

碳和石墨材料手册

兰州炭素厂研究所技术情报组译

碳和石墨材料手册

М.И. 罗盖林

〔苏〕 著

Е.Ф. 查雷赫

兰州炭素厂研究所技术情报组译

PDG

М.И.Рогайлин

Е.Ф.Чалых

СПРАВОЧНИК

ПО УГЛЕГРАФИТОВЫМ МАТЕРИАЛАМ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «ХИМИЯ» Ленинградское

отделение • 1974

* * *
碳和石墨材料手册

М.И.罗盖林

〔苏〕 著

Е.Ф.查雷赫

兰州炭素厂研究所技术情报组译

（内部发行）

兰州新华印刷厂印刷 一九七五年

印数：1 — 4000册

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

自力更生为主，争取外援为辅，破除迷信，独立自主地干工业、干农业，干技术革命和文化革命，打倒奴隶思想，埋葬教条主义，认真学习外国的好经验，也一定研究外国的坏经验——引以为戒，这就是我们的路线。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

译 者 的 话

在毛主席“独立自主，自力更生”伟大方针指引下，我国的炭素工业获得了迅速发展。碳素制品在国民经济各个领域的应用日益广泛，而且已成为不可缺少的重要材料。

苏联1974年出版的《碳和石墨材料手册》一书，概略地叙述了碳和石墨材料的性能，介绍了苏联碳和石墨制品的现行国家标准、技术条件及产品质量方面的数据和资料。

遵照毛主席“洋为中用”的伟大教导，我们翻译了这本书，仅供广大工人和技术人员在工作中本着“去粗取精，去伪存真”的精神做为有鉴别、有批判地参考之用，同时通过这本书也可以了解到苏联目前碳素生产的概况。

在本书译文中，我们略去了原文中的《内容提要》和《前言》，《前言》中的计量单位换算系数做为附录列在本书最后，其余各章均按原文译出。

原文中有些明显排印错误，在译校过程中作了更改，请读者阅读时注意。

由于译者水平有限，缺点和错误一定很多，欢迎读者批评指正。

兰州炭素厂研究所情报组

一九七五年四月

目 录

第一章 石墨的性能	(1)
第一节 晶体结构.....	(1)
第二节 碳相图.....	(2)
第三节 碳的气相组成.....	(4)
第四节 蒸发速度.....	(5)
第五节 各向异性.....	(6)
第六节 核技术性能.....	(6)
第七节 热发射特性.....	(6)
第八节 在“石墨——熔融体”中的润湿和可 溶性.....	(7)
第二章 碳和石墨材料的性能	(10)
第一节 密度.....	(10)
第二节 气孔率.....	(13)
第三节 强度.....	(16)
第四节 弹性模量.....	(20)
第五节 泊松比.....	(21)
第六节 蠕变.....	(22)
第七节 摩擦.....	(24)
第八节 硬度.....	(25)
第九节 热容.....	(27)
第十节 热导率.....	(28)

第十一节	热膨胀	(34)
第十二节	电导率	(38)
第十三节	磁化率	(40)
第十四节	发射率	(40)
第十五节	化学性能	(41)
第三章	碳和石墨结构材料	(46)
第一节	抗磨材料	(46)
第二节	金属电蚀加工用石墨	(55)
第三节	高密度石墨	(57)
第四节	多孔碳材料	(59)
第五节	MПГ-6和MПГ-8牌石墨	(61)
第六节	高纯石墨	(63)
第七节	有保护层的特纯高强石墨	(66)
第八节	特纯热解石墨	(66)
第九节	光谱分析用电极和材料	(67)
第十节	玻璃碳	(69)
第十一节	通用结构石墨	(75)
第十二节	渗硅石墨	(79)
第四章	电极制品	(80)
第一节	石墨化电极	(80)
第二节	碳素电极	(89)
第三节	碳块和碳板	(94)
一、	高炉碳块	(94)
二、	内衬碳块	(97)
第四节	碳阳极	(106)
第五节	石墨化阳极	(108)

第六节	碳管	(124)
第七节	石墨棒	(126)
第八节	碳糊和碳膏	(127)
第五章	电碳制品	(131)
第一节	电机用电刷	(131)
第二节	汽车拖拉机电机用电刷	(136)
第三节	电刮刀用电刷	(139)
第四节	照明碳棒	(140)
一、	电影摄影碳棒	(142)
二、	电影放映碳棒	(146)
三、	仪器弧光灯用碳棒	(150)
四、	晒图碳棒	(152)
五、	32—1100型高强碳素电极	(153)
第五节	通讯技术用碳素制品	(155)
一、	送话器碳粉	(155)
二、	送话器用碳膜片	(158)
三、	避雷器用碳片	(159)
第六节	电池用碳棒	(160)
第七节	加热用碳棒	(163)
一、	焊接碳棒	(163)
二、	空气—电弧切割用碳棒	(165)
第八节	小截面电极	(166)
第九节	电真空仪器用石墨阳极和栅极	(167)
第十节	电压与电流自动调节器用碳柱	(170)
第十一节	碳—陶质体积电阻	(175)
第十二节	断续接触点和滑动接触点	(177)

一、汽车拖拉机电气设备用接触点	(178)
二、电力运输工具和无轨电车集电器用碳滑块	(180)
三、电压调节器用接触点	(184)
四、振动式电压调节器用接触点	(185)
五、KLIM牌碳接触点	(187)
第十三节 密封圈	(188)
第六章 石墨材料制的化工设备	(195)
第一节 制做化工设备用的材料	(195)
第二节 热交换设备	(204)
一、块孔式热交换器	(204)
1.立式热交换器	(205)
2.卧式热交换器	(212)
二、壳块式热交换器	(222)
三、列管式热交换器	(226)
四、喷淋式热交换器(冷却器)	(229)
五、沉浸式热交换装置	(230)
第三节 精馏塔、蒸馏塔、吸收塔	(236)
第四节 石墨孔块、石墨管和管的连接件	(243)
一、浸渍石墨孔块	(243)
二、ATM-1塑料石墨管	(243)
三、石墨管的连接件	(244)
第五节 离心式单级泵	(250)
参考文献目录	(252)
附录 1: 计量单位换算系数	(255)
附录 2: 标准及技术条件代号注释	(256)

第一章 石墨的性能

在自然界里，石墨和金刚石都是碳的同素异形体。在门捷列夫元素周期表中，碳属于第四族元素。碳的序数为6，最常见的（98.892%）稳定碳的质量数为12。碳原子核由6个质子和6个中子所组成。天然碳的原子量为 12.01115 ± 0.00005 。这就证明在天然碳中，还含有质量数为13的稳定性同位素（1.108%）。

第一节 晶体结构

根据贝尔纳所提供的理想石墨样品，石墨的结构是由许多平行于基面的层面连续迭合而成，每一层内的碳原子都成六角相互连接。在自然界里，石墨有两种晶体结构形式，即两种结晶体：六方体和菱面体。这两种晶体的层面配置形式各不相同。六方晶体的特点就是迭合的各个层面互相错开，也就是每个六角网格的中央都与其上下相邻层面上一个碳原子相对应。因此，第三层的任何一个六角网格都与第一层的六角网格相对应。

菱面晶体结构也是平面六角网格组成的层面。但其层面在垂直于c轴的方向上的交错重叠形式与六方晶体石墨却不相同：第四层的碳原子与第一层的碳原子处于同一位置。在天然石墨中，菱面体占30%；在人造石墨里，一般没有菱面

体。

基面上碳原子间的距离为1.415埃，层间距离为3.3538埃。在层面上，每个碳原子都与三个相邻的碳原子以共价键相连接，价键角为 120° 。键的结合能为170仟卡/克原子。第四个价电子处于基面层间的空间里。层与层间仅有极弱的相互作用力，它具有所谓色散力（范德华力）的性质。根据不同资料记载，基面上的价键能为1—4.36仟卡/克原子，它随温度的变化很小：由 -196°C 时4仟卡/克原子到 1118°C 时3.6仟卡/克原子。

各种人造石墨和天然石墨的结构都不可能象上述理想结构那样，而是有各自不同的结构缺陷，这些缺陷会影响到石墨的许多性能。缺陷的主要类型有：层面堆积的缺陷（层面呈无秩序的排列，即所谓紊乱堆积状态）；碳晶格键连接的缺陷（把层面分割成有限的微晶，而并非如理想晶格那样无限延伸）；晶界位错和空洞缺陷；混入杂原子的缺陷。

各种不同碳素材料的物理性能之所以不同，就是因晶粒的大小和晶粒的组合的不同，此外还因石墨晶体结构特点的不同所致。

第二节 碳 相 图

绘制碳系相图（图1—1）之所以困难，就是因为碳的熔点和升华温度非常高。至今经实验验证的只有相图的一部分。但石墨稳定范围与低压下气相之间的界限已经精确确定。“石墨—气相”的平衡曲线表明，碳的蒸汽压力能由 $3640 \pm 25^\circ\text{K}$ 时1个大气压迅速增加到 4000°K 时的105个大气

压。随着压力的增大，蒸发温度也就迅速上升。三相点（石墨—液相—气相）是在 125 ± 5 大气压和 $4020 \pm 50^\circ\text{K}$ 的条件下出现。金刚石和石墨的稳定范围之间的界限确定得还不够精确，而且可靠的实验论据也很少。在碳相图中，金刚石和石墨稳定范围之间的两条虚线所标定的区间就是未定范围。这几条线是利用石墨和金刚石的密度、可压缩性、热膨胀系数的实验数值以热力学方法计算出来的。

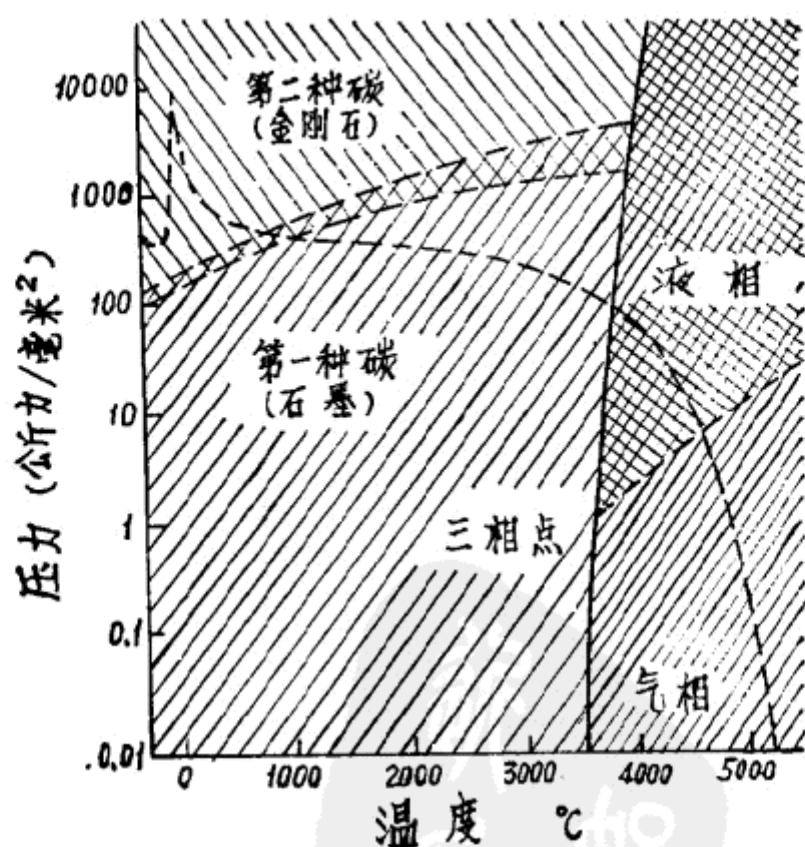


图 1—1 碳相图

第二个三相点表示“金刚石—石墨—液态碳”的平衡。此点确定得不甚准确，是在 $\sim 4100^\circ\text{K}$ 和 125000 — 130000 大气压的条件下出现的。一条横跨在碳相图中部的虚线是标志

实验研究的范围。

第三节 碳的气相组成

已经证明，气态碳既可以是原子形式，也可以是多原子粒子形式，如： C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 以至更复杂的形式。使碳原子脱离复杂程度不同的分子所需的能列于表 1—1。

表 1—1 碳原子与气态分子的分裂能、分子的离解能和碳分子的键能

反 应	ΔH° , 仟卡/克原子	D , 仟卡/克分子	$-E$, 仟卡/克原子
$C_2 = 2C$	143.17	143.17	71.59
$C_3 = C_2 + C$	177.59	320.76	106.92
$C_4 = C_3 + C$	128.11	448.87	112.22
$C_5 = C_4 + C$	166.60	615.47	123.09
$C_6 = C_5 + C$	130.00	745.47	124.25
$C_7 = C_6 + C$	193.60	939.07	134.15
$C_8 = C_7 + C$	132.10	1071.17	133.90
$C_9 = C_8 + C$	187.90	1259.07	139.90
$C_{10} = C_9 + C$	134.30	1393.37	139.34

随着温度条件的改变，碳的气相组成也要变化。当温度低于 $2000^\circ K$ 时，单原子碳占优势。当温度升高时，单原子碳含量便急剧减少，当温度约为 $2500^\circ K$ 时，石墨的饱和蒸汽则主要由碳分子组成。表 1—2 所列的是石墨蒸汽平衡压力的数据，从表中数据可知，此蒸汽压力决定于 C_3 （三原子分子），而 C_3 这种碳分子的相对含量是随温度的升高而急剧增加的。

表 1—2 碳蒸汽的平衡压力

温 度 T (°K)	C	C ₁	C ₂	C ₃
1700	$9.13 \cdot 10^{-14}$	$1.29 \cdot 10^{-14}$	$1.62 \cdot 10^{-16}$	$7.83 \cdot 10^{-14}$
1800	$1.99 \cdot 10^{-12}$	$2.30 \cdot 10^{-13}$	$4.17 \cdot 10^{-15}$	$1.71 \cdot 10^{-12}$
1900	$3.08 \cdot 10^{-11}$	$2.75 \cdot 10^{-12}$	$7.54 \cdot 10^{-14}$	$2.72 \cdot 10^{-11}$
2000	$3.65 \cdot 10^{-10}$	$2.08 \cdot 10^{-11}$	$1.03 \cdot 10^{-12}$	$3.27 \cdot 10^{-10}$
2200	$2.55 \cdot 10^{-8}$	$1.36 \cdot 10^{-9}$	$0.21 \cdot 10^{-11}$	$2.33 \cdot 10^{-8}$
2400	$8.52 \cdot 10^{-7}$	$3.71 \cdot 10^{-8}$	$3.77 \cdot 10^{-9}$	$8.10 \cdot 10^{-7}$
2600	$1.67 \cdot 10^{-5}$	$5.59 \cdot 10^{-7}$	$8.82 \cdot 10^{-8}$	$1.60 \cdot 10^{-5}$
2800	$2.13 \cdot 10^{-4}$	$5.95 \cdot 10^{-6}$	$1.30 \cdot 10^{-6}$	$2.07 \cdot 10^{-4}$
3000	$1.89 \cdot 10^{-3}$	$4.61 \cdot 10^{-5}$	$1.30 \cdot 10^{-5}$	$1.84 \cdot 10^{-3}$

第四节 蒸 发 速 度

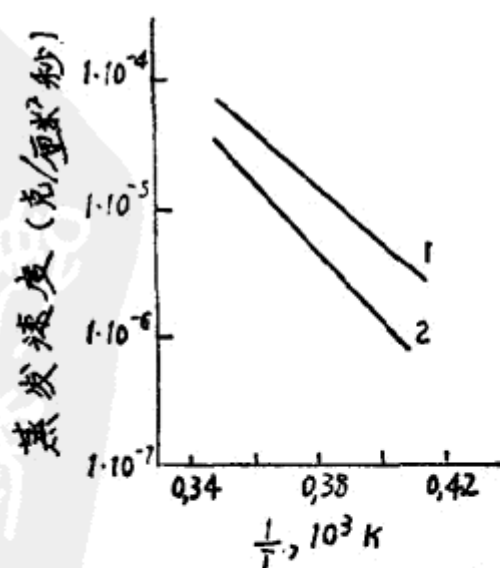
石墨在真空 (10^{-3} — 10^{-4} 毫米汞柱) 中的蒸发速度与温度的关系可用下面公式表示:

$$\lg W = 9.072 - \frac{38650}{T}$$

图 1—2 是几种工业牌号石墨的蒸发速度。

图 1—2 石墨在真空 (10^{-3} — 10^{-4} 毫米汞柱) 中的蒸发速度与温度的关系:

曲线 1 —— ГЭ 石墨,
曲线 2 —— ГМЗ 和
ПНГ 石墨。



第五节 各 向 异 性

在天然石墨的单晶体中，有两个基本方向，这两个方向上的各种性能截然不同：一个方向是沿着石墨层面，另一个方向垂直于层面。在沿层面的方向（即a轴）上，电导率和热导率要比垂直于层面方向（即c轴）上的高得多。

石墨晶体内的碳原子在其平衡的位置附近进行振动。根据弹性系数，两个互相垂直的方向上的振动频率各不相同。原子振动的极限频率沿层面方向（a轴）要比c轴方向大得多。因此，石墨层面晶体所具有的不只是一个德拜特性温度，而是有两个与两个极限频率相对应的温度。

第六节 核 技 术 性 能

原子动力工程中用的石墨，其核技术性能应能保证原子反应堆的有效工作。与纯净石墨有关的最重要的数据如下：

宏观俘获截面·····	0.000.299厘米 ⁻¹
宏观散射截面·····	0.385厘米 ⁻¹
减速性能·····	0.0608厘米 ⁻¹

第七节 热 发 射 特 性

发射电流密度与温度的关系用公式表示为：

$$\lg i = \lg A + 2 \lg T - \frac{5040}{T} \varphi$$

式中i——发射电流密度（A/厘米²）；A——里查逊常数

$[A/(厘米^2 \cdot ^\circ K)]$; φ ——电子逸出功(电子伏)。

电子逸出功 $\varphi = 4.7$ 电子伏

里查逊常数 $A = 60 A/(厘米^2 \cdot ^\circ K)$

在不同温度下, 发射电流密度值的数量级列举如下(必须注意, 由于表面状况的不同, 也就是即使有极薄的一层氧化物及其他杂质, 热发射的特性也会有很大变化):

温度 $T (^\circ K)$ 1000 1500 2000

发射电流密度 $i (A/厘米^2)$ 10^{-8} 5 $2 \cdot 10^3$

第八节 在“石墨—熔融体” 中的润湿和可溶性

为了鉴别石墨与液体金属以及合金之间的相互作用, 下面列出润湿接触角 θ 、粘着能 W_a 和表面能 $\sigma_{\text{ж}}$ 的数据(表1—3和1—4)。从这些数据中可以看出, 当熔融物中加入生成碳化物的添加物之后, 石墨和熔融物之间的相互作用就会加强。此外, 碳的极限溶解度可做为碳与液体金属相互作用强弱程度的指标(表1—5)。

表 1—3 石墨与液体金属间的相互作用

液体金属	温度 ($^\circ C$)	润湿接触角 θ ($^\circ$)	表面能 σ (尔格/厘米 2)	粘着能 W_a (尔格/厘米 2)	介质
Cu	1100	140	1340	315	真空
Cu + 10.2%Ti	1150	0	1330	2660	"
Cu + 0.6%Cr	1150	84	1330	1380	"
Cu + 6.1%Cr	1150	40	1330	2330	"
Cu + 12.0%Cr	1150	23	1330	2535	"
Cu + 24%Mn	1200	70	1325	1780	"

液 体 金 属	温 度 (°C)	润湿接触角 θ (°)	表面能 σ^* (尔格/厘米 ²)	粘着能 W_a (尔格/厘米 ²)	介质
Cu+5.0%Co	1300	138	1315	340	"
Cu+5.0%Ni	1300	140	1315	310	"
Cu+10%Ni	1500	139	1295	345	氢
Cu+20%Ni	1500	134	1295	400	"
Sn	1000	149	450	65	真空
Sn+0.9%Ti	1150	76	1330	560	"
Sn+7.1%Ti	1150	5	1320	990	"
Pb	800	138	420	75	"
Ag	980	136	925	255	"
Ag+0.1%Ti	1000	85	910	990	"
Ag+1.0%Ti	1000	7	910	1810	"
Bi	800	136	355	95	氢
Sb	900	140	360	85	"
In	800	141	495	105	真空
Ga	1000	137	640	170	"
Ge	1000	139	660	100	"

表 1—4 石墨与液体过渡金属间的相互作用

液 体 金 属	温 度 (°C)	润湿接 触角 θ (°)	介 质	液 体 金 属	温 度 (°C)	润湿接 触角 θ (°)	介 质
Fe	1425	60	真空	Ti	1725	0	真空
	1539	60	"	Ni	1455	50	"
	1350	37	氢		1500	90	"
Fe+4.3%C	1539	90	真空		1500	68	氢
Fe+5.0%C	1539	130	"	Ni+2.3%C	1455	145	真空
铸铁(3.5%C.	1140	108	氢	Co	1425	82	"
1.14%Si,0.57%					1495	35	"
Mn,0.03%S.				Co+2.7%C	1495	130	"
0.03%P)				Zr	1900	0	"
铸铁(3.3%C,2%	1140	104	"	Nb	2700	60	"
Si,0.75%P,1%							
Mn0.053%S)							