

石油化工实用防腐蚀技术

3

耐腐蚀金属材料

燃料化学工业出版社

石油、化工实用防腐蚀技术

第 3 册

耐 腐 蚀 金 属 材 料

兰州化学工业公司化工机械研究所组织编写

燃料化学工业出版社

内 容 简 介

“石油、化工实用防腐蚀技术”一书共包括金属腐蚀基本理论；电化学保护和缓蚀剂；耐腐蚀金属材料；金属镀层及衬里；金属与非金属材料试验方法；表面处理技术与涂料；树脂与玻璃钢；塑料；橡胶衬里；不透性石墨；耐酸砖板衬里；陶瓷、玻璃、搪瓷和木材；建筑结构防腐蚀等部分。并分册出版。

本册为“耐腐蚀金属材料”部分，由北京化工学院、兰州化学工业公司化工机械研究所等单位编写。本册书主要介绍普通碳钢、铸铁、低合金钢、不锈钢和有色金属及其合金的性能，在石油、化工生产中实际应用情况，并以表格形式列出这些金属材料在各种介质中的耐腐蚀性能数据。

本书可供从事石油、化工防腐蚀工作的工人、技术人员参考，亦可供大、专院校有关专业的师生参考。

石油、化工实用防腐蚀技术

第 3 册

耐腐蚀金属材料

(只限国内发行)

兰州化学工业公司化工机械研究所组织编写

燃料化学工业出版社 出版

(北京安定门内和平北路18号)

北京印刷八厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ 印张 $9^{3/4}$

字数 255 千字 印数 1—19,350

1973年6月第1版 1973年6月第1次印刷

书号 15063·内 504 (化-72) 定价 1.21元

毛主席語錄

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

人的正确思想是从那里来的？是从天上掉下来的吗？不是。是自己头脑里固有的吗？不是。人的正确思想，只能从社会实践中来，只能从社会的生产斗争、阶级斗争和科学实验这三项实践中来。

打破洋框框，走自己工业发展道路。

前 言

建国二十三年来，石油、化工战线上的广大革命职工在毛主席的无产阶级革命路线指引下，高举“工业学大庆”光辉旗帜，团结战斗，使石油、化学工业迅速改变了旧社会遗留下来的极端落后的面貌，并以飞快的速度向前发展。

随着石油、化学工业的发展，石油、化工设备的防腐蚀工作得到了重视，近年来发展很快，成绩很大。从事石油、化工防腐蚀工作的广大职工，发扬“自力更生”、“艰苦奋斗”的革命精神，使防腐蚀工作从无到有，从小到大，至今已形成比较完整的体系。特别是无产阶级文化大革命以来出现了设备防腐和材质革新相结合、设备防腐和设备维修相结合、群众性防腐和专业队伍防腐相结合的新局面。

工程塑料、玻璃钢、不透性石墨、硅酸盐材料等非金属材料，已经广泛并有效地用来制作各种石油、化工设备，这大大地扩大了耐腐蚀材料的来源，并成为我国防腐蚀工作的一个特色。

我国冶金工业部门研制了一系列适合我国资源条件的耐腐蚀钢种，并在石油、化工生产上有成效地应用；喷、镀、渗、涂、衬等防腐蚀施工方法已为广大防腐蚀工作人员所掌握，并广泛运用；近年来，电化学保护和缓蚀剂等防腐技术也得到了相应的发展。所有这些，解决了现场许多设备腐蚀问题，有力地促进了石油、化工生产的发展。

防腐蚀工作是杜绝生产中的跑、冒、滴、漏和保证设备连续运转、安全生产的重要手段之一，也是贯彻执行建设社会主义总路线多快好省地发展石油、化学工业的一项有力措施。防腐蚀工作由于其重要性愈益受到重视，防腐蚀群众运动正以更大的规模向深度和广度发展。

为适应石油、化学工业防腐蚀工作的进一步发展，为满足广大防腐蚀工人、技术人员学习、掌握腐蚀基础理论和防腐蚀技术

知识的要求，我们受燃料化学工业出版社的委托，组织有关生产厂矿、科研设计部门和高等院校等28个单位编写了本书。本书旨在全面地总结二十多年来我国石油化工战线防腐蚀施工技术经验，力求内容适合国情、简明实用。在编写过程中，我们遵照毛主席“群众是真正的英雄”的教导，分赴全国各地100多个单位进行了调查，并带稿下厂，组织以工人为主体的三结合审查，虚心向工人同志请教，充分听取各方面的意见。编审工作得到了各个单位广大工人、干部和技术人员的大力支持和帮助，在此我们谨向有关单位和同志表示感谢！

由于防腐蚀技术涉及的范围比较广泛，我们编写这样一本综合性的科技图书，经验不足，水平有限，一定存在缺点和错误，希望广大读者批评指正。

〈石油、化工实用防腐蚀技术〉编审组

参加编写单位：

兰州化学工业公司化工机械研究所	沈阳化工机械实验厂
太原化工厂	北京化工设备厂
大连化工厂	宜兴非金属化工机械厂
大连工学院	四平市玻璃厂
吉林染料厂	上海第六制药厂
锦西化工厂	广州市化工研究所
北京化工学院	广州氮肥厂
北京化工厂	重庆塑料厂
兰州炼油厂	甘肃油漆厂涂料工业研究所
天津染化五厂	兰州化肥厂
吉林化工研究院	兰州合成橡胶厂
吉林省应用化学研究所	兰州化学工业公司化工建设公司
四川省第一化工设计院	锦州石油六厂
上海焦化厂	兰州化工厂

目 录

前 言

第一章 石油、化工耐蚀金属的合理选择3-1

第一节 耐蚀金属合理选择的原则3-1

第二节 金属耐蚀性的评定与选用3-2

第三节 按介质选用耐蚀金属材料3-7

第四节 石油、化工常用酸、碱选材图及腐蚀图3-21

第二章 碳钢与铸铁3-38

第一节 碳钢3-40

第二节 普通铸铁3-57

第三节 高硅铸铁3-69

第四节 其它合金铸铁3-84

第三章 耐蚀低合金钢3-90

第一节 合金元素对低合金钢耐腐蚀性能的影响3-90

第二节 耐蚀低合金钢3-93

一、抗大气、海水腐蚀结构用低合金钢3-93

二、抗硫化氢腐蚀用低合金钢3-103

三、抗高温高压氢、氢氮氨腐蚀用低合金钢3-113

四、抗磷酸氢铵腐蚀用低合金钢3-118

五、低合金耐热不起皮钢3-125

第四章 不锈钢3-128

第一节 不锈钢的分类及其特点3-128

第二节 合金元素对不锈钢耐蚀性能的影响3-131

第三节 各种加工工艺对不锈钢耐蚀性能的影响3-134

一、热处理对不锈钢耐蚀性能的影响3-134

二、焊接对不锈钢耐蚀性能的影响3-139

三、铸造、冷作成型及表面处理对不锈钢耐蚀性能的影响3-141

第四节 不锈钢的合理选择与正确使用3-143

第五节 石油、化工常用不锈钢3-146

第六节 节（无）镍铬不锈钢耐酸钢3-199

第七节	石油、化工常用耐热不銹鋼.....	3-212
第五章	有色金属	3-222
第一节	铝及其合金.....	3-223
第二节	铜及其合金.....	3-238
第三节	铅及其合金.....	3-256
第四节	镍及其合金.....	3-263
第五节	银.....	3-270
第六节	钛.....	3-272
第七节	钽、铌和锆.....	3-284
附录		3-293

第一章 石油、化工耐蚀金属的合理选择

第一节 耐蚀金属合理选择的原则

石油、化工设备大多在腐蚀介质作用的条件下工作，因此从设备使用的角度出发，合理的选材，正确的设计，精心的施工，良好的维护等几方面密切结合，是十分重要的，但首先要把好选材这一关。

合理的选材是一项细致的技术，化工工艺条件千变万化，制造设备的材料品种也较为繁多，因此，我们应当根据毛主席的教导，“有比较才能鉴别”。合理的选材是一个综合分析，综合考虑的过程，在这一过程中，经过充分的比较，才能鉴别出好坏，才能鉴别出正确与错误。关于材料的耐腐蚀性能，我们将在后面陆续分类叙述，这里主要谈一下选材时须考虑的几个问题。

一、设备的工作条件与材料的耐腐蚀性能

1. 介质、温度与压力 设备所处的介质，是氧化性介质还是还原性介质，是浓的还是稀的，介质中的杂质是加速腐蚀的，还是减缓腐蚀的。

设备所处的温度，是常温、高温还是低温。一般随温度升高，腐蚀速度也增加，但在高温时稳定的金属，常温时也常常是稳定的。低温主要是考虑金属冷脆问题。

设备所处的压力，是常压、中压、高压还是负压。一般随压力增加，所需材料的强度也越高。非金属、铸铁、铝等往往难于在有压力的条件下工作。通常是压力越高对材料耐腐蚀性能要求也越高。金属衬里要考虑负压的影响。

2. 设备的类型与结构 如泵要求材料具有良好的抗磨蚀性能和铸造性能。裂解炉要求材料具有良好的耐热性能。换热器除

要求良好耐腐蚀性能外，还要求良好的导热性等。

3. 在设备使用时，可能会产生晶间腐蚀、应力腐蚀破裂、点腐蚀、电偶腐蚀、缝隙腐蚀、腐蚀疲劳等腐蚀类型。在选材和设计时尤其要予以注意。

4. 在石油化工三大合成生产中，产品要求干净，要防止金属离子污染，防止设备内表面积瘤，影响生产。在医药与食品生产中，不得选择有毒性的材料（如铅）。

二、材料的物理、机械性能和加工工艺性能

作为单独的石油、化工结构材料，一般要具有一定的强度、塑性和冲击韧性等机械性能。如铅强度较小，只能作为设备衬里。

在某些情况下，如制作换热器和加热器时，导热性与设备生产率有很大关系；线膨胀系数在设备衬里、铸造与热处理时均要予以考虑。比重较小的金属，制得的设备较轻巧。

焊接与铸造等工艺性能也是金属材料能否大量应用于石油、化工设备的重要条件之一。

三、材料的价格与来源

选材时，应当选择立足于国内资源的，国内能生产的，价格便宜金属材料。能用碳钢和普通铸铁的尽量不采用贵重材料。应大力推广使用耐蚀铸铁、耐蚀低合金钢及节（无）镍铬不锈钢，尽量不采用高镍铬不锈钢。如在某些情况下用铝可代铜和不锈钢、用非金属如石墨、塑料等可代铅和不锈钢等。在特别苛刻条件下，才用银、镍等昂贵金属。由于钛国内资源丰富，在产量增多，价格便宜的前提下，应提倡使用。

第二节 金属耐蚀性的评定与选用

一、均匀腐蚀的评定与选用

对均匀腐蚀的评定一般有十级标准和三级标准。

应该指出，均匀腐蚀评定标准不适用于晶间腐蚀和其它类型的局部腐蚀。由于均匀腐蚀与晶间腐蚀，应力腐蚀比较危险性不

表 3—1 均匀腐蚀三级标准

耐 蚀 性 评 定	耐 蚀 性 级 别	腐 蚀 深 度 毫 米 / 年
耐 蚀	1	<0.1
可 用	2	$0.1 \sim 1.0$
不 可 用	3	>1.0

表 3—2 均匀腐蚀十级标准

耐 蚀 性 类 别	耐 蚀 性 等 级	腐 蚀 深 度 毫 米 / 年
I 完全耐蚀	1	<0.001
II 很耐蚀	2	$0.001 \sim 0.005$
	3	$0.005 \sim 0.01$
III 耐 蚀	4	$0.01 \sim 0.05$
	5	$0.05 \sim 0.1$
IV 尚耐蚀	6	$0.1 \sim 0.5$
	7	$0.5 \sim 1.0$
V 欠耐蚀	8	$1.0 \sim 5.0$
	9	$5.0 \sim 10.0$
VI 不耐蚀	10	>10.0

注：十级标准系苏联的标准，它分得太细而繁琐，在实用上某种金属材料在某种介质中往往跨越几个等级。三级标准简单、易记而较为实用。

大，我们可以根据材料的均匀腐蚀深度，设计设备的壁厚。如一般设计设备的壁厚等于机械计算的壁厚加上腐蚀裕量（材料的年腐蚀深度乘上设计使用的年限）。也可估计设备的使用寿命，例如壁厚10毫米的设备，由机械计算得知壁厚需5毫米，如果均匀腐蚀深度为0.5毫米/年，则使用寿命可在10年以上。但实际上腐蚀常常不是均匀性的，所以腐蚀深度不能作为选择材料的绝对依据。

如对阀座、泵轴、弹簧、仪表等精密部件不许有微小的尺寸变化，对高压、剧毒或易爆炸性物质的容器设备，从安全的角度考虑，对均匀腐蚀深度要求比普通设备更严格得多。

当然，对于价格便宜，来源广泛，在某些腐蚀条件下耐蚀性能较差（如 >1 毫米/年）的碳钢和铸铁，用于一般非关键性设备，

如沒有其它更适合的材料时，还是可以的。

表 3—3 介绍了国外腐蚀深度与设备类型的关系，仅供参考。

表 3—3 腐蚀深度与设备类型关系

腐蚀深度 毫米/年	设 备 类 型
<0.01	用于任何设备与机械
0.01~0.1	同上，腐蚀裕量 $C=0.1B$
0.1~0.5	同上，用普通金属制成，腐蚀裕量 $C=0.5B$
0.5~1.0	用于结构不复杂且造价不高的设备（罐、槽、槽车等）， $C=B$
1.0~1.5	用于可更换的零件（蛇形管、轴衬、搅拌器等）， $C=1.5B$
1.5~2.0	用于造价较低的厚壁铸造设备（锅、塔节等）， $C=2B$
2.0~3.0	用于可更换的铸件（轴衬、搅拌器等）， $C=3B$
3.0~6.0	用于时常更换的零件（扩散器、加热盘、管子等）
6.0~10.0	用于时常更换 ≥ 15 毫米的铸件
>10.0	不许使用

注：C—设备器壁计算厚度上加的腐蚀裕量（毫米）。

B—设备或机器的设计使用年限。

二、晶间腐蚀倾向的评定与选用

这里主要讨论不锈钢晶间腐蚀倾向的评定与选用（晶间腐蚀试验方法详见本套书金属与非金属材料试验部分）。

奥氏体和奥氏体-铁素体不锈钢晶间腐蚀倾向评定方法列表如下：

表 3—4 化工中最常用的B法和E法晶间腐蚀倾向评定

代 号	试验方法	晶 间 腐 蚀 倾 向 评 定
B 法 (治标) 甲 法 (国际草案)	硫酸铜-硫酸—铜屑法	试验后将试样弯曲 90° ，若试样表面出现横向裂缝，则认为材料的抗晶间腐蚀性不合格，如试样不能弯曲，则在金相显微镜下观察，如1)沿磨片整个边界腐蚀深度 >30 微米；2)沿磨片边界上有个别晶界腐蚀深度 >50 微米，均作为不合格
E 法 (治标) 丙 法 (国际草案)	65%沸腾硝酸法	三个试验周期中*，如发现在一个周期内试样失重超过2毫米/年，则算不合格。或者对未经弯曲试样的金相组织，如发现晶界被破坏，这时即使只破坏一层晶粒，也认为不合格

* 每一周期48小时，见本套书“金属与非金属材料试验”中的晶间腐蚀试验部分。

表3—4中只列出了国内最常用的B法和E法。目前多数单位是根据设计资料上的规定来选用不锈钢晶间腐蚀试验方法及作为判废的标准。也有的或因简便和易于掌握而用B法，或因对材料性能要求严格而选用E法。对于什么样的钢号，在什么样的腐蚀环境下，应该采用什么方法来检验最合适，的确是一个非常重要的问题。有的钢种可能B法合格，但E法不合格，也可能按A法合格，而B法不合格。其判废要根据介质的具体情况及温度、压力而定，不能绝对化，同时在有些特殊情况下，试验介质与实际介质不相同，这时晶间腐蚀不合格的判废必须根据实际现场经验才能得出正确的结论。如检验方法太严格，势必使许多有用的设备报废，给生产带来困难。

检验晶间腐蚀的方法以E法最为苛刻，这种方法又是目前检验不锈钢在硝酸介质中的腐蚀和由于 σ -相析出而引起晶间腐蚀的唯一方法，对于1Cr18Ni9Ti钢焊接接头刀状腐蚀倾向检验也最灵敏。B法只能检验出由于碳化物析出而引起的晶间腐蚀。在具体生产中怎样选用，现举二例供参考。

1. 在硝酸介质中晶间腐蚀检验方法的选用。

(1) 对于温度为60℃~沸点、浓度 $\leq 50\%$ 的硝酸介质中使用的1Cr18Ni9Ti钢设备应做E法检验。

(2) 对于温度为30~50℃，在稀硝酸介质中使用的1Cr18Ni9Ti钢设备，用B法检验。

(3) 对于在常温下用于稀硝酸的1Cr18Ni9Ti钢制的设备，可以不进行晶间腐蚀检验。

2. 在尿素合成生产中晶间腐蚀检验方法的选用。

(1) 对于超低碳CrNiMo钢应用E法检验，而不能选用B法，因B法太宽。

(2) 对于Cr17Mn13Mo2N (A4) 等CrMnNMo钢用E法检验是不适用的，是否可用B法尚在试验(有的单位认为可用B法检验)。

三、抗硫化氢和氢离子腐蚀试验的评定

一般将试样在一定浓度的硫化氢气体中或于一定温度下在氢气介质中经一定时间后取出测定其氢脆系数，此值越小则耐腐蚀性越好。

$$\text{氢脆系数} = \frac{\text{腐蚀前断面收缩率} - \text{腐蚀后断面收缩率}}{\text{腐蚀前断面收缩率}}$$

四、高温高压抗氢、抗氢氮氨腐蚀试验的评定

高温高压抗氢、抗氢氮氨腐蚀试验的评定国内无统一标准，一般是比较试验前后机械性能的变化，金相检查以组织有无脱碳、有无鼓泡裂纹，并结合成熟钢号进行比较。

国外有用以下数据作为转变点标准，进行高温高压抗氢评定* 现作介绍仅供参考。

断面收缩率以降低10%为限；伸长率以降低10%为限；冲击值以降低50%为限；金相检查以组织无脱碳、无裂纹、无变化为限；并结合成熟钢号比较。

五、抗氧化性的评定

为了评定金属的抗氧化性，可通过有关试验进行，试验结果可以采用增重法，亦可用减重法来计算，并以克/米²·小时表示，或按一定公式换算成毫米/年来表示。

表 3-5 钢的抗氧化性评定(YB48-64)

级 别	腐 蚀 深 度 毫米/年	抗 蚀 性 分 类
1	≤0.1	完全抗氧化性
2	0.1~1.0	抗氧化性
3	1.0~3.0	次抗氧化性
4	3.0~10.0	弱抗氧化性
5	>10.0	不抗氧化性

* 此方法来源于日本资料。

第三节 按介质选用耐蚀金属材料

表 3-6 按介质选用耐蚀金属材料

介 质	材 料 浓度及温度	灰 铸 铁		高 硅 铁 Si-15		碳 钢		铬 钢 Cr-13		铬 镍 钢 18-8	
		%	℃	%	℃	%	℃	%	℃	%	℃
硝 酸		x	x	≥40 ≤40	≤沸 ≤70	x	x	(<70)	(80)	<50 (60~80) 95	沸 (沸) 40
硫 酸		70~100 (80~100)	20 (70)	50~100	<120	70~100 (80~100)	20 (70)	x	x	80~100 (<10)	<40 (<40)
盐 酸		x	x	(<35)	(30)	x	x	x	x	x	x
磷 酸		x	x	任 (任)	100 (沸)	x	x	10 70~100	80 80	<70 80~100	105 80
氢 氟 酸		x	x	x	x	60~100	沸	x	x	x	x
甲 酸		x	x	任	<95	x	x	50	20	(任)	(20)
醋 酸		(<10) (90~100)	(20) (20)	任	沸	(<10) (90~100)	(20) (20)	10	20	任	90
草 酸				(饱和)	(100)	x	x	(10)	(20)	≤10	20

酸

类

续表

介 质	材料		锡 镍 钼 铜		铝		铜		铅		镍		钛	
	浓度及温度	℃	%	℃	%	℃	%	℃	%	℃	%	℃	%	℃
硝 酸		<40 (40~80)		(80~95) >95	(30) 60	x	x	x	x	x	x	x	任	沸
硫 酸		80~100 <10	x	x	x	(60) (80~100)	(60) (80~100)	<80 (90)	<60 (90)	<85	20	5	35	
盐 酸		x	x	x	x	(55)	(20~100)	x	x	(20)	(20)	<10	<40	
磷 酸		任	x	x	x	(80)	(20~100)	≤85	95	(20)	(20)	≤35		
氢 氟 酸		10	20	x	x	(30)	(任)	(60) 任	(85) 20	≤50	沸	x	x	
甲 酸		任 (任)	35 (沸)	任 (任)	20 (≤50)	(20)	(任)	x	x	10 (20)	20 (20)	任	100	
醋 酸		任	沸	任	40	20 (40)	(任)	(20)	(任)	(任)	(沸)	任	沸	
草 酸		(≤50)	(沸)	(10)	(80)	耐	耐	x	x	(100)	(100)	10	35	

酸

类

续表

介 质	材 料		灰 铸 铁		高 硅 铁 Si-15		碳		钢		铬 钢 Cr-13		密 镍 钢 18-8	
	浓 度 及 温 度		%	℃	%	℃	%	℃	%	℃	%	℃	%	℃
酸	乳 酸		×	×	10~浓	沸	×	×	×	×	任	20	任	沸
	柠 檬 酸		×	×	(<50)	(沸)	×	×	×	×	10	沸	10	沸
	酒 石 酸				饱	沸				(沸)	50	沸	50	沸
	油 酸 (工业)					200		100		150		200		
	石 炭 酸 (苯酚)			(20)	90	100		20	(蒸汽)	(310)		沸		
类	氢 氟 酸			100	耐	耐		(60)	×	×		(60)		
	氯 酸	×	×	×			×	×	×	×	×	×	×	×
	氯 磺 酸	无 水		耐			无 水	耐	×	×	×	×	×	×
	一 氯 醋 酸	×	×	×			×	×	×	×	×	×	×	×
	硼 酸	4	20		耐		4	20	50	100	饱	100	饱	100
	铬 酸				50	沸	×	×	(10)	(沸)	(10)	(沸)	(10)	(沸)