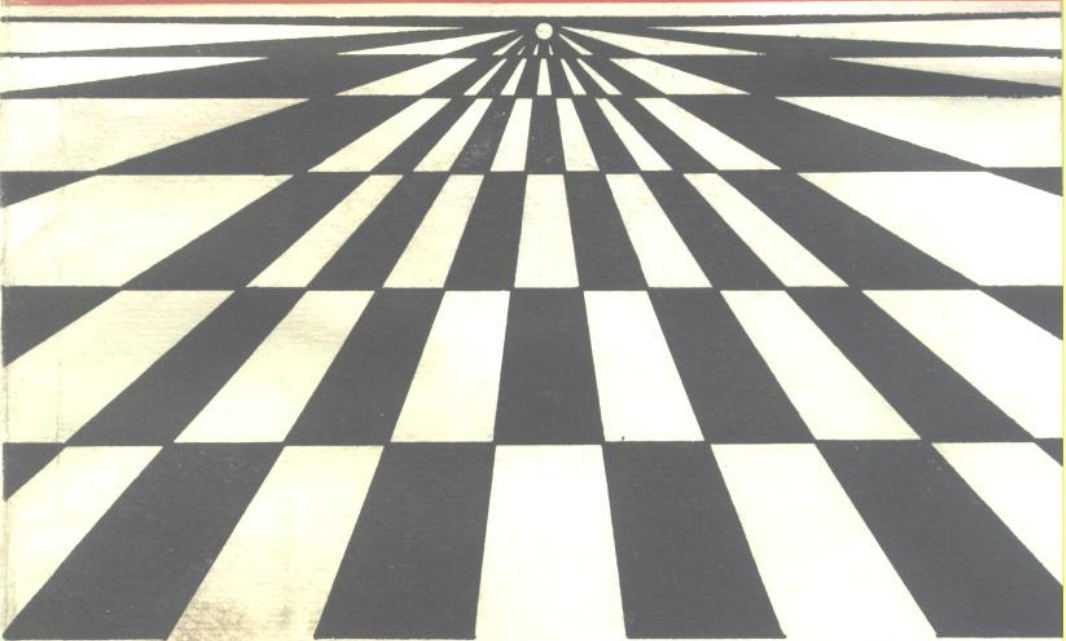


太阳能热 利用导论

李申生 等编著



高等教育出版社

太阳能热利用导论

李申生 等编著

高等教育出版社

内 容 提 要

本书是在天津大学、上海机械学院、深圳大学、北京工业大学、北京师范学院等院校试用讲义的基础上编写而成的,全书系统地讲述了太阳能热利用的基础理论和实际应用,内容包括太阳能的起源和传播、收集和贮存以及各方面的应用,并对当前国内外有关方面的最新发展情况作了介绍。各章后面都附有参考文献。

本书可作为高等院校有关专业开设“太阳能热利用”课程的教学参考书,也可供从事太阳能热利用研究工作的科技人员参考。

太阳能热利用导论

李申生 等编著

*

高等教育出版社出版

新华书店北京发行所发行

河北省香河县印刷厂印装

*

开本 850×1168 1/32 印张 14 字数 35000

1989年6月第1版 1989年6月第1次印刷

印数 1—2 170

ISBN 7-04-000837-8/O·323

定价 4.20 元

前 言

太阳能热利用是一门新兴的综合性学科,七十年代以来,理论和技术上都已取得显著的进展,在某些方面的实际应用不仅已显示出一定的社会和经济效益,并且还蕴藏着巨大的发展潜力。

我国的太阳能热利用事业起步不算太晚,从事这方面工作的科技人员通过具体的研究项目已经积累了相当丰富的实践经验。为了适应四个现代化建设对开发新能源的探索与实际应用的需要,中国太阳能学会及部分高等院校和科研机构曾先后多次举办了各种层次和内容的“太阳能热利用”讲习班,在普及和提高方面取得了一定的成效。然而,我国四个现代化建设事业的发展,要求有计划、有步骤地培养从事能源工作的一代新人,使他们具有比较系统的理论基础以及一定深广的知识面,并对当前国内外有关方面的发展情况有比较全面的了解。为此,已有若干所高等院校开设了“太阳能热利用”的课程,但是迄今还没有一本适用的教材。

由于这是一门新兴的学科,内容的系统性正在逐步形成和不断发展,需要经过相当一段时期的努力探索和反复实践,才能形成符合我国实际情况的、系统比较完整的教学参考书。我们的工作只能算是一种尝试,希望各方面读者提出宝贵的意见,以便进一步修改和补充。

全书除绪论外,共分两大部分:第一部分为基础理论(第一章至第五章),第二部分为实际应用(第六章至第十三章)。具体分工如下:北京师范学院李申生编写绪论、第四章和第十二章;上海机械学院王锦侠编写第一章、第九章和第十三章;深圳大学车茂隆编写第二章和第六章;天津大学李汉炎编写第三章、第八章、第十章和第十一章,王荣光编写第五章和第七章。全书最后由李申生负责

校订和统稿。由于编者水平所限,时间又较仓促,错误和不妥之处在所难免,我们诚恳地希望广大读者批评和指正。

编 者

1986年5月于北京

目 录

绪论	1
0-1 开发新能源的重要性	1
0-2 太阳能利用的广阔前景	8
0-3 太阳能热利用的发展简史	15
参考文献	25
第一章 太阳辐射能	26
1-1 太阳辐射能的基本概念	26
1-2 太阳高度角和太阳方位角	30
1-3 日照时间和太阳能资源区划	40
1-4 大气对太阳辐射的吸收和散射及大气透明度	46
1-5 太阳直射辐射和天空辐射	49
1-6 太阳辐射量的工程处理	53
参考文献	56
第二章 平板型集热器	57
2-1 概述	57
2-2 平板型集热器的基本能量平衡方程	58
2-3 平板型集热器的热性能分析	59
2-4 平板型集热器的瞬时效率方程	83
2-5 平板型集热器的热容对性能的影响	84
2-6 平板型集热器的试验	88
2-7 平板型集热器设计时应考虑的一些问题	90
2-8 其它种类的平板型集热器	95
参考文献	104
第三章 聚焦型集热器	105
3-1 聚焦型集热器的基本概念	105
3-2 聚焦型集热器的集光理论	110

3-3 抛物面集热器	114
3-4 复合抛物面集光器	123
3-5 聚焦型集热器的光学性能分析	131
3-6 聚焦型集热器的热性能分析	142
3-7 聚焦型集热器的性能试验和焦面的辐射强度分布	150
参考文献	162
第四章 太阳能蓄热	164
4-1 太阳能蓄热的必要性和现实性	164
4-2 太阳能蓄热的分类及其一般要求	167
4-3 太阳能的显热蓄热	174
4-4 太阳能的潜热蓄热	202
4-5 太阳能的可逆化学反应热蓄热	211
参考文献	225
第五章 太阳能热利用材料	227
5-1 选择性涂层或表面	227
5-2 太阳能光-热转换系统用透明、反光、密封及结构材料	236
5-3 蓄热材料	248
5-4 隔热材料	251
参考文献	256
第六章 太阳能热水装置	257
6-1 太阳能热水装置的分类	257
6-2 太阳能热水装置的动态热特性分析	262
6-3 太阳能热水装置设计时应考虑的问题	271
6-4 复合回路系统中的热交换器因数	278
参考文献	281
第七章 太阳能供暖与致冷	282
7-1 概述	282
7-2 太阳能供暖	285
7-3 太阳能致冷	305
7-4 太阳能热泵	315

7-5 太阳能供冷暖的设计及其评价方法	322
参考文献	332
第八章 太阳能干燥系统	333
8-1 太阳能干燥原理	333
8-2 温室型干燥系统	340
8-3 集热器型干燥系统	343
8-4 太阳能干燥系统设计时应考虑的问题	347
参考文献	349
第九章 太阳能蒸馏器	350
9-1 概述	350
9-2 太阳能蒸馏器的原理	351
9-3 太阳能蒸馏器的结构及其性能	357
参考文献	359
第十章 太阳灶	360
10-1 太阳灶的原理及其类型	360
10-2 聚焦式太阳灶灶面的设计原理	363
10-3 太阳灶结构的若干问题	370
参考文献	375
第十一章 太阳热动力装置	376
11-1 太阳热动力装置及太阳能水泵的基本原理	376
11-2 分散型太阳热动力系统	387
11-3 集中型太阳热动力系统	393
参考文献	401
第十二章 太阳池	402
12-1 概述	402
12-2 太阳池的光学性质	406
12-3 太阳池的热稳定性	411
12-4 太阳池内的温度分布	415
12-5 太阳池的蓄热能力及其效率	418
12-6 太阳池的设计与建造	422

12-7 太阳池的应用	423
参考文献	429
第十三章 太阳能热利用的技术经济分析	431
13-1 太阳能利用的技术经济分析的研究范围及其步骤	431
13-2 太阳能利用的几种技术经济分析方法	433
参考文献	439

绪 论

0-1 开发新能源的重要性

一、能源的分类

自然界的能源,可以根据其形成条件、使用性能以及利用技术状况进行分类,如表 0-1 所示。

(一) 按形成条件分类

按照形成条件,可将能源分为两大类。一类是自然界中以天然形式存在的能量资源,如原煤、原油、天然气、油页岩、核燃料、植物秸秆、太阳能、风能、水能、地热能、海洋能、潮汐能等等,统称为“一次能源”,也就是天然能源。另一类是由一次能源直接或间接转换而成的其它种类和形式的能源,如煤气、焦炭、人造石油、汽油、煤油、柴油、重油、电力、蒸气、热水、酒精、沼气、氢气、激光等等,统称为“二次能源”,也就是人工能源。

“一次能源”还可以根据它们能否“再生”(即根据产生周期的长短)而分为可再生能源和非再生能源两类。可再生能源是指能够重复产生的自然能源,如太阳能、水能、风能、地热能、海洋能、潮汐能、生物质能等等,它们可以供给人类使用很长时期也不会枯竭。而非再生能源则是指不能在短期内重复产生的天然资源,如原煤、原油、天然气、油页岩和核燃料等,这些能源的产生周期极长(往往需达数百万年之久),因此产生速率远远跟不上人类对它们的开采速率,总有一天会被人类耗用竭尽。

(二) 按使用性能分类

按照使用性能,能源又可分为燃料能源和非燃料能源。属于燃料能源的有矿物燃料(煤、石油、天然气等)、生物燃料(藻类、木材、沼气、各种有机废物等)以及核燃料(铀、钍、氘、氚等)。除核燃料包含原子核能以外,其它燃料都包含有化学能,其中有些还同时包含有机械能。例如,不少石油和天然气矿藏都具有很大的天然压力,开采时能够自动从井下喷射到地面,再经过管道输送出去。在非燃料能源中,多数包含着机械能,例如风能、水能、潮汐能、海流和波浪动能等;有些包含着热能,例如地热能、海洋热能、余热等;有些包含着电磁辐射能,例如太阳能、激光能等;有的则包含着电能,例如电力等。由此可见,不同的能源转换所提供的能量形式是不同的。

(三) 按利用技术状况分类

按照利用技术状况,可将能源分为“常规能源”和“新能源”两大类。常规能源(亦称“传统能源”)是指在现阶段的科学技术条件下,人们已经广泛使用、且技术已经比较成熟的能源,如煤炭、石油、天然气、水能等。而太阳能、风能和地热能等虽然被人类利用的时间比较早,但一直未能象上述矿物燃料那样得到广泛充分的利用,直到近年来才开始引起人们的重视。其它如核燃料、沼气、氢气、激光和海洋能等也都在近几十年或甚至近十几年才逐渐受到人们的重视,而在利用技术等方面还有待于进一步改善与提高,所以统称为新能源。

所谓新能源,实际上是与常规能源相对而言的。煤炭、石油等在人们开始利用的时候,也曾经把它们称为新能源。但是后来由于人们日益广泛地加以利用,就逐渐地成为常规能源了。而所谓新能源,还存在有一个探索和创新的含义,在常规能源供应日益紧张的情况下,必须从其它方面寻找新的出路,以解决能源短缺问题,保证工农业生产的不断发展和人民生活水平的不断提高。所

表 0-1 自然能源的分类

按形成条件分类 按使用性能分类 按利用技术状况分类		一次能源	二次能源
常规能源	燃料能源	泥煤、褐煤和石煤 烟煤和无烟煤 油页岩和油砂 原油 天然气 植物秸秆(生物质能)	煤气 焦炭 汽油、煤油、柴油和重油 液化石油气 甲醇和乙醇(酒精) 苯胺
	非燃料能源	水能	电力 蒸汽和热水 余热
新能源	燃料能源	核燃料	沼气和氢气
	非燃料能源	太阳能 风能 潮汐能 海洋能 地热能	激光

以,从能源资源的发展以及能源利用技术的改革来说,也可以把它们称为新能源。

二、当前世界能源的利用状况

(一) 二十世纪世界能源消费的增长状况

本世纪以来,世界范围的能源消费量大幅度增长,1900 年的世界能源总消费量约为 7.75 亿吨标准煤,而 1975 年就已增加到 85.7 亿吨标准煤,即增长了十倍。可以说,现代化的社会建筑在巨大的能源消费之上。而每人每年所消费能源的多少,往往被看作是一个国家贫富的标志。社会越发达,现代化的程度越高,能源的消费量就越大,并且对于能源质量的要求也就越高。近四十年

来,世界的经济发展很快,许多国家高速度地实现了现代化,这些都有赖于能源的大规模开发和更有效地利用。本世纪以来,在世界经济发展的几个阶段中能源耗费的增长状况,如表 0-2 和图 0-1 所示。

表 0-2 二十世纪世界能源的消费增长

年 份	能源消费总量 (10^{11} kg 标准煤)	人均占有量 (kg 标准煤/人·年)
1900	7.75	493
1925	15.65	796
1950	25.64	1080
1975	85.70	2140
2000*	>200.00	>4000

* 2000年的世界能源消费量为预测最低值。

由表 0-2 中所列的数字可以看出,在 1900—1950 年的五十年间,能源消费量增长了两倍多,而在 1950—1975 年的二十五年中,能源消费量也增长了两倍多。如果说,在过去的二、三十年里,只有美国、苏联、日本以及西欧几个主要的工业发达国家实现了现代化的话,则在未来的二、三十年里,必将会有越来越多的国家要建立起自己的现代化生产和生活,整个人类生活都要逐步实现现代化,从而对于能源的需求将会大幅度地增长。因此,预计到本世纪末,世界能源的消费量至少将需要 200 亿吨标准煤,即比 1975 年又增长了两倍多。

(二) 二十世纪世界能源的构成状况及其变化

本世纪内,在与世界范围的能源消费量大幅度增长的同时,世界能源的构成状况也发生了很大的变化,如表 0-3 所示。在本世纪初,石油在能源构成中刚露苗头;而到了五十年代,中东大油田的开发利用以及世界各国石油和天然气生产的迅速发展,使石油

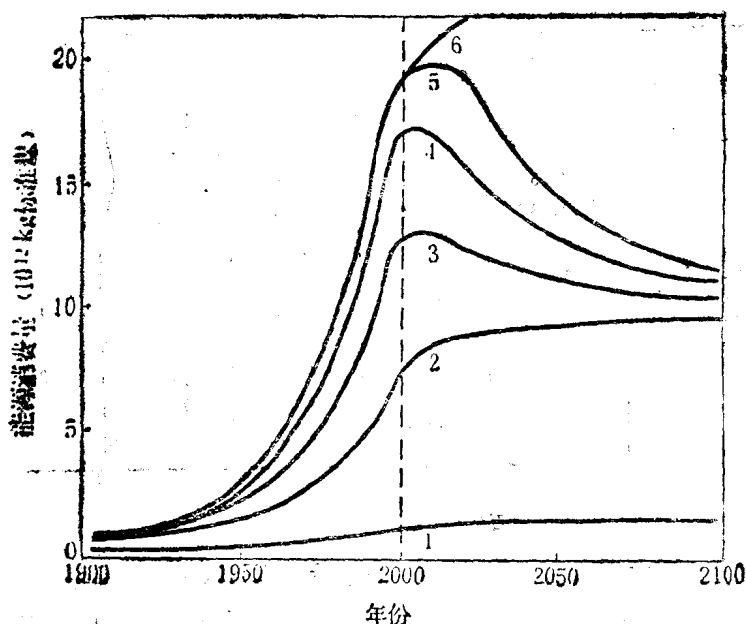


图 0-1 世界能源消费增长示意图

1——水力及自然能, 2——煤炭, 3——石油, 4——天然气, 5——核裂变能, 6——太阳能及核聚变能等

逐渐成为主要能源。在过去的二、三十年中,许多国家依靠廉价的石油和天然气,建立起现代化的生产和生活,创造了人类历史上空前灿烂的物质文明。

三、世界范围的常规能源危机

在世界能源的总消费量中,美国、苏联、日本以及西欧几个经济发达的现代化国家消费较多。他们的人口约占世界总人口的20%,而能源消费量却占60%以上。其中尤以美国的能源消费量最多,平均每人每年的消费量达12吨标准煤以上,苏联为6.6吨,西欧几个工业发达国家为5—6吨,日本为4.8吨。从这些国家的

表 0-3 1900—1978年世界能源构成的变化

年 份	能源产量 (10 ¹¹ kg 标准煤)	能 源 构 成 (%)			
		煤 炭	石 油	天 然 气	水力、原子能*
1900	7.75	95.0	4.0**		1.0
1937	20.13	69.7	18.9	5.2	6.2
1950	26.64	59.3	29.8	9.3	1.6
1955	34.26	52.7	34.4	11.2	1.7
1960	44.78	48.9	35.8	13.4	1.9
1965	55.88	40.6	41.2	16.1	2.1
1970	74.20	32.6	46.6	18.7	2.1
1975	85.70	30.7	47.2	19.3	2.8
1978	93.32	29.8	48.8	18.6	2.8

* 水力、原子能按每度电等于0.123kg标准煤计算。

** 1900年的石油所占百分比中包括天然气。

能源生产量与消费量的相对关系来看,只有苏联可以满足本国的需要并有部分能源(主要是石油和天然气)出口,其它国家都需要进口大量的能源,特别是依赖于中东的石油。在这些国家的能源消费中,石油和天然气所占的比重很大(达60—90%)。因此,五十年代中期爆发的第一次中东战争,酿成了工业化发达国家的第一次能源危机,而1973年爆发的第四次中东战争,更给西方世界带来了比较严重的能源危机。例如日本的国民经济生产总值由往年的年增长率高达10%陡降为负增长率2%,损失近500亿美元;而美国的国民经济生产总值的损失更高达900多亿美元。

能源危机的发生,促使人们对石油、天然气、煤炭等常规能源的蕴藏量和开采量进行了一番认真的调查研究。结论是认为世界石油的可采储量约900亿吨,按照目前的生产水平,仅能开采30年左右;天然气资源的总储量也很有限,预测它 will 比石油晚一、二十年开采完毕。煤的总储量虽较丰富,尚可供人类开采和使用二、三百年之久,但由于环境保护的限制,预计煤的生产量在下个世纪

即将达到高峰。在本世纪内,能源消费的大幅度增长以及石油资源的短缺,将成为世界能源问题的焦点。可以这样估计,即八十年代世界能源的供应将会越来越紧张,而在石油生产量逐年下降的九十年代,将会出现更为严重的能源危机,而且那时的危机才真正是世界性的。因此,对于新能源的开发和利用,就日益受到世界各国的重视,逐渐把越来越多的人力、物力、财力和科学技术投入到新能源的开发和利用的研究上去。

总的估计是,目前全世界每年消费的总能量约为 $0.17 Q$ ($1Q = 2.52 \times 10^{17} \text{kcal} = 1.05 \times 10^{18} \text{kJ}$), 其中美国即达 $0.07 Q$, 约占 40%。总消费量大约每隔 10—12 年增长一倍。将来,全世界都进入大规模开发时期,每年的能源总消费量将达 $1.08 Q$ 。目前已探明的全部非再生常规能源的储量大致为:天然气 $\sim 10 Q$, 石油 $\sim 13 Q$, 油页岩等 $\sim 20 Q$, 裂变核燃料 $\sim 70 Q$, 煤 $\sim 170 Q$, 总共约为 $283 Q$, 仅能维持 250 年左右。

四、新能源的开发利用

如上所述,“新能源”只是一个相对的概念。任何一种能源,从它被人们发现直到广泛地加以利用,往往都要经历一个比较长的历史过程。今天我们广泛使用的常规能源如煤炭、石油、天然气等等,它们也都曾经有过被人们称为新能源的历史。就石油而言,我国早在将近二千年以前就已利用过它了,但当时只是简单地加以燃烧,并且使用的范围也很小,等到内燃机发明以后,它才获得了广泛的应用。直到十九世纪下半叶,在人们的心目中,石油还是一种不寻常的“新能源”。原子核能也是如此,从它的发现到实际应用,也经历了将近三十年之久。二十世纪三十年代末期,原子核的裂变反应初次获得成功,展示了人类利用这种新能源的广阔前景。近二、三十年来,世界范围内的原子能工业得到了迅速的发展,已逐渐被人们视为常规能源。(在我国,由于原子核能的利用起

步较晚,所以直到目前还把它视为新能源。)

随着人们目前广泛使用的常规能源的逐渐枯竭,为了保持整个社会生产的不断发展和人民生活水平的不断提高,就不得不逐渐把关注的重点转移到新能源的开发和利用上去。预计在下个世纪内,新能源将在世界能源的消费构成中占据越来越重要的地位。有人曾把原子核能和太阳能称为二十一世纪的能源。就本课程的讨论范围而言,将只介绍太阳能的资源开发及其热利用的情况。

0-2 太阳能利用的广阔前景

一、太阳能资源的含义

通常所谓的太阳能资源,不仅包括直接投射到地球表面上的太阳辐射能,而且包括象水能、风能、海洋能、潮汐能等间接的太阳能资源,还应包括通过绿色植物的光合作用所固定下来的能量即生物质能。现在广泛开采并使用的煤炭、石油、天然气等等,也都是古老的太阳能资源的产物,即由千百万年前动植物本体所吸收的太阳辐射能转换而成的。水能是由水位的高差所产生的,由于受到太阳辐射的结果,地球表面上(包括海洋)的水份被加热而蒸发,形成雨云在高山地区降水后,即形成水能的主要来源。风能是由于受到太阳辐射的强弱程度不同,在大气中形成温差和压差,从而造成空气的流动所产生的。潮汐能则是由于太阳和月亮对于地球上海水的万有引力作用的结果。总之,严格地说来,除了地热能和原子核能以外,地球上的所有其它能源全部来自太阳能。这也称为“广义太阳能”,以便与仅指太阳辐射能的“狭义太阳能”相区别。

二、太阳能资源的特点

(一) 太阳能资源的优点

与常规能源相比较,太阳能资源的优点很多,并且都是一般的