油漆检查员的任务与职责

人们一般认为油漆检查员不是初级质量控制的一部分，初级质量控制完全是由表面处理和油漆施工的操作人员来负责的。尽管如此，建造者及其分包商也是可以获得油漆检查员所提供的服务的。油漆检查员的任务应在合同中通过各方协商加以规定，其职责以及所要求具备的知识和技能也是如此。

职责

油漆检查员应当负责确认并保障涂料系统按照规格说明书、相关标准和有益实践的要求，通过包括（准备）参照区域取样和现场控制在内的监测工作，完成了防腐保护工作。

油漆检查员应负责完成合同或规格书指定的其他所有工作。

为避免知识和技能陈旧，油漆检查员有责任积极把握钢结构涂料防腐领域的发展趋势。

油漆检查员应根据规格书完成工作。

.

钢结构防腐工作的各阶段以及各方面包括：

设备：　油漆检查员应当确保涂装设备数量充足，并符合设备规格书和工程的要求。

在防腐工作的全过程中，油漆检查员应对设备使用情况进行监测和记录。

油漆检查员在日常工作中所使用的设备应随时进行校准，并保持良好的工作状态。

钢材处理：　油漆检查员应当确保钢材表面的瑕疵、边缘以及焊缝都按照规格书进行了处理。

表面处理：　油漆检查员应当确保表面在施工时符合规格书要求。

油漆施工：　油漆检查员应当确保油漆的施工符合规格书和供应商使用说明书的要求。

气候条件：　油漆检查员应当对微观和宏观气候条件进行监测和记录。当监测发现现有气候条件与规格书要求不符时，油漆检查员应对矛盾加以解决。

环境、健康与安全：　油漆检查员有责任熟悉通用的关于环境健康安全的条例、法规和指导。

报告制度：　　在防腐工作的全过程中，油漆检查员应当对各个工作阶段的记录进行不断更新。经过一定时间间隔，就应当编制并提交报告。这些报告的形式会随各种防腐工作要求的不同而不同。

调查：　　除非在必要情况下，不应要求油漆检查员向除甲方之外的人员就是否采取某种防护工艺的效果发表意见。

知识

油漆检查员应当充分掌握下列知识：

- 典型的位置问题（车间、现场）
- 钢材的处理和清洁方法
- 油漆以及其他防护涂料的施工方法
- 油漆涂料的功能机理
- 油漆涂料的特点
- 相关代码、国家法规和标准

油漆检查员应当大体掌握下列知识：

- 典型的设计要求
- 适当的材料技术
- 腐蚀原理
- 阴极保护
- 根据应用范围，用于表面处理和涂料施工的设备
- 锌、铝及其合金的热喷涂施工
- 油漆涂料的症状以及/或者崩溃模式
- 与健康和环境有关的风险要素
- 正确的废物处置

技能

油漆检查员应当能够：

- 阅读并理解规格书
- 根据规格书进行安排并开展工作
- 所有跟工作有关的检验设备的校准和使用
- 使用跟工作相关的表格与标准
- 对下列相关问题进行评估：
  - 钢材的表面处理
  - 涂料和其他防护涂料的正确使用
  - 相容性（如，与其他油漆）
  - 一般情况下可以适用的设计条件（如连接、电偶、可用性、盒体以及其他

空心构造等）
装配及生产方法
环境分类（如腐蚀类别、腐蚀应力等）
表面状况（如预处理底漆、镀锌、金属化处理、现有的涂层系统等）
位置（如车间或现场、一般情况等）
人员（如操作人员技术等）
与规格书的差异
所指出的健康安全和环保保护
颜色及色卡
正确的施工
文件记录和报告

- 确保产品在指定区域的正确施工，并编写这些区域的相关报告
- 编写检查报告，并确保此类报告的正确发送
- 根据标准的规定竭尽所能解决矛盾

任务

我们所必须了解的是油漆检查员，为建造者/分包商工作的除外，都属于我们所说的**二级质量控制体系**。因此他们不必采取任何直接行动，对不符合规格书、标准或者与优良技术的要求和实践不符的操作进行纠正。

二级质量控制的内容包括开展随机检查，查看工作的正确完成与否。如果发现了差错，就必须由建造者/分包商加以纠正。从事二级质量控制的人员无权中止工作（安全理由除外），这是因为像油漆检查员这样的二级质量控制人员的职责就是观察、监督和报告。

腐蚀

引言

腐蚀是由于材料与所在环境的相互作用而发生的自然变质或损坏。腐蚀主要发生在金属中，该术语用于描述金属与氧气之间的反应。大多数人将腐蚀一词和生锈联系在了一起，但所有的材料都会发生表面变质。尽管其中存在物理和机械因素的作用，但通常都是化学或电化学过程。

由于更换腐蚀构件和保护现有构件而给社会造成的腐蚀成本预计每年约占一个县的GNP的2-4%，虽然该百分比很可能偏高，但如果是正确的话，这就意味着对挪威来说年成本将达到约30亿美元。在美国，据计算1985年的腐蚀成本超过100亿美元。从这些可能的正确数字来看，每年腐蚀对社会造成的成本显然是巨大的。这些成本中有很大一部分是可以大幅度降低的，但由于大部分所发现的损坏都是由于人们对腐蚀以及有利于发生腐蚀的条件缺乏足够的认识。人们往往没能对材料进行正确的选择，而对同种材料的保护也往往不够充分。

金属的腐蚀通常仅局限于表面。有些情况下，如铝材，表面会形成一个氧化层，成为阻止其进一步接触氧气的阻挡层，从而抑制了腐蚀的发生。干燥空气中铁的氧化层薄得都

无法用肉眼看见，它为铁提供了保护。但在潮湿的情况下，就会形成氧化铁的氢氧化物，铁就会变得多孔，可以吸收氧气，使腐蚀得以进行。

人们数十年来一直在努力通过向纯金属中添加其他物质来抑制或者阻止金属的腐蚀，取得了不同程度的成功。向铁中所添加的微量物质可能加快腐蚀的速度，但一些其他物质则可能抑制腐蚀。在黄铜中添加铝可以使它更耐腐蚀。采用不容易发生腐蚀的材料解决腐蚀问题的缺点在于与原来的金属相比，其物理性能往往会有所缺失，或者由于合金的成本而导致成本增加。

最常用的防腐方式就是给需要保护的金属外加一个有耐受能力的表面涂层（或者敷层）。此类涂层所使用的材料各不相同，但最常用的是油漆、塑料、橡胶、陶瓷以及通过各种方式（如电镀、热浸镀锌、喷涂等）施用在表面上的其他金属，如铝、锌、铬或镍等。

在使用防护性涂层系统保护金属结构免遭腐蚀时，所有的相关人员，从构件的设计师、油漆工人一直到涂料检查员都至少必须对腐蚀及其影响因素有基本的了解。这些化学知识是不可或缺的。

化学反应

对化学反应的研究构成了所有化学的基础，不论是有机还是无机的。所有的化学反应都涉及到分子内或者分子之间化学键的形成和断裂，从而形成了不同的物质。化学被人们定义为物质的科学——研究物质的组成、结构和属性，以及存在于其自身或自身与其他物质的产生新物质或者变样物质的反应。

> *当氢气和氧气结合形成我们称为水的化合物时，一个简单的化学反应就发生了。从分子的层面上来看，这是由于两个氢原子和一个氧原子形成一个化学键，产生了水（H_2O）。*

我们常常把化学反应与**物理变化**混为一谈，这应加以避免。状态的改变是物理变化，这经常与化学变化混淆。

> *和大多数物质一样，水由于受外部影响的诱导，如压力、气温等，可以以各种状态存在。当加热到沸点以上时，水就转化为蒸汽，而当冷却到凝固点以下时，就会结成冰。各种状态的水形态各异，物理属性也各不相同，但它还是H_2O。*

化学反应与能量有关，在化学反应中，不是需要能量来开始或者维持化学反应，就是反应将释放能量。化学反应所释放的能量被称为**放热**，而反应所需要的能量被称为**吸热**。化学反应中所涉及的能量形式可能包括热量、压力、辐射、电能等，但是当我们具体讨论涂料的化学反应时，我们主要探讨的就是热能。

> *氢氧之间形成水的反应会释放出一定量的热能。因此该反应为放热反应。水分子一旦形成，仅仅通过水的冷却（放出热量）我们是无法打开原子之间的化学键的。只有将与原反应所释放的相同的能量（例如以电能的形式）归还给水，断开将氢氧原子结合在一起的化学键，这个键才能打开。后一种反应属于吸热反应。*

化学反应是通过在反应过程中物质**化学属性**的变化来加以鉴别的。这种属性的变化可能非常复杂，一般还很持久。

> *食盐（NaCl）溶化时，在溶液中通入直流电就能分解成元素。在负极上，我们将得到银色的熔化金属钠（Na），而在正极上我们将得到释放出来的黄绿色有毒氯气（Cl）。*

从上述例子我们可以看出食盐的融化仅仅发生了物理变化，而只有当我们将电流通过溶液时才得到了化学属性的改变。这种变化实际上是非常复杂的，因为两种元素之间化学键的打开使食盐从一种无害的物质变成了两种基本元素，其中一种还具有很强的毒性。

何为腐蚀？

对于大多数人来说，腐蚀只不过就是**棕红色的铁锈**而已，是钢铁受到腐蚀时所形成的副产物。尽管这种铁锈是最常见的腐蚀副产物，但我们还发现了铜发生腐蚀时形成的**绿的锈蚀**（铜锈）（尽管这种锈斑大部分情况下被看作所谓的“铜绿”）和锌发生腐蚀时形成的**白色“锈蚀”**。

为什么我们在构件中所使用的材料会以这种形式发生损坏呢？回到金属上来，我们知道大部分金属都是通过向矿石中加入大量的能量而形成的。在它的自然状态下，矿石与其他各种元素，如碳或硫等，联结在一起。金属的自然状态是最稳定的，而且不容易发生腐蚀。

而在金属（如钢或铝）的生产过程中，我们改变了矿石的自然状态，使其接触大量的能量，不论是在高炉、电炉还是在电解过程中。这部分能量的加入使矿石被分解成为了形成熔融状态的纯金属单独元素以及其他不需要的残留产物，通常被我们称为**炉渣**。金属从炉渣中被分离出来，冷却到固态。在这一固态情况下，金属非常容易发生腐蚀，且其残留能量处于高水平。

制作工艺，如轧制或挤压等，可能向金属施加额外的能量。钢板的轧制要让红热的钢材接触氧气，在钢材表面形成一个氧化层。这层氧化铁被称为**氧化皮**。当氧化皮保持完好时，就能保护钢材，但氧化皮是非常易脆的，暴露在室外就会迅速开裂和分解，从而使钢材遭受腐蚀。腐蚀的副产物铁锈在组分上与铁矿石是非常相似的，因此比钢铁更加稳定。铁锈的能量水平要比后者更低，非常接近于铁矿石自然存在状态下的能量水平。

腐蚀理论

金属的腐蚀是需要电导液或导电物质的一个电化学过程，也就是我们所说的**电解液**和氧气。水常常被作为电解液（海水是非常好的电解液），甚至冷凝水或者是雨水通过吸收大气中或者基材表面上污染物中的颗粒，也可以导电。

电解液就是具有导电性的液体。

接触导体如其他金属或者电解液时，金属很容易释放出被称为**电子**的带电颗粒。物质释放出一个或一个以上电子，就会因为原子核中正电子的存在而带正电。吸收电子的物质会由于电子的负电荷而带负电。带正电或者负电的物质被称为**离子**。在一些金属中，这种趋势很弱，如铂或金等。电子释放量很少的此类金属被命名为**贵金属**。其他带有离子释放趋势强烈的金属，比如铝或锌等，都被命名为**贱金属**。

如果将两种金属浸没在电解液，但不直接接触，那么这两种金属就会以一定的速率发生腐蚀。但如果两种金属有直接接触，那么其中的贱金属腐蚀速度就会明显加快，而贵金属的腐蚀速度就会减慢或者被抑制。腐蚀速度取决于若干因素，例如所涉及金属的种类、与电解液的接触时间、电解液的成分、基材表面上的污染物等。

试想将钢直接接在铜上，并浸泡在一种电解液中。当一个铁原子被释放到表面上时，它会释放出两个电子，并成为铁离子（Fe^{++}）。释放电子的一侧被称为**阳极**。阳极通过腐蚀被消耗。电子（带负电）通过钢传输给铜，而铜就成为了阴极。阴极形成氢氧根离子。这些离子将与铁离子发生反应，然后与空气或者电解液中的氧气发生反应，形成铁锈，或者含水**氧化铁**（Fe_2O_3; $Fe_3O_4 + H_2O$）。

我们在电池中就利用了这种现象。传统电池就是将碳棒或者石墨棒浸在电导性物质（电解液）中。极棒和电解液都包裹在锌壳中。极棒和锌壳都与电线（极）相连接。如果将合适的小灯泡接在两极上，灯泡就将被点亮。电池释放出电流。一段时间后，随着锌壳（阳极）被**溶解**耗尽（即，腐蚀），这种电流的释放就将终止。

贱金属会被溶解，并在阳极释放出电能。这部分能量将被阴极所吸收。

对于腐蚀的发生来说，并不一定要像上面的例子那样，将两种不同的金属连接在一起。钢实际上是一种合金，当它暴露在户外环境中时就会发生腐蚀。这是因为在显微镜下看来，钢的成分并不均匀。所有的钢材上都存在包含贵和贱金属颗粒的微小区域。如果不对钢材进行涂装，并使其接触电解液，那么氧化皮、石墨或者其他贵物质的颗粒就会形成很小的阴极，而钢本身将成为阳极。这些区域就形成了微小的“电池”，发生腐蚀。腐蚀将溶解阳极（钢材本身），并保留阴极完好无缺。然而，必须指出的是，阴极周围的电解液性质会发生改变，成为碱性（pH值增大）。

反应过程如下所示：

铁 +氧气 +水 + 能量↑ ➔ 铁离子 + 氢氧根离子 = 氧化铁 + H_2O

除了在阴极形成氢氧根离子外，还可能发生其他反应。在酸性溶液或者酸中，会生成氢气。贵金属还可能通过溶液分解出来，沉积在阴极的金属上。

电流序列（金属活动序列）

金属的耐腐蚀性就是指金属在环境中抵抗腐蚀的能力。金属或合金的耐久性取决于金属本身以及对其所施加的影响。

所有的金属或者合金都包含一定数量的残留能量。这部分残留能量是可以进行测定的（以伏特计）。这种测定值被称为电势或者电压。两种金属之间的电势差可以用伏特表来测定，但如果我们想测定单独或者一起测定某种金属的电势的话，我们就需要使用参考电极了。参考电极的作用就像零刻度一样。这里的参考电极是指**标准氢电极（SHE）**。它在所定义的电解液中0°C时的电势为0伏。

为了测定海水中的电势，应使用下列参考电极。

电极	电解液	电势
银/氯化银 Ag/AgCl	海水	约为+ 0.25 V
铜/硫酸铜 $Cu/CuSO_4$	海水	约为+ 0.30 V

两种参考电极的电势都高于氢电极。

金属和金属合金可以根据其抗腐蚀能力进行排列，就是我们所谓的**电流序列（金属活动序列）表**。这种 金属活动序列表是通过测定金属或者合金在定义环境中的电压或者电势而建立的。

金属浸没在海水中的活动序列是最常见的，而且从中我们可以迅速确定当连接在另一种金属上时，哪种金属会发生腐蚀。电势低于另一种金属的金属被认为不如另一种贵。当两种金属连接在一起时，最好要尽量减少腐蚀的发生。如果无法隔绝金属直接的电学接触的话，则应该尽可能减小两种金属的电势差。如上所述，腐蚀过程的推动力就是金属之间的电势差。电势差越大，贱金属的腐蚀就会越严重。由于两种金属之间的电势差或者合金本身内部的电势差造成的腐蚀，被称为**电流/双金属腐蚀**。

金属的腐蚀很大程度上取决于金属所接触的介质。铝合金和不锈钢在城市里或者工业大气环境中不会发生严重腐蚀。然而，同种金属接触海水时则会发生严重腐蚀。

有些金属或合金的电势可能不是固定的。这是因为这些金属被一层很薄的保护氧化层所覆盖。只要氧化层保持完好，它就能实现我们所说的金属的**钝化**。如果氧化膜遭到破坏或者被去除，金属的电势就会发生变化，金属就会进入我们所说的**活性**状态。由于氧化膜的去除而降低其耐腐蚀性能。

含有这种钝化膜的合金包括不锈钢和耐酸钢、镍铝合金等。水和氧气的充足供应将重新形成氧化膜，但如果金属表面受到污染或者是脏的，那么氧气的供应可能受到影响，并发生腐蚀。

如果在外部条件影响下，两种相似金属的电势发生了改变，那么就可能发生电流/双金属腐蚀。供氧的变化就是此类外部影响中的一个例子。

下表说明了某些针对商业用途的金属材料在海水中的电流序列，列表最顶端为电势最高的材料。电势高说明防腐蚀能力强。

贵金属（阴极）
铂 金 石墨 钛 银 耐热镍基合金(62 Ni, 18 Cr, 18 Mo) 镍基合金C (62 Ni, 17 Cr, 15 Mo) 18-8-3 不锈钢（钝化） 18-8 不锈钢（钝化） Inconel合金 (80 Ni, 13 Cr, 7 Fe) 镍（钝化） 银焊料 蒙乃尔铜-镍合金 (70 Ni, 30 Cu) 铜镍合金 (60-90 Cu, 40-10 Ni) 青铜合金(Cu-Sn) 铜 黄铜合金 (Cu-Zn) 耐热镍基合金 (66 Ni, 32 Mo, 1 Fe) 镍基合金(60 Ni, 30 Mo, 6 Fe, 1 Mn) Inconel合金（活性） 镍（活性） 锡 铅 铅-锡焊料 18-8-3 不锈钢（活性） 18-8 不锈钢（活性） 耐镍铸铁 铬基不锈钢11-30 Cr（活性） 铸铁 钢或铁 2024铝 (4.5 Cu, 1,5 Mg, 0.6 Mn) 镉 纯铝 锌 镁及镁合金
贱金属（阳极）

表格中分为一组的合金可以同时使用，对两种金属都不存在发生严重电流腐蚀的危险。

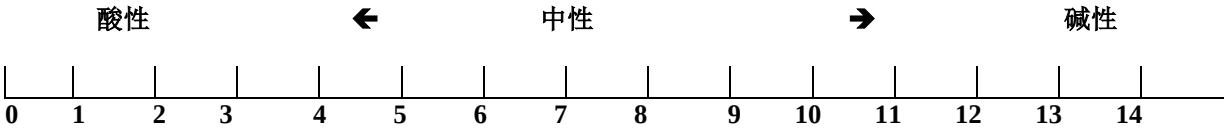
腐蚀性环境与pH值的影响

在干燥的内部空间里，发生腐蚀的危险是很小的。但一旦暴露在室外，受到环境的影响作用，如日晒、雨水污染和气生污染等都会使情况发生改变，通常这些影响会提高大部分金属的腐蚀速率。

气生污染尤其会产生不利影响。相当多从工业排放到大气中的气体，不是酸性或碱性物质，就是将转化成为酸性或碱性物质。这些物质——通常为水溶液——会对金属以及其他构件材料造成腐蚀。

当我们需要说明溶液的酸碱性时，我们会测定溶液的pH值。通常这一数值的测定范围为0-14，如下图所示。

pH值范围：



纯水的pH值为7，说明溶液处于中性。pH值低于7为酸性溶液，而pH值高于7为碱性溶液。酸碱度是按照对数构建的，也就是说，从中性开始，前进或者后退一个单位，溶液的浓度就将增加10倍。pH值为4的溶液浓度将是pH值为7的溶液浓度的10 x 10 x 10 = 1000倍。

一般来说金属的腐蚀在酸性或者碱性溶液中会有所加剧。铝和锌在碱液中的腐蚀速率会加快，而钢接触碱液时，则会在钢材表面上形成一层氧化铁薄膜，而发生钝化。这种钝化膜能为耐腐蚀提供良好的保护。大部分金属在酸液中都将被迅速耗尽。

据有关发现，当钢筋嵌在混凝土中时，钢材在碱性环境中会发生钝化。只要混凝土保持碱性，钢筋就不会发生严重腐蚀。

由于气生污染物被溶解在雨水或者冷凝液水中，常常会形成酸，导致对基材表面的腐蚀。暴雨将冲刷掉此类污染物，但小雨和冷凝液却无法做到这一点。灰尘和盐等污染物能够吸收水分（这些污染物是吸湿性的），从而延长潮湿时间。这也正是位于降水极少但总体湿度很高的区域内的构件可能发生严重腐蚀的原因所在。

腐蚀类型

基本上，所有的腐蚀都是物质的原子核周围壳体向外散出一个或一个以上的电子，于是留下了一个带正电的离子。因此，在[几乎]所有的情况下，腐蚀都是电流性/双金属的。尽管如此，由于腐蚀本身有多种表现形式，而腐蚀的开始和传播又在很大程度上受到外力的影响，因此为了加以互相区别，我们又对腐蚀的这些子形式进行了命名。

各种腐蚀类型形式的系统清单列举如下：

腐蚀并使受影响区域均匀变薄的腐蚀类型：

一般/均匀腐蚀

大气腐蚀
电流/双金属腐蚀
杂散电流腐蚀
一般生物腐蚀
液状金属中的腐蚀
高温/热电腐蚀

在特定区域金属穿透率很高的局部腐蚀：

点状腐蚀
裂缝/沉积/氧浓差腐蚀
丝状腐蚀
局部生物腐蚀
化学腐蚀

受合金化学和热处理影响的冶金影响腐蚀：

粒间/晶体间腐蚀
脱合金成分腐蚀/选择性腐蚀

机械分解：

冲刷腐蚀
磨损侵蚀
气穴现象
跌落冲击腐蚀
腐蚀疲劳

环境导致的开裂：

应力腐蚀龟裂（SCC）
氢脆化
液状金属脆化
固体金属引发的脆化

仔细研究更为常见（也更加重要）的那些腐蚀类型，我们发现：

一般腐蚀

在金属表面平均扩散的腐蚀被称为一般腐蚀。此类腐蚀中金属的消耗是相当平均的。我们发现同一表面上同时发生了阳极反应和阴极反应。这是由于金属表面上的外来元素，或者钢合金中电势能不同的各种元素，或者电解液的不同，造成各部分势能各不相同的缘故。

从技术角度来看，这类腐蚀并不会造成特别的难题。通过许多试验都可以对腐蚀速度进行非常精确的计算，并对不同金属制成的构件的使用寿命进行精确的估算。

如果某构件中的钢材以每年0.05mm的速度被均匀腐蚀，那么钢材厚度减少2mm就将耗费40年时间。如果保持结构完整（安全）性所需的钢材厚度为7mm，而构件的寿命估计为40年，那么就需要使用初始厚度为9mm的钢材用于该物品的制造。

通过下列的一种方法，可以延缓一般腐蚀的发生：

- 选择合格材料
- 阴极保护
- 涂装
- 添加抑制剂（只用于长期接触液体的系统）
- 改变环境条件（如除湿等）

大气腐蚀

这种腐蚀是一般腐蚀的子类型。它只发生在大气条件下（一般腐蚀还可能发生在浸没条件下），而且它的腐蚀速度虽然较为缓慢而且可以预测，但在很大程度上受到大气腐蚀环境的影响。

随着氧化层在发生腐蚀的金属表面上的积累不断增加，氧气无法进入金属表面，腐蚀速度也就减慢了。

电流/双金属腐蚀

当在电解液中的两种材料之间存在导电接触时，就会发生电流/双金属腐蚀。这是最常见的腐蚀类型之一，可能也是最危险的一种。其危险在于，在条件允许的情况下，在腐蚀电池中作为阳极的金属的腐蚀速度非常迅速并无法控制。

阳极的腐蚀在接触点处是最严重的，其腐蚀程度会随着与接触点距离的增加而减小。腐蚀损坏的外观各异，并取决于多种因素。其中两种金属的面积关系以及电解液的导电率是至关重要的。阴极表面积大而阳极表面积小，阳极的腐蚀就会加快而且非常严重。另一方面，阴极小而阳极大，阳极的腐蚀速度就较慢。

电流/双金属腐蚀的推动力是两种相关金属之间的电势差，电势差越大，腐蚀速度就越快。从在海水中的电流序列表中我们可以相当精确地预测出发生电流/双金属腐蚀的危险性。

化学品轮液舱中的不锈钢加热盘管是应该与支柱上不含有害物质的钢制支架隔开的，但工人在安装加热盘管时，忘了使用随附的特氟纶垫片。在过了很短的时间后，支架和支柱发生了腐蚀损坏，造成盘管发生松动和断裂。幸运的是没有造成事故，但必须支付更换支柱、支架以及（部分）盘管的成本。船只也必须停用一段时间，

又进一步增加了损失。

电流/双金属腐蚀可以通过以下措施得到缓解：

- 采用合适的电焊条
- 避免不良的金属接触
- 将材料彼此绝缘
- 使用屏蔽涂料或者油漆
- 避免金属离子在表面的沉积
- 缩短金属浸没在电解液中的时间

点状腐蚀

点状腐蚀就外观来看是金属表面点状或孔洞状的局部损坏。此类腐蚀损坏在不利条件下，将极为迅速地扩散，因此给安全造成很大的危险性。金属表面上的损坏是从表面钝化层很小的局部分解开始的，并在该点处发生了剧烈的分解。

点状腐蚀主要有两类，也就是腐蚀坑表面开口较大、对金属的渗透较浅的类型，以及表面开口较窄、深入渗透金属的类型。其中后一种类型更为危险，据观察发现，这种腐蚀可以在3-4个月内渗透达到6mm。点状腐蚀往往难以被发现，这是因为腐蚀坑常常会被腐蚀产物所覆盖。

在含有氯化物的环境中部分金属很容易发生此类腐蚀，应当避免将此类金属用于长期接触海水的构件，如盘管系统等。同时当为像化学加工业这样的产业指定材料时，应注意材料的选择。

阳极表面积与阴极相比的相对大小在决定腐蚀速度时具有决定性作用。表面积差异越大，腐蚀速度越快。这种情况尤其适用于氧化膜或者材料本身中的杂质。含有原来某种金属的完整残留物的合金在浸没在电解质中时必然会发生点状腐蚀。

由于氯离子对氧化膜的破坏，不锈钢一般要比低碳钢遭受更大腐蚀。氧化膜上的脆弱区域首先受到影响，然后钝化面积与活性面积之间的比例将增大。低碳钢表面上缺陷点的数量通常会比较多，从而造成阳极和阴极之间的比例较小。

点状腐蚀一般发生在金属总体被钝化，但局部处于活性状态的小块区域。

点状腐蚀也可能是由于电流/双金属腐蚀所引起的。在较贵金属离子沉积在较贱的材料的金属表面上时，可能发生这种情况。例如铜离子沉积在不锈钢或者铝的表面上。

一艘铝制小舢板用含有氧化亚铜的防污漆进行喷涂，但铝与含铜防污漆之间没有任何底层油漆用于隔离。在海上航行了一个夏天之后，铝就已经被腐蚀得使船只无法

安全涉足了。

经过验证，含有大量铬、镍或钼的材料能够耐受点状腐蚀。因此应当选择含有大量此类物质的材料用于制作接触含有氯化物的环境的构件。人们常常使用含有铜镍或铜钛合金的特殊不锈钢或耐酸钢。

点状腐蚀可以通过以下措施加以缓解或者消除：

- 改进材料选择
- 改变腐蚀环境

裂缝/沉积腐蚀

在充满了电解液的狭窄空间内人们常常会发现一种特殊的局部腐蚀类型，裂缝腐蚀。发生裂缝腐蚀的一个条件就是裂缝中的电解液处于停滞状态。

一般为钝化状态或者很容易发生钝化的金属最容易发生这种腐蚀。此类金属包括不锈钢、铝和碱性环境中的低碳钢。裂缝腐蚀的主要控制因素是钝化金属表面的氧气供应量不足。

容易发生腐蚀的典型区域包括法兰、螺栓盘、螺栓和螺丝头、重叠焊缝、热轧夹层等。裂缝腐蚀还可能发生在金属被沙土、灰尘、泥浆和海洋植物所覆盖的情况下。在后一种情况下，也就是金属被覆盖的情况下，裂缝腐蚀也被称为**厌氧腐蚀**或者**沉积腐蚀。**

全世界各个港口的水往往污染都非常严重。当将这样的港口水载入压载舱时，污染物中的残留物以及水中的悬浮颗粒，如沙子、泥浆、油脂和有机物等，就会沉积在压载舱内部，尤其是舱内的水平面上。这些沉积物都是吸湿性的，可能导致船舱钢材的严重腐蚀。船只一进入开放水域，在能够取到干净的海水时，就应该由船员进行有效的"清理"，也就是清空并冲洗所有的压载舱。

裂缝腐蚀可能通过采取下列实际防范措施而得到缓解：

- 材料必须通过焊接而不是螺栓或法兰进行连接
- 非长期浸没的区域应把水排干
- 应当避免出现锐利的点、边缘和角落
- 聚集死水的区域应当进行整改
- 避免使用吸水性的包装材料

选择性腐蚀

合金会发生这种腐蚀。合金中的贱金属被腐蚀并溶解。

有两种金属特别容易发生此类腐蚀，那就是铸铁和黄铜。铸铁中含有3-4%的石墨，在

一定条件下，铁会为了石墨而牺牲自己，并在表面上留下一层石墨。该石墨层不具有任何机械强度，但物体看起来仍然是完整的。石墨可以轻而易举地用小刀等工具去除。

在黄铜中发生溶解的是锌，而留下的是不具备明显机械强度的多孔铜层。锌的溶解只会在黄铜的锌含量超过15%时发生。当锌的含量超过这一水平时，可以通过向合金中添加微量的其他材料，如0.05%的砷等，来避免锌的溶解。

应力腐蚀（龟裂）

像金属元件的焊接、弯曲、冷变形或者电镀这样的生产工艺将使金属局部受到张力或者应力形式的能量。其中的一个例子就是管道的冷弯处理。应力的能量留在了金属中，并可能引起一般为开裂形式的腐蚀。不锈钢、铝和黄铜特别容易发生此类腐蚀。

互相接触的材料热膨胀系数的差异可能增加发生应力腐蚀龟裂（SCC）的危险。

如果在冷弯后进行热处理的话，就可以避免发生应力腐蚀——也被称为应力腐蚀龟裂（SCC）。

紊流腐蚀

几乎所有的（≥90%）铜管损坏都是紊流腐蚀造成的。这种腐蚀的起因是一定强度的局部紊流清除了铜表面的氧化膜，并在不断破坏重新形成的氧化膜。这种腐蚀可能受限于一个局部点，并在较短的时间内穿透管壁。如果增大机械作用力的话，比如提高水的流速或者送入超过一定大小的含水气泡，那么腐蚀的强度就会增大。

这种形式的腐蚀往往很容易通过其外观特征加以识别。在铜制品中，我们常常发现在面对水流方向一侧表面的下方被切出了很尖的坑洞。

这些坑洞可能是成组的，也可能是单个的。在铜合金中，如黄铜中，这些坑洞可能是马蹄形状的。

我们发现，这种腐蚀坑常常发生在靠近法兰、弯管和分离器等的局部地方。

紊流腐蚀可以通过下列方法加以避免：

- 将水的流速降低到可以去除氧化膜的流速以下
- 尽量避免使用法兰、弯管等

腐蚀疲劳

长期受到弯曲、扭曲或者振动等不同的机械作用，而同时可能发生腐蚀的金属，在遭受比通常的机械作用低很多的情况下就会发生断裂。这被称为腐蚀疲劳。在低于所谓的疲劳极限的情况下，我们可以任意弯曲一根钢线，但超过这一极限，钢线就很容易被折断了。

船只推进器上的大部分裂纹都是腐蚀疲劳造成的，而20世纪50年代英国彗星号飞机上机翼与机身连接处的疲劳开裂所引发的问题至今仍然令人记忆犹新。

腐蚀疲劳可能通过下列方式得到缓解：

- 去除机械作用
- 加强构件，使机械作用不超过疲劳极限
- 阴极保护

表面处理

对于“表面处理”，我们 理解成为了油漆或涂料系统的施工而对金属表面进行处理的所有活动和方法。手头的规格书或参考标准决定了处理的程度。对表面处理有相当多的方法和设备，下面便是对相关方法与设备的讨论。

手工方法

绝大多数人都曾经通过使用钢丝刷，刮刀或鹤嘴锤来除锈。但这些方法劳动强度大也很累人，因此人们很快就厌倦了这些方法。这些方法效率低下，调查显示：

- 一把钢丝刷大约可以去除氧化铁层的5-10%
- 一把钢刮刀大约可以去除氧化铁层的30-35%，但需要30次的来回运动或者可能是40~45次的单次运动。

总而言之要到达效果必须在钢丝刷和刮刀上加上一定的压力。

在花费巨大的人力45次刮擦一块很小的区域之后，总共还有65-70%的氧化层未除尽，显然不是经济可行的办法。

用于手工表面处理方法的设备：

- **钢丝刷**

  钢丝刷有多种类型，有2排，3排，4排或5排钢丝型。单独的直升手柄的钢丝刷比那些在刷身上延长出手柄的钢丝刷耐用。

- **钢刮刀**

  钢刮刀有许多不同的形式和外形，或有或没有可变换刀片。最常用的钢刮刀包括角形刮刀，三角形刮刀，硬质合金刮刀等。

- **鹤嘴锤**

这些铁锤的尾端都有一突出的尖点，用于撞击易脆的氧化铁层以便部分去除它。

- **砂纸或金刚砂纸**

  这两种砂纸都很有名，而且金刚砂纸的使用寿命比砂纸长，也更容易去除氧化层。当处理现存油漆表面以备复涂时，砂纸和金刚砂纸用量极大因而成本很高。

考虑到单位时间内表面处理生产量的有限性，上述的所有方法效率都很低而成本很高。只有在不能使用其他方法以及小面积的表面处理时才会考虑使用人工处理方法。

机械方法的效率也很低，从技术和经济的角度出发，这些方法也应该尽量避免。

机械方法

对于使用者而言，这些方法和工具使得从基材上除去氧化物和杂质（部分或全部）变得更加便捷，因为不需要他们太多的体力与能量。这些方法和工具也和人工方法一样有很多的缺点，比如同样不能完全有效地去除氧化层。尽管使用电力或者风力等外力驱动，这些方法仍然效率很低。

- **气锤**

  这些气锤既可像手工鹤嘴锤一样使用，也可以旋转使用。比较特殊的形式有旋转式悬带。

- **撞针枪**

  这是气锤的一种变换，一些针替代了锤子，这些针通常有20~100支，扎成一捆。这些针快速地撞击表面以去除表面的氧化物和其他杂质。使用合适的撞针枪清理钢铁表面，适合施工无机物硅酸锌也是可能的。

- **刮刀**

  有一种可以模拟手动刮刀前后移动的机械运转刮刀。

- **打磨机**

  研磨机是旋转型的工具，上面安装了钢丝刷、各种形状和材料的研磨圆盘以及砂轮。这些附加装置能够有效地去除氧化物，但是效率仍然很低。

火焰清理

目前，火焰除锈法已经不常用，因为大多数的钢材已经由离心喷砂机进行过清理并且施工过预制底漆（以前称车间底漆）。火焰除锈可以达到如下目标：

- 去除钢材表面的氧化皮
- 去除氧化物或把它们转化为低害的状态（从腐蚀的角度出发）

- 干燥钢材表面
- 燃烧有机污染物如油类和脂类
- 在油漆施工之前加热基材

这种**热清理**方法是通过在被清理表面上以一定的速度并保持一定的距离来移动火炉(火焰)进行的。氧化皮和钢铁有不同的膨胀系数，这个方法便是利用了这个原理。由热量引起的张力导致氧化皮开裂并从钢铁上剥落。表面温度可达将近150度。在这个温度下钢材并无结构上的变化，然而火焰除锈法不适用于厚度低于5~6mm的钢材。

喷射清理

因为在清理过程含有一些特殊的原理，虽然也是采用机械方法用于基材的清理，但喷 射清理却独立于机械方法 喷射清理是利用动能，然而上述的机械方法只是直接利用能量。

喷射清理是在基材表面进行微粒投掷撞击。无论是采用风动作用喷射清理还是离心力喷射清理，在喷 射清理过程中撞击基材表面的微粒存储着大量的能量，这些能量在与基材作用的过程中释放出来。这种能量称为动能。计算这种能量的公式如下：

$$e = 0.5m \bullet v^2$$

其中动能e是微粒质量与微粒速度平方乘积的0.5倍。该公式可用于计算在给定空气压力下不同磨料（磨料不同，比重不同）的效率。

除了质量和速度外，微粒的外形以及喷砂嘴的长度和类型对不同的喷射过程的效率也有一定的影响。

喷射清理主要用于金属表面的处理。但是，也用于金属烧铸模具的清理，家具表面油漆的去除，玻璃、陶瓷、石头以及混凝土的各种装饰处理。

对于高拉力的钢材采用圆形钢球进行喷射以降低钢材表面过剩的张力，这个过程称之为**喷丸冲击法**。这个系统的原理和过去采用的锤打的方法一样，圆形微粒以高速度喷射到待处理金属部位的表面。微粒的冲击引起表面呈放射状地永久伸长并超越拉力临界点引起表面纤维的粘流。该部位的金属比它下面的金属要强硬。

喷丸冲击法可用于不规则的零部件，因为采用热处理可能引起变形。喷丸冲击法也可用于经过加工、热处理或打磨处理的最后一道工艺，往往在这些处理之后是只能采用搪磨或轻轻砂磨处理的。

喷丸冲击法的合理使用可延长各种机器零件的使用寿命。使用实例如下：

处理后的零件：	延长使用寿命：
机轴	900%
板簧	600%
连杆	1000%
盘簧（圆弹簧）	1370%

齿轮	1500%
转向关节	475%
摇杆	1400%

而且，磨料喷射广泛用于飞行器零件和涡轮零件的清理。但是所使用的磨料是有机物如碾碎的胡桃壳、樱桃核。

喷射设备

通常使用的喷射设备有3种主要类型，我们根据它们不同的工作原理分类如下：

- **风动式**

  在这些装置中，磨料与来自磨料容器的高压气流通过混合阀和管路系统进行混合。最后系统内的磨料和空气的混合物经过喷嘴，磨料微粒喷射到待清理金属表面。

- **水喷射式**

在这些设备中水成为清理介质，虽然磨料微粒可以加入水流中。水流以很高的压力喷射到金属表面。水喷射的分类如下：

分类：	喷嘴处水压：
低压水清洗	<34 MPa （5,000 psi）
高压水清洗	34-70 MPa （5,000-10,000 psi）
高压水喷射	70-170 MPa （10,000-25,000 psi）
超高压水喷射	>170 MPa （>25,000 psi）*

* = 在这类设备中多数工作压力为200-250 Mpa （30，000-36，000 psi），然而存在压力为300 Mpa（45，000 psi）的超高压水喷射设备。

现在水喷射设备领域有了很迅速的发展，更高水压的泵将很快面世。

而且设备中水的使用量也有了迅速的降低，以下列出2种主要类型的泵：

泵类型	喷嘴压力	水消耗量
三元活塞泵	200 MPa （30000 psi）	20 l/min
线形二元活塞泵	300 MPa （45000 psi）	6 l/min

水消耗量的减少为水喷射的在航使用打开了大门，多数船上的蒸发器便能供应足够的需水量。

- **离心式**

  这种设备称为轮式研磨器，使用离心力喷射磨料流至金属表面。磨料是通过轴加入快速旋转的轮盘的，轮盘中的磨料通过一个开口喷射到处于密闭膛的基材。钢材被转运进入这个密闭膛，从而将所有的表面都暴露于磨料“雨”，因为转运器的上下（或两侧）都有离心轮盘。

轮式研磨器和风动喷射都能去除基材上氧化物和（部分）其他杂质。这种方法也能产生表面粗糙度（美国人称锚定模式-anchor pattern）。高压水喷射不能在金属表面造成任何的表面粗糙度，这也限制了其对已有所需要粗糙度的基材上旧油漆的去除，或对表面粗糙度有要求的表面处理方面的应用。表面粗糙度定义为**表面构造（surface configuration）**更恰当，表面构造不仅涵盖了表面轮廓(surface profile)也包括了基材表面单位面积上存在的表面特征量。

磨料

最早是采用天然砂子用于磨料喷射，在当时称为喷砂。淡水砂被广泛地应用，在

美国以著名的渥太华砂子作为工业标准。在挪威，同样出名的Wollstad砂也成为工业的标准。将砂用作磨料已有几十年的历史，然而，砂子中含有大量的硅石能够引起硅肺病，操作人员完全暴露在沙土灰尘中的安全问题引起重视，所以含有大量硅石的砂子已禁止使用或者慢慢淘汰。

其他的喷射介质也出现了，但是必须注意的是尽管它们不含大量硅石，灰尘的防护仍然是必要的。

有棱角的喷射磨料称为**砂(grit)**而圆形的喷射磨料称为**丸(shot)**。我们根据磨料的种类、形状、粒径大小以及硬度进行分类。磨料供应商按ISO 11124 – 11127标准供货。

目前市场上有各种各样的喷射介质，下表是一些最为常见的磨料：

种类：	**磨料名称：**
矿石，天然类：	– 硅石 – 橄榄石 – 石榴石 – 锆石 – 金刚砂
矿石，人造类：	– -煤矿渣 – 硅酸铝 – 铁矿渣 – 铜矿渣 – -氧化铝 – 陶瓷玻璃 – 碳化硅
金属类：	– 钢材（丸，砂和丝段） – 生铁 （丸和砂） – 铝 – 青铜 （丸）
有机物：	– 聚苯乙烯珠 – 尼龙珠 – 胡桃壳 （圆形） – 樱桃核 （圆形） – 橄榄核 （圆形） – 米壳 （碾碎） – 椰子壳 （圆形） – 杏仁壳 （圆形）

	– 玉米棒 （碾碎） – 燕麦壳 （圆形）
其他：	– 水 – 冰晶体 – CO2干冰 – 发酵粉 – 包裹着的海绵 – 包裹着的锌

从上表不难发现现在有各种各样的喷射介质，完全能满足不同的需求。

上述提到的一些磨料如钢丸和钢砂，经过清洗和灰尘分离后可重复使用。然而，多数磨料为消耗品，使用后不可再生。

磨料喷射

该术语通常都与风动喷射清理相联系的。有两种最主要的类型即干磨料喷射和湿磨料喷射。湿磨料喷射还可分为湿喷射和砂浆喷射。

上述的两种方法使用同样的设备，包括以下几类：

压缩空气流

– 能够保证设备正常运行的足量的空气供应是必须的。若在现场有其他工作设备连接到同一气源时，显然比喷射处理拥有独立的气源的要不利得多，因为在一个大系统内多用户必然导致系统波动大得多。喷砂清理取决于最小压力和足够体积的空气稳定供应，而在一个大系统内以上两者是无法保证的。

– 压缩的空气通常进入一个膨胀箱，这样才能保证压力的稳定。

– 来自膨胀箱的压缩空气导入喷射罐，而喷射罐的漏斗部分的压力与系统内经过漏斗和管路的空气压力一样。干磨料由于重力的作用通过卸砂阀落入主管道,然后由压缩空气带入软管和喷嘴。

– 对压缩空气进行经常的检查以确认是否存在水或者油是十分必要。在压缩机上常常有油水分离器。膨胀箱和喷射罐以及其他设备也必须检查。可在气流前悬挂一张褐色外包装纸用于检查空气中是否含有水或油。水和油会在纸上显示出微小的点。而水点很快便会干掉，但是油点却不会。

– 压缩空气的供应是采用直径足够大的管路(或软管)。通常可见到直径不足的管路或者软管被用于空气的供应。谨记使用空气作为能量源的时候，

空气的体积与保持有效的压力一样重要。

喷砂罐

- 罐本身的结构相当简单，其中有用于磨料的漏斗（容积大约80~100L）。在压缩气体进口，管分为两部分，其中一部分通过压力计与磨料漏斗相连而另一部分在漏斗底部与卸砂阀相连。管路使得磨料和空气的混合物进入软管，顶部的漏斗装满磨料。当气压打开时，塞子关闭了漏斗顶部的开关使得磨料受重力的影响而下降。漏斗内的压力与旁路管的压力相当。因此当卸砂阀打开时，磨料便受重力作用而下降到气流中。气流带着磨料和空气的混合物经过软管（内壁由加固橡胶制成）而进入喷嘴。

- 软管通常制成有外部快速接口的标准长度，并使得管内产生最小障碍。

喷砂嘴

市面上有多种喷嘴，但两种主要的类型是直孔型和文丘里(Venturi)管。喷嘴由衬有碳化钨的钢材制成的。陶瓷和塑料（PVC衬有碳化钨）制成的喷嘴也有使用。后者价格相对便宜，但若撞击到基材易脆易碎。

喷嘴的长度和直径对于它的效率是至关重要的，显然带有大直径的长喷嘴的效率要比小直径的短喷嘴的来得高（按单位时间的清理面积计算）。

文丘里管喷嘴内径先是逐渐减小的,大约到喷嘴的一半，然后开始增加内径。这样设计的目的是通过增加空气的流速来增加磨料的速度。正确设计的文丘里管喷嘴会聚型的进口的精确计算，连同窄路和分散区域的精确计算，使得出口处产生超音速的气流。文丘里管加速空气的流动,根据Bernoulli规则，高速度的气流产生了低压区域从而加速了磨料和气体的混合。此外，磨料将更均匀流动并在衬碳化钨的喷嘴中产生较小的摩擦。

离心轮式设备

这类清理设备通常用于大量外形简单且相似物件的喷射清理，如钢板和型材的喷射清理。这种离心清理装置通常是所谓的预制底漆设备的一部分，物件经清理后表面施工一度薄的预制底漆（也叫车间底漆）

- 在板式底漆设备中，板材从仓库运送至传送带。板材首先通过一个预热区，达到所需的温度。这种预热工艺一般是靠烧气或油的加热器来加热的，不过有时也会使用电加热器。

- 然后，板材将进入轮式研磨机。板的尺寸决定了轮子的使用数量，一般为6～8个。通过磨料颗粒对钢板两侧的冲撞对钢材进行清理。离开轮式研磨机后，板材需经刷理并吹风以去除磨料颗粒的残留物。磨料/灰尘的混合物输送至气旋分离器，除掉直径低于设定值的颗粒，余下的回收到

设备中，这步工艺叫做磨料的再利用。

- 轮式研磨机中所用的磨料颗粒通常是钢丸或砂、铁丸或砂或丝段等，后者是效率最低的。其中砂是效率最高的，处理后的基材可得到最佳的表面形貌。然而，砂会对离心轮子造成严重的磨损（除非离心轮是碳化钨材质）。铸铁丸和铸铁砂以及钢砂使用时都是有棱角的，这样既有利于清理的效率，还有利于理想形貌的形成。

- 最后，板材到达涂装室，自动喷枪在钢板表面施工一度薄的预制底漆（干膜厚度为13-25 μm，取决于材质）。这种底漆是为了防止钢板在加工期间遭到腐蚀。因此，预制底漆一般仅是出于短期保护目的。不过硅酸锌的预制底漆是个例外，因为这种类型的底漆可以提供一种长期防腐保护。

高压水喷射

前面已经介绍过，高压水喷射在金属基材上不会产生任何表面轮廓。然而，这种清理方法在处理一些已具有合适的表面形态的基材时效果显著。此外，高压水喷射可以有效地去除基材表面的水溶性杂质，且在修补时不需要用淡水冲洗，节省了时间和金钱。

高压水喷射对于去除金属表面旧的油漆涂层和混凝土等是个极好的方法。但用于舱室等密闭空间时有一定的局限性。由于空气中的水蒸气很快就能达到饱和，会使工作人员感到呼吸困难甚至窒息，同时产生的水雾也会对基材的观察带来不便。

功效参数

下面的表格列出了喷射清理工艺中为获得最大效率所必须考虑的各种参数

参数	要点描述
磨料：	- 磨料的种类 - 磨料的形状 - 硬度 - 强度 - 撞击时粉尘的形成 - 组成 - 粒径大小和分布 - 职业健康危害
清理：	- 气压和体积 - 压缩机大小 - 喷嘴尺寸和型号 - 设备尺寸和型号

	– 喷嘴操作（距离和角度） – 磨料/空气混合 – 能耗 – 灰尘的产生和可见度
基材：	– 金属的质量和种类 – 氧化皮的厚度和硬度 – 腐蚀程度 – 污染物 – 金属厚度 – 形状
清洁度	– 物理清洁度 – 化学清洁度 – 所需的金属清洁度
构造	– 所需的轮廓 – 所要求的表面构造（粗糙度）
其它	– 现有设施（如喷砂室） – 基材的通路 – 气候条件

综合考虑上述参数，将会使喷射清理工艺更易于操作，提高质量，同时还会降低成本。

钢材及表面处理的相关标准

我们的现有标准分为五个级别，它们分别是：

· 企业标准
· 行业标准
· 国家标准
· 地区标准
· 国际标准

我们的地区标准目前只有一种，也就是CEN（Comité Européen de Normalisation——欧洲标准化委员会）所公布的EN标准。

国际标准是由ISO（国际标准化组织）公布的。

我们还有多项和钢材处理及钢材表面处理相关的标准，下面就列举了这些标准，并对每项标准都进行了简短的说明。

ISO 8501-1　钢材在涂装油漆及和油漆有关产品前的处理—表面清洁度的目视评定

第1部分：

未涂装过的钢材和全面清除原有涂层后的钢材的锈蚀等级和预处理等级

这是钢材表面处理最重要的标准，它取代了普遍使用的瑞典标准SIS 055900。新标准为图示标准，并非常简要地描述了其中所包含的各种元素。ISO 8501-1标准的构造如下：

- 根据钢材表面呈现的腐蚀程度，钢材本身被分为A、B、C或D四类。
- 标准列举出了3类清理方式，也就是**机械清理**（在标准中被称为**St**）、**火焰清理**（在标准中被称为**Fl**）以及**喷砂清理**（在标准中被称为**Sa**）。
- 标准主要是以照片进行比较，照片（总共28张）的安排方式如下：

锈蚀等级：

A	**C**
B	**D**

处理等级：

喷砂清理

A Sa 2½	**B Sa 1**	**B Sa 2½**	**C Sa 1**	**C Sa 2½**	**D Sa 1**	**D Sa 2½**
A Sa 3	**B Sa 2**	**B Sa 3**	**C Sa 2**	**C Sa 3**	**D Sa 2**	**D Sa 3**

手动和电动工具清理

B St 2	**C St 2**	**D St 2**
B St 3	**C St 3**	**D St 3**

火焰清理

A Fl	**C Fl**
B Fl	**D Fl**

- 根据上述图片，就很容易描述规格制定者所要求的清理类型和清理程度了。
  B Sa 3就指明了进行喷砂清理，达到B级钢材最高金属清洁度。

1994年底，ISO公布了ISO8501-1标准的附件，其中给出了用不同的磨料进行喷砂清理时，钢材外观变化的代表性图例。

原因在于用铜矿渣进行喷砂清理的钢材，与用氧化铝进行喷砂清理的钢材相比，颜色是完全不同的。就此问题，荷兰人早在1973年就已发表了一篇带图片的论文。

附件中的基于锈蚀等级C级和达到Sa3标准的喷砂清理的代表性图例的版面安排和顺序如下：

初始低碳钢板 **锈蚀等级C**
高碳铸钢丸 **等级 S 100** **维氏（Vickers）硬度 390 HV到530 HV**
钢砂 **等级 G 070** **维氏硬度390 HV到530 HV**
钢砂 **等级G 070** **维氏硬度700 HV到950 HV**
冷铸铁砂 **等级G 070**
铜精炼炉渣
煤炉炉渣

ISO 8501-2　钢材在涂装油漆及和油漆有关产品前的处理—表面清洁度的目视评定

第2部分：

涂装过的钢材在局部清除原有涂层后的处理等级

标准中使用了下列名称：

- 对原来经过涂装的表面进行局部喷砂清理，**P Sa**.

  该标准仅使用了三种名称，也就是：

P Sa 2	**P Sa 2½**	**P Sa 3**

- 对原来经过涂装的表面用手工和动力工具进行局部清洁，**P St**。

  该标准仅使用了两种名称，也就是：

P St 2	**P St 3**

- 对原来经过涂装的表面进行局部机械打磨，**P Ma**。

  该标准仅使用了一种名称，也就是：

P Ma

ISO 8501-3 钢材在涂装油漆及和油漆有关产品前的处理—表面清洁度的目视评定

第3部分：

焊缝、切削边缘和表面瑕疵的处理等级。

ISO 8501第1 – 3部分构成了钢材在涂装油漆及和油漆有关产品前的处理有关的大部分状况的良好基础。

防护涂料协会（原名：SSPC-钢结构涂装理事会）的表面处理标准

这家通常被称为钢结构涂装理事会的美国机构拥有好几项钢材表面涂装前表面处理的相关标准。其中最重要的标准包括：

标准名称：	**标准描述：**

SSPC-VIS- 1-671 第1号　涂装钢材表面的表面处理图示标准	该标准用彩色图片表示了A、B、C和D四个锈蚀等级的新热轧钢的表面清洁度。照片显示了四个锈蚀等级的喷砂清洁度。采用这些照片是为了充实表面处理的标准，而不是取代它们。
SSPC-SP 63 溶剂清洁	本规范大体上只是与溶剂清洁方式有关的，允许用喷砂清理去除像氯化物和硫酸盐这样的腐蚀性盐。
SSPC-SP 5-63 出白金属的喷砂清理	这是喷砂清理的最高标准，它要求完全去除所有的氧化皮、锈蚀和异物。
SSPC-SP 10-63T 近似出白金属的喷砂清理	这是喷砂清洁的次高标准，它要求至少去除所有氧化皮、锈蚀和异物的95%。
SSPC-SP 6-63 商业级喷砂清理	建议将该标准用于所有一般用途，要求达到高的但并非完美的喷砂清理效果。
SSPC-SP 7-63 扫砂级喷砂清理	该标准用于刷子和动力工具清洁过于缓慢的情况。

在ISO 8501-1和钢结构涂装理事会标准之间有着良好的对应关系，如下表所示：

ISO 8501-1名称：	**SSPC-SP名称：**
Sa 1	SSPC-SP 7-63
Sa 2	SSPC-SP 6-63
Sa 2½	SSPC-SP 10-63T
Sa 3	SSPC-SP 5-63

JSRA标准

日本船舶研究协会在1975年公布了一项标准，用于涂装前的钢材表面处理（SPSS）。这是一项非常全面和详细的图示标准，不仅涉及锈蚀的钢材表面，还包括施工了预制底漆（车间底漆）的表面。

ISO 8502　钢材在涂装油漆及和油漆有关产品前的处理—表面清洁度的评定试验

该标准分为13个部分，包含以下内容：

- **第1部分：**

  可溶性铁腐蚀产物的现场检测

这种盐一般为硫酸铁或氯化铁，我们可以采用经过化学处理的吸水纸来检测这些盐类。根据检测中所使用的化学药品，这种方法通常被称为**铁氰化钾检测**。这种方法非常灵敏，经过处理的吸水纸会变为蓝色。在检测过程中，必须配戴塑料手套，以避免和手部皮肤上的盐发生反应。将蒸馏水轻轻地喷洒在经过喷砂处理的钢材表面上。然后将准备好的吸水纸按在湿润的表面上，小心擦拭，使水溶性铁盐被吸水纸所吸收。如果表面上存在此类溶解性盐，那么此类盐就会与铁氰化钾发生反应，使吸水纸变成蓝色。

这项检测是定性的，它可以用于确认在钢材表面是否存在可溶性铁盐，但该检测方法不能用于确定铁盐的数量或种类。

- **第2部分：**

  清理过的表面上氯化物的实验室测定

- **第3部分：**

  待涂装钢材表面上的灰尘量评估（感压胶带法）。

将感压胶带按压在待测表面上，并揭去。灰尘以及其它松散异物就会粘附在胶带上，可以与标准中的5张参考图片进行对比。

- **第4部分：**

  涂装施工前冷凝概率评估指南

这是一种利用钢材和空气温度来计算露点和莫里尔图（Moellier diagrams）的方法，用于估计已经发生或者可能发生的冷凝的概率。

用试水纸更容易检测出是否发生了冷凝。

- **第5部分：**

  用离子检测管检测氯化物。

该方法是用硼硅酸盐制成的，在矽砂载体中含有试剂级铬酸银的检测管来检测水样。这种方法只能用来检测氯化物。

- **第6部分：**

待涂装表面上可溶性杂质的取样——Bresle法。

本标准详细说明了如何进行取样。通过使用能够充满溶剂（通常是水）的弹性单元来取样并测定样品的电阻率（以mS/m计）。

- **第7部分：**

油/脂的现场测定方法

（本部分尚未颁布）

- **第8部分：**

水分折射率的现场检测方法。

该方法是在水（根据ISO3696标准，纯度至少为3）和乙二醇单体（分析级）的混合液的帮助下，收集基底表面上的水分，并用折射计来检测这种液体。

- **第9部分：**

水溶性盐导电率的现场测定方法

本方法是根据ISO8502-6标准（Breslé法），用导电计测定取样后待测液导电率的提高,来测定收集到的待测液中的水溶性物质的数量。

- **第10部分：**

水溶性氯化物的现场(滴定)测定方法

本方法是根据ISO8502-6标准（Breslé法），用试剂进行滴定，并观察待测液的颜色变化，来测定收集到的待测液中的水溶性物质数量。

- **第11部分：**

水溶性硫酸盐的现场(浊度)测定方法

本方法是根据ISO8502-6标准（Breslé法），用浊度计测定胶状溶液关于SO_4的光谱吸收比，来测定收集到的待测液中的水溶性物质数量。

- **第12部分：**

水溶性铁离子的现场测定方法。

本方法是根据ISO8502-6标准（Breslé法），用试剂进行滴定，并观察待测液的颜色变化,来测定收集到的待测液中的水溶性铁离子数量，。

- **第13部分：**

  水溶性盐的电导率现场测定方法（rigid cell method）.

本方法是根据ISO8502-6标准（Breslé法），在取样后用刚性电池电导计测定待测液电导率的提高, 来测定收集到的待测液中的水溶性物质数量。

ISO 8503 钢材在涂装油漆及和油漆有关产品前的处理—喷砂清理底材的表面粗糙度特征

该标准分为5个部分，包含以下内容：

- **第1部分：**

  评估喷砂清理表面的ISO表面轮廓比较板的规格与定义。

本标准给出了ISO比较板的制造规格。

- **第2部分：**

  喷砂清理钢材的表面轮廓分级方法——比较板的操作程序

本标准介绍了比较板的使用方法。

（第3和第4部分是有关比较板的校准的）。

- **第5部分：**

  胶带复制检测法

这是一种用特殊的胶带和特殊的测微计来检测基材表面粗糙度的方法。

ISO 8504 钢材在涂装油漆及和油漆有关产品前的处理——表面处理方法

本标准包含以下三个部分：

- **第1部分：**

  总则

本标准描述了选择表面处理方法的总体原则。

- **第2部分：**

  喷砂清理

本标准说明了喷砂清理方法、其效果及其应用领域。

- **第3部分：**

  手工与动力工具清理

本标准说明了手工工具和动力工具的清理方法、所使用的设备以及应该遵循的步骤。

ISO 11124　钢材在涂装油漆及和油漆有关产品前的处理—金属喷射磨料的规格

本标准分四部分描述了金属研磨料的特点以及此磨料的分类。

第一部分介绍了总体特点，而第2-4部分详细介绍了冷铸铁砂、高碳铸钢丸以及低碳铸钢丸。

ISO 11125　钢材在涂装油漆及和油漆有关产品前的处理—金属喷射磨料的检测方法

本标准分七个部分探讨了下列主题：

- 取样
- 颗粒大小组成情况的测定
- 硬度的测定
- 表观密度的测定
- 缺损颗粒百分比和微观结构的测定
- 异物的测定
- 水分的测定

ISO 11126　钢材在涂装油漆及和油漆有关产品前的处理——非金属喷射磨料的规格

本标准分为8个部分（第2和第7部分尚未颁布）：

- 总体介绍和分类
- 炼铜熔渣
- 煤炉炉渣

- 炼镍熔渣
- 铁炉炉渣
- 橄榄砂

ISO 11127　钢材在涂装油漆及和油漆有关产品前的处理——非金属喷射磨料的检测　方法

本标准分7个部分探讨了下列主题：

- 取样
- 颗粒大小组成情况的测定
- 表观密度的测定
- 用玻璃滑动检测法测定硬度
- 水分的测定
- 通过测量电导率来测定水溶性污染物
- 水溶性氯化物的测定

ISO　1516　油漆、清漆、石油及相关产品——闪点/非闪点实验——闭口杯平衡法。

本标准详细说明了如何测定某种易燃材料在保持所选定的平衡温度时，是否会释放出足够的可燃蒸汽，在外加火源的情况下引起燃烧。

ISO 2808　油漆与清漆——漆膜厚度的测定

本标准介绍了用于测定干膜厚度以及估算湿膜厚度的方法和设备。

ISO 4628　油漆与清漆——油漆涂料的降解情况评估——常见类型缺陷的密度、数量和大小的表示方法。

本标准包含以下部分的内容：

- **第1部分：**

  总则和分级制度。

- **第2部分：**

  起泡程度的表示方法。

本部分用图示法比较了起泡的大小和密度，给出了六种密度级别和五种大小级别。

- **第3部分：**

锈蚀程度的表示方法。

本部分代替了原来由欧洲涂料、油墨和绘画颜料产商协会委员会所发布的欧洲锈蚀级别标准。本标准对六种锈蚀等级进行了命名。

- **第4部分：**

开裂程度的表示方法。

本标准介绍了涂层系统中六种开裂尺寸的分级制度。

- **第5部分：**

片落程度的表示方法。

给定了六类片落数量和六类片落尺寸。

- **第6部分：**

胶带法确定的粉化程度的级别。

用胶带黏附涂层表面的粉末。将粘在胶带上的粉末与0-5的等级进行比较。

ISO 4624　　油漆与清漆——粘附力(结合力)拉力试验(pull-off test)

本标准描述了通过测定在垂直于基材表面的方向上分离或破裂涂层所需要的最小张力，用于评估单层或多层油漆、清漆或相关产品粘附力的各类设备和检测步骤。

人们所认知的断裂分为两类，也就是（I）粘附力(涂层间)，　（ii）内聚力(涂层内)断裂。

ASTM D 4752　　用溶剂擦试法测定硅酸乙酯(无机)富锌底漆耐甲乙酮(MEK)的标准试验方法

本标准描述了检测无机锌硅酸乙酯涂层耐MEK（甲乙酮）性能的步骤，方法是用一块干净的白色布料摩擦涂层表面50个来回。涂层的耐受性能是根据其固化程度直接反应。

ASTM D 5162　　金属底材上非传导性涂层间断性(漏涂)检验的标准测试方法

本标准中介绍了两类检测仪器，即（I）低压海绵检测仪，和（II）高压瞬间放电检测仪，以及它们的使用步骤。

ISO 12944　油漆与清漆——防护油漆系统对钢结构的腐蚀防护

· **第1部分：**

总体介绍

第2部分：

环境分类

标准的本部分内容探讨的是钢结构所接触环境的分类，以及这些环境（大气、浸没或深埋）的腐蚀性。

· **第3部分：**

设计条件

这里探讨了将用防护油漆系统进行涂装的钢结构设计的基本标准，比如：

· 可接近性
· 最小开口尺寸
· 表面之间狭小空间的最小尺寸
· 避免发生水分截留的设计特点
· 焊缝的设计以及避免尖锐边缘的出现
· 等等。

· **第4部分：**

表面及表面处理的类型。

表面类型包括：

· 未涂装表面
· 用锌、铝或其合金的热喷表面
· 热浸镀锌表面
· 电镀锌表面
· 粉末镀锌表面
· 用预制底漆涂装的表面
· 其它材料涂装的表面

本标准还定义了一些表面处理方法及其等级。

· **第5部分：**

防护油漆系统

本部分标准介绍了常用于ISO12944-2所描述的各种环境中的钢结构防腐的油漆及油漆系统的类型。必须指出的是所给出的例子只是说明性的。

· **第6部分：**

实验室性能测试方法

这里给出了用来评估对钢结构进行保护的油漆系统的实验室测试方法以及测试条件。

·

· **第7部分：**

涂装工作的实施和监督

ISO12944标准的这一部分探讨了钢结构涂装工作的实施与监督。其中不涉及以下内容：

· 表面处理
· 金属涂料的施工
· 预处理方法，如：
  · 磷化处理
  · 染色处理
  · 浸渍
  · 粉末涂装
  · 卷涂 (coil coating)

· **第8部分：**

新工作和维护工作规范的发展

ISO12944最后部分探讨了与新工作和维护工作有关的规范的发展。

油漆和涂料

施工方法

放在容器中供应的油漆和涂料只是半成品。而油漆的生产工艺要一直延续到油漆

施工在目标物体表面，以正确的干膜厚度进行干化/固化，并准备履行其设计功能为止才算结束。

要将液体漆从容器中转移到物体上，我们有多种方法和工具可供选择，我们将对这些方法和工具加以讨论。

手工方法

我们可以将下列工具用于油漆的手工施工：

油漆手套：　顾名思义，这是指戴在手上的手套，蘸取油漆，用来涂抹在基材
表面上。由于无法控制漆膜厚度，因此应避免使用此类施工工具。

刷子：　可以使用的刷子种类有许多种——圆形、椭圆形或者扁平状的，宽的或者窄的，长柄或者短柄的，长毛或者短毛的。

最好的刷子是那种带有木柄，用天然猪鬃制成的。人造毛的塑料柄刷子可能会被某些油漆中所使用的强溶剂所溶解。

刷涂的干膜厚度仅限于30 - 50 μm（一些特殊配方的油漆除外）。

滚筒：　滚筒有多种变化形式，但都受限于圆筒的宽度、圆筒的直径以及筒颈（nape）的类型和长度。

至于筒颈，可能天然材料的（羊皮），也可能是人造材料的（聚酰胺纤维或马海毛）。筒颈的长度将影响表面漆的质量，而筒颈较短的滚筒效果较好。

油漆垫片：　这种工具类似于从滚筒中切出一部分，并安装在和刷子一样的柄上。用垫片蘸取涂料，擦抹表面使油漆沉积。

油漆垫片也存在和滚筒相同的问题，即沉积膜常常很薄且不均匀。

喷涂施工

涂料的基本喷涂方法有三种，但当我们讨论的是针对航海用和陆地用构件的油漆喷涂时，有一种（无空气喷涂）喷涂方式是占据绝对主导地位的。

有气喷涂：　将（混合）油漆放入带有可移动盖子的压力容器（或压力罐）中。给容器加压前，放回盖子并盖牢。压力容器中的

气压一般为2 – 5巴。空气将通过插在容器中的管子，压入液体漆，并通过胶管（或给料管）进一步送入喷枪。

喷枪是通过气管单独供给压缩空气的。当喷枪的闭合针回缩时，进料口打开，油漆将以细流状压入喷嘴。空气则被送入空气盖处很小的雾化喷嘴，这些空气喷嘴同时打开，使液体物料流得到雾化。在空气盖所谓的“角”上，有两个较大的空气喷嘴。涂料从两侧被 送入这些喷嘴，形成喷雾扇，从而实现涂料的雾化。雾化气压一般为1 – 3巴。

有气喷涂特别适合于对灵活性和表面光洁度要求较高的小规模工作。有气喷涂枪还可以连接在低压膜泵（membrane pump）上，从而省去压力罐。

有气喷涂是适用于水性硅酸锌油漆喷涂的最佳方法，这种方法在汽车漆和手工工业上漆方面完全占据主导地位。

无气喷涂：

通过一台活塞泵或者膜泵将涂料从容器中泵入喷枪，在喷嘴出口处实现液体漆的雾化。

无空气泵是由两个独立的部分组成的——气动马达和物料泵。气动马达的主要元件是空气活塞。通过一个阀门系统将空气交替引入活塞的顶部和底部。气动马达是通过一根连接杆连接在物料泵上的。

物料泵由两个汽缸——上汽缸和下汽缸——活塞、活塞轴、上球阀和下球阀以及上下盼更组成的。

从气动马达开始，我们打开减压阀将压缩空气释放到气动马达内。空气交替作用于马达汽缸活塞的上侧和下侧。这种上下运动随后就通过连接杆传送到物料泵。

物料泵向上运动时，下汽缸处于真空状态。打开吸入阀，油漆进入下阀门室。同时，活塞中的球阀关闭，活塞上方的油漆将被压入物料管。随着活塞的下降，油漆将作用于吸入阀，使其关闭。同时 油漆将作用于活塞的球阀，将其打开。油漆通过打开的球阀流入气缸的上部，并流入物料管。这就是我们所谓的**双向作用泵**。

气动马达的活塞面积与物料泵的活塞面积比说明了泵的压力比。该市场上现有产品类型的比例有18:1、24:1、30:1、45:1或者60:1。对用于海上和陆上构件的油漆喷涂来说，比例为45:1或60:1的泵是最常用的。

假设进气压力为7巴，而无空气泵的比例为60:1，则物料受到的压力为（7 x 60）= 420巴。计算得出的这一压力为理论值，只能用在喷枪关闭或者与泵的流量相比喷嘴很小，从而在喷涂期间也能保持最大压力的情况下。使用很长的物料管线——也就是说无空气泵和喷枪间的距离很大时，管线中可能出现一定的压降。

喷嘴必须采用硬质衬里（一般为碳化钨）。出口为椭圆形，而喷嘴大小一般是按圆形尺寸给出的。因此可以说喷嘴的尺寸代表的是圆形喷嘴开口的理论直径。

喷嘴开口的形状决定了所形成的喷雾扇的角度，范围从5^{o}到95^{o}不等。我们所使用的喷嘴有：

- 普通喷嘴
- 可调喷嘴
- 可逆喷嘴
- 快变喷嘴
- 精喷喷嘴

或者是上述喷嘴的组合。

重要的是要确保喷嘴不出现磨损，因为在涂料配方中所使用的粗糙颜料造成的喷嘴磨损将使喷嘴原来的多项特性发生变化，从下表中我们可以看出这一点：

喷嘴的磨损结果			
新0.015	**磨损到0.017**	**磨损到0.019**	**磨损到0.021**
喷雾扇面宽度： 305 mm	喷雾扇面宽度： 280 mm	喷雾扇面宽度： 229 mm	喷雾扇面宽度： 140 mm
流量： 0.87 升/分钟	流量： 1.14升/分钟	流量： 1.40升/分钟	流量： 1.74升/分钟
	流量增加量： +31%	流量增加量： +61%	流量增加量： +100%
参数： 喷嘴压力保持在172.5巴。 喷嘴与物体的距离：305毫米 涂料比重：1.35克/毫升。			

薄膜泵由三个部分组成——马达（气动或者电动）、液压泵以及物料泵。马达驱动液压泵，引起薄膜的松紧变化。薄膜的收紧会使涂料室内形成真空，涂料流入。而薄膜的放松则会使涂料室关闭，从而压迫涂料通过涂料管线进入喷枪。

静电喷涂：　静电喷涂设备可能是以有气喷涂为基础的，是有气喷涂与低压薄膜泵或无气喷涂的结合。其工作原理是向涂料施加一种静电荷（通常为负电）。将要喷涂的物体接地。带负电的涂料颗粒被吸引到物体上的各个部位，而涂料的累积情况在边缘处尤为理想。专门针对静电喷涂来说就是所谓的**围包效应**，就是带电油漆粒子被吸引到物体的背面。

上述喷涂方法可以与加热器结合用于油漆的喷涂。涂料经过预热后粘度降低，从而无需通过稀释来调节粘度，具有一定的优势。涂料中有更多的溶剂中途蒸发，在表面形成较薄湿膜——从而减少了发生流挂的风险。但另一方面发生干喷的风险却提高了。用于某些无溶剂材料喷涂的设备应当进行预热。

除上述方法之外，有时针对细部还使用静电浸涂（电泳）方法，这种方法主要用于汽车行业中底漆的喷涂。

漆膜缺陷及其修补

在涂装过程中和结束后，漆膜上可能出现许多缺陷，现对最常见的缺陷探讨如下。

流泻、流挂和成帘：

流泻是指当周围表面已经填满之后，过量的涂料继续流动，向下运动形成窄条。

流挂是指涂料以“窗帘状”或片状向下运动。当涂料的向下运动仅限于长度方向时应使用流挂一词，而当涂料的向下运动在长度上更具延展性时（覆盖面积较宽），则被称为成帘。

造成流泻和流挂最常见的原因就是每道涂层施工的涂料过多。

每种液体涂料都有一个所谓的流挂点。这是指在垂直表面上所能施工的湿涂料的最大厚度。而如果施工了过多的涂料，那么就会出现涂料的成帘流挂。涂料的稀释将降低流挂点，或者能够支持自身重量的相应涂料厚度。当采用传统喷涂时，也可能在涂料上吹出流挂。当喷枪距离表面过近时会发生这种情况。雾化空气会将涂料吹离喷枪所指的位置，并在该点的周围形成流挂。

这三种漆膜缺陷在本质上非常近似，主要的区别则在于涉及面积的相对大小。

流泻最常发生在细部，如螺帽和螺钉，尤其是在进行喷涂时，要在覆盖所有表面的同时控制成膜厚度是非常困难的。流泻较为狭窄，涂料的向下流动可能是由下列原因造成的：

- 在不规则表面上积聚了过量的涂料，如螺帽、螺钉、凹陷、孔洞、裂缝和小孔等。

而修补措施则应当遵循如下为成帘和流挂所制定的原则。

成帘所影响的连续面积要比流挂更大。这种缺陷的特征是在施工和固化之间的那段时间内涂膜的向下运动，造成涂料不均匀，下缘较厚。

可能造成这种情况的原因如下：

- 由于喷枪距离表面过近，或者横向移动速度太慢，造成局部成膜过厚。
- 涂层的重叠过多。
- 表面或涂料本身过热，影响了涂料的触变性。
- 表面或涂料过冷，影响了涂料中溶剂的蒸发速率，使干燥时间过长。
- 涂料的触变机理不够充分。
- 涂料稀释过度。
- 新鲜涂料施工在了非常平滑的现有涂料上。

如果流挂或成帘已经凝结或者固化，对较小的区域则必须进行刮擦以及/或者用砂纸加以清除，而对较大的区域则必须进行喷砂处理。如果涂料仍然是液状的，则应当用刷子刷去。应当检查上述起因，并采取修补措施，确保问题不再复发。

出色的油漆工人在进行喷涂时都会带一支小刷子，用于修补流泻和流挂。在涂料仍然湿润时刷去流泻或流挂，要比涂料干燥后用砂纸将其磨去容易得多。通过以下措施可以避免或者尽量减少流泻和流

挂的发生，包括检查湿膜厚度以确保施工的涂料不要过量，尽可能少用稀释剂来控制粘性，以及喷涂涂料时不要过于靠近表面等。

在出现流泻和流挂的情况下，必须对受影响区域上部的膜厚进行检查以研究是否达到了足够的涂膜厚度。

形成液滴： 浸涂和喷涂都可能在表面的下端形成液滴。出现这种情况的原因可能是：

- 施工期间钢材的温度过低。
- 浸涂后让涂料滴干的时间太短。

在仍然保持湿润时，只要按照上述方法，就可以很容易地对液滴进行修补。要注意液滴可能重新形成！涂料干燥后则必须将液滴切去或磨净。

桔皮： 桔皮是指在涂料中出现像桔子皮一样的凹凸不平。这种现象也被称为**麻点**。原因可能如下：

- 空气雾化压力过低。
- 喷枪距离表面过近。
- 涂膜中溶剂的蒸发速率过快。
- 所使用的稀释剂不当。
- 无气喷涂的压力过高。
- 喷嘴太小。
- 环境温度或者雾化空气的温度过低。

一般来说，桔皮并不属于[严重的]技术问题，而是外观问题。如果在审美上可以接受的话，就应保留不动。如果必须采取措施去除桔皮的话，应遵循下列原则：

如果涂料已经凝结或固化，对于较小的区域必须用金刚砂纸来打磨表面，对于较大的区域则必须进行喷砂处理，然后喷涂溶剂或者一层很薄的同种涂料。如果这是可以重新溶解的涂料，那么就可以省去用金刚砂纸进行打磨的这个步骤，因为后续的湿润涂层（一般）将会溶解下面的干燥涂层。与流泻和流挂一样，如果涂料仍然保持湿润的话，桔皮是可以刷除的。

应当判定桔皮现象的起因，并采取修补措施。桔皮的固化取决于问题的成因。首先要检查的是设备的装配和喷涂技术。检查喷涂模式，并确认已经使用了足量的雾化空气。注意不要使用过多的空气，否则会造成干喷。采用无空气喷涂时，请尝试降低进泵气压。

随后，应检查喷涂技术，并确认喷枪没有过于靠近表面。如果上述各种调整都无法解决问题，请向涂料产商查询稀释剂的使用方法，以纠正问题。可能需要蒸发速率较慢的溶剂。

干喷： 干喷是指液体漆在到达表面前出现部分干化的情况。涂料颗粒无法流出形成光滑的涂膜。干喷会在表面上形成粗糙的沙纸般的纹理。干喷形成的是非连续膜，可能导致涂层的过早腐蚀或者涂层间失去粘性。必须通过打磨清除干喷层，然后重新进行喷涂。（可重新溶解的涂料除外）

引起干喷最常见的原因是喷枪距离表面过远，使用了过多的雾化空气，以及在风速过高时进行喷涂。我们可以注意到干喷的主要原因是涂料颗粒在抵达表面前就发生部分干化，具体说明如下。

正确的喷涂技术要求喷枪垂直于表面，并保持正确的距离。对于传统的有气喷涂来说，该距离在15到20 cm (6-8")之间，而无气喷涂则在25到30 cm (10-12")之间。在传统的有气喷枪中使用过多的雾化空气也会造成干喷。

传统的有气喷涂的正确装配要求首先对液流进行调节，以得到稳定的涂料流。随后，打开雾化空气，并增加气量直至达到正确的扇面模式为止。如果空气调节器超过了这一点，就会引入过多的雾化空气，很容易造成干喷。

如果喷涂期间风太大，通过喷嘴的空气就会吹干涂料颗粒。当风速过高时（通常为7-9米/秒[24-32公里/小时]），就不能采取喷涂。你就必须采用刷涂或者滚涂，或者改日再进行喷涂。

高温空气也可能造成干喷。

分层： 分层是指涂层之间或者底漆与底材表面之间的完全分离。也就是说涂料无法粘附在表面上。分层也被称为**咬底**、**片落**、**剥落**和**破裂**。

出现分层时，必须判定其起因，从而采取适当的补救措施。分层的主要原因包括：

- 在受污染的表面进行喷涂。分层的主要原因是在受污染的表

面上进行喷涂。有时可能是较大的污染物，如污垢、灰尘或其他微粒。在喷涂涂料前，应检查表面上是否存在较大的污染物。尤其是在原先的涂层上喷涂中间涂层或者表面涂层时，这一点显得尤为重要。用抹布或干净的手套来擦拭表面就可以看出是否存在污垢或灰尘了。可能出现的其他污染物还包括水分、油脂，或者来自附近工厂的化学尘埃。

如果你在工厂中进行喷涂，请留意在你的工作地点上风处可能吹来的任何污染物。另一个例子是天桥上的柴油机尾气。桥下卡车的通行可能在底漆表面沉淀一层很薄的看不见的尾气沉积物。如果该表面在喷涂下一个涂层前不进行清洁的话，这层物质就会引起分层。

- 各涂层之间间隔的干化时间过长。

分层的另一个常见原因是超过了材料的复涂间隔。对由于交联而得以固化的涂料来说尤其是这样，如环氧或聚亚胺酯等。产品说明书将给出材料的最大复涂时间。请注意所给定的复涂间隔是针对特定温度的。如果气候比说明书中所规定的更加温暖，则应缩短重新喷涂的间隔。因此请咨询涂料产商以确定工作温度条件下的最大复涂时间。

如果出现分层现象，则必须清除该涂层并喷涂新的涂层。如果分层是由污垢、灰尘或微粒所造成的，只要清洁表面就足够了。油脂污染必需进行溶剂清洁。而超出复涂间隔一般则可以在重新喷涂涂料前，通过轻扫砂或拉毛表面来加以解决。请向涂料产商查询，来判断这些措施是否足以解决问题。其他的分层原因则需要采取其他补救措施来解决。

针孔： 针孔是指肉眼可见的小而深的孔洞。针孔通常成群出现。

这是在喷涂和干化期间在涂膜上形成的微小孔洞，往往是由涂料干燥期间通过湿膜的气泡造成的，从而形成了微型的通道，无法在涂膜固化前闭合。硅酸锌涂料的这些小孔里的空气往往会造成后续涂膜中的针孔。

针孔是常见的一类缺陷，其成因可能有许多种，包括喷枪过于靠近表面以致雾化压力过大，液压过高造成喷涂雾化不充分，涂料配方不当，或者喷涂表面的情况不理想等。

请注意雾化程度过高或者过低都会造成针孔。这说明喷涂设备的正确装配对于获得一个光滑涂膜来说至关重要。

涂料的配方也可能是问题的成因。一个例子就是溶剂平衡不当，从

而可能导致一种溶剂在干燥过程中的某个阶段蒸发过快。而溶剂平衡不当可能是由于使用了错误的稀释剂而造成的。应坚持使用涂料产商所推荐的稀释剂。

基材表面也可能导致针孔的产生。例如，混凝土中含有空隙、小孔以及其他可能在喷涂涂料时造成针孔的小缺陷。混凝土的这些孔隙都必须在喷涂涂料前进行填充。

另一种喷涂涂料时可能产生针孔的表面是无机富锌底漆。无机富锌底漆中含有大量孔隙，而且将长期保持这一状态。当在其顶部喷涂有机涂料时，孔隙中的空气和溶剂就会试图透过湿膜溢出。这种压力就会造成小泡，而后当其发生破裂时形成针孔。通常在温暖的气候条件下起泡现象会更为严重。一种在复涂无机锌涂料时可以尽量减少起泡现象的技术就是在表面上喷涂一层薄雾状的涂层，或者薄薄的一层涂料。这将有助于在排出空气和溶剂的同时，填充这些孔隙。实际上，它密封了表面。一旦在该区域喷涂了这种薄雾涂层，就可以喷涂完全厚度的上部涂层了。

不论具体起因是什么，针孔都是由于所喷涂的湿膜没能正确地流动到一起所造成的，因此关闭了膜中的微型通道。

形成针孔的区域很难通过喷涂更多的涂料来加以补救。但如果使用的是可重新溶解的涂料，就通常可以做到这一点。必需通过机械作用力来填充这些针孔。

这一过程可以通过刷涂来实现。可能需要在受影响区域上多次刷涂来填充所有的这些针孔。

陷穴： 其外观与月球坑洞相似（由此得名）。陷穴是发展过程中的第二阶段，而所喷涂湿膜的干燥过程中的早期阶段会导致针孔的形成。从喷涂湿膜中逸出的空气或溶剂蒸汽气泡在它们到达湿膜表面时，将受到阻力，从而造成暂时性的气泡。在漆膜干燥之前，这些包含在受到拉伸的弹性膜中的气泡或蒸汽泡可能发生爆裂（或者气体/蒸汽可能通过受到拉伸的薄膜而逸散），起泡将破裂从而形成陷穴。

起泡： 这还是同一过程的进一步阶段，在这种情况下气体/蒸汽无法通过顶层的涂膜，同时由于蒸汽压的累积，就形成了泡。此类起泡作用不能与渗透性起泡混为一谈。

空泡： 空泡是漆膜内的空隙。这些空隙可能充满了溶剂蒸汽，但也可能是全空的，只是充满了空气。（通常）空泡是无法在膜的外部看到的，只有将膜切开才能看到。空泡可能成为分子水形成液态水的集中点，当然也就成了漆膜最薄弱的环节。

针孔、陷穴、水泡和空泡都代表了空气/溶剂的部分和完全截留过程中的各个阶段。它们通常要求完全清除受影响区域的漆膜，并重新喷涂所清除的涂层。

鱼眼： 这可以看成是清漆膜涂料中的很小的碗形凹陷。通常其成因是表面上或者雾化空气中的油脂或者硅污染。

鱼眼是指湿膜的分离或者撕裂，从而使下层基材表面或者涂层暴露出来。因为其鱼眼般的外观而得名。鱼眼最普遍的成因是油类污染。而实际上形成鱼眼的液滴中都充满了油。基材表面上的硅树脂污染也可能造成鱼眼。

鱼眼是无法修补的。必须清除涂料，再用溶剂清洁，并重新喷涂涂料。

造成鱼眼的常见原因是故障压缩机造成的油污染。油污染由喷砂空气带入，并沉积在表面，或者在采用传统喷涂方法时由雾化空气带入。出现鱼眼现象时，首先要检查的是气流的清洁度。

这就要求进行吸水纸测试。将一张白色吸水纸或者吸水布放在正在运行的气管喷头末端的60cm（24"）范围内一分钟（切断研磨剂）。用肉眼观察吸水纸或者吸水布，出现黑点就说明有油污存在。如果发现了油污，就说明压缩机发生了故障，需要进行维护。如果在供气中没有发现油类，那么油污就在表面上，需要采取溶剂清洁或者碱液清洁。

破裂起泡： 这是由于涂膜内或涂膜下截留了溶剂或溶剂蒸汽，或者水的渗透，导致黏着力的部分缺失而造成的。涂膜过厚也可能产生起泡现象。

在接触甲醇/水循环液，而涂料对此并无耐受力的舱室中，破裂起泡是非常普遍的现象，

外观不均： 外观不均匀涵盖了多种不同的情况，包括遗漏、缺失、厚度不均、光泽不均或者表面粗糙等。外观不均通常是由于喷涂失误造成的，包括混合不当、张力、喷涂技术或者设备陈旧。

遗漏、漏涂、过薄和过厚的区域一般是由于拙劣的喷涂技术造成的。设备的正确装配对于获得均匀的涂膜来说也至关重要。

为了尽量减少与喷涂有关的问题，请不要忘记正确混合以及涂料张力的重要性。混合不当或者混合不充分可能引发不少问题，包括无法喷涂所要求的湿膜厚度，罐中还留有颜料，双组分材料的固化不

均匀，光泽不均匀，以及其它相关问题。混合不充分以及张力将使涂料结块进入液体管，导致喷枪堵塞。堵塞会造成喷涂图案不均匀，并造成很长的停工期用于维修设备。用旧的喷枪元件，如针头和盖子，也会造成喷涂的不均匀，如造成拖尾。这将导致喷涂的厚薄（不均）区域。

泛白： 泛白是指涂料表面变白的现象。这种表面现象的成因一般是：

- 雨、雾或者冷凝等水分沉积在静止的湿膜表面。
- 湿涂料中混入了水。
- 稀释不当。
- 胺固化剂过多，使涂膜表面活化，与空气中的水分反应，造成了涂膜表面上颜色的改变和油状的微光（胺白化）。

如果要再喷涂新的涂层的话，就必须清除涂膜表面的泛白层，因为泛白可能造成渗透性起泡，并有损于附着力。

泛白一般可以通过用清水或者洗涤剂冲洗从涂膜表面去除。在有些情况下（胺白化），必需进行溶剂清洗，而在极端情况下，则可能必需采用砂纸打磨或者进行彻底的重新喷砂处理。

咬底： 咬底描述的是涂料对老漆膜或者新漆膜的侵蚀作用，一般是由于溶剂的作用造成的，往往会导致起泡、气孔、涂膜起皱。其中的原因可能包括：

- 第二道涂层中的溶剂对第一道涂层来说性质过强，溶解并渗透了第一道涂层。
- 第一涂层仍没有达到覆盖喷涂所要求的那个点，换句话说，就是未达到最小的复涂间隔。

如果出现咬底现象，就必须彻底清除所有的受影响的涂料并重新进行喷涂。

渗色： 这指的是基材表面上有色物质的扩散，以及这种扩散造成的变色现象。这种扩散可能是由某些容易扩散的颜料造成的，或者也可能是某种粘合剂引起的，如煤焦油环氧漆中的焦油成分。一般渗色不会影响后续的涂层，但这种作用会影响物品的外观。多喷几度面漆可以解决这一问题，但有时则必须清除整个涂料系统，并喷涂新的涂料。

焦油的渗色不会影响防污漆的性能，硅基低表面能接触型的涂料除外。可能渗入防污层的含有焦油或颜料的防腐涂料不能和此类防污漆一起使用。

粉化： 粉化（有时也称为**腐蚀**）是指涂料表面失去了大部分光泽，被白色粉末（或“白垩”）所覆盖。这种粉末可以通过轻轻擦拭加以去除，它是粘合剂表层的光化学分解造成的，由阳光中的紫外线所造成的颜料的释放。

环氧漆对紫外线辐射的光化学作用尤为敏感，在涂料配方中所使用的某些颜料也是这样。主要原因在于：

- 使用了对紫外线辐射很敏感的颜料。
- 涂料是基于环氧树脂的。

补救措施包括对所有受影响区域进行高压清水冲洗，随后喷涂一层不易粉化的涂层。

龟裂： 龟裂是指涂料/清漆/油漆的干膜裂开。涂膜的这种开裂可能渗入一道或多道涂层，还可能最终导致片落等形式的涂料全面故障。

ISO 4628/4标准中只使用了**龟裂**一词来描述这种现象，并进而根据下列要点来描述这种现象：

- 数量
- 大小
- 优先发展方向（如果存在的话）
- 类型（渗透深度）

但在该行业中还在使用一些非ISO词汇，说明如下。

微裂： 未深及底层涂料的不规则随机发生的细微裂缝。

细裂： 这个词用于描述涂膜上的浅层开裂。这些开裂没有穿透至基材。人们将已知的细裂分为三类：

- 不规则型（无特别样式）
- 线型（通常为平行线）
- 乌鸦脚型（明显的三叉图案，裂纹从中心出发，各分叉间约成120^0）

细裂开始出现在外表面上，继续加深进入涂层，往往呈V形截面，开口端位于外露的表面上，但通过涂料的收缩，底部并不会有所加宽。轻度的细裂并不属于严

重的缺陷，它说明了涂膜中的压力释放。

龟裂： 这种缺陷与细裂类似，但涂膜的开裂较宽，也较深，但并不都会穿透至底层涂料。

鳄裂： 这个词是用于形容比较严重的龟裂的，会产生类似鳄鱼皮的花纹。

鳄纹被用于形容遍布整个表面的明显而较宽的开裂，但这种开裂并不穿透到基底表面。他们只会影响单层的漆膜。其外观就像鳄鱼皮一样。

鳄裂开始时可能是细裂或微裂，但顶部和底部的裂缝往往都会不断变宽。顶部的涂料收缩，从而露出内层油漆的部分。在鳄裂的极端情况下，交错裂缝之间的涂料“岛”不仅面积会出现收缩，而且厚度也会有所增加，并往往会因此起皱。造成这种缺陷的原因通常是在较软的涂层上喷涂一种较硬的涂料，比如，在沥青基涂料上喷涂醇酸涂料。

开裂是涂膜中出现的一类破坏现象，裂缝会穿透并延伸到基材表面。当难以判定时，如果可以看见下层基底表面的话，只能将断裂称为裂纹。人们目前认知的开裂可以分为三类：

- 不规则型（无特别样式）
- 线型（通常为平行线）
- S型（会聚线和交叉线）

基本上，造成开裂的原因是涂膜中的粘合力小于（I）膜中的内应力，或者（ii）外应力。开裂成因的例子包括：

- 大小不定的基材表面上的涂层系统缺乏弹性，比如，在柔软的下部涂层上喷涂一层较硬的涂料。随后涂料就会从裂缝的边缘开始分离，导致涂料剥落。
- 涂料收缩导致涂膜内张力过大。
- 涂膜和基材表面的膨胀率不同时，造成涂料弹性受限。
- 涂膜过厚。
- 喷涂和/或干化/固化的温度过高。
- 机械影响。

出现开裂时，必须清除受影响区域上的漆膜并重新喷涂新涂层。

泥裂： 泥裂的特征是涂膜中类似干泥田的网状裂纹。大部分类型的涂料都会发生泥裂，但在快干涂料，如无机富锌底漆和乙烯漆中最为常见。

造成泥裂的最常见的原因是漆膜过厚、雾化过度以及喷涂表面过热或者温度过高。

泥裂部分必须去除，并重新施工涂料。可以用于去除泥裂的方法包括用砂纸打磨，或者针对无机富锌底漆使用铝刷筛网。如果泥裂是由于涂膜过厚造成的话，那么下层的材料可能并没有裂缝。如果是这样，只要清除发生泥裂的材料，并根据涂料产商的使用说明再施工一层修复涂层就足够了。

正确的设备装配和喷涂技术可以避免由于漆膜过厚或者过度雾化造成的泥裂。应注意涂层的厚度情况，并尽可能均匀地施工涂料。

如果天气过于炎热，可以通过更换稀释剂来解决泥裂的问题。许多无机锌涂料的供货商都配备两种稀释剂，一种夏用稀释剂和一种冬用稀释剂。夏用稀释剂的溶剂蒸发速度较慢，有利于在高温下施工。如果问题在于表面过热，则可以通过为表面遮荫避免阳光直射，或者通过计划安排使日光直射的部分能在早晨进行涂装。

起皱： 起皱是指皱纹般的外观。表面已经遍布了皮状结构，而下层材料还是湿润的。起皱现象在油性涂料中最常见。

造成起皱最常见的原因是施工了过厚的涂层，或者在过于温暖的气候进行了施工。

如果出现起皱现象，下部的潮湿涂料就无法干燥。因此，必须刮去起皱区域，并施工较薄的涂层。

按照所建议的漆膜厚度范围进行施工就能避免起皱现象。好东西永远不嫌多这句老话并不适用于漆膜。

如果问题是由于表面过热造成的，为该区域遮荫避免阳光直射就能解决问题。

起泡： 必须将与喷涂有关的起泡现象和与漆膜服务暴露有关的起泡现象区别开来。

与施工有关的起泡现象通常由如下因素造成：

- 表面已经干燥或固化的漆膜将溶剂截留在半干化的漆膜内。
- 漆膜下部截留的空气，尤其是下部涂层小孔中的空气。通常此类空气将通过漆膜强行逸出，造成“爆孔”。但在漆膜较厚的情况下，这些空气则会被截留并造成起泡。

与服务暴露相关的起泡现象可以分类如下：

- 浸没服务中的起泡现象

可能浸没服务中最常见的问题就是涂料的起泡现象了。起泡本身并不一定意味着失败，起泡的涂料往往也将为底部的钢质或混凝土基材表面提供长期的防腐保护。但在其他所有因素都不变的情况下，起泡的涂层所能提供的防腐保护程度必定小于没有起泡的涂层。很快，许多起泡内就将充满锈蚀，泡穴内就会发生活性腐蚀。

另一种情况下，气泡会被渗入的化学浓缩液所充满，导致底层基材表面不断受到侵蚀。当舱室被排干时，气泡内也会被排干，压迫漆膜，造成裂纹或者丧失黏着力。因此，应当尽可能避免起泡现象的发生，而要做到这一点，就必须了解起泡现象的机理。

我们在这里将对起泡现象的四种机理进行探讨：由于截留的水溶性盐类造成的渗透性起泡，由于残留溶剂造成的渗透性起泡，阴极起泡以及冷壁效应的起泡。

前两种起泡机理目前是最常见的，而且也是人们最了解的。由于阴极起泡现象只有在非常特殊的情况下，伴随喷涂表面的阴极保护才会发生。冷壁效应起泡很容易出现，但人们还不了解其起泡机理的确切原因。

- 由于所截留水溶性盐造成的渗透性起泡
-

此类起泡机理需要有水溶性盐（如来自排汗、近海地区的盐类污染以及来自附近工厂的化学污染等）被截留在涂层系统底部或者涂层系统的之间。

由于在投入浸没用途后，水分很快就会渗入涂层，因此水分就会溶解所截留的水溶性材料，导致所截留的溶液具有很高的盐水比。相比之下，舱室内的散装液体中含有的水溶性盐分则相对较少，因此相应的盐水比就较低。舱室内散装液体的纯度越高，就越容易发生渗透性起泡。在存储高纯度去离子水时尤其会出现这种问题，比如在核电工厂，以及发电设施中的冷凝系统。盐浓度的不同（高含盐量的截留溶液和低含盐量的散装液体）会造成通常所说的“渗透动力”。为了创造平衡，这种非常强大的动力会提高水分从散装液体一侧渗入截留溶液一侧的速率。

当足够的水分从散装液体一侧渗入涂层，使（作为半渗透膜）两侧的盐浓度相等时，就能达到平衡。

实际上，这种情况是不会发生的，因为在发生了最初的渗透后，渗透力会急速降低，而使涂层材料失去伸缩性，截留在气泡孔穴内的盐浓缩液（很像充满空气的气球，其内部气压高于外部空气）可能在起泡孔穴内积累相当高的气压。

当涂层正在使用时，这种气泡压力在某些部位会与溶液的压力相遇。当舱室被排空，气泡被刺破时，液体往往会随着气泡的破裂以水流状喷出。另一种情况下，如果气泡没有被刺破，水就可能从气泡中流到涂层表面，并蒸发，同样会造成气泡的破裂。因此，为了取得最理想的效果，在舱室排空后不久，就必须检查涂层系统是否出现了气泡。渗透性起泡有时会集中在平坦或水平的表面上，或者汗液或空气传播污染物可能发生沉降的区域。

但矛盾的是，正是排空舱室的这一行为可能导致起泡的涂层发生开裂或者接触空气中的氧气导致气泡孔穴的生锈，而在舱室没有排空的情况下，起泡的涂层则具有防护作用。由于涂层会出现“干燥”、收缩，可能还会开裂并接触氧气，因此，排空一个舱室检查是否存在起泡现象，从一定程度上来说可能是一种自行破坏。

- 截留溶剂所造成的渗透性起泡
-

这种起泡机理和水溶性盐类所造成的渗透性起泡非常相似，只不过截留在膜内的亲水性溶剂取代了上面所说的盐类。

在散装溶液与截留溶剂之间的氢键吸引作用会增加通过涂层渗入溶剂截留点的水量。发生渗透的水量取决于截留溶剂的种类和极性，以及涂层材料的渗透性和物理性质。而严格地说，动力并不是渗透压，但效果是相同的，而气泡的形成也是相同的。当起泡的原因在于截留溶剂时，起泡通常会更易于产生在能够积累溶剂的舱室底部，因涂层中溶剂的挥发受到了阻碍。另一情况下，在较冷的区域或者热沉区域，涂层中溶剂的挥发可能受阻，起泡现象可能更加普遍。

- 阴极起泡

当涂料的使用与阴极保护相结合时，不论是通过外加电流还是牺牲阳极的方式，都必须提供足够的阴极保护电流来保护金属舱室（或管道），但电流也不能过高导致阴极剥离。作为一条经验法则，应使用-0.85伏的电压来保护钢材表面，正

如用标准铜/硫酸铜参考电极与环境相连所测定的那样。如果使用的是其它类型的参考电极，电压值的要求就有所不同了。

如果使用的电压低于-0.85伏，就无法对钢材进行完全的阴极保护。另一方面，低于-0.85伏的电极电势就会造成电能的浪费，因为低于该电压时，钢材的腐蚀会终止。但在实际操作中，为了使远离消耗点的位置（突出、边缘和凸起）保持-0.85伏的最低电压，则必需在阴极保护电流的消耗点维持一个更负的电压。这是衰减的结果——为了留回到消耗点，管道或舱室上的阴极保护电流流经纵向金属电阻时会造成电压降低。

就这个方面来看，大直径的喷涂管道或者容器比小直径的管道或容器更容易实现阴极保护，因为较大的钢材横截面意味着纵向电阻较小，造成的衰减较低。不过，如果保护性电压过高（接近-1.2伏的铜/硫酸铜电极级别），涂料表面上的涂料缺陷就可能产生氢气。氢气泡可能造成缺陷点周围涂料的机械咬底，导致丧失黏着力，露出更多钢材。如果电压超出-1.2伏较多，就可能发生涂料系统的大面积起泡和剥离。在存在外加电流阴极保护系统的情况下，必须提高电流密度以保护这些正处于暴露状态的区域。如果保护系统是通过牺牲阳极来实现的，可能就无法提高电流密度了，而腐蚀将从阴极保护作用最弱的部分开始发生。

- 冷壁效应起泡

  只要容器两侧存在热力差别，就会产生冷壁效应。通常情况下，是舱室的内部被加热，而外部温度较低或者处于冰冷状态。

  涂层暖侧的水蒸汽压要高于冷测的蒸汽压。这种蒸汽压的差别导致通过涂层进入的水蒸气要比逸出的水蒸气更为迅速。由于蒸汽压的增加（也就是，达到饱和或者达到露点）而在较冷一侧发生冷凝。因为系统无法达到热平衡，因此将存在连续的动力实现较冷一侧水蒸气的迁移和冷凝。

  在涂层的暖侧，分子的振动更加剧烈，能量更高，渗透速率加快。随着渗透不断通过涂层进入“冷”侧，渗透速率逐渐减慢，但更重要的是，将发生冷却，还可能发生冷凝。

  由于存在热差别而造成的渗透率的不同，水分最终将聚积在涂料下靠近冷表面的地方。这种积聚将发生在涂料和基材表面粘结力较弱的部分，从而导致了充满液体的水泡的形成。冷热两侧之间的热差别越大，水泡就越大，起泡的频率也就

越高。此外，温度越高，气泡也会越大，起泡的频率也越高。

研究表明渗透性最低的涂料系统比渗透性较高的涂料系统对冷壁效应起泡现象更具有耐受能力。但排除冷壁效应起泡现象的最好方式应该是隔绝容器，尽可能减小内衬的热差别。

上面所说的只是漆膜可能出现的一些缺陷，而且所列清单还仅限于船舶和陆上构件所使用的涂料。这些缺陷中有许多在施工过程中都是很容易得以补救的。施工一个均匀的涂层要求人员了解设备及其操作方法，以及可能引发故障的因素。缺陷的尽可能减少是要凭借经验和实践来实现的。对漆膜缺陷的研究是一项终身性的研究，新的和现存的缺陷及其成因随时都可能发展。