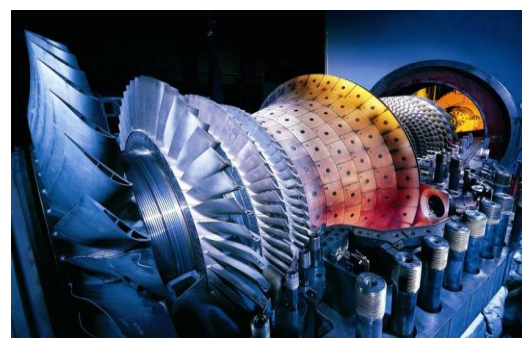


中国科学院武汉文献情报中心

中国科学院武汉先进能源战略情报研究中心

2016 年第 13 期（总第 267 期）

先进能源科技动态监测快报



本期重点

- 欧盟报告为能源系统数字化转型提出九大建议
- DOE 建议至少在 2018 年前美国应继续参与 ITER 项目
- IEA：衡量下一代风电和太阳能发电的系统价值
- IEA：中国 310 GW 燃煤电厂有潜力进行 CCS 改造
- IEA：未来五年全球天然气贸易模式将发生重大转型
- 日本 NEDO 资助 51 亿日元开展 IGFC 创新研发项目
- 瑞士大面积钙钛矿太阳能电池转换效率创造 20% 新纪录

目 录

决策参考

欧盟报告为能源系统数字化转型提出九大建议	2
DOE 建议至少在 2018 年前美国应继续参与 ITER 项目	4
IEA: 衡量下一代风电和太阳能发电的系统价值	5

中国研究

IEA: 中国 310 GW 燃煤电厂有潜力进行 CCS 改造	7
---------------------------------------	---

项目计划

DOE 资助 8200 万美元推动先进核能技术开发	7
ARPA-E 资助 2500 万美元新设主题计划改善数据中心能效	8
日本 NEDO 资助 51 亿日元开展 IGFC 创新研发项目	9

前沿与装备

瑞士大面积钙钛矿太阳能电池转换效率创造 20%新纪录	10
新型氧化铝聚合物包覆层大幅改善锂硫电池性能	11
美科学家通过应力调控增强双功能氧电极催化活性	11

能源资源

IEA: 未来五年全球天然气贸易模式将发生重大转型	12
---------------------------------	----

本期概要

欧洲智能电网技术平台发布《数字化能源系统 4.0》报告指出，数字化技术对于实现 21 世纪安全可靠、经济可行、气候友好的能源系统至关重要，目前大部分数字化应用还仅处于创新阶段，尚未进入实际应用，为推动尽早实现预期效益，报告为各利益相关方提出了九项建议：（1）抓住不可逆转的数字化转型机遇；（2）数字化智能电网能够实现即插即用；（3）利用数字仿真模型提高信息通信基础设施服务能力；（4）发展开放式电子交易市场能够加速能源系统数字化；（5）正确引导的数据保密行为将加速数字化转型；（6）智能管理能够成功集成更多的可再生能源；（7）协调运用数字化技术创建开放透明的灵活市场；（8）应用自动化技术转变居民能源消费模式；（9）持续向颠覆性数字化技术投资。

美国能源部(DOE)向国会提交题为《美国参与国际热核聚变实验堆(ITER)项目》，强调 ITER 项目拥有巨大的科学前景，新管理层上台后项目管理和运营状况已得到大幅改善，并陆续取得突破性进展，国会应继续支持美国参与 ITER 项目发挥主要作用，至少坚持到 2018 财年后再对继续参与还是退出项目进行评估：为保证 ITER 项目能够以合理的成本按期完成，DOE 强调项目管理和运营改善工作应该持续进行，并且为了确保美国和其他成员国持续做出积极贡献，DOE 对 ITER 项目提出了相关的改进措施建议。

国际能源署(IEA)发布《下一代风电和光伏发电：从成本转向价值》报告指出，风能和太阳能是目前全球增长最快的电力来源，可通过系统友好的部署策略促进其并网集成，以下六大领域至关重要：提高电力系统服务能力；更加灵活选择可再生电力的部署地区；综合部署多种可再生能源技术；结合当地其他资源有效整合；制定经济的电厂设计标准；综合规划、监控和修正部署策略。报告最后指出，完善相应的政策机制来保障波动性可再生能源投资者的长期收益是确保其能够获得持续投资的关键，而设计这种政策机制时则需要充分考虑不同发电技术系统价值的差异性。

国际能源署(IEA)发布了《中国现有燃煤发电厂 CCS 改造潜力》报告，指出中国对现有的燃煤发电厂加装碳捕集与封存(CCS)技术将是一项重大的机遇，现在约有 310 GW 燃煤发电机组能够满足改造的基本标准，中国政府和产业界需要在以下三方面开展进一步的工作：在气候政策中纳入 CCS，或者保留未来 CCS 改造的选项，从而继续开展工作来分析二氧化碳封存的机遇，以及开发实际项目规模的封存场地。政府和行业应继续努力实现技术创新和降低成本，在一般和特殊改造中进一步降低 CCS 成本。鉴于目前已经允许新建燃煤电厂，推动新电厂做好加装 CCS 的准备将成为一种有效的政策工具，以确保未来改造的机遇最大化。在这方面，特别需要注意新电厂的选址。

国际能源署发布《天然气中期市场报告 2016》指出，未来五年全球天然气贸易模式将发生重大转型：尽管需求疲软、气价低迷，但液化天然气供应将显著增长，世界前两大液化天然气进口国日本和韩国需求前景展望较为黯淡，而中国、印度和东盟国家将有望成为新的主要买家。美国天然气需求增速将放缓，其天然气产量增长减速但仍将占到全球产量增长的三分之一。

欧盟报告为能源系统数字化转型提出九大建议

欧洲智能电网技术平台 6 月份发布《数字化能源系统 4.0》¹报告指出，数字化技术对于实现 21 世纪安全可靠、经济可行、气候友好的能源系统至关重要，通过监测、传输和分析各个参与者产生的数据来合理运行能源系统，发输配售用等各个环节的数字化转型将带来重大效益（表 1）。

表 1 能源系统各环节数字化转型带来的预期效益

数字化应用	预期效益
波动性可再生能源发电预测 改进的预测工具结合削减、无功功率补偿和动态输电容量等手段使得电网更高效运行	提高供电可靠性，增加可再生能源占比，降低运营成本和资本支出，改善电力服务质量
网络规划与运营 数字化网络规划方案改良，利用信息技术与运营技术的融合、大数据和预测服务智能运营能源网络，输配网络和发电方的资产新模式：智能产品、数据驱动型商业模式、技术驱动型用户参与	提高供电可靠性，增加可再生能源占比，降低运营成本和资本支出，改善电力服务质量，提供实时电力资产监管降低故障发生率，灵活需求侧管理
零售方和集成商 市场推动方（如配电系统运营商）提供的数据可供其他商业团体用于推动市场运营	集成灵活需求侧管理，市场运营中能够将网络限制纳入考量
用户参与电力市场 利用大数据和物联网开展用户全面能源管理，公用电力机构采用智能设备理解用户行为	削峰填谷和组合优化，集成灵活需求侧管理，减少损耗，确保电网安全运行
电力调度 数字化工具使得输电系统运营商更有效地进行网络调度	更好地匹配能源结构的供应侧和需求侧
集成电动汽车和储能 储能设备和电动汽车可作为分布式能源并网解决方案的一部分	提高供应可靠性，降低电网升级成本，避免过电压
通过协调电子市场交易提高灵活性 市场推动方（如配电系统运营商）提供的数据可供其他商业团体用于推动市场运营	提高灵活性支持本地网络，改进国际市场模式，开发合适的用于利益相关方互动的市场模型

报告指出，目前大部分上述数字化应用还仅处于创新阶段，尚未进入实际应用，为推动尽早实现预期效益，报告为各利益相关方提出了九项建议：

1、抓住不可逆转的数字化转型机遇。能源网络数字化进程正在持续深化，大型

¹ The Digital Energy System 4.0.
<http://www.smartgrids.eu/documents/ETP%20SG%20Digital%20Energy%20System%204.0%202016.pdf>

配电系统运营商（DSO）正在调研如何以最小的成本和高度的灵活性来智能运行电网、提高分布式发电占比、大量集成储能以及智能计量和利用网络大数据；而小型 DSO 也需要参与到智能电网运营联盟中分享实践经验。

2、数字化智能电网能够实现即插即用。市场上还没有一种端到端的解决方案能够提供完全兼容和易于实施的数据采集与监控（SCADA）和信息通信服务，但基于实时预测分析大数据服务的信息/运营技术集成或融合平台在更有效地实施解决方案时能够发挥重要作用。

3、利用数字仿真模型提高信息通信基础设施服务能力。由于通信成本和低压电网的辐射状构造，中压电网监控活动通常比低压电网优先级更高，使得智能转换操作的可行性更低。而仿真模型可作为配电系统运营商的强大工具，来识别电网中的薄弱点和最经济合理的电网运行方式。传感器数据结合电网分析工具能够有效提高运营商对网络中电力流动的预见，减少需要安装启用硬件的区域数量。

4、发展开放式电子交易市场能够加速能源系统数字化。在大部分正在普及智能电表的欧盟成员国，DSO 负责收集和管理数据。在英国，电力零售商在智能电表数据收集中起到积极作用。DSO 和零售商应通过电子交易市场相联系，并交易 B2B 或 B2C 数字化服务。接入这些电子交易市场也应该对技术与能源服务提供方开放。应以安全方式向第三方进行数据共享，需符合个人数据保护相关监管法规。建议 DSO、零售商和第三方技术与服务提供方雇用大数据科学家和物联网专家开展预测预见分析和市场交易，这应该在这些电子交易市场中居于核心地位。

5、正确引导的数据保密行为将加速数字化转型。一般电网运营商在关于其电网拓扑结构和其他相关数据保密方面有严格的政策，但随着数字化转型和智能网络控制的可行性增加，电网运营商与第三方如研究机构共享实际运行数据将有助于创新活动的开展，因此需要正确引导相应的数据保密行为以加速知识发现和竞争力的提高。

6、智能管理能够成功集成更多的可再生能源。需要制定新的监管框架，支持将日益增强的发电预测能力和无功功率控制与有选择削减等措施结合起来，能够有效提高电网承载能力，并以更低的成本并入可再生能源，而不需要耗资巨大的电网升级。

7、协调运用数字化技术创建开放透明的灵活市场。为解决在能源系统中提高灵活需求侧管理占比和开发透明的市场模型的挑战，需要协调运用数据处理、物联网和预测分析平台等数字化技术，以正确定义零售商、集成商和消费者之间的关系和商业模式。

8、应用自动化技术转变居民能源消费模式。需求侧响应已在部分欧盟成员国发挥积极作用，其他国家也需通过推出合适的市场产品尽快将灵活消费模式集成到市

场中。智能住宅目前还没有与能源市场连接起来，当采用动态能源价格后，应向家庭消费者提供激励措施转向灵活消费模式，同时技术提供商需要开发家电控制设备。

9、持续向颠覆性数字化技术投资。全球气候变化给能源部门带来了巨大的挑战。到 2050 年的能源结构、网络运行和消费者在能源系统中的作用等还存在着很大的不确定性。因此，长期持续的颠覆性技术研发投资是不可避免的。

（陈伟）

DOE 建议至少在 2018 年前美国应继续参与 ITER 项目

5 月 26 日，美国能源部（DOE）向国会提交题为《美国参与国际热核聚变实验堆（ITER）项目》²报告指出，ITER 项目是目前约束高温等离子体的最佳选择，它是人类受控热核聚变研究走向实用的关键一步，大量研发工作、一系列原型部件模块的成功制造和实验论证了 ITER 工程的技术可行性；并且自 2015 年 Bernard Bigot 就任 ITER 项目总干事以来，项目管理和运营已经有了实质性改善，ITER 也持续取得进展，因此 DOE 建议美国应该继续参与 ITER 项目，至少坚持到 2018 财年后再对继续参与还是退出项目进行评估。

为保证 ITER 项目能够以合理的成本按期完成，DOE 强调项目管理和运营改善工作应该持续进行，并且为了确保美国和其他成员国持续做出积极贡献，DOE 对 ITER 项目提出了如下的改进措施建议：

- 为了促进美国继续为 ITER 项目做出积极贡献，DOE 将：（1）依据 413.3b 指令“资本资产采购项目管理”将美国参与的 ITER 工作作为建设项目来管理运营，并任命常务副部长担任项目管理执行官，服从于能源系统采购顾问委员会；（2）与白宫预算管理办公室（OMB）和国会合作，就美国参与 ITER 项目建立一个独立于核聚变能源科学预算的单独预算项目；（3）在 2017 财年建立 CD-2 性能基线；（4）将预算需求整合到 DOE 科学局长期规划中。

- 为了进一步改善项目管理和运营，DOE 将积极发挥 ITER 理事会成员的作用：（1）努力提高整个项目的管理透明度；（2）利用 ITER 组织风险评估委员会来识别和帮助克服项目开展过程中所面临的潜在风险，确保项目顺利完工；（3）确保投入的资金仅用于必不可少的工作，为项目的成功完成提供应有的保障，同时防止资金浪费及不科学、不合理的增长。

ITER 项目是目前世界规模最大、影响最为深远的国际合作项目之一，成员包括

² US advised to stick with troubled fusion reactor ITER. <http://www.nature.com/news/us-advised-to-stick-with-troubled-fusion-reactor-iter-1.19994>;

DOE Recommends US Stay in ITER, Warns of Potential Delays to Other Projects. <https://www.aip.org/fyi/2016/doe-recommends-us-stay-iter-warns-potential-delays-other-projects>;

Report on the U.S. Participation in the ITER Project. http://science.energy.gov/~media/fes/pdf/DOE_US_Participation_in_the_ITER_Project_May_2016_Final.pdf

欧盟、中国、印度、日本、韩国、俄罗斯和美国。ITER 项目始于 2007 年，最终目标是建成一个环形托卡马克（Tokamak）装置以约束 1.5 亿摄氏度高温的氘/氚等离子体，成为世界首个能实现能量增益（即输出能量大于消耗能量）并进行发电的核聚变反应堆，电功率约为 500 MW。根据最初制定的项目方案，ITER 建设期预计为 10 年，将耗资 50 亿欧元（56 亿美元）。但自项目开工到 2014 年，由于管理和运营不善，项目进展缓慢，反应堆并没有如期建成，而 ITER 项目管理者称还需要十年时间，项目的建造成本也远远超出了预算，导致 ITER 面临各种批评与质疑。美国是 ITER 主要的资助方之一，根据 ITER 国际协议，其将负责项目建造成本 9% 的资金支持和运营成本 13% 的支持。但根据现有项目进展来看，估计美国提供给 ITER 项目的经费会进一步上涨，将从约 11 亿美元上升到 40-65 亿美元。最为关键的是美国已经为项目花费了 10 亿美元，为此美国国会已经失去了耐心，认为 ITER 过于烧钱，美国应该退出该项目。有鉴于此，DOE 向国会提交了上述报告，强调 ITER 项目拥有巨大的科学前景，新管理层上台后项目管理和运营状况已得到大幅改善，并陆续取得突破性进展，国会应继续支持美国参与 ITER 项目发挥主要作用。

（郭楷模）

IEA：衡量下一代风电和太阳能发电的系统价值

国际能源署（IEA）6 月 2 日发布了《下一代风电和光伏发电：从成本转向价值》³报告，指出风能和太阳能是目前全球增长最快的电力来源，随着两种发电技术愈加成熟、成本的持续下降，促使风能和太阳能的全球部署进入了一个全新的发展阶段，即部署的速度加快、规模加大。但两种发电技术自身固有的间歇性会引起电力系统波动，给电网的质量、可靠性带来负面影响，而这种波动性则会让风电和光伏发电很难维持电力供需之间的必要平衡。因此，随着波动性可再生能源并网的扩大发展，电力系统和市场的整合成为了可再生能源政策优先考虑的事项，全面、系统性的电力系统改革是应对上述整合挑战的最佳路径。

报告强调，风能和太阳能发电可通过系统友好的部署策略促进其并网集成，以下六大领域至关重要：

- **提高电力系统服务能力。**技术进步已大幅提高了电网对波动性可再生能源电力输出的实时预测和控制能力。结合合适的电力管理框架，电力系统完全能够消化“间歇性”，维持电力供需平衡。
- **更加灵活选择可再生电力的部署地区。**随着太阳能和风力发电成本的快速下降，使得波动性可再生能源资源相对缺乏的地区也能够以经济有效地方式来部署风电和光伏发电，从而给分布式电厂的选址提供了更多灵活性的选择。

³ Next-Generation Wind and Solar Power: from Cost to Value. <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/NextGenerationWindandSolarPower.pdf>

• **综合部署多种可再生能源技术。**在世界很多地区，风能和太阳能是作为传统电力的一种补充，如作为水力发电的补充。因此，综合部署多种可再生能源技术可以产生协同效应，带来更高的效益。

• **结合当地其他资源有效整合。**波动性可再生能源分布式部署形式使其能够灵活地与当地其他资源有效的整合，形成一个集成的综合电力系统。例如，太阳能光伏系统可以结合需求侧响应或储能，以更好地服务于当地电力需求，同时减少不必要的配电网基础设施投资，节约成本。

• **制定经济的电厂设计标准。**优化风能和太阳能发电厂的设计，促进其经济、高效地并网集成。例如，通过计算机仿真建模详细地进行风能和太阳能电厂的设计研究，以减少并网的集成挑战。

• **综合规划、监控和修正部署策略。**波动性可再生能源和其他发电技术的相对成本是动态变化的。因此，可再生能源和其他发电技术的最优组合模式，以及系统友好的部署策略是会随着时间的推移而改变，即意味着部署策略需要不断修正。

此外，报告强调，单纯考虑平准化发电成本过于片面，不足以全面衡量风电和光伏发电的真实价值，只有转变现有的风能和太阳能经济效益的评估模式，才能最大限度地释放系统友好的部署策略的潜在价值，应该考察风电和太阳能发电的总体系统价值，即风电或太阳能发电给电力系统所带来的整体效益，它涵盖了积极和消极两方面因素。积极因素包括：风电和太阳能电力的并网降低了燃料成本，减少了CO₂和其他污染物的排放成本，减少额外的电网基础设施成本；消极因素包括：传统调峰发电厂和额外的电网基础设施促使成本增加，以及电力系统限制导致波动性可再生能源电力输出减少。综上，相比单纯的成本，系统价值能够提供更加全面的信息，以确保更准确地评估风力或太阳能电力的价值。因此，区分波动性可再生能源短期和长期的系统价值就显得尤为重要。

报告最后指出，完善相应的政策机制来保障波动性可再生能源投资者的长期收益是确保其能够获得持续投资的关键，而设计这种政策机制时则需要充分考虑不同发电技术系统价值的差异性。

（郭楷模）

IEA：中国 310 GW 燃煤电厂有潜力进行 CCS 改造

国际能源署（IEA）5 月底发布了《中国现有燃煤发电厂 CCS 改造潜力》⁴报告，指出中国对现有的燃煤发电厂加装碳捕集与封存（CCS）技术将是一项重大的机遇，现在约有 310 GW 燃煤发电机组能够满足改造的基本标准，而随着未来几年批准建造的高效发电厂这一数字还将增加。

通过改造现有燃煤发电厂来配备 CCS，能够减少大约 85% 的排放。加装 CCS 后的燃煤电厂排放还不到燃气轮机联合循环发电的四分之一。在最佳条件下，发电厂加装 CCS 只需要投资二氧化碳捕集、运输与封存的设备，而不在电厂本身。在其他情况下，发电厂可同时作为 CCS 改造进行升级，从而延长十多年的使用寿命。

在 IEA 450 情景下，到 2035 年中国需要改造 185 GW 的燃煤发电容量配备 CCS，以实现有 50% 的机会将全球温升控制在 2°C 或以下。现有燃煤发电厂的 CCS 改造对于中国在实现减排的同时继续使用煤炭为主的基础设施具有重要的意义。确保中国在未来二十年内 CCS 技术达到可行程度，需要行业和政府等各利益相关方的努力。报告指出，中国政府和产业界需要在以下三方面开展进一步的工作：

- 在气候政策中纳入 CCS，或者保留未来 CCS 改造的选项，从而继续开展工作来分析二氧化碳封存的机遇，以及开发实际项目规模的封存场地。
- 政府和行业应继续努力实现技术创新和降低成本，在一般和特殊改造中进一步降低 CCS 成本。
- 鉴于目前已经允许新建燃煤电厂，推动新电厂做好加装 CCS 的准备将成为一种有效的政策工具，以确保未来改造的机遇最大化。在这方面，特别需要注意新电厂的选址。

（李桂菊）

项目计划

DOE 资助 8200 万美元推动先进核能技术开发

6 月 14 日，美国能源部（DOE）宣布向 93 个项目资助 8200 万美元，用于核能研究、研究设施利用、交叉技术开发以及基础设施建设等，分别通过大学核能计划（NEUP）、核能大科学装置计划（NSUF）和核能使能技术计划予以资助⁵。除了财

⁴ Ready for CCS retrofit: The potential for equipping China's existing coal fleet with carbon capture and storage. <http://www.iea.org/publications/insights/insightpublications/ThePotentialforEquippingChinasExistingCoalFleetwithCarbonCaptureandStorage.pdf>

⁵ Energy Department Invests \$82 Million to Advanced Nuclear Technology. <http://www.energy.gov/articles/energy-department-invests-82-million-advanced-nuclear-technology>

政资助外，还有一部分项目将获得“加速核能创新门户”（GAIN）提供的技术和监管方面的援助。

DOE 在大学核能计划（NEUP）框架下资助近 3600 万美元，用于 49 个大学领导的核能研发项目；还有 15 所大学获资助近 600 万美元用于研究堆和基础设施改进，进行安全性能升级和学生教育。

DOE 在核能大科学装置计划（NSUF）框架下资助超过 900 万美元，用于 11 个项目以充分利用中子和离子辐照试验、辐照后验伤、同步辐射光束等科学装置的能力。包括：向通用电气日立核能公司提供中子和伽马辐照以及辐照后验伤等科学装置服务，分析核反应堆辐照对材料性质变化的影响；西屋电气为核设施开发先进的通信方法；并为橡树岭国家实验室、西北太平洋国家实验室和阿贡国家实验室资助 100 万美元利用大科学装置开展材料和仪表研究。

DOE 在核能使能技术计划框架下资助 2100 万美元用于 6 个一体化研究项目，包括核废料固化增强型玻璃形态以及先进的核动力机器人等；700 万美元用于 7 个交叉技术研发项目，包括：开发先进的传感通信方法示范通过核设施物理边界传输大量数据和其他信号的能力；开发多层增材制造方法和固态覆层工艺，进行微结构和机械测试以及辐照评价；基于粉末床的激光增材制造快速量化工艺；开发先进材料表征工艺和工具等。

（陈伟）

ARPA-E 资助 2500 万美元新设主题计划改善数据中心能效

6 月 10 日，美国能源部先进能源研究计划署（ARPA-E）宣布资助 2500 万美元设立“高效光波集成技术增强数据中心服务能力（ENLITENED）”主题研究计划⁶，历时四年分两期（两年一期）进行。旨在开发革新的数据中心基础设施，探索创新的数据通信网络设计方案（如光子集成技术），以期在未来 10 年内将数据中心的能效翻番，提高数据中心的绿色化程度。

ENLITENED 计划将着重资助四大技术领域的研发创新，包括：（1）克服光互连的集成和封装工艺挑战；（2）高基数光子交换机；（3）利用创新组件来构建新型的数据中心网络架构；（4）通过对数据中心新架构的仿真模拟研究其实际运行效果及探寻可商业化应用的路径。最终要实现的交付成果包括：

- 实验演示能够让未来的服务器和交换机芯片实现 10 Tb/s 带宽的芯片尺度光集成互连技术。
- 开展集成光子交换机概念的实验室演示工作，即利用光子互连概念促进新型网络架构的构建。

⁶ Energy-Efficient Light-Wave Integrated Technology Enabling Networks That Enhance Datacenters (ENLITENED). <https://arpa-e-foa.energy.gov/FileContent.aspx?FileID=859e388e-9d5e-4ba9-b021-f3b25b61aea8>

- 确保网络架构和数据中心仿真模拟结果与上述实验室演示结果一致性，为数据中心能效改善（至少提高 2 倍）提供有效路径。
- 通过全面的技术-经济分析来鉴定技术方案是否涵盖了数据中心系统所需组件的制造、封装和集成工艺。
- 开发模型展示创新的方法来实现将数据中心能效提高 2 倍。通用指标考虑相关数据中心规模、不同的数据加载大小分布、活动模式和计算指标等。
- 可以指定网络拓扑结构，能够与最优的网络架构性能相媲美。
- 可以指定数据加载，即数据在哪里可以获得、数据集如何关联以及如何传输，将是数据中心的发展趋势。
- 采用真实的系统组件（包括最先进的光子集成技术、模块化程序）构建数据中心模型，以评估全球能效指标是如何受到组件和拓扑结构变化的影响。
- 为数据中心的计算模型提供一个详实的技术-经济分析以评估该方法的可行性，同时必须考虑现实的资本支出（CAPEX）和运营成本（OPEX）模型，以及如何应用新兴技术以低成本方式来建造或改造数据中心。

（郭楷模）

日本 NEDO 资助 51 亿日元开展 IGFC 创新研发项目

6 月 1 日，日本新能源产业技术综合开发机构（NEDO）宣布将于 2016-2019 财年间资助 51 亿日元，用于开展“整体煤气化燃料电池联合循环发电（IGFC）系统示范工程”主题下遴选的两个创新研发项目，包括：“燃气轮机燃料电池联合循环发电技术（GTFC）开发”和“煤气化制备燃料及燃料电池模块研究”⁷，旨在加速推进新一代火力发电技术研发创新，完成 2021 年既定的包含二氧化碳捕集（分离、回收）的 IGFC 示范发电系统验证工作，论证 IGFC 技术的可行性，为 IGFC 示范工程设计和建造做好准备。两个创新研发项目的具体内容如下：

1、燃气轮机燃料电池联合循环发电技术（GTFC）开发

开发适用于小型（1 MW 级别）GTFC 设备的商业化技术，并设法降低成本；另外，开发适用于中小型（10 MW 级别）GTFC 设备的高压技术；为第三阶段包含 CO₂ 捕集的示范工程设计、建造和运营奠定技术基础。

项目承担机构：三菱日立电力系统株式会社，NGK 特殊陶业株式会社。

项目周期：2016-2018 财年。

2、规模化整体煤气化燃料电池联合循环发电（IGFC）系统研究

（1）IGFC 系统调研

对国内外的高温型燃料电池研究及 IGFC 的技术开发新动向和新情况开展全面

⁷ 石炭ガス化燃料電池複合発電に活用する調査・要素技術開発を開始。 http://www.nedo.go.jp/news/press/AA5_100580.html

调研工作，为日本开展实用化 IGFC 研究课题储备必要资料。另外，还要探索 IGFC 发电系统示范工程潜在的问题，确定设备的实际发电能力，为 IGFC 发电系统示范工程设计提供参考。

项目承担机构：日本电源发展株式会社，中国电力株式会社。

项目周期：2016-2017 财年。

(2) 煤气化制备燃料及开发适用于 IGFC 的燃料电池模块

了解煤炭气化生成富氢气体作为燃料供给燃料电池设备时的实际运行效果及存在的问题；考察燃料电池模块内部结构对煤气化生成的气体燃料消化情况的影响；为 IGFC 发电系统示范工程设计、建造和运营积累必要的技术基础。。

项目承担机构：日本电源发展株式会社。

项目周期：2016-2019 财年。

在未来（2025 年后），NEDO 计划一旦包含 CO₂ 捕集的 IGFC 发电技术达到了实用化阶段，即将其推向商用，建立大型的 IGFC 发电站，发电效率达到 55%，单位发电量的 CO₂ 排放限定在 590 g，实现碳减排 30%左右的目标（相比当前水平）。

（郭楷模）

前沿与装备

瑞士大面积钙钛矿太阳能电池转换效率创造 20%新纪录

目前高效率钙钛矿太阳能电池都局限于小面积（0.1 cm² 左右），导致其测量结果存在较大误差，且不适于商业化生产。瑞士洛桑联邦理工学院 Michael Grätzel 教授率领的研究团队利用真空闪蒸（VASP）新工艺制备了效率超过 20%的大面积（1 cm²）钙钛矿太阳能电池，刷新了转换效率记录，对于加速钙钛矿太阳能电池技术的商业化进程具有重要意义。研究人员利用 VASP 来处理阳离子混合双卤素的钙钛矿（FA_{0.81}MA_{0.15}PbI_{2.51}Br_{0.45}）薄膜结晶过程，通过减小结晶体生长过程中的压力，大幅提高了钙钛矿晶体的成膜性、结晶性和晶粒尺寸。通过扫描电镜表征发现，相比于传统工艺，VASP 方法处理的钙钛矿薄膜拥有更大的晶界尺寸（400~1000nm 之间），且呈现出高度的平整均匀性和百分百覆盖率的特点。经过测试，VASP 钙钛矿电池实验室标准模块的光电转换效率达到了 20.18%，经过权威机构认证的模块转换效率也高达 19.6%，创造了大面积钙钛矿电池能量转换效率新的世界纪录。更为重要的是，VASP 钙钛矿电池稳定性也得到了较好的提高：100 小时的连续光照测试，VASP 钙钛矿电池性能只衰退了 10%左右，而传统方法制备的钙钛矿电池性能则下降了 30%；同时通过前扫描和后扫描 I-V 测试，发现 VASP 电池 I-V 曲线的回线效应也得

到了很好的克服。研究人员进一步研究发现，VASP 方法具有良好的普适性，即使改变钙钛矿成分（从 $\text{FA}_{0.81}\text{MA}_{0.15}\text{PbI}_{2.51}\text{Br}_{0.45}$ 变为 $\text{FA}_x\text{Cs}_{(1-x)}\text{PbI}_y\text{Br}_{(3-y)}$ ），标准模块电池仍然可以获得 18% 的高效率。相关研究成果发表在《Science》⁸。（郭楷模）

新型氧化铝聚合物包覆层大幅改善锂硫电池性能

锂硫电池具有较高的理论比能量（ $\sim 2600 \text{ Wh kg}^{-1}$ ），但传统方法制备的电池工作温度范围较窄、循环寿命短，制约了其实际应用。加拿大西安大略大学 Xueliang Sun 教授带领的国际联合研究团队利用分子沉积技术（MLD）将氧化铝和聚合物分子沉积到碳-硫（C-S）复合电极外面形成薄膜保护层，将其作为正极材料，与锂负极以及电解质（由锂盐（ LiPF_6 ）和碳酸酯（EMC）类有机溶剂组成）组合成锂硫电池。通过电化学表征，发现具有保护层的 C-S 电极的电池性能大幅改善：在室温下，以 0.1C 充放电，首次和第 100 次循环的放电比容量分别为 912 Wh kg^{-1} 和 429 Wh kg^{-1} ；相反，没有保护层的 C-S 电极电池性能衰退较为严重，表明了保护膜的引入提高了电池的循环稳定性。研究人员进一步测试了保护层的 C-S 电极在高温下（ 55°C ，与电动汽车行驶时的温度环境相当）的工作情况，研究发现其首次和第 50 次、300 次循环的放电比容量分别为 1055 mAh g^{-1} 、 661 mAh g^{-1} 和 573 mAh g^{-1} ，表明了保护膜引入拓宽了锂硫电池工作温度范围，增强了电池的高温稳定性。但研究人员发现具有保护膜的电池对电解质较为敏感，当 LiPF_6 和 EMC 类有机溶剂电解质换成 LiTFSI 锂盐、乙二醇甲醚和二氧戊烷溶剂组成的电解质后，电池经过 100 次循环后就失效了。该项研究表明，通过对电极表面包覆氧化铝和聚合物分子复合保护膜修饰处理可以大幅改善锂硫电池性能，为设计高性能的锂硫电池提供了思路。研究人员下一步将致力于解决电解质的敏感性问题，提高电池电解质的普适性。相关研究成果发表在《Nano Letters》⁹。（郭楷模）

美科学家通过应力调控增强双功能氧电极催化活性

双功能氧电极在燃料电池、金属-空气电池、碱性水电解工业中的应用一直是电化学领域中的研究热点。但研制出对氧还原反应（ORR）和氧析出反应（OER）同时具备优秀催化活性的双功能氧电极是一大难题。橡树岭国家实验室 Ho Nyung Lee 教授研究团队联合阿贡国家实验室的研究人员利用高功率准分子激光器在晶格常数与镍酸镧（ LaNiO_3 ，LNO）不匹配的[001]取向的衬底 LaAlO_3 （LAO）上外延沉积了一层高质量的[001]取向的钙钛矿相 LNO 薄膜。由于存在晶格错位，会引起晶格

⁸ Xiong Li, Dongqin Bi, Chenyi Yi, et al. A vacuum flash-assisted solution process for high-efficiency large-area perovskite solar cells. *Science*, Published online 09 June 2016, DOI: 10.1126/science.aaf8060.

⁹ Xia Li, Andrew Lushington, Qian Sun, et al. Safe and Durable High-Temperature Lithium-Sulfur Batteries via Molecular Layer Deposited Coating. *Nano Letters*, 2016, 16 (6): 3545–3549.

畸变产生应力，为此研究人员详细考察了应力对薄膜氧电极催化活性的影响。通过 XRD 的 θ -2 θ 扫描、原子力显微镜 (AFM) 和电荷传输测试，结果表明沉积的 LNO 薄膜厚度约为 10nm，具有高度的[001]取向性，结晶性和导电性良好，其双轴应变为-1.2%（其中负号表示压缩应力，反之则为拉伸应力）。通过改变 LNO 薄膜的沉积厚度，可以发现其应变会随之变化，即应力作用随着薄膜厚度变化而改变，当厚度从 10nm 增加到 100nm 时，其应变会从-1.2%逐渐增大到 0。研究人员进一步采用三电极体系对制备所得的 LNO 氧电极进行电化学测试（电解液为饱和的碱性 KOH 溶液），研究应力对 LNO 氧化电极的 ORR 和 OER 催化活性的影响。当应力从 0 变化到-1.2%过程中，其 ORR 和 OER 电催化活性逐渐增强，在-1.2%时候达到最优，其过电压减小了 50mV，达到 400mV，表明了电催化活性增强，此时还原电流密度和氧化电流密度均达到 30 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ ，ORR 和 OER 的电压差将近 0.8V，优于参照的 Pt 催化电极。研究人员进一步通过 X 射线线性二色谱 (XLD) 表征确认了压缩应力增强催化活性的潜在机理，即由于压缩应力引入影响了 LNO 分子轨道劈裂和自旋，引起费米能级移动，导致电子结构的变化，从而提高了双功能 LNO 氧电极的电催化性能。该项研究揭露了晶格畸变应力对催化剂电催化性能影响的潜在机理，为设计高性能的双功能催化剂材料提供了新途径，有望解决阻碍电解水反应中的涉氧过程，推动氢能技术发展。相关研究成果发表在《*Journal of the American Chemical Society*》¹⁰。

（郭楷模）

能源资源

IEA：未来五年全球天然气贸易模式将发生重大转型

国际能源署 6 月 8 日发布了《天然气中期市场报告 2016》¹¹，指出未来五年全球天然气贸易模式将发生重大转型，尽管需求疲软、气价低迷，但液化天然气供应将显著增长，世界前两大液化天然气进口国日本和韩国需求前景展望较为黯淡，而中国、印度和东盟国家将有望成为新的主要买家。报告主要结论如下：

1、尽管天然气价格低迷，但全球天然气需求增长放缓

全球天然气需求在经历 2014 年的停滞于 2015 年开始恢复增长，但增长远低于历史平均水平，自 2012 年以来全球天然气需求年增长仅 1.0%，比过去十年间的平均值（2.2%）要慢得多。报告预测到 2021 年天然气需求将达到 3.9 万亿立方米，年均增长 1.5%，相当于 2015-2021 年之间增长 3400 亿立方米。

¹⁰ Jonathan R. Petrie, Valentino R. Cooper, John W. Freeland, et al. Enhanced Bifunctional Oxygen Catalysis in Strained LaNiO_3 Perovskites. *Journal of the American Chemical Society*, 2016, 138 (8): 2488–2491.

¹¹ Medium-Term Gas Market Report 2016. <http://www.iea.org/Textbase/npsum/MTGMR2016SUM.pdf>

一次能源需求增长在放缓，世界经济对所有化石燃料（包括天然气）的能源强度也在下降，未来五年内天然气在世界能源结构中的份额将小幅增加。特别是在电力部门，尽管价格低廉，但也有一些因素制约天然气的迅速扩张。在亚洲（这些地区天然气价格最引人注目），天然气需求增长已经大大削弱。需求和价格之间的直接关联不紧密表明有其他因素抵消了低价格的影响。报告中称，在煤炭价格低廉和成本下降以及对可再生能源的持续政策支持下，天然气很难参与竞争。化石燃料的价格低廉增加了可再生能源政策支持力度降低的风险，但目前没有证据表明这一情况已经发生。

2、美国天然气需求增速将放缓，电力部门的天然气消费量停滞

在美国，2015 年联邦政府对太阳能和风能的激励措施的延长将确保未来几年内可再生能源的持续强劲部署。根据欧洲的发展经验，在可预测期内随着低碳发电在总发电量中的小幅增长，美国的火力发电量预计会下降。2015-2021 年期间，美国发电总量预计将增加约 150 TWh。由于汽油价格不太可能在 2015 年的低水平上进一步大幅下跌，燃气发电的增长将受到限制，需要替代部分退役的燃煤发电容量。IEA 预计，其结果是美国燃气发电停滞不前，伴随下行风险。

3、中国的天然气需求可能回暖，印度需求增长恢复

2015 年，中国的需求增速大幅放缓至 4% 左右，而 2009-2014 年期间平均增长 15%。与石油不同，国内天然气价格并没有迅速调整以反映国际基准气价的下调，造成了天然气作为工业部门石油产品替代品的竞争力受挫。随着全球油价的触底反弹和国内天然气价格与国际基准气价的差距缩小，工业用气需求将恢复。

当工业活动放缓时，中国的天然气需求有望从目前的煤炭道路多样化和解决当地空气质量方面的努力中受益。尽管发电整体上增长停滞，但是燃气发电会保持快速发展，反映出政府努力提高天然气在该国能源结构中的份额。北京经验表明，自 2010 年以来，天然气需求增加一倍，环境法规更为严格可能对天然气利用有正面的影响。天然气的充足供应可以促进煤炭向天然气转型，帮助保持区域 9% 的平均增长率。如果环保政策的实施比预期慢，中国天然气需求的扩大也将慢得多；如果中国天然气需求稳定在 2015 年的水平，到这个十年末就没有进口增量。在这种情况下，到 2020 年代全球天然气市场供应过剩规模将扩大。

在印度，天然气需求将强劲增长，在预测期内年均增长近 6%。近期国际基准气价的大幅下跌、国内定价政策的重大修订，以及在天然气基础设施建设方面的持续进步，有助于推动印度市场需求的增长。

在中东，更低廉的油价和更低迷的经济活动降低了电力和工业部门的天然气需求。不过，从总体水平来看，该地区的关键挑战仍然是供应方与多个国家一起努力提高产量以满足根本的需求增长。

4、欧洲天然气需求稳定

虽然产量增长依然疲软以及可再生能源以较低速度持续部署，但退役的煤炭和核能装机将减轻燃气发电面临的压力，但预期规模将取决于双方的相对价格和欧洲电力系统进一步整合的进度。天然气需求预计将适度增加，其中电力部门用气的小幅增加将抵消住宅和商业用气的减少。由于存量建筑的节能改造进展缓慢，因此在预测期内天然气需求对能效的影响可能相对较低。

5、美国天然气产量增长减速但仍将占到全球产量增长的三分之一

在预测期内，由于需求减缓、价格较低以及投资大幅削减等因素导致全球天然气产量增长放缓。在美国，2016 年和 2017 年的产量预期将保持稳定水平，原因是非常规天然气的产量下降和其他地区的增长缓慢。IEA 预计 2016 年下半年和 2017 年石油市场将趋于平稳。随着油价逐步复苏改善天然气开采的经济性，将有助于天然气产量增长的恢复。在经济低迷时期成本的大幅削减将使钻探活动回到价格低迷之前的状况。总体而言，2015-2021 年期间美国天然气产量预计会增加 1000 亿立方米，占全球增长产量的三分之一。

6、天然气市场再平衡需要的时间将比石油更长

天然气市场再平衡的过程可能需要比石油更长的时间。IEA 预计，2017 年开始全球石油市场开始重新趋于平衡，预计 2020 年之前会有改进，天然气交易市场不会供过于求。2015-2021 年，全球液化天然气出口能力预计会增加 45%，其中 90% 来自美国和澳大利亚。除非发生供应中断，否则市场将努力吸收这些增加的供应。日本和韩国的液化天然气需求预计将停滞不前，甚至由于日本核能复出而急剧下降。由此可见，全球天然气市场的发展轨迹将依赖于中国的扩张规模以及亚洲其他发展中地区。到 2021 年，亚洲发展中经济体（包括中国）的液化天然气进口增加量预计会超过 1000 亿立方米。

7、全球天然气价格将继续面临压力

在过去的两年中，基本面走弱和低廉的油价不仅造成天然气价格偏低而且整个区域的基准收紧。在 2016 年的前五个月内，亚洲液化天然气现货价格和美国价格之间的平均差别只有 2.5 美元/百万英热单位，这和 2011-2014 年之间的平均价差（11 美元/百万英热单位）相差甚远。在未来几年会形成供应良好的天然气市场以保持全球现货价格，同时美国液化天然气供应量的增加会维持北美价格和其他地区现货价格之间形成紧密的联系。在美国，随着国内消费需求恢复，价格可能会从 2015 年的低位回升，同时出口增加需要产量的持续强劲增长。在亚洲，天然气价格将依然受石油价格的影响。不过，经过一段供过于求的周期加上越来越灵活的液化天然气市场，有望逐步削弱这种联系。

（李桂菊）

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