



普通高等教育“十三五”规划教材

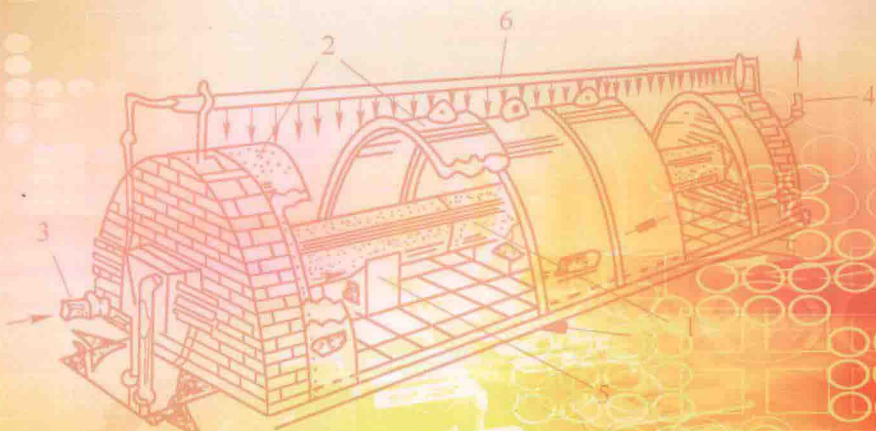
PUTONG GAODENG JIAOYU “13·5” GUIHUA JIAOCAI

# 炭素工艺学

(第2版)

何选明 主编

王世杰 副主编



冶金工业出版社

[www.cnmp.com.cn](http://www.cnmp.com.cn)



普通高等教育“十三五”规划教材

# 炭素工艺学

(第2版)

何选明 主编

王世杰 副主编



北京

冶金工业出版社

2018

## 内 容 提 要

本书以制备黏结成型炭和石墨制品的生产工艺为主线,系统阐述了炭素材料生产主要原料的种类、性质和质量要求;各生产工序的工艺原理、设备构造、技术操作和影响因素;黏结成型炭和石墨制品的主要产品、质量要求和基本用途。对迅速发展中的新型炭素材料也作了深入介绍。

本书为高等学校化学工程与技术专业的主干课程教材,也可供相关专业的工程技术人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

炭素工艺学/何选明主编.—2版.—北京:冶金工业出版社, 2018.1

普通高等教育“十三五”规划教材

ISBN 978-7-5024-7517-8

I. ①炭… II. ①何… III. ①炭素材料—生产工艺—高等学校—教材 IV. ①TM242.05

中国版本图书馆CIP数据核字(2017)第134959号

出版人 谭学余

地 址 北京市东城区嵩祝院北巷39号 邮编 100009 电话 (010)64027926

网 址 www.cnmp.com.cn 电子信箱 yjcbbs@cnmp.com.cn

责任编辑 宋 良 美术编辑 吕欣童 版式设计 孙跃红

责任校对 石 静 责任印制 牛晓波

ISBN 978-7-5024-7517-8

冶金工业出版社出版发行;各地新华书店经销;三河市双峰印刷装订有限公司印刷

1996年10月第1版,2018年1月第2版,2018年1月第1次印刷

787mm×1092mm 1/16;18.75印张;453千字;286页

45.00元

冶金工业出版社 投稿电话 (010)64027932 投稿信箱 tougao@cnmp.com.cn

冶金工业出版社营销中心 电话 (010)64044283 传真 (010)64027893

冶金书店 地址 北京市东四西大街46号(100010) 电话 (010)65289081(兼传真)

冶金工业出版社天猫旗舰店 yjgycbs.tmall.com

(本书如有印装质量问题,本社营销中心负责退换)

## 第2版前言

本书延续了第1版的编写宗旨，内容以制备黏结成型炭和石墨制品的生产工艺为主线，系统阐述了炭素材料生产主要原料的种类、性质和质量要求；各生产工序的工艺原理、设备构造、技术操作和影响因素；黏结成型炭和石墨制品的主要产品、质量要求和基本用途。对迅速发展中的新型炭素材料也作了深入介绍。

为了适应社会经济的发展，科学技术的进步，本书与第1版相比，修订的内容主要有：

(1) 增加时新内容，如：与碳纳米管、石墨烯等新型碳同素异形体相关的碳晶体结构；炭素泥浆、高炉用微孔炭砖和超微孔炭砖、复合（增强）不透性石墨等新产品；强力混捏冷却系统等新工艺与装备；碳纳米管、石墨烯、石墨炔、碳量子点等新型炭素材料；各章复习思考题新增题目及新增参考文献等。

(2) 删除淘汰内容，如：炉室法沥青焦生产设备及工艺过程，用于填缝及黏结的炭糊等。

(3) 更新过时内容，将全书涉及的全部国家标准与规范、部颁标准与规范的有效版本更新至2017年8月1日。

本书由武汉科技大学何选明担任主编，武汉科技大学王世杰担任副主编。各章的编写分工为：何选明编写绪论、第1、7、8章；武汉科技大学方红明编写第2、3章；王世杰编写第4、5、6章；杜伦大学（Durham University）何清编写第9章。由王世杰负责全书的统稿，由何选明负责全书内容的审定。

本书在撰写过程中，参考和引用了国内外有关文献资料，由于篇幅所限，难以一一列举，在此向有关作者表示真挚的感谢！

本书的编写出版得到了武汉科技大学、武汉科技大学化学与化工学院、武汉科技大学煤转化与新型炭材料湖北省重点实验室、冶金工业出版社等单位的大力支持和热情帮助，在此一并表示衷心的感谢！

安徽工业大学（原华东冶金学院）、武汉科技大学（原武汉冶金科技大学）和冶金工业出版社对本书第1版的编著与出版发行给予了大力支持与帮助。

在此对本书第1版的贡献者，致以崇高的敬意与衷心的感谢！

由于作者水平所限，书中疏漏和不妥之处，诚请读者批评指正。

编者

2017年8月1日

于武汉科技大学

# 第1版前言

本书阐述了炭和石墨制品的基本性能、主要产品和质量要求，对迅速发展中的新型炭素材料作了介绍。其主要内容为以炭和石墨制品为主线的工艺过程，深入论述了各工序的工艺原理、设备构造、技术操作、影响因素等问题。本书还收集并介绍了近年来在炭素工艺方面的新技术、新工艺和新设备。

本书由华东冶金学院钱湛芬任主编，武汉冶金科技大学何选明编写第2、8、9章；武汉冶金科技大学王丽芳编写第3章；华东冶金学院杨俊和编写第4、7章；绪论及其余各章由钱湛芬编写。

本书初稿经上海炭素厂杨国华、鞍山热能院李志龙、鞍山钢铁学院徐君及华东冶金学院冯映桐等同志组成的审稿小组进行审查和讨论。根据审稿的意见和建议，编者对初稿作了修改。最后由主编对全书作了最终修改和整理。

编者

1996年4月

# 目 录

绪论	1
复习思考题	4
1 炭素材料	5
1.1 炭素材料的基本性质	5
1.1.1 碳的晶体结构	5
1.1.2 炭素材料的结构性质	11
1.1.3 炭素材料的力学性质	13
1.1.4 炭素材料的热学性质	17
1.1.5 炭素材料的电学和磁学性质	20
1.1.6 炭素材料的化学性质	21
1.1.7 炭素材料的核物理性质	22
1.1.8 炭素材料的生物相容性	24
1.2 炭制品	25
1.2.1 炭电极	26
1.2.2 炭阳极	26
1.2.3 炭块和炭砖	26
1.2.4 炭棒	29
1.3 炭糊类产品	29
1.3.1 电极糊	29
1.3.2 阴极糊	30
1.3.3 炭素泥浆	31
1.4 人造石墨电极	32
1.4.1 石墨电极在炼钢中的消耗	32
1.4.2 电极质量对电极消耗的影响	32
1.4.3 普通石墨电极的质量要求	33
1.4.4 高功率和超高功率电极	34
1.4.5 抗氧化涂层石墨电极	35
1.5 其他石墨制品	36
1.5.1 石墨阳极	36
1.5.2 不透性石墨	37
1.5.3 高纯石墨和高强石墨	38

1.5.4 高密度各向同性石墨 .....	38
复习思考题 .....	39
<b>2 炭素生产用原材料 .....</b>	<b>40</b>
2.1 固体原料 .....	40
2.1.1 石油焦 .....	41
2.1.2 沥青焦 .....	44
2.1.3 针状焦 .....	46
2.1.4 冶金焦 .....	48
2.1.5 无烟煤 .....	49
2.1.6 其他固体原料 .....	50
2.2 黏结剂和浸渍剂 .....	52
2.2.1 煤沥青 .....	52
2.2.2 树脂 .....	55
2.3 辅助材料 .....	56
复习思考题 .....	56
<b>3 原料的煅烧 .....</b>	<b>58</b>
3.1 煅烧原理 .....	58
3.1.1 煅烧的目的 .....	58
3.1.2 煅烧前后焦炭结构及物理化学性能的变化 .....	58
3.1.3 煅烧温度与煅烧质量指标 .....	63
3.2 煅烧工艺和设备 .....	63
3.2.1 罐式煅烧炉 .....	64
3.2.2 回转窑 .....	70
3.2.3 电煅烧炉 .....	76
3.3 煅烧地位的变化与二步煅烧 .....	78
3.3.1 煅烧地位的变化 .....	78
3.3.2 回转床与二步煅烧 .....	79
复习思考题 .....	80
<b>4 原料的粉碎、筛分、配料及混捏 .....</b>	<b>82</b>
4.1 原料的粉碎 .....	82
4.1.1 粉碎的概述 .....	82
4.1.2 粉碎方法与设备 .....	84
4.2 原料的筛分 .....	88
4.2.1 粒度组成及粒度分析 .....	88
4.2.2 筛分效率与筛分纯度 .....	90
4.2.3 筛分设备 .....	91

4.2.4 影响筛分作业的因素 .....	91
4.3 配料 .....	93
4.3.1 适用原料的选择 .....	93
4.3.2 粉体混合与粒度组成的确定 .....	94
4.3.3 黏结剂用量的确定 .....	97
4.3.4 生产返回料的利用 .....	99
4.3.5 实用配方的计算 .....	100
4.3.6 配料设备 .....	104
4.4 混捏 .....	104
4.4.1 混捏的目的与方法分类 .....	104
4.4.2 固体颗粒与黏结剂的相互作用 .....	105
4.4.3 混捏设备与工艺 .....	106
4.4.4 粉末混合设备与工艺 .....	112
4.4.5 影响混捏质量的因素 .....	114
复习思考题 .....	115
5 成型 .....	117
5.1 成型过程的基本概念 .....	117
5.1.1 成型过程的剪切力 .....	117
5.1.2 压粉及糊料的塑性 .....	117
5.1.3 压粉与糊料的流动性 .....	117
5.1.4 成型过程中颗粒的自然取向性 .....	118
5.2 模压成型 .....	118
5.2.1 模压成型概述 .....	118
5.2.2 模压成型的基本原理 .....	118
5.2.3 模压成型设备 .....	122
5.2.4 模压成型工艺操作 .....	122
5.3 挤压成型 .....	122
5.3.1 挤压成型过程 .....	123
5.3.2 挤压成型的基本原理 .....	123
5.3.3 挤压成型设备 .....	126
5.3.4 挤压成型操作 .....	127
5.3.5 挤压时影响压力大小的因素 .....	128
5.3.6 影响挤压制品质量的因素 .....	129
5.4 振动成型 .....	131
5.4.1 振动成型的原理 .....	132
5.4.2 振动成型工艺的特点 .....	132
5.4.3 振动成型的设备 .....	133

5.4.4 振动成型的操作 .....	133
5.5 等静压成型 .....	134
5.5.1 冷等静压成型的基本原理及主要特点 .....	134
5.5.2 冷等静压成型的设备 .....	134
5.5.3 冷等静压成型的操作 .....	135
5.5.4 冷等静压成型的规律 .....	135
复习思考题 .....	136
<b>6 炭制品的焙烧 .....</b>	<b>137</b>
6.1 焙烧原理 .....	137
6.1.1 焙烧过程 .....	137
6.1.2 焙烧时黏结剂的迁移 .....	138
6.1.3 黏结焦的生成 .....	138
6.1.4 生制品在焙烧阶段的变化 .....	139
6.2 焙烧的工艺制度 .....	140
6.2.1 升温曲线 .....	140
6.2.2 焙烧最高温度及保温时间 .....	141
6.2.3 焙烧后出炉温度 .....	142
6.2.4 焙烧炉的操作因素 .....	142
6.3 焙烧设备及其操作 .....	142
6.3.1 倒焰窑 .....	142
6.3.2 隧道窑 .....	144
6.3.3 环式焙烧炉 .....	147
6.3.4 车式焙烧炉 .....	154
6.3.5 匣钵焙烧 .....	156
6.4 影响焙烧制品质量的因素 .....	157
6.4.1 焙烧体系中气氛的影响 .....	157
6.4.2 压力的影响 .....	158
6.4.3 加热制度的影响 .....	158
6.4.4 填充料的影响 .....	159
6.5 二次焙烧 .....	160
6.5.1 二次焙烧的目的 .....	160
6.5.2 二次焙烧的特点 .....	161
6.5.3 二次焙烧装置 .....	161
6.6 加压焙烧工艺 .....	164
6.6.1 气体加压焙烧 .....	165
6.6.2 气体压力与机械压力同时加压的焙烧 .....	166
复习思考题 .....	167

7 浸渍 .....	168
7.1 浸渍的基本概念 .....	168
7.1.1 浸渍的意义 .....	168
7.1.2 浸渍对象及浸渍剂种类 .....	168
7.1.3 评定浸渍效果的方法 .....	169
7.1.4 浸渍前后制品气孔的变化 .....	169
7.2 浸渍的工艺与设备 .....	170
7.2.1 浸渍工艺 .....	170
7.2.2 浸渍设备 .....	175
7.3 浸渍过程的烟气治理 .....	176
7.4 影响浸渍效果的因素 .....	177
7.4.1 浸渍剂的性能 .....	178
7.4.2 制品的结构及状态 .....	178
7.4.3 浸渍的工艺条件 .....	179
复习思考题 .....	180
8 石墨化 .....	181
8.1 石墨化原理 .....	181
8.1.1 石墨化目的 .....	181
8.1.2 石墨化度 .....	181
8.1.3 石墨化机理 .....	182
8.1.4 石墨化的热力学和动力学分析 .....	184
8.1.5 石墨化过程 .....	191
8.1.6 材料结构变化与石墨化条件的关系 .....	192
8.2 石墨化炉与供电装置 .....	194
8.2.1 石墨化炉 .....	194
8.2.2 石墨化炉的供电装置 .....	198
8.2.3 石墨化炉与供电装置的匹配 .....	200
8.3 石墨化生产工艺 .....	204
8.3.1 石墨化炉的生产操作 .....	204
8.3.2 电阻料与保温料 .....	208
8.3.3 石墨化炉供电制度 .....	210
8.3.4 石墨化炉的温度特性 .....	213
8.4 高纯石墨化 .....	215
8.4.1 纯化石墨化原理 .....	215
8.4.2 通气纯化工艺与通气石墨化炉 .....	216
8.5 强化石墨化与内串石墨化 .....	218
8.5.1 强化石墨化 .....	218

8.5.2 内热串接石墨化 .....	219
8.5.3 连续石墨化 .....	220
复习思考题 .....	221
<b>9 新型炭素材料 .....</b>	<b>223</b>
9.1 碳纤维及其复合材料 .....	223
9.1.1 碳纤维的制备 .....	223
9.1.2 碳纤维的特性 .....	226
9.1.3 碳纤维及其复合材料的用途 .....	227
9.2 热解炭和热解石墨 .....	228
9.2.1 概述 .....	228
9.2.2 原料气和基体 .....	229
9.2.3 制备方法 .....	229
9.2.4 热解炭和热解石墨的性能 .....	230
9.2.5 热解炭和热解石墨的用途 .....	230
9.3 石墨层间化合物 .....	230
9.3.1 石墨层间化合物的分类 .....	230
9.3.2 石墨层间化合物的合成 .....	231
9.3.3 石墨层间化合物的性能与用途 .....	231
9.3.4 柔性石墨 .....	231
9.4 玻璃炭 .....	232
9.4.1 玻璃炭的结构 .....	233
9.4.2 玻璃炭的性质 .....	233
9.4.3 玻璃炭的制备 .....	233
9.4.4 玻璃炭的用途 .....	234
9.5 泡沫炭 .....	234
9.5.1 泡沫炭的制备 .....	234
9.5.2 泡沫炭的结构 .....	235
9.5.3 泡沫炭的性质 .....	236
9.5.2 泡沫炭的应用 .....	237
9.6 金刚石薄膜 .....	238
9.6.1 概述 .....	238
9.6.2 金刚石薄膜的制备 .....	239
9.6.3 金刚石薄膜的性能 .....	240
9.6.4 金刚石薄膜的应用 .....	241
9.7 富勒烯 .....	241
9.7.1 概述 .....	241
9.7.2 $C_{60}$ 的制备与提纯 .....	242
9.7.3 $C_{60}$ 的性质 .....	242

9.7.4 $C_{60}$ 的应用 .....	244
9.8 碳纳米管 .....	246
9.8.1 碳纳米管的分类 .....	246
9.8.2 碳纳米管制备 .....	247
9.8.3 碳纳米管性质 .....	248
9.8.4 纳米管的应用 .....	251
9.9 石墨烯 .....	254
9.9.1 石墨烯材料的术语、定义与分类 .....	254
9.9.2 石墨烯制备 .....	255
9.9.3 石墨烯性质 .....	261
9.9.4 石墨烯应用 .....	266
9.10 石墨炔 .....	274
9.10.1 石墨炔制备 .....	274
9.10.2 石墨炔性质 .....	275
9.10.3 石墨炔应用领域 .....	275
9.11 碳量子点 .....	276
9.11.1 碳量子点制备 .....	276
9.11.2 碳量子点性质 .....	278
9.11.3 碳量子点应用 .....	279
复习思考题 .....	280
参考文献 .....	282

## 绪 论

炭素材料是一种古老的材料，亦是一种新型材料。早在史前，人类的活动就与炭物质发生了联系。但从原始、粗糙的炭素材料发展到近代、高质量的工业炭素材料，在世界上只有 100 多年的历史，在我国则仅有 50 多年的历史。

公元前 8000 年，人类已经把炭物质作为燃料。公元前 3000 年开始，有色金属冶炼就用到了炭。公元 2 世纪，中国汉代已经开始用煤烟制墨。公元 15 世纪，就出现了以木炭为还原剂及燃料的高炉雏形。早在 16 世纪（明代），我国冶炼工业已用天然石墨和黏土制成耐火坩埚，这或许是人类最早的炭素制品。16 世纪中叶，用细长的石墨条制成铅笔，而用石墨和黏土制成铅笔芯则始于 1804 年。1810 年，英国的戴维用木炭粉和煤焦油混合、成型，经焙烧制成炭棒，作为伏特电池的正极。1842 年，德国的本生用炭电极代替了电池中昂贵的铂电极。1855 年，德国康拉脱公司是第一个生产电池用炭电极的工厂。

19 世纪 70 年代以后，随着蒸汽机的发明，提供了充足的电能，开辟了炭材料在电化学、电热等工业中的应用。这包括了电机用电刷、炭粒、电话用炭质振动膜以及电解制铝、铁合金生产所用的炭电极、阳极糊、电极糊等。但这些电极都是无定形碳，它们在电容量、抗腐蚀性以及抗热震性等方面仍不够理想。

1896 年，美国的艾奇逊发明了人造石墨电极。1899 年，艾奇逊石墨公司成立（其后与美国国家炭素公司合并，现为联合碳化物公司的炭素制品分厂），从事人造石墨电极的生产。人造石墨的出现为炭素工业的发展揭开了新的一页。早期所用炭电极的大部分为人造石墨电极所取代。炭电极则主要用于不需要大电容量及要求价廉的地方。

除了与电有关的工业应用外，炭制品由于其耐腐蚀、耐高温、自润滑、导热等特性，在其他工业也得到了广泛应用：

第一种是作为结构用炭制品，如最早用做高炉内衬的炭块。由于其热稳定性，以及对熔融铁和渣的抗蚀性好，因此在还原性气氛中，炭块是性能优于耐火材料的耐热材料。1890 年，德国就开始使用炭块，但直到第二次世界大战后，炭块才在世界上得到广泛应用。

第二种是化学工业用炭制品。化学工业需要大量耐腐蚀及导热性好的材料。1910 年，美国的贝克兰发明了酚醛树脂，并用它来浸渍炭制品，制成了不透性炭制品，从此开辟了炭制品在化学工业中的应用。

第三种用途是密封材料。由于炭材料具有自润滑、耐腐蚀及滑动时不与金属发生烧结现象等特性，扩展了机械用炭材料的应用领域。

1942 年，留美的意大利核物理学家弗米建立了最早的核反应堆 CP-1。在此核反应堆

中,采用高纯、高密石墨作为中子减速材料。其后,英国卡尔德-霍尔反应堆应用了数千吨石墨,为炭素材料的应用开辟了新领域。核反应堆石墨要满足非常苛刻的工作条件,为此,促进了对炭素制品制造工艺和其物理、化学性质的研究。炭素材料作为材料科学的一个分支,对其进行系统的研究始于20世纪40年代,到50年代达到高潮。

20世纪40~50年代,炭素材料发展的重要成果,除核反应堆用石墨外,高纯高密石墨还用做精炼半导体单晶炉的发热体和坩埚、舟、皿等。50~60年代的重要成果为热解炭和热解石墨的研制成功,使之用于宇航、医学、生物等各个领域。20世纪60~70年代的主要成就,是制成碳纤维及其复合材料。这方面的研究仍在不断持续,并有更为广阔的应用前景。与此同时,研制成功的还有玻璃炭、柔性石墨等。从70年代以来,石墨层间化合物的研究引起各国炭化学学者的重视。80年代后期以来,又掀起C<sub>60</sub>化合物、金刚石薄膜、碳纳米管、石墨烯、石墨炔和碳量子点等新型炭素材料的研究热潮。

碳在自然界中的丰度为0.08%,占地壳中各元素含量的第13位。碳的资源以两种形式存在:

一种是循环型的资源,大气里的CO<sub>2</sub>通过植物,海洋里的CO<sub>2</sub>通过浮游生物,迁移到生物圈,而相近数量的碳则由生物的呼吸和遗骸的分解而回到大气和海洋里。大气和海水还通过海面进行着CO<sub>2</sub>的交换。这种循环速度是相当高的。

另一种是数量极大的堆积物,这种碳资源数量很多,但均为化合物。天然产的近于纯碳(如金刚石和石墨)的数量非常少。无烟煤也是最接近纯碳的天然物质。此外,碳含量高的原始物还有各种煤和石油,是人类所用含碳物质的主要来源。

材料一直是人类社会进化的重要里程碑,有史以来,人类社会的发展和进步,总是与新材料的出现和使用分不开的。如石器时代、青铜时代、铁器时代,都是以材料作为时代的主要标志。材料又是技术进步的先导和基础。例如,若没有半导体材料的工业化生产,就不可能有目前的计算机技术;没有现代的高温、高强度结构材料,也就没有今天的宇航工业。材料和元件的突破会导致新技术产业的诞生,对国民经济甚至对人类生活产生重大影响。我国为今后高新技术发展确定了七个重点:即生物、航天、信息、激光、自动化、能源和新材料,而新材料又是其他新兴技术的物质基础。

炭素材料属于无机非金属材料,它具有很多独特的物理、化学性质,还具有将其他固体材料(如金属、陶瓷、有机高分子材料)的性质巧妙地结合起来的特点。图0-1为炭素材料与金属、陶瓷、有机高分子材料性质的比较。

由图0-1可见,炭素材料在导电性、导热性方面与金属材料有相似之处;在耐热性、耐腐蚀性方面与陶瓷材料有共同性;而在质量轻、具有还原性和分子结构多样性方面又与有机高分子材料有相同之处。由此说明,炭素材料兼有金属、陶瓷和有机高分子三种主要固体材料的特性。而它又有别于其他材料无法取代的性质,如比弹性率、比强度高,减震率大,生物相容性好,具有自润滑性及中子减速能力等特点。此外,由于呈多晶体碳的生成过程和微晶的成长程度以及它们的集合状态的多样性,使炭素材料的性质易于改变,以适应各种不同的用途。近50年来,炭素材料工业得到了迅猛发展,原有产品的质量和性能有了很大提高,又涌现出大量新品种,使它的应用范围日益扩大。当前,炭素材料已广泛

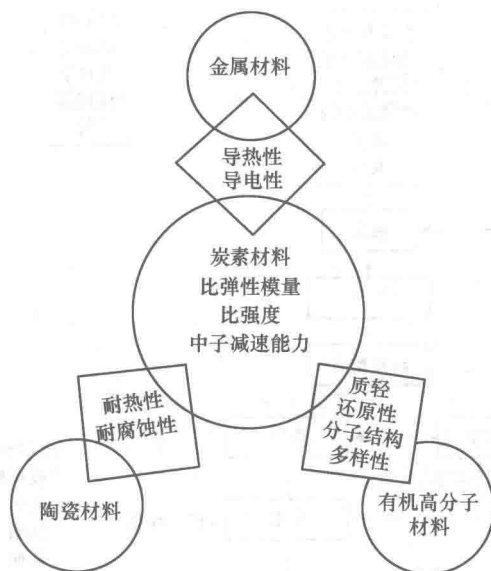


图 0-1 炭素材料与金属、陶瓷、有机高分子材料的比较

应用于冶金、化工、电子、电器、机械等工业以及核能和航空航天工业，乃至作为人体生理补缀材料。炭素材料已经成为近代工业中不可缺少的结构材料和功能材料。

随着新技术革命浪潮的到来，材料科学正孕育着新的突破。而复合材料就是实现这个突破的一个重要方面。复合材料就是由两种或两种以上材料组成的新材料。这种新材料既保持了原材料的特点，又使各材料之间取长补短，形成一种崭新的材料。21 世纪必将成为复合材料的黄金时代。而炭素材料与其他材料复合的炭/炭复合材料，炭/金属复合材料，炭/树脂复合材料，炭/陶瓷复合材料已经诞生，必将在各个工业部门和人类生活以及高科技领域发挥作用。

至 2013 年，中国石墨及炭素制品产量已超过 3000 万吨/年，其中黏结成型的炭和石墨制品产量已超过 300 万吨/年。在各种各样的炭和石墨制品中，用于电炉炼钢的人造石墨电极就约占产量的 2/3。所以，本教材还是以制备黏结成型炭和石墨制品的生产工艺为主线。为了跟上新技术发展的步伐，对数量虽少，但其性能卓越，应用领域广泛，发展日新月异，有极其广阔应用前景的新型炭素材料在第 9 章中予以介绍。

黏结成型炭和石墨制品的生产工艺流程示于图 0-2。其基本工艺过程包括：原料的选择；原料的预处理（预碎、煅烧）；原料的粉碎和筛分分级；原料组成及粒度配料；加入黏结剂并进行混捏；混捏后糊料成型；成型后生制品的焙烧；焙烧的半成品进行石墨化。当要求高密度、高强度产品时，可以对焙烧后生制品进行一次或多次浸渍，每次浸渍后再作焙烧处理。当要求高纯产品时，还需对石墨化后的制品进行高温纯化处理。最后，对炭和石墨制品的毛坯做机械加工。

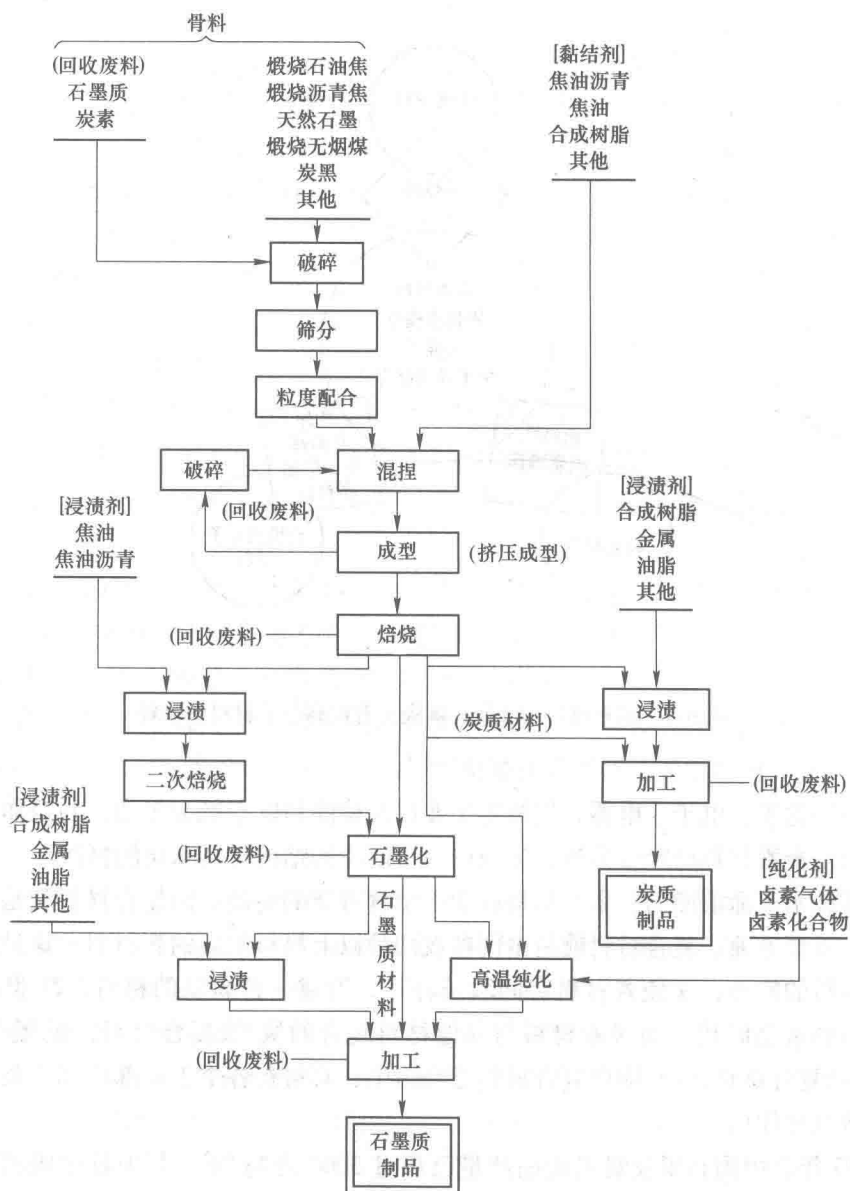


图 0-2 黏结成型炭和石墨制品的生产工艺流程

### 复习思考题

- 0-1 碳在自然界是如何分布的？试用图表示自然界碳的循环。
- 0-2 炭素材料有哪些特点？
- 0-3 试述炭素材料在国民经济中的地位。