

实用金属防锈

曾兆民 编著

内 容 简 介

本书从实用金属防锈的观点, 阐明了金属锈蚀的起因, 防锈的机理; 介绍了常用防锈材料、装置、检验及标准。内容涉及国防、机械、轻工、化工、冶金以及外贸、商业等部门的防锈问题。深入浅出地从材料到制品、从仓库到露天、从军用到民用、从商店到家庭, 论述了防锈技术的实际应用。

本书可供从事金属防锈和包装的技术人员、研究人员及有关高等院校的师生们参考使用。

实 用 金 属 防 锈

曾兆民 编著

责任编辑 肖志力

新 时 代 出 版 社 出 版、发 行

(北京市车公庄西路老虎庙七号)

新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

787×1092毫米32开本 11.5印张 253千字

1989年5月第1版 1989年5月北京第1次印刷

印数: 0001—4010册

ISBN 7-5042-0035-2/TQ2 定价: 5.85元

前 言

这是一本有关金属防锈的知识性和实用性的著作。它向读者介绍引起金属锈蚀的起因，防止金属锈蚀的原理，防锈的方法、材料、装置、检验和标准。全书力求深入浅出，并着眼于实用，故所述防锈技术立足于取材容易、价格便宜和方法简便。

当前，国内外专门讲述实用防锈的书籍尚不多见。显然，要把一般的防锈材料与工艺用到繁目众多的金属产品上，确非一件轻而易举的事情，这有赖于成熟的防锈经验和举一反三地应用。

笔者在防锈领域中工作了三十年，深感使防锈知识实用化的重要性，故不辞简陋撰写本书，愿有助于从事金属防锈和使用金属制品的人们参考。

为了完善实用金属防锈技术，笔者期望能收到广大读者的要求与意见。来信请径寄：“汉口宝丰二路 182 号 武汉材料保护研究所”。在此顺致谢意。

编著者

目 录

第一章 绪言	1
一、锈与防锈的概念	1
二、腐蚀损失与防锈的意义	1
三、防锈类别及其特点	2
第二章 金属锈蚀的基本知识	5
一、金属的结构与性质	5
二、金属的电极电位	6
三、金属的锈蚀	11
(一) 金属的化学锈蚀	11
(二) 金属的电化学锈蚀	13
(三) 金属的锈蚀过程	17
(四) 影响金属锈蚀的因素	20
(五) 金属锈蚀的特点	30
第三章 金属表面的预处理	37
一、除锈	37
(一) 物理机械除锈法	38
(二) 化学除锈法	42
(三) 电化学除锈法	52
二、清洗	55
(一) 碱液清洗法	56
(二) 有机溶剂清洗法	61
(三) 乳化剂清洗法	64
(四) 其它清洗法	68
三、干燥	69
第四章 防锈与包装材料	70
一、主要防锈材料	70

(一) 水溶性缓蚀剂	71
(二) 油溶性缓蚀剂	77
(三) 气相缓蚀剂	94
二、主要包装材料	113
(一) 包装纸	113
(二) 塑料薄膜	115
(三) 复合包装材料	118
(四) 纸、木、塑料和金属容器	120
(五) 衬垫防震材料	121
(六) 干燥剂	122
(七) 其它	126
第五章 主要防锈技术	127
一、防锈水	127
二、防锈切削液	130
(一) 防锈切削冷却水	130
(二) 防锈润滑切削油	132
(三) 乳化型防锈切削液	134
三、防锈油	142
(一) 防锈油的作用原理	143
(二) 防锈油的种类、组成及性能	150
(三) 防锈油在金属制件防锈中的应用	182
四、防锈剂	190
(一) 气相防锈剂的作用原理	191
(二) 气相防锈剂的种类、组成、性能及使用	197
五、防锈纸	201
(一) 气相防锈纸的种类、性能及使用	201
(二) 气相防锈纸的涂布加工方法	211
六、防锈塑料	214
(一) 防锈塑料薄膜	214
(二) 热熔型可剥性塑料	218
(三) 溶剂型可剥性塑料	227
七、防锈涂料	232
(一) 不可剥性防锈涂层	232

(二) 可剥性防锈涂层	233
八、环境封存	235
第六章 防锈性能的检测	237
一、试验前后的有关技术措施	238
(一) 金属试样及其表面准备	238
(二) 试片锈蚀的类型及锈蚀程度的评定方法	240
二、防锈油脂性能的检测	243
三、乳化型防锈油性能的检测	270
四、防锈水性能的检测	275
五、防锈剂性能的检测	279
六、防锈纸性能的检测	283
七、防锈塑料性能的检测	290
八、防锈内包装材料性能的检测	294
九、防锈包装件的循环暴露试验方法	301
十、半暴露(或车间暴露)试验方法	302
十一、百页箱试验方法	303
十二、室外大气暴露试验方法	304
第七章 实用防锈技术	305
一、机床防锈	305
(一) 工序间防锈	305
(二) 车间库存防锈	307
(三) 装配过程防锈	308
(四) 成品防锈	308
二、轴承防锈	309
(一) 工序间防锈	309
(二) 中间库存防锈	310
(三) 装配工序防锈	311
(四) 成品防锈	311
三、量具与刀具防锈	312
(一) 工序间防锈	313
(二) 中间库存防锈	313
(三) 成品防锈	313

四、汽车防锈	315
(一) 工序间防锈	315
(二) 中间库存防锈	315
(三) 备件防锈	316
五、仪表防锈	317
(一) 防锈前处理	317
(二) 防锈包装	317
六、光学仪器防锈	318
(一) 工序间防锈	318
(二) 中间库存防锈	319
(三) 装配过程中防锈	319
(四) 成品防锈	319
七、大型机械防锈	319
(一) 原材料防锈	320
(二) 工序间防锈	320
(三) 中间库存防锈	321
(四) 装配、检查及试车过程的防锈	321
(五) 成品防锈	321
八、重型设备防锈	322
(一) 卷扬机防锈	322
(二) 桥式起重机防锈	322
(三) 电动葫芦防锈	323
(四) 运输机防锈	323
(五) 破碎机防锈	324
(六) 球磨机防锈	324
九、通用设备防锈	325
(一) 水泵防锈	325
(二) 风机防锈	325
(三) 空气压缩机与冷冻机防锈	326
(四) 阀门防锈	326
十、锻压设备防锈	326
十一、农业机械防锈	327
十二、机床附件防锈	328
十三、机械配件防锈	329

十四、手工工具防锈	329
十五、建筑五金防锈	330
十六、家用金属制品防锈	331
(一) 手表防锈	331
(二) 缝纫机防锈	332
(三) 自行车防锈	332
(四) 电镀桌椅防锈	333
(五) 铝制用具防锈	333
(六) 刀、剪防锈	334
十七、露天材料防锈	335
十八、库存产品防锈	336
十九、停用机械防锈	337
(一) 临时防锈	337
(二) 长期防锈	338
二十、受灾机械防锈	338
第八章 防锈技术的开发前景	342
一、协同缓蚀剂与载体	342
二、复合防锈工艺材料	345
三、系列化、标准化和商品化	347
附录	349
附录 1 美国 P 系列防锈剂的标准代号 (包括日本相应的 NP 系列与标准代号)	349
附录 2 我国防锈试验方法的标准代号 (包括日本相应的标 准代号)	352
附录 3 防锈用内包装材料的品种与国内外标准代号	353
附录 4 常用防锈材料的生产单位	354
附录 5 常用防锈剂 (缓蚀剂) 的生产单位	357
附录 6 常用乳化剂与清洗剂的生产单位	358
附录 7 全国经售防锈油的特种油品服务部地址	360

第一章 绪 言

一、锈与防锈的概念

“金属腐蚀”是指金属受到周围介质的电化作用或化学作用而发生的破坏现象。人们习惯把金属在大气中由于氧、水分及其它杂质而引起的腐蚀称为锈蚀，其腐蚀产物叫做“锈”；把在高温下空气对金属的侵蚀则称为氧化，其产物叫做“氧化皮”；把强腐蚀性介质中发生的侵蚀破坏称之为“腐蚀”。

从上可见，以“腐蚀与防腐蚀”代替“锈蚀与防锈”似更为恰当，鉴于本书是以防止金属的大气腐蚀为题材，故仍拟名为“防锈”。但是，在讨论金属发生锈蚀的本质时，难免还要涉及“腐蚀”这个更为确切的科学名词。

二、腐蚀损失与防锈的意义

众所周知，金属的腐蚀现象是十分普遍的。目前，全世界每年生产金属材料约七亿吨以上，其中竟有三分之一因腐蚀而报废。据1985年日本《金属》杂志报道，世界工业发达国家的腐蚀损失如下：美国每年腐蚀损失700亿美元，日本为92亿美元，苏联为67亿美元，西德为60亿美元，英国为32亿美元，澳大利亚为5.5亿美元，瑞典为0.77亿美

元，芬兰为 0.62 亿美元。其腐蚀总损失占各国生产总值的 1.5~4.2%。我国工业正在日益发展，腐蚀损失尚未进行全面调查，从个别例子看，1971 年燃化部提供部属的石油化工企业维修用钢材达 40 万吨，仅此数量就足够生产载重汽车 24 万辆。由此推之，我国金属腐蚀的损失也是相当可观的。

诚然，由于大气腐蚀造成金属锈蚀的数量要小得多，但是，金属加工成制件后因锈蚀的间接损失价值，却又远非金属材料锈蚀的损失值可比拟。诸如：机械车间因锈蚀的返工，机器因锈蚀造成运转失灵，仪表因锈蚀致使指示差错，储运及拆箱待用的精密器械、仪器与设备因锈蚀而退货或报废等。金属制品因锈蚀丧失其使用价值，不仅仅是经济上的损失，而更为重要的是影响到人民生活、四化建设和巩固国防。因此，防锈工作上与节约金属材料、保证产品质量、降低生产成本和提高劳动生产率密切相关。

三、防锈类别及其特点

有效地防止金属制件和设备的锈蚀，目前的防锈方法大致可分为四大类：

1. 从金属内部组织结构来改变其抗蚀性能

此法是从金属材料本身考虑，使金属内部组织结构改变成合金钢、不锈钢等。通常是在炼钢时加入硅、锰、铬、钒、钛、硼、钨、钼或稀土等合金元素，使铁与这些元素结合，增强抗蚀性能。

2. 金属的表面转化层和“永久性”表面覆层

本法可分为：

化学及电化学转化覆层：如氧化、磷化、铬酸盐化、氟化等；

表面合金化：如氮化、渗金属（渗铬、渗铝、渗氮等）；

金属覆层：如电镀金属、喷镀金属、化学镀、气相镀、熔镀等；

非金属覆层：无机覆层如搪瓷、陶瓷覆层；有机覆层如油漆、塑料、橡胶等覆层。

3. 阴极保护

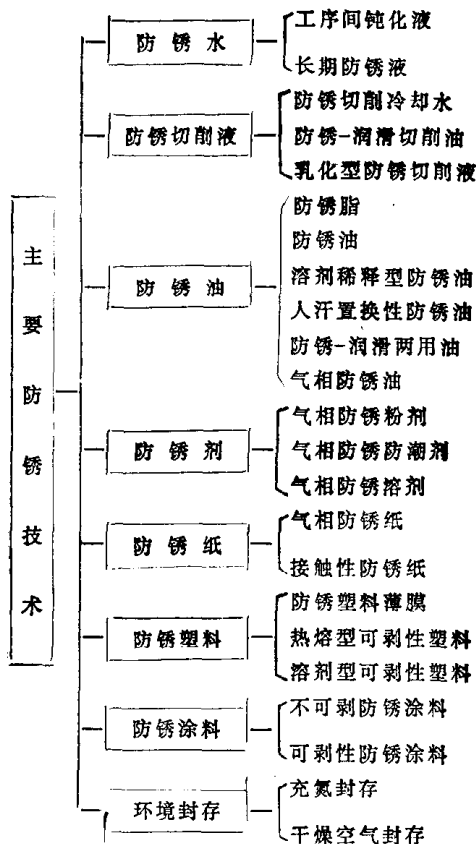
即使金属表面变成阴极。如在海水中用镁块作阳极，与钢板联在一起，使钢板转变成阴极，从而保护钢；又如：地下管道和化工设备，也可用同样的办法外加一电极，通上电流进行保护。

以上第2、3类方法，属“永久性”保护，不宜作为金属制件加工过程中和某些机件加工面、工作面等的防锈。

4. “暂时性”防锈

所谓“暂时性”防锈方法，并不意味着防锈材料的防锈期短暂，而是指当金属制件使用时，该防锈材料可以顺利地除去。实践证明：“暂时性”防锈材料的防锈期，一般可从几个月到几年，有的甚至可超过10年以上，故其对于金属制件生产、运输和储存时的防锈，具有极其重大的意义。

“暂时性”防锈方法，可以按使用条件（如工序间的加工防锈、车间半成品防锈、成品运输时的防锈、成品储存防锈以及出国产品的防锈等）分类，也可按防锈材料的形式分类；



以下将对各种防锈材料抑止金属锈蚀的机理，使用方法与实用对象，作较详细的叙述。显然，在此以前，还必须对锈蚀的基本知识以及防锈前后的有关技术扼要阐明，以达到“对症下药”和相得益彰的效果。

第二章 金属锈蚀的基本知识

金属锈蚀，是金属发生化学变化的一种现象。这种变化结果使金属变成与原来性质完全不同的另一种物质（锈蚀产物）。引起锈蚀的原因，首先是金属所特有的自然属性，其次是金属所处的环境条件。所以，考察金属的结构与性质，是探讨金属锈蚀起因的关键。

一、金属的结构与性质

必须指出，金属特有的自然属性，是由金属的特殊结构决定的，要想了解金属的结构与性质，必须从物质结构的基本知识谈起。

不同的金属之间，为什么在性质上会有明显的差异呢？这是因为物质具有不同的微粒结构。早在1808年，英国学者道尔顿（John Dalton）就曾指出：“元素由称为原子的极小微粒所组成；某一元素所有原子表现出相同的化学性质，不同元素的原子性质不同”。他的理论实质，经受了时间的考验。当今为人们熟知的“金属的锈蚀”、“塑料或油漆的老化”，不正是构成这些物质分子的原子间的结合发生了变化产生新物质的结果吗！

至于原子是怎样构成物质的分子？近代“原子论”已作了回答。从原子的基本结构来看，原子是由带正电荷的原子核与高速绕核运动的带负电荷的电子所组成。任何一个原子的原子核所带正电荷与核外电子所带负电荷在数量上完全相

等，因此整个原子是电中性的。原子是比分子更小的微粒，它的半径约为 10^{-8}cm ；而原子核更小，它的半径大约只有 $10^{-13}\sim 10^{-12}\text{cm}$ 。原子核虽然很小，但它还由比它更小的带正电荷的质子与不带电的中子构成，质子和中子的质量完全相等。通常，原子核所带的正电荷也就是质子所带的正电荷，并且一个质子所带正电荷与一个核外电子所带负电荷在量上完全相等，因而，在同一原子上核内质子数与核外电子数是完全相等的。所以，性质不同的元素，它们在原子结构上的区别就在于原子核中的质子数不同。这种组成上量的不同，也就形成了它们之间性质上的明显差异。

电子在核外是按照严格的规律排布的，但与核的距离不完全相等，这就是电子在核的周围形成与核距不等的电子层。而每个电子层能容纳的最多电子数又必须遵循 $2n^2$ (n 为电子层数) 的关系。当原子的最外层电子数符合此一规律时，原子结构就非常稳定，否则就易于与其它原子互相结合构成新的物质，例如非常容易产生腐蚀的镁，核外电子数为 12，此时除第一层排足 2 个电子，第二层排足 8 个电子后，在第三层轨道上还排有 2 个电子，这种电子不稳定情况就使镁容易与其它元素结合产生腐蚀产物。

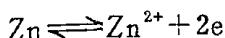
金属化学性质方面的主要特征，就是在化学反应中容易失去电子（成为电子给予体）或得到电子（成为电子接受体）。

二、金属的电极电位

人们在实践中发现，在相同条件下，钢铁往往比铜更容易发生锈蚀，其它各种金属锈蚀的难易也各不相同，这是什么原因呢？腐蚀电化学理论认为因它们具有不同的电极电位。

众所周知，金属晶格是由整齐地排列着的金属正离子及

其间流动着的电子组成的。假如把金属浸入到可以导电的溶液里，金属表面的金属离子就会脱离金属体进入溶液而使金属不断地被溶解。例如：当锌片浸入硫酸锌溶液中时，锌就会以正离子状态进入溶液；但与此同时，也会有部份锌离子返回到锌片表面。此过程可简单地表示为：



溶解前，锌是电中性的。溶解开始阶段，锌向溶液中的溶解速度大于锌离子从溶液中回到金属锌上的速度，总趋势是锌的溶解。所以，溶解过程使本来不带电的金属锌因一部份以正离子状态进入溶液而有多余的电子带上了负电；同时溶液也因锌离子的进入而带上了正电。这样正负电的静电引力作用就在金属锌与溶液的界面上形成了双电层（如图 2-1 所示），此双电层间产生电位差。当金属锌离子进入溶液的速度与溶液中的锌离子回到金属锌片上的速度完全相等（达到动态平衡）时，双电层间的电位差就稳定在一定值上，这个

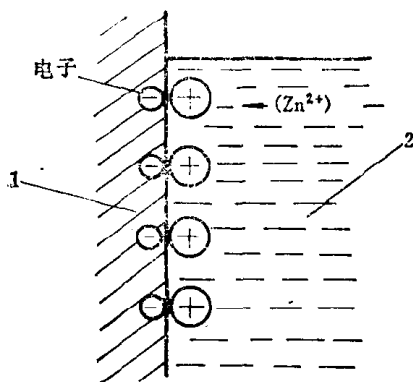


图2-1 锌与溶液界面上的
双电层结构

1—金属（锌），2—溶液（ ZnSO_4 ）。

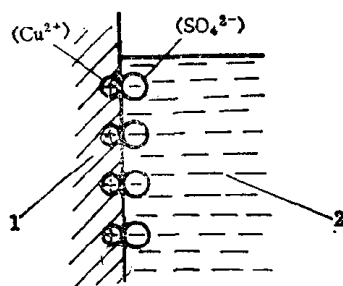


图2-2 铜与溶液界面上的
双电层结构

1—金属铜；2—溶液（ CuSO_4 ）。

值就是锌在硫酸锌溶液中的电极电位（即平衡电极电位）。由于形成双电层时金属锌片上带负电，故锌的电极电位为负值。

假如把金属铜浸在硫酸铜溶液中，此时情况就与上不同了。由于铜离子在金属铜表面上的沉积趋势大于铜离子进入溶液的趋势，这时候在铜与溶液界面所形成的双电层是金属铜上带正电，而与铜表面接触的溶液带负电（如图 2-2 所示），因而铜的平衡电极电位为正值。

再如：把一块锌片浸入硫酸铜溶液中，此时锌与硫酸铜发生置换反应，即锌逐渐被溶解，而铜也逐渐沉积在锌片上。此时锌较铜更容易以正离子状态进入溶液，即愈容易溶解在溶液中的金属，其平衡电极电位愈负。

金属电极电位值的大小，是由双电层上金属表面的电荷密度（单位面积上的电荷数）决定的，它与很多因素有关，首先取决于金属的化学性质，此外金属晶格结构、金属表面状态、温度以及溶液中的金属离子浓度等都会影响电极电位值。因此，通常所说的电极电位是指“标准电极电位”，即某金属浸在该金属盐的溶液中，离子浓度为 1mol/l ，温度 25°C 时的平衡电位。对于一定的金属来说，它是一个特定的电位值。如果把金属按它们的标准电极电位的高低依次排列，就可得到金属的电动序表（见表 2-1）。

在相同的外界腐蚀条件下，从金属电极电位的高低，可以判断金属锈蚀难易的程度。一般来说，金属电极电位越低（或越负）就越容易以正离子状态进入溶液，也就比较容易发生锈蚀；反之，金属的电极电位越高（或越正），就越不容易锈蚀。例如，在同等外界腐蚀条件下，各种金属不易锈蚀的顺序如下： $\text{Mg} < \text{Al} < \text{Zn} < \text{Cr} < \text{Fe} < \text{Cd} < \text{Ni} < \text{Sn} < \text{Cu} < \text{Ag} < \text{Pt} < \text{Au}$ 。然而，这里必须指出的是 Al 和 Cr 的电位均

表2-1 金属25°C时的标准电极电位表(电动序)

金 属	电 极 反 应	标准电位(V)
钾 Li/Li ⁺	$\text{Li} \rightleftharpoons \text{Li}^+ + \text{e}$	- 3.045
钾 K/K ⁺	$\text{K} \rightleftharpoons \text{K}^+ + \text{e}$	- 2.925
钠 Na/Na ⁺	$\text{Na} \rightleftharpoons \text{Na}^+ + \text{e}$	- 2.714
镁 Mg/Mg ²⁺	$\text{Mg} \rightleftharpoons \text{Mg}^{2+} + 2\text{e}$	- 2.37
铝 Al/Al ³⁺	$\text{Al} \rightleftharpoons \text{Al}^{3+} + 3\text{e}$	- 1.67
锰 Mn/Mn ²⁺	$\text{Mn} \rightleftharpoons \text{Mn}^{2+} + 2\text{e}$	- 1.18
锌 Zn/Zn ²⁺	$\text{Zn} \rightleftharpoons \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.762
铬 Cr/Cr ³⁺	$\text{Cr} \rightleftharpoons \text{Cr}^{3+} + 3\text{e}$	- 0.740
铁 Fe/Fe ²⁺	$\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.441
镉 Cd/Cd ²⁺	$\text{Cd} \rightleftharpoons \text{Cd}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.402
钴 Co/Co ²⁺	$\text{Co} \rightleftharpoons \text{Co}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.277
镍 Ni/Ni ²⁺	$\text{Ni} \rightleftharpoons \text{Ni}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.25
锡 Sn/Sn ²⁺	$\text{Sn} \rightleftharpoons \text{Sn}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.136
铅 Pb/Pb ²⁺	$\text{Pb} \rightleftharpoons \text{Pb}^{2+} + 2\text{e}$	- 0.126
铁 Fe/Fe ³⁺	$\text{Fe} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+} + 3\text{e}$	- 0.036
氢 H/H ⁺	$\frac{1}{2}\text{H}_2(\text{气}) \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{e}$	± 0.000
铜 Cu/Cu ²⁺	$\text{Cu} \rightleftharpoons \text{Cu}^{2+} + 2\text{e}$	+ 0.337
铜 Cu/Cu ⁺	$\text{Cu} \rightleftharpoons \text{Cu}^+ + \text{e}$	+ 0.522
银 Ag/Ag ⁺	$\text{Ag} \rightleftharpoons \text{Ag}^+ + \text{e}$	+ 0.799
金 Au/Au ³⁺	$\text{Au} \rightleftharpoons \text{Au}^{3+} + 3\text{e}$	+ 1.5

比 Fe 要负, 按理应更易被锈蚀, 但在实践中, 往往发现 Fe 比 Al 和 Cr 更容易锈蚀, 这是因为在 Al 和 Cr 的表面上, 常生成一种具有保护作用的氧化膜, 使它们表面的电位相应提高。此外, 按照金属的电极电位, 还可判断不同金属在酸中的稳定性, 从表 2-1 中可知, 凡电位低于氢的金属, 都能从酸溶液中置换氢, 而本身受到腐蚀。

按照金属的电动序表, 一般可以推断金属间发生锈蚀的难易, 同时也可粗略地估计两种金属互相接触并浸入同一电