

中国石油大学（华东）“211工程”建设重点资助系列学术专著



新型碳材料 的制备及应用

吴明铂 邱介山 何孝军 编著

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

中国石油大学(华东)“211 工程”建设重点资助系列学术专著

新型碳材料的制备及应用

吴明铂 邱介山 何孝军 编著

中國石化出版社

内 容 提 要

全书共六章,主要阐述碳量子点、石墨烯、碳纳米管、石墨相氮化碳、多孔炭等新型碳材料的制备方法、调控方法、性质及应用。重点讲述其在催化、储能、环保等领域的应用。

本书可供从事碳材料、石油化工、煤化工及新能源、环境保护等领域研究和生产的科技人员参考,也可作为大专院校材料科学与工程、化学工程与工艺等专业师生的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

新型碳材料的制备及应用 / 吴明铂, 邱介山, 何孝军编著. —北京: 中国石化出版社, 2017
ISBN 978-7-5114-3900-0

I. ①新… II. ①吴… ②邱… ③何… III. ①碳-材料科学 IV. ①TB321

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 032914 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 59964500

发行部电话: (010) 59964526

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京柏力行彩印有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 13.75 印张 299 千字

2017 年 3 月第 1 版 2017 年 3 月第 1 次印刷

定价: 50.00 元

《新型碳材料的制备及应用》

编 委 会

主 编：吴明铂 邱介山 何孝军

编 委：曲江英 吴文婷 赵青山

李忠涛 江 波 宁 汇

总 序

“211 工程”于 1995 年经国务院批准正式启动，是新中国成立以来由国家立项的高等教育领域规模最大、层次最高的工程，是国家面对世纪之交的国内国际形势而作出的高等教育发展的重大决策。“211 工程”抓住学科建设、师资队伍建设和队伍建设等决定高校水平提升的核心内容，通过重点突破带动高校整体发展，探索了一条高水平大学建设的成功之路。经过 17 年的实施建设，“211 工程”取得了显著成效，带动了我国高等教育整体教育质量、科学研究、管理水平和办学效益的提高，初步奠定了我国建设若干所具有世界先进水平的一流大学的基础。

1997 年，中国石油大学跻身“211 工程”重点建设高校行列，学校建设高水平大学面临着重大历史机遇。在“九五”、“十五”、“十一五”“211 工程”的三期建设过程中，学校始终围绕提升学校水平这个核心，以面向石油石化工业重大需求为使命，以实现国家油气资源创新平台重点突破为目标，以提升重点学科水平，打造学术领军人物和学术带头人，培养国际化、创新型人才为根本，坚持有所为、有所不为，以优势带整体，以特色促水平，学校核心竞争力显著增强，办学水平和综合实力明显提高，为建设石油学科国际一流的高水平研究型大学打下良好的基础。经过“211 工程”建设，学校石油石化特色更加鲜明，学科优势更加突出，“优势学科创新平台”建设顺利，5 个国家重点学科、2 个国家重点(培育)学科处于国内领先、国际先进水平。根据 ESI 2012 年 3 月份更新的数据，我校工程学和化学 2 个学科领域首次进入 ESI 世界排名，体现了学校石油石化主干学科实力和水平的明显提升。高水平师资队伍建设和取得实质性进展，培养汇聚了两院院士、长江学者特聘教授、国家杰出青年基金获得者、国家“千人计划”、“百千万人才工程”入选者等一批高层次人才队伍，为学校未来发展提供了人才保证。科技创新能力大幅提升，高层次项目、高水平成果不断涌现，年到位科研经费突破 4 亿元，初步建立起石油特色鲜明的科技创新体系，成为国家科技创新体系的重要组成部分。创新人才培养能力不断提高，开展“卓越工程师教育培养计划”和拔尖创新人才培育特区，积极探索国际化人才的培养，深化研究生培养机制改革，初步构建了与创新人才培养相适应的创新人

人才培养模式和研究生培养机制。公共服务支撑体系建设不断完善，建成了先进、高效、快捷的公共服务体系，学校办学的软硬件条件显著改善，有力保障了教学、科研以及管理水平的提升。

17年来的“211工程”建设轨迹成为学校发展的重要线索和标志。“211工程”建设所取得的经验成为学校办学的宝贵财富。一是必须要坚持有所为、有所不为，通过强化特色、突出优势，率先从某几个学科领域突破，努力实现石油学科国际一流的发展目标。二是必须坚持滚动发展、整体提高，通过以重点带动整体，进一步扩大优势，协同发展，不断提高整体竞争力。三是必须坚持健全机制、搭建平台，通过完善“联合、开放、共享、竞争、流动”的学科运行机制和以项目为平台的各项建设机制，加强统筹规划、集中资源力量、整合人才队伍，优化各项建设环节和工作制度，保证各项工作的高效有序开展。四是必须坚持凝聚人才、形成合力，通过推进“211工程”建设任务和学校各项事业发展，培养和凝聚大批优秀人才，锻炼形成一支甘于奉献、勇于创新队伍，各学院、学科和各有关部门协调一致、团结合作，在全校形成强大合力，切实保证各项建设任务的顺利实施。这些经验是在学校“211工程”建设的长期实践中形成的，今后必须要更好地继承和发扬，进一步推动高水平研究型大学的建设和发展。

为更好地总结“211工程”建设的成功经验，充分展示“211工程”建设的丰富成果，学校自2008年开始设立专项资金，资助出版与“211工程”建设有关的系列学术专著，专款资助石大优秀学者以科研成果为基础的优秀学术专著的出版，分门别类地介绍和展示学科建设、科技创新和人才培养等方面的成果和经验。相信这套丛书能够从不同的侧面、从多个角度和方向，进一步传承先进的科学研究成果和学术思想，展示我校“211工程”建设的巨大成绩和发展思路，从而对扩大我校在社会上的影响，提高学校学术声誉，推进我校今后的“211工程”建设有着重要而独特的贡献和作用。

最后，感谢广大学者为学校“211工程”建设付出的辛勤劳动和巨大努力，感谢专著作者孜孜不倦地整理总结各项研究成果，为学术事业、为学校 and 师生留下宝贵的创新成果和学术精神。

中国石油大学(华东)校长



2012年9月

序 言

二十一世纪是化工、材料、能源和环境等学科大发展的世纪，学科之间相互交叉且互相影响。传统的化学化工技术正在发生重大变化，各种高新技术和新材料的采用，正在改变传统化工厂的概念，更安全、节能和环保的新工艺、新材料将在这些发展中起到越来越重要的作用。基于碳元素构筑的富勒烯、碳纳米管、石墨烯、石墨炔等新型高性能碳材料的相继问世，促使碳材料科学在全球范围内成为科学研究的热点，引领了众多相关学科的发展，对化学工程与技术学科的内涵与发展亦产生了深远的影响。

碳材料可以从最硬到最软，从绝缘体到导体，从全透光到全吸光……，世界上没有哪一种材料能够像碳材料这样呈现出如此广泛、甚至是完全极端对立的性能。这一切皆归因于碳原子——元素周期表中第六号元素的电子结构及键合方式的多样性、碳原子构筑的石墨烯层片中 π 电子的独特作用以及碳微晶在纳米和微米尺度上取向、堆叠、聚集的复杂变化，形成了各具特色的结构，最终导致其广泛而多样化的性能。

作者立足于传统化石能源的清洁高值化利用，近年来一直从事新型碳材料的研究开发工作，尤其在重质油富芳烃清洁化高附加值利用方面进行了系统研究。针对目标材料的结构特点和应用需求，基于多层次结构转化之学术理念，创建了数种新方法和技术策略，实现了由重质油可控制备碳量子点、石墨烯、多孔碳等数种功能碳材料，揭示了这些功能碳材料在催化、环保、能源等领域的应用潜力和构效关系，为重质油高附加值利用提供了全新的技术对策和方法。该书就是在作者多年研究成果的基础上，综述了碳量子点、碳纳米管、石墨烯、 $g-C_3N_4$ 等新型碳材料的最新研究进展。

本书着重阐述碳量子点等新型碳材料的可控制备、构效关系等科学和技术问题，并将石油基多孔碳材料的制备及应用作为一章进行专门阐述。全书体现了理论联系实际“理工融合”的风格，将新型碳材料方面的最新研究进展与作

者的研究成果有机融合起来，有助于碳材料、化工、新能源、环境保护等技术领域的科技人员了解和把握碳材料形成过程中涉及的一系列物理化学变化及调控策略，掌握各类碳材料各自特点及对原料和制备方法的要求。该书可为新型碳材料的可控制备、生产和应用提供重要基础数据和理论指导，是一部化工和碳材料领域的重要专业书籍和参考工具。



2016年2月

前言

以碳为骨架的材料统称为碳材料。碳材料伴随着人类悠远古老的历史已经走过了几千年的旅程，并覆盖了社会生活的各个方面。

碳材料家族的性质非常神奇，从最硬(金刚石)到最软(石墨)，从优良的绝缘体(金刚石)到优良的导电体(石墨、纳米碳管)，从优良的绝热体(石墨层间、碳黑、碳毡)到优良的导热体(金刚石、石墨纤维、碳纳米管)，从全透光(金刚石)到全吸光(石墨)等，世界上没有哪一种材料能够呈现出如此广泛、甚至是完全处于极端对立的性能。

碳材料家族的成员越来越多。各种人造石墨、热解石墨、膨胀石墨、玻璃碳、活性炭、活性炭纤维、石墨层间化合物、金刚石膜、碳纤维及其复合材料、泡沫碳、富勒烯、纳米碳管已被广泛深入研究，石墨烯的横空出世又为碳质材料吸引了足够的目光。碳材料无处不在，已广泛应用于航天、航空、能源、环保、催化、交通、石油、化工、化肥、农药、机械、材料、电子、医疗、文体以及劳保等各领域。

碳材料这一切归因于碳原子——元素周期表中第6号元素的电子结构及键合方式的多样性、碳原子中 π 电子的独特作用以及碳微晶在纳米和微米尺度上取向、堆叠、聚集的复杂变化，形成了各具特色的结构，导致其广泛而多样化的性能。

本书结合作者多年来在重质油及碳材料领域的研究工作，尽可能吸收国内外在本专业技术中的精华和最新进展，着重讲述碳量子点、碳纳米管、石墨烯、石墨相氮化碳等新型碳材料的制备方法、调控策略、性质及其在能源、催化、环保等化工领域中的应用。

中国科学院院士刘忠范教授对本书的研究工作给予了长期指导和大力支持，并在百忙之中为本书作序，在此表示深深的谢意。

中国科学院山西煤化所王茂章研究员对本书的撰写提供了全方位的指导和帮助，在此表示衷心的感谢。

王玉伟、谭明慧、饶袁、王阳、李朋、谢辉、安祥辉、刘卉等同学参与了本书的编著，在此向他们表示感谢。

本书的出版得到了中国石油大学(华东)“211 工程”的大力支持，在此一并表示感谢。

希望通过此书的出版能促进我国化工新型碳材料的发展，为赶超世界先进水平尽我们的微薄之力。

目 录

第1章 绪论	(1)
第2章 碳量子点	(5)
2.1 性质	(6)
2.1.1 荧光特性	(6)
2.1.2 电致化学发光性质	(7)
2.1.3 电子转移特性	(8)
2.1.4 低细胞毒性与生物相容性	(8)
2.2 表面修饰与掺杂	(9)
2.3 制备方法	(11)
2.3.1 原料	(11)
2.3.2 制备方法	(12)
2.4 石油焦基碳量子点	(20)
2.4.1 化学氧化法	(21)
2.4.2 电化学法	(22)
2.4.3 石油焦种类的影响	(24)
2.5 应用	(27)
2.5.1 生物成像	(27)
2.5.2 分析检测	(29)
2.5.3 光催化	(33)
2.5.4 光电传感及电催化	(34)
2.5.5 吸附分离	(36)
2.6 前景与展望	(37)
第3章 石墨烯	(47)
3.1 结构	(48)
3.2 性质	(49)
3.2.1 电学性能	(49)
3.2.2 光学性能	(50)

3.2.3	力学性能	(50)
3.2.4	热学性能	(51)
3.2.5	化学性能	(51)
3.3	制备	(51)
3.3.1	机械剥离法	(51)
3.3.2	液相剥离法	(52)
3.3.3	化学气相沉积法	(54)
3.3.4	SiC 外延生长法	(56)
3.3.5	化学氧化法	(56)
3.3.6	模板法	(57)
3.4	应用	(57)
3.4.1	储能	(58)
3.4.2	催化	(68)
3.4.3	环保	(74)
3.5	前景与展望	(79)
第4章	碳纳米管	(91)
4.1	简介	(91)
4.1.1	结构和分类	(91)
4.1.2	发展概况	(93)
4.2	制备	(93)
4.2.1	电弧放电法	(94)
4.2.2	激光蒸发法	(94)
4.2.3	化学气相沉积法	(94)
4.3	应用	(95)
4.3.1	催化	(95)
4.3.2	储能	(98)
4.3.3	环保	(103)
4.4	前景与展望	(108)
第5章	石墨相氮化碳	(113)
5.1	简介	(113)
5.2	性质	(116)
5.2.1	热稳定性	(116)
5.2.2	化学稳定性	(116)
5.2.3	光学和光电化学	(116)

5.3 制备	(118)
5.3.1 $g-C_3N_4$ 的制备	(118)
5.3.2 $g-C_3N_4$ 的带隙设计	(126)
5.3.3 $g-C_3N_4$ 基复合半导体材料的制备	(129)
5.4 应用	(133)
5.4.1 光催化析氢	(134)
5.4.2 光催化 CO_2 还原	(138)
5.4.3 污染物降解	(139)
5.4.4 有机合成	(141)
5.4.5 灭菌	(142)
5.5 总结和展望	(142)
第6章 多孔炭	(167)
6.1 制备	(167)
6.1.1 物理活化法	(168)
6.1.2 化学活化法	(168)
6.1.3 物理-化学复合活化法	(169)
6.1.4 催化活化法	(169)
6.1.5 聚合物共炭化法	(169)
6.1.6 模板法	(169)
6.1.7 微波法	(173)
6.2 应用	(184)
6.2.1 储能	(184)
6.2.2 催化	(201)
6.3 前景与展望	(204)

第1章 绪 论

碳是自然界分布很广的一种元素，其丰度在地球上处于第 14 位。碳元素是自然界中与人类最密切相关、最重要的元素之一，地球上的生命都是以碳原子为基础的实体。碳原子具有多样的电子轨道特性(sp 、 sp^2 、 sp^3 杂化)，除单键外，还能形成稳定的双键和叁键，从而形成许多结构和性质完全不同的物质，人们所熟知的就有金刚石、石墨和不同石墨化程度的各种过渡态碳，后来又发现了富勒烯、碳纳米管、石墨烯及石墨炔等碳材料。

通常来讲，碳材料是指以碳为基本骨架的物质。作为无机非金属材料的一个分支，碳材料在材料学中占有重要地位。与此同时，作为功能材料，碳材料是集金属、陶瓷和高分子材料三者性能于一身的独特材料，与能源化工、环境化工、精细化工等领域密切相关。传统的碳材料包括木炭、竹炭、活性炭、炭黑、焦炭、天然石墨、石墨电极、炭刷、炭棒、铅笔等，新型碳材料包括富勒烯、碳纳米管、石墨烯、石墨炔等，其独特的纳米结构及新颖的性能引起了全世界的广泛关注，近年来发展迅速。碳材料的特性几乎可体现地球上所有物质的各种性质甚至相对立的性质，如最硬 - 极软，全吸光 - 全透光，绝缘 - 半导体 - 高导体，绝热 - 良导热，铁磁体 - 高临界温度的超导体等。不同碳材料之间或者与其他材料复合进一步丰富了碳材料的种类和性质。相比于活性炭等传统碳材料，新型碳材料的产业化程度还有一定差距，但由于其独特的结构及优异的性能，在化工、新能源、环保、催化、电子、医疗等领域展现出广阔的应用前景，新型碳材料的产业化步伐正在逐步加快。

人类发展的历史始终与碳材料息息相关，传统碳材料在日常生活中起着不可替代的作用，而新型碳材料必将成为未来社会的“主角”。在过去 30 多年的时间里，从零维的富勒烯，一维的碳纳米管，到二维的石墨烯先后被发现，新型碳材料不断吸引着世界的目光。在富勒烯被发现之前，已经有很多科学家预测到球形碳结构的存在。直到 20 世纪 80 年代科学家在模拟星际尘埃的实验中才意外发现了完美对称的球形分子—— C_{60} 。对于碳纳米管，科学界对其发现者一直存在争议，但不可否认的是在 NEC 公司发明的电镜的协助之下，科学家于 1991 年首次观测到了一维碳纳米管的“风采”。“富勒烯和碳纳米管”的发现可以说是“意外之美”，而“石墨烯”的发现更加曲折。科学家最初经过热力学计算得出二维碳晶体热力学不稳定，无法稳定存在，但是人们从未放弃对其探索的努力。直至 2004 年，英国曼彻斯特大学 Geim 教授带领其课题组运用机械剥离法成功制备出石墨烯，推翻了“完美二维晶体结构无法在非绝对零度下稳定存在”这一论断。

富勒烯是一种具有零维结构的新型碳材料，性能独特。如 C_{60} 分子为绝缘体，但在 C_{60}

分子之间放入碱性金属后， C_{60} 与碱金属的系列化合物将转变为超导体，并且这类超导体具有很高的超导温度，并且具有电流密度大、稳定性高等特点。在 C_{60} 的甲苯溶液中加入某些过量的强供电子有机物，会得到黑色的微晶沉淀，此种沉淀是一种不含金属材料的有机软磁性物质，因此研究和开发富勒烯的有机软磁材料具有重要的应用前景。 C_{60} 还具有较大的非线性光学系数和高稳定性等特点，使其作为新型非线性光学材料具有重要的研究价值，在光计算、光记忆、光信号处理及控制等方面具有重要的应用前景。富勒烯的潜在应用领域还包括抗癌药物、高强度纤维、催化剂及有机太阳能电池等。

碳纳米管是一种具有一维结构的碳材料，一直是学术研究的热点。尽管石墨烯的出现分流了不少碳纳米管的研究关注度，但是碳纳米管仍然是目前研究最充分、关注度最高的新型纳米材料之一。特别是近年来随着碳纳米管制备技术水平的不断提高，碳纳米管的生产成本大幅降低。目前，国际市场高纯度碳纳米管价格已处于 50 \$/g 以下，纯度稍低的多壁碳纳米管价格已接近 10 \$/g，为此，各国投资者极为看好碳纳米管的应用前景，并在材料制备和应用方面纷纷投入大量研发力量。目前国外生产碳纳米管主要有四家公司：日本昭和电工(Showa Denko K. K)、比利时 Nanocyl 公司及法国 Arkema 公司，年产均超过 400t；而美国 Hyperion 公司，产量未知，却是最早大量生产碳纳米管的公司。由此可以推测，碳纳米管未来几年的市场需求将达到数千吨。目前，伴随世界各国对碳纳米管应用研究的日益深入，碳纳米管诸多优异新奇的性质为其带来了许多实际应用，如复合材料、电子器件、场发射组件、能源/资源材料、测量仪器、生物医药及平台等。特别值得注意的是，碳纳米管在电子、场发射与复合材料领域的应用潜力已逐步显现，碳纳米管将在半导体的应用领域扮演重要角色，有望取代硅的统治地位；同时，碳纳米管在生物医学、能源及资源等领域的应用，也成为世界各国科学家研究的热点。

石墨烯是由碳原子经 sp^2 电子轨道杂化后形成的二维结构，具有超强的机械强度、高导热率、高导电性、高透光率、高比表面积等特点。石墨烯是零维富勒烯、一维碳纳米管、三维石墨的基本组成单元。单层石墨烯厚度只有一个碳原子厚，为 0.335nm，是目前已知最薄的材料。石墨烯以其精妙的结构、无与伦比的性能，使其在柔性透明电极、微电子、光子传感器、储能器件、导电导热复合材料等领域具有广阔的应用前景。石墨烯的产业化序幕正在逐渐拉开，目前，国内外已有一批石墨烯企业开始量产。石墨烯的产业化主要分为石墨烯粉体和石墨烯薄膜两类产品。美国的 Vorbeck Materials 公司和 XG Sciences 公司是国际上最早从事石墨烯粉体生产的公司，其中 Vorbeck Materials 公司的石墨烯采用氧化方法制备，含有较丰富的官能团，并且已在导电油墨和锂电池等领域开展了应用研发。XG Sciences 公司则采用无氧化的插层剥离路线制备石墨烯，并重点开发其在高分子复合材料领域的应用。韩国三星公司是最早开展石墨烯薄膜量产技术研发的公司，并在 2010 年推出了 30in 的石墨烯透明导电薄膜，展现出诱人的应用前景。另外，该公司也成功将石墨烯应用于柔性触摸平板显示器。最近，索尼公司也积极投身石墨烯薄膜的生产装备研发，在薄膜连续化生长与转移技术方面取得了重要进展，成功合成长 120m、宽 230m 的大面积石墨烯薄膜。2006 年，从事石墨烯研究的著名美国教授 Ruoff 课题组首次报道了聚苯

乙烯/石墨烯导电复合物的制备方法,开启了石墨烯导电复合材料研发的序幕。石墨烯导电油墨可以应用于印刷线路板、射频识别、显示设备、电极传感器等方面,在有机太阳能电池、印刷电池和超级电容器等领域具有很大的应用潜力,因此石墨烯油墨有望在射频标签、智能包装、薄膜开关、导电路径以及传感器等下一代轻薄、柔性电子产品中得到广泛应用,市场前景巨大。

碳量子点(Carbon Quantum Dots, CQDs)又称荧光碳纳米颗粒(Carbon Nanoparticles, CNPs),是一种分散的、尺寸小于10nm的类球形准零维纳米颗粒。CQDs通常包括纳米金刚石、荧光碳颗粒(Carbon Dots, C-dots)和石墨烯量子点(Graphene Quantum Dots, GQDs)。目前,关于纳米金刚石的报道较少,研究工作主要集中于C-dots和GQDs上。在制备方面,CQDs的粒径和相对分子质量均较小,易于大规模制备及功能化修饰;在荧光性能方面,CQDs具有激发波长和发射波长可调、双光子吸收截面大、耐光漂白且无光闪烁现象等优异的性质;从环保和生物毒性的角度看,CQDs的毒性远低于传统的金属量子点,且具有良好的生物相容性,在实际应用方面优势明显。因此,CQDs一经发现便激发了国内外学者极大的研究热情。CQDs不仅具有类似于传统量子点的发光性能与小尺寸特性,也具有传统碳纳米材料的高比表面积和优异电子传导特性。同时,CQDs不含重金属、硫元素,具有良好的水溶性和较低的生物毒性,可作为传统量子点在生物成像、生物标记等应用中的替代物。CQDs具有良好的水溶性,丰富的化学官能团及良好的导电性,其在催化、环保(如金属离子检测)方面的应用也引起人们的重视。近几年来,有关CQDs制备、性能及应用的探索是新型碳材料领域的一大研究热点。需要指出的是,CQDs方面的相关研究均处于起步阶段,仍面临诸多挑战。

石墨相氮化碳是不含金属的有机半导体材料,由地球上含量较多的C、N两种元素组成,具有原料来源丰富,带隙较窄(2.7eV),对可见光有一定响应,抗酸、碱、光腐蚀,稳定性好以及结构和性质易于调控等优点,因而成为光催化领域研究的宠儿。石墨相氮化碳在可见光解水制氢、二氧化碳还原、污染物的降解以及有机物选择性氧化等方面的应用受到越来越多的关注。然而,比表面积小、表面缺陷多、载流子迁移率低、电子空穴复合快以及可见光响应弱等缺点严重影响其大规模应用。通过增加氮化碳比表面积,修复表面缺陷,调控氮化碳分子结构以及染料敏化氮化碳等方式构建电子传输路径,在提高氮化碳可见光催化性能的同时,进一步拓宽其应用范围等是值得深入研究的课题。

目前富勒烯、碳纳米管、石墨烯、石墨相氮化碳等新型碳材料仍处于实验室研发阶段。石墨烯等新型碳材料产业的大门已经慢慢开启,随着产业链的逐步成熟,以石墨烯为代表的新型碳材料必将得到巨大的发展和应用。

我国碳材料研究与生产起步于解放初期。在前苏联的援助下,首先建设了以生产炼钢用石墨电极为主的吉林碳素厂和以生产电工用碳制品为主的哈尔滨电碳厂。电碳制品基本满足国内经济建设的需要。但我国的碳材料工业与先进国家相比,无论在规模、质量、工艺装备、管理、科研、应用开发等方面都存在一定差距,具体表现为品种少、档次低,产品质量不稳定,工艺装备落后,产品更新缓慢等。我国碳材料的科研水平从整体上来说落

后于美国、日本和欧盟等发达国家和地区。近年来,随着碳纳米管、石墨烯等纳米碳材料的兴起,我国碳素领域面临新的发展机遇,相关研究在世界上已经占据重要地位,并达到世界先进水平。因此,能否抓住这个机遇,保持优势,进一步发展,对我国未来的先进材料和高技术产业发展是一个关键考验。

本书旨在概述碳量子点(第2章)、石墨烯(第3章)、碳纳米管(第4章)、石墨相氮化碳(第5章)四种新型碳材料的最新研究状况、发展趋势,以及应用途径,并侧重于其在能源、催化、环保等化工领域的应用。编者曾于2010年应中国石化出版社的邀请,编写出版了“石油基碳质材料的制备及其应用”,该书主要阐述石油基碳质材料的原料、制备、性质及应用,其中的第九章为“多孔炭”,但未涉及其在储能等领域的应用。近年来,多孔炭等碳材料在储能领域的应用已成为一大研究热点,故本书将“石油基多孔炭”作为单独一章(第6章)。希望本书的出版能为我国新型碳材料学科和相关产业的发展贡献一份力量。

参 考 文 献

- [1] 吴明铂, 邱介山, 郑经堂, 等. 石油基碳质材料的制备及其应用[M]. 北京: 中国石化出版社, 2010, 1-10.
- [2] Jorio A, Dresselhaus G, Dresselhaus MS. Carbon nanotubes: advanced topics in the synthesis, structure, properties and applications [M]. Springer; 2008.
- [3] Saito S, Zettl A. Carbon Nanotubes: Quantum Cylinders of Graphene: Access Online via Elsevier; 2008.
- [4] 李贺军, 张守阳. 新型碳材料[J]. 新型工业化, 2016, 6(1): 15-37.
- [5] 王茂章, 贺福. 碳纤维的制造性质及应用[M]. 北京: 科学出版社, 1984.
- [6] 贺福, 王茂章. 碳纤维及其复合材料[M], 北京: 科学出版社, 1995: 115.
- [7] 成会明. 新型碳材料的发展趋势[J]. 材料导报, 1998, 1: 5-9.
- [8] 杨全红. “梦想照进现实”——从富勒烯、碳纳米管到石墨烯[J]. 新型炭材料, 2011, 26(1): 1-4.
- [9] 胡耀娟, 金娟, 吴萍, 等. 石墨烯的制备、功能化及在化学中的应用[J]. 物理化学学报, 2010, 26: 2073-2086.
- [10] Wenting Wu, Jinqiang Zhang, Weiyu Fan, et al. Xiaoming Li, Yang Wang, Ruiqin Wang, Jingtang Zheng, Mingbo Wu, Haibo Zeng. Remedying defects in carbon nitride to improve both photooxidation and H₂ generation efficiencies [J]. ACS Catalysis, 2016, 6: 3365-3371.
- [11] Jinqiang Zhang, Xianghui An, Na Lin, et al. Engineering monomer structure of carbon nitride for the effective and mild photooxidation reaction [J]. Carbon, 2016, 100: 450-455.
- [12] Wenting Wu, Liying Zhan, Weiyu Fan, et al. Cu-N dopants boosting electron transfer and photooxidation reaction of carbon dots [J]. Angewandte Chemie International Edition, 2015, 54(22): 6540-6544.