



21 世纪 化 学 丛 书

NENGYUAN HUAXUE

能源化学

— 第 2 版 —

• 陈 军 陶占良 编著



化学工业出版社



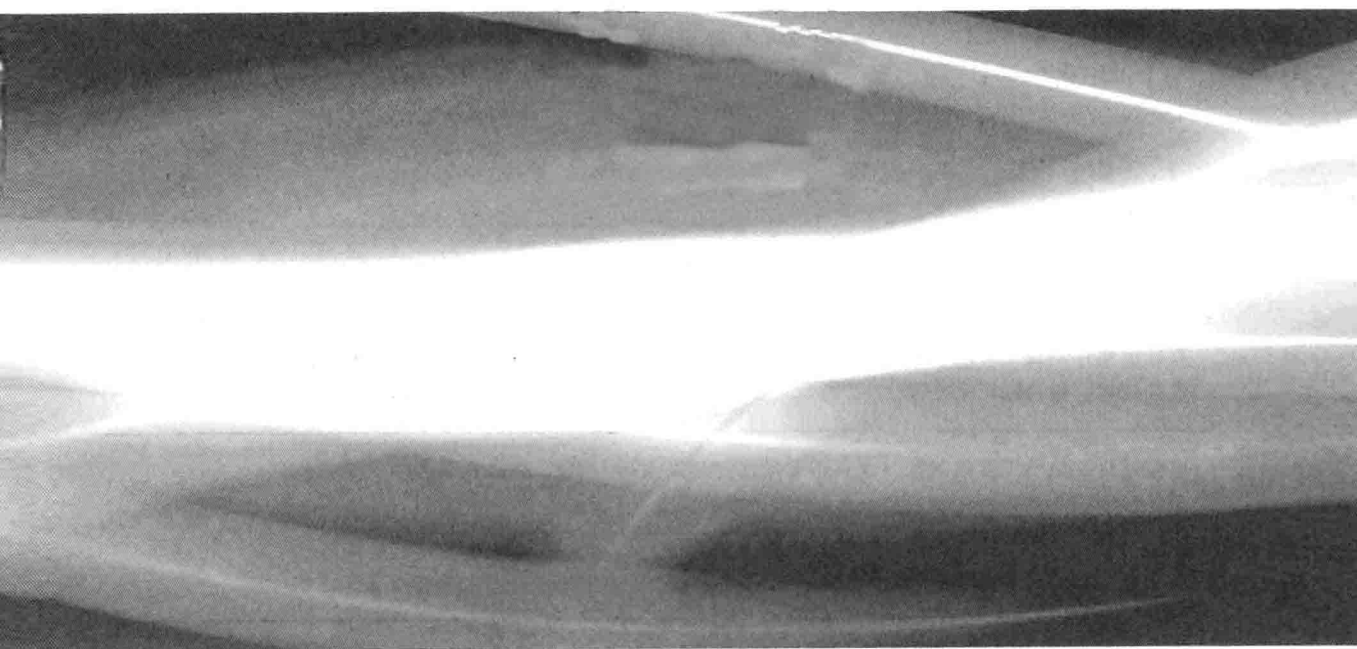
21 世纪 化 学 丛 书

NENGYUAN HUAXUE

能源化学

— 第2版 —

• 陈 军 陶占良 编著



化学工业出版社

本书主要介绍能源化学的反应原理、技术类型、应用特征及功能作用,重点介绍了能源领域国内外研究工作进展及发展前景,体现理论与实验、基础与应用、前沿与主流的结合。全书共 12 章,包括能源简介、煤炭、石油、天然气、核能、太阳能、风能、地热能、生物质能、海洋能、储能技术、氢能和燃料电池。

本书图文并茂、深入浅出,可以作为从事能源、化学、化工、材料、电力、石油、环境等学科研究生和本科生的教学用书,也可供广大科技工作者和政府管理人员参考,还可作为科学爱好者的科普读物。

图书在版编目 (CIP) 数据

能源化学/陈军,陶占良编著. —2 版. —北京: 化学工业出版社, 2014. 1
(21 世纪化学丛书)
ISBN 978-7-122-19018-5

I. ①能… II. ①陈…②陶… III. ①能源-应用化学
IV. ①TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 274555 号

责任编辑: 刘俊之 陈 丽
责任校对: 徐贞珍

文字编辑: 刘志茹
装帧设计: 韩 飞

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: 北京永鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市万龙印装有限公司
787mm×1092mm 1/16 印张 38 $\frac{3}{4}$ 字数 1035 千字 2014 年 5 月北京第 2 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: 198.00 元

版权所有 违者必究

《能源化学》(第1版)于2004年3月出版至今已经十年了,在这期间能源化学作为重要科技,与清洁能源、节能环保、新兴产业等紧密融合,在推动科技进步,改善产业结构,促进经济发展,提高生活质量和满足社会重大需求方面都担当重任,能源化学也因此得到发展并不断充实和提高。

能源是人类生存和发展的重要物质基础,包括煤炭、石油、天然气等不可再生的化石能源,以及核能(核裂变和核聚变)、太阳能、风能、地热能、海洋能、生物质能和氢能等新能源和可再生能源。限于篇幅,已经成稿的风能和海洋能部分未在第1版收录。随着我国能源结构的调整,这一部分所占比重有增加的趋势。

在2009年底哥本哈根世界气候大会前夕,我国提出到2020年单位GDP二氧化碳排放量将比2005年下降40%~45%,通过大力发展可再生能源、积极推进核电建设等行动,争取到2020年非化石能源占一次性能源消费比重达到15%左右等自主减排行动目标,这是我国统筹国内可持续发展和应对气候变化所作的战略选择。要实现这两个刚性指标,一是从总量上合理控制能源消费,提高能源效率,促进节能;二是改善能源结构,大力发展新能源和可再生能源,促进GDP能源强度和CO₂强度较大幅度的下降,努力建设以低碳排放为特征的产业体系和消费方式,实现绿色、低碳发展。

为此,在吸收能源化学的新进展和科研成果的基础上,此次再版,增补、修订和完善了有关内容。例如,考虑到大力发展的风能、太阳能等可再生能源在未来能源中的重要地位,以及实施海洋战略、建设海洋强国的发展战略,特地新增了风能(第7章)、海洋能(第10章);针对可再生能源发展面临电力品质差和并网难、建设坚强智能电网和微电网等电网新技术的瓶颈问题,新增储能技术(第11章)。同时,对于低碳技术的研究和应用,在其他章节的研究内容也做了相关修改补充,如在第1章的能源与经济、碳排放与减排,第2章的洁净煤技术、CO₂的捕集与封存技术,第3章的能源安全,第4章的非常规天然气、页岩气,第5章的核燃料循环等都是新增的内容;原来的第6章氢能与第10章燃料电池合并为现在的第12章氢能与燃料电池。这样全书共12章,对人类社会所使用的能源及对通过化学反应、化工制备材料技术直接或间接地实现能量转换与储存的能源化学进行较为全面系统的介绍。

本书自2004年面世以来,得到很多同行及读者的关心与支持,已被一些高校与研究所选为学生的教材或主要参考书,许多读者对再版提出了不少宝贵意见;在再版修订过程中,化学工业出版社的编辑提出了宝贵的意见和建议,在此向他们表示最真挚的谢意。

本书虽经努力修订,但仍难免有不当之处,敬请广大读者批评指正。

陈军

2014年2月于南开大学
天津化学化工协同创新中心



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。

新中国成立以来，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

第1章 能源简介

1.1 能源的定义及分类	1
1.2 能源利用史	2
1.3 能源化学	8
1.3.1 能量转化	9
1.3.2 能量储存	11
1.4 能源与经济	14
1.5 能源与环境	17
1.5.1 大气污染和温室效应	18
1.5.2 碳排放和减排	19
1.5.3 中国的能源环境	22
1.6 能源与材料	23
1.7 能源储量及消费	25
1.7.1 计量单位及换算	25
1.7.2 储量	26
1.7.3 消费	32
1.7.4 结构变化趋势	35
1.8 中国的能源发展	36
1.8.1 中国能源资源的特点	37
1.8.2 中国能源资源开发面临的挑战	38
1.8.3 中国提高能源供应能力的措施	38
1.9 能源发展趋势	40

第2章 煤炭

2.1 煤的形成	43
2.2 煤的基本分析指标及分类	45
2.2.1 基本分析指标	45
2.2.2 煤的分类	47
2.3 煤的结构模型	49

2.4 煤的开采与运输	51
2.5 我国煤炭资源和消费特点	55
2.5.1 煤炭资源特点	55
2.5.2 煤炭消费特点	57
2.6 煤的综合利用与洁净煤技术	58
2.6.1 煤炭综合利用	58
2.6.2 洁净煤技术	60
2.7 煤的净化技术	62
2.7.1 煤炭分选	62
2.7.2 型煤和水煤浆技术	63
2.7.3 煤矸石的综合利用	65
2.8 煤的先进燃烧技术	66
2.8.1 燃烧反应	66
2.8.2 常规燃煤的低氮氧化物燃烧技术	67
2.8.3 循环流化床燃烧技术	71
2.8.4 水煤浆燃烧技术	74
2.9 煤的燃后净化技术	78
2.9.1 烟气除尘技术	78
2.9.2 烟气脱硫技术	80
2.9.3 烟气脱硝技术	87
2.10 煤的现代化利用技术	92
2.10.1 煤的液化	92
2.10.2 煤的气化	104
2.10.3 洁净煤发电技术	120
2.11 CO ₂ 的捕集与封存技术	129
2.12 结语	135

第3章 石油

3.1 石油的重要性	136
3.2 石油的生成和聚集	137
3.3 石油的开采	139
3.4 石油的组成	143
3.5 石油的炼制	144
3.5.1 石油的蒸馏	145
3.5.2 重油的裂化	146
3.5.3 催化加氢	153
3.5.4 催化重整	156
3.6 石油化工——国民经济的支柱	162
3.7 工业的血液——流动的乌金	164
3.7.1 汽油的使用牌号和优质汽油的制备	164

3.7.2 航空煤油	165
3.7.3 柴油	167
3.7.4 燃料油和润滑油	168
3.8 我国的石油发展	169
3.9 能源安全	172
3.10 结束语	173

第4章 天然气

4.1 天然气的组成和分类	175
4.2 天然气的开采和储运	176
4.3 天然气化工	178
4.4 天然气实用技术	181
4.5 非常规天然气	182
4.5.1 煤层气及其利用	182
4.5.2 页岩气	185
4.5.3 天然气水合物	193
4.6 中国的天然气发展及市场	202
4.7 结语	204

第5章 核能

5.1 核能发现史话	206
5.2 核能的利用	207
5.3 核裂变和核聚变	208
5.3.1 核裂变	208
5.3.2 核聚变	209
5.4 核反应堆	210
5.4.1 裂变装置	210
5.4.2 聚变装置	213
5.4.3 核能发电原理	216
5.4.4 不同形式反应堆	218
5.4.5 核能技术发展趋势	223
5.5 核燃料循环	226
5.5.1 核燃料循环过程	226
5.5.2 核燃料循环体系	229
5.5.3 核燃料循环方式	229
5.6 核能利用与环境	230
5.7 迅速发展的核电事业	232
5.7.1 简史	232
5.7.2 我国的核电发展	233

第6章 太阳能

6.1 太阳能简介	236
6.2 太阳能的光热利用	238
6.2.1 太阳能热水系统	238
6.2.2 太阳能热发电	241
6.2.3 太阳能制冷与空调技术	243
6.2.4 太阳房	244
6.2.5 其他太阳能热利用技术	246
6.3 太阳能的光电利用——太阳能电池	248
6.3.1 太阳能电池简介	249
6.3.2 太阳能光谱	250
6.3.3 太阳能电池发电原理	252
6.3.4 太阳能电池效率和评价参数	255
6.3.5 几类太阳能电池	258
6.3.6 光伏电池新技术	309
6.4 太阳能光化学利用	314
6.4.1 光合作用	314
6.4.2 光化学作用——光解水制氢	318
6.4.3 光电-电解/热解制氢	324
6.5 空间太阳能电站	326
6.6 太阳能的储存与输送	329
6.7 太阳能在我国的应用	330
6.7.1 我国太阳能利用发展历程	330
6.7.2 我国的太阳能资源及市场	332
6.7.3 我国太阳能发电的成果及前景	333

第7章 风能

7.1 风的形成及特点	335
7.2 我国风能资源	337
7.3 风能利用	338
7.3.1 风力发电概况	339
7.3.2 风力发电系统的种类	340
7.4 风力发电场的选择和风力发电机	341
7.4.1 风电场选择	341
7.4.2 风力机	342
7.5 大规模风电发展面临的主要问题	345

第8章 地热能

8.1 地热能简介	348
8.2 地热流体的性质	350
8.3 地热开采技术	350
8.4 地热能的利用	351
8.4.1 地热的直接利用	352
8.4.2 地热发电	356
8.5 我国地热能利用技术展望	358

第9章 生物质能

9.1 生物质——最古老的能源	359
9.2 生物质能资源	360
9.3 国内外生物质能发展现状	362
9.4 生物质的利用	363
9.4.1 生物质直接燃烧	363
9.4.2 生物质气化技术	364
9.4.3 生物质液化技术	370
9.4.4 生物质固化技术	376
9.5 “绿色燃油”作物	377
9.6 生物质发电	379
9.7 我国生物质能源发展战略	383

第10章 海洋能

10.1 海洋能概况	385
10.2 潮汐能	385
10.2.1 概述	385
10.2.2 潮汐电站的分类	387
10.2.3 潮汐电站的选址	389
10.2.4 我国潮汐能的开发	391
10.3 海流能	393
10.3.1 概述	393
10.3.2 海流的涡轮发电机类型	394
10.3.3 海流能发电现状	396
10.4 波浪能	397
10.4.1 概述	397
10.4.2 波浪能发电装置的分类	398
10.4.3 国外波浪能的研究现状	400

10.4.4	我国波浪能的研究现状	402
10.5	温差能	404
10.5.1	概述	404
10.5.2	温差能发电装置分类	406
10.5.3	温差能发电装置的结构	409
10.5.4	温差能发电站的选址	413
10.5.5	国外温差能发电研究现状	415
10.5.6	我国温差能发电研究现状	417
10.6	盐差能	420
10.6.1	概述	420
10.6.2	盐差能发电方式分类	420
10.6.3	盐差能发电的研究现状	423
10.7	我国海洋发展战略	424

第 11 章 储能技术

11.1	发展储能技术的必要性	426
11.2	储能技术发展	428
11.3	储能技术分类	430
11.4	物理储能	430
11.4.1	抽水蓄能	431
11.4.2	压缩空气储能	432
11.4.3	飞轮储能	433
11.4.4	超导磁储能	436
11.5	化学储能	437
11.5.1	电化学电容器	437
11.5.2	蓄电池	441
11.5.3	铅酸蓄电池	441
11.5.4	超级电池	446
11.5.5	镍氢电池	447
11.5.6	钠硫和钠-金属卤化物电池	452
11.5.7	液流电池	456
11.5.8	锂离子电池	465
11.5.9	金属-空气电池	480
11.6	储能逆变器	500
11.7	电池管理系统	503

第 12 章 氢能和燃料电池

12.1	氢能特点	506
12.2	氢的制取	507

12.2.1	实验室中制备氢气	507
12.2.2	氢气的工业生产	507
12.3	氢的存储与运输	514
12.3.1	压缩气体储氢	515
12.3.2	低温液氢储存	516
12.3.3	金属氢化物储氢	517
12.3.4	复合氢化物储氢	523
12.3.5	有机液体储氢	531
12.3.6	物理吸附为主的储氢材料	532
12.3.7	氢气输送体系	534
12.4	氢的利用	536
12.4.1	液氢的使用	536
12.4.2	化学工业用氢	536
12.4.3	镍/氢电池的负极储氢材料	537
12.4.4	氢能汽车	538
12.4.5	家庭用氢	539
12.4.6	燃料电池	539
12.5	燃料电池概述	540
12.6	燃料电池的特性	541
12.7	燃料电池类型	542
12.8	燃料电池发展简史	544
12.9	碱性燃料电池	546
12.9.1	原理	546
12.9.2	AFC 关键部件	547
12.9.3	阿波罗系统	549
12.9.4	其他 AFC 系统	550
12.10	磷酸燃料电池	552
12.10.1	简介	552
12.10.2	关键部件	552
12.10.3	应用	554
12.11	熔融碳酸盐燃料电池	555
12.11.1	简介	555
12.11.2	关键部件	557
12.11.3	重整	559
12.11.4	应用	560
12.12	固体氧化物燃料电池	561
12.12.1	简介	561
12.12.2	关键部件	563
12.12.3	类型	564
12.12.4	应用	566
12.13	质子交换膜燃料电池	569

12.13.1	简介	569
12.13.2	关键部件	570
12.13.3	应用	576
12.14	直接甲醇燃料电池	582
12.14.1	简介	582
12.14.2	关键部件	583
12.14.3	结构	586
12.14.4	应用	587
12.15	其他燃料电池	592
12.15.1	再生型燃料电池	592
12.15.2	生物燃料电池	593

结束语

参考文献

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，被称为经济发展、社会进步的“生命之血”。目前，能源与材料、生物技术、信息技术被称为现代社会繁荣和发展的四大支柱，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。

1.1 能源的定义及分类

根据英国《牛津词典》可知，“能源”一词首次出现于 1599 年，意指“力量或活力的表现”，能源的词根来源于希腊文“ERGON”，意思是“工作”；《大英百科全书》说：“能源是一个包括所有燃料、流水、阳光和风的术语，人类用适当的转换手段便可让它为自己提供所需的能量”；美国《科学技术百科全书》说：“能源是可从其获得热、光和动力之类能量的资源”；我国的《能源百科全书》说：“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”。可见，能源是一种呈多种样式的，且可以相互转换的能量源泉。简单地说，能源是自然界中能为人类提供某种形式能量的物质资源，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来源。而尚未开采出来的能量资源一般则称为资源，这些资源在经济上具有开发利用价值，或在可预见的时期内具有经济价值。

“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。

能源的分类很多，根据不同的划分方式，能源可以分为以下不同的类型，如表 1-1 所示。

表 1-1 能源划分类型

根据地球上能量的来源分类	1. 地球本身蕴藏的能量，通常指与地球内部的热能有关的能源（地热能）和原子核能（包括核裂变能、核聚变能） 2. 来自地球外天体的能量，人类所需能量的绝大部分都直接或间接来自太阳。煤炭、石油、天然气等化石能源实质是由古代生物固定下来的太阳能；此外，水能、风能、波浪能、海流能等也都是由太阳能转换来的 3. 地球与月球、太阳等天体相互作用产生的能量，地球、月亮、太阳之间有规律的运动造成彼此间相对位置周期性的变化，使海水涨落而形成潮汐能
根据产生的方式以及获得的方法分类	1. 一次能源，指的是自然界现实存在的，可直接利用的能源。如煤炭、石油、天然气、水能、天然铀矿等。其中煤炭、石油及天然气三种能源是一次能源的核心，它们是全球能源的基础。以外，太阳能、风能、地热能、海洋能、生物质能以及核能等能源也被包括在一次能源的范围内 2. 二次能源，是一次能源经过加工、转换得到的能源。如电力、煤气、汽油、柴油、焦炭、蒸汽、氢能和沼气等能源

续表

根据使用类型及被开发利用程度分类	1. 常规能源,常规能源的开发利用时间长、技术成熟,已被人类广泛利用,并在人类生活和生产中起着重要作用。如煤炭、石油、天然气等资源以及水能、生物质能中的薪柴等。核能中的核裂变能由于技术成熟,已划分为常规能源 2. 新能源,新能源是相对于常规能源而言的,目前开发利用较少,正处于研发之中,有待于进一步研究发展的能源资源。在不同的历史时期和科技水平情况下,新能源所指是不同的。当今社会新能源通常包括太阳能、风能、地热能、海洋能、生物质能等资源
根据能源是否可以再生分类	1. 可再生能源,可再生能源是指在自然界中可以不断再生、永续利用、取之不尽、用之不竭的资源,它对环境无害或危害极小,而且分布广泛,适宜就地开发利用。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 2. 非再生能源,如煤炭、石油、天然气等化石能源,会随着人类的利用越来越少
根据能源使用性质分类	1. 含能体能源,含能体能源是指能够提供能量的物质能源,即储存起来的能源,其特点是可以保存且可储存运输,如草木燃料、矿物燃料、核燃料、高位水库中的水等 2. 过程性能源,过程性能源是指能够提供能量的物质运动形式,它不能直接储存,存在于“过程”之中,如太阳能、风能、潮汐能、电能等
根据能源是否商品流通分类	1. 商品能源,商品能源是指经过流通环节大量消费的能源,主要有煤炭、石油、天然气、电力等 2. 非商品能源,非商品能源是指不经流通环节而自产自用的能源,如农户自产自用的薪柴、秸秆,牧民自用的牲畜粪便等。非商品能源在发展中国家的能源供应中一般占有较大比重。而在农村地区开发为生产和生活使用的能源又叫做农村能源

此外,从环境保护的角度,人们根据能源在使用中所产生的污染程度,也可将能源分为清洁能源和非清洁能源。有时人们把清洁能源称为绿色能源。“绿色能源”有两层含义:一是利用现代技术开发干净、无污染的新能源,如太阳能、氢能、风能、潮汐能等;二是化害为利,将发展能源同改善环境紧密结合,充分利用先进的设备与控制技术来利用城市垃圾、淤泥等废物中所蕴藏的能源,以充分提高这些能源在使用中的利用率。表 1-2 给出了常见能源的分类情况。

表 1-2 能源的分类

分类		可再生能源	非再生能源
一次能源	常规能源	水能(大型水电站)	煤炭、石油、天然气、核能(核裂变)
	新能源	太阳能、风能、生物质能、水能(小水电)、地热能、海洋能	核能(可控核聚变)
二次能源		氢能、沼气等	电力、煤气、汽油、柴油、焦炭等

1.2 能源利用史

人们自从学会使用火以来,就开始了利用外部能源的历史。随着人类对能源资源的认识不断深化,特别是科技的不断进步,人类社会所使用的能源也在不断发展。迄今为止,人类利用能源的历史经历了三个重要时期:即以薪柴、木炭等植物燃料为主的“植物能源时代”;以煤炭为主的“煤炭时代”;以石油、天然气为主的“石油时代”。

目前,世界能源的生产及消费又在向以核能、太阳能、风能为主体的多元化的新能源时期过渡。

(1) 植物能源时代

人类自出现之日起,就要靠食用自然界中的动植物来摄取维持自己生命的能源。火的发

现和火的使用使人类学会了通过燃烧有机物取得热能。原始人能猎取到大动物，并能取暖御寒和驱逐野兽，从而扩大了原始人的活动范围（见图 1-1），能源成为人类发展的重要物质基础。更重要的是原始人在学会使用火之后，变生食为熟食。这不但促进了原始人体质的改善，而进一步加速了原始人的进化。新石器时代，人们就已经利用燃烧木材制取木炭来烧制陶器，进而掌握了利用木炭来冶炼青铜的技术，开始制造各种青铜生产工具、武器和生活用具。冶铜业的出现具有划时代的意义，它标志着人类开始进入使用金属工具的阶段，这是人类社会生产力的一次新突破。继青铜时代后，人们又逐步掌握冶铁技术。金属的冶炼和加工促进了冶金、建筑、运输及工具制造等行业的发展，使手工业从农业、畜牧业中逐渐分离出来。



图 1-1 原始人取火、用火

利用薪柴、木炭等植物燃料使人类摆脱了完全依附于自然的生存状态，开拓了物质文明的新局面。薪柴的广泛使用，适应了以刀耕火种为特征的早期农耕文明发展的需要。植物能源时代人类使用的能源主要有三类：一是自然界广泛分布并容易获得的可再生能源——薪柴、木炭，这是这一时期主要的能源；二是人类本身具有的能量，即人的体能；三是畜力、风力、水力。在人类漫长的历史中，木材、畜力、风力、水力等天然能源的直接利用一直占主要地位。

随着社会的进步、生活的富裕、人口的增加，能源的需求量不断提高，需要有充足的燃料来保证大规模发展冶金业以生产机器所需的金属材料。在当时，冶金工业主要是钢铁工业，而铁的冶炼，直到 18 世纪中叶以前，还几乎全部使用木炭。

到 18 世纪中叶，木材在世界一次能源的消费结构中还占居首位。森林资源不断地被砍伐，木材资源越来越少，冶金工业的能源危机越来越危及生产力的发展。工业化在发现木材的新用途的同时，加剧了木材供应紧张的局面。因为木材不仅是一种重要的燃料，还是盖房子、制作家具、造船所必需的材料。而且随着铁路的普及，大量木材被用作铁路枕木。这样一来，对木材的需求增加更快，与建设用材相竞争的燃料用材的供应更加困难了。这时历史的车轮已经走到了 18 世纪末，这是一个以土地为依托的植物能源时代结束的过程，是一个需要新能源支撑的新时代——需要大量的新能源推动蒸汽机、冶炼金属、开发矿山、开动舰船……煤炭作为一种比木炭更适应工业化需要的能源开始崭露头角。

（2）煤炭时代

18 世纪 60 年代从英国开始的产业革命，促使世界能源结构发生第一次转变，即从薪柴