内相应的标准纷纷建立；

（5）国外各种新型的高性能涂料不断受到应用，国内相应的涂料品种相继诞生，船舶涂料行业亦发生重大转机，技术引进和合资生产获得重大进展，

（6）各种先进的涂装工具和检测工具日益获得广泛应用；

（7）先进的设计技术、生产技术、管理方式不断获得应用，并结合我国的实际情况逐步得到发展提高。

所有这些重大变革，都是为了确保船舶的涂装质量、延长船舶的使用寿命、提高船舶的使用价值。同时也为大幅度缩短船舶的建造周期在船舶涂装领域里奠定了结实的基础。

这些变革和发展，将我国的船舶涂装技术和涂装质量与国外先进技术、优良的质量之间的差距大大缩短，我国新造船舶的涂装质量受到了国内外船东的首肯与好评。

但是，我国的船舶涂装和我国的造船行业一样，还存在着严重的效率低、效益差的问题。其原因是多方面的，主要原因是设计与生产管理体制及模式与现代化造船模式不相适应”需要进一步的变革。而船舶涂装工程的现代化，则还需要在以下方面切切实实下功夫：

（1）大型的涂装设施，如钢材预处理流水线、室内涂装工场，应提高其工作效率和使用率，缩短设备投资的回收周期：

（2）建立系统、完整、科学的涂装设计、施工、质量管理、物

（3）严格涂装作业的计划，在造船工程计划中应确立涂装作业周期应有的地位；

（4）广泛应用电子计算机来辅助经营、设计（尤其是涂装生产设计）、工程计划、材料管理和工时管理；

（5）改进涂装设计、生产体制，以适应现代化造船生产模式，大幅度提高生产效率和材料利用率；

（6）全面推进造船生产设计和涂装生产设计，真正实现“壳；—舾、涂”一体化生产方式，以求大幅度提高工时效率和降低物耗；

（7）进一步加强涂装安全管理和涂装工人的个体劳动保护，杜绝涂装作业的事故，防止职业病产生。

船舶涂装工程是整个造船系统工程的一部分，现代化的造船，依靠三大工艺支柱，即焊接、舾装（通过生产设计）与涂装。认真研究船舶涂装在造船中的地位和作用、船舶涂装本身的工作内容和工作过程、船舶涂装与造船其他专业、工种之间的密切关系，不难发现，船舶涂装是一项全方位、多层次的系统工程。而船舶涂装工程的现代化，还需要在一段相当长的时间内，通过全行业的志士们坚持不懈的努力才能实现。

第二章　涂装方法和装备

第一节　空气喷涂

一、空气喷涂原理与特点

（一）空气喷涂原理

空气喷涂是靠压缩空气气流使涂料出口产生负压，涂料自动流出并在压缩空气气流的冲击混合下被充分雾化，漆雾在气流推动下射向工件表面而沉积的涂漆方法。

（二）空气喷涂的特点

空气喷涂最初是为硝基漆等快干涂料开发的涂装方法。对刷涂性很差的涂料，采用该方法很容易涂布，它具有以下特点：

（1）涂装效率高，每小时可喷涂 150 ~ 200m^2，是刷涂的 8 ~ 10 倍；

（2）涂膜厚度均匀、光滑平整，外观装饰性好；

（3）适应性强，对各种涂料和各种材质、形状的工件都适应，不受场地限制（但环境不允许有灰尘），只要有电源就可使用，是目前广泛采用的一

种涂装方法，特别适合于快干性涂料的施工。

空气喷涂的缺点是：

（1）稀释剂用量大，作业时溶剂大量挥发，易造成空气污染，作业环境恶劣，易引起燃、爆等事故，作业点必须有良好的通风设施；

（2）涂料利用率低，一般只有 50%～60%，小件只有 15%～30%，飞散的漆雾进一步造成作业环境的恶化，大量生产时应在专门的喷漆室内进行。

二、空气喷涂设备

空气喷涂装置主要由空气压缩机、油水分离器、喷枪、空气胶管及输漆罐等组成。

（一）空气压缩机

空气压缩机的最大气压都在 0.7MPa（空载）。空压机容量根据喷枪空气消耗量决定，应保证任一喷枪的喷涂压力始终保证在 0.35～0.6MPa。使用过程中，每天要把空气罐的排水孔打开，放掉油和水（图 2－2－1）。为了防止压缩空气中油和水对涂膜的影响，还需要配置油水分离器来净化空气。

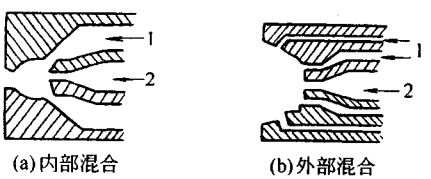


图 2－2－1　压缩空气与涂料混合方式

1—压缩空气；2—涂料

（二）输漆罐

在批量作业时，应配置压力输漆罐，密封的输漆罐设置搅拌、热交换

器、压缩空气入口和泄压装置、涂料过滤与出口。输漆罐的容积一般在 20～120L 之间，涂料施加压力在 0.15～0.3MPa（依喷枪数量而定），热交换器用来恒定涂料温度，确保施工过程中涂料粘度恒定不变。

（三）喷枪

1. 喷枪分类

喷枪是空气喷涂最关键的部件，它的种类很多，按雾化方式分，有内部混合和外部混合两种。内部混合的喷雾图形仅限于圆形，适用于小物件和多彩涂料的喷涂。外部混合的喷雾形状可以调节，适用于大、小各种形状的工件，因此一般都采用外部混合式喷枪。喷枪按涂料供给方式分，有吸上式、重力式和压送式三种（图 2－2－2）。

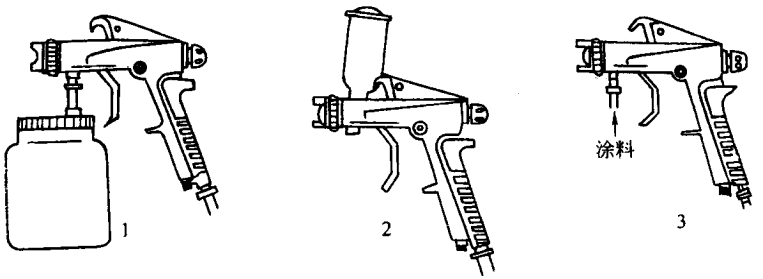


图 2－2－2　喷枪涂料供给方式

1—吸上式；2—重力式；3—压送式

吸上式喷枪靠高速气流在喷嘴处产生的负压吸上涂料并雾化，它的涂料喷出量受涂料粘度和密度的影响较大，与喷嘴口径亦有关系。大口径喷枪虽然出漆量多，但若空气压力不够时，易产生雾化不良。漆罐的容量一般都在 1L 左右，适用于小批量非连续作业。

重力式喷枪漆罐在喷枪上方，涂料靠自身重力流到喷嘴，皆有高速气流的负压作用，故出漆量比类似吸上式喷枪大。漆罐容积一般为 250～500ml，喷涂量少但清洗快捷方便，换色容易。换用高位槽也可以满足大量喷涂作业。

压送式喷枪轻巧灵活，出漆量可根据涂料压力较大幅度地调整，可供多

把喷枪同时作业，以满足大量生产作业的需求。

喷枪除了上述几种基本形式外，还有长枪头喷枪、长柄喷枪、无雾喷枪、自动喷枪等，可满足各种特殊的生产作业。

2. 喷枪构造

喷枪由喷头、调节部件和枪体三部分构成。喷头由空气帽、喷嘴、针阀等组成，它决定涂料的雾化、喷射形状的改变。调节部件用于调节空气流和涂料喷出量。

喷嘴为两个同心圆，构成涂料和空气通道，其内圆为涂料出口，易被高速涂料流磨损，采用耐磨合金钢制造。内圆和外圆间隙仅约 0.3mm 左右，空气射流很激烈，使涂料出口产生负压吸出涂料并被雾化。

喷嘴口径在 0.5～5mm 之间，低粘度的着色剂采用 0.5～0.8mm 口径喷嘴；面漆采用 1.0～1.5mm 口径喷嘴；底漆、中涂采用 2.0～2.5mm 口径喷嘴；高粘度涂料则选用 3.0、4.0mm 或 5.0mm 口径喷嘴，像塑溶胶、防声浆、抗石击车底涂料等粘稠涂料，都应选用大口径喷嘴。

由于各类喷枪的出漆量差别较大，像吸上式喷枪出漆量较小，喷嘴口径应比压送式稍大些。另外，喷枪口径大小对涂料雾化效果及漆膜外观质量影响很大，因此喷涂面漆采用的喷枪口径应比底漆小些，则常用的喷枪口径在 1.0～2.5mm 之间。喷枪口径的选择参见表 2－2－1。

表 2－2－1　喷枪口吃径选择参考

枪体大小	涂料供给方式	喷嘴口径	出漆量	涂料粘度	适宜产生方式
小型喷枪	吸上式 重力式	1.0	小	低	小件涂饰
		1.2	中	中	小件一般涂饰
		1.5	稍大	中	小件一般涂饰
	压送式	0.8	任意	中	小件大批量涂饰
大型喷枪	吸上式 重力式	1.5	小	低	大件涂面漆
		2.0	中	中	大件一般涂装
		2.5	大	高	大件涂底漆
	压送式	1.2	任意	中高	大件大批量涂饰

空气帽有中心空气孔，辅助空气孔和侧面空气孔。多孔型的性能高，中心孔用于雾化涂料，侧面孔用于改变喷雾形状。打开并增大侧面孔空气流量，可将喷雾图形从圆形调至椭圆形，甚至图幅更大的扁平型。辅助空气孔使涂料雾粒更细，分布更均匀，喷幅更宽，防止涂料沉积在喷嘴周围。

空气帽、喷嘴和针阀是套件，不得随意组合，在磨损时应整套更换。

三、空气喷涂操作方法

（一）涂料雾化特性

涂料的雾化颗粒细，雾化效果就好，涂膜外观质量也好。雾化特性可按下式来描述：

$$d_0 = (3.6 \times 10^5 / Q_i)^{0.75}$$

式中　d_0——涂料雾粒平均粒径，μm；

Q_i——空气耗量与出漆量的比值。

从图 2－2－3 比较直观地了解 d_0 与 Q_i 之间的关系。当 Q_i 值较小时，空气耗量与出漆量比值对雾化效果影响很大，此时提高空气耗量或降低出漆量，都将明显地改善雾化效果。要增加空气量可通过提高空气压力来实现，但要注意更高的空气压力会使漆雾飞散更严重。

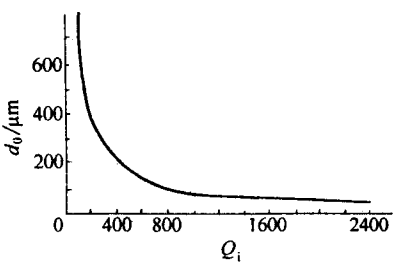


图 2－2－3　涂料雾化曲线

（二）出漆量

出漆量应根据生产需求来决定。依工件大小，分别选用小型或大型喷

枪。对吸上式或重力式喷枪，提高压缩空气压力对增大出漆量很有限，并受到雾化的限制，一般调整针阀来适当增加出漆量。较大幅度地增加出漆量的最好办法是换用较大口径的喷枪。例如，面漆最大可用 1.5mm 口径，底漆最大可用 2.5mm 口径的喷枪。压送式喷枪的出漆量可依涂料压力任意调节，故喷枪口径相对较小。

（三）喷雾幅度

空气压力对喷雾图幅的影响不是很大，因此通常只能通过辅助空气孔来调节。根据工件大小，调至适宜幅度。

（四）漆雾沉积量及膜厚均匀性

漆雾沉积量随喷涂距离延长按比例降低，小型喷枪的喷涂距离为 15～25cm，大型喷枪的喷涂距离为 20～30cm。喷距太远涂膜薄而粗糙无光；太近则厚而流挂，加上气流反弹作用还会产生橘皮现象。

膜厚均匀性与喷枪移动速度和图形搭接有关。喷枪应正对工件表面以 30～60cm/s 速度匀速移动。太快会造成露底，太慢会产生流挂，在停顿 0.1s 时就会造成严重流挂。因此开枪点和停枪点不得正对喷涂区域。喷雾图形一般中间厚、外围薄，为了保证整个涂层膜厚的均匀性，圆形图形采取 1/2 搭接，椭圆形采取 1/3 搭接，扁平形采取 1/4 搭接。

（五）涂料粘度对雾化性的影响

涂料粘度除了影响出漆量外，也极大地影响雾化效果（见图 2－2－4）。不同涂料由于其特性差别，喷涂粘度是不一样的。例如，硝基漆等快干涂料为 16～18s，丙烯酸烘漆和氨基烘漆为 18～25s，醇酸漆为 25～30s。施工时必须按一定的稀释比调至各自的喷涂粘度。涂料粘度也极大地受到环境温度变化而改变（见图 2－2－5），因此大量喷涂作业时宜将涂料温度恒定在 20～30℃，以免温度较低时，因涂料粘度太高而雾化不良，造成涂膜不平整、

外观差。

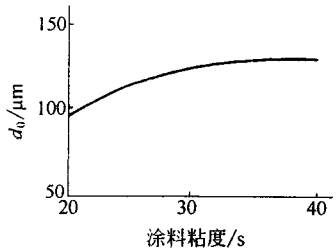


图 2－2－4　涂料粘度对雾化效果的影响

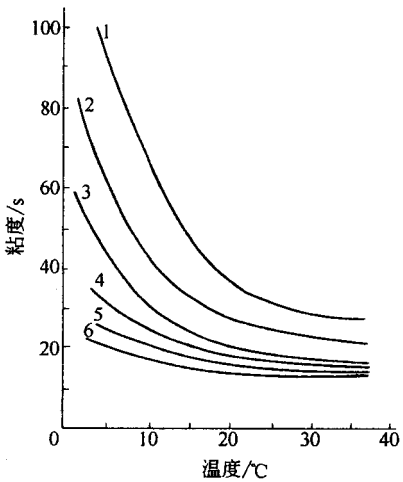


图 2－2－5　温度对粘度的影响

1—稀释 10%；2—稀释 15%；3—稀释 20%；4—稀释 25%；5—稀释 30%；6—稀释 35%

四、环保性空气喷涂

通常空气喷涂的压力为 0.4MPa 左右，最大空气流量为 500L/min。由于气流反弹作用，漆雾沉积率低，漂散的漆雾造成环境严重污染。新的方法是采用一个减压增量控制器，在低压下产生高容量气流，空气压力仅为 0.07MPa，大大减弱了气流反弹作用。对任何工件来说，涂料利用率至少在 60%以上，比普通空气喷涂节省 20% ~ 70%的涂料；对于钢圈、散热器、

发动机形状复杂的工件，死角部位很容易均匀地涂上漆膜；可以获得高光泽薄涂层，特别适合于闪光漆、氟涂料等薄涂层的施工，大大减少了涂料的过喷。

该先进的喷涂方法可用 HVLP 缩写表示，其中 HV 代表高容量，LP 代表低压。根据它所体现出来的上述优点特征，也把该方法称作“精细喷涂”。空气压力降低也带来其他一些优势。例如：空气中的袖、水含量微少；气源功耗可减少 50%；设备的磨损大大减轻，喷漆室内的清洁工作量大大减轻。喷枪有手动和自动两种，可满足各种生产方式需要，也适合于水性和溶剂性涂料及高粘度涂料的施工，要获得厚涂层也非常快捷方便。

五、加热喷涂

（一）原理

加热喷涂是把涂料加热并保持在某一较高温度（一般在 70℃左右）下，使涂料粘度大幅度降低，然后利用空气喷涂（也可以是其他喷涂方法）雾化涂覆。雾化效果取决于是否能维持在某适宜粘度值。工作参数应根据各种涂料的粘温曲线来制定。几类涂料舶粘温曲线参见图 2－2－6。

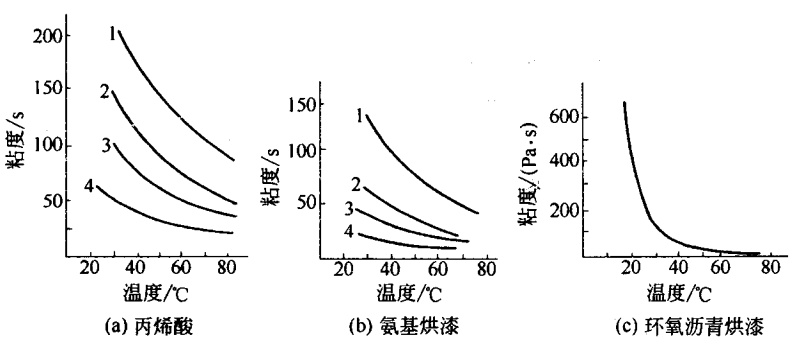


图 2－2－6　温度对涂料粘度的影响

1—厚漆；2—稀释 5%；3—稀释 10%；4—稀释 20%

（二）装置

加热喷涂设备组成参见图 2－2－7。与空气喷涂相比，多了一个加热器。加热器多采取电加热，并在加热器和喷枪之间构成涂料循环通道（加热涂料循环供给只适宜小批量作业），保证涂料温度和粘度的恒定。

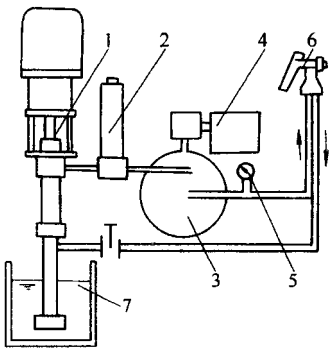


图 2－2－7　加热喷涂装置示意图

1—涂料泵；2—过滤器；3—加热器；4—调温器；5—温度计；6—喷枪；7—涂料罐

（三）加热喷涂特点

加热喷涂相对于一般空气喷涂具有以下特点：

（1）可节省约 30％的溶剂，降低了溶剂散发造成的大气污染；

（2）涂料固体分高、一道涂膜厚，缩短了涂装作业周期；

（3）喷涂粘度恒定，涂膜厚度与外观均匀一致；

（4）改善了涂膜流平性，提高了涂膜光泽。

加热喷涂不适合于双组分涂料和水性漆等受热稳定性差的涂料的喷涂施工。加热喷涂应用于快干性涂料具有最大优势，硝基漆加热喷涂与空气喷涂的一些参数和性能比较见表 2－2－2。

表 2－2－2　硝基漆加热喷涂与空气喷涂的比较

特　　性	空气喷涂	加热喷涂
原漆固体分/%	25～30	40～45
稀释比（原漆：溶剂）	1∶1	1∶0.2
施工固体分/%	12～15	33～40
常温下粘度/（Pa·s）	0.06	250～300
涂料施工温度/℃	常温	70～75
表干时间/min	10	15～20
实干时间/min	60～80	120～180
干膜厚度/μm	约 12	30～40
光泽（45°）	35	45

第二节　高压无气喷涂

一、原理与特点

高压无气喷涂是利用高压泵，对涂料施加 10～25MPa 的高压，以约 100m/s 的高速从喷枪小孔中喷出，与空气发生激烈冲产击而雾化并射在被涂物上。由于雾化不用压缩空气，故又称之无气喷涂。

高压喷涂相对于空气喷涂具有以下优点：

（1）涂装效率高，由于高压喷涂涂料喷出量大，涂料粒子喷射速度快，涂装效率比空气喷涂高 3 倍以上；

（2）对复杂工件有很好涂覆效果，由于涂料喷雾不混有压缩空气流，避免了在拐角、缝隙等死角部位因气流反弹对漆雾沉积的屏蔽作用；

（3）可喷涂高、低粘度的涂料，喷涂声粘度涂料时，可得厚涂膜，减少喷涂次数；

（4）涂料利用率高，环境污染低，由于没有空气喷涂时的气流扩散作用，漆雾飞散少；喷涂高固体分涂料使稀释剂用量减少，溶剂的散发量也减少，从而使作业环境得到改善。

高压喷涂的缺点是：①喷出量和喷雾图幅不能调节，除非更换喷嘴；②涂膜外观质量比空气喷涂差，尤其是不适宜装饰性薄涂层喷涂施工。

二、高压喷涂设备

高压无气喷涂设备由动力源、柱塞泵、蓄压过滤器、输漆管、喷枪、压力控制器和涂料容器组成，见图 2－2－8。

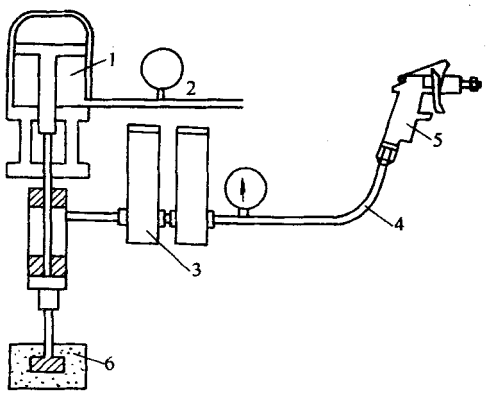


图 2－2－8　高压无气喷涂设备组成

1—高压泵；2—动力源；3—蓄压过滤器；4—输漆管；5—喷枪；6—涂料容器

（一）动力源

高压泵动力源有压缩空气、电动、液压和小型汽油机驱动等几种。

（二）柱塞泵

柱塞泵即高压泵，分单动型和复动型两种（见图 2－2－9）。

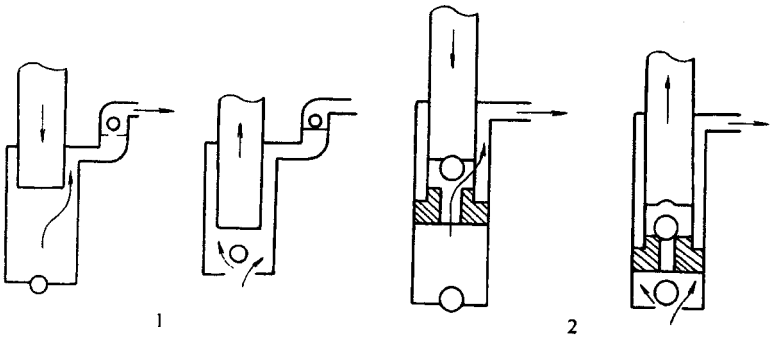


图 2－2－9　单动和复动高压泵工作原理

1—单动；2—复动

单动型高压泵主要以电动机驱动，仅在柱塞向下移动时有涂料流出，涂料脉冲输出，活塞和隔膜与电动机转动速度（约 1500r/min）同频率往复运动。单动泵的结构简单、价格便宜，但部件使用寿命短，涂料粘度高时会引起涂料吸入不良。

复动型高压泵分气动和油压驱动，在柱塞上下运动时都能喷出涂料，且喷出量是相等的，也把它称作双作用泵。它的特点是动作平稳，涂料压力波动小，部件磨损小，使用寿命长。柱塞泵的加压原理参见图 2－2－10。动力源经换向机构，将压力 P 施加于低压气缸圆盘活塞上，带动柱塞作往复移动。由于活塞和柱塞受力相等，PA = pa，则有压力 p/P = A/a，高压泵的最大压力比由 A/a 比值决定，较小的空气压力可使涂料获得极高的压力。

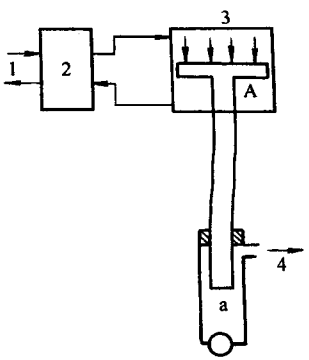


图 2－2－10　涂料加压原理

1—压缩空气；2—换向机构；3—空气压力，P；4—涂料压力，p

高压泵按动力源种类区分如下。

1. 气动高压泵

以最高可达 0.7MPa 的压缩空气作动力源，通过减压阀调整空气压力来控制涂料压力，泵的特性常以压力比来表示，压力比一般在（20～64）∶1之间，涂料获得的压力还与喷出量有关。它的特点是体积小、质量轻、操作容易、安全可靠，设备构造简单、使用期长。它的缺点是动力消耗大、噪声大。

2. 油压泵

用电机驱动液压油泵，以最高可达 7MPa 的油压作动力（一般是5MPa），用减压阀控制油压来调整涂料压力，设备特性参数常以最高喷出压力表示，以区别于气动高压泵。油压泵的特点是动力利用率高（为气动泵的5倍）、噪声低、使用安全。

3. 电动高压泵

以普通交流电源作动力，更换场地方便。但这类泵容量不大，喷出压力最高约 20MPa，喷出量约 1.3L/min。

其他还有小型汽油机驱动高压泵，最高压力 20MPa，喷出量约 4L/min。

（三）高压喷枪

高压喷枪由枪体、针阀、喷嘴、扳机组成，没有空气通道，喷枪轻巧、坚固密封。喷嘴采用硬质合金制造，增强其耐磨损性。喷嘴规格有几十多种，每种都有一定的口径和几何形状，它们的雾化状态、喷流幅度及喷出量都由此决定。因此高压喷枪的喷嘴可根据使用目的、涂料种类、喷射幅度及喷出量来选用（见表 2－2－3）。

表 2－2－3　高压喷枪口径与适宜涂料粘度的关系

喷嘴口径/mm	涂料粘度	实　例
0.17～0.25	非常稀的	溶剂、水
0.27～0.33	稀的	硝基漆，密封胶
0.33～0.45	中等粘度	底漆，油性清漆

喷嘴口径/mm	涂料粘度	实　例
0.37～0.77	粘的	油性色漆，乳胶漆
0.65～1.8	很粘的	浆状涂料，塑溶胶

喷嘴的喷射角度一般在 30°～80°，幅度 8～75cm。小件可用 15～25cm 幅宽，大平面则可用 30～40cm 幅宽喷嘴。喷嘴口径则根据出漆量和涂料粘度来选用。喷枪类型则有普通式、长柄式和自动高压喷枪三类。

（四）蓄压过滤器

蓄压器的作用是稳定涂料压力。当柱塞移动到上、下两端时，为死点，速度等于零。在死点这一瞬间，无涂料输出，涂料压力产生波动。增设蓄压器就是减小这种波动，提高喷涂质量。

蓄压器为一筒体，涂料由底部进入，进口处设钢球单向阀，在进漆压力低于筒内压力时，阀关闭。筒体体积越大，稳压作用越明显。若在筒体内装置活塞弹簧，则有较显著的稳压作用。过滤器与蓄压器合在一起，使结构紧凑，它用于过滤漆液，防止高压漆路堵塞。

（五）输漆管

输漆管要求柔软、轻便，耐溶剂侵蚀和耐高压（大于 25MPa 以上）。

耐压管最好是用尼龙或聚四氟乙烯内外两层软管，中间夹不锈钢丝或锦纶丝编织网构成，另外还需编入接地导线。常用 6mm 和 9mm 内径的管子，高粘度涂料应选用较大口径的管子，管子长度在 5～30m，不宜太长，以免产生较大压力损失。涂料在管路中的压降（ΔP，MPa）可按下式计算：

$$\Delta P = 12.8 \times \eta L Q / (\pi d^4)$$

式中　η——涂料粘度，Pa·s；

L——输漆管长度，m；

Q——喷出量，L/min；

d——输漆管内径，mm。

涂料喷出量与喷嘴口径、涂料压力和涂料密度有下列关系：

$$Q = kd^2 \ (P/S)^{1/2}$$

式中　Q——涂料喷出量，L/min；

d——喷嘴口径，mm；

P——涂料压力，MPa；

S——涂料密度，g/cm^3；

k——常数。

虽然提高涂料压力能增加涂料喷出量，但完全依靠涂料压力来大幅度调高喷出量是不可取的，这会降低设备的使用寿命。最好的方法是更换较大口径的喷嘴。

涂料密度及其喷枪所处的高度差，都会造成不同的压力损失，使实际涂料喷出量发生变化。因此必须根据这些因素来确定实际涂料喷出量。

三、喷涂条件

高压喷涂非常适合于防腐蚀涂料和高粘度涂料的施工，这些涂料的适宜喷涂条件见表 2－2－4。喷涂距离一般为 30～40cm，喷射图形搭接幅度取 1/2，使涂膜更厚并防止漏喷。要获得较薄的涂层应选用小口径喷枪。

表 2－2－4　离压喷涂工艺条件

涂料品种	喷嘴口径 /mm	喷出量 /（$L \cdot min^{-1}$）	图幅宽 /mm	涂料粘度 /s	涂料压力 /MPa
磷化底漆	0.28～0.38	0.42～0.80	200～360	10～20	8～12
油性氧化铅底漆	0.38～0.43	0.84～1.02	200～310	30～90	10～14
油性红丹底漆	0.33～0.43	0.61～1.02	200～360		11 以上
胺固化环氧富锌底漆	0.43～0.48	1.02～1.29	250～410	12～15	10～14
硅酸酯富锌底漆	0.43～0.48	1.02～1.29	250～410	10～12	10～14
厚膜型硅酸酯富锌底潦	0.43～0.48	1.02～1.29	250～410	12～15	10～14
云丹氧化铁酚醛树脂漆	0.43～0.48	1.02～1.29	250～410	30～70	10～14
丙烯酸改性醇酸树脂漆	0.33～0.38	0.61～0.80	200～310	30～80	10～14

涂料品种	喷嘴口径 /mm	喷出量 /（L·min^{-1}）	图幅宽 /mm	涂料粘度 /s	涂料压力 /MPa
醇酸磁漆	0.33～0.38	0.61～0.80	200～310	30～80	12～14
厚膜型乙烯基树脂漆	0.38～0.48	0.80～1.29	250～360		12～15
聚氨酯面漆	0.33～0.38	0.6～0.80	250～310	30～50	11～15
氯化橡胶底漆	0.33～0.38	0.6～0.80	250～360	30～70	12～15
氯化橡胶面漆	0.33～0.38	0.61～0.80	250～360	30～70	12～15
聚酰胺固化环氧底漆	0.38～0.43	0.80～1.02	250～360	50～90	12～15
聚酰胺固化环氧面漆	0.33～0.38	0.61～0.80	0～360	30～50	12～15
胺固化环氧沥青漆	0.48～0.64	1.29～2.27	310～360		12～18
异氰酸固化环氧沥青漆	0.48～0.64	1.29～2.27	310～360		12～18

高压喷涂在汽车行业主要用于涂覆汽车底盘和车身密封。PVC 车底涂料主要特性如下：密度 1.55～1.65g/cm^3，细度 50μm，粘度 0.25Pa·s（约 65s）。汽车底盘喷涂选用压力比 45∶1 高压喷涂机，空气压力（进气压）0.3～0.6MPa，喷嘴口径 0.17～0.33mm，图幅宽 100～120mm，耗漆量约 4kg/min，喷涂一辆车子的时间为 5min，涂膜厚度 1～2mm 不会流挂。

四、改进型高压喷涂

（一）空气辅助高压喷涂

空气辅助高压喷枪设有空气帽，上面有雾化空气孔，调节图形空气孔。因此它与高压喷涂相比，有以下特点。

（1）涂料压力低：施加到涂料上的仅 4～6MPa，远比 10MPa 以上的高压喷涂低得多，设备使用寿命提高。

（2）良好雾化效果：高压喷涂的漆雾粒径约 120pm，空气喷涂为 80pm，空气辅助高压喷涂漆雾粒径仅为 70pm，漆雾更细，涂膜外观装饰性好。

（3）漆雾沉积率提高：由于空气的环抱作用，涂料沉积率由高压喷涂的

80%提高到85%，空气喷涂最好仅只60%。

（4）喷雾图形可调：可针对大小和形状不同的工件，及时地调整图幅，方便施工操作。

（二）加热高压喷涂

该方法具有一般加热喷涂的优点，涂料雾化性和涂膜平整度都较好。各类涂料在液压5MPa、喷嘴口径0.28mm、喷出量0.44L/min时的喷涂特性见表2－2－5。

表2－2－5　高压加热喷涂特性

涂料品种	稀释比	稀释后粘度/s	加热温度/℃	干燥条件		干膜厚/μm
				表干	实干	
硝基磁基	1:0.4	40	50～60	7min	1h	30
氨基烘漆	1:0.2	45	60～70	120℃，25min		30
醇酸磁漆	1:0.15	45	60～70	3h	12h	30
氨基中涂	1:0.2	55	60～70	120℃，20min		40
丙烯酸烘漆	1:0.4	60	60～70	150℃，20min		30

（三）专用高压喷涂设备

专用高压喷涂设备包括双组分涂料专用高压喷涂、富锌涂料专用高压喷涂设备、水性涂料专用高压喷涂设备等等。内混式双组分高压喷涂采用2^{24}液流分割器使两组分均匀混合，然后由喷枪喷出，适用于配比1:1左右的双组分涂料。外混式采用双管喷枪，两组分在雾化过程中混合。富锌涂料由于锌粉沉降快，易结块，采用带搅拌装置和更高耐磨损的设备及更大口径喷枪。水性漆高压喷涂设备则采用抗腐蚀良好的不锈钢材料制做。

第三节　静电喷涂

一、静电喷涂原理

静电喷涂是对喷枪施加负高电压，在被涂工件和喷枪之间形成一高压静电场。当电场强度足够高时（E_0），喷枪针尖端的电子便有相当的动能，它冲击枪口附近空气，使空气分子电离产生新的电子和离子，空气绝缘性产生局部破坏，离子化的空气在电场力的作用下，移向正电极，产生电晕放电；继续升高电压，使电场强度超过极限电场强度（E_{max}），空气绝缘层将被彻底破坏，形成很强的离子流，产生火花放电。火花放电对涂装作业会造成火灾事故，因此静电喷涂是在 $E_0 \sim E_{max}$ 之间的电场强度下，枪口针尖端的电子碰撞从枪口喷出的涂料，使涂料液滴带上负电荷，若涂料液滴在枪口处带上多个负电荷，受同性相斥作用，涂料液滴进一步雾化，带负电荷的漆雾受电场力作用沉积于正极工件表面，见图 2－2－11。

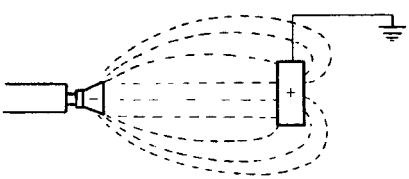


图 2－2－11　静电喷涂示意

静电喷涂的电压一般在（6～10）万 V 之间。如果喷枪施加正高电压，电晕放电的起始电压（V_0）要比负极性电晕放电的高（见图 2－2－12），相应地电晕放电的电压范围（$V_0 \sim V_{max}$）较窄；容易击穿产生火花放电。因此静电喷涂都是喷枪接负电，且手提式喷枪采取 6 万 V 电压，定置式喷枪采取较高的（8～9）万 V 电压，更高的电压设备要求苛刻而不采用。

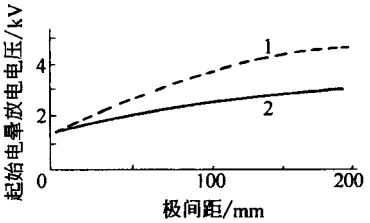


图 2－2－12　极性与起始电晕放电是压关系

1—正极电晕放电；2—负极电晕放电

二、静电涂装特点

静电涂漆时，涂料粒子不断受到离子化空气的冲击而带上电荷，在同性电荷的相斥作用下，涂料粒子被雾化直至与涂料液滴的表面张力相抗衡，由于雾化充分，涂膜的外观装饰性良好，广泛地用作面漆的装饰性施工。由于电场的环抱作用，带有电荷的漆雾将有效地沉积在工件表面，附着率很高且均匀地附着在整个表面。总之，静电喷涂具有以下特点。

（1）涂料利用率高，对于管状，小件等静电喷涂的涂料利用率高达80％以上。当然，涂料的利用率（或沉积率）受涂料荷电性的影响。

（2）漆雾飞散少，改善了作业环境条件。

（3）边角部位有相当的涂膜厚度，防护性好。边角部位由于尖端效应，电荷密度高，沉积涂膜厚，在表面张力作用下，干膜仍有足够厚度。

（4）涂膜外观质量好，涂装生产效率高，适合于自动化大批量生产。

（5）复杂形状的工件受电场屏蔽或电场力分布不均匀影响，需要手工补喷。

（6）对涂料和溶剂的导电性、溶剂挥发性有特定要求；对塑料和木材制品的涂漆，需采取相宜的措施才能静电喷涂。

（7）对安全操作有严格的规定。

三、静电涂装的类型

静电喷涂的关键设备是高压静电控制器、高压静电发生器和喷枪，有些

发生器设置在静电喷枪内。静电喷枪依其雾化原理，主要有离心力静电雾化、空气静电雾化和液压静电雾化这三大类（见图 2－2－13）。

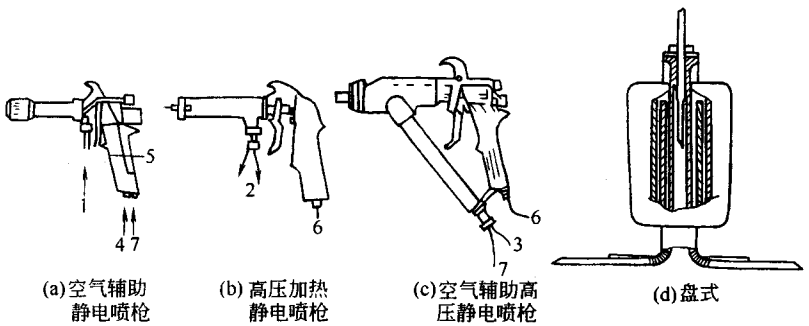


图 2－2－13　静电喷涂设备

1—涂料；2—高压加热涂料；3—高压涂料；4—电缆；5—静电发生器在枪柄中；6—高压电缆；7—空气

（一）离心力式静电喷涂

离心力式静电喷涂一般在 2000～4000r/min 的离心力作用下使涂料形成初始掖滴并在枪口尖端带上负电荷，在同性电荷的排斥作用下进一步地充分雾化。产生离心力的方法有盘式和旋杯式两种。

1. 盘式静电喷途

由于盘式静电喷涂是在“Ω”型喷漆室中静电喷涂，故又称之Ω静电喷涂。旋盘转速一般约 4000r/min，也有最高达 6 万 r/min 的旋盘，在这么高的转速下，涂料已有相当的雾化程度。由于旋盘的离心力方向和电场力方向相同（同平面），因此盘式静，电喷涂的漆雾飞散很少，附着效率很高。工作时，旋盘作上下往复移动，使挂具上的所有工件，上下均匀地涂上漆膜。工件的前后面则通过挂具自转或双Ω静电喷涂，都能均匀地附上涂膜。n 静电喷涂非常适合于中、小件涂漆，具有很高的涂装效率。

2. 旋杯式静电喷涂

旋杯的杯口尖锐，作为放电极有很高的电子密度，使涂料容易荷电。旋杯的转速一般在 2000r/min 以上，高速旋杯可达 6 万 r/min。由于旋杯离心

力方向与电场力方向相垂直，形成的喷雾图形为环状，并且飞散的漆雾要比盘式的多。

喷雾幅度由旋杯口径、转速、喷出量、电场强度所决定。中空的图形对复杂工件会造成涂膜厚度不均匀，通常采取两种措施来改进。一是设置辅助电晕电极，使喷雾向中心压缩；二是在旋杯后设置空气环，可用来调节喷雾图幅并抑制漆雾飞散。

（二）空气雾化式静电喷涂

对于手提式静电喷枪，由于施加的电压较低，涂料的雾化必须靠压缩空气来保证。喷枪前端设置针状放电极，使部分涂料颗粒带上电荷并沉积于工件表面。由于压缩空气的前冲力和扩散作用，这种静电喷涂的涂料利用率低于离心力式，但比空气喷涂要高，适合于较复杂形状工件的喷涂。

（三）液压雾化式静电喷涂

这种方法是将高压喷涂和静电喷涂相结合。由于涂料施加高压（约10MPa），涂料从枪口喷出的速度很高；涂料液滴的荷电率差，雾化效果也差，因此这类静电喷涂效果不如空气静电喷涂，但它适合于复杂形状工件的喷涂，且涂料喷出量大、涂膜厚、涂装效率高。

如果高压静电喷涂再与加热喷涂相结合，即高压加热静电喷涂，此时涂料加热温度约40℃，涂料压力约5MPa。由于涂料压力有大幅度的降低，涂料荷电率得到提高，静电喷涂效果得到改善，涂膜有较好的外观质量。

高压静电喷涂的另一种形式是空气辅助高压静电喷涂，辅助空气对漆雾飞散产生压制作用，涂料利用率提高，雾化效果也得到改善。

四、静电喷涂影响因素

（一）静电压

电压高低影响涂料的荷电率和附着率，静电效果随着电压提高而增加，

但在 10 万 V 以上，涂料附着率随电压升高不再明显增加（见图 2－2－14）。因此，电压一般都在 10 万 V 以下，定置式喷枪取 8～9 万 V，手提式则为 6 万 V，即电压已按喷枪种类确定。

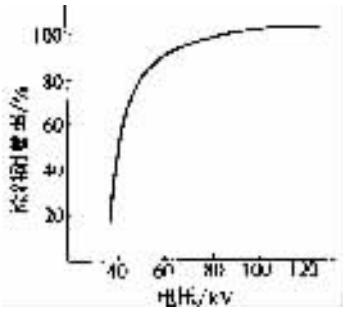


图 2－2－14　电压与涂料附着率关系

（二）喷枪与工件距离

在电压确定的情况下，电场强度与极间距离成反比，当喷枪与工件间的距离过短，会产生火花放电。击穿电压与极间距的关系见图 2－2－15，如果距离太远，漆雾附着率会降低，因此静电喷涂距离一般在 250～350mm 之间，小工件取低值，大工件取高值。现代的静电喷枪都有近距离防击穿自动安全保护设施，操作时不会产生火花放电。

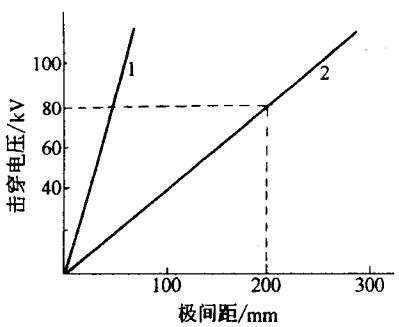


图 2－2－15　击穿电压与极间距关系

1—空气介质；2—漆雾介质

（三）静电喷枪布置

对旋杯式静电喷枪，喷雾图形为环状，因此都采取多把喷枪喷涂，使涂膜厚度均匀。多把喷枪的布置需根据工件形状及喷枪间漆雾不相干扰来考虑。喷枪之间的距离以喷雾幅宽的 1.5 倍来确定，一般在 800mm 左右。

（四）挂具

挂具应避免前后摆动，以免造成喷涂距离忽近忽远，这除了导致涂膜厚度不均匀而影响平整度外，也会带来不安全。装挂的工件离悬链或地面应不少于 1m，以免影响漆雾在工件上的附着率。挂钩应定期清除附着的涂料，确保工件有良好的接地通路，防止卸件时被电击。

（五）旋杯口径

旋杯口径大，漆雾细、喷雾图幅宽但中空也大。一般根据工件形状与宽度，将不同口径旋杯的喷枪组合使用，使膜厚均匀。

（六）喷出量

喷出量大时，有些涂料液滴无法在枪口处带上电荷，静电效果就无法得到有效发挥，从这方面看，静电喷涂也需通过设置多杷喷枪来增加总出漆量，但为了高生产效率，喷出量应在保证静电效果前提下，越大越好。

（七）涂料的特性要求

涂料的电阻一般在 100MΩ·cm 以上，阻抗大的涂料在静电喷涂时荷电率很差。因此，用于静电喷涂的涂料需要用二丙酮醇等极性溶剂来提高涂料的导电性，使涂料阻抗达到 5～50MΩ·cm。导电性较好的涂料，电荷消失速

度太快，静电压上不去。例如水性漆和金属闪光漆，涂料容器必须与地面保持良好绝缘才能实施静电喷涂。

涂料粘度影响雾化性能，一般在 20s 左右，如果要提高涂料的施工固体分，可以将涂料加热到 40℃，这时常温下的涂料粘度允许高至 30～40s。

五、静电喷涂实例

（一）定置式静电喷枪布置举例

宽 1800mm 彩色镀锌钢板，采用六把旋杯式静电喷枪组合布置（见图 2－2－16），进行自动喷涂的工艺条件如下：

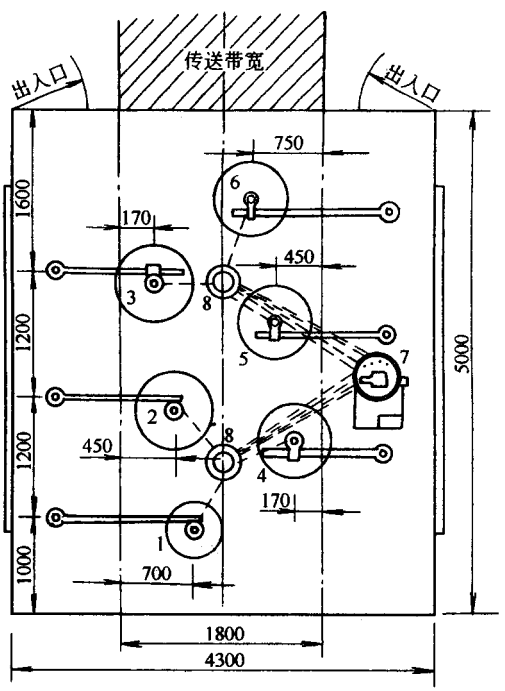


图 2－2－16　定置式旋杯式静电喷枪组合布置示例

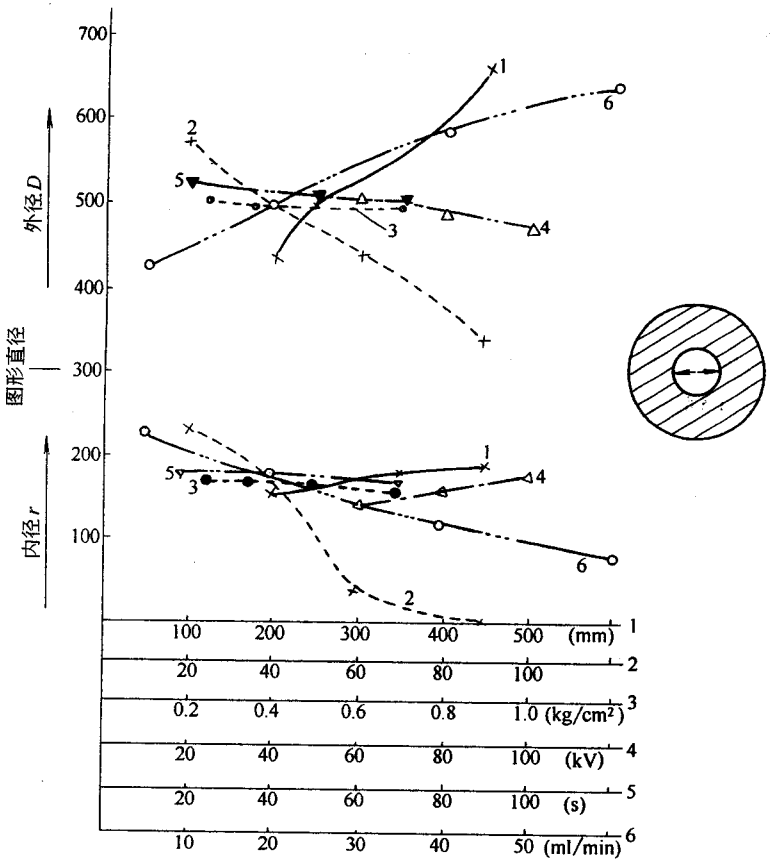


图 2－2－17　空气雾化静电喷涂时各参数对喷雾图形的影响关系

（1kg/cm³ = 98kPa）

1—喷涂距离；2—喷嘴角度；3—空气压力；4—静电压；

5—涂料粘度（15℃）；6—出漆量

传送带速度	4600mm/min
涂料品种	**氨基漆**
涂料粘度（涂－4 杯，15℃）	15s
涂料喷出量/（ml/min·台）	1、3、4、6 **喷涂机** 55～60；2、5 **喷涂机** 70
喷嘴角度	1、3、4、6 **喷涂** 40°；2、5 **喷涂机** 20°

静电压　　80kV

喷涂距离/mm　　1、2、5　300，3、4　250，6　270

（涂料输送罐为 7，涂料高位溢流槽为 8）

涂料　　水性氨基　　涂料粘度（涂－4 杯，15℃）　40s

静电压　　80kV　　气压力

喷涂距离　　250mm　　喷嘴角度

涂料喷出量　　20ml/min

改变各项参数对喷雾图形的影响见图 2－2－17。

第四节　粉末涂装

一、粉末涂装的特点

粉末涂装由于采用低污染涂料并设置粉末回收系统，相对于溶剂性涂料的施工，它具有以下特点：

（1）涂料利用率高，达 90%以上，且为低污染涂装方法；

（2）适合于自动化生产，生产效率高；

（3）涂膜厚，一道涂膜厚度可达 100～300μm。

粉末涂装也存在着某些缺陷：①烘烤温度高（≥200℃），涂膜易变色；②涂覆设备专用，换色不方便；③烘烤以后的涂膜缺陷不易修补；④涂膜外观装饰性较差，流平性和光泽度均不如溶剂性漆喷涂；⑤涂层附着力较差，很多情况下需采取热处理或调湿处理。

粉末涂装采用的涂料有热塑性和热固性之分，粉末涂料的专用品种对热塑性来说有聚氯乙烯、聚乙烯、聚丙烯、聚酰胺、氟树脂、氯化聚醚、聚苯硫醚等；热固性的包括环氧、聚酯、丙烯酸、聚氨酯等。热固性粉末涂料的

熔融温度、熔体粘度都较热塑性低，涂膜的附着力和平整度都比热塑性粉末涂层好。热塑性粉末涂料的树脂很多具有结晶性，在烘烤以后应进行淬水处理，确保涂层有足够的附着力。

二、粉末涂装方法

粉末涂装方法有火焰喷射、梳化床法、静电流化床法、静电喷射法及粉末电泳法等。

火焰喷射法由于树脂易受高温分解，涂膜质量差，很少应用。

流化床法是将工件预热到高出粉末熔融温度 20℃以上的温度，然后浸在沸腾床中使粉末局部熔融而粘附在表面上，经加热熔合形成完整涂层。流化床法只适合于厚壁型热容量大的小工件，热容量小的薄板件不适合。工件预热温度越高，涂层越厚，一般都在 100 ~ 300μm 之间。要形成 100μm 以下的薄涂层，不宜采用流化床法。另外，流化床法涂装时，由于树脂受热温度高，时间长，在烘烤以后往往采取水强制冷却，减少热分解作用。

静电流化床是将冷工件在流化床中通过静电吸附粉末，因此工件不需要预热，并能形成完整的薄涂层，但也只适合于小件的涂装。

静电喷涂法可以形成 50 ~ 200μm 的完整涂层，且涂层外观质量较好，生产效率高，是粉末涂装应用最广的一种方法。现在的粉末静电喷涂设备设置一套自动粉末清扫装置，因此换色也较为方便。

粉末电泳法是将树脂粉末分散于电泳漆中，按电泳涂装的方法附着在工件的表面，烘烤时树脂粉末和电泳漆基料融为一体形成涂层。它具有电泳涂装的优点。例如沉积时间短、生产效率高，膜厚均匀并易于通过电压来调整厚度。另外避免了粉末涂装普遍存在的粉尘问题。该方法存在的缺陷是由于水分的作用，烘烤时涂层会产生气孔，且烘烤温度较高；另外，涂层要比普通电泳漆厚，一般在 40 ~ 100μm。

三、粉末静电喷涂设备及工艺

粉末静电喷涂设备由供粉器、静电发生器、静电喷涂机、喷涂室、粉末

回收系统、烘干室等组成。

高压静电发生器的输出电压要达到 60～100kV，电流低于 300μA。一般晶体管的能耗低、体积小，应有防击穿安全保护装置。

静电喷粉枪分固定式和手提式，生产线上都采用固定式，现场施工则采用手提式。静电喷粉枪按带电形式分内部带电和外部带电（图 2－2－18）。内部带电是通过设在枪身内极针与环状电极间的晕放电带上电荷，内电场强度大（6～8kV/cm），适合于喷粉量大，复杂形状工件的涂覆。外部带电是利用喷枪与工件间的电晕放电带上电荷，荷电电场强度比内带电弱，但沉积电场强度大（1～3.5kV/cm），涂覆效率高、应用广。

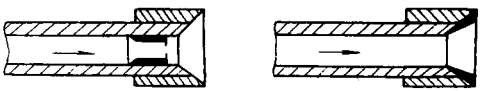


图 2－2－18　喷粉枪带电形式

1—内部带电；2—外部带电

为了根据工件大小和形状有效地涂覆，减少粉末的反弹作用，静电喷粉枪的粉末扩散大致有冲撞分散法、空气分散法、旋转分散法和搅拌分散法等（图 2－2－19），其中以冲撞分散法操作方便，应用较多。

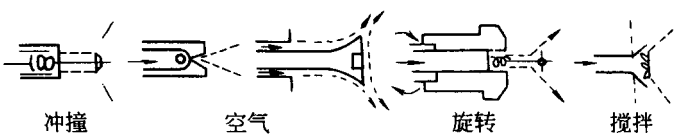


图 2－2－19　粉末扩散方式

供粉器应该连续，均匀地将粉枪末输送给喷粉枪，一般有压力式、抽吸式和机械式三种供粉器（图 2－2－20）。压力式供粉器容积 15～25L，粉末不能连续投料，多用于手提静电喷粉枪供粉，不适合于自动生产线。机械式供粉器能精确地定量供粉，多用于连续生产线。抽吸式利用文丘里原理，使粉斗内粉末被空气流抽吸形成粉末空气流，粉斗内积粉少，便于清扫和换色，适应性强。

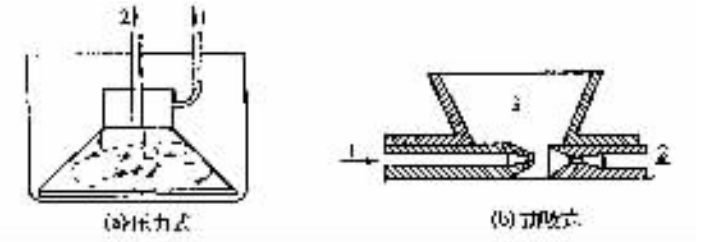


图 2－2－20　供粉器

1—压缩空气；2—粉末气流；3—料斗

粉末回收设备用来回收未附着的粉末，并防止粉尘对环境的污染，粉末静电喷涂的粉末附着率一般仅 30% ~ 35%，必须靠回收装置才能使粉末涂料利用率在 95%以上，提高经济效益。回收设备有旋风式、布袋式及其它们的组合形式（图 2－2－21），旋风式的噪声大，能耗大，回收率不高；布袋式体积小，噪声小，回收率高，但需采取振动或逆气流措施防布袋堵塞。最先进的是滤芯式换色喷房，更换滤芯能达到快速换色。

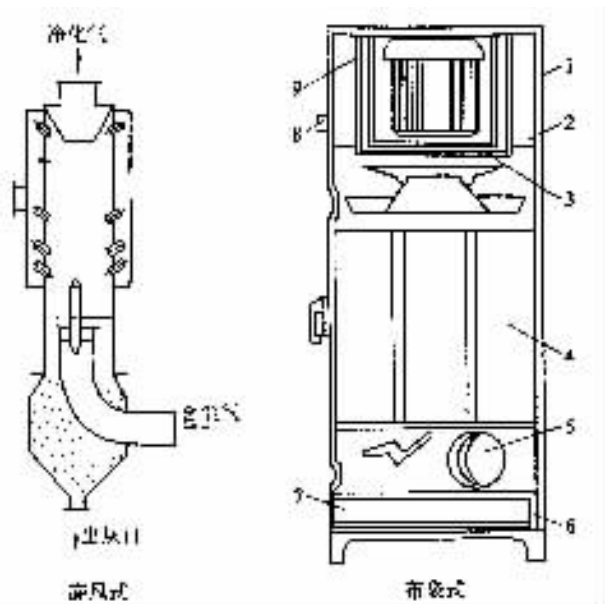


图 2－2－21　粉末回收设备

1—壳体；2—离心通风机；3—电动机；4—布袋；5—吸气管；6—振动机构；7—集粉斗；8—电气装置；9—消声器

粉末静电喷涂工艺的影响因素主要有粉末特牲、喷涂电压和距离、供粉气压等。

粉末特性主要是粉末粒度和粉末电导率。粉末粒度越细，粉体的流动性变差，在设备中易堵塞，粉末的涂覆性提高且能薄涂，但粉尘的漂散性也增加。粉末涂料的电导率影响粉末的荷电率和附着率，体积电阻率一般在 10^{10} ~ $10^{14}\Omega\cdot cm$ 为宜。

喷涂电压一般在 60 ~ 90kV，喷涂距离约在 250mm 为宜，此时粉末附着率较高。供粉气压影响到粉末气流的荷电率和漂散性，随着供粉气压增大，粉末附着率会下降。

粉末静电喷涂必须强化表面处理来保证涂层的附着力。PTFE 涂层的喷涂工艺实例如下：工件喷砂表面粗化→脱脂剂 85℃喷射清洗→85℃热水喷洗→110℃干燥 5 ~ 8min→静电喷粉→380℃烘烤 30min→喷水强制冷却→下件。上面喷砂是为了提高附着力；85℃热水喷洗是为了加快干燥；由于 PTFE 涂层结晶性大，在高温烘烤融合以后，通过强制冷却来降低结晶度，确保涂层附着力。

粉末涂装除了用来涂覆防护性涂层外，也可以用来涂饰带美术花纹的装饰性涂层，并且国外已在进行薄层粉末罩光涂层的应用试验，

第五节　电泳涂装

一、电泳涂装原理

电泳涂料的树脂经酸或碱中和剂中和以后，能溶解分散于水中，此聚合物电解质便离解形成带电胶粒。在直流电场中，离子化的树脂胶团将同时发生电泳、电解、电沉积和电渗作用，使之在金属表面附着一层树脂膜。上述四个过程对电泳涂装都起着重要作用，彼此不能分割。

（一）电泳

带电胶粒在直流电场中，向电荷极性相反的电极移动，移动速度极大地受到分散介质粘滞阻力的影响，犹如泳动，故称之电泳。

由于胶团为双电层结构，它的泳动速度可按下式表示：

$$V = \zeta \varepsilon E / k\pi\eta$$

式中　V——泳动速度；

E——电场电位梯度，V/m；

ζ——双电层界面动电位；

ε——介质的介电常数；

η——体系粘度；

k——与胶粒形状有关的常数，球形 k = 6，棒形 k = 4。

电泳漆液的介电常数和粘度一般无多大变化，因此电场强度和胶粒的双电层结构特性将对电泳产生较显著的影响。

（二）电解

电解质水溶液在直流电场中，水会发生电解。在阳极区域，发生如下阳极反应：

$$2OH^- \longrightarrow 2H^+ + O_2 \uparrow + 4e$$

在阴极区域，发生如下反应：

$$2H_2O + 2e \longrightarrow 2OH^- + H_2 \uparrow$$

电解使阳极界面溶液的 pH 值下降，阴极界面溶液的 pH 值上升，并且在两个电极界面都产生气体。电解质水溶液的电导值越大，电解越强烈，pH 值变化幅度越大，但生成的气泡大大增多，而气泡是造成电泳涂膜针孔和粗糙的根本原因。

（三）电沉积

阳极电泳漆离子化并稳定分散于水中的 pH 值在 8 ~ 9 之间；阴极电泳

漆离子化并稳定地分散于水中的 pH 值为 5～6.7 之间。但是，电解质水溶液电解时，阳极界面溶液的 pH 值将下降到 pH3～4，而阴极界面溶液的 pH 值增高到 pH 约 12，当离子化胶粒泳动到电极表面时，胶粒因中和失稳析出并附着在电极表面上。阴极电泳漆的电沉积反应如下：

$$2H_2O + 2e \longrightarrow 2OH^- + H_2 \uparrow$$

$$polym - N^+HR'R'' + OH^- \longrightarrow \underline{polym - NR'R''} \downarrow + H_2O$$

阳极电泳漆的电沉积反应较为复杂：

$$2OH^- \longrightarrow O_2 \uparrow + 2H^+ + 4e$$

$$polym - CO_2^- + H^+ \longrightarrow \underline{polym - CO_2H} \downarrow$$

$$Fe \longrightarrow Fe^{2+} + 2e$$

$$2polym - CO_2^- + Fe^{2+} \longrightarrow \underline{polym - Fe - polym} \downarrow$$

$$2polym - CO_2^- \xrightarrow{\text{脱羧}} \underline{polym - polym} \downarrow + 2CO_2 \uparrow + 2e$$

铁皂的生成使涂膜颜色变深，并降低了涂膜的耐腐蚀性。阳极电泳漆的防护能力劣于阴极电泳漆主要还是由于阳极电泳漆的树脂稳定性差，工作电压低，泳透力很差。

阴极电泳的阳极材料可选用石墨、不锈钢，或镀氧化钌薄膜的不锈钢，防止金属离子污染漆液。

（四）电渗

电渗是分散介质向带电粒子泳动相反方向运动的现象。刚沉积的漆膜是含水量高的半渗透膜，在电场力作用下，涂膜中的水合离子向对电极移动，从而使涂膜中水分持续渗析到槽液中，湿膜的含水量减少到 5%～15%，涂膜呈现一定憎水性。此时的湿膜结构致密，附着强，不粘手，抗水冲洗，经水洗后可直接烘烤成膜。

在上述四个过程中，显然电解是电沉积的根本保证，但电解现象过于激烈会严重影响涂膜质量，需引起重视。

二、电泳涂装特点

电泳涂装作为一种先进的现代涂装作业方法，具有以下特点：

（1）有利于实现自动流水线生产，涂漆节奏快（1～3min），自动化程度高，使生产效率大幅度提高；

（2）涂膜厚度均匀，对阴极电泳漆来说，很容易通过电压调整，在10～35μm范围内控制膜厚在某一值；

（3）较好的边缘、内腔及焊缝的涂膜覆盖性，使产品涂层的整体防锈性能提高，其中阴极电泳漆的泳透力强，内腔防锈性更好，外表涂层完全适用于高档产品的要求，耐盐雾试验可达到800h以上；

（4）优越的环保、安全作业性，电泳漆液仅含不到3%的助溶剂，以水作为分散介质，没有发生火灾的危险性，也不会产生溶剂散发对大气的污染，电泳设备配置超滤循环系统，使槽液得到有效的利用，仅偶尔排放少量超滤液，不存在漆液对环境的污染；

（5）涂料利用率高达95%以上，由于槽液粘度很低，工件带出量少并经超滤装置回收，损耗极低；

（6）涂膜外观好、无流痕，烘干时有较好的展平性，由于湿膜仅含少量水分，烘烤时不会产生流挂现象，也不存在溶剂蒸气冷凝液对涂膜的再溶解作用，涂膜平整、光滑，对于厚膜型阴极电泳漆，展平率最高可达83%，可免去中涂。

电泳涂装存在的缺陷主要有以下方面：

（1）烘干温度高（180℃），涂膜颜色单一，底漆的耐候性差；

（2）设备投入大，管理要求严格；

（3）多种金属制品不宜同时电泳涂漆，因它们的破坏电压不一样；

（4）挂具必须经常清理以确保导电性，清理工作量大；

（5）塑料、木材等非导电性制品不能电泳涂漆，也不能在底漆表面泳涂面漆；

（6）箱形等漂浮性工件不适宜电泳涂漆。

三、电泳涂装工艺参数控制

（一）电泳涂装工艺过程

电泳漆膜与合适的磷化膜配合后，防护性能大大提高。因此电泳涂装工艺过程基本如下：脱脂→水洗→表调→磷化→水洗→去离子水洗→滴干→电泳沉积→超滤液冲洗→去离子水冲洗→烘干。

电泳前漆前处理后，要求工件表面无任何油污；磷化膜要求晶粒细致，薄而均匀；进入电槽前的工件表面所沾水的电导率不大于 30μs/cm；在带电入槽电泳时，工件表面不得挂有水珠，可采用压缩空气吹掉水珠，要求更高时可采取烘干；电泳漆膜的烘干应经 30～40℃闪干，60～100℃、10min 低温预烘干，然后于 180℃工艺温度彻底固化，以免产生爆孔和二次流痕。

（二）电泳涂装工艺参数控制

1. 槽液固体分

电泳原漆的固体分一般在 40%～60%，槽液固体分阳极电泳漆为 10%～15%、阴极屯泳漆为 20%。槽液固体分对槽液稳定性、泳透力及涂膜厚度和外观质量等都有一定的影响。当槽液固体分较低时，槽液稳定性差，颜料沉降严重，泳透力亦下降，最终使得漆膜薄而粗糙，并产生针孔，防护性能差。槽液固体分过高时，漆膜厚度增加，电渗性能下降，漆膜粗糙、起橘皮；另外由于工件带出液浓度高，需要大量超滤液冲洗，使超滤系统的负荷增大，影响其正常运作。因此，电泳槽液固体分必须控制在适宜的浓度下，其中阳极电泳掌握在 10%～15%，而阴极电泳漆严格控制在 20%±0.5%。

槽液固体分的测定是将样品于 105℃烘 3h 至恒重，或者 105℃除掉大部分水分后于 160℃以下烘至恒重，求得烘干前后质量变化。

2. pH 值

槽液 pH 值代表着漆液的中和及稳定性。漆液的中和度不够，树脂的水

溶分散性差，漆液易凝集沉降，若中和度太高，槽液电解质浓度大幅度增加，电导值升高，使电解作用过于激烈，电解产生的大量气泡造成漆膜粗糙；另外，过量的中和剂使得槽液对湿漆膜的再溶解性增加。

一般来说，阴极电泳漆的 pH5.8～6.7，阳极电泳漆的 pH7.5～8.5。对阳极电泳漆来说，pH 值的进一步升高还会造成树脂水解使稳定性变劣；而阴极电泳漆 pH 的进一步降低使设备腐蚀变得极为严重。在 pH 大于 5.8 时，可采用不锈钢材料来避免设备腐蚀问题。

由于 pH 值的变化对槽液稳定性和电导率变化产生很大的作用，因此槽液 pH 值严格控制在 ±0.1pH 变动范围内。

3. 电导

电导跟槽液 pH 值、固体分、杂离子含量有关。由于漆前处理时冲洗水中的杂质，电泳时磷化膜溶解，配槽用水纯度低等，都使槽液杂离子浓度增加。因此槽液电导终是处于不断增加的趋势。电导增加使电解作用加剧；电压和泳透力下降，漆膜粗糙多孔。

阴极电泳漆液的电导率一般在。1000～2000μ/cm，阳极电泳漆液的电导率则较高。电导率的控制范围一般在 ±300μs/cm。为了减少杂离子进入电泳槽，冲洗水和配槽用水的电导率应小于 25μs/cm；由 pH 引起的电导偏高通过排放阳极（或阴极）液来降低；由槽液杂离子引起的电导偏高则排放超滤液来调整。通常情况下，100t 的阴极电泳槽液，用 7t 去离子水替代超滤液，电导率可降低 100μs/cm。

4. 槽液温度

槽液温度升高，树脂胶粒的电泳作用增加，有利于电沉积和涂膜，厚度提高。但过高的温度使电解作用加剧，涂膜变得粗糙，流挂；另外也使槽液变质加快，稳定性变劣。温度太低时，槽液粘度增加，工件表面气泡不易逸出，也会造成涂膜粗糙。

一般阳极电泳漆液的温度在 20～25℃，阴极电泳漆液的温度在 28～30℃，而厚膜型：阴极电泳漆则在 30～35℃之间。由于电泳涂装时，一部分电能转化为热能，槽液温度总是不断升高，应设置换热系统，将槽液温度控制在 ±1℃的范围内，防止涂层质量的不稳定。

5. 电压

电泳涂装时，湿膜的沉积和溶解量相等时的电压称为临界电压。工件在临界电压以上才能沉积上漆膜。但电压升高到某一值时，湿膜被击穿，产生粗糙、针孔、臃肿等缺陷，此为破坏电压。因此，工件电泳涂装的工作电压在临界电压和破坏电压之间。除了电泳参数会影响工作电压外，电泳漆树脂本身的特性对工作电压会产生显著差别。例如普通阳极电泳漆的工作电压仅几十伏，而阴极电泳漆的工作电压高达 250V 左右。电压的提高，使电流得以增加，用于沉积的电量增加，沉积量按库仑效率增加，涂膜变厚；电压升高也使电场力增加，泳透力也大幅度提高（参见表 2－2－6）。厚膜型阴极电泳漆工作电压对涂膜厚度的影响更为明显。在 150V、200V、250V 电压下，涂膜厚度分别可达 25μm、30μm 及 35μm。虽然提高固体分或温度等电泳参数能增加涂膜厚度，但也带来一些其他不利影响作用。因此在实际生产过程中，想适度地增加涂膜厚度，可在工作电压范围内调高电压。

表 2－2－6　工作电压与涂膜厚度和泳透力的关系

项　目	指　标					
电压/V	125	175	225	275	325	
膜厚/μm	8.5	13.0	16.5	30	33	
泳透力/cm	21.6	25.4	27.9	30.5	32	

注：阴极电泳漆，28℃，电泳 2min。

同一种电泳漆在不同金属材料表面上的破坏电压是不一样的，例如阴极电泳漆在冷轧钢板上的破坏电压最高可达 350V，而镀锌钢板却只有 270V 左右，因此不同金属制品应在不同的工作电压下分别进行电泳。

电泳时为了避免起始电流过大，一般采取由低工作电压向高工作电压过渡的通电方式进行电泳涂漆。对于连续通过式生产方式，采取带电入槽、两段或三段加电压方式通电，第一段为工作电压范围的低限、后段为工作电压的高限，使电泳过程中电流以强度均衡并均匀地全部覆盖上涂膜。带电入槽时工件表面不允许挂有水珠，否则漆膜表面会产生水斑印迹；在线速度 < 2m/min 时，会在液面产生条纹。间歇式生产方式采取浸入后通电，故不会存在上述病症，一般于前 15～30s 施加低工作电压，然后升至高工作电压提

高泳透力。

6. 电泳时间

随着电泳的进行，工件表面湿膜逐渐增厚，绝缘性增强。一般在 2min 左右，湿膜已趋于饱和不再继续增厚，此时在内腔和缝隙内表面，随电泳时间延长，泳透力提高，便于漆膜在内表面沉积，因此电泳时间都在 3min 左右。

7. 极距和极比

工件与电极之间电泳漆液的电阻随着极距增加而增大。由于工件具有一定形状，在极距过近时会产生局部大电流，造成涂膜厚薄不匀；在极距过远时，电流强度太低，沉积效率差。电泳涂漆的极间距离一般在 150 ~ 800mm 之间，对于零部件可取 300mm，车身等大部件可取 500mm，简单形状的工件极距还可以缩短。

极比对阳极电泳漆来说，常取 1∶1，因为阳极电泳的工作电压低，泳透力差，增大对电极面积对提高泳透力和改善膜厚均匀性均有好处。阴极电泳时，工件与电椒的面积比则取 4∶1，工件表面电流密度分布均匀并有良好的泳透力。电极面积过大或过小都会使工件表面电流密度分布不均匀，或泳透力差，或造成异常沉积。

8. 其他的电泳漆特性参数及测定

（1）中和当量（MEQ）。指单位质量树脂中酸（碱）基团中和所需中和剂的等物质的量；以等物质的量/克干树脂表示。测定时取 10.000g 电泳漆，加 50ml 四氢呋喃，阳极电泳漆用 0.1mol/LNaOH 标准溶液滴定到终点。

$$MEQ = MV \times 10$$

式中　M——滴定剂摩尔浓度；

V——滴定剂消耗的体积，ml。

（2）颜基比。取样置于坩埚内，先于 110℃烘 1h，再于 200 ~ 250℃预热 10min，再于马弗炉 800℃烘 30min，冷却后称重，残留物（灰分）即为颜料质量。

$$\text{颜基比} = \text{灰分}/(\text{样重} \times \text{固体分} - \text{灰分})$$

在高温下产生热分解的颜料要采用多次的离心分离 - 树脂溶解，洗涤后烘干求得颜料分质量。

电泳时树脂与颜料的沉积比例不会与颜基比一致；因此需要定期测定，以确定补加乳液还是色浆。

（3）库仑效率：以 1C 电量能沉积的干漆膜质量表示：

$$C = \Delta W/Q = \Delta W/(It)$$

式中　ΔW——干涂膜质量，mg；

Q——电量，C；

I——电流，A；

t——电泳时间，s。

阴极电泳漆的库仑效率一般为 25 ~ 30mg/C，阳极电极漆的库仑效率只有 15 ~ 20mg/C。

（4）泳透力：指深入被屏蔽工件表面沉积漆膜的能力。一般采用钢管法，钢管长 220mm，内径 20mm，内插 230mm × 15mm × 1mm 钢条，下端与钢管齐平，浸入电泳漆液 200mm，对电极为高 100mm 的圆筒，在适宜的电泳条件下电沉积 3min，取出后洗净烘干，测沉积高度。

$$\text{泳透力}(\%) = 100 \times (A + B/2)/200$$

式中　A——沉积上完整涂膜的长度，mm；

B——不完整涂膜的长度，mm。

阴极电泳漆的泳透力一般在 75% ~ 80%以上，阳极电泳漆的泳透力较低，最好的也不超过 70%。对内腔有防锈性要求的工件，应采用阴极电泳涂漆。

（5）再溶性：指湿电泳漆膜抵抗槽液和超滤液再溶解的能力。）测量方法是取电泳后的湿膜样板，将 1/2 浸入槽液或超滤液中，10min 后取出水洗，烘干测干膜厚度并检查涂膜外观。

$$\text{再溶性}(\%) = 100 \times (\mu_0 - \mu)/\mu_0$$

式中　μ_0——未溶解涂膜烘干后的厚度，pm；

μ——溶解后剩余涂膜烘干后的厚度，μm。

一般要求湿漆膜在槽液中浸 3min 的减薄程度在 5%以下，在生产线中断时，浸泡在槽中的湿膜会有大幅度减薄。

（6）加热减量：指电泳漆膜在固化温度下烘烤时，释放出小分子物质使干膜质量比涂料固体分量低。对阴极电泳漆主要是酚类封闭剂及某些高沸点

的助溶剂，这些释放物最高可达涂膜的 6%～10%，它们在烘道中以油烟子状态污染漆膜，因此电泳漆的加热减量应该越低越好。测定方法是取重 W_0 的铁片，电泳涂漆后水洗，经 105℃烘 3h 后称重（W_1），再于 180℃烘烤 30min，冷却后称重（W_2），按如下计算：

$$\Delta W\ (\%) = 100 \times (W_1 - W_2) / (W_1 - W_0)$$

（7）有机溶剂含量：电泳漆的稳定性除了通过中和赋予离子化外，还需添加少量的助溶剂来改善其水溶性和分散稳定性，用量一般在 2.5%～4%。

在助溶剂浓度太高时，电泳涂膜过厚，电渗作用变差，破坏电压下降，导致泳透力下降。过量的助溶剂也使湿膜再溶解性增强。因此助溶剂不能盲目添加，通常是用气相色谱仪分析确定如何添加。

电泳原漆一般含有较多的助溶剂，以便于兑水稀释操作时有较好的溶解分散性。因此，新配电泳槽液应该敞口循环搅拌 48h（俗称熟化期），一方面使电泳漆充分溶化，另一方面使低沸点助溶剂挥发掉，以免造成涂膜过厚及烘烤流挂。

（8）电泳漆稳定性：电泳原漆的常温贮存稳定性应不少于 1 年，或 40～60℃存放在 1 个月以上。槽液在 40～50℃存放稳定性应在 1 个月以上，其连续使用的稳定性应在 15～20 周次。

槽液的稳定性跟槽液更新速度也有关系。一般来说，对大批量生产，槽液的更新期在 1～2 个月以内的，只要按槽液固体分及时补加便能保持槽液的良好稳定；更新期在 2～3 个月的，也很容易保持稳定生产；更新期在 4～6 个月的，需对电泳参数全面进行分析测试和调整才能满足生产的正常进行，管理要求高，难度较大；更新期在 6 个月以上时，槽液稳定性很差，工艺参数很难调整，对于成本高的阴极电泳漆，一般就不再建议采用。

例：20t 的阴极电泳槽，固体分为 20%，生产量为 118 件/天，每件表面积 30m^2，干膜厚度 30μm，每月生产 23 天；试问该生产方式下的阴极电泳涂漆能否保持产品质量稳定？

解：电泳原漆固体分按 45%计，涂膜密度为 1.3，涂料利用率为 95%，则；

配槽耗原漆量 = （20 × 20%）/45% = 8.89（t）

每月耗原漆量 = （$118 \times 23 \times 30 \times 30 \times 1.3 \times 10^{-6}$）/（45% × 95%）；

7.43（t/月）

更新期 = 8.89/7.43 = 1.2 个月

由于更新期小于 2 个月，在该生产方式下，槽液的工艺参数相当稳定，涂漆质量容易得到保证。

（9）电泳涂漆各参数的测定频率：对于更新期在 2 个月以下的稳定生产作业，槽液的分析测试规范按如下进行。

槽液特性参数：槽液 pH 值，固体分（每班测 1 次），槽液电导（每周测 1 次），颜基比，MEQ，有机溶剂含量（两周测 1 次）。

电泳特性参数：涂膜外表与膜厚跟电压关系（每天分析 1 次），库仑效率，泳透力，破坏电压，L 效果（2 周 1 次），杂离子浓度（两个月分析 1 次）。

四、电泳涂装设备

电泳涂装设备由电泳槽、备用槽、循环过滤系统、超滤系统、极液循环系统、换热系统、直流电源、涂料补加装置、冲洗系统及控制柜等组成（见图 2－2－22）。

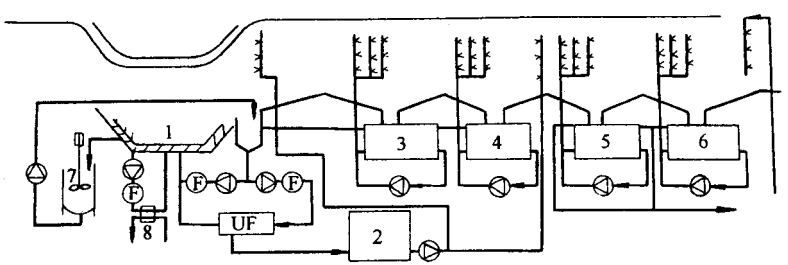


图 2－2－22　电泳涂装设备

1—电泳槽；2—超滤液贮槽；3，4—循环超滤贮着；5，6—循环去离子贮槽；7—电泳漆补加混合罐；8—换热器；F—过滤器；UF—超滤器

（一）电泳槽

对于连续通过式都采用船形槽，间歇步进式则采用矩形槽。不管是何种

槽体，都不得有死角，故槽底圆角过渡。

槽体尺寸根据工件大小确定，并设溢流辅槽，用于控制主槽液面高度并排除液面泡沫。溢流槽容积为主槽的 1/10，液面落差控制在 150mm 以内，以免产生过多泡沫，另外还可架设滤网，用于消除来自主槽的泡沫和杂质。

对于阴极电泳槽，由于漆液为酸性介质，应该用 2～3mm 的玻璃钢衬里防腐并绝缘，且耐电压要达到 15000V 以上。

备用槽用于主槽清理、维修时存放槽液用，做一般的防腐蚀措施即可。

（二）循环系统

循环系统的作用是保证槽液组成均匀和良好的分散稳定性，另外用于过滤杂质、热交换及排除工件界面因电解产生的气泡。通常采取过滤循环、过滤热交换循环和超滤循环的配合，实现以上诸功能。

为了防止漆液沉降，槽底和循环管流速应在 0.4m/s 以上；液面流速在 0.2m/s 以上。槽液循环次数到 4～6 次/h。

循环管路中设置的过滤袋精度为 50μm，在超滤之前也必须用滤袋过滤。管路中阀的设置及旁通都要考虑避免死角，以防漆液沉降产生颗粒。

（三）电极装置

电极装置由极板、隔膜及辅助电极组成。

阳极电泳可采用普通材料作极板，阴极电泳必须采用不锈钢、石墨或钛合金材料作阳板。极板与工件的面积比，阳极电泳为 1∶1、阴极电泳为 1∶4。

电泳涂漆过程中，电极界面槽液有如下变化。

阳极电泳：阴极 $2NH_4^+ + 2e \longrightarrow H_2\uparrow + +2NH_3$

阴极电泳：阳极 $4Ac^- + 2H_2O \longrightarrow O_2 + +4e + 4HAc$

为了防止电解产生的酸或碱性电解质槽液中扩散，必须用半透膜做隔膜罩，以便于控制槽液的 pH 值。

在隔膜罩内，电解质不断富集，通过排放极液便能控制槽液电解质的浓

度。为了保持极液浓度恒定，极液应该按 6～10L/min·m^2（极板）进行循环。

（四）电源电流

电泳涂漆时，从操作安全性，都采取工件接地。工件的通电方式，对于连续通过式采取带电入槽且二段或三段升压，直流电源的电流为平均电流×（1.5～2）；步进式生产方式，采取入槽后通电，逐步升压，例如先于 10～15s 升至低工作电压，然后再升至正常工作电压，直流电源的电流为平均电流×（2～3）。平均电流可按下式计算：

$$I_{平均} = 16.7 \times A\delta\rho/C$$

式中　$I_{平均}$——平均电流，A；

A——按面积计生产率，m^2/min；

δ——干膜厚度，μm；

ρ——干膜密度，g/cm^3；

C——库仑效率，mg/C。

（五）电泳漆补加

电泳漆补加是在混合罐中，搅拌下用槽液兑稀原漆，混合均匀后送入电泳槽。也可以在循环管路中设置混合器，进行连续补加。

（六）冲洗系统

电泳涂膜出槽以后，立即用新鲜超滤液进行槽上冲洗，经 1～2 次循环超滤液冲洗后再用新鲜超滤液冲洗，最后用去离子水冲洗。

超滤器的超滤量按下式计算：

$$Q = （1.03～1.04）\times （1.2－1.5）\ L/m^2\ （工件）$$

超滤液贮槽应能装至少供 3h 冲洗的超滤液量，一旦超滤器的流量降至 70%以下时，应进行清洗，故超滤应另有一套备用。

（七）电泳涂装设备调试

1. 设备清洗

加水进行设备功能调试一加表面活性剂和 0.2%助溶剂，循环清洗 8～20h→排放→加水循环 2～8h，共两次→检查，无油污（特别是阀门内部）→加去离子水循环 2～8h，测电导率 < 25ttm/Cia，并经小样配漆涂膜无缩孔后，可用它配槽。

2. 配槽

关闭超滤系统→加电泳漆，加纯水，加调整剂→循环 2～3h→检查固体分，灰分，MEQ，pH 及涂膜外观→调槽液温度→调极液 + 启动超滤器→调整冲洗系统。

3. 试涂

新配槽液熟化 48h 后→加电压→检查电压→电流→时间关系正常以后，液流适合后→检查冲洗系统→烘干，检查干膜外观、膜厚均匀及内腔涂布状况。

第六节　自泳涂装

一、自泳涂装原理

自泳涂料由聚合物乳液、炭黑轻质颜料、HF 酸性物质及 H_2O_2 氧化剂等组成。

当钢铁件浸于酸性自泳涂料中时，铁表面被溶解活化并产生 Fe^{3+} 凝集剂：

$$Fe + 2HF \longrightarrow Fe^{2+} + H_2\uparrow + 2F^-$$

$$2Fe^{2+} + + H_2O + 2H^+ \longrightarrow 2Fe^{3+} + + 2H_2O$$

氧化剂的另一个作用是减少金属表面气泡：

$$2[H] + H_2O_2 \longrightarrow 2H_2O$$

随着金属界面附近槽液中 Fe^{3+} 的富集，树脂乳液将被凝集而沉积在活化的金属表面上形成涂膜，有足够的强度可以用水冲洗。

二、自泳涂装特点

自泳涂装相对于电泳涂装，有以下特点。

（1）节能。因自泳涂装利用化学作用过程，不耗电能，能耗比；电泳涂装少 50%。

（2）高防护性能。在自泳沉积过程中，金属的表面处理（活化）与涂膜沉积同时进行，涂膜的附着力很强，经适当后处理以后，涂膜耐盐雾性能约 600h，可与阴极电泳涂膜相比。

（3）工艺过程短。自泳涂装不需要磷化处理，工序数减少，设备投资可减少 30%～60%，占地空间可减少 20%～50%。

（4）自泳涂装生产效率高。自泳时间一般为 1～2min，适合于流水线生产方式。自泳槽液的固含量为 5%～10%，漆件自槽液中取出后，表面沾附槽液仍有很好的渗透性和反应性，在 30s 以内还可以化学作用而沉积，因此水洗带走的损耗很少，涂料利用率好于电泳漆且不需要超滤系统。

（5）无泳透力问题。只要工件表面任何部位与槽液接触，都能得到一层厚度十分均匀的覆盖层，厚度误差在 $\pm 1.3\mu m$ 以内，有更好的装饰性和防护性能。

（6）挂具不需要清理。涂膜固化以后耐酸耐碱，因而不必清除掉挂具上的涂膜，大大减少这方面的劳动工作量。

（7）漆液不含任何有机溶剂。从根本上消除了有机挥发物对大气污染的问题。

（8）表面活性剂等水溶性物质。不会大量地与成膜物质一起沉积，从根本上解决了一般乳胶涂料耐水性差的问题。

但自泳涂料毕竟是一种水性漆，同样存在槽液稳定性问题，特别是金属离子在槽液中持续积累，对槽液稳定性是不利的，但只要槽液更新次数在

15 次以上，就有实用经济性。

自泳涂装设备同浸漆设备，由槽体、循环系统组成。由于自泳涂装过程中没有什么热效应且乳胶漆在常温下还是有很好的稳定性，故不设换热装置。自泳涂装的工艺过程如下：预脱脂→脱脂→水洗→酸洗活化→水洗→自泳沉积→水洗→铬酸溶液冲洗（或其他封闭剂）→烘干。由于自泳涂膜残留许多孔隙，烘烤时泛锈发黄，因此需进行封闭处理，新工艺已采用无毒非铬钝化剂封闭，使该涂装方法更具推广应用价值。

第七节　帘幕涂和辊涂

一、帘幕涂

（一）帘幕涂特点

帘幕涂适合于平板的大量涂装，具有以下优点：

（1）涂装效率高，传送带运行速度高达 50 ~ 100m/min；

（2）涂料几乎无损失，仅存在少量溶剂挥发；

（3）涂膜厚度均匀，膜厚误差可控制在 1 ~ 2μm 以内，并有良好外观；

（4）操作简单、作业性好且卫生，只要将设备各项参数调试好，生产过程就很稳定；

（5）对双组分涂料和快干性涂料也能涂布，双组分涂料需前后设置两个涂料幕，而快干涂料有利于缩短干燥设备长度。

帘幕涂存在的缺陷有以下几方面：

（1）不适合多品种小批量作业，因涂料经常更换时需要大量溶剂不断清洗涂料循环系统，既费时也不经济；

（2）不适合垂直面涂布；

（3）只能厚涂不能薄涂，因为要形成连续帘幕，涂料需要较高粘度，这样得到的膜厚一般在 30μm 以上；

（4）纸张、织物、皮革必须绷紧在硬板上才能帘幕涂。

（二）帘幕涂设备

该涂装设备由涂料槽、涂料循环装置、涂料帘幕头和带式输送机四部分组成，见图 2－2－23。涂料槽采用夹套通换热介质，维持涂料温度恒定，容积一般为 40～50L。涂料循环装置设置溢流调节阀，使帘幕头内涂料压力恒定。帘幕头由两条高精度的刃形锐边构成，一边固定，另一边可调，以便形成一条狭缝。防风板用于防止气流对帘幕的干扰。

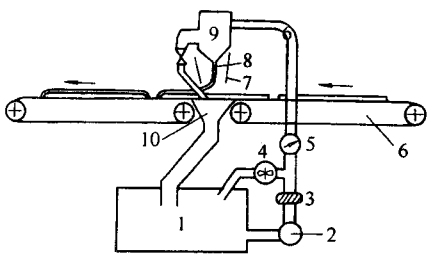


图 2－2－23　帘幕涂设备

1—涂料槽；2—泵；3—过滤器；4—调节阀；5—压力表；6—输送机；7—防风玻璃；8—狭缝；9—帘幕头；10—涂料接收器

（三）帘幕涂工艺参数

影响帘幕涂的主要工艺参数有涂料粘度、涂料压力、狭缝宽度及输送机速度，其中对帘幕稳定性和涂布量影响最大的是狭缝宽度。

1. 涂料粘度

涂料粘度对帘幕稳定性会芦生影响，在涂料较稀时，帘幕易断开。一般在 30～150s 粘度范围内，可保证各种涂料有稳定的帘幕。

涂料粘度还应根据涂料品种、被涂材质和涂膜厚度来确定。例如，硝基

漆和一般涂料的粘度为 25～30s，聚酯高固体分涂料为 30～50s。金属表面，应采用 30～50s 涂料涂布；但多孔性的木材表面，应采用 70～100s 的涂料，保持有良好的外观装饰性。

2. 狭缝宽度

狭缝的可调范围为 0.3～1.2mm。在涂料压力恒定之、时，随着狭缝变宽，帘幕降落速度变慢。当狭缝过窄时，涂料流出量少，造成帘幕断开；狭缝过宽时，帘幕降落速度与快速输送机速度不相适宜，造成涂布不均匀。狭缝的适宜范围一般在 0.5～0.8mm，并根据涂料粘度大小，调节狭缝宽度使之有适宜的流出量。

3. 涂料压力

涂料压力对流出速度，即涂布量影响很大。帘幕头内涂料压力一般控制在 10～20kPa。

4. 输送机速度

在其他参数都确定的情况下，还可调整输送机速度来改变涂布量。虽然输送机在 0～150m/min 内无级可调，但由于过快涂膜不连续、太慢涂膜太厚，一般定在 70～90m/min 内进行调节，对应的涂布量在 100～70g/m^2。

总之，帘幕涂工艺参数按以下程序进行调整：根据涂层质量要求选定涂料品种一依涂膜厚度及材质确定涂料粘度一确定狭缝宽度一适当提高涂料压力，保证帘幕不断开一调节输送机速度，使之有适宜涂布量，帘幕涂实例见表 2－2－7。

表 2－2－7　帘幕涂实例

底材	涂料品种	粘度/s	涂布量/（g/m^2）	狭缝宽度/mm	溢流阀开度（刻度）	输送速度/（m·min^{-1}）
胶合板	氨基烘漆	32	70	0.5	2.5	110
木　板	聚酯	150	190	0.6	4.0	70
石膏板	乳胶漆	70	115	0.7	3.5	80
皮　革	硝基漆	20	80	0.6	4.0	70
金　属	硝基清漆	25	100～70	0.6	4.0	70～90

另外，帘幕涂必须配备干燥的设备，并且特别适合于快干涂料，这可大大缩短输送链长度。例如硝基漆强制干燥需 3min，输送链经转换装置，降低烘干链速，干燥设备可大大缩短。

二、辊涂

（一）辊涂特点

辊涂适用于平面状金属板、胶合板、纸张的涂布，尤其适合于金属卷材的高速涂装。辊涂具有以下特点：

（1）高速自动化涂装作业，生产效率高，线速度一般都在 100m/min 以上；

（2）涂料利用率接近 100%；

（3）适用于各种粘度的涂料，涂膜可厚也可薄，且厚度均匀；

（4）可双面同时涂布。

但在辊涂过程中，溶剂挥发快，易造成涂料粘度变化，工艺条件控制不当，涂膜易产生辊痕。

（二）辊涂设备

辊涂设备由前处理、辊涂机和烘烤设备组成。工艺过程如下：卷材开卷→缝合→活套→漆前处理→干燥→辊涂→烘烤→水冷→活套→剪切→卷取。

辊涂机则由涂敷机构（取料辊、涂敷辊和涂料盘）、转向支撑机构和驱动电机组成。辊涂机又有以下多种类型，以适合各种应用。

1. 同向辊涂机

适用于低粘度涂料薄涂，干膜厚度为 10～20μm，线速度不超近 100m/min。涂膜厚度通过调节转辊之间间隙来调整。

2. 逆向辊涂机

可涂布高粘度涂料以获得厚涂层，湿膜厚度为 50～100μm，涂料粘度可

在 120s 以上。涂膜厚度靠取料辊与涂敷辊之间的间隙来调整。

高粘度涂料易造成取料不足，应采取顶部供料方式，靠涂料自身重力保证有充足的供料量。

涂布效果靠涂敷辊和支持辊之间的转速比来调节。对同向辊涂、涂敷辊与支持辊的转速比应小于 1，提高涂膜外表质量；逆向辊涂时，转速比应稍大于 1，以便涂敷辊涂料均匀地转移到卷材上。

第八节　涂装方法选择

涂装方法众多，不同的涂装方法具有不同的特点，适用于不同的批量，不同的工件形状和不同的涂层要求。常用涂装方法的特点和适用范围见表 2－2－8。

表 2－2－8　各涂装方法特点和适用范围

涂漆方法		特点	适用范围	涂层等级	设备费
刷涂		手工用刷子涂刷，适用性强，工作条件差，效率低，漆膜厚度不匀，外观差	适用于大件、单件小批量生产，不适宜快于漆的涂覆	Ⅲ	很小
浸涂		用输送装置自动浸入漆液中涂漆，生产效率高，溶剂挥发量大，漆膜有流痕，外观装饰性不高	适于复杂件、大批量生产，各种形状	Ⅲ～Ⅳ	中
喷涂	手工喷涂	用压缩空气雾化喷涂，涂膜均匀平滑，但涂料损耗大	大、小件，大面积喷涂时涂料利用率较高	Ⅰ	中
	自动喷涂	用控制设备自动控制对工件喷涂，生产效率高，但调整麻烦	适用于单一形状尺寸工件的大批量流水生产	Ⅱ	大

涂漆方法		特点	适用范围	涂层等级	设备费
喷涂	高压无气喷涂	利用高压泵，将涂料加压至12～21.2MPa，使之高压雾化，喷射于工件表面，生产效率高，漆膜质好，膜厚	适用于大面积、复杂工件、高粘度涂料喷涂	Ⅱ	中
高压无气加热喷涂		利用加热稀释和高压泵的作用，臂涂高粘度涂料，一次涂膜厚，生产效率高，漆膜质量好	适用于大面积，复杂工件、高粘度涂料喷涂	Ⅰ	中
静电喷涂		在高压直流电插作用下，使雾化涂料带电后吸附于工件表面，使喷涂时的涂料利用串提高，漆膜附着力表面质量好，便于自动化生产，但复杂工件的死角部位不易喷到	适用于各类静电涂料。固定式喷枪，适用于单一工件大批量生产，工件形状简单、中等复杂程度，手提式喷枪适用于各类工件的涂漆	Ⅰ	大
电泳涂装		在外加电场的电泳作用下，使电泳漆的乳胶粒子迁移并沉积于工件上，涂料利用率高，涂膜均匀，附着力强，对漆前处理要求高，便于自动化生产，冲洗废水量大	用于各类形状工件的大批量涂底漆	Ⅱ	大
粉末喷涂		采用静电吸附或淀化床方法，使粉末涂料涂覆于工件上，涂膜厚，效率高，漆膜质量好，涂料利用率高，便于自动化生产	适于中，小工件批量生产	Ⅱ	大
淋涂		用漆液循环泵，将漆液喷淋于工件表面，生产效率高，涂料损失少，便于自动化流淌生产，膜厚不匀	适于笑意工件的大批量涂底漆。	Ⅲ	中

涂漆方法	特点	适用范围	涂层等级	设备费
幕帘淋涂	通过漆液幕帘涂布于平面，生产效率高，涂料损失小，便于流水线生产	大平面的大批量涂覆	Ⅰ～Ⅱ	大
辊涂	利用辊筒机械涂覆，采用稍高粘度涂料，漆膜厚，生产效率高，便于流水线生产	适于板材、卷材的大批量涂漆	Ⅰ～Ⅱ	大

注：涂层外观等级Ⅰ—涂膜无缺陷，光滑平整，无颗粒；Ⅱ—涂膜平整度尚好，或有少许不太明显的微粒；Ⅲ—涂膜有少许较明显的微粒，或厚度不均匀，乎整度一般；Ⅳ—有明显缺陷，有流痕平整度差，色泽不匀等。

选择涂装方法时需要考虑以下几个方面：

（1）工件的材质、规格、大小及形状，

（2）被涂物使用的环境条件；

（3）涂料的物性和施工性能；

（4）涂层质量和标准；

（5）涂装生产组织和规模；

（6）涂装环境和经济效益等。

从工件材质考虑，主要有金属、塑料和木材等。对电泳涂装来说，仅适合于金属，并且不同金属不能同时进行电泳涂漆，而塑料与木材不能采用这种涂漆方法。对静电喷涂来说，要求表面有一定的导电性，则塑料和木材需经特殊处理才能采用该涂漆方法。

从工件形状看，对于有缝隙、拐角等死角部位的复杂形状的工件，不宜采用空气喷涂和静电喷涂，可用高压喷涂或电泳涂装，而平面物体可采用帘幕涂或辊涂。

从工件尺寸考虑，对于小件大批量生产时就应采取静电喷涂。若采用空气喷涂，涂料利用率很低。

从作业环境、生产效率、涂层质量和涂料利用率来看，电泳涂装具有很大优势。但阴极电泳的设备投资大、管理要求严格，首先应该核实它的更新期是否能满足要求。其他像粉末喷涂和高压喷涂，也都属环境性作业，具有

高生产效率，一道涂膜可达 100μm，但要获得装饰性涂层，通常都采用空气喷涂、静电喷涂或加热喷涂等方法。

另外，涂装方法在涂层质量、环保性、安全性和生产效率诸方面被不断地改进，因此，要尽量采用先进的涂装方法和技术。

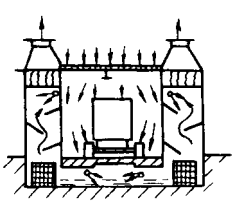
第九节　喷 漆 室

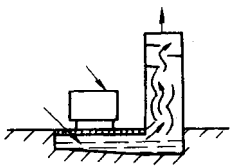
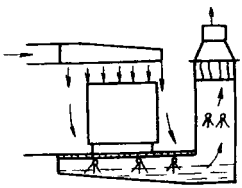
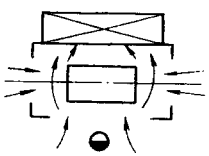
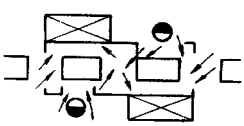
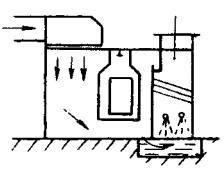
一、喷漆室分类

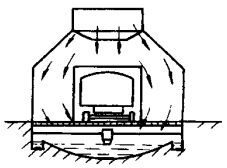
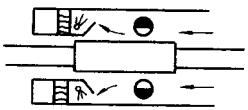
喷漆室的作用是净化空气，提高喷涂质量，改善作业环境条件。因此，喷漆室内应该有恒定的温度（15～22℃）、恒定湿度（RH65%），空气中尘埃在 3500 粒/L 以下，照明为 150～300lx，喷涂时散发的溶剂蒸气和漆雾应有效地被处理，并配备适宜的消防设施，以确保操作人员的卫生与安全。

对于大小不同的工件和不同的生产方式，应采用相宜的各种喷漆室，见表 2－2－9。这些喷漆室分 SQ 有干式喷漆室、水洗喷漆室、水帘喷漆室、无泵喷漆室、文丘里式喷漆室、水旋式喷漆室等等。

表 2－2－9　喷漆室的分灰和适用范围

分类		示意图	输送方式	特点	使用范围
生产性质	结构形式				
间歇生产	死端式		转盘、小车、单轨吊车	上部送风和底部抽风，采用喷淋式或水帘过滤器	各种外形的中等或大型工件、单件小批生产

分类		示意图	输送方式	特点	使用范围
生产性质	结构形式				
间歇生产	敞开式		台车	底部抽风，无室体，采用湿式过滤器	高度为 2m 以下的大型工件、单件或小批生产
			台车	上部送风和底部抽风，采用喷淋式过滤器	高度大于 2m 的大型工作、单件或小批生产
			工件不动	室体移动，周期性纵向抽风，采用喷淋式过滤器	列车车厢类外表面，小批量生产
连续生产	通过式		单轨，悬挂输送机	单面操作，横向抽风，采用喷淋式或水帘过滤器，工件连续或周期移动	各种外形的小型、中等工件，成批或大量生产
			悬挂输送机	双面操作，横向抽风，采用喷射或水帘过滤器	小型或较长的中等工件，成批流水生产
			悬挂输送机	上部送风和横向抽风，采用喷淋式或水帘过滤器，工件连续移动	各种外形的小型和中等工件，成批流水生产

分类		示意图	输送方式	特点	使用范围
生产性质	结构形式				
连续生产	通过式		地面输送器	上部送风和底部抽风，采用水帘或水旋过滤器	复杂外形的大型工件，成批流水生产
			地面输送器	双面操作，纵向抽风，采用喷淋式过滤器	简单外形的中等和大型工件，流水生产

二、各类喷漆室的特征

（一）干式喷漆室

干式喷漆室采取横向抽风，用折流板、滤网或蜂窝形纸质过滤器过滤漆雾，含溶剂空气经通风管排至室外。由于在使用过程中过滤器会逐渐堵塞影响抽风效果，需设置调节风门，且起始开度为 60%，若风量调节无效，则应更换过滤器。

折流板过滤器靠空气流动改变方向，使漆雾冲击折流板而粘附于其表面上。为了便于清理，需用油脂把纸张粘贴在表面上。折流板间隙宽度为 30～50mm，间隙之间的气流速度为 5～8m/s。折流板也起整流作用，使喷漆室气流速度分布均匀，这可通过调整两板之间间距来实现，它的压力损失为 59～118Pa。由于折流板不能粘附干态涂料颗粒，所以它的漆雾捕集效率不高。

滤网过滤器由纤维制成，其面目数较大，捕集漆雾的能力取决于网孔大小。滤网面积和目数按照能以 1m/s 的空气流速通过来确定，此时的压力损失为 98 ~ 147Pa。由于滤网过滤器容易堵塞，可采取折流板和滤网并用（见图 2 - 2 - 24）。

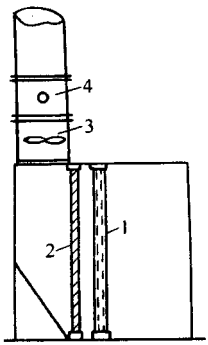


图 2 - 2 - 24　并用折流板和滤网干式喷漆室

1—折流板，2—滤网；3—风机；4—调节风门

蜂窝形纸质过滤器的单元尺寸为 500mm × 500mm × 35mm，空气通过量为 720m^3/h，由框架和蜂窝滤纸构成（见图 2 - 2 - 25）。该过滤器具有防火、抗静电性能，空气阻力小，漆雾捕获率大于 92%，容漆量大（3kg/m^2），使用周期长。



图 2 - 2 - 25　蜂窝形过滤器

（二）水洗喷漆室

由于干式喷漆室需要经常更换过滤器并清理风机和通风管上的积存涂料层，因而不适合于大批量喷漆作业，此时应采用湿喷漆，室。水洗喷漆室就

是早期的湿喷漆室，室壁易被漆雾玷污，喷嘴易堵塞，处理漆雾效果差，现都采取与水帘、供气装置等进行组合。

（三）水帘喷漆室

水帘式喷漆室是在喷漆室正面方向的内壁设置光滑淌水板，顶部用水泵供水溢流，使之在板面上形成瀑布状水帘，漆雾被水幕吸收并带到水槽中积存，避免了漆雾对室壁的污染。由于有，部分漆雾没有碰撞水幕，故需增设喷淋过滤装置，根据喷雾位置可设上部过滤、下部过滤或上下同时过滤，也可采取顶部送风、下部过滤方式，各组合方式参见图 2－2－26。

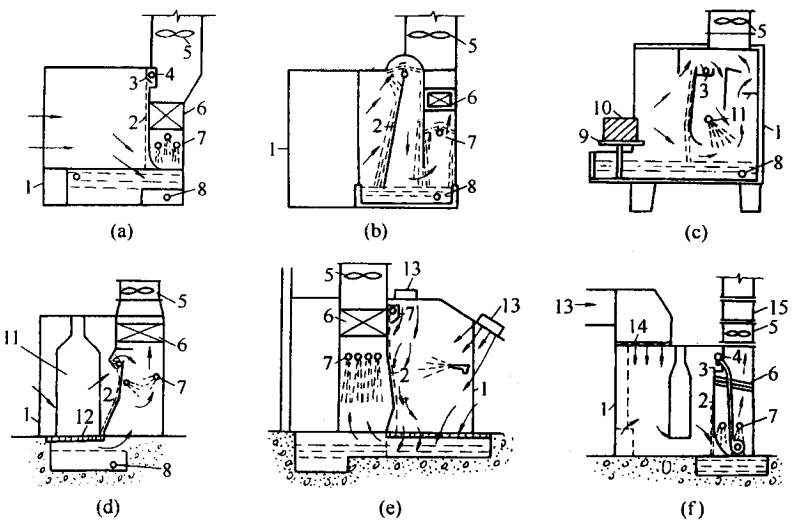


图 2－2－26　各种水帘喷漆室示意

1—室体；2—淌水板；3—溢流槽；4—注水管；5—通风机；6—汽水分离器；7—喷管；8—水泵吸口；9—转盘；10—工件；11—折流板；12—栅格板；13—送风口；14—过滤网；15—调节阀

水帘喷漆室的漆雾处理效果好，但用水量大。大面积的水幕也造成室内空气湿度大，不利于装饰性涂层的施工，此时可采取顶部送风，使室内温度、湿度和洁净度都能达到要求。

（四）油帘油洗式喷漆室

该装备是将吸收漆雾介质由水改为油，并设专门的油过滤再生装置，避免了污水排放带来的二次污染，设备腐蚀性大大降低，使用寿命更长。一般采用 30# 机油，含渣机油经沉淀箱沉降，沉渣部分再排至滤袋过滤筒中除渣，所有清油回至油槽重复使用。

（五）无无泵喷漆室

无泵喷漆室构造见图 2－2－27。在抽瓦机引力作用下，空气于旋涡室水面狭缝产生 20～30m/s 的高速气流，使大部分漆雾因离心力作用被卷吸板水膜捕集，小部分漆雾与水雾在清洗室内多次碰撞，最后形成水滴落下，分离了水的空气由风机排至室外。

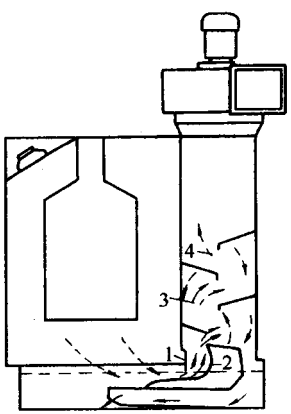


图 2－2－27　无泵喷漆室示意

1—锯齿状板；2—卷吸板；3—水雾；4—气流

由于无泵喷漆室中的漆雾靠卷起的水膜和水雾来捕集，因此要选用高静压 1177～2452kPa 的风机，并维持水面在一定高度。水槽内舔加凝聚剂，使漆渣凝集浮起，便于清理、延长水的使用周期。该喷漆室的最大特点是用水量少、漆雾处理效率高。

（六）文氏管式喷漆室

文氏管式喷漆室采取顶部送风，底部抽风，借助文氏管使水雾化捕集漆雾。由于喷漆室栅格板下设置喇叭型抽风罩，送入的空气逐渐收缩并于抽风罩中心间隙排出，使气流呈收缩的层流状，有效地把漆雾向中间压抑，不致扩散（如图 2－2－28）。

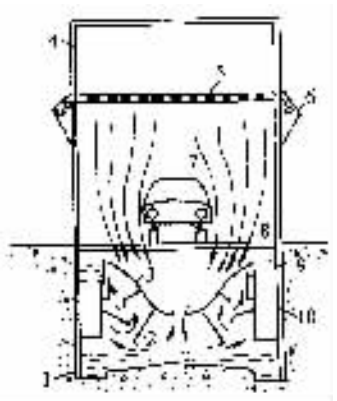


图 2－2－28　文氏管式喷漆室示意

1—水槽；2—折流板；3—喇叭型抽风罩；4—给气室：5—滤网；6—照明灯；7—工件；8—栅格板，9—溢流槽；10—排气管道

文氏管式喷漆室使用水帘，文氏管雾化水及折流板，具有很高的漆雾处理效率（97％～98％）。但该喷漆室的用水量大，吸风罩使得地坑较深，给设计制造带来一定难度，这类喷漆室用于大型工件的装饰性涂层喷涂施工。

（七）水旋式喷漆室

该喷漆室是目前技术比较完善的喷漆室（见图 2－2－29），其上部同文氏管式喷漆室，漆雾被层流状气流压抑。在栅格板下面喷水管将循环水均匀地喷出，在洗涤板上形成均匀水膜并缓慢地流向中心水旋筒中，防止漆雾堆积于溢水底板上，在抽风机吸引下，漆雾流向水旋筒内，在冲击水和冲击板作用下进行冲击清洗而被捕集。地下水槽深度约 1m 左右，用水量小，漆雾

处理效率高达 99.8%，也用于大型工件的装饰性涂层喷涂施工。

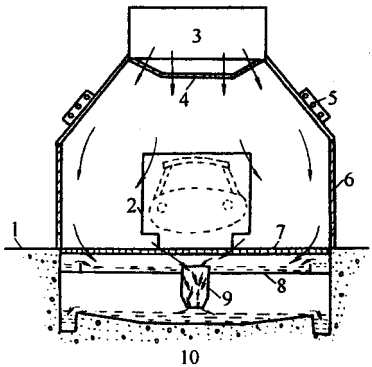


图 2－2－29　水旋喷漆室示意

1—车间地坪；2—工件；3—供气室，4—曲面给气顶棚；5—照明灯；6—玻璃窗；7—栅格板；8—洗涤板；9—水旋筒；10—冲击板

第三章　船舶涂装管理

第一节　膜厚管理

所谓膜厚管理，是对施工中的漆膜厚度进行控制和对施工后的膜厚进行检测、分析、判别和质量反馈与处理的过程。

膜厚管理的目的是使船体各部位涂层的厚度既要满足设计规定的厚度以确保性能，又要避免超厚所带来的浪费。因此，膜厚管理也是船舶涂装管理中的重要环节。

关于膜厚管理的方法，1986 年 6 月中国船舶工业总公司批准和颁布了《船舶涂装膜厚检测方法》（CB/Z 227－86），对我国造船（包括海洋构作物）的涂层膜厚的检测管理作出了统一规定。经过 8 年多的应用，1994 年又对该标准作了修订，即将以 CB/T 3718－1995 标准发布，取代 CB/Z 227－86。

一、漆膜厚度规定

船体各部位所使用的各种涂料的干膜厚度，通常由涂装说明书作出规定，被规定的膜厚称为“规定膜厚”。

规定膜厚，一般指必须基本得到保证的膜厚值，但并不意味着被涂表面的任何一处的干膜厚度均要达到或超过这一数值。判断膜厚是否达到规定要求，应该根据干膜厚度测定值的分布状态分析认定。

对于干膜厚度分布状态的要求，各个国家，不同的船东；要求不尽相同。CB/T 3718 规定是：85%以上的检测点干膜厚度不小于规定膜厚，其余检测点的干膜厚度不小于规定膜厚的 85%。

二、湿膜厚度控制

每种涂料，对于一定的干膜厚度均有相应的湿膜厚度，为使干膜厚度既符合规定膜厚，又不至于过多超厚，必须在涂装时严格控制湿膜厚度。湿膜厚度控制的方法有两种。

（一）定量的涂料用于一定面积的被涂表面

每种涂料，对于规定的膜厚都有其单位面积的理论涂布量，据此可计算出一定面积涂装中，理论上所需的涂料量。

在实际施工中，由于被涂表面状态不平整，风速的影响，环境条件和表面粗糙度的影响，使用工具的种类差异等等，涂料必有不同程度的损耗。因此，一定面积的被涂表面的涂装，在计算涂料用量时，必须将损耗因素考虑在内。通常，实船涂装用量约为理论用量的 1.5～1.8 倍。

涂料实际用量可按下式计算：

$$P = (1 + \alpha)\ QS$$

式中　P——涂料实际需用量，kg；

α——涂料的损耗系数；

Q——理论涂布量，kg/m^2；

S——涂装面积，m^2。

涂料的损耗系数。是由各种因素综合决定的，与船舶种类、被涂表面状态、膜厚分布要求、采用涂料品种等有关。一般情况下 α 值具体确定可参见表 2－3－1。

在计算出涂料实际需用量以后，操作人员应努力使这些涂料全部、均匀地覆盖于整个被涂表面。

这种湿膜厚度的控制方法，常用于船底防污涂料的施工中。为减少人为

因素引起的误差，在大面积施工时，应划分成一块块较小的面积来进行控制。

表 2－3－1　涂料损耗系数参考值

作业方式	干整表面	复杂表面
高压无气喷涂作业	0.6～0.8	0.8～1.0
手工辊刷涂作业	0.3～0.4	0.4～0.6

（二）湿膜厚度现场检

涂装作业人员在施工时应利用湿膜厚度计边检测、边施工、随时调整湿膜厚度。施工中，湿膜厚度的检测频数可以是任意的。在喷涂大而平整的表面，操作比较熟练时，检测频数可以小些。反之，被涂表面构造复杂，或操作不很熟练的话，检测频数应当大些。通过不断检测湿膜厚度，随时调整喷涂量，则可花较少的涂料；获得较均匀的符合规定膜厚要求的涂层。

三、干膜厚度的检测

干膜厚度检测必须在涂层干燥以后利用于膜测厚仪进行测定。

在粗糙的钢板上涂有较薄的底漆时（如车间底漆），用干膜测厚仪直接测定则显得误差较大。此时需用胶带固定光滑的试验板，让试板与钢板同时涂装，然后测定试板上的漆膜厚度。而通常的膜厚测定，可在涂层上直接进行。

检测时，测点的选择要注意分布的均匀性和代表性。船体的平整表面（如船体外板、甲板、上层建筑外表面等），应每 $20m^2$ 左右取一点检测其厚度。船体结构复杂的表面（如液舱内部、双层底内等），应每 $10m^2$ 左右取一点检测其厚度，且有 1/3 以上的构架型材，其表面、两侧面应有均匀分布的 2～3 个检测点。对于狭小舱室，小型液柜等面积较小的区域或部件，需保证每一面应有三个以上的检测点。而焊缝表面，距自由边 30mm 的范围内

和检测困难处不必进行检测。

四、膜厚数据记录

每次涂装作业都应作好现场记录。膜厚检测和数据记录应由专人负责。

对于非装饰性的表面，膜厚检测数据可用适当的记号笔直接写在涂层上，便于后道涂层涂装时调整施工厚度，然后再将数据转抄在记录表中。数据记录表要作一定时间的保存，即使是膜厚交验合格后也不能丢弃，至少要保存到交船以后，以备查考。

表 2－3－2 为钢材预处理流水线上车间底漆施工与膜厚数据记录表（样式）。表 2－3－3－为船体涂层施工与膜厚数据记录表（样式）。

表 2－3－2　车间底漆膜厚检测数据记录表

工程编号		钢板炉批号		涂料品种	
涂料粘度①，s		气温，℃		相对湿度，%	
规定膜厚范围，μm		钢板表面温度，℃		钢板前进速度，m/min	
喷涂压力，kPa		喷嘴型号		操作者	

试板号	正面检测记录，μm					试板号	反面检测记录，μm				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1						1′					
2						2′					
3						3′					

正面检测结果	检测点数		合格率 %		反面检测结果	检测点效		合格率 %	
	合格点数					合格点数			
检测者			验收结论			验收员			

①涂料粘度采用涂－4 杯流出时间。

五、膜厚数据整理

膜厚检测的数据，必须归纳整理以判别膜厚分布是否达到规定的要求。

（1）将表 2－3－3 中所有检测获得的数据，按大小依次分成若干组。检测点数与分组数关系见表 2－3－4。

表 2－3－3　船体涂层膜厚检测数据（μm）记录表

工程编号		施工部位			施工日期			作业者		
天气情况		气温 ℃	开始		湿度 %	开始		时间	开始	
			结束			结束			结束	
涂料品种		第几层			颜色			涂料粘度①，s		
喷涂压力，kPa		喷漆泵压力比			喷嘴型号			搅拌时间，min		

横向 X_i / 纵向 Y_j	X_1	X_2	X_3	X_4	…	…										X_i	$\overline{T}$
Y_1																	
Y_2																	
Y_3																	
Y_4																	
…																	
…																	
Y_j																	

规定膜厚		最低膜厚		最高膜厚		平均膜厚	
总测点数		检测者		记录员		主管	

①涂料粘度采用涂－4 杯流出时间。

表 2－3－4　检测点数与分组数关系表

检测点数	20～50	50～100	100～250	250 以上
分组数	5～7	6～10	7～12	10～20

（2）分组的组距按如下公式计算：

$$\frac{\text{最高膜厚}-\text{最低膜厚}}{\text{组数}}=\text{组距（取接近的 5 的倍数的整数）}$$

如检测点数为 233，最高膜厚为 393μm，最低膜厚为 210μm，以取 10 组为例，则组距为：$\frac{393-210}{10}=18.3\approx20$，即组距为 20μm。

（3）最高膜厚与最低膜厚不应与组距边界重合，宜取在组中值。在上例中，分组情况不应是 210～230μm、230～250μm、……390～410μm 等 10 组，而应分成 200～220μm，220～240μm，……380～400μm 等 10 组。

（4）根据测点总数和各组的点数，算出平均膜厚 T 和各组的频率。

（5）制成膜厚分布情况表（包括膜厚分布直方图），示例见表 2－3－5。

表 2－3－5　膜厚分布情况表（示例）

工程名称	××××	涂装区域	××分段底边水舱	规定膜厚	250μm
膜厚分布情况：					
干膜厚度，μm	点数	频率，%	频率直方图，%		
200～220	2	0.9			
220～240	10	4.3			
240～260	27	11.6			
260～280	40	17.2			
280～300	63	27.0			
300～320	48	20.6			
320～340	24	10.3			
340～360	11	4.7			
360～380	5	2.1			
380～400	3	1.3			
总　计	233	100			

六、膜厚交验

船舶涂层膜厚交验项目，应根据 CB/T 3513—93 或建造合同的规定加以确定。

船体外板、上层建筑外表面、露天甲板应在防锈漆涂装结束以后测量膜厚、交验。船底的防污涂层的膜厚应以湿膜厚度来加以控制。

压载水舱、饮淡水舱的膜厚应在最后一道面漆涂装结束以后测量膜厚、交验。

膜厚交验时应递交膜厚检测报告，报告形式参见表 2－3－6。

表 2－3－6　膜厚检测报告

工程名称		涂装区域		检测日朋	年月日
涂料品种				规定膜厚，μm	
最高膜厚，μm		最低膜厚，μm		平均膜厚，μm	
检测点数		达到规定 膜厚的点数		达到规定膜厚 点数百分比，%	
验收意见 验收人_____				附注： 报告部门_____ 报告入_____	

第二节　工程管理

船舶的涂装工程，主要分为两大阶段，即分段涂装与合拢后区域涂装两

个阶段。

所谓涂装的工程管理，可以认为是在船舶建造总进度总计划的指导下，涂装工程与船体、机电、舾装等其他建造工程的有机协调和合理配合的计划制定与实施的过程。

为此，涂装工程管理应做好以下几点：

（1）确保涂装工作在整个造船过程中的必要地位；

（2）每艘船的涂装工作应有全厂各部门共同必须遵守的施工方针原则；

（3）以严密的工程计划确保涂装工作的顺利进行。

一、涂装标准日程表

为了确保涂装工作在整个造船过程中的必要地位，首先应确保涂装工作必要的生产周期。因而，一家造船厂应该根据工厂的长线产品（即主要的批量生产产品）的涂装工作特点和工厂设备、劳动能力等，制订涂装工作的标准日程表。

标准日程表分为典型分段标准日程表和区域涂装标准日程表两种。典型分段标准日程表将由以下因素决定：

（1）使用的涂料种类；

（2）涂装的道数及其范围大小；

（3）工厂所处地区的气候特点；

（4）分段建造方式与运输方式；

（5）表面处理方式及质量等级要求；

（6）涂装作业方式、有无室内涂装工场以及工场的能力大小；

（7）质量检查的范围及验收顺序；

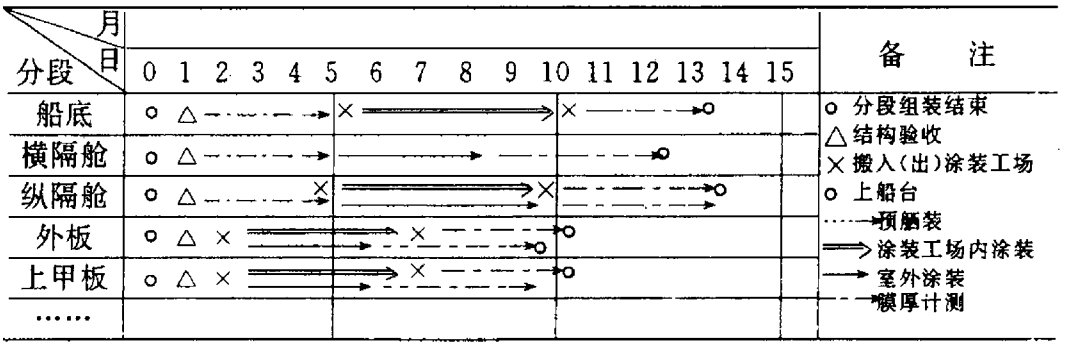
（8）工厂劳动力的负荷情况等。

表 2－3－7 是分段涂装标准日程表的形式。

区域涂装的标准日程表的制定比较复杂一些。区域涂装将分为船台、码头和进坞三个分阶段，每个分阶段的工作量，则由涂装原则工艺作出规定。为此，工厂必须先建立标准的涂装原则工艺，以确定主船体涂装的标准化工艺程序，而由此可确定各工艺阶段所必需的周期时间，然后再与其他工程如

船体结构、机电设备安装、管系舾装、舱室舾装等综合平衡考虑，才能制定得比较科学合理一些。

表 2－3－7　分段涂装标准日程表



涂装标准日程表的制定，是现代化造船管理的一个组成部分，它应现代化造船模式而生，又进一步促进造船涂装工程的现代化。

二、涂装工程施工方针

为了实现涂装管理的科学化和现代化，将涂装管理作为现代化造船管理的一个不可分割的部分，在每艘船建造之前，应制订全厂各部门共同需要遵守的涂装工程施工方针。涂装工程施工方针应包括以下主要内容。

（一）船舶要素与结构特点

船舶要素是指船型、船长、型宽、吃水、载重、船级、船东、主机、航速等主要参数。结构特点是指船体骨架形式、双层底设置区域、舱壁；艏、艉、上层建筑、甲板等构造特点。

（二）工程线表

工程线表是造船总计划的缩影。主要反映开工 、上船台、主机吊装、

下水、通电、系泊试验、试航、进坞、交船等主要生产节点的安排。

（三）船台计划

船台计划应反映基准分段名称和各分段上船台的次序以及冒程计划。

该日程计划从基准分段上船台起，以图表结合的方式依次表示各分段吊装日期和下水计划，以及下水后所有分段（主要是上层建筑分段或总段）的吊装计划。

（四）涂装要领

涂装要领应根据涂装说明书与涂装原则工艺，对原材料表面预处理、分段二次除锈的方式、负荷分配作出初步规划，对分段、船台、码头、进坞各阶段的涂装工作，从工程管理的角度作出若干必要的规定，如各阶段涂装需要配备的主要设备、脚手架形式、起重与运输、船台与进坞时是否移楞、下水前涂层修补、进坞时外板清洗等必须注意的事项与有关工作配合要求等等。

（五）分段涂装规格与周期时间表

涂装标准日程表的制订是为了在总体计划安排上能确保涂裴工作的必要周期。而每艘船，即使是工厂长线定型产品，涂装规格也会有所变化，分段涂装季节的各不相同，无疑涂装周期时间也会有相应变化。因此，应当对全船每一个分段，按不同部位的涂装要求，预算出周期时间。该周期不仅包括分段二次除锈与各道涂层涂装时间，还得包括涂层干燥（测爆合格）、涂层修补、脚手架（如果需要的话）搭建和拆除等工作所必需的时间。该周期时间表则将成为制订晋升密的涂装日程计划的依据。

三、涂装日程计划

在船舶建造的综合日程表确定以后，对生产进度实行严格管理的关键在于制定好中日程表，并且严格按中日程表的规定，安排好生产进度。中日程

表确定以后，为确保中日程计划，应以周或旬为单位制定每周（旬）。作业计划表，即小日程表。

表 2－3－8　分段涂装规格与周期时间表

分段名	涂装部位	分段阶段的涂装规格	周期时间，d
DB（1C）	No.5 货舱	Z# 1000FZ×1	4
	No.5 燃油舱	CK oil	
	机舱双层底	T/ENB×1	
	隔离空舱	C.A/C×1	
	外　　板	T/E×1＋V/T×1	
	燃油溢流柜	CK oil	
	回声测深仪舱	T/E×1	
DB（1W）P/S	No.5 底边水舱	T/EHB×1.1	3
	机舱双层底	T/EHB×1	
	空　　舱	C·A/C×1	
	外　　板	T/E×1＋T/T×1	
	机舱污水井	T/EHB×1	
DB（2）	外　　板	T/E×1＋V/T×1	3
	隔离空舱	C.A/C×1	
	泄水舱	T/EHB×1	
	污水舱	T/EHB×1	
	机舱污水井	T/EHB×1	
	机舱双层底	T/EHB×1	
SS（1A）P/S	外　　板	T/E×1＋V/T×1	3
	机　　舱	C.A/C×1	
	污油舱	Z＋＃1000FZ×1	
SS2（2A）P/S	外　　板	T/E×1＋V/T×1	3
	机　　舱	C.A/C×1	
DB（3） BC（3）	外　　板	T/EXl＋V/T×1	4
	No.3、4 底边水舱	T/EHB×1	
	No.3、4 燃油舱	CK oil	

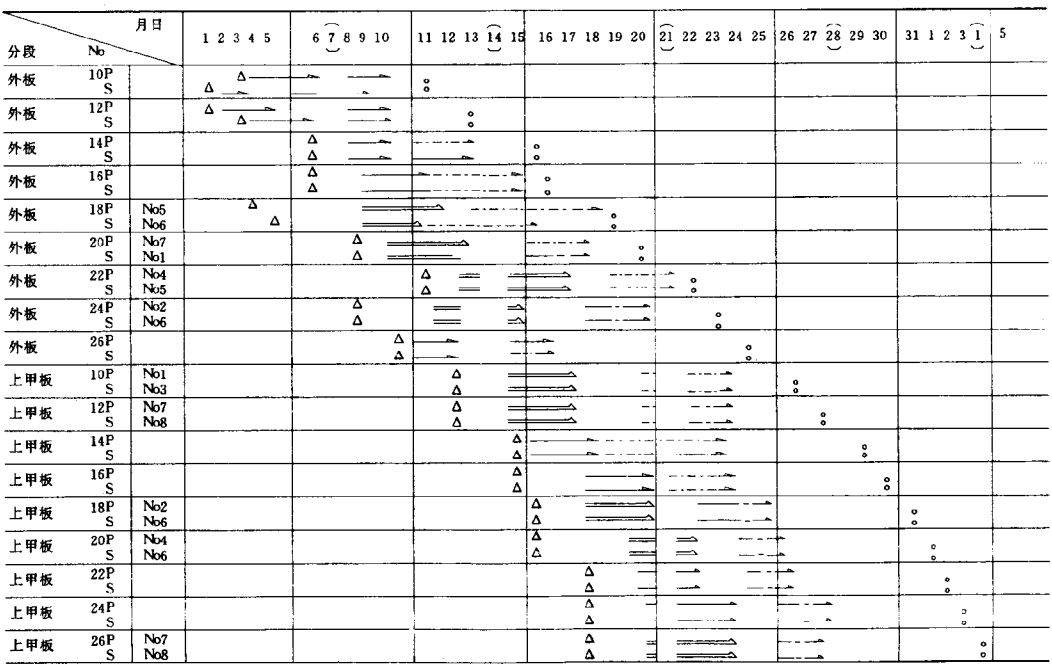
（一）中日程表

涂装中日程表一般分为分段中日程表和区域涂装中日程表两种。

分段涂装中日程表是在船体分段组装结束至吊上船台期间的涂装工程日

程表，需在船体分段建造的有关日程表确定以后才能制定。该表将排出每个分段从船体结构性验收后至上船台之日为止的详细日程。编制时必须以分段涂装规格与周期时间、表作为主要依据。分段涂装中日程表形式见表 2－3－9 示例。

表 2－3－9　分段涂装中日程表



区域涂装中日程表的制定，要与船体、舾装等工程的日程表统一考虑。制定时不仅要考虑区域涂装标准日程，还要考虑到脚手架的搭建、拆除、通风、防爆等相关工作的日程。区域涂装中日程表形式见表 2－3－10 示例。

（二）小日程表

小日程表是在中日程表计划的前提下，按周（旬）制定的进一步具体化的作业计划。由于生产部门在同一阶段时间内可能同时要应付几艘船的涂装工作，故必须在设备、工具、人员配备等方面统筹兼顾，合理安排。小日程表的形式见表 2－3－11 示例。

表 2－3－10　货船涂装中日程计划

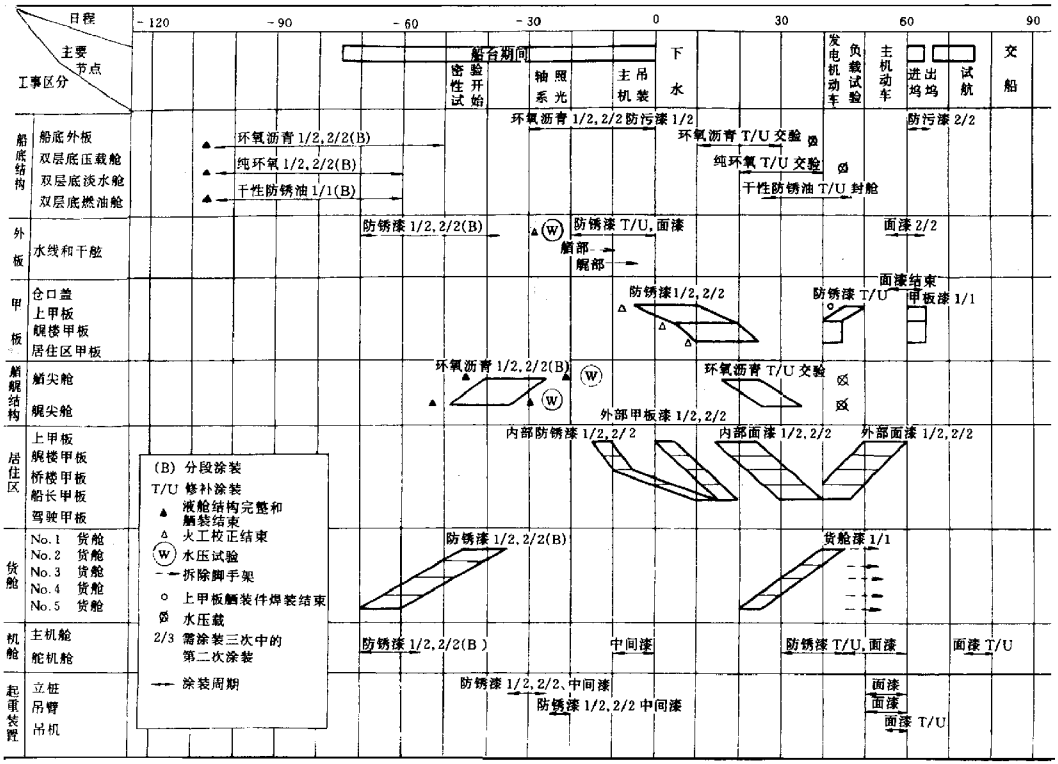


表 2－3－11　一周作业计划表

产品 \ 日程		9 日	10 日	11 日	12 日	13 日	14 日	15 日	备注
产品甲	锚链舱	测厚修补	通风提交	测爆					
	682A	内部表面打磨	险验第一道漆	测厚修补					
	机舱				壁顶打磨	检验第一道漆	测厚修补		
	外板				外板油漆全部结束			拆脚手架	

产品 \ 日程		9日	10日	11日	12日	13日	14日	15日	备注
产品甲	上层建筑	舱甲板、桥楼甲板上房舱地板底漆结束		室外甲板、主甲板上底漆结束房舱地板底漆结束					
	饮水舱		打磨	打磨	检验第一道漆	检验第一道漆	检验修补	检验修补	
	双层底				1～5# 双层底开始打磨				
	其他				固定可例木材装置喷丸除锈				
产品乙	1号	686 喷丸	687 喷丸	688 喷丸					喷丸检验合格后即按规定上底漆
	2号				201 喷丸	检验第一道底漆			
	3号			舷部分段陆续喷丸涂第一道底漆					

中、小日程表的制定应当精确，执行必须严格。只有如此，船舶涂装的工程管理才能实现现代化和科学化。

第三节　材料管理

涂装材料的管理，就是要以最小的材料费用，将所需要的性质和数量的涂装材料，及时投入生产作业之中，并在生产中获得有效使用的方法与过程。因此，涂装材料的管理重点在于：

（1）在涂装作业的每个阶段和时期，提供所需要的材料（涂料与稀释剂）；

（2）控制和跟踪监视材料的使用情况，预计材料的需求情况；

（3）掌握材料的库存、适时地调整订货情况；

（4）材料的正确保管；

（5）实行定额管理、限额发料，杜绝浪费。

一、材料预估

通常在船舶开工的三个月以前，就应订购涂装材料。由于开工前先要对钢材进行预处理，故车间底漆必需在开工前半个月以前到厂。

在船舶开工的三个月以前，往往船舶设计的全部结构图纸还未能完成，故涂料的需要量不能准确地计算出来，订货时，只能先作一个预估，根据预估量订货以保证不误生产需要。

车间底漆需要量的预估，可根据钢材预估单，算出钢材的预估面积，然后按涂料厂商提供的车间底漆的理论涂布量以及工厂实际生产时的消耗系数，算出车间底漆的需要量。

船体各部位使用的各种涂料的预估，要根据具体情况采取适当的方法推算。

如果该船舶产品属于定型产品，即过去已经建造过，则各种涂料的需求可参考以往船舶的材料定额和材料实耗估算出来。如果该船舶产品是首次建造，则各种涂料的需要量应先算出船体各主要部位的面积按照前面所介绍的公式计算。

二、材料纳期

一艘船的建造往往需要好几个月甚至一二年的时间，涂装材料的需要也得延续这么长的时间，故材料应该分批到厂。

所谓材料纳期，就是材料的到厂日期要求。确定材料纳期酌原则是保证材料不过早也不过迟到厂，既要满足生产的及时需要，又不至于造成过多的库存积压。

确定材料纳期是一项比较复杂而细致的工作。由于材料订货时，船舶的

分段结构图往往不一定全部出齐，涂装中日程表也不一定能够确定好，因此，只能根据综合日程表，即船舶的主要生产节点和以往工作的经验确定初步的纳期，使涂料厂商对涂料供应计划心中有底。

随着设计的深化、涂料定额的确定以及涂装中日程表的制定，就可计算出每个阶段、每种涂料的需要量，然后对照材料订货时初步确定的纳期，向涂料厂商提出一份涂料数量和纳期的修正意见，必要时应对合同加以修正。

如果涂料厂商是国内的话，则涂料纳期以一个月供应一批货为好。如果是国外进口涂料，则以二三个月供应一批货为好，纳期间隔太短或太长都会给船厂本身和涂料厂商带来不必要的，麻烦。

三、材料定额

涂装材料的定额，应该与涂装生产设计结合在一起加以考虑。具体工作由设计部门或生产设计部门负责。涂装材料定额应由以下条件确定：

（1）全船各部位的涂装面积；

（2）各种涂料单位面积的理论涂布量；

（3）涂装层数；

（4）涂料损耗系数（根据工厂有关标准）；

材料定额一经确定，应正式通知（下达）给施工部门和物资管理部门。施工部门对下达的材料定额若有疑义，应及时与设计部门取得联系，设计部门应根据具体情况，作出修正或不修正的决定。施工部门对正式确立的材料定额，应认真落实（或作一定分解后落实）到每个具体工作对象（作业小组或个人），要确保在定额规定的范围内，完成涂装作业。

当定额量有较多的富裕或较大的不足，施工部门应及时反馈给设计部门，由设计部门修正定额并通知物资部门调整订货。

物资部门应对施工部门实行严格的限额发料。

除特殊原因外，对超额使用材料的情况应追查有关责任并给予一定的处罚。反之，对材料的节约亦应给予相应的奖励。

四、材料保管

在正常的条件下涂料的贮存有效期为一年。如果保管不当，则会缩短有效期，引起提早变质、报废。保管得当则可大大延长有效期，可减少许多浪费。为使涂料质量能长期保持稳定，需创造以下条件。

（1）一般涂料应置于 0℃以上、40℃以下的环境中贮存，锌粉和无机锌涂料最好贮存于 30℃以下、相对湿度为 70%以下的环境中，以免结块变质。

（2）涂料仓库必须通风良好，避免阳光直接照射在涂料罐上。

（3）为避免涂料中颜料沉淀和结块，对较长时间不使用的涂料，尤其是含有铅、锌、汞等重质量的防锈颜料的涂料和相对密度较大的防污涂料，每 2～3 个月应将涂料罐上、下倒置一次。

（4）库存涂料应分类、分批堆放，做到先入库的先发放，尽量在贮存有效期内发放使用完毕。如涂料已超过贮存有效期的话，使用前应检查，确认无变质方可使用。

在贮存过程中，涂料产生的弊病及处理方法见表 2－3－12。

表 2－3－12　涂料贮存中的弊病与处理方法

弊病	理象	原因	处理方法
胶化	涂料失去流动性成冻胶状	贮存时间过长，贮存条件大差，涂料内部产生一定的化学反应导致变质	改善贮存条件，缩短库存时间，对于变质的涂料加以废弃
		低温时，乙烯型、环氧型涂料特有现象（非弊病）	贮于较温暖的场所加温后使用
		具有触变性的厚膜型涂料特有现象（非弊病）	充分搅拌可提高溅动性
沉淀板结	颜料沉于罐底结块	贮存时间过长，颜料相对密度较大	充分搅拌使之分散均匀，颜料板结严重，不能分散时，则予以废弃

弊病	理象	原因	处理方法
结皮	涂料表层干燥结成皮膜	防结皮剂加入过少或干燥剂加入过多 开罐后未加密封放置或大罐中贮存少量涂料	除去结皮部分，槐情况适当稀释过滤后使用，结皮严重者予以废弃
浮色	涂料中敷种颜色浮于表面，呈现斑纹分离现象	涂料中颜料分散状态差	充分搅拌混合均匀仍可使用

五、材料发放与退料处理

涂装材料应严格实行限额发料与专料专用。为此，仓库在材料进库时应按船舶对象、涂料品种、颜色等分门别类地作好登记并妥善堆放。领料应经过审批，确保在定额的范围之内。

船舶交货后，施工部门如有积余的涂料，应及时退回仓库。仓库应及时通过主管部门通告设计部门，设法给予处理。

对于积余的涂料，通常应用于后续船舶上。无后续船，则应与有关船东商量，代用于其他船舶上，或转用在船厂的其他产品上，或调拨给其他单位。也可以在涂料订货时与涂料厂商谈妥，剩余涂料退还给制造厂，由涂料制造厂处理。

第四节　工时管理

工时管理的目的在于降低制造成本，明确工程进展情况，把握适当的工作量以确保整个建造进度，并配合恰当的劳动力以提高生产效率。工时管理是涂装管理中主要组成部分之一，与其他管理工作之间有着密切的联系。尤其是与工程管理的关系，其紧密程度达到几乎不能分割的地步。所以要搞好

工时管理，必须与搞好其他各项管理工作同步前进。

一、工时预算

工时预算是船舶建造前为预估船价和建造成本，对船舶涂装作业所需的工时数作一个概略的预算。这样的预算是建立在以往实践的基础之上，有一定的可靠性。但即使同类型船舶，由于船东对涂装的具体要求不同，涂装的工作量也往往大不相同。因此，这样的预估，其精度并不高，应根据实际情况作适当的修正。涂装工时的预算方法有许多种，本文介绍简便常用的一种——L（B + D）法。

每个具有一定历史的造船厂，均积累有大量船舶建造的实践数据。L（B + D）法，就是将所建造的各种船的船长（L）、船宽（B）、型深（D），按 L（B + D）式进行计算所获得的值作为坐标系的横坐标，将该船的实际涂装工时的值作为纵坐标，在坐标系上定出各相应点，然后将各点按船的类型作成各条曲线，则新造船的预算工时，可根据新船的乙（6 + D）值，从曲线上找到对应值，详见下图。

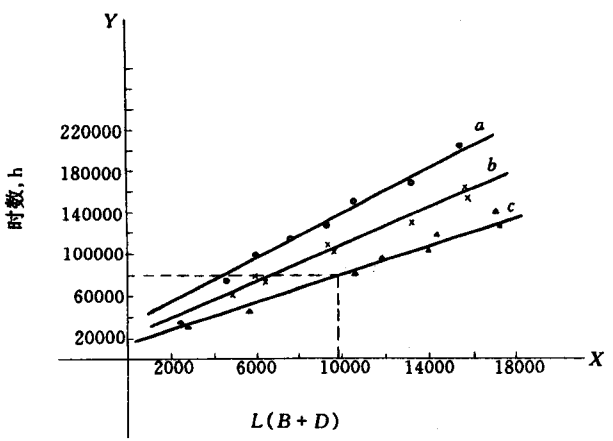


图　L（B + D）法工时预算图

如新造一艘油船，L = 215m，B = 32m，D = 14m，则 L（B + D）= 215（32 + 14）= 9890，从上图中，取 X = 9890，作一垂线与表示油船的曲线 c

线相交，从交点推平行线至 Y 轴得 80000，即约需 8 万工时。

二、工时定额

工时定额，乃是船舶实际建造时，对每一项具体的涂装作业进行比较准确的工时估计，以此代表工作量的大小，对操作人员的工作能力与工作效率进行定量考核。

涂装作业的工作量，主要取决于作业面积，但亦与表面处理的等级要求、涂装的材料、方式、膜厚等因素有关。因此，定额工时的计算不能单纯的以作业面积为依据作简单的确定，而应当先根据各种因素确定各种施工条件下的标准定额工时，然后再按相应的条件下的施工面积确定其工时定额。

（一）标准工时定额

涂装的标准工时定额是针对不同的施工部位与施工要求而定出的一系列工时定额单位。表面处理作业的标准工时定额，主要由以下因素决定：①作业的方式；②作业的工具设备；⑧表面处理的等级要求，④作业场所与作业环境等。

涂装作业的标准工时定额，主要由以下因素决定：①作业的方式；②涂装材料；⑧涂装的膜厚要求；④作业场所与作业环境等。

此外，还有许多影响标准工时定额的因素，如是否需要搭建脚手架，是否需要起重设备或作业车的配合，是否有其他辅助工作（如通风、照明）等等。上述因素的考虑，可分别规定一个相应的系数，在计算定额工时作出修正。

1987 年，中国船舶工业总公司颁布了行业标准 GB1069—87《造船涂装工时定额》。该标准工时定额包括了造船涂装工程中表面处理与涂装工作所需的基本时间、辅助时间，布置工作地时间、休息与生理需要时间、准备与结束时间等。该标准规定的内容详细、具体、是涂装工时管理的工作依据。

（二）工时定额

在涂装详细设计完成以后，应立即对各具体的涂装工作进行工时定额的