

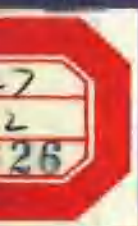
新炭素工业

[日] 石川 敏功 著
长冲 通

陆玉峻 李杰 刘建东 译

下 册

哈尔滨工业大学出版社



新 炭 素 工 业

下 册

〔日〕 石川 敏功 著
长冲 通

陆玉峻 李 杰 刘建东 译
程鸿申 汪云华 校

哈尔滨工业大学出版社

内 容 简 介

《新炭素工业》一书是由日本炭素协会会长石川敏功先生和长冲通先生合著的，1980年10月初版，1986年7月修订后再版。全书共分三篇：一序论篇，二基础篇，三应用篇。作者在概述了炭素工业的历史、现状及未来之后，对炭素材料的基础理论，炭素制品的生产、性能及用途做了详尽的阐述。

本书译成中文后分为上、下两册出版。上册为序论篇和基础篇，下册为应用篇和后记。它可作为从事炭素材料研究和生产的科研人员以及大专院校师生的参考书。

新 炭 素 工 业

(下 册)

陆玉峻 等译

哈尔滨工业大学出版社出版发行
哈尔滨市科文印刷厂印刷

开本787×1092 1/32 印张 9 字数202000

1990年8月第1版 1990年8月第1次印刷

印数 1—1000

ISBN 7-5603-0282-3/TQ:6 定价7.95元

目 录

(下册)

3. 应用篇——应用制品及其使用技术	(1)
3.1 炭素材料的应用领域	(1)
3.2 应用制品	(12)
3.2.1 电炉用电极和发热体	(12)
(1) 人造石墨电极	(13)
(a) 形状和尺寸	(14)
(b) 制造方法、品种和特性	(22)
(c) 电炉炼钢和人造石墨电极	(24)
(2) 炭电极和自焙电极	(39)
(a) 电炉用炭电极	(40)
(b) 电炉用自焙式电极	(41)
(c) 电解制铝用电极(阳极及阴极)	(47)
(3) 焊接用炭棒	(50)
(4) 电阻发热元件	(50)
(a) 电阻发热炉	(51)
(b) 高频感应炉	(52)
3.2.2 炭质耐火材料及绝热材料	(60)
(1) 炭块	(62)
(a) 高炉技术的进步与炭块	(64)
(b) 高炉用炭块的质量	(66)
(c) 炭块的其它应用	(69)
(2) 炭糊及炭胶合剂	(70)
(a) 炭糊	(71)

(b) 炭胶合剂	(71)
(3) 绝热材料	(71)
3.2.3 其它冶金用炭及石墨制品	(74)
(1) 石墨管	(74)
(a) 吹气管	(75)
(b) 吹炼管	(75)
(c) 热电偶保护管	(75)
(2) 坩埚、舟皿及其它	(76)
(a) 石墨坩埚	(76)
(b) 石墨舟皿	(79)
(3) 铸模、铸型、铸锭底盘及其它	(79)
(a) 铸模	(80)
(b) 铸型	(81)
(c) 铸锭底盘及其它	(84)
(4) 热压机用石墨模	(84)
(a) 使用压力和耐压强度	(85)
(b) 蠕变	(87)
(c) 对模具的粘附	(87)
(d) 加热用电源的设计	(88)
(5) 烧结模具	(88)
(a) 合金烧结模具	(89)
(b) 晶体管管座烧结模具	(89)
(c) 其它石墨烧结模具	(90)
(6) 钢板热处理炉用辊子	(90)
(7) 铝挤压成型用部件	(91)
(a) 导管	(91)
(b) 滑板	(92)
(c) 冷却台架	(92)
3.2.4 增碳材料	(92)
3.2.5 弧光炭棒	(93)
(1) 电影放映用炭棒	(93)

(2) 人工老化试验用弧光炭棒.....	(94)
(3) 模拟太阳光源用弧光炭棒	(94)
(4) 光谱分析用炭电极	(94)
(a) 成品电极	(96)
(b) 光谱分析用高纯石墨粉.....	(96)
3.2.6 石墨电解板及解汞材料.....	(98)
(1) 食盐电解用石墨阳极	(100)
(a) 制造方法、形状及特性	(101)
(b) 水银法和隔膜法	(103)
(c) 电解板的消耗与各种电解条件	(105)
(d) 电解板的特殊浸渍处理及其效果	(107)
(e) 排气孔及槽的加工	(108)
(f) 导电漆的连接	(109)
(g) 石墨阳极和金属阳极 (DSA)	(109)
(2) 解汞材料	(110)
(3) 其它石墨阳极	(111)
(a) 制造氯酸钠用阳极	(111)
(b) 海水电解用阳极	(112)
(c) 制造二氧化锰用阳极	(112)
(d) 熔融盐电解用阳极	(113)
(e) 防腐蚀用石墨阳极(接地阳极)	(115)
3.2.7 电池用炭电极.....	(116)
(1) 锰干电池用炭电极	(116)
(2) 空气电池用炭电极	(116)
(3) 燃料电池用炭电极	(117)
(4) 新型蓄电池用炭素材料	(120)
(5) 电池用其它炭素材料	(121)
3.2.8 电火花加工和电解加工用电极.....	(122)
(1) 电火花加工用电极	(122)
(2) 电解加工用电极	(125)
3.2.9 电机用电刷	(12)

(1) 制造方法	(127)
(2) 性质和用途	(132)
3.2.10 集电器、触点、电子管阳极及其它	(134)
(1) 集电器	(134)
(a) 受电弓用滑板	(134)
(b) 滑块和滑轮	(136)
(2) 触点	(137)
(3) 电子管阳极及栅极	(137)
(4) 其它电工用炭素制品	(139)
(a) 可变电阻器	(140)
(b) 送话器用炭粉	(141)
3.2.11 机械用炭素制品	(141)
(1) 种类、制造方法及性质	(142)
(a) 树脂粘合剂	(144)
(b) 炭素粘合剂	(146)
(c) 树脂浸渍质	(146)
(d) 金属浸渍质	(146)
(2) 种类的选择和设计	(148)
(a) 轴承	(147)
(b) 密封环	(150)
(c) 刮片	(153)
(3) 机械用炭素材料的使用例与效果	(155)
(4) 机械用碳纤维复合材料	(155)
(5) 密封件和密封垫片用片状柔性石墨	(166)
(a) 密封件	(168)
(b) 密封垫片	(169)
3.2.12 固体润滑剂	(173)
3.2.13 刹车片	(175)
3.2.14 不透性石墨及其应用制品(化工装置和部件)	(176)
(1) 不透性石墨的制造及特性	(177)

(a) 制造	(177)
(b) 物理性质	(178)
(c) 化学性质(耐腐蚀性)	(179)
(2) 不透性石墨制品	(185)
(a) 热交换器	(185)
(b) 塔和槽	(187)
(c) 湿壁式吸收装置	(188)
(d) 泵和喷射泵	(190)
(e) 多孔炭	(190)
(f) 防爆膜	(190)
(g) 管道和部件	(192)
(h) 炭胶	(192)
(3) 不透性石墨装置组合的化工成套设备	(193)
(a) 制造无水氯化氢气体的成套设备	(193)
(b) 处理有机氯化物废液用成套设备	(193)
(4) 耐热不透性石墨的应用	(193)
(5) 设计、维修和使用	(196)
(a) 结构设计与安全系数	(196)
(b) 压力容器标准	(196)
(c) 与食品卫生法有关的标准	(197)
(d) 不透性石墨制品的事故原因与维修、操作要领	(197)
3.2.15 活性炭及其应用	(199)
(1) 活性炭的制造、种类和性质	(199)
(2) 活性炭的应用	(202)
(a) 溶剂回收	(203)
(b) 脱臭	(204)
(c) 水处理	(205)
(3) 活性炭的再生	(206)
3.2.16 核反应堆用石墨	(207)
(1) 减速材料和反射材料用石墨的质量及制造方面的各种因素	(208)
(a) 主要原材料	(211)

(b) 成型方式	(211)
(c) 纯化处理	(211)
(d) 形状、尺寸和加工	(212)
(2) 核反应堆用石墨的性质	(212)
(a) 核性质	(213)
(b) 纯度	(215)
(c) 与冷却材料的相容性	(216)
(3) 射线辐射的影响	(217)
(a) 储能	(217)
(b) 辐照损伤引起的物性变化	(218)
(4) 其它核反应堆用石墨——包覆炭的核燃料及其它	(220)
3.2.17 碳纤维及其复合材料	(221)
(1) 碳纤维的制造方法及种类	(224)
(2) 碳纤维的应用	(226)
(a) 普通碳纤维的应用	(228)
(b) 高性能碳纤维的应用	(231)
3.2.18 碳化硅纤维及其复合材料	(242)
(1) 耐热材料	(243)
(2) 碳化硅纤维/金属复合材料	(245)
(3) 碳化硅纤维/陶瓷复合材料	(248)
(4) 碳化硅纤维/塑料复合材料	(249)
3.2.19 其它方面应用的炭素制品	(250)
(1) 生物体用炭素材料	(250)
(2) 放射线反射材料	(250)
3.3 炭素材料和炭素制品的使用与管理	(251)
3.3.1 保管和贮藏	(251)
3.3.2 搬运作业	(252)
3.3.3 组装、拆卸和维修	(253)
(1) 定位和支撑	(253)
(2) 连接	(253)
(3) 氧化的预防	(254)

3.3.4 设计、加工及其它	(254)
(1) 设计	(254)
(2) 加工	(255)
(3) 加工方面的特征	(255)
(4) 加工方法的选择	(256)
(5) 加工带来的污染	(257)
(6) 加工精度	(258)
3.3.5 安全措施	(259)
(1) 电气事故	(259)
(2) 滑移	(259)
(3) 安全卫生	(259)
3.4 对碳的期待——未来的设想	(260)
(1) 制造技术的改进	(260)
(2) 向节能方向发展	(263)
(3) 炭素原材料的重新评价	(263)
(4) 对极限材料的期待	(264)
引用文献	(264)
参考文献	(268)
相关标准	(270)
与炭素原材料及制品有关的主要日本工业标准 (JIS)	(270)
炭素协会标准 (JCAS)	(271)
炭纤维恳谈会标准 (JCFS)	(271)
后记	(272)
作者介绍	(277)

3. 应用篇

应用制品及其使用技术

3.1 炭素材料的应用领域

在第2篇中，主要从不同角度对材料本身进行了展望。即从晶体结构上看，碳同属于石墨（六方晶系*），但是，由于结晶度及取向性、原材料和制造方法以及制造条件、热处理温度、复合方法或者二次加工方法等原因，所制成的各种炭素材料的性质相差甚远。而且，就这些材料固有性质的产生根源——碳的基本物性，大体上涉及了在实际应用中所必需的全部内容。

笔者在本篇中将就各种具体的应用实例，分别阐述怎样使用这些材料，如何最大限度地发挥这些材料的功能，以及需要注意哪些问题，等等。但是，在此之前，首先就炭素材料的种类系统地整理一下过去叙述的内容，并示于图3.1。不过，该图对炭素材料只做了大致的分类，实际上还有很多类别。例如，既有介于软炭和硬炭之间的中间性炭素材料，又有由两者混合而成的炭素材料。这些富有多多样性的炭素材料，要用只言片语阐明其特征，似乎有些强人所难。不过，有这么一个事实，碳和石墨的理化性质的巧妙结合，创造了

* 译者注。

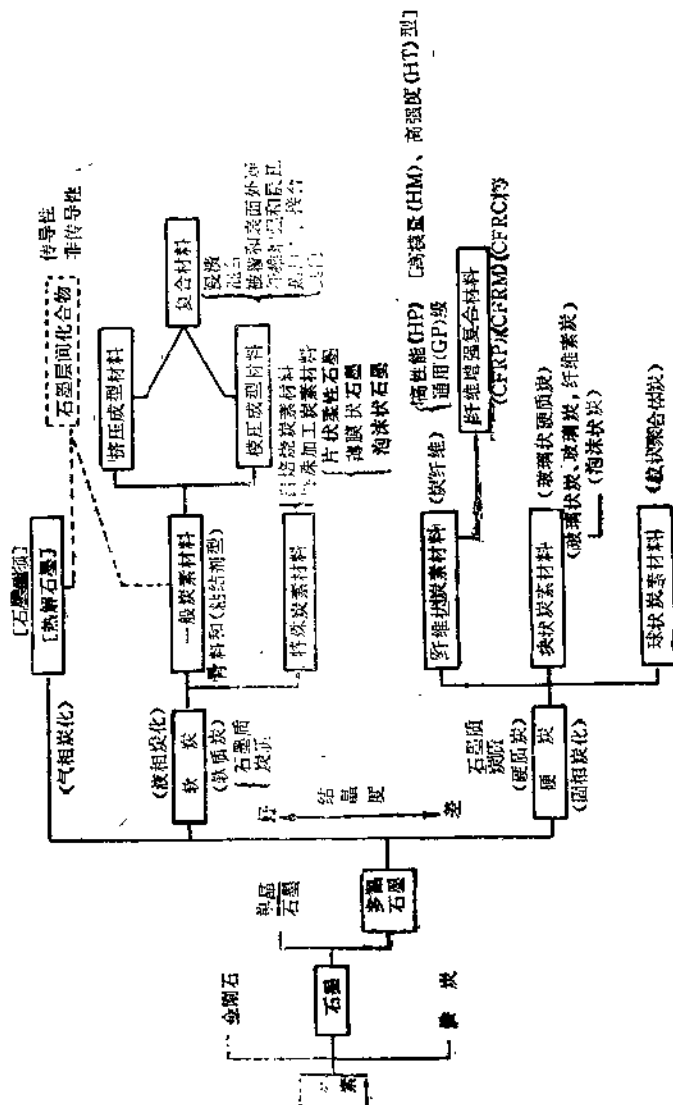


图 3.1 炭素材料的种类及其系列
(口内的品种是本书的主要叙述对象)

其它工业材料所不具备的独特性质，这些特征构成了开拓炭素制品广阔应用领域的动力。下面，再列举一些被人们视为炭素材料特征的重要性质，当然，这些特征中的任何一项，都不是各种炭素材料所共有的。

1. 耐热性优良，不软化，不熔融，蒸汽压小；
2. 石墨质炭素材料的导热系数高，而且可在炭质到石墨质之间广泛地选择导热系数；
3. 热膨胀系数小；
4. 电导率良好，而且可在炭质到石墨质之间广泛地选择电导率；
5. 重量轻，易加工；
6. 强度随温度的升高而增大；
7. 在高温下尺寸和机械性能稳定（见1.3.6）；
8. 弹性模量低；
9. 耐热冲击性能好（见2.3.6.8）；
10. 可制取从多孔到不透性的各种炭素材料；
11. 具有自润滑性，滑动摩擦时不会发生烧伤；
12. 容易进行机械加工（石墨质）；
13. 耐化学腐蚀性好，而且耐烧蚀和耐磨蚀性优良；
14. 难以润湿且不粘着大部分熔融金属和炉渣；
15. 不会因腐蚀而生成氧化层；
16. 纯度高，很少污染其它材料。

根据炭素材料的上述特性，以材料的主要功能为重点，将其应用领域归纳如下：

（1）耐热和耐火材料：碳在惰性气体介质中具有化学稳定性，而且温度越高，其强度越大，因此，作为耐热材料有特殊的价值。另外，炭素材料的几何尺寸稳定，耐热冲击性

好。近年来，随着高温工程学的发展，炭素材料作为耐热材料的应用领域将不断扩大，最新的应用领域有高温气冷式核反应堆，宇宙工程学和磁流体发电等。

目前，工业上用量最大的炭素材料，有高炉的炉底和集渣横浇口的炭块内衬。此外，还有化铁炉或电炉的炉衬、铸模、出铁槽、塞棒头、坩埚和浇口等。这些用途都是利用了炭素材料的耐热性、对熔融金属和炉渣的耐腐蚀性以及难润湿和难粘着性。另外，炭素材料由于对其它材料污染少，还可用于冶金用坩埚、舟皿和模具等。

(2) 绝热材料：绝热材料是与上述的耐热材料不可分的，往往要求同时具备耐热和绝热双重性质。低密度的多孔质或泡沫状炭素材料可作绝热材料，粉末状的炭素材料也常用。纤维状（毡状）炭素材料最适合作电炉等的耐热性绝热材料。它比粉末状炭素材料容易处理，填充密度低且均匀。碳纤维和塑料的复合材料(CFRP)作为绝热材料，已用于火箭的鼻锥和喷管喉部。

(3) 导电和电阻材料：炭素材料的电阻可在相当宽的范围内变化。因此，既可作为导电材料使用，也可作为电阻材料使用。用作导电材料的有电弧炉用电极、电解用电极（主要是阳极）、电机用电刷、集电轮、受电弓用滑板、电子管阳极和触点等。它们都是利用了炭素材料的耐热性、耐腐蚀性和润滑性等某些功能。用作电阻材料的有电炉用发热体、电压控制用炭柱和固定电阻器等。还有一些新的用途，例如碳纤维或炭布的面状发热体等。

(4) 润滑和减摩材料：人们很早就知道天然石墨可作为润滑剂和减摩剂。胶体石墨可用于拉丝模等机具的润滑材料。因为石墨具有润滑和减摩性能，所以在要求滑动性能的

烧结合金中，往往添加百分之几的石墨粉。在这些用途中，石墨起着某种作用，用于这方面的典型炭素材料被称为机械用炭。它可作为旋转轴的轴密封和轴承等。

炭素材料有从炭质到石墨质各种材质的，以及在上述材质中浸渍了合成树脂或某种金属的。可根据使用条件和摩擦副材料，选择其材质。此外，这些炭素材料还广泛用于旋转叶片、轴端密封和各种填料密封等。尤其是碳纤维树脂复合材料和片状石墨，作为填料密封和盘根密封，具有极其优良的使用性能。

(5) 导热材料：石墨质炭素材料的导热系数在常温附近特别大，为钢材的3~4倍，这在耐腐蚀材料中是见不到的。因此，它作为化学装置用各种热交换器而受重用。另外，作为核反应堆的减速材料和核燃料套管等结构材料，除利用其核特性和耐热性外，还利用了它的导热性。炭质炭素材料的导热系数一般为 $5\sim 10\text{kcal/m}\cdot\text{h}\cdot^\circ\text{C}$ ，比耐火砖大得多，它兼备冷却效应的优点，故可大量用于高炉的内衬。此外，它还具备耐热性和不润湿熔融金属的性质，所以是作为铸型和连续铸造用铸口的理想材料。

(6) 耐腐蚀材料：碳的特征是化学稳定性好，重量轻，易加工，导热性好。这些对于上述的化学装置用耐腐蚀性结构材料是很重要的，这方面大多使用不透性石墨。耐腐蚀性的炉衬材料可用炭砖，这些材料都不会被工业药品所侵蚀。近年来，迅速发展的碳纤维增强复合材料(CFRP)，不仅耐腐蚀性好，而且原来被视为炭素材料的弱点的机械强度也超过了金属材料，因此，作为飞机、汽车和舰船等的结构材料，具有重量轻的优点，其用途将迅速扩大。

(7) 其它：碳容易获得较高的纯度。这对核反应堆用减速

材料和反射材料来说是极为重要的。对纯度有特殊要求的用途还有精炼高纯度金属用舟皿和坩埚、制造半导体用加热器和模具以及光谱分析用电极等。碳的优点是不会给配对的物质带来金属污染，而且，即使发生氧化等化学反应，反应生成物也会以 CO_2 等气体的形式逸出反应系统。

碳不熔融、不软化，升华点高达 4000K 左右，而且亮度和发光强度都很大，所以和上述光谱分析用电极一样，也可以作为各种弧光灯用电极。这一用途同上述的耐热性和导电性均有一定的关系。碳在生物学方面也呈惰性，不会发生生物排斥反应。近年来，玻璃状炭和热解炭作为生物用炭用于骨骼等人造生体材料，引人注目。

以上是对炭素材料应用的大致展望。在下面的表 3.1 中列出了本书涉及的主要炭制品，并按工业用途对其进行了分类¹⁾。同时，还列出了这些制品所使用的主要炭素材料的种类。另外，对采用 JIS 标准的制品，在制品名称后面的括号内注上了 JIS 标准的代号。

表 3.1 炭素和石墨制品的种类及用途

工 业 用 途	制 品 名 称	种 类、用 途 及 其 它	制 品 所 使 用 的 主 要 炭 素 材 料 的 种 类	本 书 所 记 载 的 章 节
冶金用 (钢、铁 及有色 金属)	圆形人造石墨电极(JIS R 7201)	炼钢电 { UHP作业用 弧炉用 { 普通作业用 其它电炉用 (磷、铁合 金、铸和电铸耐火物等) 一也少量使用矩形 电极一	挤压品，石墨质	3.2.1
	炭 电 极	铝、铁合金用等	挤压品，炭质	3.2.1
	自焙式电极糊 (JIS R 7231)	铁合金、铝和碳化钙用 等(连续自焙式电极用)	基料和粘结剂的 混捏物	3.2.1

续表

工 业 途	制 品 名 称	种 类、用途及其他	制品所使用的 主要炭素材料的 种类	本书所 记载的 章节
	炭块 (JIS R 7211)	高炉、电炉和化铁炉等 炉衬用 ——也用于弗里克感应 电炉——	挤压品}炭质 模压品}	3.2.2
	捣固(炉底)糊	用途同上(不定形炉衬)	基料和粘结剂的 混合物	3.2.2
	炭(块)胶泥	炭块、炭砖接缝用	同 上	3.2.2
	发热体	各种电阻发热式电炉用 等(管状、板状、粒状、 SiC被覆)	挤压品}石墨质 模压品}炭质 碳纤维	3.2.1
	坩埚、舟皿和漏斗 (JIS R 2701)	熔融、精炼和分析用等	炭质耐火物 模压品}石墨质 挤压品}(提纯) 热解炭 玻璃状炭	3.2.3
	模 具	半导体工业用等(晶体 管管座模具、合金模具 等)	模压品, 石墨质	3.2.3
	石墨辊	钢板热处理炉用	挤压品, 石墨质	3.2.3
	铸模、拉伸模和 铸锭底盘	钢铁、有色金属用, 金 刚石工具烧结用, 热压 模具用等	模压品}石墨质 挤压品}石墨质 C/C复合材料 再结晶石墨	3.2.3
	导管、滑板和冷却 台架	铝成型用等	挤压品}石墨质 模压品}天然石 墨质	3.2.3
	石墨管	测温用保护管、吹炼管 等	挤压品, 石墨质	3.2.3
	绝热材料	电炉用等(粉或粒状、多 孔状、纤维状和片状)	粉或粒, 多孔炭 炭纤维(毡状) 片状石墨和泡沫 状石墨	3.2.3
	增碳剂	炼钢用(粉末、粒状)	粉 粒}石墨质	3.2.4
	焊接炭棒	金属焊接、切割用	挤压品, 石墨质	3.2.1