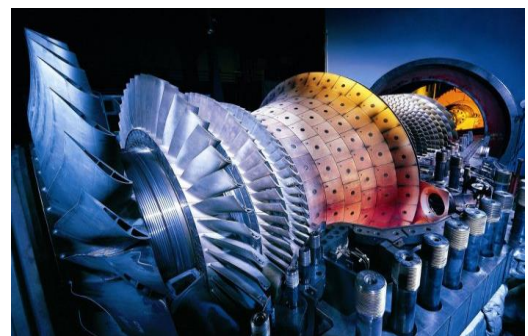


中国科学院武汉文献情报中心

中国科学院武汉先进能源战略情报研究中心

2016 年第 7 期（总第 261 期）

先进能源科技动态监测快报



本期重点

- UNEP：2015 年全球可再生能源投资达到创纪录的 2859 亿美元
- IRENA 提出 2030 年可再生能源占比翻番创新解决方案
- 经合组织核能署提出核能安全发展建议
- 世界能源理事会关注能源-水-粮食关联风险管理
- 可再生能源和先进冷却技术有助中国电力部门节水减排

目 录

决策参考

UNEP: 2015 年全球可再生能源投资达到创纪录的 2859 亿美元 ..2	
IRENA 提出到 2030 年可再生能源占比翻番创新解决方案4	
经合组织核能署提出核能安全发展建议6	
世界能源理事会关注能源-水-粮食关联风险管理7	

中国研究

可再生能源和先进冷却技术有助于中国电力部门节水减排8	
----------------------------------	--

项目计划

DOE 实施交叉研发计划推动地下能源资源开发9	
DOE 资助 8000 万美元开展超级卡车二期计划10	
DOE 资助 2200 万美元用于海洋能示范与环境监测技术开发11	

前沿与装备

英科学家发现钙钛矿材料具有“光循环”特性11	
研究人员实现对有机光敏剂分子尺度的精确调控12	
新型负氢离子导体材料或可用于固态电池开发12	
MIT 开发热电波纳米发电系统13	
聚合物-金属有机骨架碳捕集复合膜13	

本期概要

联合国环境规划署（UNEP）发布《全球可再生能源投资趋势 2016》报告指出，2015 年全球可再生能源投资额（不计大水电）达到创纪录的 2859 亿美元，同比增加 5%，是燃煤燃气发电投资额的两倍以上：2015 年发展中国家投资额达到 1560 亿美元，同比增长 19%，首次超过发达国家（1300 亿美元，同比降低 8%）。中国在其中居功至伟，投资额增长 17%，达到 1029 亿美元，占到全球投资总额的 36%。2015 年可再生能源电力（不计大水电）新增装机达到 134 GW，首次占到电力新增总量的一半以上（53.6%），主导力量为风电和光伏发电，分别新增 62 GW 和 56 GW，这两个领域投资也远远领先于其他可再生能源技术。可再生能源成本持续下降，与储能结合获得广泛关注。全球可再生能源技术研发投资同比基本保持不变，为 91 亿美元，太阳能技术仍然是研发投入最多的领域，同比增长 1% 达到 45 亿美元，相当于其他可再生能源技术领域之和。

国际可再生能源机构（IRENA）发布《通向可再生能源未来路线图》报告指出，到 2030 年将可再生能源在能源结构中占比翻一番（从目前的 18% 提高到 36%）完全可行，提出了 10 项至关重要的技术与创新解决方案：交通部门应用电动汽车和液体生物燃料；工业部门全供应链应用可再生能源；建筑部门应用可再生能源供暖制冷；加速可再生能源投资；将能源使用的外部成本内部化；促进波动性可再生能源并网；协同利用可再生能源和能效产生合力；构建可持续生物能源市场；提高可再生能源广泛可获得性；加强研发与技术突破。

经合组织核能署（NEA）发布《福岛核事故五年祭：经验教训与核安全改进》报告，强调了核安全问题是核能发展的最优先事项，为了确保未来核能使用的安全性，报告提出了如下建议：持续不断强化核能安全；因地制宜实行差异化的安全性改进工作；利用运营经验和形成风险意识；强化监管框架；保持长期的核安全学习；核能安全应该考虑人为因素；积极有效应急管理和保障长期资源投入；提高利益相关方的参与度；加强国际合作。

世界能源理事会（WEC）发布《能源-水-粮食关联风险管理》报告指出，到 2030 年全球水资源短缺 40% 不仅将影响到饮用水、粮食生产和公共健康，还将对全球电力行业产生严重影响，报告提出以下建议：项目开发商需要对能源技术方案的水足迹有更好的认知，以降低资产无法投运的潜在风险；通过在财务分析中结合不同的气候和水文情景，风险评估应能够反映对长期系统性风险的全面认识；必须考虑到水资源稀缺性问题，可能的话还需要合理定价以准确反映当地水资源风险状况；需要透明和可预测的监管和法律框架；采取措施减少融资成本和确保稳定的回报来降低投资风险。

中国水风险（CWR）非营利机构和国际可再生能源机构（IRENA）联合发布《中国电力部门水资源利用：到 2030 年可再生能源和冷却技术的影响》报告，评估了到 2030 年中国电力结构的不同选择对水资源利用和碳排放的影响：报告发现，中国的电力行业不仅承受水资源压力，还加剧了这一压力。可再生能源可减少碳排放和水资源利用，在中国电力部门扩大应用可再生能源和先进冷却技术能够带来显著的水资源和气候效益。到 2030 年，发展可再生能源和先进冷却技术可以将中国电力部门用水强度降低 42%，碳排放强度降低 37%。

UNEP: 2015 年全球可再生能源投资达到创纪录的 2859 亿美元

3 月 24 日, 联合国环境规划署 (UNEP) 联合法兰克福金融管理学院、彭博新能源财经 (BNEF) 联合发布了《全球可再生能源投资趋势 2016》报告¹, 指出 2015 年全球可再生能源投资额 (不计大水电) 达到创纪录的 2859 亿美元, 同比增加 5%, 是燃煤燃气发电投资额的两倍以上。自 2004 年以来全球可再生能源累计投资总额已达到 2.3 万亿美元 (未调整通胀因素)。

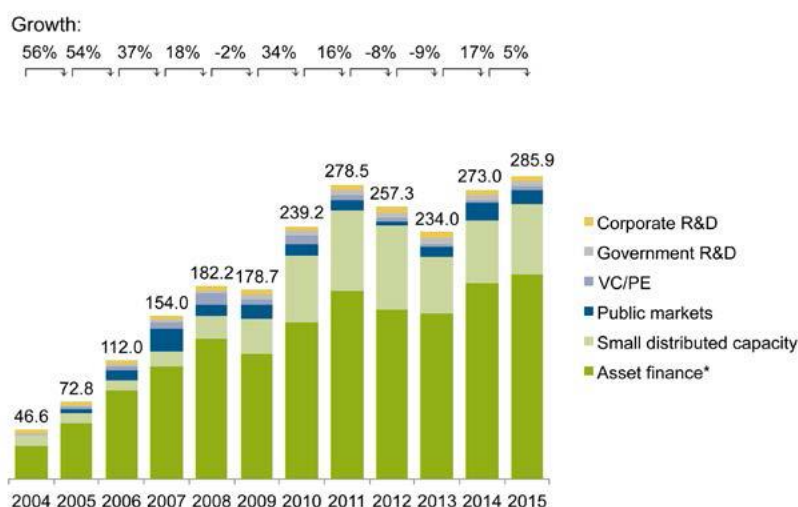


图 2004-2015 年全球可再生能源年度投资变化态势

报告要点如下:

1、发展中国家可再生能源投资额首次超过发达国家

2015 年发展中国家投资额达到 1560 亿美元, 同比增长 19%, 首次超过发达国家 (1300 亿美元, 同比降低 8%)。中国在其中居功至伟, 投资额增长 17%, 达到 1029 亿美元, 占到全球投资总额的 36%; 印度 (102 亿美元, +22%)、巴西 (71 亿美元, -10%)、南非 (45 亿美元, +329%)、墨西哥 (40 亿美元, +105%) 和智利 (34 亿美元, +151%) 均位列前十大投资国名单。而发达国家/地区中, 尽管欧洲海上风能投资创纪录, 但可再生能源总体投资额仍下滑 21% 达到 488 亿美元; 美国增长 19% 达到 441 亿美元, 其中太阳能投资占到 2/3 以上; 日本小规模光伏发电继续快速发电, 使其投资额同比基本保持不变, 为 362 亿美元。可再生能源投资从发达经济体撤出转而投向发展中国家可能由以下几个因素造成: 中国在风能和太阳能方面的快速发展, 新兴国家用电需求的快速增长, 使用可再生能源满足这一电力需求成本的

¹ Global Trends in Renewable Energy Investment 2016.
http://fs-unep-centre.org/sites/default/files/publications/globaltrendsrenewableenergyinvestment2016lowres_0.pdf

降低，发达国家经济增长的放缓，以及欧洲对可再生能源补贴力度的下降。

2、可再生能源首次占到电力新增装机容量的半壁江山

2015 年可再生能源电力（不计大水电）新增装机达到 134 GW，占到电力新增总量的 53.6%，超过其他发电技术之和，表明电力系统正在发生结构性转型。虽然可再生能源（不计大水电）还只占世界发电装机总量的 16.2%，但是这一比例在不断攀升。2015 年全球可再生能源发电量占比也突破了 10%，达到 10.3%。主导力量为风电和光伏发电，分别新增 62 GW 和 56 GW。这两个领域投资也远远领先于其他可再生能源技术，2015 年太阳能领域投资同比增长 12%达到 1610 亿美元，风能领域投资同比增长 4%达到 1096 亿美元，均创造新的年度纪录；生物质发电领域投资 60 亿美元（-42%），小水电领域投资 39 亿美元（-29%），生物燃料领域投资 31 亿美元（-35%），地热能领域投资 20 亿美元（-23%），海洋能领域投资 2.15 亿美元（-42%）。

3、可再生能源成本持续下降，与储能结合获广泛关注

可再生能源发电成本持续下降，特别是光伏发电：2015 年下半年全球晶硅光伏发电平准化成本平均为 122 美元/MWh，而 2014 年下半年这一数字还是 143 美元/MWh。储能技术在 2015 年得到广泛关注有两个原因，一是电动汽车市场快速发展推动动力电池成本快速降低，自 2010 年以来动力电池组平均价格已从 1000 美元/kWh 降至 2015 年下半年的 350 美元/kWh；二是储能作为太阳能风能项目以及小规模光伏系统的辅助措施可平抑发电波动性，世界范围内新增公用事业规模电力储能容量（不计抽水蓄能和铅酸电池）从 2014 年的 160 MW 增加到 2015 年的 250 MW，还有公开报道建设的储能项目总计 1.2 GW。但可再生能源与储能结合的最大挑战还在于成本，尽管最近储能成本持续下降，2015 年风电场配备电池储能仍会将项目平准化电力成本提高至少 25%以上。

4、可再生能源研发投入保持稳定

尽管 2015 年出现化石燃料价格大幅下滑和政策支持力度降低状况，但全球可再生能源技术研发投资同比基本保持不变，为 91 亿美元。政府公共研发投入相比于 2014 年减少 3%，为 44 亿美元，而企业研发投入同比增加 3%，达到 47 亿美元。中国研发投入首次与欧洲几乎持平，均达到 28 亿美元，但前者同比增长 4%，后者降低 8%；美国排名第三，增长 1%达到 15 亿美元。太阳能技术仍然是研发投入最多的领域，同比增长 1%达到 45 亿美元，相当于其他可再生能源技术领域之和；风能研发投入保持不变，为 18 亿美元；生物燃料研发投入降低 3%达到 16 亿美元。太阳能技术研发投资重点是提高太阳电池效率，降低发电成本，包括：更多利用流化床法生产硅料工艺，广泛采用金刚石线锯切割技术，引入丝网印刷，转向四主栅设计，引入基于蛾眼纳米结构的黑硅抗反射涂层，开发钝化发射极背接触高效电池（PERC）等，预测到 2025 年可将晶硅电池平均成本从 2015 年的 0.47 美元/瓦降至 0.3 美元/

瓦。风能技术研发投资重点在于利用大数据分析优化风电场性能，新材料开发更长的转子叶片，采用新型混合传动系统降低机舱重量，开发浮动式海上风力涡轮机等，预测未来十年陆上风能发电平准化成本可再降低 18%，风电场负荷因子提高到 37%，到 2020 年海上风能发电平准化成本降低 30%。生物燃料研发投资重点在于纤维素乙醇以及生物化学副产品、生物基喷气燃料研发。

（陈伟）

IRENA 提出到 2030 年可再生能源占比翻番创新解决方案

3 月 17 日，国际可再生能源机构（IRENA）发布《通向可再生能源未来路线图》报告²，指出到 2030 年将可再生能源在能源结构中占比翻一番（从目前的 18%提高到 36%）完全可行，但各国政府必须要采取协调一致的长期规划，加快推动可再生能源在电力、交通、建筑和工业部门的应用，特别是后三个终端部门相比于电力部门可再生能源应用严重滞后。报告提出了 10 项至关重要的技术与创新解决方案，以克服实现翻番目标面临的诸多障碍。

1、交通部门应用电动汽车和液体生物燃料

出台电动汽车销售激励措施的同时还要投资建设充电基础设施，促进拼车机制和电动两轮车与三轮车发展，推动公共汽车和货运卡车电气化。要求交通燃料中掺混生物燃料，并加速先进生物燃料研发与生产，推动应用生物沼气。挖掘在航海和航空交通领域利用可再生能源的潜力，包括电动渡轮、短途海运混合动力和即用型航空生物燃料等。增强制造业能力，在先进电池和快速充电设施大规模制造方面取得突破。

2、工业部门全供应链应用可再生能源

推动全供应链可再生能源应用。探索可再生能源和能效协同利用，如热泵。在水泥、石灰和其他非金属矿生产窑炉中利用可再生废弃物燃料。将能源密集型工业选址靠近可再生能源来源地或供应路线。将生物能源用于高附加值应用，如提供高温过程热或作为化工原料。推动生物沼气利用，并开发和部署利用太阳能提供高温过程热，在有条件领域（如高炉）实现高温过程电气化。激励使用热泵提供低温过程热。开发利用生物能源多联产。

3、建筑部门应用可再生能源供暖制冷

将能效作为降低供暖制冷需求的首个步骤，并利用可再生能源满足尽可能多的需求。在经济可行地区实施区域供暖制冷指令，并将区域供暖制冷网络用于储能。广泛利用太阳能热水器和热泵，设计低温供暖制冷建筑物，并最大化利用建筑集成光伏。利用太阳能制冷技术。开发地热供暖制冷技术用于空间供热和季节性储能。

² REmap: Roadmap for a Renewable Energy Future.
http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_REmap_2016_edition_report.pdf

4、加速可再生能源投资

建立有利于可再生能源投资的稳定政策环境，协调各级政府政策，并简化监管框架。通过公私合作提高风险投资的可用性，国际融资机构在调动私营部门投资上发挥重要作用，识别有吸引力的早期项目与潜在的投资者对接。通过现有减缓机制、公共担保以及为发展中国家提供技术援助降低私人投资者的风险。推动使用结构融资机制绑定项目投资，降低财务信息调查和交易成本，调动融资机构在新部门和新区域应用专业知识。

5、将能源使用的外部成本内部化

设计能源环境政策，如碳定价来反映外部成本。将减少外部成本获得的部分收益用于补偿低收入家庭。在交通领域强制实施专门的空气污染监管政策。设定可再生能源和能效目标作为碳目标的替代选择之一，并使公众认识到目前的市场能源价格尚未包含外部成本。

6、促进波动性可再生能源并网

根据各国国情，在电力部门转型路线图中识别本国的可再生能源并网障碍以及提高灵活性方案（包括储能）。有条件地区升级与邻国的电网互联。扩大高压电网规模，将大型风电场和太阳能发电场与负荷中心相连接。重新设计市场和补偿机制保证供需平衡，利用智能电网帮助转向灵活需求。达到高比例可再生能源发电时推动供暖和交通部门电气化。关注分布式储能电池对于稳定电网的作用，在可能的情况下电动汽车应基于电网需求灵活充电，家用储能电池应基于电网需求储能。

7、协同利用可再生能源和能效产生合力

采用并定期提高电器能效标准。对新建筑实施严格的能效要求，并提高现有建筑的翻新率，推动单独的可再生能源供暖与制冷系统以及区域可再生能源供暖与制冷应用。在实施了能效举措后，关注于利用可再生能源应对能源需求，如太阳能热利用、生物能源供暖和热泵等。推动交通电气化提高效率，并利用可再生能源电力。

8、构建可持续生物能源市场

权衡生物能源生命周期碳平衡，并考虑改善地区空气污染效益。关注生物能源生产中残余废物回收利用，减少不可持续的生物能源利用。改进对农林残余物以及用后废物的收集，探索农林复合经营方式，促进退化土地的再生。收集能够种植可持续能源作物的土地数据，加强不同作物和树木种植的生物多样性。通过提高农林生产力避免生物能源与粮食安全冲突。建立和扩大原产地注册制度确保原料的可持续性，并推动跨境生物能源贸易发展。

9、提高可再生能源广泛可获得性

设计政策时区别对待两种不同问题：可持续燃料的可用性和可负担、可靠的设备。提高传统生物能源转化技术和利用设备的效率，并生产洁净木炭用于炉灶和供

应热水。推动炉灶和现代生物燃料的标准化，强制实施严格的质量控制，并密切监测进展，还可利用电气炊具和沼气炊具作为补充。改进木质燃料生产消费统计，以制定更合理的森林采伐目标和监测效率改进程度。开展公众教育使之具备自主发展微网和离网解决方案的技能。

10、加强研发与技术突破

将研发与创新计划和国家宏观目标联系起来，形成目标导向的支持机制，包括进展监测、报告与核实，并涵盖从基础研究到商业化技术全生命周期。协调不同部门和公立机构的创新。确定所有终端用能部门和能源服务的创新需求，系统监测科技进展并评估与未来数十年可再生能源部署的相关性。投资高风险基础研究。通过小企业资助项目支持私营部门创新创业，将研发资金投入于不成熟技术（如海洋能和先进生物燃料等）以及可再生能源占比很低的部门（如工业和货运等），待技术成熟后将支持从供应侧转向需求侧。建立知识管理战略以帮助研究人员顺利将创新成果推向市场。制定高压直流输电、电力电子器件、智能电网等使能技术国际通用标准。整合技术到市场计划。开展目标导向的国际合作。

（陈伟）

经合组织核能署提出核能安全发展建议

2月29日，经合组织核能署（NEA）发布《福岛核事故五年祭：经验教训与核安全改进》报告³，强调了核安全问题是核能发展的最优先事项，尽管福岛核事故以来，各国采取了一系列积极有效的举措改善了核能安全性，但必须意识到这是一项长期、持续性的工作，为了确保未来核能使用的安全性，报告提出了如下建议：

1、持续不断强化核能安全。应该不断地学习研究和交流核电站运营经验，确保核电运营商不断改善和提高核电站的安全性。加强核电站抵御极端自然灾害（如地震、海啸和洪水等）的能力。

2、因地制宜实行差异化的安全性改进工作。NEA 成员国各自有其独特的自然环境条件，因此要因地制宜设定核能国家标准或安全要求，实施与各国国情相匹配的监管和安全措施，对核电站运行情况进行定期安全审查，确保核电站安全运行，预防潜在的安全事故。

3、利用运营经验和形成风险意识。监管机构和核电运营商应该利用现有的核电站运行反馈系统来学习核电站的运行经验和教训，同时要具备风险意识识别潜在风险事件，制定相关应急措施来加强核电站安全性，防止核事故的再次发生。

3、强化监管框架。加强国际合作，分享有效监管实践经验，更新现有的核安全监管法规，不断提高、强化国家核安全框架、法规，包括事故管理、危机沟通、前

³ Five Years after the Fukushima Daiichi Accident: Nuclear Safety Improvements and Lessons Learnt. <http://www.oecd-neo.org/nsd/pubs/2016/7284-five-years-fukushima.pdf>

兆事件、防御深度、监管效率和核安全文化普及。要保障监管的独立性，尤其要将核电站监管机构与其他涉核机构或组织的功能有效分离。

4、保持长期的核安全学习。核电站事故的分析、安全研究活动应该长期持续进行，从中获取宝贵的核能安全运行的经验以及事故教训，为未来核电监管机构和核工业发展提供指导和参考。

5、核能安全应该考虑人为因素。人为因素、机制因素和安全文化影响到包括设计、施工、运营和潜在事故应对等核安全的方方面面。而其中，人为因素对所有等级核能安全防护概念具有相当大的影响。应该开展广泛的核安全文化普及活动，包括对核安全的态度、组织能力、决策过程等。

6、积极有效应急管理和长期资源投入保障。核事故的危害是巨大的，会对环境造成长期放射性污染，后果可能极为严重，因此要加强核事故应急管理和应急响应，建立健全核事故应急制度，做好应急计划准备，进行及时有效的应急响应。并且还需要保证有足够的物资资源（食品、水和其他生活用品）来应对核事故导致的长期性污染影响。

7、提高利益相关方的参与度。核电发展的利益相关方，包括当地政府、非政府组织、企业、政府官员和公众，应当充分参与到核电发展的相关决策中，这有助于提高监管政策和应急管理决策的公信力、合法性、透明度、开放性和可持续性。涉核的监管机构和政府部门应该与各利益相关方建立良性的互动，加强核安全文化建设，确保核安全文化能够普及到位。

8、加强国际合作。NEA 成员国应该加强彼此合作，让成员国的各监管机构来分享和交流核电发展经验和数据信息，以获得共识，构建一个可以适用于每个国家国情的普适性的监管程序和应急计划，以改善他们的监管框架和核电站的安全。

（郭楷模 陈伟）

世界能源理事会关注能源-水-粮食关联风险管理

3月16日，世界能源理事会（WEC）发布《能源-水-粮食关联风险管理》报告⁴，指出随着经济显著发展、人口增长和消费方式的转变，对能源、水和粮食需求日益增加，而有限水资源带来的三者关联风险将会变得越来越严重，气候变化影响进一步加剧了水资源可用性和水体质量的不确定性，到2030年全球水资源短缺40%不仅将影响到饮用水、粮食生产和公共健康，还将对全球电力行业产生严重影响。

在很多情况下，由于缺乏对当地水问题的认知和合适的建模工具，从而无法在能源基础设施投资决策中充分反映这一关联风险，将带来重大的经济损失。而缺乏

⁴ The road to resilience – managing the risks of the energy-water-food nexus.

http://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2016/03/The-road-to-resilience-managing-the-risks-of-the-energy-water-food-nexus_early-findings-report.pdf

健全的水资源管理制度（如完备的竞争用户用水权益、水资源定价以及交易安排等）将使得关联风险进一步恶化。此外，跨国合作是一项关键问题，有必要建立适当的跨境水资源管理框架，以保证能源基础设施的有效运营。

为了使能源基础设施更具灵活性，政策制定者、企业和政府应认真分析，为项目投资者和公众提供信心保障。为此，报告提出以下建议：

- 项目开发商需要对能源技术方案的水足迹有更好的认知，以降低资产无法投运的潜在风险。
- 通过在财务分析中结合不同的气候和水文情景，风险评估应能够反映对长期系统性风险的全面认识，表明投资者在能源基础设施设计中考虑环境和社会问题。
- 必须考虑到水资源稀缺性问题，可能的话还需要合理定价以准确反映当地水资源风险状况。如果没有可用的市场价格，企业可以使用水资源影子价格。水资源管理和定价政策必须因地制宜，以保证其他政策目标（如公平性）也能得以满足。
- 需要透明和可预测的监管和法律框架，以推动制定有效的解决方案来平衡竞争用户的利益，并为投资者提供确定性。各国政府必须改善水资源监测和实施完善的水资源管理制度，通过减少不可预见的未来用水政策或监管变化风险，以利于具有灵活性能源基础设施的规划。这需从整个流域和包含所有利益相关方的层面来管理水资源，以解决各部门和地区的用水权利。
- 采取措施减少融资成本和确保稳定的回报来降低投资风险。金融服务和保险业能够提供金融工具来解决恶劣天气影响、天气有关的水量变化和电力价格波动以及计划外的停电等带来的风险。虽然这些产品尚未在全行业应用，但能够避免缺水等影响。这些可以帮助投资者稳定收入波动性和降低风险。

（李桂菊）

中国研究

可再生能源和先进冷却技术有助于中国电力部门节水减排

3月9日，中国水风险（CWR）非营利机构和国际可再生能源机构（IRENA）联合发布《中国电力部门水资源利用：到2030年可再生能源和冷却技术的影响》报告⁵，评估了到2030年中国电力结构的不同选择对水资源利用和碳排放的影响。报告发现，在中国电力部门扩大应用可再生能源和先进冷却技术能够带来显著的水资源和气候效益。报告要点如下：

- 中国的电力行业不仅承受水资源压力，还加剧了这一压力。总体而言，中国大约有45%的发电厂面临两难选择：一方面对水资源有依赖性，另一方面又位于高

⁵ Water Use in China's Power Sector: Impact of Renewables and Cooling Technologies to 2030.
http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/IRENA_China_Water_Risk_Power_brief_2016.pdf

度缺水的地区。迅速扩大的火力发电用水占全国用水量的近 12%，使得水资源更为紧张。缺水压力在北方省份显得尤为突出，这些地方只拥有全国可再生水资源的 1/4，但占到全国火力发电的一半多以及超过 4/5 的煤炭产量和储量。这些省份还拥有全国近一半的农业用地。面对水资源短缺和能源安全日益增长的风险，电力部门需要长期解决方案来降低用水强度并同时满足减少碳排放的目标。

- **可再生能源可减少碳排放和水资源利用。**中国国家自主贡献方案提出了降低碳排放的承诺，包括到 2030 年将非化石燃料占一次能源消费总量的比例从 2014 年的 11.2% 提高到 20%。这在很大程度上将通过扩大可再生能源发电来实现。太阳能光伏发电和风力发电技术是中国能源转型的关键支柱，相对于其他发电方式用水量少得多。通过使用可再生能源来转变电力结构、采用用水强度更低的电厂冷却技术以及提高发电效率等手段，中国能够大幅减少用水量和碳排放。

- **到 2030 年，发展可再生能源和先进冷却技术可以将中国电力部门用水强度降低 42%，碳排放强度降低 37%。**要实现上述效益，可再生能源发展必须与国家自主贡献方案目标和 IRENA 提出的路线图保持一致。同样火电行业还需要转向利用先进冷却技术，以限制中国电力行业不断增长的用水需求。

（秦汉时 陈伟）

项目计划

DOE 实施交叉研发计划推动地下能源资源开发

3 月 10 日，美国能源部（DOE）发布了“地下技术与工程研究、开发与示范计划”（SubTER）第三轮招标公告⁶，将资助 900 万美元用于 4-8 个项目，包括两个研究方向：（1）在现场环境部署和验证碳封存监控、核实和核算（MVA）技术；（2）识别和验证新的地下地层信息探测技术以对地下情况进行表征和物理成像，推动地热开发。关键目标参见表 1。

表 1 地下技术与工程研究、开发与示范计划第三轮项目招标研究目标

研究方向	研究目标
现场示范碳封存信息监测、核实和核算技术	开发和部署低成本、高灵敏度、高准确率的 CO ₂ 封存信息监测、核实和核算技术，以实现 CO ₂ 封存信息的实时监测和获取，追踪和量化 CO ₂ 羽流的时空分布和迁移，分析 CO ₂ 羽流迁移时相应的地层压力变化和其他物理特征的变化（如地下应力），以更好地了解 CO ₂ 分布和迁移的行为

⁶ U.S. Department of Energy Announces Funding Opportunities for Subsurface Technology and Engineering Crosscut Initiative. <http://www.energy.gov/fe/articles/us-department-energy-announces-funding-opportunities-subsurface-technology-and>
Subsurface Technology and Engineering Research, Development and Demonstration (SubTER). <http://esd.lbl.gov/subter/>

开发新式地下地层成像和表征技术	开发新式高分辨率成像技术，来更好地描绘地下地层的裂纹和地层流体情况；开发新的表征技术，包括先进的传感器和对比材料，以更好获取地层的物理和化学信息，完善地热勘探技术和知识框架，减少地下能源勘探过程中的潜在风险
-----------------	---

DOE 专门成立了由部门内相关业务局和职能局代表组成的 SubTER 技术工作组，来快速识别关键科技挑战，并有效协调部门内和跨部门的研发工作，前两轮招标在 2014 年和 2015 年已资助国家实验室开展了 19 个前期研究项目。SubTER 计划制定了全面的地下技术研究、开发和部署战略，涵盖四大核心技术领域（参见表 2）⁷，来应对开发地下能源资源所面临的五方面挑战，包括：地下能源探索、表征和预测，地下能源获取，工程化，可持续开发以及监测等。

表 2 地下技术与工程研究、开发与示范计划涵盖四大核心技术领域

技术领域	研究内容
钻井完整性	开发新型传感器和自适应材料，以组建新型三维声波钻井完整性监测系统，确保钻井环境的完整性，保障钻井作业和生产的安全
地层应力和地震诱因分析	光诱导的荧光光谱传感器进行原位地层压力测量和深部矿井调查；采用多变量、大数据来分析诱发地震的原因。降低开发地下资源的潜在风险
渗透性控制	通过知识耦合，整合水力压裂、地震探测和电位变化探测技术，改善钻井方法，消除地层流体发生溢流潜在危险。
新的地下信号探测技术	开发先进的地下地层系统表征技术，包括新的地下信号探测器（如钻井 μ 子探测器），整合多个数据集，识别关键系统转换和自动化

（郭楷模 陈伟）

DOE 资助 8000 万美元开展超级卡车二期计划

3 月 1 日，美国能源部（DOE）宣布资助 8000 万美元开展超级卡车二期计划⁸，旨在开发和部署先进的高能效车辆技术，改善卡车发动机和动力传动系统性能，提高商用卡车燃油经济性，以达到联邦政府的碳排放和安全监管目标。

此次项目招标涉及主题包括：发动机性能、动力传动系统、空气阻力、轮胎滚动阻力和轻量化汽车材料等。超级卡车二期计划的具体目标包括：

- 相比 2009 年的水平，将长途重型卡车的货运效率（吨·英里/加仑）提高 100%。
- 相比 2009 年的水平，将长途重型卡车的发动机有效热效率提高 55%或以上（在测功机上按 65 英里/小时巡航速度测量）。

DOE 于 2010 年正式启动超级卡车计划，旨在提高货运卡车燃油效率，减少燃油消耗和温室气体排放。超级卡车一期计划专注于长途重型货运卡车的车辆技术改

⁷ Subsurface Energy Technologies Fact Sheet. <http://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/10/f27/SubTER-fact-sheet-final-3pq.pdf>

⁸ Advanced Systems Level Technology Development, Integration and Demonstration for Efficient Class 8 Trucks (SUPERTRUCK II). <https://eere-exchange.energy.gov/FileContent.aspx?FileID=4aea6c8b-4a91-4fcb-ac9e-b0f834692bad>

进研发工作，包括：改善发动机和动力传动系统效率，提高燃油效率，实现将卡车货运效率提高 50%以上的目标。

同日，DOE 还宣布将额外资助 1200 万美元用于支持三个中型和重型车辆插电式混合动力技术的研究、开发和示范项目，参见表 1。

表 1 DOE 资助 1200 万美元用于三个中重型车辆插电式混合动力系统技术开发项目

承担机构	项目内容	资助金额/百万美元
罗伯特博世有限公司	先进的中型卡车插电式混合动力系统开发和示范，减少 50%的燃油消耗	5
康明斯技术研究公司	插电式混合动力货运卡车开发和示范，减少 59%的燃油消耗	4.5
麦克拉伦车辆性能技术公司	开发全新的轻量化、低成本插电式混合动力驱动系统，减少 10%的油耗，提高燃油经济性	2.6

（郭楷模）

DOE 资助 2200 万美元用于海洋能示范与环境监测技术开发

3 月 2 日，美国能源部（DOE）宣布将资助 2200 万美元用于海洋能源系统和环境监测技术研发和示范⁹，预计将遴选 10 个项目，主要研究方向包括：

- 开发下一代波浪能和洋流能量转换系统硬件和软件技术，示范为期一年的全规模、开放水域改进系统；
- 设计、测试和验证环境监测技术来量化海洋能源系统对海洋环境的影响，如设备和海底电缆产生的声波、电磁场，以及这些设备和海洋动物之间的相互作用。

（李桂菊）

前沿与装备

英科学家发现钙钛矿材料具有“光循环”特性

剑桥大学 Felix Deschler 教授带领的国际联合研究团队首次揭露了钙钛矿薄膜存在“光循环”新特性，能够获得更高的开路电压，其光电转换性能有望进一步提高，促使电池效率突破肖克利-奎伊瑟极限。研究人员在玻璃基底上制备了厚度约 100 nm 的三元卤素钙钛矿薄膜，利用激光激发该薄膜产生光谱，利用共焦光学显微镜（分辨率为 1.5 μm）来研究分析发射光谱的空间分布情况。研究发现，当激发光源靠近钙钛矿薄膜时（≤4 μm），探测器观测到的光致发射光谱中心在 765nm；而当两者的距离拉大后，除了探测到原有的 765nm 的光谱成分，还探测到了光谱中心红移到 800

⁹ Energy Department Announces \$22 Million for Marine Energy Demonstration and Environmental Monitoring Technology Projects. <http://energy.gov/eere/articles/energy-department-announces-22-million-marine-energy-demonstration-and-environmental>

nm 的二次光致发射光谱。这表明了钙钛矿薄膜具备了“光循环”特性，即入射光子激发钙钛矿产生光生载流子，而部分载流子会以辐射光谱形式复合产生光子，光子又可以被钙钛矿吸收产生载流子。得益于这种多重的吸收/扩散/发射“光循环”特性，钙钛矿薄膜载流子扩散程可达 50 μm 。相关研究成果作为 3 月 25 日出版的《Science》封面文章¹⁰。

（郭楷模）

研究人员实现对有机光敏剂分子尺度的精确调控

尽管有机光伏器件制备工艺简单、成本低廉、柔韧性好以及可实现大面积制造优点，但是器件中有机活性层材料分子定向有序性差，成为限制器件的性能一大制约因素。德国慕尼黑工业大学 Friedrich Esch 教授率领的联合研究团队成功地在石墨烯涂覆的金刚石衬底（该衬底表面达到了原子级平整度）上实现了对有机活性层材料（即光敏分子，由茈二酰亚胺(TDI)衍生物和三聚氰胺(melamine)组成）分子层面的精确调控。利用氢键作用，有机活性层材料实现了定向有序的自组装，形成了六边形二维阵列的双组分超分子网络。研究人员进一步在超分子网络镀上铟点电极，形成完整的器件结构，将其暴露于光照下，发现单层超分子网络出现光响应。通过测试发现，在 710nm 单色光的照射下（光照强度为 19 mW cm^{-2} ），器件获得了约 0.5 nA 的短路电流，约 270mV 开路电压；并且，在 710nm 光谱处的单色光转换效率达到了 0.6%，这是目前单分子层敏化的有机光伏器件的最优性能。该项研究成果有望开辟自下而上的基于精确分子结构调控的光伏器件制备方法，为提高单分子层敏化太阳电池的性能提供了新的思路，还有望加速分子工程技术、分子叠层印刷技术发展。相关研究成果发表在《Nature Communications》¹¹。

（郭楷模）

新型负氢离子导体材料或可用于固态电池开发

东京工业大学 Ryoji Kanno 教授带领的联合研究团队首次发现了存在于复合氧化物中负氢离子 (H^-) 导体材料，有望开发新一代固态电解质电池。研究人员设计合成了一系列 K_2NiF_4 晶胞结构类型的氢氧化物 $\text{La}_{2-x-y}\text{Sr}_{x+y}\text{LiH}_{1-x+y}\text{O}_{3-y}$ ($0 \leq x \leq 1, 0 \leq y \leq 2, 0 \leq x+y \leq 2$)，该类型氢氧化物具备了弹性的亚晶格位点能够驻留 H^- 、 O_2^- 及其空位。研究人员发现 $\text{La}_{2-x-y}\text{Sr}_{x+y}\text{LiH}_{1-x+y}\text{O}_{3-y}$ 存在正交和四方两种相结构，而这主要取决于复合物的元素比例和合成的反应条件。通过阻抗图谱研究发现，该氢氧化物呈现出导体的导电特性；并且，该导体材料的导电性能随着引入到阳离子晶格位点的 H^- 数量的增加而增强，研究人员进一步采用赫布—瓦格纳直流极化法测试基于该

¹⁰ L M Pazos-Outon, M Szumilo, R Lamboll, et al. Photon recycling in lead iodide perovskite solar cells. *Science*, 2016, 351 (6280): 1430-1433.

¹¹ Sarah Wieghold, Juan Li, Patrick Simon, et al. Photoresponse of supramolecular self-assembled networks on graphene–diamond interfaces. *Nature Communications*, 2016; 7: 10700.

氢氧化物电解质的电池，测试结果表明了氢氧化物导体属于离子导电性，而其中导电载流子正是 H^- 。相关研究成果发表在《*Science*》¹²。（郭楷模）

MIT 开发热电波纳米发电系统

2010 年，麻省理工学院 Michael S. Strano 教授带领的研究团队曾首次报道了全新的热电波发电系统，即在既导电又导热的碳纳米管表层涂上一层燃料，接着在碳管的一端引燃燃料，燃料燃烧产生热量可以沿着导热的碳管迁移，形成类似于波浪一样的热流，通过热电效应驱动电子在碳管里面进行定向移动，形成了电流，实现化学热能到电能的转换，但最初的热电波发电系统的热电转换效率较低，在 $10^{-6}\%$ 到 $10^{-3}\%$ 之间。研究人员指出，性能较低主要是出现了热量的辐射和对流损失，可以通过优化燃料类型来解决。近日，该研究团队对该热电波发电系统进行了改进，采用环保燃料蔗糖和氯化钠改善其热量损失，将热电转换效率提高到了 1% 以上，功率密度达到了 80000 mW mm^{-3} ，比锂离子电池（ 10000 mW mm^{-3} ）还高。并且研究人员利用该热电波发电器件原型作为电源成功驱动了 LED 工作发光。同时研究人员还对该发电系统进行理论模拟，分析了其潜在的工作机制，以指导下一步改进工作。该项研究开发了全新的环保纳米发电系统，质量轻、模块小、延展性好，可作为微型电源应用到越来越小模块化的可穿戴设备，研究人员下一步将致力于改善系统性能，加快推进该热电波发电系统概念产品市场化。相关研究成果发表在《*Energy & Environmental Science*》¹³。（郭楷模）

聚合物-金属有机骨架碳捕集复合膜

美国能源部劳伦斯伯克利国家实验室科学家开发出一种高效的碳捕集复合膜，可用于更有效地分离发电厂废气中的二氧化碳。这种复合膜是由聚合物和金属有机骨架（MOF）组成，是一种具有大的内表面积（能够吸收大量分子）的多孔三维晶体。科学家首先对这种膜进行了工程化处理，使二氧化碳分子可以通过两个不同的通道移动。分子可以通过膜中的聚合物移动，就像常规气体分离膜；或者可以通过由相邻的金属有机骨架形成的“二氧化碳高速通道”流动。初步测试表明，这种通过两种通道复合膜的二氧化碳渗透性比仅仅由聚合物组成的渗透膜效率高 8 倍以上。该技术将有助于开发更有效和更具有成本竞争力的碳捕集材料。相关研究成果发表在《*Energy & Environmental Science*》¹⁴。（李桂菊）

¹² Genki Kobayashi, Yoyo Hinuma, Shinji Matsuoka, et al. Pure H^- conduction in oxyhydrides, *Science*, 2016, 351 (6279): 1314-1317.

¹³ Sayalee G. Mahajan, Albert Tianxiang Liu, Anton L. Cottrill, et al. Sustainable power sources based on high efficiency thermopower wave devices. *Energy & Environmental Science*, Published online 21 January 2016, DOI: 10.1039/C5EE03651H.

¹⁴ Norman C. Su, Daniel T. Sun, Christine M. Beavers, et al. Enhanced permeation arising from dual transport pathways in hybrid polymer-MOF membranes. *Energy & Environmental Science*, 2016, 9 (3): 922-931

中国科学院武汉先进能源战略情报中心简介

中国科学院武汉先进能源战略情报中心是服务国家和中科院能源决策管理、科技创新、产业发展的专业情报研究机构，历年来参与了多项国家级、中科院、省部级能源科技战略规划和重要科技计划研究。中心的主要产品包括《先进能源发展报告》、《先进能源动态监测快报》（半月刊）、《能源与科技参考》及各类深度能源情报研究分析报告，主要研究方向包括能源科技领域的国际科技战略与规划、科技计划与预算、科技进展与动态、科技前沿与热点、重大成果工程应用、重要科技政策与管理研究。

研究内容		特色产品
战略规划研究	开展科技政策与科研管理、发展战略与规划研究等相关服务，为科技决策机构和管理部门提供信息支撑。	先进能源发展报告：科技引领能源 国际能源战略与新能源技术进展 金融危机背景下的能源战略 世界能源强国能源科技创新体系分析报告 美国能源科技计划管理机制及启示
领域态势分析	开展特定领域或专题的发展动态调研与跟踪、发展趋势研究与分析，为研究机构、企业的科研项目提供情报服务。	核电技术国际发展态势分析报告 太阳能热发电技术国际发展态势分析报告 智能电网国际发展态势分析报告 规模化电力储能技术国际发展态势分析报告 高端洁净煤发电技术国际发展态势分析报告
技术路线研究	开展产品、成果、专利或标准的情报研究，分析相关行业的现状及发展趋势，为企业发展与决策提供参考。	国际能源领域技术路线图解析 低阶煤热解/气化/循环流化床专利态势分析 新型煤气化技术发展报告 太阳能技术新突破：钙钛矿太阳能电池 我国能源互联网发展重要战略问题研究

编辑出版：中国科学院武汉文献情报中心 中国科学院武汉先进能源战略情报研究中心

联系地址：武汉市武昌区小洪山西 25 号（430071）

联系人：陈伟 郭楷模

电 话：（027）87199180

电子邮件：jiance@mail.whlib.ac.cn