

文章编号: 0254-0096(2012)增刊-0047-10

太阳能利用技术及其应用

闫云飞^{1 2}, 张智恩^{1 2}, 张 力^{1 2}, 代长林²

(1. 低品位能源利用技术及系统教育部重点实验室(重庆大学), 重庆 400030; 2. 重庆大学动力工程学院, 重庆 400030)

摘 要: 结合太阳能利用技术及应用领域的最新进展, 介绍了太阳能资源的优缺点及其在中国的分布状况, 系统地综述了太阳能主要利用技术的研究进展和应用, 详细论述了太阳能在国内外的开发利用情况, 指出我国加快发展太阳能产业应采取的措施。

关键词: 太阳能; 光热利用; 光电利用; 应用

中图分类号: TK519 **文献标识码:** A

0 引 言

太阳能作为一种可再生的新能源, 具有清洁、环保、持续、长久等优势, 已成为应对能源短缺、气候变化与节能减排的重要选择之一, 其大规模利用可有效减少对化石能源的依赖, 其发展前景被各国看好。美国、欧盟和日本将太阳能等可再生能源作为 2030 年以后能源供应安全的重点, 如美国的“百万屋顶计划”, 德国的“千顶计划”与日本的“朝日七年计划”等。中国在《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》中, 也将新能源作为七大战略性新兴产业之一, 未来将重点发展核电、风电、太阳能和生物质能四大产业。从该规划和相关政策的导向来看, 中国“十二五”期间新能源产业将呈现出核电和风电平稳发展, 太阳能和生物质能迅猛发展的趋势。

联合国环境规划署 2008 年全球可持续能源投资趋势报告显示, 受高油价等因素影响, 2007 年全球新能源领域的投资比 2006 年猛增 60%, 达到 1484 亿美元, 其中太阳能投资增速最快, 增幅为 254%, 为 286 亿美元。2009 年, 哥本哈根世界气候大会增强了人们对环境问题的危机感, 使低碳经济与民用太阳能发电再次成为焦点。在世界能源结构转换中, 太阳能也处于突出位置。被誉为“世界太阳能之父”的诺贝尔环境奖获得者马丁·格林指出, 目前光伏太阳能在全世界能源结构中的比重只占 0.02%, 在未来 20 年, 很可能提升到 25%。美国的

马奇蒂博士对世界一次能源替代趋势的研究表明, 太阳能在 21 世纪初进入了一个快速发展阶段, 并在 2050 年左右达到 30%, 仅次于核能, 21 世纪末将取代核能跃居首位。因此, 太阳能的大力开发和利用将成为未来能源利用的主流。

1 太阳能资源的优势与不足

1.1 太阳能资源的优点

与常规能源相比, 太阳能资源的优点主要有:

1) 储量丰富。每年到达地球表面的太阳辐射能约为 130 亿 t 标准煤, 约为目前全球耗能总和的 2×10^4 倍。

2) 长久性。太阳辐射源源不断供给地球, 按目前太阳产生的核能速率估算, 氢储量可维持上百亿年, 而地球寿命约为几十亿年, 所以, 太阳能对人类来说是取之不尽的。

3) 普遍性。相对于其他能源来说, 太阳辐射能分布在地球上大部分地区, 可就地取用, 对解决偏远地区的供能问题有极大的优越性。

4) 洁净安全。太阳能素有“洁净能源”和“安全能源”之称。太阳能几乎不产生任何污染, 远比常规能源清洁, 也远比核能安全。

5) 经济性。太阳能的长期发电成本低, 是 21 世纪最清洁、最廉价的能源。

1.2 太阳能资源的不足

太阳能资源虽然具有常规能源无法比拟的优

收稿日期: 2012-08-07

基金项目: 重庆市自然科学基金重点项目(CSTC2009BA6067)

通讯作者: 闫云飞(1978—), 男, 博士、副教授, 主要从事催化燃烧、微能源动力系统、能源利用及转换、系统节能、多相流动与环境保护方面的研究。yunfeiyang@cqu.edu.cn

点,但也存在着固有的缺点和问题:

1) 分散性。虽然到达地球表面的太阳辐射能的总量很大,但能流密度却很低,地面处的能流密度仅约为 $0.5\text{kW}/\text{m}^2$ 。

2) 间断性和不稳定性。太阳辐射能不仅有随昼夜、季节、纬度和海拔等因素的规律性变化,还有受天气影响的随机性变化。

3) 效率低和成本高。虽然目前太阳能利用在某些方面理论上可行,技术也相对成熟,但其设备运行效率较低且成本偏高,所以经济性仍不能与常规能源相抗衡。

2 中国太阳能资源及其分布状况

中国太阳能资源分布有如下特点:太阳能的高、

低值中心都处在北纬 $22^\circ \sim 35^\circ$ 一带,高值中心在青藏高原,低值中心在四川盆地;西部年辐射总量高于东部,且除西藏、新疆外,基本上北部高于南部;因南方多数地区云雾雨多,在北纬 $30^\circ \sim 40^\circ$ 地区,太阳能随纬度增加而增长,与一般的太阳能随纬度变化的规律相反。全国各地太阳年辐射总量达 $3350 \sim 8370\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,太阳年辐射平均值为 $5860\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ ^[1]。按太阳能年辐射总量的大小,中国大致划分为五类地区,如表 1^[2]。

根据太阳能资源年总量的大小,可将全国划分为资源丰富带、资源较富带、资源一般带及资源贫乏带等四个带^[3]。由于太阳能资源受到气候环境条件的制约,其分布具有明显的地域性,但大部分地区仍有很大的可利用性^[4]。

表 1 中国太阳能资源及其分布状况

Table 1 Chinese solar energy resource and its distribution

区域划分	一类地区	二类地区	三类地区	四类地区	五类地区
年总辐射量 $/\text{MJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{a}^{-1}$	6700 ~ 8370	5860 ~ 6700	5020 ~ 5860	4190 ~ 5020	3350 ~ 4190
日照时间/ $\text{h} \cdot \text{a}^{-1}$	3200 ~ 3300	3000 ~ 3200	2200 ~ 3000	1400 ~ 2200	1000 ~ 1400
地域	青藏高原、甘肃北部、宁夏北部和新疆南部等地	河北西北部、山西北部、内蒙古南部、宁夏南部、甘肃中部和青海东部等地	山东、河南、河北东部、山西南部、吉林、辽宁、云南、陕西北部、广东南部、福建南部、江苏北部和安徽北部等地	长江中下游、福建、浙江和广东部分地区	四川、贵州两省
特点	太阳能资源最丰富的地区。特别是西藏,太阳辐射总量最高值达 $9210\text{MJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,仅次于撒哈拉大沙漠,居世界第二位	太阳能资源较丰富区	太阳能资源中等区,面积较大,具有利用太阳能的良好条件	春夏多阴雨,秋冬季太阳能资源还可以	太阳能资源最少的地区,仍有一定利用价值

3 太阳能利技术

单晶硅电池与选择性太阳吸收涂层两项技术的突破既是太阳能利用进入现代发展时期的划时代标志,也是人类能源利用技术又一次变革的基础。目前世界能源结构向高效、清洁、低碳或无碳的天然气、核能、太阳能、风能等方向转变,预计在 2050 年替换化石能源。欧洲联合研究中心对全球能源构成变化的预测见图 1^[5]。从图 1 中可知 2030 年后,光伏及太阳热能发电将得到快速发展,至 2050 年将约

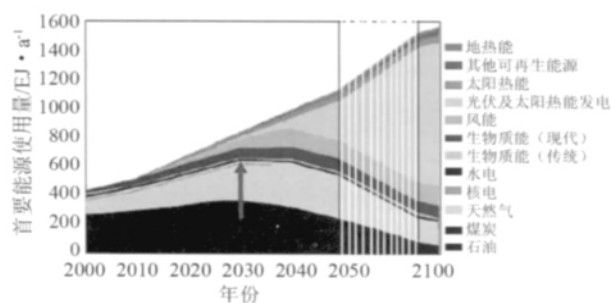


图 1 全球能源构成变化的预测

Fig. 1 The forecast of global energy constitution changes

占世界能源消费结构 30% 的比例,逐步取代传统能源。

东京、巴黎和伦敦等太阳能利用较好的城市,国内部分地区也多停留在对太阳能热水器的应用,而其他太阳能技术应用涉及较少。

表 2 为世界知名城市太阳能利用技术^[6]。对比

表 2 太阳能技术应用
Table 2 Solar technology applications

地区	年辐射总量 /MJ·m ⁻² ·a ⁻¹	太阳能应用实例	应用的太阳能技术
东京	4220	银座蒙特利酒店	建筑外遮阳技术
伦敦	3640	伦敦塔、“贝丁顿零能源发展”生态村	自然采光技术、太阳能光电技术、太阳能通风烟囱
巴黎	4013	信号塔	太阳能和风力发电
汉堡	3430	德国汉堡区域供暖项目	太阳能热水系统
莫斯科	3520	水晶岛	太阳能光电技术、太阳能通风降温技术

不同的太阳能利用方式,其原理也不尽相同,各具特点和适用范围。表 3 是不同太阳能利用方式的性能、应用范围等方面的比较。由表 3 可见,太阳能热利用的效率最低约为 30%,最高可达

80%;但太阳能照明和光伏发电的平均效率均未超过 30%,且初投资都较高,还会造成严重的环境污染。相对而言,太阳能热利用技术更为成熟,更具优势。

表 3 太阳能不同利用方式的性能和应用
Table 3 The performance and application of various solar energy utilization ways

	太阳能利用方式	平均效率/%	寿命/a	初投资	技术成熟性	环境友好性	应用范围
太阳能热利用	太阳能照明 ^[7]	10~30	20~30	高	高	高	照明
	太阳能热水器 ^[8]	40~65	5~15	中	高	高	热水
	太阳能采暖 ^[9]	22~35	15~20	中	中	高	供暖、热水
	太阳能制冷 ^[10]	35~40	10~15	高	中	中	空调制冷
	太阳能热泵 ^[11,12]	40~75	10~15	中	低	中	供暖、热水、制冷
	太阳能空气集热器 ^[13,14]	50~80	20~30	低	高	高	供暖、干燥、通风
	太阳能光伏发电 ^[15]	10~20	10~15	高	高	低	家庭用电、通信、交通等

3.1 太阳能热水器

太阳能热水器是把太阳能转化为热能并对水进行加热的装置,与燃气热水器、电热水器并称三大热水器。其结构简单、成本低、易推广,目前已成为一个成熟的行业。太阳能热水器在中国也得到了广泛应用。2000~2010 年的 10 年间,中国仅太阳能热水器累计节约 11295 万 t 标煤,折合累计减排 365.19 万 t SO₂、164.15 万 t NO_x、282.36 万 t 烟尘、24246.6 万 t CO₂ 温室气体,节能减排取得了显著效果。中国太阳能热水器的户用比例约为 8.7%,与日本的 20% 和以色列的 90% 相差甚远,市场仍需大力

开发。

3.2 太阳能建筑

太阳房概念与建筑结合形成了“太阳能建筑”技术领域,可节约 75%~90% 的能耗,具有良好的环境和经济效益。欧洲在太阳房技术和应用方面,特别是在玻璃涂层、窗技术、透明隔热材料等方面引领世界。中国太阳房开发利用始于 20 世纪 80 年代初,主要分布在河北、内蒙古、甘肃和西藏等的农村地区。目前还存在以下问题:1) 太阳房的设计与建筑并未真正结合成为建筑师的设计理念,没有相应的建筑规范和标准,制约了其发展进度;2) 透光隔

热材料、带涂层的控光玻璃和节能窗等相关技术还未实现商业化,也使太阳房应用受限。

直接利用太阳能供暖、制冷、采光系统的太阳能建筑模式也越来越普及,但多采用主动式太阳房,即阳光充足时不用其他动力,直接采暖,阴天或夜间启动辅助系统来保证室内有较稳定温度。图2是将太阳能集热装置和建筑构造完美结合的主、被动式太阳房,具有良好的节能效果和发展前景。被动式太阳房已开始由群体建筑向住宅小区发展,如甘肃临夏建成占地9.8万m²、建筑面积9.2万m²的太阳能小区等。目前,由于成本高,太阳能在制冷与空调上的应用仍处于示范阶段,但对于缺电地区,与建筑结合起来考虑,仍有很大市场潜力^[16~19]。Diaconu对低温能量存储的太阳能辅助空调系统进行了能量分析^[20]。



图2 主、被动式相结合的太阳房

Fig.2 Solar heating of building include active and passive solar energy utilization technologies

3.3 太阳能热发电

太阳能热发电是利用集热器将太阳能转换成热能并通过热力循环过程进行发电。世界上现有太阳能热发电系统大致分为槽式系统、塔式系统和碟式系统三类。

1) 槽式系统。利用槽式聚光镜将太阳光反射到镜面焦点处的集热管上,并将管内工质加热,产生高温蒸汽,驱动常规汽轮机发电。目前,槽式太阳能发电是商业化进展最快的技术之一,全球应用较广^[21]。从1985年开始,美国在加州Mojave沙漠上先后建成9个发电装置,总容量354MW。美国能源部2010年2月向美国Bright Source Energy公司提供13.7亿美元贷款,2013年将全面启动在Mojave沙漠建设400MW太阳能发电系统“Ivanpah”。

2) 塔式系统。利用一组独立跟踪太阳的定日镜,将太阳光聚集到中心接受高塔上,加热工质进而发电。1996年美国第二座太阳塔SolarTwo的发电运行,加速了30~200MW的塔式太阳能热发电系统的商业化进程。以色列Weizmannm科学研究所对塔式系统进行改进后使系统总发电效率达25%~28%。

3) 碟式系统。利用旋转抛物面反射镜将太阳光聚焦到焦点处放置的斯特林发电装置。其光学效率为三类系统中最高、启动损失小。美国热发电计划开发了25kW的碟式发电系统,适用于大规模的离网和并网应用,并于1997年开始运行。2010年中国科学院理化技术研究所研制了1kW碟式太阳能行波热声发电系统,利用碟式集热器收集太阳辐射热,通过高温热管换热器将热量传输到行波热声发动机热端,再驱动直线发电机发电。在3.5MPa下,以氦气为工质,加热温度为798℃时,输出电力255W,初步证实了系统的可行性^[22]。2011年浙江华仪康迪斯太阳能科技有限公司自主研发的国内首台10kW碟式太阳能聚光发电机系统样机投入试运行,填补了中国在太阳能聚光发电方面的空白。

截至2010年8月,全球太阳能光热发电站装机容量已建94.07万kW,在建215.44万kW,拟建1747.11万kW。国际能源署(IEA)和欧洲太阳能热发电协会(ESTIF)预测,2015年全球光热发电装机容量将达到1200万kW,2020年3000万kW,2025年6000万kW。图3为西班牙建造的太阳能高塔电站,其包括高塔、蓄热罐和涡轮发电机组等,于2011年7月完成试运行,成为世界首个全天候供电的商业化太阳能电站。与槽式聚光技术相比,该系统能产生更多的高温蒸汽,从而使发电效率大幅



图3 太阳能高塔电站全景

Fig.3 Solar power tower panoramic view

度提升。与晶硅太阳能发电系统相比,其特点在于储能更容易,可实现 24h 不间断发电。此外,该系统能与传统涡轮发电机电站实现无缝结合,改造成本较低。澳大利亚一座规模庞大的太阳能高塔塔高 1000m,底部集热区直径达 7000m,装机容量达到 200MW,可供 20 万户家庭使用。就太阳能资源来说,干旱的荒漠地区往往储量更为丰富,云汽量很少,晴天比例高,可大力发展尤其是太阳能高塔这样的全天候发电站。

太阳能烟囱是非聚光型太阳能热发电的一种发电方式^[23]。该系统主要由太阳能集热棚、太阳能烟囱和涡轮发电机组 3 部分所构成。其原理是利用太阳能集热器热棚加热空气及烟囱产生上曳气流效应,驱动空气涡轮发电机发电。Pasumarthi N 等^[24]证明了太阳能烟囱发电技术的可行性,提出一种评估热气流温度对电力输出影响的数学模型,并研究了烟囱高度、集热棚半径对热气流温度和速度的影响。自日本福岛核危机爆发后,全球反核能声音再起,可再生能源更加受到重视。2011 年澳洲一家能源公司筹资 7.5 亿美元在美国西南部建一个高约 800m 的烟囱型太阳能塔,其高度仅次于全球最高楼——迪拜哈利发塔(约 828m),预计 2015 年初竣工,可供 20 万户使用,也是全球首座以烟囱吸收太阳能的设施。

3.4 太阳能光伏发电

太阳能光伏发电是利用太阳能电池将太阳能直接转变为电能。光伏发电系统主要由光伏电池板、控制器和逆变器 3 大部分组成。2007 年全球光伏组件及系统新增装机容量 2249MW,同比增长 40.74%。截至 2010 年底,全球光伏发电装机容量达到 3952.9 万 kW,欧洲光伏产业协会(EPIA)预测到 2015 年全球光伏发电装机容量将达到 1.31 ~ 1.96 亿 kW。中国光伏设备产能仅次于日本和德国,居全球第三,但 90% 以上销往国外,呈现出产业与市场倒挂现象。2007 年以来,中国光伏产业呈现爆发式增长,2008 年太阳能电池产量占世界产量的 31%,居世界首位。根据中国《可再生能源中长期发展规划》,到 2020 年中国光伏发电累计装机将达 1.8GW,到 2050 年达到 600GW。

中国学者^[25,26]对比了几种太阳能光伏发电方案,并研究了光伏发电系统孤岛运行状态时的故障

特性。美国国家可再生能源实验室研究表明采用太阳能涂料(硅墨水)技术的太阳电池可将 18% 的太阳能转换为电能。英国南安普敦大学的研究人员模拟植物的光合作用制出的光伏装置,可更高效地将光能转换为电能。此外,格伦桑能源科技有限公司(GreenSun)也研制出一种包含各种色彩的太阳电池板,不用直接对准太阳也能收集太阳能。

3.5 太阳能光化学转换

太阳能光化学转换是将太阳光能转换为化学能。生物质能也是太阳能以化学能形式贮存于生物中的一种能量形式,直接或间接地来源于植物的光合作用。地球上每年经光合作用产物所蕴含的能量相当于全世界能耗总量的 10 ~ 20 倍,但目前利用率不到 3%。为研究中低温太阳能品位提升的能量转化机理,金红光等^[27,28]研制了 5kW 太阳能热化学反应实验装置,并进行了太阳能热解甲醇的实验。

图 4 为太阳能甲烷裂解制氢的原理图。甲烷气体先经换热器预热后和一部分再循环氢气进入位于吸热塔顶部的吸收/反应器,反应器接收定日镜场反射的太阳能,使甲烷发生裂解制氢反应。该装置的优点在于制取高纯度氢气的同时,获得了易储存的固体碳,且无 CO₂ 排放,进一步提高了太阳能的品位,为太阳能的存储和运输提供了可能性。麻省理工大学 Daniel Nocera 教授利用太阳光分解水,产生多功能、易储存的氢燃料,并创立公司为“水分解”和太阳能存储技术进行商业推广。

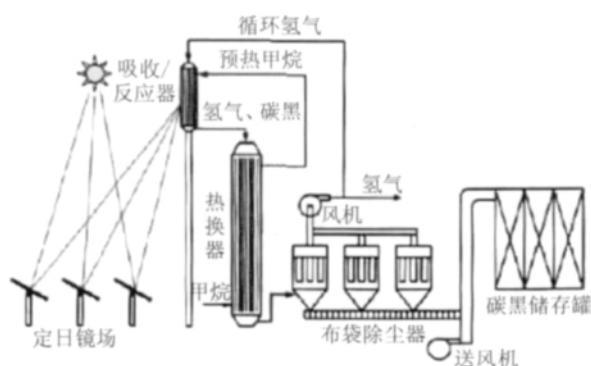


图 4 太阳能甲烷裂解制氢

Fig. 4 Hydrogen production by methane cracking driven by solar energy

3.6 太阳灶

太阳灶是利用太阳辐射能,直接转换成供人们

炊事使用的热能,以代替一般炉灶,是一种很有前景的太阳能应用技术。无需燃料、无污染,正常使用时比蜂窝煤炉还要快、与煤气灶速度基本一致。中国是太阳灶的最大生产国,主要应用在甘肃、青海、西藏等边远地区,每个太阳灶每年可节约 300kg 标煤^[29]。

4 国内外太阳能开发利用情况

4.1 美国

尽管经济不景气,美国太阳能利用技术仍在快速发展。至 2010 年底,美国光伏发电装机容量为 252.8 万 kW,EPRI 预测到 2015 年将达到 2200 ~ 3150 万 kW。美国建筑用能约占全国总能耗的 40%,对经济发展形成了一定的制约作用。为减少能耗,降低污染,调整能源结构,实现环境的可持续发展,美国对太阳能的利用技术及应用作了积极的探索,其中“百万太阳能屋顶计划”正是一项由政府倡导、发展的中长期计划。最近,美国科学家把目光投向了太空,设想通过向太空发射带有能量收集装置的卫星,安装在巨型卫星上的太阳能电池可收集太空能量,并将其转换为微波传回地球,再转为直流电,从而提供“廉价、清洁、安全、可靠、可持续”的新能源。同时利用太阳能进行海水脱盐的研究也得到了关注^[30~32]。

4.2 中国

中国高度重视可再生能源发展,1983 ~ 1987 年先后从美国、加拿大等国引进 77 条太阳能电池生产线,并制定了一系列支持可再生能源产业发展的政策。在“光明工程”和“送电到乡”工程等国家项目及世界光伏市场的有力拉动下,中国光伏发电产业迅猛发展。太阳能电池主要应用于边远偏僻的无电地区,年发电量约 1.1MW。家用光伏电源在青海、新疆、西藏以及辽宁、河北、四川等地广泛应用。中国太阳能热水器产业化体系已较完整,2009 年“太阳能热水器下乡”标志着国家认可该项技术,2010 年国内太阳能热水器年产 4900 万 m²,约占世界年产量的 80%。但从建筑房屋的安装率来说,以色列已达 90%,澳大利亚为 30%,日本为 20%,而中国仅为 8.7%,仍需不断推广与应用。陈子乾等^[33,34]利用太阳能为海水淡化装置提供热能。崔映红等^[35,36]对太阳能与燃煤耦合发电的性能进行了研

究,提出几种太阳能与燃煤机组集成发电方案。

中国也重视太阳能建筑的发展^[37,38]。中国的第一幢被动式太阳房是 1977 年在甘肃省民勤县建成的由直接受益窗和集热墙两种形式结合而成的组合式太阳房。中国首座全太阳能建筑已在北京建成,占地 8000m²,主体建筑室内的洗浴、供热、供电等所有能源均来自太阳能。2011 年 3 月,住建部、财政部发布的《关于进一步推进可再生能源建筑应用的通知》中明确指出,到 2020 年实现可再生能源在建筑领域消费比例占建筑能耗的 15% 以上。中国科学院已启动实施太阳能行动计划,以 2050 年太阳能作为重要能源为远景目标,并确定了三个阶段目标:2015 年分布式利用、2025 年替代利用、2035 年规模利用。因此,中国的太阳能技术及应用必将迅猛发展。

4.3 日本

日本因能源稀缺,多年来一直注重太阳能等新能源的开发,通过推行可再生能源配额法和实行强补贴等政策,日本已成为世界光伏发电的先导,近年来日本居民光伏屋顶系统年增长率高达 96.7%。2003 年日本光伏发电装机容量为 88.7 万 kW,2010 年为 362.2 万 kW,预计 2020 年将达到 2800 万 kW,2050 年达到 5300 万 kW。日本政府耗资数百亿美元的空间太阳能系统计划,推测到 2030 年,将在宇宙中收集太阳能,然后以微波或激光束的形式传回地球。

4.4 德国

德国光伏发电处于领先地位,占据了超过全球 1/3 的太阳能光伏发电装机容量,成为世界太阳能应用第一大国。2007 年,德国太阳能发电已占整个发电行业的 14.2%。至 2010 年底,德国光伏发电装机容量已达到 1719.3 万 kW,2020 年将达 5100 万 kW。目前德国已形成完善的光伏产业链,制造了全球约 25% 的太阳电池板和 40% 的太阳能转换整流器。在光热发电方面,成立了德国航天航空研究中心太阳能实验室,短期目标是技术支持欧洲第一座光热电站项目的开发,中期致力于降低光热电站的成本,长期目标是研究以化学方式储存太阳能。

4.5 法国

2009 年法国已成为世界第七大太阳能发电国。2008 年,世界上第一座能“追踪”太阳的太阳能电站

在法国马帝亚克小城正式投运,其光电接收转换装置的面积达 3500m²,转换效率提高了 20%~40%。法国国家实用技术研究所研发了一种可供太阳能热水器使用的建筑外墙玻璃,符合建筑节能要求,综合成本低于普通太阳能热水器。

4.6 西班牙

西班牙在太阳能发电领域位居世界前列,是全球增长最快的光伏国家之一,2010年底光伏发电装机容量为 378.4 万 kW,预计 2020 年将达到 870 万 kW。西班牙不仅拥有先进的光伏电池和太阳能板制造基地,还拥有换流器及太阳能发电设备部件的生产基地。西班牙光热发电技术也处于全球领先地位,至 2010 年 8 月,已建光热电站装机容量为 48.24 万 kW,在建 164.30 万 kW,拟建 108.01 万 kW。西班牙强制安装太阳能热水器政策经历了从地方法令到国家法令阶段。1999 年,巴塞罗那实行太阳能城市法令,显著的效果使欧洲众多城市纷纷效仿。2004 年实施“皇家太阳能计划”,2006 年颁布法令要求所有新建房屋必须安装太阳能热水器。

4.7 以色列

由于日照充足、太阳能资源丰富,以色列高度重视太阳能利用技术与开发,同时也重视国际间的密切合作。以色列南部内盖夫沙漠中在建的占地 1000 英亩、发电功率 50 万 kW 的世界最大的太阳能发电厂,一期发电能力将达 10 万 kW,2012 年完工时达到 50 万 kW,发电量约占全国电力生产的 5%。以色列于 1980 年颁布强制安装太阳能热水器的法令,也是实施强制法令最早的国家。目前以色列住宅楼太阳能集热器安装率超过 90%。

4.8 其他国家

印度作为世界上最大的太阳电池模板制造国之一,光伏太阳能利用总容量约 29MW,2009 年制定了耗资 700 亿美元的国家太阳能计划,预计 2013 年达成 1300MW_p 装机目标,2017 年再新增 10GW_p,2022 年前达到 20GW_p。丹麦自 1987 年以来,太阳能加热装置数量逐年递增。意大利开展了使建筑物日光照明最佳化的研究,如改进控制系统,调节自然和人工光源,改进窗和遮光装置的性能和效率等措施。澳大利亚拟计划投资 14 亿澳元(合 10.5 亿美元)建全球最大太阳能发电厂,应对全球气温上升问题,预计 2015 年建成。南太平洋的所罗门群岛安

装了世界上第一台太阳能自动取款机。

5 结论与展望

在当前常规能源日趋枯竭、环境日趋恶化的背景下,太阳能技术的开发及应用无疑具有重大战略意义。近几年在全球变暖、哥本哈根会议、低碳经济等的推动下,使得太阳能等新能源的开发利用备受关注。为应对全球气候变化,中国政府已承诺到 2020 年单位国内生产总值二氧化碳排放要比 2005 年下降 40%~45%,新能源约占一次能源消费比重的 15%。纵观世界及中国对太阳能的开发和利用,为促进太阳能产业的高效发展,应从以下几方面采取相应措施:

1) 太阳能热利用技术相对更为成熟,应以太阳能热利用为主,光伏为辅的策略推广太阳能利用市场。适度降低太阳能热水器、太阳灶、太阳能空调、太阳能路灯等太阳能产品的价格,不断开发新产品,实现产业升级换代,并促进太阳能与建筑的结合。

2) 加大科技投入与攻关,培养研发人才,围绕太阳能利用关键技术、绿色生产工艺、系统集成技术等重要问题层层攻关,形成具有自主知识产权的太阳能利用核心技术,增强竞争力。

3) 大力发展中、低温太阳能集热器,努力研发高温太阳能集热器;促进太阳能能源的综合梯级利用,提升太阳能能源品位;加强太阳能和其它能源系统互补的综合利用研究。

4) 健全太阳能资源利用相关法规,加强可再生能源领域的国际合作。从国外经验来看,太阳能行业的发展离不开政策支持,特别是在发展初期政府提供的法律约束、电价补贴、财政资助等保障措施和激励政策,极大推动了其规模化发展。作为发展中国家,我国太阳能利用行业总体还处于起步阶段,而太阳能发电成本也远远高于传统方式发电的成本,市场竞争力弱,且能源消费总量将进一步增加。因此,为实现可再生能源发展和节能减排目标,我国必须加快开发利用太阳能等新能源技术,学习和借鉴国外的成功经验,强化中国可再生能源法规及制度体系,促进太阳能利用行业的发展。

5) 加快太阳能相关产业链的发展。太阳能产业的发展必然会涉及到电网、建筑、物管等相关产业。目前我国缺乏太阳能产业与其相关产业的统筹安排与规划,相关产业链发展滞后,导致我国虽

然有强大的生产能力,但约有 90% 的产品却只能销售到国外市场,急需尽快引导相关产业链的形成,拓宽国内市场,使太阳能真正成为中国重要的新能源之一。

[参考文献]

- [1] 李 柯,何凡能. 中国陆地太阳能资源开发潜力区域分析[J]. 地理科学进展, 2010, 29(9): 1049—1054.
- [1] Li Ke, He Fanneng. Analysis on mainland China's solar energy distribution and potential to utilize solar energy as an alternative energy source [J]. Progress in Geography, 2009, 29(9): 1049—1054.
- [2] 王 峥,任 毅. 我国太阳能资源的利用现状与产业发展[J]. 资源与产业, 2010, 12(2): 89—92.
- [2] Wang Zheng, Ren Yi. Utilization and development of solar energy industry in China [J]. Resources & Industries, 2010, 12(2): 89—92.
- [3] 喜文华,魏一康,张兰英. 太阳能实用工程技术[M]. 兰州: 兰州大学出版社, 2001.
- [4] 王炳忠. 中国太阳能资源利用区划[J]. 太阳能学报, 1983, 4(3): 221—228.
- [4] Wang Bingzhong. Solar energy resource division in China [J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 1983, 4(3): 221—228.
- [5] 胡志鹏. 国内外能源结构的变化及替代能源的发展前景[J]. 电器工业, 2008, (10): 29—38.
- [5] Hu Zhipeng. Energy structure variation and alternative energy development prospect at home and abroad [J]. China Electrical Equipment Industry, 2008, (10): 29—38.
- [6] 丁 勇,连大旗,李百战. 重庆地区太阳能资源的建筑应用潜力分析[J]. 太阳能学报, 2011, 32(2): 165—170.
- [6] Ding Yong, Lian Daqi, Li Baizhan. Potential analysis of architectural application of solar energy resource in Chongqing [J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2011, 32(2): 165—170.
- [7] 王 凡,龙惟定. 太阳能光导管采光技术应用现状和发展前景[J]. 建筑科学, 2008, 24(8): 109—113.
- [7] Wang Fan, Long Weiding. Application status and development prospect of solar lighting vessel technology [J]. Building Science, 2008, 24(8): 109—113.
- [8] 陈晓明,罗清海,张 锦,等. 太阳能热水器与居住建筑热水节能[J]. 煤气与热力, 2010, 30(2): 17—21.
- [8] Chen Xiaoming, Luo Qinghai, Zhang Jin, et al. Solar water heater and hot water energy-saving in residential building [J]. Gas & Heat, 2010, 30(2): 17—21.
- [9] 赵学君,刘喜星. 太阳能采暖促进建筑节能的发展[J]. 中国资源综合利用, 2009, 27(12): 46—47.
- [9] Zhao Xuejun, Liu Xixing. Solar heating promotes the development of building energy efficiency [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2009, 27(12): 46—47.
- [10] 罗运俊,何梓年,王长贵. 太阳能利用技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [11] 卜其辉,秦 红,梁振南,等. 直膨式太阳能热泵系统特性分析及优化[J]. 广东工业大学学报, 2010, 27(2): 61—64.
- [11] Bu Qihui, Qin Hong, Liang Zhennan, et al. Characteristic analysis and optimization of direct-expansion solar-assisted heat pump system [J]. China Resources Comprehensive Utilization, 2010, 27(2): 61—64.
- [12] 杨婷婷,方贤德. 直膨式太阳能热泵热水器及其热经济性分析[J]. 可再生能源, 2008, 26(4): 78—81.
- [12] Yang Tingting, Fang Xiande. Direct-expansion solar-assisted heat pump water heater and the thermal economic analysis [J]. Renewable Energy Resources, 2008, 26(4): 78—81.
- [13] 王崇杰,管振忠,薛一冰,等. 渗透型太阳能空气集热器集热效率研究[J]. 太阳能学报, 2008, 29(1): 35—39.
- [13] Wang Chongjie, Guan Zhenzhong, Xue Yibing, et al. Simulation study on unglazed transpired solar air collector [J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2008, 29(1): 35—39.
- [14] 张东峰,陈晓峰. 高效太阳能空气集热器的研究[J]. 太阳能学报, 2009, 30(1): 61—63.
- [14] Zhang Dongfeng, Chen Xiaofeng. Study on solar high efficient air collector [J]. Acta Energetica Solaris Sinica, 2009, 30(1): 61—63.
- [15] 徐 伟,郑瑞澄. 中国太阳能建筑应用发展研究报告[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2009.
- [16] Vidal H, Colle S. Simulation and economic optimization of a solar assisted combined ejector-vapor compression cycle for cooling applications [J]. Applied Thermal Engineering, 2010, 30(5): 478—486.
- [17] Abdel D A M. Experimental and numerical performance of a multi-effect condensation vaporation solar water distillation system [J]. Energy, 2006, 31(14): 2710—2727.
- [18] Tyagi V V, Buddhi D. PCM thermal storage in buildings.

- a state of art [J]. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2007, 11(6): 1146—1166.
- [19] Pollerberg C, Heinzl A, Weidner A. Model of a solar driven steam jet ejector chiller and investigation of its dynamic operational behaviour [J]. *Solar Energy*, 2009, 83(5): 732—742.
- [20] Diaconu B M. Energy analysis of a solar-assisted ejector cycle air conditioning system with low temperature thermal energy storage [J]. *Renewable Energy*, 2012, 37(1): 266—276.
- [21] 钱伯章. 太阳能技术与应用 [M]. 北京: 科学出版社, 2010.
- [22] 吴张华, 罗二仓, 李海冰, 等. 1kW 碟式太阳能行波热声发电系统的研制 [A]. 2010 年中国特种发动机工程及应用学术会议论文集 [C], 上海 2010 29—34.
- [23] 左 璐, 郑 源, 周建华, 等. 太阳能烟囱发电技术研究进展 [J]. *河海大学学报(自然科学版)*, 2009, 37(1): 41—74.
- [23] Zuo Lu, Zheng Yuan, Zhou Jianhua, et al. Progress of solar chimney power generation technology [J]. *Journal of Hohai University (Natural Sciences)*, 2009, 37(1): 41—74.
- [24] Pasumarthi N, Sherif S A. Experimental and theoretical performance of a demonstration solar chimney model-Part II: Experimental and theoretical results and economic analysis [J]. *International Journal of Energy Research*, 1998, 22(5): 443—461.
- [25] 陈则韶, 莫松平, 胡 芑, 等. 几种太阳能光伏发电方案的热力分析与比较 [J]. *工程热物理学报*, 2009, 30(5): 725—730.
- [25] Chen Zeshao, Mo Songping, Hu Peng, et al. Thermodynamic analysis and comparison of several solar photovoltaic power generation schemes [J]. *Journal of Engineering Thermophysics*, 2009, 30(5): 725—30.
- [26] 李盛伟, 李永丽, 孙景钉, 等. 光伏发电系统孤岛运行状态的故障特性分析 [J]. *天津大学学报*, 2011, 44(5): 401—405.
- [26] Li Shengwei, Li Yongli, Sun Jingjiao, et al. Fault characteristic analysis of photovoltaic power system islanding operation [J]. *Journal of Tianjin University*, 2011, 44(5): 401—405.
- [27] Jin H, Sui J, Hong H, et al. Prototype of solar receiver/reactor with parabolic troughs [J]. *Journal of Solar Energy Engineering*, 2007, 129(4): 378—381.
- [28] Liu Q, Hong H, Yuan J, et al. Experimental investigation of hydrogen production integrated methanol steam reforming with middle-temperature solar thermal energy [A]. *Proceedings of the 3rd International Green Energy Conference [C]*, Vasteras, 2007, 220—230.
- [29] 冯 飞, 张 蕾. 新能源技术与应用概论 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2011.
- [30] Gude V G, Khandan N N. Sustainable desalination using solar energy [J]. *Energy Convers Manage*, 2010, 51(11): 2245—2251.
- [31] Gude V G, Khandan N N, Deng S. Desalination using solar energy: Towards sustainability [J]. *Energy*, 2011, 36(1): 78—85.
- [32] Gude V G, Khandan N N, Deng S, et al. Low temperature desalination using solar collectors augmented by thermal energy storage [J]. *Applied Energy*, 2012, 91(1): 466—474.
- [33] 陈子乾, 郑宏飞, 何开岩, 等. 一种新型多效内回热式太阳能海水淡化装置 [J]. *北京理工大学学报*, 2005, 25(9): 761—764.
- [33] Chen Ziqian, Zheng Hongfei, He Kaiyan, et al. A study on a multi-effect internal regeneration type solar desalination unit [J]. *Journal of Beijing Institute of Technology*, 2005, 25(9): 761—764.
- [34] 陈子乾, 郑宏飞, 马朝臣, 等. 低温多效太阳能海水淡化装置最优集热系统的匹配研究 [J]. *太阳能学报*, 2008, 29(6): 672—677.
- [34] Chen Ziqian, Zheng Hongfei, Ma Chaochen, et al. Study on the optimal parameters for the solar heating system for a low-temperature multi-effect solar desalination unit [J]. *Acta Energetica Solaris Sinica*, 2008, 29(6): 672—677.
- [35] 崔映红, 陈 娟, 杨 阳, 等. 太阳能辅助燃煤热发电系统性能研究 [J]. *中国电机工程学报*, 2009, 29(23): 92—98.
- [35] Cui Yinghong, Chen Juan, Yang Yang, et al. Performance research of hybrid system integrated cogeneration with solar heating system [J]. *Proceedings of the Chinese Society for Electrical Engineering*, 2009, 29(23): 92—98.
- [36] 崔映红, 杨勇平, 张明智. 太阳能-煤炭互补的发电系统与互补方式 [J]. *中国电机工程学报*, 2008, 28(5): 102—107.
- [36] Cui Yinghong, Yang Yongping, Zhang Mingzhi. Solar-coal complementary electric generation system and its modes [J]. *Proceedings of the Chinese society for electrical engineering*, 2008, 28(5): 102—107.
- [37] 欧阳莉, 刘 伟. 多孔蓄热墙太阳能采暖系统优化设计 [J]. *工程热物理学报*, 2010, 31(8): 1367—1370.

- [37] Ouyang Li , Liu Wei. Optimal design of the solar heating system with porous heat-storage wall [J]. *Journal of Engineering Thermophysics* , 2010 , 31(8) : 1367—1370.
- [38] 季 杰 , 罗成龙 , 孙 炜 , 等 . 一种新型的与建筑一体化太阳能双效集热器系统的实验研究 [J]. *太阳能学报* , 2011 , 32(2) : 149—153.
- [38] Ji Jie , Luo Chenglong , Sun Wei , et al. Experimental study on a dual-functional solar collector integrated with building [J]. *Acta Energetica Sinica* , 2011 , 32 (2) : 149—153.

APPLICATION AND UTILIZATION TECHNOLOGY OF SOLAR ENERGY

Yan Yunfei^{1 2} , Zhang Zhien^{1 2} , Zhang Li^{1 2} , Dai Changlin²

(1. *Key Laboratory of Low-grade Energy Utilization Technologies and Systems (Chongqing University) , Ministry of Education , Chongqing 400030 , China*; 2. *College of Power Engineering , Chongqing University , Chongqing 400030 , China*)

Abstract: Based on the latest developments in the solar energy utilization technology and application fields , the advantages and disadvantages and distribution in China of solar energy resource were summarized. The progress and application of main utilization techniques of solar energy were reviewed. The application and development of solar energy in the worlds were described. Additionally , the proposals on accelerating development of solar energy industry in China were given.

Keywords: solar energy; photo-thermal utilization; photovoltaic utilization; application