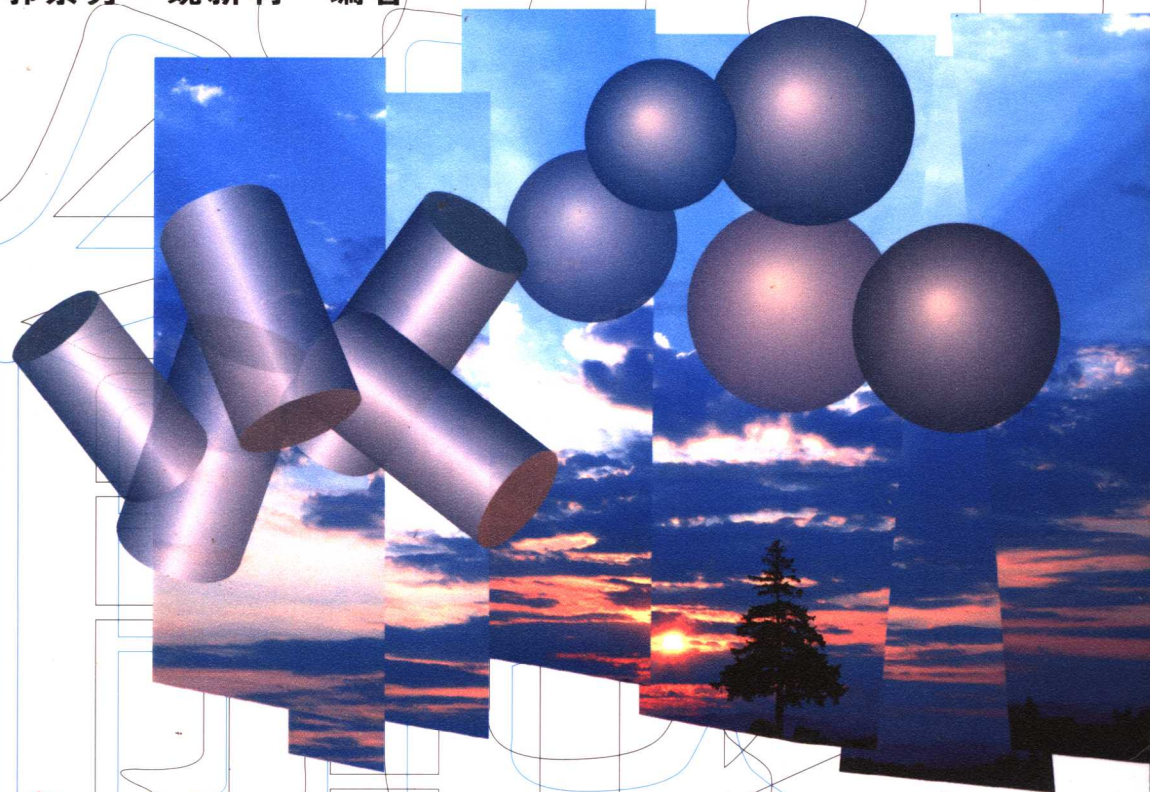


可再生能源丛书

热能存储 技术与应用

郭茶秀 魏新利 编著



化学工业出版社

可再生能源丛书

热能存储技术与应用

郭茶秀 魏新利 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

热能存储技术与应用/郭茶秀, 魏新利编著. —北京:
化学工业出版社, 2005. 4

(可再生能源丛书)

ISBN 7-5025-6944-8

I. 热… II. ①郭…②魏… III. 热能-能量贮存
IV. TK11

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 029547 号

可再生能源丛书

热能存储技术与应用

郭茶秀 魏新利 编著

责任编辑: 侯玉周

文字编辑: 宋 薇

责任校对: 蒋 宇

封面设计: 关 飞

*

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

大厂聚鑫印刷有限责任公司印刷

三河市延风装订厂装订

开本 720mm×1000mm 1/16 印张 20 $\frac{3}{4}$ 字数 390 千字

2005 年 5 月第 1 版 2005 年 5 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-6944-8

定 价: 38.00 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

序

可再生能源，包括太阳能、风能、生物质能、水能、地热能、海洋能，是广泛存在、用之不竭、可以自由索取、最终可依赖的初级能源。直至近二三百年化石能源得以大规模开发使用以前，它一直是人类赖以生存与发展的主要能源来源。当前，化石能源与核裂变能已成为最主要的商品能源，可再生能源中只有水能在商品能源中占有明显的份额。自 20 世纪 70 年代开始，人们认识到根据当今化石能源的开发使用力度，它将在几十至一百多年间衰竭，对于人类未来能源可持续供应来说，我们又将重新进入可再生能源为主的新时期。

与化石能源相比，可再生能源具有能量密度低；随着季节、昼夜与气候条件的变化而变化，不连续；难于携带和运输等特点。若要取代化石能源则需解决一系列科学技术问题和经济性能问题，整个过程需要长时间的持续努力。可喜的是，近年来，可再生能源的开发利用得到了日益增强的重视与支持，取得了一些重要的进展，大大增强了人类在化石能源衰竭后仍能依赖可再生能源可持续发展的信心。

化学工业出版社组织出版的《可再生能源丛书》，由各领域的知名专家编写，将为广大读者提供有关知识、进展情况和今后工作的方向，动员大家来更好地参与和支持开发利用可再生能源的伟大事业。相信定会受到大家的欢迎，取得预期的效果。

中国科学院院士、中国太阳能学会名誉理事长

严陆光

2004 年 10 月

于北京

前 言

在能源利用中,绝大部分是通过热能这一形态加以利用的,或由热能转换成其他形式的能量后再加以利用的。人类社会对环境保护、节能降耗、减少污染的呼声越来越高,促进了热能存储技术的快速发展。如何用热能存储技术对不连续、不稳定的热量进行充分利用,已成为一项提高能源利用效率的重要环境友好技术。目前储热技术可用于解决废热和余热的回收利用,缓解热能供给与需求失配的矛盾。另外在太阳能的存储利用、新型储能材料的开发等领域也开始引人关注,并已取得进展。目前,储热技术在很多领域都有应用,如太阳能空调、冰储冷空调、太阳能热泵等。

本书编写的宗旨,一是突出实用性,书中介绍了大量有代表性的应用实例,并采用系统图和结构图表加以说明,以便为其推广提供实用参考;二是兼顾目前和未来发展,书中既着重介绍了现有条件下的实用技术,又介绍了今后将推广应用的先进技术,以期开阅读者的眼界,推进热能存储技术的发展;三是尽可能涉及较多的行业以及较广的技术领域,因为热能存储是跨行业的,且需要借助于众多科学分支的成果。

全书共7章,介绍了热能存储学科中的前沿技术和应用。主要包括显热存储、相变存储、化学能储、储冷方法以及相应的相变材料的性能;热能存储设备的设计;工业余热回收中的存储设备及系统;太阳能的存储及其在加热和制冷方面的应用;热能存储新技术及发展趋势。参加本书撰写的有郑州大学热能工程中心的郭茶秀副教授(第2章~第6章)和魏新利教授(第1章、第7章)。此外,编写过程中,张务军高工、王定标副教授、刘宏副教授、董其武教授、刘敏珊教授、吴金星副教授、王海峰高工、硕士生熊辉东等提供了许多宝贵的资料和意见,在此表示诚挚的谢意!同时对在本书的编写过程中给予很大帮助和提供参考资料的朋友致谢。

由于编者水平有限,书中难免有不足之处,衷心欢迎广大读者批评指正。

编者

2005年2月

目 录

1 绪论	1
1.1 能量类型及来源	1
1.1.1 能量类型	1
1.1.2 能量来源	3
1.2 热能资源	4
1.2.1 燃料能源	4
1.2.2 太阳能	6
1.2.3 核能	8
1.2.4 地热能	9
1.2.5 海水热能	12
1.3 储能系统的任务与储能技术	13
1.3.1 储能系统任务、作用	13
1.3.2 储能系统要求	14
1.3.3 储能技术及应用	14
1.4 热能存储技术研究进展	16
1.4.1 显热存储技术的应用	17
1.4.2 化学能储热技术的研究	17
1.4.3 潜热储能技术的研究进展	18
参考文献	20
2 热能存储基本原理	21
2.1 热力学基础知识	21
2.1.1 热力学基本概念	21
2.1.2 热力学第一定律	31
2.1.3 热力学第二定律及热效率	33
2.1.4 焓分析	34
2.1.5 理想气体的基本热力过程	36
2.2 传热学基础	37
2.2.1 热量传递的基本方式	38
2.2.2 传热的基本规律	39

2.2.3	稳定热传导	41
2.2.4	对流换热	43
2.2.5	传热计算	49
2.2.6	传热强化概述	56
2.3	能量平衡计算	59
2.3.1	能量平衡定义和原理	59
2.3.2	能量平衡模型	60
2.3.3	能量平衡的类型	61
2.3.4	能量的计算	62
2.3.5	储热装置能量平衡方程	64
	参考文献	65
3	热能存储方法及技术	66
3.1	概述	66
3.2	热能存储基本原理及评价依据	66
3.2.1	显热存储基本原理	66
3.2.2	潜热存储基本原理	67
3.2.3	热量储存的评价依据	67
3.3	显热存储	69
3.3.1	显热存储介质	70
3.3.2	储热水箱	72
3.3.3	地下含水层储热	76
3.3.4	固体显热储存	78
3.4	相变存储	81
3.4.1	相变材料的选取	81
3.4.2	提高相变材料传热效率的措施	88
3.4.3	相变材料应用	89
3.4.4	相变储能装置的传热分析	90
3.5	化学能储	97
3.5.1	催化反应	97
3.5.2	生成物分离反应	98
3.6	储冷技术	104
3.6.1	储冷技术的概念与意义	104
3.6.2	储冷空调系统的工作原理	105
3.6.3	水储冷技术	106
3.6.4	冰储冷技术	108

3.6.5	相变储冷技术	112
3.6.6	吸附储冷技术	115
3.6.7	储冷系统设计原则	115
3.6.8	冰储冷空调应用	117
3.7	其他储热方式	120
3.7.1	土壤储热	120
3.7.2	太阳池储热	121
	参考文献	124
4	热能存储设备设计及应用	125
4.1	热能储存受压容器设计概述	125
4.1.1	受压容器规范介绍	126
4.1.2	受压容器分类	128
4.1.3	受压容器的设计参数	129
4.1.4	热能储存受压容器设计基本方法	133
4.2	热能存储受压容器材料	134
4.2.1	材料力学性能	134
4.2.2	材料物理性能	135
4.2.3	材料的耐腐蚀性能	136
4.2.4	制造工艺性能	137
4.2.5	材料的经济性	138
4.3	热能存储容器的设计	138
4.3.1	受压容器设计理论基础	138
4.3.2	内压筒体的设计计算	142
4.3.3	封头的设计计算	144
4.3.4	容器的最优尺寸	146
4.4	设备支座的选用	147
4.4.1	卧式容器的支座	148
4.4.2	立式容器的支座	150
4.5	热能存储设备保温材料的选用	153
4.6	热能存储受压容器应用	156
4.6.1	蒸汽蓄热器	156
4.6.2	地下热能存储受压容器	164
4.6.3	预应力铸铁热能存储容器	166
4.7	非受压热能存储容器	167
4.7.1	非受压高温容器	168

4.7.2 非受压低温容器	168
参考文献	169
5 工业余热的存储系统	170
5.1 余热资源	170
5.1.1 概论	170
5.1.2 余热的种类	171
5.1.3 余热的利用方式	174
5.1.4 余热利用技术指标	176
5.2 余热回收的换热设备	178
5.2.1 换热设备分类及应用	178
5.2.2 管壳式换热器	185
5.2.3 高温空气预热器	191
5.2.4 热管换热器	193
5.2.5 余热锅炉	208
5.2.6 其他型式的换热设备	213
5.3 热泵	215
5.3.1 热泵的工作原理	215
5.3.2 热泵的应用	220
5.4 余热回收中的能量存储	228
5.4.1 余热回收利用系统	228
5.4.2 储热换热器	230
参考文献	233
6 太阳能的存储及应用	234
6.1 太阳能的特点及利用方式	234
6.2 太阳能的热存储	235
6.2.1 太阳能热存储的原理及分类	235
6.2.2 太阳能热存储的要求	238
6.2.3 太阳能的显热存储	239
6.2.4 太阳能的潜热存储	242
6.2.5 太阳能的地下热存储	243
6.3 具有储能装置的太阳能加热系统	245
6.3.1 具有储能装置的太阳能加热系统的结构	245
6.3.2 具有储能装置的太阳能加热系统的分类	251
6.4 太阳能制冷系统	261
6.4.1 太阳能制冷系统的种类及优点	261

6.4.2	太阳能吸收式制冷系统	263
6.4.3	太阳能吸附式制冷系统	272
6.4.4	太阳能蒸汽喷射式制冷系统	277
6.4.5	太阳能压缩式制冷系统	281
6.5	太阳能空调系统的发展与应用	282
6.5.1	太阳能空调系统的特点及发展	282
6.5.2	太阳能空调系统应用实例	284
6.5.3	现有太阳能空调系统存在的问题	288
	参考文献	289
7	热能存储新技术及应用	290
7.1	高温相变储热技术	290
7.1.1	高温相变材料	291
7.1.2	高温相变储热器	292
7.1.3	高温相变容器热分析简介	293
7.2	高温相变储冷技术	295
7.2.1	高温相变储冷对相变材料的要求	296
7.2.2	高温相变材料性能研究方法	297
7.2.3	相变材料的封装	300
7.3	高温水储冷空调系统	308
7.3.1	高温水储冷空调的基本原理	308
7.3.2	过冷储冷系统的循环特性	310
7.4	新型相变材料	316
7.4.1	定形相变材料	316
7.4.2	功能热流体	317
7.4.3	纳米复合相变储热材料	318
	参考文献	319

1 绪 论

1.1 能量类型及来源

在人类进化的过程中,能量为人类提供了必需的动力,如远古时期的烤火取暖,现代各种形式的发电、驱动各种机械。所以能量是发展农业、工业、国防、科学技术和提高人民生活的重要物质基础。特别是进入 21 世纪后,人类对能量消费迅速增长,大规模的能量开发利用对社会经济的发展产生了极大的作用。事实证明,能量供应充足的国家,基本上都实现了工业和国民生产总值的高度增长,即经济越发达,对能量的消费量就越大。例如美国、英国、法国等发达国家,尽管人口总计不超过世界人口的 10%,而能量的消费量已达世界的 40%,所以能量的消费量是衡量现代经济发展水平和人民生活水平的重要指标。

1.1.1 能量类型

根据能量的不同存在形式,能量分为机械能、化学能、电能、电磁能、原子能、热能六大类。

机械能是物体机械运动时的能量,它可以势能或动能的形式存在。势能是指物体位置形状变化时的能量,如重力势能、弹性热能。动能是物体运动时所产生的能,如飞轮运转。

化学能是由粒子(分子、原子、离子)之间发生化学反应而释放的能。如放热反应,反应过程中释放化学能,工程上应用最多的是燃烧,在反应过程中产生的热量即为燃料的发热量。

电能是电流所做的功,电流在某段电路上所做的功等于这段电路两端的电压、电路中的电流和通电时间的乘积。电能是应用最广泛、使用最方便、最清洁的一种二次能源。在图 1.1 所示能量转换方式中,电能由一次能源(如煤炭、石油、天然气、核燃料、水能、风能、太阳能、地热能等自然界中以天然的形式存在的未经过加工或转换的能源)通过电磁感应转换而成,也可以通过燃料电池将氢、煤气、天然气、甲醇等燃料的化学能直接转换而成,还可以通过光生伏打效应将太阳能直接转换而成。

电磁能是和电磁辐射相关的一种能,能量的大小与放射波的频率成正比。

$$E = hf$$

式中 h ——普朗特常数, $6.626 \times 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ 。

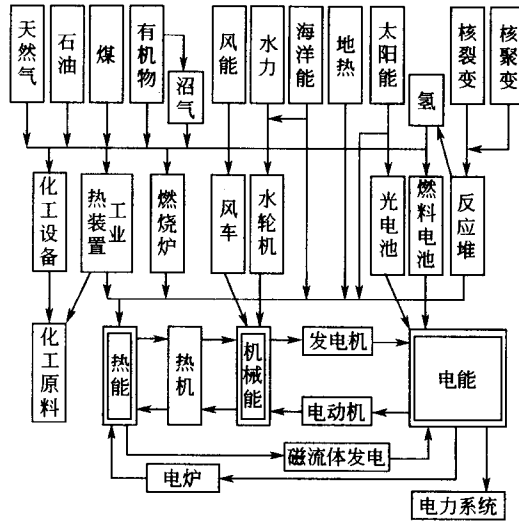


图 1.1 能量转换方式

γ 射线具有最强的电磁能，而无线电波最弱。应用电磁能的设备在军事、工业、科学、医疗上使用广泛，如介质加热设备、电疗设备、微波加热设备等。最新研制的电磁炮是一种利用电磁能或电热能发射各种弹丸的动能武器，可以用来打击飞机、卫星和导弹等各种目标，具有初速高、加速快、飞行时间短、火力猛、抗电子干扰能力强和毁伤效果好等特点。

原子能是粒子相互作用而释放的能。原子核反应包括放射性衰变、裂变和聚变三种，反应过程中要放出巨大的核能。在能源工业中原子能反应堆中燃烧的是核燃料（铀 235、钚 232 等），具有体积小、能量大（比化学能大几百万倍）的优点，如 1g 铀 235 释放的能量相当于 30t 标准煤释放的能量。所以核燃料可为大型航空母舰、潜艇、破冰船提供动力，也可以用来发电和供热。

热能是指物质中大量分子热运动时具有的能量。是一种基本的能量形式，因为所有形式的能都可以完全转换为热能。在我国，90%以上的能量是经过热能这个重要的环节而被利用的。在其他国家，这个比例平均也超过了 85%，所以热能是人类使用最为广泛的一种能量。热能获得的方式主要有两种：一是一次能源在有关热装置中燃烧直接产生，如煤在燃烧炉中燃烧产生热；二是由其他形式的能如电能、机械能等间接转化为热能，如图 1.1 所示。

不同形式的能之间可以相互转换，表 1.1 中给出了上述六种形式的能之间的转换方法。

表 1.1 六种形式的能之间的转换方法

项 目	机械能	化学能	电 能	电磁能	原子能	热 能
机械能	转动、移动、弹性形变	化学反应	电动机 压电效应 粒子加速器	射线探测仪	粒子放射	热机循环 膨胀过程
化学能	辐射分解	化学反应	电解 蓄电池充电	光合作用 光化学	电离 辐射催化	吸热反应
电能	发电机、电动 变换器 压电效应	燃料电池 蓄电池	变压	光电池 太阳能电池 无线电天线	原子蓄电池	热电转换器、 热离子转换器
电磁能	磷光 制动射流	化学荧光	激光器 无线电发射 电致发光		射线放射器	热辐射
原子能	粒子电荷反 应	荧光物质		辐射反应		
热能	摩擦、膨胀	放热反应 燃烧	焦耳加热法	吸收过程	放射性衰变 裂变 聚变	传热

1.1.2 能量来源

能量是指物质做功的能力。广义而言，任何物质都具有能量，但欲将其转换，难易程度会有很大差别。把比较集中且又比较容易转化为机械能、热能、电磁能、化学能等各种人们能够利用的能量的含能物质，称为能源。另外，一些宏观运动也能做功，也能转化为能量，例如水能、风能、潮汐能等，这样的能量过程也可称为能源。自然界的能源，可以根据其形成条件、产生周期、使用性能和利用技术情况进行分类。能源分类见表 1.2。

表 1.2 能源分类

能量来源	可再生能源		不可再生能源	
	常规能源	新 能 源	常规能源	新 能 源
第一类	水能(机械能)	太阳能(热能、光能) 风能(机械能) 生物质能 海水热能(热能) 海流、波浪能(机械能)	各种煤(化学能) 原油(化学能、机械能) 天然气(化学能、机械能)	油页岩(化学能) 油砂(化学能)
第二类		地热能(热能) 火山能(热能) 地震能(热能)		核燃料(铀、钍、钚、氦、氚等)(原子能)
第三类		潮汐能(机械能)		

由表 1.2 可见，能量的来源可归纳为三类。第一类是来自地球以外的能量，主要是太阳对地球提供的能量。包括太阳能以及由远古动植物在太阳辐射作用下生成的矿物燃料（原煤、原油、天然气、油页岩等），另外还有由太阳辐射引起

的大气运动而生成的水能、风能、雷电能、海洋能（包括海水热能、海流动能和波浪动能）；第二类是来自地球本身的能量，包括海洋和地壳中储藏的核燃料以及以热能形式存在的地热能（地下热水、地下蒸汽和火山爆发能、地震能等）；第三类是地球与其他天体之间的相互作用所引起的能量，例如太阳和月球对地球表面海水的吸引作用而产生的潮汐能等。

表 1.2 中还将一次能源分成可再生能源和不可再生能源两类。可再生能源是指能够重复产生的能源，如太阳能、水能、风能、海洋能、潮汐能、植物燃料等可供人们取之不尽的能源。不可再生能源是指那些产生周期比较长，相对于短暂的人类历史而言不能够重复产生的能源，例如原煤、原油、天然气、油页岩以及核燃料（铀、钍、钚等），将随着不断的开采和使用而枯竭。

1.2 热能资源

能量在消费中的使用方式和目的是多样的，但在整个最终能量消费中，绝大部分是通过热能这一形式加以利用的，或者由热能转换成其他形式的能量后，再加以利用的。在未被充分利用的余能中，绝大部分也是以余热的形式存在。因此，有必要详细介绍一下热能资源。目前最常用的热能资源是燃料，正在开发和利用的新能源中有太阳能、核能、地热能和海洋能等。

1.2.1 燃料能源

如表 1.2 所示，世界上使用量最大的常规燃料能源是煤、石油、天然气，约占总能耗的 90%。大部分燃料是大约在三亿二千五百万年以前，地球处于古生代的石炭世纪期间，植物枯死后由于压力和热量的作用而形成的。燃料主要由碳（C）、氢（H）、硫（S）、氮（N）等元素组成，当可燃元素 C、H、S 和空气中的氧（O₂）发生燃烧反应时，放出大量的热量。单位质量（体积）的燃料，完全燃烧时的理论发热量称为燃烧热值，而在实际燃烧过程燃料往往不能完全燃烧，实际放出的热量则称为燃烧热量。显然燃烧热量总是小于燃料热值，两者的比值称为燃烧效率，即

$$\text{燃烧效率} = \frac{\text{燃烧热量}}{\text{燃烧热值}} \quad (1.1)$$

所以，将燃料的化学能转换为热能的效应主要取决于燃烧效率。效率越高，可以从燃料中取得的热量越多。因此，为燃料燃烧创造有利条件，提高燃烧效率是非常重要的。

煤当燃料使用的历史最长，在 19 世纪，煤炭是世界各国家的主要动力基础。中国是最早发现并利用煤炭、石油的国家。中国的煤炭资源不仅储量高，而且煤质好。据 1995 年第六届世界能源会议报告预测全世界煤炭总储量 $10.3 \times 10^{12} \text{ t}$

左右, 中国居第三, 为 $1.14 \times 10^{12} \text{t}$, 占世界总储量 11.1%。同煤炭相比, 石油和天然气热值高, 加工、转换、运输、储存和使用方便、效率高, 所以随着石油和天然气开采和利用技术的进步, 到 20 世纪 90 年代世界能源结构发生第二次大转变, 即从煤炭转向石油和天然气。煤炭的地位不断下降, 石油和天然气的使用率越来越高。如 1993 年, 世界一次能源总消费量为 $111.49 \times 10^8 \text{t}$ 标准煤, 其中石油占 40.4%, 天然气占 22.9%, 煤炭占 27.5%, 其余为水电和核电等。中国的石油和天然气储量比较丰富, 经勘探中国探明的石油储量约为几十亿吨, 天然气的可采储量有 $40 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。但是, 不管地球油气的储量到底有多少, 它总是一个有限量, 这些不可再生能源迟早是会枯竭的。若人类能源消费按 4% 的增长率增长, 石油只够开采 40~50 年, 天然气还可用 50~100 年, 因此, 为了确保油气供应, 需不断研究提高勘探和开采技术, 寻找新的矿脉, 提高石油采收率。1973 年第一次石油危机以后, 煤炭重新受到重视, 因为世界现已探明的煤炭储量是石油的 6.3 倍, 至少可以开采 200~500 年。所以在今后相当长一段时期内, 世界能源系统仍将以化石燃料为主。天然气因其环境污染小, 将日益受到各国的重视。煤炭因其直接燃烧过程中释放 SO_2 等有害物质, 带来一系列环境问题, 由此应运而生的洁净煤技术可解决煤炭使用各环节的净化和防治污染的技术, 使煤变成比较清洁的能源, 并成为过渡时期能源结构中一大重要支柱。其主要研究思路是改进燃料和燃烧过程, 以保证完全燃烧, 减少空气污染。采取的主要技术如下。

- a. 除去或减少原煤中所含的灰分、矸石、硫等杂质的洗选处理技术。
- b. 用机械方法将粉煤和低品位煤加工成型煤, 可减少 SO_2 、CO 的排放。
- c. 把灰分很低而挥发分高的煤制成水煤浆, 像燃料油一样运输、储存和燃烧。
- d. 把煤转化为煤气或煤炭加氢使之液化为液体燃料, 这样燃烧前脱除气态硫和氮组分成为洁净燃料。
- e. 开发先进的燃烧器, 提高固体或液体燃料的燃烧效率, 减少污染物的排放。
- f. 燃烧后采用湿式或干式方法将烟气净化 (包括二氧化碳、低氮氧化物和颗粒物)。

由于化石燃料的有限性, 如果不做出重大努力去利用和开发各种能源资源, 那么人类在不久的将来将会面临能源短缺的严重问题。另一方面, 目前以化石燃料为主体的能源系统造成了严重的全球环境问题。因此, 在先进技术的支持下, 20 世纪 70 年代以来, 世界能源结构开始经历第三次大转变, 即从石油、天然气为主的能源系统转向以可再生能源为基础的可持续发展的能源系统, 主要包括太阳能、地热能、水能、风能以及核能等的开发和利用。

1.2.2 太阳能

太阳自身是一个巨大炽热的球体，其直径达 $1.4 \times 10^6 \text{ km}$ ，是地球直径的 111 倍。太阳表面温度为 6000°C ，以发射光或电磁波的方式不断向宇宙空间辐射能量（见图 1.2），辐射功率约为 $3.8 \times 10^{23} \text{ kW}$ ，到达地球的大气层有 $173 \times 10^{12} \text{ kW}$ ；其中 30% 被大气层反射回宇宙空间，到达地球表面约 47%，功率为 $81 \times 10^{12} \text{ kW}$ ，相当于 $550 \times 10^4 \text{ t}$ 煤燃烧时放出的能量。一年内地球接受太阳辐射的总能量为 $1 \times 10^{18} \text{ kW} \cdot \text{h}$ ，相当于地球上每年燃烧的化石燃料能量的 3.5 万倍。太阳能是自然过程所产生的能量，是取之不尽、用之不竭的，而且是对环境无污染的清洁能源，因此是最有潜力的新能源。

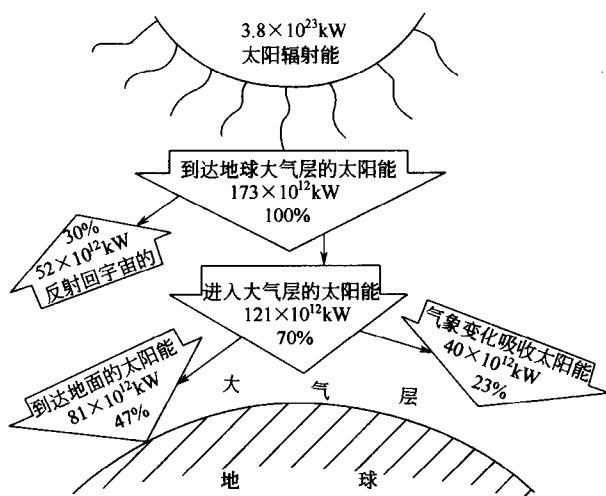


图 1.2 太阳辐射

我国拥有丰富的太阳能资源，全国各地年太阳辐射量在 $(336 \sim 840) \times 10^9 \text{ J}/(\text{m}^2 \cdot \text{年})$ 之间，年日照时间为 2000~3000h，尤其是西北地区和青藏高原，年平均日照时间在 3000h 以上，西藏拉萨素有阳光城的美称。丰富的太阳能资源为太阳能资源的利用开发提供了极为有利的研究前提。

人类利用太阳能的历史已有几千年，但其发展一直很缓慢，未能作为常规能源而广泛利用。原因是太阳能有两个主要缺点，即太阳能辐射很分散、能流密度低且不是常量，随着地区、季节、气候的不同有很大的变化，即使在一日之内，昼夜也有明显不同。低太阳能辐射要求采用大表面积的集能器收集和集聚能量；太阳辐射的间断性意味着需要若干个储能装置，便于能量的连续供应，这些都大大增加了太阳能利用装置的费用，使太阳能利用在经济上不可行。由于世界范围内的能源问题、环境问题使人类认识到只有依靠科学技术大规模开发利用可再生清洁能源，才能实现可持续发展，因此，从 21 世纪初太阳能的开发利用又被推

到新的高度，各种太阳能应用技术得到迅速发展。当前，人们利用太阳能主要有太阳能热利用、太阳能热发电、太阳能光伏发电。

太阳能热利用是采用光热转换技术，即将太阳能储热、集热或直接利用其热能来供热，已广泛应用的有太阳能热水器、太阳灶、太阳房、干燥器、集热器、太阳能制冷等。例如功率达 700~1000W 的太阳灶可作生活炊事；用图 1.3 所示的太阳能平板集热器可以把冷水加热到 40~60℃，为家庭、旅馆、医院和浴室提供卫生用水；高性能热水器——真

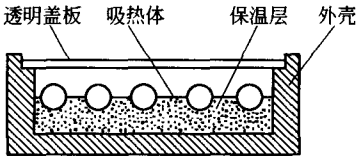


图 1.3 太阳能平板集热器

空热管式太阳能热水器（见图 1.4），可在全年运行，热损失小，集热效率高，工作温度达 70~120℃，最高达 250℃，所以除供应热水外还可用于供应开水。太阳能热利用历史悠久，到了 20 世纪中期已经达到了比较成熟的阶段，已形成了较大的产业。据报道，2000 年日本太阳能热水器的拥有量为 $40 \times 10^4 \text{m}^2$ ，法国代号为“太阳神 2006”太阳能利用计划，到 2006 年时每年安装太阳能热水器的用户将达 2 万家。目前我国太阳能热水器是世界产销量最大的国家；1999 年全国从事太阳能热水器的企业已超过 2000 家，年产热水器 $400 \times 10^4 \text{m}^2$ ，年产值 35 亿元。这些太阳能热水器的使用，每年至少可以节约燃煤 $50 \times 10^4 \text{t}$ 。另外聚光式、箱式、热管传导式等太阳灶达 15 万多台，每台每年可为中国农户节约 15% 左右的燃料。所以太阳能热装置在燃料缺乏地区具有很高的实用价值。

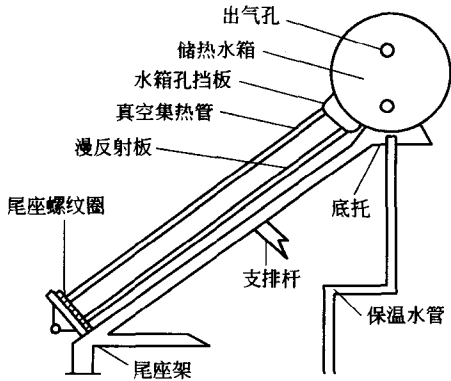


图 1.4 真空热管式太阳能热水器

太阳能热发电是首先通过光-热转换将太阳能集中起来，然后加热水或其他有机工质使其产生一定温度和压力的蒸气，推动汽轮机发电机组发电。已实现商业化的太阳能热发电可分为两类，一是用槽型抛物面镜的分散集光式，简称槽型抛物面式。Luz 国际公司在 1984~1991 年在美国加利福尼亚州建有 9 座槽型抛