

金属腐蚀与防护

● [苏] 杨·门·格拉得理金 原著

● 曾席珍 李淑纯 译校



金 属 腐 蚀 与 防 护

〔苏〕 Я·М·科罗特尔金 原著

曾席珍 李淑纨 译校

湖南科学技术出版社

金属腐蚀与防护

〔苏〕 杨·门·格拉得理金 原著

曾席珍 李淑纨 译校

责任编辑：贾平静

*

湖南科学技术出版社出版发行

(长沙市展览馆路3号)

湖南省新华书店经销 湖南省新华印刷二厂印刷

*

1989年10月第1版第1次印刷

开本：787×1092毫米 1/64 印张：2.4375 字数：53,000

印数：1—600

ISBN 7—5357—0611—8

TG·5 定价：1.20元

地科89—34

译者的话

金属与周围介质相接触时，在金属表面发生的化学和电化学反应所引起的金属的自发破坏作用，称为金属腐蚀。金属腐蚀导致金属制品及有金属部件的仪器、机械等逐渐降低效能，缩短使用寿命。由于金属腐蚀而引起的材料损失也是非常惊人的。据资料估计，每年因腐蚀而损失的钢铁约占全世界铁的年产量的四分之一。因此，研究腐蚀发生和扩展的机理，探索防止腐蚀的有效办法，是有重大意义的。

我们翻译《金属腐蚀与防护》这本小册子，旨在向广大工人和技术人员介绍金属腐蚀的机理和金属防护的方法。在这本小册子的翻译校对过程中，得到了湖南大学舒震教

授的热情帮助和指导，在此我们表示衷心感谢。由于我们水平有限，错误和缺点在所难免，诚恳欢迎读者批评指正。

译者

1989年6月

绪 论

金属腐蚀防护是最古老的技术课题之一。在古代，当人们开始学会冶炼金属并将其应用于日常实际中就形成了金属防蚀技术。多少世纪以来，金属应用的领域与规模不断扩大。苏联的金属产量不断增长，特别是近几十年钢的年产量几乎增加了7倍（从1940年的1830万吨增加到1982年的1亿4700万吨）。尽管近十年来新材料，主要是聚合物的品种急剧增加，并且开始应用于各个技术部门，但金属和合金（材料）仍然是机器设备、仪器仪表、建筑结构、运输邮电业的主要结构材料。

金属制品及设施在任何一个工业发达国家的生产总额中都是最大最有价值的部

分。金属的防腐蚀已成为重要课题。

在金属产量急剧增长的同时，腐蚀损耗也迅速增加。到70年代中期，在发达国家中这一损耗已经达到、甚至超过了各国发展各大型工业部门投资额。如到70年代中期，腐蚀损耗（直接损耗和间接损耗）总额估计在美国为70亿美元，西德为19亿马克，苏联为40亿卢布。其中大部分是与被迫停产、现有设备生产能力降低、由于腐蚀产物污染使产品质量降低、以及劳动条件恶化等有关。众所周知，工艺设备或运输工具的腐蚀是发生严重人身事故的原因。

战后几十年形成了大量消耗金属材料的一些部门，如石油工业、化学工业、石油化工业、纤维造纸业、有色冶金业，以及热能动力和原子能动力工业、军舰飞机、汽车运输和管道运输业等。这些工业部门的迅速发展，促进了腐蚀损耗的快速增长。这些工业部门的特点是应用腐蚀性最强的介质，并且介质

的温度高、压力高、流速大，以及制品在工作中同时经受腐蚀性介质和很大机械载荷的作用，这些都是促进腐蚀的因素。对于这些工业部门、结构材料的耐蚀性或化学抗力，常常是决定工艺设备工作可靠性及寿命的最重要因素之一。

例如，在化学工业中，使设备提前失效的100种原因中有57种是腐蚀原因，由此而造成的相对经济损失比应用金属的各工业部门的总平均水平大约高1.8倍。

腐蚀损耗了大量的金属。根据美国国家标准局的估计，美国用于补充腐蚀损耗所消耗的金属约占金属年产量的40%。在苏联这一损耗估计每年为2500万吨。

在工业技术中，改进防蚀方法，不但对降低腐蚀损耗，而且对保证技术进步也有重要意义。众所周知，缺乏化学稳定性的合乎要求的结构材料，或缺乏足够有效的防护方法，是采用先进的新工艺的主要障碍。

原子能动力工程在发展的初期，由于钢质设备在急剧受热时，在水和过热蒸汽中发生腐蚀开裂而碰到了困难。只是在腐蚀专家、冶金师、化学家的共同努力下，有效地克服了这些困难以后，原子能动力工程才有可能获得了很大的发展。

很多世纪以来，人们常常是借助于纯经验方法与腐蚀作斗争的。当时防止金属制品或装备的腐蚀破坏，可以说只是一种手艺，或者更说得确切一点是一种技艺，但不是科学。这种状况维持了很长时间。然而随着金属应用范围的扩大和应用要求的提高，仅仅借助于一些经验方法即使是大加改进了的方法，所能解决的问题也是十分有限的。这种情况已经越来越明显。对腐蚀过程的基础研究应当成为金属防蚀领域技术进步的基础。

腐蚀过程的基础研究开始于上一世纪，二次世界大战后获得了特别广泛的发展。这些研究不仅弄明白了腐蚀过程的本质，而且

确定了腐蚀机理最重要的一些特点及其整套基本规律。这是建立金属防蚀新方法的基础。

随着腐蚀科学的发展和与防蚀经验的积累可以清楚看出，金属腐蚀有一重要特点。金属结构材料的化学稳定性与机械性能和其他物理性能不同，它不仅取决于材料本身的性质、成份和组织，而且取决于工艺介质的成份和制品工作的水力学条件。

在一切介质中都同样耐蚀的金属与合金是没有的。在一定条件下，耐蚀的材料在另外的条件下则可能完全不耐蚀。介质成份或流速发生不大的、有时甚至难以发觉的变化，也可能使一台运行了多年的设备发生灾难性的腐蚀。例如，如果水管式原子反应堆的载热体含有极微量的氯化物的话，其导热壁（载热体在其表面蒸发）就可能发生严重的腐蚀开裂。工作温度为 340°C 的不锈钢设备的表面若有微量锌进入就可能局部提高金属

脆性，并由此产生种种不良后果。

根据现代概念，腐蚀是金属材料由于与周围介质发生物理化学作用而导致的破坏现象。这种相互作用的结果，最常见的是金属的氧化。然而金属的破坏也可能由于其它过程所引起，如氢在金属中的渗透或者金属与易熔金属发生相互作用。

因此，根据腐蚀破坏的本质，可以认为腐蚀科学是物理化学的一部分，而且首先是分析多相化学过程的机理和动力学的部分。然而，重要的是固体表面不仅是周围介质组份氧化还原反应的催化剂（象在多相催化作用或电化学反应中所发生的那样），而且腐蚀时金属本身也参与反应，遭到氧化而破坏。分析这类过程是现代金属腐蚀科学的主要发展方向之一。另外，研究腐蚀破坏本身的特征，也是很重要的方面。条件对腐蚀破坏影响很大。

腐蚀就其表面形式是多种多样的。在不

同条件下，腐蚀破坏的过程不同。特别是在金属表面常常不是受到腐蚀介质的均匀侵蚀——即所谓全面腐蚀。腐蚀过程常常是集中在一些不大的个别区域，因而破坏带有明显的局部特征。在这种情况下，腐蚀损耗量，即所形成的腐蚀产物量不能作为腐蚀危险性的度量。

由于结构合金品种的大大增加及其工作条件愈来愈苛刻，局部腐蚀危险性大大增加。金属普遍在应力状态下使用以及高强度钢及合金(其特点是内应力大)的应用，使得腐蚀开裂，成为现代工程技术中最危险的腐蚀形式之一。这种破坏形式在热能动力原子能发电、航空、造船、化工、石油化工、纤维造纸、建筑及其他一些部门中都能观察到。铜基、铝基、镁基、铁基合金都有形成腐蚀开裂的倾向。不锈钢具有强烈的腐蚀开裂倾向，大大限制了它的应用。材料的腐蚀开裂倾向不仅决定于材料的组织与成分，而且也决

定于腐蚀介质的成份，温度和应力大小。介质中存在着特殊的成分产生腐蚀开裂的必要条件。例如，铜基合金在氨中，不锈钢在氯化物和碱中，都易产生腐蚀开裂现象；而在硫酸、硝酸和醋酸溶液中以及在纯水中，这些合金是不会产生这种破坏的。

焊接后，在基体金属与熔接金属之间的界面上，由于存在着局部的残余内应力，对于腐蚀特别敏感，所形成的裂纹在外表上与腐蚀开裂相类似。在这一边界上形成的腐蚀损伤常常像被用刀子割伤一样，故这类腐蚀称为“刀形腐蚀”。腐蚀疲劳是腐蚀开裂的一种形式，腐蚀疲劳下裂纹的出现和扩展是腐蚀介质及循环机械载荷同时作用的结果。

很多的结构合金，包括铁基合金和高强度铝合金，在一定条件下出现晶间腐蚀。其特点在于，材料多半沿晶界氧化，而丧失机械强度。晶界化学稳定性的降低既可能是由于靠近晶界的金属中最稳定的合金元素贫

化；或者相反，也可能是由于工艺杂质在晶界的偏析（这些杂质在一定条件降低化学稳定性）。这取决于合金的成份，热处理条件和腐蚀介质的成份。例如，奥氏体不锈钢只要在 $950\sim 1450^{\circ}\text{C}$ 进行诱发性回火，在弱氧化性介质中也产生晶间腐蚀。回火时，铬消耗在生成碳化物上，故靠近晶界的金属层中发生铬贫现象。

最危险的腐蚀形式是“点蚀”，很多纯金属（铁、镍、铝、镁、锆、锡、铜、锌）和结构合金，特别是不锈钢，在一定条件下产生这类腐蚀。它使金属表面很小的一些区域发生损伤，但可能导致制品蚀穿并使复杂的金属结构及昂贵的设备在总腐蚀损耗微不足道的情况下而失效。通常，这类局部腐蚀仅在腐蚀介质中存在着某些特定的负离子时才会发生。最危险的介质是氯化物、碘化物和溴化物。

很多金属结构材料，特别是铁基合金，

最普遍最危险的局部腐蚀形式是裂缝腐蚀。在电解液滞留部位，即在形形色色的填料、底部流积物和水垢下面以及在狭窄的缝隙中，金属表面受到严重腐蚀。金属表面与各种非金属材料（包括木材、塑料、玻璃、混凝土、石棉、各种织物等）相接触的部位，极易发生这类腐蚀。

对某些结构合金，特别是铜基合金，最危险的是某种组元（通常是电负性最大的组元）的选择性腐蚀。深度往往很大，这种腐蚀使结构或设备的强度降低。黄铜脱锌可以作为这类腐蚀的例子。

对于某些材料，特别是铁基合金，最危险的腐蚀破坏形式是氢脆，其表现形式有时是形成裂纹，但是这种裂纹按其成因和作用都不同于在氯化物或碱影响下所形成的裂纹。因为硫化氢是渗氢的促进剂之一，所以对于石油、石油化工、管道输送等与含有相当数量硫化氢的介质打交道的各工业部门，

氢脆是特别危险的。

在化学工业中，正如一家外国公司对各企业设备进行失效分析后所指出的，局部腐蚀是材料破坏的主要原因。685例失效分析的结果：全面腐蚀占27.5%，腐蚀开裂占23.7%，晶间腐蚀和焊缝腐蚀占14.6%，点蚀占14.3%，腐蚀磨耗占6.9%，其他腐蚀占13.0%。

目 录

译者的话	(1)
绪论	(I)
一 金属的腐蚀和电化学	(1)
二 金属阳极溶解的规律性	(18)
(一) 介质成分的影响	(20)
(二) 溶解的阶段性的	(30)
(三) 钝化	(33)
(四) 钝化层的局部破坏和点蚀	(48)
(五) 钝化机理和合金化	(52)
(六) 合金的杂质成分及其相互的腐蚀作用	(59)
(七) 阳极溶解及固溶体的腐蚀	(71)
三 阴极的腐蚀过程	(101)
四 防腐蚀的方法	(109)
(一) 提高结构材料的化学稳定性	(109)
(二) 降低工程介质的腐蚀性	(118)
(三) 隔离涂层	(126)
(四) 电化学保护法	(130)