

21世纪的动力 氢与氢能

申泮文 编著

Hydrogen and Hydrogen Energy

南开大学出版社

21 世纪的动力

氢 与 氢 能

申泮文 编著

南开大学出版社,
天 津

图书在版编目(CIP)数据

21 世纪的动力:氢与氢能 / 申泮文编著. —天津:南开大学出版社, 2000. 8

ISBN 7-310-01427-8

I. 2... II. 申... III. ①氢-普及读物②氢能-普及读物 IV. TK91-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2000)第 25057 号

出版发行 南开大学出版社

地址:天津市南开区卫津路 94 号

邮编:300071 电话:(022)23508542

出版人 张世甲

承印 南开大学印刷厂印刷

经销 全国各地新华书店

版次 2000 年 8 月第 1 版

印次 2000 年 8 月第 1 次印刷

开本 850mm×1168mm 1/32

印张 6.125

插页 1

字数 150 千字

印数 1—1500

定价 11.00 元



作者简介

申泮文，广东省从化县人，1916年9月生，1940年毕业于昆明西南联合大学化学系。现任南开大学化学系教授。1980年当选为中国科学院院士。长期从事化学基础课教学，是我国著名的爱国主义教育家。专门从事无机合成化学与氢化学研究。改革开放以来，对南开大学的化学教育体制改革和科技体制改革作出了很多贡献，创建了南开大学应用化学研究所和新能源材料化学研究所，把南开大学的无机化学学科办成为产、学、研相结合的教育实体。现已年逾耄耋，仍活跃在教学科研第一线。



德国「奔驰」储氢器汽车

图 1



图 2

加拿大储氢器拖拉机



图 3

加拿大液氢汽车

美国燃液氨小拖车



图 4

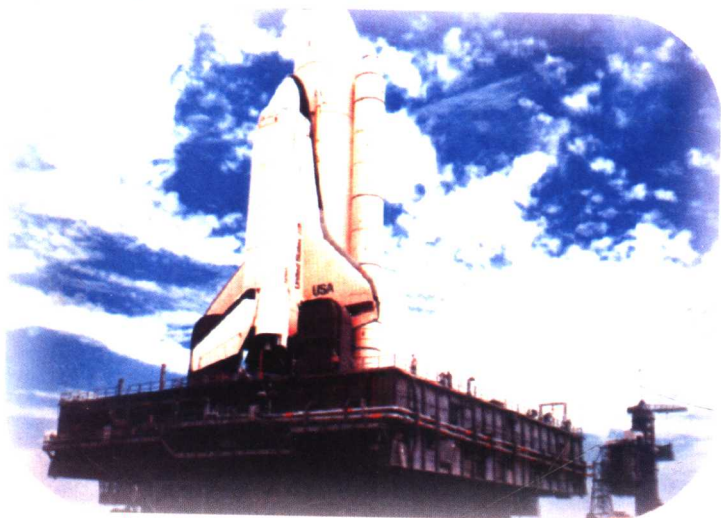


图 5

美国“挑战者号”航天飞机及运载火箭

内 容 提 要

本书从氢的基本特性和应用诸方面对氢作了全面的阐述，并指出了未来氢能利用的发展前景。全书共分 11 章，内容丰富、深入浅出，能给读者带来许多发展未来新能源——氢能的新思想、新概念。

本书适合高中文化以上的读者进行科学普及。

序

本书的编著目的，第一是为建立无污染环境、维持人类良好持续发展做宣传；第二是为发展未来清洁能源氢能做宣传。开发氢能将会给人们带来许多新思想、新观念和新的向往。在国民经济发展的过程中，由于科学知识的匮乏，重开发建设、轻环境保护的倾向随之而来，造成的恶果会给几代子孙留下还不清的债。所幸人类造成的环境污染，可以依靠人类自己运用科学技术力量来治理和挽救。环境治理是一项多门类学科综合科技，要引起广大人民群众的关注，需要首先用科学知识武装人们的头脑，本书就是要为此大喊大叫。本书的读者对象，首先是广大的高中学生，作者希望以他们为载体，通过他们把宣传推广到民间。所以从内容到文字体裁都以适合高中生的品味为准，希望读者喜欢。

因为本书是一部科普作品，选用的名词术语和物量单位，都选用人们日常生活中喜闻乐见的通用标准，可能有背于严格规定，例如距离单位用公里而未用千米、重量（质量）单位用公斤而未用千克、气压单位用大气压而未用帕斯卡等等。在物量上多用“重量”而少用“质量”（实际上重量和质量是有不同定义的）。希望大家都能知道国定标准单位制：1公斤=1千克；1公里=1千米；1大气压=1.003 2×10⁴帕斯卡。

感谢南开大学出版社对本书出版的支持，责任编辑李冰同志与作者有很好的合作，支持了作者在书中保持作者自己的文字风格，对此也表示深切的感谢。

申泮文

2000年5月

目 录

第一章 能源与环境	1
1.1 什么是能源	1
1.2 能源在国民经济建设中的重要性	3
1.3 能源与生态环境的关系	5
1.4 人类呼唤清洁能源	6
第二章 元素周期表中的第一号元素	11
2.1 氢的发现史	12
2.2 氢在自然界中的存在和分布	13
2.3 氢原子	14
2.4 氢的同位素	17
2.5 单质氢(H_2)	18
2.5.1 氢的物理性质	19
2.5.2 单质氢的化学性质	21
第三章 氢气的制备和工业生产	27
3.1 实验室中制备氢气的方法	27
3.1.1 活泼金属与水的反应	27
3.1.2 金属与酸的反应	28
3.1.3 金属或半金属与强碱的反应	28
3.1.4 金属氢化物与水的反应	29
3.2 氢气的工业生产	31
3.2.1 从天然气或裂解石油气制氢	31
3.2.2 从焦炭或白煤制氢(水煤气法)	31
3.2.3 氨分解制氢	32
3.2.4 从甲醇制氢	32

3.2.5	电解水制氢	33
3.3	生产氢气的高新技术	36
3.3.1	高温电解水蒸气制氢	36
3.3.2	热化学循环分解水	38
第四章	有关氢气性质的一些演示实验	48
4.1	实验1 氢气的燃烧	51
4.2	实验2 氢气的爆炸	53
4.3	实验3 氢气的扩散	55
4.4	实验4 充装氢气球	57
4.5	实验5 氟气在氢气中的燃烧	58
4.6	实验6 用氢气还原金属氧化物	61
4.7	实验7 由氢气和金属锂合成氢化锂	62
第五章	氢的化合物	65
5.1	氢在形成化合物时价键的特征	65
5.1.1	失去价电子	65
5.1.2	结合一个电子	65
5.1.3	形成共用电子对	65
5.1.4	形成氢键	66
5.1.5	负氢离子作为配体生成负氢离子配位化合物	66
5.1.6	形成氢桥键	66
5.2	氢的二元化合物	66
5.2.1	离子型或盐型氢化物	67
5.2.2	共价型氢化物	69
5.2.3	过渡金属氢化物	71
5.2.4	边界氢化物	76
5.3	络合金属氢化物	76
5.3.1	金属铝氢化物	76
5.3.2	金属硼氢化物	81

第六章	水作为能源材料	85
6.1	水的结构和性质	86
6.2	地球上的水	91
6.3	地球上一切生命来源于水中	92
6.4	水在自然界中的循环	94
6.5	重水	99
6.5.1	同位素水	99
6.5.2	重水在核裂变反应堆中的应用	100
6.5.3	从天然水中分离重水的技术	102
第七章	氢气的储存和输运	104
7.1	管道输送	104
7.2	高压气体钢瓶	106
7.3	水封储气罐	107
7.4	液氢	108
7.5	金属储氢材料	113
7.5.1	铁基储氢合金	117
7.5.2	镍基储氢合金	119
7.5.3	镁基储氢合金	120
7.5.4	用化学合成法制备储氢合金	120
7.5.5	储氢材料的实际应用——储氢器	122
第八章	氢在现代工业中的应用	125
8.1	石油化学工业	125
8.2	煤的加氢汽化和液化工艺	127
8.3	合成氨工业	128
8.4	食品加工业	130
8.5	塑料工业和精细有机合成工业	131
8.6	冶金工业	132
8.7	火箭燃料	133

8.8	其他应用	134
第九章	氢作为能源(Ⅰ)——氢的化学能	135
9.1	氢能的利用与开发简史	135
9.2	氢能源——氢化学能的利用	139
9.3	氢作为直接燃料	142
9.4	燃氢汽车	143
9.4.1	使用储氢器	144
9.4.2	使用高压氢气钢瓶	145
9.4.3	液氢汽车	146
9.4.4	含氢的合成燃料	148
9.5	燃氢飞机	149
9.6	火箭与航天	153
9.7	氢电转换——氢-氧燃料电池	159
9.8	阴极储氢可逆电池	163
第十章	氢作为能源(Ⅱ)——氢的核能	166
10.1	太阳能的来源——氢核的聚变反应	166
10.2	热核反应和氢弹	168
10.2.1	磁力制约热核反应堆	170
10.2.2	激光引发核聚变反应堆	174
第十一章	结论	
	——发展氢经济，建立一个美好的 无污染的未来世界	178
11.1	大规模生产氢气的方案	179
11.2	氢-电的互相转换	180
11.3	氢能用于动力	181
11.4	未来的氢经济系统	181
参考资料	185

第一章 能源与环境

为保持国家和社会的持续发展，能源的合理利用和优良生态环境的维护是两个十分重要并彼此密切相关的问题，每位公民都应该对这两个问题有足够的认识。本章对此作简要介绍。

1.1 什么是能源

能源是指一切能量比较集中的含能体(如煤炭和石油)和能量过程(如风和潮汐)。不论所说的能源是否已经利用，凡是能到达地球表面的，就叫做地球能源。

能源是发展农业、工业、国防、科学技术和提高人民生活水平的重要物质基础之一。

能源的种类繁多，但按照它们的来源，大体上可以分为三大类。第一类是从地球以外天体来的能量，其中最重要的是太阳辐射能，简称太阳能。一般认为，煤炭、石油、天然气是古代生物沉积形成的，它们所含的能量是通过植物的光合作用从太阳能转化来的，总称为“化石能源”。这类能源实际上是远古时代能量的储存。在能量的利用过程中，能量的储存问题占有非常重要的地位。风、流水、海流中所含的能量也来自于太阳能，它们和草木燃料、沼气以及其他由光合作用而形成的能源一起都属于第一类能源。

第二类能源是地球本身蕴藏的能量，如海洋和地壳中储存的各种核燃料以及地球内部的热能。

第三类能源是由于地球在其他天体影响下产生的能量，例如

潮汐能等。

以上三类能源都是以现成的形式存在于自然界中的。它们的存在是不以人们的意志为转移的。我们把这三类能源统称为一级能源。由于人类的主观能动性，已经能依靠一级能源制造或生产出许多种适合于人类生产活动的能量形式，例如电能、汽油、煤油、火药等。这些能源都不是以现成形式在自然界中出现的，而是靠人类的加工而生产出来的。这类能源统称为二级能源。表 1.1 汇列了能源的分类。

表 1.1 能源的分类

一 级 能 源	第一类能源 (来自地球以外)	太阳 辐射 能	煤、石油、油页岩、天然气、草木燃料、 沼气和其他由于光合作用而固定下来的太 阳能 风、流水、海流、波浪海洋热能、直接 太阳能
		宇宙射线，流星和其他星际物质带进地球大气 的能量	
	第二类能源 (来自地球内部)	地球 热能	地震、火山活动 地下热水和地热蒸气（包括温泉和沸泉） 热岩层
原子 能		铀、钍、镭、氡等	
	第三类能源（来自地球和其他天体的相互作用）		潮汐能
二 级 能 源	电能、氢能、煤油、汽油、柴油、酒精、甲醇、丙烷、苯胺、胼、 氨、硝化棉和硝化甘油、黑色火药等		

以上能源的分类，只是对地球上能源的分类，而不是对一切能源的分类。在宇宙空间里还有许多能量高度集中的强大能源，目前我们还无法加以利用，所以这里就不讨论它们了。

在我国社会主义现代化的建设中，能源是一项极端重要的问题。为了保证国民经济的持续发展，我国将兴建一系列的煤炭基地、油田和电站，并十分注意能源科学技术的发展。例如在农村发展沼气、地热和太阳能的利用；火力发电厂如何充分利用石

煤、煤矸石、油页岩等低热值燃料；在煤炭基地开展煤的汽化液化研究，坑口电站的建设；在全国范围开展节能活动等。对新能源的探索 and 开发也有所进展。

1.2 能源在国民经济建设中的重要性

为什么我们要如此重视能源问题呢？下面简略地谈一下能源在近代科学技术中的地位。

从技术上讲，工业生产需要三项基本物质条件，一是原材料的供应，二是能源，三是机器设备，这三者缺一不可。在工业生产中能投入的原料、材料和能源越多，一般产品就越多。在农业生产中，能源也是保证农业迅速发展的重要因素之一。农业机械化程度越高，收获产品所需要的能源供应就越多。其他生产部门的情况也是一样，不存在任何一种不需要能源的产业。

生产过程中的能源，可以分解成两个组成部分，一部分是由劳动者以体力劳动形式付出的能量。从广义上说，人的体力也是表 1.1 中的第一类能源，因为人的体力是由食物的化学能转化过来的，而食物又是通过植物的光合作用从太阳能转化来的。生产过程中的另一部分能源是人力畜力以外的能源，如电力、燃料、风力和水力等能源供应的能量。这两个部分之间的比例关系，叫做“能耗组成”。“能耗组成”的实际情况，可以反映一个国家或一个地区在工业技术上和国民经济上的先进与落后。

过去，在工农业生产中，体力劳动占重要地位，所以产品产量不丰富，人的生活水平很低。但是随着近代工业技术的发展，随着人对自然界能源的利用，生产过程的“能耗组成”不断发生变化，体力劳动在生产中所占的比例越来越低，利用现代能源的机械化程度越来越高，带来了现代的物质文明。当前，在工业化水平较高的国家，每人每天平均消耗的能量估计为 83 万千焦以上，而每个人靠食物每天能以体力形式付出的能量不超过 4 万千焦。

可见，单靠体力劳动是无法达到今天的科学技术和生产水平的，依靠“穷过渡”是创造不出现代化的。人类只有把自然界中的可利用能源越来越多地投入到生产过程中去，生产力才有可能得到迅速增长。过去曾提出过的“以粮为纲”“以钢为纲”等口号，都失之于片面，没有能源哪里来的粮和钢？但是不是可以说“以能源为纲”呢？那也未必妥当，因为建设现代化需要许多物质条件和精神条件的综合。在基本建设中，我国充分重视“能源交通先行”的政策是完全正确的。

18世纪蒸汽机的发现，是人类能源利用史上的一个重要里程碑。蒸汽机的发明带来了工业革命，引发了资产阶级民主革命。煤燃料代替了人力、畜力和原始水力，成为生产过程中的重要能源。随后，电力、石油、天然气也获得越来越广泛的利用，从此世界上能耗越来越大，几乎按照指数函数而增长(图 1.1)。

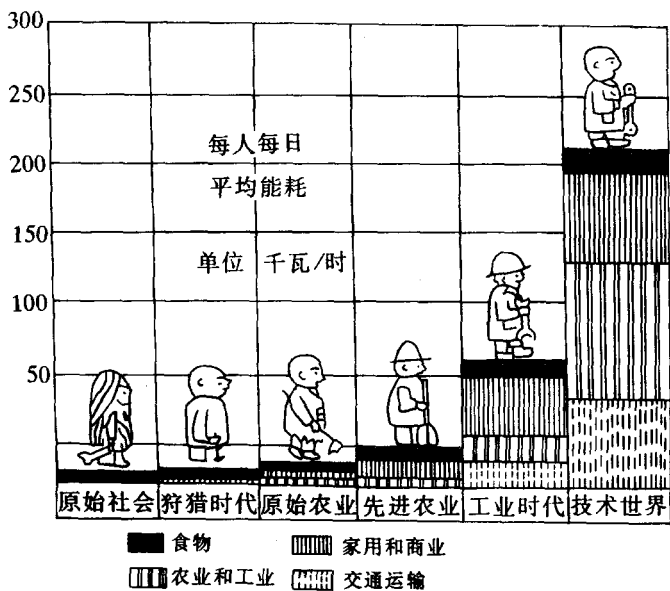


图 1.1 每人每日能耗随社会经济发展的增长趋势

几个重要工业发达国家的发展状况表明，一个国家的国民生产总值同这个国家的能耗量成正比。几十年来，世界的能耗急剧增长，估计到 21 世纪初，全世界能耗将要比现在增长 2~3 倍。这就使能源问题成为一个现代国家不能不加以慎重考虑而且必须严格加以控制的问题了。我们是社会主义国家，不仅要在当代建成具有四个现代化的社会主义强国，也要考虑到子孙的千秋万代。应该以西方国家对能源的滥用浪费为鉴，尽早尽快地建立我国独立自主的能源政策。

1.3 能源与生态环境的关系

由于社会的进步，科学技术和工业生产的发展和人民生活水平的提高，人类大量使用化石能源，却意想不到地造成了严重的环境污染问题，从而给人类生活造成了极大的威胁。环境保护问题在最近十余年来已经成为全世界瞩目并开展多方面研究的重大课题。由于大量燃烧石油、煤炭和天然气等含碳燃料，向大气排放了大量的燃烧产物二氧化碳。二氧化碳的分子量比大气中其他常压气体的分子量都高，所以二氧化碳停留在靠近地球表壳的大气圈中。由于逐年的积累，大气中二氧化碳的含量逐年增高。二氧化碳能吸收热辐射，这层二氧化碳含量越来越高的大气，就好像包在地球表面空间的一座塑料大棚，阻止了地球热量向外层空间散发。地球在白日从太阳吸收了能量，温度升高，到了夜晚，应该能自由地向外层空间散发多余热量，保持本身的能量平衡，也借以保持地球本身的年平均温度的恒定。但这层含二氧化碳的大气却阻止了热量的散发，破坏了地球的热量平衡，使地球和大气圈像一座硕大的温室。根据科学家测量，地球年平均温度每年约升高 0.3°C 。这种现象在环境科学中叫做温室效应。如果人类对这种现象不加以防治，在未来的某一时期，大气和地球的温度