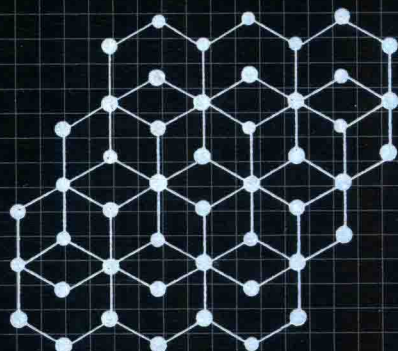
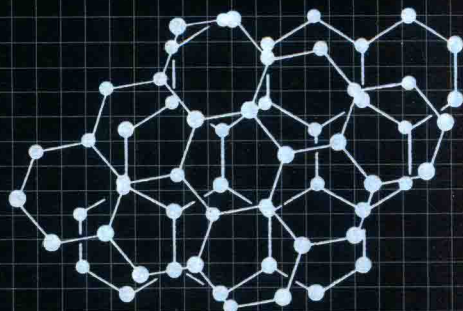
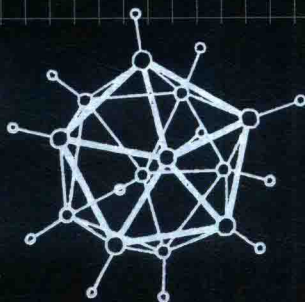




MANUFACTURING AND APPLICATION TECHNOLOGY OF ACTIVATED CARBON

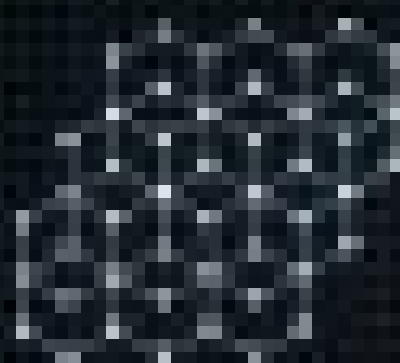
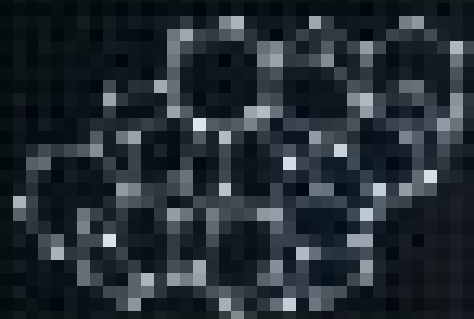
活性炭制造 与应用技术



蒋剑春
主 编



化学工业出版社



Environmental Science and Technology Series

活性炭制造 与应用技术

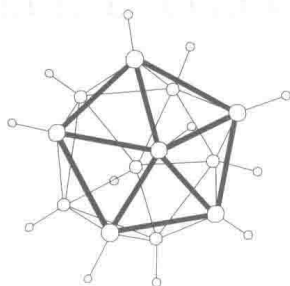
◎ 王 强 著



环境科学系列

MANUFACTURING AND APPLICATION TECHNOLOGY OF ACTIVATED CARBON

活性炭制造 与应用技术



蒋剑春
主编



化学工业出版社

· 北京 ·

本书对活性炭的主要特征、用途、吸附理论进行了简单介绍，重点阐述了化学法制备技术与装备、活性炭的再生技术和设备、活性炭在气相中的应用以及在医药、防辐射、电子行业等领域的应用，同时对活性炭产业的标准化提出了展望。

本书适合从事活性炭相关研究、生产、管理的人员使用，同时可供化工、材料、生物等相关专业的师生参考。

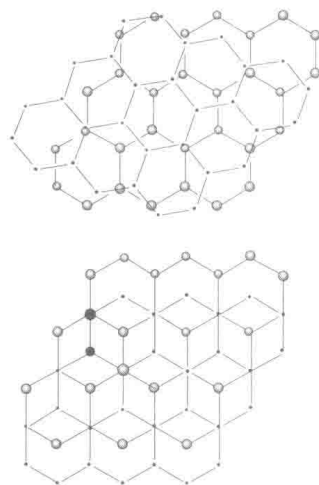
图书在版编目 (CIP) 数据

活性炭制造与应用技术/蒋剑春主编. —北京: 化学工业出版社, 2017. 10

ISBN 978-7-122-30602-9

I. ①活… II. ①蒋… III. ①活性炭-化工生产
IV. ①TQ424. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 221127 号



责任编辑: 张 艳 刘 军

文字编辑: 陈 雨

责任校对: 边 涛

装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)

印 刷: 三河市延风印装有限公司

装 订: 三河市胜利装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张 19¼ 字数 372 千字 2018 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

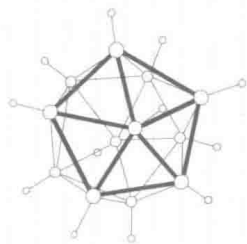
网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 98.00 元

版权所有 违者必究

MANUFACTURING AND APPLICATION TECHNOLOGY OF ACTIVATED CARBON



本书编写人员名单

主 编：蒋剑春

编写人员（按姓氏笔画排序）：

邓先伦 卢辛成 朱光真 刘石彩 孙 康

陈 超 郑志锋 周建斌 贾羽洁 蒋剑春

统 稿：孙 康

序 一

PREFACE

活性炭是一类重要的林产化工产品，因具有巨大的比表面积和优良的选择性吸附能力，在工业生产和人们的生活中发挥着不可或缺的作用。我国活性炭工业经历了 50 余年的发展，取得了令人瞩目的成绩，尤其在生产设备机械化、生产工艺自动化、生产过程清洁化、生产能耗节约化等诸多方面都取得了令人骄傲的成果，已经跨入世界活性炭行业的前列。我国活性炭年产量已超过 60 万吨，出口量占一半以上，是名副其实的世界活性炭生产和出口的第一大国。

活性炭，是一个历史悠久的产品；活性炭行业，是我国现代工业体系中一个新兴的工业。活性炭之所以能经久不衰，至今仍焕发着蓬勃的发展势头和活力，其应用领域已经从传统的制糖、制药、食品、轻工、医药、冶金、化工、兵工等领域，逐渐向着与人类生存环境息息相关的环保、净水、新能源、电子信息、原子能、生物工程、纳米新材料等高新科技领域渗透扩展，具有更为广阔的新用途。因此，无论在理论研究方面，还是在制造工艺、应用技术、产品开发和设备改进等方面，始终吸引着科技人员为不断加深对活性炭的认识而探索。

本书包含活性炭的主要特征、用途、吸附理论、制备方法、设备及应用等方面。内容丰富、充实、新颖、通俗易懂，还包含了作者的研究成果、经验与体会，具有重要的参考价值和实用价值。

往昔峥嵘，任重道远。我们相信，随着我国国民经济的不断发展和人们生活质量需求的不断提高，活性炭事业将会更加受到人们的关注，并产生更加广泛的影响。希望我国活性炭科研工作者加强技术创新、加快新产品研发，为推动世界活性炭及相关应用行业的进步和促进世界经济的发展做出更大的贡献。

中国工程院院士

中国林业科学研究院林产化学工业研究所研究员



活性炭作为一种孔隙结构发达、比表面积大、选择性吸附力强的炭质吸附材料，已经被广泛应用于军工、食品、冶金、化工、环保、医药等行业的精制和净化过程。随着近年来环境保护力度的加强、食品安全标准的提高、动力电池的兴起，活性炭的需求量越来越大，已经成为人们生活和工农业生产过程中不可或缺的重要产品。

世界活性炭制造与应用的历史已逾百年，我国活性炭工业的发展也走过了半个多世纪，并取得了令人瞩目的成就，我国已发展成为世界活性炭第一生产大国和出口大国，年产量超过 60 万吨，出口量逾 25 万吨。我国活性炭的制造起步于 20 世纪 50 年代初，生产能力从 1951 年的不足百吨猛增到 20 世纪 80 年代的近十万吨，且活性炭的应用范围迅速拓展，多种专用活性炭品种得到了发展；20 世纪 80 年代后，随着改革开放和国内经济迅速发展，活性炭生产和应用进一步递增，出口量迅速上升成为世界第一。近年来，储能、VOCs 捕集等新能源与环保行业对活性炭需求的增加，进一步激励了活性炭产业发展，开发出多种专用活性炭新品种，拓展了应用新领域。

本书全面介绍了国内外活性炭制造与应用新技术，以及作者多年在活性炭领域的主要科技成果，包括：活性炭概论、制造工艺和装备、应用技术、检测标准等九个部分，内容丰富、特色鲜明、通俗易懂，具有重要的参考价值和使用价值。对于更好、更快地促进我国活性炭事业的发展，必将产生积极的推动作用。

活性炭作为重要的林化产品，在国民经济各个领域发挥着不可替代的作用。今后，希望加强科研院所与活性炭生产企业的紧密联合，促进科技成果的转化，开发出质量高，应用广，更具国际竞争力的活性炭产品，为中国活性炭行业的科技进步，进军世界活性炭第一强国做出更大的贡献。

中国工程院院士
南京林业大学教授

張奇生

前言

FOREWORD

活性炭是由含碳原料经炭化、活化加工制备而成，具有发达的孔隙结构、较大的比表面积和丰富的表面化学基团，选择性吸附能力较强的碳材料。活性炭具有良好的再生性能，可以循环使用，在石油化工、食品、医药、军工乃至航空航天等领域均有广泛应用，已成为国民经济发展和国防建设的重要的吸附材料。近年来，随着环保、医药、储能等行业的快速发展，活性炭的市场需求不断增加，我国活性炭的生产量和出口量均已达到世界第一。

经过 30 多年的发展，活性炭领域开发了很多新的生产技术，如物理法-化学法活性炭一体化生产技术，活性炭工业生产中无公害化、低消耗、智能化的生产技术以及活性炭的再生生产技术等。同时，活性炭在气相吸附、液相吸附、能源储存和作为催化剂载体等方面的应用也取得很大的进展，全球活性炭行业具有广阔的发展前景。目前，活性炭的研制更多的是着眼于拓展应用领域，因此，有针对性地研制具有特殊吸附性能的活性炭新品种、根据吸附质的特征选择合适的活性炭及低成本制备方法、开发活性炭清洁再生工艺与设备以达到循环利用等方面均是重要的研究方向。

本书主要是基于活性炭研究领域技术发展成果，结合作者多年的研究和产业化经验编写而成。在对活性炭的主要特征、用途、吸附理论进行简单介绍的基础上，重点阐述了化学法制备技术与装置、物理法制备技术与装置、活性炭的再生技术和设备、活性炭在气相以及在医药、防辐射、电子行业等领域中的应用，同时对活性炭行业国内外相关标准进行了归纳整理，并对活性炭标准化工作提出了展望。

本书在编写过程中得到多位行业专家的指导和帮助，在此向他们表示衷心的感谢！感谢宋湛谦院士和张齐生院士为本书作序！

尽管笔者力求全面、深入地介绍活性炭的相关知识，但限于水平和时间，书中难免有疏漏和不妥之处，敬请读者批评指正！

蒋剑春

2017 年 8 月

第一节 活性炭的主要特征和用途 / 1

一、物理结构与分类 / 1

二、化学性质与功能 / 6

三、主要类别与用途 / 9

第二节 活性炭吸附基础理论 / 10

一、吸附的作用力 / 11

二、物理吸附和化学吸附 / 11

三、吸附等温线及其解析方法 / 12

四、吸附热效应 / 13

参考文献 / 17

第一章
概论

001

第一节 磷酸法活性炭制备技术与装置 / 19

一、原辅材料准备 / 19

二、制备工艺和活化装置 / 20

三、活化机理 / 25

四、物料与能耗平衡 / 28

第二节 氢氧化钾法活性炭制备技术 / 29

一、原材料准备及制备工艺 / 29

二、活化机理 / 30

第三节 氯化锌法活性炭制备技术与装置 / 30

一、原材料准备 / 30

二、制备工艺 / 31

三、活化机理 / 37

四、影响化学药品活化过程的主要因素 / 39

第四节 其他化学活化法 / 41

一、物理-化学活化法 / 41

二、化学-化学活化法 / 41

三、微波-化学活化法 / 41

参考文献 / 42

第二章
化学法制备
技术与装备

019

第一节 物理法机理简介 / 45

- 一、原料炭化 / 45
- 二、气体活化法过程简述 / 45
- 三、水蒸气活化法 / 46
- 四、二氧化碳活化法 / 47
- 五、氧气活化法 / 48
- 六、混合气体活化法 / 48
- 七、超临界活化法 / 48
- 八、热解活化法 / 49
- 九、其他物理活化法 / 50
- 十、活化反应影响因素 / 51

第二节 物理法工艺过程及生产装置 / 55

- 一、物理法的基本工艺过程 / 55
- 二、物理法工艺过程及相应生产装置 / 55
- 三、物理法生产活性炭过程中应注意的问题 / 66

参考文献 / 66

第三章 物理法制备 技术与装置

045

第一节 活性炭再生原理简述 / 70

第二节 活性炭热再生技术 / 72

- 一、活性炭开始再生时间的确定 / 73
- 二、活性炭再生条件 / 74
- 三、活性炭的再生系统 / 74

第三节 活性炭酸碱药剂再生 / 76

第四节 活性炭的其他化学再生技术 / 77

- 一、湿式氧化再生法 / 77
- 二、臭氧氧化再生法 / 79
- 三、电化学再生法 / 79
- 四、溶剂再生法 / 80

第五节 活性炭的其他再生方法 / 81

- 一、生物再生法 / 81
- 二、光催化再生法 / 82
- 三、超临界流体再生法 / 83

第四章 活性炭的再生 技术和设备

069

四、微波辐射再生法 / 83

五、超声波再生法 / 84

第六节 工业性再生装置种类及其特点 / 85

第七节 活性炭再生的评价 / 91

第八节 再生的经济性 / 92

参考文献 / 94

第一节 影响活性炭液相吸附的主要因素 / 97

一、活性炭添加量 / 98

二、时间 / 98

三、温度 / 99

四、酸碱度 / 99

五、作业方式 / 100

第二节 活性炭在制药工业中的应用 / 100

一、维生素 / 101

二、抗生素 / 102

三、去致热原 / 103

四、激素 / 104

五、活性炭直接用于医疗 / 105

第三节 活性炭在食品工业中的应用 / 106

一、蔗糖 / 106

二、葡萄糖 / 107

三、乳酸 / 107

四、柠檬酸 / 108

五、味精 / 108

六、食用油脂 / 109

七、酒类 / 110

第四节 活性炭在水处理中的应用 / 111

一、上水的活性炭处理 / 111

二、下水的活性炭处理 / 114

三、活性炭水处理中的应用实例 / 122

参考文献 / 127

第一节 工业气体分离精制过程中的应用 / 130

- 一、工业气体的精制分离方法 / 130
- 二、活性炭在工业气体分离精制中的应用 / 133
- 三、其他气体的来源与处理 / 138
- 四、展望 / 140

第二节 有毒有害气体的净化处理 / 140

- 一、概述 / 140
- 二、应用实例 / 142

第三节 挥发性有机溶剂的吸附回收利用技术 / 149

- 一、溶剂回收的概要 / 149
- 二、用活性炭吸附的溶剂回收 / 150
- 三、活性炭回收溶剂技术在我国的应用 / 160

第四节 室内用活性炭的功能和应用 / 161

- 一、室内污染源种类、危害及来源 / 161
- 二、常用室内空气处理方法 / 164
- 三、活性炭吸附原理 / 165
- 四、活性炭的特殊功能及室内应用 / 165

第五节 活性炭在储能技术中的应用 / 173

- 一、活性炭的储氢技术 / 175
- 二、活性炭与电化学 / 178

参考文献 / 181

第六章 Chapter 6

活性炭在气相中的应用

130

第一节 概述 / 185

- 一、活性炭的催化作用 / 185
- 二、活性炭作为催化剂和催化剂载体的特性与改性 / 188

第二节 活性炭作为催化剂的应用 / 190

- 一、卤化及脱卤化反应 / 191
- 二、氧化及氧化脱氢反应 / 192

第三节 工业应用的活性炭催化剂 / 194

- 一、活性炭在排烟脱硫中的应用 / 194
- 二、活性炭在制浆白液氧化中的应用 / 200

第七章 Chapter 7

活性炭作为催化剂和催化剂载体的应用

185

三、活性炭在分解臭氧中的应用 / 203

第四节 负载型活性炭的制备及应用 / 207

一、催化剂载体 / 207

二、活性炭作为催化剂载体的条件 / 208

三、活性炭作为催化剂载体的影响因素 / 210

四、负载型活性炭的制备方法 / 212

五、负载型活性炭催化剂的应用技术 / 214

第五节 生物活性炭的制备与应用 / 220

一、生物活性炭的定义与特征 / 220

二、生物活性炭的制备 / 222

三、生物活性炭的应用 / 223

四、生物活性炭中微生物的机能与定量 / 228

五、生物活性炭的再生 / 229

六、今后的展望 / 230

参考文献 / 230

第一节 医用活性炭 / 238

一、治疗外伤 / 238

二、作口服药使用 / 239

三、活性炭在癌症治疗方面的应用 / 242

四、血液净化 / 245

五、在其他方面的应用 / 249

六、活性炭在医学应用的展望 / 250

第二节 防辐射用活性炭 / 250

一、概述 / 250

二、放射性碘的捕集 / 253

三、放射性稀有气体 / 259

四、活性炭类捕集材料及现存的问题 / 263

第三节 电子行业用活性炭 / 265

一、碳材料的电学性能 / 265

第八章

活性炭应用的新领域

238

二、活性炭在双电层电容器方面的应用 / 270

三、碳材料在电极材料方面的应用 / 273

第四节 纳米活性炭的制备和应用 / 273

一、纳米技术及纳米材料的特征 / 273

二、纳米碳材料 / 275

三、纳米活性炭纤维及其制备 / 278

四、纳米活性炭纤维的应用 / 282

第五节 新型活性炭材料 / 285

一、碳材料的多样性 / 285

二、新型碳材料 / 286

三、活性炭材料的多样性 / 287

参考文献 / 294

第一节 国内活性炭标准 / 298

一、产品标准 / 298

二、木质活性炭试验方法 / 299

三、煤质活性炭试验方法 / 300

第二节 国外活性炭标准 / 301

一、ASTM 标准 / 301

二、JIS/JWWA 标准 / 302

三、ANSI/AWWA 标准 / 302

四、韩国标准 / 302

五、德国标准 / 302

六、法国标准 / 302

七、俄罗斯标准 / 302

第三节 其他行业有关活性炭标准 / 302

第四节 活性炭标准化工作展望 / 303

一、活性炭产业标准化建设 / 303

二、活性炭标准化发展趋势 / 304

第九章 活性炭标准

298

活性炭是具有发达的孔隙结构、比表面积大、选择性吸附能力强的碳材料。在一定的条件下，对液体或气体中的某一或某些物质进行吸附脱除、净化、精制或回收，实现产品的精制和环境的净化。Rapheal von Ostrejko 于 1900 年申请了英国专利 B. P. 14224 和 B. P. 18040，首先研究开发了 CO_2 或者水蒸气活化反应生产具有吸附能力的活性炭，并且成功应用于防毒面具中。1911 年，奥地利的 Fanto 公司和荷兰 Norit 公司首先生产糖液脱色用粉状活性炭。时至今日，活性炭已广泛应用于军工、化工、食品、轻工、医药、制药、环保和水处理等工业和生活的各个方面。随着科学技术的发展和人们生活水平的提高，活性炭已经成为现代工业、生态环境和人们生活中不可或缺的炭质吸附材料^[1,2]。

活性炭主要是以木炭、木屑、各种果壳(椰子壳、杏壳、核桃壳等)、煤炭和石油焦等高含碳物质为原料，经炭化活化而制得的多孔性吸附剂。活性炭基本上是非结晶性物质，它由微细的石墨状结晶和将它们联系在一起的碳氢化合物部分构成。其固体部分之间的间隙形成孔隙，赋予活性炭所特有的吸附性能^[3]。

第一节 活性炭的主要特征和用途

一、物理结构与分类

1. 物理结构

(1) 活性炭的基本晶体结构 活性炭是以碳为主要成分的吸附材料，结构复杂，既不像石墨、金刚石那样具有碳原子按一定规律排列的分子结构，又不像一般炭化物那样具有复杂的大分子结构。一般认为活性炭是由类似石墨的碳

微晶和非晶质炭相互连接构筑成活性炭的块体和孔隙结构。X 射线衍射分析表明，活性炭的结构中包含石墨微晶，这些微晶排列不规则，尺寸为 1~3nm。根据瑞利(Riley) 的 X 射线分析数据，除了石墨微晶外，活性炭还含有无定形碳，由石墨微晶和无定形碳所构成的多相物质决定着活性炭独特的结构。

在石墨结构中，碳原子以 sp^2 杂化成键，剩余的一个 p 轨道相互平行重叠，形成大 π 键，进而形成石墨的平面网状结构，平面结构之间平行而规律性地排列着(面网之间的作用力为范德华力)，形成规整的三维结构，其中，C—C 键的长度为 0.142nm，面网间距为 0.335nm，其结构如图 1-1(a) 所示，所以石墨具有导电、导热和润滑性能等特性[4,5]。

活性炭基本上是非结晶性碳，它由微细的石墨状微晶和将它们连接在一起的碳氢化合物部分组成。活性炭最初的原料如木材、煤等，经炭化、活化等过程后，活性炭中部分碳原子之间已形成了微晶碳(活性炭的基本结晶)，但是其面网结构却没有采取石墨那样规则性的积层结构，而是形成图 1-1(b) 那样的乱层结构。除微晶碳外，活性炭前驱体经炭化、活化等过程后仍然有部分未晶化的碳，活性炭被认为是由微晶群和其他未组成平行层的单个网状平面以及无规则碳组成的多相物质[6~8]。

目前，在 X 射线衍射分析的基础上，已发现活性炭的微晶碳有两种不同的结构，一种是类石墨结构的微晶碳，其大小随炭化温度而变化，大小约由三个平行的石墨层所组成，其宽度约为一个碳六角形的九倍，它与石墨相比，微晶碳中平面面网之间排列不整齐，称为“乱层结构”，与石墨结构的比较如图 1-1 所示；另外一种微晶碳是由于石墨网结构之间的轴向不同，面网之间的间距也不整齐，或石墨层间扭曲，可能因杂原子(如氧、氮等) 的进入而稳定，碳六面网被空间交联而形成无序的结构。Riley 认为，在大部分碳材料中(包括活性炭) 均含有这两种结构类型，而活性炭的最终特性则取决于它是以哪种类型的结构为主。

富兰克林把除金刚石以外的碳素物质分为容易石墨化的易石墨化碳素和难

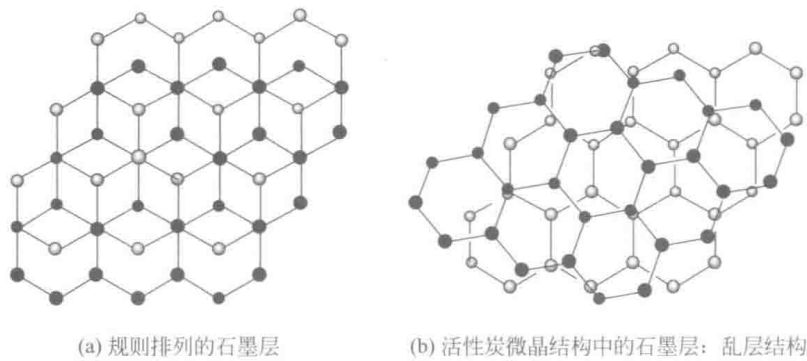


图 1-1 石墨与活性炭的基本结构和区别