

船舶中的金属腐蚀

[英]奈杰尔·沃伦 著

吴敏 张义 译

国防工业出版社

U67!
W70

301672

船舶中的金属腐蚀

〔英〕奈杰尔·沃伦 著

吴 敏 张 义 译



国防工业出版社

01152/30
内 容 简 介

本书是论述船舶金属腐蚀和防护的通俗读物。其突出的特点是注重实际经验的总结,对船舶使用过程中各种零部件发生的腐蚀问题及防护措施,作了非常实际而具体的介绍,特别是对各种材料在不同条件下的腐蚀性能和怎样通过合理选材达到提高耐蚀性能的阐述比较透彻。具有很鲜明的实用性,无论对大、中、小船舶和金属船、木船、水泥船、玻璃钢等材质的船舶设计人员和船舶用户都有很好的参考价值。

本书共分三部分。第一部分论述不锈钢、铜和铜基合金、铝、铜合金、铅、铀、镁合金等船用金属材料的腐蚀性能和选用原则;第二部分论述船用金属腐蚀的类型,包括耗蚀、点蚀、速度效应、电解腐蚀、局部腐蚀、应力腐蚀和腐蚀疲劳;第三部分论述腐蚀控制和防护,包括阴极保护,船舶水下区、水上区的各种零部件的合理选择和防护,螺旋桨、发动机的腐蚀防护等。

METAL CORROSION IN BOATS.

By Noel Warren,
STANFORD MARITIME,
LONDON 1980

船舶中的金属腐蚀

〔英〕奈杰尔·沃伦 著

吴 俊 张 义 译

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

北京市昌平县上苑长城印刷厂印刷

■

787×1092¹/₃₂ 印张6⁷/₈ 145千字

1987年11月第一版 1987年11月第一次印刷 印数: 0,001—2,000册

ISBN7-118-00120-1/U9

定价: 1.45元

译 者 序

船舶中的金属腐蚀是船舶建造和使用中很重要的问题。合理选用造船材料，正确采用预防船舶金属腐蚀的措施和方法，将大大延长船舶的使用寿命，提高经济效益。

本书就船用金属材料的种类及其选择、腐蚀类型及预防措施等方面作了详细而通俗的论述。相信本书的翻译出版能为国内读者提供借鉴。

本书在译校过程中，得到黄传荣同志、吕希安同志的指教，在此表示衷心感谢。

由于译者水平有限，错误之处恳请读者批评指正。

前 言

金属是怎样腐蚀的？又怎样来预防这种“妖术”？是大多数船舶用户和许多船舶建造厂关心的问题。这个问题在一般的快艇杂志中不常提到，即使提到，也是搞腐蚀防护的工程师写的，因而深奥难懂，这本书试图为船舶用户和船舶建造工作者填补这方面的空白。

本书对用户获得普通船用金属腐蚀行为和船用设备在什么条件下可能严重腐蚀等基本知识是非常有用的。这本书的知识有时对船舶装置例如通海旋塞的安全性也是不可缺少的。当然，选择新的测量器零件时，这些知识也很有用，因为有些工作人员在这方面的知识很缺乏。浸在海水中的一种金属对另一种金属的作用是一种很重要的特殊情况；幸而，没有什么数学知识甚至科学知识的人也容易理解。

但是具备基础理论知识有助于决定使用特殊金属满足特殊的用途，由于腐蚀取决于很多因素，实际上的腐蚀行为可能千变万化，因此要做出严格而可靠的规定是很困难的。任何金属的自然倾向都是回到它在地球上的原始状态，而成为一种矿物，只有很好的进行材料选择加上以后的保养维护，才能减小这一过程的速度。

选择比较抗腐蚀和比较贵重的金属通常要首先支付相当可观的费用。但是廉价的民用黄铜闸阀在舰船上用作通海旋塞时，不需几年功夫肯定会出毛病，甚至会使船只沉没。而多花几个钱采用青铜则可以延长使用寿命。这一方针可以

用于任何场合直至船壳本身。

当然，在准备编写这本书时，必须查阅大量的技术资料，因此，在这里要感谢这些资料的作者。在实际经验上，除了我作为船舶用户的经验之外，当然也有我作为一个造船技师的工作经验。我还要感谢近几年来在《船舶用户实践》杂志上发表的许多观点不同的评论和大量读者所提出的各种问题。在这本书中我引用了从钢船壳到船底中心垂直升降板基座螺栓等各种范围的题目。

目 录

金属和合金

第一章 不锈钢	1
奥氏体不锈钢：船用级不锈钢	3
焊缝晶间腐蚀的预防	5
点蚀	6
速度效应	9
表面光洁度	10
温度	12
电化特性	12
应力腐蚀	14
腐蚀疲劳	14
空蚀	15
淡水	15
磁性	16
标准	16
防锈	19
几点结论	19
第二章 铜基和镍基合金（黄铜和青铜）	21
铜	22
黄铜	23
无锌铜合金	27
镍基合金	29

镀铬.....	31
在淡水中.....	32
小结.....	33
第三章 铝.....	36
合金元素.....	39
船用级铝合金.....	40
点蚀.....	42
电池腐蚀.....	43
泥番(鼓)剂腐蚀.....	44
其它腐蚀形式.....	45
阳极化.....	45
结论.....	46
第四章 钢和铁.....	47
钢.....	47
海水中的腐蚀速度.....	49
电池腐蚀.....	50
侵蚀.....	50
减少硫酸盐的细菌.....	51
海洋大气腐蚀.....	52
科坦(Cor-Ten)钢.....	53
铁.....	53
钢和铁的防护层.....	56
锌、镉、铝镀层.....	56
锡、铅、镍和铬镀层.....	60
漫尼龙.....	61
包皱玻璃纤维.....	61
覆层.....	61

在淡水中	62
结论	63
第五章 其他金属	64
铅和钎料	64
铀	65
钛	66
镁合金	67

腐蚀的类型

第六章 耗蚀、点蚀和速度影响	68
一般耗蚀	68
点蚀	70
速度影响(冲击和空泡)	72
第七章 电池腐蚀	77
电位序列	79
绝缘	100
紧固件	101
紧固件松弛	102
防污	103
结论	104
第八章 电解腐蚀、局部腐蚀、应力腐蚀和腐蚀疲劳	105
屏蔽接地	106
局部腐蚀	108
应力腐蚀裂纹	109
氢脆	112
腐蚀疲劳	112
助长疲劳的环境	117

控制和预防

第九章 阴极保护: 电池腐蚀的必然结果	119
牺牲阳极	120
玻璃纤维和木制船壳	130
外装马达和外传动装置	131
外加电流系统	133
阴极保护的隐患	134
第十章 水下区的问题	138
龙骨和龙骨螺栓	138
铅龙骨	141
龙骨螺栓材料的选择	142
内部压载	144
船尾装置	144
螺旋桨轴	144
螺旋桨	147
尾轴管和尾轴架	149
通海旋塞	150
舵和舵栓	151
中插板	152
紧固件	155
舷外传动装置和舷外马达	157
防污漆	158
第十一章 甲板及其上部区域的问题	159
系缆桩、导缆孔等	159
控制室、支柱和救生索	160
锚泊索具	161

窗框架	162
控制装置和仪表	162
吊艇架	162
绞链、挂锁、搭扣和卸扣	162
船甲板上部区域的问题	163
桅杆	163
索具	161
钢索接头	165
套管	166
紧索螺套 (松紧螺旋扣或松紧螺丝)	166
卸扣	167
木桅支索固定器和桅侧支索索条板	168
第十二章 金属船体和铜覆盖	170
钢质船体	170
涂漆	172
表面处理	173
喷丸处理	174
油漆	175
维修涂漆	177
特殊部位	178
一般原则	178
船内部	179
内河船	180
颜色	180
富锌涂料	180
漆膜厚度测量	181
生锈集中因素	181
原电池的预防	184

金属镀层钢船壳	184
金属镀层的油漆	186
铝船壳	187
焊接或铆接	188
铜护层和铜-镍船壳	189
铜镍船壳	190
第十三章 发动机腐蚀	192
直接和间接冷却	192
水管管系	194
排气装置	195
燃油箱	197
水箱	199
电气零件	199
舷外发动机	200
第十四章 海水、海盐和防腐设备	202
海盐	203
腐蚀预防器	204
附录 常用船舶金属的强度和密度	206

金属和合金

第一章 不 锈 钢

不锈钢是船用材料中一种新型材料，它在船舶上的使用大体上与玻璃钢出现的时间相同，现在已受到高度重视，并且或多或少地作为各种连接件或紧固件的标准材料。各种控制台和支柱也可以用不锈钢管制造。不锈的钢丝绳是非常新型的第一流钢丝绳。不锈钢螺栓、螺钉屡见不鲜，甚至系缆柱、系缆墩等也可以采用不锈钢铸件。不锈钢的吸引力在于它有明亮、光泽无锈的外表，它比很多铜基材料的强度更高。由于它的主要含量是廉价的铁(Fe)，所以它理所当然比黄铜、青铜更便宜。

不锈钢的耐腐蚀力主要取决于它的铬含量，大部分不锈钢基本上是铁、铬和镍的合金。金属铬可与氧非常迅速地反应形成非常致密且能防止进一步腐蚀的氧化膜。铁铬合金也具有这种性质，当铬的总量超过12%时，该合金的耐腐蚀能力显著增加，氧化不再成为问题。

不锈钢表面这种坚韧的表皮（完全是由于有适当的铬含量）是这种金属变得如此普及的主要原因。当抛光和摩擦时，这层表皮将变得更加厚实和坚韧。

不锈钢含镍可改善它的耐酸性，如果有足够的镍含量，不锈钢就能形成一种特殊形式的晶体结构，这种形式的晶体结构又能省去焊接时所需要的预热和焊后热处理。

当然有很多不同类型的不锈钢，它们主要取决于铬及镍含量增添的多少。有三种主要的不锈钢，即奥氏体型、铁素体型和马氏体型不锈钢。这些名称系指合金最终的晶体结构而言（“合金”这一术语意思是不同金属的混合物而不是特指任何一种金属，如铝）。最有意义的船用不锈钢是奥氏体型不锈钢。在室温下自然生成奥氏体不锈钢的铬和镍的百分比示于图1。因为镍是最昂贵的合金化金属，所以最常使用的奥氏体不锈钢含8%的镍和18%的铬，即奥氏体曲线的最底部。这种类型的不锈钢经常称为18-8型不锈钢。作为供船舶用的不锈钢，18-8型可以认为是技术要求最低的不锈钢。

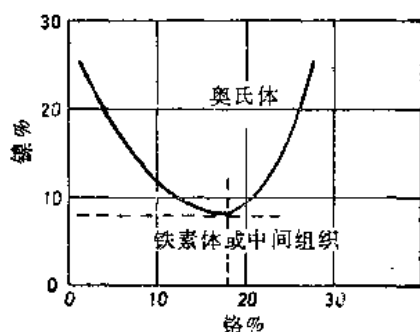


图1 表示形成奥氏体不锈钢的不同铬镍组合的曲线图

顺便指出，除了船级不锈钢外，介绍一些不同种类的不锈钢可能是有意义的。1913年，有人偶然发现铬加入铁后，铁就不生锈。从此在世界范围内开始使用不锈钢。普通种类的不锈钢含12~14%的铬，而不含镍。这类不锈钢常可用来制造薄片工具及涡轮叶片，是一些马氏体不锈钢（三种可能的晶体结构之一）。

另一组含17%铬（不含镍）的铁素体型不锈钢用于车辆

装饰，因为它有优良的抗大气腐蚀能力。其次有含 17% 铬、20% 镍的马氏体型不锈钢，这种类型的钢有高的强度，被用来作飞机紧固件。

不锈钢不像黄铜和青铜那样在很多场合都标有一目了然的名字（如铝黄铜、硅青铜等），不锈钢只能通过数字来识别。目前美国钢铁学会（AISI）及英国标准（BS）规定的数字通常指的是：

AISI数字系统	铬 %	镍 %	
500 系列	4 ~ 6		
400 系列	11 ~ 12	0 ~ 2.5	铁素体或马氏体
200 系列	16 ~ 19	3 ~ 8	由于锰的加入而形成的奥氏体
300 系列	16 ~ 26	6 ~ 22	镍稳定奥氏体

一种真正的（指不生锈）不锈钢含 12% 以上的铬。船用不锈钢是奥氏体不锈钢。

奥氏体不锈钢：船用级不锈钢

现在着手讨论奥氏体合金，这是我们最感兴趣的合金。当然有很多种等级的奥氏体合金，其中的 18-8 型是最低级的不锈钢，其商业品种包括镍铬耐蚀可锻钢和恩卡（AnKa）。这种基本合金虽然是“不锈的”，但有两个问题：（1）易产生焊缝晶间腐蚀，（2）很容易遭受点腐蚀。这两种缺陷都有必要做些说明。

焊缝晶间腐蚀是用以说明与焊缝相邻的狭窄区耐蚀能力降低的通俗术语（“碳化物析出”这个名词更为科学）。也就是说，当两块钢板焊接在一起时，焊缝邻近的金属在焊接过程中被加热，然后又慢慢冷却，在距焊缝大约 1 ~ 3 mm

$\left(\frac{1}{16} \sim \frac{1}{8} - \text{in}\right)$ 处形成一个危险温度区 ($850 \sim 550^{\circ}\text{C}$)，在

这一区域内晶粒边界产生碳化铬。在该过程中，碳原子迅速地由晶粒向晶界扩散，而铬原子则被缓慢地从邻近焊缝的狭窄区拉出来。这一冶金学术语的意思是指接近焊缝的金属狭带是贫铬的，因此这一狭带的耐蚀能力很低（图 2），而且这些狭带在电位序上比不锈钢母体要低得多。当焊接件投入使用时（譬如帮助支撑桅杆时）这种效应会带来极其严重的恶果。不锈钢在含盐的环境中和受力状态下，可能形成导致零件破坏的晶间裂缝。在严重情况下，金属甚至会碎成粉末。

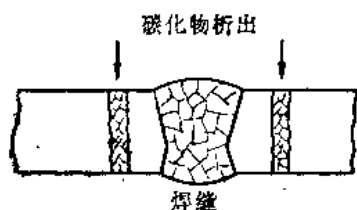


图 2 不锈钢焊接接头的晶间腐蚀，在应力和腐蚀作用下它会
引起突然断裂。在进行焊接作业时应挑选适当等级的不锈钢

只要确定恰当级别的不锈钢就能避免事故，这是冶金学家目前已经解决了的问题。在论及这些不锈钢级别之前，让我们讨论一下不锈钢最主要的缺陷：点蚀。

靠铬含量产生的坚韧氧化膜由氧来维持，氧来自空气和水（如果钢材浸于水中的话）。水中通常有足够的氧气来维持鱼的生存，也足以使暴露的不锈钢表面形成氧化膜。如果金属表面的局部地区氧含量降低，就会出现一些问题。这种情况可能在有附生物、污垢或杂草时发生，也可能在螺栓紧固或表面光洁度很差所引起的裂缝中发生。这些微小区域所

剥落的氧化膜，从而使底层金属暴露。这种毛病在很多情况下是带毁灭性的。因为这种暴露的金属正如在第七章电池腐蚀中将要说明的，其惰性远不如它周围大面积的未暴露的金属。结果是小面积很快腐蚀并发展成凹坑（图3）。随不锈钢的种类不同，这种点蚀可以在几个月的时间内穿透海水中的薄钢板。

焊缝晶间腐蚀的预防

有三种预防焊缝晶间腐蚀的方法：（a）固溶退火；（b）限制碳含量；（c）添加稳定化元素。固溶退火就是把焊接件加热到 1050°C ，此时碳化物被固溶，然后淬入水中。其目的是极迅速地冷却金属以避免铬和碳结合成易产生焊缝晶间腐蚀的区域。与其它大多数材料相反，这种处理使不锈钢变软。但它仅限于制造薄壁零件，比较厚的金属即使在水中冷却也嫌过慢。

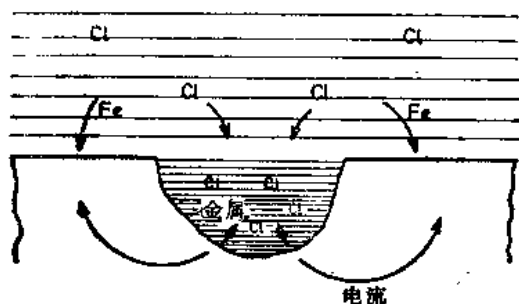


图3 不锈钢的凹坑内部的腐蚀机理

限制碳含量对避免焊缝晶间腐蚀是一种有效的方法。但是大多数奥氏体不锈钢含 $0.06\sim 0.12\%$ 的碳（c），如果它的