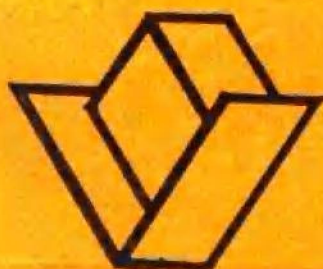


机电产品 防锈、包装 手册

张康夫 王秀蓉 合编
陈孟成 姚连芬



航空工业出版社



机电产品防锈、包装 手 册

张康夫 王秀容 合编
陈孟成 姚连芬
刘士简 审阅

航空工业出版社

1990

255
700

内 容 简 介

机电产品防锈、包装手册共4篇21章。第Ⅰ篇介绍金属腐蚀基础,其中包括:金属腐蚀的类型和预防措施;大气环境和大气腐蚀;金属镀层的耐蚀性;有机气氛对金属的腐蚀。第Ⅱ篇介绍防锈、包装材料,其中包括:水溶性缓蚀剂;油溶性缓蚀剂;防锈油品;气相缓蚀剂;可剥性塑料;表面活性剂;切削液;石油产品添加剂。第Ⅲ篇介绍产品设计、生产、贮运和使用中的防锈与包装,其中包括:产品设计中的防蚀;工序间、仓库防锈及除锈;封存包装方法及封存包装材料的选择;产品的运输包装。第Ⅳ篇介绍各种试验方法,其中包括:金属材料的腐蚀试验;防锈材料的试验方法;有关环境的试验方法;包装件试验方法等。从上述内容不难看出,本手册取材广泛,内在联系紧密,大量数据、资料和试验方法均来源于各种标准,对设计、生产、仓库管理、贮运等有关方面的工程技术人员和工人均有实际使用价值。也可供研究人员和大专院校师生参考。

机电产品防锈、包装 手 册

张康夫 王秀容 合编
陈孟成 姚连芬
刘士简 审阅

航空工业出版社出版发行

(北京市和平里小关东里14号)

—— 邮政编码: 100029 ——

全国各地新华书店经售

北京市通县向阳印刷厂印刷

1990年10月第1版 1990年10月第1次印刷

787×1092毫米1/16 印张: 45

印数: 1—2000 字数: 1152千字

ISBN 7-80046-212-9/BT·007

定价: 25.00元

序 言

机电产品是由各种金属或非金属材料制成的,并在一定环境中存贮和使用。材料存贮和使用过程中受环境诸因素的影响,往往随时间的延长而逐渐变质或性能下降,通常称之为“腐蚀”或“老化”。这所造成的损失是惊人的,这些损失一般占国民经济总产值的2~4%,其中相当大的一部分可以通过防锈和包装而得到缓解或避免,因此机电产品的防锈和包装是整个工业中的组成部分。国内外各类机电产品的防锈和包装费用视产品不同而异,有些产品成本虽低,但封存包装费用甚至超过成本,在西方国家中,某些药片和橡胶密封圈即是两例。一般来说,防锈和包装费用约占产品成本的10~15%,在日本用于包装的费用每年达二百亿美元,在美国则高达三百亿美元,而实际获得的经济效益则比投入大得多。我国航空工业在推广使用长期封存新工艺后,每年节省处理超期成品的费用约两千万元。此外由于改善了出口产品的封存包装,保证了产品在远程海运中的质量,所创造的技术经济效益则更为显著。

为了提高机电产品防护包装的质量,从事防护包装的工人、技术人员除须了解防护包装的意义、工艺技术外,还必须了解有关金属的腐蚀类型、锈蚀环境及金属和镀层在腐蚀环境中的特性,了解材料在加工过程中所接触的介质和其特性,贮运过程中的环境条件,以选择正确的防护包装工艺。编者针对这一需要搜集了大量的数据和资料编撰了本手册。

本手册总结了我国几十年来机电产品防锈包装方面的实践经验,所涉及的专业和包括的内容相当广泛。手册共分4篇;第Ⅰ篇为金属腐蚀基础;第Ⅱ篇为防锈包装材料;第Ⅲ篇为设计生产、贮运和使用中的防锈和包装;第Ⅳ篇试验方法。手册搜集了大量的不可多得的资料和数据,其中有气象资料、各类添加剂和许多实用配方、机电产品防锈包装的新材料、新工艺,还介绍了近几年来最新防锈包装方法、测试方法和有关标准。

手册中的数据、图表具有较强的指导性和实用性,可供广大从事防锈包装的工人、技术人员在生产和研究中使用,许多工艺和标准可为各部门、工厂制订有关产品标准提供可靠的依据。

我们编写出版本手册的目的,在于为我国机电工业腐蚀防护包装行业提供一本有使用价值的系统的资料,提高我国防护包装的水平,确保机电产品防护包装质量。

本手册是由陈孟成(第Ⅰ篇)、张康夫(第Ⅱ篇)、王秀容(第Ⅲ篇)、姚连芬(第Ⅳ篇)等四位同志合作编撰的。由于我们初次尝试编撰这样的手册,加之水平有限,定会有疏漏和错误之处望广大读者批评指正。

目 录

第I篇 金属腐蚀基础

第1章 金属腐蚀类型和预防措施	(1)
1.1 腐蚀形态及预防措施	(1)
1.1.1 均匀腐蚀	(1)
1.1.2 电偶腐蚀或双金属腐蚀	(2)
1.1.3 缝隙腐蚀	(5)
1.1.4 晶间腐蚀	(11)
1.1.5 磨蚀	(13)
1.1.6 孔蚀	(19)
1.1.7 氢损伤	(20)
1.1.8 应力腐蚀	(23)
1.1.9 腐蚀疲劳	(26)
1.1.10 高温腐蚀	(27)
附录1-1 腐蚀速度的单位换算系数	(33)
第2章 大气环境和大气腐蚀	(34)
2.1 国内外气候分类	(35)
2.1.1 我国气候分类	(35)
2.1.2 国外气候分类	(38)
2.1.3 气候中温湿度等有关数据	(41)
2.2 海洋气氛	(65)
2.3 大气污染物	(70)
2.4 雨雪	(76)
2.5 主要大气腐蚀类型	(78)
2.5.1 潮湿大气腐蚀及临界相对湿度	(78)
2.5.2 工业大气对金属的腐蚀	(80)
2.5.3 海洋大气腐蚀	(87)
2.6 防止大气腐蚀的方法	(89)
2.7 温度、湿度和露点	(90)
2.7.1 温度的表示法及换算	(90)
2.7.2 露点和湿度	(91)
2.7.3 控制相对湿度的方法	(95)
第3章 金属和镀层的耐蚀性	(98)
3.1 钢铁	(98)
3.1.1 碳钢	(98)

3.1.2 低合金钢	(100)
3.1.3 铸铁	(106)
3.2 不锈钢和耐热合金	(107)
3.3 有色金属	(112)
3.3.1 铝和铝合金	(112)
3.3.2 铜和铜合金	(116)
3.3.3 镁和镁合金	(120)
3.3.4 钛和钛合金	(124)
3.4 贵金属	(125)
3.4.1 金	(125)
3.4.2 银及银合金	(125)
3.4.3 铂、钯、铑、铈	(129)
3.5 镀层	(131)
3.5.1 锌镀层及锌	(131)
3.5.2 镉镀层及镉	(139)
3.5.3 铜镀层	(144)
3.5.4 铅镀层和铅	(144)
3.5.5 锡镀层和锡	(145)
3.5.6 镍镀层	(148)
3.5.7 铬镀层	(150)
第4章 有机气氛对金属的腐蚀	(153)
4.1 有机气氛腐蚀源	(157)
4.2 有机气氛腐蚀结果及产物	(159)
4.2.1 有机气氛腐蚀的危害	(159)
4.2.2 有机气氛腐蚀结果	(159)
4.2.3 关于有机气氛腐蚀的影响因素	(167)
4.2.4 有机气氛腐蚀产物	(173)
4.3 有机气氛腐蚀的预防措施	(173)
参考资料	(174)
第I篇 防锈、包装材料	(175)
第5章 水溶性缓蚀剂	(175)
5.1 中性介质缓蚀剂	(175)
5.2 酸性介质缓蚀剂	(179)
5.3 碱性介质缓蚀剂	(182)
附录5-1 水处理剂	(182)
第6章 油溶性缓蚀剂	(192)
6.1 羧酸及其皂类	(196)
6.2 酯类	(200)
6.3 胺类及含氮的有机化合物	(202)

6.4	磷酸盐及含硫的有机化合物	(206)
6.5	磷酸酯、亚磷酸酯及含磷的有机化合物	(208)
第7章	防锈油品	(209)
7.1	液体防锈油	(210)
7.2	稀释型防锈油	(219)
7.3	防锈脂	(225)
7.4	防锈油品标准	(228)
第8章	气相缓蚀剂	(236)
8.1	常用的气相缓蚀剂	(236)
8.2	常用的气相防锈纸及粉末	(243)
8.3	气相缓蚀剂的使用方法及标准	(246)
第9章	可剥性塑料	(250)
9.1	溶剂型可剥性塑料	(250)
9.2	热熔型可剥性塑料	(253)
第10章	包装材料及其它	(257)
10.1	包装用纸	(257)
10.2	塑料薄膜及多层复合包装材料	(259)
10.3	油纸及油毡	(263)
10.4	泡沫塑料	(265)
10.5	干燥剂及指示剂	(266)
10.6	压敏胶及胶粘带	(272)
10.7	防水纸板	(275)
10.8	密封材料	(276)
第11章	表面活性剂	(285)
11.1	表面张力与表面活性剂	(285)
11.2	表面活性剂的亲水、亲油性	(289)
11.3	表面活性剂的分类及品种	(295)
第12章	切削液	(314)
12.1	油基切削液	(314)
12.2	水基切削液	(314)
	附录12-1 水的硬度	(329)
	附录12-2 全国各地自来水厂水的硬度	(331)
第13章	石油产品添加剂	(332)
	参考资料	(343)
第II篇	产品设计、生产、贮运和使用中的防锈与包装	(344)
第14章	产品设计中的防蚀	(344)
14.1	环境条件	(344)
14.1.1	环境因素及其影响	(344)
14.1.2	环境试验	(347)

14.1.3 环境条件的控制(限制).....	(350)
14.2 结构设计.....	(356)
14.3 材料选择.....	(359)
14.3.1 金属材料.....	(359)
14.3.2 非金属材料.....	(366)
14.4 金属腐蚀与预防.....	(372)
14.5 表面防护.....	(383)
14.5.1 镀层与化学覆盖层.....	(383)
14.5.2 有机涂层.....	(405)
14.6 采用有效的防护包装.....	(414)
14.6.1 确定封存包装等级与装箱等级.....	(415)
14.6.2 确定机械保护种类.....	(417)
14.6.3 确定封存包装方法.....	(418)
14.6.4 其它包装设计要点.....	(418)
附录14-1 水上飞机双金属接触腐蚀防护原则.....	(419)
第15章 工序间、仓库防锈及除锈.....	(422)
15.1 工序间防锈.....	(422)
15.1.1 工序间产生锈蚀的基本原因.....	(422)
15.1.2 预防工序间锈蚀的主要方法.....	(422)
15.1.3 一般防锈要求.....	(422)
15.1.4 各工序的防锈技术要求.....	(423)
15.1.5 防锈处理工艺要点.....	(424)
15.1.6 防锈材料的技术要求.....	(425)
15.2 金属材料的防锈保管.....	(425)
15.3 仓库防锈.....	(426)
15.3.1 库房要求及保管条件.....	(426)
15.3.2 库房温、湿度的调整及通风排潮方法.....	(427)
15.3.3 洞库的防潮及防锈.....	(431)
15.4 锈蚀的鉴别与除锈.....	(431)
15.4.1 锈蚀的鉴别.....	(432)
15.4.2 除锈.....	(436)
15.5 积炭清除.....	(447)
附录15-1 液体手套的配制和使用.....	(450)
附录15-2 压缩空气的干燥与净化.....	(451)
第16章 封存包装方法及封存包装材料的选择.....	(453)
16.1 封存包装方法.....	(453)
16.1.1 封存包装通则.....	(453)
16.1.2 防锈包装.....	(467)
16.1.3 防潮包装.....	(471)

16.1.4	防水包装	(475)
16.1.5	防霉包装	(477)
16.1.6	除氧包装	(488)
16.1.7	气相缓蚀剂封存要点	(490)
16.1.8	溶剂型可剥性塑料封存包装要点	(491)
16.1.9	小型密封容器充氮包装工艺要点	(492)
16.1.10	缓冲包装	(493)
16.2	封存包装用材料的选择	(508)
16.2.1	清洗剂、清洗方法的选择	(508)
16.2.2	防锈剂的选择	(514)
16.2.3	内包装材料的选择	(522)
16.2.4	缓冲材料的选择	(528)
16.2.5	包装容器的选择	(530)
附录16-1	部分航空产品长期封存试验数据	(535)
第17章	产品的贮运包装	(558)
17.1	运输包装设计要求	(558)
17.2	产品运输包装的类型	(558)
17.3	运输包装箱	(559)
17.3.1	木箱	(559)
17.3.2	框架木箱	(565)
17.3.3	竹胶板箱	(568)
17.3.4	瓦楞纸箱	(572)
17.3.5	钙塑瓦楞箱	(579)
17.4	装箱要求	(580)
17.5	运输包装试验	(580)
17.5.1	试验方法	(580)
17.5.2	试验样品	(581)
17.5.3	检验规则	(581)
17.6	包装标志	(581)
17.6.1	收发货标志	(581)
17.6.2	包装贮运指示标志	(581)
17.6.3	位置与外观	(582)
附录17-1	外包装典型结构示例	(583)
附录17-2	其它有关参数	(587)
参考资料		(592)
第Ⅳ篇	试验方法	(593)
第18章	金属材料的腐蚀试验	(593)
18.1	化学腐蚀试验	(594)
18.2	电化学腐蚀试验	(595)

18.3	有机材料挥发气氛对锌、镉镀层腐蚀试验方法	(608)
18.4	腐蚀试验结果的重量损失测定和腐蚀产物的清除	(609)
18.5	金属材料及非有机覆盖层大气腐蚀试验方法	(610)
18.6	周期浸润腐蚀试验方法	(616)
18.7	镀层和化学覆盖层表面腐蚀等级评定方法	(617)
18.8	金属覆盖层对底材为阴极的覆盖层腐蚀试验后的电镀试样的评级	(618)
18.9	金属覆盖层铜加速醋酸盐雾试验方法	(619)
18.10	金属覆盖层中性盐雾试验	(620)
18.11	金属和其它无机覆盖层静置户外曝晒腐蚀试验一般规则	(621)
第19章	防锈材料试验方法	(622)
19.1	防锈油品主要试验方法	(622)
19.2	气相防锈纸试验方法	(627)
19.3	气相缓蚀剂主要试验方法	(628)
19.4	通用水基金属净洗剂试验方法	(636)
19.5	乳化液试验方法	(640)
19.6	包装材料试验方法	(640)
19.7	包装材料对金属的接触腐蚀试验方法	(641)
19.8	防锈材料百叶箱试验方法	(642)
19.9	硬包装容器透湿度试验方法	(644)
19.10	软包装容器透湿度试验方法	(644)
19.11	包装容器内相对湿度及封存容器气密性检查方法	(645)
19.12	塑料透湿性试验方法	(646)
19.13	压敏胶粘带性能测试方法	(646)
19.14	纸张的试验方法及其标准号	(647)
第20章	有关环境试验方法	(648)
20.1	电工电子产品基本环境试验规程 试验Ca: 恒定湿热试验方法	(648)
20.2	电工电子产品基本环境试验规程 试验Db: 交变湿热试验方法	(648)
20.3	电工电子产品基本环境试验规程 试验J: 长霉试验方法	(659)
20.4	电工电子产品基本环境试验规程 试验Ka: 盐雾试验方法	(660)
第21章	运输包装件试验方法	(675)
21.1	运输包装件各部位的标示方法	(675)
21.2	运输包装件基本试验—总则	(676)
21.3	运输包装件基本试验—温湿度调节处理	(677)
21.4	运输包装件基本试验—堆码试验方法	(678)
21.5	运输包装件基本试验—压力试验方法	(680)

21.6	运输包装件基本试验—垂直冲击跌落试验方法	(680)
21.7	运输包装件基本试验—滚动试验方法	(683)
21.8	运输包装件基本试验—正弦振动(定频)试验方法	(684)
21.9	运输包装件基本试验—六角滚筒试验方法	(684)
21.10	运输包装件基本试验—喷淋试验方法	(685)
21.11	运输包装件基本试验—正弦振动(变频)试验方法	(686)
21.12	运输包装件基本试验—水平冲击试验方法	(686)
21.13	运输包装件基本试验—浸水试验方法	(688)
21.14	运输包装件基本试验—低气压试验方法	(688)
21.15	大型运输包装件试验方法	(689)
21.16	封存包装方法及试验方法的国内外标准或技术要求	(692)
附录A	我国腐蚀防护包装主要杂志	(698)
附录B	国外腐蚀防护包装及有关杂志	(698)
	参考资料	(701)

第I篇 金属腐蚀基础

第1章 金属腐蚀类型和预防措施

通常把金属材料与环境反应而引起材料的破坏都称为腐蚀。这里的环境包括液体、气体、熔融盐、温度、湿度等。材料的破坏包括化学的、电化学的和除了机械破坏以外的一切破坏。一般把金属在大气中由于氧、水分及其它物质引起的变色和各种各样的腐蚀称为生锈或锈蚀，其腐蚀产物俗称为锈。

宏观上，把腐蚀分为化学腐蚀和电化学腐蚀。化学腐蚀的典型情况是金属和不导电的液体(非电解质)或干燥的气体相互作用，或者是金属与活性气态介质(如二氧化硫、硫化氢、卤素、水蒸汽和二氧化碳等)在高温时的化学作用。实际上单纯的化学腐蚀作用是少量的，而大量存在的是电化学腐蚀，即使化学腐蚀，很多情况也是与电化学腐蚀相伴进行或作为电化学腐蚀的起始因素。电化学腐蚀包括了氧化—还原反应的复杂过程，其反应速度受各种物理因素和化学因素的影响。电化学腐蚀有其破坏性的一面，但也有有利的一面，就是利用其性能起阴极和阳极保护作用。

在不同的场合和对象有许多不同的腐蚀分类方法，如低温腐蚀和高温腐蚀，湿腐蚀和干腐蚀等。按周围介质和环境条件可分为高温气体腐蚀和常温气体腐蚀、电解液和非电解液中的腐蚀、土壤中的腐蚀、杂散电流腐蚀、缝隙腐蚀、电偶腐蚀、应力腐蚀、在液体金属中的腐蚀、生物的腐蚀、放射条件的腐蚀以及其它各种特殊环境中的腐蚀；按破坏形式可分为全面腐蚀和局部腐蚀；局部腐蚀又可分为斑状腐蚀、陷坑腐蚀、点状腐蚀、晶间腐蚀、孔蚀、剥蚀和腐蚀裂纹等；按特征条件又可分为磨蚀、应力腐蚀、腐蚀疲劳、冲击腐蚀以及侵蚀等。

本章将按照腐蚀特征和本身所显示的形态来区分腐蚀类别，共列出10种腐蚀类型：均匀腐蚀、电偶腐蚀或双金属腐蚀、缝隙腐蚀、晶间腐蚀、磨蚀、孔蚀、氢损伤、应力腐蚀、腐蚀疲劳和高温腐蚀，分别叙述这些腐蚀的特征、原因和预防措施。这种方法表示出的腐蚀特征可以通过了解使用的金属种类、所处的环境和使用条件并观察表面腐蚀状况来鉴别，大多数用肉眼可以观察到，有些需借助金相显微镜和其它先进仪器，有些则需拍片观察和分析才能确定。通过确定腐蚀类型，并在必要时分析腐蚀产物，这样就有助于弄清腐蚀原因和找到解决防止腐蚀的措施和方法。

1.1 腐蚀形态及预防措施

1.1.1 均匀腐蚀

均匀腐蚀是指在金属表面上发生的比较均匀的大面积腐蚀，是一种最常见的腐蚀形态。化学或电化学反应在全部暴露的表面上均匀地进行是均匀腐蚀的一般特征，腐蚀结果是金属厚度逐渐变薄，最后完全破坏。

这种腐蚀可以根据金属材料重量减轻和厚度减薄的程度很快的估算出其使用寿命。

1.1.1.1 预防措施

防止或减少均匀腐蚀可以采取如下措施：

- 选用合适的材料。根据使用环境选择尽可能耐蚀的材料。
- 采用防护层。即在材料表面采用镀层或涂耐蚀的涂料等。
- 使用缓蚀剂。可以在金属表面直接使用缓蚀剂或将缓蚀剂添加到油漆、塑料、油脂中来达到防护的目的或延长材料的使用寿命。
- 采用阴极保护。对较为大型的设备或运载工具(如轮船舰艇)、建筑物，采用阴极保护是较为合理和经济的方法。
- 在设计允许的条件下可以增加零件的厚度，以延长使用时间。
- 改变环境条件。如改变介质状况，典型的方法有：(1)降低温度；(2)降低流速；(3)除去氧和氧化剂；(4)改变浓度等。还可在环境加入某种物质如缓蚀剂，降低对材料的腐蚀率。

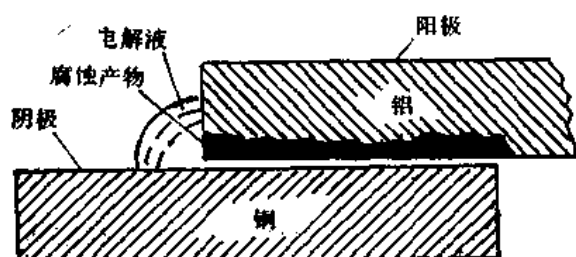


图1-1 电偶腐蚀 [1]

1.1.2 电偶腐蚀或双金属腐蚀(图1-1)

当两种不同的金属浸在腐蚀性或导电性的溶液中时，两金属之间通常存在着电位差。如果这些金属互相接触(或用导线连通)，该电位差就会使电子在他们之间流动。与不接触时比较这时耐蚀性较差的金属在接触后腐蚀通常增加，而较耐蚀的金属腐蚀则下降。耐蚀性较差的金属变为阳极，而耐

表1-1 金属的标准电动序(EMF) [2]

金属-金属离子平衡(单位活度)		电极电位(相对于标准氢电极, 25°C, V)
↑ 钝性金属 或阴极	Au-Au ³⁺	+1.498
	Pt-Pt ²⁺	+1.2
	Pd-Pd ²⁺	+0.987
	Ag-Ag ⁺	+0.799
	Hg-Hg ²⁺	+0.788
	Cu-Cu ²⁺	+0.337
	H ₂ -H ⁺	0.000
	Pb-Pb ²⁺	-0.126
	Sn-Sn ²⁺	-0.136
	Ni-Ni ²⁺	-0.250
↓ 活性金属 或阳极	Co-Co ²⁺	-0.277
	Cd-Cd ²⁺	-0.403
	Fe-Fe ²⁺	-0.440
	Cr-Cr ³⁺	-0.744
	Zn-Zn ²⁺	-0.763
	Al-Al ³⁺	-1.662
	Mg-Mg ²⁺	-2.363
	Na-Na ⁺	-2.714
	K-K ⁺	-2.925

蚀性较高的金属则变为阴极。在这类偶接形式中，阴极或阴极性金属的腐蚀往往很小或完全不腐蚀。这类腐蚀形态因涉及电流和不同金属，所以称为电偶或双金属腐蚀，这里我们仅限于将异性金属效应称为电偶腐蚀。

1.1.2.1 电动序(EMF)和电偶序

在可逆条件或不腐蚀条件下的金属间的电位差构成预测腐蚀倾向的基础。即将金属浸在含有大约一克原子重量(单位活度)的该金属离子的溶液中，在常温下把它们的电位精确测量出来。如表 1-1 中所示，常称为电动序。这里，所有电位都以氢电极(H_2/H^+)为标准进行比较，氢电极的电位人为地规定为零。两种金属之间的电位差由它们的标准电位绝对差值来确定。如铜和银的可逆电极的电位差为0.462V，铜和锌则为1.1V。含两种或更多种活性成

表1-2 一些工业金属和合金在海水中的电偶序 [2]

↑ 钝性金属或阴极	铂 金 石墨 钛 铍 Chlorimet 3(62Ni, 18Cr, 18Mo) (镍铬钼合金 3) Hastelloy C (92Ni, 17Cr, 15Mo) (哈氏合金C) 18-8钼不锈钢(钝态) 18-8不锈钢(钝态) 11-30%Cr不锈钢(钝态) 因考耐尔(80Ni, 13Cr, 7Fe)(钝态) 镍(钝态) 银焊药 蒙耐尔(70Ni, 30Cu) 铜镍合金(60~90Cu, 40~10Ni) 青铜(Cu~Sn) 铜 黄铜(Cu~Zn) Chlorimet 2(66Ni, 32Mo, 1Fe) (镍钼合金2) Hastelloy B (60Ni, 30Mo, 8Fe, 1Mn)(哈氏合金B) 因考耐尔(活态) 镍(活态) 锡 铅 铅-锡焊药 18-8钼不锈钢(活态) 18-8不锈钢(活态) 高镍铸铁 13%Cr不锈钢(活态) 铸铁 铜或铁 2024铝(4.5Cu, 1.5Mg, 0.6Mn) 铝 工业纯铝(1100) 锌 铁和铁合金
↓ 活性金属或阳极	

分的合金不可能建立可逆电位，表1-1只是列出纯金属的电动序。

而在实际腐蚀问题中，与本身离子处于平衡态的金属间的偶接是极少的，大多数电偶腐蚀效应是由于两种正在腐蚀着的金属的电流连通所引起的，且大多数工程材料是合金，电偶对中通常包括一种(或两种)合金。在这些条件下，表1-2所示电偶序比表1-1电动序更准确，这里仅表示它们间的相对位置。

一般来说，金属和合金在电偶序中的位置与它们的组成元素在电动序中的位置非常吻合。钝化会影响电偶腐蚀行为，表1-2钝态的不锈钢处于较高的位置，活态的不锈钢则处于较低的位置。

电偶序中括号内的一组合金其基本成分有些类似，如铜和铜合金，括号表示在大多数实际应用中，在一个括号内的各金属如连成电偶或互相接触，很少有电偶腐蚀的危险。这是因为这些材料在电偶序中接近，配成电偶所产生的电位差不大。在电偶序中隔开越远，产生的电位差也越大，因而腐蚀危险也越大。

总之，对于表达真实的电偶腐蚀特征来说，电偶序比电动序更确切些，但电偶序也有例外，因此，在可能的情况下应当进行腐蚀试验。

1.1.2.2 腐蚀影响因素

对电偶腐蚀来说，影响其腐蚀的因素是很多的，但主要有以下三个方面。

· 环境

电偶腐蚀的程度在很大程度上依赖于环境的性质和侵蚀性。通常，对于一定的环境，耐蚀性较低的金属是电偶中的阳极。有时在不同环境中同一电偶的电位会出现逆转。表1-3示出了钢和锌在一些水溶液中的典型行为，一般情况下，钢和锌单独存在时都发生自腐蚀，但当它们偶接时，锌腐蚀，而钢则得到保护。而在另一种情况下，当家用水温度超过82°C时，电偶的极性逆转，钢变为阳极，这显然是由于锌上的腐蚀产物使它成为比钢“贵”的表面。

表1-3 偶接和未偶接的钢和锌的重量变化，g [2]

环 境	未 偶 接		偶 接	
	锌	钢	锌	钢
0.05M MgSO ₄	0.00	-0.04	-0.05	+0.02
0.05M Na ₂ SO ₄	-0.17	-0.15	-0.48	+0.01
0.05M NaCl	-0.15	-0.15	-0.44	+0.01
0.005M NaCl	-0.06	-0.10	-0.13	+0.02

在大气中发生的电偶腐蚀，其严重程度取决于所含水分的类型(如含盐和其它有害物质)和数量(即相对湿度的大小)。在不同地区进行的大气暴露试验结果证明，在所有情况下锌对钢为阳极，铝各有不同，锡和镍则总是阴极。当金属完全干燥时，不发生电偶腐蚀，因为在两个电极区域间没有传递电流的电解质。

· 距离

由电偶腐蚀引起的加速腐蚀通常在连接处最为严重，离连接处越远，腐蚀越小。电偶作用的距离决定于溶液的电导率。

· 面积

电偶腐蚀中的另一个重要因素是面积效应,即阴极对阳极的面积比例。大阴极和小阳极构成不利的面积比。对电池中的一定量的电流来说,小电极上的电流密度比大电极上的大些。阳极区的电流密度越大,腐蚀率也越大,与阳极面积和阴极面积相等的情况相比,小阳极区的腐蚀可能要严重100倍或1000倍。

1.1.2.3 预防措施

防止电偶腐蚀的方法很多,据不同材料、使用条件和可能情况进行综合考虑,采用既经济又可靠的方法,以下列举几种方法,在实际使用时可采用其中一种或几种方法同时采用。

- 零部件有几种金属装配在一起时,选择在电位序中尽可能靠近的材料。
- 避免大阴极和小阳极的不利面积效应。而小部件(如紧固件)当紧接耐蚀性较低的材料时,有时使用不会出问题。
- 使不同金属间尽可能绝缘,这是较简便可靠的方法。
- 仔细地使用涂料,特别是阳极部位的涂料要维护好。
- 应避免使用两种在电位序中远离的材料作螺纹连接。
- 加入合适的缓蚀剂以降低环境的侵蚀性。
- 设计时选用容易更换的阳极部件,或将它加厚以延长寿命。
- 安装一块比电偶接触的两种金属都更负(即更不耐蚀)的第三种金属。

相连接金属在指定环境中的相容性见表1-4。双金属接触腐蚀等级见表1-5。

1.1.3 缝隙腐蚀

浸在腐蚀介质中的金属表面上、在缝隙和其它隐蔽的区域内常常发生强烈的局部腐蚀。这类腐蚀常和孔穴、垫片底面、搭接缝、表面沉积物以及螺帽和铆钉帽下的缝隙内积存的少量静止溶液有关,因此这种腐蚀形态称为缝隙腐蚀,有时也称为沉积物腐蚀或垫片腐蚀。

1.1.3.1 产生缝隙腐蚀的条件

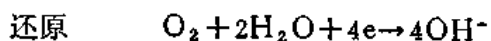
产生缝隙腐蚀的沉积物例子有:砂、尘埃、腐蚀产物和其它固体。沉积物起着屏蔽的作用,在其下面形成不流动的条件。

金属和非金属表面接触时能引起缝隙腐蚀,例如在使用垫片的情况下就是如此。引起这类腐蚀的例子有:木材、塑料、橡胶、玻璃、混凝土、石棉、蜡和织物。

一条缝隙要成为腐蚀的部位,必须宽到液体能流入,但又必须窄到能维持静止的区域。因此,缝隙腐蚀通常发生在宽度等于或小于百分之几厘米的窄缝处,很少发生在几厘米宽的沟和缝中。织物垫片有吸水作用,它和法兰接触时形成了一层完全不流动的溶液,这种条件构成了一种几乎是理想的缝隙腐蚀的部位。

1.1.3.2 腐蚀机理

图1-2表示出一段铆接的金属M(如铁或钢)板,浸在充空气的海水中($\text{pH}=7$)。总反应包括金属M的溶解和氧还原为氢氧根离子。即:



起初,这些反应均匀地发生在包括缝隙内部在内的全部表面上。在金属和溶液二者中电荷是守恒的。每当生成一个金属离子,产生一个电子,相应地产生一个氢氧根离子。隔了一个短时间后,缝内的氧由于对流不畅而贫化了,因此在这部分区域内氧的还原停止了,这时腐蚀行为并不引起任何变化,因为缝内和缝外的腐蚀率保持相等。

