

国家科普知识重点图书

高新技术科普丛书

新能源材料

陈军
袁华堂
编著

化学工业出版社



国家科普知识重点图书

高新技术科普丛书

新 能 源 材 料

陈 军 袁华堂 编著

化 学 工 业 出 版 社

· 北 京 ·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目 (CIP) 数据

新能源材料/陈军, 袁华堂编著. —北京: 化学工业出版社, 2003. 1
(高新技术科普丛书)
ISBN 7-5025-4322-8

I. 新… II. ①陈…②袁… III. 能源-材料-普及读物 IV. TK01-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2002) 第 110537 号

高新技术科普丛书

新能源材料

陈军 袁华堂 编著

总策划: 陈逢阳 周伟斌

责任编辑: 杜进祥

责任校对: 陶燕华

封面设计: 于兵

*

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)

发行电话: (010) 64982530

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 850 毫米×1168 毫米 1/32 印张 5 字数 125 千字

2003 年 1 月第 1 版 2003 年 1 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-4322-8/TQ·1663

定 价: 12.00 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

《高新技术科普丛书》编委会

主任

路甬祥 中国科学院院长，中国科学院院士，
中国工程院院士

委员

汪家鼎 清华大学教授，中国科学院院士
闵恩泽 中国石油化工集团公司石油化工科学研究院教授，
中国科学院院士，中国工程院院士
袁 权 中国科学院大连化学物理研究所研究员，
中国科学院院士
朱清时 中国科学技术大学教授，中国科学院院士
孙优贤 浙江大学教授，中国工程院院士
张立德 中国科学院固体物理研究所研究员
徐静安 上海化工研究院（教授级）高级工程师
冯孝庭 西南化工研究设计院（教授级）高级工程师

序

数万年来，人类一直在了解、开发、利用我们周围的自然界，同时不断地认识着自身，科学技术也从一开始就随着人类的生存需求而产生和发展着。人类发展史充分验证了邓小平“科学技术是第一生产力”的论断。科学技术的发展，促进了人类文明和社会的发展。

21世纪是信息时代，21世纪是生命科技的世纪，21世纪是新材料和先进制造技术迅速发展和广泛应用的年代，21世纪是高效、洁净和安全利用新能源的时代，21世纪是人类向空间、海洋、地球内部不断拓展的世纪，21世纪是自然科学发生重大变革、取得突破性进展的时代。科学技术的发展、新技术的不断涌现，必将引起新的产业革命，对我国这样的发展中国家来说，既是挑战，也是机遇，而能否抓住发展机遇，关键在于提高全民族的科学文化水平，造就一支具有科学精神、懂得科学方法、具有知识创新和技术创新能力的高素质劳动者队伍。所以，发展教育和普及科学知识、弘扬科学精神、提倡科学方法是我们应对世纪挑战的首要策略。为此，1999年8月，江总书记在视察中国科学院大连化学物理研究所时进一步强调了科普工作的重要性：“在加强科技进步和创新的同时，我们应该大力加强全社会的科学普及工作，努力提高全民族的科学文化素质。这项工作做好了，就可以为科技进步和创新提供广泛的群众基础。”

为了普及和推广高新技术，化学工业出版社组织几位两院院士和专家编写了《高新技术科普丛书》。本套丛书的特点是：介绍当今科学产业中的一些高新技术原理、特点、重要地位、应用及产业化的现状与发展前景；突出“新”，介绍的新技术、新理论和新方法不仅经实践证明是成熟、可靠的，而且是有应用前景的实用技术；力求深入浅出，图文并茂，知识性、科学性、通俗性、可读性及趣味性的统一，并充分体现科学思想和科学精神对开拓创新的重

要作用。

《高新技术科普丛书》涉及与我国经济和社会可持续发展密切相关的高新技术，第一批9个分册包括绿色化学与化工、基因工程技术、纳米技术、高效环境友好的发电方式——燃料电池、最新分离技术（如超临界流体萃取、吸附分离技术、膜技术）、化学激光、生物农药等。本套丛书以后还将陆续组织出版多种高新技术分册。相信该套科普丛书对宣传普及科技知识、科学方法和科学精神，正确地理解、掌握科学，提高全民族的素质将会起到积极的作用。

洛角祥

2000年9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。

能源的分类很多，按能否再生可将能源分为再生能源（如太阳能）和不可再生能源（如化石燃料）；按现阶段使用的成熟程度又可将能源划分为常规能源和新能源。新能源的含义在我国是指除常规能源和大型水力发电之外的太阳能、氢能、核能、风能、生物质能、海洋能、地热能等。目前最有发展前景的新能源包含太阳能、氢能、核能、风能等。

太阳能是取之不尽，用之不竭的最清洁的可再生能源。除了植物的光合作用外，人类还可以利用太阳能蓄热、热发电、光伏发电及光化学发电等。其中利用太阳能的热能来供热及太阳能的光电转换来发电是最主要的两种利用形式。

氢能以其质量轻、热值高、无污染等优点而被广泛应用于现代高科技。实践证明氢作为能源将有着十分诱人的前景。利用氢能的途径和方法很多，有的已经实现，有的正在开发，有的尚在探索中。

核能是原子核结构发生变化时放出的能量。核能包含核裂变能及核聚变能，核能是清洁能源之一。人类已实现可控的核裂变反应，但还未实现可控的核聚变反应。核反应可释放出巨大的能量。和平利用核能已为全球所关注。

风是地球外表大气层由于太阳的热辐射而引起的空气流动，因而风能是大气流动的动能，风能是可再生的洁净能源。风力发电是世界上应用风能最广泛、最重要的领域。

应该指出，人类在使用包含上述新能源在内的各种能源中，其能量的利用都是通过材料的使用才得以传递。能量在传递的过程

中，能量转换与储存是两个关键的步骤。能量转换既包括着同种能量和不同种能量的转换，又包括着能量的直接转换和间接转换。化学反应（如热化学反应、光化学反应、电化学反应及生物化学反应等）恰是能量转换的一个重要途径。特别是像镍/金属氢化物电池、锂离子电池、氢/氧燃料电池等高能化学电源，可将物质化学反应所产生的能量直接、高效、清洁地转化成电能，已获得重大发展，并已广泛应用于当今社会。因此，材料，特别是新型能源材料在提高能源利用效率时起着非常重要的作用。

新能源材料已成为材料、化学、能源、环境等诸多学科相互交叉渗透的热点研究领域。新型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来实现“零排放”，以获得最佳原子经济性，因而它对解决能源危机及其所造成的环境污染起着关键的作用。

在我们生活的地球，一方面人口在迅速增长，而另一方面人类生活水平又在不断提高，这些无疑使能源需求量大大幅度增加。化石能源在日趋枯竭，且其造成的环境污染也难以解决。因此，人类社会呼唤新能源，以能够更好地为各种活动提供所需的原动力，并实现清洁生产。新能源的开发利用则是通过新材料的特殊功能来实现，因而新型能源材料的发现、发明和使用极大地促进了社会的发展和人类的文明。

本书就是在这种形势下，应化学工业出版社之约而编写。本书是一本科普读物，适宜于具有高中以上文化的人阅读。本书编写的目的是简单介绍新能源材料，特别是对与太阳能、氢能、核能与风能、新能源材料与化学电源相关的开发做叙述，从而有助于读者较好地了解新能源开发的必要性以及新材料所起的关键作用，并通过读者在社会中宣传推广。读者如果想对一些技术问题做更深入的了解，可查阅书后所附的相关参考资料。

本书是作者在氢能领域多年的研究基础上编写而成。本书在文字打印及插图绘制过程中，得到了课题组李锁龙等同志的大力帮助，在此表示感谢。

由于水平有限，加之时间仓促，本书难免有疏漏和不妥甚至错误之处，恳请读者予以批评指正。

陈 军 袁华堂

2002年12月8日于天津南开园

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 材料	1
1.2 能源	2
1.3 绿色技术	3
1.4 新能源	4
1.5 新能源材料	6
1.6 前景展望	7
第 2 章 太阳能	10
2.1 太阳能简介	10
2.2 我国的太阳能资源	11
2.3 太阳能开发利用	12
2.3.1 太阳能热利用	13
2.3.2 太阳能光伏发电技术	22
2.3.3 太阳光化学电池	35
第 3 章 氢能	42
3.1 氢能的特点	42
3.2 氢能的利用与开发	43
3.3 氢的制造技术	45
3.3.1 金属(金属氢化物)与水/酸的反应	45
3.3.2 电解水制氢	46
3.3.3 太阳能制氢	46
3.3.4 热化学循环分解水	46
3.3.5 矿物燃料制氢	48
3.3.6 生物质制氢	48
3.3.7 其它方法制氢	49
3.4 氢的储存与运输	49
3.4.1 低温液氢储存	50

3.4.2	高压气态储存	51
3.4.3	金属氢化物储存	51
3.4.4	配位氢化物储氢	54
3.4.5	吸附储氢	55
3.5	氢的利用	57
3.5.1	液氢的使用	58
3.5.2	化学工业用氢	58
3.5.3	镍/氢电池的负极储氢材料	59
3.5.4	氢化物储氢装置	59
3.5.5	氢的燃烧	60
3.5.6	氢的热核反应	61
3.5.7	燃料电池	61
第4章	核能和风能	63
4.1	核能	63
4.1.1	核反应	63
4.1.2	核能应用的基础与特点	65
4.1.3	核能的利用	69
4.2	风能	78
4.2.1	风的特征	79
4.2.2	风能	81
4.2.3	风能利用	83
4.2.4	风力发电机	88
第5章	新型能源材料与化学电源	93
5.1	化学电源概述	93
5.1.1	化学电源的分类	93
5.1.2	新型化学电源的发展动力	95
5.2	镍/氢电池	96
5.2.1	概述	96
5.2.2	镍电极	98
5.2.3	储氢电极	104
5.2.4	镍/氢动力电池	110
5.3	锂电池	115
5.3.1	概述	115

5.3.2	锂离子电池的结构及工作原理	117
5.3.3	锂离子电池正极材料	120
5.3.4	锂离子电池负极材料	124
5.3.5	锂离子电池的发展	125
5.4	燃料电池	127
5.4.1	燃料电池的发展	127
5.4.2	燃料电池的热力学与动力学性能	130
5.4.3	燃料电池的关键材料和技术	130
5.4.4	五类燃料电池简介	134
5.4.5	移动式燃料电池的氢源	141
主要参考文献		142

第 1 章 绪 论

1.1 材料

材料是人类文明的里程碑，是人类赖以生存和得以发展的重要物质基础。正是材料的发现、发明和使用，才使人类社会发展到科学技术高度发达的今天。材料的分类方法很多，通常按组成、结构特点分为：金属材料、无机非金属材料、有机高分子材料和复合材料。因此，材料具有一定的组成和配比，一定的形状和结构，以及经济上可接受性和回收再生性等特点。

材料通常都是由原子或分子结合而成的物质，它包含一种或一种以上的元素。按原子或分子的结合和结构分布状态的不同，材料的组成可分为固溶体、聚集体和复合体三类。材料中具有同一化学成分并且结构相同的均匀部分称为相。材料的结构是指材料的组成单元（原子或分子）之间相互吸引和排斥作用达到平衡时的空间分布。从宏观到微观以及从表面到体相可分成不同的组织结构。材料中的元素都能以一定的结合方式（如化学键、氢键或范德华力等）构成物质。材料的性质是对其功能特性和效用（如力、热、电、磁、声、光、化学性质等）的定量描述。

在整个材料领域，各类材料均有相对应的制备方法与工艺，但归纳起来可分为气相法、液相法和固相法三类。

气相法是直接利用气体或者通过各种手段将物质变成气体，使之在气体状态下发生物理变化或化学变化，最后在冷却过程中凝聚长大的方法。气相法包括物理气相沉积和化学气相沉积，主要含有气体中蒸发、化学气相反应、化学气相凝聚、等离子体、溅射等方法。

液相法是以均相的溶液为出发点，通过各种途径使溶质与溶剂

分离，溶质形成一定形状和大小的颗粒，得到所需粉末的前驱体，热解后得到微粒的方法。液相法又可分成：熔融法、界面法、液相沉淀法、溶胶/凝胶法、水热法和喷雾法等。

固相法是利用从固相到固相的变化来制备材料的方法。它包含热分解法、固相反应法、火花放电法、溶出法、球磨法。虽然材料的制备方法多样、形状不同、性能各异，但从化学组成来看它们都涉及元素周期表中的各种元素。而决定元素性能的应用是材料的成分与结构、合成与工艺以及性能。材料按用途可分为结构材料与功能材料，前者是利用材料的物理力学性质，而后者是利用光、电、声、磁、化学性质完成特定功能。人类正是不断地了解材料的这些特性，并加以应用，从而服务于人类社会生活，同时也促进了社会的发展进步。

1.2 能源

能源是指一切能量比较集中的含能体和提供能量的物质运动形式。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。

能源种类很多，但按照它们的来源，大体上可分为三大类。第一类是从地球以外的天体来的能量，其中最重要的是太阳辐射能，简称太阳能。第二类是地球本身蕴藏的能量，如海洋和陆地中储有的各种燃料及地球内部的热能。第三类是由于地球在其它天体的影响下产生的能量（如潮汐能）。这三类能源统称为一级能源，而人类依靠一级能源来制造加工出许多适合于生产活动所需的能量形式，则统称为二级能源。对于一级能源和二级能源，依据它们的形成方式、使用性质、可否再生及使用成熟程度又可将能源做如下分类。

① 按能源的形成方式可划分为一次能源和二次能源。一次能源是自然界中存在的可直接使用的能源（如煤炭、石油、天然气、太阳能等）。二次能源则是指经加工转化成的能源（如电、煤气、蒸汽等）。

② 按能源的使用性质可分为含能体能源和过程性能源。含能体能源是指能够提供能量的物质能源（如煤炭、石油等），其特点是可以保存且可储存运输。而过程性能源是指能够提供能量的物质运动形式（如太阳能、电能等），它不能保存，难于储存运输。

③ 按可否再生又可将能源分为再生能源和不可再生能源。再生能源是指不随人类的使用而减少的能源（如氢能等）。不可再生能源则是随着人类使用而逐渐减少的能源（如化石燃料）。

④ 按现阶段使用的成熟程度又可将能源划分为常规能源和新能源。前者是指人类已长期使用，且在技术上也比较成熟的能源。而后者是指虽已开发并少量使用，不过技术上还未成熟而没有被普遍使用，但却具有潜在应用价值的能源。

1.3 绿色技术

虽然以煤炭、石油为主体的常规能源在今后的一段时间内还会占主导地位，但大量化石能源的使用造成了严重的环境污染。而随着世界人口剧增，常规能源的濒临枯竭以及大量污染物的排放又进一步加剧了人类生存环境的迅速恶化。这主要表现在：全球气候变暖的温室效应，大气污染以及引起的酸雨成灾，臭氧层被破坏，淡水资源的紧缺与污染，海洋污染及生物链的破坏，森林被毁及土地退化等。环境污染的公害首先是大气污染，随后是水污染及土壤污染。自然环境中的污染物存在于大气、水、土壤和食物中，通过食物、呼吸进入人体，损害了人体正常机能，危及人类的健康，从而给人类生活造成了极大的威胁。环境污染对人体健康的危害，取决于污染物的理化性质、进入人体的剂量、作用时间、个体敏感性等因素。

为了消除温室效应和大气污染等给环境造成的灾害，维护国民健康及经济的可持续发展，人类社会呼唤清洁生产，又称为“绿色技术”。清洁生产是运用现代科学技术的原理与方法来减少或消除产品的设计、生产和应用中有害物质的使用与生产，使所研究开发的产品和过程对环境更加友好，从而达到既可满足人类的需要，又

可合理使用自然资源和能源，同时还起到了保护环境的作用。由于清洁生产能够充分利用参与反应的原料原子来实现“零排放”，即获得最佳原子经济性，因而它对解决能源危机及其所造成的环境污染起着关键的作用。

绿色技术是人类用能源危机和环境污染的巨大代价所换来的新认识、新思维和新科学。它的根本点是从源头上防止污染的生成，从而消除或减少对环境的污染，实现人和生态环境的协调和谐。因此，绿色技术已成为各国政府、科技界和工业界关注的热点。由此而引发的产业革命正在全世界迅速崛起，将直接影响到人们的思维和生活。

1.4 新能源

新能源的含义在我国是指除常规能源和大型水力发电之外的太阳能、氢能、核能、风能、生物质能、海洋能、地热能等。

“新”与“常规”相比是一个相对的概念，随着科学技术的进步，它们的内涵将不断发生变化。新能源的出现与发展，一方面是能源技术本身发展的结果，而另一方面也是由于它们在解决能源危机及环境问题方面呈现出新的应用前景。目前最有发展前景的新能源包含太阳能、氢能、核能、风能等。

太阳能是取之不尽、用之不竭的最清洁的可再生能源。除了植物的光合作用外，人类还可以利用太阳能蓄热、热发电、光伏发电及光化学发电。太阳能蓄热是将太阳能转换成热能直接加以利用。太阳能热发电是将太阳能积蓄起来用于发电。太阳能光伏发电则是利用光电效应将太阳光辐射能直接转化为电能。而太阳能光化学发电则是利用太阳光辐射化学电池的电极材料，以发生电化学氧化还原反应来获得电能。太阳能光伏电池已在现代高科技中得到广泛的应用，特别是在人造卫星和宇宙飞船探测宇宙空间方面已成为可靠的能源。而宇航员在宇宙飞船或太空站中的生活也是靠太阳能光伏电池来提供热能和电能来维持化学反应，以供应人体所需要的氧气和水，却又不断除去人体排出的二氧化碳及异味。随着太阳能光

伏电池研究的不断深入，其开发应用也正在逐步走向产业化、商业化，也必将成为 21 世纪最有希望的可再生能源发电技术之一。

氢能以其质量轻、热值高、无污染等优点而被广泛应用于现代高科技，如航天器、导弹、火箭、汽车等方面。实践证明氢作为能源将有着十分诱人的前景。虽然自然界中单质氢很少，但氢却是最普遍存在的元素之一，如一个水分子中含有两个氢原子。氢来源广，最具前景的方法就是从水中制取。单质氢在常温常压下是气体，在超低温和高压下又可成为液体。氢气的燃烧热值很高，为汽油热值的 3 倍。氢气燃烧后，与氧化合生成水，不会污染环境。氢还可以通过燃料电池与氧发生电化学反应，以直接获取电能和热能。氢的制取、储存（含运输）及应用构成了氢能开发利用的三要素。实现氢能大规模应用需要解决的关键是廉价的制氢技术和安全高效的储氢技术。当前采用的电解水制氢方法耗电量高，亟待改进。从长远看，廉价而又高效率的制氢途径是利用太阳能分解水来获得干净的氢能源。由于氢易气化、易扩散、易燃、易爆和质量轻等特点，使得目前的各种储氢方式都存在储氢效率低的缺点，达不到实用化要求。因此，开发新型高效的储氢材料和安全的储氢技术是当务之急。在成功解决这些难题之后，大规模利用氢将成为现实，从而可带来一场新能源革命，这必将对生活环境的改善和国民经济的发展有着不可估量的促进作用。

核能是原子核发生变化时所释放出来的能量。因此，从重核原子的裂变或轻核原子的聚变均可获得巨大的能量。核能是清洁能源之一，它没有污染物排放，若管理得当，也不会发生放射性泄漏。核能及其相关技术已涉及国民经济的一些重要部门，并已渗透到人们的日常生活当中，和平利用核能已为全球所关注。目前，人类已实现了可控的核裂变反应，并将核裂变能利用核电站来发电；但是到目前为止，人类还未实现可控的热核聚变反应。

风能是大气流通的动能。采用风力发电是一项诱人的清洁能源工程。从减少温室气体排放的角度看，积极开发利用风能是一项很有前途的选择，也符合经济发展的客观要求。特别是在我国有着丰