

可再生能源的热利用与综合利用*



金红光 隋 军

中国科学院工程热物理研究所 北京 100190

摘要 分布式热利用与综合利用是可再生能源消纳的重要方式。文章从建筑、工业和城镇化发展等领域分析了分布式可再生能源热利用与综合利用的需求，同时根据能源需求、技术发展进程，评估了分布式可再生能源热利用与综合利用的发展潜力，进而阐明了可再生能源梯级利用、互补利用与综合利用的技术发展前景和方向，并制定了技术发展路线图。明确提出了工业领域是提高可再生能源占比的主要领域，太阳炉等技术是可再生能源热利用和综合利用的研发重点。

关键词 可再生能源，分布式能源，热利用，综合利用

DOI 10.16418/j.issn.1000-3045.2016.02.007

1 可再生能源热利用的重要意义

1.1 可再生能源热利用的需求分析

可再生能源热利用与综合利用是利用可再生能源的制冷、采暖和供热、发电，或通过梯级利用方法联产电、冷、热等多种能源产品，以及根据各种可再生能源的特点，实现多能源互补及多产品输出。

可再生能源热利用与综合利用需求潜力巨大，热利用与综合利用是可再生能源消纳的重要手段，建筑和工业两个领域的终端能源消耗占我国终端总能耗的70%以上。建筑方面，主要用能在于建筑采暖和空调，建筑采暖占建筑总能耗的近40%，南方地方建筑空调占其耗电量的20%—40%。一般地说，在我国全社会用能中热能的需求是电能的2倍以上^[1]。因此，热利用与综合利用是分布式可再生能源的重要形式。

1.1.1 建筑领域

建筑能耗是我国能耗的重要组成部分，2013年建筑总能耗（不含生物质能）为7.56亿吨标准煤，约占全国能源消费总量的19.5%。其中，北方城镇采暖、城镇住宅、公共建筑、农村住宅能耗分别达到1.81亿吨标准煤、1.85亿吨标准煤、2.11亿吨标准煤和1.79亿吨标准煤，各占建筑总能耗的约1/4^[2,3]。

*资助项目：中科院学部咨询项目“大力发展分布式可再生能源应用和智能微网”

修改稿收到日期：2016年1月16日

对于北方地区建筑采暖而言,采暖面积从2001年的50亿平方米发展到2013年的120亿平方米,增加了1.5倍,而能耗总量增加不到1倍。采用分布式可再生能源,可以满足新建建筑的户式和区域采暖,并部分替代原有燃煤锅炉和区域集中供热,有很大发展潜力,可极大缓解北方地区采暖季严重的空气污染问题。

在城镇住宅方面,2001—2013年我国城镇人口增加了近2.3亿,新建城镇住宅面积58亿平方米,导致该类建筑能耗总量增长近1.4倍。主要的能耗增长来源于家庭采暖和制冷需求的增加,特别是长江流域及以南地区的采暖与空调能耗迅速增加。

在公共建筑方面,我国城镇化快速发展促使公共建筑面积大幅增加,2013年公共建筑面积达到99亿平方米,能耗总量增长1.5倍。公共建筑一般体量较大,能源需求方式多样,适合采用可再生能源综合利用方式解决用能问题。

农村住宅方面,2013年商品能耗1.79亿吨标煤,占建筑总能耗的23.6%。此外秸秆、薪柴等非商品能耗折合约1.06亿吨。从2001年至2013年,户均年能耗无明显变化,但电、煤等商品能源所占比例大幅增加,生物质、薪柴等占建筑能耗的比例从69%降至38%。农村地区需要拓展再生能源利用方式,并配套相关政策,以利于推广生物质等可再生能源,降低电、煤等商品能源的消耗。

1.1.2 工业领域

工业作为国民经济的主要支柱,同样也是能源资源消耗的主要领域。2012年工业领域总能耗25.2亿吨标煤,占总能耗的69.7%,是我国节能减排的主战场,在全国节能减排中起着关键性作用,尤其是电力、冶金、水泥和石化4大高耗能行业,对于确保节能减排目标的实施至关重要。其中,化工、食品、医药、造纸、纺织等各类生产过程存在大量中小规模的生产企业,同时存在热、冷、电等能源需求,分布式可再生能源热利用与综合利用在上述领域将大有作为。

工业领域与热利用密切相关的行业包括:(1)制造业,如炼油、化工、冶金、制药等热利用与综合利用相关行业,总能耗约7.8亿吨标煤^[4]。分布式可再生能源可满足诸如农副食品加工和食品制造用蒸汽,酿酒、饮料、制茶、烟草等过程用能,纺织、印染、皮革、木材加工、造纸等过程用热,石油加工、炼焦、化工、制药、橡胶塑料等过程用热,黑色和有色金属冶炼与压延加工所需的热能等等。(2)电站锅炉和供热锅炉耗能约4亿吨标煤。2014年,全国在用锅炉60余万台^[5],其中绝大部分为工业锅炉。其中100℃以下的水热水锅炉容量占到了约35%,100℃—350℃的有机介质炉占6.8%,其余为蒸汽锅炉。(3)采掘业,如石油天然气开采与煤炭的洗选过程,总能耗1.6亿吨标准煤。上述工业过程均发生在偏远地区,远离城市和集中供能区,适合采用分布式供能方式,提供其所需的原油热力助采、井口保温、原油储运过程升温 and 泵用电,天然气压缩过程耗电,以及煤炭洗选后的干燥用热。(4)其他工业领域的11.8亿吨标煤耗能中,如炼油、冶金、水泥、橡胶等大型工业过程,也可以考虑用分布式可再生能源替代化石能源消耗。

1.1.3 城镇化领域

2001—2012年,我国城镇化高速发展,2001年城镇化率为37.7%,2012年我国城镇化率达到52.57%,此部分的建筑能耗前已述及,本节主要考虑2012—2020年城镇化用能增量和城市化地区未来节能潜力。规划2020年城镇化率达到60%左右,进一步实现1亿人口城镇化。随着人口转移,城乡建筑面积大幅增加,建筑能耗也随之增长。城镇化成为继工业化之后推动社会发展的新引擎,也为能源保障提出了新的要求。由于能源利用方式的效率差异和生活水平差异,我国城镇人均能耗是农村人均能耗的2—4倍,城镇人均电耗是农村人均电耗的3—6倍,城市化进程导致大量农村人口转移到城镇后,加快了建筑及生活能耗的增长。在世界范围内,随着工业化和城镇化水平的提高,高耗能产业逐渐向外部

转移,工业能耗增速趋缓,占比逐步下降,建筑和生活能耗快速增长是普遍规律。随着生活水平的提高,居民对冷、热等舒适性能耗的需求将加大,且日益趋于多样化。在城镇化过程中,县域经济将展现出巨大活力,城乡生活水平提高、农村人口转移和农村人口的就地城镇化都将带来较大的能源增长,并以电、热、冷和热水等舒适性能源需求为主体,城市发展过程中的舒适性能源需求也将持续增长并侧重于发展清洁能源和冷、热联供。这一新兴能源增长点将对大工业用能产生有力竞争,为能源供需矛盾带来严峻挑战,甚至影响工业化和城镇化进程。

1.2 分布式可再生能源的发展潜力评估

1.2.1 建筑领域的热利用与综合利用评估

(1) 预计到2020年,分布式可再生能源若满足约15%—20%的北方建筑采暖,每年可节省0.27亿—0.45亿吨标煤的化石燃料;

(2) 若提供10%—15%的城镇住宅用能,每年可节省0.18亿—0.28亿吨标煤的化石燃料;

(3) 若满足20%—30%的公共建筑耗能,每年可节省0.42亿—0.53亿吨标煤的化石燃料;

(4) 农村住宅用能在城镇化部分考虑建筑领域发展分布式可再生能源热利用与综合利用,总计具有每年替代0.87亿—1.3亿吨标煤的应用潜力。

1.2.2 工业领域是提升太阳能热利用占比的突破口

(1) 制造业总能耗约7.8亿吨标煤,分布式可再生能源每年可满足约0.94亿—1.4亿吨标煤的能源需求;

(2) 电站锅炉和供热锅炉耗能约4亿吨标煤,部分锅炉可以采用分布式可再生能源进行替代,每年可替代0.16亿—0.24亿吨标煤;

(3) 采掘业总能耗1.6亿吨,分布式可再生能源每年可满足约0.16亿—0.24亿吨标煤的能源需求;

(4) 其他工业领域的每年11.8亿吨标煤耗能中,可以考虑用分布式可再生能源替代0.3亿—0.59亿吨标煤消耗。

以上4方面的可再生能源热利用和综合利用每年

共计1.55亿—2.47亿吨标煤,约占工业领域耗能总量的8%。上述工业用热除少量为100℃以下,可以通过太阳能热水器满足外,绝大部分均为工业蒸汽,需采用聚光型太阳能蒸汽发生技术——太阳炉来满足,约占整个分布式可再生能源热利用规模的80%,每年约可替代化石燃料1.2亿—2.0亿吨标煤。因此,太阳炉是分布式可再生能源在工业上推广利用的关键技术^[6]。

1.2.3 城镇化与绿色能源新途径——可再生能源或多能互补分布式能源

参考对内蒙古杭锦后旗、黑龙江省桦南县,以及吉林省公主岭市和农安县的调研数据,1000户自然村,城镇化后需要的电、热、冷等能耗约3000吨标煤/年,折合人均1吨标煤的年能耗增长。2020年实现1亿左右农业转移人口在城镇落户^[7],约需增加1亿吨标煤的能耗需求。

此外,我国有县级行政单位近3000个,乡镇4.1万个。各乡镇结合自身可再生能源条件,采用分布式可再生能源系统,不仅满足自身多种能源需求,还可对外输出部分可再生能源电力。如果已实现城镇化和未进行城镇化的农业县中,占城镇化和农村人口30%—50%的乡镇都采用上述新型能源系统,年节能量将达到0.3亿—0.5亿吨标煤。

通过以上分析,城镇化和农村地区广泛应用多能源互补的分布式可再生能源,每年可节能1.3亿—1.5亿吨标煤。

1.2.4 分布式可再生能源的发展潜力及其能源结构占比

通过分布式可再生能源热利用与综合利用,每年在建筑领域节能0.87亿—1.3亿吨标煤,工业领域节能1.55亿—2.47亿吨标煤,城镇化和广大农村地区节能潜力1.3亿—1.5亿吨标煤,共计3.7亿—5.3亿吨标煤。如果2030年能够实现上述目标,届时我国总能耗预计将达到每年55亿—60亿吨标煤,则分布式可再生能源热利用与综合利用在一次能源结构中的比重将有望达到6%—9%。

热利用与综合利用是消纳可再生能源、提高可再生能源在国家能源结构中比例,实现我国2030年非化石能

源占能源消费比重 20% 宏伟目标的重要途径。

2 可再生能源热利用与综合利用技术创新

可再生能源近年来在我国得到了快速发展,已经成为国家一次能源结构中的重要组成部分,在节能减排和国家低碳战略中发挥着重要作用。风能、光伏等领域已经形成相对成熟的技术研发和产业化体系,但在热利用与综合利用方面技术发展相对缓慢,存在原创性理论和技术欠缺,重大技术难题未攻克,市场化不成熟,产品单位成本高,相对化石能源竞争力不足等问题。以太阳能中高温集热制蒸汽技术为例,直接蒸汽发生、高温储热等技术是尚未很好解决的国际难题,单位蒸汽成本约为燃煤锅炉的 2—3 倍,燃气锅炉的 1.3—1.5 倍,市场化推广面临难度。现有技术难以充分发挥热利用与综合利用的应用潜力,在解决政策、融资、市场等方面的问题的同时,更重要的是依靠技术创新,研发高效、环保、经济可行、运行可靠的新技术^[8]。

2.1 可再生能源热利用

2.1.1 太阳炉

太阳炉是通过太阳能集热器、管路、水箱等分系统组成可以产生大量热水及蒸汽的太阳能系统工程。除了介质循环方式、管路防冻等问题外,太阳能集热器是太阳能锅炉的最核心部件之一,其技术创新是太阳炉发展的重要支撑。目前国内对于太阳能中低温槽式集热器的商业化研究刚起步,设计和加工的槽式太阳能集热器成本偏高。随着对集热管、反射镜面等关键部件的研究发展,太阳能集热器结构的创新以及太阳能中高温系统设计和安装经验的积累,太阳能锅炉的成本必然会有较大幅度的降低。

2.1.2 太阳能跨季储热采暖及空调技术

太阳能跨季节储热采暖及空调是利用太阳能集热器产生的热能直接用于采暖或者驱动制冷装置产生冷冻水。太阳能空调通常包括太阳能吸收式制冷、太阳能吸附式制冷、太阳能除湿空调系统和太阳能蒸汽喷射式制

冷等型式。目前为止,太阳能溴化锂-水吸收式空调方式示范应用最多,另外,吸附式制冷方式由于驱动热源要求温度低,近年来发展很快。但是降低太阳能空调的初投资成本和发展太阳能复合建筑供能系统,是未来产业界所面临的主要任务,继续深入开发太阳能建筑一体化技术及深入优化太阳能空调运行技术、低品位能量制冷技术、低成本蓄能材料开发等是推广太阳能空调的关键。

2.1.3 风能热泵技术

风能热泵系统是利用风力机将风的机械能转化为空气的内能,进而转化为可以使用热风能热泵技术在日本、美国、加拿大和丹麦等国家已进入示范试验阶段,我国风力致热技术研究起步较晚。风力热泵由于采用具有随机性、地域性等特点的风能作为动力,不易实现冷热量输出的即时供应和调节。未来的发展方向应该是降低机组尤其是风力机的成本、开发与热泵空调压缩机相匹配的风力机和蓄电设备、设计安全可靠高效的控制系统,以保证机组顺利运行。

2.1.4 生物质供热技术

生物质固体成型燃料作为生物质能主要利用形式之一,具有燃烧效率高、便于运输、使用方便等优点,可用于农村居民户用采暖,为农村居民提供清洁能源。生物质固体成型燃料供热技术在欧洲各国发展的比较成熟,而在我国应用尚不成熟。目前,生物质供热存在的主要问题包括生物质供热设备结构不够紧凑,占地面积大、灰渣清理周期短、使用不方便等。如何完善生物质供热系统性能以更好地满足使用者的使用要求是面临的主要问题;另外,与太阳能联合供热也是生物质供热技术发展的方向之一。

2.2 可再生能源梯级利用^[9]

2.2.1 太阳能热电联产技术

槽式太阳能有机朗肯循环系统可建成小型电站,有利于降低建造成本,非常适用于分布式能源。为了进一步提高分布式太阳能系统的能效,研究人员提出了各类太阳能梯级利用的热电联产系统型式。由于太阳能的随

机波动、不稳定等特点，太阳能热电联产系统必须与蓄热系统或者其他化石能源集成来实现供能的稳定性。但是目前太阳能集热成本较高、蓄热技术的不成熟，太阳能热电联产技术尚不具备示范作用。未来随着太阳能集热技术和蓄热技术的成熟，以及相关设备成本的下降，太阳能热电联产技术将具备广阔的前景。

2.2.2 生物质的分布式冷热电联产技术

生物质冷热电联产系统具有多种应用形式，能够有效满足能量梯级利用的原理，将冷、热、电加以集成，充分发挥中低温余热的作用，提高整个系统的能源利用率。生物质气化技术是生物质气化冷热电联产系统中的核心技术，目前生物质气化需要提供大量的热量，高能量消耗一直制约着生物质气化的发展，因此需要改进工艺，寻找高效率、低能耗、综合利用生物质能源的道路；另外气化器类型较少，而气化器的类型影响着气体的组分和质量，因此有必要设计新型气化器，从而得到高品质的燃气，方便连续稳定地进料。

2.2.3 基于可再生能源的低温多效海水淡化技术

太阳能低温多效海水淡化技术不仅解决了海水淡化所需能量来源问题，也使太阳能的使用范围得到了拓展。由于低温多效海水淡化所需的加热蒸汽热源温度要求在 70℃ 左右，而太阳能集热器恰好可以提供这一温度的饱和蒸汽。低温多效海水淡化技术的出现解决了多效蒸馏海水淡化技术中易结垢的难题，使多效蒸馏技术得到了长足的进步。但是成本问题一直是海水淡化技术的最大阻碍，能源成本与设备折旧是造水成本的最大组成部分。从太阳能低温多效海水淡化技术的研究来看，对低温多效技术的核心部件、材料、水电联产等基础研究有待深入，装备验证和环境条件不能满足技术发展要求，缺乏大规模海水淡化装置设计、加工制造、安装调试及运行维护的工程实践，迫切需要通过规模示范形成成套技术。

2.3 可再生能源多能源互补与综合利用技术

2.3.1 太阳能光伏与光热一体化

太阳能光伏与光热（PV/T）一体化，可以在降低太

阳电池的工作温度提高光电转换效率的同时，得到部分热能，大大提高太阳能的利用率。PV/T 技术还处于发展的初级阶段，技术还不成熟，现有的设计方案都存在部分缺陷。从 PV/T 的发展趋势来看，系统布局结构设置、集热部分内部工质的循环方式、太阳能综合利用效率的提高，以及与建筑构件的一体化创新研究，是今后太阳能利用的重要的发展方向。

2.3.2 太阳能与生物质互补的分布式热电联产系统

在城镇化过程中，许多城镇拥有良好的太阳能和生物质能的利用条件。利用生物质，弥补太阳能能源密度低、不稳定的缺点。我国农村地区有着丰富的生物质资源，如果基于当地产生的生物质辅助太阳能联合发电、供热，在整个采暖期内形成能源互补，实现冬季供热的相对稳定。同时，夏季靠该系统提供生活热水，满足用户的需要。这种供暖方式解决了太阳能供暖中存在的由于季节、气候、地点导致的供暖和太阳能供应能量不相匹配的问题。

2.3.3 太阳能与替代燃料热化学互补的冷热电联产系统

太阳能具有能量密度低、分散、不稳定的特点，解决其收集、储存等问题带来的成本上升，往往成为推广利用的主要障碍。其与化石燃料的互补可以起到事半功倍的效果。另外，太阳能、生物质能等不同可再生能源或能量转换形式之间，也存在着互补性。从目前的太阳能与其他多能源互补的研究进展来看，太阳能作为辅助能源以热互补和热化学互补的形式注入系统中，进行集成互补。目前研发的技术太阳能所占能源消耗份额还较小，如何提高太阳能所占份额，降低集热成本等技术问题一直是研究的重点。另外，以太阳能为核心与其他多能源互补的分布式冷热电联产系统不再是个别单元技术研究，而是着眼于不同功能、不同过程耦合的系统集成的研究，具有重要的理论价值和广泛的工程应用前景，是今后太阳能与多能源互补与综合利用发展的重要方向之一。

3 可再生能源热利用与综合利用的发展路线图

分布式可再生能源热利用与综合利用技术的近期发

展路线图如图1所示。依照现有集中式能源系统的运作模式，推进分布式可再生能源热利用与综合利用技术研发与示范应用，着重在建筑领域及农村城镇化进程中推广分布式可再生能源的热利用，建立太阳能制冷/热泵、生物质供热等示范工程，建立新的建筑供能体系，带动新的能源服务业的发展；推进分布式可再生能源梯级利用和综合利用的技术研发，扩展推广太阳能与化石燃料互补发电系统的应用，扩大分布式可再生能源的综合利用。

在分布式可再生能源热利用和综合利用技术渐趋成熟之后，深化推动分布式可再生能源热利用相关装备制造等形成一定规模的产业化，继续推进建筑领域及农村城镇化进程中的分布式可再生能源的利用，并着重推广工业领域内分布式可再生能源替代传统能源技术的研发和应用；推进分布式可再生能源梯级利用和综合利用的技术研发，建立一定规模的分布式可再生能源区域，形成若干个太阳能或生物质能分布式冷热电联产示范工程或区域。深化推进工业领域内分布式可再生能源的梯级利用和综合利用，建立分布式可再生能源综合利用的光伏与光热一体化、太阳能与生物质能综合利用的示范区。形成可再生能源全面消纳，化石能源作为补充的终端冷、热供应模式。

到2030年，分布式可再生能源综合利用折合达3.7亿—5.3亿吨标准煤，在一次能源消耗中占比达6%—9%。未来的发展方向是能源结构逐步向可再生能源为主转变，全面推进分布式可再生能源热利用与综合利用技术应用，迎接新的可再生能源时代的到来。

4 发展举措

(1) 热利用是消纳可再生能源、提高可再生能源在国家能源结构中比例的重要途径，工业领域是提升可再生能源热利用占比的突破口。通过分布式可再生能源热利用与综合利用，2030年可实现共计每年3.7亿—5.3亿吨标煤的可再生能源利用量。届时分布式可再生能源热利用与综合利用在一次能源结构中的比重将有望达到6%—9%。

(2) 大力推进可再生能源热利用与综合利用方式与技术创新。加大对太阳能锅炉、太阳能光伏与光热一体化、可再生能源与化石燃料综合利用的能源系统等可再生能源热利用与综合利用科研投入，解决中高温太阳能集热、生物质气化、光伏光热一体化集成等关键技术，2020年完成工程示范。

(3) 推进可再生能源热利用与综合利用新兴产业发

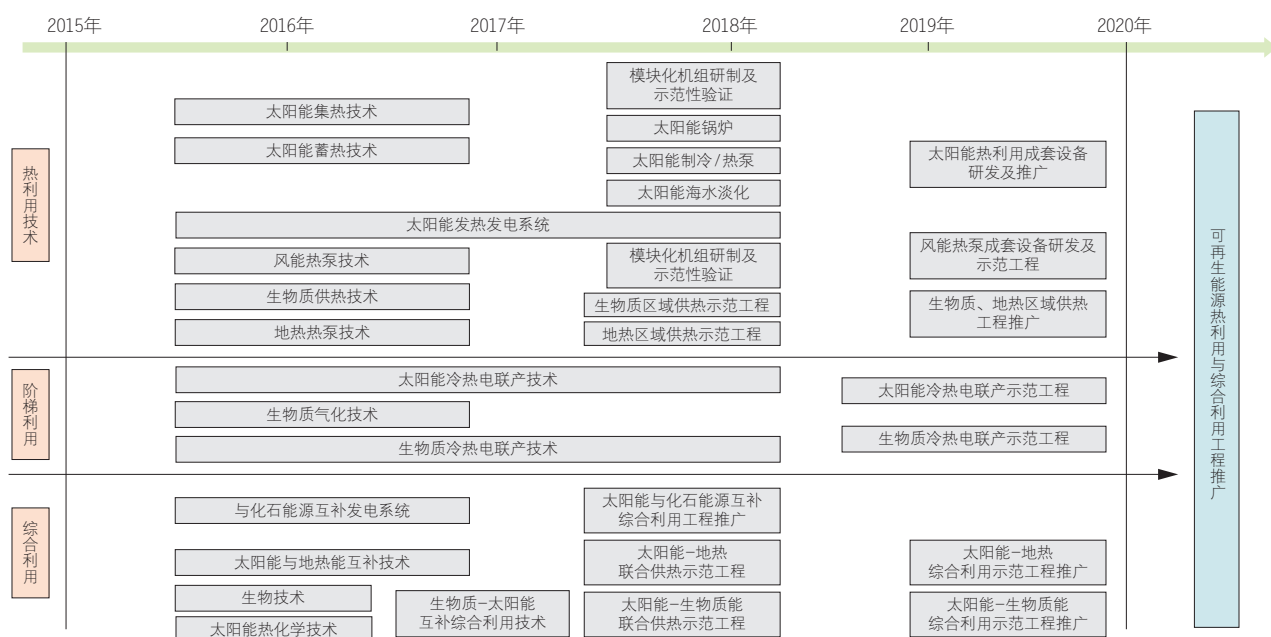


图1 分布式可再生能源热利用与综合利用技术发展路线图

展。通过发展分布式可再生能源，带动和促进分布式供能产业和可再生能源产业的发展，建立以非化石燃料为主体的多能源互补的新兴供能产业；发展以分布式可再生能源核心设备为主体、提供成套设备的装备制造业；创立掌握分布式可再生能源系统技术和可再生能源利用单元技术的新型工程技术服务，提高我国能源产业的总体技术水平和国际竞争能力。

(4) 扶持政策。综合考虑技术、成本、用户接受程度、电网接纳能力等因素，采用财政补贴、税收优惠、低息贷款等手段促进分布式可再生能源协调发展，提高国家和行业协会对分布式可再生能源发展的预测能力。可再生能源补贴倾向于竞争力高、成本低和地区资源储量丰富的技术，而对于成本密集型的将放慢其扩建速度。由固定上网电价机制向补贴竞价上网转变，逐步由行政干预向可再生能源的商品属性回归。通过市场竞争方式确定最低成本的可再生能源项目，促进竞争，降低成本。综合考虑分布式可再生能源在节能环保与减碳方面的贡献，促进分布式可再生能源发电上网的政策与制度保障，推动可再生能源供能成本在国家、供能企业、电网企业和用户之间的公平分摊。

参考文献

- 1 12 insights on germany's energiewende. Berlin: Agora Energiewende, 2013.
- 2 中国建筑节能年度发展研究报告. 北京: 中国建筑工业出版社, 2015, 2-10.
- 3 中国建筑节能年度发展研究报告. 北京: 中国建筑工业出版社, 2014, 2-9.
- 4 国家统计局能源统计司主编. 中国能源统计年鉴2014. 北京: 中国统计出版社, 2015.
- 5 中国电器工业年鉴2013. 北京: 机械工业出版社, 2014, 35-41.
- 6 国家发改委. 国家重点节能技术推广目录 (第五批). 2012, 149-151.
- 7 国家新型城镇化规划 (2014-2020年). 北京: 人民出版社, 2014, 12.
- 8 严陆光, 等. 关于发展我国大规模可再生能源基地与相关技术研究的建议. 中国科学院院刊, 2007, 22 (2):137-139.
- 9 金红光, 林汝谋. 能的综合梯级利用与燃气轮机总能系统. 北京: 科学出版社, 2008, 63-68.

Heat Utilization by Integrated Renewable Energy

Jin Hongguang Sui Jun

(Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract China possesses rich resources of renewable energy. Developing renewable energy technologies is becoming more mandatory to reducing environmental pollution, greenhouse gas emission and replacement of fossil fuels. Relative to fossil fuels, the energy density of various renewable energy resources is low and scattered, and renewable energy systems are difficult to utilize in a concentrated way. Distributed use of heat by integrated renewable energy is a scientific way of energy utilization - the energy efficiency is high, in harmony with the environment, and changes traditional energy use patterns. Distributed energy systems are arranged around users in a small-scale decentralized way, and using renewable energy could supply energy to remote areas conveniently and safely. So distributed use of heat by integrated renewable energy is an important way to renewable energy consumption. The paper analyzes the overall capacity of distributed renewable energy for heat utilization from the fields of construction, industry and urbanization development. The demand growth of heating, cooling and electricity in construction field, the close relationship between huge energy consumption and heat utilization in industry, and the

rapid growth of energy consumption brought by urbanization development have provided bright prospects of renewable energy utilization. At the same time, on the basis of energy requirements and technology developments, the paper analyzes the deployment potential of distributed renewable energy for heat utilization. The amount of alternatives to fossil fuels in construction field, the enhanced proportion of solar thermal utilization in industry, and the energy-saving potential in the field of urbanization are quantitatively evaluated. Furthermore, the paper elaborates the technology developing prospect and direction of renewable energy heat utilization technology including solar furnace, cross-season heat storage and supply and air-conditioning technologies by solar energy, wind energy heat pump technology, biomass heating technology. It also explains renewable energy cascaded utilization technology including solar cogeneration technology, biomass distributed CCHP technology, low-temperature multi-effect desalination technology based on renewable energy. Besides, the paper also expounds renewable energy multi-energy complementary and integrated utilization technology including solar photovoltaics and solar thermal integration technology, solar energy and biomass complementary distributed cogeneration technology, solar energy and alternative fuels thermochemical complementary CCHP technology. The paper draws the technology roadmap of distributed use of heat by integrated renewable energy. The roadmap plans developing directions of distributed renewable energy from three levels for the next 5 years, including heat utilization, cascaded utilization and integrated utilization, respectively. After the gradual maturity of distributed use of heat by integrated renewable energy technology, the scalable industrialization distributed renewable energy-related equipment manufacturing and others shall be promoted, and demonstration projects of a variety of renewable energy heat utilization and utilization technology shall be established and promoted to form the energy supplying mode of comprehensive renewable energy consumption. By 2030, the proportion of distributed use of heat by integrated renewable energy in the primary energy consumption sector is projected to reach "6%—9%", and the future direction of energy structure is expected to gradually shift to the dominance by renewable energy. Finally, the paper presents the developing initiatives of distributed renewable energy. This study clearly puts forward that the industry will be the main area to promote the proportion of renewable energy; technological innovation shall become an important way to give a full play to the potential of distributed use of heat by integrated renewable energy. Solar furnace, biomass gasification, integration of solar thermal and solar photovoltaic technology shall become the focus of future research and development. We shall promote new industries of distributed use of heat by integrated renewable energy in order to improve the overall technological level and international competitiveness of China's energy industry. Supporting policies such as financial subsidies, tax incentives, low-interest loans and other policies shall be provided to promote the coordinated development of distributed renewable energy and the predictive ability of distributed renewable energy development by country and industry associations.

Keywords renewable energy, distributed energy, heat utilization, integrated utilization

金红光 中科院工程热物理所研究员，中科院院士。长期从事热力学和能源动力系统理论与方法研究。建立了燃料化学能梯级利用和多能源互补的能质理论，提出了煤基化工动力多联产系统，聚光太阳能热化学发电系统等，开发与应用分布式冷热电联产系统。获国家自然科学奖二等奖，何梁何利科学与技术进步奖等多项奖励。E-mail: hgjin@iet.cn

Jin Hongguang Professor of Institute of Engineering Thermophysics, Chinese Academy of Sciences. In 2013, he was elected as Academicians of Chinese Academy of Sciences. He had more than 30 years of experiences in the fields of thermophysics, chemical engineering, simulation of energy-conversion processes, analysis and optimization of the design and operation of energy systems, and system synthesis for new thermal power plants. His major academic contributions include establishing energy quality theory of cascaded utilization of fuels and multi-energy-source hybridization, proposing the chemical looping combustion with CO₂ capture, proposing coal-based polygeneration system for alternative fuel and power, developing solar thermochemical power generation system based on concentrated solar energy, and developing distributed energy systems. He was chosen as "China National Funds for Distinguished Young Scientists" in 1999, and been appointed as the chief scientist of the "973" project (The National Basic Research Program of China) in 2010. E-mail: hgjin@iet.cn