

实用金属防锈技术问答

肖开学 编著



机械工业出版社

本书以问答形式,通俗地解答了金属防锈技术工作中的一些实用性技术问题。主要内容有:金属防锈的基本知识(包括金属锈蚀的现象、起因、锈蚀原理和防锈方法);防锈材料与包装材料(包括缓蚀剂、气相缓蚀剂、防锈油脂、防锈水与防锈切削液、清洗和干燥、涂料与可剥性塑料、防锈包装材料);各种表面处理方法、防锈包装工艺以及环境封存方法(包括除锈、酸洗、酸印、氧化和磷化、各类金属制品和机械设备的防锈包装工艺以及环境封存方法);防锈材料与包装材料的检验方法与分析方法,全书共80题。书末附录介绍了国内外有关防锈与包装标准、试验方法和常用的防锈材料的生产单位等。

本书可供机械、国防、轻工、化工、冶金、外贸、商业等部门从事金属防锈和包装以及设备管理、包装技术人员、管理人员、操作工人阅读,也可供大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)

实用金属防锈技术问答/肖开学等著. —北京:机械工业出版社, 1997.8

ISBN 7-111-05498-9

I. 实… II. 肖… III. 金属-防锈-问答 IV. TG174.4-44

中国版本图书馆CIP数据核字(97)第03125号

出版人:马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码 100037)

责任编辑:崔世荣 版式设计:王颖 责任校对:肖新民

封面设计:姚学峰 责任印制:卢子祥

机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1997年8月第1版第1次印刷

787mm×1092mm^{1/32}·9.375印张·204千字

0 001—4 000册

定价:14.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

前 言

众所周知，许多机械设备零件，乃至日常生活用具，由于人们缺乏必要的防锈知识而造成锈蚀甚至报废，其损失每年约有上百亿元。随着工业生产的迅速发展，特别是乡镇企业的蓬勃兴起，人们对防锈工作的要求越来越高，迫切要求普及防锈知识，提高防锈技能，鉴于当前国内专门阐述实用金属防锈技术的书籍尚不多，本书采用问答形式，将金属防锈知识和实用性技术结合起来，简要地介绍金属锈蚀的现象和起因、锈蚀原理、防锈与包装材料、环境封存与包装工艺、检验方法与分析方法等，可供从事金属防锈和使用金属制品的人们参考。

由于编者水平有限，书中不妥之处在所难免，请读者批评指正。本书由中国航空精密机械研究所范树清高级工程师审阅，谨致谢忱。

编 者

1996年4月

机械工业出版社常备书目录

- 锻压技术问答
- 冷冲压技术问答（第2版）上册
- 冷冲压技术问答（第2版）下册
- 模具技术问答
- 实用电镀问题解答（第2版）
- 实用电工技术问答
- 小家电问答 668
- 汽车发动机保养修理问答
- 汽车发动机故障与维修问答
- 新编汽车修理工技术考核问答
- 解放牌 CA141 载重汽车的使用、维护及故障排除问答
- 公差与配合问答（第2版）
- 钳工装配问答

目 录

前言

第一章 金属防锈的基本知识	1
1. 什么叫金属的腐蚀与锈蚀?	1
2. 金属腐蚀可分哪几类?	1
3. 金属发生电化学腐蚀原理如何? 应具备哪些基本条件?	3
4. 各种金属材料锈蚀的特征如何?	4
5. 影响金属锈蚀的主要因素有哪些?	6
6. 防止金属锈蚀的方法有哪些?	10
第二章 防锈材料与包装材料	13
7. 什么叫缓蚀剂? 它可分为哪几类?	13
8. 常用的水溶性缓蚀剂有哪些? 它们各有什么性能和用途?	14
9. 常用的酸洗缓蚀剂有哪些? 其名称、组成和性能如何?	17
10. 常用的油溶性缓蚀剂有哪些? 其名称、性能和用途如何?	21
11. 石油产品添加剂有哪些? 常用的辅助添加剂有哪些?	27
12. 使用缓蚀剂时应注意哪些事项?	31
13. 气相缓蚀剂有哪些特性? 它可分哪几类? 其缓蚀效果如何?	33
14. 气相缓蚀剂有哪几种使用方法	36
15. 常用的气相防锈纸、气相防锈溶液、气相防锈塑料薄膜、气相防锈油的名称、配方和用途如何?	40
16. 使用气相缓蚀剂时应注意哪些事项?	46
17. 防锈油脂可分哪几类? 常用的防锈油脂的名称、配方和用途如何?	49

18. 选择防锈油脂的基本因素有哪些? 75
19. 防锈油的使用方法和应注意的事项有哪些? 77
20. 防锈油失效的原因有哪些? 79
21. 什么叫防锈水? 它是怎样配制的? 80
22. 常用的防锈水可分为哪几类? 其配方、性能和使用方法如何? 最新发展趋势如何? 82
23. 切削液有哪些作用? 其性能要求如何? 它可分为哪几类? 87
24. 水基防锈切削液分为哪几类? 常用的水基防锈切削液的名称、配方和用途如何? 89
25. 切削乳化液可分为哪几类? 常用的切削乳化液的名称、配方和用途如何? 93
26. 油基切削液可分为哪几类? 其配方和用途如何? 100
27. 切削液的添加剂可分为哪几类? 103
28. 配制和使用切削液时应注意哪些事项? 107
29. 切削一般钢材时应选用何种切削液? 110
30. 切削高强度合金、耐热合金、不锈钢等难加工材料时应选用何种切削液? 111
31. 切削铝及其合金时应选用何种切削液? 112
32. 电切削加工时应选用何种切削液? 113
33. 切削铜及其合金时应选用何种切削液? 114
34. 切削铸铁时应选用何种切削液? 115
35. 常用的防锈清洗剂和清洗方法有哪些? 各有什么作用和特点? 116
36. 常用的干燥方法有哪些? 122
37. 什么叫涂料? 它由哪些成分组成? 其性能和用途如何? 试举例说明 124
38. 什么叫可剥性塑料? 其特点如何? 可分为哪几种类型? 131
39. 可剥性塑料的涂覆工艺如何? 135

40. 防锈包装材料分为哪几类? 其性能和用途如何? 137

第三章 各种表面处理方法、防锈包装工艺及环境

封存方法 143

41. 除锈方法可分为哪几种? 各有什么特点? 143
42. 怎样进行化学除锈? 化学除锈时应注意哪些事项? 150
43. 什么叫酸印? 酸印工艺如何? 155
44. 什么叫酸洗? 酸洗工艺如何? 试举例说明。 157
45. 酸洗溶液的配制及操作时应注意哪些事项? 163
46. 什么叫氧化处理? 其典型工艺如何? 164
47. 什么叫磷化? 其典型工艺如何? 169
48. 什么叫防锈工艺? 制定防锈工艺时应注意哪些问题? 174
49. 怎样进行成品轴承的防锈工作? 175
50. 怎样进行机床的防锈工作? 180
51. 怎样进行量具与刀具的防锈工作? 185
52. 怎样进行汽车的防锈工作? 190
53. 怎样进行光学仪器的防锈工作? 192
54. 怎样进行大型机械的防锈工作? 194
55. 怎样进行通用设备的防锈工作? 196
56. 怎样进行家用金属制品的防锈工作? 197
57. 怎样进行农业机械的防锈工作? 200
58. 怎样进行船舶的防锈工作? 200
59. 怎样进行飞机的防锈工作? 204
60. 怎样进行建筑五金制品的防锈工作? 206
61. 怎样进行手工工具的防锈工作? 206
62. 怎样进行机械配件的防锈工作? 207
63. 怎样进行露天存放金属材料的防锈工作? 208
64. 怎样进行库存产品的防锈工作? 209
65. 怎样进行遭受风灾和水灾机械的防锈工作? 211
66. 什么叫环境封存? 它有几种封存方法? 213

67. 什么叫封套式包装? 其包装工艺如何?	214
68. 什么叫蚘式包装? 其包装工艺如何?	215
第四章 防锈材料与包装材料的检验方法与分析方 法	217
69. 防锈材料的取样有哪些规定?	217
70. 怎样制备防锈油脂的防锈试验试片?	218
71. 怎样评定防锈试验试片的锈蚀?	223
72. 防锈油脂的检验方法有哪些?	225
73. 气相防锈剂的检验方法有哪些?	234
74. 乳化液的检验项目和检验方法有哪些?	246
75. 苏打水及防锈液成分的分析方法有哪些?	254
76. 气相防锈塑料薄膜性能的试验方法有哪些?	258
77. 可剥性塑料性能的测试方法有哪些?	261
78. 压敏胶粘带性能测试方法有哪些?	262
79. 防锈内包装材料性能的测试方法有哪些?	263
80. 怎样进行防锈包装件的质量检验?	270
附录 A 封存包装方法及试验方法的国内外标准及 技术条件	273
A-1 中国标准	273
A-1.1 中国国家标准	273
A-1.2 机械工业部标准	273
A-1.3 航天部标准	274
A-1.4 石油化工行业标准	274
A-2 外国标准	275
A-2.1 美国标准	275
A-2.2 日本标准	277
A-2.3 日本 NP 系列防锈油的种类和用途(JISK2246 —1989)	278
A-2.4 英国标准	280

A—2.5 原苏联标准	280
附录 B 常用防锈材料的名称及生产单位	281
B—1 常用防锈油脂的名称及生产单位	281
B—2 常用气相防锈材料的名称及生产单位	284
B—3 常用防锈剂（缓蚀剂）的名称及生产单位	286
B—4 常用乳化剂与清洗剂的名称及生产单位	287
主要参考文献	290

第一章 金属防锈的基本知识

1. 什么叫金属的腐蚀与锈蚀？

金属由于和外围介质发生化学作用或电化学作用而引起的破坏叫做腐蚀。

金属分为黑色金属（包括钢铁及其合金）和有色金属两大类。通常钢铁这类黑色金属占金属总产量的90%以上。其腐蚀产物主要是附着在其表面通常能用肉眼观察到的棕黄或棕红色的锈（铁的氧化产物）。因此，钢铁这类金属及其制品在大气中的腐蚀又称锈蚀。

“腐蚀”的含义是广义的，对黑色金属和有色金属均适用，而“锈蚀”含义较狭窄，仅适用于黑色金属，并仅针对大气腐蚀而言。但在国内，习惯上把金属（包括有色金属）在大气中由于氧、水分及其他杂质而引起的变色或腐蚀俗称为锈蚀或生锈，其腐蚀产物为锈。例如通常人们所讲的轴承生锈、铜保持架变色等。金属在高温下腐蚀称为氧化，其腐蚀产物为氧化皮。例如热处理后的金属表面的氧化皮、锻压加工后的轴承套圈表面的氧化皮等。在其他强烈的腐蚀性介质（如酸、碱）中引起的金属破坏仍称为腐蚀。有时腐蚀与锈蚀无严格区别，即通常称金属生锈就是腐蚀。

2. 金属腐蚀可分哪几类？

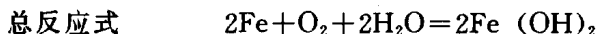
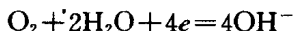
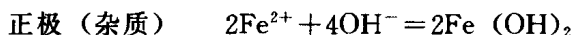
按腐蚀产物的破坏形式可分为全面腐蚀和局部腐蚀。局

部腐蚀又可分为点蚀、斑蚀、孔蚀、剥蚀、晶间腐蚀及腐蚀裂纹等。全面腐蚀是指腐蚀分布在整个金属表面上，例如金属在高温下的氧化，全面腐蚀可以是均匀的，也可以是不均匀的。局部腐蚀是指腐蚀主要集中在金属表面的局部某一处或某几处。

按照腐蚀作用的机理，金属腐蚀可分为化学腐蚀和电化学腐蚀两大类。化学腐蚀是指金属和化学介质发生化学作用而引起的腐蚀。例如金属和干燥气体（如 O_2 、 H_2S 、 SO_2 、 Cl_2 等）相接触时，表面生成相应的化合物（如氧化物、硫化物、氯化物）等，就属于化学腐蚀。化学腐蚀以高温（ $500^{\circ}C \sim 1000^{\circ}C$ ）下的气体腐蚀最为严重。例如高温热处理后工件表面常可以见到其腐蚀产物——氧化皮。此外，金属在一些非电解质液体（如酒精、苯、汽油、煤油、润滑油等不导电的有机溶剂）中的腐蚀，也属于化学腐蚀（如铁在含硫石油中的腐蚀等）。金属和周围的电解质溶液相接触时发生电化学反应而产生的腐蚀，称为电化学腐蚀。电化学腐蚀要比化学腐蚀更普遍，危害性也更大。金属在潮湿空气中的大气腐蚀；在酸、碱、盐溶液和海水中发生的腐蚀；在地下土壤中发生的腐蚀，以及在不同金属接触处的腐蚀等等，均属于电化学腐蚀。电化学腐蚀又可分为微电池腐蚀和大电池（或称宏电池）腐蚀两类。前者为在电解液的金属表面上形成许多隔离的微阴极和微阳极，但分布极不规则，有时可互相更换位置；后者则相反，隔离的阳极区和阴极区相当固定明显，构成一个或几个大电池，阳极区遭受腐蚀。常见的大电池腐蚀有电偶腐蚀、杂散电流腐蚀、浓差电池腐蚀等。

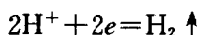
3. 金属发生电化学腐蚀原理如何？应具备哪些基本条件？

钢铁暴露于潮湿空气中时，表面上会吸附上一层极薄的水膜。当腐蚀反应发生时，铁作为原电池的负极被氧化为 Fe^{2+} ，电子在钢铁内部转移到正极（杂质）上。正极主要是溶解在水膜中的氧起还原反应，如图 1-1a 所示。反应式如下：



$\text{Fe}(\text{OH})_2$ 被空气中的氧进一步氧化成 $\text{Fe}(\text{OH})_3$ ，并部分脱水形成铁锈。

当介质的酸性较大（如钢铁酸洗）时，正极主要析出氢气。



因此被称为析氢腐蚀，如图 1-1b 所示。

综上所述，金属发生电化学腐蚀须具备的条件是：

(1) 有电位差存在 即不同的金属或同种金属中含有其他合金成分或杂质在不同区域间存在着电位差。

(2) 电解质溶液 具有电极电位差的各部分金属共处于互相连通的电解质溶液中。

(3) 接触 即具有不同电位的两部分金属之间必须直接接触或有导线连接。它包括金属因微电池作用或宏电池作用而腐蚀的一切情况。

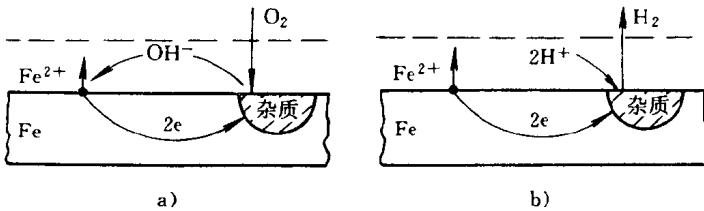


图 1-1 钢的电化学腐蚀原理

4. 各种金属材料锈蚀的特征如何？

各种金属材料锈蚀的特征，取决于金属的种类和所处的环境。一般都有锈蚀孔穴、颜色或光泽改变、胀大剥落的疏松产物等。现分类介绍如下：

(1) 钢和铸铁 锈蚀开始时表面发暗，轻锈呈暗灰色；锈蚀进一步发展表面会变成褐色或棕黄色；严重锈蚀时表面呈棕色或褐色疤痕，甚至产生锈坑。其锈蚀产物及色泽如下：

$\text{Fe}(\text{OH})_3$ ——红棕色；

$\text{FeO} \cdot \text{Fe}_3\text{O}_4$ 和 FeS ——暗黑色；

Fe_2O_3 ——红色、褐色或黑色。

钢铁的氧化皮为其氧化物的多层组成，最内层为 FeO ，其中间层主要为 Fe_3O_4 ，最外层为 Fe_2O_3 。经过发蓝（氧化）和磷化的钢铁工件表面上，锈蚀呈棕黄色或呈点状、斑状锈。

(2) 铜和铜合金 铜的锈蚀呈绿色，也有呈红棕色或黑色薄层。铝青铜表面的锈蚀呈白色、暗绿色及黑色薄层。铅青铜的锈蚀有时呈白色。一般允许铜及其合金有轻微且均匀的变色。其锈蚀产物及色泽如下：

CuO 、 Cu_2O ——棕红色；

CuS ——黑色；

$\text{Cu}_2(\text{OH})_2$ 、 CuCO_3 ——绿色。

(3) 铝合金和镁合金 初期锈蚀表面呈白色或暗灰色的斑点，继续发展则有白色或灰白色粉末状的锈蚀产物充满锈坑。特别是镁合金的锈蚀，其锈坑深度可达几毫米，呈深孔交错状。其锈蚀产物及色泽如下：

$\text{Al}(\text{OH})_3$ 、 Al_2O_3 、 AlCl_3 ——白色；

$\text{Mg}(\text{OH})_2$ 、 MgO 、 MgCO_3 ——白色。

(4) 锌、镉、锡及其镀层 这些金属的氧化物、氢氧化物和碳酸盐均呈白色。腐蚀初期表面呈灰白色斑点，继续发展后变成黑色，灰白色点蚀和白色粉末。

(5) 铅及其镀层 一般锈蚀产物呈白色或黑色薄层，也有呈红褐色或棕色的，其镀层锈蚀严重时，会露出基体金属或使镀层脱落。其锈蚀产物及色泽如下：

$\text{Pb}(\text{OH})_2$ 、 PbO 、 PbCO_3 ——白色；

PbO_2 ——棕、褐色；

PbS ——黑色。

(6) 银及其镀层 在空气中，其表面容易氧化和受硫化物侵蚀而变色，使表面发暗。锈蚀初期，出现暗斑或浅黑色的锈点，呈棕黄或褐色锈蚀现象的则较少。其锈蚀产物及色泽如下：

Ag_2O ——褐色；

Ag_2S ——黑色。

(7) 其他金属及其镀层 镀镍层在锈蚀开始时形成淡灰绿色粉末，进一步受高温和受潮后会产生绿色锈点。镍基合金受潮后也会产生上述斑点。钴钨合金（硬质合金）的锈

蚀呈桔红色。

(8) 喷、涂油漆制件的锈蚀 开始锈蚀时，会引起涂膜膨胀鼓泡，然后使涂膜剥落。

5. 影响金属锈蚀的主要因素有哪些？

影响金属锈蚀的主要因素，包括金属内部因素和外界因素两个方面，现分述如下：

(1) 金属锈蚀的内部因素 影响金属锈蚀的内部因素，主要在于金属材料本身的热力学不稳定性，或者说在于金属表面电化学不均匀性。绝大多数金属都是多组分的合金，金相组织不同，常用的金属材料中均含有一定的杂质，加上机加工常常造成各部分变形不均匀以及应力分布的不均匀等等化学的、物理的和电化学的不均匀性，因而构成腐蚀电池的电极条件，只要金属表面有水膜形成，电化学腐蚀就不可避免会发生。也可以说，金属和金属的腐蚀产物相比具有较高的能量，较不稳定，有自发地向低能量的腐蚀产物转化的趋势，也即是说金属发生锈蚀是自然现象。

(2) 金属锈蚀的外界因素

1) 相对湿度的影响 空气中湿度的大小对锈蚀速度的影响是比较大的，空气中相对湿度越高，金属表面上的水膜越厚。金属表面水膜的厚度和腐蚀速度的关系见图 1-2。

由图 1-2 可见，金属在水膜极薄，相当于区域 I 时，腐蚀速度很小。在区域 IV 时，实际上等于全浸在水中（水膜是不可能达到这样厚度的），这时的腐蚀速度也不是最高的。只有在区域 II 与区域 III 之间时，腐蚀速度最大，相当于湿度较大时形成的水膜就属于这一区域。水膜在此厚度时，氧气透过水膜到金属表面甚为容易，氧的阴极去极化作用不受阻碍，因

而腐蚀速度很大。但当水膜超过一定厚度，例如 1mm 以上时，氧气透过水膜到达金属表面就较缓慢，腐蚀速度因此变低并保持一定了。

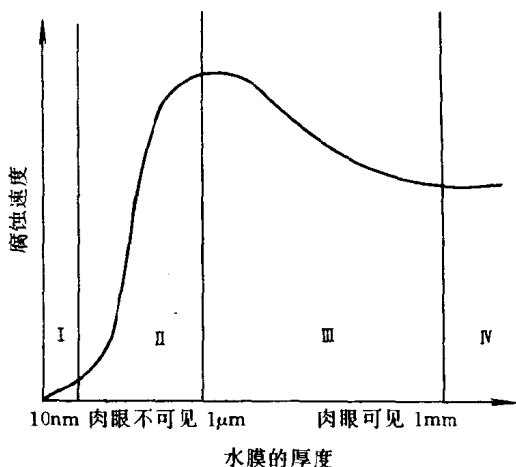


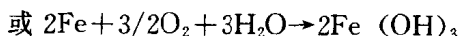
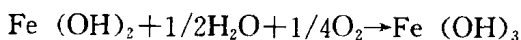
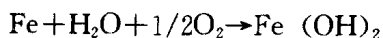
图 1-2 金属表面附着的水膜厚度与腐蚀速度的关系

2) 温度的影响 高温度高湿度地区，金属最容易生锈，然而当高温而相对湿度不大时，例如沙漠地带，钢铁是不容易生锈的。相对湿度甚低时，金属锈蚀则很慢。但当相对湿度逐渐增加达到一定限度时，金属的锈蚀速度则突然上升，这个相对湿度的数值称为临界相对湿度。钢的临界相对湿度约为 70%。故一般认为，当相对湿度低于金属的临界相对湿度（小于 65%）时，温度对于腐蚀的影响很小，此时无论气温多高，由于环境干燥，金属并不容易产生锈蚀。而当相对湿度达到金属腐蚀的临界相对湿度时，温度的影响会起很大的作

用，此时温度每升高 10°C ，锈蚀速度则提高约2倍。在湿热带或雨季，温度越高，金属生锈越严重。我国绝大多数地区，夏季气温高、雨水多，是金属最容易生锈的季节，因而需要采取各种措施加强防锈工作。

温度的最主要的影响，是在温度有较大变化时，引起金属表面凝露而会大大加速锈蚀。所以，在昼夜温差较大的地区，应设法控制室内温度在一定的范围内，并在金属制品的生产中，应尽量避免温度的剧烈变化。

3) 氧气的影响 通常我们用以下的反应式简单地表示生锈过程



由上式可见，如果没有水分和氧，金属就不会生锈。有资料证明，在脱氧的海水中，铁钉泡在其中数十年仍保持它的光泽。大气中存在着大量的氧气，其体积约占空气的 $1/5$ ，即使溶解在水中的氧因生锈消耗了也能得到补充，而且在金属表面吸附的水膜又相当薄，使空气中氧溶解、扩散到金属表面的阴极区变得相当容易，使得氧的阴极去极化过程甚为顺利，故氧在大气腐蚀中常起着主要作用。

在机械加工过程中，常常可看到金属工件的重叠面（即接触面）周围往往会出现一圈变色很严重的锈痕迹，这就是氧不均匀充气所引起的，通常叫做氧的浓差锈蚀。

4) 大气中其他因素的影响 大气成分对腐蚀速度有很大影响，当大气中含有盐雾、二氧化硫、硫化氢及灰尘时，均会不同程度地加速腐蚀。工业区域的大气腐蚀作用高于海洋区域，而乡村大气腐蚀作用最弱，其腐蚀速度只是工业地区