

海水流动对 A3 钢腐蚀速度的影响

唐 晓^{1,2}, 王 佳^{3,4}, 李 焰¹

(1.中国科学院 海洋研究所, 山东 青岛 266071; 2.中国科学院 研究生院, 北京 100039; 3.中国海洋大学, 山东 青岛 266003; 4.中国科学院金属研究所金属腐蚀与防护国家重点实验室, 辽宁 沈阳 110015)

摘要: 为了定量考察海水的流动对钢铁材料在海水中的腐蚀速度的影响, 通过室内和实海挂片失重测试比较了 A3 钢在静止和流动海水中的腐蚀速度差异, 并在控制流速条件下使用动电位法测试了 A3 钢的腐蚀速度, 同时测试了不同流速海水中的环境参量。室内和实海挂片失重测试比较结果表明, 海水流动能够加快 A3 钢在海水中的腐蚀速度, 腐蚀初期尤其明显。在控制流速条件下采用动电位极化方法测试了腐蚀初期 A3 钢的腐蚀速度, 并且通过拟合处理得到了海水流动对其腐蚀速度影响因子的表达式。

关键词: 海水流速; 腐蚀速度; 动电位极化

中图分类号: TG172.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3096(2005)07-0026-04

海水是自然界中最大量并且具有很强腐蚀性的天然电解质。这不仅是因为其具有很高的含盐量、含氧量, 而且也是由于海水的运动状态决定的。经常不断的海流运动、风浪搅动和剧烈的自然对流作用等形式多样的海水流动能够加速钢铁材料的腐蚀^[1]。作者已经建立了 5~35℃ 温度区间内, 氧饱和的静止海水中 A3 钢在腐蚀初始阶段的腐蚀速度测量模型^[2]。由于海水的运动状态对碳钢的腐蚀速度有显著的影响, 因此, 若要在流动海水中推广使用, 需要考察海水流速对碳钢腐蚀速度定量的影响, 确立影响因子, 然后对平衡态的模型进行流速的修正。前人已经研究了海水的流动速度对于低碳钢腐蚀速度影响^[3], 但未能提供相应的环境参数。为了确定可靠的海水流动对腐蚀速度影响因子, 作者在控制流速试验同时测试了相应的环境参量。

1 实验方法

A3 钢成分如表 1 所示。

电化学测量使用 Solartron SI 1287 恒电位/恒电流仪。实验采用三电极体系, 辅助电极为铂电极, 参比电极使用饱和甘汞电极, 工作电极为 A3 钢。工作电极加工为柱状, 工作面暴露面积为 0.7854cm², 其

它非工作面采用环氧树脂密封。试验前用水砂纸将工作面逐级打磨至 800#, 丙酮清洗后超声波清洗。动电位扫描速度为 0.333mV/s。流速控制: 使用中国船舶重工集团第 725 研究所青岛分部研制的动水测试系统, 实验流速控制范围为 0~8m/s。

2 结果与讨论

2.1 室内、实海挂片失重法

实验室内测量腐蚀速度与实际海水中相比, 一个重要的差别就是海水的运动状态。实验室内测试所用海水是静止的, 而在实际海洋中, 海水由于波浪和洋流等作用而不停地运动。海水的不同运动状态对碳钢腐蚀速度的影响可以从实验室内静止海水挂片失重以及青岛麦岛海水中短期挂片失重结果的对比中看出, 如图 1 所示, 图中以 i_{corr} (腐蚀电流密度) 表示腐

收稿日期: 2005-03-21; 修回日期: 2005-05-09

基金项目: 国家 863 计划资助项目 (2001AA635080)

作者简介: 唐晓 (1978-), 山东高密人, 研究方向: 海洋腐蚀与防护, E-mail: tangxiao@ms.qdio.ac.cn

表1 A3 钢的化学成分 (%)

Tab.1 Chemical composition of A3 steel (%)

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Al	Cu
0.06	0.30	0.50	0.45	0.30	0.025	0.30	0.015	0.035

蚀速度。在静止海水中,碳钢的 i_{corr} 介于 $4\sim 6.5\mu A/cm^2$ 之间,浸泡一个星期和浸泡半年的数据相差不大;而在运动的海水中,碳钢的腐蚀电流密度显著高于其在静止海水中的数据,在浸泡初期高达 $40\sim 50\mu A/cm^2$,

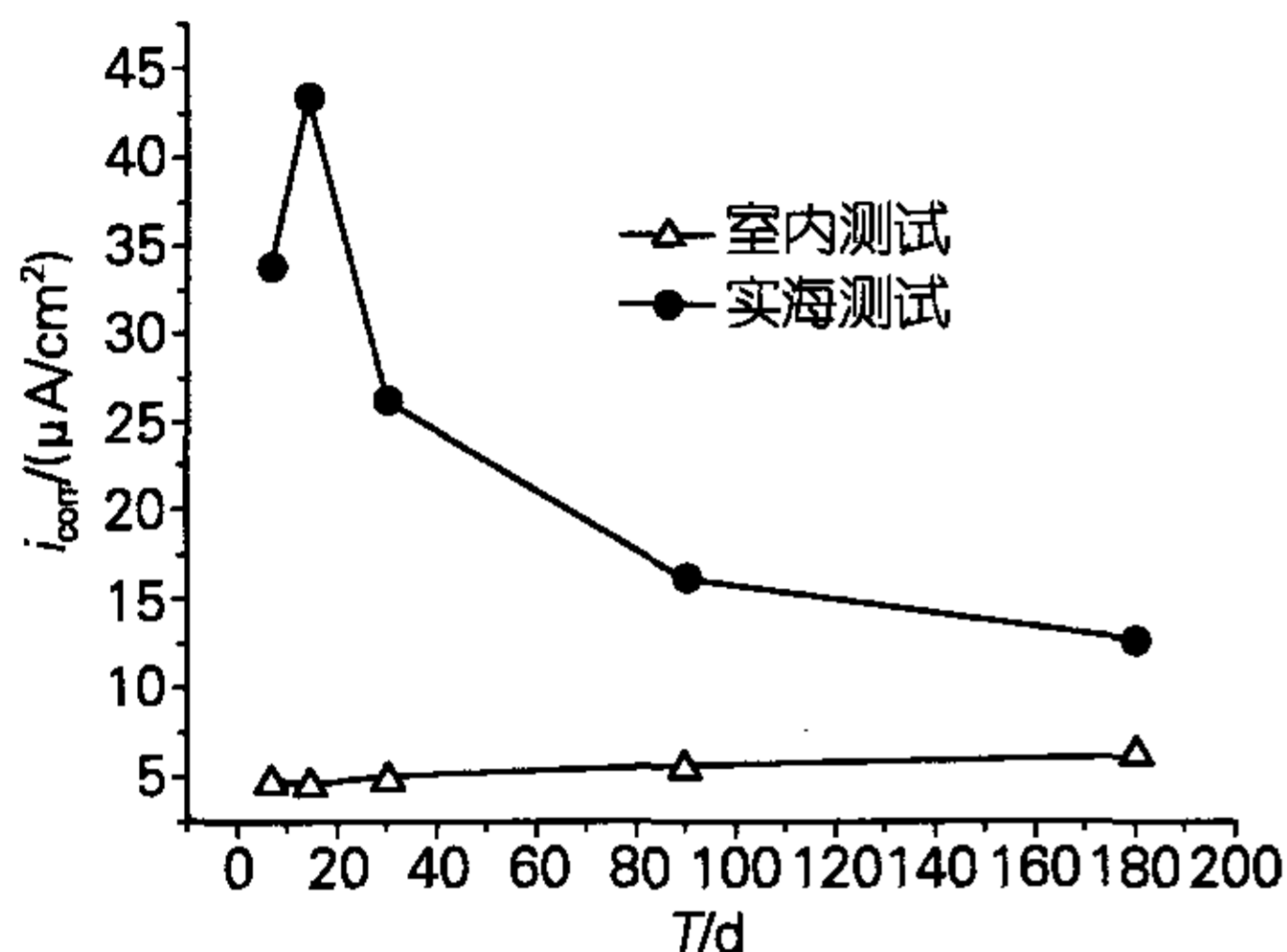


图1 室内及实海环境中 A3 钢挂片法腐蚀速度

Fig.1 The changes in corrosion rates with Time for A3 steel

而随着浸泡时间的延长, 腐蚀速度出现迅速减低, 大约在 3 个月后趋于平缓, 浸泡半年时间达到 $10\sim 15\mu A/cm^2$, 即便如此也显著高于静止海水下浸泡半年的腐蚀速度。

2.2 控制流速动电位测试

由于在流动状态下控制系统产生的噪音比较大, 无法使用线性极化电阻法测量碳钢的腐蚀速度, 为了明确海水的流速对碳钢腐蚀速度的影响, 实验中在控制流速的条件下, 测量了几种碳钢的动电位极化曲线, 研究了海水流速对其腐蚀速度的影响。

图 2 是在不同的几种流速下, A3 钢的动电位极化曲线。可以看到, 在静止状态和运动状态下的海水中, 其阳极极化曲线无显著差异, 而阴极极化曲线行为变化明显。

相对于静止状态下海水中的极化曲线, 在流动海水中的 A3 钢阴极极化电流随着流速加快而增大。图 3 是在不同流速下 A3 钢的阴极极限电流变化曲线。流动状态下 A3 钢的腐蚀速度相对于静止状态下能增大 $5\sim 6$ 倍, 且流速不同, 增大的程度也不同, 流速的影响在低流速区间远大于高流速区间。如图所示, 腐蚀速度在流速为 $0\sim 2m/s$ 区间变化显著, 在 $2\sim$

$8m/s$ 区间变化平缓。随着海水流速的增加, 水流呈

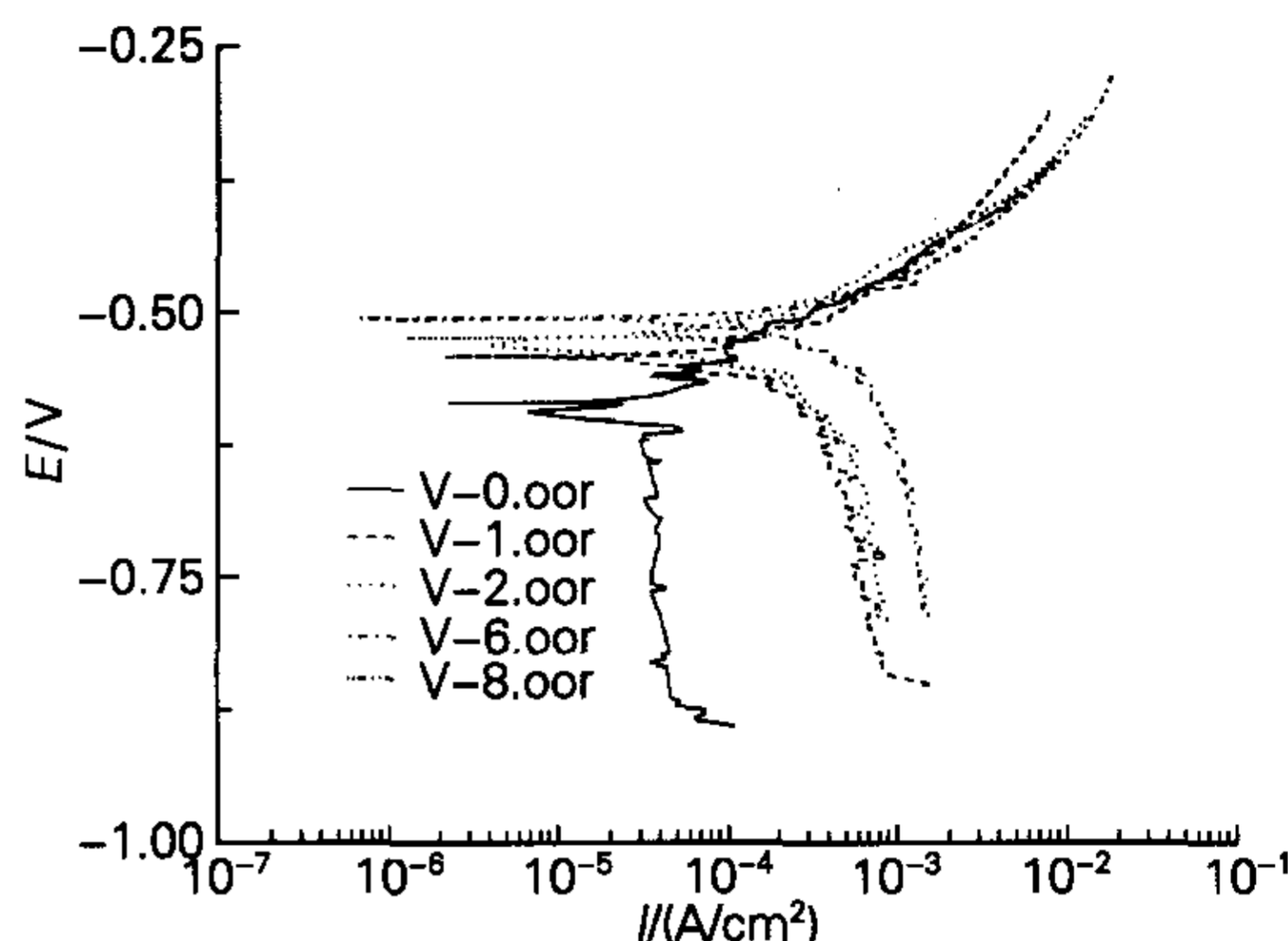


图2 不同流速海水中 A3 钢的极化曲线

Fig.2 Polarization curves for A3 steel in seawater at different velocities

紊流状态流动, 使水管壁的氧供应得到充分保证, 因而氧的去极化作用一直处于高峰状态, 导致腐蚀电流增大。在平缓变化阶段, 流速增加使得阴极氧供给充分, 从而消除了腐蚀扩散控制。这时腐蚀速度取决于氧在阴极还原的反应速度, 与水流速度关系不大^[4]。

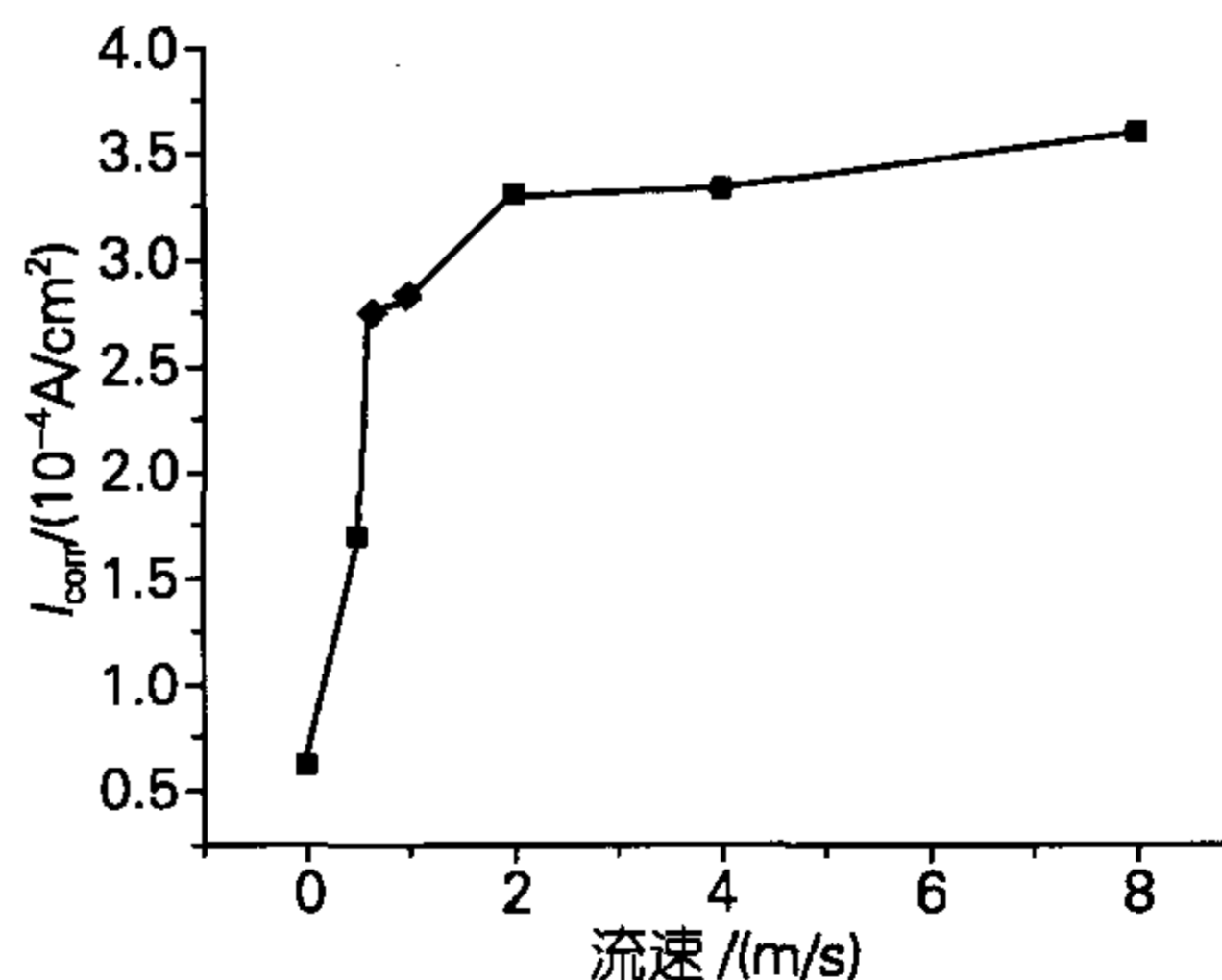


图3 流速对 A3 钢腐蚀速度影响

Fig.3 Effect of flow velocity of on corrosion rates for A3 steel

由于海水的流动即使是在流速较慢时也能显著加快碳钢腐蚀速度, 为了澄清其作用机制, 作者测量了在不同流速下海水的其他几种环境参数数值, 结果如表 2 所示。可以看出, 在不同流速下, 海水的盐度、

表 2 不同流速海水的环境参量变化

Tab.2 Variation of seawater environmental parameters with its flow velocity

流速 (m/s)	温度 (°C)	电导率 (mS/cm)	盐度	C _{DO} (mg/L)	pH	E _{ORP} (mV)
0	12.87	52.21	34.31	8.39	8.08	221.7
1	13.28	52.25	34.36	8.40	8.26	209.5
2	13.94	52.24	34.38	8.43	8.25	217.3
4	13.99	52.21	34.36	8.60	8.25	218.5
6	14.08	52.22	34.36	8.66	8.25	218.9
8	14.13	52.19	34.35	8.64	8.26	218.6

含氧量、pH 值和 E_{ORP} (氧化还原电位) 等参数无明显差异, 因此流速的作用体现在其物理的流动作用加速了腐蚀反应的进程, 一方面能减小金属表面氧的扩散层厚度, 使得溶解氧更容易达到金属表面, 增强了氧的去极化作用; 另一方面, 海水流动能冲刷腐蚀产物, 削弱了腐蚀产物沉积对腐蚀反应的阻滞作用。

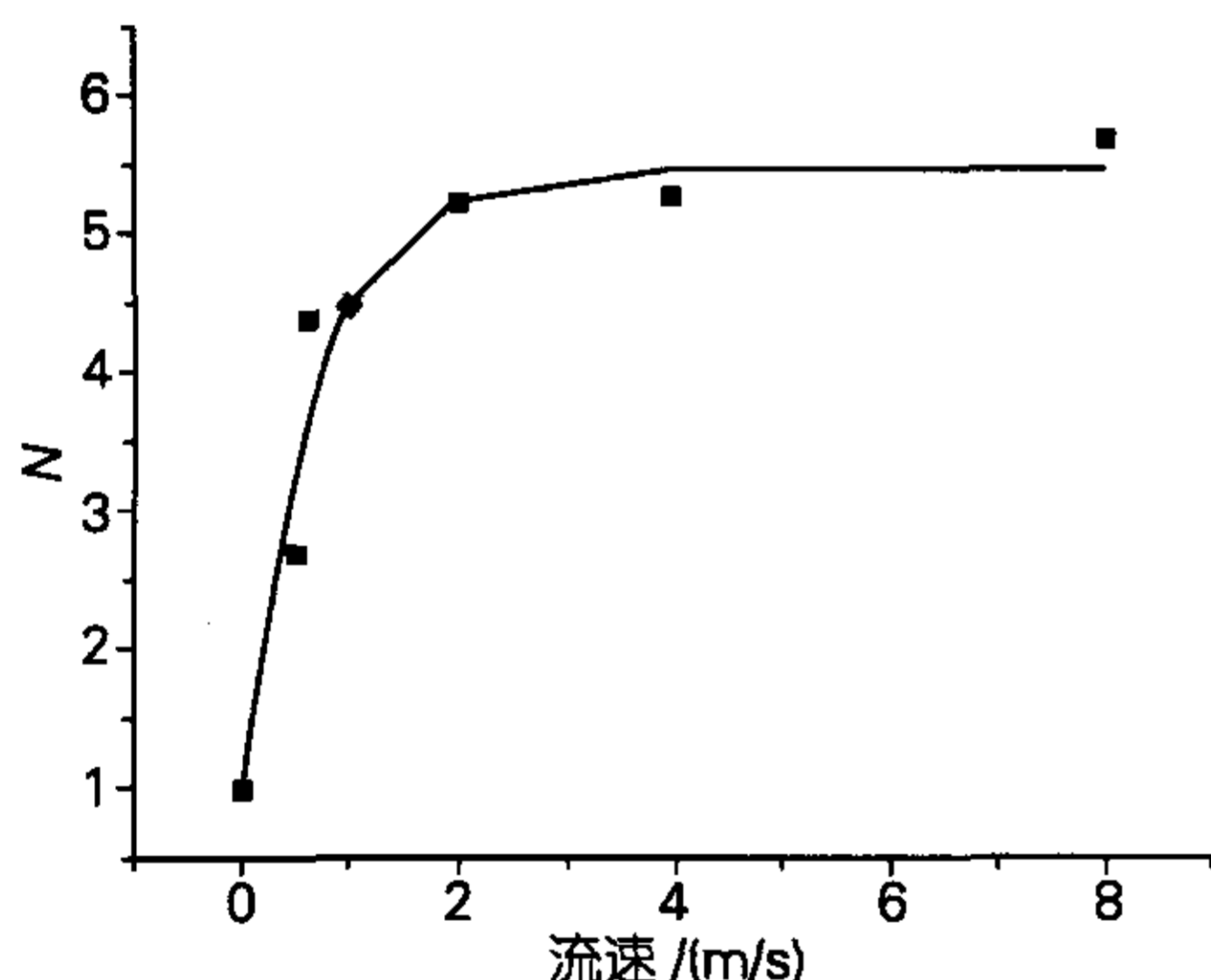


图 4 海水流速和 N 值之间关系
Fig.4 The relation between flow velocity and N value

上述控制流速试验结果表明, 流速对碳钢腐蚀速度有很强的促进作用, 因此, 将不同流速下碳钢的腐蚀速度与其在静止海水中腐蚀速度的比值(N)定义为流速影响因子:

$$N = \frac{i_{\text{流动}}}{i_{\text{静止}}} \quad (1)$$

A3 钢的 N 值与流速的关系如图 4 所示, 经非线性拟合可得到

$$N = 1 + 4.543 \left(1 - e^{\frac{-V}{0.6445}} \right) \quad (2)$$

因此, 可以把 N 值作为将静止状态下海水的腐蚀速度

推广到运动状态下的校正系数。根据作者曾经获得的静止海水中 A3 钢的腐蚀速度表达式^[5], 可以得到在不同流速海水中, A3 钢在 5~35°C 温度区间内腐蚀初期的腐蚀速度可以表示为

$$i_{\text{corr}} = N \times A \times \left[1473282 \times e^{\left(\frac{-3168}{t+273.15} \right)} - 2862 \times t \times e^{\left(\frac{-3163}{t+273.15} \right)} \right] \quad (3)$$

其中

$$A = \frac{C_{\text{DO}}}{12.57 - 0.44t + 0.0093t^2 - 7.3 \times 10^{-5} t^3} \quad (4)$$

式中 i_{corr} 为腐蚀电流密度, $\mu\text{A}/\text{cm}^2$; t 为海水温度, °C; C_{DO} 为海水含氧量, mg/L; V 是海水流速, m/s。

3 结论

(1) 室内和实海挂片失重测试比较结果表明海水流动能够加快 A3 钢在海水中的腐蚀速度, 腐蚀初期尤其明显。

(2) 控制流速下的动电位极化结果也显示腐蚀初期 A3 钢的腐蚀速度随着海水流速增大急剧增大, 到达 2 m/s 后趋于平稳。非线性拟和处理得到了海水流动对其腐蚀速度影响因子的表达式:

$$N = 1 + 4.543 \left(1 - e^{\frac{-V}{0.6445}} \right)$$

致谢: 特别感谢洛阳船舶材料研究所青岛分部邓春龙高级工程师在动水测试试验中给予的帮助。

参考文献:

- [1] 化工研究院编著.腐蚀与防护手册[M].北京: 化学工业出版社, 1989.164 - 174.
- [2] 唐晓, 王佳.软测量方法评价区域海水腐蚀性的研究I: 氧平衡态软测量模型 [J].高技术通讯, 2004, 14(7):106 - 110.
- [3] 杨德钧, 沈卓身. 金属腐蚀学[M].北京: 冶金工业出版社, 1999.232.
- [4] 洪理平, 胡强生.船舶海水管系的腐蚀及其防护[J].浙江海洋学院学报,2002, 21 (1): 66 - 68.
- [5] 唐晓, 王佳.软测量方法评价区域海水腐蚀性的研究II: 非平衡态软测量模型 [J].高技术通讯, 2004, 14 (10): 90 - 93

Effect of flow velocity of seawater on corrosion rate for A3 steel

TANG Xiao^{1,2}, WANG Jia^{3,4}, LI Yan¹

(1.Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071, China; 2.Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China; 3. China Ocean University, Qingdao 266003, China; 4. State Key Laboratory for Corrosion and Protection of Metals, Institute of Metal Research, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110015,China)

Received: Mar., 21, 2005

Keywords: Flow velocity; Corrosion rate; Potentiodynamic polarization

Abstract: In order to investigate the effect of seawater velocity on corrosion rate of steel, weight loss test of A3 steel in lab and field site was conducted to show the corrosion rate data in quiescent and flowing seawater for comparison. Potentiodynamic technique was also used to evaluate corrosion rate in different flow velocities. At the same time, some environmental parameters were measured. Results of weight loss in lab and field site show that corrosion rate of A3 steel can be accelerated flow of seawater, especially in the initial stage. Potentiodynamics was also used to measure initial corrosion rate for A3 steel at different flow velocity. Then the expression of velocity factor, which reflects the effect of velocity on corrosion rate, was obtained by mathematic simulation.

(本文编辑: 张培新)