

防 锈

上 册

曾兆民 编

國防工業出版社

内 容 简 介

全书分上、下两册共六章。上册（前三章）主要内容包括：金属表面的预处理；防锈水、乳化型防锈油和防锈油在金属制件加工、运输和储存中的应用技术和质量要求等。并对机械制造工业和国防工业如飞机制造和武器弹药等的防锈，书中均有论述。

可供从事金属防锈专业的工人、技术人员和研究人员参考，也可作为本专业的教学参考书。

防 锈

上 册

曾兆民 编

*

国防工业出版社出版

北京市书刊出版业营业登记证出字第074号

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168¹/₃₂ 印张 7¹¹/₁₆ 193千字

1978年1月第一版 1978年1月第一次印刷 印数：00,001—29,000册

统一书号：15034·1613 定价：1.00元

序

在毛主席革命路线的指引下，我国社会主义建设事业不断取得新的成就。随着祖国“旧貌变新颜”的一派大好形势，机械工业对防锈技术又提出了新的更高要求。

防锈工作，是保证机械产品质量的一项重要手段。如所周知，金属制件在加工、运输与储存时，常常会发生锈蚀现象，我们在实践中可以看到，机械车间因锈蚀而返工，机器因生锈造成运转失灵，仪表因锈致使指示差错，储运后拆箱的精密器械、仪器与设备等因锈蚀而退货或报废。此外，军用器械的锈蚀，将更影响到战争物质的储备。所以，防锈工作，直接关系到巩固国防、加速社会主义建设与支援世界革命。

为了掌握防锈的主动权，我国防锈战线上的工人与工程技术人员，在党的领导下，坚持“独立自主、自力更生”的方针，高速度地发展了一整套我国机械工业所必需的防锈技术。目前，系列品种的防锈油已得到应用，一些较新的防锈方法，如气相缓蚀剂、可剥性塑料与环境封存等，因适于国防工业中应用的特点，即使用方便，可缩短拆除防锈包装所需的时间，使枪、炮等军用器械随时处于“发射状态”而很快地得到了广泛研究与应用。现在，国产防锈油（脂）已发展到七类六十多种，国产气相防锈材料有六类三十多种，可剥性塑料有四类十几种，一些环境封存技术也有应用，某些清洗剂、切削冷却液得到了很大的发展，在防锈装备方面，开始实现了清洗、涂油和包装半机械化和机械化。

为了适应形势发展的需要，现搜集了国内外有关文献资料，系统编写成册，供从事金属防锈蚀的有关人员参考。书中编述了金属表面预处理、防锈水、防锈油、气相缓蚀剂、可剥性塑料及

环境封存技术等内容，详细阐述了各种防锈方法的原理、材料性能、使用工艺与实际应用。对防锈性能的评价方法，扼要介绍了一些正在发展的物理化学（电化学、光化学等）测试技术，但由于篇幅的限制，未能作详细讨论。

书中涉及的数据，力求准确，但对一些三类文献中转载的东西，尚有反复实践验证的必要。在编写过程和收集资料当中多蒙我国防锈战线上工作的同志们大力支持，为本书提供了宝贵经验与资料，在此表示感谢。对于从外国文献中引进来的一些东西，让我们本着“洋为中用”的精神，去其糟粕，取其精华地进行批判地吸收。

本书原稿完成时间较早。以后，在原稿基础上又几经修改与补充，虽然多经斧正，但由于政治与业务水平所限，书中仍难免有不少缺点和错误。恳请广大读者批评指正。

曾兆民

一九七六年于武汉

目 录

序	3
概述	7
一、金属表面的预处理	21
(一) 清洗	22
1. 一般金属制件上油腻、灰尘、杂质等污物的清洗	22
2. 大型设备的清洗	33
(二) 去锈	36
1. 化学去锈	37
2. 电化学去锈	42
3. 局部去锈法	43
(三) 干燥	45
二、防锈水与乳化型防锈油	47
(一) 防锈水	47
(二) 乳化型防锈油	56
1. 组成及其各组份的作用	56
2. 配方	63
3. 配制	71
三、防锈油及其在金属制件加工、运输和储存中的应用	73
(一) 防锈油的作用机理	79
(二) 油溶性缓蚀剂及其发展趋势	88
1. 油溶性缓蚀剂	88
2. 油溶性缓蚀剂的发展趋势	114
(三) 防锈油的种类、组成及性能	123
1. 防锈脂	124
2. 防锈油	142
3. 防锈润滑两用油	151
4. 溶剂稀释型防锈油	160
5. 溶剂沉积硬膜防锈油	165
6. 人汗置换型防锈油	169

7. 气相防锈油	176
(四) 防锈油 (脂) 的性能评价	181
1. 腐蚀试验前后的有关技术措施	182
2. 防锈油 (脂) 的性能评价方法	190
(五) 防锈油及其在金属制件防锈中的应用	220
1. 防锈油的选择原则	220
2. 防锈油的应用	223
3. 应用防锈油的实例	228
4. 防锈内包装材料	235
5. 液体手套	244

概 述

“金属腐蚀”广义是指金属受到周围介质的电化学作用或化学作用而发生的破坏现象。

按照介质的不同，可以区分为：大气腐蚀[●]、地下腐蚀、海水腐蚀及细菌腐蚀等。

但是，对于金属制件、设备，最常见的腐蚀现象，还是大气腐蚀，这是因为，金属制件无论在加工、运输和储存过程中，都难免与大气接触。

大气腐蚀，就其本质而言，属于电化学腐蚀过程。当大气腐蚀时，腐蚀系在金属表面上残留的一层电解液膜中进行。后者可能由于水份的直接沉降，也可能由于大气中气温或湿度变化等原因的凝聚作用而形成。加之，大气中的氧、二氧化碳、二氧化硫等气体或尘埃、盐份等杂质的污染，这样就更加加速了电化学腐蚀。

现有知识表明，影响腐蚀的基本重要因素之一是空气中的相对湿度。当相对湿度较低时，随着温度的增加，腐蚀量的增加并不快，但当湿度到达临界湿度（ $\sim 80\%$ ）后，即使温度增加很慢，腐蚀失重也成倍增长（见图1）。

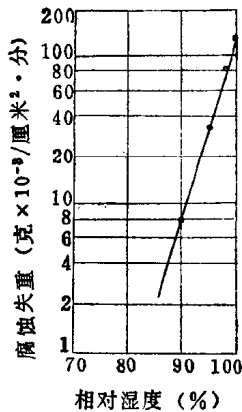


图1 钢铁腐蚀失重与相对湿度的关系

● 对于在大气中由于氧、水份及其它杂质而引起的腐蚀或变色，习惯上常称为生锈或叫锈蚀。

根据这个规律，已确定了钢铁腐蚀速度与大气中相对湿度的关系公式，即

$$V_k = V_0 e^{-(h_0 - h)}$$

式中 V_0, V_k ——在饱和湿度下和该试验湿度下的腐蚀；

h_0, h ——在试验温度下的饱和湿度及该试验情况下的湿度。

温度的影响，也是随着升高而加剧的，空气中水蒸气的含量就是随温度升高而增大，如表 1。这样，尤其在潮湿的环境下，

表 1 空气中水蒸气含量与温度的关系

温度(°C)	40	35	30	25	20	15	10	5	0
1米 ³ 中的水蒸气(克)	39	32	24	18	14	10	7	6	4

由温度因素而促使的腐蚀就更加显著了。这种温度-湿度对腐蚀的影响，从布鲁克斯 (Brooks) 公式可得到进一步的了解，即

$$A = \frac{(H - 65)}{10} (1.054)^t$$

式中 A ——金属腐蚀的劣化度；

H ——相对湿度 (%)；

t ——气温 (°C)。

用布氏公式求出，相对湿度为 70~100%、温度为 5~35°C 时金属劣化度 A 值如表 2。

从表可见，当温度增高和相对湿度加大时，腐蚀程度逐渐加剧。必须指出，温差加大而导致的凝露现象，引起金属表面有冷凝水出现，也是加速腐蚀的重要原因。

其次，大气中存在的大量的氧，是腐蚀的最大隐患；与空气经常接触的水膜，极易为氧所饱和，发生下列反应：

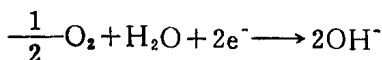
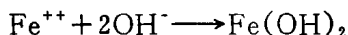


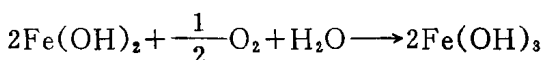
表2 在不同湿度与温度时的金属劣化度值A

相对湿度 (%) \ 温度 (°C)	70	75	80	85	90	95	100
5	0.65	1.30	1.95	2.60	3.25	3.90	4.50
10	0.85	1.69	2.54	3.38	4.23	5.00	5.92
15	1.10	2.20	3.30	4.40	5.50	6.60	7.70
20	1.43	2.86	4.29	5.72	7.15	8.58	10.00
25	1.86	3.72	5.58	7.44	9.30	11.16	13.02
30	2.42	4.84	7.26	9.68	12.10	14.52	16.94
35	3.15	6.30	9.45	12.60	15.75	18.90	22.05

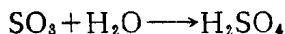
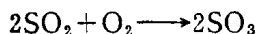
此时，在金属阴极区产生的 OH^- 离子与阳极产生的 Fe^{++} 离子相遇化合成氢氧化亚铁，如：



后者又与空气中的氧作用，变成褐色的三氧化二铁（即铁锈），如：



大气中的 SO_2 ，是腐蚀的加速剂，特别是对于钢、铜及其合金，影响尤大（见图2）；追其原因，可能是部份 SO_2 受金属表面的接触作用氧化成 SO_3 ，后者溶于水成硫酸，降低介质的 pH 值，加速腐蚀，如下列反应所示：



部份未氧化的 SO_2 ，溶于水后成为 H_2SO_3 ，同样也起促进腐蚀的作用。

由于 SO_2 主要来源于煤的燃烧，故工业地区或大都市中 SO_2 的含量是可观的。

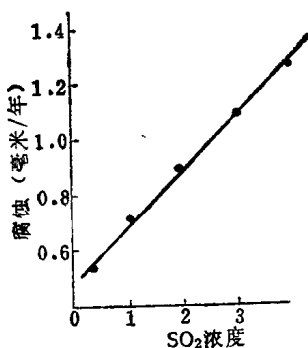


图2 钢铁腐蚀速度与大气中二氧化硫含量的关系
(二氧化硫含量，以 SO_3 毫克数/100厘米² PbO_2 /天计)

此外，燃料燃烧时伴随而来的 CO_2 ，对金属腐蚀也有着类似的影响。

其它如由于大气放电现象时产生的氮氧化物溶入液膜而形成的 HNO_2 和 HNO_3 ；或有机物分解散发出的 H_2S 与 NH_3 等，特别是后者对有色金属起很坏的作用。

由于氯离子对金属氧化膜的侵蚀作用和盐类有可能增强电解液膜的导电性，氯化物一向被视为金属防锈蚀的“死敌”；氯化物主要来源于沿海地区吹来的盐雾，一般沿海附近 Cl^- 离子的含量较海洋上空更大（见表 3）。另一方面是人的手汗中所带来的。

表 3 海岸距离不同时，空气中的氯离子和钠离子的含量

海岸距离 (千米)	离子含量 (毫克/升)	
	Cl^-	Na^+
0.4	16	8
2.3	9	4
5.6	7	2
48.0	4	3
86.0	3	—

硫酸盐或一些其它盐类，有氯化物盐类相类似的作用。

值得注意的是，上述有关腐蚀性离子从天然雨水中的不同影响，有资料表明（见表 4），典型工业地区雨水中的 SO_4^{2-} 和 NH_4^+ ，竟比农村要高出 ~ 100 倍之多；这对一般钢和铜合金组合件的防锈威胁甚大。

大气中的尘埃、微粒，降落在金属表面上时，由于其吸湿性，很快就成为水珠凝聚的核心，也加速金属的腐蚀，这一现象随着外界相对湿度加大影响尤甚，此一性质从图 3 可以看出。

由上可见，金属腐蚀的产生，在颇大程度上取决于不同地区条件和不同气候的影响，表 5 列出了钢等七种金属在三种不同地区大气腐蚀的试验情况，表中指出，钢在工业地区腐蚀速度最快，

镍、锌和镉在沿海地区较易腐蚀,而农村地区一般腐蚀速度较小。

表 4 雨水中阳离子和阴离子的不同含量

阳离子或阴离子	离子含量(毫克/升)		
	农村地区	沿海地区	工业地区
NH_4^+	2	1	252
Na^+	3	35	11
Mg^{2+}	1	4	4
Ca^{2+}	2	7	45
Cl^-	6	61	7
SO_4^{2-}	11	21	803
HCO_3^-	2	3	4
NO_3^-	1	3	73

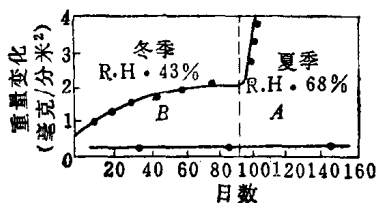


图 3 钢铁在大气中的腐蚀

A—裸露在尘埃中的试样; B—避免了尘埃的试样。

表 5 一些金属在不同地区的大气腐蚀情况

金 属	腐蚀速度(微米/年)		
	农村地区	沿海地区	工业地区
铅	0.9~1.4	1.8~3.7	1.8
镉	—	15~30	—
铜	1.9	3.2~4.0	3.8
镍	1.1	4~58	2.8
锌	1.0~3.4	3.8~19	2.4~15
锡	—	—	—
钢	4~60	40~160	65~230

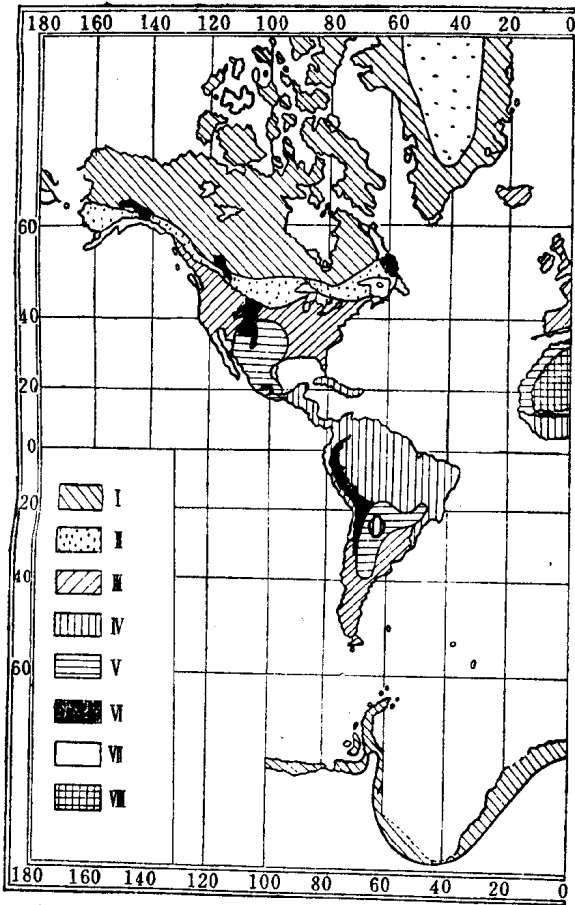
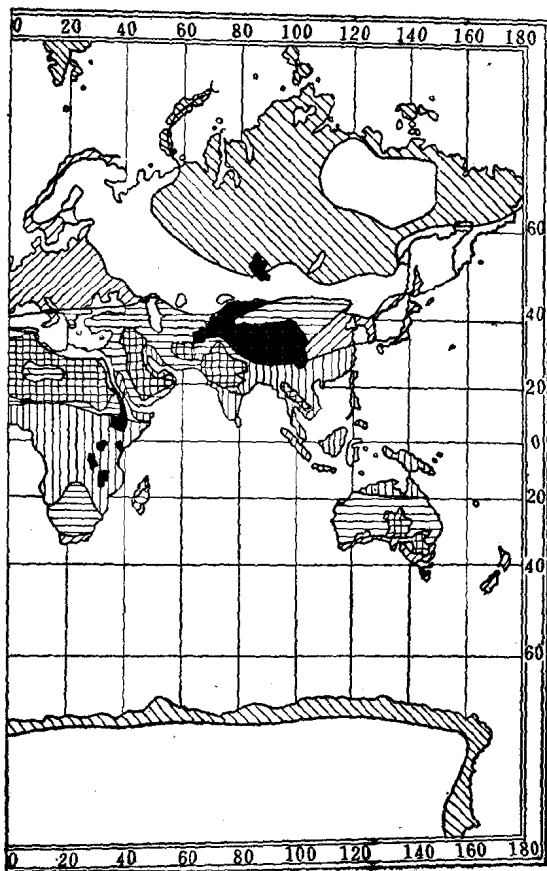


图 4 从金属材料腐蚀情况



角度的地球气候分布图

1106362

这里援引一幅从金属材料腐蚀情况角度的《地球气候分布》图，从此可以大致了解金属在不同地区（国家）的锈蚀概况。

图 4 中所示：

I——冷气候区 这里指的是两极地区和高山地带，年平均温度从 -40 到 -45°C ，这些地区包括：北美洲和苏联东亚地区等。

II——北方气候区 年平均温度从 -25 到 -40°C ，这些地区分布在欧洲的北部和东北部、苏联西伯利亚的南部以及加拿大等。

III——温带气候区 月平均温度高于 20°C ，空气中相对湿度高于 80% ，这些地区包括：中国的华北、欧洲的西部、南美洲的南部以及美国大部份地区。

IV——湿热气候区 这种气候的特征是空气中较长期的高温和较大的相对湿度，由于电器绝缘零件的强湿润和在仪器上常常形成冷凝水，故极易加速金属与非金属表面的腐蚀，在此地区内，生物腐蚀非常严重。这些地区包括：中国长江以南、东南亚、印度尼西亚、印度南部、澳大利亚北部、非洲中部以及南美洲北部。

V——干热气候区 本气候的特征是有较高的温度，且日夜变化很大，但相对湿度较低，月平均温度高于 25°C ，年平均温度高达 45°C ，这些地区包括：中国的西北部分地区、蒙古、中东地区、美国西南、非洲南部以及澳大利亚广大中部。

VI——山地气候区 一般海拔 2200 米以上，气候特征是空气密度较低，空气中含氧量较小。

VII——特冷气候区 温度最低达 -55°C ，如苏联东北地区。

VIII——特干热气区 温度最高达 45°C ，如我国西南云贵高原的部份地区、印度北部、非洲北部等。

从表 6 可见到一些不同地区的特征气候，即在日本高温气候时湿度大，相反欧美在低温气候时湿度大，而我国一般在上半年湿度较高，下半年湿度较低。

表6 世界一些典型地区的平均月温度与湿度情况

月	武汉(中国)		东京(日本)		芝加哥(美国)		伦敦(英国)	
	气温(°C)	相对湿度(%)	气温(°C)	相对湿度(%)	气温(°C)	相对湿度(%)	气温(°C)	相对湿度(%)
1	7.7	76	3.2	63	-3.9	79	4.6	85
2	9.4	78	3.9	62	-2.6	79	4.6	82
3	14.8	77	7.0	65	2.8	75	5.9	78
4	21.2	77	12.8	72	8.9	73	8.2	75
5	26.7	76	17.2	75	15.1	72	11.2	73
6	30.3	78	20.8	80	20.8	73	14.6	72
7	33.3	78	25.1	82	23.7	75	16.8	75
8	33.4	76	26.4	82	22.6	76	16.3	76
9	28.8	74	22.6	82	18.7	76	13.9	79
10	23.1	73	16.0	78	12.3	76	10.4	84
11	16.7	74	11.0	73	4.2	78	6.4	85
12	10.2	75	5.7	71	-2.2	75	5.1	85

表7 我国一些地区的温度与湿度情况

城市	长江以南地区						长江以北地区				海拔1000米以上地区			
	城市	平均最高温度 (°C)	极端最高温度 (°C)	平均相对湿度 (%)	极端最高温度 (°C)	平均相对湿度 (%)	城市	平均最高温度 (°C)	极端最高温度 (°C)	平均相对湿度 (%)	极端最高温度 (°C)	平均最高温度 (°C)	极端最高温度 (°C)	平均相对湿度 (%)
		城市	平均最高温度 (°C)	极端最高温度 (°C)	平均相对湿度 (%)	极端最高温度 (°C)		平均相对湿度 (%)	城市	平均最高温度 (°C)	极端最高温度 (°C)	平均相对湿度 (%)	极端最高温度 (°C)	平均最高温度 (°C)
海口	34.3	38.9	83	32.0	40.3	80	北京	31.7	42.6	56	29.8	79		
榆林	31.7			33.0	40.2	80	太原	31.0		61	24.8	70	33.0	
长沙	34.4	41.5	82	32.8		75	大连	28.1			29.2	58	38.4	
南昌	34.1		83	32.9		81	沈阳	30.2	39.4	66	29.4	58		
济南	33.4	42.7		33.7			长春	28.8			24.0	50		
武汉	33.6	41.3	76	34.0	45.2	68	哈尔滨	28.6	29.1	71	30.5			
重庆	34.2	44.0	83	32.5		81	呼和浩特	28.5			20.0			
成都	31.1				47.8	47	佳木斯	28.1	36.4		21.7			
广州	32.7	38.7	78			84	海拉尔	26.7	40.1		24.7	32	30.5	
湛江	33.1		83								33.9			

● 以历年极端温度与湿度的平均计。

我国气候条件相差悬殊，一些地区的平均最高温度、极端最高温度和平均相对湿度详见表 7。从总的看，我国长江以南温度较高，年平均温度高于 30°C ，相对湿度年平均高于 80%；长江以北年平均温度在 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ ，相对湿度 $< 70\%$ 。

我国高温、低湿的典型地区是吐鲁番，在这类地带由于昼夜温差较大，易于在金属表面凝露，故有可能引起锈蚀。我国低温、高湿的典型地区是海拔高于 1000 米的云贵高原上的贵阳，在那里自古有“天无三日晴”之称，由于空气中湿气较大并持久，故金属也易出现锈蚀。高温、高湿的代表性地区有：武汉、重庆、南京，其次是上海、杭州、南昌、长沙、南宁等地，在这些地区，金属是易产生锈蚀的。我国的东北、华北地区，只有在雨季才出现锈蚀。

此外，还要考虑到季节风的影响。我国每年从 10 月到次年 3 月约 6 个月的时间是北和偏北风盛行的时期；5~8 月约 4 个月是南或偏南风盛行的时期。特别是 7 月份，东南热带海洋暖空气势力最强，这时候，我国天气几乎被这种潮湿而炎热的空气所控制。在这种暖空气中水蒸气含量极为丰富，在每 1000 克空气里约有 20 克以上的水蒸气。

必须指出，上面谈到的锈蚀原因，都是外界条件的影响，亦即金属与其所处周围的环境的关系。其实引起金属锈蚀的更为重要的还是其本身的防锈蚀性能。“自然界的**变化，主要地是由于自然界内部矛盾的发展。**”金属的锈蚀现象，也是遵循这一唯物辩证观点的。

我们知道，一块金属，不可能是绝对单纯的东西，以钢铁为例，它是以铁为基添加碳、硫、磷、锰、硅以及一些合金元素组成。因此钢铁内部，存在着化学成分的不同、非金属夹杂物的多少和金相组织的差异等。这些现象使钢铁本身就存在着矛盾。这些矛盾集中表现在钢铁表面上出现对立着的两个方面，即阴极和阳极。此时，大多数非金属夹杂物都倾向于成为阴极，而铁质则