

21世纪化学丛书

能源化学

陈军 陶占良 编著



Chemical Industry Press

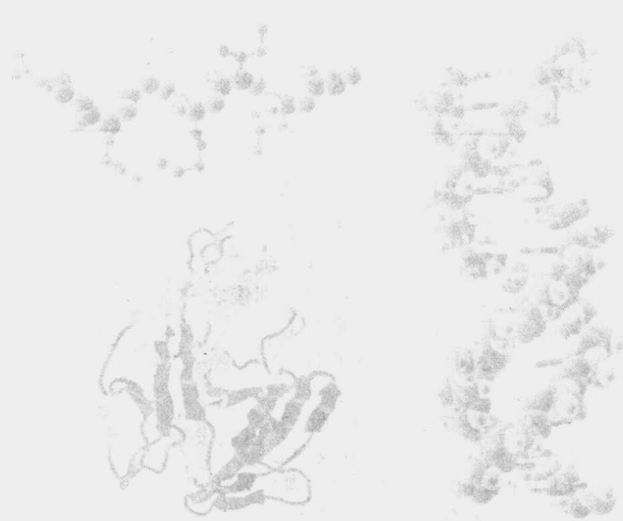


化学工业出版社
化学与应用化学出版中心

21世纪化学丛书

能源化学

陈军 陶占良 编著



化学工业出版社

化学与应用化学出版中心

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

能源化学/陈军, 陶占良编著. —北京: 化学
工业出版社, 2004. 3
(21 世纪化学丛书)
ISBN 7-5025-5250-2

I. 能… II. ①陈…②陶… III. 能源-化学
IV. TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 016925 号

21 世纪化学丛书

能源化学

陈 军 陶占良 编著
责任编辑: 陈 丽 刘俊之
责任校对: 洪雅姝
封面设计: 蒋艳君

*

化学工业出版社 出版发行
化学与应用化学出版中心
(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)
发行电话: (010) 64982530
<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销
聚鑫印刷有限责任公司印刷
三河市延风装订厂装订
开本 720 毫米×1000 毫米 1/16 印张 19 字数 332 千字
2004 年 3 月第 1 版 2004 年 3 月北京第 1 次印刷
ISBN 7-5025-5250-2/O·44
定 价: 30.00 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

21 世纪化学丛书

主 编：陈洪渊

副主编：郭子建 黄晓华

编 委：(以姓氏笔画为序)

王晓蓉	冯绪胜	吉 民	江 波	孙为银
李 惟	李铁津	吴辉煌	陆 云	陈 军
周志华	顾雪蓉	徐进宜	郭纯孝	颜肖慈
薛宽宏				

序

化学作为一门基础学科，其专业门类日臻完善；学科内、外渗透融合更趋紧密；新型交叉学科层出不穷。当今化学的研究内容不断突破传统化学的范畴，涉及范围日益广泛；方法手段愈加先进。从应用层面看，化学已深入到国民经济和人民生活的各个方面，成为改善产业结构，推动经济发展，提高人民生活质量和满足社会多元化需要的重要因素。与此同时，化学领域的发展和突破使其凸显出核心科学的地位。

为了更好地把握发展机遇，适应科教兴国、科技卫国发展战略的要求，适应我国经济建设的需要，造就具有基础扎实、知识广博、富有创新精神的复合型人才，化学工业出版社计划组织出版一套《21世纪化学丛书》，并专门成立编委会，确定撰写这套丛书的宗旨和选题方向，并负责推荐各书撰写的专家。这套丛书内容包括材料化学、能源化学、催化化学、配位化学、纳米化学、胶体化学、界面化学、光化学、电化学、天然有机化学、药物化学、高分子化学、凝胶化学、计算化学、组合化学、环境化学、生物化学、食品化学等方面，着重介绍化学各分支学科领域的发展前沿，遵循学科继承、发展与创新的原则，突出反映其中的新知识、新成果、新应用和新趋势的“四新”内容，兼收并蓄，不拘一格，旨在体现化学科学的前瞻性、创见性、科学性和代表性以及学科间的交叉与渗透，力图使其成为一套内容丰富、体系完善、结构严谨、取材新颖的系列丛书。本丛书将由化学工业出版社陆续出版。

参与该丛书编撰的作者在各自的分支领域均具有丰富的科研积累与教学经验，他们创新的科学精神和认真的求实态度，将使该丛书各分册特色鲜明，各具风采。该丛书既介绍学科前沿的研究成果和进展，又反映学科的系统性和覆盖面，务使提高与普及兼顾，基础与实用并重。我们期望该丛书成为化学、化工、材料、环境、生命、医药卫生等相关领域的大专院校师生，科研院所的技术人员，政府和企业部门的管理人员以及其他各领域的化学爱好者有实用价值的综合参考书。

我们相信，通过编委和作者的共同努力，在广大科研和教学人员的积极参与和支持下，《21世纪化学丛书》的出版，将成为更多青年步入化学领域的桥

梁和阶梯，给广大读者带来有用的知识和有益的启示，为我国化学事业的发展起积极的推动作用。

由于编者的水平和时间所限，本丛书各册中不妥之处在所难免，敬请广大读者批评指正并积极建议，以使后续的分册越出越好。

编委会

2004年2月

前 言

能源是人类生存和发展的重要物质基础，是人类从事各种经济活动的原动力，也是人类社会经济发展水平的重要标志。能源、材料与信息被称为现代社会繁荣和发展的三大支柱，已成为人类文明进步的先决条件。从人类利用能源的历史中可以清楚地看到，每一种能源的发现和利用都把人类支配自然的能力提高到一个新的水平。能源科学技术的每一次重大突破也都带来世界性的产业革命和经济飞跃，从而极大地推动着社会的进步。国家的经济发展中能源先行，而能源供应水平（包含能源的人均占有量、能源构成、能源使用率和能源对环境的影响因素等）也标志着一个国家的发达程度。

能源的分类方法有很多种，按其形成方式不同可分为一次能源和二次能源，按其可否再生可分为可再生能源和非再生能源，按其使用成熟程度不同可分为新能源和常规能源，按其使用性质不同可分为含能体能源和过程性能源，按其是否作为商品流通可分为商品能源和非商品能源，按其是否清洁可分为清洁（绿色）能源和非清洁能源。以可再生能源和非再生能源为例，前者包括太阳能、生物质能、水能、氢能、风能、地热能、海洋能等，而后者包括煤炭、石油、天然气等化石能源。

化学作为一门中心科学与化学工业作为一门关键技术已在 20 世纪为人类的科学发展和社会进步做出了重大贡献。能源化学作为化学的一门重要分支学科，是利用化学与化工的理论与技术来解决能量转换、能量储存及能量传输问题，以更好地为人类生活服务。“物质不灭，能量永恒”。但物质可以从一种形式转化为另一种形式，而能量也可以从一种能量转化为另一种能量。在这些转化、转换过程中，能源化学因其化学反应直接或通过化学制备材料技术间接实现能量的转换与储存。

化学变化都伴随着能量的变化。而能源的使用实质就是能量形式的转化过程。能量转化包括同种能量转化和不同种能量转化，又包括能量的直接转化和间接转化。化学反应是能量转化的重要技术。能量的化学转化主要利用热化学反应、光化学反应、电化学反应和生物化学反应等。例如，化学电源中的燃料电池是一种避开卡诺循环的发电装置，可通过电化学反应将化学能直接、高效、清洁地转化为电能，因而燃料电池被认为是今后首选的洁净高效发电技术。

中国现代能源工业的出现至今虽已有百年的历史，但是在鸦片战争之后，旧中国在相当长的时期内一直处于半封建半殖民地的社会状态，工业化进程非常缓慢，经济和社会发展水平低下，商品能源的开发利用水平也很低。

新中国建立以来，中国能源工业在许多领域已接近或赶上世界先进水平。中国自然资源总量排世界第七位，能源资源总量居世界第三位，水力的可开发装机容量居世界首位。新能源与可再生能源资源丰富，而太阳能、生物质能、海洋能等储量更是属于世界领先地位。目前中国能源工业已经形成了以煤炭为主、多能互补的能源生产体系。中国的一次能源消费已排在世界第二位。但因我国人口众多，能源资源相对匮乏，且分布极不均衡，人均能源资源占有量不到世界平均水平的一半，石油仅为 1/10。因此，为保持可持续发展战略，一方面要充分利用已有的能源供应体系，另一方面又要积极开发新能源与可再生能源。

能源的高效、清洁利用将是 21 世纪化学科学与工程的前沿性课题，这也正是能源化学面临的光荣而又艰巨的任务。

化石能源要高效与清洁生产，材料需不断改进；核能要得到不断发展，材料是关键之一；可再生能源（特别是太阳能、氢能、生物质能）的利用虽然诱人，材料是瓶颈。能源生产与节能的先进技术无一不建立在新材料不断发展的基础之上。新能源的发展一方面靠利用新的原理（如核聚变反应、光伏效应、酶催化等）发展新的能源系统，另一方面还必须靠新材料的开发与应用，才能使新的系统得以实现，并进一步提高效率，降低成本。因此，新能源材料已成为材料、化学、物理、生物、能源、环境等诸多学科相互交叉渗透的热点研究领域。新能源材料的最大特点是在提供能量的高效转化与储存时实现清洁生产，即充分利用参与反应的原料原子实现“零排放”，以获得最佳原子经济性，因而新能源材料对解决能源危机及其所造成的环境污染起着关键作用。而新能源材料的组成与结构、合成与加工、性质与现象、使用性能等都是以能源化学为基础出发点。因此，能源化学不论是在常规能源的综合利用还是在新能源的研究开发中均担当重任。

应该指出，我国广大的科技工作者在能源化学领域开展了比较深入、系统的研究，并取得了许多新成果，从而为国家发展及科技进步做出了重要贡献。为适应未来能源发展的需求，很有必要对现有的能源知识进行总结。作者在总结国内外最新能源科学研究成果的基础上，结合自己的科研成果与积累，探索性地编写了这本《能源化学》。本书包含 10 章，分别介绍能源、煤炭、石油、天然气、太阳能、氢能、核能、生物质能、地热能及燃料电池。本书较全面地反映了国内外能源及能源化学领域的基本概念、基本理论等基本知识，概括了

其研究、开发、应用及前景。希望本书有助于读者较好地了解能源化学所起的关键作用及进行新能源开发的必要性。

作者对南京大学化学化工学院陈洪渊院士之推荐及化学工业出版社之约深表感谢，对课题组李锁龙、徐丽娜等同志在资料整理及编写过程中的大力帮助也要说谢谢，同时对教育部、国家自然科学基金委员会、南开大学给予的支持深表谢意，最后对给予本书以启示及参考的有关文献作者及多功能化信息网络予以致谢。

科技发展日新月异，文献浩如烟海，难以全面收集与一一注明，再由于编著者水平有限，书中难免有疏漏与不妥之处，敬请专家与读者予以批评指正。

编著者

2004年1月于天津

内 容 提 要

本书是《21世纪化学丛书》的一个分册。本书主要介绍能源化学在人类社会中的应用及其所起的作用。重点介绍了该领域国内外研究、进展情况及发展前景。全书共10章,包括能源简介、煤炭、石油、天然气、太阳能、氢能、核能、生物质能、地热能及燃料电池。

本书可供能源、化学、化工、材料、环境、生物等相关学科的大专院校师生阅读,也可为科研院所的研究与技术人员、科技和政府的管理人员及各层次的能源化学爱好者提供参考。

目 录

第 1 章 能源简介	1
1.1 能源的分类	1
1.2 能源利用史	2
1.3 能源的作用	6
1.4 能源储量及消费	7
1.4.1 能源储量	7
1.4.2 能源消费	8
1.5 中国能源的发展	9
1.6 能源化学.....	11
1.6.1 能量转化.....	12
1.6.2 能量储存.....	15
1.7 能源与材料.....	18
1.8 能源与环境.....	19
1.9 能源发展趋势.....	21
第 2 章 煤炭	23
2.1 煤炭是能源和其他资源的重要支柱.....	23
2.2 煤的形成.....	25
2.3 煤的开采与运输.....	27
2.4 煤的结构.....	31
2.5 煤的元素组成.....	32
2.6 煤的综合利用.....	33
2.7 煤的燃烧.....	34
2.7.1 燃烧反应.....	34
2.7.2 洁净技术解燃“煤”之急.....	36
2.8 煤炭液化.....	39
2.8.1 煤的直接液化.....	39
2.8.2 煤的间接液化.....	40
2.9 煤的气化.....	42
2.9.1 煤炭气化的意义及历史.....	42

2.9.2	煤炭气化原理	43
2.9.3	地面煤气化技术	44
2.9.4	地下煤气化 (UCG) 技术	47
2.9.5	煤的气化新技术	48
2.10	结语	49
第3章	石油	51
3.1	石油的重要性	51
3.2	石油的生成和聚集	52
3.3	石油的开采	55
3.4	石油的组成	59
3.5	石油的炼制	60
3.5.1	石油的蒸馏	60
3.5.2	重油的裂化	62
3.6	石油化工——国民经济的支柱	63
3.7	工业的血液——流动的乌金	65
3.7.1	汽油的使用牌号和优质汽油的制备	65
3.7.2	航空煤油	67
3.7.3	柴油	68
3.7.4	燃料油和润滑油	70
3.8	我国的石油发展	71
3.9	结语	75
第4章	天然气	76
4.1	清洁的燃料	76
4.2	天然气的开采	77
4.3	天然气化工	79
4.4	煤层气的利用	80
4.5	天然气适用技术	81
4.6	中国的天然气市场展望	82
4.7	天然气水合物——21世纪的新能源	85
4.7.1	什么是天然气水合物	85
4.7.2	天然气水合物的性质	86
4.7.3	天然气水合物的研究历史	87
4.7.4	天然气水合物的形成条件	89
4.7.5	天然气水合物的勘探和开采	91

4.7.6	天然气水合物与百慕大三角之谜	94
4.8	结语	96
第5章	太阳能	98
5.1	太阳能简介	98
5.2	太阳能的光热利用	101
5.2.1	太阳能热水系统	101
5.2.2	太阳能热发电	104
5.2.3	太阳能制冷与空调技术	105
5.2.4	太阳房	107
5.2.5	其他太阳能热利用技术	109
5.3	太阳能的光电利用——太阳能电池	112
5.3.1	太阳能电池简介	112
5.3.2	太阳能电池发电原理	114
5.3.3	几类太阳能电池	116
5.3.4	太阳能聚光光伏发电	123
5.3.5	光伏电池新技术	125
5.3.6	太阳能光伏电池的发展趋势	126
5.4	太阳能光化学利用	127
5.4.1	光合作用	128
5.4.2	光化学作用——光解水制氢	132
5.4.3	光电转换——电解水制氢	140
5.5	太阳能空间电站	141
5.6	太阳能的储存与输送	143
5.7	太阳能在我国的应用	144
5.7.1	我国太阳能利用发展历程	144
5.7.2	我国太阳能发电的成果及现状	146
5.7.3	我国的太阳能资源及市场前景	147
第6章	氢能	149
6.1	氢能的特点	149
6.2	氢的制取	150
6.2.1	实验室中制备氢气	150
6.2.2	氢气的工业生产	150
6.3	氢的存储与运输	156
6.3.1	高压气态储存	157

6.3.2	低温液氢储存	157
6.3.3	金属氢化物储氢	158
6.3.4	配位氢化物储氢	164
6.3.5	无机物储氢和有机液体储氢	165
6.3.6	吸附储氢	165
6.4	氢的利用	168
6.4.1	液氢的使用	168
6.4.2	化学工业用氢	169
6.4.3	镍氢电池的负极储氢材料	170
6.4.4	氢能汽车	172
6.4.5	家庭用氢	173
6.4.6	燃料电池	174
第7章	核能	176
7.1	核能发现史话	176
7.2	核能的利用	178
7.3	核裂变和核聚变	179
7.3.1	核裂变	179
7.3.2	核聚变	180
7.4	核反应堆	181
7.4.1	裂变装置	181
7.4.2	聚变装置	184
7.4.3	核能发电原理	187
7.4.4	不同形式的反应堆	189
7.4.5	核能新技术	193
7.5	核能利用与环境	194
7.6	迅速发展的核电事业	196
7.6.1	简史	196
7.6.2	我国的核电发展	197
第8章	生物质能	200
8.1	生物质——最古老的能源	200
8.2	生物质能资源	202
8.3	生物质能在能源系统中的地位	203
8.4	生物质的利用	205
8.4.1	生物质气化技术	205

8.4.2	生物质液化技术	214
8.4.3	生物质固化技术	216
8.5	生物质发电	217
8.6	“绿色燃油”作物	221
8.7	结语	223
第 9 章	地热能	225
9.1	地热能简介	225
9.2	地热流体的性质	227
9.3	地热开采技术	228
9.4	地热能的利用	229
9.4.1	地热的直接利用	230
9.4.2	地热发电	234
9.5	我国地热能发展预测	237
第 10 章	燃料电池	239
10.1	燃料电池与原电池及蓄电池的特征	239
10.2	燃料电池的特性	242
10.3	燃料电池的类型	244
10.4	燃料电池的发展	245
10.5	碱性燃料电池	247
10.5.1	简介	247
10.5.2	AFC 的关键部件	249
10.5.3	阿波罗系统	251
10.5.4	其他 AFC 系统	252
10.5.5	小结	253
10.6	磷酸燃料电池	254
10.6.1	简介	254
10.6.2	关键部件	255
10.7	熔融碳酸盐燃料电池	258
10.7.1	简介	258
10.7.2	电池组成	260
10.8	固体氧化物燃料电池	262
10.8.1	固体氧化物燃料电池的原理和特点	262
10.8.2	电池构件	263
10.9	质子交换膜燃料电池	266

10.10 其他类型燃料电池	270
10.10.1 直接甲醇燃料电池	270
10.10.2 再生型燃料电池	271
10.11 燃料电池应用	272
10.11.1 空间领域的应用	272
10.11.2 军事上的应用	273
10.11.3 移动装置上的应用	274
10.11.4 固定应用	275
10.11.5 运输上的应用	278
10.12 移动式燃料电池的氢源	280
结束语	282
主要参考文献	285

第1章 能源简介

能源是人类生存和发展的重要物质基础，是从事各种经济活动的原动力，也是社会经济发展水平的重要标志。目前，能源、材料、信息被称为现代社会繁荣和发展的三大支柱，已成为人类文明进步的先决条件。从人类利用能源的历史中可以清楚地看到，每一种能源的发现和利用都把人类支配自然的能力提高到一个新的水平。能源科学技术的每一次重大突破也都带来世界性的产业革命和经济飞跃，从而极大地推动着社会的进步。目前，国际上往往以能源的人均占有量、能源构成、能源使用率和能源对环境的影响因素来衡量一个国家现代化的程度。

1.1 能源的分类

能源是可以直接或经转换提供人类所需的光、热、动力等任一形式能量的载能体资源。能源是人类取得能量的来源，包括已开采出来可供使用的自然资源和经过加工或转换的能量的来源。而尚未开采出来的能量资源一般称为资源。

“万物生长靠太阳”，这是因为地球上的绝大部分能源最终来源于太阳热核反应释放的巨大能量。另外，还有地球在形成过程中储存下来的能量和太阳系运行的能量。

能源按其形态特性或转换和利用的层次不同可分为以下类别：固体燃料，液体燃料，气体燃料，水能（一般指水力发电），核能（包含核裂变能与核聚变能），电力，太阳能，氢能，风能，生物质能，地热能，海洋能。

能源的分类方法有很多种，按其形成方式不同可分为一次能源和二次能源，按其可否再生可分为可再生能源和非再生能源，按其使用成熟程度不同可分为新能源和常规能源，按其使用性质不同可分为含能体能源和过程性能源，按其是否作为商品流通可分为商品能源和非商品能源，按其是否清洁可分为清洁（绿色）能源和非清洁能源。

一次能源是直接从自然界取得的能源，如河流中流动的水，开采出的原煤、原油、天然气、天然铀矿等。二次能源是一次能源经过加工、转换得到的能源，如电力、蒸气等。

可再生能源包括太阳能、生物质能、水能、氢能、风能、地热能、波浪能、海流能和潮汐能以及海洋表面与深层之间的热循环等，是可供人们取之不