

 西安交通大学

“十一五”规划教材

太阳能原理与技术

施钰川 编著



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS



西安交通大学

内容简介

“十一五”规划教材

太阳能原理与技术

施钰川 编著



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

内容简介

本书系统地介绍了太阳能光伏发电和光热利用的基本原理。主要包括能源绪论、辐射能的性质与本质、光伏原理、光伏产业链与太阳电池工艺、电池与组件测试、铅蓄电池、光伏发电系统、光热基础与应用等内容。

本书内容丰富,可作为大专院校本科生、研究生教材。还可供太阳能或可再生能源利用、能源工程、环境保护等企业、事业部门的科研、工程人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

太阳能原理与技术/施钰川编著. —西安:西安交通大学出版社,2009.8
西安交通大学“十一五”规划教材
ISBN 978-7-5605-3131-1

I. 太… II. 施… III. 太阳能-高等学校-教材 IV. TK519

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 085554 号

书 名 太阳能原理与技术
编 著 施钰川
责任编辑 叶涛 李晶

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路 10 号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtupress.com>
电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315 82669096(总编办)

传 真 (029)82668280
印 刷 蓝田立新印务有限公司

开 本 727mm×960mm 1/16 印张 22.25 字数 413 千字
版次印次 2009 年 8 月第 1 版 2009 年 8 月第 1 次印刷
书 号 ISBN 978-7-5605-3131-1/TK·106
定 价 29.80 元

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82664954

读者信箱:jdly@yahoo.cn

版权所有 侵权必究

前 言

人类正处于这样一个历史时期,它比以往任何时候都强烈地意识到世界正面临着严峻的能源问题。一个国家能源消费增长对经济和社会的发展起着积极推动作用。几乎可以用人均年能源消耗量衡量一个国家文明进步的尺度。对于任何国家而言,廉价、丰富、洁净的能源供应都是重要的。随着矿物能源逐渐减少、人口逐渐增多、科学技术迅速进步,不久的将来,现有能量转换系统不可避免地会发生巨大变革。无疑,将会使用新的能源代替旧的能源。太阳能是一种无污染、取之不尽、用之不竭的能源,人类可获利用太阳辐射能的能量比目前世界上所需全部能量还要大若干个数量级。所以,在未来的替代能源中,太阳能是富有吸引力的。近几年太阳能利用普及得到迅猛发展,实际应用情况也证明确实如此。

太阳能系统比其他燃料节约的费用会随着燃料价格增长而增加,太阳能利用的场合已遍及整个世界。由于太阳能光伏发电和热利用所适用的范围非常广泛,作者希望通过《太阳能原理与技术》一书,能促使更多的人对太阳能有所了解并掌握运用太阳能技术建立或采用太阳能系统。尽管太阳能应用原理对于透彻理解各种实用技术是有益的,但是本书重点在于应用。无论是光伏或光热,主要论述应用基础与技术。

全书共分 10 章,前 3 章是太阳辐射能基础篇,主要介绍太阳辐射能特点与性质以及可获利用能量大小的几种计算方法;第 4 章至第 6 章是太阳电池篇,着重阐述太阳电池的理论、材料、工艺及测试技术;第 7 章全面讲解了蓄电池知识,重点在铅酸蓄电池;第 8 章论述了太阳能光伏发电系统的构成、设计、优化和部件等技术;第 9 章和第 10 章主要涉及太阳能热利用方面的问题,包括基本理论、计算设计、储能手段与系统技术。

本书若能为这个能源日益减少的地球向充满光明与美好、灿烂与辉煌的新世界转变有所助益,本人将感到由衷的喜悦。

在编写本书过程中,得到了学校、研究部门和产业界诸多专家、教授以及本单位历代同仁的大力支持与帮助,尤其是得到了方湘怡教授审稿,借此谨向他们表示衷心的感谢。

由于时间仓促,水平有限,书中缺点和错误在所难免,敬请广大读者批评指正。

编 者

2008 年 11 月

目 录

前言

第 1 章 绪论

1.1 能源概述	(1)
1.2 太阳能利用背景	(8)
1.3 太阳能资源分布与特点	(15)
思考题	(20)

第 2 章 太阳辐射

2.1 太阳	(21)
2.2 日地相对运动	(28)
2.3 辐射光谱	(30)
2.4 地表辐照	(34)
思考题	(41)

第 3 章 辐射能计算与估算

3.1 球面几何与太阳位置方程	(42)
3.2 太阳时和时差	(47)
3.3 可收受的辐射量	(50)
3.4 辐射计算流程	(58)
思考题	(62)

第 4 章 光-电转换

4.1 半导体物理基础	(63)
4.2 半导体的光学性质	(93)
4.3 p-n 结	(103)
4.4 太阳能电池分类	(115)
4.5 硅太阳能电池特性参数	(117)
4.6 太阳能电池效率	(127)

思考题	(138)
第 5 章 太阳能电池材料和工艺	
5.1 晶体硅太阳电池	(139)
5.2 晶硅电池组件	(164)
5.3 非晶硅太阳电池	(168)
5.4 其他太阳电池	(176)
思考题	(193)
第 6 章 太阳能电池测试	
6.1 标准光源	(194)
6.2 模拟器光学特性	(196)
6.3 测试原理	(197)
6.4 电性测试条件	(198)
6.5 阳光下测试	(201)
6.6 电性能测试	(201)
6.7 非晶硅太阳电池性能测试	(205)
6.8 太阳电池组件测试	(206)
思考题	(211)
第 7 章 储能	
7.1 概况	(212)
7.2 蓄电池工作原理	(214)
7.3 蓄电池基本概念	(220)
7.4 蓄电池工作特性与特点	(230)
7.5 铅酸蓄电池的使用	(241)
7.6 快速充电	(244)
7.7 硅胶蓄电池	(249)
思考题	(255)
第 8 章 PV 发电系统	
8.1 系统分类	(256)
8.2 系统基本构成	(258)
8.3 PV 系统设计	(261)
8.4 系统方阵及其安装与维护	(273)
8.5 系统经济分析	(275)
8.6 系统部件	(275)

思考题	(281)
第 9 章 光-热原理	
9.1 热辐射基础	(282)
9.2 传热原理	(292)
9.3 热能的储存	(300)
思考题	(306)
第 10 章 光-热技术与应用	
10.1 平板集热器	(307)
10.2 管式集热器	(309)
10.3 聚光集热器	(312)
10.4 集热器材料	(318)
10.5 太阳热水器设计与安装	(325)
10.6 光-热利用用途	(327)
思考题	(340)
附录	
附录 1 AM0 太阳辐射光谱*	(341)
附录 2 气候常数	(342)
附录 3 主要符号表	(344)
参考文献	(346)

第 1 章 绪论

能源是人类赖以生存和发展的物质基础。近几十年,能源问题一直是举世瞩目的重大问题之一。无论短时期内常规能源供求关系发生什么变化,从未来较长的时期考虑,目前储量有限的常规能源毫无疑问地会逐步趋于衰竭。人类为了生存与可持续发展,必须寻求可替代常规能源的新的能源。利用太阳辐射能是其可供选择的目标之一。人类进入 21 世纪之后,探索、开发、利用太阳能的步伐、力度都在加大。

本章介绍能源的一些基本知识,太阳辐射能的利用发展历程、特点及其资源分布概况。

1.1 能源概述

1.1.1 能源定义与分类^[1]

能量指物质能够做功的能力,它是考察物质运动状况的物理量,如物体运动的机械能(动能和势能)、分子运动的热能、电子运动的电能、原子振动的电磁辐射能、物质结构改变而释放的化学能、粒子相互作用而释放的核能……。而“能源”最初主要指能量的来源;现在所讲的“能源”指的是能量的资源,即直接取得有效能或通过转换而取得有效能的各种资源,或者说是产生能量的物质。笼统地说,任何物质都可以转化为能量,但是转化的数量以及转化的难易程度存在很大差异。一般而言,把比较集中、较易转化并且具有某种形式能量的自然资源以及由它们加工或转换得到的产品统称为能源。

在能源的获取、开发、利用等过程中,为了表达的需要,可以根据其形成条件、使用性能、利用状况等进行分类。能源的分类方式有许多种,本节仅介绍常用的几种。

1. 根据能源开发与制取(成因)分类

按照成因这种方式分类,可把能源分为一次能源与二次能源,亦可称天然能源与人工能源。通常把以现成的形式存在于自然界中(没有经历任何转换过程)的能源称为一次能源,如:天然气、原油、无烟煤、太阳能等。而把需要依靠其他能源来

制取、转换或产生的能源称为二次能源,如:煤气、汽油、火药、沼气、氢能、激光等。

2. 根据能量来源分类

按能源来源方式可把能源分为三类。第一类能源:来自地球以外;第二类能源:来自地球内部;第三类能源:来自地球与其他天体的作用。

3. 根据可再生性分类

可再生性能源为非耗竭型能源,这种能源不会随着其本身的转化或人类的利用而日益减少,它们可以源源不断地从自然界中得到补充。非再生性能源一般是指经过漫长的地质年形成,开采之后不能在短时期内再形成的能源,它们会随着人类的利用而日趋减少,以至枯竭。

4. 根据利用技术状况分类

根据利用技术状况分类,可把能源划分为常规能源和新能源。常规能源是指目前人类已经成熟地使用了许多年并且得到了比较广泛应用的能源,如石油、煤、天然气等,它们工业化程度都相当高,在能耗总量中占了绝对优势和份额。新能源是指人类新近正在研究开发的能源、刚开始推广利用的能源,或者有一定数量利用量但工业化技术不够成熟、工业化生产与利用程度有限的能源。所谓新能源是相对而言。现在的常规能源在过去曾经是新能源,今天的新能源通过人类努力以后将成为常规能源。例如核电站技术已经成熟,在许多国家已经把它作为常规能源。

各种能源的分类及其转换、利用途径、方式分别如表 1.1、表 1.2 和图 1.1 所示。

表 1.1 一次能源分类表

按来源分类	按再生性分类	
	可再生性能源	非再生性能源
第一类能源 (来自地球以外)	太阳能	无烟煤
	水 能	烟 煤
	风 能	褐 煤
	海水热能	泥 煤
	海流动能	石 煤
	波浪动能	原 油
	生物燃料	天然气
	雷电能*	油页岩
	宇宙射线能*	油 砂
第二类能源 (来自地球内部)	地热能	核燃料
	火山能*	
	地震能*	

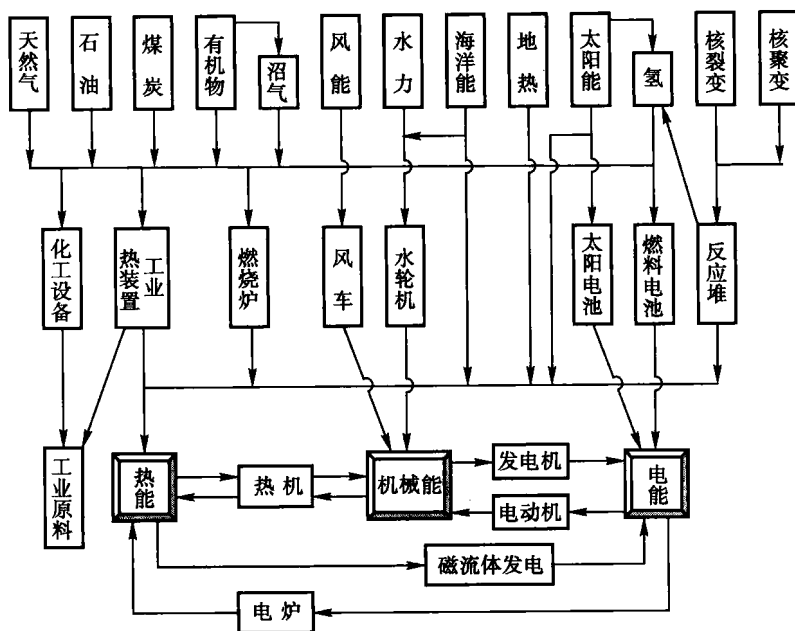
续表 1.1

按来源分类	按再生性分类	
	可再生性能源	非再生性能源
第三类能源 (来自地球和其 他天体的作用)	潮汐能	

注:带*号的能源现在还未被人们利用

表 1.2 能源分类表

按利用技术 状况分类	按性质 分类	按成因分类	
		一次能源	二次能源
常规能源	燃料能源	泥煤(化学能) 褐煤(化学能) 烟煤(化学能) 无烟煤(化学能) 石煤(化学能) 油页岩(化学能) 油砂(化学能) 原油(化学能) 天然气(化学能) 生物燃料(化学能)	煤气(化学能) 焦炭(化学能) 汽油(化学能) 煤油(化学能) 柴油(化学能) 重油(化学能) 液化石油气(化学能) 丙烷(化学能) 甲醇(化学能) 酒精(化学能) 苯胺(化学能) 火药(化学能)
	非燃料能源	水能(机械能)	电(电能) 蒸汽(热能、机械能) 热水(热能) 余热(热能、机械能)
新能源	燃料能源	核燃料(核能)	氢(化学能) 沼气(化学能)
	非燃料能源	太阳能(光能) 风能(机械能) 地热能(热能、机械能) 潮汐能(机械能) 海水热能(热能) 海流、波浪动能(机械能)	激光(光能)



1.1.2 能源品质^[2]

能源的种类很多,各自具有其特点。若从开发、利用角度考虑,可从以下几个方面对其进行考量。

1. 能流密度

能流密度是指在单位空间或单位面积内从某种能源实际所能取得的能量或功率。显然,如果能流密度很小就很难作为主力能源。按照目前的技术水平,风能和太阳能的能流密度较小,大约只有 1000 W/m^2 左右的水平。各种常规能源的能流密度比较大, 1 kg 标准煤发热量为 29307 kJ , 而 1 kg 石油发热量为 41860 kJ 。核燃料的能流密度很大, 1 kg 铀 235 裂变时释放出 68660 GJ 的热量。

2. 储量

储量显然是一个必要条件,储量少就没有开发、利用价值。我国煤炭、水力资源丰富,其他常规能源和新能源资源也较丰富,有些正在勘探中的能源,其发展前景很好。与储量有关的评价还应考虑其可再生性和地理分布情况。太阳能、水力、地热、有机物等是可再生能源,矿物燃料与核燃料则不能再生。能源的地理分布与其使用有很大关系。例如我国煤炭资源偏西北,水力资源偏西南,都对它的利用有

影响。

3. 环境污染

污染的主要来源是耗能设备,随着耗能量的增加,产生的污染程度会愈来愈大。随着环保呼声的提高和可持续发展的提出,人类对环境的重视会进一步加强,对排污指标的限制也将增加。核能利用要十分重视其危险性,应用时一定要采取各种安全措施。但对烧煤的污染危害性目前还未引起足够重视。水力也有其独特的“污染”,如对生态平衡、土地盐碱化、灌溉与航运等的影响,也需加以考虑。太阳能、风能等则基本上是没有污染的能源。

4. 能量贮存与连续供给

无论是工业、农业,还是人们的日常生活,对能量的需求都存在着高峰、低谷、间歇等规律,有时要求持续很长时间不间断地供能。这就要求所使用的能源可在不需要时能够贮存起来,需用时能立即输出。在这方面,太阳能、风能等资源目前还难以达到,而各种矿物燃料和核燃料等则较易实现。

5. 成本

成本主要包括资源获取与设备价格等费用。太阳能、风能等能源在获取时不用花费任何燃料成本就能得到。各种矿物燃料与核燃料,从勘测、开采到加工、运输等都需要人力和物力的投资。太阳能、风能、海洋能等的发电设备,虽然运行费用很低,但初期投资太大,资金回收太慢。开采与利用的成本与能源的转化和利用的技术难度关系很大。随着技术的发展、政策的倾斜、污染代价的计入,对于需要能源规模不是太大的场合,太阳能、风能发电的初期投资相对成本正在不断降低。

6. 运输与损耗

太阳能、风能、地热等是不能运输的,而石油、天然气则很容易从产地输送到用户。煤炭长距离运输经济性会下降,且存在运输损耗。水力发电站如果远离用户,则远距离输电损失也不小。

7. 品位

能量可以相互转换,但转换的效率有所差异。如:热能转换为机械能时,只有其中一部分转变为机械能,其余部分则以热的形式传给另一较冷的物体。而机械能却可以全部转变为热能。由此可见,机械能和热能是不等价的。与机械能等价的能量形态有电能、水力等,如果没有摩擦阻力,它们之间可以完全相互转换。此外,处于不同状态的载能物质,能的“品位”也不相同。例如,在热机循环中,热源温度愈高,冷源温度愈低,则循环热效率就愈高,即热量可以转化为机械功的部分愈大。相同数量的热能,温度不同,可以转变为功的多少也不同。显然,温度高的热

能,其转变为机械能的数量多,品位就高;温度低的热能,转变为机械能的数量少,品位就低;与环境温度相同的热能,品位最低,做功能力等于零。我们把能够得到较高热源温度的能源称为高品位能源,否则是低品位能源。因此,能够直接转变成机械能和电能的能源(如水力),品位要比必须先经过热转换的能源(如矿物燃料)高一些。在使用时应当合理安排好不同品位能源的应用,以使用得其所。

机械能是一切形态能量中品位最高的一种,而且又是人类生产和生活中最常使用的。所以常以机械能为标准,用转变为机械能的程度来衡量其他形态能量品位的高低。

从以上几个方面评价能源的品质,应以动态的观点来衡量。随着科学技术的进步和应用的发展,其污染、贮存与连续供能、成本费用、运输和损耗、能源品位等项指标都可能发生变化,得到改善。

严格地说,地球上除了地热及核燃料以外,几乎所有自然资源的能量都来自太阳能。大气、陆地、海洋和生物等所接受的太阳能是各种自然资源能量的源泉。矿物燃料是数千万年前动植物本身吸收太阳能而改变本来面目,以化学能的储存形式存在的能源,它源于远古的太阳能。水的蒸发和凝结,风、雨、冰、雪等自然现象的动力也是太阳能。因而水能、风能归根到底都来自太阳能。生物质能是通过光合、光化作用转化太阳能取得的。

1.1.3 能源与人类生活

能源在经济发展和人类进步中扮演着极其重要的角色。人们的日常生活和社会生产都离不开能源,他们以直接或间接的方式从某些自然资源中获取能量。人们渴望提高自己生活水平,不断为改善生活、增进社会福利而奋斗。而生活水平高低与能量消耗成正比,与人口数量成反比。所以,能量的生产和消耗与整个国民经济及人民生活水平密切相关,几乎可以用每人每年能源消耗量作为衡量一个国家文明进步的尺度。

各种能源其单位含能量的多少不同,为了便于对各种能源的含能量进行计算、对比和分析,必须统一折合成某一标准单位。标准单位一般采用的是标准煤。

$$1 \text{ kg 标准煤} = 29307.6 \text{ kJ} = 7000 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ kg 标准油} = 41868 \text{ kJ} = 10000 \text{ kcal}$$

$$1 \text{ kg 标准煤} = 0.7 \text{ kg 标准油}$$

需注意,标准煤或标准油并非指某一种具体形式的煤或油,而是一能量计量单位。

能源消耗结构如图 1.2。图 1.3 是综合能源平衡图。

对现代社会的生产和生活根据不同的发展水平,人均年能源消费量大致有三

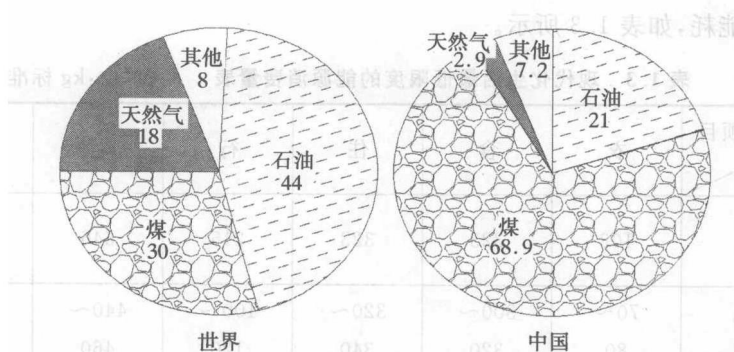


图 1.2 能源消耗结构

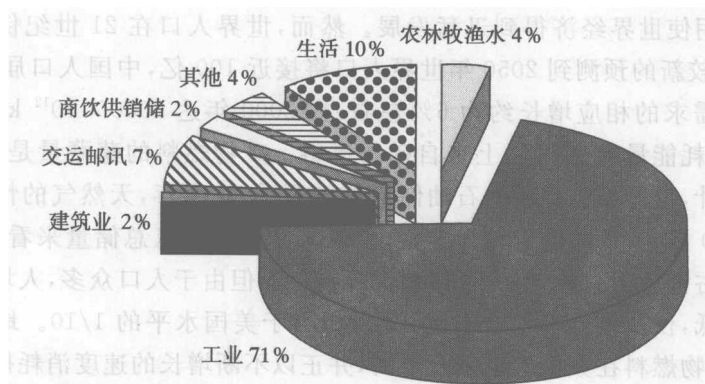


图 1.3 综合能源平衡图

种水准的划分:

(1) 维持生存所必需的能源消费量

这个数量是以人体的需要与生存可能性为基础确定的,它只能维持人们最低的生活需要。每人每年约需能量为 400 kg 标准煤。

(2) 现代化生产和生活最低限度的能源消费量

为了保证人们能够丰衣足食,满足最基本的现代化生活所需要的能源消费量,每人每年需要 1200~1600 kg 标准煤的能量作为达到这个标准的能源消费水平。

(3) 高级现代化生活所需要的能源消费量

以工业发达国家现有水平作为参考依据,使人们能够享受较高的物质与精神文明,每人每年至少需要 2000~3000 kg 以上的标准煤能量,随着人类的发展这个数量还可能进一步提高。

满足最基本的现代化生活的能源消费量,包括衣、食、住、行等几个方面的直接

能耗和间接能耗,如表 1.3 所示。

表 1.3 现代化生活最低限度的能源消费量表 (单位:kg 标准煤/人·a)

项目 标准	衣	食	住	行	其他	合计
国外最低标准	103	323	323	215	646	1615
中国式现代化标准	70~ 80	300~ 320	320~ 340	100~ 120	440~ 460	1230~ 1320

需要指出,石油、天然气不仅是高级燃料,更是化工产品的重要原料,它们的大量开采和利用使世界经济得到迅猛发展。然而,世界人口在 21 世纪伊始增长至 60 亿以上。较新的预测到 2050 年世界人口将接近 100 亿,中国人口届时将达 20 亿。而能量需求的相应增长约为 6% 左右,在 2000 年达 $2000 \times 10^{12} \text{ kW} \cdot \text{h}$ 。目前,人们所消耗能量的 90% 以上来自矿物燃料。矿物燃料的蕴藏量是有限的,据权威人士估计,世界现已探明的石油储量仅可开采 40 余年,天然气的情况略好一些,可开采 70 多年,煤的储量较为丰富,可开采 200 年。从总储量来看,中国常规能源总储量占世界第三位,水力资源居世界首位。但由于人口众多,人均可开采能源占有量很低,仅及世界平均水平的一半,相当于美国水平的 1/10。地球的储量是有限的,矿物燃料在数量上也是有限的,并正以不断增长的速度消耗掉。能源短缺、矿物燃料逐渐枯竭和环境污染增加,三者彼此相互关联,威胁着人类的正常生活和持续发展。有学者建议:在今后若干年内,人们的能需量中 30% 由太阳这一能源供给,核能量占 30%,剩余的 40% 才由常规能源承担。

1.2 太阳能利用背景

1.2.1 能源利用的几个时期^{[3]~[4]}

如果从人类利用能源的变迁角度观察其发展历史,大致可划分为三个时期,即:天然能源时期、矿物能源时期(该时期又可细分为:煤炭时期和石油时期)和可再生能源时期。

1. 天然能源时期

人类主要以树枝、杂草等植物当燃料,用于煮食和取暖。靠人力、畜力和一些简单风力或水力机械作动力从事生产活动或满足一般的生活需要。这个时期的生

产和生活水平相当低下,它延续了很长的时间,约在公元 18 世纪以前的漫漫岁月中大抵是如此。

2. 矿物燃料时期

18 世纪产业革命导致的工业大发展,开始了大量地使用煤炭。19 世纪电力开始进入社会的各个领域,石油和天然气的利用逐渐超过了煤。本世纪 70 年代核裂变技术蓬勃发展,引起许多缺煤少油国家的重视并纷纷建造核电站。以煤、石油、天然气等为主的矿物燃料时期预计可延续到 21 世纪中叶,届时由于它们储量的衰竭,将会出现其他能源取而代之,占据人类生产、生活的主导地位。

3. 可再生能源时期

可再生能源包括太阳能、风能、水力能、生物质能、海洋能、地热能、氢能。其中太阳能约占可再生能源总量的 99%,因此,也可以说太阳能是可再生能源的主体。一种能源利用方式的改变,会对人类生产、生活的文明发展带来重大影响。从图 1.4 可看出这些可再生能源会随着时间的推移逐渐地成为主要能源。可再生能源的一个特点是可保持人类经济、生活的持续性发展。

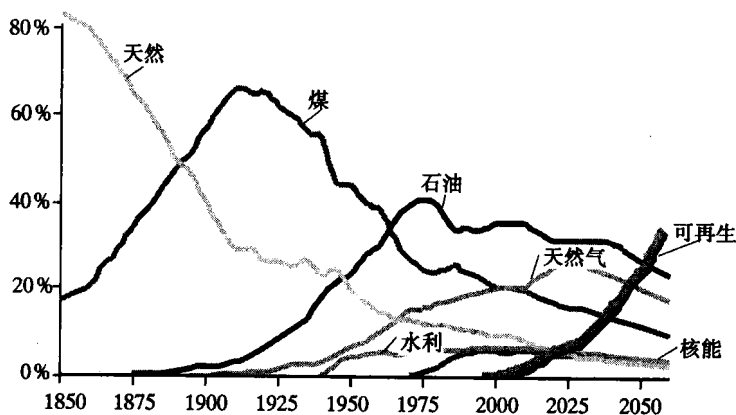


图 1.4 世界能源的发展历史和预测图

1.2.2 太阳能利用途径

人类主要通过以下途径利用太阳辐射能。

1. 光-热转换

这种利用途径是通过物体把吸收的太阳辐射能直接转换为热能,然后输送到某一场所加以利用。这种方式历史最为古老,但技术水平相当成熟、成本低廉、普

及性广、工业化程度较高。光-热转换所提供的热能,载体的温度一般都较低,小于或等于 100°C ,较高一些的也只有几百摄氏度。显然,它的能源品位较低,适合于直接利用。

2. 光-电转换

它是利用某些器件把收集到的太阳辐射能直接转换为电能再加以利用的。其工作原理主要基于“光伏效应”,亦称“光电转换”。这种转换近几十年得到迅速发展。由于电能的品位相当高,所以它的应用范围广、发展速度快,并且前景相当乐观。

3. 光化学利用

光化学利用基于光化反应,其本质是物质中的分子、原子吸收太阳光子的能量后变成“受激原子”,受激原子中的某些电子的能态发生改变,使某些原子的价键发生改变,当受激原子重新恢复到稳定态时,即产生光化学反应。光化反应包括光解反应、光合反应、光敏反应,有时也包括由太阳能提供化学反应所需要的热量。通过光化学作用转换成电能或制氢也是利用太阳能的一条途径。二三十年前曾有不少人在这方面作了许多研究工作,目前仍处于研究阶段。

4. 光生物利用

通过光合作用收集与储存太阳能。地球上的一切生物都是直接或间接地依赖光合作用获取太阳能,以维持其生存所需要的能量。所谓光合作用,就是绿色植物利用光能,将空气中的 CO_2 和 H_2O 合成有机物与 O_2 的过程。光合作用的理论值可达 5%,实际上小于 1%。近来在这方面的研究有所增加,人们期盼着出现突破性的进展。

1.2.3 太阳能利用发展历程

太阳对人类的重要影响可以追溯到人类历史的起源,这是人类发展史中一个普遍和重要阶段。美洲的阿兹特克人、大洋洲人、欧洲德洛伊人、中国人和古代埃及人都崇拜过太阳,事实上,所有伟大的早期农业文化,都经历了不同形式对太阳的崇拜。直至今日,我们不仅需要了解和重视太阳对人类的影响,更希望利用太阳能以改善我们的生存环境。

人类主动利用太阳能的历程大致可分为四个阶段。

1. 雏幼阶段(~1920)

在这一阶段中,人类对太阳能的利用表现为在某些特殊场合、特定条件下作为动力装置的应用。如:公元前 11 世纪,我们的祖先发明了“阳燧取火”技术。所谓阳燧就是一种金属的凹面镜,它能汇聚阳光点燃艾绒之类东西而取得火种。