

化工设备设计全书

石墨制化工设备设计

化工设备设计全书编辑委员会

上海科学技术出版社

79.518
8908463

化工设备设计全书

石墨制化工设备设计

主 编

化学工业部设备设计技术中心站 龚健中

编 写

南 通 碳 素 厂	林定浩	白网荣
化学工业部化工设计公司		许志远
华 东 化 工 学 院		王志文

上海科学技术出版社

化工设备设计全书
石墨制化工设备设计
化学工业部设备设计技术中心站 龚健中 主编
上海科学技术出版社出版
(上海瑞金二路 450 号)

新华书店上海发行所发行 江苏省如东县印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 19.5 插页 4 字数 462,000
1989 年 2 月第 1 版 1989 年 2 月第 1 次印刷
印数: 1—4,000

ISBN 7-5323-0309-8/TQ·2

定价: 10.70 元

化工设备设计全书

分册名称	主要内容
化工设备用钢	钢的冶炼; 常温机械性能和断裂韧性; 热处理和可焊性; 中、高温机械性能和组织稳定性; 腐蚀及耐蚀性; 碳钢和低合金高强度钢; 低温用钢; 低合金耐热钢; 不锈钢及耐热高合金钢。
化工容器设计	旋转薄壳与平板的基本理论及应用; 筒体和封头; 特殊形状容器局部应力; 开孔补强; 法兰、支座、防爆膜设计; 容器附件; 容器焊接、制造及检验要求; 容器保温结构。
高压容器设计	力学基础; 断裂力学在压力容器上的应用; 厚壁容器; 蠕变; 密封设计; 高压容器零部件设计; 高压容器的开孔与衬里; 高压容器的用材、破坏与检验。
超高压容器设计	超高压容器的筒体结构型式; 应力分析及强度计算; 自增强技术及其应用; 疲劳及其设计计算; 零部件设计; 超高压容器的用材、检验和安全技术。
真空设备设计	真空技术的理论基础; 真空获得设备; 真空测量与检漏; 真空容器及化工设备设计; 真空密封; 真空系统设计及附件。
换热器设计	流体流动及传热; 管壳式换热器的结构设计; 管壳式换热器元件强度和刚度计算; 螺旋板式、板式及其它换热器; 管壳式换热器的制造、检验、安装及维修。
塔设备设计	塔设备的化工设计; 塔盘形式及其化工计算; 塔盘结构设计; 填料塔、萃取塔设计; 受压元件的强度设计和稳定校核; 辅助装置及附件; 制造、安装及运输。
搅拌设备设计	搅拌过程与搅拌器; 搅拌设备的传热; 搅拌罐结构设计; 传动装置及搅拌轴; 轴封; 制造及检验。
球形容器设计	材料选用; 结构设计; 强度计算; 组装; 焊接; 检验。
大型贮罐设计	贮罐尺寸的选择; 化工贮罐的设计; 罐壁、罐底、罐顶设计; 低压贮罐设计; 贮罐附件及其选择; 消防及安全措施; 制造、焊接与检验; 贮罐对基础的要求; 贮罐搅拌器。
废热锅炉设计	结构设计; 热力计算; 阻力计算; 元件强度计算; 材料; 制造、安装与检验; 水处理; 运行。
干燥设备设计	干燥过程基础; 厢式、带式、流化床、气流、喷雾、滚筒、回转圆筒干燥器设计; 新型干燥器、组合式干燥器及其设计; 主要辅助设备设计。
除尘设备设计	粉尘的特性与除尘器的性能; 重力沉降室和惯性除尘器; 旋风、过滤式除尘器; 电除尘器; 湿式除尘器; 除尘系统设计; 含尘气流的测定。
铝制化工设备设计	材料; 设计计算; 结构; 制造与检验。
钛制化工设备设计	钛材的机械性能、物理性能和耐蚀性; 钛制设备的设计计算; 设备结构设计; 制造和检验。
硬聚氯乙烯塑料制化工设备设计	硬聚氯乙烯原材料及其性能; 设备设计与结构; 接管设计; 施工、安装与验收。
石墨制化工设备设计	不透性石墨材料及制造工艺; 不透性石墨制品设备及设计计算; 设备制造; 原材料分析及物性测定。
钢架设计	钢架材料及荷载; 设计原理; 梁、柱的设计; 构件连接构造及计算; 设备支架; 操作平台; 塔平台; 动载荷作用下的钢架设计; 抗震设计; 防腐和防火。

《化工设备设计全书》编辑委员会

主任委员

洪国宝

燕山石油化学总公司设计院

副主任委员

黄力行

南京化学工业公司

李肇璠

化学工业部第六设计院

姚北权

化学工业部第四设计院

琚定一

华东化工学院

寿振纲

上海医药设计院

金国森

化学工业部设备设计技术中心站

委员:

张冠亚

兰州化学工业公司设计院

杨慧莹

化学工业部第八设计院

汪子云

化学工业部化工设计公司

卓克涛

化学工业部第一设计院

苏树明

广东省石油化工设计院

前 言

鉴于广大化工设备设计人员的要求,在化学工业部的领导下,由化学工业部设备设计技术中心站组织全国近百所高校、工厂、科研和设计单位,共同编写了一套《化工设备设计全书》,供从事化工设备专业的设计人员使用。

《化工设备设计全书》以结构、强度的设计计算为主,从基础理论、设计方法、结构分析、标准规定、计算实例等方面进行系统的阐述,并对化工原理的设计计算作了简介。在实用的前提下,尽量反映国内及国外引进的先进技术,并努力吸取当前国外新技术动向,总之,本书旨在继续搞好设备结构、强度设计的同时,结合化工过程的要求去研究改进设备的设计,提高设备的生产效率,降低设备的制造成本,与化工工艺专业人员一起实现化工单元操作的最佳化。

本分册——《石墨制化工设备设计》经化学工业部化工设计公司汪子云同志、化学工业部设备设计技术中心站金国森同志校审,化学工业部化工设计公司许志远同志统一全稿。

本分册各章由下列同志参加编写:第一章龚健中,第二章林定浩,第三章许志远、龚健中,第四章王志文,第五章白网荣、龚健中。

由于化工生产发展迅速,我们掌握情况有限,本书的内容还会有不足和错误之处,热忱希望广大读者提出宝贵意见,以便再版时补充改正。

在本书编写和审校的过程中,得到了很多单位和同志的大力协助和指导,在此致以深切的谢意。

《化工设备设计全书》编辑委员会

1984年

目 录

第一章 概述	1
第二章 不透性石墨材料及制造工艺	4
第一节 人造石墨的制取	5
第二节 人造石墨的技术性能	5
一、热性能	6
二、化学稳定性	8
三、物理机械性能	8
第三节 不透性石墨	10
一、浸渍类不透性石墨	11
二、压型石墨管	24
三、浇注石墨	33
四、胶结剂和粘接工艺	34
参考文献	44
第三章 不透性石墨制设备	45
第一节 不透性石墨制设备的设计特点及典型结构节点的选择	45
一、不透性石墨制设备的设计特点	45
二、不透性石墨制设备典型结构节点	45
第二节 不透性石墨制换热设备	48
一、概述	48
二、列管式石墨换热器	49
三、块孔式石墨换热器	62
四、其它型式的石墨换热器	105
五、蒸发器	116
六、石墨换热器的结构选型、使用和维护检修	116
第三节 石墨制反应设备和吸收设备	133
一、概述	133
二、石墨合成炉	133
三、降膜式石墨吸收器	143
四、“三合一”石墨合成炉	154
第四节 塔器及容器	157
一、概述	157
二、填料塔	158
三、泡罩塔	161
第五节 喷射泵	166
一、喷嘴部分	166
二、混合室	167
三、扩散室	167
第六节 管道、管件	168

一、管道	168
二、管件	171
三、旋塞	176
第七节 石墨衬里	177
一、材料	177
二、设备结构	178
三、衬里结构	178
四、结构节点参考图	179
五、预应力胶泥衬里	186
符号说明	192
参考文献	193
第四章 不透性石墨设备设计计算	195
第一节 传热计算	195
一、传热速率方程	195
二、热负荷计算	196
三、平均温度差的计算	196
四、传热计算	203
五、垢层热阻估计	210
六、传热面积计算	211
七、列管式石墨换热器设计计算中的结构问题	212
八、列管式换热器设计的基本步骤	216
九、关于块孔式石墨换热器传热计算中的一些问题	217
十、换热器传热性能的测试	219
第二节 流体阻力计算	221
一、流体阻力计算的一般概念	221
二、直管阻力计算	223
三、局部阻力计算	225
四、列管式换热器的阻力计算	226
五、块孔式石墨换热器的阻力计算	229
第三节 石墨设备零部件的强度计算	231
一、概述	231
二、内压石墨圆筒的强度计算	233
三、外压及真空石墨圆筒的强度计算	236
四、石墨换热管的强度计算	238
五、石墨块孔的孔间壁厚强度计算	239
六、受压石墨圆平板的强度计算	241
七、石墨管板的强度计算	245
八、石墨设备的温差应力计算	248
九、石墨矩形平板的强度计算	255
十、矩形石墨封头的强度计算	259
十一、板槽(室)石墨元件的强度计算	263
符号说明	265
参考文献	266
第五章 不透性石墨设备制造	268

第一节 石墨加工工艺	268
一、材料的选择与拼接	268
二、石墨零部件机加工	271
第二节 换热设备制造	273
一、列管式换热器	273
二、块孔式换热器	277
第三节 吸收设备	280
一、组装	280
二、零部件及成品检验	280
三、安装注意事项	280
第四节 设备衬里施工	281
一、酚醛胶泥衬石墨砖板的施工	281
二、水玻璃胶泥衬石墨砖板的施工	285
三、施工注意事项	287
参考文献	287
附录 原材料分析及物性测定	289
一、原材料分析	289
二、石墨材料物理机械性能测定	296
表 1 不透性石墨设备原材料测试必检项目	302
表 2 不透性石墨及原材料性能测试及分析标准	302

第一章

概 述

石墨分为天然石墨和人造石墨两种。天然石墨有鳞片状和片状两类。天然石墨纯度较低,一般含杂质量高,组织松散发滑,在工业上较少单独使用,多用于冶金电极糊,坩埚铸造模型,电视机显象管等。虽然我国天然石墨的资源较丰富,但由于开采技术和机械能力所限,至今尚未大规模有计划开采。将其作为化工防腐用原料的可能性,尚未进行探索。

人造石墨是由焦炭、沥青混捏压制成型,于电炉中隔绝空气煅烧,在 1800°C 温度下保持 20 天左右,再在 $2400\sim 3000^{\circ}\text{C}$ 高温下石墨化(未经石墨化的制品,不具备石墨性能)。

人造石墨在焙烧过程中,由于有机物质分解成气体逸出,使石墨材料形成多孔性。气孔率一般达 $20\sim 30\%$,个别达 50% ,且多数呈通孔,对气体和液体有很强的渗透性,因而使它在工业上的应用受到了限制。这种透性石墨一般在电力、冶金、原子能等工业中应用较多。为了克服这个缺点,必须采取措施填塞石墨的孔隙,使其成为不透性石墨材料。

不透性石墨主要用来制造化工设备,它包括浸渍石墨、压型石墨、浇注石墨三种。浸渍石墨以浸渍剂不同可分为合成树脂浸渍石墨、水玻璃浸渍石墨、沥青浸渍石墨;压型石墨分为模压型与挤压型两种;浇注石墨分为常压与加压成型石墨等等。

不透性石墨具有下列优点:

(一) 优良的化学稳定性

见第二章表 2-11、表 2-16 和表 2-17。例如:最广泛采用的酚醛型不透性石墨,除了强氧化性酸和强碱外,对大部分酸类都是稳定的。呋喃型不透性石墨则具有优良的耐酸性和耐碱性。

(二) 导热系数高

在非金属材料中它是导热系数高于许多金属的唯一的结构材料,从几种常用结构材料的导热系数可以看出,它仅次于铜和铝,比不锈钢大 5 倍,比碳钢大 2 倍,居于非金属材料的首位,见第二章图 2-4、图 2-6,故大量用于热交换设备。

(三) 线胀系数小

几种常用结构材料的线胀系数见第二章图 2-5、图 2-7。石墨的线胀系数一般在 $(5\sim 15)\times 10^{-6}\times 1/^{\circ}\text{C}$ 范围内,对温度变化的敏感性小,用它制作的设备能在高温下维持原来的形状和机械强度,与陶瓷、搪玻璃及高硅铸铁等耐蚀材料相比,具有高得多的热稳定性,它能够很好地抵抗热冲击。

(四) 压型石墨元件表面不易结垢

石墨与大多数介质之间的“亲和力”极小,所以污垢不易附在表面。

(五) 机械加工性能良好

石墨除不能压延和锻制外,可以进行各种机械加工。

(六) 石墨的重度小

用它制成的设备比相应的金属设备重量轻。

但石墨材料是一种非均质的脆性材料,机械强度较低,尤其是抗拉强度和抗弯强度分别为抗压强度的 $1/2.5$ 和 $1/7$ 左右。因此由石墨制作的设备不宜用于操作压力太高的场合,石墨物理机械性能见表 2-7。

由于不透性石墨有着上述优点,尤其是利用其突出的导热性能,制成的石墨换热器得到了广泛的应用。英国的爱奇逊电极公司 [British Acheson Electrodes Ltd] 早在 1936 年就研制成功了不透性石墨列管式换热器,在 1947 年制成了块孔式石墨换热器;日本碳素股份有限公司 [日本カボン株式会社] 在 1949 年研制成功了压型不透性石墨换热器。从不透性石墨问世以来,国外使用的石墨换热器中,列管式换热器占绝大多数,并最先向标准化、系列化、大型化发展。目前,列管式换热器系列的最大换热面积已达到 1076 m^2 [美国 Carbordum 公司]。六十年代以后,许多国家又趋向于发展更先进、耐压更高的块孔式石墨换热器。如法国的 HP 型圆块孔式换热器,耐压为 $0.8\sim 1.5\text{ MPa}$,美国石墨换热器设备公司的块孔式石墨换热器使用压力已达 2.1 MPa ,使用温度可达 800°C ,联邦德国 SIGRI 电极公司生产的 diabon 和 durabon 换热器,DK72 型块孔式耐压达 1.6 MPa ,列管式 R73 型、S73 型耐压达到 $0.4\sim 0.6\text{ MPa}$,最高达 1.2 MPa 。此外,美国和联邦德国的有关工厂还生产了用石墨作外壳的列管式换热设备。美国石墨换热器设备公司生产了壳径为 730 mm 、耐压 $\leq 0.3\text{ MPa}$ 的列管式换热器;联邦德国生产的 GG66 型列管式换热器的壳程耐压 $\leq 0.5\text{ MPa}$,使用温度可达 $700\sim 1200^\circ\text{C}$ 。

除了换热器外,这些工厂还生产石墨制的离心泵、液下泵、喷射泵、旋涡泵等泵类及各种规格的管道、阀门等。还利用石墨砖、板、条制作设备的衬里。在高温、高压的腐蚀性场合下,采用石墨砖板作预应力衬里,往往能获得十分理想的效果。

为了使不透性石墨制品得到更广泛的应用,有些国家如日本、联邦德国、美国、苏联等正在研制成本低、质量好、适用于化工设备的细颗粒模压制品,同时也加紧对浸渍剂及浸渍工艺的研究,例如美国研制了聚苯浸渍剂。英国制成的换热面积为 39 m^2 用聚四氟乙烯浸渍的耐高压不透性石墨换热器,用来将浓度为 60% 、温度为 150°C 的硫酸,通过换热器加热到 162°C ,浓缩至 66% (加热介质压力为 $1.47\sim 1.61\text{ MPa}$,温度为 $210\sim 250^\circ\text{C}$)。同时,聚酯树脂浸渍剂也已在生产中应用。日本较多采用改性酚醛树脂为浸渍剂,另一些新的浸渍剂如二乙烯基苯 (DVB) 已在工业生产中应用。二乙烯基苯的粘度为酚醛树脂的 $1/2$,价格为其 1.25 倍,比酚醛树脂有更优良的耐腐蚀性能,除强氧化性的浓硝酸, 96% 以上的浓硫酸外,能耐大部分的强腐蚀性介质,如任何浓度的醋酸,在 15% 的硝酸 + 5% 的氢氟酸混合液中可用 2 年。对一些早已广泛应用的浸渍剂,如酚醛、呋喃类,还在不断地改进浸渍工艺,以期达到浸渍的最佳效果。

我国在 50 年代末期开始了不透性石墨设备的应用研究,并制成了列管式、板室式换热器,首先在氯碱工业中应用。60 年代制成了块孔式换热器。随后,这几种类型的设备陆续在工业生产中推广使用。二十多年来,石墨设备在化工、农药、染料、冶金、轻工等部门,用于代替不锈钢或其他贵重金属制设备,解决了许多关键性设备的腐蚀问题,积累了一定的制造和使用的经验。目前列管式、矩形块孔式、圆块孔式、板室式等类型的换热器,和膜式吸收器、盐酸合成炉都有系列化产品。传热面积为 400 m^2 的列管式换热器已使用多年。传热面积 800 m^2 的换热器也已在生产中使用。矩形块孔式换热器的传热面积达 60 m^2 。石墨制的泵、阀门、管道、管件也已在化工生产中得到推广应用。三合一盐酸合成炉在农药生产中应用,

并取得良好的效果。

浸渍剂方面,除了较广泛应用的酚醛、呋喃类树脂外,在70年代我国研制成功了聚四氟乙烯分散液浸渍剂,使石墨制品的耐腐蚀性和耐温性有了一个较大的提高。目前,正在开展改性酚醛树脂的研制工作。

我国生产的压型石墨,近年来,随着合成树脂的发展也得到了相应的发展。目前已制成了聚氯乙烯、聚丙烯压型石墨,用其制作换热器,解决了一些防腐蚀换热设备的难题。如聚丙烯压型石墨制作的换热器,可在110°C温度下耐氢氟酸、碱及有机溶剂的腐蚀,从而解决了一个在不太高的温度下含多种强腐蚀性介质的热交换设备的腐蚀问题。

但是,在我国作为化工用的石墨原料主要来源于冶金电极石墨,组织颗粒大,空隙率高,一般在20~30%,经浸渍处理后,尚还有1/2~2/3的孔隙不能填充,所以制品的使用压力较低,使使用的范围受到一定的限制。同时,浸渍剂的品种单调,常用的仅有酚醛、呋喃类合成树脂。在国外,使用的石墨原料多数为化工专用细颗粒石墨(粒径在0.7mm以下),空隙率在10~12%范围内。浸渍剂、胶结剂的品种较多,除常用的酚醛、呋喃类合成树脂外,近年来还发展了如二乙烯基苯、聚酯树脂、聚四氟乙烯树脂、聚苯等新品种。在制造化工设备时,可根据生产介质、工艺条件的不同而选用不同的浸渍剂和胶结剂,以保证满足使用条件的要求。

石墨设备大多用于防腐蚀场合。不透性石墨作为非金属结构材料,其化学稳定性和物理机械性能与浸渍剂、胶结剂等有关,与石墨材料本身有关。因此,在设计制造设备时必须注意到各种材料的性能特点,扬长避短,使不透性石墨材料得到充分的合理应用。

参 考 文 献

- [1] 兰州化工机械研究所等编写,“不透性石墨”石油、化工实用防腐蚀技术第11册,燃料化学工业出版社,1974年。
- [2] 郑炽主编,“化工过程及设备”,上海科技翻译馆,1964年。
- [3] 化工设备设计手册编写组,“非金属防腐蚀设备”,上海人民出版社,1972年。
- [4] 不透性石墨设备技术标准编写组,“不透性石墨设备技术标准编制说明”,1980年。

第二章

不透性石墨材料及制造工艺

人造石墨是用碳素颗粒(或粉末)和沥青粘结剂,经配料、混捏、压型和高温热处理制成。这种制成的碳材料和石墨材料(碳材料为基材的化工设备应用,本文不作详述)本身还存在20~30%左右的孔隙率,而这种孔隙又具有开孔、闭孔、孔与孔相连接的通孔,以及内部开裂结构性质。这样气体、液体、蒸汽等介质很容易串连渗透,严重影响了将它作为化工石墨设备的使用目的。

为了达到人造石墨这一应用目的,采用各种工艺手段,对它进行不透性处理,以最有效地填塞孔隙,消除通孔程度,使其不会因工作介质的温度、压力和腐蚀等影响而渗漏,并改善其机械性能。人造石墨、不透性石墨及制品的工艺流程见图2-1。

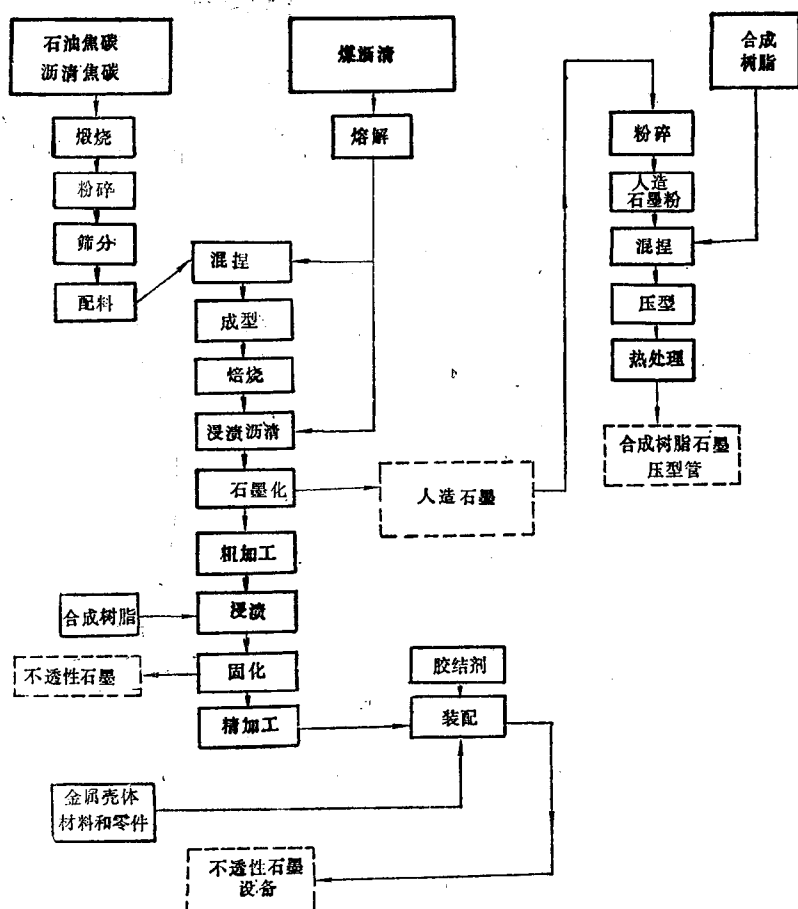


图2-1 人造石墨、不透性石墨及制品的工艺流程

注: 浇注石墨工艺流程见本章第三节“三、浇注石墨”一节。

表 2-1 不透性石墨的种类

类 别	形 式	方 法
浸渍石墨	(1) 酚醛树脂浸渍石墨 (2) 呋喃树脂浸渍石墨 (3) 水玻璃浸渍石墨 (4) 聚四氟乙烯(分散液)浸渍石墨 (5) 高强高密度石墨 { 多次浸渍沥青型 渗碳型	以人造石墨为基材, 用各种介质进行浸渍
压型石墨管	(1) 酚醛树脂压型石墨管 (2) 呋喃树脂压型石墨管 (3) 聚氯乙烯树脂压型石墨管 (4) 聚丙烯压型石墨管	以各种树脂配合人造石墨热压聚合
浇注石墨	(1) 常压成型 (2) 加压成型	

不透性石墨材料, 按不同处理方法和采用不同的密实介质, 分成许多种类, 如表 2-1 所列。

第一节 人造石墨的制取

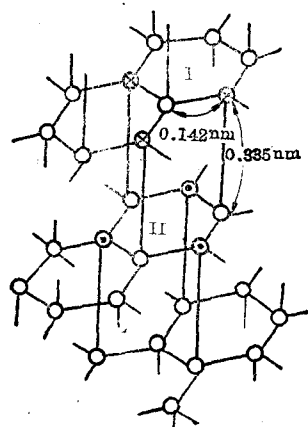
人造石墨的关键工艺过程在于最后热处理工序。系采用石油焦炭、沥青焦炭等碳素材料, 以及沥青粘结剂, 经配料、混捏、成型的坯料, 先加热处理转化(碳化)成碳素固体坯料, 后转化(石墨化)成人造石墨固体坯料。这种转化形式在于热处理及热处理的最高温度, 前者约 1300°C 左右, 后者必须在 2500°C 以上的高温, 方能将碳材料进一步转化成为石墨, 即所谓人造石墨。

在高温下热处理, 由碳转化成完善的人造石墨的机理, 当前仍在不断探索与研究, 但是通过 X 衍射, 测定人造石墨的晶格状态证明, 从无定形碳转化成多晶结构的人造石墨, 其温度范围应在 $3000\sim 3300^{\circ}\text{C}$ 。

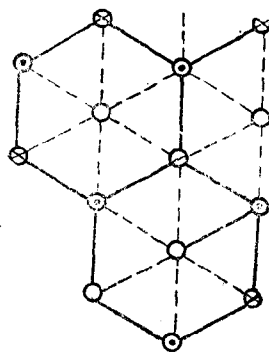
在大规模工业性生产中, 很难达到这个高温。不过碳在高温热处理转化过程中, 至 2000°C 时, 其导热性能与导电性能, 就有很大改变。在这个温度下已能够达到石墨的良好特征, 有良好的导热性与导电性。为此, 在 2500°C 高温下, 热处理后的人造石墨, 其导热性比碳材料高 16 倍, 导电性能高 4 倍, 并且结构比碳材料更具滑润和易加工性。这样, 人造石墨的主要技术性能, 可以近似于天然石墨。

第二节 人造石墨的技术性能

石墨在晶体学上的分类属六方晶系, 是由许多互相叠合的碳原子网状层面所组成。每一层内, 碳原子排列成正六角形, 三个相邻的碳原子以共价键联结, 成为一个二度空间无限伸展的网状平面(称为基面)。叠在一起的相邻基面相依错开, 上层有一个碳原子处在下层



I, II——石墨晶体结构层



石墨晶格投影图

图 2-2 石墨的晶体结构

六角网格的中央,如图 2-2 所示。每隔一层,碳原子的位置相同,成为 ABABAB……的三层空间有序排列,呈密集六方堆积。原子间距离为 0.142 nm,基面间距离为 0.335 nm。

人造石墨在石墨化以前,大都是无定形碳形式。这些无定形碳的初始物质,都是属于稠环芳香烃一类。当稠环芳香烃焦化时,就留下了芳香族六角平面的碳原子网格,即与石墨基面相似的晶体结构,但碳原子间的距离比石墨稍小一些。也即,石墨的碳原子间距离为 0.142 nm,而人造石墨的碳原子间距离为 0.141 nm。

在碳素原材料组分中,含有一小部分灰分。形成人造石墨后,在结构中仍含有 0.5% 左右的灰分,使石墨的碳原子点阵中夹杂有外来原子,如硼、氧、硫、氮、磷等。这些外来原子有些能和碳原子化合成很难分解的化合物,如碳化硼等。另外,也因为与碳素原材料的密度、结构不一,成为乱层结构,造成许多缺陷,如:基面堆积缺陷、螺旋形错位、晶界错位、空洞缺陷、气孔和晶体交织缺陷等等。所以人造石墨材料在技术性质上,尚有一些参数波动或差异,主要是它们不同程度地存着上述某种缺陷或有几种缺陷的原因。

人造石墨的种种晶体缺陷,可以在高温处理下减少,随着热处理温度(2000°C 以上)的提高,一切带有缺陷的碳素原材料,都将逐渐向石墨晶体转化,因而它们之间在性能上的差别就逐渐缩小。

由于构成整个人造石墨坯体的碳素颗粒是杂乱排列的,甚至构成碳素原材料本身的细小雏晶也是杂乱排列的,所以,即使所有的雏晶都已能转化为石墨,但就整块石墨坯体来说,它的晶体完善程度还是不高的,是一种“多晶石墨”,内部还有许多在一般石墨化温度下未能消除的缺陷^[5]。

这就是人造石墨的理化性能同理想石墨的理化性能存在差异的原因。

但人造石墨采用不渗透处理后,作为不透性石墨材料,其理化性能仍是卓越的,是可以作为化工防腐蚀设备的理想材料。

现将石墨的主要技术性能分述如下。

一、热性能

石墨具有很低的线胀系数,其范围在 $(0.5 \sim 4) \times 10^{-6} \times 1/^\circ\text{C}$, 碳素材料的范围'为 $(4 \sim 7)$

$\times 10^{-6} \times 1/^{\circ}\text{C}$, 见表 2-2。但这还同石墨的种类和各向异性程度有关, 即易石墨化的石墨制品(如焦炭基)的线胀系数比难石墨化的石墨制品(如炭黑基)的线胀系数为低。这种易石墨化的石墨制品也表现出石墨化性能良好, 所以随石墨化程度的提高, 其线胀系数也不会再增大; 另外, 石墨制品在各向异性程度的变化上, 一般表现是垂直于挤压方向的线胀系数要比平行于挤压方向的大 10~60%。

石墨的比热容为 $711.8\text{J}/(\text{kg}\cdot^{\circ}\text{C})$ (20°C), 并随温度上升而增长(见图 2-3)^[2]。

石墨有很高的熔点和升华温度, 在通常大气压下, 石墨的熔点约为 4000°C 。它还有温度高机械强度也随之升高的特性。直至 2500°C 时, 一般金属如: 金、银、铜、铁和一些非金属材料都熔化变形, 或成气态, 而石墨的机械强度, 几乎达到室温状态下的一倍。

石墨能经受热冲击, 它在空气中 450°C 工作时, 结构稳定而不被破坏, 在高温下具有还原性, 并且在中性介质中热稳定性很高。

石墨是理想的非金属耐腐蚀导热材料, 常温下导热系数比碳钢大 2 倍, 比铅大 3~3.5 倍, 比不锈钢大 4 倍; 石墨的导热系数随温度升高而下降(见表 2-3), 而碳则相反, 随温升导热系数逐步增大。在室温时具有很高的导热系数, 这种性能对传热设备来讲, 是很理想的, 见图 2-4, 2-5 和表 2-4^{[1][3][8][9][26]}。

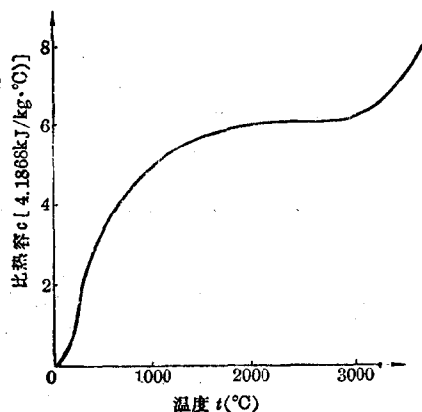


图 2-3 石墨的比热容曲线

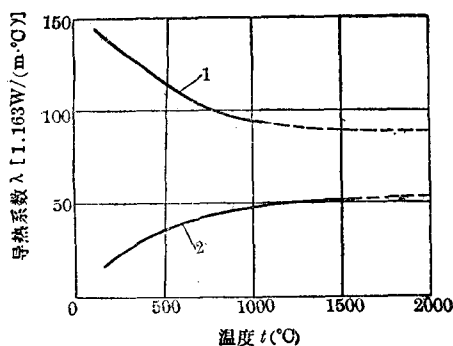


图 2-4 碳和石墨的导热系数

1. 石墨; 2. 碳

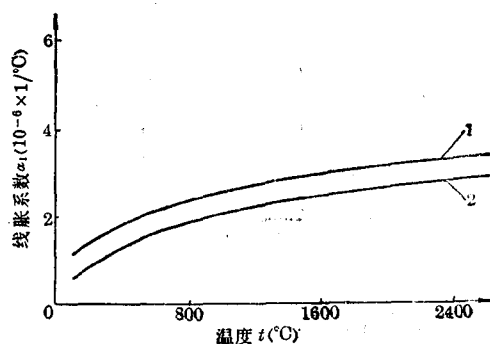


图 2-5 石墨的线胀系数

1. 石油焦基的粗粒材料; 2. 石油焦基的细粒材料

表 2-2 石墨材料的线胀系数

材 质	线 胀 系 数 $\alpha_t (10^{-6} \times 1/^{\circ}\text{C})$			
	20~100°C	20~200°C	20~300°C	20~400°C
人造石墨 //	2.85	3.37	3.46	3.78
人造石墨 ⊥	2.94	3.10	3.21	3.50
碳	2.21	2.45	2.67	3.07

注: // 系指与压制平行的方向; ⊥ 系指与压制垂直的方向。

表 2-3 石墨材料的导热系数 $\lambda[W/(m \cdot ^\circ C)]$

温 度 ($^\circ C$)	石 墨 //	石 墨 ⊥	浸 渍 石 墨 //	浸 渍 石 墨 ⊥
25	77.0	83.0	104.7	96.5
100	70.0	76.0	96.5	88.4
200	62.7	68.0	88.7	79.7
300	58.0	59.0	75.6	68.6
400	47.0	48.0	60.5	57.7

注: // 系指与压制平行的方向; ⊥ 系指与压制垂直的方向。

表 2-4 石墨同其它防腐蚀材料的导热系数比较

序 号	防 腐 蚀 材 料	导热系数 $\lambda[W/(m \cdot ^\circ C)]$
1	聚氯乙烯	0.143~0.155
2	辉绿岩板	0.58~0.989
3	辉绿岩胶结剂	0.58
4	玻璃	0.93
5	耐酸陶砖、陶板	1.05
6	防酸瓷漆	0.989
7	耐酸瓷砖瓷板	1.10~1.45
8	浇注石墨	9.30
9	碳	10.47
10	阿尔札米特胶结剂*	17.45~23.26
11	压型石墨	34.89~23.26
12	ATM 材料*	34.89~23.26
13	钢	46.52~81.41
14	橡胶	37.8
15	黄铜	58.15~116.3
16	铅	30.24~34.89
17	浸渍石墨	104.67~127.93
18	人造石墨	116.3~151.19
19	铝	203.53

注: *为苏联生产的不透性石墨和胶结剂。

二、化学稳定性

石墨同其它材料比较,化学稳定性较好。因此能够广泛地作为防腐蚀的结构材料,以代替黑色或有色金属材料,特别是代替不锈钢,其效果更为显著。

石墨在 $400^\circ C$ 以下的空气中,不受氧化作用,石墨除强氧化性的酸,例如硝酸、发烟硫酸、铬酸、王水、卤素等化学介质以外,在所有化学介质中均很稳定。

人造石墨材料的化学稳定性能见表 2-5。

三、物理机械性能

石墨是一种脆性的,硬度不太高的材料,易于加工和研磨,它的机械强度根据其结构和工艺条件而定,密度高的机械强度也高。一般的制品容积密度为 $1.55 \sim 1.98 g/cm^3$,其抗压强度为 $20 \sim 68 MPa$,它的机械强度还随温升而增大,在 $2000 \sim 2500^\circ C$ 之间,其强度比室温