

中国可再生能源技术的发展 (1949—2019)

娄伟

中国社会科学院城市发展与环境研究所, 北京 100028

摘要 结合中国可再生能源产业的发展历程, 综述了中国可再生能源技术在 70 年间取得的成就及进展。新中国成立以后, 由于能源缺乏, 中国重视发展沼气、水电等可再生能源。到 20 世纪 90 年代初, 鉴于能源安全、环境保护等因素带来的压力, 中国开始进一步加大太阳能、风能、生物质能等可再生能源的开发力度。中国沼气、水电技术成熟较早, 目前处在世界前列。太阳能、风能等其他可再生能源技术也经过了从技术仿制到创造性模仿的发展过程, 当前正处于向自主创新转变的关键节点。

关键词 可再生能源; 可再生能源技术; 可再生能源产业

可再生能源是指能自动再生的能源, 是相对于会穷尽的不可再生能源而言的一种能源, 可再生能源技术涵盖面较广, 可以从不同角度进行划分。从可再生能源开发的角度划分, 包括小水电技术、太阳能技术、风能技术、现代生物质能技术、地热能技术、海洋能技术等一次能源技术, 以及可再生能源电力技术、可再生能源热力技术、可再生能源燃料技术等二次能源技术。从可再生能源应用领域角度划分, 包括可再生能源交通应用技术、可再生能源建筑应用技术及可再生能源工业应用技术。

可再生能源技术的发展是科研机构、产业、市场及政策等多要素共同作用的结果, 科技创新本身就是发明创造成果市场化的过程, 综述中国可再生

能源技术在新中国成立 70 年来取得的成就及存在的问题, 需要同可再生能源的开发利用特别是可再生能源产业的发展历程密切结合起来。

在工业革命之前, 人类社会经济活动所使用的能源基本是以薪柴为主的可再生能源。19 世纪中叶, 随着工业革命的发展, 煤炭开始占居一次能源的主导地位, 实现了能源结构的第一次变革^[1]。到 20 世纪中叶, 在化石能源面临日益紧迫的资源枯竭及环境污染等问题背景下, 可再生能源重新引起人们的关注。现代可再生能源开发利用不是传统模式的再现, 而是利用新技术、新方法对可再生能源进行开发利用, 是“新可再生能源”, 可再生能源技术也主要是指现当代技术。

收稿日期: 2019-08-31; 修回日期: 2019-09-03

作者简介: 娄伟, 副研究员, 研究方向为环境经济、城市经济, 电子信箱: louwei2003@263.net

引用格式: 娄伟. 中国可再生能源技术的发展(1949—2019)[J]. 科技导报, 2019, 37(18): 155-161; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2019.18.015

近年来,中国开发利用可再生能源的规模迅速扩大,技术创新能力及市场竞争力也不断提升,逐步从技术仿制走向创造性模仿,目前正向自主创新模式转换。

在研究方面,综述中国可再生能源技术发展历程的相关文献大都是中文文献,主要包括以下4类:一是针对性地研究可再生能源技术的发展历程,例如,综述中国风能技术的发展历程^[2]、太阳能发电技术的发展历程^[3]、太阳能建筑技术的发展历程^[4]、生物质能技术的发展情况^[5]等,这类文献主要是介绍当前的技术状况^[6],历史跨度不足;二是综述可再生能源行业及可再生能源产业的发展历程,如,《中外能源》2009年第3期中介绍了1958—2005年中国可再生能源发生的大事^[7],也有文献介绍世界及中国太阳能光伏市场的发展状况^[8],以及改革开放30年中国可再生能源产业的发展情况^[9];三是回顾或综述改革开放40年(1978—2018)能源领域发展成就的文献,既有从能源角度(包含可再生能源)^[10]、新能源角度^[11-12]、电力设备角度^[13]回顾40年成就,也有从风电^[14]等角度针对性地回顾中国可再生能源产业及技术在40年间取得的成就;四是回顾或综述新中国成立70年(1949—2019)能源领域发展成就的文献,例如,回顾中国能源工业70年取得成就的文献^[15],这类文献目前较少,且缺少针对性研究中国可再生能源技术70年成就的研究性成果。

近代世界历史上的大部分战争都与争夺能源有关,中东和北非的石油产区历来都是一触即发的战争火药桶,可再生能源的开发利用则打破了这一规律。同化石能源资源分布在少数区域不同,太阳能、风能等可再生能源资源广泛分布在世界各地,不同区域只是在资源类型与丰盈程度上有所区别,但大都有开发利用可再生能源的潜力,不需要也无法掠夺他国的阳光、风能。在这种背景下,同传统能源争夺资源的竞争方式不同,可再生能源领域的竞争主要是核心技术竞争,谁掌握了核心技术,谁就掌握了能源,加快本土生产技术的开发^[16]是各国在开发利用可再生能源时的共性。

可再生能源是生态环境保护与治理的重要一环,是中国生态文明建设的重要组成部分。可再生

能源技术的进步又是降低可再生能源开发利用成本,突破市场失灵环境的重要手段。综述中国可再生能源技术70年发展历程,有利于总结经验教训,应对挑战及防范风险。

1 中国可再生能源产业及技术的发展历程

可再生能源技术的发展同可再生能源开发利用的历程密不可分,可再生能源开发历史也是可再生能源技术的发展史。根据各个时期的发展重点及特点,将1949年以来中国可再生能源的开发利用及可再生能源技术的发展划分成以下3个阶段。

1.1 以沼气、水力发电为主阶段(1949—1994): 独立自主的渐进性创新

这一阶段的主要特点是,中国可再生能源的开发利用以生物质能及水能为主,新型生物质能的开发利用主要是指沼气,水能的开发利用主要是水电。太阳能、风能、地热能、海洋能等其他类型的可再生能源则较少涉及。

1958年,毛泽东主席指示“要好好推广沼气”,1965年,中共中央、国务院发布《关于解决农村烧柴问题的指示》,根据中央精神,各地大力推进沼气建设。直到2000年之前,中国生物质能的开发利用都是以沼气为主。

中国的水电行业已经历了百年发展历程。中国大陆第一座水电站在1908年8月开工,但受多种因素的制约,当时的发展较慢。截至1949年底,全国水电装机容量仅为36万kW,年发电量18亿kW·h。新中国成立后,水电行业开始快速发展。截至1978年底,全国水电装机容量达到1867万kW,年发电量496亿kW·h^[17]。1978年以后,水电依然保持快速发展态势,在技术等多个领域都处于世界领先地位。

英国苏塞克斯大学的科学政策研究所把技术创新划分为渐进性创新、根本性创新、技术系统的变革、技术-经济范式的变更等几种类型。按照这种划分模式,这一时期,中国以沼气、水力发电为主的可再生能源技术主要是通过渐进性创新不断发展,基本是从白手起家,直至达到世界先进水平。

目前,中国沼气及小水电技术依然处在世界相关技术领域的前列。

1.2 全面发展的起步阶段(1995—2007):从技术仿制到创造性模仿

20世纪90年代初,中国开始重视太阳能、风能、地热能的开发利用工作。《中共中央关于制定国民经济和社会发展“九五”计划和2010年远景目标的建议》要求,“积极发展新能源,改善能源结构”。《1996—2010年新能源和可再生能源发展纲要》也提出,“要加快新能源的发展和产业建设步伐”。

由于可再生能源开发利用工作刚刚起步,不仅缺乏经验,相关政策法规特别是法律也处于空白状态。应时代发展的需要,有关部门开始重视制订相关法律。1998年实施《中华人民共和国节约能源法》,2006年起施行《中华人民共和国可再生能源法》。同时,在规划方面也开始细化,任务、目标等要素越来越完善。如,2007年印发的《可再生能源中长期发展规划》,提出了从当时到2020年期间中国可再生能源发展的指导思想、主要任务、发展目标、重点领域和保障措施等。

这一时期,中国可再生能源技术取得了长足的进步,但由于发展时间短,技术创新主要处于从技术仿制到创造性模仿过渡阶段,技术推广与扩散以生产制造领域为主,重视产品及设备的生产。技术方面存在的问题主要有以下3点:一是相关技术尚不成熟,缺乏核心技术,没有独立的知识产权,经济效益不高^[18]。新技术在成熟之前需要经历一个很长的过程^[19],中国可再生能源技术起步晚,同国外存在一定的差距。例如,在太阳能光伏电池和风能设备制造领域,没有掌握核心技术,与国际先进水平相比,国产设备和装置的能源转化效率较低,国产风电设备的稳定性差,可发电区间小等。二是研究开发与产业脱离,基础研究较多,但转化能力较弱,应用滞后。中国新能源技术的研究开发以政府投入为主,大部分国家科技计划项目由大学与科研院所承担,但单位间合作研发的发展状况并不乐观^[20]。三是新能源技术被社会及市场排斥。公众普遍认为新能源的成本过高,新能源技术广泛应用不能在近期实现。各级政府对新能源技术的发展支持不够,投资太少。

1.3 不断调整过程中的快速全面发展(2008—2019):从创造性模仿到重视自主创新

中国可再生能源产业在快速发展的同时,也开始不断出现新的问题,如产能过剩、弃风弃光弃水问题等。这一阶段中国可再生能源开发利用的主要特点是,边快速发展边调整。

2008年,中国多晶硅产能2万t,产量约4000t,在建产能约8万t,产能已明显过剩,风电产业也出现了重复引进和重复建设现象。为抑制可再生能源产业的产能过剩问题,有关部门出台了一系列的政策措施。如2009年,国务院批转了国家发展改革委等部门《关于抑制部分行业产能过剩和重复建设引导产业健康发展若干意见的通知》。

为消化可再生能源产业中的产品、设备产能过剩问题,国家加大了对可再生能源开发利用的支持力度,于是一大批风力发电、光伏发电以及生物质发电等可再生能源发电项目纷纷上马,但很快又出现了弃风弃光弃水问题。如2016年1—10月全国弃风弃光弃水电量达到980亿kW·h,超过三峡电站全年发电量,其中,新疆、甘肃弃风分别高达41%和46%^[21]。再加上云南、四川等地的弃水问题,形成了各方关注的弃风弃光弃水问题。为应对这一问题,从2016年开始,中国密集出台了《新能源发电全额保障性收购管理办法》《关于做好风电光伏发电全额保障性收购管理工作有关要求的通知》《解决弃水弃风弃光问题实施方案》《关于促进西南地区水电消纳的通知》等政策文件,以确保弃水弃风弃光电量和限电的比例逐年下降,计划到2020年在全国范围内有效解决弃风弃光弃水问题。

这一时期,中国技术创新主要处于创造性模仿阶段,但也开始重视自主创新,由于生产制造领域的产能过剩,技术推广与扩散开始重视向应用转变。技术方面存在的问题主要有以下3点:一是自主创新能力不足。由于缺少自主创新能力,虽然研究开发投入和专利不少,但大都是外围技术和非核心技术,核心技术和关键设备还要依靠进口,技术水平和生产能力与国外先进技术差距较大。二是存储技术亟待发展。要应对弃风弃光弃水问题,除加大电力消纳力度外,存储技术也是重要的应对选项。由于存储技术存在多种技术路径,也没有一种

存储技术适用于所有的可再生能源^[22],存储技术的发展面临诸多挑战。三是产品质量问题。评价可再生能源技术可持续性的指标主要有能源生产能力、技术成熟度、可靠性、安全等^[23],目前中国可再生能源产品及安装均存在较多的质量问题,有机构在对国内32个省市,容量3.3 GW的425个包括大型地面电站和分布式光伏电站所用设备检测后发现,光伏组件主要存在热斑、隐裂、功率衰减等问题^[24]。

2 中国主要可再生能源的开发利用及技术发展

2.1 中国生物质能的开发利用及技术发展

1) 重点发展沼气阶段(1949—1999)。由于从20世纪五六十年代开始,中国就重视开发利用沼气,到20世纪80年代,中国沼气技术进入成熟阶段。沼气工艺不断完善,综合效益开始显现。2000年以后,随着技术的完善,中国沼气产业进入快速发展阶段,项目规模也开始从过去的家庭小沼气池为主逐步转向大规模的企业化运作模式。

2) 重视发展燃料乙醇阶段(2000—2004)。1999年前后,中国粮食严重积压,推广燃料乙醇以解决陈化粮问题成了选项之一。2001年,当时的中华人民共和国国家计划委员会等五部委颁布了《陈化粮处理若干规定》,确定陈化粮的用途主要用于生产酒精、饲料等。国家批准建立了吉林燃料乙醇等4个燃料乙醇企业。随着陈化粮被消化掉,又产生了一个粮食安全问题。2007年,国家发展和改革委员会明确表示,将不再利用粮食作为生物质能源的生产原料,取代粮食的将是非粮作物。基于粮食安全的考虑,纤维素乙醇技术是当前国内外研究的重点。

3) 关注生物质发电阶段(2005—2008)。早在20世纪80年代,中国就开始尝试利用生物质发电,2005年则是中国生物质发电的重要节点。国家发改委在2005年批复了山东单县、江苏如东、河北晋州等3个地区若干生物质发电示范工程。随后几年里,江苏海安、黑龙江庆安等地的一大批生物质发电项目陆续获得批准,推动了生物质发电技术的快速发展。

4) 综合快速发展阶段(2009—2019)。2009年,中国出台了《可再生能源中长期发展规划》,随后又出台了《“十二五”可再生能源发展规划》《生物质能发展“十三五”规划》等。到2019年,在生物质能技术方面,中国生物质发电技术基本成熟,生物质成型燃料供热技术也日益成熟,正积极发展生物质管道天然气技术。但同欧美发达国家比较,研发能力相对落后,技术设备有待升级。在生物质管道天然气技术方面,德国的技术比较成熟,处于世界领先地位。在垃圾发电技术方面,德国、丹麦、美国和日本等国家相对领先。

2.2 中国水能的开发利用及技术发展

中国水能资源可开发装机容量约6.6亿kW,年发电量约3万亿kW·h,按利用100年计算,相当于1000亿t标准煤,在常规能源资源剩余可开采总量中仅次于煤炭。新中国成立以后,面对电力紧张局面,中国大力发展水电。特别是1978年以来,中国水电开始进行市场化改革,相继引进了业主制、招标投标制、监理制等机制,一大批水电站相继建成投产。到2000年底,中国水电装机容量达7700万kW,超过加拿大成为世界第二。

近年来,中国水电行业在技术方面开始赶超世界先进水平。例如,拥有世界最高的混凝土面板堆石坝,世界最高的碾压混凝土坝等。同时,水电行业的装机规模也开始领先世界。2004年,以公伯峡水电站1号机组投产为标志,中国水电装机容量突破1亿kW,超越美国成为世界第一。

2.3 中国太阳能的开发利用及技术发展

1) 太阳能热水器及太阳能设备生产为主阶段(1949—2007)。20世纪70年代初,中国一些科研单位及科技人员开始研究太阳能的开发利用技术。20世纪八九十年代,主要集中在太阳能热水器技术方面,2000年以后,太阳能热水器行业进入高速发展时期,目前在技术方面处于世界领先水平。1998年,中国开始关注太阳能发电技术,2007年,中国成为生产太阳能光伏电池最多的国家。

2) 太阳能发电产业化阶段(2008—2012)。在这一阶段,由于多晶硅等产品开始出现产能过剩问题,中国政府开始引导企业把建设重点由设备产品的生产转向应用。在应用领域,并网技术开始取代

离网技术,2011年以后,并网型光伏项目已经成为主流,离网型比例几乎可以忽略。

3) 太阳能产业规模化稳定发展阶段(2013—2019)。在《中华人民共和国可再生能源法》基础上,国务院于2013年发布《关于促进光伏产业健康发展的若干意见》,进一步从价格、补贴、税收、并网等多个层面明确了光伏发电的政策框架。到2019年,在太阳能技术方面,光伏制造的大部分关键设备已实现本土化并逐步推行智能制造。同德国、美国等太阳能技术较发达的国家比较,中国的优势在于产业化的规模方面,但在基础研究方面的差距依然明显。

2.4 中国风能的开发利用及技术发展

1) 早期示范阶段(1949—1993)。中国的风力发电开始于20世纪50年代后期,最初的发展重点是离网小型风力发电,主要是为了解决海岛和偏远农村牧区的用电问题。20世纪70年代末,开始进行并网大型风力发电场的建设。从20世纪70年代末到80年代末,中国各地相继开始研制或引进国外风电机组,建设示范风电场,开展试验研究、示范发展。

2) 产业化探索阶段(1994—2002)。1994年,原电力工业部发布了《风力发电场并网运行管理规定(试行)》,出台了电网公司应允许风电场就近上网,全额收购风电场上网电量,对高于电网平均电价部分实行全网分摊的鼓励政策。同年,汕头福澳风力发电有限公司开始运作中国第一个按商业化模式开发的风电项目。

3) 产业化发展阶段(2003—2019)。从2003年起,随着国家连续组织风电特许权招标,规划大型风电基地,2005年风电技术跨入兆瓦级时代。2006年实行《中华人民共和国可再生能源法》后,中国风电开发建设进入了跨越式的发展阶段。到2019年,风电已成为中国继煤电、水电之后的第三大电源。在技术方面,通过引进消化及吸收,3 MW及以下兆瓦级机组总体设计及零部件制造技术已经成熟。但同丹麦、德国等风电发达国家相比,在大功率机组制造技术方面依然存在差距。

2.5 中国地热能的开发利用及技术发展

1) 地热发电为主阶段(1949至80年代末)。中国从20世纪70年代开始地热普查、勘探和利用,先后在广东丰顺、河北怀来、江西宜春等7个地方建设了中低温地热发电站。1977年,中国在西藏羊八井建设了24 MW中高温地热发电站。在地热发电方面,高温干蒸汽发电技术最成熟,成本最低,高温湿蒸汽次之,中低温地热发电的技术成熟度和经济性有待提高。全流发电技术已在中国取得快速发展,干热岩发电技术还处于研发阶段。

2) 供暖与制冷为主阶段(20世纪90年代初至2019年)。20世纪90年代以来,北京、天津、保定、咸阳、沈阳等城市开展中低温地热资源供暖、旅游疗养、种植养殖等直接利用工作。21世纪初以来,逐步加快发展热泵供暖(制冷)等浅层地热能开发利用技术。到2019年,浅层和水热型地热能供暖(制冷)技术已基本成熟,应用范围扩展至全国。

在国际比较方面,20世纪70年代,中国地热能发电技术处于世界领先水平,但随着开发利用地热工作的停滞,地热能发电技术逐步落后世界先进水平。在供暖与制冷技术方面,由于起步较晚,在干热岩利用等前沿技术领域,同德国、法国及美国等国家存在一定技术差距。

3 中国可再生能源技术70年发展的特点及规律

3.1 技术进步是可再生能源提高市场竞争力突破市场失灵的关键要素

可再生能源电力的度电成本竞争力很大程度上依赖于技术的进步,国际可再生能源署(IRENA)的研究认为^[25],风电、光伏、光热成本下降主要源于3个因素:一是技术进步带来的效率提高;二是竞标逐步替代固定上网电价补贴;三是开发项目的规模化。国际能源署(IEA)专家认为^[26],可再生能源电力一半成本的降低和技术创新相关。

中国可再生能源开发利用的历程既是产业规模不断扩大、成本不断降低的历程,也是技术快速

进步的历程,中国可再生能源技术创新经历了仿制、创造性模仿等阶段,当前开始向自主创新阶段转变。

3.2 化石能源占绝对地位对可再生能源的技术扩散产生较大排斥力

在可再生能源技术扩散方面,有研究者认为,影响可再生能源技术扩散的因素有宏观因素,如全球气候变化制度环境、国家政策环境及社会经济发展水平、科技实力;也有微观环境,如技术供给者因素,技术采用者因素,甚至养老诉求对可再生能源技术的扩散都有影响^[27]。也有研究认为,导致新技术被排斥的因素主要有市场机制不完善、需求缺乏、技术不成熟、调查不足、由公司控制市场、网络不足、沟通性差、错误地指导未来市场、立法失败、教育系统的失败、扭曲的资本市场、落后的组织和政治管制等^[28]。有研究者研究了108个发展国家可再生能源技术扩散后认为,电力消费增长和高的化石燃料生产不利于可再生能源技术的扩散^[29]。

在中国能源结构中,以煤炭为主的化石能源占绝对地位,并有着完整的产业结构及基础设施体系,能源替代特别是存量替代的代价较高,这对可再生能源的技术扩散产生较大排斥力。

3.3 可再生能源技术研发方向受政策特别是财政支持政策的影响较大

中国可再生能源补贴政策对可再生能源产业发展及技术创新方向起着引导作用,产业跟着政策走,技术围着产业转。不仅产业发展过程中出现大量骗补现象,可再生能源技术发展也表现出典型的急功近利特征,导致基础研究相对薄弱。

随着可再生能源补贴政策的逐步取消,可再生能源基础研究将面临较好的机遇。根据国际能源署(IEA)^[30]、国际可再生能源署(IRENA)^[31]及国内机构、学者的相关研究,到2020年前后,中国可再生能源电力将具有市场竞争力。尽管受化石能源价格波动等因素的影响,光电、风电及生物质发电等可再生能源电力具有市场竞争力的时间点带有一定的不确定性,但在“十四五”期间,大部分类型的可再生能源电力将拥有市场竞争力,实现平价上网。随着可再生能源补贴政策的逐步取消,国家将

有更多的资金投入 to 基础研究中,这对技术路线图等技术发展战略的制定提出了更高的要求。

4 结论

在可再生能源开发利用过程中,谁占据了技术优势,谁就取得了开发利用的优势。截至2019年,中国水电、风电、太阳能发电的装机和核电在建规模连续多年稳居世界第一,但在可再生能源技术创新方面,中国整体尚处于创造性模仿阶段,积极推动自主创新,是中国可再生能源技术发展阶段转换及取得优势的关键要素。

在诸多可再生能源技术领域,中国已处在或接近世界科技前沿,跟踪式的技术发展路径已不适应现实发展的需要,积极推动自主创新是现实发展的需要。基础研究是自主创新的重要基础,制定前瞻性的技术发展路线图是保障研究方向正确的关键。当前,科技发展正处于从工业技术范式向智慧技术范式转换阶段,这为可再生能源技术的发展提供了更大的空间,但也给把握技术发展方向带来更多的不确定性及更大的挑战。

参考文献(References)

- [1] 路甬祥. 清洁、可再生能源利用的回顾与展望[J]. 科技导报, 2014, 32(28/29): 15-26.
- [2] 沈德昌. 我国风能技术发展历程[J]. 太阳能, 2017(8): 9-10.
- [3] 王建涛. 浅述太阳能光伏的发展历程及应用[J]. 中国设备工程, 2018(10): 225.
- [4] 谭洪起. 太阳能建筑的发展历程[J]. 建筑知识, 2007, 27(4): 14-18.
- [5] 官巧燕, 廖福霖, 罗栋. 国内外生物质能发展综述[J]. 农机化研究, 2007(11): 20-24.
- [6] 贺德馨. 风能技术可持续发展综述[J]. 电力设备, 2008, 9(11): 4-8.
- [7] 凌岳. 中国可再生能源发展历程大事记[J]. 中外能源, 2009(3): 5-76.
- [8] 胡兴军. 太阳能光伏发电产业发展综述[J]. 上海电力, 2008(4): 365-370.
- [9] 李俊峰, 童建栋, 于午铭, 等. 可再生能源三十年[J]. 中国报道, 2008(10): 81-83.
- [10] 李继峰, 刘明. 中国能源发展: 改革开放四十年回顾与

- 未来三十年展望[J]. 发展研究, 2019(3): 48-53.
- [11] 水电水利规划设计总院. 改革开放40年新能源建设成就与展望(上)[J]. 中国电力企业管理, 2018(34): 40-44.
- [12] 水电水利规划设计总院. 改革开放40年新能源建设成就与展望(下)[J]. 中国电力企业管理, 2018(34): 38-41.
- [13] 刘斯颖. 改革开放40年中国电力设备管理成就与迈入新时代的思考[J]. 电力设备管理, 2018, 24(9): 15-23.
- [14] 秦海岩. 改革开放四十载, 风电峥嵘岁月稠[J]. 风能, 2018, 104(10): 89.
- [15] 朱彤. 中国能源工业七十年回顾与展望[J]. China Economist, 2019, 14(1): 34-65.
- [16] Alrashed F, Asif M. Prospects of renewable energy to promote zero-energy residential buildings in the KSA[J]. Energy Procedia, 2012(18): 1103.
- [17] 张保淑. 水电中国造福世界[N]. 人民日报海外版, 2018-7-4(10).
- [18] 刘博. 我国新能源技术发展问题及对策[J]. 辽宁工业大学学报(社会科学版), 2009(2): 33.
- [19] Islas J. The gas turbine: A new technological paradigm in electricity generation[J]. Technological Forecasting and Social Change, 1999(40): 129-148.
- [20] 张古鹏, 陈向东. 新能源技术领域专利质量研究——以风能和太阳能技术为例[J]. 研究与发展管理, 2013(1): 79.
- [21] 遍地开花暗藏消纳困境, 清洁能源疾呼破局良方[EB/OL]. [2019-08-20]. <http://www.hbzhan.com/news/detail/114661.html>.
- [22] Beaudin M, Zareipour H, Schellenberg A, et al. Energy storage for mitigating the variability of renewable electricity sources: An updated review[J]. Energy for Sustainable Development, 2010, 14(4): 302-314.
- [23] Demirtas O. Evaluating the best renewable energy technology for sustainable energy planning[J]. International Journal of Energy Economics and Policy, 2013(3): 23-33.
- [24] 光伏组件质量隐患重重或大幅降低投资收益[EB/OL]. [2019-08-20]. <http://roll.sohu.com/20141103/n405735079.shtml>.
- [25] International Renewable Energy Agency. Renewable power generation costs in 2017[R]. Abu Dhabi: IRENA, 2018.
- [26] 朱怡. 技术创新还将极大降低可再生能源发电成本——访国际能源署(IEA)首席经济学家 Laszlo Varro[EB/OL]. [2019-08-20]. http://www.cpn.com.cn/zdyw/201810/20181019_1099164.html.
- [27] Freitas I M B, Dantas E, Iizuka M. The Kyoto mechanisms and the diffusion of renewable energy technologies in the BRICS[J]. Energy Policy, 2012(42): 119.
- [28] Jacobsson S, Johnson A. The diffusion of renewable energy technology: An analytical framework and key issues for research[J]. Energy Policy, 2000, 28(9): 631.
- [29] Pfeiffer B, Mulder P. Explaining the diffusion of renewable energy technology in developing countries[J]. Energy Economics, 2013(40): 285.
- [30] International Energy Agency. Renewables 2018: Analysis and forecasts to 2023[R]. Paris: IEA, 2018.
- [31] International Renewable Energy Agency. People, planet and prosperity[R]. Abu Dhabi: IRENA, 2019.

Overview of renewable energy technology development in China (1949—2019)

LOU Wei

Institute for Urban and Environment Studies, Chinese Academy of Social Sciences, Beijing 100028, China

Abstract This paper reviews the achievements and the progress of the renewable energy technology in the past 70 years. Since the founding of the People's Republic of China, due to the lack of energy, China has attached a great importance to the development of renewable energy such as the biogas and the hydropower. By the early 1990s, in view of the pressure of the energy security, the environmental protection and other factors, China began to further strengthen the development of renewable energy such as the solar energy, the wind energy and the biomass energy. The technologies of the biogas and the hydropower in our country have reached the matured state earlier and are at the forefront of the world at present. Other renewable energy technologies, such as the solar energy and the wind energy, have gone through the development process from the technology imitation to the creative imitation, and are now at the key point of turning to the independent innovation.

Keywords renewable energy; renewable energy technology; renewable energy industry ●



(责任编辑 傅雪)