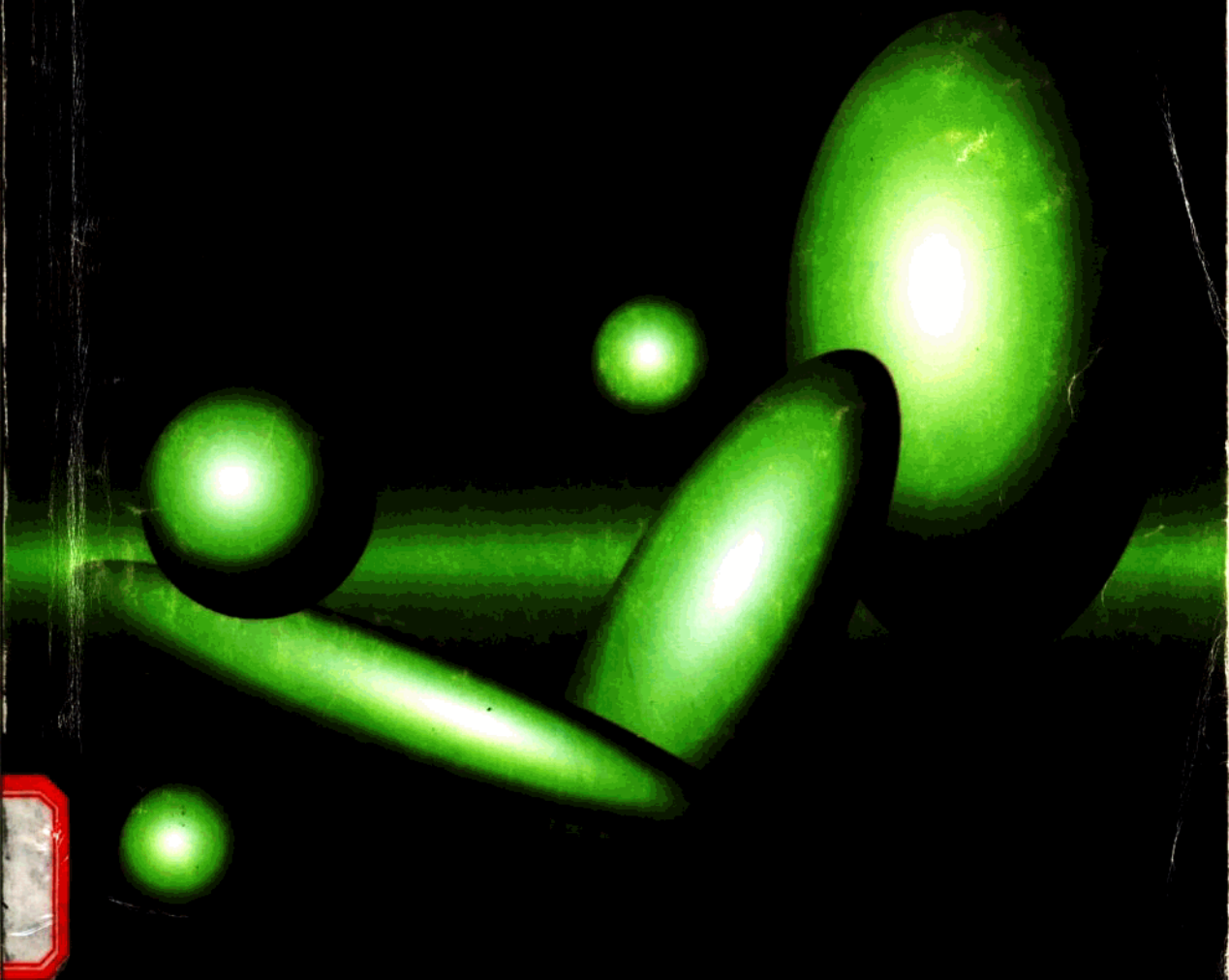


储氢材料及其 载能系统

王荣明 朱兴华 杨福湖 编著



重庆大学出版社

储氢材料及其载能系统

王荣明 朱兴华 杨福湖 编著

重庆大学出版社

内 容 简 介

本书系统地介绍了储氢材料的基本性质、种类、工作原理及其物性测试方法,并逐章介绍其用途,如蓄热功能,热泵空调制冷系统,氢的储存、分离和精制,在镍氢电池、燃料电池和电解水制氢系统中的载电功能,制作氢压缩机、化学发动机、氢能汽车、传感器及催化剂的材料等。

本书可供从事能源科学、新能源技术、材料科学、工业余热利用、空调与制冷、氢的制造与回收、化学电源等专业的决策者、研究者、生产者和投资者参考。对关心 21 世纪氢能时代和乐于创新的广大读者,也可能有所启迪。

储氢材料及其载能系统

王黎明 朱兴华 杨福湖 编著

责任编辑 谭敏 毛家瑛

重庆大学出版社出版发行

新华书店经销

重庆通信学院印刷厂印刷

开本:787×1092 1/16 印张:10 字数:250千

1998年3月第1版 1998年3月第1次印刷

印数:1-2000

ISBN 7-5624-1621-4/TQ·19 定价:16.00元

序 言

能源是国民经济的重要物质基础,当前全球性人口问题、环境问题和资源问题,对能源提出了更严峻的挑战——人类必须完成“能源过渡”。

1981年8月在肯尼亚首都内罗毕召开了联合国新能源和可再生能源会议。在此次国际会议上,很多国家首脑亲自参加,一致通过了《促进新能源和可再生能源发展与利用的内罗毕行动纲领》。1994年3月,我国国务院通过了《中国21世纪议程——中国21世纪人口、环境与发展白皮书》。

能源开发及资源利用与环境相协调、走可持续发展之路,将成为21世纪世界经济发展的基础和模式。

根据1989年第14届世界能源会议的预测,2020年世界能源的总需求量达135亿吨油当量,其中,石油用量将比1985年减少,新能源却比1985年增长9倍。从这几年的实际进程看,许多新能源技术的突破,比人们预想的要快得多。

追溯历史,每一次重大的产业革命,几乎都起源于新的能源与动力装置的产生。面对21世纪能源过渡的种种课题,如能源结构中新能源所占比重的增加,第4类发电技术——燃料电池的商业化,人类取之不尽的清洁能源——受控热核聚变能的诞生,氢能时代的到来等,也自然引起各国的高度关注。尤其是工业发达国家,不惜耗用巨额投资,制定了长期的新能源开发规划。

在能源系统的新技术中,开发和生产清洁理想的能源,将是能源可持续发展的重要内容。由王荣明、朱兴华及杨福湖所主编的《储氢材料及其载能系统》一书,正是根据这个内容,介绍储氢材料及其在能量储存和转换技术中的功能,它既涉及解决当前能量储存和转换过程中的一些技术难题;又涉及推动21世纪洁净能源的开发和利用问题。

本书着重介绍了储氢材料用途的三个方面的功能:储存氢的功能,蓄热及热泵的功能,载电功能。由此不难想象其应用前景。

最近在广东中山市建立了国家高技术新型储氢材料工程开发中心。储氢材料及其载能系统的技术,属于技术密集型综合性高新技术。虽然目前的不少产品,距产业化和商业化规模仍较远,大量课题有待进一步突破。但是,本世纪90年代以来国内外科技工作者的艰辛劳动,已奠定了储氢材料及其载能系统的发展基础,展现了21世纪氢能时代的曙光。我们将会更快更早地看到洁净能源系统的美好境界。

然而,至今有关能源新技术的专著仍太少。本书作者面向世界,面向未来,及时地总结和介绍了国内外有关储氢材料的基础理论知识和发展动态,将为我们提供一个学习的机会,也可起到激发兴趣、抛砖引玉的效果。本书对面向21世纪的研究者、决策者、生产者和投资者,将有一定的参考价值;对跨入21世纪的高等院校学生以及立志于能源新技术的年青开拓者,将会有所启迪和帮助。

王昌益

1997.6.

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 能源过渡与新能源	1
1.2 能量的储存与转换技术	2
1.3 储氢材料的载能功能	3
第二章 新能源和氢	6
2.1 能量资源与能源的类别	6
2.2 新能源技术	7
2.3 节能新技术	10
2.4 清洁理想的氢能	11
2.5 制氢的方法	12
第三章 储氢材料的基本性质	16
3.1 金属与氢的反应	16
3.2 $P-C-T$ 曲线	16
3.3 稳定性逆转法则	18
3.4 储氢材料中氢的存在状态	20
3.5 影响储氢材料吸储氢能力的因素	23
3.6 储氢材料的必备条件	25
第四章 储氢材料的物性测定	30
4.1 $P-C-T$ 平衡关系的测定	30
4.2 储氢材料氢化反应的热分析	35
4.3 X 射线衍射	47
4.4 测定储氢材料的活性化特性	49
4.5 测定寿命特性	50
4.6 测定粉体特性	52
第五章 储氢材料的种类	54
5.1 按金属元素分类	55
5.2 储氢材料的利用形态	61
第六章 储氢材料的蓄热功能	66
6.1 新能源的热能与工业余热	66
6.2 热能-化学能转换	66
6.3 储氢材料的蓄热过程	67
6.4 风力致热系统	70
6.5 太阳能长期蓄热系统	71
第七章 储氢材料的热泵系统	72
7.1 热泵类型	72
7.2 储氢材料热泵的工作原理	73
7.3 储氢材料热泵的开发动态	81

7.4	太阳能空调系统	82
7.5	利用工业余热热泵	83
7.6	利用工业余热产生蒸汽	84
7.7	多种热源的热泵循环	87
7.8	储氢材料热泵的研究课题	87
第八章	储氢材料的载氢功能	89
8.1	用储氢材料储存和运输氢的特点	89
8.2	固定式储氢器	90
8.3	可移动式储氢器	91
8.4	携带式电源用储氢器	92
8.5	发电机内高纯氢的维持装置	93
8.6	开发储氢器的课题	94
8.7	分离和提纯氢的技术	94
8.8	分离氢的同位素	99
第九章	储氢材料的载电系统	101
9.1	电能的储存问题	101
9.2	化学电源概况	102
9.3	镍氢电池	105
9.4	燃料电池	114
9.5	电解水-储氢-燃料电池系统	118
9.6	太阳能-储氢材料-发电系统	120
第十章	储氢材料的新用途	124
10.1	储氢材料的压力传递功能	124
10.2	储氢材料催化剂	127
10.3	氢能汽车	128
第十一章	氢能时代与家庭用氢系统	131
11.1	氢的机遇与三大职责	131
11.2	储氢材料的商业化进程	132
11.3	现代化家庭用氢系统	134
附录	136
附表 1	国际单位制的基本单位	136
附表 2	若干重要的 SI 导出单位及辅助单位	136
附表 3	SI 词冠	137
附表 4	原子单位 (au)	137
附表 5	氢的物理性质	138
附表 6	原子的电负性	138
附表 7	金属单质的结构型式和金属的原子半径 (Pm)	139
附表 8	7 个晶系及 14 种空间点阵型式	141
附表 9	商品热分析仪的型号及记录方式	142
附图	143
参考文献	152

第一章 绪 论

1.1 能源过渡与新能源

能源是国民经济的重要物质基础,是人类赖以生产、生活和生存的重要源泉。现代社会是大量消耗能源的社会,没有相当数量的能源作支撑,现代化社会就难以维持。据有关资料统计,目前世界年平均人均能耗2.26吨标准煤,其中美国12.8吨,苏联6.6吨,西德6.3吨,英国5.4吨,日本4.7吨,而我国却仅为0.6吨至0.7吨。因此,我国要进行现代化建设,必须不断增加能源生产,应有足够的能源作为物质保证,来满足生产发展和人民物质、精神文明生活不断提高的需求。

随着科学技术的进步,人类社会经历了薪柴、煤炭和石油的三个能源阶段。从未来社会的能源结构看,人类一方面会碰到煤、石油等矿物能源资源的日益枯竭,另一方面已正视矿物能源所造成的深刻环境问题。面对能源的严峻挑战,80年代初联合国及时地探讨了能源问题,尖锐地指出:人类必须从现在开始,开拓一条可持续发展的能源道路。1981年8月10日至21日在肯尼亚首都内罗毕召开了规模空前的会议,很多政府首脑亲自参加,会议通过了《促进新能源和可再生能源发展与利用的内罗毕行动纲领》。接着,1982年联合国成立了执行此项行动纲领的政府间委员会,规定每两年在纽约开一次会,由各国政府派代表出席。联合国正式提出“能源过渡”的概念后,各国都意识到能源过渡的重要性、必要性和紧迫性,纷纷结合本国实际情况,提出了能源过渡的行动纲领,加强了新能源的开发和推广应用力度。

新能源的概念,并非是去“新发现一种能源”,而是使传统的可再生能源获得现代化的开发与利用。也就是充分利用现代科学技术的成果,以新技术和新材料为基础,使传统的可再生能源发挥真正的作用,并用这种取之不尽、周而复始的可再生能源不断地取代资源有限、对环境有污染的矿石能源。

“新”与“可再生”是一个完整的含义,在英文中缩写为NRSE(New and Renewable Sources of Energy),在中国则习惯地简称为“新能源”。目前新能源开发的重点是太阳能、风能、生物质能、海洋能、地热能和氢能等。

1985年世界总能耗 373×10^{18} J(总人口48.7亿),石油占34.1%,煤占24.2%,天然气占17.4%,核能占4.1%,水能占5.5%,生物质能占14.7%;同年,发展中国家总能耗为 126×10^{18} J(人口36.5亿),其中生物质能占38%。

1989年第14届世界能源会议预测2020年世界能源结构,总需求达135亿吨油当量,其中煤炭占30%,石油占26.2%,天然气占17.4%,核能占8.2%,水电占7.7%,其它新能源占10.5%。显然,今后30年,石油用量将减少,新能源将增长9倍。1991年各国都回顾和总结了内罗毕行动纲领十年来,新能源和可再生能源的发展情况,再次强调了能源过渡的重要性,指出由目前的化石能源逐步过渡到以新能源和可再生能源为主的时代终将到来。

《中国 21 世纪议程》和《中国新能源和可再生能源发展纲要(1995~2010 年)》也已正式启动,并提出两个阶段的实施目标:

第一阶段,从现在起至 2000 年,通过强化科技研制和试点示范工作,使多数新能源技术接近或赶上目前世界先进水平,其中一些成熟的实用技术,要尽快形成产业,扩大应用,进入市场,逐步改变生物质传统的低效利用方式,发挥风能和太阳能等新能源和可再生能源的作用,为解决边远和海岛等无电地区的用电问题作出贡献。

第二阶段,从 2001 年至 2010 年,全面推广应用新能源技术,建立起世界先进水平的工业体系和科研体系,主要技术项目基本上都要求达到规模生产水平。

我国为加强新能源的科研和示范,研究和制定了相应的科技发展规划,加强科研示范和产业化的衔接,促进科研成果迅速转化为生产力。

新能源的技术属性有高有低、有难有易,在新能源的开发过程中,近有成效,远有前景。随着科学技术的进步,新能源的作用将越来越大。同时,我们也应看到,新能源的开发和利用,目前仍有不少课题。大多数新能源,都存在着时间、空间和地域上分布的不均匀性;太阳能经常受到阴雨天、夜间间断性干扰;氢的资源来源,虽可设想从水、海水、生物质来,目前仍有不少技术难题;氢的储存,长期以来一直是个技术难点;新一代发电技术如燃料电池和热核聚变能,属于技术密集型、多学科综合的高新技术,目前尚处于研制和开发的初期,还有很长的路程要走。因此,在能源过渡进程中,应该不断地学习先进经验,及时了解国内外高新技术,认真引进、消化、吸收和创新,逐步变被动为主动,形成产业,占领市场。)

1.2 能量的储存与转换技术

面向未来科学的重点课题,仍然是能源及其能量问题;能量技术的基础任务,就是如何最有效、最经济地系统提高能量体系的功能,使能量本身所具有的实际能力,得到充分发挥。保证能量在时间、空间和数量上的分配和使用,真正满足需要。

构成能量体系的主要技术环节,有能量的生产、供给、输送、储存、转换和使用等,其中,能量的储存和转换,一直是能量有效利用的关键所在。

从能量的形态考察,能量的形态有机械能、热能、电能和化学能等。电能的最大优势是容易输送,然而,电能的最大弱点是无法储存。热同样不宜以自身的形态储存,而且,热能远距离输送会导致能量品位的迅速变质,也属于难于输送的能量形态。

对于能量的储存和转换技术,一直是科技工作者主攻的方向,也曾提出过种种措施。但是,成效显著者,仍然不多。热能的储存,如果采用物理方法,则需要大量的保温材料,而且,在热能的储存过程中,无法避免高品位热能的变质。电能的储存,更是难以进行;如果不将电能转变为其它形态,一度电都无法保存。

为了有效地储存热能和电能,目前只好将精力放在解决热能和电能的转换技术上,其中,将热能或电能转换为化学能,然后再将化学能重新转变为热能或电能,一直是研究和开发的重点。可喜的是,近几年来开发的储氢材料和氢共同组成的能量系统,以氢作为能量媒体,以储氢材料作为载能的功能材料——载能体,利用储氢材料与氢之间的可逆反应,可以较好地解决热能、电能的储存、转换和输送问题,这是能量储存和转换技术中的重大突破和创新。

在储氢材料与氢构成的能量系统中,氢本身就具备化学能的性质,可以直接作为燃料,而且是理想的清洁燃料,是新能源中的一个重要成员;储氢材料除肩负载能体的功能外,在未来氢的制备、分离、精制、氢同位素的分离回收等过程中,也将起决定性作用。

储氢材料与氢共同组成的能量系统的储存、转换和输送能量的功能,正是本书各章节介绍的重点内容。

1.3 储氢材料的载能功能

“储氢材料”,顾名思义,是一种能够储存氢的材料;然而,至今对此命名尚未赋予确切的定义。

从狭义上讲,储氢材料是一种能与氢反应生成金属氢化物的物质;但是,它与一般金属氢化物有着明显的差异,即储氢材料必须具备高度的反应可逆性(可反复地进行吸储氢和释放氢的可逆反应),而且,此可逆循环的次数(称为循环寿命)必须足够多,例如循环次数超过 5000 次。

20 多年前,先后发现 SmCo_5 与 LaNi_5 的可逆吸储氢和释放氢的性质,尤其是 LaNi_5 具有储氢量大、易活化、不易中毒等优良特性,倍受重视。短短数年,于 80 年代初期,随着对 LaNi_5 的深入研究和不断改进,就开发出数十种具备高度可逆性的物质,逐渐成为一大类功能材料。目前,除用两种金属元素组合的二元型,如 AB_3 、 AB_2 、 AB 和 A_2B 外,还开发了多元金属元素组成的复合材料;有人把早期开发的稀土系储氢材料称为第一代储氢材料,而把钛锆系、镁系称为第二代储氢材料。

典型的储氢材料有 LaNi_5 、 MmNi_5 、 ZrMn_2 、 TiFe 、 Mg_2Ni 、 $\text{MmNi}_{4.5}\text{Al}_{0.5}$ 、 $\text{MmNi}_{4.5}(\text{CoMnTi})_{1.55}$ 、 $\text{Ti}_{1.1}\text{Fe}_{0.9}\text{Ni}_{0.2}\text{Zr}_{0.05}$ 等。上述表达式中,Mm 代表混合稀土,MI 代表富镧混合稀土,其余符号为相应的金属元素符号。各符号的脚标数字,一般代表该组分的摩尔比,未注角标者为 1。

储氢材料在加工过程中往往需要高温熔融,然后冷却研磨,制成颗粒状,有合金的形态。因此,有人将此类材料称为“合金”(alloy)或“贮氢合金”、“储氢合金”。但是,储氢材料与一般的合金仍有本质区别,除可逆地吸储和释放氢的重要性质外,一般在应用过程中为了保证具备足够长的循环寿命和充放电特性,就将多孔固体界面再一次进行表面处理或“微包装”。表面处理的方法很多,例如可在表面镀导热性好的 Cu、Ni 等金属元素,也可使微区界面形成氮化物层、碳化物层等。这样加工处理后的材料,都与俗称的合金性质具有较大差异。

从广义上讲,储氢材料的重要功能是担负能量储存、转换和输送的功能,可以简单地理解为“载能体”或“载氢体”。有了这个载能体,就可以与氢携手合作,组成种种不同的载能体系。譬如,利用储氢材料的可逆反应热,可构成载热体系,完成热能的储存、转换和输送任务;当电能与化学能相互转换时,利用储氢材料储存化学能的特性,可构成载电系统,使电能可以储存和转换,储氢材料自然可构成载氢体系,实现氢的储存、输送、分离精制以及氢同位素的回收。显然,“载能体”或“载氢体”才是此类材料更本质的反映。鉴于此类材料正处于开发研制的初期,很多内在规律和本质还有待深入探讨,因此,目前大多数文献仍以“材料”这一带普遍含义的称呼来概括;而且,为了影射氢的反复吸储、释放的可逆性,借用银行储存与支取的反复性之意,

采用“储”字。本书就采用“储氢材料”来概括此类正在开发的材料，并围绕其不同的载能功能，展开讨论。

储氢材料在能量储存、转换和输运过程中发挥的作用，是基于储氢材料与氢之间的可逆反应。当它们之间进行反应时(可称为吸储氢过程)，会生成金属氢化物，此为放热反应，同时伴随着体系的氢压降低；其逆反应为金属氢化物释放氢(称为释放氢过程)，此为吸热反应，体系的氢压随之增高。显然，在储氢材料吸储和释放氢的可逆反应过程中，化学能发生变化，同时引起反应体系的热能变化和平衡压变化，并包括氢本身化学能的数量增减；这就是储氢材料载运热能、机械能、化学能(氢能)和电能的理论基础。只要巧妙地将各种能量系统进行合理设计，就可实现不同能量形态之间的储存、转换与输运之目的。用储氢材料构成的各种能量储存、转换系统，可见示意图 1-1。

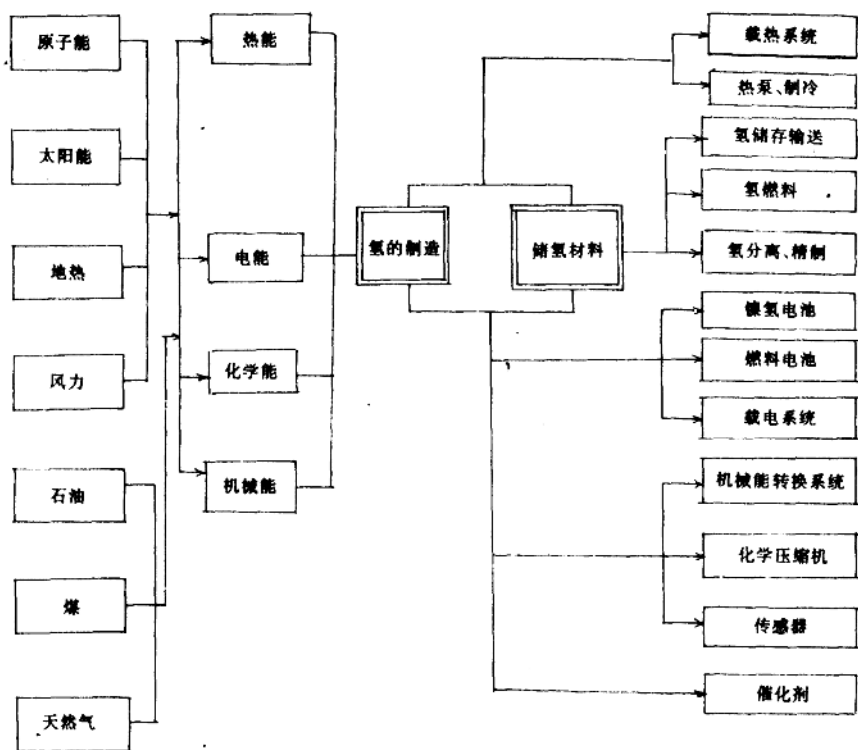


图 1-1 用储氢材料构成的能量转换、储存系统

目前，储氢材料已被用于氢的回收、提纯精制，氢的储存和输运，余热(尤其是低品位余热或废热)的回收利用，储热系统，热泵或空调、制冷，氢燃料汽车，电动汽车，氢能发电系统，充电电池与燃料电池等。尤其是 80 年代末期以来，储氢材料在镍氢电池领域有所突破，日本的发展更快。1992 年日本的镍氢电池产量为 1000 万个(产值 50 亿日元)，1993 年产量达 7200 万个(产值 324 亿日元)，1994 年产量达 20600 万个(产值 704 亿日元)，预计 2000 年产量达 8.8 亿个(产值 2230 亿日元)。按生产 1 亿个镍氢电池耗储氢材料 1000t 估计，2000 年将需储氢材料

8800t。

我国在 863 计划支持下,储氢材料和镍氢电池的研制进展很大,南开大学、机电部 18 所、北京有色金属研究总院、浙江大学、清华大学、上海跃龙化工有限公司、中国科学院上海冶金研究所、华南理工大学和中国电力等部门,都做了大量工作。在广东中山市建立了国家高技术新型储氢材料工程开发中心,目前国内已有十多个单位生产镍氢电池。

储氢材料一般应具备活性好、易活化、性质稳定、氢的吸储量大、反应速度快、可逆反应之间的滞后性小、不易微粉化、循环寿命较长及成本低廉等条件。因此,随着储氢材料的开发和应用,还有不少课题需要深入研究。储氢材料的基础研究课题,涉及热力学、化学反应、固体结晶学、气固相微区界面的传热与传质机理、表面处理、材料科学以及电化学性质等多学科领域,还涉及固体多孔界面微区氢的吸附、扩散及其能级的跃迁,尚有不少技术难题等待突破。不过,储氢材料必将在能源过渡和新能源开发过程中,以崭新的面貌登场。

本书编者在长期从事能源利用、节能降耗、化工企业能量平衡和资源综合利用的教学科研工作中,深感节能降耗综合利用的任务艰巨、意义深远,经常收集国内外的有关信息和动态;1996 年日本友人松浦史先生曾携带储氢材料制作的小型氢能演示装置来昆明进行学术交流;云南工业大学化工轻工工程学院的能源工程研究中心,也将氢能和新能源技术作为重点。因此,在一些同行的鼓励和支持下,将有关资料综合整理,汇成此专辑。

本书共分 11 章。前 5 章属于基础理论部分,介绍了能源过渡、新能源技术和氢的开发利用状况;同时,专门讨论了储氢材料的基本性质、物性测定的原则和方法、储氢材料的种类。后 6 章围绕储氢材料的功能,介绍储氢材料的种种用途,包括储氢材料的蓄热功能、热泵制冷空调系统、载氢功能、载电系统(如镍氢电池、燃料电池等)以及各种新用途,如利用氢能的压缩机、化学发动机、传感器、氢能汽车、催化剂材料及家庭用氢系统等。

鉴于储氢材料正处于研究开发的初期阶段,各种技术正在不断摸索、完善和创新之中,本书除反映储氢材料能量系统的工作原理和基本用途外,尽量将碰到的问题、课题及不同学者的观点一并予以介绍,可供决策者、生产者或研究者参考。

本书由云南工业大学王荣明、朱兴华和杨福湖共同编写。其中第一至四章由王荣明执笔,第五至七章由杨福湖执笔,第八至十一章由朱兴华执笔。

在编写本书期间,得到云南工业大学科研处、化工轻工工程学院及能源化工实验室、云南省经贸委资源利用处、云南省资源综合利用协会的热情支持和帮助。云南省地矿局资料处李方夏高级工程师和水电部十四局刘元岐教授级高级工程师提供了大量资料、信息和条件,现一并表示衷心感谢。

鉴于储氢材料技术涉及多学科高新技术,专业互相渗透,研制和开发工作又不断进展,因此,文献资料论述角度往往有所不同,加上编者水平有限,经验不足,难免挂一漏万,错讹之处不少,恳请读者指正。

第二章 新能源和氢

2.1 能量资源与能源的类别

2.1.1 能量资源

自然界中存在且可能为人类用来获取能量的自然资源,称为能量资源。随着科学技术的发展,能量资源所包含的范围也随之扩大和深化。能量资源按其来源可分为三类:

第一类是来自地球以外的太阳能。除了直接的太阳辐射能之外,化石资源(煤、石油、天然气等)、生物质能、水能、风能、海洋能等资源,皆间接来自太阳能。

第二类是地球本身蕴藏的能量资源。主要是指储藏于地球内部的地热能和地球上的铀、钍等核裂变能资源和氦、氘、锂等核聚变能资源。

第三类是地球和月球、太阳等天体之间有规律的运动所形成的能,如潮汐能。

2.1.2 能源的分类方法

能源指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与经过加工或转换的能量的来源。尚未开采出的能量资源只称为资源,未列入“能源”的范畴。

能源的分类方法可以按能源形态是否加工,分为一次能源与二次能源;如果从资源开采、运输、储存、加工转换、输送、分配到最终使用的各个环节看,能源形式可分为一次能源、二次能源、终端能源和有用能;如果从能源应用的广泛性来看,又可分为常规能源和新能源;如果按能源是否能在短期内不断获得补充的角度分类,又可将能源分为可再生能源与非再生能源。

可再生能源与非再生能源。在自然界可以不断再生并有规律地得到补充的能源,即可连续再生、永续利用的一次能源,称为可再生能源,如水力、太阳能、生物质能、风能、海洋能、地热能等;经过亿万年形成的、短期内无法恢复的能源,称之为非再生能源,如煤炭、石油、天然气、核燃料等,随着大规模的开发利用,其储量总有枯竭之时。

常规能源与新能源。在一定历史时期和科学技术水平下,已被人们广泛应用的能源,称为常规能源,如煤、石油、天然气、水力等;许多古老的能源若采用先进技术加以广泛应用,则称为新能源,如太阳能、生物质能、风能、氢能、核聚变能等。显然,有的新能源处于研究阶段,有的尚未被大规模利用。

一次能源。能量资源经过开采或收集后,其基本形态未经任何改变或转换的能源,如原煤、原油、流过水坝的水、生物质能、太阳能等。

二次能源。一次能源经过加工转化后所变成的另一种能源形态的能源,如电力、蒸汽、焦炭、煤气、各种石油制品、氢能、沼气等。在生产过程中排出的余能、余热、余气或有压流体等,都属于二次能源。一次能源无论经过几次转换,所得到的另一能源,都称为二次能源。

终端能源。一次或二次能源经过输送、储存和分配,成为终端使用的能源,其形式基本上与二次能源相同。

有用能。终端能源经过各种用能设备为用户提供满足最终用途的能源服务,如炊事、照明、运输等。

能源系统。能源系统是指从资源开采、运输、储存、加工转换、输送、分配到最终使用的各个环节所组成的系统。研究能源系统及其网络,就是要不断提高能源(能量)的转换效率、优质优用、持续发展。国际能源界十分重视节能,并将节能称为“第五能源”,与煤、石油天然气、水电、核电四大能源并列。

今后世界的能源发展战略是发展多元结构的能源系统和高效、清洁的能源技术。因此,从能源系统角度看,能源新技术包括系统所涉及的各种资源从开采到最终使用各个环节的先进技术。

洁净能源。1987年联合国世界环境和发展大会提出人类社会可持续发展的概念,对能源发展的环境问题,纳入战略地位。国际社会普遍关注的是洁净煤技术(Clean Coal Technology),包括煤的燃前技术、燃中技术、燃后技术,煤的高效清洁的转化技术,煤层气利用,煤系废弃物的处理和综合利用技术。太阳能也被视为一种巨大且对环境无污染的能源。风能是一种干净的可再生能源。氢作为能源使用时,无污染物产生,而且太阳能-氢能综合能源系统具有十分美好的前景。受控热核聚变能,可以氢、氘和氚为原料,汪洋大海所含的氘,是人类取之不尽的资源来源;虽然聚变能尚处于研究阶段,离实用的距离还很大,但是,它将是人类取之不尽的清洁能源。

2.2 新能源技术

据1989年第14届世界能源会议预测,2020年世界能源需求将达到135亿t油当量,其中煤炭将占30%(1985年为27.6%),石油占26.2%(1985年为32.5%),天然气占17.4%,核能占8.2%,其它新能源等占10.5%;新能源比1985年增长9倍。

2.2.1 太阳能新技术

太阳能是一种巨大且对环境无污染的能源。我国地处北半球,幅员辽阔,有丰富的太阳能资源,每年太阳辐射总量约 $3.3 \times 10^6 \sim 8.4 \times 10^6 \text{kJ/m}^2$ 。据1993年不完全统计,全国已推广太阳能热水器 $25 \times 10^6 \text{m}^2$,被动式太阳房180万 m^2 ,太阳能农作物温室34.2万公顷,太阳灶14万台,太阳能干燥器13200 m^2 ;用于通讯及边远无电区的太阳能电池,年销售约1.2MW;在太阳池研究方面,实用型单晶硅电池效率达12%~14%,多晶硅电池达10%~13%,非晶硅电池达6%~8%。

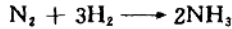
太阳能的转换与利用方式有:光-热转换,光-电转换和光-化学转化。

太阳能的热利用可分为低温(100~300°C),如工业用热、制冷、空调、烹调等;高温(300°C以上),如热发电、材料高温处理等。

太阳能光电转换技术,即光伏效应,是太阳能电池的基本工作原理。太阳能电池类型很多,如单晶硅电池、多晶硅电池、非晶硅电池、碲化镉电池、砷化镉电池等。我国将在2000年前,在西藏

完成 9 个无电县的独立光伏电站的建设。

光化学转换技术,是研究光和物质相互作用引起化学反应的一个化学分支。光化学电池是利用光照射半导体和电解液界面,发生化学反应,在电解液内形成电流,并使水电离直接产生氢的电池。除上述光解水制氢外,各国学者还探讨了多种利用太阳能的光电化学途径,如光催化池,可在半导体光电极上发生:



化学反应,太阳光能供给反应所需的活化能;还有光伽伐尼电池、再生式光电化学电池等。

利用光电解池、光催化池,还可除去水或大气中的有害物质,如 CO 、 H_2S 、 CN^- 、 Hg^{2+} 、 Cr^{6+} 、腐植酸、有机磷、致癌的病毒细菌等。

近来,太阳能的开发利用还促进了化学电源的发展。

2.2.2 风能技术

风能是太阳辐射造成地球各部分受热不均匀,引起空气运动所产生的能量。地球上近地层风能总储量约 $1.3 \times 10^{11} \text{kW}$,而我国风能总储量估计为 $1.6 \times 10^9 \text{kW}$,排在世界各国的第三位,可利用开发的约为十分之一,其有效利用的风速为 $3 \sim 20 \text{m/s}$ 。

风能作为一种古老的可再生能源,曾在历史上起过作用。随着现代技术的发展,风能引起工业界的关注。风力机是将风能转化为其它形式能量(电能、机械能、热能等)的旋转机械。目前全世界风力机用于发电的超过风力机总量的三分之二。

1992 年世界风力发电装机容量达 2700MW,主导产品是 $150 \sim 250 \text{kW}$ 机组, $300 \sim 500 \text{kW}$ 机组开始小批量生产。

我国风力发电总装机容量达 26MW。80 年代以来, 50W 至 300W 的微型风力发电机相继研制成功并投入批量生产,目前约有 12 万余台在内蒙、新疆、青海等牧区草原和沿海无电网地区运行。

风力机可分为微型(1kW 以下)、小型($1 \sim 10 \text{kW}$)、中型($10 \sim 100 \text{kW}$)、大型(100kW 以上)。按风轮转轴的位置可分为水平轴和垂直轴风力机两种。

目前世界上最大的风力发电机在美国夏威夷,为 3200kW ,其风机直径为 97.5m 。我国在继续抓好小风机生产、销售服务基础上,正加速国产化进程,集中力量开发 200kW 以上风力机、风力田控制和管理系统。

2.2.3 生物质能利用新技术

生物质能是绿色植物通过叶绿素将太阳能转化为化学能而贮存在生物质内部的能量。

生物质能是地球上最普遍的可再生能源,量大面广,开发潜力巨大。每年通过光合作用可储存 $8 \times 10^{18} \text{kJ}$ 太阳能,相当于 1 千亿吨标准煤,约等于全世界能耗的 10 倍。

生物质能通常包括木材和森林工业废弃物、农业废弃物、水生植物、油料植物、城市与工业有机废弃物、动物粪便等。现代生物质能的利用不是直接燃烧,而是通过加工和转换,使其能量密度增大,储运和使用方便。目前发展的生物质能利用技术有:

热化学转换技术。热化学转换技术是将固体生物质转换成可燃气体、焦油、木炭等品位高的能源产品。目前发展的有生物质气化技术和热解技术。

生物化学转换技术。此技术主要指生物质在微生物的发酵作用下,生产酒精、沼气等能源

产品。利用制糖工业的废糖蜜或淀粉资源制造酒精,已工业化。利用农村或城镇高浓度有机废物,发展沼气,已逐渐推广;我国沼气的总用户(含集中供气户)2000年和2010年分别达755万户和1235万户,沼气供应量分别达到22.6亿 m^3 和40亿 m^3 。

生物质压块细密成型技术。这是把粉碎烘干的生物质经成型挤压机在一定温度和压力下加工,形成较高密度的固体燃料,热值在20MJ/kg左右。

化学转换技术。1990年我国消费生物质能约2.64亿t标准煤,其中大部分是直接燃烧的,其主要目的是为了获得热量。但是,普通炉灶直接燃烧生物质能的转换效率很低,一般仅达20%;近来,全国半数以上农户普及了高效率节柴灶,每年可节省1/3到1/2的燃料,省柴灶效率可提高到30%以上。化学转换技术是将生物质能通过化学方法,转换成另一种形态的燃料物质,通常采用的方法是气化法、热分解法或溶剂提取法。气化法及热分解法通常又归属为热化学转换技术。有机溶剂提取法,是利用丙酮、苯等有机溶剂,从生物质中提取碳水化合物或油脂。

全国生物质能开发与利用发展规划、实施方案中,还将建设一系列示范工程,其中包括生物质三联供(燃气、热能、电力)系统和生物质能源联产(燃气、液体及固体燃料、热能、电力、甲醇等)系统。

2.2.4 受控热核聚变能

核聚变是两个或两个以上的较轻原子核[如氢的两种同位素氘(D)和氚(T)],在超高温等特定条件下聚合成一个较重的原子核[如氦(${}^4_2\text{He}$)],同时释放出巨大能量。因为这种反应必须在极高的温度(1~5亿 $^{\circ}\text{C}$)下进行,所以叫热核反应。

核聚变原料主要是氢、氘和氚。1kg海水中含0.034g氘,汪洋大海是氘的重要来源。

聚变反应的种类很多,最有希望的是D-T反应。D-T聚变堆的成功,又可导致D-D堆的发展。为了实现聚变反应的条件,目前正在两个主要领域内开展研究工作,即磁约束和惯性约束。

磁约束就是用一定强度和几何形状的磁场将带电粒子约束在一定的空间范围内;惯性约束是利用聚变等离子体的惯性进行约束,与氢弹爆炸过程类似。

聚变反应需要巨大的能量,一般达1万焦或2万焦。近来,激光器的问世,惯性约束所要求的大功率、小范围和短瞬时间,有可能实现。但是,目前多路激光技术虽能将激光器产生的毫焦级的输出放大 $10^5\sim 10^6$ 倍,仍然只能达到100J~1000J,还比聚变需要的能量小十几倍。今后还必须继续完成大功率激光器的研制。

聚变能目前尚处于研究阶段。但是,它没有裂变堆那样的放射性废物,下世纪中叶可望商用。

2.2.5 新能源技术目标

1992年联合国全球环境与发展大会后,中国政府提出了对环境与发展采取的10条对策和措施,明确要因地制宜地开发和推广太阳能、风能、地热能、潮汐能、生物质能等清洁能源。随着《中国21世纪议程》、《中国新能源和可再生能源发展纲要(1996~2010年)》的提出,我国将全面推广应用新能源技术,建立起世界先进水平的工业体系和科研体系,主要技术项目基本上都要求达到规模生产水平。

为实现上述目标,将选择一批对国民经济和生态环境建设具有重大价值的关键技术进行研究开发,其工作重点是加强这些技术的试点示范和科技成果的转化工作,促进产业形成,尽快实现商品化生产和推广应用。

2.3 节能新技术

根据世界能源会议节能委员会的定义,节能是采取技术上可行、经济上合理以及环境和社会可接受的一切措施,来更有效地利用能源。我国在80年代中就提出了能源开发与节能并重的方针。国际能源界有的将节能称为第五能源。

能(能量)是物质运动的量度,具有可转换性。不同形态的能(如机械能、热能、化学能、电磁能等)相互转换时,其转换效率也不相同,体现出能量在品质上的差异性。因此,研究节能新技术,必须考察能量在转换过程中的差异,力争能量的优质优用、减少转换过程中的耗损,优先发展高效节能设备,不断提高系统用能水平。

2.3.1 余热回收利用技术

余热是指在某一热工过程中,未被利用而排到周围环境中的热能。按载体形态可将余热分为固态载体余热、液态载体余热和气态载体余热。据统计,我国各行业余热占其燃料消耗总量的17%~67%,其中约有60%可以回收。

余热回收利用技术很多,热电联产技术、热泵技术和热管技术等,较为有效。

热电联产技术。利用余热产生蒸汽并用来驱动汽轮机发电,余汽再用来供热,构成热电联产的工艺技术。热电联产工艺,根据蒸汽使用的形式,可分为背压式和抽汽式两种。背压发电效率高、热损失小、设备结构简单、运行和管理简便可靠,余热背压发电,可以增加企业电力,所发电量可简便地与电网同步运行。

热泵技术。热泵是把低品位热能变为高品位热能的一种装置。它是以消耗一部分高质能(机械能、电能)为补偿,使热量从低温热源向高温热源传递。以一台320W的家用热泵为例,它可以从20°C环境温度下把380升水从15°C加热到55°C,其消耗的电能相当于电炉加热消耗电能的三分之一至四分之一。显然,热泵可以用消耗少量高质能的办法,获得较多的热能。

热管技术。热管是一种高效的管型传热元件,是由管壳、吸液芯、传热工质(可进行沸腾或凝结相变的液体)组成的一个密闭系统。它利用工质在管内的相变潜热,完成热能的互相传递。它作为一种传热新技术,广泛用于电子工业、空间技术和工业余热回收等领域。

2.3.2 高效供热技术

远红外线加热技术。利用远红外辐射元件发出的远红外线,可使被加热物体吸收而直接转变成热能,这就是远红外线加热技术。其实例之一,就是远红外辐射电暖器,电乳白石英远红外元件和金属管元件组成发热体,当电热丝发射可见光和远红外光时,使石英玻璃中的晶格振动,产生远红外线辐射,然后被人体或衣服吸收获取热量。

电热膜加热技术。普通电热丝加热效率仅40%,而电热膜加热效率可达85%。电热膜是一种导电薄膜,用非金属半导体材料粘结涂抹在各种加热体上,经烧结制成。已被应用于电热

杯、电淋浴器、电吹风、电暖气等电热器具。

高效低污染锅炉。我国 1991 年使用的工业锅炉约 43 万台,产生蒸汽 98 万 t/h,平均热效率仅 65%,耗煤 3 亿吨,造成严重的环境污染。目前,正开发热效率大于 80%,气体污染物的排放符合标准的锅炉,并积极发展节能型工业炉的 CAD 软件系统。

2.3.3 电子电力技术

电子电力技术是由电力、电子与微电子技术相结合的综合性节能技术,涉及半导体、电路、电机、微电脑及控制理论等,在工业、通信、交通运输、家用电器等众多领域获得应用,可实现精巧、高精度、快响应。例如,风机、水泵的阀门调节改为交流调速控制,可节电 30%~40%;直流传动改为可关断晶体管变频传动,可节电 1/3 以上;采用电子变频器和新型荧光粉高效节能灯,节电率可达 80%。

据估计,推广应用电子电力技术,每年可节电 400 亿 kWh;应用此技术的各种节能产品,节材率可达 40%~90%。

另外,电动机占我国总用电的 60%。如果采用高效电动机,效率可提高 2%~7%;如果采用永磁电动机,效率可提高 4%~10%。

2.4 清洁理想的氢能

2.4.1 氢的性质

1783 年确定氢为化学元素,原子序数 1,是最轻的元素;氢气是最轻的气体,无色无臭无味。

在地壳中,如果按重量计,氢只占 1%;如果按原子百分数计,则占 17%。在太阳的大气中,按原子百分数计,氢占 81%;在宇宙空间,氢原子的数目比其它所有元素原子的总和约大一百倍。但在空气中,氢气仅占总体积的一千万分之五;水中含 11%的氢;泥土中约有 1.5%的氢。

在大自然中,天然氢是由 99.98% 氕和 0.02% 氘组成。氢的三种同位素为氕(^1H)、氘(^2H)和氚(^3H)。氘俗称重氢;氘和氧形成的水叫重水。因为重水是热核反应的“燃料”,被人们称为“未来的燃料”。氚在自然界含量很少。

氢气作为燃料使用的历史,已有一、两百年。从 70 年代初开始将氢用于发电以及各种机动车和飞行器的燃料、家用燃料等。 1Nm^3 氢含有 12116kJ 的能量;1kg 液氢所含能量约为汽油的 2.75 倍。氢在点火时耗用的能量很少,特别适于高速气流中的点火;而且,其火焰传播速度很快,能完全燃烧。氢燃烧所产生的唯一污染物为 NO_x ,其数量很少,大量生成水,因此,基本上不会对环境造成污染。

常温下,氢与氧很难化合。但是,一遇见火或放进一点铂粉,氢与氧在百分之一秒内立即爆炸、化合成水。当含氢 9.5% 以下与 65% 以上时,点燃时不会发出震耳的“爆鸣声”。

2.4.2 氢能系统工程

清洁理想的氢能,除作为燃料外,还可提供动力、作为化学工业的原料,具有广泛的用途。氢的功能,有的已经实现,有的正待研究和开发。整个氢能系统工程,包括从一次能源出发的氢