

# LF4 铝合金在海水中的腐蚀性能研究

张波, 韩冰

(钢铁研究总院 青岛海洋腐蚀研究所, 山东 青岛, 266071)

**摘要:** 对艇用铝材 LF4 及其它多种管系金属材料进行静态和动态条件下的自然电位、自然腐蚀率、电化学性能、电偶腐蚀行为等进行多方面的腐蚀试验, 得出这些材料在静态和动态海水中的腐蚀性能指标以及变化规律。随着海水流速的增加, LF4 铝合金耐蚀性迅速降低。LF4 在天然海水中有钝化的趋势, 但是钝化膜不完整易破坏。在与其它常用管系金属材料组成的电偶对中, LF4 均作为阳极受到加速腐蚀。

**关键词:** LF4 铝合金; 腐蚀性能; 海水

**中图分类号:** TG17      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-3096(2005)07-0004-03

铝合金快船因其质量轻、速度快, 已大量应用于海上短途交通。但在实际应用中, 发现因材料选材或配套不当, 铝合金快船的海水管系腐蚀问题比较突出。国内在这一应用领域尚缺乏针对性的研究。

舰船上海水管系是由多种材料、设备组成的复杂系统, 不同材料间腐蚀电位的差异、阴阳极面积比、材料的极化行为差异以及海水流动等因素, 对体系的腐蚀都造成影响。作者针对船用铝材 LF4 及海水管系设计中可能涉及的各种金属材料, 进行静态和动态条件下的自然电位、自然腐蚀率、电化学性能、电偶腐蚀行为等多方面的腐蚀试验, 得出这些材料在静态和动态海水中的腐蚀性能指标以及变化规律, 为船体管系配套选材时提供参考数据。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

试验材料为 LF4 铝合金、LF15 铝合金、B10、双相不锈钢、1Cr18Ni9Ti、镍铝青铜 Q<sub>NiAl</sub>、20# 碳钢。

### 1.2 方法

#### 1.2.1 自然腐蚀电位测量

对以上各种材料进行静止海水中的自然腐蚀电位测量, 获得各材料在海水中稳定自腐蚀电位随时间

变化的规律, 并得出自然腐蚀电位序。同时测量试样的腐蚀失重, 获得腐蚀率数据, 并观察试样的腐蚀形貌。

#### 1.2.2 电偶腐蚀测量

根据海水管系的设计特点, 确定下列电偶对为研究对象:

LF4~HDR, LF4~1Cr18Ni9Ti, LF4~20# 碳钢, LF4~B10, LF4~Q<sub>NiAl</sub>;

对以上电偶对测量电偶电流、偶合电位、腐蚀失重等参数, 实验周期为 1 个月。试样面积比为 1:1 和 5:1, 试样制备同前。电偶对导线连接后全浸于 5L 海水容器中进行电偶腐蚀实验, 主要测量仪器为 FC-4B 电偶腐蚀仪。

#### 1.2.3 动态试验

运用流速可连续调节、计算机自动监控检测、介质为天然海水的开路式高流速海水管路系统, 进行各项流动海水冲刷腐蚀实验。该系统由 IH 泵、涡轮流量计 IUGB-2206K、流量显示仪 LXB-2、22kW 变

收稿日期: 2005-03-21      修回日期: 2005-05-08

作者简介: 张波 (1971-), 男, 辽宁清原人, 硕士, 工程师, 主要从事海洋腐蚀与防护研究和技术应用, E-mail: zhbo-896@163.com

频器、PS-168 电化学测量系统组成。

在高流速海水管路系统中进行 3、5、7 m/s 流速下各材料的连续海水冲刷实验,进行动态条件下的腐蚀率测量、电位测量和电偶电流监测。

## 2 结果和讨论

### 2.1 静态实验

#### 2.1.1 自然腐蚀电位和电偶序

在实验室内,用青岛小麦岛天然洁净海水对 9 种材料的试样全浸测量,每天测量 1 次,连续测量 1 个月。

LF4、LF15 铝合金材料的电位经 5~10d 后,均稳定在 -700~-800mV(vs.SCE)内,变动范围较小,为 20~70mV。说明铝合金材料的表面状态稳定,电化学性能较接近。

HDR、1Cr18Ni9Ti 两种不锈钢材料下水后,电位迅速增大,最后稳定在一定范围内,均比电位初值正得多。这些特点取决于不锈钢在海水中生成的钝化膜表面状态变化的特点。

根据实验结果,天然静态海水中各材料的腐蚀电偶序由高到低排列如下:

HDR (0.004V) → 1Cr18Ni9Ti, B10(-0.110V) → Q<sub>NiAl</sub>(-0.267V) → LF4(-0.735V) → LF15(-0.752V) → 20<sup>#</sup>碳钢(-0.769V)。括号内为稳定电位平均值。

#### 2.1.2 自然腐蚀速率

将以上试样经酸洗除锈、干燥、称量后计算腐蚀失重,进而计算腐蚀速率并换算成以腐蚀深度指标表示的年腐蚀速率,由小到大排列如下:

HDR (0.0010) → Q<sub>NiAl</sub>(0.0054) → 1Cr18Ni9Ti (0.0064) → B10(0.0128) → LF4 (0.0347) → LF15(0.0470) → 6061(0.0690) → 20<sup>#</sup>碳钢(0.0821)。

括号内为平均腐蚀速率 (mm/a)。

比较上面的腐蚀速率大小序列和电偶序,可见上述材料的耐蚀性和在海水中的自腐蚀电位值在一定范围内有正相关的特点。铝合金材料的耐蚀性能接近, B10 比铝合金的耐蚀性好,而两种不锈钢材料的腐蚀率比其它材料要低一个数量级, 20<sup>#</sup>碳钢的耐蚀性最差。

#### 2.1.3 LF4 铝合金与其他材料的偶合

将 LF4 铝合金与其他 5 种材料按面积比 1:1 和 5:1 分别配对,共 10 组电偶实验,每组 3 个平行样,实验开始后,立即记录电偶电流值,之后短接,以后每 2~3d 测一次电偶电流,实验持续 25~30d。从这两组数据的情况来看,LF4 在偶对中均为阳极受到电化学腐蚀,5 种偶对阴极材料对 LF4 的电偶腐蚀效应较接近,和自然腐蚀率相比较,在偶对面积 1:1 时,腐蚀率均增加显著,达到 2 倍的水平,而当与各阴极的面积比加大到 5:1 时,腐蚀电流减小,腐蚀率变化并不显著。

### 2.2 动态实验

#### 2.2.1 动态条件下的自然腐蚀电位

在静态实验的基础上,进一步探求动态条件下所选材料的各项腐蚀性能的变化规律,对后续的实践工作提供更现实的参考价值,是本次实验工作的核心所在。

实验的第一步,仍然是自然腐蚀电位的测量。将各材料的实验用样以及海水 Ag/AgCl 参比电极,接入流动海水管路系统并密封后,在流速为 6m/s 的动态条件下冲刷,记录电位随时间的变化值。

结果表明,在流动海水中,各种材料的开路电位在短时间内(24h)即可达到稳定,和静态实验比较,电位稳定值具有下列特点:

(1)LF4、LF15 电位轻度负移, B10 基本不变,其它材料均有显著正移,其中, 20<sup>#</sup>碳钢的幅度最大,近 300mV。(2)HDR 的电位 0.048V 仍为最高, 1Cr18Ni9Ti 电位次之,升高显著。(3)B10 和 Q<sub>NiAl</sub> 青电位趋同,为 -0.090V。(4)动态电位序为: HDR (0.048V) → 1Cr18Ni9Ti (0.031) → Q<sub>NiAl</sub>(-0.089V) → B10(-0.094V) → 20<sup>#</sup>碳钢 (-0.374V) → LF4 (-0.785V) → LF15 (-0.818V)。括号内为稳定电位值。

#### 2.2.2 动态条件下的自然腐蚀速率

将材料试样用专用夹具固定在海水管路内,分别在 2、3、5、7m/s 的海水流速条件下进行冲刷实验,连续 5d,结束后样片除锈、干燥、称量,计算失质量速率和腐蚀率,数据如图 1 所示。

从图 1 上看, LF4 铝合金的腐蚀率随流速的变化均呈现出一定的规律性, 低流速时, 腐蚀率随流速增大, 当流速达到一定值时, 腐蚀率出现稳定平台, 流速继续增大达到一定值后, 腐蚀率又开始攀升, 不同材料的临界流速不同。耐蚀性优良的 HDR、1Cr18Ni9Ti 的性能稳定, 在实验流速下仍保持很小的腐蚀率。

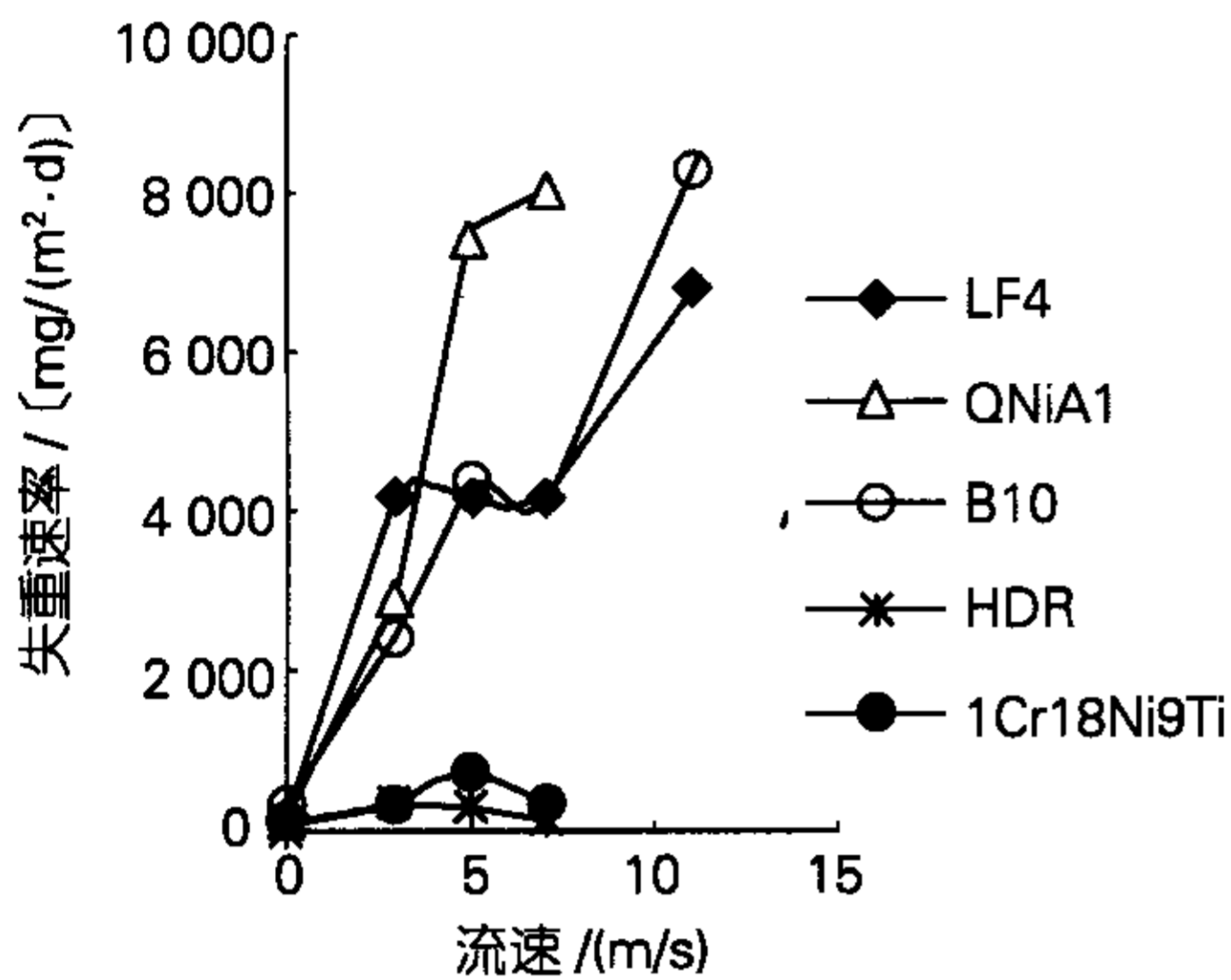


图 1 自然腐蚀速率-流速

Fig.1 natural corrosion rate-flow rate

### 2.2.3 动态电偶电流测量结果

按照静态实验中的偶对搭配制作式样, 封装后用于动态电偶测量 (面积比 1:1) 接入管路中, 外部用导线连接, 开启海水管路, 调节流速分别为 8m/s 和 5m/s 连续冲刷。

数据结果表明, 试验中各偶对均出现后期电偶电流减小的情况。这可能是由于试样的表面积较小, 被锈层、污物附着后, 回路电阻增大的原因, 流速较低时, 冲刷力减弱, 这种现象会更明显。但在实际应用环境中, 因偶对有效面积会远大于本实验样片面积, 这种电偶电流减小情况出现的时间也会相对较长, 使阳极材料的加速腐蚀稳定在一定水平上。观察实验后样片的腐蚀形貌, 偶合电流大的偶对中 LF4 的表面呈溃疡状腐蚀, 有蚀点密布和大的蚀坑分布, 偶合电流小的偶对中 LF4 的表面仅有少量蚀点和白色斑状产物覆盖。

相对于静态电偶电流, 动态条件下, 电偶腐蚀加速, 偶合电流值大幅增加, 增幅达到或接近 10 倍。

### 2.2.4 极化曲线测量

LF4 的循环伏安曲线如图 2 所示, 从图上可以

看出, LF4 在天然海水中有钝化的趋势, 但是, 钝化膜不完整, 易破坏。曲线整体表现为活化溶解过程, 没有可确定的点蚀电位。另外, 从开路电位的变化也可以看出钝化膜不致密。

LF4 在空气中放置 7d 后, 在天然海水中测量其开路电位, 由 -0.53V 逐渐变化为 -0.74V。若打磨后立刻测量, 其开路电位也在 -0.74V(vs.SCE) 左右, 二者均为活化状态。因此, LF4 在海水中的耐蚀性应与腐蚀产物、合金成分、金相组织、晶格结构等多种因素有关。

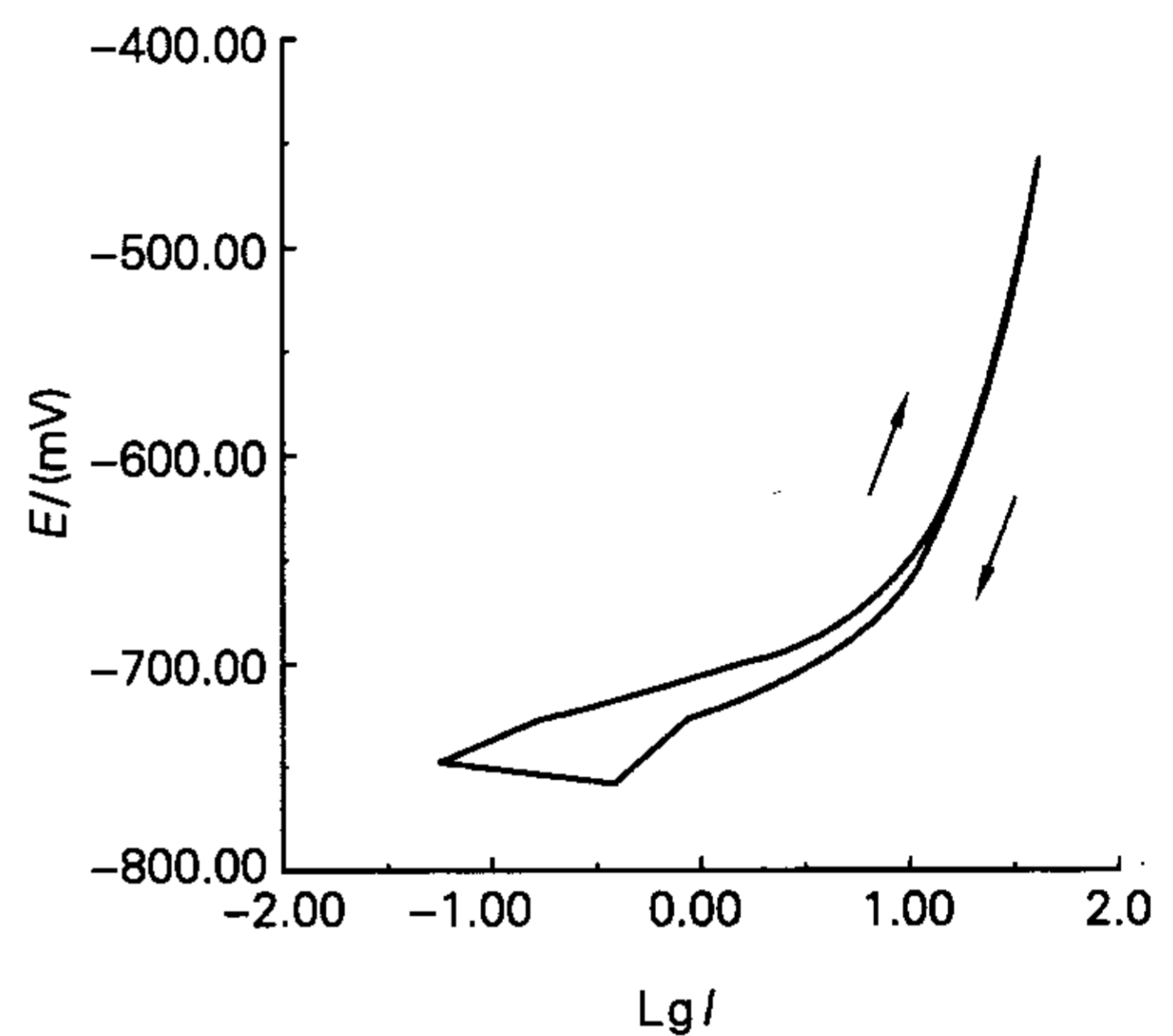


图 2 LF4 阳极极化循环伏安曲线

Fig.2 anodic polarization curve of LF4

## 3 结语

(1)通过系列实验, 得出了 LF4 及其它常用管系材料在静态海水、动态海水中的腐蚀率和电位序, 深入了解了各材料在海水中的腐蚀性强弱规律。LF4 铝合金在静止海水中的耐蚀性比较好, 腐蚀率较小, 但随着海水流速的增加, 耐蚀性迅速降低。

(2)LF4 铝合金在与其它常用管系金属材料组成的电偶对中, 均作为阳极受到加速腐蚀, 偶合腐蚀加速显著, 流动海水中的偶合效应远大于静止海水。加大 LF4 与阴极材料的面积比, 能够有效降低电偶腐蚀效应。

(3)在流动海水中, LF4 铝合金电位比在静止海水中向负方向移动约 50~60mV, 此时因氧更易直达金属表面, 腐蚀比在静水中更剧烈, 如 LF4 在海水流速

2m/S 时, 平均腐蚀速率即增加到静水中的 8 倍, 相应地表现在极化曲线上为阴极极化性明显减弱。

(4)LF4 在天然海水中有钝化的趋势, 但是, 钝化膜不完整, 易破坏。曲线整体表现为活化溶解过程, 没有可确定的点蚀电位。LF4 在海水中的耐蚀性应与腐蚀产物、合金成分、金相组织、晶格结构等多种因素有关。

#### 参考文献:

- [1] 朱祖芳. 有色金属的耐腐蚀性及其应用[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1992. 1 - 18.
- [2] 吴荫顺. 腐蚀试验方法与防腐蚀检测技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 1996. 15 - 30.

- [3] 朱相荣. 金属材料的海洋腐蚀与防护[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999. 60 - 73.
- [4] 魏宝明. 金属腐蚀理论及应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 1993. 23 - 26.
- [5] 杨武. 金属的局部腐蚀[M]. 北京: 化学工业出版社, 1995. 35 - 40.
- [6] 德克斯特 S C. 海洋工程材料手册[M]. 北京: 海洋出版社, 1982. 55 - 68.
- [7] 鲍戈拉德 ИЯ. 海船的腐蚀与防护[M]. 北京: 国防工业出版社, 1983. 93.
- [8] 舒马 M, 李大超译. 海水腐蚀手册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985. 85.

## Corrosion performance of LF4 aluminum alloy in seawater

ZHANG Bo , HAN Bing

(Qingdao Marine Corrosion Institute, Central Iron and Steel Institute, Xiaomai Island, Qingdao 266071, China)

Received: 21, Mar, 2005

Key words: aluminum alloy LF4; corrosion feature ; seawater

**Abstract:** In this study, corrosion of LF4 aluminum alloy in quiescent and flowing seawater was revealed in natural potential, natural corrosion rate and galvanic corrosion. Through measuring and comparing their polarize curves, the corrosion mechanism and electrochemical capability of this material in quiescent and flowing seawater are summarized. It has shown that the average corrosion rates of LF4 aluminum alloy are augment along with increasing flowing rate increasing, the galvanic corrosion rate was affected much greater in flowing seawater than in quiescent seawater, the natural potentials are negative 50~60mV than in quiescent state. The relationship between cathodic polarization and the rate of flowing seawater is discussed in this paper.

(本文编辑: 张培新)