

我国可再生能源技术的现状与发展

李俊峰，时璟丽

(国家发展和改革委员会能源研究所，北京,100038)

0 引言

可再生能源包括水能、风能、太阳能、生物质能、地热能和海洋能等，资源潜力大，环境污染低，可永续利用，是有利于人与自然和谐发展的重要能源。上世纪 70 年代以来，可持续发展思想逐步成为国际社会共识，可再生能源开发利用受到世界各国高度重视，许多国家将开发利用可再生能源作为能源战略的重要组成部分，提出了明确的可再生能源发展目标，制定了鼓励可再生能源发展的法律和优惠政策，可再生能源得到迅速发展，成为各类能源中增长最快的领域。一些可再生能源技术的市场应用和产业，如光伏发电、风电等在近 10 年的年增长速度都在 20%以上，可再生能源发展已成为国际能源领域的热点。

可再生能源是我国重要的能源资源，在满足能源需求、改善能源结构、减少环境污染、促进经济发展等方面发挥了很大作用。我国政府一直重视可再生能源的开发利用，除水电自上世纪 50 年代开始蓬勃发展外，自上世纪 80 年代，风电、太阳能、现代生物质能等技术应用和产业也在政府的支持下稳步发展，小水电、太阳能热水器、小风电等一些可再生能源技术和产业已经走在世界的前列。“十五”期间，我国进入了可再生能源快速发展时期，水电建设大中小并举，开发建设速度显著加快；通过采取特许权招标等措施，积极推进风电规模化发展；以送电到乡和解决无电人口生活用电为契机，发展太阳能光伏发电、小型风电，推动分散式可再生能源发电技术的发展；围绕改善农村环境卫生条件和增加农民收入，积极发展农村户用沼气；通过市场推动，大力推广普及太阳能热水器；以技术研发和试点示范为先导，积极推动了生物质能发电和生物液体燃料开发利用。2005 年，我国可再生能源年利用量总计为 1.66 亿 t 标准煤（不包括传统方式利用的生物质能），约占一次能源消费总量的 7.5%，其中水电为 1.38 亿 t 标准煤，太阳能、风电、现代技术生物质能利用等提供 2800 万 t 标准煤的能源。同年颁布的《可再生能源法》标志着我国可再生能源发展进入了一个新的历史阶段。除水能外，我国资源丰富、近期利用技术较为成熟、开发潜力较大的主要是风能、生物质能和太阳能，地热、海洋能利用等在中远期也有很好的发展前景。

1 并网风电进入规模化发展阶段. 是全球最有发展潜力的市场之一

我国幅员辽阔，海岸线长，风能资源比较丰富。风能资源总量约为 32 亿 kW，初步估算可开发利用的风能资源约 10 亿 kW。风能资源丰富的地区主要分布在东南沿海及附近岛屿，内蒙古、新疆和甘肃河西走廊，东北、西北、华北和青藏高原的部分地区。另外，内陆也有个别风能资源丰富的地区。

我国的并网风电从上世纪 80 年代开始发展，“十五”期间，风电发展非常迅速，总装机容量从 2000 年的 35 万 kW 增长到 2005 年的 126 万 kW（见图 1），年均增长率达到 30%。风电装机容量在 2004 年位居世界第 10，到 2005 年底上升为世界第 7 位。从 2003 年开始，国家连续组织四期风电特许权项目，以上网电价和设备的本地化率为条件，通过招标选择投资者。四期项目确定了 300 万 kW 建设规模，同时有效地降低了风电的上网电价，促进了风电投资多元化，提高了风电装备国产化和本地化的能力和活力。目前，我国已经基本掌握单机容量 750 kW 以下大型风力发电设备的制造技术，2005 年自主研发的直驱和引进技术消化吸收研制的 1200kW 风电机组已经投入试运行，1500kW 和 2000kW 级风电机组正进入研制阶段，在国家风电设备国产化政策的有力推动下，风电设备零部件制造水平也有了较大提高，具备

了齿轮箱、叶片、电机等关键零部件制造能力，外商已开始在我国采购风电设备零部件。2005年在风电新增市场份额中，国内产品占29.4%，进口产品占70.6%；在累计市场份额中，国内产品占22.7%，进口产品占77.3%。此外，我国已经建成了60多个风电场，掌握了风电场运行管理的技术和经验，培养和锻炼了一批风电设计和施工的技术人才，为风电的大规模开发和利用奠定了良好的基础。总之，我国的并网风电已经开始进入规模化发展阶段。

根据国家发展规划中提出的目标，到2010年和2020年，全国风电总装机容量将达到500万kW和3000万kW。“十一五”期间，将在我国风能资源丰富的地区，即东部沿海和西北、华北和东北地区，建设30个左右100MW等级的大型风电项目，从而在江苏、河北、内蒙古等地形成百万千瓦风电基地，营造出风电场开发的广阔市场。

在离网型小风电方面，我国已经形成了世界上最大的小风机产业和市场，到2005年，已经推广了32万台小型风机（总容量约6.5万kW）用于边远地区居民用电，估计目前有约25万台小风机在用。我国已经形成了单个系统容量从100W到10kW的系列成熟的小风机产品，在2005年生产的33000多台小风机中，有5800多台出口到世界20多个国家，创造了很好的经济和社会效益。

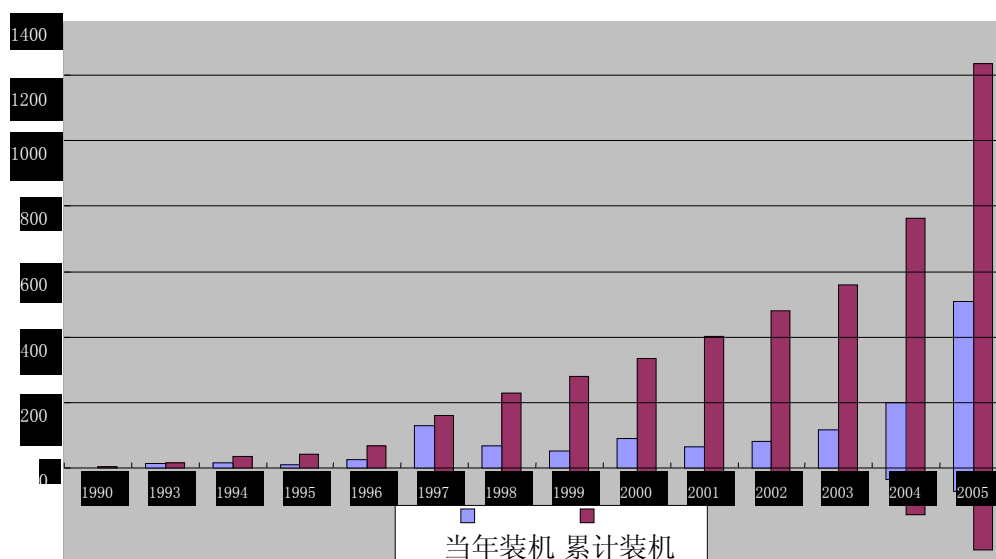


图1 我国风电装机容量增长情况 (单位: MW)

世界各普遍看好我国的风电市场，有希望在2020年以后超过德国和美国成为世界最大的风电装机国和最大的风电设备供应国，世界风能理事会还预计，2020年，我国的风电装机有可能达到1.5亿千瓦，总之，我国风能资源丰富，电力需求充足，有可能成为世界上最重要的风电市场之一。

2 多样化的生物质能现代利用技术发展迅速，有巨大的发展潜力

生物质能资源种类繁多，利用技术多样。生物质能包括农作物秸秆、林业剩余物、油料植物、能源作物、生活垃圾和其它有机废弃物。目前，每年可作为能源使用的农作物秸秆资源量约为1.5亿t标准煤、林业剩余物资源量约2亿t标准煤，小桐子（麻疯树）、油菜籽、蓖麻、漆树、黄连木和甜高粱等油料植物和能源作物潜在种植面积可满足年产5000万t生物液体燃料的原料需求。工业有机废水和禽畜养殖场废水资源量，理论上可以生产沼气近800亿m³，相当于5700万t标准煤。根据目前我国生物质能利用技术状况，生物质能利用重点将是生物质发电、沼气和生物质液体燃料等。

我国的沼气利用技术基本成熟，尤其是户用沼气，已经有几十年的发展历史。自2003年，农村户用沼气建设被列入国债项目，中央财政资金年投入规模超过10亿元，在政府政

策的大力推动下，户用沼气已经形成了规模市场和产业；自 2000 年，畜禽场、食品加工、酒厂、城市污水处理厂等的大中型沼气工程也开始发展，到 2005 年底，全国已经建设农村户用沼气池 1700 万口，生活污水净化沼气池 14 万处，畜禽养殖场和工业废水沼气工程达到 1500 处，年产沼气约 80 亿 m^3 ，为近 7000 万农村人口提供了优质的生活燃料。同时，随着沼气技术不断进步和完善，我国的户用沼气系统和零部件基本实现了标准化生产和专业化施工，大部分地区建立了沼气技术服务机构，具备了较强的技术服务能力。大中型沼气工程工艺技术成熟，已形成了专业化的设计和施工队伍，服务体系基本完备，具备了大规模发展的条件。近期的发展重点是继续扩大农村地区的户用沼气、特别是与农业生产结合的沼气技术的应用范围，在城镇发展以大型畜禽养殖场沼气工程和工业废水沼气工程为气源的集中供气。目标是到 2010 年和 2020 年，沼气年利用量达到 190 亿和 440 亿 m^3 。

除沼气外，我国其它生物质能技术的应用仍处于产业化发展初期。在生物质发电方面，已经基本掌握了农林生物质发电、城市垃圾发电、生物质致密成型燃料等技术，但目前的开发利用规模还有待扩大。到 2005 年，全国生物质发电装机容量超过 200 万 kW，其中蔗渣发电 170 万 kW，碾米厂稻壳发电 5 万 kW，城市垃圾焚烧发电 30 万 kW，此外还有一些规模不大的生物质气化发电的示范项目。2006 年，随着国家对解决三农问题政策和生物质发电价格政策等的出台，国内开始掀起秸秆、林木废弃物发电的热潮，目前全国已有 10 多个生物质直燃发电项目在建，装机规模超过 20 万 kW。但是，对于达到 2010 年和 2020 年生物质发电装机 500 万 kW 和 3000 万 kW 的发展目标，需要解决资源分散、原料收集成本高、原料供应的连续性和保证度等问题。

在生物液体燃料方面，为了缓解石油供需矛盾，国家积极推进生物液体燃料技术的研发和试点示范工作。“十五”期间国家批准建设了 4 个以陈化粮为原料的生物燃料乙醇生产试点项目，形成生产能力 102 万 t/a，自 2004 年，在黑龙江、吉林、辽宁、河南、安徽 5 个省及河北、山东、江苏、湖北 4 个省的 27 个地市开展车用乙醇汽油试点工作。近期内我国重点的技术研发方向是利用非粮食原料（主要为甜高粱、木薯以及木质纤维素等）生产燃料乙醇技术和以小桐子等油料作物为原料制取生物柴油，并建设规模化原料供应基地，建立生物液体燃料加工企业。目前，以甜高粱、木薯为原料的燃料乙醇和以小桐子为原料制取生物柴油已开展了小规模试验，为我国大规模开发利用生物液体燃料积累了经验。到 2010 年，燃料乙醇的年生产能力达到约 200 万 t，生物柴油的年生产能力达到 20 万 t，总计年替代 200 万 t 成品油。与此同时，我国的部分企业正在研究开发以秸秆、木材等非粮食为原料的生物液体燃料技术，并取得了一定的突破，可望在 2010 年前后形成规模化生产能力。

3 太阳能光伏发电产业迅速扩张 市场稳步发展

我国太阳能较丰富的区域占国土面积的 2/3 以上，年辐射量超过 60 亿 J/m^2 ，每年地表吸收的太阳能大约相当于 1.7 万亿 t 标准煤的能量，具有良好的太阳能利用条件，特别是西北、西藏和云南等地区，太阳能资源尤为丰富。

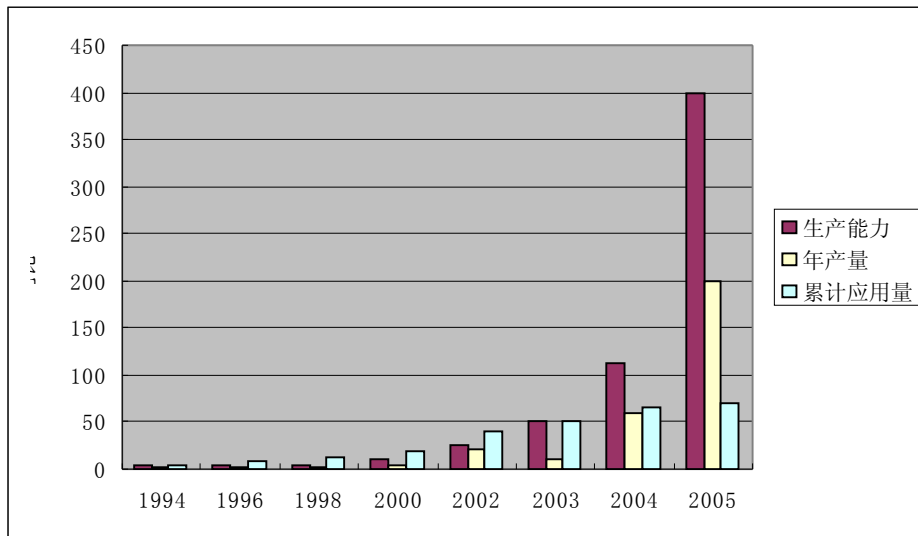
太阳能光伏发电是目前成熟的技术，其应用的市场障碍主要是成本过高以及硅材料的短缺，目前光伏发电的成本仍在 4~6 元/kW 时左右，与商业化应用有相当的距离。但是，自 2004 年，在国际光伏市场尤其是德国、日本市场的强大需求的拉动下，我国的光伏产品生产能力迅速扩张，包括晶体硅片和太阳能电池的生产能力、以及太阳能电池组件的封装能力都大为增加，形成了一批具有国际竞争力和国际知名度的光伏电池生产企业。2002 年，我国光伏组件的生产能力不 30MW，但截止到 2005 年底，我国晶体硅及硅片、光伏电池、光伏电池组件生产能力分别达到 200、243 和 400 MW，居世界第三位，出现了跳跃式发展。自 2006 年，一些光伏生产企业又鉴于光伏产业链的发展不平衡的局面，即上游环节（硅锭/片的生产）能力小，下游环节（组件的封装）能力大，造成国际市场多晶硅原料的紧缺和涨价，开始考虑投资硅材料的生产，有望在 2008 年前后形成一定规模的生产能力，估计 2010 年我国的光伏发电产品产量可能突破 1000MW，成为世界最大的光伏电池生产国。

在太阳能光伏市场应用方面，2002—2004 年，国家组织实施了“送电到乡”工程，中央和地方财政共安排 47 亿元的资金，在内蒙古、青海、新疆、四川、西藏和陕西等 12 个省（市、区）的 1065 个乡镇，建设了一批独立的光伏、风光互补、小水电等可再生能源电站，其中光伏电站占大部分，应用了 1.7 万 kW 的光伏电池，促进了国内光伏产业的兴起。但由

于光伏发电价格高昂，与主要依赖于国际市场的蓬勃发展的产业相比，国内光伏市场发展步伐稍缓，但一直处于稳步发展上升状态。到 2005 年，累计光伏发电容量为 7 万 kW，其中 42% 为独立光伏发电系统，用于解决电网覆盖不到的偏远地区居民用电问题，此外，通信等工业领域和光伏消费品分别占据 36% 和 17% 的市场份额，自 2004 年，我国也开始进行屋顶并网光伏系统的示范，市场份额为 4%。

考虑到经济成本和支持我国光伏产业持续发展的需要，我国的光伏发电应采取稳步发展的原则和策略。在今后 5~10 内，我国的光伏发电系统的应用一方面还将以采用户用光伏发电系统和建设小型光伏电站为主，来解决偏远地区无电村和无电户的供电问题，将建设光伏发电 20 万 kW，为 200 万户偏远地区农牧民（即目前我国 1/3 的无电人口）提供最基本的生活用电；另一方面，借鉴发达国家发展屋顶系统的经验，在经济较发达、城市现代化水平较高的大中城市，在公益性建筑物和其他建筑物以及在道路、公园、车站等公共设施照明中推广使用光伏电源。此外，还将开展大型并网光伏系统的示范，为在光伏发电成本下降到一定水平时开展大型并网光伏系统的大规模应用作准备。到 2010 年和 2020 年，光伏系统的这 3 个方面的应用总量将达到约 40 万 kW 和 180 万 kW。

图 2 我国光伏电池的组件生产能力、年产量、累计市场应用量



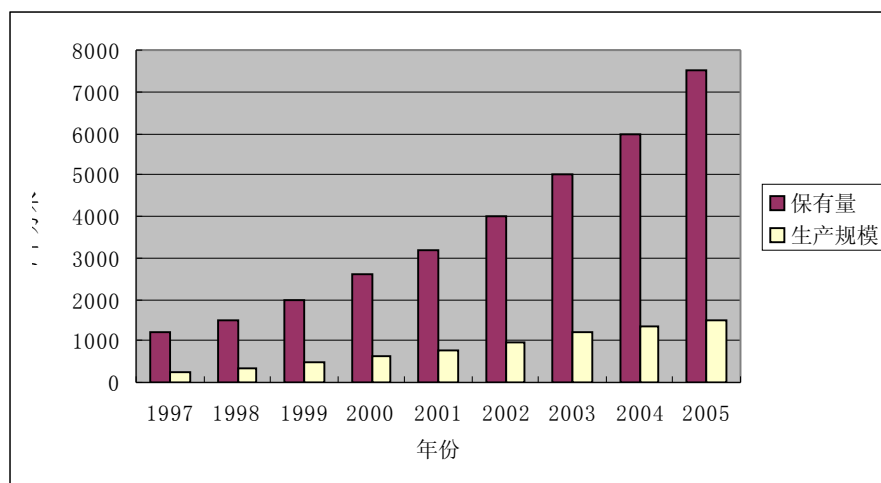
4 太阳能热水器技术成熟,在城乡热水供应方面发挥着巨大作用

在太阳能热利用方面，目前最广泛应用的技术是太阳能热水器，主要用于提供生活洗浴热水，为提高中小城市居民的生活质量发挥了重要作用。到 2005 年，我国太阳能热水器在过去十年中增长率达到 27%，8% 的家庭用户拥有太阳能热水器。总集热面积达到 8000 万 m²，年生产能力 1500 万 m²，使用量和年产量均占世界总量的一半以上。太阳能热水器已完全实现了商业化，形成原材料加工、产品开发制造、工程设计和营销服务的产业体系，同时带动了玻璃、金属、保温材料和真空设备等相关行业的发展，成为一个产业规模迅速扩大的新兴产业，目前有 1000 多家有一定规模的太阳热水器生产企业。尤其是我国自主创新的真空管热管技术，技术水平居于世界领先地位，真空管热水器在我国得到广泛应用，年产量超过 1200 万 m²，占世界真空管热水器市场的 90% 以上。同时真空管热水器以其优良的性能，出口亚洲、欧洲、非洲等几十个国家。2004 年以来，随着与建筑结合技术水平的不断提高，建设完成了一批太阳能热水器与建筑结合项目，太阳能热水器与房地产项目同步设计、同步施工、同步验收的理念逐步被建筑行业所接受。建设社会主义新农村活动的开展，为太阳能热水器在农村地区的推广应用提供一个很好的契机，越来越多的农村的新村改造项目使用太阳能热水器，北京等一些地区还开始利用太阳能热水器为农户供暖。

除了太阳能热水器外，我国正在开发和扩大太阳能热利用的领域，包括太阳能供暖、制冷空调、海水淡化、工业加热等诸多领域，已经开始前期的研究和示范系统建设工作。

根据 2005 年的统计数据, 如果不考虑水电和传统的生物质利用, 在我国 2800 万 t 标准煤的其它可再生能源利用量中, 太阳能热水器就提供了一半。太阳能资源潜力巨大, 热水器利用技术成熟, 具有经济性和市场竞争力, 在我国的水热水器市场方面出现了电热水器、燃气热水器和太阳能热水器并驾齐驱的局面, 因此太阳能热利用在我国的可再生能源利用中, 甚至在今后的能源的供应中可以扮演一个重要的角色。我国将继续在城市推广普及太阳能一体化建筑、太阳能集中供热水工程, 并建设太阳能采暖和制冷示范工程。在农村和小城镇推广户用太阳能热水器。目标是到 2010 年, 全国太阳能热水器总集热面积达到 1.5 亿 m^2 , 加上其它太阳能热利用, 年替代能源量达到 3000 万 t 标准煤。

图 3 我国太阳能热水器生产规模和保有量



5 其它可再生能源技术发展参差不齐,在不同的应用场合发挥着作用

除了风能、生物质能和太阳能之外, 地热、海洋能也是开发潜力很大、具有利用价值的新能源和可再生能源, 并且在一定程度上得到开发和利用, 在一些不同的场合发挥着作用。

地热能利用可分为发电利用和直接利用两个方面。发电的地热流体要求温度较高, 一般要求 150°C 甚至 200°C 以上才比较经济。我国高温地热资源地区分布有限, 主要集中在西藏、云南的横断山脉一线, 已经进行了资源勘探和开发的地区, 主要集中在西藏的羊八井和云南的腾冲。目前全国地热装机总量为 32.08MW, 其中 88% 都集中在西藏, 羊八井是我国目前唯一的具有一定规模的地热电站, 并且由于地热发电对资源要求条件高, 1993—2003 年, 我国没有建设新的地热电站。2004 年, 装机 48.8 MW 的滇西腾冲地区地热电站一期开始建设, 建成后, 将成为我国大陆建造的第 2 座具有一定生产规模的地热电站。

地热直接利用要求的水温相对较低, 中低温地热资源都可以加以利用, 如采暖、温室种植、洗浴、治疗等。我国的地热资源以中低温为主, 遍布全国各处。在中低温地热的直接利用方面, 我国从上世纪 90 年代开始, 逐步加大了开发力度, 地热热利用以年均 10% 的速度增长, 尤其北方地区加大了以地热供热 (采暖和生活用水) 为主的开发力度。2005 年地热供暖面积达 3000 万 m^2 , 并为约 60 万户居民提供生活热水。

地源热泵的应用, 是地热直接利用领域中的一项重要的技术革新, 作为分布式热源得到市场的青睐。热泵可以利用遍布的低温地热作为热源, 也可将目前我国北方地区大量被排放的 $30\sim 40^{\circ}\text{C}$ 地热尾水再次利用, 扩大采暖面积。作为一种新兴能源型产业, 我国地热热泵的应用在 2000 年之后在大中城市的逐渐兴起。随着能源趋紧的形势, 热泵产业越来越受到社会各界的关注, 市场上出现了很多产品及品牌, 在办公楼、宾馆、住宅等领域热泵都有应用, 并且以年超过 10% 的速度在上升。地源热泵也将是我国今后地热应用的重点领域, 已经在建筑节能方面开始发挥积极作用。

海洋能主要包括潮汐能、波浪能、海流能等。我国已经建设了 8 座潮汐电站, 近期正在探讨新的潮汐发电方式, 进行技术研究和示范。此外, 近些年来我国波浪能开发利用技术发

展较快。自“七五”开始，我国在波浪能转换效率、波浪能稳定输出和波浪能装置建造技术上都有了显著的提高。2004年，我国研制的波浪能独立发电系统，在实验室成功地将平均功率8kW、波动值为8kW的不稳定的液压能转换为稳定的电能。2005年，又成功地实现了把不稳定的波浪能转化为稳定电能。截至2005年底，我国已拥有100kW、20kW岸式振荡水柱波能装置各一座、700余个1kW以下装置。

6 可再生能源发展前景任重道远

可再生能源与常规能源的最大区别在于，它可以把存在于自然界的能源，通过机械装备制造生产出来的装备，将能源直接从自然界中生产出来。由于可再生能源的发展依赖于装备制造业的发展，因此，可再生能源技术的发展，可能又是新一轮的能源领域的国际竞争，它就像上世纪人们千方百计地寻找煤炭、石油和天然气一样，谁掌握了可再生能源的装备技术，谁就拥有了开发利用可再生能源的主动权。但是可再生能源装备制造技术的发展依赖于一个国家装备制造业的总体水平。可以说，可再生能源的发展是以现代制造技术为基础的新型产业，它首先在世界制造业的大国，如美国、日本和欧洲一些国家特别是德国等率先发展，然后逐步在印度、巴西、中国等一些具有制造业基础的大国发展。

我国的可再生能源处于快速发展阶段，一些技术已经达到或接近商业化发展的水平，无论从资源、技术和产业的角度，在近期都有大规模发展的潜力。可再生能源已经开始在我国的能源供应中发挥作用，在未来能源供应构成中可以具有举足轻重的地位。根据政府制定的国家发展目标，2020年可再生能源的发电比例可以达到15%以上，2040年之后可以达到30%或更高的水平，成为重要的替代能源。在今后5~10年将是我国风电、光伏发电和生物质能大规模利用的起步阶段，能否抓住机遇，迅速形成可再生能源市场和产业是关键所在。总之，我国可再生能源发展潜力巨大，前景广阔，但是技术和产业的发展还需要政府政策的扶持，在技术研发和产业化发展方面任重道远，需要持之以恒的努力。

摘 自：《中国电力》

发表日期：2006-10