



# 目录

一、意义和必要性.....	1
二、国内外现状和发展趋势.....	3
(一)、国外相关技术、产业和应用现状及发展趋势.....	3
(二)、国内相关基础、已有部署安排及取得的重大成果.....	11
(三)、国内外现状比较.....	16
(四)、本专项拟解决的重大科学问题和重大技术瓶颈.....	21
三、目标及主要任务.....	23
(一) 总体目标.....	23
(二) 主要任务与具体目标.....	24
方向 1：太阳能光伏.....	25
任务 1：光伏系统及平衡部件技术.....	25
任务 2：高效率低成本太阳能电池技术.....	26
任务 3：太阳能电池和光伏系统实证与测试技术.....	27
方向 2：太阳能热利用.....	28
任务 4：基于高参数的高效太阳能热发电基础研究.....	28
任务 5：太阳能热发电系统集成与关键装备技术研究.....	29
任务 6：太阳能区域供暖技术研究与系统示范.....	29
方向 3：风能.....	30
任务 7：中国典型风资源特性及其对大型风电叶片翼型族优化设计影响研究.....	31
任务 8：7-10 兆瓦智能化风电机组关键技术研究.....	31
任务 9：10 兆瓦级风力发电公共试验平台研发.....	32
任务 10：基于大数据和互联网的风电场设计与运维关键技术研究.....	33
任务 11：海上风电场开发成套关键技术研究及示范.....	34

方向 4: 生物质能.....	34
任务 12: 生物质液体燃料清洁制备与高效利用.....	35
任务 13: 生物质燃气高效制备与高值利用.....	35
任务 14: 生物质先进燃烧和热电联产.....	36
任务 15: 藻类等能源植物规模化培育及燃料转换.....	37
方向 5: 地热能.....	38
任务 16: 干热岩工程化开发利用关键技术研发与示范.....	38
任务 17: 水热型储层改造及高效增产关键技术研发与示范.....	39
方向 6: 海洋能.....	40
任务 18: 海洋能资源特性及高效转换利用机理方法研究.....	40
任务 19: 海洋能利用核心装备技术与实海况发电系统.....	41
方向 7: 氢能.....	42
任务 20: 氢的绿色制备、高密度储运及高效利用基础研究.....	42
任务 21: 氢的绿色制取与高效储运技术及示范.....	42
任务 22: 燃料电池发电技术.....	43
方向 8: 可再生能源综合利用.....	44
任务 23: 风光大规模应用的环境影响.....	45
任务 24: 西部省级以可再生能源为主系统的研究及示范.....	45
任务 25: 东部城市以可再生能源为主系统的研究及示范.....	46
任务 26: 以可再生能源为主的独立微能源系统研究及示范.....	47
四、资金需求.....	48
五、组织实施方式与保障措施.....	48
(一) 组织实施机制.....	48
(二) 保障措施.....	48
六、效益与风险分析.....	49
(一) 效益分析.....	49
(二) 风险分析.....	50

七、其他说明和附件.....	51
----------------	----

## 一、意义和必要性

当前日趋严峻的能源及环境问题，已经在全世界形成了规模化开发利用非化石能源的大趋势。我国作为最大的发展中国家、世界第二大经济体和碳排放总量最大的国家，已经在实现能源低碳化和经济转型方面做出了庄严承诺。

习总书记宣布，中国计划在2030年左右达到二氧化碳排放峰值，到2020年非化石能源占一次能源消费比重提高到15%左右，2030年非化石能源占一次能源消费比重提高到20%左右；2015年6月底，我国向联合国气候变化框架公约秘书处提交《强化应对气候变化—中国国家自主贡献》文件，成为第十五个提交国家自主贡献的缔约方。在中央财经领导小组第六次会议上，习近平发表重要讲话强调，面对能源供需格局新变化、国际能源发展新趋势，保障国家能源安全，必须推动能源生产和消费革命，要着力发展非煤能源，形成煤、油、气、核、新能源、可再生能源多轮驱动的能源供应体系。同时，为落实党中央、国务院关于生态文明建设的有关要求、有效应对气候变化和推动战略性新兴产业发展，各方都对大力发展非化石可再生能源提出了极高的要求，必须通过比目前更有力的举措实施推动，切实实现可再生能源的持续规模化增速开发和经济性提升。因此，有必要尽快启动并实施可再生能源与氢能技术重点专项，推动可再生能源与氢能等安全、清洁能源的大规模、低成本开发利用，为实现国家战略发展目标提供科技支撑。

可再生能源与氢能重点专项中的可再生能源形式主要包括太阳能、风能、生物质能、地热能 and 海洋能等，具有资源潜力大、可持续利用、开发利用的环境影响小等特点；氢能是可再生能源大规模利用的一种新型载体，具有可大规模储存、输运便捷、清洁环保等特点。我国已将可再生能源列为国家战略性新兴产业。《国家中长期科学和技术发展规划纲要（2006-2020年）》（国发〔2006〕6号）明确将“可再生能源低成本规模化开发利用”列为优先主题，将“氢能及燃料电池技术”列为前沿技术。国家《可再生能源中长期发展规划》（发改能源〔2007〕2174号）提出“提高可再生能源在能源消费中的比重，推进可再生能源技术的产业化发展”。2014年11月国务院印发的《能源发展战略行动计划（2014-2020）》（国办发〔2014〕31号）中提出“加快发展可再生能源，到2020年非化石能源占一次能源消费比重达到15%”，“大力发展风电，加快发展太阳能发电，积极发展地热能、生物质能和海洋能，提高可再生能源利用水平”；明确将光伏、太阳能热发电、风电、生物燃料、地热能利用、

海洋能发电、氢能与燃料电池等列为能源科技创新战略重点方向。2015年4月发布的《中共中央 国务院关于加快推进生态文明建设的意见》中提出“调整能源结构，发展清洁能源、可再生能源，不断提高非化石能源在能源消费结构中的比重”，“加快风电、太阳能光伏发电等新材料、新装备的研发和推广，推进生物质发电、生物质能源、沼气、地热、浅层地温能、海洋能等应用，发展分布式能源”，“推进节能发电调度，优先调度可再生能源发电资源”。2015年5月，国务院发布的《中国制造2025》（国发〔2015〕28号）中提出“持续提高绿色低碳能源使用比率”、“推进新能源和可再生能源装备发展”。2015年7月国务院发布的《关于积极推进“互联网+”行动的指导意见》（国发〔2015〕40号），在“互联网+”智慧能源方面提出“加强分布式能源网络建设，提高可再生能源占比，促进能源利用结构优化”、“促进非化石能源与化石能源协同发电”以及“建设以太阳光能、风能等可再生能源为主体的多能源协调互补的能源互联网”。因此实施可再生能源与氢能技术重点专项，对顺应国际能源技术发展趋势，促进我国能源转型，推动能源消费革命、供给革命和技术革命，实现清洁、低碳、安全和可持续发展具有重要意义。

近年来，我国在可再生能源及氢能开发利用、装备研制等方面已经取得重大成绩，光伏、风电、太阳能热利用等产业和利用规模世界第一。可再生能源与氢能产业成为我国未来经济增长的主要动力之一，也是我国在未来占领国际战略制高点的优势产业之一。但目前行业发展正面临严重的国际竞争压力。在环境和能源的双重压力下，为了占据全球竞争的领导地位，发达国家大幅度增加可再生能源科技投入，并针对我国发起一系列技术贸易壁垒，压迫我国产业空间。美国政府十分重视可再生能源技术的研发，奥巴马新能源计划提出，未来10年内投入1500亿美元资助替代能源的研发。德国政府在2011年至2015年间，共投入35亿欧元用于可再生能源技术研发。此外，为了有效制约我国可再生能源产品制造业持续发展，欧美国家不断通过制定可再生能源产业的部分扶持政策及补贴措施、制定限制我国产品进口政策等方式，针对我国光伏发电等新能源产品发起了“双反”贸易壁垒。面对这种形势，我国可再生能源与氢能产业唯有进行技术创新，抢占国际前沿技术研发和标准制定的先机，才能提升相关产业在全球能源领域的话语权，不断提升我国可再生能源产业国际地位。

与此同时，相比我国可开发的资源潜力，可再生能源及氢能产业未来还有巨大

的市场空间，未来将继续保持快速发展的态势。但当前已显露出弃风、弃光严重和显性成本较高造成的发展速度缓慢等问题；可再生能源技术水平以及在终端能源消费的份额与发达国家相比仍有较大差距，原创技术严重缺乏，效率世界纪录及设计工具软件基本来自国外；行业仍存在大量制约健康可持续发展的共性关键技术问题亟待突破，一些产业关键的生产装备和关键材料尚未形成国产化，还依赖进口；技术研发投入严重不足；没有形成与产业规模相匹配的具有世界影响力的国家级公共平台；以物联网、云计算、大数据等信息化和互联网技术，对产业信息化、智能化升级提出新的要求。因此为实现可再生能源的规模化发展和经济性提升，亟需通过建立适合我国资源环境特点和能源结构的技术创新体系与重点领域研发计划，开发自主知识产权的可再生能源与氢能关键技术，切实解决制约我国可再生能源规模化开发的科学问题与技术瓶颈，支撑我国可再生能源大规模低成本开发利用，不仅支持产业规模继续保持世界第一，还需支撑技术尽快赶超世界先进水平。

综上，为落实我国能源革命的本质需求和对世界的庄严承诺，实现党中央对我国能源经济发展和生态文明建设的大政方针，迫切需要“十三五”期间实施可再生能源与氢能技术重点专项，发展太阳能、风能、生物质能、氢能等清洁能源技术，作为推动能源生产和消费革命的重要抓手，推动可再生能源与氢能产业健康有序发展，引领国家绿色低碳能源战略实施及生态文明建设。

## **二、国内外现状和发展趋势**

### **（一）、国外相关技术、产业和应用现状及发展趋势**

当前，世界主要国家均加快向绿色、多元、高效的可持续能源系统转型。可再生能源发展速度加快：技术持续进步，产业规模不断增大，成本大幅下降。可再生能源产业规模巨大，欧美及日本等发达国家近几年可再生能源年新增发电容量持续超过化石能源。风能、太阳能等可再生能源技术在有些国家和地区已经实现平价上网，预计在2020~2030年期间，将实现和常规能源完全竞争。发达国家大幅度增加可再生能源科技投入，力图占据全球竞争的领导地位；可再生能源装机和在终端能源消费中的比例持续增加，美国、德国、丹麦等国家分别提出了到2050年可再生能源占电力消费80%~100%的发展目标，并已开始探索以可再生能源为主的新型能源体系。同时世界各发达国家均将氢能燃料电池纳入国家能源战略体系，氢能燃料电

池产业已取得一系列重要进展。

**太阳能光伏方面**，技术继续沿着高效率、低成本方向持续进步。光伏系统应用方式和范围不断增多，技术性能不断提高，成本不断下降，全产业链的技术进步还有很大潜力，在过去的十年中，光伏组件和系统的成本降低了90%。晶体硅电池仍占据全球市场的统治地位，HIT、IBC、PERC等高效晶体硅电池是高端市场主流，日本松下公司和美国Sunpower公司占其主要份额。碲化镉、铜铟镓硒、硅薄膜等薄膜电池在军事、建筑、移动能源等细分市场上具有应用潜力，First Solar公司碲化镉组件实验室效率突破18.6%，产能接近2吉瓦。光伏系统能效比持续提高、发电成本不断下降，德国、日本等国家的光伏系统平均能效比达到80%，部分国家实现光伏平价上网，兆瓦级光伏集中并网逆变器、支路型光伏并网逆变器等关键部件产品的可靠性进一步提升，1000V以上光伏直流汇集系统及其变流器开始研制，无水（少水）清洁装置、光伏阵列巡检机器人、火灾巡检飞行器等自动化运维装置少量应用，PVSYST、HELIOS 3D、PV\*SOL等光伏电站设计分析工具朝着精细化方向发展，开发了物理粉碎法、焚烧热能利用法、物理化学法等针对不同光伏组件的回收技术，各项技术的综合应用促进了光伏发电成本下降、系统能效比提高。欧洲沙漠太阳能发电计划DESERTEC、亚洲超级电网等大型计划正在积极策划，支撑上亿千瓦光伏发电基地的跨国界电力输送，围绕超大规模光伏发电及其送出的相关研究成为热点。预计在未来的十年中，技术进步和成本降低的潜力巨大，2025年前在世界大部分地区实现和常规能源的完全竞争。

在产业方面，全球已经形成完备的光伏产业体系，企业向更大规模、更集约方向发展。2014年我国光伏组件产量3560万千瓦，占全球市场份额高达70%，光伏产品产量连续八年位居全球首位；我国新增光伏装机容量1060万千瓦，位居全球第一。欧盟、美国、日本等建立了国家实验室、公共研究测试平台等技术支撑体系，支持技术的持续创新和产业技术进步。

在应用方面，2014年全球光伏累计装机容量已超过1.3亿千瓦，光伏累计装机容量超过1000万千瓦的国家有德国、中国、意大利、美国和日本，德国的累计装机容量仍是世界第一。未来光伏发电市场广阔，发展迅速，欧盟已提出2030年光伏发电约占总发电量15%的宏伟愿景；美国规划2050年光伏发电量占比将达到38%；预计2050年欧洲光伏发电可满足其30%的用电需求，光伏发电将成为全球主导能源之一。



**太阳能热利用方面**，太阳能热发电技术向大容量、高参数、长周期储热方向发展，产生电力作为电网基础负荷并利用储热系统参与电网调峰。欧盟FP7的STAGE-STE项目（2014-2017）和美国能源部的SunShot计划（2014-2020年）均在聚光器低成本化、长周期储热、高参数发电等方面给予了重点支持。德国、西班牙、美国、以色列、澳大利亚、中国、意大利、日本和韩国等是主要的太阳能热发电技术拥有国，我国近五年来进步较快。以导热油为传热流体的槽式技术日趋成熟，最大装机220兆瓦，年效率16%。以熔融盐为传热流体的槽式技术最高集热温度为550℃，5兆瓦电站在意大利试验运行。装机容量392兆瓦的水/蒸汽塔式电站于2013年在美国运行，蒸汽温度567℃；装机容量110兆瓦的熔融盐电站于2015年在美国运行，温度为565℃，储热时长10小时。以空气、超临界二氧化碳等为传热流体或工质的太阳能热发电技术，近年来在德国、美国、西班牙、以色列、澳大利亚、韩国和中国等得到了实验验证。预计到2030年，太阳能热发电成本将降至6美分/kWh，在世界大部分地区实现和常规能源的完全竞争。太阳能供暖方面实现了10万立方米级大型水体储热系统示范运行，其技术方向是向更大容量水体发展，以得到更高的储热效率。

产业方面，全球已初步形成太阳能热发电产业体系，企业向更大规模方向发展。我国在太阳能热发电核心部件的产能跃居世界前列。截至2015年6月，我国建有5条槽式曲面反射镜生产线，年产1200万平方米，可装备电站1吉瓦；定日镜反射镜生产线8条，年产1800万平方米，可装备电站1.5吉瓦；真空吸热管生产线15条，年产能800兆瓦；高温吸热器、太阳能热发电专用汽轮机等方面初步形成产能。我国已经颁布太阳能低温热利用国家标准42项，已建立3个国家级测试中心。颁布太阳能热发电国家标准1项，光热联盟标准2项，颁布太阳能中高温热利用的光热联盟标准4项，在建光热联盟测试平台6个。

应用方面，截至2015年6月，全球太阳能热发电累计装机容量已超过4吉瓦，西班牙装机2.3吉瓦居世界第一，美国装机1吉瓦居世界第二。我国得到批复的太阳能热发电站已达54座，总容量3.3吉瓦。未来太阳能热发电市场广阔，发展迅速，欧盟提出“2050年沙漠行动计划”将在北非建立太阳能热发电站供应欧洲电力50%的宏伟愿景。太阳能区域供热型建筑面积约400万平方米。基于跨季节储热技术的太阳能供暖技术在丹麦、德国、加拿大等国得到商业化应用。

**风能方面**，在风电基础技术研究方面，国际上非常重视。针对风资源特性，国外已利用测风塔、卫星技术等对风资源进行了系统的观测，开展了较全面的分析和研究。针对风力发电机组翼型，国外专用翼型发展快速，已经设计出一系列具有通用性质的风力机专用翼型。

在风电技术研究方面，风电机组继续向大型化、智能化和高可靠性方向发展，全功率变流技术成为主要趋势，欧美整机设计公司均进入到10兆瓦级整机设计阶段，2014年Vestas公司发布了开发200米叶轮直径的10兆瓦风电机组的计划，挪威Sway Turbine公司、美国AMSC公司和美国Clipper公司已经完成了10兆瓦级机组的设计工作。陆上风电场向更大型发展，应用环境更加多元化，在丘陵、山区等复杂地形和低温、低风速等特殊环境的应用越来越多。海上风电场向大型化、深海（水深大于50米）领域发展，施工、运维装备专业化程度不断提高。风电场运维正在物联网、大数据、故障预测诊断等技术的推动下，继续沿着智能化、信息化的方向发展。

在共性技术研发和公共技术研发服务方面，国外风电强国一直高度重视，国际知名风电研究机构都建有国家级大功率风电机组传动链地面公共试验测试系统，并且不断向更大容量发展。其中美国、德国、英国建设的传动链地面测试系统功率等级高达10-15兆瓦。

在风电产业方面，全球已经形成完备的全产业链体系，风电机组和主要部件单个公司的规模越来越大，风电场设计、建设、运维等方面形成了实力雄厚的专业化公司。国外5-8兆瓦风电机组设计、制造技术已成熟，5-6兆瓦风电机组技术已在风电场应用中通过验证，7-8兆瓦级的风电机组样机已安装运行。欧洲海上风电场建设已成规模，相关设计、施工、运行维护等技术成熟，处于领先水平。

在过去的5年间，全球风电市场规模增加了约200吉瓦，风电保持着世界增长最快能源的地位。截止2014年底，全球风电机组累计装机容量约371吉瓦，2014年全球风电年发电量达到7500亿千瓦时/年，折合标准煤24750吨，其中，丹麦风电发电量占全国发电量的39%。2014年底，全球累计安装海上风电机组8.76吉瓦，占全球风电累计装机容量的2.3%。从未来市场来看，中国、美国、欧洲三大市场整体是增长趋势，南美、亚洲、非洲等新兴市场也在增加，同时中国海上风电场的起步，会带动海上风电市场的发展，预计未来风电市场还会稳步持续发展。

**生物质能方面**，国外生物质能源化利用技术领域主要包括液体燃料、生物质燃气、成型燃料、生物质发电、藻类等能源植物培育与能源转化等。在液体燃料方面，近年来，非粮乙醇与生物柴油是研究重点，技术比较成熟。为推动生物质行业发展，世界各国采取系统部署、政府扶持、出台法律法规等保障措施，如制定发展规划，对生物质液体燃料产业链给予补贴退税，制定产品标准，规范市场等，极大的促进了生物质液体燃料的发展。2013年国外生物质液体燃料产量达到9000万吨。生物质燃气方面，国外的生物燃气应用主要为热电联产和净化提纯制备管道和车用天然气。2011年以前，德国的生物燃气主要以发电或热电联供为主。从2011年，德国的生物燃气利用方式开始向制备生物天然气转变，主要用于制备管道天然气和车用压缩天然气。截至2012年6月，德国已有生物天然气工程87处，生产能力为55930 Nm<sup>3</sup>/h。成型燃料方面，欧美地区生物质成型设备已实现标准化、系列化开发，生产系统已实现全程自动化控制，各项技术均已成熟，相关标准体系也比较完善，2012年，全球年产万吨以上规模的生物质成型燃料企业共634家，总产量达到3305万吨。

生物质发电技术方面，以高效直燃发电为代表的生物质发电技术在国外已经成熟，丹麦率先研发的农林生物质高效直燃发电技术被联合国列为重点推广项目。除丹麦外，其他许多国家也都制定了相应的研究开发计划，如日本的阳光计划、印度的绿色能源工程、美国的能源农场和巴西的酒精能源计划等。生物质发电在欧美等发达国家已经是成熟产业。藻类能源植物培育与能源转化方面，20世纪70年代中东战争等因素导致国际原油供应紧张，美国、日本、澳大利亚等西方国家为了减少对进口原油的依赖，大力资助微藻培养产油项目。目前微藻能源方向技术开发公司已经在对能源迫切需求的中国、印度等新兴工业国家中蓬勃发展，同时辐射到伊朗等石油输出国家。目前全球已有150多家从事微藻能源开发的公司，但迄今国内外完全以能源为目标产物的企业还没有实现商业化生产。

**地热能方面**，国外在干热岩相关技术研发方面，由于干热岩资源储量巨大和高品位，众多国家已经开始将技术研发重点转移到干热岩。美国、德国、法国、澳大利亚及瑞士等国在技术先进性上代表了干热岩技术研发的水平，如深井钻探技术、控裂及测试技术、压裂液及靶区定位技术、微地震实时监测和评价技术以及发电及防垢技术等，基本形成了干热岩工程化应用的核心技术体系。美国于1984年建成了世界上第一座干热岩试验电站，2013年建立可量化的关键储层特征方法，改善干热

岩开发系统的地下表征，前瞻性地提出建立EGS地下实验室的构想。冰岛钻探公司集成多项技术和高端设备，开始研发地下岩浆囊区域的深钻技术，该项技术的成功，将预示未来有望从地球更深部获取更多高品位的热能。随着干热岩资源的开发，提高井下微地震测试精度和标准的数据解析，建立综合评价体系，研究大流量高效换热、建立良好裂隙通道以及耦合CCUS全新发电技术，降低开发成本将成为未来发展的趋势。

在产业发展方面，德国波茨坦地球研究中心与德国隧道钻探专业海瑞克奈希特公司共同研发一种新型的深孔钻机，成功实现高温条件下的快速激光钻探，5000米深井完钻周期可减少至1/7，具有很好的市场发展前景；美国研发的红外及遥感测井仪器，促进了探测材料、仪表产业的发展。在地热发电产业，美国ORMAT和UTC等企业通过几十年技术研发，形成系列化产品生产能力，推进了相关产业的发展，日本、意大利、法国等众多国家的相关产品加速进入国际市场。

在应用现状及趋势方面，德、法合作于2009年在Soultz建成2MWe、2007年德国Landau建成3MWe、2009年Bruchsal建成0.55MWe三座干热岩无人值守地热电站，实施并网发电，电价为0.2-0.28欧元/kWh（包括冬季供热），目前已经进入商业运行阶段。澳大利亚政府投资近上亿澳币，在COOPER热田由英国设计、美国施工，完成2眼5000米的深井，但由于压裂设计出现致命错误，导致整个项目失败，给了世界一个很好的借鉴。在发电技术应用上，美国ORMAT公司的产品占地热发电机组市场的60%（2600座发电站），美国UTC生产单台280千瓦模块化机组远销世界各国（含中国），成功应用到美国10兆瓦油田地热发电工程上。土耳其2014年在艾登对原有地热发电站改造后，建成了世界首座200千瓦太阳能-地热能发电试验电站，提高产能约30%，如与干热岩发电站结合，可降低投资20%。未来趋势将细化干热岩应用技术的研发，加快工程建设，多能混合动力发电也将成为各国研究的重点之一。美国发展目标是2020年前建成5兆瓦的干热岩示范电站，10兆瓦混合动力发电站，2030年前实现商业化运行。

在储层改造及增产综合开发技术方面，丹麦利用垃圾焚烧电站与地热联合供热技术，回灌量可达350立方/小时，成为世界上砂岩回灌最为成功的国家之一。法国的巴黎盆地是典型的孔隙型地质构造，目前也成功实施了群井开采回灌工程，回灌率达100%，完全进入商业化运行阶段。砂岩构造特点在欧洲非常普遍，不断成熟的

回灌技术也在向世界范围推广。

**海洋能方面**，国外海洋能技术总体上处于商业化前期阶段。潮汐能技术已经商业化应用，2011年8月世界最大的潮汐电站——韩国始华湖电站（254兆瓦）建成投产，英国塞文河口新型潮汐湖电站立项启动；潮流能技术基本成熟，单台发电机组功率已达1兆瓦，基本完成全比例样机实海况测试，苏格兰地区百兆瓦级潮流能发电场立项启动；波浪能技术种类较多，部分百千瓦级波浪能发电装置基本完成实海况测试及示范运行，兆瓦级装置正在加紧研发；温差能技术研发开始升温，2013年日本150千瓦温差能电站实现并网运行，美国和法国正在推进10兆瓦温差能项目。

国际海洋能产业初现雏形，近几年，西门子、阿尔斯通、通用电气、三菱重工、现代重工等一批国际知名公司通过并购、投资等多种方式开始进军海洋能产业，国外专门用于海洋能技术试验和测试的海上试验场已有15个投入业务化运行。法国海洋能源研究所（FEM）的研究表明，潮流能技术、波浪能技术、温差能技术将相继在2025年前实现商业化。总体上看，近年来国外海洋能技术发展进程加快，发达海洋国家纷纷出台规划、技术路线图、设立专项资金推进海洋能开发利用，海洋能技术成熟度不断提高。潮汐能技术更加重视环境友好性，潮流能技术和波浪能技术正朝着高效率、高可靠、易维护、低成本的方向发展；温差能技术大型化、综合利用的趋势愈加明显。

**氢能方面**，国际上氢能技术已趋于成熟，开始商业化前期应用阶段。迄今，欧美、日、韩企业获得的相关专利数已达几万件。大规模制储氢技术取得突破，水电解制氢的能耗已降至 $3.8\text{kWh}/\text{Nm}^3\cdot\text{H}_2$ 。燃料电池性能与寿命已达到实用化目标，燃料电池发电模块功率已达兆瓦级，家庭式燃料电池热电联供系统使用寿命已超过6万小时。各大企业正在努力创新商业模式、扩大批量规模、迅速降低成本，开展示范运营，以期在下一轮产业结构转变中占领先机。欧洲率先开始了可再生能源制氢、掺入天然气管网的商业示范运营，已建和在建的兆瓦级以上的示范项目达数十个，以实现可再生能源的综合利用。

美国能源部评估表明，美国管网注氢容量可达15-20%。燃料电池发电已实现小规模商业化应用，2013年分布式供能发电装机容量达到18万千瓦，预计2025年可达1000万千瓦。2014年日本千瓦级家庭热电联供系统已售出10万套，预计2030年将达到530万套。特殊用途燃料电池形成了早期市场，全球通信基站用燃料电池备用电

源装机近10000台。据预测，全球燃料电池市场未来10年年均复合增长率超过20%。与此相对应，近年来，燃料电池相关产业受到资本市场的追涨，已成为世界经济新增长点，表明氢能源利用产业发展进入关键时期。同时，氢能燃料电池的基础研究十分活跃，太阳能光直接制氢量子效率已达90%以上，重量储氢率达10%以上的新型轻质储氢材料层出不穷，非贵金属燃料电池催化剂的催化活性在碱性电解质中已与铂基催化剂相当。总的来看，国际上氢能技术正朝着提高能效、扩大规模和降低成本的方向发展。

**可再生能源综合利用方面**，技术朝着因地制宜、多能互补、冷热电联产综合利用方向发展。除考虑技术可行性以外，经济性是可再生能源综合利用主要的约束目标，综合利用比分别利用单一可再生能源资源更智能、更经济、供能更可靠、系统更可靠。总体而言，可再生能源综合利用特别是可再生能源微网系统处于研究示范阶段，但发展速度很快。在技术研发方面，以提高可再生能源渗透率和增强系统性能为主要方向展开关键技术研发。丹麦博恩霍姆岛、日本宫古岛、美国夏威夷大岛等数十个地点建立了可再生能源发电装机规模10兆瓦以上、渗透率超过60%的可再生能源综合利用示范系统，南极地区的比利时新伊丽莎白公主站、西班牙JuanCarlos站、瑞典Wasa站、美国McMurdo站等科考站均使用光伏发电替代柴油发电，丹麦RISØ实验室、德国Fraunhofer IWES研究所等机构建立了多能互补技术试验示范系统，并且下垂控制、虚拟阻抗、分层控制等关键技术也取得重要突破，微网逆变器、双向变流器等关键设备正在产业化。以可再生能源为主的能源系统集成设计及其关键设备研制是该技术方向的研究重点。

世界上很多大的能源公司非常重视可再生能源微网技术，GE、SIEMENS、ABB等纷纷开展相关研究和示范，未来的产业规模巨大，是能源供给结构正向着清洁化、低碳化方向转型的主要方向之一。

发达国家已经开始高比例可再生能源技术研究和区域性示范，甚至已经有城市提出未来10~20年100%可再生能源的目标。丹麦、德国等国家的风电、光伏等可再生能源发电量占比达到30%以上，欧洲电网成功应对2015年3月20日的日全食危机，风电和光伏等可再生能源系统并网控制、功率预测等先进技术以及大电网协调控制、常规火电厂调节性能改造等技术发挥了重要作用。根据近期的各地区路线图或愿景，欧盟提出2050年可再生能源占到全部能源消费的55%以上，美国可再生能源

可满足2050年80%的电力需求，日本确立了2020年可再生能源满足20%电力需求的目标，大规模可再生能源发电技术将是实现能源结构转型的技术突破方向。

大规模开发利用风能、太阳能资源与气候变化的相互作用研究尚处于起步阶段，我国和美国、日本等国家基本同步，初步揭示了风电场、光伏电站等大型人造工程对区域气候环境的影响，但是应用区域的地理环境和气候条件复杂、应用形式多样化，其作用机制以及在不同气候区下的定量效应仍需长期观测研究。

## **(二)、国内相关基础、已有部署安排及取得的重大成果**

近年来国内在可再生能源和氢能领域的科技创新能力，特别是产业技术水平均实现了跨越式提升。形成全球最大规模的太阳能光伏和风能利用产业；太阳能热发电、生物质能、地热能、海洋能和氢能取得技术突破和进步。中央及各地方政府、科研院所与企业等持续部署和投入，取得大量科技成果，产品价格大幅下降，带动国际可再生能源技术的平价上网。建立了较为完整的产业链条和科研团队；科技部、发改委、能源局和教育部等部门认定、挂牌了多个国家级重点实验室和工程中心。

**太阳能光伏方面**，光伏电池及组件、逆变器等产品技术水平和世界同步，性价比甚至是国际领先，产业规模多年世界第一，是我国少有的几个有话语权的行业。百兆瓦级光伏电站设计集成等关键技术水平 and 世界同步，国内光伏应用规模高速增长。我国晶体硅太阳能电池产业规模全球第一，2014年全球最大的十大太阳能电池公司中我国占据6个，光伏组件产量占到了全球70%以上，我国光伏制造业总产值超过了3000亿元。高纯多晶硅材料自给率达到了50%以上，2014年全球前十大多晶硅企业中我国占据5个。我国2014年新增光伏装机容量1060万千瓦，新增光伏发电装机规模全球第一；预计未来五年，我国年均新增2000万千瓦以上，成为全球最有潜力的新兴光伏市场。

国家“十二五”863计划重点支持了大型光伏（并网、微网）系统设计集成技术研究示范及装备研制、效率20%以上低成本晶体硅电池产业化成套关键技术研究及示范生产线等重大项目，部署了大型光伏电站并网关键技术研究、光伏电站功率预测技术及与环境关系研究、百兆瓦级光伏系统设计集成技术研究及关键设备研制、光伏系统和平衡部件现场测试与实证性示范研究、高效低成本晶体硅电池关键技术研究、不同类型薄膜硅太阳能电池产业化关键技术等研究课题，科技部建立了2个企业光伏重点实验室和2个工程技术中心，高效率低成本的规模化生产的单晶硅电池

效率超过了 20%，实验室效率达到了 21%。多晶硅电池实验室电池效率达到 20.76%，创造了多晶硅太阳能电池效率的世界纪录。掌握了硅基、铜铟镓硒（CIGS）、碲化镉（CdTe）薄膜电池组件技术，转换效率分别达到了 8%、11%、12%。初步掌握 100 兆瓦级光伏电站、高密度多接入点区域性分布式光伏系统设计集成技术，实现 1 兆瓦光伏并网逆变器、100 千瓦储能双向变流器、智能汇流箱等关键设备产业化，建成世界上测试容量最大的 1.5 兆瓦光伏并网逆变器测试平台，掌握了晶体硅组件的物理和化学法回收实验室技术，光伏功率预测技术、大型光伏电站并网技术等关键技术取得重要进展。

**太阳能热利用方面**，我国建成了八达岭 1 兆瓦塔式实验电站，青海 10 兆瓦太阳能/燃气互补发电站，西安 25 千瓦光气互补碟式斯特林发电系统，10 余套槽式集热示范系统。突破了高温选择性涂层技术、太阳能高温传热蓄热、聚光方法、系统仿真等技术，编制了一批标准和规范，建立了太阳能热发电基本实验测试平台。国家 973 计划项目“高效规模化太阳能热发电的基础研究”在聚光、吸热、储热、系统模型方面取得了一系列理论创新。太阳能热发电的核心材料及装备：超白玻璃原片、玻璃反射镜、真空吸热管、槽式聚光器和定日镜支架、聚光器跟踪传动装置、聚光器控制系统、蒸发器、吸热器、储热材料、传热介质和汽轮机透平等具备了商业化生产能力，其中真空吸热管和玻璃反射镜的技术指标与国际产品基本相当。由于缺少经历实际电站长时间真正运行的考验，产品寿命是目前存在的较大问题。我国虽已开工建设 2 座 10 兆瓦级试验电站，但目前仍无商业化运行的太阳能热发电站。

“十二五”期间，国家 863 计划项目在延庆建立 1 兆瓦槽式太阳能热发电系统示范，攻克真空管批量化生产工艺技术、高强度曲面反射镜批量化生产工艺技术和太阳能热与常规燃料互补发电技术，电站集成技术，太阳能槽式系统与火力发电互补技术。863 计划项目“分布式太阳能热发电技术”在 30 千瓦太阳能碟式斯特林机研制、3 千瓦级热声发电技术及系统示范、200 千瓦有机朗肯循环发电系统及汽轮机的研制与示范、太阳能热电半导体发电系统示范方面部署了研究内容。863 计划项目“基于小面积定日镜的 10 兆瓦塔式太阳能热发电技术研究及示范”和“次高参数太阳能塔式热发电技术研究与示范”项目开展电站聚光吸热系统研究，熔融盐蒸汽发生技术研究和快速生产、检测及结构优化的定日镜和关键装备研究，并建成 2 座 10 兆瓦塔式太阳能热发电示范电站。“十一五”期间，在国家科技支撑计划支持下，对我



国村镇等单体建筑开展了基于太阳能光热利用多能互补集成优化研究，给出了成套的太阳能建筑一体化设计方法以及标准规范。

**风能方面**，到 2014 年末，我国风电累计装机达到 1.14 亿千瓦，超过美国、欧盟位居世界首位；但海上风电累计装机仅 66 万千瓦，其中潮间带累计装机 43 万千瓦，近海累计装机 23 万千瓦。预计未来五年，我国每年新增装机容量约 2000 万千瓦左右。

我国风电基础研究和共性技术研究方面相对不足，但风电产业技术基本和国际同步。风电机组整机设计从许可证生产、请国外公司提供设计和联合设计向自主设计发展，叶片、齿轮箱、发电机、电控系统等主要部件都实现了国产化和产业化。1.5 兆瓦、2 兆瓦、2.5 兆瓦和 3 兆瓦主流机型的风电机组已经批量生产和应用，产业链已经基本成熟，但设备性能和可靠性仍需要提升；3.6 兆瓦、4 兆瓦风电机组也已小批量生产并在海上风电场运行；5 兆瓦、6 兆瓦风电机组完成样机开发，实现并网运行；7 兆瓦风电机组样机正在研制。风电场开发及运维已形成行业分工，但风电场运维、管理的智能化和信息化水平不高。在行业公共服务方面，风电标准、检测、认证体系已基本建立，并依托我国广阔的市场，形成了以企业为主体、科研机构 and 高校等共同参与的产学研用科技攻关团队，建立了一批以国家重点实验室、工程技术中心为核心的技术研发创新平台。

风电行业是科技引领产业发展的典型。在科技部“863”和支撑计划项目对国内主要风电机组和关键部件企业的持续支持下，我国风电产业初步形成了完整的全产业链体系，风电设备产业规模成为世界第一，并已经开始进入国际市场。“十二五”期间，国家在大容量风电机组、风电场建设、测试技术等方面安排了一批重点科技攻关项目，并取得了一定技术成果。在中国风资源特性研究、翼型的气动理论、设计方法和翼型族的研发等各方面取得了一些成果，初步具备风力机专用翼型的自主研发能力。在适应我国低风速、高海拔、抗台风、低温条件的风电机组技术方面实现了自主创新，大型风电机组叶片、发电机、齿轮箱、变流器等关键部件实现了重大技术进步，可满足我国陆上风电场开发的需要。潮间带风电机组基础以及潮间带海上风电运输、吊装和运维等关键技术取得进展，并进行了潮间带工程项目示范。

**生物质能方面**，国内生物质能源化利用技术领域与国外大致相同。液体燃料方面，“十二五”期间，组织实施了“生物质制备清洁燃料关键技术与示范”、“非粮燃料

乙醇关键技术开发与示范”等 863 主题项目以及“生物质制备液体燃料技术”重点专项，为推动生物质液体燃料规模化利用并实现其替代石油提供技术支撑。2013 年我国生物质液体燃料产量达到 350 多万吨。生物质燃气方面，2011 年后开始车用 CNG 等高值化利用。在技术装备方面，我国生物燃气技术及装备有了较大的进步，技术及装备国产化率达 90%以上，核心装备仍在国外，占工程投资的 60%以上。生物质成型燃料方面，近年来我国生物质成型燃料技术与设备研究取得了明显进展，生物质成型的关键技术取得突破，设备的小时生产能力一般在吨级以上，但压辊与环模仍存在抗磨损能力和生产线自动控制水平不足，使用寿命较短等缺点，2013 年全国生物质成型燃料生产总量达到 683 万吨。生物质发电技术方面，生物质发电是利用生物质燃烧或转化为可燃气体燃料后发电的技术，是目前我国技术最成熟、发展规模最大的生物质利用技术，目前应用最多的是生物质直燃发电技术。2012 年全国生物质发电上网电量 211.43 亿千瓦。藻类等能源植物培育与能源转化方面，国内微藻能源研究开发起步较晚，上世纪 90 年代开始起步研究，“十二五”期间安排了 863 主题项目和科技支撑计划项目，国家海洋局也启动了一些相应的计划项目，取得了一些研究成果。一些企业也开始进行了微藻培养和能源转化工程示范。

**地热能方面**，地热直接利用总量世界第一，系统集成技术、设计及施工已颁布行业、国家标准，已形成完整的产业链，整体技术水平与世界同步。我国干热岩开发技术起步较晚，在“十二五”期间，科技部部署了 863 计划项目“干热岩热能开发与综合利用关键技术研究”，在关键技术上取得重大突破，部分单项技术已达国际先进水平；地热发电技术研发上，在“十二五”863 计划支持下，以油田地热发电为背景，针对蒸发冷凝换热技术和动力部件结构展开研发，建成 500 千瓦和 300 千瓦的示范电站及机组测试平台，形成产业发展的格局，整体技术处于并跑阶段；我国在储层改造和高效增产技术研发上，成功建成单体综合示范工程，回灌率可达 98%，已在国内多个省份开始推广应用，促进了上下游相关产业的发展，技术处于领跑水平，但孔隙型回灌技术面临地质条件的复杂性，大规模推广仍面临一些技术瓶颈和问题。

在国土部大量勘探资金支持下，争取近年在我国建成 1-2 个干热岩试验与科研基地。2016 年，国土部及国家地调局将继续投入几千万资金，开展测井、压裂等试验研究。

在干热岩资源勘查技术上，我国已初步评价陆区干热岩资源潜力；建立了干热岩资源开发利用有利目标区选区的地热学指标；完成了干热岩资源赋存的背景分析，圈定了干热岩开发利用优先靶区（青藏高原、东南沿海及滇西、腾冲、赤峰及东北五大连池等）。开展了干热岩资源开发利用有利目标区的资源勘查，圈定了科学钻探孔位。2014年在青海贵德、共和盆地钻探了4眼干热岩勘探井。2015年5月在福建漳州花岗岩地层开始另一眼干热岩井的钻探，并将建成1-2个研究基地。随着工作深入，基于国家级中心、大型国有企业、大专院所及科研院所技术力量，形成了较为稳定的科研、生产的团队。

**海洋能方面**，“十一五”以来，国家加大了海洋能技术研发的投入，通过科技计划（基金）、专项资金等支持方式，开展了海洋能资源普查以及多种原理的海洋能发电技术研发与试验，取得了积极进展。潮汐能与国外基本同步，总装机容量为3900千瓦的江夏潮汐电站已经运行30年，万千瓦级潮汐电站和新型潮汐能技术也在积极跟进。潮流能技术开展了垂直轴和水平轴发电机组制研发，最大功率达300千瓦，部分技术海试结果良好，65千瓦半直驱式潮流能装置实现了1年实海况稳定发电运行。波浪能技术开展了点吸收、振荡水柱、振荡浮子等多种型式的原理样机研发与试验，单机最大功率达100千瓦，部分技术实现了稳定发电，10千瓦鹰式波浪能装置完成实海况运行8个多月。温差能开展了原理样机研发，15千瓦闭式循环温差能发电系统完成了3个月模拟环境运行试验。针对海洋能海试风险大、成本高、协调难度大等问题，我国海洋能公共海上试验场建设也在积极推进，威海国家浅海海洋能综合试验场获得地方政府批准，舟山国家潮流能试验场、万山国家波浪能试验场启动建设。在国家政策引导下，越来越多涉海高校、科研院所以及一批有实力的企业进军海洋能技术领域，初步形成了从事海洋能理论研究、技术研发、装备制造、海上施工、运行维护的专业队伍。据不完全统计，我国海洋能从业单位达290多家，包括能够进行大型和超大型海洋装备制造、运输、安装、运维等业务的大型国企和民营企业。

**氢能方面**，“十五”以来，在科技部的持续支持下，我国已初步形成以大学研究院所为主，涵盖制氢、储氢、输氢、氢安全及燃料电池技术的研发体系。形成了一系列创新性成果：从2012年开始，在氢能燃料电池领域发表的SCI论文数量已超过美国，成为全球第一。在国际上率先组装自然光合体系和人工催化剂杂化体系实

现水的完全分解；提出了基于水相环境的含氢物质制氢理论与技术；提出了调变 H<sup>+</sup>/H<sup>-</sup> 设计材料的新概念，开发出一系列氢含量 > 10wt% 的新型 Metal-B-N-H 基高容量储氢材料；开发出高功率密度的碱性燃料电池及相关关键材料；突破了质子交换膜和 45MPa 固态/高压混合储氢技术。我国制氢规模已位居世界首位，2012 年产氢量达到 1600 万吨。建立了太阳能聚光/光催化分解水制氢示范系统和生物制氢示范系统；2013 年中德合作建立 1752 万立方米/年风电制氢和固态储氢示范工程。建立了世界最大规模的煤制氢及纯化装置，年产 18 万吨氢气。稀土储氢材料连续 3 年产量居世界首位。我国已研制出 15 千瓦采用天然气为燃料的燃料电池分布式热电联供样机，已成为国际固体氧化物燃料电池核心部件的开发和生产基地，固体氧化物燃料电池电解质及单电池产量占全球 80% 份额。燃料电池通信基站用燃料电池备用电源商业化示范取得阶段性进展，完成了上百台燃料电池备用电源的示范运营。

**可再生能源综合利用方面**，我国微网变流器、控制器等设备技术水平和世界同步，多能互补独立微网系统示范规模世界领先。可再生能源和电力行业的很多公司进行了研究部署，建立了多个示范系统。在国家 863 计划、科技支撑计划支持下，我国重点在边远地区、沿海岛屿建立了一批示范系统，建成世界第一个、海拔最高的青海玉树 10 兆瓦级水/光/柴/储互补微电网示范工程，建立了浙江东福山岛、鹿西岛、南麂岛等 3 座兆瓦级风/光/柴/储互补微电网，浙江摘箬山岛风/光/海流能/储微电网，广东珠海 2 座兆瓦级风/光/波浪/柴/储互补微电网，山东即墨大管岛波浪能/风/光互补发电系统等示范工程，正在建设青海兔尔干兆瓦级可再生能源冷热电联供新型农村社区微网，南极地区我国中山站正在开展风/光互补供电的探索和尝试。我国率先研制成功 200kVA 电压源型逆变器、150 千瓦光伏-储能充电控制器、能量管理系统等关键设备，掌握了下垂控制技术、水/光/储能量管理技术、多能互补系统仿真技术等关键技术。我国可再生能源综合利用技术处在研发示范阶段，部分关键设备产品化刚刚开始，尚没有形成上规模的产业。我国启动了大型光伏电站局地气候环境影响研究，在青海建立了首套大型光伏电站环境监测平台，在相关影响特性和机理方面取得初步成果。

### **（三）、国内外现状比较**

近年来我国在可再生能源和氢能领域，显著缩小了与国际先进水平的差距，太阳能光伏、风能等产业和关键设备与世界发展同步，攻克并掌握了一系列具有自主

知识产权的核心关键技术，专利及论文实现了快速增长，逐步开始建立完善技术标准体系。但同时存在基础研究不足，原创技术缺乏，实验室技术差距明显，技术同质化严重，行业公共支撑体系不健全等问题。

**太阳能光伏方面**，系统及部件技术、晶体硅电池产品技术总体并跑，薄膜电池技术跟跑。太阳能电池实验室效率差距较大，生产线核心装备依赖进口。光伏系统能效比与国外有明显差距，系统设计集成、建设、运行维护全流程优化及关键设备缺乏系统研究。我国格尔木黄河水电 500 兆瓦光伏电站是全球单站规模最大的光伏电站，光伏并网逆变器单机容量达到 1 兆瓦以上，高倍聚光系统及装备、太阳自动跟踪装置等关键设备实现产业化。我国商业化单晶硅电池效率达到 20% 以上，多晶硅电池效率 18% 以上；晶体硅电池产业化电池效率、百兆瓦级光伏电站设计集成等若干单项技术国际领先。HIT 和 IBC 等高效晶体硅电池实验室和产业化效率水平和国际有明显差距。在硅基、铜铟镓硒（CIGS）、碲化镉（CdTe）薄膜电池组件技术方面，自主技术还未形成商业化规模生产能力。与国际先进水平相比，太阳能电池的实验室研发、太阳能电池生产线部分高端装备及关键辅材方面差距较大，各类太阳能电池转化效率的实验室世界纪录仅有一项是我国创造的，我国各类太阳能电池效率纪录与国际先进水平相差在一个百分点以上，太阳能电池生产线高端装备及关键辅材依赖进口。我国光伏系统能效比 PR 约为 75%，而日本、德国的平均系统能效比 80%、最高可达 85%，我国尚有 5~10 个百分点的差距，支撑系统能效比提升的精细化设计、高可靠性平衡部件、光伏高压直流汇集关键设备、智能运维装置等技术和装备尚待研制，晶体硅组件回收装备及生产线空白，薄膜电池回收技术未开始研究，我国公共研究、测试及实证性示范平台布局不足。我国光伏专利数量全球第一，但是基础专利、核心专利大部分被发达国家掌握。

**太阳能热利用方面**，国家 973 计划、863 计划、支撑计划、国家自然科学基金及国家能源局等科技规划对太阳能热发电的基础研究、关键技术和平台建设都给予了大力支持，取得了一批标志性成果。通过近 20 年的努力，“十一五”期间我国建成了八达岭 1 兆瓦塔式实验电站，青海 10 兆瓦太阳能/燃气互补发电站，西安 25 千瓦光气互补碟式斯特林发电装备，取得了一批重要数据和经验。十余套槽式聚光集热示范系统，在建的 1 兆瓦槽式太阳能热发电站将于 2015 年底完工。突破了高温选择性涂层技术、建立太阳能槽式真空管生产线 15 条，吸收比达到 96%，发射比达

到 6%；掌握了钢化曲面反射镜批量生产工艺，建设生产线 5 条，反射镜精度好于 3.5mrad，太阳光谱反射比超过 92%。形成了太阳能高温传热蓄热、聚光方法、光热转换，系统仿真集成，热电转换技术等技术，已颁布 1 部国家标准和 6 部联盟标准。国家 973 计划项目“高效规模化太阳能热发电的基础研究”在太阳能热发电的太阳光反射材料、聚光器风载设计准则，熔融盐传热储热材料结构分析与制备，高温吸热器内气体和液体的换热过程强化，非稳态光热功转换热力学基础理论，太阳能热发电系统的非稳态工况运行控制，太阳能热发电选址及对环境的影响等方面却得了令国际同行瞩目的成就。6 个课题在科技部 2014 年组织的验收中均取得了“优”的成绩。但在太阳能热发电站系统设计、集成运行等方面与国外差距明显。

**风能方面**，我国整体上处于跟跑阶段。基础研究方面，我国与国际先进水平有明显差距，虽然已开展全国风资源普查，但 300 米高度下不同区域、地形、下垫面和台风影响下的风特性尚不清楚，风电机组设计主要采用国际标准；已初步具备风电机组叶片翼型开发技术，但反映中国风特性并考虑叶片多尺度流场特征的翼型优化设计理论和方法尚不成熟。在技术方面，国内 1.5-2.5 兆瓦风电机组技术与国外先进水平接近，已建立较为完整的产业链条，主流产品性能与世界同步；3-5 兆瓦风电机组技术基本成熟，但性能与可靠性仍落后于国外先进水平；5 兆瓦以上风电机组研发与国际先进水平仍有较大差距；陆上风电场已经积累了丰富设计、施工和建设经验，但精细化、智能化、信息化等运维水平与国际上存在较大差距；海上风电开发建设经验不足，整体技术水平落后于欧洲国家。我国已累计发布几十项风电标准，主要等同采用 IEC 系列标准，并依托企业建立了一批国家级实验室和工程研发中心，但共性技术研究及公共试验平台建设落后于先进国家，尚没有与产业发展规模相匹配、具有国际影响力的国家级风电公共研发服务平台。

**生物质能方面**，技术水平与产业规模等方面与国外相比，总体而言，资源开发利用效率较低；系统转化率不高，产品经济性较差；关键装备及其产业化与国际先进水平有较大差距。在生物质液体燃料方面，与国外技术相比，主要存在系统转化效率低，产品成本相对较高，项目经济性差等问题，属于跟跑阶段。但在纤维素制备生物航油研究方面属于领跑阶段；生物质燃气方面，与国外相比，沼气工程装备以及提质提纯装备制造水平比国外明显偏低，设备及系统自动化水平较低，运行可靠性技术较差，发酵菌种的智能化筛选方面差距较大；生物质热解气化方面，主要存

在燃气净化分离成本高，尤其是焦油低成本清洁化脱除技术不成熟，气化设备连续运行稳定性差，属于跟跑阶段；在成型燃料方面，与国外技术相比，生产系统自动化控制水平低，系统能耗较高，属于并跑阶段；在生物质发电方面，与国外技术相比，缺乏先进燃烧技术优化设计软件，发电效率存在差距较大，混燃发电由于政策和监测技术缺乏而发展极其迟缓，属于跟跑阶段；藻类等能源植物培育与能源转化方面，我国起步较晚，与国外相比，技术研究和产业发展水平整体相对落后，属于跟跑阶段。

**地热能方面**，国外在干热岩钻探、控裂、测井、微地震监测、环境评价等工程化技术研究与应用上均早于且优于我国。我国在干热岩技术研究上刚刚起步，各项技术研究主要处于实验室和方案设计阶段，如环保压裂液、水岩反应的水化学特性分析，岩石巴西压裂技术及微裂隙流体换热特性准则关联式导出，THMC 多场耦合模型研究，大型数据库平台建设、防腐防垢技术及发电方案设计等，在单项技术研究方面取得重大突破，部分技术已达国际先进水平。但由于工程条件滞后，整体技术未形成适合工程应用的技术体系和完整的产业链，因此，在适用性上仍需要通过中试、示范工程不断完善，属于跟跑阶段。在高能效耦合发电技术研发方面，我国已开展系统耦合仿真、运行策略及方案的初步研究，提出太阳能耦合发电及增强型冷却装置设计思路并进行了实验研究。随着能源利用技术多样化发展，需要打破只用一种能源的常规设计方法，尝试采用耦合动力发电技术，并加快设备和接口技术的研发，以干热岩开发为基础，推动示范工程的建设。储层改造及回灌技术，目前我国基本与国际水平并驾齐驱，更完善、系统化、具有推广价值的技术研发，将会使我国回灌技术尽快进入领跑阶段。

**海洋能方面**，我国潮汐能技术基本处于与国际技术并跑阶段，潮流能、波浪能、温差能等其他海洋能技术处于跟跑阶段。与国际先进海洋能技术相比，主要差距表现在：第一，我国海洋能基础研究相对薄弱，对海洋能资源的特性认识不清，资源精细化评估技术和方法研究不够；对能量俘获与转换机理、装置与环境相互作用机制、耐腐蚀抗疲劳等理论研究亟待加强。第二，我国海洋能利用核心装备技术尚未取得重大突破，装置转换效率、可靠性和稳定性普遍不高，示范应用规模较小；特别是，我国海洋能发电装备整机集成设计技术、关键部件（叶片、传动、电机）设计制造技术、海洋能装备试验测试技术等核心装备技术仍未取得根本突破；国内研

制的百千瓦级潮流能机组开展连续海试时间尚短，装置长期生存可靠性、发电系统效率与供电稳定性等距离国际先进水平尚远；国内百千瓦级波浪能技术则刚刚进入连续海试阶段。第三，海洋能示范应用效果不佳，缺乏标准实海况试验验证的支撑条件，例如目前我国海洋能装置示范应用平台规模均为百千瓦级，远小于国际上兆瓦级功率水平，成为研发大功率潮流能、波浪能发电系统的瓶颈问题，尽早建成海洋能公共试验场和示范应用区是必然选择。

**氢能方面**，我国氢能燃料电池技术多停留在实验室和工程化初期开发阶段，技术可靠性差，商业化应用迟缓，与国际先进水平相比，总体处于跟跑阶段，光催化制氢和固态储氢基础研究并跑。前期探索性研究发散，工程化开发和系统集成能力不足；从实验室样品到产业化产品的工程开发体系不健全；关键材料和部件依赖进口，电解制氢能效、高压储氢密度、燃料电池可靠性和寿命与国外差距明显；标准缺乏。我国水电我国水电解制氢能耗为  $4.3\text{kWh}/\text{Nm}^3.\text{H}_2$ ，而国外能耗已降至  $3.8\text{kWh}/\text{Nm}^3.\text{H}_2$ ；我国千瓦级燃料电池使用寿命为 3000 小时，而国外已达 60000 小时。我国可再生能源制氢及储氢技术还处于实验室阶段，而国外已进行兆瓦级的规模示范；我国仅研制出燃料电池分布式供能系统样机，而国外总装机容量已超过百兆瓦级；我国应急备用电源应用刚达到百台级规模，而国外已进入商业化应用。面向国际的知识产权保护重视不够，我国申请的国际专利数量仅为百件级，而其他国家申请专利已达几万件。

**可再生能源综合利用方面**，总体处于跟跑阶段。我国省区级可再生能源系统总体技术方案空白，弃风、弃光问题突出，不同地域、气候、应用模式的单元模块化技术缺乏研究，大规模开发利用风能太阳能资源与气候变化的相互作用机理尚待探索。针对西部不同气候条件的边远地区和极区、海岛极端气候，缺乏因地制宜多种可再生能源综合利用示范工程，系统设计工具和设计水平差距较大，专用技术及装备还处在研发阶段。我国青海、甘肃等部分西部省区的大型光伏电站和风电场装机容量占比达到 15% 以上，浙江海宁等部分城市的分布式光伏发电装机容量也已达到较高水平，但是我国以可再生能源为主的省区级能源系统总体方案空白，弃风、弃光问题突出，相比德国、丹麦风电和光伏年发电量占比 30% 以上，我国区域性可再生能源系统的技术水平差距还很大。在可再生能源综合利用单元模块化技术方面，我国的自同步电压源逆变器、光伏-储能充电控制器等部分设备性能优于国外同类产



品，我国独立型微电网示范工程规模、能源种类等指标高于国外同类示范系统。我国主要技术差距包括：系统设计工具和设计水平差距较大，专用技术和装备还处在研发阶段；因地制宜多种可再生能源综合利用示范工程缺乏；针对南极极寒极夜、海岛高盐高湿度等极端应用条件和我国西部不同气候条件的边远地区，单元模块系统集成技术及关键设备空白；大规模开发利用风能太阳能资源与气候变化的相互作用机理尚待探索。国际上已有不少相关标准，如美国 IEEE 1547 标准系列、英国 IEC/TS 62257 标准系列、加拿大 C22.2、新西兰 AS 4777 标准系列等；我国标准制定工作刚刚部署，尚没有正式发布的国家标准。

#### **（四）、本专项拟解决的重大科学问题和重大技术瓶颈**

本专项拟解决一批制约我国可再生能源与氢能规模化开发与利用的重大科学问题与重大技术瓶颈。

**拟解决的重大科学问题包括：**

- 太阳能光伏方向：宽谱吸收高效光电转化太阳电池新型材料设计、制备及其机理。
- 太阳能热利用方向：非稳态太阳能光-热-功转换理论。
- 风能方向：不同区域、地形、下垫面和台风影响下的风特性及相关大型风力机叶片翼型族优化设计理论方法。
- 生物质能方向：生物质制取高品位液体燃料中热化学、化学、生物转化机理及调控机制。
- 地热能方向：干热岩地质成因与裂隙生成及延展机理。
- 海洋能方向：适应重点海域资源特性与海洋环境特征的海洋能装置高效转换机理。
- 氢能方向：光/电/热/酶-氢高效转换和氢-材料相互作用机制。
- 可再生能源综合利用方向：大规模开发利用风能太阳能资源与气候变化的相互作用机制。

## 拟解决的重大技术瓶颈包括：

### 太阳能光伏方向：

- 光伏系统设计集成、建设、运行维护全流程优化技术及关键设备；
- 不同气候、地域、应用形式的光伏发电设备差异化设计制造技术；
- 高效低成本晶硅电池技术、薄膜电池产业化和关键装备技术；
- 光伏系统寿命期满设备无害化处理及再利用技术。

### 太阳能热利用方向：

- 太阳能热发电系统优化设计、集成及运行方法；
- 太阳能吸热、储热部件抗热震技术；
- 高温气体吸热器效率与流动阻力关联设计技术。

### 风能方向：

- 近海风电场设计、建设成套技术及装备；
- 7兆瓦级风电机组关键部件批量化及机组总成关键技术；
- 10兆瓦级风电机组设计总成及大型部件设计制造关键技术；
- 10兆瓦级风电机组部件及传动链测试技术。

### 生物质能方向：

- 生物质液体燃料清洁制备与低成本分离技术装备；
- 多元原料高效厌氧发酵生物燃气制备及净化提纯技术装备；
- 生物质成型燃料自动化生产与高效燃烧及污染物排放控制技术与装备；
- 能源植物规模化培育与收集、转化技术与装备。

### 地热能方向：

- 干热岩靶区定位、控裂及大体积压裂技术；
- 地热高效发电技术与装备；
- 砂岩地层及发电设备防垢及无污染除垢技术。

### 海洋能方向：

- 海洋能核心装备技术；
- 海洋能发电系统设计、运行与实海况测试技术。

### 氢能方向：

- 大规模可再生能源高效制氢技术；

- 高密度储输氢技术；
- 大功率长寿命燃料电池发电技术。

可再生能源综合方向：

- 省区级可再生能源系统稳定性；
- 适应西部、东部不同地域、气候、应用模式的单元模块化技术及差异化设备；
- 针对极区、海岛、西部边远地区及其特殊气候的独立微能源网设计集成技术及关键设备。

### 三、目标及主要任务

#### （一）总体目标

以提高系统能效、促进可再生能源大规模利用、提升可再生能源占比为目标，进一步解决制约我国可再生能源与氢能产业发展的基础、共性及瓶颈技术问题，全面提升可再生能源与氢能系统、部件、装备、材料、平台的自主研发能力和产业化水平，开展以可再生能源为主的能源系统关键技术研发及示范，形成面向全国的可再生能源与氢能技术创新和示范基地，支撑可再生能源大规模、低成本、高效率开发利用，支撑2020年非化石能源占比15%的战略目标。

**太阳能光伏：**大型电站、分布式系统的能效比80%以上，全面实现工商业用电平价上网；建立大型光伏示范电站和数百兆瓦级多种应用形式的区域分布式示范工程；晶体硅太阳能电池生产线效率突破23%，薄膜太阳能电池效率突破20%；建立光伏组件回收再利用技术和产业体系；建立不同气候区的研究示范及测试基地。科技支撑光伏产业继续保持产量和市场世界第一，为“十四五”全面实现光伏平价上网奠定基础。

**太阳能热利用：**实现超临界参数太阳能热发电原理机，建成可连续24小时发电的10兆瓦级电站，突破太阳能跨季储热技术，具备太阳能热发电站全系统自主开发能力；实现2万平方米以上建筑供暖，开辟太阳能热利用新领域，使我国太阳能低温热利用继续保持世界第一。

**风能：**掌握我国典型地域、地形、气候下的风资源特性；开发7-10兆瓦风电机组和海上风电成套关键技术和设备；建成10兆瓦级风电公共试验研发系统；形成海

上风电规模化开发的关键技术和装备能力，提高风电场智能化运维水平。继续支撑我国风电产业和市场规模世界第一。

**生物质能：**突破生物质液体燃料、生物质燃气、生物质成型燃料与热电联产和藻类等能源植物培育与转化等关键技术和成套设备，高品位生物燃气提纯过程中甲烷回收率达97%以上，整体科技水平跻身世界前列，纤维素航油技术达到国际领先水平。建设2-3个万吨级液体燃料示范工程，生物质燃气总规模年产不低于4000万立方米，支撑生物质能源产业规模化发展。

**地热能：**突破靶区定位、干热岩控裂及0.1m<sup>3</sup>大体积压裂及耦合增产发电系统关键技术，建成兆瓦级干热岩综合发电示范工程；建成水热型砂岩构造（10眼井）群井开采示范工程，综合回灌率80%，降低水热型发电系统结垢风险。为我国规模化推广干热岩开发、储层改造增效技术奠定理论及技术基础。

**海洋能：**掌握重点关注海域海洋能资源特性和海洋能高效转换机理；攻克300千瓦潮流能机组和100千瓦波浪能发电关键技术，形成海上综合试验与技术示范平台，为我国海洋能规模化利用奠定基础。

**氢能：**掌握绿色制储氢和燃料电池发电的成套设计、工艺及装备技术，实现亿立方米制储氢和兆瓦级燃料电池发电示范，为氢能的规模应用提供技术支撑。

**可再生能源综合利用：**形成西部省级千万千瓦和东部、南部城市百万千瓦可再生能源系统总体技术方案，形成不同地域、不同应用模式的系列化、模块化成套技术并示范；建立极地、海岛、我国西部可再生能源冷热电联供微网示范；掌握大规模开发利用风能、太阳能资源与气候变化的相互作用机制。为我国规模化推广可再生能源综合利用系统奠定技术基础，提供技术解决方案。

## **（二）主要任务与具体目标**

根据从基础前沿、重大共性关键技术到应用示范进行全链条创新设计以及一体化组织实施的要求，按照“突破一批，研发一批，推广应用一批”三个层次，把握“系统、部件、装备、材料、平台”五项重点，聚焦太阳能光伏、太阳能热利用、风能、生物质能、地热能、海洋能、氢能、可再生能源综合利用八大方向共26项重点任务。对应各个方向，太阳能光伏3项任务，太阳能热利用3项任务，风能5项任务，生物质能4项任务，地热能2项任务，海洋能2项任务，氢能3项任务，可再生能源综合利用4项任务。

## 方向 1：太阳能光伏

序号	任务名称	备注
1	光伏系统及平衡部件技术	重大共性关键技术
2	高效率低成本太阳电池技术	重大共性关键技术
3	太阳电池和光伏系统实证与测试技术	重大共性关键技术

### 任务 1：光伏系统及平衡部件技术

该项研究属于重大共性关键技术。

计划实施时间：2016 年-2019 年。

#### (1) 重点内容

大型光伏电站及平衡部件关键技术研究及示范，重点开展系统设计集成、建设、运行维护全流程优化研究及关键设备研制，包括光伏电站精细化设计软件，针对不同环境、气候、应用模式的差异性、系列化设计及示范，数兆瓦级集散式逆变器设备，无水（少水）清洁装置、远程故障预测及诊断系统、大数据采集与分析系统等智能运维装置，光伏组件隐裂测试等标准规范，大型光伏电站集群规划布局研究。

区域多种分布式光伏发电高渗透率发电关键技术，包括不同环境、气候、应用模式的分布式光伏发电单元模块化设计集成技术研究及应用示范，与建筑结合的分布式光伏系统集成技术研究，区域性分布式光伏系统谐波、谐振抑制技术，区域性分布式光伏发电分析设计软件，区域性分布式光伏功率预测技术。

光伏微网互联技术研究及示范。

光伏组件回收技术及关键装备，包括薄膜组件回收技术实证性试验研究、晶体硅组件工业化回收技术及关键装备研制和示范线建立。

#### (2) 具体目标

掌握大型光伏电站全流程优化技术及关键设备，实现电站能效比 80%以上；开展不同环境、气候、应用模式的光伏电站及关键设备差异性、系列化设计及示范；研制数兆瓦级集散式逆变器设备；掌握大型光伏电站集群规划布局技术。

掌握薄膜组件和晶体硅组件工业化的回收技术。

掌握区域性分布式光伏发电单元模块设计集成关键技术，分布式光伏系统能效比不低于 80%；建立不同地域、不同资源条件下的渗透率 50%以上分布式光伏示范系统；建立装机容量 1 兆瓦以上的互联型光伏微电网示范，光伏能量渗透率不低于 85%。

### (3) 预期成果

大型光伏电站集群系统示范；大型光伏电站精细化设计软件及规范；数兆瓦级集散式逆变器设备；兆瓦级晶体硅组件高效回收装备。

数百兆瓦级区域分布式渔光发电、牧光发电、光伏高速公路、光伏农业等示范，分布式光伏系统效率不低于 80%；智能化组件优化器、MPPT 汇流箱与配套逆变器等关键设备；适用于区域性分布式光伏发电的功率预测系统。建立装机容量不低于 1 兆瓦的互联型光伏微电网示范，光伏能量渗透率不低于 85%。

## 任务 2：高效率低成本太阳能电池技术

该项研究属于重大共性关键技术。

计划实施时间：2016 年-2019 年。

### (1) 重点内容

效率 23%以上晶体硅电池产业化技术、装备及辅材，包括高效率低成本太阳能电池技术的关键材料、工艺、装备以及光伏辅材的国产化研究，重点研究晶体硅电池新型结形成技术、绒面制备技术、硅表面钝化技术、低温快速烧结技术、太阳电池用正银浆料制备技术等。

效率 20%以上薄膜电池产业化技术及新型太阳电池研究，包括宽谱吸收高效光电转化太阳电池材料的设计、制备及其机理，薄膜太阳电池的新型透明导电电极及窗口层技术，高效吸收层沉积及热处理技术，柔性薄膜电池大面均匀沉积技术，钙钛矿薄膜电池稳定性技术，III-V 族化合物电池多层结构渐变缓冲层制备技术，高倍率强光下太阳电池及系统的稳定性技术；染料敏化电池长激子寿命染料的设计与规模化合成技术，有机太阳电池的宽光谱、强吸收、高载流子迁移率材料的设计与规模化制备技术；量子点电池的材料带隙调控及量子点表面钝化技术；叠层电池的光吸收材料带隙匹配、电池结构设计、制备及界面优化技术等。

### (2) 具体目标

晶体硅太阳电池生产线效率达到 23%，实验室效率达到 25%，建成 30 兆瓦示

范生产线，设备国产化率达到 80%，原材料国产化率达到 90%。薄膜类太阳电池产业化最高效率达到 20%以上，III-V 族化合物多结太阳电池产业化聚光效率达到 43% 以上。

光伏电池关键配套材料实现国产化，满足高效电池、长寿命光伏组件、新型薄膜电池等应用要求，其中晶硅电池用配套材料及原材料国产化率不低于 85%；封装关键材料使用寿命不低于 30 年；开发贱金属浆料、自清洁玻璃、透明封装基板等关键材料技术，实现规模化示范应用。

### （3）预期成果

高效率晶体硅太阳电池关键工艺技术获得突破，电池制备关键装备及材料国产化率大幅提升。建成 3 种技术路线以上 30 兆瓦高效晶体硅太阳电池示范生产线，以及 2 种技术路线以上 30 兆瓦薄膜太阳电池示范生产线，设备国产化率达到 80%，原材料国产化率达到 90%。建立新型太阳电池的千瓦级小试生产线及百瓦级新型太阳电池发电示范系统。

## 任务 3：太阳电池和光伏系统实证与测试技术

该项研究属于重大共性关键技术。

计划实施时间：2016 年-2019 年。

### （1）重点内容

新型太阳电池通用研究平台与测试技术，包括新型太阳电池关键材料和器件仿真、理论计算及模拟技术，适用于新型太阳电池的成套测试装备。

典型地域气候条件下的光伏系统实证测试技术，包括光伏组件、部件及系统在 5 个典型气候环境下差异性和可靠性对比测试技术，室内模拟加速老化测试技术；分布式光伏系统的仿真试验技术，包括设备在环实时仿真系统集成技术，多并网点电气性能同步测量技术。

### （2）具体目标

形成国际先进的第三方的光伏发电技术研究、测试和实证平台，建立新型太阳电池实证与测试平台，建立并完善太阳电池的测试与评估体系，获得适应新型太阳电池普适性关键技术及成套装备。建立 5 个典型气候环境下（干热、暖温、寒温、亚湿热和湿热区域）光伏系统实证测试平台，建立分布式光伏系统的实时仿真和试验平台。

### (3) 预期成果

新型太阳能电池实证研究与测试平台；5个典型气候环境下（干热、暖温、寒温、亚湿热和湿热区域）光伏系统实证性研究测试平台，分布式光伏系统的实时仿真和试验平台。

## 方向 2：太阳能热利用

序号	任务名称	备注
4	基于高参数的高效太阳能热发电基础研究	基础研究
5	太阳能热发电系统集成与关键装备技术研究	重大共性关键技术
6	太阳能区域供暖技术研究与系统示范	重大共性关键技术 典型应用示范

### 任务 4：基于高参数的高效太阳能热发电基础研究

该项研究属于基础研究。

计划实施时间：2016年-2020年。

#### (1) 重点内容

研究新型聚光跟踪方式与误差消除机理，大功率高焦比聚光器及聚光场耦合设计方法，非均匀高热流密度加热条件下气液两相流动和传热及其热流固耦合规律，吸热器内热流密度分布均匀化理论与方法，研究基于中高温型纳米流体技术的太阳能体吸收与光热转换机制，超临界水蒸气和超临界二氧化碳为传热流体和热力循环介质的非稳态光-热-功高效转换机制；研究太阳能驱动的热化学储能发电方式，特别是其热物理及化学动力学机理。

#### (2) 具体目标

提出高参数太阳能热发电的新思路，以超临界水蒸气和超临界二氧化碳为传热流体的太阳能热发电方面取得重大突破，使太阳能热发电系统的年均发电效率有较大提升，并结合工程示范，验证新理论、新方法和新材料。

#### (3) 预期成果



研究两种发电介质的超临界太阳能热发电技术，超临界水蒸气太阳能蒸汽参数：压力大于 22.2MPa，蒸汽流量不小于 5 吨/小时。超临界二氧化碳太阳能热发电：太阳能聚光吸热系统，涡轮等熵效率 75%，透平功率 1 千瓦，可连续 24 小时发电。

## **任务 5：太阳能热发电系统集成与关键装备技术研究**

该项研究属于重大共性关键技术。

计划实施时间：2016 年-2020 年。

### **(1) 重点内容**

大型太阳能热发电系统集成与运维关键技术。研究面向大型电站用的高温传热及储热材料制备技术，高温吸热、传热及储热核心部件和系统设计技术，大容量吸热、传热及储热发电系统集成及运行调控技术，并网技术，电站运维技术，研究 550°C 高温槽式吸热管技术与批量化生产技术等。高性能聚光器及聚光场设计技术。高聚光比低余弦效应的聚光器光学设计，聚光器抗风沙稳定性技术，高聚光比聚光器及聚光场的优化排布技术。气体介质的高效太阳能热发电吸热器和系统。研究压缩气体吸热器和储热器，压缩气体为发电工质的发电装置匹配性和系统仿真技术，系统集成与优化技术。

### **(2) 具体目标**

突破传热储热材料、吸热传热与储热装置和电站系统集成等核心技术，掌握带有大容量储热的太阳能热发电系统设计和优化方法。研发以空气为传热流体的高温太阳能热发电关键技术实验平台，开发定日镜场优化设计软件，形成新型定日镜的批量化生产工艺。研发高温承压式空气吸热器，建成太阳能空气-燃气联合发电实证系统。突破高温槽式吸热管批量化生产技术。

### **(3) 预期成果**

完善大型太阳能热发电系统集成技术和核心装备技术，示范 10 兆瓦级电站，可连续 24 小时发电，年均效率不低于 12%。建成太阳能热/电联供示范系统，总效率高于 45%，可连续 24 小时采暖。建成 30 千瓦级太阳能高温空气-燃气联合发电系统，空气吸热器出口温度 950°C，压力高于 0.5MPa，设计点光电效率高于 19%。

## **任务 6：太阳能区域供暖技术与系统示范**

该项研究属于重大共性关键技术。

计划实施时间：2016 年-2020 年。

(1) 重点内容

大容量太阳能跨季储热技术。研究太阳能建筑跨季储热降低热损机理、集成设计方法和评价与检测技术，大容量水体空间中的对流抑制，土壤传热与水体传热之间的耦合。集中式太阳能采暖系统设计技术。研究带有跨季储热系统的太阳能热力站设计方法、系统集成及效能评价技术。太阳能热发电与分布式太阳能中温热利用多联供技术。研究适应于不同能源系统与品位的太阳能锅炉系统系统设计、控制、集成与运行关键技术及在供热、空调、海水淡化、工农业供热和蒸汽低蒸汽参数发电技术等方面的应用。

(2) 具体目标

突破 260 天以上大容量跨季储热技术，提出降低储热热损的机理及工艺路线。传热储热材料、吸热传热与储热装置和分布式电站系统集成等核心技术。

(3) 预期成果

建成太阳能跨季储热集中供热系统，取热温度范围 10-90℃，储热效率不低于 60%，供 2 万平方米建筑采暖。研发太阳能锅炉，蒸汽温度 120-150℃，效率大于 50%。建成集成百小时蓄热的百千瓦级太阳能热发电联供系统，发电功率不低于 100 千瓦，满足建筑连续供暖的需求，总能效率高于 45%。

### 方向 3：风能

序号	任务名称	备注
7	中国典型风资源特性及其对大型风电叶片翼型族优化设计影响研究	基础研究
8	7-10 兆瓦智能化风电机组关键技术	重大共性关键技术
9	10 兆瓦级风力发电公共试验平台研发	重大共性关键技术
10	基于大数据和互联网的风电场设计与运维关键技术研究	重大共性关键技术
11	海上风电场开发成套关键技术研究及示范	重大共性关键技术 典型应用示范

## **任务 7：中国典型风资源特性及其对大型风电叶片翼型族优化设计影响研究**

该项研究属于基础研究。

计划实施时间：2016 年-2020 年。

### **(1) 重点内容**

分析我国近地层不同区域、地形、下垫面和台风影响下风速廓线、湍流强度、阵风系数、风向突变等风特性，揭示三维湍流强度、湍流尺度、湍流谱、阵风系数等脉动特性，研究边界层风的垂直变化，分析不同区域、不同地形的热力稳定度。根据我国典型的风资源特征，探明多尺度叶片流场复杂特性和描述方法，获得不同尺度流场特征参数相互耦合的物理机制及其对风力机翼型气动性能影响机理；开展先进翼型流动控制及相关机理研究；结合风力机叶片低载、高效、宽广工作范围需求，开展适合中国风资源特性的翼型族多目标优化设计研究。

### **(2) 具体目标**

根据我国风电规模化开发需要，提出我国不同区域、地形、下垫面和台风影响下风的垂直廓线、湍流强度、阵风系数、风向突变、热力稳定度等参数，以及三维湍流强度、湍流尺度、湍流谱、阵风系数等脉动风特性分布规律。掌握适合中国典型风资源特性下的高性能翼型族设计方法，并设计出适用于大型叶片的翼型族一套。

### **(3) 预期成果**

掌握我国 300 米以下，不同区域、地形、下垫面和台风影响下的复杂风资源特性，为风电开发规划、风电机组设计、风电场建设提供科学依据；提出高效、可靠及低成本的翼型新型流动控制方法；提出适应中国复杂风资源特点的高性能翼型族设计方法；实现高性能翼型族在 50 米长度以上风电机组叶片设计应用，为进一步产业化应用提供理论指导。

## **任务 8：7-10 兆瓦智能化风电机组关键技术研究**

该项研究属于重大共性关键技术。

计划实施时间：2016 年-2020 年。

### **(1) 重点内容**

研究基于多体动力学、数模混合仿真等的超大容量风电机组系统稳定性、模块化、一体化设计关键技术，研究基于主动降载、环境条件和故障自适应、扇区管理等风电机组智能化控制技术，突破整机系统性匹配协同设计技术；研究 100 米级高效风电叶片气弹、轻量化结构和新材料技术相结合的一体化设计技术；开展高可靠性传动链、基础、柔性塔架等关键部件设计、制造、试验技术研究；研究 7 兆瓦级风电机组批量化设计总成关键技术，7 兆瓦级风电机组关键部件批量化设计制造技术；研究超大容量风电机组运行可靠性评估与保障技术、电网友好型应用技术、在线监测和故障诊断技术、智能健康安全管理技术、高效可靠的海上环境适应性设计技术，开发高效可靠的环境控制系统；研究风电机组及关键部件绿回收处理及绿色制造技术。

### (2) 具体目标

掌握超大容量风电机组整机、叶片、发电机、齿轮箱、基础、塔架、控制系统等关键部件设计、制造及试验关键技术，达到世界先进水平。实现 7 兆瓦级风电机组及其关键部件的产业化，实现 10 兆瓦级风电机组样机研制和并网运行。

### (3) 预期成果

开发智能化控制系统、在线监测和故障诊断系统以及智能健康安全管理系统各一套；实现 7 兆瓦级风电机组产业化和 5 台以上机组的安装应用；研制 100 米级高效风电叶片新型材料、叶片样片；开发 10 兆瓦级风电机组整机联调实验平台、环境控制系统；研制 10 兆瓦级风电机组样机，实现并网运行；进行风电机组关键部件回收利用示范。

## **任务 9：10 兆瓦级风力发电公共试验平台研发**

该项研究属于重大共性关键技术。

计划实施时间：2016 年-2019 年。

### (1) 重点内容

研究 100 米叶片气动性能及可靠性试验评价技术，研究叶片全尺寸结构测试的标准、方法；研究 10 兆瓦级风电机组传动链地面试验技术、传动链地面试验系统运行控制技术；研究大型风电数模混合实时仿真实验技术、多尺度风电场数模混合实时仿真实验技术；开展海上风电试验检测关键技术研究，研究海上风电机组环境适应性及可靠性测试技术、耦合载荷测试技术。

## (2) 具体目标

掌握 100 米叶片气动性能及可靠性试验评价技术，提出叶片安全性验证测试明确的技术要求；掌握 10 兆瓦级大型风电机组传动链地面试验技术，开展大型风电机组传动链及关键零部件的地面测试；掌握 10 兆瓦级风电机组数模混合实时仿真实验技术，掌握风电机组运行性能、网源交互和可靠性试验与评估技术；掌握海上风电全寿命试验技术，试验技术达到世界先进水平。

## (3) 预期成果

研制一座叶片空气动力特性和风电场流场模拟的实验平台，建立一座 100 米以上叶片多自由度动态加载试验平台；研制一套 10 兆瓦级大功率动态载荷加载装置、风力机模拟器等测试关键设备，建立 10 兆瓦级风电机组传动链地面公共试验系统；研制一座 10 兆瓦级风电机组数模混合仿真实验平台和一座百千瓦级风电场数模混合仿真实验平台；建立一座海上风电机组实证测试平台。

## **任务 10：基于大数据和互联网的风电场设计与运维关键技术研究**

该项研究属于重大共性关键技术。

计划实施时间：2016 年-2019 年。

### (1) 重点内容

研究风电机组和风电场综合智能化传感技术，风电大数据收集及分析技术，基于风电大数据的知识挖掘关键技术；研究复杂地形、特殊环境条件下风电场设计优化方法，千万千瓦风电基地的尾流影响特性，基于大数据开展复杂地形、特殊环境风电场及千万千瓦风电基地运行优化技术；研究不同外部条件下，风电机组和风电场优化控制策略技术；研究基于物联网、云计算和大数据综合应用的风电场智能化运维关键技术；研究基于风电大数据，开展大规模风电开发与生态环境的关系。

### (2) 具体目标

全面掌握风电大数据采集、分析及知识挖掘技术，并提出对特殊地形、特殊环境及大型风电基地的风电场设计优化方法，提出风电机组和风电场的智能化运维优化策略，降低维护成本，并为我国风电场智能化、信息化、高效化和可靠性运行提供技术支撑，实现风电场提高发电量 2% 以上，风电机组无故障运行时间在现有基础上提高 1%；掌握大规模风电开发与生态环境的关系。

### (3) 预期成果

研制风电场智能化运维管理系统一套，并在 20 万以上项目开展示范，风电场发电量提高不低于 2%；完成一个大规模风电基地规划设计性能和实际运行性能的对比分析报告；制定特殊地形、特殊环境及大型风电基地的设计优化规范多套；建立全国风电大数据和知识挖掘平台，建立全国风电典型区域运行数据库；完成不低于 20 万千瓦风电场的控制策略优化示范，风电场发电量提高不低于 5%；大规模风电开发与生态环境关系研究报告。

## 任务 11：海上风电场开发成套关键技术研究及示范

该项研究属于重大共性关键技术、典型应用示范。

计划实施时间：2016 年-2020 年。

### (1) 重点内容

研究风电机组基础设计制造技术，研究支持我国近海不同海域规模化风电开发的设计、施工、运输、吊装关键技术，研制近海施工、运输、吊装关键装备；研究近海风电场运维技术及装备，开发基于寿命评估的动态智能运维管理系统；研制近海风电场维护关键装备；研究海上风电相关测试技术；开展海上风电标准规范体系研究；开展近海风电场工程示范。

### (2) 具体目标

突破近海风电场设计、施工、运输、吊装及运维成套关键技术，研制近海风电场施工、运输、吊装及运维关键设备，形成并完善海上风电工程技术标准和建设管理体系，并完成一个近海风电场示范工程建设，支持我国海上风电规模化发展。

### (3) 预期成果

研制出近海风电场施工、运输、吊装及运维关键设备各 1 套，研制出海上风电多网融合可视化智能运维调度管理系统；建立开发海上风电检测平台 1 个；制定海上风电场建设标准规范体系；完成一个风电机组单机容量不低于 5 兆瓦、装机规模不少于 10 万千瓦的近海风电场示范工程建设。

## 方向 4：生物质能

序号	任务名称	备注
12	生物质液体燃料清洁制备与高效利用	基础研究、重大共性关键

		技、典型应用示范
13	生物质燃气高效制备与高值利用	基础研究、重大共性关键技术、典型应用示范
14	生物质先进燃烧和热电联产	基础研究、重大共性关键技术、典型应用示范
15	藻类等能源植物规模化培育及燃料转换	基础研究、重大共性关键技术、典型应用示范

## 任务 12：生物质液体燃料清洁制备与高效利用

该任务属于基础研究、重大共性关键技术、典型应用示范。

计划实施时间：2016 年-2020 年。

### （1）重点内容

研究生物质制取高品位液体燃料中热化学、化学、生物转化机理及调控；研究多原料生物柴油清洁制备与综合利用、纤维素醇类燃料制备与生物炼制、生物质化学、热化学转化与合成液体燃料等关键技术与装备；建成一批生物质液体燃料示范工程，获得系统各单元的能效数据及整体经济性评价数据，培育生物质液体燃料规模化产业链。

### （2）具体目标

开发出不同原料生物柴油制备新工艺 2-3 套，建立 2-3 个万吨级不同类型示范工程；实现纤维素醇类燃料关键工艺和设备的技术升级，保证生产过程绿色，清洁，实现产品多元联产和终端产品高值化，建设万吨级示范工程；开发大型连续式生物质热解气化、液化工艺及装备，研发低成本合成汽油、航油、柴油及含氧燃料等高品质液体燃料技术及装备，建设 2-3 个万吨级示范工程。

### （3）预期成果

获得生物质制取高品位液体燃料中热化学、化学、生物转化机理及调控等重要理论成果；通过生物质液体燃料科技创新与示范带动，解决生物质液体燃料转化技术工艺、成套装备开发、示范工程可靠运行等科技和工程问题，整体科技水平达到国际先进水平，纤维素制备航油与汽油技术处于国际领先水平，为我国生物质液体燃料标准化生产奠定基础，实现能源、环境协同效益。

## 任务 13：生物质燃气高效制备与高值利用

该任务属于基础研究、重大共性关键技、典型应用示范。

计划实施时间：2016 年-2020 年。

(1) 重点内容

研究典型高效生物燃气工程的微生物种群结构、营养代谢网络、热力学过程，研究多元混合生物质原料清洁收运储关键技术、熟化生物质原料预处理技术，开发多元原料高效厌氧发酵生物燃气制备工艺、生物质气化制备天然气技术、生物质热解制备中高热值生物质燃气及高值化利用技术及装备、发酵剩余物安全高值利用技术，研发生物燃气工程系统成套装备，建设标准化生物燃气生产示范工程与商业推广模式，并进行规模化推广应用。

(2) 具体目标

主要解析厌氧发酵的生物演替及传质传热相变规律，构建包括能源草、藻类等新型能源生物质原料和 5 大类有机废弃物的原料数据库和高效清洁收集模式，控制村镇面源污染；厌氧发酵的中温池容产气率达  $2.0\text{m}^3/\text{m}^3\cdot\text{d}$ ，高品位生物燃气产品开发的甲烷回收率达 97%以上；自动化控制的设备国产化率在 95%以上，开发 3-5 种沼渣沼液高质化产品，在 20-30 处工程上示范应用；生物质热解制备中高热值生物质燃气气化效率不低于 80%，热值大于  $10\text{MJ}/\text{m}^3$ ；生物质燃气总规模不低于年产 4000 万立方米，凝练推广专业化的商业模式。

(3) 预期成果

通过生物燃气科技创新与示范带动，解决分散原料集中收集、转化技术提质增效、成套装备专业开发、示范工程可靠运行等科技和工程问题，整体科技水平达到国际先进水平，并按照不同地理区划、原料来源、产品需求凝练生物燃气商业模式，为我国生物燃气产业化的提质增效和标准化生产奠定基础，实现能源、环境协同效益。

## 任务 14：生物质先进燃烧和热电联产

该任务属于基础研究、重大共性关键技、典型应用示范。

计划实施时间：2016 年-2019 年。

(1) 重点内容

研究生物质成型过程中的物料传质传热规律与分子间的高效络合成型机理，开发系列化、智能化、低能耗的生物质制粒、压块、制棒等成型设备；开发生物质成



型生产线智能监控系统，突破系统节能关键技术；采用低温烘焙等方式开展成型燃料定向改性研究；突破生物质成型燃料连续炭化关键技术；研究生物质发电中结渣、碱金属腐蚀形成机制、高效燃烧及污染物排放控制等技术；研究大规模生物质直燃发电与供热、气化发电与供热、混燃发电等关键技术与装备；建设一批生物质热电联产示范工程。

### （2）具体目标

突破生物质成型燃料单机节能与系统节能关键技术，使系统综合能耗降低 5% 以上。解决生物质大规模燃烧过程中结焦与碱金属腐蚀问题；直燃技术确保各种情况下燃烧效率高于 99%，氮氧化物排放低于 100 mg/Nm<sup>3</sup>，气化发电综合热效率不低于 60%，混烧技术实现不影响运行情况下秸秆类燃料混烧热量比大于 8%，木质燃料大于 15%，建设 50 兆瓦级直燃发电、10 兆瓦级气化发电、500 兆瓦级混燃热电联产示范工程。

### （3）预期成果

在生物质成型过程中的物料传质传热规律与分子间的高效络合成型机理研究方面取得突破；成型设备智能化、系列化水平明显提高，单机能耗和系统能源明显降低，生物质成型燃料供热系统热效率进一步提高；突破生物质发电中结渣、碱金属腐蚀形成机制及污染物排放控制等技术；解决生物质发电技术工艺、成套装备开发、示范工程可靠运行等科技和工程问题，整体科技水平达到国际先进水平。

## **任务 15：藻类等能源植物规模化培育及燃料转换**

该任务属于基础研究、重大共性关键技、典型应用示范。

计划实施时间：2017 年-2020 年。

### （1）重点内容

突破优良藻种的规模化获取和高效培育关键技术；筛选能量富集型野生或半野生状态的草本能源植物，通过生物工程技术改良和培育能源植物良种。研究藻类等能源植物的高效、低成本能源转化利用技术与工艺，开发藻类等能源植物能源化转变成套设备，在适宜区域建立一批藻类等能源植物的规模化种植和能源转化示范工程，实现藻类等能源植物综合利用，通过价值的最大化提高经济效益。

### （2）具体目标

培育微藻、巨藻、能源草、油料植物等新品种 20 个以上，完成藻类的能源植物转化为燃料乙醇、生物柴油、生物燃气等燃料新工艺 5 个以上，新建藻类等能源植物规模化种植与能源转化示范项目 3 个以上。

### (3) 预期成果

通过藻类等能源植物规模化培育与燃料转化科技创新与示范带动，解决其技术工艺、成套装备开发、示范工程可靠运行等科技和工程问题，整体科技条件达到国际先进水平，为我国藻类等能源植物规模化培育与燃料转化标准化生产奠定基础。

## 方向 5：地热能

序号	任务名称	备注
16	干热岩工程化开发利用关键技术研发与示范	重大共性关键技术
17	水热型储层改造及高效增产关键技术研发与示范	重大共性关键技术

### 任务 16：干热岩工程化开发利用关键技术研发与示范

该项研究属于重大共性关键技术。

计划实施时间：2016 年-2019 年。

#### (1) 重点内容

基础研究：干热岩地质构造形成机理、岩石应力分布与裂隙发育、延伸演变过程及机理；天然地应力测试与岩石裂隙系统描述方法，裂隙热储的空间裂隙网络刻画技术，地球物理方法耦合方案及数据反演机理，CO<sub>2</sub>-干热岩系统传热传质机理；超临界流体传热特性及机理，两相流换热技术及能源耦合网络优化技术。

重大共性技术研发：靶区定位及探测集成关键技术，资源评价及环评方法，大体积压裂及人工裂隙发育延伸控制与测试关键技术，热储裂隙网络优化技术，微地震、示踪测控技术及装备；宽负荷耦合发电技术及增强型对流换热冷却系统设计关键技术与装置。

示范工程建设：兆瓦级干热岩开发及综合利用示范电站。

#### (2) 具体目标

突破靶区定位、控裂、大体积压裂技术及宽负荷发电技术，掌握干热岩开发稳定运行条件和热能开发的优化控制方法，大体积压裂 0.1m<sup>3</sup>，对井裂隙连通率大于

70%，失水率小于 10-15%；建成兆瓦级干热岩综合开发利用示范电站，综合产能提高 10-15%，降低发电系统中冷却装置能耗 5-10%。

### （3）预期成果

通过研发，完成系统、环境评价软件平台设计和编制，成井测试及微地震监测装置，建立干热岩开发对地下水和地表环境影响的评价指标体系，形成我国干热岩开发利用工程化完整的技术体系和标准，以兆瓦级干热岩综合利用（热、冷）示范电站为平台，为我国在东、西、中部推广干热岩开发应用提供技术支撑。

## 任务 17：水热型储层改造及高效增产关键技术研发与示范

该项研究属于重大共性关键技术。

计划实施时间：2016 年-2019 年。

### （1）重点内容

基础研究：储层回注流体流动状态下的水敏、岩敏、化学敏等反应机理及成垢条件；储层多孔介质传热传质机理；地层孔隙分布特征；化学、物理、微生物等在地层孔隙中形成堵塞的过程描述及机理。

重大共性技术研发：研发储层物性综合测试技术，热储动态开发回灌示踪及评价技术，储层酸化增效配套装置与工艺技术；水热型地热系统中井筒、储层、系统核心部件、输运系统的防垢、除垢工艺技术、地层成垢无污染处理技术；防堵塞工艺总成设计及关键技术；群井开发动态测试、预测与评价技术。

示范工程建设：建成具有地质构造代表性的群井（10 眼井以上）的综合开发示范工程。

### （2）具体目标

通过开展热储测试、示踪、回灌、改造、防垢除垢等技术研发，突破水热型高温发电系统关键部件防结、低成本快速除垢核心技术；建成孔隙型地热储可持续开发利用技术示范工程（10 眼井规模），提高区域性集中开采地热田回灌率达 80%左右，实现可大规模推广应用孔隙、裂隙型热储回灌技术的目标，为地热产业可持续发展提供技术保障。

### （3）预期成果

通过对测井、示踪、酸化、回灌及储层改造，以及储层、利用系统的防垢、结构处理工艺技术的研发，形成我国地热储可持续开发利用的创新理论、技术体系与

大数据信息化技术平台，行业设计标准，不同处理工艺的操作规程、示踪及酸化处理材料样本，及针对不同地质构造改造、回灌工艺手册。

## 方向 6：海洋能

序号	任务名称	备注
18	海洋能资源特性及高效转换利用机理方法研究	基础研究
19	海洋能利用核心装备技术与实海况发电系统	重大共性关键技术

### 任务 18：海洋能资源特性及高效转换利用机理方法研究

该项研究属于基础研究。

计划实施时间：2016 年-2019 年。

#### (1) 重点内容

开展不同海区海洋环境特征分析，研究潮汐能、潮流能及海流能、波浪能、温差能、盐差能的资源特性及其分布规律；开展海洋能高效转换利用机理研究，研究适合我国资源特点的能量捕获与转换利用方法；开展海洋能发电装置实验室仿真及实海况测试技术方法研究；开展波浪能、潮流能发电装置阵列化应用基础理论研究。

#### (2) 具体目标

掌握重点关注海域海洋环境特征及海洋能资源特性，包括东海潮汐能、潮流能资源富集区，南海波浪能、温差能资源富集区，重要河口盐差能富集区等海洋能资源特性，为海洋能资源区划、站址选址及发电系统设计提供基础依据；掌握潮流能高效转换设计、波浪能高效俘获富集及恶劣环境下高生存性设计、动态潮汐能发电物理模型、温差能高效热循环、盐差能发电原理等方法 and 理论，为新型高效高可靠海洋能发电装置研发奠定基础；掌握海洋能发电装置俘获系统测试、动力输出系统测试、发电品质测试等实验室和实海况测试方法，形成自主创新的海洋能仿真软件；突破海洋能发电装置尾流场、阵列布局及电力系统优化设计理论与方法，建立相关模型。

#### (3) 预期成果

提出我国不同海域、不同海洋环境的海洋能资源特征参数，形成较完整的海洋能资源区划及评价理论体系；形成系统的海洋能高效转换利用理论与方法，发展出

一批原创性海洋能发电技术；形成较为完善的可靠性测试、效率测试及载荷测试等标准与工具；形成海洋能发电阵列布局及性能预测设计软件工具。

## **任务 19：海洋能利用核心装备技术与实海况发电系统**

该项研究属于重大共性关键技术。

计划实施时间：2016 年-2020 年。

### **(1) 重点内容**

开展高可靠 300 千瓦潮流能机组整机设计与制造关键技术研发，进行整机、高效叶片、高可靠传动系统、发电机与变桨控制、水下密封结构、安装基础等设计优化等；开展 100 千瓦模块化波浪能发电系统设计与制造关键技术研发，对装置整机、发电平台、锚泊系统进行优化设计，研究高效液压转换与电力控制、可靠性与生存保障技术等；开展 1 兆瓦潮流能机组设计及测试关键技术研究，开展整机设计，研究叶片高效能量捕获，高效传动，电机与电控，海试运维等技术；开展 100 千瓦温差能关键技术研究，包括氨透平、冷海水管、换热器等核心设备、关键技术以及综合利用研究；研制海洋能综合试验与技术示范平台，开展新型海洋能原理样机及比例样机综合试验，开展发电、海水淡化、深水养殖等综合利用和技术示范。

### **(2) 具体目标**

掌握高效转换、高可靠等关键技术，形成高可靠 300 千瓦潮流能机组装备，装置转换总效率达到国际先进水平，形成稳定示范运行能力；掌握高效转换、恶劣海况下生存能力强等关键技术，进一步提高系统的冗余度与安全性，形成模块化 100 千瓦波浪能发电系统，为我国波浪能示范区提供稳定可靠的示范装备；掌握 1 兆瓦潮流能机组设计关键技术，为开展潮流能发电场建设提供支撑；掌握 100 千瓦温差能发电及综合利用关键技术，为温差能大规模利用奠定基础；建成海洋能综合试验与技术示范平台，达到百千瓦级潮流能、十千瓦级波浪能、温差能原理样机及比例样机的实海况公共测试能力。

### **(3) 预期成果**

高可靠 300 千瓦潮流能发电机组，高效 100 千瓦模块化波浪能发电装备，1 兆瓦潮流能发电机组样机，100 千瓦温差能发电装置样机，建成 1 个海洋能综合试验与技术示范平台及配套专用工具。

## 方向 7：氢能

序号	任务名称	备注
20	氢的绿色制备、高密度储运及高效利用基础研究	基础研究
21	氢的绿色制取与高效储运技术及示范	重大共性关键技术
22	燃料电池发电技术	重大共性关键技术

### 任务 20：氢的绿色制备、高密度储运及高效利用基础研究

该项研究属于基础研究。

计划实施时间：2017 年-2020 年。

#### (1) 重点内容

研究高效光/电/热/酶-氢转换机制；研究氢与材料之间的相互作用机制，研究燃料电池各种关键部件和材料在电化学腐蚀环境下的耐受性；研究多场耦合下的氢系统和燃料电池系统中的传热传质规律。探索各种新型制氢、储氢和燃料电池技术。

#### (2) 具体目标

建立光/电/热/酶制氢、储氢及燃料电池电极过程中的催化理论，为发展高效制/储氢技术和燃料电池新型非贵金属催化剂提供指导；开发出一批高密度储氢材料，高压储氢容器用材料和高耐久性燃料电池材料；优化燃料电池运行条件，提高燃料电池寿命；优化燃料电池系统结构，改善系统的动态响应特性及其鲁棒性。若干新型制氢、储氢和燃料电池技术水平实现与国际同步，基础研究的部分领域引领国际发展方向。

#### (3) 预期成果

在国际有影响力的刊物发表若干高水平研究论文；形成若干制氢、储氢和燃料电池技术发展新的方法与思想；培养一批创新型人才。

### 任务 21：氢的绿色制取与高效储运技术及示范

该项研究属于重大共性关键技术。

计划实施时间：2016 年-2020 年。

#### (1) 重点内容

大规模风（光）电解水制氢/输氢技术与应用示范：研究适应风/光波动性的电解水规模制氢/输氢技术及装备，开发适应多场景的配送与现场氢源集成技术，建立大规模风（光）电解水无碳制/输氢及应用示范基地；

化石资源高效制氢/输氢技术与应用示范：开发低碳、低能耗化石资源制氢/输氢技术，建立化石资源低碳制/输氢及应用示范基地；

高密度储氢技术；研究高密度固态储氢、高压气态储氢技术以及高压氢加压/加注成套设备技术；

氢安全检测评价方法；

其他高效清洁制氢新技术：探索太阳能直接分解水制氢、生物质制氢、固体电解质纯水电解制氢和核能制氢等高效清洁制氢新技术。

## （2）具体目标

突破非稳定风/光电制氢、化石能源低碳制氢关键技术，掌握大容量碱性电解水制氢装备和高效固态聚合物电解水制氢装备制造设计制造技术，太阳能直接分解水制氢、生物质制氢、固体电解质纯水电解制氢和核能制氢等清洁制氢新技术研发水平与国际同步；掌握大容量储氢容器、高密度储氢材料和装置设计与制造关键技术，突破管道掺氢输送技术，实现高压储氢容器、固态储氢装置、大排量氢压缩机等关键设备的低成本国产化，新型轻质大容量储氢材料研发水平与国际同步。建立氢安全检测评价平台。

## （3）预期成果

研制出单台制氢量 $>1000\text{m}^3/\text{h}$ 的碱性电解水制氢装置，制氢能耗 $\leq 4.1\text{kWh}/\text{m}^3$ ，实现氢的大规模低碳无碳制取（亿立方米/年）及多样化高效利用，示范项目整体水平进入国际先进行列；研制出制氢能耗 $\leq 3.8\text{kWh}/\text{m}^3$ 的固态聚合物电解水制氢装置；

研制出体积储氢密度 $\geq 20\text{g}/\text{L}$ 的大容量高压储氢容器和体积储氢密度 $\geq 40\text{g}/\text{L}$ 的固态储氢装置；管道输氢的掺氢比 $\geq 5\%$ ；形成系列氢安全检测标准草案。

## 任务 22：燃料电池发电技术

该项研究属于重大共性关键技术。

计划实施时间：2016 年-2020 年。

### （1）重点内容

关键材料和部件国产化批量制备技术与装备：研究关键材料低成本及国产化技

术和关键部件批量工艺与装备技术；

百千瓦燃料电池分布式发电系统技术与示范：开发大功率电堆稳态长寿命设计与制备技术，探索并行发电多模块可靠性保障技术和电网接入技术，以及百千瓦燃料电池分布式发电系统集成技术，选取数据中心供电、独立海岛、农村等场景进行燃料电池分布式发电示范；

碳氢燃料固体氧化物燃料电池发电技术；

燃料电池应急电源技术与示范：开发燃料电池应急电源技术，进行通信基站等多样化、规模化燃料电池应急电源示范；

低铂直接醇燃料电池便携式电源技术：开发低铂直接醇燃料电池便携式电源技术，并进行救灾应急等特定场景应用示范。

## (2) 具体目标

突破燃料电池发电效率、成本和可靠性等技术瓶颈，掌握燃料电池关键材料、大功率燃料电池电堆、系统辅助部件设计制造技术，掌握燃料电池分布式发电系统、固定式不间断电源、移动式应急电源和救灾应急便携式电源等成套技术，建立燃料电池发电运行控制策略，掌握热电联供技术和电网接入技术，实现燃料电池发电系统长寿命运行，燃料电池发电技术进入世界第一方阵。

## (3) 预期成果

初步形成我国“材料-部件-电堆-系统”产业链，研制出系列的燃料电池发电系统和电源系统，最大单机发电功率>100 千瓦，电堆实测寿命>5000hr。分布式发电和应急电源示范供电总规模达到兆瓦级，燃料电池应急电源实现初步商业化并进入国际市场。

## 方向 8：可再生能源综合利用

序号	任务名称	备注
23	风光大规模应用的环境影响	基础研究
24	西部省级以可再生能源为主系统的研究及示范	重大共性关键技术
25	东部城市以可再生能源为主系统的研究及示范	重大共性关键技术



26	以可再生能源为主的独立微能源系统研究及示范	重大共性关键技术
----	-----------------------	----------

### 任务 23：风光大规模应用的环境影响

该项研究属于基础研究。

计划实施时间：2016 年-2019 年。

#### (1) 重点任务

开展大规模开发利用风能和太阳能资源与气候变化的相互作用研究。定量研究大规模建设风电场和光伏电站对局地 and 区域气候的影响，揭示不同环境气候条件/不同应用形式下地表通量交换和辐射平衡变化的物理过程和机理，认识未来气候变化情景下大面积应用对区域气候的综合/共同影响。

开展风电/光伏大规模应用全生命周期环境影响评价研究。对商业化风机/组件进行全生命周期环境影响评价、碳排放和偿还期研究，识别全产业链环境影响、碳排放的关键环节和关键技术。

#### (2) 具体目标

掌握不同气候区/不同应用形式下大规模开发利用风能和太阳能资源与气候变化的相互作用机制，预测未来大面积部署对区域气候的综合/共同影响，为未来大规模开发布局提供参考。

建立符合我国资源利用特征的风电和光伏行业生命周期环境影响评价技术；实现风电和光伏行业产品全产业链生命周期评价，识别关键环节推行清洁生产，实现行业绿色发展。

#### (3) 预期成果

大规模开发利用风能和太阳能资源与气候变化的相互作用机制，光伏电站局地环境和气候效应评价技术与方法；光伏行业的全生命周期环境影响评价、碳排放和偿还期的核算、光伏行业全生命周期环境影响技术与方法。

### 任务 24：西部省级以可再生能源为主系统的研究及示范

该项研究属于重大共性关键技术。

计划实施时间：2016 年-2019 年。

#### (1) 重点内容

不同气候、地域及不同用能规模的可再生能源综合利用技术研究及示范，重点

研究适应西部省区不同地域、气候、应用模式的单元模块化技术及差异化设备，系统控制技术和能效管理技术，开展可再生能源为主的净零能耗建筑供能系统、新型社区微能源网、城镇供电系统的设计集成研究及示范。

区域级可再生能源地域资源评估、能源供需预测和区域级可再生能源系统设计规划技术。

### (2) 具体目标

建立不同气候、用能需求的分布式光伏/风电/小水电/光热/热泵供能系统示范；形成西部 1000 万千瓦省级可再生能源系统总体技术方案，其中可再生能源供电量占比 80%以上。为我国规模化推广可再生能源综合利用系统奠定技术基础，提供技术解决方案。

### (3) 预期成果

西部 1000 万千瓦省级可再生能源系统总体技术方案，区域性可再生能源资源评估和规划设计软件；西部模块化、系列化典型以可再生能源为主的能源系统示范工程，微能源网能效管理系统。

## **任务 25：东部城市以可再生能源为主系统的研究及示范**

该项研究属于重大共性关键技术。

计划实施时间：2017 年-2020 年。

### (1) 重点内容

东部城市多种典型应用模式的可再生能源综合利用技术研究及关键设备研制，重点研究适应东部城市不同地域、气候、应用模式的单元模块化技术及差异化设备，开展东部城市不同规模、不同应用模式的可再生能源综合利用系统集成技术研究及示范。

东部城市可再生能源地域资源评估、能源供需预测和可再生能源系统设计规划技术。

### (2) 具体目标

结合东部城市分布式可再生能源快速推广利用趋势和新型城镇化冷热电需求，掌握城市不同气候、不同资源、不同应用模式的可再生能源综合利用系统单元模块化设计集成技术及差异化关键设备，建立多种典型区域、应用模式的系统示范，为我国东部城市推广利用分布式可再生能源提供技术支撑和技术解决方案。

### (3) 预期成果

建立东部城市光伏/风电/气电/垃圾发电/地源热泵等多能综合利用冷热电联供系统示范，研制差异化的微网变流器、控制器、能效管理系统等关键设备，建立实证性数据中心。

## 任务 26：以可再生能源为主的独立微能源系统研究及示范

该项研究属于重大共性关键技术。

计划实施时间：2017 年-2020 年。

### (1) 重点内容

极区可再生能源综合利用系统及关键设备。充分利用极区的可再生能源，重点突破适用于极区环境可再生能源发电、集成、和管理等关键技术，研发极区科考站高可靠可再生能源发电综合利用系统和极区移动式可再生能源供电系统，研制耐受极寒、极夜等极端气候的高可靠性逆变器、变流器等关键设备。

多种典型海岛(礁)独立微网关键技术研究及示范。选择不同规模的海岛(礁)，开展海洋能、光伏、风电等可再生能源独立微网系统设计集成和示范，研究海岛(礁)独立微网的实时能量优化调度管理技术，研制耐受高盐、高湿、高温气候条件的微网变流器和控制器等成套设备。

不同气候地域、资源禀赋的西部边远地区独立微网关键技术研究及示范。选择西部不同气候地域、资源禀赋的边远地区，研究以可再生能源为主的冷热电联供独立微能源网单元模块化设计集成技术，研究微能源网能效管理技术，研制通用性的独立微网能效管理系统等关键设备。

### (2) 具体目标

形成适合海岛(礁)、极区、边远地区资源特点及用能需求的独立微网总体方案，研制高耐候性的独立微网变流器、控制器等关键设备，掌握不同气候条件下的独立微网系统集成和能效管理关键技术，实现可再生能源供能满足率 60%以上，为极区科考站、我国沿海岛礁、边远地区提供可再生能源冷热电联供整体解决方案。

### (3) 预期成果

建立 3 个以上典型海岛独立微网示范系统，建立极区科考站可再生能源独立微网示范工程和极区移动式可再生能源供电系统，在不同资源禀赋、不同规模的边远地区建立可再生能源冷热电联供独立微网示范工程，研制高耐候性的逆变器、储能

变流器等关键设备及海洋能发电装置，研制独立微网能效管理系统。

## **四、资金需求**

略。

## **五、组织实施方式与保障措施**

### **（一）组织实施机制**

#### **1、加强国家与地方的组织领导和统筹协调机制**

协调各部门职能与责任，统筹科技计划实施；积极寻求企业、科研单位与高校多方参与的新机制、新模式、新途径；建立规划实施检查、监督、评估、考核工作机制，规划经法定程序审核后向社会公开，明确责任；通过行政与公众监督，保障各项工作有序执行。

#### **2、加大科技投入力度，建立多元科技投入渠道**

进一步加大资金投入力度，建立稳定的科技投入机制，合理配置资源，实施专项计划，发挥国家重点研发计划等主渠道作用。同时，采取适当的鼓励或税收政策，加大回报，鼓励社会力量及民间能源企业的投入，开辟多元化科技投入渠道。

#### **3、组织各方面力量开展产学研用联合攻关**

充分发挥科研机构、高校、大型企业等相关机构的科技攻关能力和人才高地优势，紧密结合企业市场化资本运作、先进管理、工程建设等优势，合力开展技术攻关和应用示范，加快科研成果的转移转化。加快培育一批掌握关键核心技术、引领行业发展、有较强国际竞争力的科研机构及科技领军企业。

### **（二）保障措施**

#### **1、完善市场调节机制和政策措施**

完善适应可再生能源和氢能产业发展的市场调节机制，建立完善可再生能源和氢能法律保障、综合管理和专业监管体系，完善投资、电价、电网调节电源补贴政策，鼓励商业模式创新。

#### **2、建立完善行业公共支撑与服务系统**

统一部署，形成合力，为我国可再生能源和氢能技术研发和推广应用奠定良好的基础，有效推动技术和产业的健康发展。

#### **3、加快人才队伍建设**

充分利用海外资源，从海外吸收优秀学者加盟，充实国内可再生能源和氢能人才队伍；充分利用国家公共研发及示范基地，加强学科人才梯队建设，培养中青年科技骨干、学术带头人、学科带头人以及战略决策型人才；结合可再生能源和氢能多学科交叉的特点，打破传统学科和学历界限，将人才队伍建设与学科建设和创新体系建设紧密结合，形成完善的人才培养体系和选拔机制。

#### 4、加强国际交流与合作

充分利用全球技术资源，积极引进国外先进技术和经验，加强与国外技术研究决定计划的合作，及时把握世界可再生能源和氢能科技发展的新动向、新趋势，实现我国可再生能源和氢能技术发展与世界接轨，促进我国可再生能源和氢能科技的可持续发展。

## 六、效益与风险分析

### （一）效益分析

本重点专项通过突破一批可再生能源与氢能高效、规模化利用的基础前沿或关键核心技术，有效提升整体利用水平，预期取得以下科技成果。

1、太阳能光伏方向，大型光伏电站全流程优化技术及数兆瓦级集散式逆变器；渗透率 50%以上多种形式的区域分布式光伏示范电站；效率 23%晶体硅太阳能电池产业化技术；效率 20%的薄膜电池技术；国际先进、第三方的光伏发电技术研究创新平台。

2、太阳能热利用方向，高参数太阳能热发电新原理样机，10 千瓦级空气太阳能热发电系统，10 兆瓦级可 24 小时连续发电的太阳能热电联供系统，集中式太阳能跨季储热示范，采暖建筑面积 2 万平方米。

3、风能方向，7 兆瓦级海上风电机组产业化，10 兆瓦级海上风电机组样机；国家级风力发电公共研究测试平台；大型海上风电综合开发成套关键技术。

4、生物质能方向，2-3 个多类型的万吨级生物质制备高品位液体燃料示范工程；生物质燃气总规模不低于年产 4000 万立方米；50 兆瓦秸秆类燃料大比例混燃热电联供示范工程；藻类等能源植物规模化种植与能源转化示范项目 3 个以上。

5、地热能方向，1 兆瓦干热岩发电示范工程；百千瓦级地热混合动力发电系统；孔隙型地热集中式（10 眼井以上）回灌示范工程。

6、海洋能方向，300 千瓦潮流能机组及 100 千瓦波浪能装置产品化；1 兆瓦潮流能机组和 100 千瓦温差能样机；海洋能综合试验与技术示范平台。

7、氢能方向，在光催化制氢、化学储氢以及非铂电催化等领域取得具有国际影响力的创新成果；形成自主的氢能燃料电池专利池，完善标准体系。

8、可再生能源综合利用方向，西部省级、东部城镇模块化、系列化典型以可再生能源为主的能源系统示范工程，可再生能源零碳建筑示范。

本重点专项的实施将有效支撑我国到 2020 年，光伏装机达到 1 亿千瓦，光伏发电与电网销售电价相当，太阳能热发电 500 万千瓦，太阳能中低温热利用 512GWh，太阳能应用替代化石燃料超过 1.5 亿吨标准煤；风电装机达到 2 亿千瓦，风电与煤电上网电价相当，能源贡献量超过 1.3 亿吨标准煤；生物质利用总量达到 1 亿吨标准煤；地热能利用规模达到 5000 万吨标准煤；实现非化石能源 15%的战略目标。形成制氢、储氢、输氢及燃料电池产业链。预计新增就业 300 万人左右。

可再生能源大规模利用能够促进新的商业模式和业态的转变形成，独立的能源供应商可能会出现并推广。超大规模集中式光伏、新型分布式光伏利用相关产业模式将得到进一步发展，海上风电设计、制造、运营、咨询、检测认证商业运行链条将会形成；太阳热发电站启动商业化，形成新的太阳热电联合运营产业；生物质新型发电产业以及多联产行业将会得到产业化；生物质液体燃料、生物质燃气及生物质发电以及多联产产业将会得到商业化；以可再生能源为主的新型能源系统开发利用形式将逐步推广。

可再生能源与氢能产业具有很强的技术辐射性和经济带动性，能够带动包括新材料、绿色建筑、机械、电子、信息网络、智能控制、高端装备制造、节能环保等数以万亿计的相关新兴产业，培育新兴经济增长点，对推动能源生产和消费革命将产生巨大的推动作用，产生显著的经济与环境效益。

## **（二）风险分析**

### **1、政策保障风险**

可再生能源与氢能其关键技术、关键设备从研发到产业化周期长、涉及因素众多，是一项复杂的系统工程，在相关规划中对战略及规划的顶层设计研究不足，可能影响技术研发的示范应用效果，减慢产业化进程。

目前，国家正在推动简政放权，梳理国家政策，建立负面清单等制度，政策保

障风险预计可以减弱甚至消除。

## 2、组织实施风险

可再生能源与氢能产业涉及能源、海洋、国土等多部门，历史上由于部门分割、多头管理，缺乏统筹协调，因此形成科技资源配置不当，存在重复、浪费、效率不高、产业开发推进缓慢等问题。

以科技制度改革为鉴，我国政府正在推动各机构的力量整合，未来国家政府部门间的协调配合会不断强化，相关风险可以消除。

## 3、技术风险

目前，我国可再生能源与氢能科技和产业技术进步显著，已加强了自主创新投入和努力，但其中大部分成果是通过引进消化吸收、集成创新、部分创新实现的，在部分高端技术、装备等方面与国际先进水平差距明显，且技术研发创新支撑体系尚不健全，彰显出原始创新和技术突破能力的不足。

在可再生能源与氢能产业蓬勃发展的带动下，我国可再生能源与氢能行业对技术自主创新日益重视，对公共研发系统的重要性认识不断增强，相关风险可以控制。

## 4、资金风险

可再生能源与氢能领域的研发工作在基础研究和应用开发方面需要大量投入，特别是在基础研究、关键设备研制、系统集成与开发以及公共研究与试验平台等方面，需要进行大量的技术研究、技术集成创新以及工程示范，风险较大，因此没有大量投入、特别是政府的有力投入是难以奏效的。目前可再生能源与氢能领域的研发经费投入较低，与可再生能源与氢能在整个能源构成中的地位以及实现国家能源转型及可持续发展战略的要求相比明显不足，应提高可再生能源与氢能重点专项经费所占比例。

## 七、其他说明和附件

“十二五”以来，在可再生能源与氢能专项方面，国务院、科技部、发改委、能源局、财政部、地方各级政府积极推动和响应，开展了大量的专题研究工作，制定了多项法律法规、规划和政策，充分引导并调动了各方的积极性，有力地促进了我国可再生能源与氢能产业的健康快速发展。在规划方面，国务院印发了《能源发展战略行动计划（2014-2020）》，发布《能源发展“十二五”规划》及《“十二五”国家战略性新兴产业发展规划》，国家发改委发布《可再生能源发展“十二五”规划》，

科技部发布《国家“十二五”科技发展规划》以及《太阳能发电科技发展“十二五”专项规划》等专项规划，各级地方政府也制定了可再生能源领域的相关规划。政策支持方面，国务院办公厅印发《国务院关于促进光伏产业健康发展的若干意见》，财政部会同发改委、能源局共同制定了《可再生能源发展基金征收使用管理暂行办法》，国家海洋局和国家能源局联合下发《海上风电开发建设管理暂行办法》，国家能源局发布了《分布式光伏发电项目管理暂行办法》，国家发改委、财政部完善了风电、光伏上网电价政策，发布了《关于发挥价格杠杆作用促进光伏产业健康发展的通知》，国家能源局、财政部、国土资源部、住房和城乡建设部发布的《关于促进地热能开发利用的指导意见》明确地热发电上网电价优惠政策。专题研究方面，科技部组织了《国家中长期科学和技术发展规划纲要》实施情况的中期评估，组织开展了“十三五”能源领域可再生能源、氢能与燃料电池子领域技术预测及战略研究工作，国家能源局启动了“太阳能热发电设备能力情况调研”、“全国太阳能发展‘十三五’规划研究专题”，国家可再生能源发展中心、中国可再生能源协会以及相关科研院所等组织机构开展中国可再生能源发展路线图的专题研究等。



