



国防特色教材·职业教育

船舶涂装技术

CHUANBO TUZHUANG JISHU

李庆宁 王金鑫 主编 马玉清 主审

哈尔滨工程大学出版社
Harbin Engineering University Press

北京航空航天大学出版社

哈尔滨工业大学出版社

北京理工大学出版社

西北工业大学出版社



NUAA2072003696
国防特色教材·职业教育

船舶涂装技术

CHUANBO TUZHUANG JISHU

主编 李庆宁 王金鑫

主审 马玉清

哈尔滨工程大学出版社

北京航空航天大学出版社 北京理工大学出版社

哈尔滨工业大学出版社 西北工业大学出版社

内容简介

本书共 12 章。内容包括:船舶腐蚀与防护,船舶涂料,涂装前钢材表面处理质量及其评定,钢材表面处理的施工阶段与处理方式,船舶涂装概述,船舶涂装工艺,船舶涂装设计,船舶涂装管理,船舶涂装设备,成品油船与特殊涂装,船舶修缮涂装,以及船舶压载舱保护涂层性能标准;每章后面还配有习题。

本书可作为船舶高职院校相关专业的教材,也可作为船厂技术培训教材,还可提供给相关专业技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

船舶涂装技术/李庆宁,王金鑫主编. —哈尔滨:
哈尔滨工程大学出版社,2014.8

ISBN 978-7-5661-0908-8

I. ①船… II. ①李… ②王… III. ①船体涂漆
IV. ①U671.91

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 205727 号

船舶涂装技术

李庆宁 王金鑫 主编

责任编辑 丁 伟

*

哈尔滨工程大学出版社出版发行

哈尔滨市南岗区东大直街 124 号 发行部电话:0451-82519328 传真:0451-82519699

<http://www.hrbeupress.com> E-mail:heupress@hrbeu.edu.cn

黑龙江省地质测绘印制中心印刷厂印刷 各地书店经销

*

开本:787×960 1/16 印张:24.25 字数:512 千字

2014 年 9 月第 1 版 2014 年 9 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5661-0908-8 定价:52.00 元

前 言

船舶涂装技术在船舶建造中,作为壳、舾、涂三大工艺技术之一,起着举足轻重的作用。我国作为世界造船大国,学习国外的涂装先进技术,结合国内的实际情况,不断研究和改进,使船舶涂装技术呈现快速发展,新的涂料、涂装标准、涂装技术、涂装工艺、涂装管理、质量监控保证贯穿了船舶涂装全过程。

为适应船舶涂装技术的发展需要,本书与造船企业涂装技术、管理人员合作编写,理论联系实际,在介绍涂装技术的相关理论知识前提下,以典型的船舶涂装生产设计为例,侧重介绍了船舶涂料、船舶涂装生产设计、涂层配套、施工工艺、施工要领、涂装管理、成品油船特殊涂装、修缮涂装、船舶压载舱保护涂层性能标准等知识、技能。

本书可作为船舶高职院校相关专业的教材,也可作为船厂技术培训教材,还可提供给相关专业技术人员参考。

全书由武汉船舶职业技术学院李庆宁教授组织编写和定稿,李庆宁教授、渤海船舶职业学院王金鑫副教授担任主编。李庆宁编写本书第3章、第5~8章、第10~12章;王金鑫编写第1章、第4章;中外运长航青山船厂设计公司马军工程师编写第9章;第2章由马军、王金鑫共同编写。中外运长航青山船厂涂装公司经理马玉清完成本书的审稿工作。

本书在编写过程中,参考或引用了国内外一些专家学者的论著,在此表示感谢!

由于船舶涂装技术发展快速,加之编者水平有限,书中难免有错误和不妥之处,恳请读者和同行批评指正。

编 者

2014年7月

目 录

第1章 船舶腐蚀与防护	1
1.1 金属的腐蚀	2
1.2 船舶的腐蚀	7
1.3 船舶腐蚀的防护	11
1.4 牺牲阳极阴极保护	13
1.5 外加电流阴极保护	22
习题1	32
第2章 船舶涂料	33
2.1 涂料概述	33
2.2 船舶涂料概述	50
2.3 车间底漆	58
2.4 防锈涂料	64
2.5 面层涂料	69
2.6 液舱涂料	75
2.7 涂料与涂层相关术语	77
2.8 船舶涂料的发展方向	81
习题2	83
第3章 涂装前钢材表面处理质量及其评定	84
3.1 表面处理质量与涂层保护性能的影响	85
3.2 钢材表面处理质量的评定	88
习题3	101
第4章 钢材表面处理的施工阶段与处理方式	102
4.1 钢材表面处理的施工阶段	102
4.2 钢材预处理流水线	108
4.3 喷射磨料处理	111
4.4 动力工具清理	114
4.5 其他机械清理方法	116
4.6 化学处理方法	119
习题4	125

第5章 船舶涂装概述	126
5.1 船舶涂装概述	126
5.2 船舶涂装工程	128
5.3 船舶涂装工程的现代化和区域涂装技术	129
习题5	134
第6章 船舶涂装工艺	135
6.1 涂装前准备	135
6.2 船舶涂装施工方式及要领	138
6.3 船舶涂装的工艺阶段	148
习题6	157
第7章 船舶涂装设计	159
7.1 船舶涂装设计概述	159
7.2 涂装初步设计	169
7.3 涂装详细设计	179
7.4 涂装生产设计	195
7.5 计算机辅助涂装生产设计	216
7.6 船舶管系的颜色标记	218
习题7	220
第8章 船舶涂装管理	221
8.1 涂装环境管理	222
8.2 膜厚管理	225
8.3 涂装质量管理	234
8.4 涂装材料管理	242
8.5 涂装安全卫生管理	246
8.6 涂装工程管理(计划)	255
8.7 涂装工时管理	262
习题8	264
第9章 船舶涂装设备	267
9.1 涂装设备系列介绍之一——除湿机	267
9.2 涂装设备系列介绍之二——喷砂机	272
9.3 涂装设备系列介绍之三——吸砂机	277
9.4 空压机	279
9.5 高压水除锈设备	283
9.6 涂装工器具	290

9.7 涂装常用检测仪器	293
习题9	309
第10章 成品油船与特殊涂装	310
10.1 成品油船涂装的特殊性	311
10.2 特殊涂装的标准	313
10.3 成品油船涂装工程	319
10.4 特殊涂装的工程管理	329
10.5 特殊涂装设备	332
10.6 特殊涂装施工实例	335
习题10	342
第11章 船舶修缮涂装	344
11.1 修缮涂装工程计划	345
11.2 表面处理方法	345
11.3 修缮涂装用涂料及涂层配套系统	349
11.4 修缮涂装要领	362
习题11	367
第12章 船舶压载舱保护涂层性能标准	369
12.1 船舶压载舱保护涂层性能标准实施概述	369
12.2 船舶压载舱保护涂层性能标准关键点	370
12.3 船舶压载舱保护涂层性能标准应对措施	374
习题12	377
参考文献	378

第1章 船舶腐蚀与防护

【学习目标】

知识目标

1. 能够叙述金属腐蚀的基本原理与腐蚀的种类。
2. 能够了解船舶腐蚀的一般规律及特点。
3. 能够了解船舶的电化学防护的基本原理。
4. 能够掌握船舶的电化学防护的基本方法。
5. 能够了解现代钢质船舶电化学防护方法的选择和发展趋势。

能力目标

1. 能够通过表面状态对船舶的腐蚀情况进行分析和判断。
2. 能够准确分析船舶不同部位的腐蚀条件。
3. 能够针对不同的船舶采取恰当的电化学腐蚀防护措施。

长期航行于海洋中的钢质船舶,会不同程度受到各种腐蚀介质的侵蚀而发生腐蚀,给船舶带来很大的破坏。当钢质船舶的腐蚀达到一定程度时,船体强度会下降到不足以抵御海洋风浪给予船体结构的巨大冲击,从而不可避免地出现海难事故;当船舶上的各种机械及舾装设备的腐蚀达到一定程度时,设备将不能正常工作和运转,产生各式各样的机械故障,严重时会使船舶在海洋中航行时失去控制,丧失自救能力,造成惨祸。因此,船舶腐蚀到一定程度时,只得报废,导致其失去使用价值。

钢质船舶在海洋环境中的腐蚀是不可避免的,但现在我们可以通过了解钢质船舶在海洋环境中的腐蚀原理,采取相应措施对其腐蚀的速度加以控制,使其腐蚀速度尽可能降至最低,从而达到延长船舶使用寿命的目的。

1.1 金属的腐蚀

1.1.1 金属腐蚀的分类

金属腐蚀可按产生的机理分成化学腐蚀和电化学腐蚀两大类;也可按腐蚀的破坏形态分为全面腐蚀和局部腐蚀。前者包括均匀的全面腐蚀和不均匀的全面腐蚀;后者常见的类型有电偶腐蚀(异金属接触腐蚀)、点腐蚀、缝隙腐蚀、晶间腐蚀、应力腐蚀、腐蚀疲劳、冲蚀、磨蚀、选择性腐蚀、杂散电流腐蚀、空泡腐蚀等。

1. 腐蚀机理不同的金属腐蚀

(1) 化学腐蚀

化学腐蚀是由于金属表面与介质直接发生化学作用引起的腐蚀,其特点是在作用进行过程中没有电流产生。

化学腐蚀主要分为以下两类:

①气体腐蚀 这是金属在干燥气体中(表面没有湿气冷凝)发生的腐蚀。气体腐蚀一般是指在高温时金属的腐蚀,例如轧钢时生成的氧化皮,内燃机活塞的烧坏等。

②在非电解质溶液中的腐蚀 这是金属在不导电的液体中发生的腐蚀,即金属在如乙醇、石油等有机液体中的腐蚀。

(2) 电化学腐蚀

电化学腐蚀是金属表面与离子导电性介质发生电化学作用引起的,在作用过程中有阴极区和阳极区。其特点是在金属与介质中有电流流动。电化学作用有时单独造成腐蚀,有时与机械作用、生物作用共同产生腐蚀。

电化学腐蚀是金属腐蚀中最常见、最普遍的腐蚀,可以说大多数金属腐蚀都具有电化学性质。电化学腐蚀主要可分为以下几类:

①大气腐蚀 金属在潮湿的空气中发生的腐蚀。

②土壤腐蚀 埋设在地下的金属构件物(如管道、电缆等)所产生的腐蚀。

③在电解质溶液中的腐蚀 这是极其广泛的一类腐蚀,天然水及大部分水溶液对金属结构的腐蚀(例如在海水和酸、碱、盐的水溶液中所发生的腐蚀)都属于这一类。

④在熔盐中的腐蚀 金属在熔盐中发生的腐蚀。如热处理车间中,熔盐加热炉中电极和被处理金属等发生的腐蚀。

⑤微生物腐蚀 某些微生物的生命活动,能够促进阳极区和阴极区的电化学反应,或能削弱金属表面膜的耐腐蚀作用,或能产生腐蚀性物质,从而加快电化学腐蚀。如硫酸盐还原菌和铁细菌对金属的腐蚀。

⑥海洋生物腐蚀 不少海洋生物(动物或植物)能够黏附在金属表面并且不断繁殖,在其新陈代谢过程中能产生腐蚀性的物质,或由于其在金属表面覆盖不均匀而造成氧浓差电池,从而加速电化学腐蚀。

2. 破坏形态不同的金属腐蚀

金属腐蚀常见的破坏形式有两大类,即均匀的全面腐蚀和局部腐蚀。

全面腐蚀是腐蚀作用均匀地发生在整个金属表面,并在整体上逐步地使金属腐蚀,逐步地使金属降低其各种属性,因而其危害性不太严重。

局部腐蚀是腐蚀作用主要集中在金属的局部区域。由于这些腐蚀的分布、深度和发展很不均匀,往往当金属整体还相当完好的时候,局部腐蚀已相当严重,会导致严重事故或灾害发生,所以危害性很大。

船舶在海洋环境中的局部腐蚀大体有以下几种形式:

(1) 斑点腐蚀

腐蚀像斑点一样分布在金属表面上,所占面积较大,但不是很深。

(2) 脓疮腐蚀

金属被腐蚀破坏的情形好像人身上长的脓疮,被损坏的部分较深、较大。

(3) 孔腐蚀(又称点腐蚀)

在金属某些部分形成一些小而深的圆孔,有时候甚至发生穿孔。

(4) 晶间腐蚀

这种腐蚀发生在金属晶体的边缘上。金属遭受晶间腐蚀时,它的晶粒间的结合力显著减小,内部组织变得很松弛,从而机械强度大大降低。

(5) 穿晶(粒)腐蚀

这是沿最大应力线发生破坏的一种局部腐蚀,其特征是腐蚀往往贯穿金属晶粒本体。应力腐蚀开裂即是其中之一。

(6) 选择腐蚀

多元合金中某一组分溶解到腐蚀介质中去,从而造成另一组分富集在合金的表面上,这将改变合金的性能,这种腐蚀也称为脱离成分腐蚀,如黄铜脱锌、铝青铜脱铝、铜镍合金脱镍等即为此类腐蚀。

1.1.2 电化学腐蚀的基本理论

船舶的腐蚀主要是电化学腐蚀,因此这里重点介绍电化学腐蚀。

电化学腐蚀(Electrochemical Corrosion)指金属表面与离子导电的介质因发生电化学作用而产生金属材料的破坏。其特点在于它的腐蚀历程可分为两个相对独立并且同时进行的阳极反应和阴极反应的过程。阳极反应是金属离子从金属中转移到介质中和放出电子

的过程,即阳极氧化过程;相对应的阴极反应则是介质中氧化剂组分接受来自阳极的电子的还原过程。由于这两个过程在被腐蚀的金属表面上一般具有分离的阳极区和阴极区,使腐蚀反应过程中电子的传递可通过金属从阳极区流向阴极区,其结果必有电流产生。金属失去电子和氧化剂得到电子这两个过程一般不在同部位发生,同时在反应过程中有电流产生,故称电化学腐蚀。

1. 原电池

经过人们的一系列研究,已经确定金属在电解质溶液里所发生的腐蚀是由于金属表面发生原电池作用所引起,这一类腐蚀即为电化学腐蚀。

把两种不同的金属放在电解质溶液内,以导线连接,可以发现导线上有电流通过。这种装置我们称为原电池。例如伏特电池(见图 1-1)。

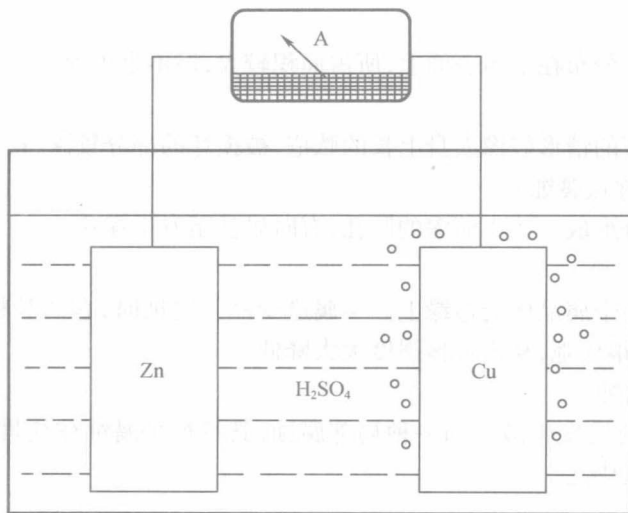


图 1-1 伏特电池原理图

伏特电池的两个电极——锌板和铜板,在硫酸(H_2SO_4)溶液中具有不同的电极电位,因而在它们之间存在一定的电位差,该电位差导致了电流的产生。

在伏特电池的两极上,分别进行着如下的电极反应。

锌电极上,锌电位较低,失去电子,氧化成为离子进入溶液:



铜电极上,酸中的氢离子接受电子,还原成为氢气逸出:



在伏特电池中可以看到,电极电位较低的锌作为阳极不断失去电子,成为离子进入溶

液(即不断受到腐蚀),而电极电位较高的铜作为阴极仅起着传递电子的作用,使 H^+ 放电成为 H_2 逸出,铜本身没有发生变化。

因此,金属在电解质溶液里,只有作为电池中的阳极时,才会不断受到腐蚀。

2. 宏电池

宏电池是一类肉眼可以看到电极的腐蚀电池。宏电池有以下几种类型。

(1) 电偶电池

由不同的金属在同一电解溶液中相互接触而构成。如前面所述的伏特电池、钢质船体和铜质螺旋桨在海水中构成的腐蚀电池、钢质船体及其上安装的锌合金阳极(牺牲阳极)在海水中构成的腐蚀电池等。

在电偶电池中,总是电位较低的金属成为阳极而受到腐蚀。两种金属的电极电位差愈大,较低电位的金属腐蚀速度就愈快。

(2) 浓差电池

同一种金属与相同的电解质溶液相接触,由于电解质溶液的浓度不同,形成所谓的浓差电池。

金属的电极电位与金属的离子浓度有关,如果电解质溶液是含有金属本身离子的溶液,那么溶液愈稀,金属的电位愈低;溶液愈浓,金属的电位愈高,因而处于浓度低部位的金属将成为阳极而受到腐蚀。

在浓差电池腐蚀中,最有实际意义的是氧浓差电池(也称为充气不均匀电池)。

氧浓差电池是由金属与含氧量不同的溶液相接触而形成的。

溶液中 O_2 的浓度愈大,氧电极电位愈高。因此,如果溶液中的各部分的含氧不同,在氧浓度较小的地方,金属的电位较低,成为阳极,在这里的金属常常遭受腐蚀。

在实际中常常碰到这类腐蚀,如静止在水中的铁桩,往往是水面以下一些的部位腐蚀较严重,这是因为这里含氧量低于水面与大气交界处的含氧量的部位成为氧浓差电池中的阳极区。船舶的水线区域特别容易受到腐蚀,其中原因之一也是形成如同上例的氧浓差电池的缘故。

3. 微电池

从理论上讲,单一金属在电解质溶液里只能形成双电层,不会产生腐蚀。而实际上,除金、铂等少数特别惰性的金属外,几乎所有的金属单独置于电解质溶液里都会发生电化学腐蚀。这是因为金属表面的电化性不均匀,从而产生了许多极微小的阴极和阳极,构成了无数微电池的缘故。金属表面的电化性不均匀的原因有很多,其主要原因如下:

(1) 金属化学成分不均匀性

一般金属均含有或多或少的杂质或其他化学成分。如锌中含有的铁杂质以 $FeZn_7$ 的形式存在,碳钢中含有的碳以 Fe_3C 的形式存在,铸铁中含有石墨等。杂质或其他化学成分的电极电位与金属不一致,杂质往往因其电位高而成为阴极,则金属本体就成为无数的微阳

极而遭到腐蚀。

(2) 金属组织的不均匀性

在金属或合金中,金属的晶粒与晶界的电位往往不相同,如工业纯铝,晶粒与晶界的平均电位差约 0.091 V,其中晶粒电位高是阴极,晶界电位低成为阳极而发生腐蚀。

合金在液态转化为固态时常有偏析现象。合金的偏析亦造成了金属组织的不均匀性。如黄铜结晶时,先结晶的部分含铜较多,电位较高,成为阴极;后结晶的部分含铜较少,电位较低,成为阳极而发生腐蚀。

(3) 金属物理状态的不均匀性

金属在机械加工过程中常常造成金属各部分形变不均匀性及内应力的不均匀性。一般情况是变形较大的部位和应力较大的部位常常成为阳极,容易受到腐蚀。

(4) 金属表面膜的不完整性

金属在熔炼、加工后,其表面常形成一层表面膜(氧化膜)。该表面膜往往不完整(具有空隙或裂缝),其表面膜的电位较高成为阴极,表面膜未覆盖部分的金属电位较低成为阳极而受到腐蚀。

金属的微电池腐蚀是一种十分普遍的现象,金属的阴极保护措施主要是为了克服微电池腐蚀。

1.1.3 评定金属腐蚀速度的方法

评价金属腐蚀速度的方法很多,其主要方法有以下几种:

1. 腐蚀质量评定法

金属腐蚀的速度可按单位时间内单位面积的金属失去质量的大小来评定:

$$K_w = \frac{W_0 - W_1}{S t} \quad (1-3)$$

式中 K_w ——腐蚀速度, $g/(m^2 \cdot h)$;

W_0 ——腐蚀前金属试片的质量, g ;

W_1 ——腐蚀后金属试片(清除掉腐蚀产物后)的质量, g ;

S ——与腐蚀介质相接触的试片表面积, m^2 ;

t ——腐蚀作用的时间, h 。

2. 腐蚀深度评定法

金属的腐蚀速度还可以单位时间内金属腐蚀的深度来评定,它与质量评定法的 K_w 之间的关系是

$$K = \frac{24 \times 365}{1\,000} \times \frac{K_w}{d} = 8.76 \frac{K_w}{d} \quad (1-4)$$

式中 K ——用每一年的腐蚀深度来表示的腐蚀速度, mm/a;

d ——金属的密度, g/cm³。

上述的腐蚀质量评定法和腐蚀深度评定法评定金属的腐蚀速度时,只有在均匀腐蚀的情况下才有价值。对于局部腐蚀的腐蚀速度应该采用其他方法评定。

3. 机械性能变化评定法

由于腐蚀将导致金属的机械性能下降,因此可对腐蚀前后的金属进行机械性能的实验,由其机械性能的变化来评定金属的腐蚀速度(或程度)。

该方法既适合于均匀腐蚀的情况,也适合于局部腐蚀的情况。评定时通常可采用强度极限的变化或延伸率的变化来表示:

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma - \sigma'}{\sigma} \times 100\% \quad \text{或} \quad K_{\delta} = \frac{\delta - \delta'}{\delta} \times 100\% \quad (1-5)$$

式中 K_{σ} ——强度变化的腐蚀速度, %;

K_{δ} ——延伸率变化的腐蚀速度, %;

σ ——腐蚀前金属的强度极限, kg/cm²;

σ' ——腐蚀后金属的强度极限, kg/cm²;

δ ——腐蚀前金属的延伸率, %;

δ' ——腐蚀后金属的延伸率, %。

1.2 船舶的腐蚀

钢铁在不同的腐蚀环境中会受到不同程度的腐蚀,海洋环境就是一个极为严酷的腐蚀环境,以钢铁为主要结构材料的船舶,在海洋大气及海水这种电解质中,时时处处都面临着腐蚀的危害。

船舶腐蚀情况根据船体各部位所处的腐蚀环境、船舶航行海域、船龄以及维护保养程度的不同而有很大差别。这里我们将重点讨论船体各部位在其所处的腐蚀环境中的腐蚀。

1.2.1 船体水下部分及水区腐蚀

船体水下部分,根据腐蚀介质的作用条件,可分为艏部、艉部、船舷和船底四部分。

在艏部,海水对壳体产生较大的流体动力作用,特别是对速度比较高的船舶,这使得涂层的工作条件变得十分苛刻。在艏部泡沫翻滚的波浪区,涂层首先遭到破坏;另外,艏部的涂层还经常受到锚链和漂浮物的撞击。当运输船和工程船的航行速度为 10 ~ 20 kn 时,船体艏部的水被空气泡所饱和。这里的腐蚀过程不受供氧的扩散控制。

船体中部的船舷外壳表面受到的流体动力作用比艏部小,但这个区域的涂层在船靠码

头时特别容易遭到破坏。

在螺旋桨所产生的强烈水流作用下,艏部壳板和舵叶上遭到明显的局部流体动力的作用。在许多情况下,这会引起结构的冲刷腐蚀破坏。由于船体和由铜合金制成的螺旋桨接触,船尾特别是在端部,所发生的阳极极化是引起腐蚀破坏的重要因素,而氧向桨叶(阴极)的充分供给增加了这个腐蚀电池的工作效率。

在船底部位,由于附着海生物,极易产生氧浓差电池而引起坑蚀。同时,海生物的排泄物除了助长腐蚀之外,随其积累还会侵入船底涂膜中,破坏涂膜而造成严重后果。此外,由于和水翼、声呐罩等不锈钢结构的接触,也可能出现局部的阳极极化。

水线区的船体外壳处于特别苛刻的条件之下。在这个区域,涂层破损的可能性最大。除了各种漂浮物和系泊条件破坏涂层之外,在港口水面上经常存在的石油产物层也会促使涂层破坏。船体这个区域所用的许多涂料都对石油产物不稳定。如前所述,这个区域的外壳处于干湿交替条件下,遭到水和空气的交变作用,大大增强了腐蚀介质的侵蚀性。

水下船体结构的焊缝部位常常发生严重的腐蚀。当焊缝金属的电位低于船体壳板的电位时,焊缝金属成为腐蚀电池的阳极,而面积较大的外壳成为有效的阴极,从而导致焊缝金属腐蚀速度大大增快。在许多情况下,由于这种原因,进坞时会发现焊缝的加强处低于外壳表面。但是,随着焊条性能的改进,从材质本身来说,多数情况是焊缝金属并不比母材更容易腐蚀。这时,焊接的热影响、残余应力是诱导腐蚀的重要原因。特别是埋弧焊等自动焊部位,与手工焊接比较,其输入热量大,使母材热影响区耐蚀性明显降低。

不同类型船舶壳体的腐蚀损耗在一定程度上与它的使用条件有关。大量的调查数据还表明,腐蚀最大值通常在最大损耗区——交变水线区。腐蚀速度平均值一般与船舶类型的关系不大,为 $0.1 \sim 0.15 \text{ mm/a}$ 。

1.2.2 船体水上结构的腐蚀

船体水上结构,包括干舷、甲板和上层建筑,主要受到海洋大气、海水飞沫、雨雪、冲洗甲板时所用的海水以及凝结水的侵蚀。水在各种难以维护的地方聚集并长期存在,也是船体水上结构局部腐蚀破坏的重要原因。

海洋大气存在大量氯化物,这加剧了凝结水对结构的侵蚀。海水飞溅到船体水上结构并干燥之后,在表面留下一层吸水的薄盐层,它使结构表面保持潮湿状态,从而造成结构的腐蚀。

甲板的形状会影响水在甲板上的集散。在平坦的甲板上很容易形成难于排水的死角。在具有斜坡的甲板上,当用来排除流水的流水孔布置不合理时,会使水聚集在最低部位。甲板在没有排水沟的部位,因集水而造成的腐蚀通常是排水通畅的部位四倍以上。

甲板上个别区域,如在机舱、锅炉的上面,温度较高,加大了聚集在这些区域水的侵蚀

作用。如在木质覆板下面,直接敷设在钢甲板上的蒸汽管道附近的甲板,腐蚀速度能达到 0.38 mm/a ,而在没有蒸汽管道的地方,甲板腐蚀速度要小一半。

当甲板表面敷有甲板敷料时,如果敷料是易脆或易老化开裂的,或者甲板敷料的敷设工艺不当,在使用过程中,甲板敷料会发生开裂或与甲板表面发生剥离,这会导致敷料下面的钢甲板发生严重的腐蚀破坏。

船体结构在装配制作过程中,校正钢结构的焊接变形通常是对钢板采用氧炔焰加热然后冷却的方法。特别是船舶的上层建筑部位,这种火工校正最为频繁。试验和实践表明,火工校正部位的金属组织结构发生了变化,比起其他部位其耐蚀性大大降低。因此,在表面涂装的涂层膜厚相同的情况下,火工校正部位涂膜的破坏要比一般部位早,腐蚀速度快。

1.2.3 船体内部结构的腐蚀

根据使用条件不同,船舶内部舱室的腐蚀有很大差异。

工作舱和居住舱,这里通常可以有效地限制水对船体结构的长期作用,所以一般看不到船体结构的明显腐蚀破坏。但是,如发生淤水排泄不畅,如清洗水进入甲板敷层的下面,则也会发生和甲板结构同样的腐蚀。

卫生舱,包括浴室、盥洗室、厕所,这里的侵蚀条件比较严重,经常被100%湿度的空气、凝结水和冲洗水作用。在甲板的下部,围板和其他长期有水作用的舱壁表面上易发生早期腐蚀破坏,腐蚀速度为 $0.095\sim0.3\text{ mm/a}$ 。

货舱中,受装载货物及冷凝水、积水的作用,涂层会受到破坏,造成货舱壁和内底板的腐蚀。

从抗蚀性的观点来看,最不安全的是难于维护保养的那些船体内部结构,如艏尖舱、艉尖舱、压载水舱、锚链舱、污水井和机舱、泵舱的双层底部位。

在艏尖舱、艉尖舱和其他压载水舱中,早期的防腐措施是刷涂水泥浆,水泥下面的钢板往往被严重腐蚀,其速度可达 0.4 mm/a 。

机舱双层底,在高温高湿作用的同时,主机、辅机振动和冲击所产生的应力作用也使其腐蚀加剧。特别是在锅炉下部,腐蚀更为严重。

锚链舱因锚链夹带泥土和海水,且在拖入拖出时的磨损对涂层产生破坏,所以腐蚀也相当严重。

用于装载各种侵蚀介质的液舱,其腐蚀和防护是造船和航运部门最为关注的问题。早期建造的船舶,由于没有良好的防腐措施,这些液舱的腐蚀特别严重。

饮/淡水舱与前所述压载舱一样,以往采用涂刷水泥浆的方式保护,由于水泥涂层的透水性和不稳定性,不能抑制水舱的腐蚀。

油舱内表面的腐蚀,根据载油种类、航线、压载和清洗方法的不同有较大差异。

在只用来运输原油的油舱中,腐蚀破坏作用相对较小,这是因为黏稠的原油油膜对钢板有一定的保护作用。但是一些含硫较高的原油中,其中无机硫化物和有机硫化物(如噻吩、硫醇等)具有较大的侵蚀性。此外,原油一般还混有油田咸水,其主要成分为氯化镁,也是强电解质。

精制的成品油,如煤油、轻油、挥发油、润滑油等,虽然其纯制品不具有腐蚀性,因其在精制过程中,一般都含有硫酸和水分,在洗涤硫酸时,与氢氧化钠中和而生成硫酸钠,这些都是强电解质,腐蚀作用较强,所以能造成装载成品油的油舱内表面严重腐蚀。

除了油品本身的腐蚀之外,许多油舱常常是荷油和压载交替进行。压载水和油品相互作用,能造成很严重的腐蚀。如果是装载汽油或其他轻质油的油舱,卸载后,由于汽油或轻质油的挥发,油舱露出洁净的表面。此时,如果注入压载水,钢质舱壁就会受到严重腐蚀。

1.2.4 船舶的异常腐蚀——电腐蚀

电腐蚀是由外来电流引起的腐蚀。在船舶修造过程中,这种外界电流往往是很大的,引起腐蚀的程度也是十分严重的,所以必须给予足够的重视。

电腐蚀的实例很多。例如某海军运输艇,交付使用后仅5个月就发现漏水,经上排检查,发现船体水下部分到处都是深度不等的腐蚀坑和麻点,有十多处已腐蚀穿孔,尤其是距水线300 mm以下的壳板破坏最为严重,有的焊缝已整条烂穿。很显然,其在正常情况下是不可能腐蚀到如此程度的。经分析,这种破坏是由电腐蚀引起的。电腐蚀破坏有如下特点:

(1)腐蚀速度相当快,与船体钢材的质量关系不大。例如,在某种情况下,水下船体实际的局部电流密度可达 5 A/m^2 ,这时腐蚀速度约为 6 mm/a ,也就是说,是钢铁在海水中的自然腐蚀速度的40~50倍。在引起船体严重腐蚀的原因中,没有一个能造成这样高的腐蚀速度。

(2)腐蚀破坏往往集中于船体水下漆膜破损部位、漏涂部位以及船壳突出部位,即电阻较小的部位易产生电腐蚀。

(3)电腐蚀破坏往往具有锐利边缘,并与涂层破损有相同的外形,呈坑状或穿孔腐蚀,腐蚀坑内有黑色粉末状铁锈。

产生电腐蚀的主要原因在于船舶在码头安装或漂浮中修理时,用电时供电线路接线不正确,或在船停泊的水域内有杂散电流的作用。

有些船厂对停靠在码头上的船舶进行电焊时,采用了如图1-2所示的错误接线法,即将电焊机的负极接在码头上,而不是直接接在被焊船体上,船体与码头之间仅靠钢缆导电。这样,电焊时,电焊电流从焊机正极经焊枪、船体后,有一部分电流经钢缆、码头后,进入接地导线返回电焊机负极;而另一部分电流从船体进入江水或海水,再经码头进入地线返回