in southern Bohai sea and Qingdao sea areas. The sea-bottom mud in southern Bohai sea area is the sandy mud and that in Qingdao sea area is pure beach sand. In this experiment, the comparing test of two modes with electric connected and non-electric connected modes was carried out. The experiment results showed that: 1) the corrosion rate of steel in sea-bottom mud has a strong relation with mud types. The corrosion rates of steels in pure beach sand are much higher than those in sandy mud. 2) The corrosion rates of non-electric connected mode are higher than those of electric connected modes.

**Key words :** Steel, Sea-bottom mud, Corrosion rate

### References :

- [1] Zhu Xiangrong, Wang Xiangruen, et al. Corrosion and Protection of Metals In marine Environment[M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1999.
- [2] Hou Baorong, Zhang Jinglei, Guo Gongyu, Ma Shide, et al. Marine Corrosion and Protection[M]. Beijing: Science Press, 1997.
- [3] Hou Baorong, Guo Gongyu, Ma Shide, Zhang Jinglei, et al. Theory of Marine Corrosion Environment and Its Application[M]. Beijing: Science Press, 1999.
- [4] Hou Baorong, Guo Gongyu, et al. Effect of alloy elements on corrosion of low alloy steel in different zones [J]. Oceanologica et Limnologia Sinica, 1985, 25(2) :116 ~ 120.
- [5] Hou Baorong, Guo Gongyu, et al. Study on corrosion and protection in juncture area between seawater-atmospheric zone and seawater-mud[J]. Marine Sciences, 1993, (2) :31 ~ 34.
- [6] Hou Baorong, Zhang Jinglei, Guo Gongyu, Ma Shide, et al. Research on hanging specimens connected electrically for ten years corrosion test[J]. Marine Sciences, 1995, (4) :73 ~ 78.
- [7] Ma Shide, Xie Xiaobo, Zheng Guoan, et al. Study on the steel corrosion in sea-bottom soil at Liaodong Bay by "MD" method[J]. Studia Marine Sinica, 1995, 36:155 ~ 163.
- [8] Li Yantao, Hou Baorong. Study on steel corrosion in different seabed sediment[J]. Oceanologica et Limnologia Sinica, 1997, 28(2) :179 ~ 184.