

民航工人技术等级培训教材

航材专业

航空器材封存

黎远桢 编著

中国民航出版社

V267
1011-3

民航工人技术等级培训教材(航材专业)

航空器材封存

黎远桢 编著



30833373

中国民航出版社

833373

(京)新登字 95—307 号

图书在版编目(CIP)数据

航空器材封存/黎远桢编著. —北京:中国民航出版社,
1995.9

民航工人技术等级培训教材 航材专业
ISBN 7-80110-034-4

I. 航… II. 黎… III. 航空器-设备-防腐-保护-技术培
训-教材 IV. V240.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(95)第 16040 号

民航技术工人等级培训教材(航材专业)

航空器材封存

黎远桢 编著

*

中国民航出版社出版发行

(北京市朝阳区光熙门北里甲 31 号楼)

— 邮政编码 100028 —

北京市昌平区百善印刷厂印装

版权专有 不得翻印

*

开本:787×1092 1/16 印张:9 字数:220 千字

1995 年 9 月第 1 版 1995 年 9 月第 1 次印刷 印数 1—1 500 册

ISBN 7-80110-034-4/V·025 定价:13.40 元

876688

前 言

为了适应民航事业发展的需要,根据民航航材技术工人培训大纲的要求,编写了《航空器材封存》,供民航航空器材封存专业培训使用。

本书扼要地论述了金属腐蚀的起因、腐蚀过程及防止金属腐蚀的各种行之有效的封存方法,并注重介绍了封存工艺规程,使受培训者学习后就能结合实际操作使用。

由于培训大纲是按初、中、高级技术工人进行分级培训而制订的;编写教材则需要有系统性和连贯性,没有按初、中、高三个级别分别编写培训教材,各单位在组织培训的实践中,可根据培训大纲对三个等级的不同要求,选择适当内容进行培训。

由于编者水平所限和时间仓促,书中不妥之处在所难免,希望教师在教学实践中,随时提出意见,以便再版时修改和补充。

编 者

1994年5月

目 录

前言

第一章 腐蚀与环境条件	(1)
第一节 金属腐蚀的概念.....	(1)
第二节 大气腐蚀的特点.....	(2)
第三节 金属在大气中腐蚀的理论.....	(2)
第四节 影响金属腐蚀的因素.....	(5)
第二章 金属材料及其制品的锈蚀特征和除锈方法	(11)
第一节 常见金属锈蚀的特征及识别方法	(11)
第二节 除锈的种类和方法	(14)
第三章 防止金属生锈的方法	(20)
第一节 选择耐腐蚀金属加工产品	(20)
第二节 金属表面加保护层	(20)
第三节 采用电化学防锈方法	(21)
第四节 “临时性”封存防锈方法	(21)
第四章 电镀与氧化简介	(22)
第一节 电镀的基本原理	(22)
第二节 常见金属镀层的性能及其用途	(23)
第三节 常见金属镀层的识别方法	(28)
第四节 金属的氧化	(30)
第五章 国内常用防锈油、脂及防锈剂	(35)
第一节 防锈油、脂的分类	(35)
第二节 国内常用的几种油溶性缓蚀剂	(44)
第六章 航空器材油封	(51)
第一节 概述	(51)
第二节 航材外部油封的程序和方法	(51)
第三节 217 防锈油油封规程	(53)
第四节 航材内部油封的程序和方法	(54)
第五节 航空部件、附件内部油封规程	(58)
第六节 航空发动机封存规程	(81)
第七章 气相缓蚀剂	(92)
第一节 概述	(92)
第二节 气相缓蚀剂的类别和作用机理	(92)
第三节 几种常用的气相缓蚀剂性能简介	(94)
第四节 气相缓蚀剂的使用方法、包装工艺及用量	(97)
第五节 使用气相缓蚀剂的注意事项	(99)

第八章 干燥空气封存	(103)
第一节 概述.....	(103)
第二节 金属容器罐封.....	(105)
第三节 塑料容器密封.....	(106)
第四节 铝塑薄膜包装.....	(106)
第九章 充氮封存与可剥性塑料封存	(109)
第一节 充氮封存.....	(109)
第二节 可剥性塑料封存.....	(117)
第十章 航材封存、包装要求	(119)
第一节 包装环境与干燥材料.....	(119)
第二节 包装容器内相对湿度的测定.....	(120)
第三节 油料、包装纸简便检验方法和油料、药品、纸张的使用要求.....	(121)
第四节 油料和洗涤用油的化验与维护.....	(125)
第十一章 航材封存管理	(128)
第一节 航材封存工作守则.....	(128)
第二节 航材封存的期限.....	(128)
第三节 到封存期航材的抽查办法.....	(131)
主要参考书	(133)

第一章 腐蚀与环境条件

腐蚀是一种自然现象。任何工程、任何产品，都有生产、使用、腐蚀、故障、报废的过程，因此，腐蚀与控制腐蚀就贯穿着产品寿命的全过程。任何产品不可能完全不腐蚀，但可以通过人为的努力，将腐蚀控制到尽可能小的程度，以延长产品的寿命，减少事故的发生。

航空工业是综合了人类的智慧与科技成就而发展起来的现代工业。为了确保飞机的飞行安全可靠，延长航空产品的使用寿命，必须很好地解决产品的腐蚀问题，这就要求参加航空产品设计、加工、材料选择和防护、储运、维护和修理的所有有关的工作人员共同努力才能实现。

第一节 金属腐蚀的概念

金属受周围介质的作用而引起的破坏，称为金属腐蚀。

腐蚀过程是在金属与介质的交界上发生的不均相的化学作用或电化学作用，因而腐蚀具有使金属表面破坏的特性。

金属在大气中常温下由于氧、水分及其他杂质的作用引起表面的腐蚀或变色，习惯上把这种腐蚀产物叫做锈，而一般在高温下空气对金属的侵蚀则叫做氧化，氧化产物叫做“氧化皮”。金属在强腐蚀性化学介质中所引起的侵蚀破坏则称为腐蚀。

按照物理化学的性质，腐蚀过程可以分为两大类。

第一类称为化学腐蚀。

第二类称为电化学腐蚀。

金属和不导电的液体（非电解质）或干燥的气体相互作用称为化学腐蚀。最重要的化学腐蚀形式是气体腐蚀，也就是金属的氧化过程（金属与氧的相互作用）；或者是金属与活性气态介质（二氧化硫、硫化氢、卤素、水蒸气和二氧化碳等）在高温时的化学作用。航空工业产品中的许多重要零件（例如：喷气发动机的燃烧室、导向叶片、涡轮叶片、电加热元件等）由于气体腐蚀而遭严重的破坏，属于化学腐蚀。

以电化学反应为原理的腐蚀过程属于第二类腐蚀。这一类腐蚀的重要特征是在金属腐蚀的同时伴有电流产生。即电子从金属的一个区域向另一区域移动，此时完全不必要由外界电源输送电流给金属，金属本身可以产生电流，而且大部分电流在腐蚀过程进行时产生，被腐蚀的区域是阳极。同时腐蚀作用的产物不像化学腐蚀那样，覆盖在被腐蚀区域能起一定的防护作用，而是常常产生在阳极与阴极之间或直接进入电解溶液中，因此这种腐蚀的危害性较大。这类电化学腐蚀按其周围介质的不同又可分为大气腐蚀、土壤腐蚀和电解质溶液中的腐蚀等等。

钢铁、铝、锌及其他金属在水、酸、碱和盐类溶液中的许多重要的腐蚀现象以及在土壤中的腐蚀实际上都是电化学腐蚀。

一般来讲，当介质为电解液时，主要进行电化学腐蚀。金属在潮湿空气中的腐蚀（大气腐蚀）也属于电化学腐蚀，因为腐蚀过程是在金属表面上从空气中凝结出来的一层很薄的水

膜（电解液）中进行的。大气腐蚀是我们从事航空产品生产、储运和使用中最常遇到的一种腐蚀形式。因为我们的航空产品所用的金属材料，从原材料的库存，到加工以及制成品等，绝大部分都与空气接触。虽然所处的环境有露天、室内或其他特殊条件，但形成大气腐蚀的可能性条件则是类似的。这就给我们仓库航材储存带来一定的困难。为此，我们有必要学习和了解大气腐蚀的理论和实践，帮助我们在航材储存过程中更合理和更有效地采取措施，改进产品的封存方法，尽可能地减少大气对仓库航材的腐蚀，以便使我们的仓储工作做得更好。

第二节 大气腐蚀的特点

金属的大气腐蚀，就其性质而言，是电化学腐蚀的一种特殊形式。大气腐蚀过程并不是在大量的电解液（例如海水、电解质的水溶液等）内进行，而是在金属表面上极薄的一层电解液溶液的液膜下进行的。从机理上来说，大气腐蚀的特点是在腐蚀过程中金属表面上存在液膜。这层液膜，或是由于水分，或是由于大气中气温或湿度变化以及其他种种原因引起的凝聚作用而生成的。金属表面上如果仅仅存在纯粹的水膜，还不足以促成强烈的腐蚀，因为纯粹的水导电性较差。我们知道，通常遇到的较剧烈的大气腐蚀现象，在很大程度上是由于薄层水膜中含有水溶性的盐类以及腐蚀性气体所引起的。因为随着水分的凝聚，水膜中可能溶入大气中的各种气体（氧、二氧化硫等）；同时也还可能落入尘土、盐类或其他污垢。有些产品或材料，在加工、搬运或储存过程中还会沾上手汗等其他污垢。这些杂质引起水膜的污染，明显地提高了它的导电性和腐蚀性，加速了腐蚀。而这些杂质和水膜的存在，对于我们经常遇到的环境而言，一般是很难避免的。航空器材，如果在储运中露天淋了雨或在室内遇上雨季，零件上的表面有水分凝聚，这会吸引人们的注意，但当空气中湿度已降至饱和点以下（相对湿度少于百分之百），特别是在室内条件下，零件上看不见水膜时，往往锈蚀过程已在进行，这种情况就有可能被我们忽视，因此定期地、经常地抽查储存的航材有无锈蚀情况，改善仓库储存条件，采取更好的防锈封存方法等，对提高储存航材的维护、保管质量，具有重要的现实意义。

第三节 金属在大气中腐蚀的理论

这里简单介绍几个重要概念。

一、电极电位

上面讲到大气中存在着氧和水分。金属在大气中，表面上总是吸附着一层极薄的水膜，而这层水膜或多或少地含有溶解的盐类或酸性物质。金属与水膜接触处就有可能放出电子而溶解成为离子，金属愈活泼，这种可能就愈大。溶液中的金属阳离子由于不断碰撞金属，则会从金属表面获得自由电子而沉积到金属表面，溶液中该种金属离子浓度愈大，这种沉积也愈大。最后这两种相反的反应达到动态平衡时，在金属和溶液交界面间便形成了双电层，从而产生了1个电位差。金属的电极电位就是表示这个电位差的大小。我们选择了在25℃溶液中金属的有效离子浓度为每升中1克当量时的电极电位为该金属的标准电极电位。金属电极电

位的大小反映了金属溶入溶液的速度大小。电极电位越是负值，就说明该金属溶入溶液中的速度越大，该金属越容易腐蚀；反之，电极电位越是正值，说明该金属溶入溶液的速度越小，该金属越不易腐蚀。

几种主要金属的电化序数和标准电极电位如表 1-1。

表 1-1 几种主要金属电极电位序表

电化序数	化学符号	金属名称	电极电位 (伏)	电化序数	化学符号	金属名称	电极电位 (伏)
1	Au	金	+0.99	10	Co	钴	-0.23
2	Pt	铂	+0.86	11	Fe	铁	-0.34
3	Ag	银	+0.80	12	Cd	镉	-0.42
4	Hg	汞	+0.79	13	Cr	铬	-0.56
5	Cu	铜	+0.34	14	Zn	锌	-0.77
6	H	氢	0.00	15	Al	铝	-1.34
7	Pb	铅	-0.13	16	Mg	镁	-1.80
8	Sn	锡	-0.14	17	Na	钠	-2.71
9	Ni	镍	-0.20	18	K	钾	-2.92

从表中可以看出镁、锌、铁等金属的电极电位负值较大，实际上它们也易腐蚀。而金、银等金属的电极电位正值较大，在大气中不易腐蚀。但有些金属虽然它们的标准电极电位负值较大，由于在它们的表面与空气接触时，很容易产生一层致密的氧化膜，使表面状态改变，电极电位变为正值，反而使耐蚀性增强。例如铝、铬等金属。金属铬尽管其标准电位是负值，为 -0.56 伏，但在 3%氯化钠溶液中为 +0.23 伏，在 3%氯化钠加双氧水溶液中电位增加到 +0.6 伏；铅也如此，铅的标准电位为 -0.13 伏，但在 3%氯化钠溶液中为 +0.63 伏，在 3%氯化钠加 0.1%双氧水溶液中电位为 +0.52 伏，因为生成氧化膜使电极电位值变正，所以在大气条件下它们比较耐腐蚀。

二、腐蚀原电池

金属失去电子成为正离子的现象，在电位学上叫做“氧化”反应。要使这个“氧化”反应进行，必须同时有一个与其相反的反应进行，以保持水膜中正离子与负离子的平衡，也就是有得到电子的反应进行，这个反应在电化学上叫做“还原”反应。这两个反应要在金属与水接触的界面上的两个区域同时发生。进行氧化过程的区域叫做阳极区，进行还原过程的区域叫做阴极区。在大气中金属的腐蚀过程，实际上就是这种原电池工作过程。见图 1-1。

以钢铁为例：

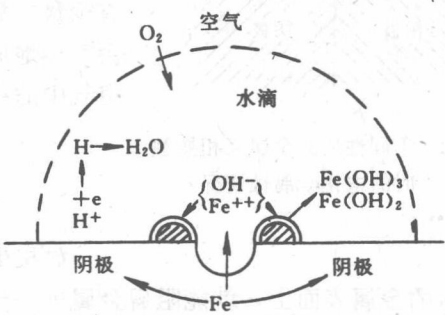


图 1-1 钢铁表面水膜腐蚀

在阳极上 $\text{Fe} - 2\text{e} \longrightarrow \text{Fe}^{2+}$

在阴极上 $\text{O}_2 + 2\text{H}_2\text{O} + 4\text{e} \longrightarrow 4\text{OH}^-$

随着腐蚀的进行,阳极反应产生的2价铁离子 Fe^{2+} 与阴极上所产生的氢氧根离子 OH^- 又相互作用生成可溶性的氢氧化亚铁。



因氢氧化亚铁在水中进一步与溶于水的氧和水作用而形成不溶于水的氢氧化铁,它沉淀附着在腐蚀了的铁的表面上就形成红褐色的所谓铁锈。实际上铁锈是更为复杂的化合物,在大气腐蚀中常见的铁锈主要是氢氧化铁,氢氧化亚铁的混合物,且含有水分,可以用下式表示:



m 、 n 、 p 的数值随条件不同而有很大差异,一般介绍当 $m=1$ 时, n 为1—20,而 p 则为0.5—20。我们有时见到带磁性的黑色硬而脆的产物是四氧化三铁。一般浮锈多半是氢氧化铁。

由于生成的铁锈的结构是疏松的,不能阻止氧与水的侵入,故不能保护金属,所以铁还会继续腐蚀。由于铁的溶解在阳极区进行,在阴极区铁并不溶解。阳极区生成的腐蚀产物又很疏松,不能起保护作用,腐蚀继续进行,腐蚀点愈来愈深,因而在铁的表面形成的锈蚀是不均匀的。

库存的航空器材,绝大部分都是由多种不同性质的金属组合而成的,或者虽是单一的金属,但多半也是属于合金材料制成的。前面已经介绍过,不同性质的金属,它们的电极电位不同,如果互相接触(见图1-2)或较靠近,并遇到空气中的水分或其他的电解液,电位低的金属就比较容易腐蚀。所以我们在存放金属材料时,要求把不同性质的金属材料分开存放,绝对不允许混合堆放在一起。如镁铝合金材料及其制品,不能与铜、铬、镍、不锈钢、锡等材料及其制品接触或存放在一起;纯铝不能与铝合金、铜及铜合金存放在一起;组合机件要求存放在干燥的库房内,不应受潮和保持温度正常等等,其目的就是为防止引起这类电化学腐蚀。

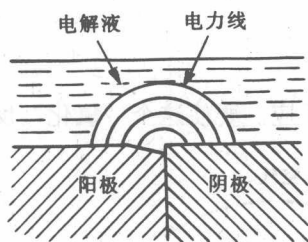


图1-2 不同性质的金属互相接触时的电化学腐蚀情况

电化学腐蚀的速度,与空气的相对湿度有密切关系,当空气相对湿度在30%以下时,金属一般不易腐蚀;相对湿度在30%以上,60%以下时,腐蚀速度较为缓慢;当空气相对湿度继续增大时,腐蚀速度也相应增快,如果空气被污染,含有少量二氧化硫,相对湿度增至70%以上时,则腐蚀速度就会突然地成倍增快。所以,在封存、保管航空器材时,要求空气中的相对湿度不得超过70%,就是这个道理。

三、钝化

如果生成的腐蚀产物具有致密的结构,并紧紧地覆盖在阳极区的金属表面上,就能阻碍金属进一步溶解成为离子,也就阻碍了金属的腐蚀。这时我们就说金属表面钝化了。这个覆盖层就叫做钝化膜。例如铁及铁合金在亚硝酸钠或重铬酸盐溶液中,都能生成保护性的钝化膜。

四、阳极极化

当金属表面生成钝化膜而使金属钝化时，金属与介质间的阳极电位绝对值变化即阳极电位值向正方向移动。这个向正方向移动的现象就叫做阳极极化，它可以使金属腐蚀的速度降低。最近有人对于一些防锈用的硝基化合物以及苯骈三氮唑进行研究，认为在钢或铜的表面生成了钝化膜（苯骈三氮唑能在铜表面上与铜生成难溶的络合物），是阳极极化的结果。

五、阴极极化

同样，使阴极电位向负方向移动的现象，叫做阴极极化。因为阴极极化使得阴极反应受到阻碍，所以阴极极化同样也可以使金属的腐蚀速度减慢。

六、去极化

清除极化作用，叫做去极化。所有在阴极上接受电子的过程，或者说在阴极上还原的过程，都可以称为阴极去极化反应。阴极去极化作用越强就需要阳极释放出越多的电子，也就使阳极氧化过程进行得越快，阳极金属溶解更多，阳极金属腐蚀也就更厉害。一般大气中金属的腐蚀，其阴极去极化作用主要是氧的还原过程，故氧称为去极化剂，在水膜下进行大气腐蚀时，阴极反应主要是氧的去极化反应，即使是电位负值很大的金属，如镁和镁合金也是如此。这就说明了在大气中氧和水分的存在，也是促使金属腐蚀的主要原因之一。

第四节 影响金属腐蚀的因素

一、金属材料本身的影响

因属产品的设计、生产范围，故略。

二、外界自然环境的影响

（一）自然环境条件

我国东临太平洋，西接欧洲大陆，土地广阔。自北纬 $3^{\circ}39'$ 至 $53^{\circ}63'$ ，跨纬度 50° ，西起东经 $71^{\circ}35'$ ，东至东经 $135^{\circ}03'$ ，跨经度 64° 。在地形上有海拔 5 000 米以上的青藏高原，有低于海平面 154 米的吐鲁番盆地。有山河、沟谷、平原、岛屿等多种多样的地形。从而形成了从热带到寒带，从沿海到高原，从潮湿到干燥的各种气候条件，这是没有哪一个国家所能相比的。

据此，可将我国划分为 4 个地带 6 个区域：

1. 热带湿热区

雷州半岛，海南岛，台湾南部。

2. 亚热带亚湿热区

秦岭以南，长江流域，四川盆地，珠江流域，台湾，福建。

3. 亚热带亚干热区

新疆天山以南，戈壁沙漠。

4. 温带温和区

秦岭以北，内蒙古南部，华北，东北南部。

5. 温带干燥区

内蒙古中部、西部，陕西北部，甘肃北部，青海，新疆天山以北。

6. 寒带区

内蒙古北部，黑龙江省。

若按气候又可作以下划分：

1. 气候带

气候带有：热带、亚热带、温带、寒带。

分带原则：按气温划分气候带。

热带：月平均气温等于或高于 25°C 的月份，有 6 到 12 个。

亚热带：月平均气温等于或高于 25°C 的月份，有 3 到 5 个；并于一年中有 8 个月以上月平均气温大于 10°C 。

温带：月平均气温高于 10°C 的月份最多有 7 个，但年最低气温不低于 -40°C 。

寒带：最低气温低于 -40°C 。

2. 气候区

1) 名称

热带：湿热区。

亚热带：亚湿热区，亚干热区，高原区。

温带：温和区，干燥区。

寒带：不再划分区。

2) 定义

湿热天：一天中温度高于 20°C ，相对湿度又不小于 80%，连续 12 小时以上者。

湿热月：全月各天均是湿热天者。

湿热区：全年仅 1—2 月为非湿热月，其余均为湿热月者。

亚湿热区：湿热月连续1到4个月者。

干热月：月平均气温高于 25°C ，全月不出现湿热天者。

亚干热区：干热月连续在1—4个月者。

温和区：湿热天的连续不到1个月者。

干燥区：仅出现1个干热月者。

由于我国的地域情况和气候条件都很复杂，而冶金、航空工业生产的产品和航空器材的储存又遍布全国各地，对于航空器材所用的金属构件，在生产、运输、储存、使用和维修过程中都有可能遇到各种各样的自然环境的影响。例如：

在飞行高度上，温度、湿度的变化和循环，与云、雾、雨的接触，气压的变化，辐射和臭氧变化以及飞行时加速度和发动机振动应力、大气扰动等。

在飞行过程中发动机的燃烧，由此产生的二氧化氮、二氧化碳等。

在露天存放条件下，温度、湿度昼夜变化过大，日照、雨雪、沙土尘埃、海水盐雾、手汗污垢等等。

总之，航材所遇到的环境条件是多方面的复杂的。下面只讲影响航材的几个主要因素，以及在航空器材储存、保管过程中需要注意的问题。

(二) 温度的影响

温度是物体（包含空气）冷热的程度。从分子运动论的基本观点来说，物体的温度就是物体分子的平均动能的量度。空气的温度在气象学上称气温，在仓储学上库内温度称库温，储存物资的温度称垛温，单位是“度”。

温度的主要影响表现在当有大的温度变化时，引起金属表面凝露，这样就大大地加速金属的腐蚀。在昼夜温差大的时候，或气温突然降低，或冬季放在室外的器材搬到有暖气的室内，以及空调库内控温系统断续开闭，都会使金属表面产生凝露现象。在周期地产生凝露，或在潮湿霉雨和炎热多雨的季节以及多雾天气条件下，如不采取有效的防腐措施，金属由于表面凝露最容易产生腐蚀。

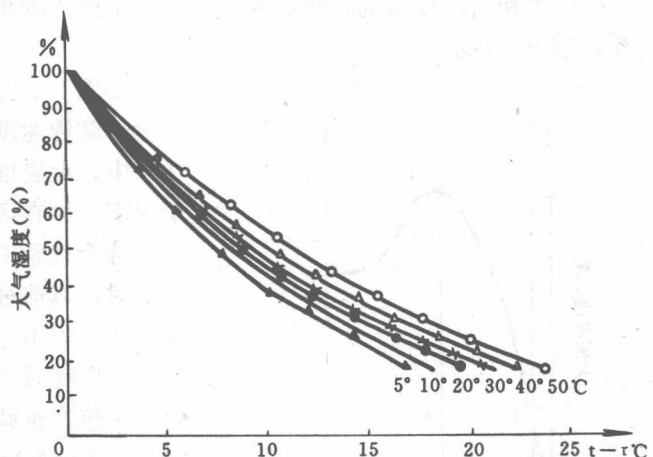


图 1-3 在一定温度的条件下，能引起露滴凝聚的温度差和大气湿度之间的关系

从图 1-3 可以看出，在空气温度为 5°C — 50°C 的范围内，当气

温剧烈变化达 6°C 左右时，只要相对湿度达到 65% — 75% 左右就能发生凝露现象。温差愈大能发生凝露的相对湿度也愈低。一般地说，昼夜温差达到 6°C 的气温变化，在我国的许多地区是很常见的，达到 10°C 以上的地区也很多。例如在湖南长沙、株洲地区昼夜温差可达 15°C 以上，

有时可达到 17.5℃。储存航空器材的库房应保持昼夜温差小于 6℃，相对湿度不大于 70% 为最适宜。

(三) 湿度和相对湿度的影响

湿度是指空气中含水蒸气的程度。

绝对湿度是指单位体积空气中所含水气的多少，单位是克/米³ (g/m³)。

相对湿度就是同一温度下，空气的绝对湿度与饱和湿度的比值，用百分数表示，其计算公式是：

$$r = \frac{e}{E} \times 100\%$$

$$\text{即 } r = \frac{\text{绝对湿度}}{\text{饱和湿度}} \times 100\%$$

空气中相对湿度的大小，对金属在大气中腐蚀的速度有较大的影响。在一定绝对湿度的空气中，当温度高时，相对湿度低，如果使温度逐渐降低，相对湿度达到或超过 100%，此时空气中的水分就会凝结出来。

高温高湿地区，金属最容易腐蚀。但仅温度高而相对湿度不高时（例如亚热带亚干热区），钢铁是不易生锈的。当相对湿度很低时（40% 以下），金属腐蚀很慢或基本不锈。当相对湿度逐渐增加达到某个数值时（例如达到 80%）金属腐蚀的速度突然上升，这个相对湿度的数值称为临界相对湿度。临界湿度的概念，对于我们处理大气腐蚀现象和防护问题，具有重大意义。所谓调温调湿措施，就是成功地利用临界湿度的例子。

空气中相对湿度愈高，吸附在金属表面上的水膜越厚。金属表面水膜厚度与腐蚀速度的关系如图 1-4 所示。

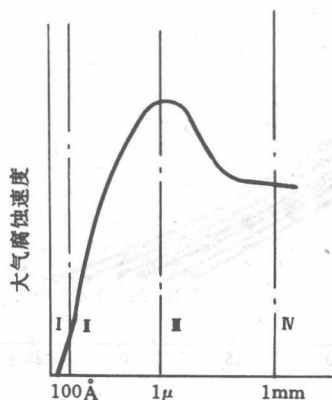


图 1-4 大气腐蚀速度与金属表面水膜厚度之间的关系

由图 1-4 可以看出，在水膜极薄时，相当于在区域 I 时，腐蚀速度很小；在区域 IV 时，实际上金属全浸在水中，但腐蚀速度不是最高的；只有在干湿交替的情况下，如在区域 II 与 III 之间时腐蚀速度最大。

这个现象主要是由于氧的进入量而引起，当水膜较薄时，氧透过水膜到金属表面比较容易，氧的阴极去极化作用不受阻碍，因而腐蚀速度较大。但水膜超过一定厚度时，氧透过水膜到金属表面的速度就慢，因而腐蚀速度也就变低。相对湿度与温度对金属的大气腐蚀速度的影响，可用下式来估计。

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

A——表示锈蚀度；

H——指空气相对湿度 %；

t——表示温度 (℃)。

按照此公式，当相对湿度等于或低于 65% 时（也有认为是 50—70%），无论在什么温度，

金属都不腐蚀。这里指的是在完全纯净的大气中。但实际情况并非如此，因此此式仅可作估计参考。

(四) 氧的影响

金属在大气中的腐蚀，主要是由于水分和氧所引起的，两者缺一就不容易腐蚀。有资料介绍，在脱氧的海水中，因氧已去掉，铁钉泡在里面数十年仍保持光泽。然而在大气中有着大量的氧存在，与空气接触的水膜很容易被氧所饱和，水膜吸附在金属表面一般都在500微米以下，氧气不仅很容易溶解，而且很容易渗透，所以氧向腐蚀界面上扩散不会有太大的困难。由于水膜易于被氧饱和，而在一般条件下（密闭空间除外）氧的供应又非常充分，这就使氧的去极化过程进行得相当顺利，在大气腐蚀过程中常占主要地位。

零件在生产或存放过程中，常发现有重叠面的腐蚀现象，即在两个水平面接触时，在距边缘不远的地方，出现变色的斑印腐蚀，我们称为重叠腐蚀，这是因为氧的不均匀充气所造成的。零件重叠的边缘区充气比较充足，而中间充气较少，故边缘区易产生腐蚀。中间部分腐蚀较为困难，这种不均匀的腐蚀我们称为浓差腐蚀。

(五) 二氧化硫的影响

在污染的大气中，对金属腐蚀危害最大的是二氧化硫。特别是工业区的大气中往往含有相当数量的二氧化硫，这些二氧化硫是含硫的燃料（如煤或石油等）燃烧生成的。如果铁的表面很干净，而空气也很干净时，吸附在金属表面的水膜的电阻很大，其临界相对湿度趋近于100%。但如果空气中有了微量的二氧化硫（例如0.01%），水膜就成为导电通路，其临界相对湿度就下降到70—80%左右，这时最易使金属腐蚀，这说明二氧化硫的影响是很大的。二氧化硫在铁表面易氧化而溶于水中成为硫酸，进一步促进腐蚀。硫酸与铁反应又生成了硫酸铁，硫酸铁又水解生成硫酸，继续促进腐蚀，如此反复循环，金属腐蚀的速度和由于腐蚀而损的程度是可想而知的。二氧化硫与金属腐蚀的关系见图1-5。

(六) Cl^- 、氯气、盐酸及手汗的影响

滨海地区由海面上的风卷起的海水液滴的微粒、海雾中水和盐的微粒，不仅在海边飘浮，它们受到大气流特别是高空气流的影响，可能被夹带到离海岸线数千公里远的地区，成为大气沉降物——雨、雪等凝聚的中心，也就成为腐蚀液膜中 Cl^- 的很好来源，某些化学工业也使氯气进入大气。由于 Cl^- 半径很小，可以自由地透过金属表面的钝化膜或水膜生成可溶性氯化物，引起金属阳极溶解过程加速。

腐蚀性物质还可能来自我们双手，人的皮

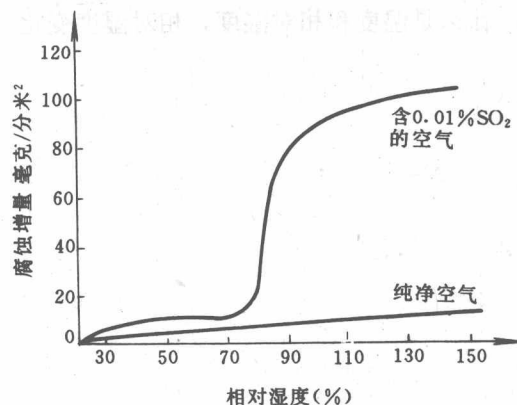


图 1-5 铁在大气腐蚀与空气相对湿度和空气中含有二氧化硫杂质的关系

肤表面分泌的汗液中，含有相当数量的盐分，有机酸和其他腐蚀性物质。一般地说，汗液中的总含盐量平均可能达到 0.5—2.5% 左右，汗液的典型组成大致如下：

水分： 97.5—99.5%

固体总含量： 0.5—2.5%，氯化钠 2—3 克/升，尿素 0.2 克/升，乳酸 2—17 克/升

钾、钙、铜、胺盐等： 微量

CO_3^{2-} ， SO_4^{2-} ， PO_4^{3-} 等离子： 微量

氨基酸，有机碱，糖分及其他有机酸碱等： 微量

pH 值： 一般为 4.8—5.8，但也有呈碱性的

普通成年人的汗液分泌量，在常温下劳动 1 小时，一般为 0.35 公斤，天热时还要增加 50% 左右。手部是汗腺比较集中的地方，手汗的分泌量因人而异。手汗引起的腐蚀是航空产品的生产和封存、保管过程中最常见的现象之一。

(七) 各种固体颗粒杂质污染的影响

大气中含有大量气溶胶状的污物杂质颗粒，这儿主要谈一下尘埃。大气中尘埃的数量颇为可观，在城市大气中尘埃的含量约为 2 毫克/米³，工业城市可能达到 1 000 毫克/米³。其中包括煤烟和煤灰等碳和碳的化合物、金属的氧化物、砂土及其他盐类的颗粒，这些固体颗粒，有的与金属直接或间接发生作用，有的落在金属表面上成为水分凝聚的中心。有的本身会吸附腐蚀性气体（如二氧化硫等），因而使腐蚀加剧。

复习思考题

1. 试述化学腐蚀和电化学腐蚀的区别。
2. 试述金属大气腐蚀的理论。
3. 铜和铝接触，在潮湿空气中，哪种金属被腐蚀，为什么？
4. 试述我国划分的 4 个地带，6 个区。
5. 什么叫温度，温度变化对储存航空器材有什么影响？
6. 什么是湿度和相对湿度，相对湿度变化对储存航空器材有什么影响？

第二章 金属材料及其制品的锈蚀特征和除锈方法

第一节 常见金属锈蚀的特征及识别方法

怎样识别金属（材料和零件）表面上的锈蚀，这是我们时常遇到的实际问题。到目前为止，还没有较科学的系统识别方法。很多情况是依据人们所具备的有关物理、化学、材料学、冷、热加工工艺以及金属锈蚀的知识，特别是在实践中积累的经验来判断。对于已形成明显锈蚀产物堆积时，识别并不困难，困难的是识别无明显锈蚀产物的暗斑、黑点、麻孔、丝纹状等的锈蚀。因为这类锈蚀往往与材料缺陷及加工缺陷类似，难于区别。例如金属组织内部的不均匀性，如夹杂、偏析、晶界及表面状态等方面的差异加上所接触的腐蚀条件不同所产生的锈蚀，彼此交错地出现在某一个部位，要能很快地得出确切的结论是比较困难的。

现将常见的钢、铝、铜、镁等金属的锈蚀特征及识别方法简单介绍如下，供参考。

一、容易锈蚀的部位

对于储存航材容易锈蚀的部位主要是：

容易接触、沾附和积存腐蚀性介质的沟、槽、缝、孔，棱边焊缝，接合面，手接触面，停放面。

粗糙部位，新加工面，如吹砂、抛光表面。

二、锈蚀特征

（一）一般特征

总的来说，各种金属生锈的共同特征是：金属表面失去金属光泽，继续发展形成腐蚀中心向周围蔓延并膨胀和剥落；当有堆积的锈蚀产物时，在其边缘具有深浅不同的颜色和斑印，锈蚀的大小、形状和分布多不规则；当锈蚀产物脱落或清除后，留下粗糙、不规则带有坡度的没有金属光泽的暗斑点或孔穴。

（二）不同金属的锈蚀特征

1. 钢和铸铁

轻锈是暗点，重锈则是褐黄色至褐色或棕色或黑色堆积物，棕黑色或黑色的斑痕或孔穴，其锈蚀产物的主要组成是氧化亚铁，四氧化三铁（黑色），氧化铁（棕褐色、红色或黑色），氢氧化铁（棕色）和它们的含水化合物如 $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ， $\text{Fe}_3\text{O}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ， $\text{FeO}(\text{OH})$ ，可用下式来