

# 化学化工材料与新能源


HUAXUE HUAGONG CAILIAO YU XINNENGYUAN

张军丽 著

国家一级出版社  中国纺织出版社 全国百佳图书出版单位

# 化学化工材料与新能源

张军丽 著

 中国纺织出版社

## 内 容 提 要

本书在介绍国内外新能源材料开发、利用、研究的基础上,结合当今世界新能源领域的研究发展现状,概述了新能源与新能源材料面临的主要任务和研究进展;阐述了锂离子电池材料技术、燃料电池材料技术、太阳能电池材料技术以及其他新能源材料技术。全书力求基础知识与应用前沿相结合,内容丰富,涵盖面广,涉及当前新能源材料与新能源技术关键问题与热点问题。

### 图书在版编目(CIP)数据

化学化工材料与新能源 / 张军丽著. --北京:中国纺织出版社, 2019.3 (2019.8重印)

ISBN 978-7-5180-5760-3

I. ①化… II. ①张… III. ①化工材料—关系—新能源—研究 IV. ①TQ04②TK01

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2018)第 278619 号

---

责任编辑:范雨昕 责任校对:寇晨晨  
责任设计:胡 姣 责任印制:王艳丽

---

中国纺织出版社出版发行  
地址:北京市朝阳区百子湾东里 A407 号楼 邮政编码:100124  
销售电话:010-67004422 传真:010-87155801  
<http://www.c-textilep.com>  
E-mail:faxing@c-textilep.com  
中国纺织出版社天猫旗舰店  
官方微博 <http://weibo.com/2119887771>  
北京虎彩文化传播有限公司印刷 各地新华书店经销  
2019年3月第1版 2019年8月第2次印刷  
开本:787×1092 1/16 印张:11  
字数:197千字 定价:88.00元

---

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社图书营销中心调换

# 前 言

随着世界经济的快速发展和全球人口的不断增长,世界能源消耗剧增,人类社会的可持续发展受到严重威胁,人们越发意识到解决能源危机的关键是能源材料,尤其是新能源材料技术的突破。

化学化工材料与新能源是降低碳排放、优化能源结构、实现人类社会可持续发展的重要途径,也是国民经济和社会发展的命脉。相对于传统能源,新能源普遍具有污染少、储量大的特点,对于解决当今世界严重的环境污染问题和资源(特别是化石能源)枯竭问题具有重要意义。新能源材料是指支撑新能源发展,具有能量储存和转换功能的功能材料或结构功能一体化材料。

新能源材料对新能源的发展发挥了重要作用,一些新能源材料的发明催生了新能源系统的诞生,其应用提高了新能源系统的效率,新能源材料的使用则直接影响新能源系统的投资与运行成本。本书共分六章,内容涉及新能源的概念、新能源材料的关键技术以及国内外新能源与节能产业的最新进展,新型储能材料,锂电子电池材料及应用,燃料电池材料及应用,太阳能电池材料及应用,另外还介绍了其他新能源材料与应用。

本书涉及的知识面较广,限于编者本身水平和能力所限,书中难免存在一些疏漏,诚恳地希望读者予以批评、指正。

著 者

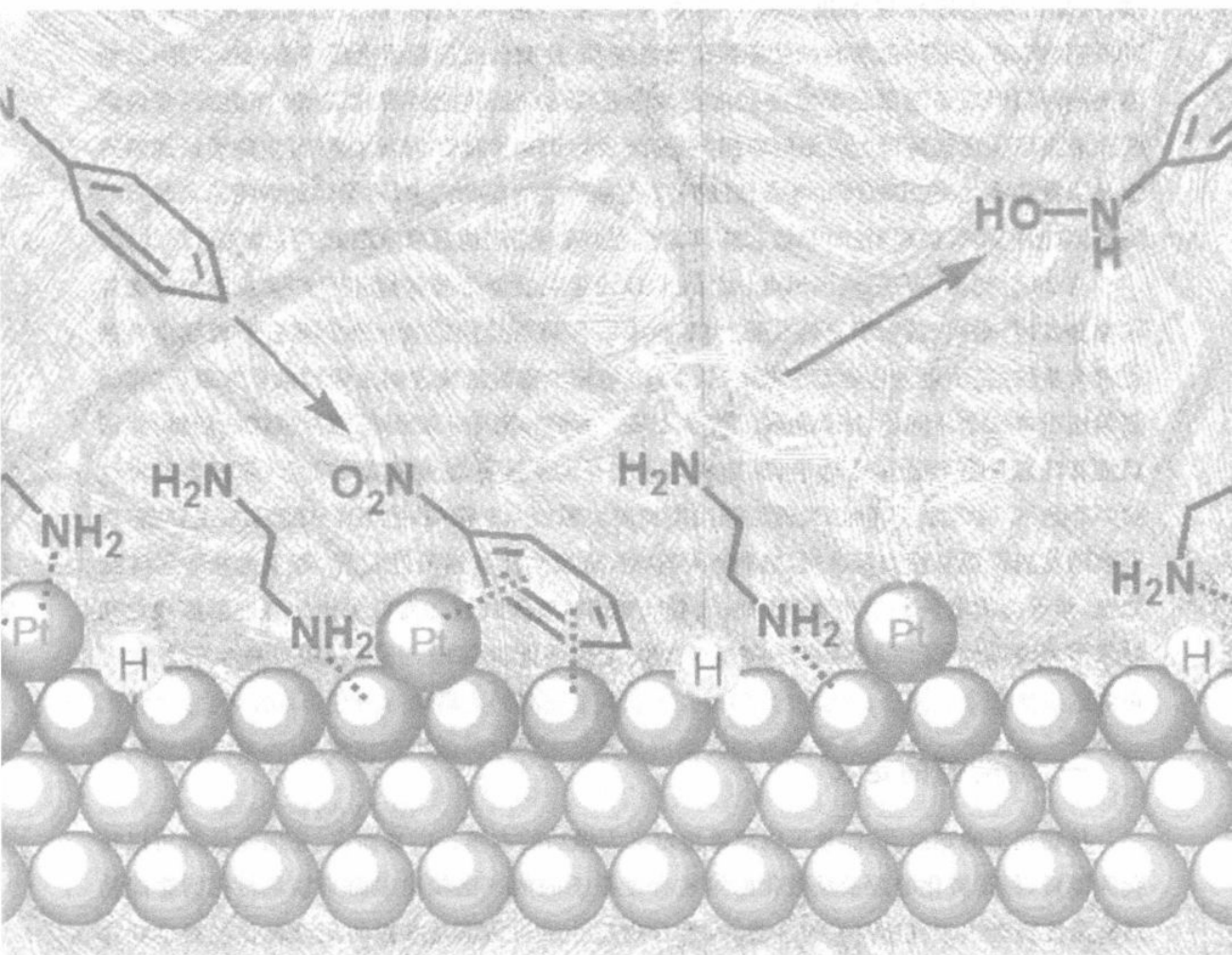
2018年3月

## 目 录

<b>第一章 化学化工材料与新能源</b> .....	1
第一节 概述 .....	2
第二节 新能源材料的关键技术 .....	9
第三节 国内外新能源与节能产业进展现状 .....	13
<b>第二章 新型储能材料</b> .....	22
第一节 储能、储能技术与应用 .....	23
第二节 储热技术基础 .....	23
第三节 相变储能材料基础 .....	24
第四节 新型相变储能材料制备基础及应用的研究进展 .....	26
<b>第三章 锂离子电池材料及应用</b> .....	33
第一节 概述 .....	34
第二节 锂离子电池的工作原理 .....	35
第三节 锂离子电池负极材料 .....	38
第四节 锂离子电池正极材料 .....	45
第五节 锂离子电池主要应用和发展趋势 .....	57
<b>第四章 燃料电池材料及应用</b> .....	59
第一节 燃料电池概述 .....	60
第二节 质子交换膜型燃料电池材料 .....	73
第三节 熔融碳酸盐燃料电池材料 .....	80
第四节 固体氧化物燃料电池材料 .....	84
第五节 直接甲醇燃料电池材料基础与应用 .....	91
第六节 其他类型的燃料电池材料 .....	94
<b>第五章 太阳能电池材料及应用</b> .....	97
第一节 太阳能电池概述 .....	99

第二节	太阳能电池的基本概念和工作原理 .....	106
第三节	几种典型太阳能电池及其材料 .....	110
第四节	太阳能电池应用 .....	133
<b>第六章</b>	<b>其他新能源材料与应用 .....</b>	<b>144</b>
第一节	核能关键材料与应用 .....	145
第二节	镍氢电池材料基础与应用 .....	148
第三节	生物质能材料基础与应用 .....	149
第四节	风能与其材料基础 .....	152
第五节	地热能 .....	161
<b>参考文献</b>	.....	<b>163</b>

# 第一章 化学化工材料与新能源



## 第一节 概述

随着技术和经济的发展以及人口的增长,人们对能源的需求越来越大。目前以石油、煤为代表的化石燃料仍然是能源的主要来源。一方面,化石燃料的使用带来了严重的环境污染,大量的 $\text{CO}_2$ 、 $\text{SO}_2$ 、 $\text{NO}_x$ 气体以及其他污染物,导致了温室效应的产生和酸雨的形成。另一方面,由于化石燃料的不可再生性和有限的储量,日益增长的能源需求带来了严重的能源危机。据估计,按照目前的消耗量,石油仅仅能维持不到50年,而煤也只能维持200年。而作为能源需求大国的中国,目前已经有超过50%的石油需要进口,而到2010年,这一数字可能会增长到55%。因此发展清洁的、可再生的新能源的要求越来越迫切。

从全球可再生能源投资情况来看,虽然2008年金融危机的爆发影响了世界经济的发展,但是在新能源领域的投资并没有减少。从2020年开始,投资有可能增加到每年6000亿美元。同样,随着我国能源需求日益增加,使我国的能源需求形势越来越紧张,如何解决能源危机成了国家亟须解决的重点。根据我国中长期能源规划,2020年之前,我国将投入2万亿元用于可再生能源的应用与研究。到2050年前后,非水能可再生能源的战略定位是主导能源之一,可以满足8.8亿~17.1亿吨标煤的能源需求,占全国能源需求的17%~34%;含水能则可以提供13.2亿~21.5亿吨标煤,占全国能源需求的26%~43%。

自20世纪80年代,我国风电、太阳能、现代生物质能等技术和产业在政府的支持下稳步发展,小水电、太阳能热水器、小风电等一些可再生能源技术和产业已经走在世界的前列。另外,我国可再生能源资源丰富。太阳能较丰富的区域占国土面积的2/3以上,年辐射量超过 $6 \times 10^5 \text{ J/cm}^2$ ,每年地表吸收的太阳能大约相当于1.7万亿吨标准煤的能量;我国风能资源总量为7亿~12亿千瓦,陆地技术可开发风能资源储量大于海上,年发电量可达1.4万亿~2.4万亿千瓦时;当前可利用生物质资源约2.9亿吨,主要是农业有机废弃物;可开发的水能资源总量非常丰富,约为6亿千瓦,全国水能技术可开发量,至少也在5亿千瓦以上,年可提供电量2.5万亿千瓦时。因此,我国具有大规模开发可再生能源的资源条件和技术潜力,可以为未来社会 and 经济发展提供足够的能源保障,开发利用可再生能源大有可为。

### 一、新能源的定义

从物理学的观点看,能量可以简单地定义为做功的本领。广义而言,任何物质都可以转化为能量,但是转化的数量及转化的难易程度是不同的。比较集中而又较易转化的含能物质称为能源。由于科学技术的进步,人类对物质性质的认识及掌握的能量转化方法也在深化,因此并没有一个很确切的能源定义。但对于工程技术人员而言,在一定的工业发展阶

段,能源的定义还是明确的。还有另一类型的能源,即物质在宏观运动过程中所转化的能量即所谓能量过程,例如水的势能落差运动产生的水能及空气运动所产生的风能等。因此,能源的定义可描述为:比较集中的含能体或能量过程,可以直接或经转换提供人类所需的光、热、动力等任何形式能量的载能体资源。

随着《国家中长期科学与技术发展规划纲要》(以下简称《纲要》)及其配套政策的出台,一批拥有核心技术和知识产权,代表未来科技发展方向的新能源科技力量将脱颖而出,而能源紧张的大背景将使《纲要》中在新能源汽车和燃料电池技术两处着墨的燃料电池大放异彩。

二次能源中,蒸汽由于传输距离短,难以储存而应用受限;电能虽然传输快、传输距离远,但存在传输过程中能量损耗大,难于储存的缺点;而氢能既能远距离运输、又能方便储存,因而成为 21 世纪的理想新能源,21 世纪也被称为氢世纪。

燃料电池是以氢气或含氢化合物如甲醇与氧气或空气进行电化学反应,生成水,放出电子而形成电流,具有高效、环保、静音的优点,使其广泛用于汽车、军事和笔记本电脑等便携场合。其中燃料电池汽车被业内认为是 21 世纪最有发展前途的环保汽车,全球 40 家主要汽车制造商中有 25 家投入大量人力物力致力于燃料电池汽车的研发;德国海军用两艘燃料电池潜艇的服役拉开了燃料电池大规模军用的序幕;而日本除了开发出大量用于笔记本电脑、数码相机和手机的燃料电池外,还将普及家用燃料电池,预测到 2020 年其家用燃料电池市场规模将达 3 075 亿日元。

我们的研究表明,目前燃料电池相关公司主要有长城电工、上海科技、同济科技、稀土高科、南风化工等。其中长城电工因参股大连新源动力 21% 的股份而有望成为燃料电池的龙头。大连新源动力是我国燃料电池研发的国家队,董事长衣宝廉院士是我国燃料电池的奠基人和带头人。大连新源动力独立承担了我国大部分燃料电池国家标准的制定(只有少量标准是由大连新源动力与中科院北京电工所联合制定);而且大连新源动力的燃料电池产品达到了国内领先水平。上海科技则与清华大学核能和新能源技术研究院共同研发的小型甲醇燃料电池已进入样机试制阶段,由于甲醇便于储存,国内煤炭企业已开始大批介入,因此有在燃料电池初始阶段便于推广的优势。相比之下,南风化工与清华大学合作从事纳米碳管开发,由于纳米碳管比表面积大的特征使其具有良好的储氢能力,也成为未来储氢技术发展的方向。总之,燃料电池概念将成为未来最具想象力的科技概念。

## 二、新能源的分类

根据科技界对新能源的阐述和研究,新能源主要根据来源进行分类。以现成的形式存在于自然界中的能源称为一次能源,经过人类加工生产出来的能源称为二次能源。根据发展前景和研究结果来看,二次新能源比一次新能源具有更高的研究价值和更长远的发展前

途,因此目前研究和应用较多的主要是二次新能源。

新能源和再生清洁能源技术是 21 世纪世界经济发展中最具有决定性影响的五个技术领域之一,新能源包括太阳能、生物质能、核能、风能、地热、海洋能等一次能源以及二次电源中的氢能等。新能源材料则是指实现新能源的转化和利用以及发展新能源技术中所要用到的关键材料。

主要包括储氢电极合金材料为代表的镍氢电池材料、嵌锂碳负极和  $\text{LiCoO}_2$  正极为代表的锂离子电池材料、燃料电池材料、Si 半导体材料为代表的太阳能电池材料以及铀、氦、氚为代表的反应堆核能材料等。当前的研究热点和技术前沿包括高能储氢材料、聚合物电池材料、中温固体氧化物燃料电池电解质材料、多晶薄膜太阳能电池材料等。

尤其是 20 世纪 60 年代后,随着新能源与纳米新能源的出现。根据来源新能源可以分为一次能源和二次能源(图 1-1)。



图 1-1 新能源分类

下面对这些新能源进行简单介绍。

### 1. 氢能

氢能是指氢燃烧释放的能量。氢的储量极为丰富,氢能作为能源自 20 世纪 70 年代以来即被利用,如液氢被用作航天器的燃料,一次次把卫星和飞船送上太空,但由于使用成本高,使其应用范围受到限制。

氢作为能源有以下几大优点。

(1) 氢是宇宙中最丰富的元素,覆盖地球表面 3/4 的海洋中的水就含有氢。由于每个水分子含有两个氢原子,由此计算,地球上平均每 100 个原子中就有 17 个氢原子,所以氢能是取之不尽,用之不竭的。

(2) 氢在燃烧时不放出污染物,是理想的绿色能源。如果使氢在燃料电池中燃烧,则不产生任何污染,只产生水。

(3) 氢的质量最轻,是元素周期表中最轻的元素,与其他物质相比,氢的燃烧热值高 ( $1.21 \times 10^5$  kJ/kg),具有最大的能量质量比,而汽油仅  $0.54 \times 10^5$  kJ/kg,甲烷为  $0.55 \times 10^5$  kJ/kg,喷气飞机用燃料为  $0.51 \times 10^5$  kJ/kg,煤和生物质能仅  $0.20 \times 10^5$  kJ/kg。如一辆小汽车行驶 500 km,才消耗 3 kg 氢。所以,氢在未来的能源中必将扮演一个很重要的角色。同时氢气的分子结构最简单,在进行能量转化时,破坏和形成的化学键较其他物质要少得多,因而释放能量快,反应速率常数高,可以作为复合固体推进剂的燃料使用。

氢能虽然是一种理想的能源,但要充分利用氢能,必须解决两个问题,即储运问题和安全性问题。根据物理化学原理,目前所采用的储氢方法主要有物理方法和化学方法。物理法储氢是指储氢物质和氢分子之间发生纯粹的物理作用或物理吸附;化学法储氢主要是储氢物质和氢分子之间发生化学反应,生成新的化合物,具有吸收或释放氢的特性。总体来

看,氢能的储运主要有:液化储运法、压缩储运法、固氢—液氢混合储运法、金属氢化物储运法、有机液态氢化物储氢、无机化合物储氢、活性炭吸附储氢等。近年来,随着碳纳米管研究的不断深入,碳纳米管在氢能储运方面的广阔应用前景正日益显现出来。

当前氢能研究的直接目标是以氢燃料电池为动力的汽车。近年来几个发达国家纷纷展示了各自的原型车,但是无论从技术上还是经济上规模化车载氢供应系统尚未切实解决。因此各国科学家均致力于研究高储氢材料与系统,其中最具有潜力是碳纳米管的吸附储氢。

## 2. 生物质能

生物质能是指植物叶绿素将太阳能转化为化学能储存在生物质内部的能量,通过热化学转换技术将固体生物质转换成可燃气体、焦油等,通过生物化学转换技术将生物质在微生物的发酵作用下转换成沼气、酒精等,通过压块细密成型技术将生物质压缩成高密度固体燃料等。生物质能源包括:能源林木、能源作物、水生植物、各种有机的废弃物等,它们是通过植物的光合作用转化而成的可再生资源。

生物质能由太阳能转换而来,它蕴藏在植物、动物和微生物等有机体中,是人类赖以生存的物质基础。生物质作为能源利用,在转换系统的每一个环节都可为人类造福,它具有全程良性循环的特征。生物质能既可直接利用,也可以通过转化成氢气、乙醇、沼气等含能物质间接使用。

## 3. 风能

风能是太阳辐射能的一种转化形式,是太阳辐射引起的空气流动动能。到达地球表面的太阳能约有2%转变成风能。风能是自然能源中比较明显的一种能源,据资料介绍,全球风能一年可达 $2.2 \times 10^6$  MW,其中可用于发电的约为 $10^6$  MW,比当前世界水力发电能还高10倍以上。风能的大小与风速的三次方及风通过的面积和空气的密度成正比。风能密度是指每秒内通过每平方米面积的风所具有的动能,它是评价风能资源的一个重要参数。

风能的利用是通过风力机将风能转化为电能、热能、机械能等各种形式的能量后,再用于发电、提水、助航、制冷和制热等。

## 4. 核能

核能是指由原子核的链式反应所产生的能量,包括应用于原子电站的核裂变能和正在研究的核聚变能(即可控热核能)。物质的原子核里蕴藏着多得令人难以置信的能量,通过破裂放射性材料可以获得一种能量——核能。

## 5. 太阳能

太阳能是各种可再生能源中最重要、也是人类可利用的最丰富的能源。通过辐射,太阳向地表输送 $(1.05 \sim 2.64) \times 10^{20}$  kW/h的能量,约相当于人类目前每年消耗总量的5 000倍,并且可以持续几十亿年以上。由于它具有到达地表强度低、间歇性以及地区上的差异,至今尚未能广泛开发利用。目前太阳能利用最有效的途径是太阳能的化学转化

和储存,以及通过“光电效应”原理,把太阳能直接转变为电能的新的太阳能利用技术和阳光催化分解水制氢等。

## 6. 地热能

地热,通常指那些能够经济地为人类所开发和利用的蕴藏在地球内部的热资源。人们赖以生存的地球内部是一个火热的世界,蕴藏着巨大的热量,地球中的这种天然热能就是地热能。

## 7. 海洋能

海洋能通常是指蕴藏在海洋中的可再生能源,主要包括潮汐能、波浪能、海流能、海水温差能、海水盐差能等。广义的海洋能源还包括海洋上空的风能、海洋表面的太阳能以及海洋生物质能等。海洋能蕴藏丰富,分布广,清洁无污染,但能量密度低,地域性强,因而开发困难并有一定的局限性。目前海洋能开发利用的主要方式是发电,其中潮汐发电和小型波浪发电技术已经实用化。另外海水制氢也是海洋能利用的一种方式。

## 8. 纳米新能源

纳米技术和纳米材料的出现为新能源实现本质上的飞跃提供了非常难得的条件。很多人认为纳米新能源既可以属于一次能源,也可以归为二次能源。但是,从其本质来看,纳米新能源在很大程度上是属于二次新能源,它主要是利用纳米材料和纳米技术为能量的储存和转化提供了非常便利的条件。这主要有三个方面的原因:第一是由于纳米粒子表面能高而储存大量的能量;第二是由于纳米粒子表面活性大而吸附大量的其他含能物质(如氢气);第三则是纳米粒子作为催化剂对原有能源释放形式和释放过程进行一定改变和加速,使被催化的原有含能材料的能量释放更完全、更充分,从而达到提高能量的目的。

对于纳米新能源,多是以复合材料的形式出现的。如作为纳米材料的纳米金属镍,它可以吸附比常规金属镍粉更多的氢气,吸附大量氢气的纳米金属镍粉复合材料就含有多重的能量形式:一种是金属粉本身可以释放大量的能量;另一种是纳米粒子所蕴含的表面能的形式;还有就是氢气在燃烧时也可以释放出比其他气体高得多的能量。而对于碳纳米管来说,由于其微观结构是内部中空的一维管状形式,可以吸附大量的气体(如氢气)。因此,储氢的碳纳米管复合材料既可以通过储氢来提高其能量含量,又可以作为固体推进剂的燃烧催化剂,还可以作为电极材料和氢燃料电池。

随着工业的发展和人类物质生活及精神文明的日益提高,能源的需求也与日俱增,世界上近 25 年来能源的消耗量相当于过去 100 年的消耗,而且这些能源大部分是地球上天然矿物的一次能源,在消耗的同时产生大量的环境污染。为此,在未来能源的开发过程中,最大的难题在于在尽量不损害地球和人类健康的前提下,如何充分地满足全球对能源日益增长的需求及减少对环境的污染。

未来能源工业的发展态势主要取决于市场力量、环保以及技术创新三大要素。在新能

源的各种形式中,储氢的碳纳米管和纳米金属粉复合材料是两种新型的纳米新能源复合材料。这两种纳米新能源复合材料不但需要利用最新的纳米技术,而且包含了大量的技术创新,因而具有十分广阔的应用前景。

### 三、未来的新能源与实现可持续发展

目前的能源消耗,很大程度上来自于化石燃料,这些能源对于环境有不小的伤害。在不久的将来,人们使用的能源数量肯定还将不断地上升。这里有十大未来的能源,将有可能帮助人们解决这个问题。

#### 1. 人工光合作用

其实地球上几乎所有的能源,基本上都来自太阳。植物在将太阳能转化为有用能源方面的效率是我们的太阳能电池远远不能及的。无论在直接产生电能,还是产生氢气,人工光合作用能够解决目前相当多的能源问题。人工光合作用是一个非常长的研发过程,过去的几十年取得了一些成果,然而还有待进一步发展。

#### 2. 洁净煤

煤经过去硫、去氮等工艺处理;或者是把煤进行气化,将固态的煤转换成气态,以更干净更有效地燃烧。虽然煤不如其他能源那样洁净,但之所以能够排名第二的高位,是因为这种能源使用的实在是非常广泛,用这种能源转换成电能,非常的便宜而且简单。

#### 3. 风能

风能是纯可再生能源中最经济的一种解决方案,其在工作的时候不消耗任何能源。既可以大规模地建成风力发电厂,也能安装在家庭中使用。

#### 4. 核能(基于钍)

提到目前应用的技术,不能不说核的部分。其实第三代反应堆非常安全,只会产生很少的高危废物,比烧煤炭的火力发电厂要洁净得多。核电厂占据一小块地方,却可产生大量的能源,而且不会排放出二氧化碳。使用钍作为核燃料会使核能的应用更好,能够显著地减少核废料的产生,减少很多危险的发生,而且钍的蕴含量是铀的三倍多。

#### 5. 太阳热能

从太阳获取热能是相当简单的,用这一热能产生热水,然后利用热水进行发电。大型的太阳能热电厂是可以建立起来的,位于美国加州的 SEGS 系统拥有 350 MW 的发电能力。太阳热能在那些拥有大面积太阳曝晒区域的地方,发挥着相当重要的能源贡献作用。

#### 6. 波浪能

涌起的波浪带有能量,而且波浪十分普遍,能从其中获得相当多的能源。例如,海蛇波浪能量转换器就是一个在水中半漂浮的设备。目前这种设备已经在葡萄牙使用,产生的总能量为 2.25 MW。

### 7. 地热能

地热能是来自地壳之下的高温能源。一个典型的地热能电场可以轻松地输送 100 MW 电量,这是风能和太阳能所无法企及的。例如冰岛的能源消耗,地热在其中占据了很大的比例。

### 8. Grätzel 太阳能电池

Grätzel 太阳能电池也被称作染料敏化二氧化钛纳米薄膜阳光极的光伏打电池,这种电池只有传统太阳能电池造价的 1/5,另外,还避免了非常消耗能量的完美硅晶圆制造过程。不过这种电池的效率还有待进一步提升,目前能够达到 33%左右。

### 9. 太阳能光电

目前掌握的太阳能光电技术,虽然昂贵又效率低下,但是如果更广泛地使用这一技术,一旦太阳能电池投入使用,后续的维持费用可能很低。

### 10. 氢

虽然自身不能当作能量源,氢燃料却是一个巨大的能源储备介质。氢可以随意从水中提取,拥有很好的能量/重量比,燃烧之后产生无污染的水蒸气。

## 四、化工与新能源

人类的一切研究活动都是和化工与能源分不开的,人们认为采用氢燃料不仅能解决短途化和可移动能源问题,空气污染、温室效应等环境问题,而且氢燃料会导致“氢经济”,即以氢为能源而驱动的政治和经济。氢经济的实现将可减少或消除以争夺石油为目的的政治、军事冲突,有利于世界和平。因此大力发展氢燃料技术就成为科技界的一大热门话题。

在分子中含氢量最大的是甲烷( $\text{CH}_4$ )和水( $\text{H}_2\text{O}$ )。甲烷(俗称沼气)可以通过植物而制成,而植物是太阳能的存储体,所以甲烷和水是地球上取之不尽,用之不竭的能源。如何把甲烷中的碳和水中的氧结合起来而释放出氢,成为催化研究的核心问题。任何化学反应都要激活能,如果这种能量是太阳能,那么太阳能、甲烷和水就成为人类能源的理想来源。太阳能的利用和研究已进行多年,过渡金属硫化物研究的最多。10年来进行了大量的氧化钛纳米颗粒与碳氢氮等化合物组合在一起的太阳能电池的研究,并取得了很大进展。然而太阳能中的长波区还未被充分利用。如果把太阳能中的热能变为从甲烷和水中制取氢气的“激活能”,那么人类将可以获得清洁、方便、用之不尽的能量——氢,人类的经济生活将从石油、煤转移到氢经济,即“绿色经济”。

要实现绿色经济就要求寻找能把水中氧输运给甲烷中碳的催化剂,也就是氧输运体,就是在原子、分子水平上进行调控,这种对原子和分子的调控能力就是当今纳米科学与技术的内容。人类在 21 世纪的科技竞争就是看谁首先理解和掌握调控原子分子的能力,使人类充分利用太阳能和存储于绿色植物和水中的能量,采用太阳能和氢为动力燃料,形成“绿色经

济”，从而使人类生存的环境更加协调、和平和美好。

21 世纪研究化工与能源实现绿色清洁化工是世界经济发展中最具有决定性影响的技术领域，我国目前已进入资源约束的发展阶段，用“绿色经济”技术推动化工与能源产业，为调整不符合国家政策的高能耗、高物耗、高污染、低附加值的劣势产业提供了新的动力。

对化工与能源的开发利用是人类社会发展的动力基础，根据国际能源机构的预测，未来 25 年里，在大力节约能源的基础上，世界能源需求总量还将增加一倍。

在中国，煤炭和石油大约占了一次性能源的 90%。由于煤炭和石油的大量使用，中国的 40% 的国土受到了酸雨的威胁。据专家预测未来 50 年内，我国能源需求总量达到目前的 3 倍，而那时国内化石能源将趋向枯竭。开发化工与新能源技术，发展化工与新能源产业已势在必行。

太阳能与核能是新能源的两大主体。对太阳能的利用又分为直接利用和间接利用两类。直接利用太阳能的技术有：光伏发电、温室气流发电等。间接利用太阳能的技术有：水力发电、风力发电及生物质能和地热能的利用等。它们的共同点是，来自太阳，取之不尽，可以再生，没有污染。

核能包括核裂变与核聚变两类。目前的核电站使用的都是核裂变技术。核裂变所产生的放射性污染不仅可以被防护，而且其污染程度远小于烧煤产生的尘埃所造成的放射性污染，并且核能不产生二氧化碳等有害气体。所以核能也是一种清洁能源。核聚变能的利用目前还处在试验阶段，估计 20 年内可望投入使用。由于核聚变的原料可取之于海水，并且没有放射性污染，所以前景被看好。

由于“氢”可以直接转化成电能，并且生成物是水，对环境没有污染，且还由于“氢”的可储存性与可移性是“电”不可比拟的。所以它将取代“电”作为能源的主要载体。

据美国能源部预测，2030 年氢的生产、储存与转化技术将趋于成熟，美国将步入“氢经济”时代。

## **第二节 新能源材料的关键技术**

新能源发展过程中发挥重要作用的新能源材料有锂离子电池关键材料、镍氢动力电池关键材料、燃料电池关键材料、轻质大容量储氢材料、太阳能电池材料、LED 发光材料、核用锆合金等。新能源材料的应用现状可以概括为以下几个方面。

### **一、锂离子电池及其关键材料**

经过 10 多年的发展，小型锂离子电池在信息终端产品（移动电话、便携式电脑、数码摄像机）中的应用已占据垄断性地位，我国也已发展成为全球三大锂离子电池和材料的制造和

出口大国之一。新能源汽车用锂离子动力电池和新能源大规模储能用锂离子电池也已日渐成熟,市场前景广阔。近 10 年来锂离子电池技术发展迅速,其比能量由  $100 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$  增加到  $180 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ ,比功率达到  $2000 \text{ W}/\text{kg}$ ,循环寿命达到 1000 次以上。在此基础上,如何进一步提高锂离子电池的性价比及其安全性是目前的研究重点,其中开发具有优良综合性能的正负极材料、工作温度更高的新型隔膜和加阻燃剂的电解液是提高锂离子电池安全性和降低成本的重要途径。

## 二、镍氢电池及其关键材料

镍氢动力电池已进入成熟期,在商业化、规模化应用的混合动力汽车中得到了实际验证,全球已经批量生产的混合动力汽车大多采用镍氢动力电池。目前技术较为领先的是日本 Panasonic EV Energy 公司,其开发的电池品种主要为  $6.5 \text{ A} \cdot \text{h}$  电池,形状有圆柱形和方形两种,电池比能量为  $45 \text{ W} \cdot \text{h}/\text{kg}$ ,比功率达到  $1300 \text{ W}/\text{kg}$ 。采用镍氢动力电池的 Prius 混合动力轿车在全球销售约 120 万辆,并已经经受了 11 年左右的商业运行考核。随着 Prius 混合动力轿车需求增大,原有的镍氢动力电池的产量已不能满足市场需求, Panasonic EV Energy 公司正在福岛县新建一条可满足 106 台/年电动汽车用镍氢动力电池的生产线,计划 3 年后投产。镍氢电池是近年来开发的一种新型电池,与常用的镍镉电池相比,容量可以提高一倍,没有记忆效应,对环境没有污染。它的核心是储氢合金材料,目前主要使用的是锆系、铁系和钛系储氢材料。我国在小功率镍氢电池产业化方面取得了很大进展,镍氢电池的出口逐年增长,年增长率为 30% 以上。世界各发达国家都将大型镍氢电池列入电动汽车的开发计划,镍氢动力电池正朝着方形密封、大容量、高能比的方向发展。

## 三、燃料电池关键材料

燃料电池材料因燃料电池与氢能的密切关系而显得意义重大。燃料电池可以应用于工业及生活的各个方面,如使用燃料电池作为电动汽车电源一直是人类汽车发展的目标之一。在材料及部件方面,主要进行了电解质材料合成及薄膜化、电极材料合成与电极制备、密封材料及相关测试表征技术的研究,如掺杂的  $\text{LaGaO}_3$ 、纳米 YSZ、铈掺杂的锰酸镧阴极及 Ni-YSZ 陶瓷阳极的制备与优化等。采用廉价的湿法工艺,可在 YSZ+NiO 阳极基底上制备厚度仅为  $50 \mu\text{m}$  的致密 YSZ 薄膜,  $800^\circ\text{C}$  用氢作燃料时单电池的输出功率密度达到  $0.3 \text{ W}/\text{cm}^2$  以上。

催化剂是质子交换膜燃料电池的关键材料之一,对于燃料电池的效率、寿命和成本均有较大影响。在目前的技术水平下,燃料电池中 Pt 的使用量为  $1\sim 1.5 \text{ g}/\text{kW}$ ,当燃料电池汽车达到 106 辆的规模(总功率为  $4 \times 10^7 \text{ kW}$ )时,Pt 的用量将超过 40 t,而世界 Pt 族金属总储量为 56 000 t,且主要集中于南非(77%)、俄罗斯(13%)和北美(6%)等地,我国本土的铂族金属矿产资源非常贫乏,总保有储量仅为 310 t。铂金属的稀缺与高价已成为燃料电池大规

模商业化应用的瓶颈之一。如何降低贵金属铂催化剂的用量,开发非铂催化剂,提高其催化性能,成为当前质子交换膜燃料电池催化剂的研究重点。

传统的固体氧化物燃料电池(SOFC)通常在 $800\sim 1\,000^{\circ}\text{C}$ 的高温条件下工作,由此带来材料选择困难、制造成本高等问题。如果将SOFC的工作温度降至 $600\sim 800^{\circ}\text{C}$ ,便可采用廉价的不锈钢作为电池堆的连接材料,降低电池其他部件(BOP)对材料的要求,同时可以简化电池堆设计,降低电池密封难度,减缓电池组件材料间的互相反应,抑制电极材料结构变化,从而提高SOFC系统的寿命,降低SOFC系统的成本。当工作温度进一步降至 $400\sim 600^{\circ}\text{C}$ 时,有望实现SOFC的快速启动和关闭,这为SOFC进军燃料电池汽车、军用潜艇及便携式移动电源等领域打开了大门。实现SOFC的中低温运行有两条主要途径:继续采用传统的YSZ电解质材料,将其制成薄膜,减小电解质厚度,以减小离子传导距离,使燃料电池在较低的温度下获得较高的输出功率,开发新型的中低温固体电解质材料及与之相匹配的电极材料和连接板材料。

#### 四、轻质大容量储氢材料

目前得到实际应用的储氢材料主要有AB<sub>5</sub>型稀土系储氢合金、钛系AB型合金和AB<sub>2</sub>型Laves相合金,但这些储氢材料的储氢质量分数都低于2.2%。近期美国能源部将2015年储氢系统的储氢质量分数的目标调整为5.5%,目前尚无一种储氢方式能够满足这一要求,因此必须大力发展新型大容量储氢材料。目前的研究热点主要集中在大容量金属氢化物储氢材料、配位氢化物储氢材料、氨基化合物储氢材料和MOFs等方面的研究。在金属氢化物储氢材料方面,北京有色金属研究总院近期研制出Ti<sub>32</sub>Cr<sub>16</sub>V<sub>22</sub>Ce<sub>0.4</sub>合金,其室温最大储氢质量分数可达3.65%,在 $70^{\circ}\text{C}$ 、0.1 MPa条件下有效放氢质量分数达到2.5%。目前研究报道的钛钒系固溶体储氢合金,大多以纯钒为原料,合金成本偏高,大规模应用受到了限制。因此,高性能低钒固溶体合金和以钒铁为原料的钛钒铁系固溶体储氢合金的研究日益受到重视。

#### 五、太阳能电池材料

基于太阳能在新能源领域的龙头地位,美国、德国、日本等发达国家都将太阳能光电技术放在新能源的首位。这些国家的单晶硅电池的转换率相继达到20%以上,多晶硅电池在实验室中的转换效率也达到了17%,这引起了各个方面的关注。砷化镓太阳能电池的转换率目前已经达到20%~28%,采用多层结构还可以进一步提高转换率,美国研制的高效堆积式多结砷化镓太阳能电池的转换率达到了31%,IBM公司报道的多层复合砷化镓太阳能电池的转换率达到了40%。在世界太阳能电池市场上,目前仍以晶体硅电池为主。预计在今后一定时间内,世界太阳能电池及其组件的产量将以每年35%左右的速度增长。晶体硅电