



第四章 金属结构材料的耐蚀性



概述

- 金属和合金的种类繁多，性能复杂，周期表上109种元素，有87种是金属，目前已制成的合金约有四万多种，工程材料以金属为主。
- 世界上目前还没有一种能适应所有腐蚀介质的万能的耐蚀材料，只不过是材料的适应范围有大有小而已。应根据特定的腐蚀环境和材料的有关性能，并结合材料的来源和价格进行全面的综合分析，选择恰当的材料和科学的防护方法，尽可能做到技术上先进，经济上合理，以提高经济效益。



第一节 常用结构材料的耐蚀性

一、铁碳合金

- 铁碳合金即碳钢和普通铸铁，是工业上应用最广泛的金属材料。
- 产量大，价格低，有较好的力学性能和工艺性能。
- 在自然环境中耐蚀性较差，但可采用多种方法进行保护，如覆盖层、电化学保护等。

2012-9-14

3



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.1 合金元素对耐蚀性能的影响

- 铁碳合金的主要元素为铁和碳，基本组成相为铁素体（Fe）、渗碳体（ Fe_3C ）及石墨（C）。

表 4-1 铁碳合金基本组成相与耐蚀性的关系

基本组成相	铁素体	渗碳体	石墨
电极电位	负	介于二者之间	正
构成微电池	阳极 ——（碳钢）—— 阴极		
中的电极性质	阳极 ——（铸铁）—— 阴极		

2012-9-14

4



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.1 合金元素对耐蚀性能的影响

➤铁碳合金的成分除了铁和碳以外，还有锰、硅、硫、磷等杂质元素。

（1）碳：

随含碳量增加，渗碳体或石墨所形成的微电池的阴极面积相应增大，因而加速了析氢反应速度，导致了在非氧化性酸中的腐蚀速度随含碳量的增加而加快。由于铸铁含碳量比碳钢高，所以在非氧化性酸中铸铁的腐蚀比碳钢快，如在常温的盐酸中，高碳钢的溶解速度比纯铁高得多。在氧化性酸中，例如在浓硫酸中则正好相反，铁碳合金中的微阴极组分渗碳体或石墨使合金转变为钝态的过程变得容易。在中性介质中铁碳合金的腐蚀，其阴极过程主要为氧还原反应，含碳量的变化即阴极面积的变化对它的腐蚀速度无重大影响。

2012-9-14

5



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.1 合金元素对耐蚀性能的影响

（2）锰：

在低碳钢中存在固溶体中的锰含量一般为0.5%-0.8%，锰对铁碳合金的耐蚀性无明显影响。

（3）硅：

一般碳钢中硅含量为0.1%-0.3%，铸铁中硅含量为1%-2%；硅对腐蚀的影响一般很小。当碳钢中硅含量高于1%时，铸铁中硅含量高于3%时，它们的化学稳定性甚至有所下降。只有当合金中硅含量达到高硅铸铁所含硅量的程度时，才能对铁的耐蚀性产生有利影响。

2012-9-14

6



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.1 合金元素对耐蚀性能的影响

（4）硫：

碳钢和铸铁中硫含量一般在0.01%-0.05%的范围内变动。硫是有害物质，当硫同铁和锰形成硫化物，成单独的相析出时，起阴极夹杂物的作用，从而加速腐蚀过程。这种影响在酸性溶液中的腐蚀更为显著。对局部腐蚀的影响，则通过夹杂物能诱发点蚀和硫化物腐蚀破裂。

2012-9-14

7



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.1 合金元素对耐蚀性能的影响

（5）磷：

碳钢中磷含量一般不超过0.05%，铸铁中可达0.5%。

在酸性溶液中，当磷含量增大，能促进析氢反应，导致耐蚀性下降，但影响较小，过高的磷含量会使材料在常温下变脆(冷脆性)，对力学性能影响较大。

在海水及大气中，当磷含量高于1.0%，与铜配合使用时，能促进钢的表面钝化，从而改善钢的耐大气腐蚀和海水腐蚀的性能。

2012-9-14

8



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.2 铁碳合金在各种介质中的耐蚀性能

（1）在碱性溶液中

常温下浓度小于30%的稀碱水溶液可以使铁碳合金表面生成不溶且致密的钝化膜，因而稀碱溶液具有缓蚀作用。

在浓的碱液中，如浓度大于30%的NaOH溶液，表面薄膜的保护性能降低，这时膜溶于NaOH溶液生成可溶性铁酸钠；随温度升高，普通铁碳合金在浓碱液中的腐蚀将更严重。在一定的拉应力的共同作用下，几乎在5% NaOH以上的全部浓度范围内，易于发生“碱脆”现象，现在普遍认为，碱脆是应力腐蚀破裂。在制碱工业中典型事例是碱液蒸发器和熬碱锅的损坏，用作碱液蒸发器的管壳式热交换器，管子与管板焊接或胀接，产生较大的残余应力，在与高温浓碱（120℃左右，约450-600g/L的NaOH溶液）共同作用下，不需很长时间，在离管板一定距离处的管子就发生断裂。

2012-9-14

9



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.2 铁碳合金在各种介质中的耐蚀性能

（2）在酸中

酸对铁碳合金的腐蚀主要根据酸分子中的酸根是否有氧化性。

非氧化性酸对铁碳合金腐蚀的特点是其阴极过程为氢离子去极化作用，如盐酸为典型的非氧化性酸；

氧化性酸对铁碳合金腐蚀的特点是其阴极过程主要是酸根的去极化作用，如硝酸就是典型的氧化性酸。

区分这两种性质的酸应根据酸的浓度，同时与金属本身的电极电位高低也有密切关系，特别当金属处于钝态的情况下，氧化性酸与非氧化性酸对金属作用的区别，显得更为突出。此外，温度也是一个重要的因素。

参见P93.

2012-9-14

10



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.2 铁碳合金在各种介质中的耐蚀性能

(a) 盐酸

盐酸是典型的非氧化性酸；

铁碳合金的电极电位又低于氢的电位，因此，它的腐蚀过程是析氢反应，腐蚀速度随酸的浓度增高而迅速加快。同时在一定浓度下，随温度上升，腐蚀速度也直线上升。在盐酸中铸铁的腐蚀速度比碳钢大。

铁碳合金都不能直接用作处理盐酸设备的结构材料。

2012-9-14

11



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.2 铁碳合金在各种介质中的耐蚀性能

(b) 硫酸

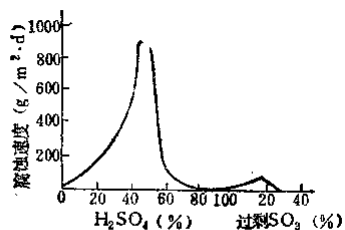


图 4-1 铁的腐蚀速度与硫酸浓度的关系

碳钢在硫酸中的腐蚀速度与浓度有密切关系，当硫酸浓度小于50%时，腐蚀速度随浓度的增大而加大，属于析氢腐蚀，与非氧化性酸的行为一样。在浓度为47%-50%时，腐蚀速度达最大值，以后随着硫酸浓度的增高，腐蚀速度下降；在浓度为75%-80%的硫酸中，碳钢钝化，腐蚀速度最低。

当硫酸浓度大于100%后，由于硫酸中过剩 SO_3 增多，使碳钢腐蚀速度重新又增大，因而碳钢在发烟硫酸中的使用浓度范围应小于105%。

2012-9-14

12



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.2 铁碳合金在各种介质中的耐蚀性能

（b）硫酸

贮运浓硫酸时，可用碳钢和铸铁的设备和管道，但在使用中必须注意浓硫酸易吸收空气中的水分而使表面酸的浓度变稀，从而使得气液交界处的器壁部分遭受腐蚀。因而这类设备可适当考虑采用非金属材料衬里或其它防腐措施。

2012-9-14

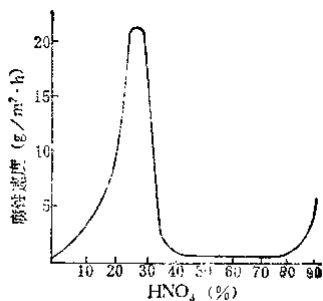
13



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.2 铁碳合金在各种介质中的耐蚀性能

（c）硝酸



在硝酸中铁碳合金的腐蚀速度以30%时为最大，当浓度大于50%时腐蚀速度显著下降；浓度大于85%，腐蚀速度再度上升。在50%-85%的硝酸中，铁碳合金比较稳定的原因就是因为它表面钝化而使电位正移。

图 4-2 低碳钢在25℃时腐蚀速度与硝酸浓度的关系

2012-9-14

14



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.2 铁碳合金在各种介质中的耐蚀性能

（c）硝酸

碳钢在硝酸中的钝化随温度的升高而易被破坏，同时当浓度增高时，又会产生晶间腐蚀，为此，从实际应用的角度出发，**碳钢与铸铁都不宜用于作处理硝酸的结构材料。**

2012-9-14

15



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.2 铁碳合金在各种介质中的耐蚀性能

（d）氢氟酸

碳钢在低浓度氢氟酸(浓度48%-50%)中迅速腐蚀，但在高浓度(大于75%-80%，温度65℃以下)时，则具有良好的稳定性。这是由于表面生成铁的氟化物膜不溶于浓的氢氟酸，在无水氢氟酸中，碳钢更耐蚀，然而当浓度低于70%时，碳钢很快被腐蚀。

可用碳钢制作贮存和运输80%以上的氢氟酸容器。

2012-9-14

16

第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.2 铁碳合金在各种介质中的耐蚀性能

（e）有机酸

对铁碳合金腐蚀最强烈的有机酸是草酸、甲酸（蚁酸）、乙酸（醋酸）及柠檬酸，但它们与等浓度的无机酸（盐酸、硝酸、硫酸）的侵蚀作用相比要弱得多。铁碳合金在有机酸中的腐蚀速度随酸中含氧量增大及温度升高而增大。

2012-9-14

17

第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.2 铁碳合金在各种介质中的耐蚀性能

（3）在盐溶液中

（a）中性盐溶液

以NaCl为例，这类盐水解后溶液呈中性，铁碳合金在这类盐溶液中的腐蚀，其阴极过程主要为溶解氧所控制的吸氧腐蚀，随浓度增加，腐蚀速度存在一个最高值，此后逐渐下降，这是因为氧的溶解度是随盐浓度增加连续下降的。

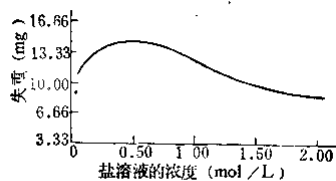


图 4-3 NaCl浓度对碳钢腐蚀速度的影响

2012-9-14

18



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.2 铁碳合金在各种介质中的耐蚀性能

（a）中性盐溶液

随着盐浓度的增加，一方面溶液的导电性增加，使腐蚀速度增加；另一方面，又由于氧的溶解度减小而使腐蚀速度降低。
钢铁在高浓度的中性溶液中，腐蚀速度是较低的，但当盐溶液处于流动或搅拌状态时，因氧的补充变得容易，腐蚀速度大得多。

2012-9-14

19



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.2 铁碳合金在各种介质中的耐蚀性能

（b）酸性盐溶液中

这类盐水解后呈酸性，引起铁碳合金的强烈腐蚀，因为在这种溶液中，其阴极过程既有氧还原反应，又有氢离子还原反应；如果是铵盐，则 NH_4^+ 离子与铁形成络合物，增加了它的腐蚀性；高浓度的硝酸铵，由于硝酸根离子的氧化性，更促进了腐蚀。

2012-9-14

20



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.2 铁碳合金在各种介质中的耐蚀性能

（c）碱性盐溶液中

这类盐水解后呈碱性；当溶液pH值大于10时，同稀碱液一样，腐蚀速度较小，如 Na_3PO_4 、 Na_2SiO_3 等，能生成铁盐膜，具有保护性，腐蚀速度大大降低而具有缓蚀性。

2012-9-14

21



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.2 铁碳合金在各种介质中的耐蚀性能

（d）氧化性盐溶液中

这类盐对金属的腐蚀作用，可分为两类：一类是强去极剂，可加速腐蚀，如 FeCl_3 、 CuCl_2 、 HgCl_2 等，对铁碳合金的腐蚀很严重；另一类是良好的钝化剂，可使钢铁发生钝化，如 $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 、 NaNO_2 等，只要用量适当，可以阻止钢铁的腐蚀，通常是良好的缓蚀剂。但结构钢在沸腾的浓硝酸盐溶液中易产生应力腐蚀破裂。

2012-9-14

22



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.2 铁碳合金在各种介质中的耐蚀性能

（4）在气体介质中

化工过程中的设备、管道常受气体介质的腐蚀，大致有高温气体腐蚀、常温干煤气体腐蚀、湿气体的腐蚀等。

常温干燥条件下的气体，如氯碱厂的氯气，硫酸厂的 SO_2 及 SO_3 等对铁碳合金的腐蚀均不强烈，一般均可采用普通钢铁处；

而湿的气体，如 Cl_2 、 SO_2 、 SO_3 等，则腐蚀强烈，其腐蚀特性与酸相似。

2012-9-14

23



第一节 常用结构材料的耐蚀性（铁碳合金）

1.2 铁碳合金在各种介质中的耐蚀性能

（5）在有机溶剂中

在无水的甲醇、乙醇、苯、二氯乙烷、丙酮、苯胺等介质中，碳钢是耐蚀的；

在纯的石油烃类中，碳钢实际上也耐蚀，但当水存在时就会遭受腐蚀，例如石油贮槽或其它有机液体的钢制容器，如果介质中含有水分，则水会积存在底部的某一部位，与水接触部位成为阳极，与油或有机液体接触的表面则成为阴极，而这个阴极面积很大，为油膜覆盖阻止了腐蚀；

当油中含溶解氧或其它盐类、 H_2S 、硫醇等杂质，将导致阴极反应迅速发生，使碳钢阳极部拉的腐蚀速度剧增。

2012-9-14

24



第二节 常用结构材料的耐蚀性（低合金钢）

二、低合金钢

- 低合金钢是指加入到碳钢中的合金元素质量分数小于3%的一类钢。
- 当加入合金元素的目的主要为改善钢在不同腐蚀环境下的耐蚀性时，则成为耐蚀低合金钢。
- 由于低合金钢所用的合金元素少，成本低，强度高，综合机械性能及加工工艺性能好，耐蚀性比碳钢优越，尤其是它的高强度值(包括高温强度值)是工程上应用最广泛的属性。
- 从腐蚀与防护的角度来看，为数众多的低合金钢最重要的属性是在自然条件下(特别是在大气中)有着比碳钢好得多的耐蚀性能以及耐高温气体腐蚀性能。

2012-9-14

25



第二节 常用结构材料的耐蚀性（低合金钢）

2.1 低合金钢在自然条件下的耐蚀性

- 较碳钢有优越得多的耐大气腐蚀性能，主要起作用的合金元素是铜、磷、铬、镍等。
- 16Mn是有名的低合金高强度钢，而16MnCu又比16Mn更好。如再加入少量铬和镍，耐蚀性又可大为提高。
- 由于铜和铬的同时加入而显著地改善了钢的钝化能力；镍的加入则可提高钢的耐碱性、耐腐蚀疲劳及耐海水腐蚀的能力。
- 具有良好的塑性及可焊性，可以加工成各种薄壁件，因而又称为高耐候性结构钢。与表面涂料的结合力也较强。
- 我国发展的耐大气腐蚀的低合金钢：10MnSiCu、09MnCuPTi。

2012-9-14

26



第二节 常用结构材料的耐蚀性（低合金钢）

2.2 低合金钢在高温氢气气氛中的耐蚀性

- 化学工业中的高温氢侵蚀主要发生在合成氨工业中的氨合成塔。
- 氢侵蚀作用主要是脱碳生成 CH_4 ，因而加入能形成稳定碳化物的合金元素，以防止氢与钢中的碳起作用而发生脱碳，这类合金元素有铬、钼、钒、钨、钛等。

2012-9-14

27



第二节 常用结构材料的耐蚀性（低合金钢）

2.2 低合金钢在高温氢气气氛中的耐蚀性

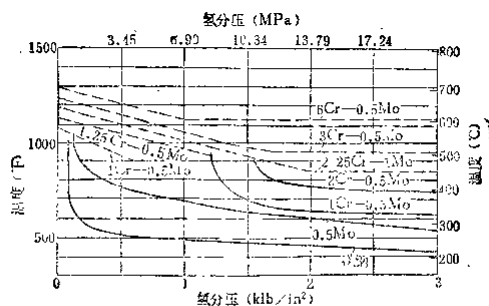


图 4-4 钢材抗氢腐蚀图（钢材处于曲线下的条件，可安全使用）
($1 \text{ lb/in}^2 = 70.31 \text{ kg/cm}^2 = 6.89 \text{ MPa}$)

2012-9-14

28



第二节 常用结构材料的耐蚀性（低合金钢）

2.2 低合金钢在高温氢气气氛中的耐蚀性

- 我国发展的抗氢、氨、氮侵蚀的低合金钢有：10MoVNbTi、10MoVWNb等，适用于制作化肥生产中400℃左右的高压管及炼油厂500℃以下的高压抗氢装置。

2012-9-14

29



第三节 常用结构材料的耐蚀性（不锈钢）

3.1 概述

- 定义
不锈钢是指铁基合金中铬含量大于等于13%的钢的总称。
- 性能
耐蚀；耐热（抗氧化性、高温强度）；低温结构材料；无磁材料；耐磨材料

2012-9-14

30

第三节 常用结构材料的耐蚀性（不锈钢）

3.1 概述

分类

按化学成份分类

铬不锈钢: Cr13型, Cr17型

铬镍不锈钢: 18-8型, 17-12型

按金相组织分类

马氏体型, 铁素体型, 奥氏体型, 奥氏体-铁素体型, 沉淀硬化型

2012-9-14

31



2012-9-14

32

表 4-3 常用的 18-8 奥氏体不锈钢中、外牌号对照表						
中 国 GB	美 国 AISI	英 国 BS	原苏联 (ГОСТ)	日 本 JIS	原联邦德国 DIN	瑞 典 SIS
00Cr18Ni10	304L	304 S 12	00X18H10	SUS304L	X2CrNi189 (4306)	2352
0Cr18Ni9	304	304 S 15	0X18H9 (9H842)	SUS304	X5CrNi189 (4301)	2333
1Cr18Ni9	302	304 S 25	1X18H9 (9H1)	SUS302	X12CrNi183 (4300)	
0Cr18Ni9Ti	321	321 S 12	0X18H9T	SUS321	X10CrNiTi189 (4541)	2337
1Cr18Ni9Ti		321 S 20	1X18H9T			
1Cr18Ni11Nb	347	347 S 12	0X18H12b	SUS347	X10CrNiNb189 (4550)	2338
1Cr18Mn8Ni5N	202		X17H9H4A	SUS202		2357
00Cr17Ni14Mo2	316L	316 S 12		SUS316L	X2CrNiMo1810 (4404)	2353
00Cr17Ni14Mo3	316				X5CrNiMo1810 (4401)	2347
0Cr18Ni12Mo2Ti			X17H13M2T		X10CrNiMoTi1810 (4573)	
1Cr18Ni12Mo2Ti	317L			SUS317L	X2CrNiMo1812 (4455)	
0Cr18Ni12Mo3Ti	317	320 S 17			X5CrNiMo1812 (4436)	2344
1Cr18Ni12Mo3Ti			X17H13M3T			
0Cr18Ni18Mo2Cu2Ti					X5CrNiMoCuTi 2018	

2012-9-14

33

第三节 常用结构材料的耐蚀性（不锈钢）

3.2 不锈钢主要合金元素对耐蚀性的影响

➤ 铬

铬极易钝化，是不锈钢中最主要的耐蚀合金元素，铬含量越高，耐蚀性越好，但不超过30%，否则会降低钢的韧性。

➤ 镍

改善钢的塑性及加工、焊接等性能，提高耐热性

➤ 钼

提高抗海水腐蚀、全面腐蚀、局部腐蚀能力

➤ 碳

两重性：
碳的存在能显著扩大奥氏体组织并提高钢的强度。
含碳量降低，可提高耐晶间腐蚀、点蚀等局部腐蚀的能力。

2012-9-14

34

17



第三节 常用结构材料的耐蚀性（不锈钢）

3.2 不锈钢主要合金元素对耐蚀性的影响

➤硅

可提高钢耐浓硝酸和发烟硝酸的能力，提高抗点蚀的能力，与钼共存时可大大提高耐蚀性和抗氧化性，可抑制在含氯离子介质中的腐蚀。

➤铜

提高抗海水氯离子侵蚀及抗盐酸侵蚀的能力。

➤钛和铌

降低由于贫铬引起的晶间腐蚀的敏感性。

2012-9-14

35



第三节 常用结构材料的耐蚀性（不锈钢）

3.3 不锈钢的应用

（1）铬不锈钢

a. Cr13型不锈钢

0Cr13含碳量低，耐蚀性比其它Cr13型钢好，在正确热处理条件下有良好的塑性与韧性。它在热的含硫石油产品中具有高的耐蚀性能。可用于石油工业，还可用于化工生产中防止产品污染而压力又不高的设备。

1Cr13、2Cr13在冷的硝酸、蒸汽、潮湿大气和水中有足够的耐蚀性。

Cr13型马氏体钢在一些介质如含卤素离子溶液中有点蚀和应力腐蚀破裂的敏感性。

2012-9-14

36



第三节 常用结构材料的耐蚀性（不锈钢）

3.3 不锈钢的应用

（1）铬不锈钢

b. Cr17型不锈钢

对氧化性酸类(如一定温度及浓度的硝酸)的耐蚀性良好，可用于制造硝酸、维尼纶和尿素生产中一定腐蚀条件下的设备，还可制作其它化工过程中腐蚀性不强的防止产品污染的设备。

2012-9-14

37



第三节 常用结构材料的耐蚀性（不锈钢）

3.3 不锈钢的应用

（2）铬镍奥氏体不锈钢

a. 普通18-8型不锈钢

耐硝酸、冷磷酸及其它一些无机酸、许多种盐类及碱溶液、水和蒸汽、石油产品等大量化学介质的腐蚀、但是对硫酸、盐酸、氢氟酸、卤素、草酸、沸腾的浓苛性碱及熔融碱等的化学稳定性则差。

在化学工业中主要用途之一是用以处理硝酸，它的腐蚀速度随硝酸浓度和温度的变化而变化。如18Cr-8Ni不锈钢耐稀硝酸腐蚀性能很好，当硝酸浓度增高时，只有在很低温度下才耐蚀。

2012-9-14

38



第三节 常用结构材料的耐蚀性（不锈钢）

3.3 不锈钢的应用

（2）铬镍奥氏体不锈钢

b. 含钛的18-8型不锈钢（0Cr18Ni9Ti, 1Cr18Ni9Ti）

较高的抗晶间腐蚀性能，在许多氧化性介质中有优良的耐蚀性，在空气中的热稳定性很好。

2012-9-14

39



第三节 常用结构材料的耐蚀性（不锈钢）

3.3 不锈钢的应用

（3）奥氏体-铁素体型双相不锈钢

奥氏体的存在，降低了高铬铁素体钢的脆性，改善了晶体长大倾向，提高了钢的韧性和可焊性。

铁素体的存在，显著改善了钢的抗应力腐蚀破裂性能和耐晶间腐蚀性能，并提高了铬镍奥氏体的强度。

2012-9-14

40



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

4.1 铝及铝合金

- 在工业上广泛应用，有良好的导热性与导电性；
- 塑性高，强度低；
- 焊接性及铸造性差；
- 在许多介质中都很稳定，铝越纯越耐蚀。

2012-9-14

41



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

4.1 铝及铝合金

（1）铝的耐蚀性能

在一些特定的条件下，铝能发生晶间腐蚀与点蚀等局部腐蚀，如铝在海水中通常会由于沉积物等原因形成氧浓差电池而引起缝隙腐蚀。

不论在海水还是淡水中，铝都不能与正电性强的金属如铜等直接接触，以防止产生电偶腐蚀。

在化学工业中常采用高纯铝制造贮槽、槽车、阀门、泵及漂白塔，可用工业纯铝制造操作温度低于150℃的浓硝酸、醋酸、碳铵生产中的塔器、冷却水箱、热交换器、储存设备等。

2012-9-14

42



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

4.1 铝及铝合金

（2）铝合金的耐蚀性能

铝合金的机械性能较铝好，但耐蚀性不如纯铝，化工中用得不是很普遍。一般多利用它强度高、重量轻的特点应用于航空等工业部门。在化工中用得较多的是铝硅合金(含硅11%-13%)，它在氧化性介质中表面生成氧化膜，常用于化工设备的零部件(铸件)，这是由于铝硅合金的铸造性较好。

2012-9-14

43



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

4.1 铝及铝合金

（2）铝合金的耐蚀性能

硬铝(杜拉铝)是铝-镁-硅合金系列，机械性好，但耐蚀性差，在化工生产中常把它与纯铝热压成双金属板，作为既有一定强度又耐腐蚀的结构材料。

铝和铝合金的耐蚀性与焊接工艺有密切关系，在制造及应用中要注意正确掌握焊接工艺；尽量消除残余应力；使用过程中不可与正电性强的金属接触，防止电偶腐蚀；还应注意保护氧化膜不受损伤，以免影响铝和铝合金的耐蚀性能。

某些高强度铝合金在海洋大气、海水中有应力腐蚀破裂倾向。

2012-9-14

44



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

4.2 铜及铜合金

铜的密度为 $8.93\text{g}/\text{cm}^3$ ，熔点为 1283°C ，强度较高，塑性较好，导电导热性很好。在低温下，铜的塑性和抗冲击韧性良好，可以制造深冷设备。

铜的电极电位较高，化学稳定性高。

2012-9-14

45



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

4.2 铜及铜合金

（1）铜的耐蚀性能

铜在大气中是稳定的，这是由于生成了腐蚀产物保护层的缘故。潮湿的含 SO_2 等腐蚀性气体的大气会加速铜的腐蚀。

在停滞的海水中很耐蚀。

在淡水中也很耐蚀。

在氧化性介质中耐蚀性较差。

在碱溶液中耐蚀，在苛性碱溶液中也稳定，氨对铜的腐蚀剧烈。

2012-9-14

46



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

（2）铜合金的耐蚀性能

a. 黄铜

黄铜是一系列的铜锌合金。耐蚀性与铜接近，但在大气中耐蚀性比铜好。

为了改善黄铜的性能，有些黄铜除锌以外还加入锡、铝、镍、锰等合金元素成为特种黄铜。例如含锡的黄铜，加入锡的主要作用是为了降低黄铜脱锌的倾向及提高在海水中的耐蚀性，同时还加入少量的锑、砷或磷可进一步改进合金的抗脱锌性能，这种黄铜广泛用于海洋大气及海水中作结构材料，因而又称为海军黄铜。

黄铜在某些普通环境中(如水、水蒸汽、大气中)，在应力状态下可能产生应力腐蚀破裂。

2012-9-14

47



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

（2）铜合金的耐蚀性能

b. 青铜

青铜是铜与锡、铝、硅、锰及其它元素所形成的一系列合金，用得最广泛的是锡青铜。锡青铜的机械性能、耐磨性、铸造性及耐蚀性良好，是我国历史上最早使用的金属材料之一。锡青铜在稀的非氧化性酸以及盐类溶液中有良好的耐蚀性，在大气及海水中很稳定，但在硝酸、氧化剂及氨溶液中则不耐蚀。

锡青铜有良好的耐冲刷腐蚀性能，因而主要用于制造耐磨、耐冲刷腐蚀的泵壳、轴套、阀门、轴承、旋塞等。

铝青铜：强度高，耐磨性好，耐蚀性和抗高温氧化性良好，它在海水中耐空蚀及腐蚀疲劳性能比黄铜优越，应力腐蚀破裂的敏感性也比黄铜小。

2012-9-14

48



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

4.3 钛及钛合金

钛是轻金属，熔点为 1725°C ，密度为 $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 。

有许多优良的性能，强度高，首先被用于航空工业；

耐蚀性好，现已广泛用于宇航、化工等工业领域。

电极电位 -16.3V ，是很活泼的金属，但是钛在许多环境中表现出很高的耐蚀性，这是由于它有很好的钝化性能。

2012-9-14

49



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

（1）钛的耐蚀性能

钛的耐蚀性取决于其钝态的稳定性。在许多高温、高压的强腐蚀性介质中，钛的耐蚀性远远优于其它材料。

钛在大气、海水和淡水中都有优异的耐蚀性。

钛在非氧化性酸中(磷酸、稀硫酸或纯盐酸)是不耐蚀的，但当酸中含少量氧化剂或添加重金属离子(如 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 等)都使腐蚀减缓。

钛在湿的氧化性介质中很耐蚀，如在任何浓度的硝酸中均有很高的稳定性(红色发烟硝酸除外)。它在压力为 19.62MPa 的尿素合成塔的条件下耐蚀性很好。在无水的干燥氯气中不耐蚀，但在潮湿氯气中却又相当稳定。

2012-9-14

50

第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

（2）钛合金的耐蚀性能

力学性能、耐蚀性能均比钛提高。

钛钯合金在高温、高浓度氯化物溶液中极耐蚀，且不产生缝隙腐蚀。

对强还原性酸不耐蚀的。

含钼的钛合金可提高在盐酸中的耐蚀性。

高应力状态下的钛合金在某些环境中（甲醇、高温氯化物等）有应力腐蚀破裂倾向。

2012-9-14

51

第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

（2）铜合金的耐蚀性能

b. 青铜

青铜是铜与锡、铝、硅、锰及其它元素所形成的一系列合金，用得最广泛的是锡青铜。锡青铜的机械性能、耐磨性、铸造性及耐蚀性良好，是我国历史上最早使用的金属材料之一。锡青铜在稀的非氧化性酸以及盐类溶液中有良好的耐蚀性，在大气及海水中很稳定，但在硝酸、氧化剂及氨溶液中则不耐蚀。

锡青铜有良好的耐冲刷腐蚀性能，因而主要用于制造耐磨、耐冲刷腐蚀的泵壳、轴套、阀门、轴承、旋塞等。

铝青铜：强度高，耐磨性好，耐蚀性和抗高温氧化性良好，它在海水中耐空蚀及腐蚀疲劳性能比黄铜优越，应力腐蚀破裂的敏感性也比黄铜小。

2012-9-14

52

第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）



2012-9-14

53

第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

4.3 钛及钛合金

钛是轻金属，熔点为 1725°C ，密度为 $4.5\text{g}/\text{cm}^3$ 。

有许多优良的性能，强度高，首先被用于航空工业；

耐蚀性好，现已广泛用于宇航、化工等工业领域。

电极电位 -1.63V ，是很活泼的金属，但是钛在许多环境中表现出很高的耐蚀性，这是由于它有很好的钝化性能。

2012-9-14

54



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

（1）钛的耐蚀性能

钛的耐蚀性取决于其钝态的稳定性。在许多高温、高压的强腐蚀性介质中，钛的耐蚀性远远优于其它材料。

钛在大气、海水和淡水中都有优异的耐蚀性。

钛在非氧化性酸中(磷酸、稀硫酸或纯盐酸)是不耐蚀的，但当酸中含少量氧化剂或添加重金属离子(如 Fe^{3+} 、 Cu^{2+} 等)都使腐蚀减缓。

钛在湿的氧化性介质中很耐蚀，如在任何浓度的硝酸中均有很高的稳定性(红色发烟硝酸除外)。它在压力为19.62MPa的尿素合成塔的条件下耐蚀性很好。在无水的干燥氯气中不耐蚀，但在潮湿氯气中却又相当稳定。

2012-9-14

55



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

（2）钛合金的耐蚀性能

力学性能、耐蚀性能均比钛提高。

钛钯合金在高温、高浓度氯化物溶液中极耐蚀，且不产生缝隙腐蚀。对强还原性酸不耐蚀。

含钼的钛合金可提高在盐酸中的耐蚀性。

高应力状态下的钛合金在某些环境中（甲醇、高温氯化物等）有应力腐蚀破裂倾向。

2012-9-14

56



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

4.4 镍及镍合金

镍的密度为 $8.907\text{g}/\text{cm}^3$ ，熔点 1450°C ，镍的强度、塑性高，延展性、可酸性好。易于加工，耐蚀性优良，因而镍及其合金是非常重要的耐蚀材料。由于镍基合金还具有非常好的高温性能，所以发展了许多镍基高温合金以适应现代科学技术发展的需要。镍的电极电位 -0.25V 。

2012-9-14

57



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

（1）镍的耐蚀性能

- 镍的耐蚀性在还原性介质中较好，在氧化性介质中较差。
- 镍的突出耐蚀性是耐碱，它在各种浓度和各种温度的苛性碱溶液或熔碱中都很耐蚀。但在高温($300-500^\circ\text{C}$)高浓度($75-98\%$)的苛性碱中，没有退火的镍易产生晶间腐蚀，因此使用前要进行退火处理。
- 当熔碱中含硫时，可加速镍的腐蚀。
- 镍的铜种在碱性介质中都耐蚀，是由于镍在浓碱液中可在钢的表面上生成一层黑色保护膜而具有耐蚀性。

2012-9-14

58

第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

（1）镍的耐蚀性能

- 镍在大气、淡水和海水中都很耐蚀。但当大气中含 SO_2 则能使镍在晶界生成硫化物，影响其耐蚀性。
- 镍在中性、酸性及碱性盐类溶液中的耐蚀性很好；但在酸性溶液中，当有氧化剂存在时，会剧烈加速镍的腐蚀。在氧化性酸中，镍迅速溶解；镍对室温时浓度为80%以下的硫酸是耐蚀的，但随温度升高，腐蚀加速。在非氧化性酸中(如室温时的稀盐酸)，镍尚耐蚀，当温度升高，腐蚀加速，当有氧化剂存在(如向盐酸或硫酸内通入空气)时，使腐蚀速度剧增。镍在许多有机酸中很稳定，镍离子无毒，可用于制药和食品工业。

2012-9-14

59

第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

（2）镍合金的耐蚀性能

镍铜合金

- 包括一系列的含镍70%左右、含铜30%左右的合金，即蒙乃尔(Monel)合金。
- 强度较高，加工性能好，耐蚀性则接近于镍；在大气、淡水及流动的海水中很耐蚀，但应避免缝隙腐蚀以防止在含溶解氧的水中产生点蚀。
- 在硫酸中的耐蚀性较镍好；在温度不高的稀盐酸中尚耐蚀，湿度升高腐蚀加剧。
- 在任何浓度的氢氟酸中，只要不含氧及氧化剂，耐蚀性非常好。在氧化性酸中不耐蚀，在碱液中很耐蚀。但在热浓苛性碱中，在氢氟酸蒸汽中，当处于应力状态下都有产生SCC的倾向，所以蒙乃尔合金用于氢氟酸时要全部浸没在酸中或采取其它措施防止应力腐蚀破裂的发生。
- 蒙乃尔合金价格较高，生产中主要用以制造输送浓碱液的泵与阀门。

2012-9-14

60



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

（2）镍合金的耐蚀性能

镍钼合金和镍铬钼合金

➤称作哈氏合金。哈氏合金包括一系列的镍、钼、铁及镍、钼、铬、铁合金，加以镍、钼、铁为主的哈氏合金B为例，它对盐酸、硫酸、氢氟酸、磷酸等强腐蚀性介质的耐蚀性能好；镍、钼、铬、铁(还含钨)为主的哈氏合金C，是一种既耐腐蚀又耐高温的材料。这种合金对强氧化剂如氯化铁、氯化铜等以及湿氯的耐蚀性都好，并对许多有机酸和盐溶液的腐蚀抵抗能力也很强，被认为是在海水中具有最好耐缝隙腐蚀性能的材料之一。哈氏合金可以用于1095℃以下氧化和还原气氛中。在相当高温下仍有较高的强度，可作为高温结构材料。

➤哈氏合金在苛性碱和碱性溶液中都是稳定的。

➤机械及加工性能良好，可以铸造、焊接和切削。

2012-9-14

61



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

4.5 铅及铅合金

铅是重金属，密度为11.34g/cm³。熔点低(327.4℃)，硬度低，强度小，不耐磨，铸造性差，导热系数小，容易加工，便于焊接。

铅在不少介质中有良好的耐蚀性，因而化学工业上较早就得到广泛应用，常用的为衬铅、搪铅作为防腐层，用作独立结构时，多采用碳钢或其它材料的增强结构。

铅有毒，使用时应加强劳动保护措施。

铅的电极电位 = -0.126V。

2012-9-14

62

第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

（1）铅的耐蚀性能

- 铅的耐蚀性主要取决于铅的腐蚀产物在介质中的溶解度。
- 在大气、土壤、含有硫化物的工业大气中，铅都很耐蚀。因此大量铅使用在电缆套管上。
- 在稀硫酸中(浓度 $< 80\%$)铅极耐蚀，因为腐蚀产物 PbSO_4 不溶于稀硫酸且与铅结合牢固，而起保护作用，因而铅用于硫酸生产中， PbSO_4 能溶于浓硫酸中，不耐浓硫酸腐蚀。
- 在硝酸中铅不稳定，这是因为生成可溶性的硝酸铅。醋酸、甲酸等有机酸中，铅不耐蚀。铅在盐酸中的腐蚀速度随酸的浓度增高而加大，室温下低于 10% 的盐酸中铅尚稳定，在亚硫酸、铬酸、氢氟酸以及 85% 以下的磷酸中铅都稳定。

2012-9-14

63

第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

（1）铅的耐蚀性能

- 铅不耐碱的腐蚀，因生成可溶性的亚铅酸盐，新浇灌的水泥有碱性，因而可能腐蚀铅，铅在氨水中稳定。
- 铅在碳酸盐溶液中，表面生成难溶的 PbCO_3 膜而得到保护，但当溶液存在游离的 CO_2 时，因转化为易溶的 $\text{Pb}(\text{HCO}_3)_2$ 而遭到腐蚀。在含过量的游离 CO_2 时铅不耐蚀。
- 在化工中铅一般作为硫酸和含有硫酸或硫酸盐介质中的设备衬里材料，如贮槽、反应器、结晶器、阀门、分离罐等。

2012-9-14

64



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色金属及金属）

（2）铅合金

- 最常用的是硬铅，即铅锑合金。硬度和强度比铅高。铅中加入锑可以提高对硫酸的耐蚀性，但锑含量过高，反而使铅变脆。从强度、硬度和耐蚀性综合考虑，用于化工设备和管道的铅合金以含锑6%为宜。
- 硬铅的用途较广，可制造加热管、加料管及泵的外壳等。用于硫酸和含硫酸盐的介质中，弥补了铅耐磨性差的缺陷。

2012-9-14

65



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色金属及金属）

4.6 难熔金属及其合金

熔点较钢铁高得多的金属，目前工业上已使用的是钽、锆等。属于稀有金属，熔点很高（钽：2996℃，锆：1855℃），机械性能、加工性能及耐蚀性较优异。

钽

钽的电极电位1.12V，具有很高的化学稳定性。近似于铂和玻璃，除了碱、氢氟酸、氯化物等以外，对大多数介质都稳定。其突出优点是不易发生局部腐蚀，腐蚀均匀，与氢接触或高温下与氢作用会发生氢脆。

钽制化工设备主要用于硫酸系统、接触王水的工厂，如精密金属的提取和精炼。生产高纯硝酸、硝酸铵的工厂等。也常用作修补耐酸搪瓷的材料。

2012-9-14

66



第四节 常用结构材料的耐蚀性（有色合金及金属）

4.6 难熔金属及其合金

锆

锆的电极电位-1.53V，其耐蚀性能决定于表面氧化膜的形成。

能耐碱和多种酸的腐蚀，但不耐氢氟酸、热浓盐酸、热浓硫酸及其他一些介质。

在氧化性介质中耐蚀性比钛弱，在还原性介质中耐蚀性比钛好得多。

锆可发生氢脆，铜离子和铁离子的氯化物可使锆产生点蚀。

2012-9-14

67



第五节 结构材料选择原则

总原则

- 技术上可行
- 经济上合理

2012-9-14

68



第五节 结构材料选择原则

4.1 根据工艺条件分析对设备材料的要求

➤ 化学工业产品种类多，工艺条件各不相同。

高温、高压；

深度冷冻、高度真空；

介质包括腐蚀性、有毒性、可燃、易爆。

2012-9-14

69



第五节 结构材料选择原则

(1) 介质特性与温度、压力

介质特性：相态、组成、浓度、氧化性或还原性、变化范围、流速等。

注意 Cl^- 等加速腐蚀的杂质。

介质性质对设备材料的主要要求为耐腐蚀。

操作温度及温度变化范围：

通常，随温度升高，材料的腐蚀速度增加，强度降低，塑性和冲击韧性增高。

高温下使用的材料必须具有足够的蠕变极限和抗氧化性能。

低温下使用的材料须具有足够的冲击韧性，特别注意冷脆问题。

2012-9-14

70



第五节 结构材料选择原则

(1) 介质特性与温度、压力

设备的操作压力：

常压、中压、高压、负压。

压力分布、变化范围、变化方式，内应力状况如加工残余应力、温差应力等。

通常压力越高，对材料强度和耐蚀性能要求也越高，设备衬里要考虑负压的影响。

2012-9-14

71



第五节 结构材料选择原则

(2) 工艺条件对材料的限制

产品纯度的要求：

医药、食品、石油化工合成材料生产过程。

选材要注意防止某些金属离子对产品的污染，如食品工业中生产装置绝对禁止使用铅。

不可选用引起化工过程副反应、造成催化反应的触媒中毒的材料。

不可选用对物料有强烈附着和粘结作用的材料。

2012-9-14

72



第五节 结构材料选择原则

(3) 设备的功能与结构

换热器：良好的耐蚀性和传热性能。

热碱锅：耐高温、抗高温浓碱的强烈腐蚀，良好的导热性。

制氧中的精馏塔：耐低温，有足够的韧性。

往复式压缩机中的活塞环：耐磨，足够的弹性。

输送腐蚀液的泵：良好的耐磨蚀性能、铸造性能、较高的疲劳极限等。

2012-9-14

73



第五节 结构材料选择原则

(4) 运转及开停车的条件

操作条件、开停车速度、频率及安全措施。

开停车频繁、升降温等温度波动大的设备，要求有良好的抗热冲击性能。

2012-9-14

74



第五节 结构材料选择原则

4.2 掌握材料的基本特性

- 力学性能、物理性能、耐蚀性、加工性能等。
- 对材料了解共性、分析特殊性。
- 综合分析评比。

2012-9-14

75



第五节 结构材料选择原则

4.3 材料选择的基本要点

➤ 耐蚀性

化工介质多数是腐蚀性的。耐蚀性对材料的选择起决定性作用。

应注意以下几点：

- ① 均匀腐蚀耐蚀性多采用十级标准，根据具体使用要求来选择。
对重要场合、要求使用过程中保持光洁镜面或尺寸精密的设备、部件，可选1-3级标准(完全耐蚀-很耐蚀)；对要求密切配合、长期不漏或要求使用年限长的设备、部件可选2-5级(很耐蚀-耐蚀)；对检修方便或寿命要求不很长的设备、部件则可选用4-7级(耐蚀-尚耐蚀)，除特殊例外，化工设备一般不选用腐蚀率超过1mm/a的材料。

2012-9-14

76



第五节 结构材料选择原则

4.3 材料选择的基本要点

➤ 耐蚀性

- ② 材料的耐蚀性是指在一定条件下(如介质种类、浓度、温度、压力、流速等)相对于不耐蚀而言的,迄今还没有在任何腐蚀环境中均耐蚀的材料。因此,是否耐蚀必须针对具体使用条件来确定。
- ③ 选材(如不锈钢)时,要考虑耐全面腐蚀、耐局部腐蚀性能,尤其对局部腐蚀敏感的材料在某些环境中,耐局部腐蚀往往成为评定是否耐蚀的主要依据。
- ④ 异种金属彼此接触或通过其他导体连通处于同一介质中会引起电偶腐蚀,选材时应注意在所处腐蚀环境中材料的相容性,或者采取电绝缘措施。

2012-9-14

77



第五节 结构材料选择原则

4.3 材料选择的基本要点

➤ 力学物理性能

力学性能: 强度 (σ_b 、 σ_s 、 σ_n 等)、硬度 (HB)、塑性 (δ 、 ψ)、韧性 (α_k)、疲劳等。

压力容器: 当温度不很高时, 要求材料具有足够的强度 (σ_b 和 σ_s) 及塑性 (δ 、 ψ)。高温时, 要求足够的蠕变极限 σ_n (或持久极限 σ_D)。

承受交变或脉动载荷的设备、零部件: 疲劳强度的要求。

2012-9-14

78



第五节 结构材料选择原则

➤ 力学物理性能

承受冲击（震动）载荷或低温下使用的设备、构件，需特别重视材料的冲击韧性或脆性转变温度。由于奥氏体不锈钢、铝、铜、镍等材料在低温下仍有良好的韧性，故选择这类材料时一般不必过多考虑冷脆问题。

对于彼此接触而又相对运动的机器零件或受高速流体（特别是带有固体粒子的流体）作用的零件，必须考虑材料表面的耐磨性指标（硬度）。由于多数材料硬度大的，则韧性较差（即较脆），为了兼顾材料这两者性能，通常以热处理的方法来提高材料的表面硬度，因此，选择时，应考虑所选材料有无热处理淬硬的特性。对于摩擦副中的两个零件，为了保证有良好的耐磨特性，一般都选择耐磨材料与减摩材料组对，并且常将易于修复的零件材料选得软一点。

2012-9-14

79



第五节 结构材料选择原则

➤ 力学物理性能

材料的力学性能数据都是在大气环境中取得的，而在有腐蚀性介质作用时，某些力学性能例如疲劳性能将显著下降（腐蚀疲劳）；在拉应力与腐蚀介质作用下，某些材料会在远低于强度极限的情况下产生断裂（应力腐蚀破裂）；钢的硬度高在腐蚀介质作用下不一定显示其耐磨蚀性能好等。

材料的使用场合不同，对其物理性能亦有不同要求。其中导热系数（ λ ）和线膨胀系数（ α ）是选材时需要考虑的两个较重要的指标。如制作换热器的材料应主要考虑导热性；对于制作设备衬里用的材料或选用双金属制作设备时，则必须考虑材料的线膨胀系数。

2012-9-14

80



第五节 结构材料选择原则

➤ 加工成型工艺性能

材料选定后，都要经过各种加工、成型，或焊接等工艺才能制成具有一定的形状、尺寸、精度、光洁度等要求的化工机器设备及零部件。铸、锻、压、机加工、焊接、热处理等性能是材料最主要的加工成型工艺性能。它们对机器设备的结构和功能有着重要影响，同时还影响材料的力学性能、耐蚀性能以及制造成本。有时其他各种性能都符合要求，但加工困难，仍然不能成为一个良好的选择方案。

2012-9-14

81



第五节 结构材料选择原则

➤ 材料价格与来源

成本的优化：

机器设备成本的很大一部分属于材料的成本，采用价廉的材料不一定就经济合理，因为价贵的材料往往具有较好的性能，而价廉的材料有时加工费用很高或者使用寿命较短。对于价格，既要看材料本身的价格，同时也要把材料费用同设备加工制造、使用、维修、拆换以及寿命等结合起来考虑，进行总费用的经济分析、权衡。选材时，从取得的难易考虑，主张“自力更生”和“国产化”，但这并不排斥引进先进技术。

2012-9-14

82



第五节 结构材料选择原则

➤ 材料价格与来源

材料的各种性质和特性是相互联系而又相互矛盾的，各种材料都具有优点和缺点，没有一种绝对好的、万能的材料，选材时，应充分发挥材料的优势、扬长避短，使所选材料与工艺条件得到最佳匹配。在考虑各项影响材料选择的因素时，必须全面的综合考虑。同时又必须明确所有这些因素并非同等重要的，在每一具体场合下，总有主导的起决定作用的因素，应根据工艺条件分析并尽量满足对设备材料主要的、最基本的要求，适当地照顾其余的要求。在选定材料后，还应考虑最符合这种材料特性的结构形状和施工方法。

2012-9-14

83



Thank you!

2012-9-14

84



大作业（课程考核要求）

结合课堂内容，查阅中英文参考文献，撰写一篇《课程学习报告》，内容可以是腐蚀文献综述或腐蚀案例分析，字数不少于3000字。

要求2010年12月27日课上交。