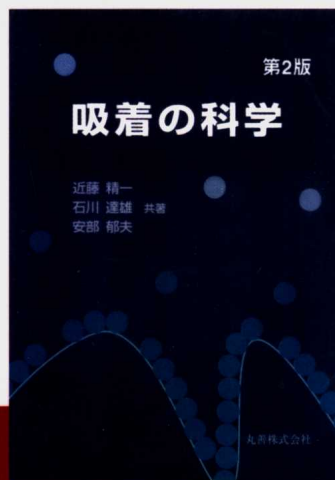


吸 附 科 学

(原著第二版)

近藤精一
〔日〕石川达雄 著
安部郁夫
李国希 译

Chemical Industry Press



化学工业出版社

吸 附 科 学

(原著第二版)

[日] 近藤精一 石川达雄 安部郁夫 著
李国希 译



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

吸附科学: 第2版/[日] 近藤精一, [日] 石川达雄, [日] 安部郁夫著. —北京: 化学工业出版社, 2005.10
ISBN 7-5025-7785-8

I. 吸… II. ①近…②石…③安… III. 吸附-日文 IV. 0647.3

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 153043 号

吸着の科学, 第2版/近藤精一 石川达雄 安部郁夫
ISBN 4-621-04843-0

Copyright © 2001/by Seiichi Kondo, Tatsuo Ishikawa, Ikuo Abe. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by Maruzen Co. Ltd.

本书中文简体字版由丸善株式会社授权化学工业出版社独家出版发行。
未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2005-2972

吸 附 科 学

(原著第二版)

[日] 近藤精一 石川达雄 安部郁夫 著

李国希 译

责任编辑: 窦 臻

文字编辑: 孙凤英

责任校对: 边 涛

封面设计: 潘 峰

*

化学工业出版社 出版发行

(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)64918013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京云浩印刷有限责任公司印刷

三河市东柳装订厂装订

开本 850mm×1168mm 1/32 印张 9¼ 字数 181 千字

2006年1月第1版 2006年1月北京第1次印刷

ISBN 7-5025-7785-8

定 价: 28.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

中文版序

经过湖南大学化学化工学院教授李国希先生的辛勤努力,《吸着の科学》(吸附科学)中文版问世了。我们感到特别高兴。从20世纪中叶开始,界面科学逐渐成为一个独立完整的体系,取得了显著发展,吸附科学也发展成为界面科学的核心。我们相信《吸着の科学》也为吸附科学的发展做出了贡献。在今天,吸附科学正在发展成为纳米技术的基础。

日本和中国是一衣带水的近邻,从古时候的鉴真和尚开始,就有很深、很广的人员交流,创造了友好往来的历史。

今天,我们正在同心协力地努力增进民族和文化交流。为了我们的子孙,让我们共同保护地球自然的、健康的和谐吧!

近藤精一

2005年9月4日

译者前言

本书译自 2001 年日文《吸着の科学》（吸附科学）第二版。

原著作者长期从事有关吸附科学的研究，具有很高的学术造诣，是日本著名的科学家。近藤精一为福井工业大学工学部教授、大阪教育大学名誉教授、理学博士，石川达雄为大阪教育大学教育学部教授、理学博士，安部郁夫为大阪市立工业研究所研究主干、工学博士。

《吸着の科学》（吸附科学）是日本最畅销的科技书籍，获得了广大读者的好评。日文第一版于 1991 年发行，共印刷 6 次；第二版已经印刷 4 次。第二版对第一版进行了大幅度修改，删除了部分内容，文字更简洁，内容更充实、更新颖，增加了表面及细孔解析法、吸附量测定法、表面表征方法和吸附剂等方面的最新研究成果。

人们从 1770 年就开始对界面科学的主要内容——吸附现象进行科学观察和研究。随着吸附科学的不断发展，吸附科学现在已经广泛应用于日常生活、环境、能源和产业等各个领域，成为不可缺少的重要技术。但是，在我国，关于吸附科学的专业书极少，且著书年代久远。希望《吸附科学》中文版的问世，能对我国界面科学发

展有一定的促进作用。

《吸附科学》详细介绍了吸附的基本概念、吸附作用力、吸附等温线及其测量方法、气相吸附、液相吸附、固体表面和吸附状态的研究方法、常见吸附剂等内容。着重阐明吸附的基本概念、基本理论和基础知识，并尽力吸取当今吸附科学研究的最新成果，使读者能立足于科学发展的前沿，饶有兴趣地掌握吸附科学的基础知识。

本书内容包括基础和应用，可供与界面科学有关的科研和工程技术人员参考，也可作化学、化工、材料和环境科学等学科的研究生和高年级大学生的教学参考书。

本书尽可能按照原文直译，力求通俗易懂。对专业词汇尽量避免音译，有些还标明英文以便读者能更好地理解。纠正了原版中的印刷错误。为了保持图表和实验数据的准确性，仍沿用原版的计量单位。

本书得到了日本丸善株式会社和作者的大力支持，近藤精一和石川达雄教授还对译者在翻译过程中的疑问给予了详细解答。湖南大学刘洪波教授对本书的出版、翻译做了许多工作。化学工业出版社给予了大力支持。译者深表谢意。

虽然在翻译过程中力求精益求精，但限于外语和知识水平，谬误之处在所难免，敬请广大读者批评指正。

李国希

2005年8月

第二版前言

如本书第一版前言所述，人类从石器时代就开始利用吸附现象，吸附是一门非常古老的技术。从 20 世纪中叶开始，随着固体表面和吸附科学研究的飞速发展，现代物质科学已经成为一门综合研究物质内部结构、表面结构及其物理化学性质的独立学科。现代物质科学不仅研究物质内部结构，而且把吸附作为中心研究课题。现在，利用吸附技术的领域显著扩大，吸附科学已渗透到电气、机械、建设、农业、水产、环境、医学、生物学、气象、海洋、宇宙等所有的科学、技术和工业领域中，吸附科学显著提高了制造业的技术水平及产品质量。今后随着产业技术的进一步发展，必将应用更多的吸附科学研究成果。

因此，即便是物质科学专业以外的科技人员也必须掌握吸附科学知识。但是，在最近的大学教育中，即使是物质科学专业也很少把界面科学作为基础科学的一个分支列入教学内容，所以没有界面科学素养的科技工作者越来越多。

鉴于此，1991 年我们针对物质科学专业以外的科技

工作者和广大学生撰写了这本《吸附科学》，以使他们能够掌握作为基础科学之一的吸附的基础知识及其最新发展。

在过去的 10 年中，广大读者对本书提了许多宝贵意见。同时，吸附科学也在不断发展，发生了很多引人注目的变化，所以很有必要对第一版进行大幅度修改。第二版删除了第一版的部分内容，文字更加简洁，使读者能够更加容易理解吸附科学的基础知识。内容也更加充实、新颖，增加了表面及细孔解析法、吸附量测定法、表面表征方法、吸附剂等方面的最新研究成果。第二版仍由本书第一版的三名作者执笔。

我们希望广大读者能饶有兴趣地阅读本书，为科学技术的不断繁荣进步做出贡献。我们也期待广大读者对本书多多指教。

作者代表 近藤精一

2001 年新春

第一版前言

人类从石器时代就开始利用吸附现象，吸附技术的历史非常悠久。从 20 世纪中叶开始，由于固体表面和吸附科学研究的迅猛发展，对物质的内部结构和吸附现象（以表面和表面现象为主要研究对象）的认识不断加深，人们能够从内部和表面两个方面综合认识物质和利用物质，使得吸附技术的应用范围显著扩大。吸附科学不仅应用于与无机化学、有机化学相关的科学和工业领域，还广泛渗透到电气、电子、机械、建设、农业、水产等产业和医学、生物学、气象、海洋、宇宙等所有的科学技术领域，吸附科学显著提高了制造业的技术水平和产品品质。随着今后产业技术的进一步发展，必将应用更多的以吸附现象为中心的界面科学的研究成果。

吸附原来只是化学的一个分支——胶体界面化学的一部分，可是现在同物质科学的许多领域都具有很紧密的联系。因此，化学以外的广大科技工作者也需要掌握很深的界面吸附知识。但是，在最近，即使是大学的化学系，也很少把界面科学作为基础科学的教学内容。没有界面科学素养的科技工作者越来越多。因此，必须改

变这种局面。

在日本，有关吸附的专业书很多，在国际上也是高深的专业书居多，这些专业书不太适合初学者及非化学专业的读者。此外，这些书的重点是工业吸附装置等化学工程，且大部分著书的年代久远，反映最近吸附科学研究新发展的书籍很少。

鉴于上述情况，由近藤精一、石川达雄和安部郁夫三人共同执笔撰写了这本介绍最近的吸附现象的基础科学的解说书，面向广大科技人员、研究生和大学生。本书力求通俗易懂，即便读者以前没有接受过专门的化学教育也能轻松阅读。以前的著书大多以固相-气相界面吸附为主，但是最近固相-液相吸附现象的研究也取得了进步，工业上也广泛利用液相吸附，因此本书除介绍气相吸附外，也着力介绍了液相吸附现象。如蒙广大读者能兴趣盎然地阅读本书，将是我们莫大的荣幸。

近藤精一

1991年5月

内 容 提 要

本书详细介绍了吸附的基本概念、吸附作用力、吸附等温线及其测量方法、气相吸附、液相吸附、固体表面和吸附状态的研究方法、常见吸附剂等内容。着重阐明了吸附的基本概念、基本理论和基础知识，反映了吸附科学的最新研究成果及其发展。

本书内容包括基础和应用，是通俗易懂的入门书。可供从事与界面科学有关的科研和工程技术人员参考，也可作化学、化工、材料和环境科学等学科的研究生和高年级大学生的教学参考书。

目 录

第 1 章 吸附现象 1

1.1 发展历史	1
1.2 吸附现象的利用	4
1.3 吸附概念	6
1.4 固体表面形状	8
1.5 表面的物理化学状态	9
1.6 多孔体和细孔	13
参考文献	15

第 2 章 吸附作用 17

2.1 London 色散力	17
2.2 偶极子相互作用	18
2.3 四极子相互作用	19
2.4 静电力	20
2.5 电荷转移相互作用	25
2.5.1 氢键	25
2.5.2 酸、碱、 π 轨道相互作用	27
2.6 表面修饰	28
2.7 细孔吸附	30

第3章 吸附等温线 31

3.1 吸附等温线的类型	32
3.2 非多孔体的吸附式及其吸附理论	35
3.2.1 Henry 吸附式	35
3.2.2 Freundlich 吸附式	36
3.2.3 Langmuir 理论	37
3.2.4 BET 吸附理论	40
3.2.5 根据 BET 理论测定比表面积	45
3.2.6 Polanyi 吸附理论	49
3.2.7 Frenkel-Halsey-Hill (FHH) 吸附理论 ..	51
3.2.8 标准吸附等温线	53
3.3 气体在中孔和微孔内的吸附	57
3.3.1 t 图法	57
3.3.2 α_s 图法	60
3.3.3 毛细管凝聚	63
3.3.4 中孔和大孔的吸附滞后	65
3.3.5 中孔和大孔吸附滞后的类型	69
3.3.6 总孔容积	70
3.3.7 孔径分布的分析方法	72
3.3.8 大孔解析法	81
3.4 微孔填充	84
3.4.1 微孔和 I-B 型等温线	85
3.4.2 微孔内的势场	86
3.4.3 微孔解析	87
3.4.4 低压区的吸附滞后	96
3.5 混合气体吸附	96

3.6 吸附速度	101
3.6.1 吸附速度公式	101
3.6.2 吸附速度和扩散	103
参考文献	111

第4章 液相吸附 115

4.1 液相吸附作用和吸附等温线	115
4.1.1 液相吸附作用	115
4.1.2 吸附等温线及其计算方法	118
4.2 平衡吸附式	119
4.2.1 含一个常数的吸附公式	120
4.2.2 含两个常数的吸附公式	120
4.2.3 含三个或更多个吸附常数的 吸附公式	125
4.2.4 Gibbs 吸附式	127
4.3 液相吸附理论	128
4.3.1 Polanyi 吸附势	128
4.3.2 净吸附能法	130
4.4 液相双组分吸附	134
4.5 液相吸附等温线的分类	135
4.5.1 稀溶液中的吸附等温线	135
4.5.2 复合吸附等温线的分类	137
4.6 多组分溶质吸附	139
4.6.1 基于 Langmuir 公式和 Freundlich 公式 的方法	140
4.6.2 Radke-Prausnitz 方法	141

4.6.3 未知组分混合体系的吸附	144
4.7 吸附速度	146
4.7.1 粒子内有效扩散系数的估算方法	147
4.7.2 细孔扩散和表面扩散	150
4.8 憎水性吸附	152
4.8.1 有机化合物的物理常数和吸附性能 的关系	153
4.8.2 吸附等温线的估算方法	164
4.8.3 憎水性吸附剂的细孔结构和吸附 性能	166
4.9 高分子吸附	168
4.9.1 吸附形态	168
4.9.2 高分子吸附特征	170
4.9.3 蛋白质吸附	172
参考文献	174

第5章 吸附等温线的测定方法 ——177

5.1 试样预处理	177
5.1.1 预处理的保护气氛	178
5.1.2 抽真空	178
5.1.3 气体净化	179
5.1.4 测定试样的质量	179
5.1.5 容量法和重量法	180
5.1.6 双组分混合气体中各个单组分吸附等温线 的同时测定	182
5.2 容量法测量装置	182

5.2.1	试样池	185
5.2.2	压力传感器	185
5.2.3	液氮面的控制	186
5.2.4	气体非理想性的校正	187
5.2.5	自动吸附测量装置	188
5.3	重量法	190
5.3.1	石英弹簧法及其自动化	191
5.3.2	各种电子天平	193
5.3.3	磁悬浮天平	193
5.4	流动法	195
5.4.1	一点法	195
5.4.2	连续流动法	196
5.5	液相吸附的测量方法	196
5.5.1	吸附量的测量方法	196
5.5.2	吸附速度的测量方法	198
5.5.3	比表面积的测量方法	198
	参考文献	200

第6章 固体表面和吸附状态的表征 — 201

6.1	热力学方法——吸附热和脱附热	202
6.1.1	吸附等量线法	202
6.1.2	直接测定法	203
6.1.3	浸湿热（或润湿热）	205
6.1.4	热分析法	207
6.2	分光光度法	208
6.2.1	电导率	208

6.2.2	分子光谱	209
6.3	磁共振	216
6.3.1	原理	216
6.3.2	核磁共振	218
6.3.3	电子自旋共振	218
6.4	抗磁化率	219
6.5	各种显微镜	219
6.5.1	透射电子显微镜	219
6.5.2	扫描电子显微镜	220
6.5.3	扫描探针显微镜	220
6.6	润湿	221
6.7	粒子直径	222
6.7.1	沉降法	222
6.7.2	瑞利 (Rayleigh) 散射法	222
6.7.3	X 射线衍射峰半高宽	223
6.7.4	X 射线、中子射线的小角度散射和衍射	223
6.7.5	电导率法	223
6.7.6	流体流动阻力法	224
6.7.7	表面积法	224
6.8	组合化学	224
	参考文献	225

第 7 章 常用吸附剂 227

7.1	活性炭	228
7.1.1	活性炭的制造方法	228
7.1.2	活性炭的结构	232
7.1.3	实用吸附装置	234