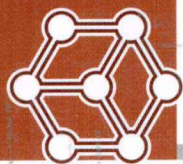


“十一五”
国家重点图书



现代煤化工技术丛书

谢克昌 主编

煤基醇醚燃料

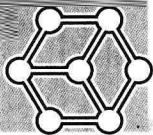
李忠 谢克昌 编著



化学工业出版社

MEIJICHUNMI RANLIAO

“十一五”
国家重点图书



现代煤化工技术丛书

谢克昌 主编

煤基醇醚燃料

李忠 谢克昌 编著



化学工业出版社

北京

MEIJICHUNMI RANLIAO

本书就目前主要能源及替代燃料的发展进行概述,重点介绍了甲醇燃料、二甲醚燃料、乙醇燃料和生物柴油四种重要替代燃料。全书共分为5章。第1章简要介绍了国际与国内的化石能源和可再生资源的现状与发展趋势,以及国内外替代燃料的发展现状与发展方向。第2~5章分别论述了主要替代燃料——甲醇燃料、二甲醚燃料、乙醇燃料和生物柴油的物理化学性质、燃料性质、制备方法、应用方向,以及目前国内外的生产消费情况。

本书适合广大从事煤化工研究、替代能源研发的科研人员,以及关注替代能源特别是替代燃料发展的科研人员以及管理者使用,也可作为高校相关专业本科生、研究生以及老师的教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

煤基醇醚燃料/李忠,谢克昌编著. —北京:化学工业出版社,2011.4

“十一五”国家重点图书
(现代煤化工技术丛书)
ISBN 978-7-122-10621-6

I. 煤… II. ①李…②谢… III. 醇醚-液体燃料
IV. TQ517.4

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第030268号

责任编辑:路金辉
责任校对:吴静

文字编辑:糜家铃
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: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

710mm×1000mm 1/16 印张41¼ 字数880千字 2011年6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:150.00元

版权所有 违者必究

总序

2008年，中国的煤炭产量高达27.93亿吨，是1978年6.18亿吨的4.52倍，占2008年世界煤产量的42%，而增量占世界的80%以上。

多年来，在中国的能源消费结构中，煤约占70%，另外两种化石能源石油和天然气分别约占20%和3.5%；中国的电力结构中，燃煤发电一直占主导地位，比例约为77%；中国的化工原料结构中，煤炭占一半以上。中国煤炭工业协会预计到2010年全国煤炭需求量在30亿吨以上，而中国科学院和中国工程院通过战略研究预计，到2050年，煤在中国的能源消费结构比例中仍将高居首位，占40%以上，这一比例对应的煤量为37.8亿吨，比2010年的需求量多26%。由此可见，无论是比例还是数量，在较长的时期内以煤为主的能源结构和化工原料结构很难改变。

事实上，根据2008年BP公司的报告，在化石能源中，无论是中国还是世界，煤的储采比（中国45，世界133）都是石油的2倍左右。因此，尽管煤在世界的能源消费结构中仅占28%，低于石油的36%，但“煤炭在未来50年将继续是世界的主要能源之一”（英国皇家学会主席Martin Rees，路透社2008年6月10日）；“越来越多的化学制品公司正在将煤作为主要原料”（美国《化工新闻》高级编辑A. H. Tullo，2008年3月17日）。

但是，由于煤的高碳性和目前利用技术的落后，煤在作为主要能源和化工原料的同时也是环境的主要污染源。据中国工程院的资料，2006年，我国排放的SO₂和NO_x的总量达4000万吨以上，源于燃煤的比例分别为85%和60%，燃煤排放的CO₂和烟尘也分别占到总排放量的85%和70%。至于以煤为原料的焦炭、电石等传统煤化工生产过程，除对大气污染外，其废水、废渣对环境的影响也十分严重。据荷兰环境署统计，2006年中国的CO₂排放量为6.2Gt，而2007年又增加了8%。虽然我国的人均CO₂排放量远低于美国等发达国家，但由于化石能源的碳强度系数高〔据日本能源统计年鉴，按吨（煤）计算：煤排放2.66t CO₂，石油排放2.02t CO₂，天然气排放1.47t CO₂〕和我国较长时期仍以化石能源为主（中国科学院数据，到2050年，化石能源在中国能源结构中占70%，其中煤40%、石油20%、天然气10%），和其他污染物一样，CO₂的排放与治理也必须高度重视并采取有效措施。

煤炭的上述地位和影响，对世界，特别是对中国，无疑是一种两难选择。可喜的是，“发展煤化工，开发和推广洁净煤技术是解决两难的现实选择”已成为人们的共识并取得重要进展。遗憾的是，在石油价格一度不断飙升的情况下，由于缺乏政策引导、科学规划，煤化工出现了不顾原料资源、市场需求、技术优劣等客观条件盲目发展的势头。为此，笔者将20余年来对煤化工科学发展积累的知识、实践、

认识和理解编撰成《煤化工发展与规划》一书，于2005年9月由化学工业出版社出版发行。与此同时，作为我国化学化工类图书出版之“旗舰”和科技图书出版之“先锋”的化学工业出版社，在原化工部副部长谭竹洲、李勇武的指导下，极具战略眼光，决定在全国范围内组织编写《现代煤化工技术丛书》（以下简称《丛书》），出版社诚邀笔者担任该《丛书》主编，成立了由笔者和李勇武会长（中国石油和化学工业联合会）为主任的编委会，并于2006年4月18日在太原召开《丛书》第一次编写会议。就在编委会紧锣密鼓地组织、协调、推荐作者、确定内容、审定大纲的不到两年间，国内的煤化工才有了强势的发展和规划。据有关方面的粗略统计，2007年全国煤制甲醇生产、在建、计划产能总计达6000万吨，2008年实际产量1126.3万吨；2008年二甲醚产能约410万吨，实际产量200万吨；直接和间接液化法“煤制油”的在建和计划产能也超过千万吨；技术尚未成熟的煤制低碳烯烃、醇、醚等化工原料在建和计划项目也此起彼伏，层出不穷。煤化工这种强势的发展与规划不仅面临着市场需求和技术成熟度的有力挑战，而且还受到原料煤、水资源、环境容量等条件很大限制，其中尤以水资源为甚。美国淡水研究权威、太平洋研究所所长称：“当水资源受到限制和污染，或者经济活动不受限制而且缺乏恰当的管理时，严重的社会问题就可能发生。而在中国，这些因素的积聚将产生更为严重、复杂的水资源挑战。”按现有技术，煤制甲醇、二甲醚、油（间接液化）的单位产品水耗（t/t）分别为15、22、16。虽然，大量的温室气体排放来源于化石能源无节制的使用，特别是燃煤发电和工业锅炉，但目前的煤化工产品生产工艺过程排放的温室气体也不容忽视，英国《卫报》网站说“用煤生产液体燃料的过程所产生的温室气体是常规石油燃料的两倍以上”。至于传统的煤化工产品生产技术，还对原料煤有苛刻的要求，如固定床造气需要无烟块煤或焦炭，而焦化和电石生产的原料煤是焦煤和肥煤，但这些优质煤种的保有储量仅占煤炭资源保有总量的16.9%（无烟煤）和3.7%（焦煤和肥煤）。

针对上述情况，2009年2月19日，国务院提出“停止审批单纯扩大产能的焦炭、电石等煤化工项目，坚决遏制煤化工盲目发展的势头”，并要求石化产业的调整振兴必须“技术创新、产业升级、节能减排”。这使得煤化工的发展必须要以提高能效、减少能耗、降低排放为目标进行科学规划、优化选择、合理布局。但是，由于成煤物质和成煤年代等的差异所导致的煤的复杂性和煤化学工程的学科特性，煤化工具有基础研究学科交叉、工程开发技术复杂、规模生产投资巨大的显著特点。这些特点对以煤气化为基础，以一碳化学为主线，以优化集成为途径，生产各种替代燃料和化工产品的现代煤化工尤其突出。要做到煤化工产业的科学规划、健康发展就必须全面了解、充分把握这些特点。

应运而生的《现代煤化工技术丛书》正是为满足这一需求，力求通过分册组成合理、学术实用并举、集成精粹结合、内容形式统一的编撰，体现现代煤化工的特点；希冀通过对新技术、新工艺、新产品的研究、开发、应用的指导作用，促进煤化工产业的技术进步；期望通过提供基础性、战略性、前瞻性的原理数据、可靠信息、科学思路推进煤化工产业的健康发展。为此，在选择《丛书》编撰者时，优先

考虑的是理论基础扎实、学术思想活跃、资料掌握充分、实践经验丰富的分领域技术领军人或精英。在要求《丛书》分册编写时，突出体现“新、特、深、精”。新，是指四新，即新思路、新结构、新内容和新文献；特，是有特色，即写法和内容都要有特色，与同类著作相比，特色明显；深，是说深度，即基础论述要深，阐述规律要准；精，是要成为精品，即《丛书》不成“传世”之作，也要成业界人士的“案头”之作。

根据上述指导思想和编写原则，《丛书》由以下分册组成。

1. 《煤化工概论》(谢克昌、赵炜编著)：以煤的转化反应为主线，以煤的转化技术分章节，阐述煤化工的基本原理，提供煤化工的总体轮廓。

2. 《煤炭气化技术》(于遵宏、王辅臣等编著)：在工艺过程分析、气化过程原理论述的基础上，比较各种气化过程的优劣，给出自主创新的煤炭气化实例。

3. 《气体净化分离技术》(常丽萍、苗茂谦编著)：以气化煤气净化与分离的科学和技术问题为基础，比较各种净化工艺与技术，以解决现存问题，提供最佳技术选择。

4. 《煤基炭素功能材料》(邱介山编著)：在提炼炭素材料基本理论和保持技术前沿性的前提下，介绍已经工业化的技术，推荐有应用前景的新技术。

5. 《煤的等离子体转化》(吕永康、庞先勇、谢克昌编著)：作为煤的非常规转化的重要组成，以多年的实验工作为基础，介绍等离子体应用于煤转化的主要技术。

6. 《煤的溶剂萃取与应用》(魏贤勇、宗志敏编著)：从分子水平上认识煤及其衍生物中有机质组成结构，突破传统煤化工的囿限，提供实现煤在温和条件下定向转化的途径。

7. 《煤的热解、炼焦和煤焦油加工》(高晋生主编)：以煤的热解为主线，将热解、炼焦和煤焦油加工有机结合，通过新技术的阐述，推动传统煤化工的革新。

8. 《煤炭直接液化》(吴春来编著)：以扎实的理论知识和丰富的实践经验为基础，提出直接液化用煤、生产工艺的优选原则，实现理论性和应用性的并重。

9. 《煤炭间接液化》(李永旺编著)：在介绍费托合成反应基础理论、技术发展的基础上，重点对核心问题——催化剂和反应器的研发做详细阐述。

10. 《煤基合成化学品》(应卫勇编著)：开发煤基合成化学品的新产品、新技术是现代煤化工的重要组成。面向企业，以阐述煤基化学品的生产技术、工艺和应用为主。

11. 《煤基多联产系统技术及工艺过程分析》(李文英、冯杰、谢克昌编著)：以煤气化为基础的多联产是公认的煤洁净高效利用的主要技术途径，通过非多联产和多联产过程的分析给出多联产的创新优化实例。

12. 《煤基醇醚燃料》(李忠、谢克昌编著)：作为重要的车用替代燃料，结合国内外的实践，重点介绍甲醇、二甲醚和乙醇燃料的性质、制备和应用。

13. 《煤化工过程中的污染与控制》(高晋生、鲁军、王杰编著)：在客观分析煤化工过程对环境污染的基础上，通过该过程中有害元素的迁移与控制论述，介绍

主要污染物的净化、减排和利用技术。

14. 《煤化工设计基础》(李凡、李大尚、张庆庚编著): 煤化工新技术、新工艺的产业化离不开整体考虑和合理设计, 而设计基础来源于全面的知识和成功的实践。

由以上《丛书》各分册的简介可以看出, 各分册独立成册, 却内涵相连, 各分册既非学术专著, 又非设计手册, 但发挥之作用却不仅在于科研、教学之参考, 更在于应用、实践之指导。鉴于中国石油和化学工业联合会、化学工业出版社对这套《丛书》寄予厚望, 国家新闻出版总署将其列为国家“十一五”重点图书, 身居煤化工“冷热不均”却舍之不得, 仍拼搏奋斗在第一线的诸位作者深感责任重大, 均表示要写成精品之作, 以飨读者。但因分册内容不同, 作者情况有别, 《丛书》难以整体同时问世, 敬请读者原谅。“纵浪大化中, 不喜亦不惧”, 煤化工的发展道路可能有起有伏, 坎坷不平, 但其在中国的地位与作用如同其理论基础和基本原理一样难以撼动, 在通过洁净煤技术, 实现高碳性的煤炭低碳化利用, 并与可再生能源一起, 促进低碳经济发展的进程中, 现代煤化工必将发挥不可替代的作用。诚望这套立意虽高远、内容难全面、力求成经典、水平限心愿的《丛书》能在煤化工界同仁的“不喜亦不惧”中, 成为读者为事业不懈追求的忠实伙伴。



2009年9月9日

前言

能源和环境问题，是当今世界所面临的最严峻的问题之一。化石资源不断衰竭和分布不均的现状，导致局部战争时有发生，是影响世界经济与稳定的因素之一。目前大规模地使用化石燃料，造成了巨大的环境污染，并导致大量温室气体 CO_2 的排放，引起全球气候变暖。因此，世界各国不断鼓励和支持寻找替代石油产品的燃料，一方面为了摆脱对石油的过分依赖，另一方面可以减少化石燃料的使用，减少燃烧排放的有毒物质，减轻环境的压力。

目前研究课应用的替代燃料主要有：①天然气燃料，包括压缩天然气、液化天然气以及天然气经转化后制得的烃类、醇类燃料；②煤基替代液体燃料，按照生产工艺不同，它又分为两大类：一类是甲醇和二甲醚，另一类是煤液化产品；③生物液体燃料，主要是乙醇和生物柴油等；另外还有氢燃料和燃料电池等。

近年来，随着我国经济建设的高速发展，一方面需要大量的能源供应，另一方面需要大量清洁的液体燃料，以满足不断增长的汽车消费和解决由此产生的环境压力。我国化石能源的赋存形式以煤炭为主，因此，煤炭能源一直是我国能源消费的主体。目前，我国以煤炭为基础原料生产的煤基醇醚燃料得到了有效的推广和应用，同时也极大地推动了煤炭能源化工的发展。煤基醇醚燃料主要是甲醇和二甲醚燃料，和其密切相关且发展较快的液体替代燃料还有生物乙醇燃料和生物柴油，因此，本书重点介绍了甲醇燃料、二甲醚燃料、乙醇燃料和生物柴油四种替代燃料。

众所周知，甲醇燃料是清洁的液体替代燃料之一，可以煤炭、天然气、焦炉煤气、煤层气等作为原料，且合成技术较成熟。随着技术的发展，还可以利用能源作物和农业、林业残余物、城市废弃物等生物质资源合成甲醇燃料，更进一步可以利用火力发电厂及其他化工厂排放的富 CO_2 废气生产甲醇，最终将实现直接循环利用大气中的 CO_2 和水光解/电解的氢来转化甲醇。甲醇燃料作为替代燃料，可以用于替代汽油作为车用燃料，也可以脱水生产二甲醚替代柴油作为内燃机燃料；可以合成汽油和烯烃等烃燃料，也可以合成甲基叔丁基醚和碳酸二甲酯等汽油添加剂，还可以替代液化石油气作为民用燃料等，清洁、污染小、经济竞争力强。随着技术的不断进步，甲醇还可以裂解制氢燃料，可以作为燃料电池，实现完全无污染能源使用。M85 甲醇汽油国家标准业已颁布实施，M15 甲醇汽油国家标准即将颁布。

目前二甲醚燃料主要由甲醇液相脱水工艺和甲醇气相脱水工艺生产制备，较有前景的生产方法是合成气一步法直接合成工艺。二甲醚具有石油液化气 (LPG) 相似的蒸气压，且其十六烷值高，燃烧比较完全，排放污染小，可以用于替代或掺入 LPG 作为民用燃料、替代或掺烧柴油作为车用燃料、气轮机燃料以及发电。现阶段二甲醚燃料使用技术尚不完善，且二甲醚燃料使用的国家标准也尚未出台，二甲醚作为燃料方面的应用尚未普及推广。

生物乙醇燃料可以通过稻米、玉米和其他淀粉质等粮食原料发酵生产，也可以

由甜高粱茎秆、玉米秸秆和甘蔗等纤维素原料水解发酵制备。目前乙醇燃料主要替代或掺入汽油或柴油作为车用燃料，乙醇替代等量汽油后，可提高汽油辛烷值，增加氧含量，使汽油燃烧更完全，降低汽车尾气中有害物质的排放，有利于改善环境。我国已先后颁布实施了《变性燃料乙醇》(GB 18350—2001)和《车用乙醇汽油》(GB 18351—2004)两项国家标准。

生物柴油主要由植物油和甲醇通过酯交换反应合成，主要与石化柴油调和作为燃料使用。生物柴油已经在美国、巴西、欧盟等国家和地区大面积推广使用，我国也正式颁布了《柴油机燃料调和用生物柴油(BD100)》(GB/T 20828—2007)的国家标准。生物柴油可以由植物油脂和动物油脂制备，还可以由餐饮废油等动植物废弃油脂转化得到。

全书共分为5章，第1章简要介绍了国际与国内的化石能源和可再生资源的现状与发展趋势、以及国内外替代燃料的发展现状与发展方向，第2~5章分别论述了主要替代燃料——甲醇燃料、二甲醚燃料、乙醇燃料和生物柴油的物理化学性质、燃料性质、制备方法、应用以及目前国内外的生产消费情况，并将相关的燃料标准附在书后，希望读者能够全面了解我国煤基醇醚燃料及其相关的生物乙醇和生物柴油的发展情况及趋势。

参与本书编写工作的还有郑华艳、刘岩、孟凡会、刘树森和王丽等老师和同学，是他们的辛勤工作才使本书早日成文付印。本书的出版发行得到了化学工业出版社领导和编辑的大力支持，在此表示感谢！

本书编撰过程中，力求全面准确地体现现代煤化工技术中有关醇醚燃料的发展理论、现状和趋势，虽然作者编写目标明确、严格要求、逐字逐句斟酌修改，但鉴于能力和水平限制，再加上内容繁杂、资料众多、观点不一，难免在内容选取、信息采集、论述深度以及写作等方面存在问题，因此，恳请读者和同行不吝指正，以便进一步修改和完善。

2011年3月

目 录

第 1 章 能源与替代燃料

1.1 能源种类	1
1.2 世界能源发展趋势	5
1.2.1 化石能源储量	5
1.2.2 化石能源发展趋势	6
1.2.3 可再生能源发展趋势	8
1.3 中国能源发展趋势	10
1.3.1 化石能源发展趋势	11
1.3.2 可再生能源发展趋势	15
1.4 温室效应与 CO ₂ 减排	18
1.4.1 温室效应	18
1.4.2 CO ₂ 排放	19
1.4.3 CO ₂ 减排技术	20
1.5 替代燃料	22
1.5.1 机动车发展趋势	23
1.5.2 机动车燃料发展趋势	23
1.5.3 机动车可替代燃料	25
1.6 煤基替代燃料	28
1.6.1 煤化工发展	28
1.6.2 煤基合成燃料	32
1.6.3 技术经济比较	44
1.7 生物替代燃料	46
1.7.1 生物质气化合成醇醚燃料	46
1.7.2 生物质发酵制备乙醇燃料	48
1.7.3 生物柴油	51
1.8 替代燃料发展趋势	55
1.8.1 世界替代燃料发展趋势	55
1.8.2 中国替代燃料发展趋势	62
参考文献	67

第 2 章 甲醇燃料

2.1 概述	69
2.2 甲醇燃料性质	69
2.2.1 基本物理性质	69

2.2.2	基本化学性质	74
2.2.3	燃料性质	76
2.2.4	毒性及安全性	86
2.3	甲醇燃料生产	92
2.3.1	原料	92
2.3.2	合成气制备	96
2.3.3	净化	120
2.3.4	甲醇合成	125
2.3.5	低碳混合醇合成	149
2.3.6	产品精制	158
2.3.7	甲醇生产投资及技术经济	161
2.4	甲醇燃料应用	164
2.4.1	甲醇汽油混合或纯甲醇燃料	165
2.4.2	甲醇燃料电池	179
2.4.3	甲醇裂解制氢燃料	205
2.4.4	甲醇脱水转化为二甲醚燃料	208
2.4.5	甲醇转为烃燃料 (MTG) 及烯烃 (MTO)	209
2.4.6	甲醇合成甲基叔丁基醚 (MTBE)	225
2.4.7	甲醇合成碳酸二甲酯	241
2.4.8	甲醇民用燃料	272
2.5	甲醇燃料是优良能源载体	273
	参考文献	274

第 3 章 二甲醚燃料

3.1	概述	288
3.2	性质	289
3.2.1	基本物理性质	289
3.2.2	基本化学性质	291
3.2.3	燃料性质	293
3.2.4	毒性及安全性	295
3.3	二甲醚制备	297
3.3.1	甲醇脱水制二甲醚	298
3.3.2	合成气一步直接制二甲醚	314
3.4	民用二甲醚燃料	332
3.4.1	石油液化气掺烧	334
3.4.2	二甲醚液化气	338
3.5	车用二甲醚燃料	340
3.5.1	纯二甲醚燃料	340

3.5.2 二甲醚柴油混合燃料	345
3.6 二甲醚燃料发展前景	348
3.6.1 国际发展前景	348
3.6.2 国内发展前景	351
参考文献	354

第4章 乙醇燃料

4.1 概述	358
4.2 性质	358
4.2.1 基本物理性质	358
4.2.2 基本化学性质	359
4.2.3 燃料性质	361
4.2.4 毒性及安全性	372
4.3 乙醇燃料的应用	379
4.3.1 混合乙醇燃料	380
4.3.2 纯乙醇燃料	389
4.3.3 标准	391
4.4 乙醇燃料制备	395
4.4.1 原料	396
4.4.2 粮食发酵制备	407
4.4.3 纤维素发酵制备	410
4.4.4 乙醇燃料脱水工艺	420
4.4.5 工业副产物的回收与综合利用	424
4.4.6 化学制备	431
4.5 乙醇燃料发展展望	435
4.5.1 国际乙醇燃料的产业发展前景	436
4.5.2 我国乙醇燃料的产业发展前景	437
4.5.3 乙醇燃料的政府扶持前景	439
参考文献	440

第5章 生物柴油

5.1 概述	447
5.1.1 生物柴油的发展史	447
5.1.2 生物柴油的优缺点	448
5.1.3 生物柴油的用途	448
5.1.4 生物柴油的发展现状	449
5.2 生物柴油的性质	453
5.2.1 基本物理性质	453
5.2.2 基本化学性质	457

5.2.3	燃料性质	460
5.2.4	毒性及安全性	463
5.3	生物柴油制备	463
5.3.1	原料	463
5.3.2	植物油脂制备生物柴油	477
5.3.3	动物油脂制备生物柴油	514
5.3.4	废动植物油脂制备生物柴油	515
5.4	生物柴油的应用	518
5.4.1	生物柴油的使用标准	519
5.4.2	掺烧石化柴油	532
5.4.3	掺烧低碳醇	533
5.4.4	生物柴油在精细化学品领域的应用	534
5.5	生物柴油发展展望	537
	参考文献	538

附录 相关国家和地方标准

附录一	甲醇燃料标准	547
附录二	二甲醚燃料标准	590
附录三	乙醇燃料标准	607
附录四	生物柴油标准	638

第 1 章

能源与替代燃料

1.1 能源种类

能源是可以直接或间接为人类提供所需要各种能量的载能体资源,包括业已开采的自然资源和经过加工转化的能量来源。能源根据其形态、获取方法、转换和利用等的不同有许多不同的分类方法。

按照能源的使用方式,又可分为一次能源、二次能源等。一次能源指自然界中以现成形式存在,不经任何改变或转换的天然能源资源,即从自然界直接取得并不改变其形态和品位的能源,如原煤、原油、油页岩、天然气、核燃料、植物燃料、水能、风能、太阳能、地热能、海洋能、潮汐能等。二次能源是由一次能源直接或间接加工转换而成的人工能源,如电能、热水、蒸汽、压缩气、石油制品、酒精、氢气、合成燃料、激光等。能源按照是否可再生分为不可再生能源与可再生能源。可再生的能源主要有太阳能、风能、水能、生物质能、地热能、海洋能等。不可再生能源主要是指煤炭、石油、天然气三种,不可再生能源又称化石能源,是全球公认的传统能源,而作为非传统能源的核能其本质上也是一种不可再生能源。另外还有一种二次能源——氢能,它既可以从不可再生能源制得,也可由再生能源制得,来源丰富、使用前景广阔,被人们预测为是人类未来的终极能源。

(1) 煤炭 煤炭是人类认识最早、开发最早、使用最早的化石燃料,也是地球上储量最大的化石燃料能源,约占总储量的 80%,而且煤炭按现在的开采和利用速率计算,全球的煤炭资源尚可使用 200 年左右,远远大于石油和天然气的使用年限,因此煤炭也是目前可预见的未来最主要的能源资源。

煤炭作为能源资源有着许多优点,首先煤炭是化石燃料中储量最大的;其次价格便宜,因为储量丰富、开采方便,所以煤炭的价格比可以产生相同能量的石油与天然气的价格要低得多;再有储存运输方便,煤炭是固态能源,其储存与运输所受限制很少,特别是作为发电燃料,煤炭的使用不受温度气候的影响。鉴于以上优点,所以在 20 世纪前叶煤炭得到了快速的发展,煤炭的开采使用不断达到新高。

但是随着煤炭使用量的不断增加,其缺点也逐渐显现出来。开采过程对地质环境造成极大的破坏;煤炭的运输、燃烧带来的固体颗粒污染,烟尘、各种温室气体以及有毒废气对环境造成了很大的压力,甚至导致了气候的变化;煤炭燃烧后产生大量的废渣,其堆积既占用空间又产生污染。因此世界各地特别是一些以煤炭为主要能源的地区都在不断开发煤炭利用的新技术,以期使得煤炭利用既能满足人们能源利用的需要,又不至于对环境造成污染和破坏。

(2) 石油 1859 年美国入德雷克在宾夕法尼亚使用石油钻机钻出了世界上第一口油井,它揭开了近代石油工业大规模商业化开发的序幕。人们对石油的认识、

了解及开发利用是能源史上的一次革命，是人类历史的一次重大的飞跃，掀开了人类利用资源的新篇章。经过一百多年的开发，石油在人类能源利用中所占的比重越来越大，现在已经达到 1/3 以上。

在石油不断推进人类的发展、促进人类社会文明进步的同时，其可采储量已经下降到全球平均 40 年左右。所以我们必须改变对于石油的依赖，寻找合适的石油替代品，同时必须对石油的使用方式加以改善以延长石油的使用时间，为人类寻找新能源提供足够的时间。

(3) 天然气 天然气是一种蕴藏在地层中的烃及非烃气体的混合物，是一种优质洁净的能源，具有燃烧值高、分布广、成本低、污染小的优点，所以天然气成为世界上产量增长最快的能源。天然气的生成范围比石油宽得多，所以储量更为丰富，结合其本身的优点，天然气在 21 世纪中叶很有可能成为能源的主力军。

石油和天然气的勘探开采和加工同样对环境具有不利影响。油田和气田勘探开采过程中产生大量的废水、硫化氢气体、废渣，地层水中含有硫、卤素以及锂、钾、溴、铯等元素，使土壤盐渍化。其中海洋油气污染对环境影响最为严重，事故引起的石油泄漏至海域中形成油膜，导致海洋植物大量死亡，影响海洋生物的生存和发育，导致海洋生态系统失衡。遭受严重石油污染的海域，要经过 5~7 年生物才能重新开始繁殖。

(4) 核能 核能又称原子能，是来自原子核的能量。当原子核在中子的撞击下发生分裂或聚合时，都会释放出能量，这种由于物质的质能改变而得到的能源，就是核能。爱因斯坦发现质量和能量可以互相转换，很小的质量就可以转换成很大的能量。核裂变和核聚变就是依据质能互变原理而使核燃料反应释放出巨大的能量。核裂变是重金属元素的质子通过裂变而释放出巨大能量的过程，而核聚变是指由两个或多个质量小的原子核经过聚合而生成一个较重的原子核并释放出能量的过程。

目前核裂变技术比较成熟，已经实现商业化生产应用，而核聚变因为其过程不易控制，目前还处在研究开发阶段，我们常说的核能是指核裂变能。核能是一种洁净能源，没有温室气体和其他有害气体的排放，环境友好，而且其能量密度高，燃料运输少，对于目前发展低碳经济来说，无疑是最好的能源选择之一，但是核裂变能的利用过程存在核射线泄漏污染、核电站事故和放射性废物处理等安全隐患。近年来核电站的安全得到进一步提高，已成为一些国家发展清洁能源的战略措施之一。

与核裂变相比，核聚变所用的燃料和反应后的产物基本无放射性，而且更加安全。核聚变在极高的温度下才能发生，如果应用过程中出现问题，体系温度会迅速下降，核聚变反应终止，不会产生核堆爆炸的危险。

氢的同位素氘是最重要的核聚变燃料，而氘在地球海水中的蕴藏量巨大，足够保障人类长期发展的能源需求。如果受控核聚变技术开发成功，核聚变能可以为人类所用，那么氘燃料的核聚变能将是人类可以长期利用的最有效的清洁能源。

(5) 氢能 氢是宇宙中含量最多的元素，是自然界中存在最普遍的元素。它以

化合物的形态大量地存在于水、石油、天然气、生物质等许多人类已经广泛使用或将来会大量使用的能源体中。氢的利用极为广泛，它不但是一种优质燃料，也是石油、化工、化肥和冶金工业中的重要原料。氢具有以下特点^[1]：①重量轻，在所有元素中，氢重量最轻，在标准状态下，它的密度为 0.089g/L；②导热性能好，所有气体中，氢气的导热性最好，因此在能源工业中氢是极好的传热载体；③储量丰富，氢是宇宙中含量最大的元素，据估计它构成了宇宙质量的 75%；④热值高，除核燃料外，氢的发热值是所有化石燃料、化工燃料和生物燃料中最高的，为 1.42×10^5 kJ/kg；⑤燃烧性能好，氢燃烧性能好，点燃快，与空气混合时有广泛的可燃范围，而且燃点高，燃烧速度快；⑥洁净，氢本身无毒，燃烧时只生成水和少量氮化氢，不产生诸如一氧化碳、二氧化碳、碳氢化合物、铅化物和粉尘颗粒等对环境有害的污染物质，少量的氮化氢经过适当处理也不会污染环境；⑦利用方式多，氢能利用形式多，既可以通过燃烧产生热能，在热力发动机中产生机械功，又可以作为能源材料用于燃料电池，或转换成固态氢用作结构材料；⑧氢存储方式多，可以以气态、液态或固态的金属氢化物出现，能适应储运及各种应用环境的不同要求。

氢的用途及其本身所具有的特点使氢能将会成为人类能源结构中重要的一部分，随着机动车向电动车的发展，随着受到世界范围内广泛重视的燃料电池技术的发展，氢气可能会成为将来各种机动装置的直接燃料，成为人类未来的重要能源。

但是氢是一种二次能源，虽然其在地球上的蕴藏量接近无限，但是在自然界中游离态的氢极少，只能通过对其他物质的加工转化，而且氢在正常条件下是气态的，易燃易爆，这些特点是制约氢能技术发展的主要问题。所以目前除了氢的利用技术不断开发和发展外，氢的生产制备技术和储运技术也在大力的研究开发过程中。

(6) 太阳能 太阳能是人类赖以生存与发展的能源，它的能源又是一种取之不尽、用之不竭的清洁无污染能源。对于常规化石能源而言，太阳能是有限的，是普遍存在的，可以就地取用，而且使用过程中不产生任何污染。

人类经历了从很早以前的无意识的太阳能使用，转变到主动有意识地收集利用太阳能，再到太阳能热水器产生、太阳能发电，以及太阳能与其他能量的转换等一系列过程，使人类对太阳能利用的效率逐渐提高，利用方式逐渐多样化，特别是可以将收集到的太阳能通过一定形式储存起来，使其最终能够成为人类多种能源中重要的一种。目前对太阳能的利用主要包括太阳能光伏发电、太阳能热发电以及太阳能热水器和太阳房等方式。

但是太阳能在固定地区的供给是昼夜间歇性的，容易受到天气的影响，并且单位面积上能量强度较低，单位体积能量密度低。这给人类对太阳能的广泛使用带来了技术困难，使太阳能利用的成本较高，大规模广泛利用受到影响。

图 1-1 为美国最大的光电子太阳能发电项目——“太阳能之星”。该项目安装了 7 万个太阳能电池板，装机 15MW，于 2007 年 12 月 17 日在美国拉斯维加斯 Nellis 空军基地竣工，可以给拉斯维加斯 1.1 万个家庭提供电力。

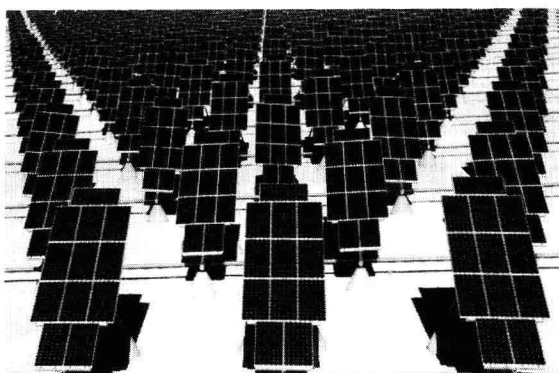


图 1-1 美国最大的光电子太阳能发电项目

(7) 风能 风能是指由空气流动所产生的动能。风能与其他能源相比,具有蕴量巨大、可以再生、分布广泛和没有污染等特点。据世界气象组织估计,全球的风能约为 2.74×10^9 MW,其中可利用的风能为 2×10^7 MW^[2]。近年来世界许多风能源大国的风能发电技术有了明显的提高,风能已经成为了许多国家能源结构中重要的部分,也逐渐成为全球能源结构特别是电力结构中的重要组成部分。

但风能也存在其难以克服的缺陷,主要表现在以下三个方面:①不稳定性;②风力的地区差异大;③能量密度低。风能的这些缺点导致风能利用技术难,成本高,影响了人类对风能的利用。

(8) 水能 水能主要是对水在流动过程中所产生的动能和其位于高处时所含有的势能,与化石能源相比,水能储量巨大,可再生,洁净无污染,利用简便。水能作为人类的一种常规能源早已实现了大规模产业化,而且已经在人类能源结构中占有了-定的比例。

但水能的利用很容易受到气候季节变化的影响,会影响水中生物的正常生态循环,有可能导致恶性的生态问题,有可能改变当地的气候环境,甚至改变其地质结构。

(9) 生物质能 生物质能是太阳能通过光合作用转化而成的自然资源,包括传统的秸秆、牲畜粪便、薪柴和城市有机废弃物等,还包括今后发展的各种速生能源植物(速生林、速生草本植物、富糖植物、富油脂植物),是洁净的、唯一可转化为液体燃料的可再生能源。

生物质是一种可再生的碳源,可转化成常规的固态、液态和气态燃料。作为可再生资源,生物质能可以通过植物的光合作用再生,资源丰富,可以保证能源的永续利用,同时生物质的硫含量、氮含量低,燃烧过程中生成的 SO_x 、 NO_x 较少。生物质作为燃料,它排放的二氧化碳的量相当于其生长过程所吸收的二氧化碳的量,并不会破坏大气中二氧化碳的平衡,可有效地减轻环境污染特别是温室效应。

当然生物质能的利用也有其不利因素,其资源分散、热值低、品种杂,存在明显的区域性和季节性。因此生物质能的深化利用必须通过生物化学法和热化学法等途径改变其化学结构。