

特别是制盐后产生的大量苦卤(生产 1t 盐约产生 1m³ 苦卤)浓集了许多有用的化学成分,被利用的极少。因此,地下浓缩海水(包括苦卤)中的化学资源提取应作为我国具有特点的一个重点研究方向。

海水淡化是解决我国严重缺水的有效途径。而大规模海水淡化后将会产生大量浓缩海水,其中化学成分浓缩了 3 倍左右。如何综合利用也是海洋资源化学研究的一个内容。

3.4 海洋生物化学资源提取研究

海洋生物利用其具有富集化学成分的特点,即通常所谓的生物富集作用,使某些化学成分得到较高的富集(富集倍数有的可高达万倍以上),就可采用某种技术将有用的化学成分提取出来。如常见的海带提碘就是一例。海洋生物化学资源首先得到开发利用的是海洋植物,主要是褐藻和红藻。而海藻中开发利用最多的又主要是海带。以海带为主的海藻综合利用已发展成为海藻工业。传统产品为褐藻酸钠、碘和甘露醇等产品。由于海洋植物主要是一个天然有机化学资源宝库,故应加强综合利用技术研究,特别是应向广度和深度发展。当前的一个新兴的研究方向是海洋药物的研究,已成为热门和重点研究课题。

3.5 海底矿物化学资源提取研究

主要是利用化学与生物技术提取海底矿物中有用的化学资源(不包括海底石油的开采)。而在我国,不管是深海区,还是近海区,均处在调查和勘测阶段,但是沿岸滨海矿物资源如何有效地开发利用,是较为现实的一个研究方向。

3.6 白泥综合利用技术研究

白泥是指制碱废泥(包括精制饱和盐水废泥和蒸馏废泥)、盐田饱和盐水(通常称饱和卤水)直接制碱产生的废泥和利用地下浓缩海水溶解盐预处理产生的废泥等,因产生的沉淀物均为白色,故统称为白泥。

白泥主要是大量钙和部分镁的混合物,以及一部分

可溶性的氯化物。钙与镁的存在使其完全分离较困难,可溶性氯化物的存在使其难以经济有效地除氯离子,因此,形成了处理时的特殊性。对白泥的处理,至今仍未彻底解决,成为一个老大难问题。

由于白泥综合利用技术研究涉及到各行各业,综合性强,因此,应从广度和深度上作进一步研究和试验,而且要坚持连续性和系统性,不但能产生明显的环境效益,而且能产生巨大的经济效益,同时又促进了海洋化工和经济的发展。

4 海洋资源化学的特点及与其他学科的关系

海洋资源化学是从海洋化学发展起来的,要获得发展就必须依赖于海洋化学等有关学科,如海洋无机化学、海洋分析化学、海洋有机化学、海洋物理化学(包括胶体化学和表面化学等)及海洋化工等学科的密切配合。反过来,海洋资源化学的发展又丰富了和促进了这些学科的内容和发展,它们之间是唇齿相依的关系。要解决一个海洋资源化学问题常常是多种学科密切配合的结果。由上可知,海洋资源化学的首要特点是多学科性,特点之二是研究的体系中大多数化学成分处于微量状态,提取难度大,特点之三是研究的体系成分复杂,提取技术的研究需要综合考虑,即综合性强。

从世界范围看,海洋资源化学研究尽管经历过不同的发展阶段,但可以预料,随着海洋科学和海洋经济的不断发展,海洋资源化学必将获得更快的发展。

主要参考文献

- [1] 孙玉善,1991. 海洋资源化学. 海洋出版社.
- [2] Riley, J. P. *et al.*, 1975. Extraction of Economic Inorganic Materials from Sea Water *et al.*, Chemical Oceanology, Academic Press Inc (London) Ltd. Vol. 4:155-317.
- [3] Schwochau, K., 1985. *Inorganic Chemistry* 124:91-132.

电连接模拟法十年腐蚀试验研究*

TEN YEARS STUDIES ON CORROSION TEST USING ELECTRIC-CONNECTION TECHNIQUE SIMULATING THE MARINE CONDITION

侯保荣 张经磊 郭公玉 马士德 杨芳英

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

在开发海洋所需要的设施中,例如海上采油平台,海上输油码头,海底管线,海上观察测量仪器,海上运

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告 2625 号。

输船舶等大都使用钢材来制造。

但是由于海水是一种强电介质溶液,使得钢材在海洋环境中遭受着严重腐蚀,这直接影响着海上设施的使用寿命。

为了研究钢铁本身的耐腐蚀性能,腐蚀试验方法越来越被腐蚀工作者所重视。即用什么样的腐蚀试验方法来比较、评定所研制钢种的耐腐蚀性能是一项重要工作。

室内的电化学测试及加速腐蚀试验等方法为海洋用钢的研制起到了积极作用,它可以较快地对钢铁的耐腐蚀性能进行相对评定^[16,20,21],但有些方法与外海的对应性差,也很难同时对钢铁材料在各种复杂环境中的腐蚀状况进行测定。

目前最好的试验方法仍然是外海现场的长钢带挂片,它可以较真实地反应钢材在实际使用中的腐蚀规律。但这种方法工作量大、周期长,还会因各种原因而丢失^[9,10,24,25,26]。

为了适应海洋用钢研制的需要,在查阅了大量国内外文献及分析比较了国内外有关腐蚀试验方法的基础上,作者在国内首创了“电连接模拟海洋腐蚀试验装置与方法”^[1],多年来的试验结果证明,该方法简单、方便,它可以同时再现外海所实际存在的海洋大气区、浪花飞溅区、潮差区、海水全浸区的各种复杂腐蚀环境,与外海的试验结果有着较好的对应性^[1,2,5],可以方便地进行室内各种测试。同时,利用该试验装置还可以进行其他有关腐蚀试验研究工作。经过长期工作,我们已经取得了1981~1991年长达10a之久的长尺腐蚀试验的宝贵资料。本文是对多年工作的总结。

1 模拟海洋腐蚀装置设计原理

本装置中建造了试验水槽(图1),槽的下部设有排水口,试验槽的上部设有储水桶,储水桶中盛有新鲜海水并以一定的流速注入腐蚀试验槽。腐蚀试验槽内海水全浸区为1m。当海水储水桶以 Q 的速度流出时,海水腐蚀槽的水面便渐渐升高。升到高潮线时,腐蚀试验槽的海水便自动以 $2Q$ 的速度排出,使槽内水面下降,这样反复进行,便模拟了外海潮差区的腐蚀环境。潮差带的周期 T 可以用下式来表示:

$$QT = 2V/Q, = 2.7abH/Q$$

式中: V 表示潮差带的体积; Q 为储水桶的流量; a 为试验槽的长; b 为试验槽的宽; H 为潮差区的高度。

槽内设有推板式造波机,使在水面形成3~5cm的波浪,以此来模拟外海浪花飞溅区的腐蚀环境,在本装置中进行了与外海对应性的电连接、分别及长尺挂片、

腐蚀电流的测定、喷Zn、喷Al防腐效果、与间浸轮方法的对比、合金元素对低合金钢耐蚀性能的影响、水下

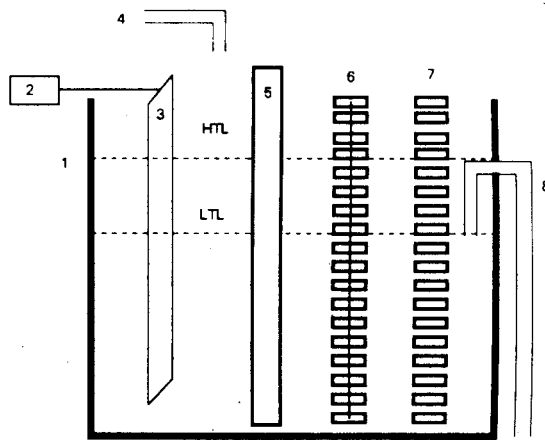


图1 模拟试验装置

阴极保护效果等一些方面的研究工作。

2 本方法与外海长尺法的对应关系

在本装置中进行了电连接挂片,长钢带挂片和分别挂片的试验,一方面研究钢材本身的耐蚀性能,同时与外海的试验结果进行对照,利用本装置获得的电连接挂片与分别挂片的试验结果(图2)^[1,2]与在美国卡罗来纳州Kure海滨151d的试验结果相类似,Kure海滨的试验是用长365.8cm,宽30.5cm的长条带钢和930cm²的试片进行试验的^[25,26]。比较二者可以看出,其基本腐蚀规律是一致的。同样都表现出浪花飞溅区的腐蚀最为严重,有一个严重的腐蚀峰值,而在潮差区本试验的电连接挂片与外海长尺挂片都显示出腐蚀较为轻微的趋势。而本方法与外海的结果都表明,分别挂片在潮差区的腐蚀比较严重。这说明本方法可以较好地再现外海的腐蚀试验结果。同时,采用电连接的方法则可以较简单、方便、准确、快速地测定试验结果。

利用本方法对3个不同钢种,即Ni-Cu-P钢、普通A₃钢及10MnNb钢进行了195d和400d的腐蚀试验,并与上海钢铁研究所在广西北海173d及400d的试验结果,在青岛海滨194d的试验结果进行了对照,结果证明,本方法与外海有着较好的对应性,特别值得注意的是本方法的结果与外海相比,3个不同钢种在浪花飞溅区腐蚀速度的排列顺序也是一致的,这就进一步证明本方法筛选海洋结构钢的可靠性^[1,2,4]。

同时,采用表面腐蚀形貌观察,红外光谱对锈层结构的分析都得到了相同的结论。^[2]

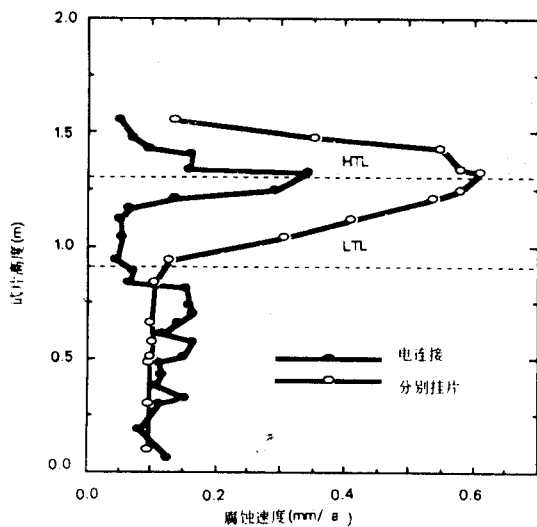


图2 本装置试验结果

3 潮差区和全浸区腐蚀电流的测定

在海洋环境的5个不同区带——海洋大气区、浪花飞溅区、潮差区、海水全浸区、海底泥土区的腐蚀中，除人们早已认识到的海底泥土中腐蚀最轻之外，一般认为潮差区腐蚀最为严重，认为这部分海水忽干忽湿，风吹浪打日晒所致。

事实却恰恰相反，钢铁在海洋潮差区的腐蚀比海水全浸区要轻得多，腐蚀工作者对此有多种解释，为了弄清产生这一现象的原因，我们研究了钢材在海水全浸区和潮差区的腐蚀行为，我们在试验装置的海水全浸区和潮差区分别设置了数量不等的裸钢试验片，用Fc-4电偶腐蚀计分别测定试片之间的电流，图4的试验结果告诉我们，潮差区之所以腐蚀较轻，是由于它作为宏观电池的阴极，接受了全浸区试片的保护电流从而受到了一

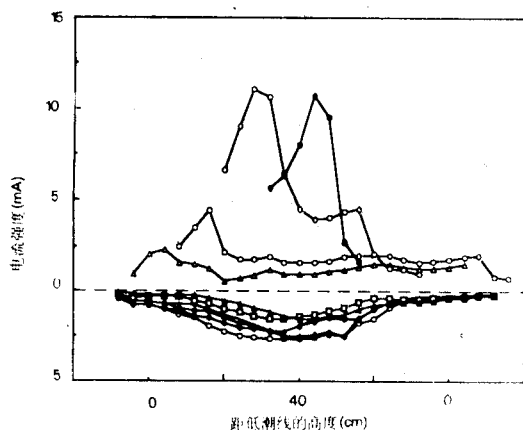


图3 腐蚀电流的测定结果

定程度的保护的结果^[3]。在海水全浸区一般是阳极区，发生着铁的溶解反应： $Fe \rightarrow Fe^{++} + 2e$ ，在潮差区发生着氧的还原反应： $O_2 + 2H_2O + 4e \rightarrow 4OH^-$ 。试验结果同时表明，阴极区所接受的电流与阳极区所提供的电流基本等量^[14]。

本试验的结果还告诉我们，在海水全浸区和潮差区设置的试片数量不等时，其腐蚀电流值也不一样，当潮差区面积小时，海水区试片的阳极电流便减少。实际应用中，在浅海区海水全浸部分的钢桩由于提供电流的阳极面积比较小，腐蚀更为严重，至于钢材在潮差区和全浸区产生宏观电池的原因，一般认为是由于氧浓差电池所造成的^[20,21,22,23]，作者认为这种解释的理论依据并不充分，尚有待进一步研究。

4 裸钢喷锌覆盖层在海洋环境中腐蚀行为

为了有效地延长海上钢铁设施的使用寿命，除努力提高钢材本身的耐腐蚀性能外，采取适当的保护方法是必不可少的。海洋大气区和浪花飞溅区多采用涂料、金属包敷层、有机包敷层的方法，在海水全浸区多采用牺牲阳极和外加电流的阴极保护方法，我们在查阅资料、反复比较各种方法优越性的基础上，利用本试验装置研究了喷锌覆盖层在浪花飞溅区的保护效果，并同时探讨了对潮差区采用喷锌保护时与水下阴极保护同时使用的可能性^[7]。将喷锌试片分别悬挂在上述腐蚀试验槽中，使其分别处在海洋大气区、浪花飞溅区、潮差区和海水全浸区的不同腐蚀环境中，并进行对水下部位施用阴极保护及未进行阴极保护的对比试验，从图4可以看出不管是在青岛海滨418d的试验，还是在上海陈山码头附近1%含盐量的水质中179d的试验均表明，喷锌复覆盖层在海洋各种不同环境中的腐蚀速度均低于 $23\mu m/a$ （图4）。在电化学系列中，与铁相比锌是较活泼的金属，但是，锌本身的自由腐蚀速度远远比铁小，这是因为锌在海水中首先生成溶介度小的氯化锌，又很快生成难溶的氢氧化锌和碳酸锌，致密的覆盖在铁基体的表面上对钢铁起了保护作用。试验结果还表明，如果海水全浸区为裸钢，仅对潮差区部位进行喷锌保护的话，当海水浸至潮差区时，由于锌和铁二者的电位差不同，锌作为阳极会很快被溶解而不宜采用。

5 裸钢喷铝覆盖层在海洋环境中的腐蚀性能

我们采取与喷锌覆盖层同样方法对喷铝覆盖层的

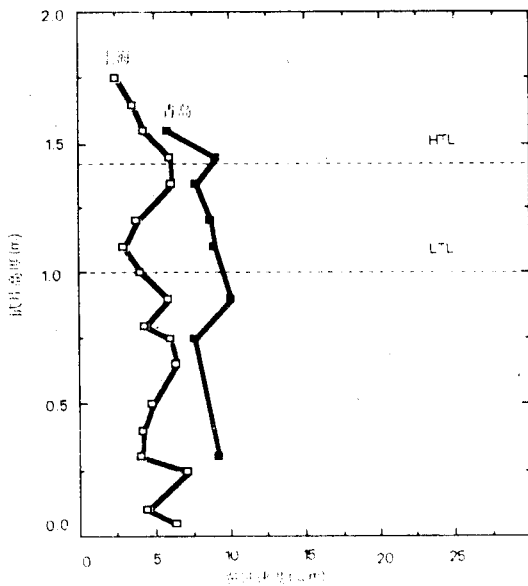


图4 喷锌覆盖层腐蚀速度

保护作用进行了研究^[6],图5的结果表明,当对海洋钢铁构筑物从上到下全部采用喷铝保护时,喷铝复覆层有着良好的保护作用,其自身的最高腐蚀速度为 $8.4\mu\text{m/a}$, $200\mu\text{m}$ 的喷铝覆盖层至少可以使用20a以上。在使用喷铝覆盖层时由于铝表面容易生成氧化膜,因而影响了铝金属与铁基体的结合能力,一般要求所使用的铝丝的纯度在99.5%以上。试验结果还表明,当对海洋构筑物的潮差区以上部位采用喷铝覆盖层保护而水下为裸钢又未进行阴极保护时,由于铝层与裸钢之间形成宏观电池,加速了铝的溶解而不易采用。但是,若对全浸区的部位采用阴极保护时,情况则完全不同,不管是在上海陈山的试验结果还是青岛的试验结果都表明,潮差区的喷铝覆盖层的腐蚀速度非常低,这是由于当潮水落下时,潮差区喷铝复覆层具有较好的耐大气腐蚀性能,当潮水上涨时,潮差区的喷铝覆盖层同样受到了阴极保护作用消除了铝和裸钢之间的宏观电池作用,因而腐蚀速度较低。

6 电连接模拟法与分别挂片,间浸轮试验法比较研究

由于在海上直接进行长钢带的试验比较困难,故很少用外海长钢带的方法来评定海洋用钢的耐腐蚀性,而较多采用分别挂片的方法进行试验,即将试验钢种加工成一定大小的尺寸,分别悬挂在海洋大气区、潮差区和海水全浸区。研究结果表明,电连接挂片和分别挂片有着完全不同的腐蚀规律。在实际应用分别挂片的结果时

必须十分注意到这一点^[4]。在海水全浸区,电连接挂片的腐蚀速度大于分别挂片,在潮差区电连接挂片的腐蚀速度都远远小于分别挂片,只所以产生这种现象,是由于对长尺挂片来说,潮差区和全浸区成为一个整体,全浸区成为阳极从而加速了腐蚀,而潮差区成为阴极受到了保护的缘故,而悬在不同区带的分别挂片却受不到这种作用。分别挂片的试验结果只能适用在潮差区孤立使用的海上钢铁设施,而对大量的海上平台,码头等钢桩式构筑物来讲则完全没有意义,必须重视这一点。

另外,间浸轮也是模拟外海的一种腐蚀试验方法之一^[20],日本高村昭等采用 3min/r , 20min/r , 60min/r 等条件进行了钢铁材料耐腐蚀性能的试验,为了将二者的结果进行比较,作者采用 55min/r ,轮子下部有 $1/4$ 浸泡在海水中的间浸轮进行了对比试验,结果表明,钢铁在间浸轮上的腐蚀速度均大于电连接挂片在海洋大气区,潮差区及海水全浸区的腐蚀速度,可以说,具有加速腐蚀的作用,但未见它们之间的对应关系。试验结果还告诉我们,钢材在间浸轮上的腐蚀速度小于电连接挂片在浪花飞溅区的腐蚀速度,这说明间浸轮不但没有“加速腐蚀”的作用,其相互之间的对应关系也不明显,所以在具体应用间浸轮做试验时要注意到这一点^[4]。

7 对钢铁阴极保护时在潮差区的保护效果

对于海上钢桩式结构物来说,在海水全浸区一般都使用外加电流或牺牲阳极的方法对其进行阴极保护。试验中,我们采取了一组未加阴极保护的试样,一组则在海水全浸区的中部和下部使用锌牺牲阳极对其进行阴极保护,从图6的试验结果可以知道,在海水全浸区,牺牲阳极保护可以有效地防止钢铁在海水中腐蚀。而在浪花飞溅区由于它不处于海水之中阴极保护不起作用,所以腐蚀仍然较重。在这里特别引起我们注意的是,阴极保护在潮差区的保护效果。在潮差区平均中潮位的下部由于它浸泡于海水中的时间较长,所以在平均中潮位以下可以得到与海水全浸区相同的保护效果,由于落潮的原因,当该部位暴露在空气中时,阴极保护所形成的钙-镁覆盖层又具有一定的保护作用。而在潮差区平均中潮位的上部由于海水浸泡时间较短,阴极保护作用不明显在对海洋钢构筑物进行阴极具体保护时应当采用与浪花飞溅区相同的防护方法。

8 合金元素对低合金钢不同区带耐腐蚀性能的影响研究

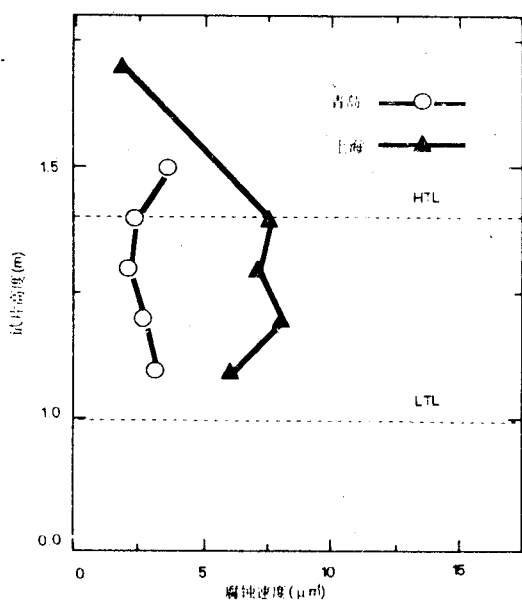


图5 喷铝覆盖层的腐蚀速度

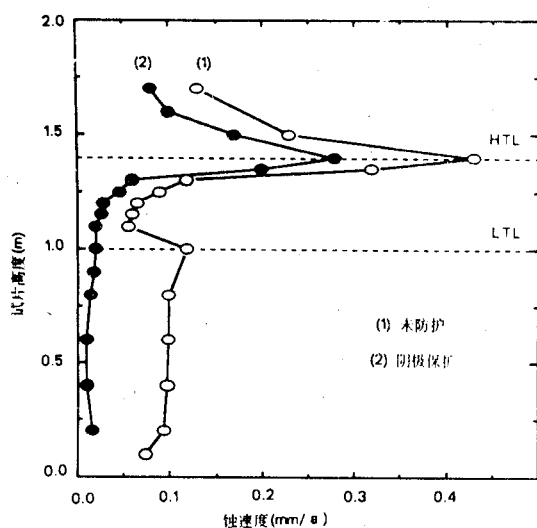


图6 碳钢的阴极保护效果

为了延长海上钢铁设施的使用寿命,除采用复覆层、涂料、阴极保护的方法来防止钢铁腐蚀外,努力提高低合金钢本身在海洋环境中的耐腐蚀性能也是重要的手段之一,这方面的研究屡见报道,但大部分是研究某几种合金元素对海洋用钢单一腐蚀环境的影响,关于合金元素同时对钢桩在海洋大气区、浪花飞溅区、潮差区和全浸区的影响则很少有报道。本文作者用电连模拟试验方法对多种含有不同合金元素的低合金钢进行了试验研究,取得了大量腐蚀试验数据,并利用计算机对所取得的结果进行了回归分析,初步建立了合金元素与钢铁在海洋不同区带腐蚀性关系的回归方程式,并比较了18种典型钢种在各种不同区带的腐蚀曲线,可以知道,

1995年第4期

P、Mo、Cu是提高钢材在浪花飞溅区耐腐蚀性能的有效元素,影响钢材在海洋大气区腐蚀性的元素有P、Cu、Mo,提高钢材在海水全浸区的有效元素是Al、Cr,或者上述各元素的有效组合^[8,11,12]。

在这里特别应当指出的是,尽管添加不同的合金元素可以提高钢材耐海洋腐蚀的能力,但金属在海洋环境中千变万化,影响因素错综复杂,同一种合金元素的影响效果也不一样,在浪花飞溅区含有Ni-Cu-P的钢比含有Cr-Al的钢耐腐蚀性能好,但在海水全浸区则相反,Cr-Al钢的耐腐蚀性能好于Ni-Cu-P钢,在研究合金元素的影响作用时要分别对待,不能一概而论。

9 锈层在浪花飞溅区腐蚀中的作用

试验结果已经证明,钢材在浪花飞溅区的腐蚀最为严重,有时可为海水全浸区腐蚀速度的5~10倍之多。为了研究该部位钢材腐蚀最为严重的原因,我们探讨了浪花飞溅区的锈层在腐蚀中的作用^[13,15,17,18]。试验中我们采用干湿交替的模拟的方法制备了浪花飞溅区的试样,比较研究了浸泡在海水中的锈层与干湿交替模拟产生的浪花飞溅区锈层的区别。图7表示被锈层所覆盖时碳钢的极化曲线,图中a表示在3%NaCl溶液中浸泡20d后带锈层试样的极化曲线,b表示用干湿交替方法模拟生成浪花飞溅区锈层试样的极化曲线。二者的阳极极化曲线无明显差异,但是,阴极极化曲线的差别显著。模拟浪花飞溅区的锈层试样的阴极电流为海水全浸区锈层试样的10倍以上。同时图中还表示用塔菲尔内插法求得的腐蚀速度,二者的差别有10倍以上。由此可以知道,图2中所表示的海洋构造物中浪花飞溅区的腐蚀速度大于海水全浸区的腐蚀速度是由于阴极反应不

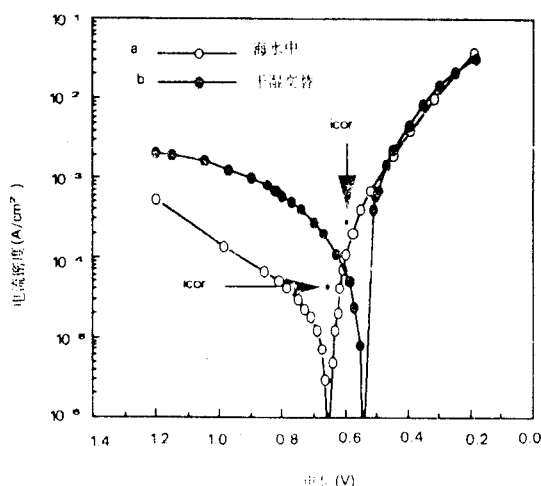
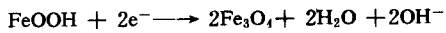


图7 极化曲线的测定结果

同所引起的。为了研究浪花飞溅区锈层的反应性，仅仅取出浪花飞溅区的锈层用导电性涂料固定在碳电极上，研究了其氧化还原反应过程。图8的结果表明，在第一次对锈层进行还原时，在-0.7V附近电位出现停滞现象。这是由于下式FeOOH的还原反应所引起的。



但是在二次还原反应中未观察到电位的停滞现象，这说明上式的反应是不可逆反应。但是，对上述锈层若在空气中进行自然氧化，又可观察到在-0.7V附近的停滞现象。从试验结果可以看出，锈层(FeOOH)的氧化还原反应是不可逆反应，FeOOH的还原生成物Fe₃O₄在溶液中不被氧化。换句话说，在溶液当中，Fe₃O₄不能氧化为活性的FeOOH，它只有在空气中可以再氧化为FeOOH。而FeOOH本身是一种氧化剂。从而加速了钢铁

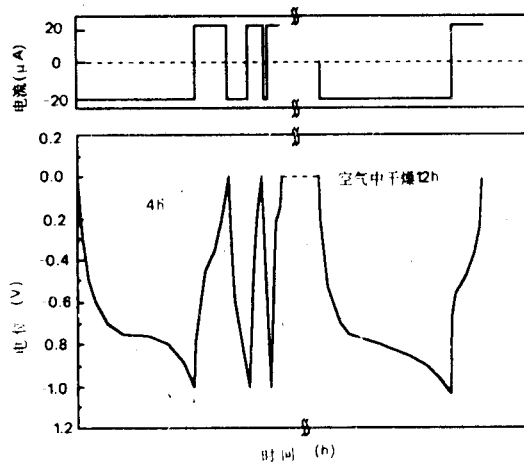


图8 锈层的氧化还原反应

在干湿交替环境中浪花飞溅区的腐蚀。同时试验中还测定了SS41, 24KU, 24IA3种含有不同合金元素钢的极化曲线和锈层的氧化还原反应。在同一环境中，他们的极化曲线的形状不同，这说明合金元素对锈层的阴极极化曲线有很大影响。同时，结果还表明，根据浪花飞溅区锈层的还原时间和还原电位，在某种程度上可以评价钢材耐蚀性的优劣。

10 电连接模拟海洋腐蚀试验机的研制

为了进一步开展海洋用钢的腐蚀试验研究工作，在原来试验装置的基础上，我们研究设计了一种室内腐蚀试验机^[19]，它的基本原理与前面介绍的试验装置基本相同，但该试验机体积小、用水量小、操作简单、方便，可以自由移动，在没有流动海水的地方，利用它也可以用人造海水进行试验。无论是锈层的腐蚀形貌还是酸

洗后试样表面的腐蚀形态以及重量法的试验结果均表明，这种新研制的模拟海洋环境的腐蚀试验机可以较好地再现外海的不同腐蚀环境，与外海的腐蚀环境有着较好的对应性。它的成功研制，为海洋腐蚀与防护的研究提供了一种新的腐蚀试验方法，利用它将可以从事多方面的海洋腐蚀研究。该试验机将进一步改进、提高并利用它进行各种试验。将在一定基础上推广应用。

参考文献

- [1] 侯保荣, 1981. 海洋科学集刊 18:87~94.
- [2] 侯保荣, 陈俊明, 1985. 海洋科学集刊 25:65~73.
- [3] 侯保荣, 张经磊, 1980. 海洋科学 4:16~19.
- [4] 侯保荣, 1982. 海洋科学 2:22~26.
- [5] 侯保荣等, 1993. 海洋科学 2:31~34.
- [6] 侯保荣, 张经磊, 1983. 海洋科学 4:31~33.
- [7] 侯保荣, 1981. 海洋湖沼通报 2:16~19.
- [8] 侯保荣, 郭公玉, 张经磊, 孙可良, 1985. 海洋与湖沼 16(2):116~120.
- [9] 侯保荣, 1979. 海洋科学 4:42~47.
- [10] 侯保荣, 1978. 金属腐蚀与防护 1:49~58.
- [11] 夏伦进, 侯保荣, 1995. 海洋科学集刊 36:131~141.
- [12] 侯保荣, 夏伦进, 1995. 海洋科学集刊 36:142~148.
- [13] 侯保荣, 西方笃, 水流激, 春山志郎, 1993. 海洋与湖沼 24(3):272~278.
- [14] 侯保荣, 张经磊, 郭公玉, 1988. 日本腐食防食学会, 昭和60年春期大会讲演概要集, 东京. C202-206.
- [15] 侯保荣, 西方笃, 水流激, 春山志郎, 1987. 日本金属学会, 昭和62年秋期大会讲演概要集(熊本), 201.
- [16] 侯保荣, 西方笃, 水流激, 春山志郎, 1993. 海洋与湖沼 24(3):272~278.
- [17] 西方笃, 侯保荣, 田大熙等, 1987. 防食技术 36(1):23~26.
- [18] 西方笃, 高桥岳彦, 侯保荣, 水流激, 1994. 材料和环境 43(4):188~193.
- [19] 杨芳英等, 1987. 海洋科学 2:16~18.
- [20] 门智, 渡边常安, 1976. 低合金钢の海水腐食. 防食技术 25(3):173~190.
- [21] 内藤浩光等, 海水における海水飞沫部钢の腐食过程. 制铁研究 284:63~69.
- [22] Hou Baorong (侯保荣), 1986. Chinese Journal of Oceanology and Limnology. 4(3):293-303.
- [23] Hou Baorong (侯保荣), 1989. The 6th aslan-pacific corrosion control conference 18-22 september, singapore marine corrosion C1-3.
- [24] H. H. Uhlig, 1958. Corrosion Handbook 125.
- [25] H. A. Humble, 1949. Corrosion, 5: 292-303.
- [26] C. P. Larrabee, 1958. Corrosion, 14: 501-504.