

国家机械工业委员会统编

高级涂装工艺学

(高级油漆工适用)

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

T-0
8.10(10)

机械工人技术理论培训教材

高级涂装工艺学

(高级油漆工适用)

国家机械工业委员会统编

机械工业出版社

本书分别介绍了金属腐蚀与防护概论、色彩知识及美术涂装、涂料与涂层质量检测、工艺选择与涂层质量、涂装新技术等内容。能使多年从事涂装生产的工人们深入地了解涂料在国民经济、人们生活中的作用，能帮助工人在生产过程中独立处理较复杂的技术工艺问题。

本书由沈阳低压开关厂梁省三编写，由沈阳低压开关厂唐守訥、东北工学院表面加工技术研究所车承煥审稿。

高级涂装工艺学

(高级油漆工适用)

国家机械工业委员会统编

责任编辑：崔世荣

责任校对：王惠英

封面设计：林胜利 方 芬 版式设计：胡金瑛

责任印制：庞云武

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业登记证出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行·新华书店经销

开本 787×1092¹/₃₂·印张8¹/₈·字数178千字

1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷

印数00,001—18,600·定价：2.30元

ISBN 7-111-01155-4/TQ·9

前 言

1981年，原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》，确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此，组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》，编写了相应的教材，有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作，初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况，取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订，原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求，而且缺少高级部分；编写的教材，由于时间仓促、经验不足，在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此，原机械工业部根据新《标准》，重新制订了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级)，于1987年3月由国家机械工业委员会颁发，并根据培训计划、大纲的要求，编写了配套教材149种。

这套新教材的编写，体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神，坚持了文化课为技术基础课服务，技术基础课为专业课服务，专业课为提高操作技能和解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上，力求以

基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，注重能力的培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志，工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易；教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前言

第一章 金属腐蚀与防护概论	1
第一节 金属腐蚀分类	1
第二节 金属腐蚀原理	7
第三节 金属防腐方法	20
复习题	28
第二章 色彩知识与美术涂装	30
第一节 色彩的产生及色彩学	30
第二节 颜色的种类及变化	41
第三节 配色	45
第四节 色彩在涂装生产中的应用	54
第五节 美术涂装	58
复习题	67
第三章 涂料与涂层的质量检测	68
第一节 涂料的质量与出厂质量标准	68
第二节 涂层的各项性能指标	92
第三节 涂料及涂层的检验方法	108
复习题	131
第四章 工艺选择与涂层质量	133
第一节 涂料的性能及适用范围	133
第二节 涂层形成的条件	142
第三节 涂装方法及应用	158
第四节 涂装工艺的选择	165
复习题	175

第五章 涂装新技术	177
第一节 涂装新技术国内应用现状	177
第二节 国内外新型涂料生产现状及前景展望	205
第三节 国内涂装设备的更新与现代化	211
第四节 涂装新技术应用现状及前景展望	220
复习题	251

第一章 金属腐蚀与防护概论

金属表面与其周围介质发生的化学或电化学反应，使金属遭到腐蚀破坏，这种金属表面与介质接触发生反应而遭到破坏的过程，称为金属腐蚀。金属遭受腐蚀破坏的现象是非常严重的。因腐蚀而破坏不单单是金属本身，金属制品、机械设备、精密仪器仪表等各种构件，同样不能幸免。腐蚀使金属失去本来的面目，设备的机械性能下降，仪器仪表丧失精度而报废。世界上每年因腐蚀造成的损失，可达钢铁总产量的 $1/4 \sim 1/5$ ，足见腐蚀损失的惊人程度。我国是发展中的社会主义国家，钢铁的产量还不多，腐蚀与防护的技术与先进国家尚有一定的差距，尽管国家不断的采取各种有力措施，但仍比很多国家的腐蚀损失为高。由于金属防腐的办法不多，运输储存保管不善等，金属材料锈蚀损失十分严重，不能不引起各方面的严重关注。从事这方面工作的人们，必须充分认识金属腐蚀这个给国民经济造成巨大危害的问题，当做一项重大的难关来攻克，不断的研究它、征服它，力争把腐蚀损失缩小到最低的范围。

第一节 金属腐蚀分类

金属是以呈稳定状态的氧化物、硫化物、碳酸盐等物质存在于大自然的矿石之中，经开采后，用碳和其它物质以强制还原而得来的。炼制成的金属性质极为不稳定，大自然中有丰富的水、氧同金属接触，会使金属表面发生氧化还原反

应而遭到腐蚀，生成多种金属氧化物或氢氧化物。氧、水与金属反应生成的这些氧化物有固态的、液态的、气态的，它们的物理化学性质对金属都是有利的，因为它们存在于金属表面可以加快金属的腐蚀还原。即使给金属提供各种较好的存放条件，若不采取防腐措施，则也是无济于事的，金属在干燥条件或理想的环境中只能降低并减缓腐蚀的进程。因此，必须认真研究金属腐蚀的机理，了解金属是怎样遭到腐蚀的。表现的腐蚀种类有哪些，以便于针对性的采取有效的防腐措施。

一、金属腐蚀按其特点分类

金属腐蚀的种类很多，依据腐蚀过程中表现的不同特点，可分为化学腐蚀、电化学腐蚀等两大类。腐蚀分类的含义分述如下：

1. 化学腐蚀 顾名思义，化学腐蚀就是金属表面在各种化学介质作用下所受到的腐蚀，称作化学腐蚀。化学腐蚀又分为在气体中腐蚀和在不导电溶液中的腐蚀。气体腐蚀指干气体同金属相接触，金属表面产生出的化合物。如氧化物、氮化物、硫化物等。又如钢材在轧制、焊接、热处理过程中，因高温氧化产生的氧化皮。有时在常温下放置一段时间后的电镀件表面光泽发暗等均属此类。金属在不导电溶液中的腐蚀指金属在诸如石油、乙醇等有机液体中所受到的腐蚀（硫化物作用的结果）。

2. 电化学腐蚀 其含义是金属与周围的电解质溶液相接触时，由于电流作用所产生的腐蚀。电化学腐蚀是很普遍的，为人们所常见，其腐蚀原理与原电池原理一样。电化学腐蚀的表现形式很多，又可分为：空气腐蚀、导电介质中的腐蚀，其它条件的腐蚀。空气腐蚀是金属在潮湿的空气中的

腐蚀。导电介质中的腐蚀是金属在受到雨水的浇淋，在各种酸、碱、盐类的水溶液中的腐蚀。其它条件下的腐蚀是地下铺设的金属管道、构件等，长期受到潮湿土壤中的多种腐蚀介质的侵蚀而遭到腐蚀破坏。

二、金属按其被腐蚀的原因分类

金属腐蚀有外部原因和内部原因，但主要是内部原因起主要作用。各种金属相比较，越活泼的金属，它的电极电位越负，很容易失去电子而溶入电解液中，就越容易被腐蚀。

1. 金属腐蚀的内部原因 可根据金属材料的热力学来说明金属腐蚀的内部原因，不同金属相比较，金属本身越活泼，电极电位越负，容易失去电子而溶入电解质溶液中，也就越易被腐蚀。有的金属自身可在表面生成氧化膜（铝及其合金等），自身起保护作用，但氧化膜层疏松易落，脱落后起不到保护作用了，金属腐蚀的内部原因还有：

（1）金属的结构与腐蚀 金属化学成分不均匀，含有杂质，或金相组织不均，一般金属及其合金的金相组织不一样。结晶先后不同，先结晶部分不易腐蚀，后结晶部分易遭腐蚀。

（2）金属表面的物理状态不均匀，机械加工后造成变形，应力分布也不均匀，如棱角、边缘、弯板折弯部位等处都易被腐蚀。

2. 金属腐蚀的外界原因 金属表面受外界的各种影响而产生腐蚀也是严重的，概括起来有以下几种原因：

（1）湿度 空气中含有水分的多少就是潮湿的程度。腐蚀主要是水分造成的，金属表面受到一定潮湿度的影响（金属表面上有水）就会腐蚀，水的来源如雨水、水蒸气，材料、产品被水浸湿等。特别是用于湿热带地区的产品，温度

若达 60°C 以上，湿度达 $65\sim 75\%$ 以上时，金属表面就会形成露水膜使产品锈蚀。

(2) 金属表面受空气中污染物的腐蚀 大气中的灰尘甚多，灰尘散落在金属表面，易结露造成腐蚀。大气中的有害气体如 CO_2 、 SO_2 、 H_2S 等，其中 SO_2 与水反应后对金属腐蚀尤为厉害，而 H_2S 对有色金属腐蚀严重。

(3) 温度变化引起的腐蚀 四季温度变化，昼夜温度变化及地区不同而气温不同等等，都会因温度的变化而使金属表面锈蚀。如夏季白天炎热，晚上温度下降，冬季金属材料，产品从室外运至室内，温度由低变高等等。上述情况都会使金属表面结露而加速腐蚀。

(4) 受化学品的腐蚀 酸、碱、盐等化学品物质对金属表面的浸渍，金属表面有的在酸液浸渍下易腐蚀，有时则在碱、盐类物质浸渍下易腐蚀。

(5) 生产加工中污染腐蚀 金属材料及其产品在运输保管、机械加工过程中，很难避免人为的和自然界造成的污染。如加工前的各种处理工序不彻底，酸、碱、盐处理后冲洗不干净，潮湿放置、泥水灰尘的附着等都会使金属腐蚀。

3. 金属腐蚀分类 按金属被腐蚀原因进行分类是合理而科学的分类方法。腐蚀分类还有一些方法，但各种腐蚀现象互为因果，有时是几种腐蚀的联合，有时是综合反应结果。根据金属腐蚀的现象和腐蚀的原因可分为六种类型：有晶间腐蚀、电偶腐蚀、缝隙腐蚀、点蚀、积物腐蚀、电蚀、露点腐蚀等。

(1) 晶间腐蚀 组成金属微小晶粒的四周发生的腐蚀现象被称为晶间腐蚀。某些不锈钢或合金钢在焊接处，以及金属经一定时间缓慢加热与冷却的地方，以及所含的磷处于

过饱和状态等都易于发生晶间腐蚀。加之不合理的加工工艺使晶界区形成阳极，而一般晶粒内部则是阴极，从而导致晶间腐蚀发生。

(2) 电偶腐蚀 当两种金属相互接触，且存在电解质水溶液时，就可能发生类似于电池作用的腐蚀现象，叫做电偶腐蚀。电极电位 $\ominus$ 较高的金属是阳极，阳极部分会被腐蚀，阴极面积比阳极面积越大，阳极就会被腐蚀的越快。

(3) 缝隙腐蚀和点蚀 缝隙腐蚀是比较普遍的，且危害比较严重。

1) 缝隙腐蚀原因 金属由于毛细管作用，在缝隙中易于积存水分、电解质等，在缝隙内部的溶解氧与金属的接触面大，易同金属反应而使缝隙内缺氧，而缝隙外部与外界相联接，含氧量比较多，于是就形成了氧浓差电池，缝隙内部成了阳极，面积又小，因而腐蚀速度很快，使缝隙越腐蚀越深。腐蚀后的产物铁离子的浓度在缝隙内外也不同，形成另一种浓差电池，在此缝隙外部为阳极，使缝隙越腐蚀越宽。钢铁表面存在的氧化皮可以作为阴极，铁本身形成阳极，如果氧化皮发生了裂缝，铁就会发生电偶腐蚀使裂缝加深。对于经钝化处理的黑铁管、黑铁皮等这种现象的发生特别明显。

2) 点蚀原因 金属表面上局限在点或微孔面积上的腐蚀，通常把这种腐蚀叫做点蚀，也称孔蚀，又称小孔腐蚀，对不锈钢的危害极大。点蚀的原因类似于缝隙腐蚀，点蚀孔内为局部阳极，点蚀外大面积金属、氧化皮等为阴极。不锈钢的钝化保护膜被破坏，就会引起点蚀。溶液中的氯离子或 Cl^- 、 ClO_2^- 、 NaClO 以及 CN^- 等，都易破坏不锈钢的保护膜

$\ominus$ 电极电位，金属同溶液界面间形成了双电层，在此界面上产生了一个电位差，这就是电极电位。

而产生点蚀，若表面被水垢、铁锈玷污，也易于引起点蚀。

(4) 金属表面积物腐蚀 所谓积物，包括积液，沉积固体物等两类，故积物腐蚀包括附着物腐蚀，残留液腐蚀、水垢腐蚀等几种类型。

1) 积液腐蚀 金属设备的各个角落由于毛细管作用，易于积存各种液体。因这种积液数量少，电解质浓度易于快速升高，液体的pH值也会大起大落，因此加速了电化腐蚀。露天堆放的钢铁设备在雨后表面上积水，停止运转的设备残液没有排净，海上船只的各个角落，都易于发生这类腐蚀。

2) 沉积固体物腐蚀 包括金属设备上粘附的灰尘、锅炉中的水垢、水管中的多种沉积物等。污垢物部分都成为阳极，易于加速腐蚀。水垢的裂缝易于发生浓差电池腐蚀，还易于伴生缝隙腐蚀。

(5) 电蚀 在接近地面的土壤中，通常存在各种可溶性的电解质，农村用的化肥硫酸铵就是一例。同时，有轨电车的钢轨，各种电气设备为安全而接地的地线、无线电、收发报机、电视的发送，接收设备，也都有接地的地线。这些地线把杂散电流带到土壤中，使土壤中埋设的金属管道或其它地下金属设施成为电极，它们的阳极区就会被杂散电流所腐蚀，这种腐蚀叫做电蚀，又称为电解腐蚀。电焊的接线不正确，引起的腐蚀最严重。尤其在海上，因海水是强电解质，船舶及其它海上设施一旦漏电，腐蚀比土壤中严重得多。同一般腐蚀比，电蚀的腐蚀速度快，破坏严重。

(6) 露点腐蚀 空气中的饱和水蒸气，其压力随温度升高而增加，当没有水汽补充或大气压力不变时，如果空气温度降低，水蒸气达到了饱和点，即空气中的水蒸气分压达到饱和水气压时，则这温度叫做露点。温度降到露点以下，

空气中的水蒸气就凝结成露。由于液态水分的电化腐蚀作用比水蒸气的腐蚀作用强得多，因此，如果气温降低到露点以下，水蒸气凝结成露，也会引起腐蚀，这就是露点腐蚀。如果金属表面的积尘中含有干燥的电解质（如盐类），则电解质溶于露水中，使露点腐蚀更加严重。通常露水珠滴小，体积多变，电解质浓度、pH值易大起大落，易于伴生浓差电池腐蚀、点蚀等腐蚀现象。

第二节 金属腐蚀原理

一、原电池与腐蚀电池

1. 原电池 电化学腐蚀是指金属在腐蚀的同时，伴随着产生电流的过程。为了了解电化学腐蚀的基本原理，可做这样的实验：把一块锌片与一块铜片浸在稀硫酸溶液中，然后用一根导线把锌、铜试片连接起来，并在导线中串联一个安培计、一个电阻，这时可看到安培计上有一定的电流通过，且电流是从铜片流向锌片，即电子从锌流向铜。见图1-1。

上述电池中锌的电位比铜负，所以当电池工作时，锌为负极，锌在硫酸溶液中发生了化学反应，逐渐地以正离子状态进入溶液，使锌电极失去正离子，这样自由电子便过剩而通过导线流向电位较正的铜电极（正极）。在铜极上发生还原反应而产生氢气，由此可见，铜片上放出来的氢气不是铜片与稀硫酸的化学反应，而是溶液中的氢离子在铜片

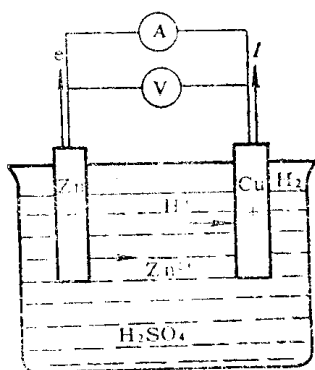


图1-1 Zn—Cu 原电池

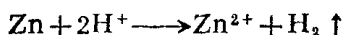
A—安培计 V—伏特计

I—电流 e—电子

上获得了从锌原子放出的电子，从而变成氢分子的结果。其化学反应式是：



最后电极电位比铜低的锌会被不断地消耗而腐蚀。整个反应为：



即当电解液中有任何两种电极电位不同的金属相连接时，即可构成原电池。

2. 腐蚀电池 由于金属表面状态的不均匀性（化学组成的不均匀、物理状态不均匀，如内应力、表面粗糙度等的不均匀）水膜中溶液的不均匀性（成分的不均匀、浓度的差别等）等，造成水膜下面金属表面不同区域的电位亦不同，使各区域间产生电位差。两个邻近的，电位不同的区域连接在一起，由水膜作为电解液传送离子，金属作为传送电子的导体，形成了电的循环，这样就构成一个短路电池，在金属表面形成了许许多多这样的腐蚀微电池，金属的腐蚀就这样以腐蚀电池的作用进行着。在金属中，阳极上金属给出的电子流向阴极。在水膜中，带正电荷的阳离子从阴极区经扩散移向阳极，它们相遇生成二次产物。全部过程即阳极区上原子放出电子成为离子，离子进入溶液，在溶液中扩散，在金属体中电子由阳极流向阴极并通过阴极过程被“去极化剂”取走，以及“去极化剂”之补充、供给等，如果不断地进行着，则腐蚀过程亦继续进行。可以看出，在这个腐蚀电池的全部过程中，实际上有两种类型的腐蚀原电池，即浓差电池（在钢铁表面有水滴时，由于氧气浓度不均匀造成的），和晶间差电池（在钢铁表面有同一溶液薄膜时，由于金属晶间组

织和物理状态不均匀造成的), 在腐蚀过程中通常是两种腐蚀同时起作用, 只是往往以一种过程的出现为主。

二、电化腐蚀原理

若把铁的试样浸渍在水中, 特别是在电解质的水溶液中, 铁的表面总会有少量的铁原子溶解在水中成为铁离子, 并发生下面的可逆反应, 直至达到化学平衡为止:



推广到一般金属 (M), 则有



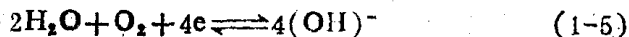
从上述反应式中可看出, 这里的正反应是铁 (或金属) 放出电子 e^- 而溶解为离子的反应, 是氧化反应。在电化学中称为阳极反应。此时铁成了一种阳极, 受到电化腐蚀作用。逆反应是还原反应。即铁离子接受电子而重新还原为金属铁的反应。这些电子所带的负电荷使铁和水溶液之间产生电位差叫做电极电位, 又称电极电动势。在铁的表面上发生阳极反应的地区, 叫做阳极区。显然, 如果没有其它因素干扰 (即不存在阴极区), 当铁和水溶液之间的电位差 (电极电位) 达到一定值时, 这种可逆反应就能达到正向和逆向反应速度相等的平衡状态。至此, 铁的腐蚀反应实际上就会自然停止。通常, 水中总是或多或少地存在氢离子:



纯水的氢离子浓度约为 $[\text{H}^+] = 10^{-7} [\text{mol}(\text{离子})]/\text{L}$, 通常用 pH 来表示, 即 $\text{pH} = -\lg(\text{H}^+) = -\lg 10^{-7} = 7$; 在酸性溶液中, pH 值小于 7; 在碱性溶液中, 则 pH 值大于 7。因此, 在水溶液中, 铁板上的金属原子所带有的电子可以和水中的氢离子相结合而生成氢气, 铁板上失去电子部分就成为阳极区:



铁等金属是能导电的，在阳极区表面失去了电子，就使阳极区表面的电子向阴极流动，于是阳极反应式(1-1)、式(1-2)不再平衡，阳极区的铁就继续不断地溶解成为铁离子，铁就继续被腐蚀。式(1-4)就是一种阳极腐蚀反应。在酸性溶液中的金属腐蚀现象，主要就是式(1-4)所表示的反应。pH值越小，氢离子浓度越高，反应式(1-4)越易向右移动，则铁的腐蚀速度越快。铁能在酸中置换氢，自己很快被腐蚀，就是这个道理。如果pH值较高(例如在10~12之间)，铁就难以被腐蚀。但pH值很高(如pH大于14)时，则浓度高的 OH^- 对铁也有一定的腐蚀作用，对铝腐蚀更大。在阴极还有第二个反应，即反应式(1-5)所表示的，在含有氧气的水溶液中的阴极腐蚀反应。



在含有水分的潮湿空气中，在含有溶解氧的水中，都会发生这种阴极反应。反应式(1-5)还说明氧气有两种作用：第一，使反应式(1-5)向右移动，生成氢氧根离子 OH^- ；第二，反应式(1-5)需要捕获大量电子，促使大量电子在金属内部自阳极向阴极流动，从而破坏了阳极的化学平衡，因而加快了铁的阳极腐蚀速度。这种过程叫去极化(也称脱极化)。由于阴极反应式(1-4)消耗了大量氢离子 H^+ ，而把许多氢氧根离子 OH^- 留在阴极附近，同时，在阴极反应式(1-5)中，氧和水的反应又生成了一些 OH^- 。这两种来源的 OH^- 就与阳极反应式(1-2)所生成的、并存在于水溶液中的铁离子 Fe^{3+} 反应，生成溶解度很小的氢氧化铁 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，沉积在阴极上，也就是第三个阴极腐蚀反应。

