

中国太阳能利用技术发展概况及趋势

路绍琰, 吴丹, 马来波, 高春娟, 王亮, 张辉, 张琦

自然资源部天津海水淡化与综合利用研究所, 天津 300192

摘要 对中国太阳能的资源条件和产业特点分析的基础上, 研究了太阳能光热、光伏发电的关键技术、核心装备和市场现状, 指出了太阳能建筑一体化、多能互补等将是太阳能利用技术发展的未来趋势。

关键词 光热利用; 光伏发电; 太阳能建筑一体化

1 中国太阳能资源及产业发展概况

1.1 太阳能资源状况

中国陆地上每年接收的太阳能辐射总量为 3300~8400 MJ/m², 相当于燃烧 2.4×10⁴ 亿 t 标准煤所释放的能量。依据中国划分太阳能光照条件的标准, 在不同等级的 5 类地区中, 前 3 类地区占中国国土面积的 2/3 以上, 年日照时数超过 2000 h, 太阳能辐射量在 5000 MJ/(m²·a) 以上。其中, 西藏、青海、新疆、甘肃、宁夏、内蒙古等地区的总辐射量和日照时数均为全国最高, 属太阳能资源丰富地区; 除四川盆地、贵州省太阳能资源稍差外, 中国东部、南部及东北等地区均属于太阳能资源较丰富和中等区^[1-2]。

相比之下, 欧洲、日本等多数地区的年辐射总量仅相当于中国的 3 类及以下水平, 表 1 显示了欧洲部分城市的太阳能年辐射总量^[3]。虽然上述地区的太阳能资源条件有限, 但却是世界上太阳能技术应用最为普及、技术最为先进的地区。通过与国际

表 1 欧洲部分城市的太阳能年辐射总量

城市	年辐射总量/(MJ/m ²)
斯德哥尔摩	3553
维也纳	3887
雅典	5810
汉堡	3428
巴黎	4013
威尼斯	4807
里斯本	6897

收稿日期: 2020-03-04; 修回日期: 2021-01-05

基金项目: 国家重点研发计划项目(2018YFE0196000); 海口市海洋经济创新发展示范城市产业链协同创新类项目(HHCL201810); 中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金项目(K-JBYWF-2017-T06, K-JBYWF-2019-18)

作者简介: 路绍琰, 工程师, 研究方向为现海水化学资源利用, 电子邮箱: y4771558@163.com

引用格式: 路绍琰, 吴丹, 马来波, 等. 中国太阳能利用技术发展概况及趋势[J]. 科技导报, 2021, 39(19): 66-73; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2021.19.008

间的横向比较可以看出,中国太阳能资源条件良好,拥有发展太阳能利用产业的自然优势,但其技术亟待发展,推广应用潜力巨大。

1.2 太阳能利用产业发展概况

中国太阳能利用产业在历经多年的发展后正在从太阳能利用的出产和消费大国向创造强国迈进。太阳能光热设备的产量多年来保持世界第一,2018年在能源生产中已替代了约9000万t标准煤。光伏电池中的多晶硅材料已实现了大幅度的国产化和规模化,生产光伏电池的成本显著下降,光伏发电具备了大规模应用的市场条件。随着《可再生能源法》、“太阳能屋顶”“金太阳示范工程”等一系列优惠政策的颁布和实施,太阳能利用产业的健康发展得到了有效保障和积极推动,从事太阳能利用的企业已有几千家,技术服务日趋完善,品牌竞争日益激烈。此外,中国的太阳能利用产业也已形成了良好的投资机制,国外太阳能高科技公司纷纷落户中国,在全国各城市成功承建了多项太阳能利用的重大工程。

2 光热利用技术

2.1 太阳能光热利用现状

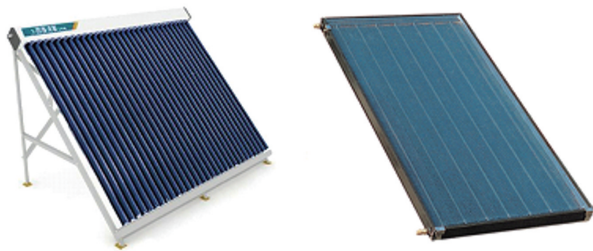
太阳能热水器是太阳能光热利用技术最成熟、应用最广泛、产业化发展最快的领域之一。截至2016年,中国太阳能热水器的年产量和保有量均居世界首位,其年产量已达1.1亿 m^2 ,保有量已达6.135亿 m^2 ,然而,由于中国的人口数量众多,人均太阳能集热面积与太阳能技术先进国家相比,该数值仍然较小。

中国自从在2005年“新农村建设”和2009年“太阳能热水器下乡”等一系列优惠政策出台后,在农村地区太阳能光热利用技术得到了普及和推广,并已超过了城市太阳能热水器的使用量。据相关部门预测,至2020年中国农村乡镇地区的太阳能热水器使用量将占全国总量的60%以上,太阳能光热利用市场在未来几年中仍将保持着“农村包围城市”的局面。然而,在太阳能光热利用给广大农村居民带来便利和实惠的同时,从另一方面也必须看

到,中国农村地区所使用的太阳能集热技术还较为落后,光热收集和转换效率不高,产品质量参差不齐。部分厂商为了追求价格低廉,产品性能参数不符合相关国家标准的规定,其安全性、可靠性、耐久性得不到保证,产品质量和技术水平还有待提高^[4]。

2.2 太阳能低温集热技术

太阳能热水系统中的核心部件——集热器主要包括真空管式和平板式两种形式,如图1所示。玻璃真空管式集热器的耐压能力一般小于0.1 MPa,单位采光面积相对较少,设备可靠性较差,容易出现漏水、破碎、爆管等现象;但由于热水在真空条件下循环,因此传热损失小,热能利用率高,在冬季具有较好的抗冻性能;该产品的技术成熟度高,市场价格相对较高。相比之下,平板型集热器的运行压力可在0.6 MPa以上,单位采光面积相对较大,设备可靠性高,构件模块化程度高,但其热损失较大,在冬季的抗冻性能较差,市场价格也相对较低。



(a) 真空管式集热器

(b) 平板式集热器

图1 太阳能热水系统集热器

从市场情况来看,玻璃真空管集热器占据了我国太阳能热水器市场的主导地位,尤其是在多风沙、冬季严寒的北方,其具有更好的环境适应性。而平板型集热器由于构件易于模块化、可靠程度高、安装便捷、可与储热系统分离等技术特点,因此其非常适宜作太阳能建筑一体化的功能建材,与建筑整体完美融合,其在欧美等发达国家已得到了广泛地采用。近年来,随着中国对城市建筑规划和环境美化意识的增强,国内生产平板型集热器的厂商也在逐渐增多,其市场份额出现逐年上升的趋势,在中国南方很多城市已得到推广和使用,太阳能集热器“南板北管”的格局正在逐渐形成^[4]。

除上述集热器外,低温集热还可利用太阳池实现。太阳池是一个垂直深度方向含盐量具有一定梯度的盐水池,可形成一定厚度的非对流层,太阳的可见光和紫外线部分辐射能量被池底部浓盐水吸收。由于非对流层的存在,太阳能被底部浓盐水吸收并集热储存,太阳池底部温度一般可介于70~100℃。中国对太阳池技术的研究始于20世纪80年代,与国外相比起步较晚。目前,国内太阳池技术还主要处于实验室研发阶段,主要开展了太阳池形成机理及模拟计算、太阳池的热量存储和应用、不同工质对太阳池的稳定系数、最佳运行温度等方面的研究。自然资源部天津海水淡化与综合利用研究所^[5]提出以不同浓度的卤水为工质,采用三层灌注法建立室外小型太阳池,通过盐度分布、温度分布等参数变化开展了太阳池的稳定运行及蓄热试验研究。研究表明,浓度梯度的变化将对太阳池的吸热和储热产生较大影响,随着运行时间的增加,太阳池的下对流层温度高于非对流层温度。

2.3 太阳能中高温集热技术

为了提高太阳能光热利用的效率和经济性,其根本途径在于提高太阳能的集热温度,提升收集后热能的品位,从而增加热能转化利用的效率,因此太阳能中高温集热技术是太阳能光热利用产业发展的重要组成部分。若将太阳能中高温集热用于发电,其太阳能利用效率与光伏发电系统相近,但由于系统采用了高效的集热器,在相同发电规模下系统的占地面积相对更少,并且产生的热能更便于储存管理,从而可保证电站输出功率更加平稳,输电品质更高。此外,中高温集热发电的独特优势还在于冬季期可将发电后的余热用于居民供暖,从而进一步提高太阳能利用的综合效率和经济性。

太阳能中高温集热技术关键在于如何设计和制造高效可靠的集热器,国际上普遍采用的集热器包括槽式集热器、蝶式集热器、塔式集热器以及菲涅尔透镜聚光集热器(图2^[6-7])。

其技术难点主要集中在以下2个方面。

1) 集热器表面的吸热涂层。

中高温集热器要获得高集热效率,首先要选用对光谱选择性好的耐高温吸热涂层材料,使其保持

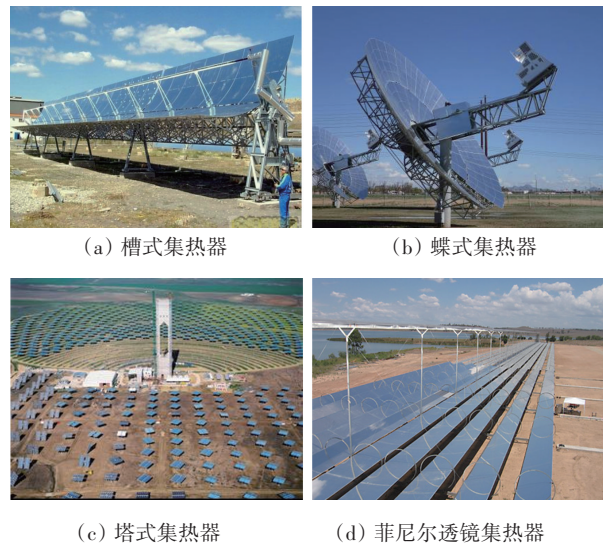


图2 太阳能中高温集热器

对不同波长光波的高吸收率(0.3~2.5 μm)和低发射率(2.5~30 μm),同时保证其在400~600℃的高温下具有良好的热稳定性,防止材料发生单晶氧化、晶粒长大和相分离扩散等现象^[5]。集热管基体材质一般选用不锈钢、碳钢等金属材料。由于吸热涂层对基体表面的微观结构具有很强的敏感性,因此对于基体表面的加工处理和涂覆工艺都需要进行严格控制,以保证涂层厚度均匀,吸热面温度一致。

2) 集热金属管与真空玻璃间的密封连接。

集热金属管与真空玻璃管间的密封连接是保障设备可靠运行的关键因素(图3)。由于金属管与玻璃管在真空条件下的膨胀系数差距较大,导致金属管与玻璃管间密封困难。在密封连接时需要严格保证波形膨胀节在高温下的强度和刚度能与玻璃管相匹配,以及解决内外管工作时因温差而引起的失效(开裂)问题^[5]。此外,集热管在使用过程

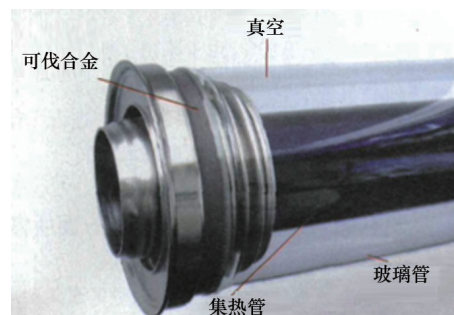


图3 中高温真空集热管

中还要承受内外层的轴向刚度和强度,因此连接处的机械性能必须满足循环工质的工况参数,保证集热管工作运行的可靠性。

3 光伏发电技术

3.1 太阳能光伏发电技术现状

在中国政府出台的一系列政策法规的推动下,国内光伏产业得到了迅猛的发展^[7]。截至2011年,国内已拥有较为完整的光伏产业链,并成为全球最大的光伏组件生产国,光伏组件年生产能力约为18.2 GW。据欧洲光伏产业协会(EPIA)统计数据,中国累计光伏发电的装机容量已达到约3 GW,仅2011年新增太阳能发电装机容量就约为2 GW,新增量位居世界第3,占全球太阳能发电新增装机总量的7%。随着中国光伏产业的快速发展,光伏发电的成本已下降至1元/kWh以内,组件生产成本已降至3~4元/W_p,产品寿命可达到20~25年。

尽管如此,中国光伏产业在发展的过程中也在不断面临着诸多的挑战。首先,光伏组件的原材料——晶硅的生产本身就属于高能耗和高污染的工业项目。从生产工业级别的硅材料到太阳能电池的全过程,其综合耗电约为220万 kWh/MW,生产电费占全部制造成本的35%~40%,而晶体硅发电系统能量偿还时间则需要2~3年。其次,中国光伏产业处于明显的产能过剩状态,而国内光伏发电市场疲弱,其产品主要依靠欧美市场。但近期受欧债危机的影响以及美国的反垄断贸易制裁,使得光伏产品的需求增速减缓,而国内市场一时难以消化富余的产能,因此国内光伏企业的生存环境正在不断恶化,企业的经营压力不断加大。最后,太阳能光照条件受季节和天气变换的影响,实际光伏发电系统的输出功率不稳定,加之商业化的大规模储电技术还尚未成熟,从而会对电网的安全运行造成影响。因此光伏发电目前主要以分布式系统为主,就地消纳所发的电能,发展规模受到极大的限制^[8]。

3.2 太阳能光伏/光热一体化技术

光伏电池在收集太阳能进行发电的同时,其自身温度也会不断升高。然而光伏转换效率通常会

随着温度的上升而下降,其温度每升高10℃,光电转换效率将会下降5%左右^[9-12]。如图4所示,为了提高光伏电池的转化效率,降低电池板的受热温度,将空气或液态工质对电池板进行循环冷却,实现在光伏电池输出电能的同时对外供给热能,即太阳能光伏/光热一体化(PV-T)。该技术不仅可以提高光伏电池的转化效率,而且还可以利用电池板收集的热能,提高太阳能的综合利用效率,减少系统的占地面积,降低使用成本。

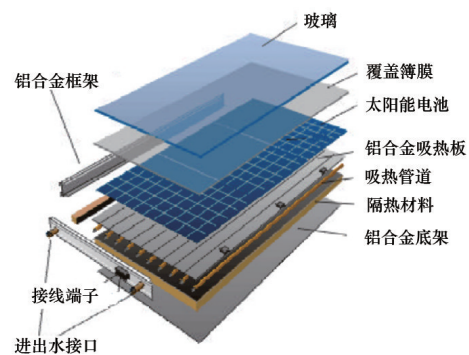


图4 太阳能光伏/光热一体化技术

经试验研究发现,在无冷却方式运行时,太阳能电池板温度可达40~60℃,通过冷却后电池板温度可下降约20℃,同时保持发电效率在10%~13%,集热效率在55%~65%,太阳能综合利用效率达到70%以上。此外,该技术可根据用户对热能和电能的需求数量,调整光伏电池片的覆盖密度来改变PV-T输出的热电比例,从而进一步提高系统运行的经济性。尽管目前PV-T的生产成本还较高,每平方米PV-T板的市场售价约为2500元,但随着集成制造技术的发展和生产规模的扩大,光伏/光热一体化技术势必将成为太阳能利用产业发展的又一动力因素。

4 太阳能利用技术发展趋势

随着太阳能光热和光伏发电技术的不断完善以及市场的逐渐成熟,太阳能建筑一体化、多能互补以及多元化应用将成为太阳能利用产业发展的显著特征和未来趋势。

4.1 太阳能建筑一体化

由于太阳能光热、光电转换构件均已实现模块化,并且可与储能设备分离运行,因此采光部件与建筑的结合方式也更加灵活多样,其可以安装在建筑屋顶、坡屋面、外墙面、廊庭、阳台栏杆、女儿墙、

披檐、廊架等不同部位,使太阳能组件完全融入到建筑体系之中并与周围环境和谐统一(图5)。中国太阳能建筑一体化技术还处于起步阶段,在太阳能与建筑相结合的工程中还需要开展深度设计,不断补充和完善相关的设计标准和施工规程,以保证在建筑设计时就充分考虑到太阳能部件的最佳安装运行参数和支撑结构的安全性,同时考虑屋面防水、保温、排水、避雷等各项措施,以及便于输能和储能系统的安放布置和操作维护等设计要素,真正将太阳能系统与建筑整体统一协调,达到“看到等于看不到的效果”^[13-15]。



图5 太阳能建筑一体化

4.2 太阳能海水淡化

利用太阳能进行海水或苦咸水淡化,其能量的利用方式无外乎两种:其一是利用太阳能产生热能以驱动海水相变过程蒸馏;其二是利用太阳能发电以驱动膜淡化过程(目前仍无法与常规能源海水淡化技术相比)。前者一般又可分为直接法和间接法两大类。顾名思义,直接法系统直接利用太阳能在集热器中产生蒸馏过程,而间接法系统的太阳能集热器与海水蒸馏部分是相分离的。比较常见的太阳能海水淡化结合方式如表2所示。

海水淡化研究所与上海骄英能源科技有限公司合作,在海南省乐东县自主建造完成国内第1个太阳能光热海水淡化商业示范工程项目。该系统由线

表2 太阳能淡化方式

太阳能利用	适用水质	淡化方式
光热转换	海水/苦咸水	直接蒸馏(MED)
	海水	多效蒸馏(MED)
	海水	间接蒸馏
光伏转换	海水	多级闪蒸(MSF)
	海水	压汽蒸馏(MVC)
光伏转换	海水/苦咸水	反渗透(RO)
	苦咸水	电渗析(ED)

性菲涅尔式太阳能集热装置、太阳能蒸汽发生装置和低温多效蒸馏海水淡化装置3部分组成(图6)。通过合理的工艺集成和技术耦合,该系统可充分发挥菲涅尔透镜太阳能集热和多效蒸馏海水淡化各自



图6 线性菲涅尔式集热的多效蒸馏海水淡化系统

的技术优势,提高了太阳能海水淡化系统的稳定性和经济性。该示范工程的成功产水,为太阳能光热海水淡化装备技术的产业化应用奠定了基础,将为沿海地区及海岛利用开发提供用水保障。

金属铝等许多金属颗粒表面具有强等离子体共振效应。当入射光的频率与金属中自由电子振荡频率匹配时,将触发电子的集体振荡,产生热电子。所以铝作为一种比较廉价的替代金属,Zhu等通过在三维多孔氧化铝模板中,自组装铝纳米颗粒制备出等离子激元铝黑体材料,从而实现了高达96%的吸收比,由于基底高孔隙率和微米级厚度,因此能够自漂浮在水面上,在空气和水的界面上发生气液相变,在6个太阳辐照下,实现了高达91%的光热转换效率^[16]。

Zhou等开发了1套2级的太阳能膜蒸馏系统实现高效水分收集和优化,在多云天气实现了高达 3.67 kg/m^2 的淡水产率和高达99.75%盐分截留率。相比于单级涂层吸光面和蒸汽冷凝面相重合系统,这两套多级潜热回收系统能够实现更好的产水速率和更高的淡水回收效果。而且,将蒸汽冷凝面和吸光涂层面分开,有效解决了目前绝大多数蒸汽冷凝热耗散和阻碍太阳光的透射的问题^[17]。

4.3 多能互补与微能网

受可再生能源自然属性的限制,单一一种可再生能源难以解决用户全部的能源需求。通过将太阳能与其他形式能源配合使用,可实现各能源间的空间分布互补、时间季节互补和能源品味互补,从而确保系统能够稳定地供应用户所需的能量,推动

能源、环境、资源的可持续性发展^[18-19]。多能互补系统可根据当地的资源条件、技术经济水平以及系统的用能需求和特点,因地制宜地发展太阳能与常规能源或风能、生物质能、地热能、海洋能等可再生能源相结合的多能互补系统。配合智能型电网和储能技术,实现对多种能源有机结合和综合管理,从而形成高效合理的微能网,满足用户多层次的能源需求。

4.4 太阳能多元化应用

除光热和光电转换以外,将太阳能与其他形式能源转化技术相结合是扩展太阳能应用领域的有效途径,同时也是实现各种能源品味对口、梯级利用的重要手段,因此多元化利用已成为太阳能技术发展的一项显著特征^[20-25]。

图7列举了几种典型太阳能多元化利用的具体方式和工作原理。太阳能+空气/地源热泵以太阳能集热器配合热泵作为主要热源加热循环工质,以常规能源(电能、化石能源)为辅助加热系统,实现全天候不间断热源供给(图7(a))。太阳能空调是将太阳能光热或光电技术与除湿冷却、吸收式制冷、吸附式制冷、制冰蓄冷等技术相结合组建太阳能空调,为建筑提供室温调节、食品冷藏、冷冻保鲜等功能(图7(b))。太阳能通风是利用太阳能加热空气产生浮力效应,通过建筑内部结构建造太阳能烟囱或太阳能幕墙,实现建筑自然通风,改善内部空气条件(图7(c))。太阳能照明利用反光或导光技术将外部太阳光引入建筑内部,利用自然光为办公室、走廊、地下室等不透光区域提供照明,节约建筑系统的电能消耗(图7(d))。太阳能+海水淡化一般有3种利用方式:一种利用各种被动式或主动式太阳能蒸馏器直接加热海水实现蒸发淡化,可在能源紧缺、环境恶劣的条件下独立运行,环境适应性强,投资少(图7(e));一种以反光或导光技术将外部太阳光引入建筑内部,利用自然光为办公室、走廊、地下室等不透光区域提供照明,节约建筑系统的电能消耗(图7(f));一种利用太阳能光伏发电驱动反渗透淡化,可就地消耗分布式光伏系统所产生的电能,适用于中国西部内陆、东部沿海以及海岛等光照资源丰富但水资源匮乏地区(图7(g))。

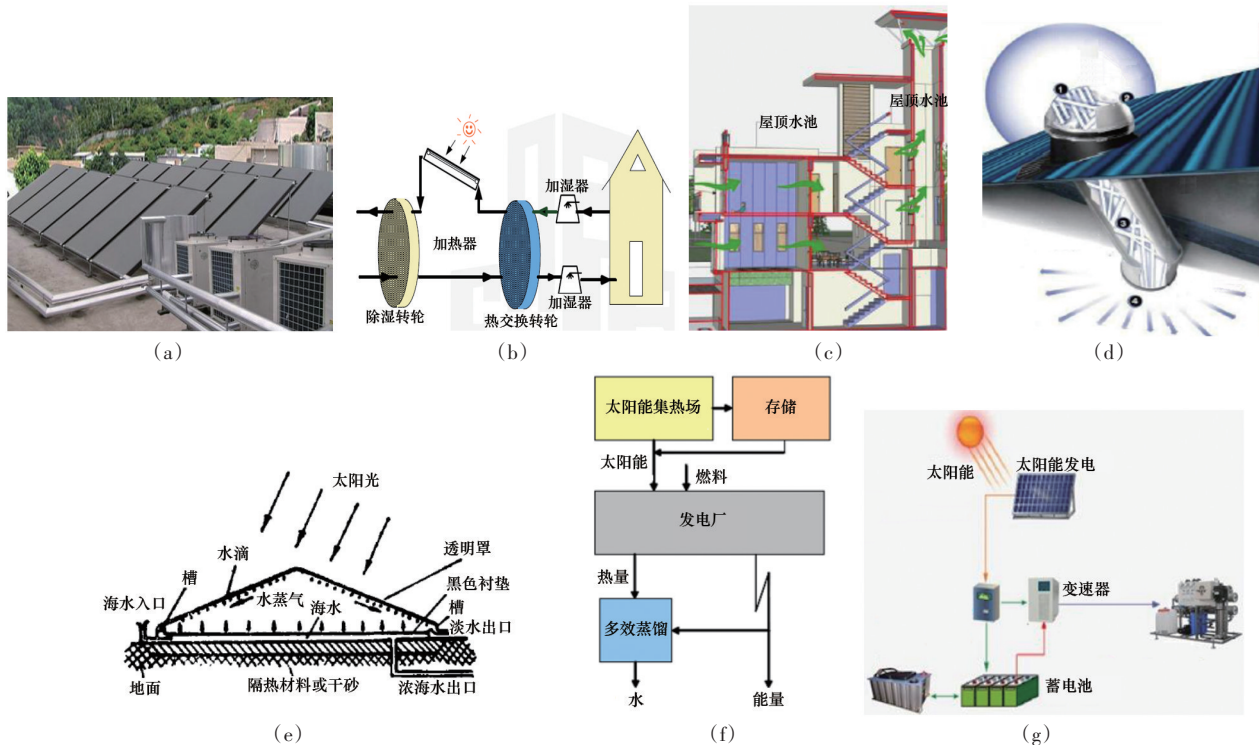


图7 太阳能多元化利用技术

5 结论

中国具有发展太阳能利用产业的自然优势,其产业发展已具有相当的规模,现正从太阳能生产大国向创造强国迈进。在此阶段,中国的光热利用已逐步完成产业升级,中高温集热技术得到了普遍重视和开发。光伏发电设备的生产成本得到了显著下降,为今后光电的大规模应用奠定了良好的市场条件。太阳能建筑一体化、多能互补以及多元化应用将会成为太阳能技术未来发展的重要趋势,大规模利用太阳能的新时代即将来临。

参考文献(References)

- [1] 黄俊鹏. 我国太阳能热利用市场的转型[J]. 太阳能, 2018, 12: 9-19.
- [2] 牛炳玲, 李纪伟, 苏越怡. 城市高密度建筑空间太阳能利用潜力研究[J]. 安徽建筑, 2020, 3: 15.
- [3] 储呈阳. 我国太阳能利用的现状与发展前景[J]. 企业改革与管理, 2012, 8: 21-22.
- [4] 顾炳辉. 太阳能热水器与建筑一体化浅谈[J]. 可再生能源, 2020, 8: 128.
- [5] 高春娟, 董泽亮, 蔡荣华, 等. 盐梯度太阳池的建立及运行实验研究[J]. 盐业与化工, 2015, 44(10): 34-36.
- [6] Jia L L, Zhang X H, Wu Y H. Construction of comprehensive development index and analysis on the development trend of solar energy industry[J]. Engineering, 2018, 8: 477-482.
- [7] Qasaimeh A, Qasaimeh M, Abu-Salem Z, et al. Solar energy sustainability in Jordan[J]. Computational Water, Energy, and Environmental Engineering, 2014, 2: 41-47.
- [8] 王利明. 加强光伏设备管理 提高太阳能利用效率[J]. 区域治理, 2020, 3: 78-80.
- [9] Chen Z W, Chen S H. Photoconductive effect of liquid and utilization of solar energy[J]. Open Journal of Physical Chemistry, 2014, 1: 15-18.
- [10] Ibrahim A, Othman M Y, Ruslan M H, et al. Recent advances in flat plate photovoltaic/thermal (PV/T) solar collectors[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2011, 15(1): 352-365.
- [11] Namjoo A, Sarhaddi F, Sobhnamayan F, et al. Exergy performance analysis of solar photovoltaic thermal (PV/T) air collectors in terms of exergy losses[J]. Journal of the Energy Institute, 2011, 84(3): 132-145.
- [12] Ma D, Xue Y B. Solar energy and residential building integration technology and application[J]. International Journal of Clean Coal and Energy, 2013, 2: 8-12.
- [13] 赵加陆. 太阳能光伏发电系统在新能源领域的应用发

- 展趋势[J]. 市场周刊理论版, 2020, 15: 46.
- [14] 聂磊. 新建民用建筑中太阳能利用浅析[J]. 居业, 2019, 6: 27-28.
- [15] 刘颖喆, 祁越. 生态仿生建筑中的太阳能利用技术[J]. 新材料新装饰, 2019, 1: 18-19.
- [16] Zhou L, Tan Y L, Wang J Y, et al. 3D self-assembly of aluminium nanoparticles for plasmon-enhanced solar desalination[J]. Nature Photonics, 2016, 10: 393.
- [17] Xue G B, Chen Q, Lin S Z, et al. Highly efficient water harvesting with optimized solar thermal membrane distillation device[J]. Global Challenges, 2018, 2: 5-6.
- [18] He Y L, Wang R Z, Roskilly A P, et al. Efficient use of waste heat and solar energy: Technologies cooling, heating, power generation and heat transfer[J]. Frontiers in Energy, 2017, 4: 411-413.
- [19] Vourdoubas J. Possibilities of using solar energy in district cooling systems in the mediterranean region[J]. Open Journal of Energy Efficiency, 2019, 2: 22-25.
- [20] Jenkins P, Elmnifi M, Younis A, et al. Enhanced oil recovery by using solar energy: Case study[J]. Journal of Power and Energy Engineering, 2019, 6: 59-64.
- [21] Li B J, Zhao Y C, Yang T, et al. Research on solar cell with storing solar energy film[J]. Journal of Rare Earths, 2015(suppl 1): 228-230.
- [22] 彭佳杰, 潘权稳. 太阳能热驱动的吸附式冷热联供系统性能测试[J]. 上海交通大学学报, 2020, 7: 661-667.
- [23] 赵迦琪, 李兴华, 胡亚男. 内蒙古典型草原区太阳能资源变化特征及其与气候变化的关系[J]. 内蒙古科技与经济, 2020, 13: 60-65.
- [24] Li N, Li C X. A simulation study on the system combined solar energy with biogas boiler for floor radiant heating and fuel[J]. Science Technology View, 2015, 15: 169-170.
- [25] 我国科学家在太阳能海水淡化方面取得重要突破[J]. 化工新型材料, 2019, 4: 273.

Development situation and trend of solar energy technology industry in China

LU Shaoyan, WU Dan, MA Laibo, GAO Chunjuan, WANG Liang, ZHANG Hui, ZHANG Qi

Institute of Tianjin Seawater Desalination and Multipurpose Utilization, State Oceanic Administration, Tianjin 300192, China

Abstract China's solar energy utilization industry has developed into a considerable-scaled industry, and the industry has to face fierce market competition and structural adjustment. In order to promote the healthy development of domestic solar energy industry, based on an analysis of China's solar energy resources and industrial characteristics, this paper analyzes the key technologies, core equipment and market situation of solar thermal and technologies of photovoltaic power generation, respectively. Moreover, it points out that the integration of solar energy buildings and multi-energy complementation will be the future trend of solar energy utilization technology, which lays an important foundation for the development of multi-level and diversified solar energy utilization in China.

Keywords solar thermal utilization; photovoltaic power generation; combination with solar energy and architecture ●



(责任编辑 祝叶华)