

# HDR 双相不锈钢海水管路的腐蚀与预防

张恒, 叶文荣, 孙斌, 黄镭  
(92601 部队, 湛江 524009)

**摘要:** 利用电化学方法, 研究了 HDR 双相不锈钢在人工海水中的腐蚀特性。结果表明, HDR 双相不锈钢的自腐蚀电位、点蚀电位较正, 具有良好的耐腐蚀特性; 与常用材料组成电偶对时, 因 HDR 钢与碳钢、铸铁、黄铜等材料电位相差较大, 会发生严重的电偶腐蚀。解决 HDR 不锈钢海水管路系统的腐蚀, 关键是将 HDR 双相不锈钢与其它金属材料之间进行有效的、完全的电绝缘隔离, 才能防止电偶腐蚀。

**关键词:** HDR 双相不锈钢; 点蚀; 电偶腐蚀; 电绝缘

中图分类号: TG174 文献标志码: A 文章编号: 1005-748X(2013)01-0045-04

## Corrosion and Prevention of HDR Duplex Stainless Steel in Seawater Pipeline

ZHANG Heng, YE Wen-rong, SUN Bin, HUANG Lei  
(Troops of 92601, Zhanjiang 524009, China)

**Abstract:** Electrochemical methods were used to study the corrosive characteristics of HDR duplex stainless steel in simulated seawater. The results showed that the corrosive potential and pitting potential of HDR duplex stainless steel were relatively positive, and the steel had favorable corrosive characteristic. When the steel is electrically with other common materials, serious galvanic corrosion will occur, because of the potential difference between HDR duplex stainless steel and other materials such as carbon steel, cast iron and brass. The key for preventing galvanic corrosion is effective and complete electric insulation between HDR duplex stainless steel and accessories made of other materials can solve corrosion in seawater pipeline system of HDR duplex stainless steel.

**Key words:** HDR duplex stainless steel; pitting; galvanic corrosion; electric insulation

舰船上有多种海水管路系统, 如消防系统、主疏水系统及各种海水冷却系统等。海水管路的方法流速一般较高, 常对管路造成湍流腐蚀、冲蚀及空泡腐蚀等。舰船海水管路系统早期主要使用紫铜, 而紫铜的耐流动海水腐蚀性能较差。HDR 双相不锈钢由于具有良好的耐腐蚀性能、较好的抗拉强度以及塑性和韧性, 而成为舰船用钢的首选之一<sup>[1]</sup>。但这些使用 HDR 双相不锈钢的舰船, 大多在下水不久, 有的甚至还未交付使用时, 海水管路系统已发生了腐蚀问题。管路的腐蚀大多发生在连接法兰、弯管焊接处、管路中的其它金属设备等, 造成了严重的泄漏, 而管路中 HDR 材料本身并没有明显的腐蚀。HDR 双相钢管路系统的腐蚀严重影响了舰船的使用。本工作采用适当的防止异种金属接触腐蚀措施, 解决了 HDR 双相不锈钢海水系统的电偶腐蚀问题。

## 1 试验

### 1.1 试验材料

试验材料为 1Cr18Ni9Ti 板材, B10、B30、A3、TUP 管、H62Sn、铝青铜和铝黄铜, HDR 双相不锈钢板及其焊接板, 其化学成分见表 1。

表 1 HDR 双相不锈钢名义化学成分 %

Cr	Ni	Mo	Si	Mn	C	P	S	Fe
23~26	4.5~7.5	2~3	≤1	≤2	≤0.03	≤0.035	≤0.03	余量

### 1.2 试验方法

#### 1.2.1 自腐蚀电位试验

选取 HDR 双相不锈钢板及其焊接板为试验材料, 用石蜡涂封非工作面后在人工海水中浸泡, 试验温度为室温, 参比电极为甘汞电极 (SCE), 用万用表测量电位。

#### 1.2.2 电偶腐蚀试验

试验采用 HDR 双相不锈钢与其他几种材料偶

收稿日期: 2012-02-05

通信作者: 张恒, 工程师, 硕士, jzy426@sina.com

接的方式,面积比为 1:1,各材料的试验面积均为 6 cm<sup>2</sup>,试验溶液为人造海水,温度为室温,定期更换溶液,并用万用表测量电偶电流。试验共进行了 85 天。

### 1.2.3 应力腐蚀试验

选取 1Cr18Ni9Ti 板材、HDR 双相不锈钢板及其焊接板为试验材料,参照 GB4334.8—1984“不锈钢 42%氯化镁应力腐蚀试验方法”<sup>[2]</sup>进行试验,试样为 U 型弯曲试样,试验周期为 45 天。

### 1.2.4 点蚀电位测量

试验材料有 HDR 不锈钢板、HDR 不锈钢焊缝和 1Cr18Ni9Ti。试样用环氧树脂封装,封装前用 30%硝酸,60℃钝化 2 h;试样工作面积 1 cm<sup>2</sup>。试样用水磨砂纸磨至 1500#。试验溶液为人造海水,试验温度为(30±1)℃和(50±1)℃,采用动电位扫描的方法,扫描速度 20 mV·min<sup>-1</sup>,试验前电解池通氩气 30 min 除氧<sup>[3]</sup>。

## 2 结果与讨论

### 2.1 自腐蚀电位试验结果

自腐蚀电位试验结果如图 1 和 2 所示。结果表明,HDR 钢的自腐蚀电位在人造海水中浸泡 20 天左右稳定且自腐蚀电位较正,耐腐蚀性能较好。

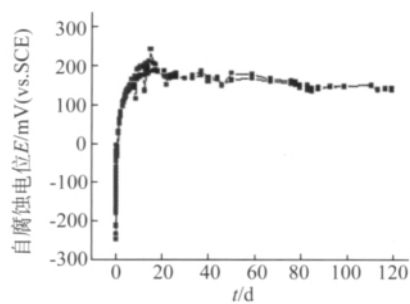


图 1 HDR 钢板自腐蚀电位随时间的变化

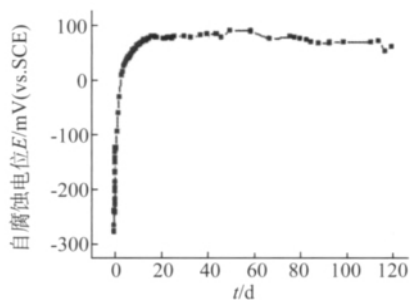


图 2 HDR 钢焊缝自腐蚀电位随时间的变化

### 2.2 电偶腐蚀试验结果

HDR 钢与其它金属材料在人造海水中组成的

电偶对的平均电偶电流密度如表 2 所示。结果表明,HDR 钢与多数金属材料组成电偶对时的电偶电流密度为正值,造成电偶腐蚀,尤其是 HDR 钢与 A3 钢的电偶对的平均电偶电流密度最大,这说明当 HDR 钢与 A3 钢组成电偶对时,由于两者的电位差较大,会造成 A3 钢的严重腐蚀。

表 2 HDR 钢和其它材料形成的各电偶对的平均电偶电流密度  $\mu\text{A}/\text{cm}^2$

TUP	H62Sn	B10	铝青铜	A3	B30	铝黄铜
2.232	1.761	1.212	1.396	37.2	1.475	2.972

### 2.3 应力腐蚀试验结果

应力腐蚀试验结果如表 3 所示。结果表明,在试验周期内,HDR 双相不锈钢板及其焊接板都完好,1Cr18Ni9Ti 钢板在试验 15 天时出现断裂,HDR 不锈钢的抗应力腐蚀性能好于 1Cr18Ni9Ti 钢。

表 3 应力腐蚀试验结果

HDR 不锈钢板	HDR 不锈钢焊缝	1Cr18Ni9Ti
完好	完好	15 天断裂

### 2.4 点蚀电位试验结果

图 3 为试样在人造海水中的阳极极化曲线。从图 3 可知,HDR 不锈钢的点蚀电位较正,耐点蚀性能较好,但随温度的变化较快。而 1Cr18Ni9Ti 钢的点蚀电位随温度的变化较小,原因有待进一步分析。由极化曲线确定各材料的点蚀电位,结果如表 4。

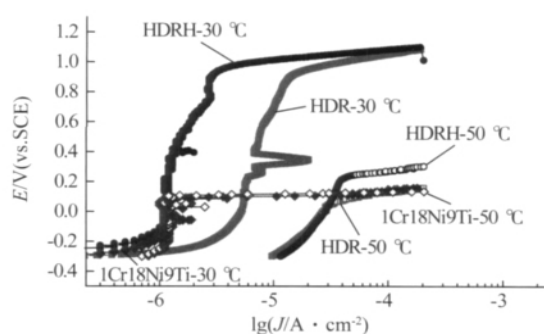


图 3 30℃、50℃时 HDR 钢板、HDR 焊缝和 1Cr18Ni9Ti 在人造海水中的阳极极化曲线

表 4 点蚀电位结果

材料	30℃的点蚀电位	50℃的点蚀电位
	/mV(vs. SCE)	/mV(vs. SCE)
HDR 钢板	1052	126
HDR 不锈钢焊缝	1 084	270
1Cr18Ni9Ti	138	130

### 3 防止电偶腐蚀的措施

#### 3.1 海水管系中的电偶腐蚀

在以 HDR 双相不锈钢为主要材料的海水系统管系中,除了载荷为流水的管子外,还有各种结构或附件,如:联结管段的法兰、控制海水流通的各种阀、过滤海水的粗滤器以及海水冷却系统中的冷却器等。这些结构或附件中使用的金属材料有许多种,主要有铝青铜、锡青铜(主要是铜锡合金)、海军黄铜、不锈钢、碳钢、铸铁等。大量的实船调研及管材之间的腐蚀特性试验已经表明,HDR 双相不锈钢与这些材料发生电连接时,与其它材料会形成电偶腐蚀<sup>[5]</sup>。由于 HDR 不锈钢的腐蚀电位较正,HDR 钢为阴极,其它材料为阳极。HDR 钢与碳钢、铸铁、黄铜等材料之间的电位相差较大,会发生强烈的电偶作用,使后者发生严重的腐蚀。如 HDR 不锈钢管子上的碳钢法兰、阀门中的铸铁、黄铜部件都易发生严重的腐蚀,如图 4 所示。

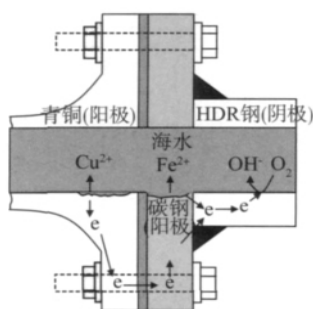


图 4 HDR 双相不锈钢管与碳钢法兰及青铜阀之间的电偶腐蚀

#### 3.2 海水管系中的防止电偶腐蚀措施

解决 HDR 不锈钢海水系统的腐蚀,关键的是将 HDR 不锈钢管与其它金属制造的附件之间进行有效的、完全的电绝缘隔离,才能防止电偶腐蚀,保证舰船的安全使用。可采取以下措施:

(1) 异种金属法兰连接的电绝缘 当 HDR 不锈钢与其它金属制造的附件进行法兰连接时,可采用图 5 电绝缘法兰结构:在法兰连接中,为使不同金属材质的两个法兰不产生电连接,法兰间有绝缘不导电的垫片,连接螺栓要用绝缘套筒及绝缘垫片与金属法兰盘隔离。

(2) 其它绝缘措施 海水管系在全船铺设时,需要大量的吊、支架,这些吊、支架一般焊在船体钢结构上。如果不锈钢管与吊、支架间没有绝缘,则法兰绝缘的两侧异种金属仍可通过吊、支架发生导

电连接,电偶腐蚀仍不能避免。因此,在 HDR 管系的维修中,海水管系与所有固定用吊、支架之间必须进行电绝缘。其方法是采用专用的电绝缘吊、支架,也可衬橡胶垫,如图 6 所示。

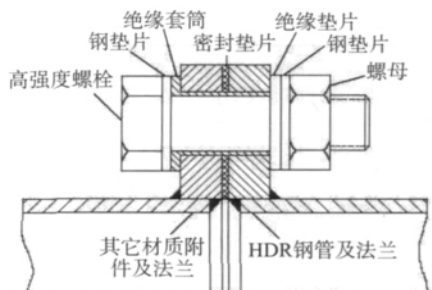


图 5 衬套绝缘法兰结构

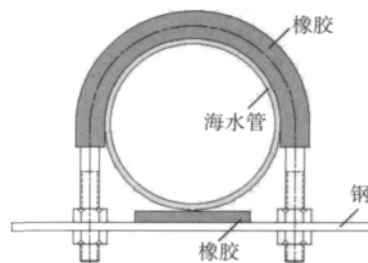


图 6 管路的绝缘吊架

#### 3.3 绝缘法兰绝缘效果的检测

修理后的管系,除正常检测外,还应对绝缘法兰进行电绝缘检测。检测用 500 V 兆欧表或专用仪表在组装完毕、并处于干燥状态的管系绝缘法兰两法兰之间(或绝缘的两侧金属间)进行,检测结果无短路且电阻值大于 1 kΩ 为合格。

(1) 管系干燥状态的测量方法 管系修理中,当遇到 HDR 不锈钢与异种金属相连接,采用绝缘法兰或其它绝缘措施时,需要对绝缘效果进行检测。刚安装好的管子,管道中无海水介质,可采用电阻法对各绝缘部位进行测量,以确定绝缘的可靠性。测量仪器是 500 V 兆欧表,测量方法见图 7。

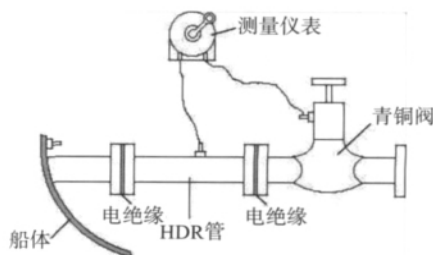


图 7 管内无海水的电绝缘监测

当发现某一绝缘法兰绝缘失效,两侧不同金属出现短路或电阻很小,此时可进一步检测法兰中短

路发生的具体部位。可按检测法兰盘上每一个螺栓的绝缘情况,如果有某个螺栓电阻很小,说明该螺栓绝缘失效;如果所有的螺栓绝缘都很好,那么就可能是法兰盘间的绝缘失效。

(2) 管内有海水时的绝缘测量 当管内充满海水,或者管内相当潮湿时,绝缘法兰的两侧金属通过海水导电,绝缘法兰两侧金属之间的电阻将很小,用电阻法不能确定绝缘效果。可以将绝缘法兰两侧金属看成是浸在海水电解质中的两个电极,如果绝缘法兰的绝缘效果好,则相当于两电极之间是开路状态,两电极之间的电位差就是两金属在海水中的电位差;如果绝缘法兰绝缘失效,相当于两侧金属发生短路,则两侧金属的电位趋于相等,相当于电池两极间短路的情况。此时可用电压表测量绝缘情况,如果管之间的绝缘法兰有良好的绝缘效果,则螺栓与两个绝缘法兰之间的电阻应分别大于 1 kΩ。

#### 4 结论

(1) HDR 双相不锈钢的自腐蚀电位、点蚀电位

校正,具有良好的腐蚀特性。

(2) HDR 双相不锈钢与常用舰船材料组成电偶对时,因 HDR 钢与碳钢、铸铁、黄铜等材料之间的电位相差较大,会发生强烈的电偶作用,使后者发生严重的电偶腐蚀。

(3) 解决 HDR 不锈钢海水系统的腐蚀,最关键的是将 HDR 不锈钢与其它金属制造的附件之间进行有效的、完全的电绝缘隔离,才能防止电偶腐蚀,保证舰船的安全使用。

参考文献:

- [1] Lo K H, Shek C H, Lai J K L. Recent developments in stainless steels[J]. Materials Science and Engineering, 2009, 65: 39-104.
- [2] 陆世英,张德康. 不锈钢应力腐蚀破裂[M]. 北京:科学出版社,1977.
- [3] 宋诗哲. 腐蚀电化学研究方法[M]. 北京:化学工业出版社,1987.
- [4] 陈鸿海. 金属腐蚀学[M]. 北京:北京理工大学出版社,1996.

### 上海市腐蚀科学技术学会七届五次理事扩大会 暨《腐蚀与防护》六届四次编委会顺利召开

2012年12月20日在上海市南昌路59号上海科学会堂思南楼1002室召开了上海市腐蚀科学技术学会七届五次理事扩大会暨《腐蚀与防护》六届四次编委会,到会的理事和编委有近30人。学会领导向与会的理事和编委们汇报了学会一年来的工作,

并就2013年学会的工作进行了讨论和部署。同时对学会和上海材料研究所主办的会刊《腐蚀与防护》今后的办刊方向等也进行了有益的讨论。

《腐蚀与防护》编辑部

### 第二届中国海洋防腐蚀及技术装备发展论坛(邀请函)

随着海上运输、深海采矿、港口码头、油气开发、海洋生物技术等新兴海洋产业的兴起,加上近年来深海开发中的油气勘探和生产活动的大大增加,人类对海洋的开发利用规模不断扩大,逐步从传统走向深入。但是海洋环境又是一个腐蚀性很强的灾害环境,据统计,我国每年因腐蚀造成的直接经济损失达1万亿元,其中海洋腐蚀损失至少占1/3。因此海洋环境下各类设施装置的防腐蚀材料及其技术的开发将成为研究的重点。

由中国海洋装备网主办"第二届中国海洋防腐蚀及技术装备发展论坛"将于2013年4月15日至17日在山东青岛召开。会议旨在为防腐蚀相关行

业搭建交流经验、展示成果、相互学习、共讨商机的平台,特别是加强学术技术与工程实践的紧密结合,促进海洋防腐蚀高新技术成果的应用和产业化,推动我国海洋事业的发展。届时将有防腐蚀及相关行业的众多专家学者、企业代表出席本次论坛,交流经验与成果、探讨先进技术、共谋行业发展。

大会主题:创新、发展、合作共赢

主办单位:中国海洋装备网

承办单位:北京中研行讯信息技术中心

支持媒体:《腐蚀与防护》,《上海涂料》

时间:2013年4月15日-17日(15日全天报到)

地点:山东·青岛