

Solar Thermal Utilization Development Situation under Low-Carbon Economy

Xuemei Guan

College of Vehicle and Energy Sources; Yanshan University; Qinhuangdao 066004; China

Email: guanxuemei909@yahoo.com.cn

Abstract: Chinese energy structure still give first place to coal, under existing conditions to development Low-Carbon Economy, china should track out the development patterns that fits oneself to exploitation and utilization renewable resources. Solar energy is hailed as perfect energy in its sustainable exploitation and utilization, Solar thermal utilization technology is the most mature. This paper is a review to solar thermal utilization status of development.

Keywords: Low-Carbon Economy; Solar thermal utilization; Solar thermal power generation ; key technology

低碳经济下太阳能热利用发展现状综述

关雪梅¹

燕山大学车辆与能源学院, 秦皇岛, 河北, 中国, 066004

Email: guanxuemei909@yahoo.com.cn

摘 要: 中国的能源结构仍然以煤炭为主, 在现有情况下发展低碳经济, 对中国来说需要摸索出适合自身发展的模式, 坚定不移的开发和利用可再生能源, 在可规模开发和利用的可再生能源中, 太阳能被誉为理想的能源, 太阳能热利用的技术也最为成熟, 本文对太阳能热利用发展现状进行了综述。

关键词: 低碳经济; 太阳能热利用; 太阳能热发电; 关键技术

1 引言

2009 年以来, 出现频率最高的词组莫过于“低碳生活”“低碳经济”。所谓的低碳经济, 就是以低能耗、低污染、低排放为基础的经济模式, 或是含碳燃料所排放的二氧化碳显著降低的经济。低碳经济实质是能源高效利用、清洁利用和低碳或无碳能源开发。

二氧化碳排放有一个著名的卡亚公式, 等于人口乘人均 GDP、乘单位 GDP 能源消耗、乘单位能耗消耗量。分析公式可知, 要降低排放, 首先要限制人口的增长, 其次要降低单位 GDP 能源消耗量, 再次是针对单位能耗排放量, 需要采用低碳燃料或者无碳燃料取代高碳燃料, 可再生能源恰恰在这一方面能发挥作用。图 1 是来源于 TIMES (2007 年 6 月数据) 部分国家人均温室气体排放量^[1]。

低碳能源系统是指通过发展清洁能源, 包括风能、太阳能、核能、地热能和生物质能等替代煤、石油等

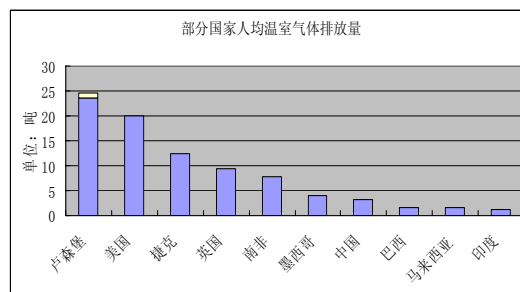


Figure 1. Per capita Greenhouse emission load of part country

图 1. 部分国家人均温室气体排放量

化石能源以减少二氧化碳排放。低碳技术包括清洁煤技术 (IGCC) 和二氧化碳捕捉及储存技术 (CCS) 等等。低碳产业体系包括火电减排、新能源汽车、节能建筑、工业节能与减排、循环经济、资源回收、环保设备、节能材料等等。

但是, “低碳经济”的技术手段尚处于探索阶段, 国内外对低碳经济的深入研究还不够。显

然, 如何发展低碳经济, 获取低碳技术, 对中国来说, 也只能是靠摸索来寻求适合自身发展的模式。但是有一条主线是一定的, 那就是坚定不移的开发和利用可再生能源, 努力实现节能减排的目标。

2 发展低碳经济重要途径是靠太阳

目前尽管中国的能源结构仍然以煤炭为主, 但中国正在迎接一场清洁能源的革命。在可规模开发和利用的可再生能源太阳能、风能、水能、地热能、潮汐能、氢能当中, 太阳能以不受季节限制、没有区域局限性、经济环保等一系列优点, 成为传统能源的最佳替代者。中国蕴藏着巨大的太阳能资源, 而且开发空间极大, 所以为太阳能利用和规模生产提供了条件^[2]。

照射在地球上的太阳能非常巨大, 大约 40 分钟照射在地球上的太阳能, 便足以供全球人类一年能量的消费。可以说, 太阳能是真正取之不尽、用之不竭的能源。而且太阳能发电绝对干净, 不产生公害, 所以太阳能发电被誉为是理想的能源。

3 太阳能热利用技术发展现状

人类利用太阳能的历史非常悠久, 太阳能热利用的技术也最为成熟。太阳能热利用的基本方式是利用光热转换材料将太阳辐射能转换为热能。产生的热能可应用于采暖、干燥、蒸馏、烹饪以及工农业生产的各个领域, 并可进行太阳能热发电、空调制冷、热解制氢等。

在现今社会中技术成熟应用广泛的太阳能热利用方式有太阳能热水器、太阳灶及太阳房等, 其中太阳能热水器应用最广泛。太阳能发电、太阳能制氢、太阳能海水淡化等太阳能先进利用技术已成为当前及未来研究、开发和利用太阳能的主要方向。

3.1 太阳能热水器

太阳热水系统是目前我国太阳能热利用的主要形式。它是利用太阳能将水加热储于水箱中以便利用的装置, 热水器是可再生能源技术领域商业化程度最高、推广应用最普遍的技术之一。

我国太阳能热水器平均每平方米每年可节约 100~150 公斤标准煤。相当于节电 417 度, 可减

少二氧化碳、二氧化硫、粉尘等排放物 170 千克。如果按照太阳能热水器的使用寿命 15 年计算, 太阳能光热折合发电成本仅为 0.15 元/度, 比光伏发电低几十倍, 比常规能源发电成本低三倍以上。

据调查, 中国太阳能保有量占整个世界的 76%, 中国太阳能热水器的年生产量是欧洲的 2 倍, 北美的 4 倍, 现已成为世界上最大的太阳能热水器生产国和最大的太阳能热水器市场, 而且随着国家政策的大力支持, 太阳能热水器的利用得到普及和推广, 为发展“低碳经济”创造了必要的条件^[3]。

3.2 太阳能空调降温

就世界范围而言, 太阳能制冷及在空调降温上应用还处在示范阶段, 其商业化程度远不如热水器那样高, 主要问题是成本高。但对于缺电和无电地区, 同建筑结合起来考虑, 市场潜力还是很大的。我国“九五”期间, 太阳能空调降温示范工程列入国家技术攻关项目, 广州能源所和北京市太阳能研究所分别进行平板集热器和真空管集热器的示范工程。西北工业大学也开展了相应科研工作。

3.3 太阳能热发电

太阳能热发电是利用集热器将太阳辐射能转换成热能并通过热力循环过程进行发电, 是太阳能热利用的重要方面。

80 年代以来美、欧、澳等国相继建立起不同型式的示范装置, 促进了热发电技术的发展。世界现有的太阳能热发电系统大致有五类: 槽式线聚焦系统、塔式系统、碟式系统、太阳能热气流发电和太阳池发电系统。

3.3.1 槽式线聚焦系统

槽式太阳能热发电系统(如图 2 所示)是利用圆柱抛物面的槽式反射镜将太阳聚焦到管状的接收器上, 通过管内热载体将水加热成蒸汽, 推动汽轮机发电^[4]。

与其他太阳能热技术相比: 耗材最少; 结构紧凑, 比塔式和碟式太阳能热辐射收集装置占地面积要小大约 30%~50%; 至今为止, 还没有其他太阳能热利用发电站有更高的年收益; 随着材料科学和太阳辐射集热装置的制造工艺的发展, 以



Figure 2. Solar parabolic trough power generation station was built in California desert, USA
图 2. 美国加州荒漠上建成的槽式太阳能热发电站

及太阳能热发电系统的改进，发电成本还可以进一步降低；槽形抛物面太阳辐射集热装置和环带太阳能集热装置的制造只需要不多的构件形式，容易实现标准化，适合批量生产以降低成本。

3.3.2 塔式聚焦系统

塔式太阳能热发电系统^[5]（如图 3 所示）是在空旷平地上建立高大的塔，塔顶安装固定一个接收器（相当于锅炉），塔的周围安置大量的定日镜，太阳光聚集并反射到塔顶的接收器上产生高温，接收器内生成的高温蒸汽推动汽轮机来发电。采用高温熔融盐来蓄热储能，聚光比高，容易达到较高的工作温度，接收器散热面积相对较小，可以得到较高的光热转换效率，这种电站的运行参数与高温高压的常规热电站基本一致，因而不仅有较高的热机效率，而且容易获得配套设备。电站的建设费用十分昂贵，特别是定日镜场的投资，由于其跟踪系统复杂，占了整个投资的一半以上。

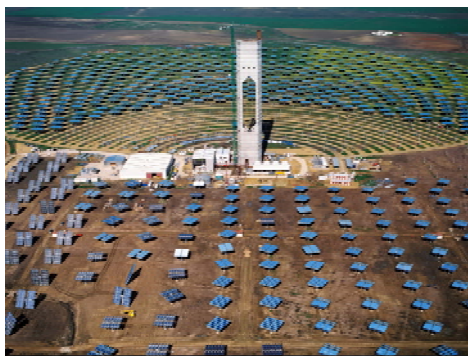


Figure 3. Solar- two tower solar power generation station in USA
图 3. 美国 Solar two 塔式太阳能热发电站

以色列 Weizmanm 科学研究所最近正在对塔式系统进行改进如图 4 所示。利用一组独立跟踪太阳的定日镜，将阳光反射到固定在塔的顶部的初级反射镜-抛物镜上，然后由初级反射镜将阳光向下反射到位于它下面的次级反射镜-复合抛物聚光器（CPC），最后由 CPC 将阳光聚集在其底部的接收器上。目前整个实验系统仍处于安装、调试阶段^[6]。

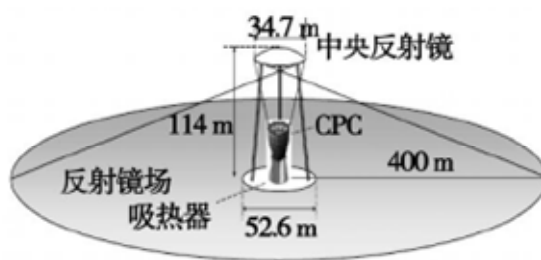


Figure 4. Face down reflection-type concentrating solar power system

图 4. 向下反射式太阳能聚集系统

3.3.3 碟式系统

碟式系统（如图 5 所示）借助于双轴跟踪^[7]，



Figure 5. 25 kW dish stirling engine driven by solar power generation system

图 5. 25 kW 碟式斯特林太阳能发电系统

抛物型碟式镜面将接收的太阳能集中在其焦点的接收器上，接收器吸收这部分辐射能并将其转换成热能，在接收器上安装热电转换装置，比如斯特林发动机或朗肯循环热机等，从而将热能转换成电能。可以分散布置也可以在一个区域内集中若干个这样的系统用在流动场所。

碟式/发电机系统是目前太阳能热力发电技术研究中最为热门的课题,并已有 20 多台样机处于试验阶段,部分样机已经积累了数年的运行经验,证明了该技术的可行性。由于现有理论与制造工艺的局限性,要取得进一步的技术突破,还需要一段探索过程。

3.3.4 太阳热气流发电

太阳热气流发电系统的运行是结合了众所周知的三种技术:温室效应、烟囱和涡轮机。在一片广阔的平地上,用透明塑料和玻璃做成一个中间向上倾斜的屋顶^[8]。在阳光的照射下,屋内的空气被加热,它和环境的温差高达 35℃。利用冷热空气的温度差,加热了的空气将向屋顶上方运动。在屋顶的中央装上烟囱,热空气通过烟囱迅速上升,气流速度高达 15m/s。在烟囱的底部安装一台风力发电机,从而将热风的热能转变为电能。

这种热发电系统把房屋看作一个集热器,通过建筑设计把高效隔热材料、透光材料、储能材料等有机地集成在一起,使房屋尽可能多地吸收并保存太阳能,达到房屋采暖目的。太阳房概念与建筑结合形成了“太阳能建筑”技术领域,成为太阳能界和建筑界共同关心的热点。

3.3.5 太阳能池发电系统

太阳能池是一个盐水池,由 3 层不同浓度的盐水构成。上层是很薄的低浓度盐水或清水,称为上对流层,起透光和保温作用,同时可减少外界对底部盐水层的扰动;下层是饱和盐水,称为下对流层,是太阳能池的吸热、蓄热层,其最高温度可超过 100℃;两者之间是非对流层,其浓度自上而下逐渐增加,起到防止上下层池水对流的作用。池的底部一般铺有衬垫及保温层,以防止池水泄漏,减少热损^[9]。

在这一系统中,太阳能池是其核心装置。太阳能池结构简单、操作方便,非常适宜在盐湖资源丰富的地区应用,是一种很有发展前景的太阳能热发电模式。

此外,太阳能池在采暖、海水淡化、制盐及农业生产用热等方面也有非常广泛的应用。

4 太阳能制氢

太阳能制氢的方法主要有:直接热分解法、热化学循环法、光催化法以及光电化学分解法。

直接热分解法需要 2500K 以上的温度,设备要求高,价格昂贵^[10]。光催化光电化学分解法虽然结构简单,耗能低,但目前转化效率还较低,仍处于研究阶段。热化学循环法主要是利用化学材料的特性,在一定的温度下分解水或碳氢类化合物而获得氢气的方法,该方法优点是氢气转化效率较高,能耗较低,成为当前研究的热点之一。

太阳能-氢能转化是氢气工业化生产技术发展的方向,但是仍然有很多实际的问题,对于光电化学制氢的关键是高效率、低成本的单结和多结太阳电池的研究;对于光催化制氢的研究关键在光催化基本理论的研究以及高效、低成本、长寿命光催化材料的合成。有理由相信清洁高效的氢气生产技术的工业化必将在不久的将来成为现实,氢气将取代化石燃料成为人类未来主要能源之一。

5 太阳能海水淡化

地球上蕴含着非常丰富的海水资源,在已经开发的 20 几种淡化技术中,蒸馏法、电渗析法、反渗透法达到了工业规模的生产应用。

目前,海水淡化基本上也已经形成新兴产业部门。1975 年,全世界海水淡化日产量达 200 万吨。此后,以每两年翻一番的速度增长。1975 年,香港建成一个日产 18 万吨的海水淡化厂,在当时属于世界先进的淡化厂。1983 年,沙特阿拉伯吉达港建成日产 30 万吨海水淡化厂。科威特海水淡化能力日产 100 多万吨。中东盛产石油的富国,人民生活用水基本上已可完全依靠海水淡化来供应。

6 热利用的其他方面

我国是太阳灶的最大生产国,主要在甘肃、青海、西藏等西北边远地区和农村应用。目前大约有 15 万台太阳灶在使用中,主要为反射抛物面型,其开口面积在 1.6~2.5 平方米,每个太阳灶每年可节约 300 千克标准煤。

这里非常值得一提的是利用陈应天博士新的太阳聚光和跟踪理论制造的家庭用太阳灶将有更高效、更廉价竞争优势^[11]。

太阳能干燥是热利用的一个方面。目前我国已经安装了有 1000 多套太阳能干燥系统,总面积约 2 万平方米,主要用于谷物、木材、蔬菜、中草药干燥等。

7 太阳能热利用中的关键技术

7.1 太阳能直射辐射资源调查体系

要着手建立太阳能直射辐射资源数据收集体系，特别是在太阳能资源好、有一定土地资源的中西部和东南部沿海地区，安排一定数量的气象台站测试太阳能直射辐射数据。到 2020 年，完成资源的调查和场址的考察，为规模化应用打好基础。

7.2 跟踪聚焦技术

日前，已有多种太阳跟踪装置，但大多造价高、结构复杂，而未能广泛应用。结构简单、成本低、跟踪过程不必人工干预，而且在天气变化比较复杂的情况下，系统也能正常工作的太阳跟踪系统是未来研究的重点。

7.3 太阳能储热和蓄热系统研发

太阳能热利用主要是中高温利用。今后需要开发光学性能稳定、受气候影响小、制备工艺简单、对环境无污染、成本低廉、能适合中高温使用的新型储热和蓄热系统成为当今太阳能热利用研究的重要目标。关键是提高储能材料的热容、工作温度和工质的化学及物理稳定性，增强工质容器及输运管路的防腐能力和发展方向。具有良好传热特性的多种材料多相复合的储热工质合成的材料及相变蓄热装置的研究尚处于起步阶段。

7.4 热发电基础理论与关键技术研究

太阳能热发电是太阳能利用的高品位方式，太阳能通过热的形式转换成电能需要经过多个能量转换过程，涉及到大量的基础科学问题，有待尽快开展相应基础理论与关键技术研究。各个能量传递与转换环节的热传递机理及热流特性，光-热-电转换系统的集成理论以及关键材料和技术是太阳能热发电技术中需要解决的重要基础问题。

8 结束语

太阳能作为“低碳经济”发展中最优质的能源，其利用技术的发展直接关系到低碳经济的进步步伐，新能源，如何才能走出一条新路？一个

共识是，我国新能源发展应长远规划，科学规划和布局，避免追求短期利益，摆脱粗放发展的“老路子”，切忌一哄而上，重复开发。中国工程院院士倪维斗指出：“新能源发展一定要从中国的国情出发，不要只关注规模，看一时的热闹，要做理性的分析，认真研究可再生能源和化石能源如何搭配，把不同的能源形式放在合适的位置上，使其有序发展”。要在提高关键技术研发和自主知识产权上下工夫，国家应加大鼓励、支持力度，贯彻产学研结合、联合攻关的方针。

诚然，大力发展新能源，不是为了赶时髦。就目前我国国情，如何让新能源真正成为经济发展的新增长点或者最重要的增长点，成为推进生态经济、实现清洁发展的新引擎，还有很长的路要走，还需要付出更大的努力。

致 谢

感谢澳大利亚悉尼科技大学 Professor Jian Guo ZHU 给与本文的指导。

References (参考文献)

- [1] <http://baike.baidu.com/view/1494637.htm>.
- [2] MICHAEL A. Laughton, Renewable Energy Sources, Published on behalf of The Watt Committee on Energy by Elsevier Applied Science, 2003.
- [3] LU Weide, The development Trend of Solar Utilization Technology, WORLD SCI-TECH R & D, 2007, 29(1) P95-99.
陆维德, 太阳能利用技术发展趋势评述, 世界科技研究与发展, 2007, 29(1) P95-99.
- [4] SOTERIS A. Kalogirou, Solar Thermal Collectors and Applications, Progress in Energy and Combustion Science 30 (2004) 231-295.
- [5] D. Mills, Advances in Solar Thermal Electricity Technology, Solar Energy 76(2004) 19-31.
- [6] HIROSHI Hasuike, Study on design of molten salt solar receivers for beam-down solar concentrator[J], Solar Energy, 2006, 80 (10): 1225-1262.
- [7] JRGEN Kleih, Dish-Stirling Test Facility, Solar Energy Materials 24(1991) 231-237.
- [8] ZHOU Xinpeng, Economic Analysis of Power Generation From Floating Solar Chimney Power Plant, Renewable and Sustainable Energy Reviews 13(2009) 736-749.
- [9] THEOCHARIS Tsoutsos, Technical and Economical Evaluation of Solar Thermal Power Generation, Renewable Energy 28 (2003) 873-886.
- [10] CHEN Deming, CHEN Gang, Solar Thermal Utilization—An Overview, WULI, 2007, 36(11), P840-847.
陈德明, 徐刚, 太阳能热利用技术概况, 物理, 2007, 36(11), P840-847.
- [11] Y.T. Chen, Report on The Second Prototype of Non-imaging Focusing Heliostat and Its Application in Food Processing, Solar Energy 79(2005) 280-289.