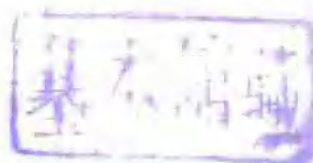


137726

化工非金属防腐蚀设备

徐 伟 编著



050.9
25

《氯碱工业》编辑部

前 言

腐蚀给化工生产带来严重危害。人们在千方百计寻求解决这一问题方法的时候，非金属材料的出现和使用发挥了重要作用，因而受到防腐工作者和工厂的青睐。近年来，随着新材料的迅速发展，非金属防腐材料用量在不断增加，非金属防腐设备正在化工、石油、冶金、医药、轻工、食品、印染、环保等行业部门广泛应用。材料包括玻璃、铸石、化工陶瓷、花岗岩、搪玻璃、不透性石墨、玻璃钢、酚醛塑料、聚乙烯、聚丙烯、聚氯乙烯、聚三氟氯乙烯、聚四氟乙烯、聚全氟乙丙烯、聚偏二氟乙烯、ABS塑料、橡胶等；设备与管作品种有换热设备、反应釜、板框压滤机、耐腐蚀泵、风机、塔类、酸碱贮槽、补偿器、塔节、汽车槽车、直管、软管、套管等；防腐建筑有沟、槽、池、地坪等。非金属材料既可以做金属设备的防腐保护衬里、涂层，又可做整体的结构材料，应用较为方便灵活，在有些腐蚀条件下使用，与金属材料如不锈钢、钛材等相比，其价格低廉，不仅有良好的耐

腐蚀性又有经济性。化工非金属防腐设备不足的方面是其机械强度较低，一般容易发生渗透和老化等现象，这是需要改进的主要问题。由于非金属材料资源丰富，多数设备加工制造容易，成本较低，所以，化工非金属防腐设备的开发使用前景广阔。

本书介绍了常用化工非金属防腐设备，简述其特性与应用情况，侧重了实用性。在编写次序上笔者注意到材料的分类，但考虑阅读的方便，也没有完全拘此限制，如为便于比较将“玻璃鳞片”一节安排在“玻璃”和“钢衬玻璃”之间。本书编写中曾得到全国百余家非金属材料和设备厂支持，提供了许多样本资料，也参考了很多专家、学者的论著，在此表示衷心感谢！

本书由锦西化工总厂氯碱厂徐伟执笔，由于时间仓促，疏漏在所难免，谬误之处在所难免，欢迎读者批评指正。

编者 1992年1月14日

目 录

前 言

一、绪论

- (一) 腐蚀的定义与经济损失 (1)
- (二) 金属材料腐蚀的分类与防止方法 (1)
- (三) 非金属材料的腐蚀机理 (2)
- (四) 材料耐腐蚀的评定 (4)
- (五) 化工非金属防腐蚀设备的发展与前景 (5)

二、化工非金属防腐蚀设备

- (一) 玻璃 (8)
- (二) 玻璃鳞片 (10)
- (三) 钢衬玻璃 (11)
- (四) 铸石 (13)
- (五) 化工陶瓷 (15)
- (六) 花岗岩 (21)
- (七) 搪玻璃 (23)
- (八) 不透性石墨 (27)
- (九) 玻璃钢 (33)
- (十) 酚醛塑料 (37)
- (十一) 聚乙烯 (40)
- (十二) 聚丙烯 (41)
- (十三) 聚氯乙烯 (43)
- (十四) 聚三氟氯乙烯 (47)
- (十五) 聚四氟乙烯 (49)
- (十六) 聚全氟乙丙烯 (54)
- (十七) 聚偏二氟乙烯 (55)
- (十八) ABS塑料 (57)
- (十九) 橡胶衬里 (59)

三、有关工程技术要求

- (一) 非金属管路和衬里管路的安装 (66)
- (二) 工程验收 (68)
- (三) 安全技术 (68)

四、附录

- (一) 化工非金属防腐蚀设备常用缩写词 (69)
- (二) 化工防腐蚀设备常用标准、规范 (53)

一、绪

论

(一) 腐蚀的定义与经济损失

1、腐蚀的定义

材料在环境的作用下引起的破坏或变质,称为腐蚀。无论是金属材料,还是非金属材料,在介质作用下都会发生腐蚀。金属和合金的腐蚀主要是化学或电化学反应引起的破坏,有时还伴随如机械、物理或生物的共同作用。腐蚀是化学过程,金属破坏以后成为化合物。由于机械零部件相互间的摩擦或受物料的冲击作用而引起的破坏则为磨蚀。磨蚀是物理过程,金属破坏以后仅是外形的改变。腐蚀和磨蚀有时会同时发生,例如用以输送腐蚀性物料化工用泵,其叶轮的损坏,既有液体的腐蚀作用,又有液体冲击的磨蚀作用。对于非金属来说,破坏一般是由于直接的化学作用(如氧化)或物理作用(如溶解、溶胀、开裂、渗透)引起的。

2、腐蚀的经济损失^[1,2,3,9]

由于腐蚀而引起的危害是惊人的。腐蚀会使生产停顿,物料流失,浪费能源,降低产品质量,污染环境,延误新技术的发展,甚至会引起爆炸、火灾等灾难性的事故。据统计,每年由于材料、设备的腐蚀所造成的直接经济损失,约占国民经济总产值的1~4%。以钢铁来说,约占其产量的1/10是由于腐蚀的结果而变成废物的。据美国国家标准局的统计,美国在1975年因腐蚀损失约达700亿美元,大大超过了火灾、水灾、风灾和地震等自然灾害所造成损失的总和。在八十年代,世界的年腐蚀损失约为1500亿美元。据日本等国的调查,化学工业的腐蚀损失约占腐蚀总损失的15%。实际上,难以计算的间接损失比直接损失还要大得多。

又据报道,因腐蚀而造成的金属损耗,

约占全球钢铁总产量的20~40%,至少有1亿吨。其中一部分通过冶金方法再生外,约有1/10无法再利用,如英国每年因腐蚀造成的经济损失,约为国民生产总值的3.5~4%,达几十亿美元。美国每年因腐蚀要多耗3.4%的能量。

我国的年腐蚀损失约为200~300亿元,而化工系统的年腐蚀损失约为16亿元。由于统计方法不同,各国腐蚀经济损失出入较大。

(二) 金属材料腐蚀的分类与防止方法

1、腐蚀的分类

腐蚀的分类见表1—1。

表1—1 腐蚀分类表

腐蚀的类别与腐蚀情况	
腐蚀过程的历程	化学腐蚀 在干燥的气体或非电解质溶液中进行腐蚀时不产生电流。如金属在高温空气、石油及其产品中的腐蚀。
	电化学腐蚀 在电解质溶液中进行,腐蚀时产生电流。如金属在大气、海水、土壤、酸、碱、盐溶液中的腐蚀,以及金属在应力和电解质溶液同时作用下的腐蚀。
腐蚀的形式	全面腐蚀 腐蚀分布在整个表面,可以是均匀的或不均匀的。
	局部腐蚀 腐蚀主要集中在表面的某些区域。类型有:选择性腐蚀、点腐蚀、溃疡腐蚀(也称浓痘腐蚀)、表面下腐蚀、晶间腐蚀、穿晶腐蚀、晶间腐蚀开裂。
腐蚀的环境	干腐蚀 在干燥环境中,腐蚀剂通常为蒸汽和气体,如炉气对钢的腐蚀。
	湿腐蚀 在湿环境中,包括在水溶液或电解质中的腐蚀,如酸、碱、盐溶液、海水、大气和土壤中的腐蚀。

2、腐蚀的防止方法^{〔2〕〔4〕〔5〕}

(1) 对不同腐蚀形态的防止腐蚀方法见表1—2。

表1—2 不同腐蚀形态下防腐蚀方法

腐蚀形态	防止方法
均匀腐蚀 (全面腐蚀)	①选择合适的材料,包拯覆盖层; ②缓蚀剂; ③阴极保护。以上单独或联合使用
电偶腐蚀 (双金属腐蚀)	①选择组装在一起的金属时,要选那些在电位序中尽可能靠近的金属; ②避免小阳极和大阴极的不利面积效益; ③切实可行的方法是要使不同金属绝缘; ④使用涂料要小心; ⑤可能时加入缓蚀剂以减低环境的侵蚀性; ⑥应避免使用两种在电位序中远离的材料作丝扣连接; ⑦设计时选用容易更换的阳极部件; ⑧安装一块比电偶接触的两种金属更负(更不耐蚀)的第三种金属。
缝隙腐蚀 (沉积腐蚀、垫片腐蚀)	①新设备用对接焊,而不用铆或螺栓连接; ②搭接焊的缝隙,要用连续焊、钎焊或绕缝的方法将其封塞; ③设计容器时,要使液体能完全排净,避免锐角和静滞区(死角); ④经常检查设备并除去沉积物; ⑤如可能时,应及早从工艺流程中除去悬浮的固体; ⑥长期停车时,应取下湿的填料和垫片; ⑦如可能时,提供均一的环境,例如在回填管道沟壑时的情形; ⑧尽可能使用整的、不吸水的垫,如聚四氟乙烯; ⑨换热器列管采用焊接而不用胀接。
孔蚀	①防止缝隙腐蚀的方法; ②在腐蚀试验中,有孔蚀倾向的材料不该使用。
晶间腐蚀 (焊缝腐蚀)	①18—8不锈钢避免在510~788 °C的范围内加热; ②在钢中加入适当量的格; ③降低碳含量0.03%以下; ④采用高温固溶处理(淬火—退火—或固溶淬火); ⑤加入容易生成碳化物的元素。
选择性腐蚀	含Zn15% 以上的黄铜易于脱锌而产生选择性腐蚀 ①改善环境。要避免高温和强腐蚀性介质、良好的电解质(如海水)、微酸状态、二氧化碳或相当多的氧; ②添加 Sn、As、Sb或P等合金元素。
磨损腐蚀	①选择耐磨损腐蚀较好的材料; ②改进设计; ③改变环境; ④涂层; ⑤阴极保护。

腐蚀形态	防止方法
应力腐蚀	①如果存在临界应力时,就将应力降低到此值以下; ②除去危害性大的介质组分; ③如果不能改变环境或应力,则可改变合金; ④利用电源或牺牲阳极对结构施加阴极保护; ⑤如可行时,加入缓蚀剂。

(2) 通过设计、工艺来控制腐蚀的方法见表1—3。

表1—3 通过设计、工艺来控制腐蚀的方法

类别	控制方法
通过设计	①避免形成有利于腐蚀条件的几何形状的设计; ②设计的设备应有利于进行阴极保护和涂料的涂装; ③避免与其它金属或非金属材料接触而促进腐蚀的设计; ④避免导致应力腐蚀开裂、腐蚀疲劳或微振磨损应力的设计; ⑤设计的部件有利于焊接施工的技术要求。
通过金属本身	①选择材料使其在使用条件下不受到腐蚀; ②使设备在阴极保护中得到相应负的保护界面电位; ③使设备在阳极保护中得到相应正的保护界面电位。
通过介质	①改变水溶液的pH; ②除去溶液中的溶解氧; ③在溶液或气体中加入缓蚀剂; ④降低介质的温度; ⑤降低液体或气体的速度。
使用涂料	①使用金属涂料; ②使用有机涂料; ③使用陶瓷涂料。

(三) 非金属材料腐蚀机理^{〔1〕}

1、高分子材料

非金属材料的腐蚀破坏是由于化学反应和物理作用引起的。高分子材料在化学介质或化学介质与其它因素如应力、光、热等共同作用下,因变质而丧失使用性能的过程称为材料腐蚀,亦称作化学老化。非金属材料的腐蚀过程可以理解为材料与介质接触,由于热运动,介质分子向材料由表及里进行渗透、扩散、作用的过程。根据介质与材料的

性质以及作用条件，材料可能发生的物理和化学变化的过程类型如图1—1所示。

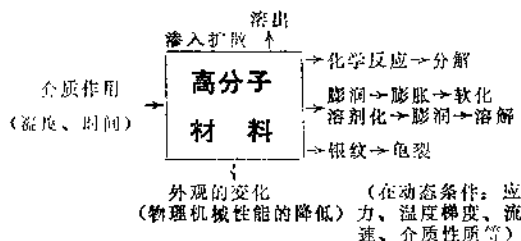


图1—1 高分子材料腐蚀过程的类型

高分子材料在浸蚀介质作用时，介质分子可以通过材料表面沿孔隙渗入内部，并扩散到各方，这时如果材料的组成物质如增塑剂等有可能被介质所溶出。根据材料和介质的性质，腐蚀的结果可能是：(1) 浸蚀介质如酸、碱、盐类的溶液，可能会发生氧化、水解等化学反应而使高分子材料遭到分解损坏；(2) 有机溶剂可能产生溶剂化，体型高分子材料可能发生溶胀，线型高分子材料甚至可能溶解。溶胀能使材料的分子间力遭到削弱，材料发生变形，强度会降低；(3) 对某些高分子物质如聚乙烯等，在某些介质中一定的应力共同作用下会发生龟裂，甚至产生脆性断裂。

总之，材料与化学介质作用的结果，通常会引起材料一系列性能变化，如：(1) 外观变化：起皱、膨胀、混浊、小孔、变色、龟裂或开裂等现象；(2) 机械性能变化：强度变低，伸长率减小等；(3) 物理性能变化：重量增减、介电性能降低等。图1—2示出了高分子材料和溶剂接触后形成的复杂多层结构。少量溶剂浸透到高分子材料内部，构成一层“浸润层”，它的物理性质起了变化。在这层上面通常是含较多量溶剂的“溶胀固体层”和“凝胶层”。然后一层浓差“液体层”一直伸展到溶剂。当高分子材料受溶剂腐蚀时，可以观察到这些层的全部或其中一部分。表面机械性能起了变化；

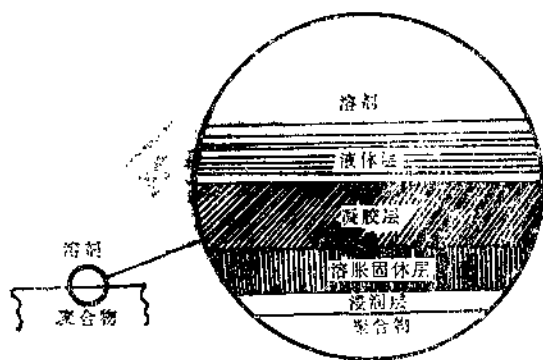


图1—2 聚合物和溶剂的界面结构

有时溶胀固体层由于内应力的作用，可产生破裂。

2、无机材料

耐蚀无机材料在化工生产中的应用也很广泛。它的化学稳定性取决于材料的化学组成、矿物组成、结构类型、孔隙以及环境的变化等主要因素。一般认为：二氧化硅含量高的材料耐酸不耐碱；碱性氧化物如氧化镁、氧化钙等占多数的材料耐碱不耐酸。当二氧化硅受到烧碱的作用时，会反应生成硅酸钠并易溶于碱液中；而碱性氧化物如石灰石接触酸时，会发生反应放出二氧化碳而损坏。所以，主要含二氧化硅的材料属于耐酸材料，除浓碱、氢氟酸及高温磷酸外都耐蚀。

硅酸盐材料的耐酸性不仅与化学成分有关，矿物组成也有同等重要意义。比如红砖中二氧化硅的含量达60~80%，但耐酸性并不高，耐酸瓷板中二氧化硅的含量为60~70%，其耐酸性能远比红砖好，这是由于二氧化硅在高温时与氧化铝生成具有高度耐化学腐蚀的新矿物：硅线石莫来石($3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)和莫来石($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{SiO}_2$)的缘故。

无机材料的结构紧密可提高其耐蚀性能。如辉绿岩铸石的耐酸、碱性能优异是与其化学成分、矿物组成及结构紧密有极大关

系。铸石是由一种硅酸盐矿物—普通辉石组成的，是由0.05~0.1mm的普通辉石球体及羽毛状雏晶交织而成的，这种内部结构的紧固性大大提高了铸石的耐腐蚀性及耐磨性，铸石耐腐蚀性高的另一个原因是由于它和介质接触后表面的结构有了变化所致。当铸石与酸、碱作用后，在表面上逐渐形成一层铝硅酸盐化合物的薄膜，这层薄膜在800~1000小时能成长到一定的厚度，在铸石的表面与介质之间形成一层保护膜，阻止了介质的化学腐蚀作用。

无机材料熔铸制品外，或多或少具有孔隙。材料的孔隙会加快其破坏过程，因为在这种情况下，材料受腐蚀介质作用的面积增大，侵蚀作用也就显得强烈。多孔性材料的破坏不仅发生在表面上，而且发生在材料的内部，有时还会伴随材料的物理损坏。如接触碱液的混凝土地面与构筑物，由于混凝土孔隙受到碱液的浸润后就会破坏，这是由于碱液变成含水碳酸盐的结晶，体积增大，形成内应力而使水泥破坏的。

无机材料的损坏速度与所接触材料的性质、状态、浓度、作用时间、环境温度以及杂质等因素，均有不同程度的影响。

(四) 材料耐腐蚀的评定

1、选材的影响因素

选择一种材料取决于许多因素（包括它的腐蚀行为）。图1—3示出选用结构材料的影响因素。

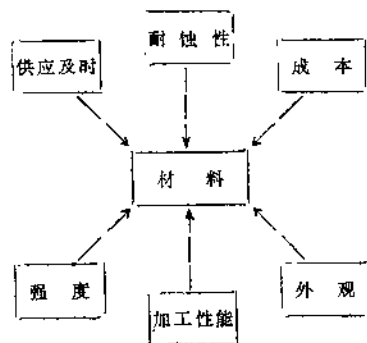


图1—3 选择工程材料的影响因素

一些决定性因素。虽然我们关心的是各种材料的耐腐蚀性，但最后选择却常常决定于耐腐蚀性以外的因素。

综上所述，选用非金属结构材料或防腐衬里时，必须按材料或衬里本身的性能、设备结构的特点、介质条件（包括介质的温度、压力及腐蚀性等）、生产过程的特点（温度变化、搅拌等）以及有关的技术经济指标等等，进行全面的综合分析，而后选用，才有可能达到合理使用的目的。

2、金属材料的评定^{〔1〕}

评价和确定材料在特定环境中的耐腐蚀性，通常用“腐蚀速度”（有时也称腐蚀率）这个术语来说明。从工程观点来看，腐蚀深度可以直接用来预测特定部件的寿命。常用的重量损失率的单位是 $g/m^2 \cdot h$ 和 $mg/dm^2 \cdot d$ 。常用的腐蚀深度率的单位有毫米/年（ mm/a ）和密耳/年（ m/a ）。以腐蚀深度率（ mm/a ）与重量损失率（ $g/m^2 \cdot h$ ）的换算为例，其关系式如下：

腐蚀率（ mm/a ）

$$= \frac{24 \times 365}{1000} \times \frac{\text{重量损失率}}{\text{金属的重度}}$$

$$= 8.76 \times \frac{\text{重量损失率}}{\text{金属的重度}}$$

$$1m/a = 0.0254 (mm/a)$$

$$1mg/dm^2d = 0.004167 (g/m^2 \cdot h)$$

当金属材料发生孔蚀时，还应给出孔蚀的程度，可用孔蚀系数来表示，即最大蚀孔深度与全面腐蚀的侵蚀深度之比。另外还可同时给出单位面积的平均蚀孔数（个/ mm^2 ）、最大蚀孔深度（ mm ）以及腐蚀率（ mm/a ），综合表示材料孔蚀的程度。

金属和合金的耐腐蚀性评定标准有3级、4级和10级等多种，见表1—4所示。通常认为腐蚀率在 $0.1mm/a$ 以下为耐蚀性良好。适用的耐蚀材料一般腐蚀率为 $0.02 \sim 5mm/a$ 对于贵重的合金来说， $0.1 \sim 0.5mm/a$ 的

腐蚀率尚属过大；而对廉价的材料（采用厚截面）如铸铁泵体、熬碱锅等的腐蚀率达到5mm/a时仍可适用。但对要求尺寸精密的部件，表中所列的3、4级评定标准，显然是不够严谨的。总之，材料的可用与否要根据具体情况而定。

表1—4 金属和合金的耐蚀性评定标准

腐蚀率 mm/a	腐蚀性评定	备 注
<0.1	耐蚀	我国通用标准 (3级)
0.1~1.0	尚耐蚀	
>1.0	不耐蚀	
<0.05	●耐蚀	美国NACE标准 (4级)
<0.5	○尚耐蚀	
0.5~1.27	□特殊情况可用	
>1.27	×不耐蚀	
<0.001	0 耐腐蚀性极好	苏联标准 (10级)
0.001~0.005	1 } 耐腐蚀性良好	
0.005~0.01	2 }	
0.01~0.05	3 } 耐 蚀	
0.05~0.1	4 }	
0.1~0.5	5 } 尚耐蚀	
0.5~1.0	6 }	
1.0~5.0	7 } 耐腐蚀性较差	
5.0~10.0	8 }	
>10.0	9 不耐蚀	

注：NACE为美国腐蚀工程师协会

3、非金属材料的评价^[1]

非金属材料如塑料、橡胶的耐蚀性不以腐蚀率作标准。而是以失强(%)、增重(%)、变色和外形破坏等作为综合考察指标。目前还没有很好的评定方法及统一的标准。对于塑料和橡胶，下列的标准可供参考：

抗弯强度下降 <25%

重量或尺寸变化 <5%

硬度(洛氏M) <30%

如果材料能满足上述综合指标，一般认为该材料在试验期限或更长一些时间内是可行的。

耐腐蚀涂料一般在产品标准中规定涂膜在一定的试剂中的滞留时间。如果试验的涂膜上出现“光泽的损失、斑点及气泡的出现，剥落的开始”等变化的初步现象，均迟于产品标准所规定的时间，则认为该涂料能抵抗该试剂的作用。如自配的涂料，则要根据具体的条件，参照有关标准规范予以评定。

耐蚀陶瓷一般按耐蚀度来评定。

$$\text{耐 蚀 度} = \frac{\text{定量的陶瓷粉在特定(酸或碱)介质中腐蚀后的重量}}{\text{腐蚀前陶瓷粉的重量}} \times 100\%$$

在实际应用中，除了陶瓷材料的耐蚀度以外，常常还要在一定条件下评定材料的吸水率(即抗渗透性)和材料腐蚀前后机械性能的变化。目前还没有统一的评定标准。总之，材料的吸水率愈小愈好；腐蚀前后材料机械性能的变化也是愈小愈好。

(五) 化工非金属防腐蚀设备的发展与前景

1、非金属结构材料的发展^[2]

全世界金属材料的生产日益受到货源和能源的限制，其发展速度正在不断下降，近10年来钢的产量仅增长2.2%，特别是美国、日本、西德、英国、意大利等工业发达国家的钢产量，比10年前均有所下降。与此同时，非金属材料特别是高分子材料却增长很快，1988年世界塑料产量已达9154.2万吨，比1982年增长了51.4%。若以美国为例，塑料的产量1988年为2673万吨，按体积计算已是当年钢产量的2.2倍。可以预料，各种非金属结构材料会取代目前的木材、钢铁和各种有色金属。据预测，到2000年，合成材料将占世界人口物资消耗量的78%，而金属仅占19%。

2、化工非金属防腐蚀设备的发展与前景^[2-11]

(1) 无机材料制作的化工设备

材料有：玻璃、搪瓷、陶瓷、花岗岩、铸石等。这类设备的主要特点是资源丰富、价格便宜。耐蚀、耐磨、耐高温。比如玻璃和陶瓷都是以二氧化硅为主的熔化或锻烧制品，具有很高的耐蚀性。包括热浓硝酸、硫酸、盐酸、王水、盐溶液、有机溶剂等；高硼玻璃可用于 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ ，石英玻璃可用于 800°C 。但这些材料也有一些重要缺点，比如强度低、导热率低、热膨胀系数较大、加工困难等，因此这类设备一般不能实现大型化。当然，这些缺点随着科技进步也在不断改善，比如强度低的问题，通过微晶化、金属化等方法正在得到改善。搪瓷也称搪玻璃，它能耐大多数酸、有机溶剂和碱液（ $\text{pH}<12$ ， $t\leq 60^{\circ}\text{C}$ ），但不耐氢氟酸、高温磷酸（ $>180^{\circ}\text{C}$ ）和强碱液。

目前，国内生产无机材料制作的化工设备主要有：玻璃制的管道、阀门、管件、泵、喷射器、换热器、冷凝器、蒸馏釜、成套提烫装置等；搪瓷制的反应罐、贮罐、热交换器、塔器、聚合釜（最大容量 $V14\text{m}^3$ ）泵、阀门、管道与管件等；陶瓷制品如管道、阀门、管件、泵、风机、砖板、塔节、蒸馏器、气流粉碎机、大开孔硫酸吸收塔圆拱、塔填料、蜂窝陶瓷等；花岗岩与铸石制品，大部分制成砖板，砌成贮槽和塔器，也制作一些化工设备部件如电解槽盖等。

（2）有机材料制作的化工设备

主要材料是塑料。塑料的品种较多，其中应用最广泛的聚氯乙烯（PVC）、聚丙烯（PP）、聚四氟乙烯（PTFE、F-4）、聚三氟氯乙烯（PTFCE）、聚全氟乙丙烯（F-46）、酚醛塑料等。塑料制化工设备的主要特点是：

①化学稳定性好，耐腐蚀。具有很好的耐酸、耐碱、盐的性能，比如F-4可以抗王水的腐蚀。②比重轻。塑料的比重只有钢的 $1/4\sim 1/8$ ，制作的设备轻，只有钢制设备的

$1/2\sim 3/4$ ，运输和安装方便。③易于加工、制作周期短。塑料制设备的工序少，如挤压或注塑成型，仅需一道工序。切削量小，易于加工，生产周期短。④能耗低。若按单位体积计算，如果生产塑料设备的能耗为1，则钢为10.61，铝为19.61，铜为21.51。⑤产品价格低。塑料设备价格一般要比钢制设备价格低0.5~1.5倍。如PVC制的硝酸吸收塔仅为不锈钢塔费用的 $1/10$ ，还可减少大量维修费用。又如PP制的硫酸洗涤塔（ $\phi 2800\times 5300\text{mm}$ ），仅为不锈钢塔费用的 $1/7$ 。⑥安全可靠，使用寿命长。塑料设备只要在正常的操作条件下使用，估计寿命可达30年以上，如PVC制硝酸吸收塔使用13年后测定光老化加介质腐蚀才0.8mm，内层材料性能无任何变化，寿命已超过26年。又如聚丙烯板框压滤机比铸铁的使用寿命延长6倍。⑦节约金属。若按设备的单位体积计算，以塑料设备的重量和使用寿命综合因素考虑，一般1吨塑料可节约10吨钢材。

塑料也有它的弱点，如耐氧化性差，易老化，耐温低，强度小，膨胀系数大（为金属的3~10倍），易产生静电，材料性能对温度变化极其敏感，导热性能差。为了解决这些问题，往往加一些添加剂，使某些性能得到改善。

目前，国内制作的塑料化工设备品种很多，机系有：PVC、PP全塑泵、F-4衬里泵、F-4衬里电磁泵，PVC风机等；换热设备有：PP、F-46换热器；贮运设备有PVC大型贮罐、汽车槽车；阀门类有：PP隔膜阀、PVC球阀、塞阀等；过滤设备有：PP板框压滤机；其它还有PVC大型电除雾器及塔类设备。

（3）复合材料制作的化工设备

主要的结构材料有玻璃钢、橡胶衬里、不透性石墨。

玻璃钢又称玻璃纤维增强塑料(FRP),其基本特点与塑料相仿,最大区别是抗伸与抗弯强度较高。因此,目前国外如英国、日本、美国、西德等玻璃钢发展都很快。玻璃钢用作化工设备的比例很大,比如美国1985年耐蚀玻璃钢用量约占总量的15%。我国虽然起步较晚,但据1984年统计,全国玻璃钢总产量已达6万多吨,其中耐蚀设备约占50%。

目前,国内玻璃钢化工设备主要产品有:玻璃钢冷却塔、风机、贮槽、槽车、管道与管件。近几年,从国外引进的纤维缠绕玻璃钢生产线,制作的化工塔器最大直径可达4000mm,现场缠绕的设备最大直径可达12000mm,K型组装的玻璃钢贮罐容积已达200m³。近几年来,还有许多用玻璃钢增强的塑料制品已在普遍应用,如PP/FRP管道、管件与阀门,PVC/FRP管道、管件、塔器与贮罐;这种结构充分发挥了塑料与玻璃钢各自的优势,大大提高了使用寿命。

不透性石墨,是非金属材料中唯一有导热率的材料,因此被广泛用作各种换热器和管道,还可用于设备衬里。石墨换热器的型式有:列管式、圆块孔式、矩形块孔式与板槽式,并已形成系列和定点生产。列管式降膜吸收器与氯化氢三合一合成炉也已在许多氯碱厂应用。不透性石墨的耐热性和耐腐蚀性能随合成树脂的不同而异,目前在盐酸、磷酸、氢氟酸介质中是较为理想的材料。

橡胶,主要是用作管道、管件、设备及其零部件的衬里。在国内,橡胶衬里技术已相当成熟,早已广泛应用。近几年来,在衬里技术上有了较大突破,基本上掌握了目前国外的先进技术,除釜式硫化、本体硫化外,开发了热水硫化、自然硫化、预硫化等。这样,使衬胶设备大型化与常压施工成为可能,大大降低了设备造价。应用常压硫

化的大型设备且已投产多年的有:热水硫化的酸性盐水罐($\phi 7000 \times 5370$)、酸洗槽(宽 $\times$ 高 $\times$ 长=3200 $\times$ 2200 $\times$ 25000);自然硫化的磷酸贮罐(V6900m³, $\phi 26000 \times 12500$);常压蒸汽硫化的盐水沉降器($\phi 11000 \times 5000$);预硫化的硫化钠贮槽($\phi 7580 \times 9000$)。

在我国,50年代初才起步开展非金属材料用化工设备的应用研究。开始用石棉酚醛塑料制作管道和阀门,用花岗岩做防腐地坪与电解槽盖;在60年代,用PVC制作硝酸吸收塔、300m³贮罐、50m³槽车、75m³球罐、大型硫酸电除雾器和120m高的烟囱等,为我国节约了大量的不锈钢和铜、铝等金属材料。

70年代、80年代以来,随着高分子材料的不断出现,为制作非金属化工设备开辟了更广阔的领域,无论是数量上、品种上都有了新的发展。相继开发了许多新产品,如PP制板框压滤机,F-46制换热器,FRP制大型凉水塔风筒和风机,无泄漏塑料衬里的电磁泵,热压成型的氟塑料衬里的大型塔节,预硫化丁基橡胶衬里的大型贮罐。在无机材料方面,如微晶搪瓷釜,陶瓷气流粉碎机、蜂窝陶瓷净化器、铠装陶瓷塔与高硅硼玻璃空气预热器等。

目前,为了适应化学工业发展的需要,已建立起一支非金属化工设备的科研、设计、生产的产业大军,并具备了一定的设备制造规模。但是还有一些问题急待解决,如产品开发水平低,产品缺乏国家和行业标准,产品质量得不到保证。为使非金属化工设备能适应化学工业发展的需要,应采取下列措施:①对设备制造与施工安装单位要进行整顿,实行许可证制度;②要按类别、分地区进行规划、逐步形成陶瓷、搪瓷、石墨、玻璃钢、玻璃、塑料、衬胶、涂料等生产骨干企业;③要完善非金属化工设备标准

化的制定工作与监督管理机构；④为了保证产品质量，应建立各种非金属设备的控制中心，并负责新材料、新设备的开发与引进装置中有关设备的国产化问题；⑤加强对新材料、新设备的报道工作，使科研成果能迅速得到推广应用。

参 考 文 献

〔1〕《氯碱生产技术》编写组《氯碱生产技术》（下），P. 148~153, 172~174, 江苏省氯碱工业协会（1985）

〔2〕赖春晓《全面腐蚀控制》No. 3, P. 5 (1990)

〔3〕左景伊《腐蚀数据手册》序，化学工业出版社（1982）

〔4〕M. G. 方坦纳等著，左景伊译《腐蚀工程》（第二版），P. 26~100 化学工业出版社（1982）

〔5〕美国腐蚀工程师协会编，朱日彰等译《腐蚀与防护技术基础》冶金工业出版社（1987）

〔6〕罗春富《全面腐蚀控制》No. 3, P. 2 (1991)

〔7〕罗春富《腐蚀科学与防护技术》No. 3, P. 38~43 (1991)

〔8〕邵岳《氯碱设备工作者手册》P. 625~630, 中国氯碱工业协会（1989）

〔9〕《腐蚀与防护手册》编写组《腐蚀与防护手册》序，化学工业出版社（1990）

〔10〕宋德芳《全面腐蚀控制》No. 3, P. 1~4 (1990)

〔11〕徐伟“第九届全国氯碱科技情报交流会资料”（1991. 10. 14 苏州）

二、化工非金属防腐蚀设备

（一）玻璃

1、简介〔1〕

玻璃管是一种具有优良耐腐蚀的非金属材料，它具有化学稳定性高、透明、光滑、耐磨、价廉等许多为金属材料不能比拟的特点。目前许多单位在使用玻璃管中取得了很

多经验，并扩大了使用范围。

2、玻璃管性能及使用

（1）化学成份 目前化工防腐蚀中应用的玻璃管，主要有96料硼硅玻璃（I型）、无硼低碱玻璃（II型）和耐高温硼—硅酸盐玻璃（III型）三种。其化学成份见表2—1。

表2—1

种	类	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	B ₂ O ₃	CaO	MgO	F ₂	K ₂ O
硼硅玻璃（I）型		78.5	2.0	5.2	14.3				
无硼低碱玻璃（II型）		63.5	15.5	2		13	4	2	
耐高温硼—硅酸盐玻璃（III型）		78.9	2.2	5.7	12.3	0.7			0.2

（2）耐腐蚀性能 玻璃除氢氟酸、氟硅酸、热磷酸及强碱外，能耐大多数无机酸、

有机酸及有机溶剂等介质的腐蚀。玻璃管的耐腐蚀性见表2—2。

表2—2

介 质	浓 度 (%)	温 度 (°C)	耐 腐 蚀 性	介 质	浓 度 (%)	温 度 (°C)	耐 腐 蚀 性
盐酸	任何	<100	耐	氢氧化钠	40	<50	耐
硫酸	任何	<100	耐	氢氧化钠	40	>50	不耐
硝酸	任何	<100	耐	氢氧化钾	40	<50	耐
磷酸	任何	<100	耐	氢氧化钾	40	<50	不耐
氢氟酸	任何	<100	不耐				

(3) 玻璃管使用情况 (表2—3)。

表2—3

输 送 介 质	温 度 (°C)	压 力 MPa	使 用 情 况
盐 酸	120	常压、负压	平套法兰及橡胶套连接Dg50、100共500米
晶 盐	无	0.02~0.03	平套法兰连接 Dg100125共120米
乙醇、盐酸气混合物	150	0.05 (负)	平套法兰连接, Dg25~125共265米
氯苯、盐酸气、氯气	常温	0.05 (负)	平套法兰连接, Dg50、80共100米
盐酸、盐酸气、氯化氢、氯气	30~110	0.2以下	平套法兰连接, Dg50~100共500米
盐酸、酚	30	0.3以下	平套法兰连接, Dg50~125共2000多米
氯化氢、氯化苯、盐酸	105~110	0.1以下	平套法兰连接, Dg50~100共1000多米
氯气、氯化氢、醋酸、二氯乙醇	120	0.05以下	平套法兰连接, Dg50~100共600多米

3、玻璃热交换器^[2]

玻璃盘管式热交换器加工方便, 两端配有标准扩口法兰, 可以与玻璃管道或其它设备连接 (但插入式只能利用软塞插入设备中)。在盘管内通冷却水, 盘管外通蒸汽的热交换情况下, 总传热系数为 $1254 \sim 1672 \text{ kJ} / \text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}$ 四层式 (图2—1, 表2—4) :

表2—4 四层式直筒盘管热交换器尺

传热面积 m^2	L	D_1	D_2	H_1	S
1	600	150	25	100	145
1.5	900	150	25	100	145

参 考 文 献

(1) 《化工管路手册》(上册) P252—253

(2) 化工设备设计手册 (3) 《非金属材料防腐设备》P682

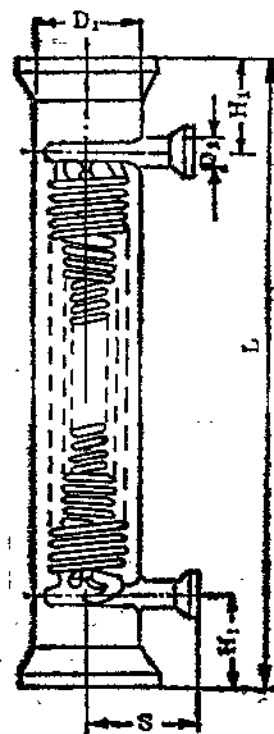


图2—1 四层式热交换器

(二) 玻璃鳞片

1、简介^[1]

玻璃鳞片增强塑料又称片状衬里，是新发展起来的廉价较为简便的防腐技术。是把片状玻璃（厚2~5 μ ，粒度10~30目）与树脂混炼并延展成0.2~2mm厚的衬里材料或涂料，在这样衬里层中有互相平行地重叠几十到几百片的玻璃薄片，能防止腐蚀介质的渗透作用，这是因为这种衬里增加了渗透路线及历程，平行又分散的定向玻璃薄片，能约束腐蚀介质的渗透。

下面介绍几种玻璃鳞片种类及使用条件和耐腐蚀情况。

2、技术产品种类（见表2—5，图2—3）^[1]

表2—5

序号	品 类	最高使用温度	适应介质条件
1	环氧型、聚酯型、乙烯基酯型	80~90 °C	与同类型玻璃
2	酚醛呋喃改性型	120 °C	钢适用介质相同
3	玻璃钢+鳞片复合型	80~90 °C	可用于含氟酸介质条件
4	石墨板+鳞片衬里复合板	120 °C	适用于砖板衬里条件
5	铝板+鳞片衬里复合板	130 °C	大气、酸气环境、海水
6	鳞片涂料	70 °C	

3 抗渗性试验

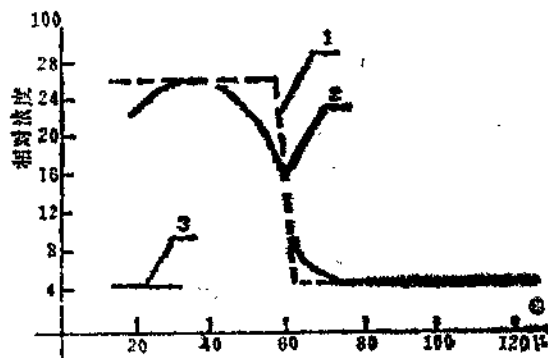


图2—2 CI元素电镜分析图

1、理论曲线 2、挂片曲线 3、未挂片曲线

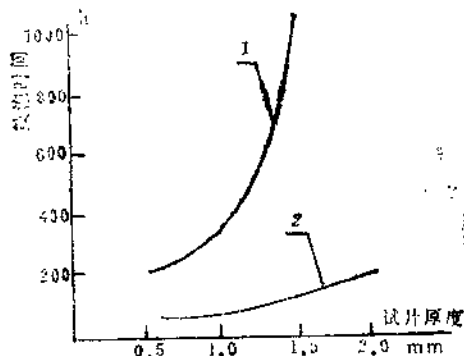


图2—3 温度梯度试验结果

1、鳞片抗渗曲线 2、玻璃钢抗渗曲线

95°C HCl 30%含铝粒固体磨料挂片一年后，Cl元素渗透深度电镜分析图，从图上看，渗透厚度仅为60 μ m。

温度梯度试验，结果表明：鳞片衬里比玻璃钢抗介质渗透性提高5倍以上。

4、应用实例（见表2—5）^[3]

表2—5 玻璃鳞片防腐应用实例

厂 名	设备名称及条件	施工、应用情况
济宁第二化工厂	废水处理贮罐， $\phi 7000 \times 8000$ ， 介质： H_2SO_4 15% 温度：50~60 °C	1989年 11 月施工，衬里厚度2mm，效果良好。
莱州碱厂	$\phi 6000 \times 6000$ 氨盐水澄清桶。 介质饱和氨盐水， 温度70~80 °C	
潍坊碱厂	$\phi 12000 \times 10000$ 氨盐水澄清桶， 介质、温度同上	90年10月施工。施工前内部腐蚀5~8mm，局部焊缝已穿孔。衬鳞片2mm，使用后效果良好。
青岛红星化工厂	SO_2 尾气烟囱。 $\phi 600$ 高45米	80年10月施工应用为钢壳烟囱衬鳞片2mm。衬里后经搬运安装等强烈撞击，衬里保持良好。

参 考 文 献

〔1〕化工部化工司《氯碱生产技术》
(下册) P186~187

〔2〕化工部化工院防腐衬里技术研究所(样本)

〔3〕山东胶州市防腐蚀工程公司样本

(三) 钢衬玻璃

1、简介〔1〕

钢衬玻璃就是把熔融状态的玻璃衬入经过加热的钢(或铸铁)制管道、管件及设备内部,形成玻璃和钢铁的复合体,它不仅具有玻璃优良的耐腐蚀性和光洁性,而且具有钢铁制件的耐压、耐热等良好的机械性能。

钢衬玻璃产品在我国于一九六六年,在化工部第一、第九设计院的协助下,在吉林市玻璃厂试制成功,并于1967年11月通过了化工部的技术鉴定,投入批量生产。目前国内有十家厂家在生产钢衬玻璃产品,年销售总额在500万元左右。

(1) 钢衬玻璃衬里的性能

钢衬玻璃产品是一种玻璃和金属的复合材料,它的耐腐蚀性能决定于所衬玻璃的性能。目前国内不能将耐腐蚀性能良好的玻璃和铁胎紧密地结合,再加上钢铁制件加工后的冷却收缩使玻璃处于压应力的状态下,而使产品的耐腐蚀性能和机械性能都得到了提高。从而使其具有优良的综合性能。

①钢衬玻璃的耐腐蚀性能

钢衬玻璃衬里具有优良的耐腐蚀性能,除氢氟酸、热磷酸、热浓碱液以外。几乎能耐包括硝酸、硫酸、盐酸、有机溶剂等在内的所有腐蚀性介质的腐蚀。其耐腐蚀性能与聚四氟乙烯相当。

②钢衬玻璃的物理机械性能

钢衬玻璃制品,由于钢铁的保护,玻璃层的机械强度也大大地得到了提高,一

般的碰撞锤击,玻璃层不会脱落,也不会炸裂。

钢衬玻璃制品的使用范围和部分性能数据如下:

耐 压: $P \leq 2 \text{MPa}$;

抗冷冲击: $\Delta t \leq 80^\circ\text{C}$;

抗热冲击: $\Delta t \leq 200^\circ\text{C}$ (阀门 $\leq 120^\circ\text{C}$);

长期使用温度: $-20 \sim 250^\circ\text{C}$

(阀门 $0 \sim 150^\circ\text{C}$);

最大急变温度: 120°C ;

玻璃的软化温度: $690 \sim 700^\circ\text{C}$;

玻璃层的热膨胀系数: $85 \sim 90 \times 10^{-7}/^\circ\text{C}$

另外,钢衬玻璃制品内壁光滑,不易挂料,输送流体时阻力小,不易结垢,耐磨等特性,它克服了纯玻璃产品易碎的缺点。

(2) 钢衬玻璃的衬制工艺

为了使玻璃牢固地粘贴在金属表面上,衬制工艺的第一步就是,消除被衬管件上的污染物和锈蚀等,为此,一般先经过 $650^\circ\text{C} \sim 800^\circ\text{C}$ 的退火,再经喷砂清理,清除氧化皮。第二步就是在经过喷砂清理的金属表面均匀地喷涂底釉(中间过渡层),烘干焙烧后再进行最后一步,将玻璃衬贴在钢铁件上。

目前,国内玻璃衬贴的方法主要是吹制法,就是将需衬里的钢铁制件(已涂底釉)加热到 800°C 左右,即用人工吹制或压缩空气吹制的方法衬上玻璃(此时玻璃温度约为 $800^\circ\text{C} \sim 1000^\circ\text{C}$)。

另外,据报导,衬制工艺还有膨胀法和喷涂法,离心喷涂法等。

产品最后要经电火花检测合格后方可出厂。

2、制品种类规格〔2,3,4〕

(1) 管件

生产品种有各种直管、三通、四通、弯头、U型管、异径管等。

①直管规格(见表2—6,图2—4)

表2—6

Dg	32	40	50	65 (70)	80	100	125	150	175	200	250	300
L	1000	1000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	2000	1000	1000

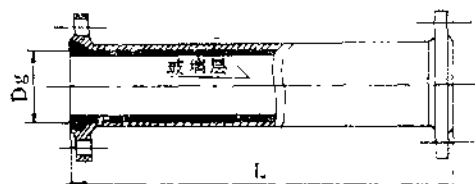


图2—4 直管

②四通规格(见表2—7, 图2—5, 2—6)

表2—7

Dg	32	40	50	65 (70)	80	100	125	150	175	200	250	300
L	95	105	115	130	140	150	165	190	215	240	250	270

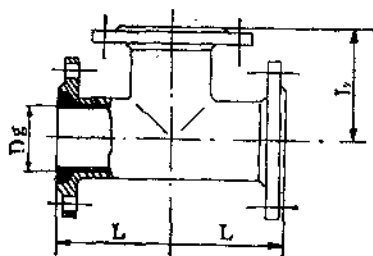


图2—5 三通

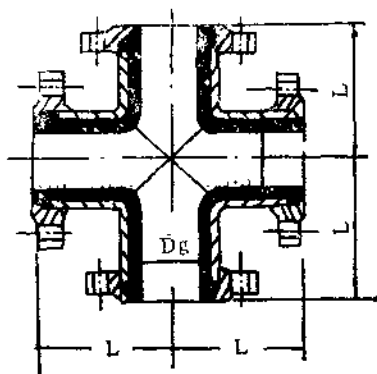


图2—6 四通

(2) 阀门 (见表2—8, 图2—7)

表2—8 隔膜阀主要外形尺寸和接合尺寸 (规格) (mm)

公称直径 Dg	L	D	D ₁	D ₂	D ₃	b
25	145	115	85	68	55	11
40	180	145	110	88	76	15
50	210	160	125	102	84	15
80	300	195	160	138	120	17
100		215	180	158	140	22

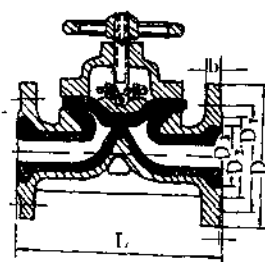


图2—7 阀门

3、机加工要求与应用

(1) 材质钢号要一致即普通低碳钢以 A₃ 为宜

(2) 管件各拐角倒圆、弯头不要有绉纹。

(3) 套管要求：先衬玻璃后焊套管。在管与套管施焊时，为了防止玻璃受热炸裂，应把套管放入水中。做法如图 2—8 所示。铸铁管件内壁不许有疙瘩。

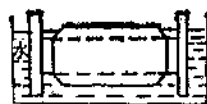


图2—8 套管焊接

在国内氯化苯装置上使用的钢衬玻璃件,起到了防堵塞、隔绝铁离子的作用,同时对于盐酸和 (H^+) 性物料的腐蚀作用能有效防止^[4],已有十年以上的使用验经,许多厂还将其与衬聚四氟乙烯的管混用,实用证明各有千秋。

参 考 文 献

- [1] 张炎明《全面腐蚀控制》No. P33—35, 1991
- [2] 兴城市钢衬玻璃厂样本
- [3] 吉林市防腐钢衬玻璃厂样本
- [4] 徐伟“全国氯碱工业腐蚀控制会

议资料”(1991. 11. 齐鲁)

(四) 铸石

1、简介

铸石是以辉绿岩为主要原料,配以角闪石、白云石、萤石、铬铁矿等附加料经熔化、浇注成型、结晶、退火制成。具有较高的耐磨、耐腐蚀性能和绝缘性能,并具有较高的硬度和抗压强度。耐酸碱度可达99%以上;耐磨度比碳钢高5~50倍。其主要理化性能见表2—9

表2—9 铸石主要理化性能

物 理 性 能	比 重	2.9~3.0	抗压强度	600MPa
	硬度 (莫氏)	7~8	抗弯强度	75MPa
	耐磨系数	0.1cm ³ /cm ²	抗拉强度	40MPa (计算值)
	弹性模量	$8.9 \times 10^5 \text{ kgf/cm}^2$	冲击强度	1.4~2.5kgf-cm/cm ²
化 学 性 能	耐 酸 性 能		耐 碱 性 能	
	试 剂 (浓度)	耐 酸 度 %	试 剂 (浓度)	耐 碱 度 %
	硫酸 (浓)	99.0~99.99	氢氧化钠	99.34~95.75
	盐酸 (浓)	98.03~98.67	氢氧化钠 (浓)	99.34~99.84
	硝酸 (浓)	99.46~99.62	氢氧化钠 + 碳酸钠 (1N)	99.45
	磷酸 (浓)	91.78~92.52	氢氧化钠 + 碳酸钠 (1:1)	99.45
	醋酸 (浓)	99.84~99.94		

注:①铸石制品能耐所有有机酸、无机酸、碱类的腐蚀(300℃以上的氢氟酸、磷酸、熔融的碱除外)。

②铸石的耐冲击强度和耐急冷、急热性能均较差,工作温度不允许超过250℃。

铸石制品有各种形状的板材、管材和粉末等。矩形板规格180×110×20mm,通常用于设备衬里,在曲率范围内可用圆弧形或其他曲面板;梯形板与矩形板配合可用作各种方斗形容器的防腐护板,如中心形漏斗料罐或大型储料仓,大坡度的多块组装式溜槽,衬砌电解槽的侧壁等。

辉绿岩铸石管,管径不大于300mm,长度500~600mm,与承插管、异形短管、球底管、弯管衬瓦等配合可以作为耐酸、耐碱、耐磨等化工设备的衬里防腐。大连辉绿岩铸石厂等生产。

2、铸石板耐腐蚀性 (见表2—10) [2]

表2—10 铸石板耐腐蚀性能

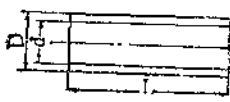
介 质	浓度, %	温度 °C	耐腐蚀性能	介 质	浓度, %	温度 °C	耐腐蚀性能
硝酸	任意	<沸点	√	硫代硫酸钠	任意	沸点	√
氯化铝	任意	沸点	√	氢氧化钠	—	—	√
氯	浓	沸点	√	硫酸	96	沸点	√
氢	25	33.5	√	亚硫酸	稀	130	√
氯化铵	任意	沸点	√	盐酸	任意	100	√
苯甲酸	任意	—	√	盐 酸	35	沸点	√
磷酸	任意	沸点	√	苯 酚	任意	<100	√
溴 水	浓	沸点	√	磷 酸	—	沸点	×
氯化亚铁	任意	—	√	氢 氟 酸	—	—	×
氯化铁	任意	<沸点	√	氯 化 氢	气	100	√
氢氧化钾	—	—	√	醋 酸	任意	<沸点	√
硫酸铜	任意	沸点	√	王 水	—	—	√
乳酸	任意	沸点	√	草 酸	任意	<沸点	√
重铬酸钠	任意	沸点	√				

√好

×差

3、常用铸石管规格 (见表2—11)

表2—11 常用铸石管规格 (mm)

	内径d	100	125	150	175	200	250	300
	外径D	140	165	190	215	240	290	340
	长度L	300~1000						

4、制品应用 (见表2—12)

表2—12 某厂使用铸石制品的设备、部件一览表^[3]

序号	设备及部件	规格 (有效尺寸)	防腐措施	腐蚀介质	使用温度	使用时间	说 明
1	综合贮酸罐 (126 m ³)	Φ6200×4200内部尺寸 Φ6600×5200外部尺寸	辉绿岩耐酸混凝土捣制	浓硫酸92~98% 废硫酸60~70% 稀硫酸17%	室温到60 °C	5年	完好 来浓装浓 来稀装稀 来废废装
2	同上	同上	辉绿岩耐酸混凝土 胶泥厚涂	同上	同上	5年	同上
3	综合贮酸罐 (34 m ³)	Φ3200×4200内部尺寸	耐酸混凝土、胶泥厚涂	同上	同上	5年	同上
4	浓硫酸贮池 (半地下)	3000×5000×2500	辉绿岩砖及瓷板衬砌	浓硫酸 废硫酸	-10°C~+80°C	7年	大修过两、三次
5	稀酸循环池	3000×2500×2500	辉绿岩混凝土捣制	稀硫酸50~70%循环酸 混合酸70~74%有冲击力	常温到120 °C	6年	原是耐酸砖衬砌, 后改为捣制的
6	立式混合机	3060×700×900外部尺寸 D=100mm	同上	硫酸, H ₂ PO ₄ , SiF ₄ 汽, 料浆 Ca (H ₂ PO ₄) ₂	室温至140 °C	2年	一等完好