

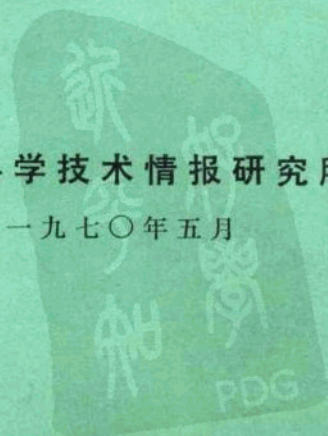
国外钢船除锈防腐发展概况

(内部资料 仅供参考)

第六机械工业部第十一研究所编

上海科学技术情报研究所

一九七〇年五月



最高指示

备战、备荒、为人民。

为了反对帝国主义的侵略，我们一定要建立强大的海军。

我们是主张自力更生的。我们希望有外援，但是我们不能依赖它，我们依靠自己的努力，依靠全体军民的创造力。

我们不能走世界各国技术发展的老路，跟在别人后面一步一步地爬行。我们必须打破常规，尽量采用先进技术，在一个不太长的历史时期内，把我国建设成为一个社会主义的现代化的强国。

对于外国文化，排外主义的方针是错误的，应当尽量吸收进步的外国文化，以为发展中国新文化的借镜；盲目搬用的方针也是错误的，应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化。

目 录

一、概述.....	(1)
二、各种除锈清理方法.....	(3)
(一) 抛丸除锈	(3)
(二) 喷丸除锈	(6)
(三) 化学除锈及磷化处理	(8)
(四) 真空喷射除锈	(10)
(五) 火焰除锈	(11)
(六) 电火花除锈	(12)
(七) 干喷砂除锈	(13)
(八) 湿喷砂除锈	(13)
(九) 高压水清理	(14)
(十) 船傍及船底除锈机	(14)
(十一) 其它除锈工具	(17)
三、船舶在建造期间涂装的底漆.....	(18)
(一) 洗涤底漆及长曝型洗涤底漆	(18)
(二) 富锌底漆	(18)
(三) 锌粉底漆	(21)
(四) 无锌底漆	(23)
(五) 铁红底漆	(23)
(六) 富铝底漆	(24)
(七) 环氧聚酯苯乙烯底漆	(24)
(八) 电印号料底漆	(24)
(九) 抛锌保护层	(26)
四、带锈表面的涂料.....	(27)
(一) 稳定型反应底漆	(27)

(二) 转化型反应底漆	(29)
(三) 渗透型底漆	(31)
五、涂装工艺	(32)
(一) 高压无气喷涂	(32)
(二) 静电喷涂及静电高压无气喷涂	(36)
(三) 船用高粘度涂料的涂装	(38)
(四) 船傍自动喷涂装置	(39)
(五) 粉体涂料涂装	(40)
六、延长船舶防腐期限的涂装措施	(42)
(一) 特殊涂装	(42)
(二) 喷金属和涂料并用法	(43)
七、水下清理及涂装	(45)
八、除锈涂装辅助设备	(47)
九、结语	(50)
主要参考资料	(51)
编后说明	

毛主席语录

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

国外钢船除锈防腐发展概况

一、概 述

为了防止舰船船体被腐蚀和污染，需要采取的措施较多。这份资料主要介绍六十年代以来，国外钢船建造过程中的除锈防腐发展概况。供除锈防腐工人，革命干部以及革命技术人员在除锈防腐战线上，赶超世界先进水平和技术革新、科学研究工作中作参考。

船用钢材在钢铁厂中热轧成形以后，在它的表面上就紧密地附着一层完整的氧化皮。钢材出厂后，经过储存期间的风化作用，运输过程中的碰撞以及加工过程中的弯曲、冲击等，使钢板表面上的氧化皮龟裂、脱落。氧化皮与基体钢材沉浸在海水中，呈现了接近紫铜与裸体钢之间的电位差，从而产生强烈的电化学腐蚀，基体钢材成为阳极受到腐蚀。国外曾作过对比分析试验：用喷砂法将钢材表面的氧化皮去除到各种程度，然后把钢材浸在海水中作腐蚀试验，其试验结果见表 1-1。

表 1-1 氧化皮对钢材的腐蚀影响

样板编号	用喷砂去除氧化皮的面积(%)	阴极与阳极面积之比	去除氧化皮部分的钢材腐蚀速度 (毫米/年)
1	5	19:1	1.140
2	10	9:1	0.840
3	25	3:1	0.384
4	50	1:1	0.200
5	100	—	0.125

从上面的分析资料可以看出，氧化皮存在面积愈大，钢材的腐蚀速度愈快。这里的腐蚀速度是假定腐蚀均匀分布在表面上，按 失重/暴露面积 平均计算的。而事实上由于存在阴极和阳极，必然会产生局部孔蚀，局部孔蚀的速度比上面所列的平均速度要快 3~5 倍。因此，为了防止钢材在海水中迅速地被腐蚀，海船船体钢材表面的氧化皮应该尽量清除干净。

五十年代初期，由于船厂中钢材的存放时间及造船周期较长，钢材表面的氧化皮经长期风化后，与钢材表面附着比较松弛，在船台大合拢后，采用手工或风动工具进行清理。这种

落后的工艺方法不仅耗费巨大的劳动量,延长造船周期,工人的劳动强度极高,劳动条件恶劣,而且清理质量也很差。并且在长期风化过程中的大气锈蚀,将会在钢材表面上产生较深的局部孔蚀,从而增加清理工作的困难^[1]。国外曾作过对比分析,在经喷射法(抛丸或喷砂)清理后的钢板上与经过风化后用风动钢丝刷清理的钢板上,分别涂刷二道氧化铁红涂料,结果发现采用前一种清理方法,其防腐期限要比后者长五倍^[2]。

六十年代开始,造船工业中逐步采用了各种自动化、机械化的新工艺、新技术,劳动生产率不断提高,建造周期日益缩短。相应的钢材储存周期越来越短,钢材上的氧化皮就不会得到充分的风化。随着各种新型长效防腐涂料的发展应用,对钢材表面清洁程度要求较高,因此,经风化后的钢板,用人工拷铲去锈的方法,已与时代不相适应了。迫切要求发展各种效率较高的机械化、自动化的除锈防腐新工艺。

根据目前国外的一般估计,全世界钢铁构造物因为腐蚀而报废的损失,约达每年钢铁总产量的30%。而舰船在腐蚀性较强的海水中长期航行,其腐蚀损坏显然较一般大气腐蚀严重得多。这种腐蚀不仅使金属材料受到损失,而且钢铁表面腐蚀以后,还会显著降低疲劳强度,缩短船体寿命,加上舰船停航维修次数增加,还会带来更多的损失。此外,由于舰船船体被腐蚀及污染,将会加大航行阻力,增加燃料消耗,降低航速和影响舰船的作战航海性能。其对马力消耗的影响见表1-2。

表 1-2 船体表面粗糙度对马力消耗的影响^[3]

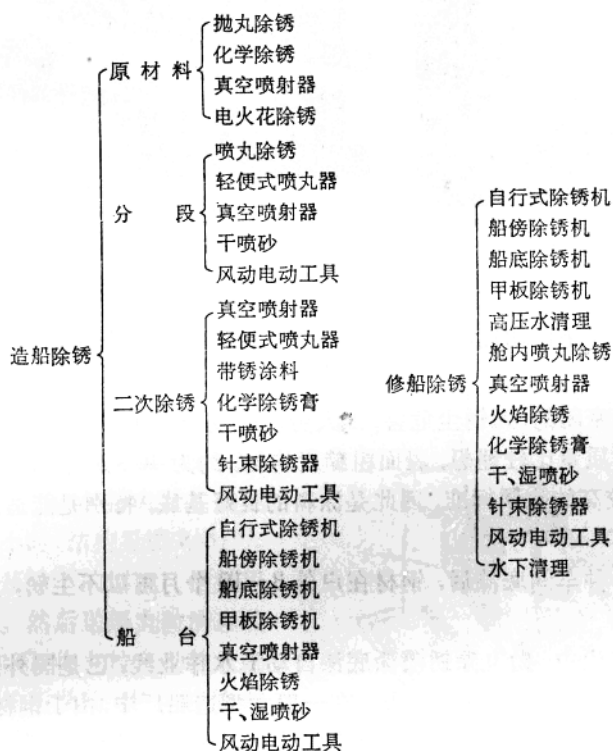
粗糙度 1/1000 吋	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
马 力 增 加 %	0	3	6	9	12	15	21	25	28	30	32

(1/1000 吋等于 0.0254 毫米)

因此,近年来,国外对于钢船建造过程中的除锈防腐工艺比较重视,进行了广泛的研究,也获得了一些发展,兹分别介绍于后。

二、各种除锈清理方法

五十年代初期,国外船厂在钢船建造时,大都采用整船除锈方法,也就是在船台大合拢后,用手工风动电动工具进行拷铲除锈。六十年代以后,主要采用原材料除锈方法。为了提高工作效率、改进除锈质量,国外在造船及修船时的除锈工作方面的机械化、自动化程度有了一定的提高。归纳起来,在造船中的各个建造阶段,以及修船时所采用的除锈清理方法,一般有下列几种:



(一) 抛丸除锈

抛丸除锈机于五十年代中期就已在外国造船厂中推广应用,起初是立式的,后来又出现了卧式抛丸除锈机。到五十年代末六十年代初,国外船厂在技术改造中,又发展了钢材运输,校平,抛丸除锈,喷防腐底漆的自动流水作业线。由于卧式抛丸机不需要翻板装置,更适宜于组织流水作业线,从而获得了广泛的应用。

原材料抛丸除锈自动流水作业线的特点如下:

1. 生产效率高。以瑞典阿伦达尔船厂的卧式抛丸除锈喷涂底漆自动流水作业线为例(见图 2-1)^[4],钢材在辊道上的进给速度为 3~4 米/分,如钢板的平均尺寸为 8 米×2.5 米

×13毫米厚,则每小时可处理20张钢板,相当800米²/小时或40吨/小时。

2. 便于组织运输,校平,除锈,喷涂,号料或自动切割及加工的流水作业线,提高了一系列有关作业的工效。

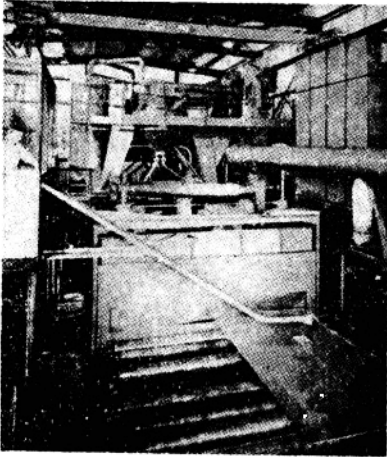


图 2-1 瑞典阿伦达尔船厂
卧式抛丸除锈喷涂底漆自动流水作业线

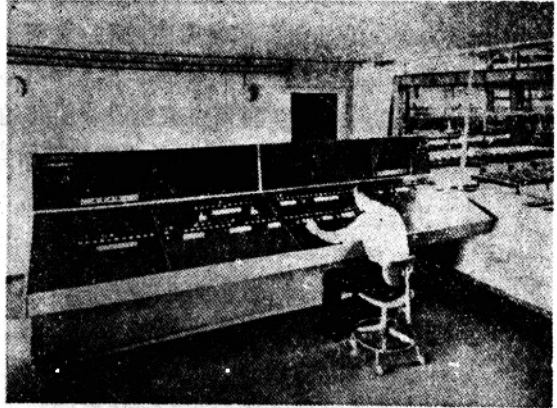


图 2-2 瑞典阿伦达尔船厂
从钢料堆场→校平→抛丸除锈喷涂底漆→船体加工车间→中间堆场的自动控制中心

3. 整个生产过程是自动控制的,只需1~2人就可以照顾全线工作(见图2-2),劳动条件比较好。

4. 清理过程是密闭的,无锈尘危害,工人劳动时安全卫生条件较好。

5. 抛丸清理的质量比较理想,表面粗糙度均匀,约为40~50微米,氧化皮和铁锈清除比较彻底,可达到较高的除锈标准,因此是涂料的良好基底,特别是能适应各种新型高防腐性能涂料的要求。

6. 自动喷上各种车间底漆后,钢材在户外3~10个月可以不生锈,大大减少了过去整船除锈的劳动量。

因此,在六十年代中,抛丸除锈喷涂底漆自动流水作业线,已是国外规模较大的现代化造船厂普遍采用的原材料除锈防腐方法。在一般大型造船厂中,由于钢材加工量大,往往分开设置钢板和型材专用的二条抛丸除锈喷涂底漆加工流水作业线。

流水线的操作过程一般为:先由电磁吊车或自动装卸运输车,将钢板吊放到输送辊道上;辊道以3~4米/分的速度将钢板送经加热炉,以除去钢板表面的水份,钢板加热后所获得的温度为40°~60°C,这样在以后喷涂车间底漆时,不仅能附着良好,而且又可加速涂层干燥;然后送入抛丸除锈机,当钢材进入抛丸室时,钢丸立即自动向钢板上、下面抛射除锈,钢板通过后,丸粒立即自动停止抛射;钢板经除锈后,即进入装置在辊道上、下面的自动高压无气喷涂机(见图2-3及2-4),喷涂机上、下面各有二个喷嘴,借电子控制装置自动向钢板表面喷涂底漆,上、下面的喷嘴沿导轨在钢板横向迅速往复运动,其速度可从0~80米/分范围内无级调速,以控制车间底漆的涂膜厚度在10~20微米之间^[5];钢板离开喷涂机后,喷涂立即自动停止;辊道自动转入高速运动,以20~30米/分的速度将钢板直接送往船体加工车间或自动传送平车上,自动传送平车接得钢板后,立即将钢板自动送入船体加工车间,在

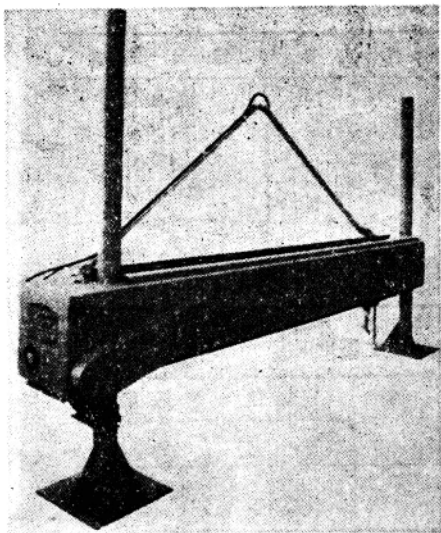


图 2-3 卧式抛丸流水线用的自动喷涂机

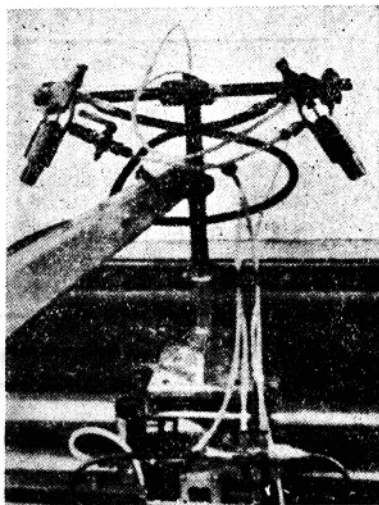


图 2-4 电子控制自动高压无气喷漆喷嘴装置

所选定的地点自动卸下钢板后,自动传送平车即自动快速退回原处,以承接流水线送来的下一块钢板。

为清除水份油污及促进涂膜快干,而需予先加热钢板,所用的加热炉型式较多,有热空气加热、蒸气加热、煤气火焰加热、红外线加热及电加热等,其中以煤气火焰加热应用较多。

喷涂装置一般都采用高压无气喷涂机,也有采用静电喷涂机的报导^[6]。

抛丸机的抛丸叶轮一般装4个或8个,视生产量的要求而定,国外抛丸叶片的使用期限一般为200小时(结构见图2-5)^[7]。抛到钢板上的丸粒及除下的锈尘,借鼓风机及机动刷去除之。然后送经丸粒清理装置,分开丸粒及锈尘后,将丸粒自动输送到贮丸槽中待用。另外还设有吸尘过滤装置,以清理抛丸室中的空气,保证车间有清洁卫生的工作环境。

喷射清理(包括抛丸、喷丸或喷砂)法常用的磨料见表2-1。在船厂抛丸机中一般采用钢丸,铁丸或小段钢丝^[8]。采用各种磨料产生的加工硬化深度见表2-2,从表中可以看出加工硬化深度约为330~570微米时。经抛丸处理前后的样板拉伸试验比较见表2-3,从表中可以看出抛丸清理对于船用钢板的力学性能没有什么影响。

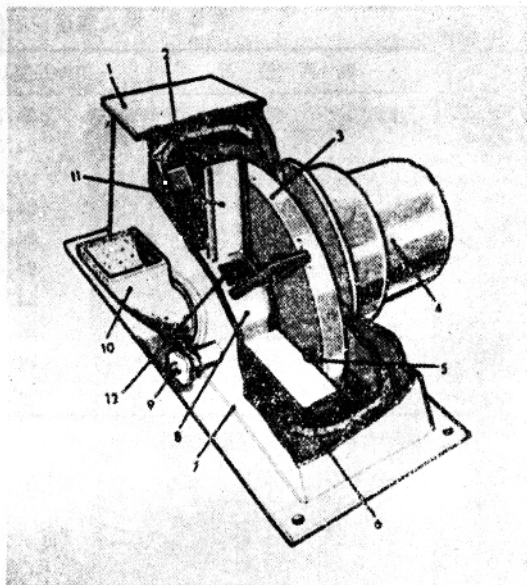


图 2-5 抛丸叶轮结构示意图

1. 叶轮壳盖; 2. 防腐顶板; 3. 硬质铬合金背板,其上嵌入叶片,用销钉固定; 4. 传动轴壳; 5. 固定叶片的销钉; 6. 防腐侧板; 7. 叶轮壳体; 8. 可按要求调正以控制丸粒抛射的可控毂; 9. 进丸管开关; 10. 进丸管; 11. 叶片; 12. 从可控毂出口抛射丸粒的叶轮中心部分。

表 2-1 喷射清理磨料的比较

磨 料	相 对 成 本	可 用 次 数	维 氏 硬 度
砂粒	—	1	约 400
铁溶渣	1	1	约 500
铜溶渣	2	≤10	约 800
冷硬铁丸	8	10~100	300~600
可锻铸铁丸	13	>100	约 400
钢丸	24	>500	400~500
小段钢丝	24	>500	约 400

表 2-2 各种磨料产生的加工硬化深度

船 厂	磨 料 类 型	加 工 硬 化 深 度	
		微 米	0.001 吋
1	钢丸 (18 目/吋)	400	17.6
2	小段钢丝 (16 目/吋)	390	15.6
3	大小范围较广的钢丸	440	17.6
4	0.6 毫米直径的小段钢丝	340	13.6
5	有棱角的砂粒	570	22.8
6	混合丸	520	20.8
7	铸钢丸	330	13.2
8	钢丸 (14 目/吋)	540	21.6
9	铜溶渣	380	15.2

表 2-3 抛丸清理前后的样板拉伸试验比较

表 面 情 况	拉伸强度 (吨/吋 ²)	2 吋标距伸长率 (%)
抛丸后	24.7	37
	24.5	37
	25.0	36
	24.8	*
抛丸及涂底漆后	24.7	36
	24.4	37
	24.6	32*
未经抛丸有氧化皮	24.2	37
	24.2	37
	24.0	35

* 断裂在标距或接近标距记号

(二) 喷 丸 除 锈

喷铁丸的原理和装置基本上与喷砂法相同,但其出丸阀和喷咀直径较大。用铁丸代替硅砂后,可以大大减少砂尘飞扬。如在喷丸间内装置适当的通风吸尘措施,工人在操作时再穿戴安全防护用具,就不会影响身体健康。由于铁丸的成本较高,故主要是用于厂房内可以回收使用。其劳动生产率较干喷砂略低,约为 6~13 米²/小时。与抛丸除锈法相比,其劳动条件当然较差,劳动生产率也低,而且辅助工作量较大,对 3 毫米以下薄板及管件不能适用。

但喷丸法主要用于分段除锈，故其二次除锈工作量较原材料除锈法降低较多，在一定程度上弥补了劳动生产率低、辅助工作量大的缺点。其设备简单、维修方便为其优点，但喷丸间的建造费用随船舶分段尺寸增大而增大。国外船厂很少采用这种方法，图 2-6 所示为西德威悉造船厂设置的分段喷丸间，操作人员穿戴了全套保护用具进行分段喷丸除锈^[9]。在六十年代后期，有些日本的造船厂，在船体建造过程中的分段特殊涂装阶段，有时采用喷丸（或粒）法进行分段的二次除锈^[10]。

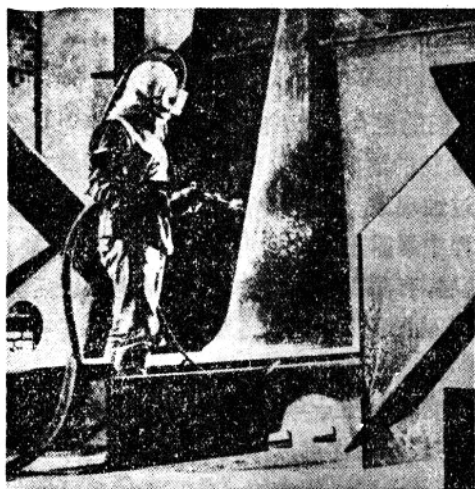


图 2-6 分段喷丸工作情况

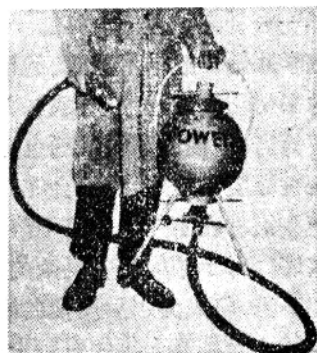


图 2-7 轻便式喷丸除锈器

英国还发展了轻便式的喷丸除锈器^[11]。图 2-7 所示的轻便式喷丸装置，当不装铁丸时重量小于 18 公斤，用一台 50 马力的压缩空气机供应，如装上 3.18 毫米直径的喷嘴时，仅需 0.28 米³/分压缩空气就足够了。按照不同的喷嘴直径，空气压力及丸粒尺寸，可以连续喷射 5~45 分钟。即使满装丸粒时，也可由操作人员携带进入一般方法难以接近的工位。它免除了采用过长的软管时带来的丸粒阻塞及遥控的麻烦。其调整、控制及装丸操作均比较简单。

图 2-8 所示，为又一种轻便式喷丸除锈器，其总重量为 4.9 公斤，工作容量可维持 15~25 分钟，耗气量为 0.22 米³/分。使用的丸粒在 20~100 目之间，一般使用 40~60 目的丸粒。

在分段内喷丸后，留下的钢丸在国外则应用真空回收器进行处理。英国最近生产出一种 Vacu-Veyor 800 型高速无尘回收装置，用于油船的货油舱内经喷丸清理后回收钢丸之用，该装置的容器部分放在甲板上，每小时可以回收 4 吨钢丸，垂直提升高度可达 45 米。这种回收装置已有数家船厂在生产中应用^[12]。



图 2-8 轻便式喷丸除锈器

(三) 化学除锈及磷化处理

1. 化学除锈

化学除锈通常是指多工序酸浸渍法。钢材经脱脂洗净后, 放在酸槽内将氧化皮和铁锈浸渍掉, 用水洗净后, 再用碱将残余的酸液中和。酸洗可以去除氧化皮和铁锈, 得到适合涂漆的表面。其工艺过程一般如下:

酸洗除锈→冷水冲洗→中和处理→冷水冲洗→磷化处理→热水清洗→自然干燥→补充处理→自然干燥。

化学除锈一般采用盐酸、硫酸、磷酸或是它们的混合液等, 也有采用柠檬酸的。在酸洗方法的采用和发展过程中表明, 用盐酸或硫酸除锈的速度较快、价格低廉; 但缺点是如浓度控制不恰当, 即使加了缓蚀剂也会使钢材产生过蚀现象。若酸液清洗不彻底, 待涂漆以后腐蚀仍会在涂层下发展, 从而会在建造和使用过程中暴露出来。而用磷酸则没有这些缺点, 因为它能在钢材表面产生一层不溶于水的磷酸盐层, 有防止锈蚀的作用, 同时也是以后涂漆的良好基底。对于结构比较复杂的部件, 经盐酸或硫酸洗后, 进入缝隙中的余酸比较难除净, 若处理不当, 将成为以后腐蚀的隐患。

国外一般在五十年代中期采用酸洗除锈法, 苏联到五十年代后期, 仍采用此法较多^[13]。就当时来说, 这种方法具有生产效率比较高、成本较低的优点, 对薄板清理时不会产生变形, 又能够处理型钢、管子和复杂形状的物件, 凡能放入酸洗槽中的一些零部件也可用此法清理。但随着造船工业向大型化、高速化、合理化方向发展, 采用化学除锈法进行船体钢材清理的船厂越来越少^[14], 代之而起的是抛丸除锈喷涂底漆自动流水作业线。主要原因是: 化学除锈生产效率较抛丸法低, 成本却较高, 工序较繁, 清理钢材的尺寸受槽子尺寸所限制, 此外, 如控制不当, 还有产生过浸、点蚀、氢脆等可能, 而且作业场地受酸雾侵蚀, 对工人身体健康也有一定影响。在新型高防腐能力涂料出现后, 对表面处理质量要求很高, 一般认为化学清理后的表面质量已不够理想, 而要求涂装在经抛丸或喷丸法清理的表面上。

由于化学除锈法对清理薄板比较适宜, 因此薄板工作量较多的中、小型船厂或建造舰艇的船厂有一定程度的应用如日本的长崎造船厂等, 它们除了装置钢板抛丸除锈机外, 尚设有小型酸洗槽, 以清理 4 毫米以下的薄板以及管子、型钢和形状较复杂的舾装件等。民德的一个造船厂也报导过船体薄板与管子、型材、舾装件等合用一个酸洗车间的有关经验^[15]。

据六十年代末日本报道^[16], 以前柠檬酸钙大多用于食品工业, 现能把它用作发电用的高压锅炉、原子反应堆以及石油化工设备的化学洗涤剂。从而开拓了柠檬酸的新用途。

由于柠檬酸对于奥氏体钢不易发生应力腐蚀, 而溶解氧化层的能力比其他有机酸强, 反应生成物也较稳定, 因此, 洗净后的金属表面非常光洁。

柠檬酸的腐蚀性极小。比如: 温度为 60°C 的 5% 盐酸与温度为 90°C 的 30% 的柠檬酸相比, 后者的腐蚀值只有前者的十二分之一。

应用这一特性, 美帝某公司曾于 1961 年发展了一种金属洗涤方法。这一方法是在 3% 柠檬酸液内加入氨, 作成柠檬酸铵 (pH 3~5), 利用这一液体的螯合作用除去钢铁的氧化层。

国外对酸洗后的废酸加以回收, 进行处理后继续利用方面比较重视, 也有一定的发展。

2. 磷化处理

船用钢材经过化学或抛射法清理后,如防护期要求不高,可进行钝化或磷化处理,以防止钢材在建造过程中生锈。一般常用的方法是磷酸盐处理,它又分热磷化和冷磷化两种。由于热磷化系在温度 $97\sim 99^{\circ}\text{C}$ 范围内进行的,误差仅为 2°C ,如超出温差范围,磷化膜质量就会显著降低,而且磷化时不仅要消耗大量热能,操作上也不太方便,又必须在槽内进行,故国外造船厂在船体钢材处理上一般不采用这种工艺。

国外在研究了氟化钠后,就可以使磷化在常温时顺利地进行,并能得到具有一定防护性能的磷化层^[17]。

在马日夫盐溶液中,总酸度在 60 点以上时,加入 50~100 克/升硝酸锌,当用于钢材的冷磷化时,氟化钠的加入量以 3~6 克/升为宜。冷磷化的溶液成分和操作条件一般如下:

马日夫盐	61~65 克/升	硝酸锌	50~100 克/升
氟化钠	3~6 克/升	氧化锌	6~8 克/升
温度	20~30°C	总酸度/游离酸度	12~15
pH 值	3.2~3.4	磷化时间	30~40 分钟

对于不能在槽内处理的船舶分段、上层建筑和船体大型制件等,可以采用刷涂与喷涂方法,此时马日夫盐的含量应增加到 150 克/升。磷化处理后,必须进行补充处理,一般采用的是含 15% 干性油的松香水溶液,磷化层经补充处理后的防锈能力可以提高较多。

磷化前的金属表面清理方法,可以采用化学法或抛射法,经验证明后者的磷化膜保护性能较高。

此外,为了进一步提高磷化膜的保护性能,苏修还采用直流电磷化的方法^[18]。此法所得的磷化膜具有较细的晶粒结构、紧密良好的吸附性及较高的防护性。其磷化液成分为:

马日夫盐 65 克/升、硝酸锌 50 克/升、氟化钠 3 克/升, pH 值等于 3。

阳极系采用已去锈的 CT.3 钢板。根据试验结果的报导,电化学磷化法在温度 20°C 时比较适当的操作规范如下:电流密度 0.5 安/分米²,处理时间 10 分钟。

电源为 АНД 150/750 型发电机,据试验结果报导如下:

1. 可以用来钝化船体钢板。
2. 用电化学磷化与干性油补充处理相结合,所获得之保护层,在露天环境下,可保护钢材 6~8 个月不生锈。
3. 可在较大的温差范围内进行处理,因此处理槽可以设置在露天场地。
4. 磷化膜在涂干性油之前不要求专门干燥。
5. 在焊接时,其焊缝强度没有降低。

为了提高劳动生产率和以机械化代替手工劳动,苏修在六十年代中还发展了化学除锈磷化处理或抛丸除锈磷化处理自动流水作业线^{[18][6]}。

采用化学除锈法时,钢板于普通的酸洗槽中酸洗或经过酸洗室,在其中进行自动喷淋酸洗,然后用辊道或小车移动钢板使之依次通过冲洗室、中和处理室、冲洗室、磷(钝)化处理过的钢板自动送入第二烘干室、烘干干性油膜。

采用抛丸除锈法时,是在抛丸机中清除氧化皮和锈层,然后用辊道或小车自动送经磷(钝)化处理室、烘干室、涂干性油室和第二烘干室。

上述二种方法,看来是在车间底漆性能尚不理想时应用的权宜之计。我们没有发现其他国家的船厂有采用类似方法的报导。

此外,据苏修一家船厂报导,采用一种化学除锈膏进行船体除锈,其主要成分为盐酸、福尔马林、水玻璃等,除锈膏涂敷到钢板上,隔一定时间后锈蚀被溶解,然后用水冲洗干净。锈蚀厚达 0.1~0.3 毫米时,需涂敷 15 分钟;锈蚀厚 1 毫米时,需涂敷 3~6 小时。

(四) 真空喷射除锈

真空喷射除锈器有移动式 and 轻便式二种,可用于原材料除锈以及分段、船体的二次除锈。这种除锈方法是利用压缩空气将丸粒或砂粒从喷嘴喷射到被清理表面上,同时又利用真空原理吸回喷出的丸粒及产生的锈尘,再经过分离器及过滤器,清除锈尘后的清洁的丸粒又回到贮丸槽中,再从喷嘴喷出,如此循环不息地进行。整个工作过程是密闭的,故劳动卫生条件较好,操作人员不须穿戴防护用具。

英国生产的一种移动式真空喷丸除锈器^[19],工作压力为 7 公斤/厘米²,为便于操作和贴紧被清理的表面,喷头上装有三个小轮,丸粒系按被清理表面的状态和锈蚀程度来选择的,耗气量为 3.65 米³/分。回收后的丸粒及锈尘,经由真空软管送入输送回收装置顶部,进行气洗和筛选,从一专门阀门放入贮丸槽,以备再用,可保证不间断地连续作业数小时。另外还制造了一种 S 型 260L 连续式真空射丸器,当采用高效率喷头时,据说除锈效率可达 27~56 米²/小时;当不用高效率喷头时,可连接两个标准喷头,由二人同时进行喷丸除锈作业。

苏修 AЛ-1 型真空喷射除锈器(见图 2-9)^[6]。丸粒容量为 50 公斤,软管长 9 米,喷头是手动的,加工时可沿钢板表面移动,喷头可以调换不同的形状,以适应平面、圆筒形表面、波纹状表面及角缝处的除锈用。机重 180 公斤,喷射清理宽度为 50~60 毫米,除锈速度为每小时 2~5 米²。AЛ-2 型与 AЛ-1 型结构大致相同(见图 2-10)。但尺寸较大,其生产效率为 AЛ-1 型的 2~2.5 倍,主要用于平直部分或原材料除锈。其喷头有二种形式,一种由操作人员推动,一种是自行气动式的。后者的丸粒容量为 40 公斤,耗气量为 91 米³/分,工作压力 5~7 大气压,当射喷清理宽度为 180 毫米时,重 120 公斤。

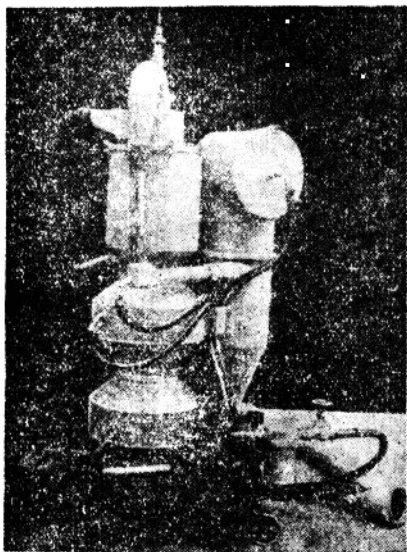


图 2-9(A) AЛ-1 型真空喷射除锈器

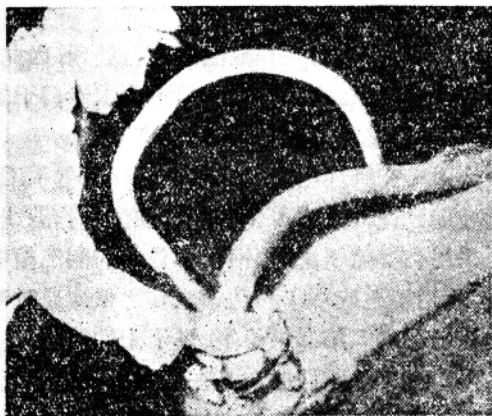


图 2-9(B) 在圆筒形工件上除锈情况

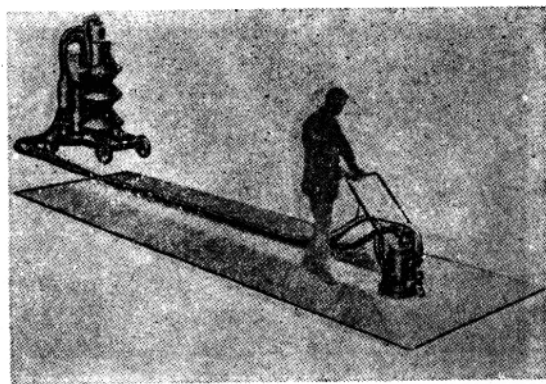


图 2-10 AЛ-2 型真空喷射除锈器



图 2-11 手提式真空喷射除锈器

西德制造的一种手提式真空喷射除锈器(见图 2-11)^[20], 系用于工位狭窄之处, 重 3.5 公斤, 可装丸粒 0.5~2 公斤, 工作压力为 5~7 公斤/厘米², 耗气量 1.2~1.7 米³/分。

此外, 英国还发展了一种专门用于船底清理的真空喷射除锈器, (见图 2-12)。其高低及倾斜度可以按船底情况进行调节, 并设有滚轮可以推动。

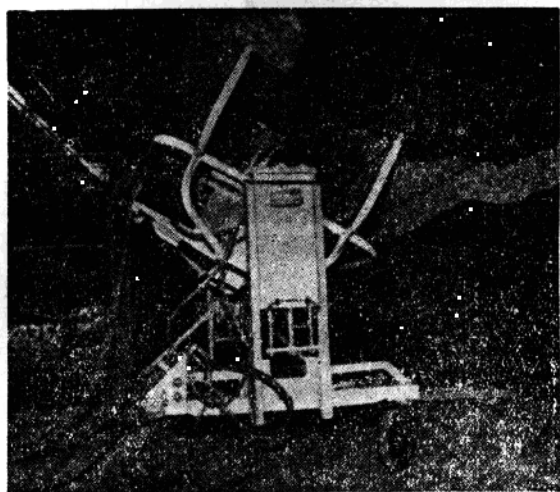


图 2-12 船底真空喷射除锈器

(五) 火焰除锈

火焰除锈器是在第二次世界大战之后, 英国氧气公司首先设计制造的^[21], 它是利用加热后, 基体金属和氧化皮、铁锈之间的热膨胀系数不同, 而使氧化皮和铁锈脱落。一般采用氧——乙炔火焰作为热源, 喷嘴形式有: 扁平、圆形、环形、半环形等多种, 以适应各种不同形状的表面。扁平形喷嘴的宽度约 50~200 毫米。最近西德介绍应用于船体外板和甲板火焰除锈的喷嘴宽度分别为 250 毫米及 150 毫米(见图 2-13 及 2-14)^[22]。

当采用氧——乙炔清理表面时，其火焰必须经常调整而使乙炔量不致过多。火焰与欲清理表面成 $50\sim 60^\circ$ 角，氧——乙炔炬的平均移动速度每分钟为 $1\sim 2$ 米。如果清理情况比较复杂时，可在清理前直接用水蘸湿铁锈，这样在清理时形成的蒸汽将促使铁锈脱落。火焰清理对金属的结构和机械性能（韧性、脆性、抗折强度等）并无影响。

火焰清理法的特点是：设备简便、价格低廉、机动性高，能在任何状态下工作，清理时对工人健康无妨害。它能对很大的工件进行清理，清理质量尚可。如果在火焰清



图 2-13 用 150 毫米宽的喷嘴进行船体火焰除锈

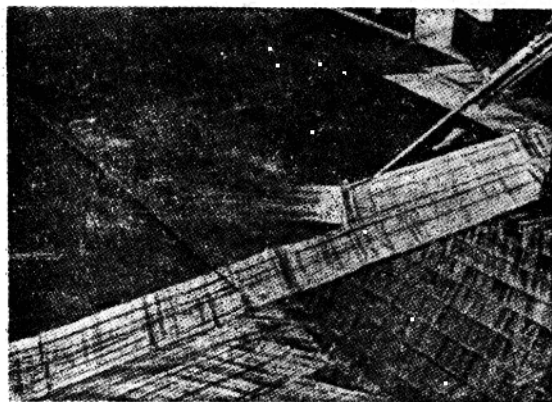


图 2-14 用 250 毫米宽的喷嘴进行甲板火焰除锈

理后的温热表面上（ $30\sim 40^\circ\text{C}$ ），立即涂上涂料，不仅可使涂料加速干燥，而且可以增加涂料的流动和渗透能力，使之附着良好，从而延长涂层保护期限。用火焰清理法清理表面的费用较用喷砂清理法、手刷清理法及手工风动、电动工具法清理表面的费用低，而且劳动条件较好。

也有人采用这样的工艺：在火焰清理之后，趁钢板尚热（ $30^\circ\sim 40^\circ\text{C}$ ）时，立即涂上防锈底漆。10 分钟后，再用火焰加热，此时喷嘴以 5 米/分钟的较高速度

移动，这样就可形成一层极薄的防锈能力较强的防腐层，是进一步喷涂面漆的良好基底。

火焰除锈的缺点是：清除氧化皮和铁锈的程度不太彻底，在清理后立即要用风动钢丝刷清刷。这种除锈涂漆工作为三人一小组，小组生产率为 5.2 米/小时。

西德应用火焰清理大型船舶、容器等，报导认为从经济效果方面看，尚有可取之处^[23]。在六十年代后期仍然继续采用，并研究发展了火焰磷化新工艺。在苏修、法国也有在造船中应用火焰除锈的报导。总的看来，应用还不够广泛。

也有人评论认为^[24]，这种除锈工艺生产效率较低，化的人工费仍偏高，除锈也不够彻底，至于其优点为能使涂层使用期延长，但能延长多少，经济上有多大好处，还要听取使用部门的意见。

（六）电火花除锈

六十年代初期，波兰革坦斯克船厂曾研究过一种电火花除锈法^[25]。它主要是利用氧化皮和钢材不同的导电率及热膨胀现象的一种电弧加热法。由电源一个极通向被清理的金属板，而另一极则通向清理圆辊，清理圆辊在旋转时与板材接触，因此产生短时短路，由于连续

短路,氧化皮被分离,并借助机械冲击力而脱离表面。

电火花除锈装置(见图 2-15)的简单结构为两根长的圆辊,直径为 50 毫米,其上按轴向装有许多心轴,心杆上装有成串的小环轮,环轮宽度为 4~5 毫米,环轮与心杆之间留有一定间隙,以保证环轮与钢板表面能产生良好接触。据波兰报导,这种试制的电火花除锈设备可以清理的钢板厚度为 6~100 毫米,宽度为 90~3000 毫米,长度为 2~12 米的钢板,其生产效率较高,每分钟钢板的进给速度为 2 米。还有一种移动式的电火花除锈器,本身重 95 公斤,生产效率为 43 米²/小时。这种装置成本不高,但清理质量尚不如喷射法,近年来没有发现在其它国家的造船厂中有在生产中应用的报导。

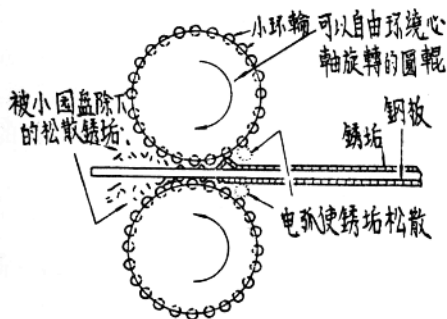


图 2-15 电火花除锈示意图

(七) 干喷砂除锈

干喷砂除锈法一般采用硅砂为喷射工质,以 5~7 公斤/厘米²压力的压缩空气喷射。喷砂清理法可以彻底除掉钢材表面的氧化皮和锈层,粗糙度均匀,增大了接触表面,可以使涂料良好地附着于金属表面上。

喷砂法可以用来清理钢材、零件、部件、分段以及在某些情况下甚至可以清理处于船舶建造任一阶段的整个船体。喷砂法可以去除采用其它方法时不易达到的凹入孔隙中的锈蚀。

据日本报导,一台 30 马力的压缩空气机,空气容量 4.5 米³,压力 5 公斤,喷嘴直径 8 毫米,砂粒直径 2 毫米以下,3 人操作二台机器,每小时可清理 20~26 米²的钢板。考虑到休息及辅助时间,每台 30 马力压缩空气机,一天可处理 80~100 米²的钢板。如要进一步提高工效,可以采用更大口径的喷嘴,及增加压缩空气容量。一般船厂系直接从工厂网路中接用压缩空气,故设备更为简单。干喷砂的最主要缺点是产生大量砂尘,恶化劳动条件,危害工人健康,并影响喷砂场所附近的区域及设备。其次,它的生产效率较抛丸法及化学法低,生产成本也较高。

鉴于敞开式喷砂法存在着砂尘危害的严重缺陷,故在我国禁止使用。而在国外资本主义国家中,资本家为了榨取高额利润,根本不顾工人身体健康,而只是贪图干喷砂法的表面清理质量比较优越,设备简单,灵活性较大等特点,在六十年代中仍然有所应用。例如美帝海军船厂在修理舰艇时,主要采用干喷砂清理船体^[20]。日本在修船中和船体建造的各个阶段,均有采用,它们在操作时只是采用个体防护措施,防止砂尘对人体的危害,其可靠性令人怀疑。

(八) 湿喷砂除锈

湿喷砂以水和硅砂为工质,混合时一般为 1:2,以 5 公斤/厘米²左右压力的压缩空气喷