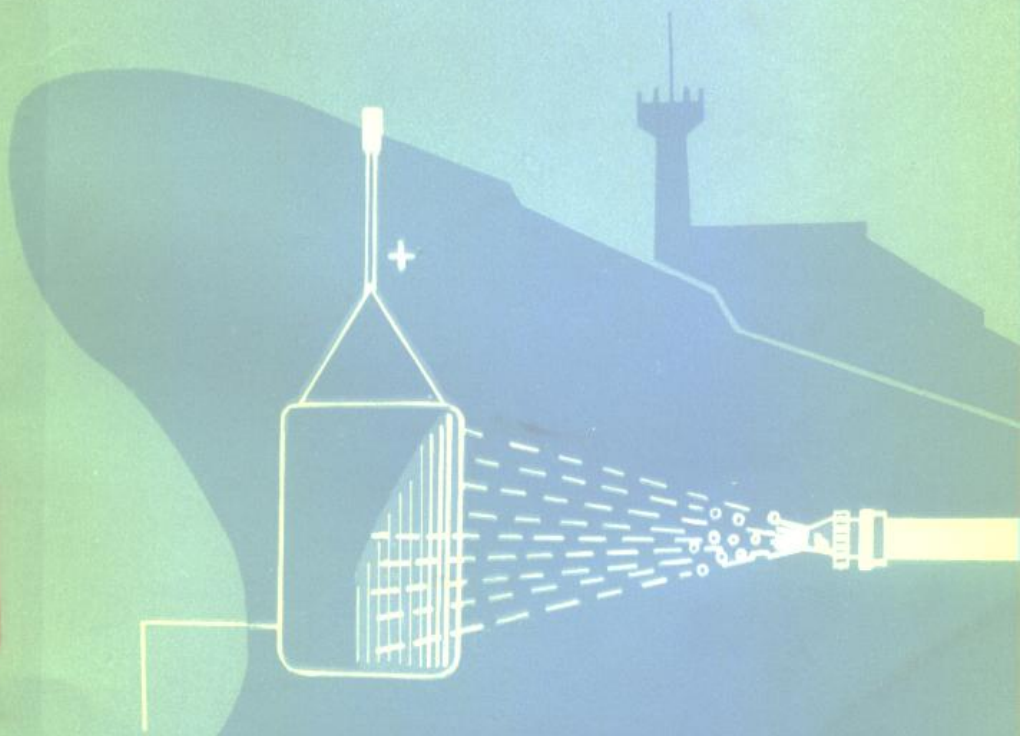


船舶静电喷涂

上海造船工艺研究所编



国防工业出版社

船舶静电喷涂

上海造船工艺研究所 编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书结合我国造船、修船的生产实践，对静电喷涂的基本原理，对几种常用船舶漆及喷涂助剂，对JPX型、SJP-67型、SJP-72型、旋杯电极式等几种手提式静电喷涂设备及操作等作了介绍。

本书可供造船、修船工人和技术人员阅读。

船舶静电喷涂

上海造船工艺研究所

国防工业出版社 出版

北京市书刊出版业营业许可证出字第074号

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

*

787×1092¹/₃₂ 印张 2¹/₈ 43千字

1978年9月第一版 1978年9月第一次印刷 印数：0,001—5,500册

统一书号：15034·1711 定价：0.19元

(限国内发行)

目 录

一、概述.....	1
二、静电喷涂的基本原理.....	3
三、船舶漆及静电喷涂助剂.....	6
四、静电喷涂设备及其操作.....	13
五、结束语.....	63

一、概 述

静电喷涂是一项现代化喷涂新工艺。它已在好多工业部门中得到了应用，在造船、修船生产中应用时间还不长，但在实际应用中发现静电喷涂工艺有很多优点：

1) 克服漆雾飞扬，改善劳动条件。能够基本上消除其他喷涂法施工时漆雾迷漫的现象，从根本上改善了劳动条件，消除职业病的根源，劳动强度也大大减轻。

2) 节省涂料，降低了材料消耗。应用压缩空气喷涂法施工时，油漆利用率一般在50%以下，其余部分飞散到空气中而损失掉；而应用静电喷涂工艺，油漆利用率可达90%以上，大大地降低了材料消耗。

3) 喷涂均匀，提高产品质量。这种方法能使涂膜均匀、平整、光滑，因此可获得质量较好的涂膜，还可以控制涂膜的厚薄。

4) 提高生产效率。与压缩空气喷涂相比，可以提高喷涂效率40%以上。在喷涂较小工件进行流水线作业生产时，生产效率提高1~2倍，而人员还可减少。

5) 便于实现机械化、自动化生产。静电喷涂最适用于大批量生产；对于几何形状复杂、种类较多的产品，只要通过合理安排，也易于实现机械化、自动化生产；对于大型工件，可以通过行走式机械，同样可以达到机械化、自动化生产的目的。

由于静电喷涂工艺具有上述的优点，虽然设备比较复杂，

但仍是一种很有应用前途的新工艺。

在造船、修船生产中油漆涂刷是生产中不可缺少的一环，历来是造船和修船生产过程中最薄弱环节之一，劳动强度大，劳动条件差，生产效率低，满足不了生产发展的需要。如目前建造一艘万吨级船舶，需耗用三十多吨油漆，包括涂漆前要进行的除锈清理工作，据统计要耗费近十万工时，涂漆工时占一半还多。

在造船、修船生产中，用毛刷蘸漆涂刷是最简单和最通用的方法，但也是一种最古老最笨重的方法。特别对大面积施工来说，生产效率既低劳动强度又大。由于船舶体积庞大，在船台上建造完成就要下水，其间隔时间较短，手工涂刷生产效率低就直接影响造船周期和质量。随着造船工业的发展，涂刷旧工艺跟不上生产发展的需要。在修船时，出坞前最后一道工序也是油漆涂刷，每涂一层油漆又需要一定的干燥时间，因此工效提不高又影响坞修期。广大修、造船油漆工人迫切要求改变这种落后状况。

二十多年前，我国有的船厂开始采用辊筒滚刷法，它比手工涂刷提高效率一倍以上，但仍然为手工操作，劳动强度很大。直到1958年大跃进时，有的船厂开始试验应用各种压缩空气的机械方法进行涂漆。生产效率虽然可以比手工涂刷提高近十倍，但是存在漆雾重、油漆和溶剂消耗量大、劳动条件差等问题。在1966年，试验成功高压无气喷涂新工艺，它的主要特点是：生产效率高，适用于涂刷不需精细涂刷的大型工件的表面，适合造船涂漆施工的需要。高压无气喷涂法虽然雾化损失比压缩空气喷涂法小，但施工时，漆雾损失还是不少，尤其机舱内施工时，往往要影响其它工种的操作。

由于静电喷涂具有其本身特定的优点，船厂油漆工人和技术人员在十多年前就提出要把静电喷涂工艺应用到船舶建造、修理上去的设想，并陆续进行了一些研究、实践工作，取得一些初步经验。这里，除对静电喷涂原理作一般介绍外，在设备方面主要对由科研、生产、使用单位协作研制、并由上海喷具厂生产的 JPX 型手提式静电喷涂设备和 SJP-67 型移动式静电喷涂设备等为主进行介绍。

二、静电喷涂的基本原理

凡是利用高压静电场的作用，将油漆喷涂到工件上去的各种方法，都称为静电喷涂法。

其基本原理是在高压静电场内，使带有负电荷的涂料微粒沿着电力线的轨道奔向作为正极的工件表面上，利用这种方法达到喷涂之目的，如图 1 所示。

静电喷涂的基本机构是由 220 伏的交流电源，通过静电发生器得到高压直流电。它的正极接地，负极接到静电喷枪

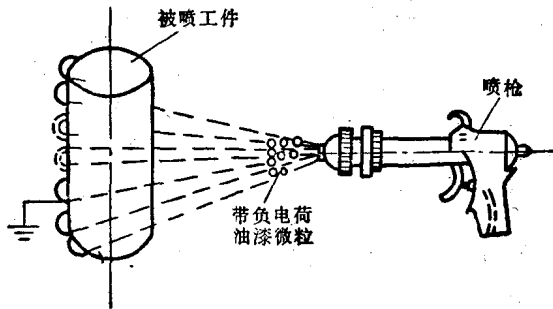


图 1 静电喷涂基本原理图

4

(或旋杯)上, 由于工件接地, 故在高压直流电源的负极——喷枪 (或旋杯) ——被涂工件——正极间形成回路, 所以在喷枪或旋杯 (负极) 和工件 (正极) 之间形成很高的电位差, 构成静电场。

静电场有两方面重要的表现: 第一, 位于静电场中的任何带电体, 都受到静电场所施的力的作用; 第二, 当带电体在电场中移动时, 静电场所施的力就对它做功, 这表示静电场具有能量。

静电喷涂是利用在电场中负极附近, 先形成电晕放电, 在电晕放电的区域里, 空气被激发出相当数量的负离子, 而这些带负电的离子在静电场作用下由负极奔向正极。若此时在两个电极间有油漆微粒, 则油漆微粒即能荷电而沿着电场作用的方向从负极奔向正极, 吸附在工件表面上, 这样就达到了利用静电进行喷涂的目的。静电喷涂的电场必须是不均匀的电场, 因为在均匀的电场中当电位差达到电晕放电所需的值时, 两极之间就会全部被击穿。

电晕电极形成电晕放电, 它是根据静电喷涂的特点, 设计出具有特殊构造的电晕电极, 使得由电晕电极 (负极) 至面积较大的工件 (正极) 之间的电力线组成了不均匀的电场。不均匀电场在负极附近具有最大的电场强度, 当两极之间的电压增加到某一数值 (临界电压) 时, 负极附近即达到了电晕放电所需的电场强度, 而形成电晕放电。

所谓电晕, 就是使空气中性分子离子化的过程。在这种情况下, 正负离子在向两极运动中都发生碰撞电离, 产生新的电子和正离子, 所产生的电子和正离子又分别向两极运动, 碰撞, 又产生新的电子和正离子, 这种自激放电状态仅

在电场强的局部位置因绝缘破坏而产生。伴随着这一过程而产生细微的拆裂声和闪光（在黑暗中可看到象萤火虫的光）。这一现象在高压导线附近，也可以观察到，称为电晕放电。

静电发生器的负高压要输送给喷枪或旋杯，其主要原因是：第一，因为负极的火花放电电压大于正极的火花放电电压；第二，电子与正离子因质量大小不同，所以电子在空气中移动的速度要比正离子快。由于上述原因，所以将静电发生器的负高压接喷枪（或旋杯），使得喷枪能得到较稳定的电晕。

静电喷涂按照涂料微粒得到电荷的方法不同，基本上可分为下列几种：

1) 电力分散喷涂法：不采用压缩空气或其它雾化器，而依靠高压电场的作用，使涂料分散成极细的带电的微粒奔向工件的表面。

2) 阴极电栅喷涂法：利用接至高压电的阴极电栅与工件之间所形成的电场，再借助于压缩空气使涂料雾化，使之喷进电场中获得电荷，奔向工件表面去。

3) 旋杯电极式喷涂法：以喷枪上带有锐边并能旋转的旋杯作为负极，接地的工件作为正极，两极之间形成了高压静电场，借助于旋杯的高速旋转而产生的离心力及电力的作用，使涂料雾化成极细的微粒奔向工件表面上。

4) 气幕旋杯电极式静电喷涂法：该方法是在旋杯式喷涂法的基础上加以改进的，在喷杯周围加装一只环形多孔气幕喷头，以压缩空气围绕旋杯喷射，这样便消除了漆面环形的中空现象和增加了直射的冲势。通入气幕装置的气体压力，随喷涂的工件大小而定，一般采用 $1\sim 3$ 公斤/厘米² 左右。这种

装置对几何形状复杂的工件喷涂比较有利，改变旋杯的转速和送达罩幕的空气压力，可以获得不同的喷射区域。

5) 高周波手提式静电喷涂法：这种喷涂法是将喷枪拿在手中操作的静电喷涂方法，对于某些体积庞大或形状复杂的工件或室外作业条件下比较适用。它与一般静电喷涂法不同之处是高压部分采用高周波和微电流输出，从而保证了生产安全，防止发生火灾和致命的电击。

三、船舶漆及静电喷涂助剂

为了要在船舶的舱室内进行静电喷涂，除要上船外，而且工作场所经常更换，所以要采用轻便的手提式静电喷涂设备。因此，除了要有一台合适的，譬如不“打火”、不“麻电”、轻巧、便于携带的静电喷涂设备外，静电喷涂所用的油漆还必须具有易带电和雾化性能好的特点。目前常用的几种船舶漆，如F06-11白色酚醛底漆(336*)、Y03-1白色油性调合漆(332*)、F03-1紫红酚醛调合漆(303*甲)以及紫红环氧底漆、淡灰船舱漆等，其共同的特点是：粘度较高，电阻率为无穷大，不能带电，只适于手工涂刷，而不能适应静电喷涂工艺的要求。为解决油漆的静电可喷性问题，研制出一种船舱漆静电喷涂助剂——CJ助剂，该助剂加入上述船舱漆中，使该油漆易于带电，以符合静电喷涂的需要。CJ助剂系由溶剂、活性剂和促进剂混合组成。

(一) 溶剂的选择

要使油漆静电化，按照静电喷涂工艺的要求，并考虑到船舱漆的特性，就必须选择适当的溶剂，使油漆易于带电。

因此静电喷漆所用的溶剂，不但要具有溶剂的一般特性，而且还要满足对油漆的电阻率和粘度的要求。

1. 选择要求

溶剂的选择从以下几个方面来考虑：

1) 溶剂的极性：必须选择极性较强的溶剂，这种溶剂能在强静电场中成为“+”“-”相隔的电荷重心，形成偶极子，产生电矩。它们在电场中会出现趋向，组成队列，在电场力的作用下，有规则地沿着电力线运动。极性溶剂在电场中受力的大小，与溶剂本身的电矩有很大的关系（俗称极性**强或弱**）。其极性的大小以电阻率的大小来表示，常用溶剂的极性分类见表1。

表1 常用溶剂的极性分类

高 极 性	中 极 性	低 极 性	非 极 性
丙 酮	醋酸戊酯	甲基戊醇	苯
醋酸乙酯	醋酸异己甲基戊酯	乳酸乙酯	甲 苯
甲 醇	丁 醇		二 甲 苯
甲基乙基酮	乙二醇乙醚		松 香 水
甲 酮	乙二醇乙酯		高闪点石脑油
异丁基酮	乙二醇丁醚		
醋酸丁酯			
二丙酮醇			

溶剂电阻的测量方法：以电阻率作为衡量溶剂带电本领的尺度，用一只500伏的兆欧表（即电工用的摇表）接上测阻器，即可测得溶剂的电阻率，测定时只要把测阻器插入溶剂内（浸没装铜片部分即可），摇动兆欧表，即可反映出读数，见图2。图3是测定电阻率的专用量具——测阻器构造示意图。

同样，CJ 助剂和加入 CJ 助剂后静电喷涂用的油漆的电阻率的测定也用此方法进行。

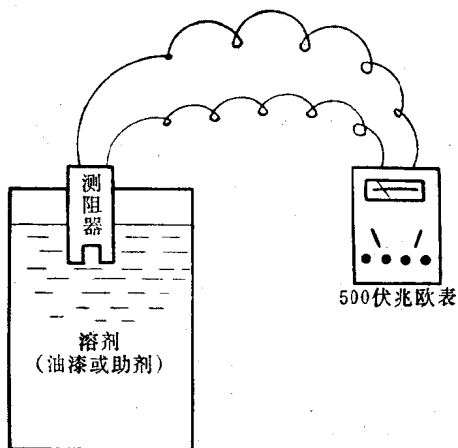


图 2 溶剂、油漆电阻率测试示意图

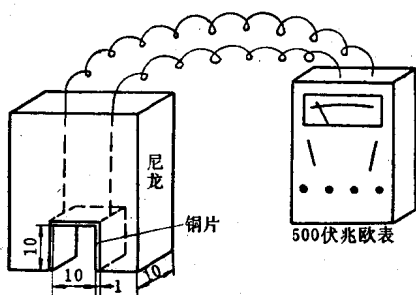


图 3 测阻器构造示意图

2) 溶剂的沸点: 溶剂的沸点若过高, 则挥发速度过慢, 易造成流挂; 沸点若过低, 溶剂挥发太快, 在成膜过程中没有足够的流动性, 漆膜易形成“桔皮”现象, 影响质量。所

以，在使用中需选择适当沸点的溶剂。

3) 溶剂的溶解能力：进行静电喷涂时，必须合理调整油漆的粘度，溶剂溶解能力的大小，一般对油漆的粘度有影响，加入一些溶解力强的溶剂，可以使油漆均匀地稀释。

4) 溶剂的价格低廉及来源丰富。

5) 气味小，无毒或微毒。

2. 选择结果

由于静电喷涂的漆粒较细小，所以油漆总的表面积较大，如采用易挥发的溶剂，那么，在喷涂过程中，漆膜表面易产生“桔皮”现象，影响质量，所以需要加一些高沸点的极性溶剂，使漆膜流平性好，如加入二丙酮醇，丁醇等。加入高极性溶剂能有效地调整油漆电阻，如加入丙酮类与醇类溶剂最易使油漆带电，酯类次之。

根据静电喷涂工艺的特点及对溶剂选择的要求，我们选用了下列三种溶剂：

1) 二丙酮醇：是一种较好的喷漆溶剂，电阻率低，溶解性强，沸点较高（ 164°C ），用它作为溶剂，具有流平性好，漆膜表面不易发生龟裂，使漆膜保持较好的光泽度，不易翻白，气味及毒性小，来源也丰富。

2) 丙酮：具有电阻低，溶解力强的特性，沸点较低（ 56.5°C ），可调节漆膜干燥速度。

3) 丁醇：具有优异的极性，使油漆易带电。

(二) 活性剂的选择

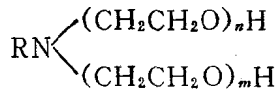
进行静电喷涂时，希望油漆雾化成微细粒子。油漆在高压静电场内雾化时，涉及到分散力和反抗它的力（即表面张力）的平衡问题。若要获得细微的雾化微粒，则油漆的表面

张力要小，在油漆中加入少量表面活性剂，可以起到降低表面张力的作用，使油漆雾化良好，有利于提高漆膜质量。由静电知识可知，同一种油漆，其雾化漆粒越细，单位体积所带电荷也越多，因此，雾化漆粒越细，越有利于发挥电场力的作用。实践证明，加入少量表面活性剂，可起到提高静电喷涂效果的作用。

表面活性剂基本上由两部分所组成，一部分是碳氢链（烃链），另一部分是极性基。碳氢链对油脂有亲和力，一般称为亲油基或疏水基；极性基对水或水溶液有吸引力，一般称亲水基或疏油基。由于表面活性剂具有这些特性，所以它具有乳化、浸透、润湿、分散等能力。

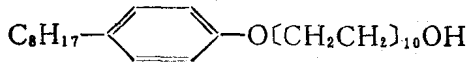
曾对三十多种阴离子表面活性剂、阳离子表面活性剂、非离子表面活性基以及两性表面活性剂分别进行筛选实验，最后，对两种活性剂进一步进行了对比试验。

1) 变性剂 AC——脂肪胺聚氧乙烯醚（非离子型），其化学结构式为：



其静电效果好，但会使白漆产生一定的泛黄失光。

2) 乳化剂 OP₁₀——聚氧乙烯辛烷基酚醚 10，亦为非离子型活性剂，其化学结构式为：



系深黄色粘稠液体，价格较便宜，静电效果好，对白漆不泛黄，光泽度好。

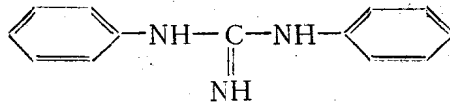
上述两种活性剂均能溶解于所选择的三种混合溶剂内，

经过实船对比等试验证明，加入 OP_{10} 为佳。

(三) 促进剂

在试验中，我们发现加入适量的二苯胍可使喷涂的静电效果更好，并能使漆膜流平性更佳，漆膜质量更稳定。

二苯胍是白色结晶性粉末，商品名促进剂 D。它在空气中稳定，主要用作橡胶硫化促进剂。分子量为 211.27，化学结构式为：



(四) CJ 助剂的配方

经过六十多个配方的筛选及一百多次实验，最后确定选用二丙酮醇、丙酮、丁醇三种溶剂，并加入适量的活性剂 OP_{10} 及促进剂二苯胍组成“五合一”的 CJ 助剂。经过试验，在船舱漆中加入 CJ 助剂后，漆膜的附着力、机械强度、光泽度等均符合要求，并在某艇上经过四个多月的实船观察，漆膜不粉化、不龟裂，保持良好的光泽度。

1. CJ 助剂的配方 (重量百分比)

二丙酮醇	50%
丙 酮	25%
丁 醇	9%
OP_{10}	8%
二苯胍	8%

2. 原料规格

二丙酮醇：工业用，无色（或淡黄色）无臭的液体，沸点 164°C 。

丙 酮：工业用，无色，沸点56.5°C。

丁 醇：工业用，无色，沸点117°C。

OP₁₀：深黄色粘稠液体，1%的蒸馏水溶液，浊点40°C以上。

二 苯 胍：白色粉末，无味、无毒，比重为1.13~1.19。

(五) 三种船舱漆物理机械性能对比试验

我们分别在Y03-1白色油性调合漆(332*)、F06-11白色酚醛底漆(336*)、F03-1紫红酚醛调合漆(303*甲)中加入适量的CJ助剂，做了试样，与未加入助剂的油漆样板进行对比试验，其结果见表2。

表2 漆膜物理机械性能对比试验

涂 料 名 称		Y03-1 白色油性 调合漆 (332*)		F06-1 白色酚醛 底 漆 (336*)		F03-1 紫红酚醛 调合漆 (303*甲)	
		未加	加	未加	加	未加	加
试 验 项 目	是否加入CJ助剂	未加	加	未加	加	未加	加
	冲击试验 (落球法, 50公斤·厘米)	通过	通过	通过	通过	通过	通过
	弯曲试验(1毫米)	通过	通过	通过	通过	通过	通过
	附着力试验(划圈法)	A级	A级	A级	A级	A级	A级

上表说明了加入CJ助剂后，漆膜质量与未加入助剂的质量相同。

(六) 过氯乙烯等漆的静电助剂配方

SJP-67型手提式空气雾化静电喷枪在喷涂过氯乙烯等油漆时，需相应加入适当的静电助剂，才能达到静电喷涂要求。

1. 过氯乙烯喷漆助剂配方

第一种配方:

丙 酮	20%
樟 脑 油	30%
P ₄ 溶 剂	50%

第二种配方:

环 己 酮	20%
樟 脑 油	10%
P ₄ 溶 剂	70%

2. 胺基烘漆助剂配方

二 甲 苯	25%
松 节 油	25%
丁 醇	50%

3. 过氯乙烯铁红漆的助剂配方

环 己 酮	11.4%
丙 酮	8.6%
P ₄ 溶 剂	80%

四、静电喷涂设备及其操作

(一) JPX 型手提式静电喷涂设备及其操作

JPX 型手提式空气雾化静电喷涂设备采用全晶体电子元件,体积小、重量轻、便于携带,设备取用船舶 36 伏安全电压(也可用 220 伏)作电源,适用于船舶以及飞机、汽车、桥梁等涂料的施工。这种设备由于采用新的内电极结构,喷枪不会“打火”,也无“麻电”现象,安全性好。施工操作时,在船舱漆、飞机喷漆、汽车喷漆中加入 CJ 静电助剂,