

可持续发展的发展*

Naim H. Afgan, Maria G. Cavalho, Maurizio Cumo

(Instituto Superior Tecnico, Lisbon, Portugal University of Rome "La Sapienza", Rome, Italy)

摘要 本文收集了有关能源发展的最新信息,对能源的可持续发展进行了概述。为了展示可持续发展的工程途径,讨论了未来能源产品所必须具备的可持续性标准。从以下七个方面着重讨论了与能源工程有关部分的可持续发展问题:能源及发展;效率评估;清洁能源及发展;信息技术;新能源及可再生的能源;环境容量;核污染的处理。

1 引言

在人类社会发展的进程中,能源一直是社会和文明发展的原动力。能源的开发和消耗与世界人口的增长也是紧密相关的。尤其自工业革命以来,世界的能源消费及人口有了急速的增长。

地球的生命史依赖于它所获得的太阳能以及通过植物的光合作用进行的能量转移。植物通过生物化学过程把能量转化为其它的有机化合物和功。光合作用总是使无序的物质变得更有序,从而使熵减少。通过获得太阳能及减少地球的熵,光合作用为生命进化铺平了道路。事实上,地球生命需要一个由光合作用而获取太阳能的连续负熵流。太阳是一个巨大的能源,它产生能量,并给了地球能吸收大量负熵的可能性。每年太阳发射给地球的能量为 5.6×10^{24} 焦耳,并通过光合作用产生 2×10^{11} 吨有机物质。这一过程使大量的能量积聚在不同碳氢化合物中,大部分化石燃料都源于此。人类所需能源在很大程度上依赖于化石燃料中所贮存的化学能。表 1 示出了 1985 年世界不可再生能源的储量^[1]。

表 1 世界非再生能源储量及分布

	总量 10 ⁹ 当量吨	经济中心 地区 CPE(%)	北美 (%)	拉美 (%)	西欧 (%)	非洲 (%)	亚太 (%)	中东 (%)
石油	95	11.5	4.9	13.5	3.2	7.9	2.7	56.3
天然气	85	41.5	8.3	3.7	3.5	6.1	6.2	26.7
煤炭	530	46.6	26.6	0.6	9.8	7.5	8.9	0.0

促进现代社会初期工业蓬勃发展的丰富能源曾给人一种假象,似乎人类文明发展战略可以基于这样一种设想:能源是无限的。事实却并非如此,资源是有限的。人们知道,能源的消费状况强烈地依赖于技术的发展。历史上有两个因素影响能源的市场:一是技术因素;另一是各种能源的获得难易程度。很明显,能源利用状况受到能源总水平的内在制约^[2-4]。图 1 示出了世界能源的消耗结构^[5]。

* 原文很长,译者作了大量删节。

世界能源消费结构是:石油约占能源的 40%,煤占 30%,天然气占 20%,核能占 6.5%,这表明化石燃料提供着 90% 的能源。近几十年来现代文明有了巨大的进展,但同时也带来了严峻的问题。化石燃料是不可再生的自然资源,总有一天会消耗殆尽。化石燃料作为人类文明的重要支撑还能维持多久?人们估计,20 美元/桶价格以下的石油探明贮量为 22,000 亿桶。在过去的 150 年里人类用掉了其中的 1/3,即约 7,000 亿桶,现在只剩下 15,000 亿桶。如果按现在的消费速度,石油只能再用 40 年,煤大概可以再用 250 年,天然气可再用 50 年。同时也很明显,随着燃料消耗速度的增加,也会出现开发新资源的技术,从而能源的耗尽的时刻也会有所延迟。

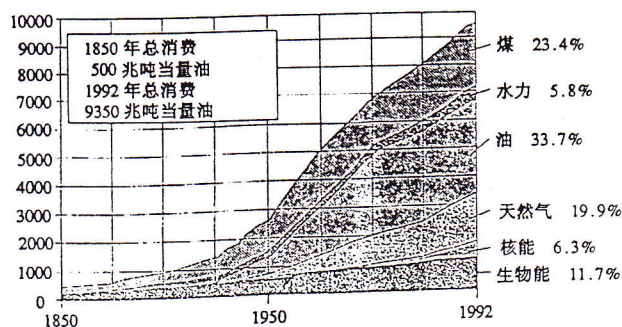


图 1 世界能源的消耗结构

能源的消耗与人均能源消耗量及人口的增长有关,国民总产值和人均能源消费量之间有非常密切的关系。图 2 示出一些国家 1990 年的经济增长和能源消费费用。

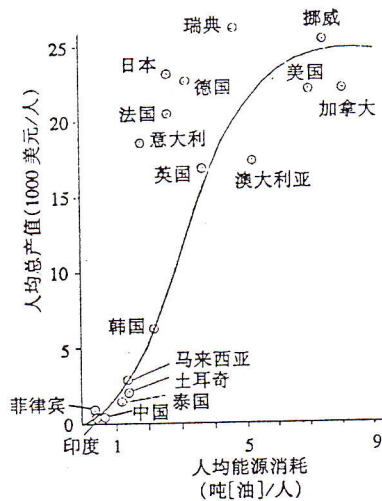


图 2 经济增长和能源消耗^[6]

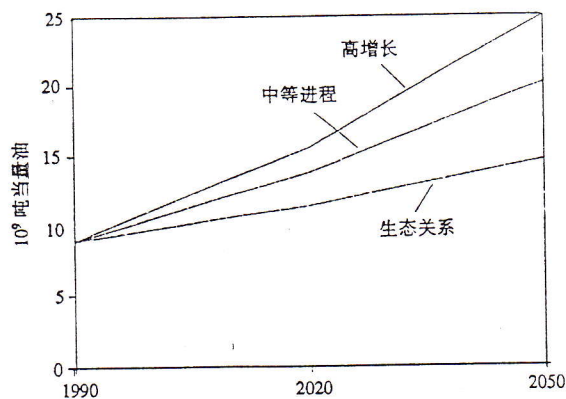


图 3 未来能源消耗预测^[7]

有很多因素影响着对世界经济的发展。依据世界人口增长的趋势,如果现在的世界经济发展以现在的势头持续 50 年,则可预测出未来的能源消费趋势(如图 3 所示)。

由此可以看出,能源的耗尽将是不久的将来人类文明所必须面对的现实。不管我们预测的方法和模型精度如何,可以断定,计算的不精确度只会影响时间的长短,而不会影响这一结论,那就是能源的耗尽过程正在开始,人类的严峻的现实降临之前必须采取行动。

自然资源不足与经济增长总是相互对立的。70 年代各种能源的短缺都很严重,80 年代情况依旧,将来能源短缺和经济增长会相互制约。但可以肯定,短期的能源短缺波动对长期

的经济增长也有重要的影响。很明显,人们有必要在不可再生能源的短缺和它对经济的重要影响作积极的工作。

2 环境

一次能源的使用是造成生态环境破坏的主要污染源^[17-22]。现在 88% 以上的能源都是由化石燃料提供的。然而,它们燃烧后所产生的有害物质已足以破坏全球的环境。大气中所聚集的 CO_2 已达 2.75×10^{12} 吨。图 4 所示出了 1900~1990 年全球气候变暖的趋势,图 5 给出了 CO_2 的浓度变化趋势。

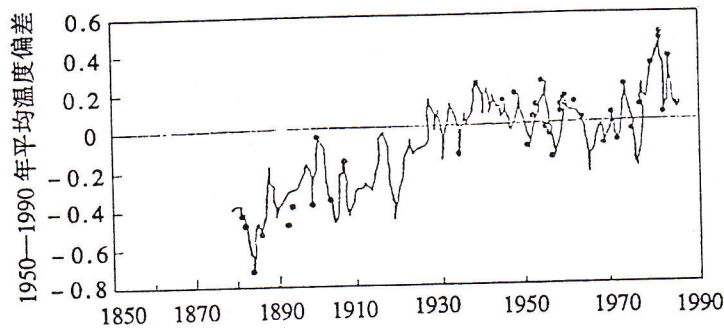


图 4 1900~1990 年全球变暖的趋势^[8]

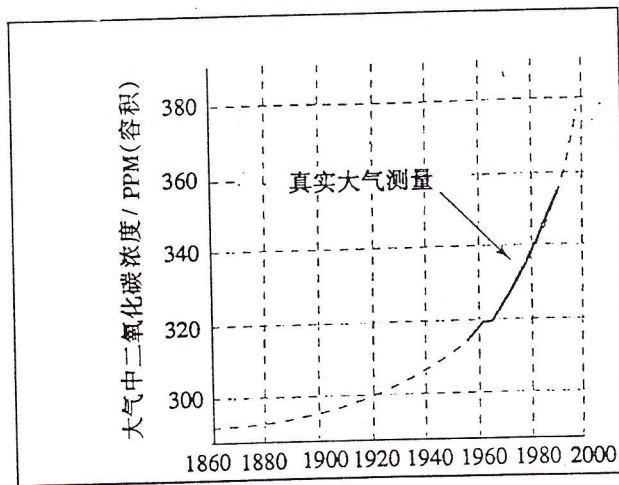


图 5 二氧化碳浓度变化预测^[8]

很明显, CO_2 浓度的进一步增加将会给环境带来灾难性的影响。同样 SO_2 、 NO_x 及一些悬浮物质的影响也是非常可怕的。

在世界范围内,煤是发电的主要能源。很多发展中国家,如中国、印度等将继续大量使用丰富廉价的本地煤以满足经济增长的需要。随着其它发展中国家的经济继续增长,世界上使用煤的趋势将继续增加。现在,因煤炭利用造成的环境危害的热点已经由酸雨转变为温室气体的排放。在中国,煤将继续是主要能源,估计从 1995 年到 2010 年,它在一次能源

中所占的份额不会低于 70%。1993 年中国煤的产量是 11.14 亿吨,2000 年计划是 15 亿吨,2010 年 20 亿吨。由于中国是继美国和俄罗斯之后的第三大能源生产国,如果考虑减轻 CO₂ 战略,它对控制全球 CO₂ 积聚的贡献将是非常大的。中国的例子说明,对发展中国家必须评价未来经济加速发展对能源的需求。

3 可持续发展

能源被认为是人类文明发展的基石。它的综合利用已给人类社会带来了巨大财富,使人们得到了物质享受。然而可悲的是,能源的生产和消费也带来了愈来愈严重的负面作用。世界人口快速增长,发展中国家的经济不断发展,更加体现了能源在社会中的中心地位。现实是:人口的增长和经济的发展已使人类的居住环境发生了巨大变化,必须将经济发展和居住环境协调起来。

1987 年在 Brundtland 会议上发表的“我们的共同未来”宣言指出:经济的增长反而造成了使地球贫穷、环境恶化、疾病和污染等的威胁。这给人们敲响了警钟,科学界对与此相关的问题越来越重视。五年后在里约热内卢举行了联合国环境与发展会议,讨论和规划了可持续发展的途径。这次会议描绘了社会、经济和环境的可持续性发展方面蓝图,它呼吁各国政府采取可持续发展的全球战略。

可持续发展战略强调,为了人类未来的发展和生存,必须对环境进行科学、谨慎的管理,必须应用科学知识,通过对地球的现在和未来状况进行科学的评价来描述和支持可持续发展的目标。

可持续发展战略已成了一个政治运动,虽然在不同的洲、不同的地区和国家有着不同的涵义,但他们都是为了拯救维系我们文明存在的唯一场所——地球。从这点考虑,应使那些感兴趣的组织,如联合国组织、政府组织、非政府组织和宗教组织,确认可持续发展是未来人类进步的途径,也是经济和社会发展的保证。

人们曾多次试图定义市场产品的可持续性判别标准。联合国环境项目对评价产品的设计给出了定量的评判标准^[9,10]。以这些标准为基础,我们可以把它们应用于能源系统设计这一特殊方面。

4 能源的可持续发展

为了达到能源可持续发展所提出的目标,能源转换的效率就必须满足很多标准^[11,12]。通常,提高效率的好处往往被低估,大部分能量转换系统都把效率的提高视作是独立的过程,他们的分析只注重这一改进本身的经济性,而没有反映效率的提高对整个能源系统所带来的好处。化石能源的使用大多通过燃烧把它转换成热量。由于燃烧过程是在 900 ~ 1300℃ 的温度范围内进行的,且 40% 的热量是作为低温热源,因此,就必须优化对燃料的使用。

可持续性涉及到很多特征因素,包括生活差异、自然资源、环境容量、人口增长、社会动乱和道德变化等。由于能源是人类生活中最主要的消费品之一,且影响着可持续发展的完

整性,所以我们把注意力集中到与能源的可持续性直接相关的三个特征因素。这三大特征因素是:① 自然资源;② 环境容量;③ 人口增长。

在进行可持续性评价时,必须考虑现阶段的消费变化,它反映的是一个参考时间段的消费变化。为了建立一种资源指标来评价可持续性,必须考虑现阶段变化与最大可能变化的比率。它的变化趋势将给出资源耗尽的估计参数。现阶段能源的消耗和它的使用效率密切相关。使用效率有两类:一类是一次能源的转换效率;另一类是终端能源的使用效率。

一些权威研究对21世纪的能源供给进行了预测。他们得出的结论成了发展可持续能源供给计划的推动力。这里有很多选择需要讨论,下面就主要的几点讨论。

4.1 使用短缺指数控制以防止能源耗尽

提高能源的利用效率和新技术开发是很重要的。很明显,利用效率的提高会立竿见影地带来回报,而新技术的开发需要较长的周期。

能源的可采量受两个因素的限制,即对资源勘探的投资和对资源勘探技术的投资。以现有经验可知,勘探投资与资源的探明量有直接关系。已经证明,发现新资源的费用是(15~30)美元/吨。对很多发展中国家,这一点限制了能源勘探。

钻井技术从一开始就限制人们达到新的资源区,从而也限制了能源探测。钻井技术的发展对发展新资源起到决定性作用。墨西哥湾新气田、北海气田和阿尔及利亚新气田的发现是有力的例证。深海钻井技术已被全球关注,这可望使能源短缺问题推迟几个世纪。必须指出,地球表面的2/3都是由深海所覆盖,因此,深海钻井技术的突破将改变世界的能源状况。

4.2 效率评价

能源转换过程的改进能推动能源事业的发展。评价转换过程的较好方法是能源系统的火焓分析法,它是建立在转换过程最大可用能的分析基础上。根据定义,火焓是一个表征能量转换过程和系统效率的参数。根据热力学定律,熵的变化是衡量系统技术改进成效的一个重要因素。卡诺原理规定了任何一个转换过程效率的绝对极限。

第一次能源危机以后,很多国家都进行了能源效率的评价工作。其目的是为了提高效率,节约能源,以减缓能源价格的上涨。对很多欧洲国家,这一工作使能源的使用效率提高了10%~20%。工作的重点是对各种技术和能源的使用效率进行评价,根据可持续发展的标准,产品必须满足使用最少能源的条件。

热和电联供是提高能源使用效率的一个很好途径。如在水和电都缺乏的地区,可以把海水淡化和发电结合起来。燃气联合循环系统能提高发电效率,是一个重要的发展方向。

4.3 清洁燃烧技术

燃烧过程在能源转换中是一个带来可用能大量损失的不可逆热力过程。利用改善燃烧过程的方法来提高能源转换效率,在这方面有着很大的潜力,很多好的燃烧技术可以使燃烧过程的效率大为提高。例如:

4.3.1 催化燃烧

劣质天然气混合物的低温催化燃烧是产生热量的有效方法^[13]。催化剂和反应物共存,

它使化学反应加快,但和反应物不起任何反应。在催化过程中,有一种形式是把反应物吸入催化剂表面进行催化反应,然后放出生成物。沸石是化学工业中经常用的催化剂。它的全部性能人们还不完全清楚。我们希望催化燃烧可以推动燃烧电池的发展。图 6 表示的是铂催化剂燃料电池示意图。

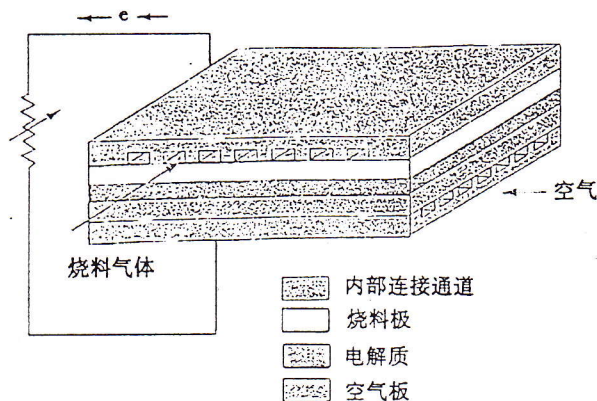


图 6 燃料电池示意图

电极和电解质交界面的催化作用保证了电子从输入的氢分子中转移到金属内。成本低的燃料电池还未实现,但铜、镍、钴等氧化物粉末活性组分具有良好的催化特性给人们带来了较大的希望。

4.3.2 流化床燃烧

在流化床燃烧方面的进展使新能源系统得到了很大的发展。流化床燃烧时,煤被混入煤灰及石灰吸收剂中,在 850°C 的温度下进行燃烧。有两种形式的流化床锅炉,即鼓泡式和循环式。

对于蒸汽朗肯循环,鼓泡式的能源利用效率和传统的燃用煤粉电厂效率差不多。对中等或优质煤,35MWe 容量的常压鼓泡流化床电厂具有较好的业绩。循环流化床锅炉具有较强的煤种适应性,但它的设计较为复杂,辅助设备能耗高,现有的循环流化床电厂的效率约为 30%,最大的已投运电厂的功率是 250MWe。循环流化床锅炉得到了广泛的应用,它不仅能燃用低品位煤,同时 NO_x 、 SO_2 及粉尘的排放也能满足标准的要求。

增压流化床燃烧锅炉的效率比传统粉煤电厂高 10%。它设计紧凑,投资适中,适用于中等或优质煤。

4.3.3 低 NO_x 燃烧器

现在的先进能源利用技术非常注重控制污染物的排放。原则上可以有两种方法:一是合理组织炉内的燃烧过程;二是炉后的烟气处理。

为了减少 SO_2 、 NO_x 及粉尘的排放,人们不断开发新型燃烧器,它可以有效地减少 NO_x 的生成,可以期望这种新型燃烧器能满足 $370\text{mg}/\text{Nm}^3 \sim 490\text{mg}/\text{Nm}^3$ 排放要求。通过烟气的后处理还能使 NO_x 进一步降低。

燃烧过程的数值模拟是重要的设计和分析手段^[14,15],可用它来指导炉膛内的空气场的

调整改善,同时还可通过炉膛的数值模拟对炉内特性进行实际分析^[16],以使 SO_2 、 NO_x 和粉尘的排放达到最低水平。先进的燃烧技术对现有电厂的改造是十分有效的,它不仅能提高效率,还能降低排放。

4.3.4 新锅炉设计

燃煤电厂在今后的相当长的时期内仍将是主要的发电方式。新建燃用煤粉电厂的净效率已达34%~37%,污染物排放的净化率可达97%。更新一代的燃煤锅炉技术正在发展,它能使发电效率超过42%。现在设计的低排放锅炉系统是建立在过程参数的诊断控制和专家系统基础上的。

发展高性能能源系统就是要通过相应的燃烧系统的改进、新型燃烧器以及烟气净化处理技术,以达到控制 SO_2 、 NO_x 及其它颗粒的排放和控制污染的目的。同时,决定过程参数所用的锅炉数值方法的完善也是效率控制和早期诊断控制的手段之一。传热传质的进展对新锅炉的设计起到积极的推动作用,而且将使现代新能源系统越来越多样。

4.4 智能化能源系统的发展

人工智能的进展促进了它在能源可持续发展中的应用。这里有三个主要途径:能源工程中专家系统的发展;基于模糊逻辑和推理的新控制方法;热力系统的智能化设计。

4.4.1 能源工程中的专家系统

能源工程中专家系统的发展主要集中在两个方面:能源系统设计专家系统和基于知识的在线诊断^[17-19]。能源系统设计的专家系统对电厂的选型和设计的优化是十分有效的,同时专家系统也可用于对能源系统的规划(包括优化能源系统)使它反映出对可再生能源的使用。换热器的设计是一个用来说明专家系统在设计热力设备方面的应用的很好例子^[69]。能源系统中基于知识的专家系统的进一步发展能提高系统的效率和可靠性,它在系统的故障诊断、参数预测中的作用已被证明是强有力的。

人们已经证明将基于知识的专家系统用于火电厂中的故障诊断是可能的。锅炉故障和管道破裂会使得电厂效率下降。这个诊断系统是建立在在线诊断变量控制和对它们的模糊处理基础上的,从而推理和纠正所判断的工况。

4.4.2 模糊逻辑控制

新的模糊逻辑控制方法对能源系统的在线控制是非常有效的^[20]。一些基于模型控制系统的设计采用的是试凑法,基于知识的专家系统的控制器一般是针对某一具体问题而定的。而智能控制系统的执行要使用模糊逻辑、神经网络、普通推演、专家系统等。对模糊控制系统的一般定义是,它能摹仿专家的判断。在这种情况下,操作员的知识就以模糊语言规则的形式输入到模糊控制系统中去。

4.4.3 智能化能源系统

人们知道,原有的一些基本假定不再适应新的情况,需要有一个新的方法使它适应未来的发展。就世界范围而言,能源和环境容量之间的不可逆变化应当有个极限,当代经济的发展必须限制在此极限内。“可持续性指标”是个新的评估参数,它可用来提供一些与远期可持续性相关的能源使用、生态环境、社会单元之间的有关信息。

对产品的设计有不同的考虑,好的设计不仅是个技术过程,而且也包括管理、相关的技术规范、产品规划和发展等方面。生态相关设计是指在产品设计中要考虑对生态环境的影响。智能化产品设计包括资源生命周期、环境周期、产品寿命周期和完善设计等一些方面。对用于热力系统智能化设计必须定义一些评价和优化特殊设计的指标。

为了提供智能化设计所需的复杂条件的设计标准,有必要定义用于评判热力设备的特殊设计所需要的相应指标^[21,22]。这些指标必须以下面几点为基础:包括各热力设备效率的优化;资源使用的评价和有效性;环境能力的消耗和降低;多用途单元的模式结构;寿命评估及特殊设计的经济性调整。

验证指标的可行性要用到热力设备。不同的设备,标准要相应调整。人们希望使用指标得到一个对设计进行评价的方法。这些评价将在智能设计标准的框架内用于选定的一些现在市场上需要进行评估的产品。

4.5 新能源和可再生的能源

除提高发电系统各过程效率外,建立复合能源系统以提高效率是一种新的挑战。能源系统包括能量或热量生产单元、能量传输系统、能量存贮系统和能源终端使用系统。从资源的角度看,可以考虑很多选择来优化能源系统。人们对使用可再生能源作为能量或热量的产生单元考虑得很多。可再生能源成本低,在能源系统中的使用将越来越多。

按定义,再生能源满足可持续性条件,因此可以期望远期的能源战略将转向可再生能源。可再生能源是很丰富的资源。文献列出了现阶段在可再生能源的使用和开发领域的可用技术。新技术的进一步开发可望得到乐观的结果。

4.5.1 太阳能

太阳能的开发主要有三种方式:① 太阳能通过集热器直接转变为热能;② 使用反射装置把太阳能集中到集热器,用于发电;③ 把太阳光直接转换成电能。

太阳能资源几乎是无限的。太阳每年照射到地球表面的能量达到人类所消耗能量的 10 000 倍之巨;其中照射到陆地表面的部分也有 3 000 倍,即使是它的 35% 也可产生比人类现在的需求大 1 000 倍的能量。尽管太阳能非常巨大,但它的相对强度很低。文献估计,从技术角度而言,用现行方法可使用的太阳能大约是:热能 170Mtoe/a (1Mtoe/a = 1 兆吨当量油/年),分散电能 450TWh/a ($T = 10^{12}$),并网电能 270TWh/a。在局部区域考虑这三项太阳能时必须和最小及最大的安装容量联系起来。现在有如下几种安装容量可以考虑:

	最小	最大
热 能	> 150kW	80MW
分散电能	> 30kW	5 700kW

考虑局部区域的辐射强度后,就可得出所需要的土地面积。如果辐射强度 $q_R = 5.4\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,所需的最小土地占有面积就可得出为:

$$\text{最小土地}[\text{m}^2/\text{kW}]$$

热能	20 ~ 35
分散电能	36 ~ 80

必须指出,若辐射强度小于 $q_R = 5.4 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \text{d})$,就不能用这各方法估算。

现在对太阳能的使用有三种:太阳热、太阳能光电系统和太阳能电厂。太阳热的使用已达到工业化水平,在很多国家已经有了市场。效率和使用的材料会因设计不同而异。太阳热通常用来产生热水,也有的用于加热空气和空调。这种技术业已成熟,故不可能期望在这方面再有突破。市场上有以下参数的太阳能热水器:

	温度范围[°C]
无抛光平板集热器	< 40
抛光平板集热器	40 ~ 100
真空管集热器	150 ~ 200

太阳热的价格在中期预计为(8~9)美分/ 10^9 焦耳,远期为(4~6)美分/ 10^9 焦耳。

太阳能光电系统现处在示范阶段,有不少使用。它表现为三个层次:

	能量
普通太阳能电池	无
电子方面的应用	50W ~ 1kW
太阳能灌溉	5KW ~ 60kW

第一个层次从能源战略上考虑不太重要,故没有发展。

第二个层次仅作为偏远地区的能源使用,且已证明是可靠的。它的功率范围是 50W ~ 1,000W,在市场上可以买到。

第三个层次在农村已有很多示范项目,且已证明是可行的。偏远地区可把建设新电网所需的投资用于太阳能发电。

太阳能电厂还处在发展阶段,当能源需求增加时可以安装现有的光电池模块。作为一个示范,模块容量可为 50kW ~ 1MW。带聚能器的太阳能电厂也处于发展阶段,以现在的技术评估标准,还不会使用它。

太阳能电厂的容量为 50kW ~ 1MW。估计现在太阳能电价为(23 ~ 33)美分/千瓦小时,中期这一价格可望降为(2.2 ~ 2.4)美分/千瓦小时。

(未完待续)