

[苏] И.Я. 鲍戈拉德 等著



海船的腐蚀与保护

海船的腐蚀与保护

〔苏〕И. Я. 鲍戈拉德 等著

王日义 杜桂枝 等译

姚兆生 校

国防工业出版社

内 容 简 介

本书阐述了在海洋条件下金属的腐蚀机理，船体结构腐蚀破坏的特征及防腐防污的现代化方法。书中还叙述了实施防腐作业的组织问题，以及所采用的防腐措施在使用中的效果的实际数据。

本书可供船舶修造、航运部门设计人员、工艺人员和专门从事防腐研究及施工人员参考。也可供从事海洋结构、设备腐蚀保护的其他部门的专业人员参考。

参加本书译校的有：王日义、杜桂枝、李守本、初世亮、鲁景同、陈光章、徐匀及姚兆生等。

КОРРОЗИЯ И ЗАЩИТА

МОРСКИХ СУДОВ

И. Я. БОГОРАД

Е. В. ИСКРА

В. А. КЛИМОВА

Ю. Л. КУЗЬМИН

ИЗДАТЕЛЬСТВО «СУДОСТРОЕНИЕ» ЛЕНИНГРАД 1973

*

海船的腐蚀与保护

[苏] И. Я. 鲍戈拉德 等著

王日义 杜桂枝 等译

姚兆生 校

*

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

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张 12³/₈ 317千字

1983年6月第一版 1983年6月第一次印刷 印数：0,001—1,900册

统一书号：15034·2465 定价：1.55元

目 录

绪论	1
第一部分 金属在海水和海洋大气中的腐蚀	3
第一章 金属腐蚀的一般知识	4
§ 1 腐蚀过程的分类	4
§ 2 腐蚀破坏形态	6
§ 3 腐蚀速度指标	9
第二章 海水腐蚀的理论问题	11
§ 4 电流与腐蚀	11
§ 5 腐蚀电池及其在海水中的工作	12
§ 6 海洋大气中的腐蚀	24
§ 7 间浸时的腐蚀	28
第三章 在船舶条件下影响金属腐蚀的因素	32
§ 8 船舶的主要腐蚀介质	32
§ 9 腐蚀介质对金属的作用条件	42
第四章 船用金属和合金的抗蚀性	59
§ 10 碳钢和低合金钢	60
§ 11 不锈钢	70
§ 12 铜和铜合金	78
§ 13 铝合金	93
§ 14 镍及其合金	103
§ 15 锌与镉	105
第五章 腐蚀试验的方法和对腐蚀破坏的评定	107
§ 16 腐蚀试验方法的分类	107
§ 17 实验室加速腐蚀试验	108
§ 18 台架腐蚀试验	126
§ 19 在船舶条件下的实船试验	129

§ 20 腐蚀状态的评定	132
第二部分 腐蚀保护	140
第六章 船舶条件下金属腐蚀保护方法的分类	140
§ 21 金属腐蚀保护原理	140
§ 22 腐蚀保护方法的分类和简要说明	141
第七章 电化学保护方法	148
§ 23 金属海水腐蚀电化学保护的机理和参数	149
§ 24 船舶电化学保护系统的计算	155
第八章 涂料涂层	163
§ 25 用于船舶防腐和防污及船舶结构装饰的主要类型涂料的 技术要求	164
§ 26 船舶涂料按其成分、保护性能及在船上的使用范围的分类	166
§ 27 涂漆前的准备工作	174
第九章 船舶结构的合理设计	179
§ 28 腐蚀介质对船舶结构侵蚀性的评定	179
§ 29 零部件材料的选择及保护方法的确定	180
§ 30 消除联结零部件和组件的不良影响	184
§ 31 确定结构构件的合理形状及布局	187
第三部分 船体结构的腐蚀与保护	190
第十章 船体水下部分和交变水区	191
§ 32 船体结构的特点及影响腐蚀的因素	191
§ 33 船体水下部分外壳的腐蚀损耗特点	192
§ 34 船体水下部分保护方法的选择	203
§ 35 船体水下部分及交变水线区的涂漆特点	206
§ 36 船体水下部分的电化学保护	212
§ 37 船体水下部分电腐蚀的防护	241
§ 38 船体水下部分防腐方法效果的使用鉴定	251
§ 39 船体水下部分防腐和防污方法的发展方向及远景	256
第十一章 船舷、甲板及上层建筑	258
§ 40 水上结构的构造特点和影响水上结构腐蚀的因素	258
§ 41 船体水上结构的腐蚀保护方法	261

第十二章 船体内部结构	266
§ 42 船体内部结构的腐蚀及影响腐蚀的因素	266
§ 43 船体内部结构的腐蚀保护	268
§ 44 油船油仓的腐蚀与保护	272
第十三章 船舶水下部分的船体结构	277
§ 45 尾轴	277
§ 46 轴包套	283
§ 47 舵装置	284
§ 48 螺旋桨	286
§ 49 导流罩	287
§ 50 水翼装置	289
第十四章 船舶管系	291
§ 51 根据输送介质种类对船舶管系分类	291
§ 52 决定船舶海水管道材料耐蚀性的因素	294
§ 53 船舶管道腐蚀破坏的特点	301
§ 54 防止船舶管道腐蚀的金属涂层	305
§ 55 船舶管道的非金属涂层	310
§ 56 船舶管系的设计和制造要求	314
第四部分 船舶防腐工作的组织与机械化	317
第十五章 船舶防腐工作组织的一般问题	317
第十六章 准备工作与涂漆工作	321
§ 57 主持涂漆工作的车间及辅助部门的机构与设备	321
§ 58 涂料材料的接收、保存、制备和发放	322
§ 59 被清理的金属制件在各工序之间存放时的防腐保护	323
第十七章 清除船体和船体结构上氧化皮 及铁锈工作的机械化	327
§ 60 机械化清理船体和船体结构的装备及工具	327
§ 61 用于清理钢、玻璃钢和木质船体结构的手提式机械化工具	328
第十八章 涂漆工作的机械化	331
§ 62 涂漆工作使用的工具和设备	331
§ 63 在不良条件下的涂漆工作	334

第十九章 准备工作和涂漆工作的检查	339
§ 64 交送工厂的和备漆间所准备的涂料质量检查	339
§ 65 在车间、船台和船坞进行的准备工作和涂漆工作的 质量检查	339
第二十章 涂漆时的安全技术及防火措施	341
§ 66 准备工作时的安全技术	341
§ 67 涂料材料的毒性及涂漆时的安全技术	342
§ 68 集体及个人的保护措施	342
§ 69 准备及涂漆工作时的防火措施	349
附录	352
附录 1 两种金属在海水中的接触腐蚀	352
附录 2 由重量损失腐蚀速度换算成深度腐蚀速度的列线图	373
附录 3 造船工业中所用的底漆	374
附录 4 造船工业中使用的防污漆	375
附录 5 造船工业中所用的多元酸醇酯磁漆	376
附录 6 造船工业中采用的主要环氧树脂和聚氨脂材料	378
参考文献	384

绪 论

在金属的各种类型损坏中，侵蚀环境中的金属起化学或电化作用损坏占有特殊的地位。众所周知，腐蚀损坏的特点是由于金属内能的存在而自然发生侵蚀过程。而金属的其它类型的破坏，例如，机械加工、摩擦、电腐蚀加工、空泡作用等，都一定要消耗外能。

关于腐蚀科学的最大的复杂性，与其说是创立腐蚀过程的学说，不如说是解释为什么尽管会自然发生腐蚀过程，而金属结构还可以长期存在。

在适当的条件下，也就是当在腐蚀过程中完全耗尽了金属内能的储备时，腐蚀破坏能以相当快的速度扩展，并使金属结构不能继续使用。这种强烈腐蚀破坏有时在船舶建造和使用时发生。

船体的严重腐蚀破坏是在战后发现的。这一时期的特点是，随着制造工艺的改善和新型舰船材料的采用，造船工业在全世界得到迅速发展。那时，对船体的耐蚀性还没有足够的重视。因此在五十年代里，全世界造船工业中出现了“腐蚀流行病”，迫使防腐研究人员和船舶建造人员广泛开展了对船舶强烈腐蚀原因和完善其保护方法的研究工作。

到目前为止，由于船舶腐蚀与保护的实践经验提供了腐蚀加剧的原因，从而有可能把腐蚀速度降低到船舶不会因为腐蚀破坏而需要维修这样的速度值。

腐蚀情况是很复杂的，影响各种船体结构腐蚀速度的因素多种多样。这就要求制订并采用一整套的船体保护方法。

编写本书的目的是向专业人员介绍船体结构发生腐蚀的最新解释及其保护方法。书中的内容反映了在七十年代这些方面的研

究水平。当然，今后保护方法将不断完善，采用这些先进方法的效率将得到提高。但是，我们认为，书中所采用的解决复杂结构防腐问题的方法是不会有太大的变化。

此书可以帮助设计及施工人员正确地断定腐蚀破坏的原因，选择适用于新型舰船的保护方法。同时，对一切工程防腐都可引以借鉴。

第一部分 金属在海水和海洋

大气中的腐蚀

对金属和合金在不同条件下处于各种侵蚀性介质中的腐蚀情况的研究所积累的大量经验令人信服地表明，耐蚀性不是金属和合金所固有的绝对不变的特性，而是金属的相对特性。它不仅取决于金属的性质，而且取决于对金属产生影响的介质的侵蚀性和作用条件。

所有的已知金属和合金，包括贵金属在内，在有利于腐蚀的条件下都会遭到腐蚀。因此，给出耐蚀性指标的同时还应该给出获得这些数据的条件。可以用若干例子来说明这一极端重要的论点。例如，铬镍不锈钢在淡水中绝对地稳定，但在海水中则遭到腐蚀。铝-镁合金在海水中十分稳定，但在船体水下部分却发生严重的腐蚀。МНЖ5-1 铜镍合金在静止的海水中十分稳定，但在水流速度大的情况下，却遭到剧烈的溃疡状腐蚀[●]，这时水流具有明显的流体动力学不均匀性。在室温下，锌在淡水中十分稳定，而当70~80°C时，其稳定性降低几十倍。铁不溶解于浓硝酸，但剧烈地溶解于稀硝酸。这样的例子还可以举出很多。

腐蚀的现代电化学理论已可以解释，并可以在若干情况下预测金属在不同条件下的腐蚀特点。因此，我们将结合各种不同的船舶结构和海洋条件来研究金属腐蚀机理。

● 有人将溃疡状腐蚀译成穴状腐蚀。——译者

第一章 金属腐蚀的一般知识

通用的定义确定：金属腐蚀是金属的自发破坏过程，这个过程是金属与周围介质相互发生化学或电化学反应的结果。在这个定义中着重强调过程的自发性，因为在许多情况下，可能给金属以特定的不属于腐蚀过程的破坏。例如在电解质中进行的化学或电化学反应（化学切削、金属的电化学加工、电镀过程中的阳极溶解等等）。

§ 1 腐蚀过程的分类

腐蚀过程的现有的分类表明这些过程是多种多样的，并可以从其中准确地分出船舶结构所特有的腐蚀过程（图1）。

针对船舶结构，可以指出发生腐蚀的条件的下列不同类型：

（1）金属在液体中的腐蚀：包括在有电流通过的液体中的腐蚀；在全浸、局部浸入及间浸条件下的腐蚀；在静止的及具有不同流速的液体中的腐蚀；在溶解氧含量不同的以及在不同温度的液体中的腐蚀。典型的例子有船体水下部分外壳的腐蚀，进水管管道内表面的腐蚀。

（2）金属在空气中的腐蚀：这种腐蚀是由于当空气湿度足够大时，在金属表面上生成的一层薄水膜的作用；或者是由于在金属表面上凝结的水（在一定的空气温度下，空气与金属间具有适当的温差时，即露点下）的作用。在船舶上，这种腐蚀发生在水上及船体内部结构上，特别是发生在低温下由海水或空气从外部冷却的表面上。

（3）结构腐蚀：这种腐蚀是由于通过金属表面流往周围电解质的电流作用，或者是浸有金属的电解质中（海水）流动的杂

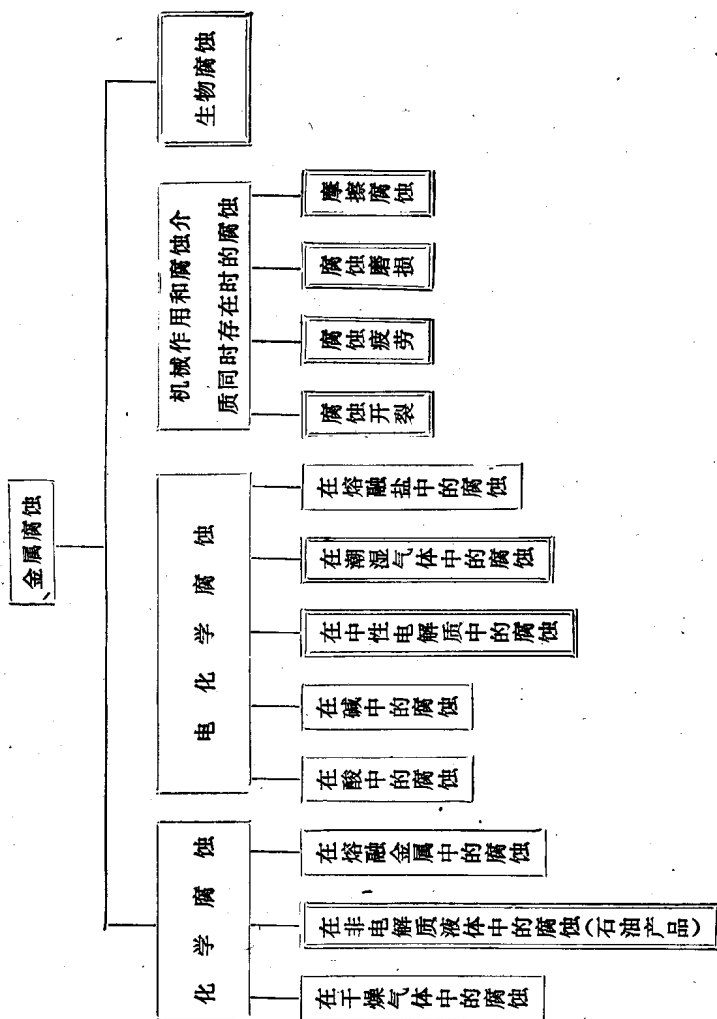


图 1 腐蚀过程分类图 (双框中表示在船上出现的腐蚀)

散电流作用的缘故（电腐蚀）。在造船和修船时，这类腐蚀主要是在漂浮中焊接的供电线路不正确时可以见到。

（4）接触腐蚀：这是由于浸在电解质中的不同金属所组成的宏观电池的作用而引起的。例如，在船舶结构上，铜合金螺旋桨与钢制船体接触时就会发生这种腐蚀。

（5）缝隙腐蚀：在电解质的作用下，在相联结的金属之间的或金属与非金属材料之间的狭窄缝隙中所发生的腐蚀。在船舶建造中，在不紧密的铆接缝处，与金属剥离的甲板涂层下面，密封装置边缘下面都会发生这种腐蚀。

（6）应力腐蚀：当腐蚀介质和静应力或交变应力同时对金属作用时发生的腐蚀。在静应力作用下，当应力低于屈服极限时，金属会产生脆性破坏（腐蚀开裂）；在交变应力的作用下，疲劳极限与其在空气中的数值相比，通常是要下降的（腐蚀疲劳）。在船舶上，出现过螺旋桨由于腐蚀开裂而破坏，以及尾轴由于腐蚀疲劳而折断的情况。

（7）摩擦腐蚀：金属在腐蚀介质相互移动不太大的摩擦作用下，发生在接触金属表面上的腐蚀。在船舶中，在尾轴上青铜衬里和螺旋桨衬套下面可以发现摩擦腐蚀。

（8）空泡腐蚀：在腐蚀介质对金属同时产生腐蚀和冲击作用时所发生的腐蚀。在船舶结构中，在螺旋桨的叶片上，在尾轴架上都会遭到这种腐蚀。

（9）生物腐蚀：在某些生物和微生物生命活动产物的影响下所发生的腐蚀。这种腐蚀对船舶结构的作用，目前研究得还不够，但这种腐蚀的可能性在船舶上还是存在的。

§ 2 腐蚀破坏形态

船舶结构由于腐蚀损坏而丧失使用可靠性在很大程度上与腐蚀破坏的形态有关。各种金属制造的船舶结构在海水的作用下，都可能产生各种已知的腐蚀破坏形态。腐蚀通常有：遍布结构整

个表面上的和连成一片片的全面腐蚀和仅仅在受腐蚀介质作用的表面上的个别地方出现的局部腐蚀。腐蚀破坏形态示于图 2。

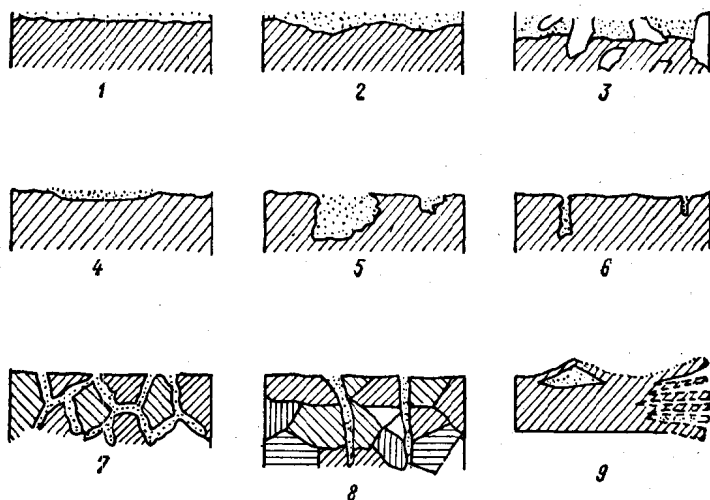


图 2 腐蚀破坏形态

1—均匀腐蚀；2—不均匀腐蚀；3—选择性腐蚀；4—斑状腐蚀；5—溃瘍状腐蚀；6—点蚀；7—晶间腐蚀；8—腐蚀开裂；9—表面下腐蚀。

全面腐蚀可能是均匀的，不均匀的和选择性的。均匀腐蚀在船舶结构上很少遇到，较常见的是不均匀腐蚀。例如，当船舶使用4~5年之后，在船体水下部分的整个表面上会看到这种腐蚀；选择性腐蚀的特点是优先溶解合金组份中的某一种成分。在船舶结构中这种破坏比较少见，典型的例子是黄铜螺旋桨的脱锌和某些青铜的脱铝。

均匀和不均匀腐蚀是通过使结构部件的截面减小降低构件的强度。除此之外，不均匀腐蚀还可能造成局部应力集中。在选择性腐蚀时，变化层中合金的强度降低。例如，由于这种原因，在遭到脱锌的黄铜螺旋桨的边缘上造成金属剥落。

局部腐蚀有许多种形态，而且在某些情况下，它对船舶结构可靠性的影响要比全面腐蚀大得多。属于局部腐蚀形态的有：斑

状腐蚀、溃疡状腐蚀、点蚀、晶间腐蚀、腐蚀开裂和表面下腐蚀。

只用涂料保护的船体水下部分外壳在使用初期的腐蚀特征是斑状腐蚀和溃疡状腐蚀。这种腐蚀发生在涂层有缺陷或被损坏的较小的区域。随着时间的延长，在进坞3~4次后，腐蚀破坏大面积扩展，最终联成一片，形成大片的不均匀腐蚀破坏。

深坑和蚀孔是接触腐蚀和电腐蚀的特征。深的溃疡状腐蚀可能导致壳板的穿透破坏。斑状局部腐蚀可能形成沟槽。例如，当电腐蚀时，在某些焊接接头上，在不同金属联结处可以看到这种腐蚀破坏形态。

在海水中，溃疡状腐蚀和点蚀是不锈钢的以及铝合金在某些情况下的破坏特征。

表面下腐蚀开始是在表面的个别点上，然后在表面下进一步扩展，引起金属鼓胀或者分层。这种腐蚀形态在船舶构件中比较少见。在某些铝合金、不锈钢和在用阳极金属涂层保护的金属上可能发生这种腐蚀。应当指出，倾向于分层腐蚀的合金不应在造船中使用，因为实际上不能消除这种腐蚀破坏。

对于结构可靠性来说，特别危险的是晶间腐蚀和腐蚀开裂。在这两种情况下，当应力小于屈服极限时，金属就可能发生破坏。这时，金属可能没有腐蚀破坏的表面迹象。在晶间腐蚀时，腐蚀过程在金属内部沿着晶界进行，破坏晶粒相互间的坚固联系。在拉应力和腐蚀介质的作用下产生腐蚀开裂，先在个别点上形成初始裂纹，随后，这些裂纹沿着晶界或穿过晶粒在金属的截面上扩展。

晶间腐蚀和腐蚀开裂是某些不锈钢和其它特殊钢的特征。对这些钢来说，这种破坏形态的倾向性是由显微组织的特性所决定的。

§ 3 腐蚀速度指标

表征腐蚀速度的主要指标如下●：

- (1) 金属在一定时间内的破坏深度 (腐蚀的深度指标, 毫米/年);
- (2) 金属试样在单位面积上和单位时间内由于腐蚀而产生的质量变化 (腐蚀的重量指标, 克/米²·小时);
- (3) 在侵蚀介质作用期间, 试样任一机械性能指标的变化 (%);
- (4) 从开始使用到出现一定数量的腐蚀源所需的时间。

为了评价船舶零部件的腐蚀速度, 通常采用指标 (1); 在金属试样上进行研究时采用指标 (2)、(3) 和 (4)。

金属的腐蚀速度一般都随时间而变化。对于遭到海水或海洋大气作用的造船金属和合金来说, 由于腐蚀产物的保护作用, 其腐蚀速度随时间的延长而有一些降低。当评价结构的使用期限时, 必须注意到这个特点。因为由于腐蚀过程的持续时间不同, 腐蚀的深度指标可以有不同的数值。因此, 为了获得更精确的金属或合金的抗蚀性能, 在腐蚀试验时, 必须确定腐蚀速度与时间的关系。应尽可能考虑获得稳定的腐蚀速度值来选择试验的总时间。

表 1 列举的是按苏联标准 13815-68 规定的等级给出了金属耐蚀性的通用评定标准。对于船舶结构, 这个标准等级在一定程度上可以应用到船体水下部分和其它的船体结构上。但这个等级不适用于评价腐蚀-机械破坏的结构 (如尾轴) 及晶间腐蚀; 也不适用于具有用阴极金属涂层进行装饰性保护的零部件, 因为腐蚀会损坏装饰; 以及高精度的摩擦零部件 (如涡轮机轴及其轴承, 这里腐蚀破坏会导致轴承的剧烈磨损)。对于上述的所有情况, 不允许存在即便是很低的金属腐蚀速度, 尽管按等级评价该金属的稳定性是高的。当使用耐蚀性等级表时, 还应注意到, 只是在

● 比较详细的腐蚀指标参看第五章。——原注

均匀腐蚀时,表中采用的腐蚀速度深度指标才能根据失重来计算。在所有的不均匀腐蚀情况下,这个指标都应根据直接测量到的蚀孔深度来确定。

表 1 金属耐蚀性等级

组 别	稳 定 性 等 级	深度指标 (毫米/年)	级 别
I	完全稳定	<0.001	1
II	十分稳定	$0.001 \sim 0.005$	2
		$0.005 \sim 0.01$	3
III	稳定	$0.01 \sim 0.05$	4
		$0.05 \sim 0.1$	5
IV	低稳定	$0.1 \sim 0.5$	6
		$0.5 \sim 1.0$	7
V	少稳定	$1.0 \sim 5.0$	8
		$5.0 \sim 10.0$	9
VI	不稳定	>10.0	10