

“十二五”国家重点图书

化学工业出版社出版基金资助出版



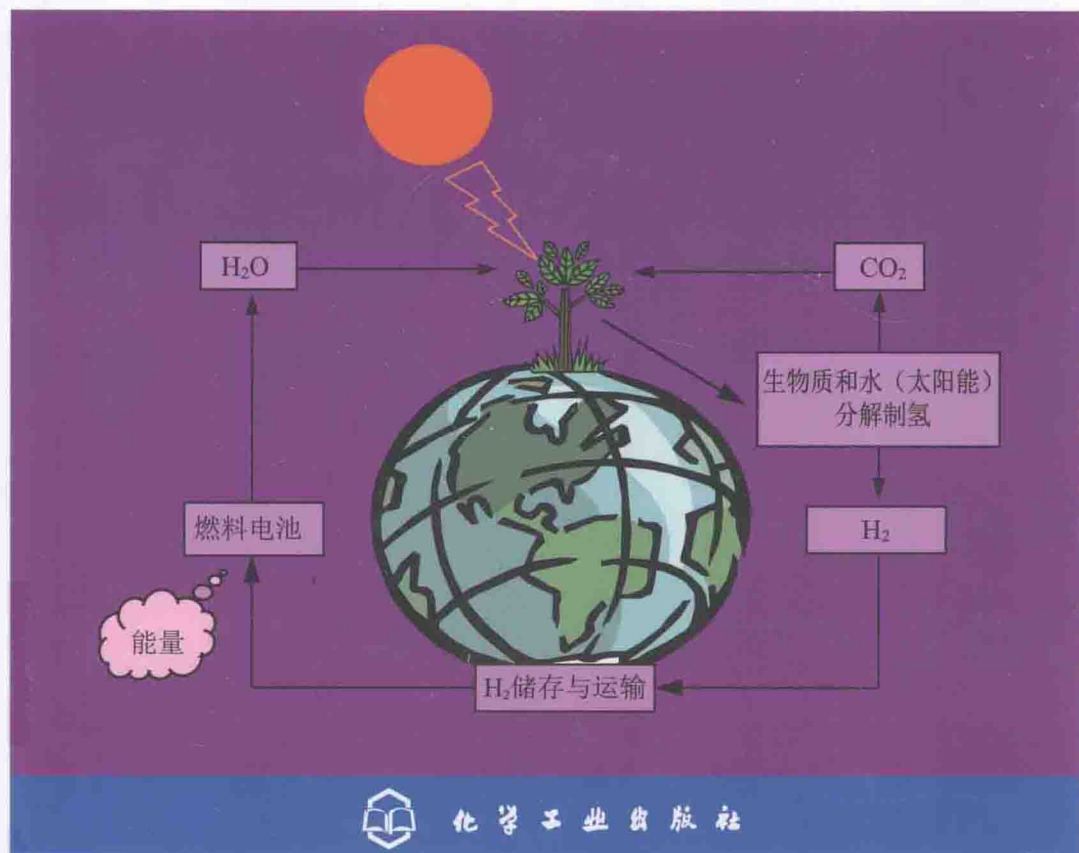
电 / 化 / 学 / 丛 / 书



能源电化学

Electrochemical Energy

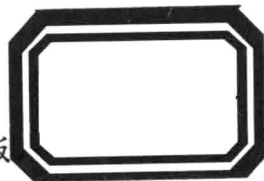
■ 陆天虹 等编著



化学工业出版社

“ 十二五 ” 国家重点图书

化学工业出版社出版基金资助出版



电 / 化 / 学 / 丛 / 书

能源电化学

Electrochemical Energy

陆天虹 等编著



化学工业出版社

· 北京 ·

本书是《电化学丛书》分册之一。书中全面系统地阐述了各种常用和新型化学电源，包括一次电池、二次电池、燃料电池和金属-空气电池等，结合作者们在该领域研究的心得与成果，重点介绍这些化学电源的工作原理、发展概况、最新研究成果、应用前景和存在问题等。

本书内容深入浅出，力求为广大读者提供比较翔实的参考，可供能源、材料和化学电源等相关领域科研人员与技术人员使用，也可作为高校相关专业高年级本科生、研究生的学习参考书。

图书在版编目 (CIP) 数据

能源电化学/陆天虹等编著. —北京: 化学工业出版社, 2014.10
(电化学丛书)
ISBN 978-7-122-21418-8

I. ①能… II. ①陆… III. ①能源-电化学
IV. ①O646

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 166488 号

责任编辑: 成荣霞

文字编辑: 丁建华

责任校对: 王素芹

装帧设计: 刘丽华

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 14 $\frac{1}{4}$ 字数 284 千字 2014 年 11 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: 68.00 元

版权所有 违者必究

序

《电化学丛书》的策划与出版，可以说是电化学科学大好发展形势下的“有识之举”，其中包括如下两个方面的意义。

首先，从基础学科的发展看，电化学一般被认为是隶属物理化学（二级学科）的一门三级学科，其发展重点往往从属物理化学的发展重点。例如，电化学发展早期从属原子分子学说的发展（如法拉第定律和电化学当量）；19世纪起则依附化学热力学的发展而着重电化学热力学的发展（如能斯特公式和电解质理论）。20世纪40年代后，“电极过程动力学”异军突起，曾领风骚四五十年。约从20世纪80年代起，形势又有新的变化：一方面是固体物理理论和第一性原理计算方法的更广泛应用与取得实用性成果；另一方面是对具有各种特殊功能的新材料的迫切要求与大量新材料的制备合成。一门以综合材料学基本理论、实验方法与计算方法为基础的电化学新学科似乎正在形成。在《电化学丛书》的选题中，显然也反映了这一重大形势发展。

其次，电化学从诞生初期起就是一门与实际紧密结合的学科，这一学科在解决当代人类持续性发展“世纪性难题”（能源与环境）征途中重要性位置的提升和受到期待之热切，的确令人印象深刻。可以不夸张地说，从历史发展看，电化学当今所受到的重视是空前的。探讨如何利用这一大好形势发展电化学在各方面的应用，以及结合应用研究发展学科，应该是《电化学丛书》不容推脱的任务。另一方面，尽管形势大好，我仍然期望各位编委在介绍和讨论发展电化学科学和技术以解决人类持续发展难题时，要有大家风度，即对电化学科学和技术的优点、特点、难点和缺点的介绍要“面面俱到”，切不可“卖瓜的只说瓜甜”，反而贻笑大方。

《电化学丛书》的编撰和发行还反映了电化学科学发展形势大好的另一重要方面，即我国电化学人才发展之兴旺。丛书各分册均由该领域学有专攻的科学家执笔。可以期望：各分册将不仅能在较高水平上梳理各分支学科的框架与发展，同时也将提供较系统的材料，供读者了解我国学者的工作与取得的成就。

总之，我热切希望《电化学丛书》的策划与出版将使我国电化学科学书籍跃进至新的水平。

查全性

二〇一〇年夏于珞珈山

前 言

近年来,能源问题已经成为我国最重要的问题之一,能源不但关系到我国国民经济的发展,而且也关系到国家的安全。随着化石能源的短缺以及化石能源的利用造成环境污染和气候异常,新能源特别是可再生能源,如太阳能、风能、生物质能及氢能的开发与利用日益受到重视。而化学电源与新能源的开发和利用有很密切的关系,许多化学电源可与这些可再生能源发电配套使用而做出很大贡献。例如,太阳能和风能发电必须要有化学电源作为储能设备,燃料电池能促进氢能的大规模利用等。

目前,专门系统完整介绍能源电化学基础及研究进展的书籍,特别是中文书籍,尚比较缺乏。基于此,笔者邀集国内在第一线从事电催化研究的中青年电化学工作者编写了此书。书中重点介绍了一次电池、二次电池、燃料电池、金属-空气电池等各种常用和新型化学电源的工作原理、发展概况、最新研究成果、应用前景和存在问题,并充分结合作者们在该领域研究的心得与成果。本书内容深入浅出,希望对能源、化学、材料等学科的发展起到积极的推动作用。

本书在内容的选择上,既注重基础知识和研究方法的介绍,同时又紧紧围绕前沿方向。既适合能源、材料和化学电源等相关领域的科研人员和技术人员使用,也适合高校相关专业高年级本科生、研究生参考学习。本书还有助于读者发展基础理论和应用的创新思维,以面对电化学和能源化学未来的挑战。

在本书出版之际,感谢化学工业出版社的支持。本书各专章的作者都在第一线从事科学研究,时间紧、任务重,他们为保证本书的质量和顺利出版付出了艰辛的劳动,在此一并致谢。

陆天虹

2014年6月

目 录

第 1 章 绪论

1.1 化石能源的问题	1
1.2 21 世纪的能源发展趋势	2
1.2.1 可再生能源的开发将越来越受到重视	2
1.2.2 煤炭将作为过渡能源而受到重视	3
1.2.3 节能技术将备受重视	3
1.2.4 甲烷水合新化石能源的开发将得到强化	3
1.3 各种可再生能源的优缺点	3
1.3.1 太阳能	3
1.3.2 风能	4
1.3.3 生物质能	5
1.3.4 氢能	6
1.4 新能源与电化学的关系	7
参考文献	9

第 2 章 一次电池

2.1 引言	10
2.2 锌锰电池	11
2.2.1 锌锰电池概述	11
2.2.2 锌锰电池的工作原理	11
2.2.3 锌锰电池的发展概况	13
2.3 锌氧化银电池	19
2.3.1 概述	19
2.3.2 锌银电池的工作原理	19
2.3.3 锌银电池的研发概况	20
2.4 锂电池	21
2.4.1 概述	21
2.4.2 不同锂电池的工作原理和优缺点	22
参考文献	25

第3章 二次电池

3.1 引言	28
3.1.1 二次电池分类	28
3.1.2 二次电池对材料的基本要求	29
3.1.3 有效放电容量	29
3.2 可充碱锰电池	30
3.2.1 概述	30
3.2.2 金属锰电化学	30
3.2.3 锰氧化物物化性质	31
3.2.4 MnO_2 电化学	32
3.2.5 质子动力学	33
3.2.6 循环性能	33
3.2.7 “惰性”——一个只具有相对意义的概念	34
3.2.8 展望	35
3.3 铅酸电池	35
3.3.1 概述	35
3.3.2 充放电反应	36
3.3.3 电解液	37
3.3.4 电位-pH图	37
3.3.5 Pb及其化合物	37
3.3.6 正极充放电反应	38
3.3.7 负极充放电反应	39
3.3.8 “Coup de Fouet”现象	40
3.3.9 自放电反应	41
3.3.10 性能衰减机理	42
3.3.11 应用举例	44
3.3.12 研究进展	44
3.3.13 隔膜	48
3.3.14 早期容量损失	49
3.3.15 发展方向	49
3.4 H_2-Ni 电池	53
3.4.1 概述	53
3.4.2 镍及其氧化物、氢氧化物	54
3.4.3 电化学	54

3.4.4	充放电机理	55
3.4.5	氢电极简述	57
3.4.6	应用举例	57
3.4.7	研究现状	58
3.4.8	前景与展望	60
3.5	碱性电池	61
3.5.1	锌镍、铁镍、镉镍、超铁和锌银电池	61
3.5.2	MH-Ni 电池	65
3.6	锂离子电池	73
3.6.1	概述	73
3.6.2	碳基负极材料	74
3.6.3	金属锂负极	77
3.6.4	合金与金属间化合物	78
3.6.5	氮化物	79
3.6.6	尖晶石 LiMn_2O_4	80
3.6.7	层状过渡金属氧化物	81
3.6.8	橄榄石结构磷酸盐	84
3.6.9	Li-V-P-O、 VO_x 系列嵌锂材料简述	89
3.6.10	Li-Ti-O 嵌锂电极材料	90
3.6.11	电解液	91
3.6.12	总结	100
	参考文献	104

第 4 章 燃料电池

4.1	引言	108
4.1.1	燃料电池的定义	108
4.1.2	燃料电池的历史回顾	108
4.1.3	燃料电池基础	111
4.2	质子交换膜燃料电池	113
4.2.1	质子交换膜燃料电池的发展简史	113
4.2.2	质子交换膜燃料电池的工作原理	114
4.2.3	质子交换膜燃料电池的特点	115
4.2.4	膜电机组件	115
4.2.5	质子交换膜燃料电池商业化的问题	123

4.3 直接甲醇燃料电池	124
4.3.1 直接甲醇燃料电池的研发概况	125
4.3.2 工作原理	126
4.3.3 基本结构	126
4.3.4 直接甲醇燃料电池的优点	127
4.3.5 直接甲醇燃料电池性能的改进	128
4.3.6 质子交换膜	130
4.4 直接甲酸燃料电池	131
4.4.1 研究甲醇替代燃料的原因	131
4.4.2 直接甲酸燃料电池的优缺点	132
4.5 直接乙醇燃料电池	133
4.5.1 直接乙醇燃料电池发展概况	133
4.5.2 直接乙醇燃料电池优缺点	134
4.5.3 直接乙醇燃料电池的工作原理	134
4.6 直接碳燃料电池	134
4.6.1 直接碳燃料电池的发展概况	134
4.6.2 直接碳燃料电池的工作原理与电池结构	135
4.6.3 直接碳燃料电池的特点	136
4.6.4 杂化型直接碳燃料电池	137
4.6.5 直接碳燃料电池的问题与展望	138
4.7 碱性燃料电池	140
4.7.1 碱性燃料电池的发展概况	140
4.7.2 碱性燃料电池的优缺点	140
4.7.3 碱性燃料电池的工作原理	141
4.7.4 碱性燃料电池的基本结构	141
4.8 磷酸燃料电池	145
4.8.1 磷酸燃料电池发展概况	145
4.8.2 磷酸燃料电池的工作原理和工作条件	146
4.8.3 磷酸燃料电池的优缺点	147
4.8.4 磷酸燃料电池的基本结构	147
4.8.5 影响磷酸燃料电池性能的因素	150
4.8.6 影响寿命的因素及改进方法	151
4.8.7 磷酸燃料电池商业化的展望	152
4.9 熔融碳酸盐燃料电池	153
4.9.1 熔融碳酸盐燃料电池发展概况	153

4.9.2	熔融碳酸盐燃料电池的工作原理	154
4.9.3	熔融碳酸盐燃料电池电极材料	155
4.9.4	熔融碳酸盐燃料电池隔膜材料	156
4.9.5	熔融碳酸盐燃料电池的电解质	157
4.9.6	熔融碳酸盐燃料电池的结构	158
4.9.7	操作条件对熔融碳酸盐燃料电池性能的影响	158
4.9.8	熔融碳酸盐燃料电池的优点	160
4.9.9	熔融碳酸盐燃料电池的缺点	160
4.9.10	熔融碳酸盐燃料电池商业化的问题	160
4.10	固体氧化物燃料电池	161
4.10.1	固体氧化物燃料电池的发展概况	161
4.10.2	固体氧化物燃料电池的工作原理	163
4.10.3	固体氧化物燃料电池的电解质材料	164
4.10.4	质子传导电解质	169
4.10.5	氧气在阴极的还原机理	174
4.10.6	连接材料和密封材料	174
4.10.7	固体氧化物燃料电池的结构与组成	177
4.11	生物燃料电池	179
4.11.1	生物燃料电池的发展概况	180
4.11.2	生物燃料电池的工作原理、特点和分类	180
4.11.3	微生物燃料电池	182
	参考文献	190

第5章 金属-空气电池

5.1	金属-空气电池的工作原理	192
5.2	金属-空气电池的特点	193
5.3	金属-空气电池的分类	194
5.3.1	按阴极氧化剂分类	194
5.3.2	按阳极所用金属材料分类	194
5.3.3	按工作方式分类	194
5.3.4	按电解质溶液分类	194
5.4	金属-空气电池的应用	195
5.4.1	电动运输工具的牵引电源	195
5.4.2	备用和应急电源	195

5.4.3 便携式仪器设备电源	195
5.4.4 水下电源	195
5.5 金属-空气电池阳极材料	196
5.5.1 锌阳极	196
5.5.2 铝阳极	199
5.5.3 镁阳极	201
5.6 金属-空气电池结构与性能	203
5.6.1 金属-空气电池的优点	203
5.6.2 碱性空气阴极的工作原理	203
5.6.3 机械充电式锌-空气电池	204
5.6.4 连续供料式锌-空气电池	204
5.6.5 金属-过氧化氢空气电池	206
参考文献	210

索引

第 1 章

绪 论

■ 陆天虹 郑军伟

(南京师范大学化学与材料科学学院; 苏州大学化学电源研究所)

1.1 化石能源的问题

能源是人类赖以生存和发展的重要物质基础,是国民经济发展的命脉。自古以来,人类就为改善生存条件和促进社会经济的发展而不停地进行奋斗。在这一过程中,能源一直扮演着重要的角色。从世界经济发展的历史和现状来看,能源问题已成为社会经济发展中一个具有战略意义的问题,能源的消耗水平已成为衡量一个国家国民经济发展和人民生活水平的重要标志,能源问题对社会经济发展起着决定性的作用。在 20 世纪 50~70 年代,由于中东的廉价石油大量供应,使资本主义世界经济得到飞速发展。而 1973 年,中东战争使石油生产减少而引起资本主义世界长时间的经济危机。国际经济界提供的分析表明,由于能源短缺而造成的国民经济损失要相当于能源本身价值的 20~60 倍。1975 年,美国短缺 1.16 亿吨标准煤而使国民生产总值减少了 930 亿美元。因此,人们已经把能源比作社会经济发展的火车头。

自古以来,包括煤炭、石油、天然气的化石能源一直是人类使用的主要能源。18 世纪蒸汽机的发明导致的工业革命促进了煤炭工业的发展;第二次世界大战后,石油和天然气开始得到广泛利用。随着社会生产力的发展和人民生活水平的提高,化石能源消耗的增长速度大大超过了人口的增长速度。1975 年,世界人口比 1925 年增加了一倍,但世界商品能源的总消耗量增加了 4.5 倍,而且,这种增长仍呈上升趋势。1987 年世界商品能源总消耗量为 100 亿吨标准煤,比 1975 年增加 70%,在 2000 年,世界商品能源总消耗量为 200 亿吨标准煤,又增加了一倍。在 20 世纪

末,世界一次能源的构成是:石油占40.5%,天然气占24.0%,煤炭占25.0%,核能占8.0%,可再生能源占2.5%。化石燃料占了世界一次能源的89.5%。由于化石燃料的资源有限,化石燃料变得日益紧缺。根据国际能源专家的预测,地球上的煤炭、石油和天然气的储采比分别为200、40和60年。我国的煤炭、石油和天然气的储采比分别为82、15和46年。以后,可能会探明新的化石能源储量,延长化石能源的使用期限,但总的来说,在人类历史的长河中,只有很短一段时间能使用化石能源。

由于化石能源是目前最主要的能源,化石能源的短缺,不但将对发展经济有很大的影响,而且还关系到国家的安全。美国攻打阿富汗和伊拉克的真正目的就是石油。法国、英国和美国等对利比亚的空袭的原因之一也是想占有利比亚的石油。日本与我国争夺钓鱼岛也是想争钓鱼岛附近海底的油气资源。

化石能源的使用,还会带来严重的环境污染,并使气候异常,这已引起世界各国的重视。化石能源的使用会排出大量的 CO_2 , CO_2 的排放,会造成温室效应,使全球气候变暖,所以一些国家签署了限制 CO_2 排放的《京都协议书》。最近,有关机构已向联合国发出警告,如再不对 CO_2 的排放采取严厉措施,在10年内,世界的气候将发生不可逆转的变化。另外,化石能源的使用会排放大量氮和硫的氧化物,形成酸雨,这对人体健康和土壤等都有不良影响。我国的环境污染问题更是日趋严重。例如,目前美国的 CO_2 的排放量为世界第一,而我国的 CO_2 的排放量为世界第二,占世界总排放量的14%。估计到2025年,将位居第一。在21世纪初联合国关于环境污染的调查中,发现在世界上十个环境污染最严重的城市中,七个在中国^[1,2]。

1.2 21世纪的能源发展趋势

1.2.1 可再生能源的开发将越来越受到重视

大自然赋予人类的能源是多种多样的,除了化石能源外,还有生物质能、核能、水能、风能、地热能、海洋能、太阳能、氢能等可利用。除化石能源外,当前在一次能源中有明显贡献的是水能与核能,但是,由于水能资源有限,再要大量增加水能的利用已经是不太可能。原来,核能的发展有一段较快的时间,但前苏联核电站发生的问题使核能的利用降低了速度,特别是发达国家大大减慢了核电站的兴建。而2011年日本大地震引起的核电站的问题更使核能的利用大大减少。关于核裂变能利用的技术问题还没有解决,因此,还不能确定能否利用。海洋能与地热能估计在21世纪还难以发展成较大规模的实用能源。因此,在21世纪主要发展的能源为一些可再生能源,如太阳能、风能、生物质能和氢能。世界有关机构预见,到21世纪50年代,可再生能源在整个能源构成中会占到近50%。因此,开发新的可

再生能源，包括太阳能、生物质能、风能、氢能等已经成为能源科学领域迫在眉睫的任务。我国政府一直非常重视可再生能源的开发利用。中共中央通过的《中共中央关于制定国民经济和社会发展“九五”计划和2010年远景目标的建议》要求“积极发展新能源，改善能源结构”。1998年1月1日实施的《中华人民共和国节约能源法》明确提出“国家鼓励开发利用新能源和可再生能源”。国家计委、国家科委、国家经贸委制订了《1996—2010年新能源和可再生能源发展纲要》，2005年2月，全国人大通过《中华人民共和国可再生能源法》，已于2006年1月正式实施。

1.2.2 煤炭将作为过渡能源而受到重视

由于石油和天然气的储量较少，而煤炭储量相对较多，因此煤炭将作为一种过渡能源而在21世纪上半世纪受到重视。主要发展的技术是洁净煤技术、煤液化和气化技术。

1.2.3 节能技术将备受重视

节能就是提高能源利用率，减少能源的浪费。目前节能技术水平已是一个国家能源利用情况的综合性指标，也是一个国家总体科学技术水平的重要标志。许多研究报告指出，依靠节能可以将能源需求量降低25%~30%。目前许多国家都制定了“节能法”，大量的节能技术正在推广。我国在能源利用方面的效率很低，能耗很高，是世界平均水平的2倍，发达国家的5~10倍，因此更应重视节能技术，以提高化石能源的利用率。过去，我国科技部一直没有把节能项目作为科技部资助的项目，但从我国“十一五”开始，已经把节能项目列入科技部的资助项目。

1.2.4 甲烷水合新化石能源的开发将得到强化

近年来发现，在海洋300m深处有甲烷水合物存在。目前，甲烷水合物的开发已经受到关注。据估计，世界甲烷水合物的储量可能超过石油、天然气和煤炭储量的总和。因此，甲烷水合物作为储量巨大的未开发能源开始受到世界各国的高度重视^[3~5]。

1.3 各种可再生能源的优缺点

1.3.1 太阳能

1.3.1.1 太阳能利用概况

太阳能的利用发展很快，据1997年的数据，全球太阳能发电量已达800MW。

太阳能光伏电池在建筑物上安装,不但可供应清洁能源,而且美观耐用,寿命可达20年以上。太阳能的热利用发展更快。在我国,太阳能热水器的年产值已达60多亿元,居世界首位。

1.3.1.2 太阳能的优点

(1) **太阳能资源丰富** 太阳能来源丰富是众所周知的,这是一种取之不尽、用之不竭的能源。太阳内部不停地进行热核反应,释放出巨大的能量,辐射到地球上的能量只占其辐射总能的极小部分,约二十二亿分之一,但地球每年接收的太阳能至少有 $6 \times 10^{17} \text{ kW} \cdot \text{h}$,相当于74万亿吨标准煤的能量。其中被植物吸收的仅占0.015%。可见,开发太阳能的潜力很大。

(2) **太阳能没有污染问题** 这也是众所周知的,太阳能是一种清洁能源,太阳能的使用基本上没有污染问题。

(3) **太阳能可多途径利用** 目前,已知的太阳能的利用方式有太阳能的热利用,如太阳能热水器、太阳灶和太阳能空调等;太阳能发电,如太阳能热发电和光伏电池等;以后还可发展光催化技术从水和生物质中制取氢气。

1.3.1.3 太阳能利用的问题

(1) **太阳能不连续和不均匀分布** 太阳能不能连续使用,只能白天利用。太阳能分布不均匀,夏天多,冬天少。

(2) **辐射到地球表面太阳能的功率密度低** 由于太阳辐照的功率密度低,仅仅 1 kW/m^2 ,使其占地面积大,对于一些应用,必须采用合适的聚光系统将光聚焦起来。

(3) **太阳能不能储存,不能运输** 由于太阳能不能储存,不能运输,加上太阳能分布不均匀,因此还需要发展能运输能量的载体,如把太阳能发的电储存到电池中和制成氢气储存。

(4) **太阳能利用的成本较高,妨碍了大规模的应用** 这个问题对我国特别重要,如目前我国生产太阳能电池的能力已大于几百兆瓦,但由于价格高,尚不能在我国普遍使用,我国目前生产的太阳能电池大部分都销售到国外。

(5) **大规模太阳能利用的一些技术还需大力研发** 目前,许多太阳能利用技术的太阳能转换效率还较低,因此提高太阳能转换效率对太阳能的利用特别重要。另外,一些技术,如光催化和光电催化制氢技术目前还不成熟,尚未达到实用化的阶段。

1.3.2 风能

1.3.2.1 风能利用概况

风能是现在可再生能源中发展最快、技术最为成熟、最具有大规模开发和商业化前景的能源。风力发电(风电)是风能利用的重要形式。全球风电累计装机容量到2005年底为58981.6MW,已占到全世界总电量的0.5%。风电发展前10位为德国、西班牙、美国、印度、丹麦、意大利、英国、中国、荷兰和日本。其中欧洲

有6个国家，其风电装机容量占世界风电装机容量的60.8%。德国是世界风电装机容量最多的国家，为18427.5MW，占世界31.2%，其风电装机容量占总容量的6.2%，已超过水电比重。中国在世界排名第8位，装机容量为1260MW，占世界2.1%。

1.3.2.2 风能的优点

(1) **资源丰富** 众所周知，风能是取之不尽、用之不竭、周而复始可以再生的能源。

(2) **没有污染问题** 这也是众所周知的，风能不污染环境、不破坏生态。

(3) **发电的技术比较成熟** 风力发电技术是现在可再生能源中发展最快、最为成熟的技术。

(4) **发电成本相对较低** 风力发电的价格虽然比市电高，但在可再生能源中，风力发电的价格是最低的。

1.3.2.3 风能的问题

(1) **可利用的风力有限** 我国陆地上可利用的风能的量只能产生我国用电总量的4%左右。

(2) **风力发电占地面积大** 由于风力发电机相互不能靠得很近，因此风力发电占地面积大，据估计，如美国加州土地全部用于风力发电，所产生的电只是美国总用电量的6%。

(3) **风力发电稳定性不好** 由于风速、风向变化的不稳定性而导致输出功率的大小不稳定，因此风力发电稳定性不好。这会使风电与电网匹配困难。

(4) **海风发电有台风问题** 在海上建造风力发电机能不占用陆地，但在我国海上有台风，会损坏发电机，而且在海上建造风力发电机，其成本会大大增加。

(5) **能进行风力发电的地区一般与用电量多的地区距离远** 在我国，一般能进行风力发电的地区与用电量大的地区距离远，如我国新疆和内蒙古地区风资源丰富，但那里的用电量少，而要远距离的输电又会产生损耗。

1.3.3 生物质能

1.3.3.1 生物质能的利用概况

生物质能直燃炊用或采暖的传统利用方式在广大农村地区仍占主导地位，生物质能消耗占全国能源消耗总量的近20%。但我国生物质资源转化成现代化的商品能源（电、燃气等）的比例还很小，大约只有0.5%，与世界平均转化率14.5%相比差了28倍。随着生活水平的提高和城镇化的发展，越来越多的人改用电力和液化气，展望未来，商品生物质能源的份额将逐渐增加。

1.3.3.2 生物质能的优点

(1) **生物质来源较丰富** 从近中期来看，生物质燃料是非常值得考虑的一种可再生能源。地球上每年仅通过光合作用生成的生物质总量144~180Gt（干重），其

能量相当于目前世界总能耗的 10 倍，因此，生物质能的高效、规模化利用可在一定程度上缓解世界能源供需矛盾。

(2) **生物质能可多途径利用** 生物质能的利用方式很多，如直接燃烧发电；加热转换成气体或液体燃料；用生物方法转化成气体，如沼气，或液体燃料，如甲醇和乙醇等；也可从油料植物中提取植物油，经酯化得生物柴油等。

(3) **利用生物质能污染较小** 生物质能利用的主要污染物为 CO_2 ，但由于生物质是可再生的，生物质能利用排出的 CO_2 ，在生物生长时又被吸收，因此，生物质能的利用对环境污染较小。另一方面，生物质能的利用还有助于降低污染。如可利用生物质热解气化技术处理生活垃圾等，可得到以甲烷为主的燃气，实现垃圾的减量化、无害化、资源化。

1.3.3.3 生物质能的问题

(1) **能用作能源的生物质能较少** 虽然生物质资源总量较多，但其中相当大的部分为人们衣食所消耗，还有的作为饲料，另一部分转化为非能源产品如建材和纸张等，因此能作为能源的部分就较少。

(2) **生物质能量密度低和资源分散** 生物质的能量密度低和资源分散是其明显缺点，大面积收集成本高，经济的收集半径在 50km 以内，因此，只适合建立小型、分散的生物质能利用系统。而小型的发电站的能量转换效率低。

1.3.4 氢能

1.3.4.1 氢能的利用概况

氢是一种清洁的能量载体，在自然界中含量十分丰富，但均以化合物形式存在，需要通过一次能源转化才能得到，所以氢能是一种二次能源。目前，氢能的大规模利用还存在一定问题，主要是制氢技术和储氢技术还没有完善，作为氢能利用的主要技术，燃料电池还没有商品化，另外，氢的价格还比较高，制氢、储（运）氢和供氢的网络还没形成。总体来说，氢能的利用还处在起步阶段。

1.3.4.2 氢能的优点

(1) **氢发热量高** 所有元素中，氢质量最轻，它的发热量为 142351kJ/kg，是单位质量汽油发热值的 3 倍。

(2) **氢的储量高** 氢是自然界储量最丰富的元素，据估计它构成了宇宙质量的 75%。在地球上，除空气中含有极少量氢气外，氢主要以化合物的形态存在于水中，而水是地球上最广泛的物质。若能从水中制取氢，而后燃烧又生成水，如此反复可以循环使用。

(3) **氢燃烧性能好** 氢燃烧性能好，与空气混合时有广泛的可燃范围，而且燃点高，燃烧速度快。

(4) **氢燃烧无污染** 与其他燃料相比，氢燃烧时生成水，不造成污染。

(5) **氢能利用形式多** 氢既可以通过燃烧产生热能，在热力发动机中产生机械