

中国科学院武汉文献情报中心

国际重要能源研究专报

2015 年 11 月

第 11 期

美国能源部四年度技术评估报告

【编者按】

美国能源部（DOE）于 2015 年 9 月发布《四年度技术评估》报告，详细评估了能源系统六大核心领域（电网、发电、建筑、制造业、燃料、交通）的技术发展现状，提出了每个领域以及领域间 12 项交叉技术的未来研究、开发、示范和部署（RDD&D）机遇，以推动实现安全、经济、环境友好的能源系统这一国家能源战略目标。DOE 根据各领域的评估指出，美国正处在能源革命进程中，而先进技术是革命的主要推动力量，从能源系统观角度来看主要有四大基本发展趋势：（1）能源系统各领域交叉汇聚。（2）能源来源、载体和利用的多元化。（3）能源效率全面提高。（4）基于日益融合的计算和仿真能力设计能源系统。本期专报对此进行了编译，以供参考。

美国能源部（DOE）于 2015 年 9 月发布《四年度技术评估》报告，详细评估了能源系统六大核心领域（电网、发电、建筑、制造业、燃料、交通）的技术发展现状，提出了每个领域以及领域间 12 项交叉技术的未来研究、开发、示范和部署（RDD&D）机遇，以推动实现安全、经济、环境友好的能源系统这一国家能源战略目标。DOE 根据各领域的评估指出，美国正处在能源革命进程中，而先进技术是革命的主要推动力量，从能源系统观角度来看主要有四大基本发展趋势：

第一是能源系统各领域交叉汇聚。事实上，能源系统各领域之间越来越相互依存。随着信息通信技术、先进传感与控制技术的发展以及不断增长的市场需求，在电力生产、传输与分配、建筑、制造业、燃料和交通等领域出现了越来越多的交叉技术。并且，能源系统与水资源系统、原料流、废物利用以及融资市场联系日益紧密。适当的调整和整合能够改善系统整体运行、提高效率，并且能在经济结构和城市环境中建立全新概念。各个领域均包括理解、预测、设计与控制复杂集成能源系统的 RDD&D 机遇。

第二是能源来源、载体和利用的多元化。美国许多能源行业都有实现多种技术途径的机会和更加多元化的潜力。这种多元化为能源基础设施带来了挑战。在交通运输行业，电动汽车扩大应用和燃料电池的最新发展与天然气、生物燃料等现有石油替代品形成互补，但这也使得燃料补给基础设施复杂化。在发电行业，使用天然气、风能和太阳能发电替代退役机组，这也增加了电网管理的复杂性。当然，多元化也能够为能源系统带来灵活性，并有利于消费者选择。并且，这些多样化能源资源选项也能对市场稳定和提高能源安全起到很好的效果。

第三是能源效率全面提高。能源效率与能源利用、水资源利用和废物产生密切相关。提高能源效率可以使国家安全、经济、环境显著受益。如通过减少石油消费，企业和消费者的成本支出和排放就会相应降低。在各个能源领域普遍存在推动应用经济高效节能技术的 RDD&D 机遇。

能源从生产到利用通常经过众多步骤转化，提高能源服务链每一步的效率都可以相应降低能源损失。因此，能源效率可以在降低能源消耗和成本方面起到杠杆作用。

第四是基于日益融合的计算和仿真能力设计能源系统。这种融合包括科学理论、建模、仿真、高性能计算、数据管理和分析、算法、软件以及高通量实验技术，以便于从原子尺度、纳米尺度、介观尺度、宏观尺度直到大规模制造层面开展材料与系统的预测、设计、工程化以及实验表征，为以更低的成本、更快的速度开发新材料、技术和系统提供了可能性。

1 电力系统现代化

能源供需技术的根本性变化对电力系统提出了新的要求。在供应端能源来源多元化，低效老化的装机已被化石能源和可再生能源集中式和分布式发电所取代。在需求端，多元化包括分布式发电和交互控制系统在建筑业、工业设施以及消费品等领域的广泛应用。

伴随着这些变化的是数字通信和控制系统（智能电网技术）的融合以提高性能和使消费者参与其中。另外，电网运行从少数集中式控制点向数以百万计的交互分布式控制点转型。这些变化为建立更灵活、便利的电网提出了技术上的新需求，使其拥有能够瞬时动态优化电网运行的能力。

文本框 1 电力系统现代化的 RDD&D 机遇

现代化电网要求加强可观测性、可控制性和互操作能力以便于有效应对从发电到用电的复杂过程。电力系统的设计和运行需要适应从层级式中央控制系统向分布式系统、从确定性系统向混沌系统、从单向配电流向双向流动、从定向系统向网络化系统以及从无源负载系统向多点交互和动态负载系统的转变，以实现安全性、灵活性、便利性和弹性的目标，从而提高性能、降低成本并应对国家能源挑战。主要的 RDD&D 机遇包括：

- (1) 先进的传感、模拟和控制能力以支撑这一转型。
- (2) 开发下一代电力电子系统和储能材料与方案设计。
- (3) 发展和改善电网架构和设计新系统。
- (4) 发展软件和可视化工具用于加强输配电网实时运行和控制。
- (5) 开发更高性能、可靠性和弹性的输配电组件设计。
- (6) 将智能、通信和控制能力嵌入分布式能源和微电网以支撑电网运行。
- (7) 发展储能技术并推动系统集成。
- (8) 开发电力系统规划工具。
- (9) 设计新系统以改进电网的物理和网络安全。

2 先进清洁发电技术

当前的电力结构正趋于多样化，并通过结合可靠但日益老化的基荷发电、增加利用可再生能源以及天然气新电厂来提高效率。

工业化发展需要满足日益增长的电气化需求且实现温室气体减排目标，这就给优化系统、降低风险和保持合理成本带来了挑战。在这方面的进展将包括：推动已有技术进步，如更高效配备碳捕集的化石燃料发电以及先进核电；快速发展的可再生能源技术，如风能和太阳能；以及新兴技术，如燃料电池和海洋能发电等。

文本框 2 推动低成本清洁电力技术的 RDD & D 机遇

发展清洁和低成本电力技术在系统层面和技术层面均面临诸多 RDD & D 机遇。其中系统层面的 RDD & D 机遇包括：

- (1) 材料：开发先进材料以满足极端条件的需求，发展制造工艺和高标准检验技术。
- (2) 计算：开发高性能计算、先进算法以及控制和决策科学以改进发电技术和运行。
- (3) 数据管理：改进数据采集、分析和利用（及隐私保护）技术与软件，以增强规划和改善电力运营。

(4) 发电多变量组合分析：开发成熟、定量化的标准、模型和分析工具来实现能源多元化集成路径。

(5) 能源-水资源关系：评估系统平衡、利弊得失以及敏感性，开发分析工具以评估和优化能源-水资源系统。

(6) 储能：开发分析工具来评估多尺度储能方案及与新的电力系统集成的技术。

技术层面的 RDD & D 机遇包括：

(1) 碳捕集与封存 (CCS)：验证第二代技术的可行性，示范用 CCS 改造现有电厂，示范 CCS 技术在工业与天然气开采上的运用，以及开发一个表征封存方案的数据库。

(2) 核能发电：推动先进轻水反应堆、小型模块化反应堆、高温堆、快堆、燃料循环技术以及混合系统的发展。

(3) 水力发电：推动先进材料和涡轮机设计，重点放在模块化系统和具有较低碳足迹的系统。

(4) 风力发电：发展集成多尺度涡轮机大气流动模型、电网集成模型和技术、海上风力涡轮机技术和规模化陆上风能系统可用于不同风速区域。

(5) 生物质发电：发展先进生物质发电技术，包含生物质气化以及与 CCS 相结合的生物质发电系统。

(6) 太阳能发电（光伏<PV>和太阳能热发电<CSP>）：降低 PV 和 CSP 制造和资本成本，降低 PV 软性成本，改善并网（包括结合储能方案），验证和开发新型 PV 材料和器件，特别关注储量丰富、环保新材料。

(7) 地热能源：改善地热资源表征，发展控制压裂网络和提高地下准入的技术，发展先进混合系统。

(8) 燃料电池：降低组件和系统成本，解决气体净化问题，发展先进模拟仿真能力。

(9) 海洋能发电：开发先进的控制系统，设计紧凑型发电设备，

解决腐蚀和生物污染问题。

3 提高建筑能效

建筑物用能主要集中在暖通系统（HVAC）、照明、水源加热和冷藏以及包含电脑在内的电子设备。HVAC 能耗可通过减少负载或者提高 HVAC 系统的效率得到降低。对于照明，可以通过先进固态照明实现节能 95% 以上。建筑部门的 RDD & D 必须关注于降低成本和提高效率。总的来说，最佳途径需要实现各种设施显著降低能耗。

文本框 3 提高建筑能效的 RDD & D 机遇

提高建筑能效的 RDD & D 机遇无处不在，既包括单项技术的提高，也涵盖整体建筑系统改善及与其他部门的集成。具体包括：

建筑热管理系统：

- （1）开发能够深度改造现有建筑的新材料，如绝热材料。
- （2）开发环保热泵系统。
- （3）开发诊断建筑生命周期热力流动的工具。
- （4）为建筑外壳的热管理和空气流动性能制定清晰的度量标准。

照明系统：

- （1）开发用于可靠判断 LEDs 和 OLEDs 节能灯具寿命的测试过程；
- （2）深入理解高功率密度下 LED 效率下降的原因。
- （3）开发高效绿色 LEDs。
- （4）开发可调光性能的窗玻璃。
- （5）开发高效、耐用、低成本 OLED 灯具。

电子器件和各类建筑能源负载：

- （1）设计更高效的电路和更灵活的电力管理系统。
- （2）为管理建筑系统和整合外部系统建立标准化通信协议。
- （3）为电力供应开发宽禁带半导体。

系统层面机遇：

- （1）开发能源收集系统为无线传感和控制提供电力。

- (2) 改善精确、可靠传感和控制系统的设计和成本效益。
- (3) 开发新算法使得建筑传感和控制系统能够围绕预期参数自动优化运行。
- (4) 开发易用、快捷、精确的设计和运行软件工具，包括开源软件。
- (5) 支持与其他建模引擎的共仿真。
- (6) 在解决建筑能耗问题上结合更多的决策科学研究，如设计与运营时保护隐私等。
- (7) 开发和设计新组件与系统，能够充分利用废热资源。

4 先进制造业清洁能源技术创新

美国制造业能耗几乎占工业能耗的 79%。并且由于制造业产品涉及生产、运输和能源使用等经济各个层面，其能源影响更为宽广。制造业领域能源技术效率的提高能够从单元系统制造、生产设备系统以及供应链系统这三个层面改善整个经济范围的能源影响。

文本框 4 先进制造业清洁能源技术创新的 RDD&D 机遇

在单元系统、生产设备以及供应链各个层面上均存在 RDD&D 机遇，能够解决制造业面临的能耗和排放问题：

(1) 过程热处理系统：这些系统占到现场制造业几乎 2/3 的能源用量。降低其能耗的机遇包括采用低能耗工艺（例如微波加热）、集成系统和改进控制方法等。

(2) 电机系统：电机系统占到制造业超过 2/3 的电力用量。降低其能耗的机遇包括优化电机系统设计、广泛应用变频驱动、研发宽禁带半导体以及将最新的信息技术应用到更智能的电力使用上。

(3) 过程强化：把多重单元系统集成到单一设备能够减少能源使用、废物产生和环境影响。

(4) 卷对卷处理：这种制造技术能够实现复杂多功能、大面积设备的低成本制造，很多清洁能源技术需要这种设备，例如太阳能面板柔

性电子器件和低能耗分离薄膜等。

（5）添加制造：相比于传统削减制造，添加制造（3D 打印）技术能够减少材料浪费、制造步骤，并能够制造传统方式不能生产的新产品。

（6）热电联产：通过单一能源资源同时产出电能和有用热能可以减少燃料需求量，热电联产还可增加产出和弹性。

（7）废热回收：收集和重新利用废热，用于其他热过程或转化成电能。

（8）将先进的传感、控制、平台和模型用于制造业：自动化、模型化和传感技术能够实现对能源、生产率和成本的实时与主动管理。

（9）工业需求侧管理：通过用电移峰，能够更好地管理电网需求以匹配供给，从而使工业消费者避免高电价支出。

（10）先进材料制造：计算模拟和数据交换可以最小化试错，从而极大加速新材料发现的过程。

（11）关键材料：许多清洁能源技术极大地依赖关键材料（如风力涡轮机中的永磁钕材料）。可靠性和可持续性更高的供应链将会更有效地改进依赖于关键材料的技术。

（12）可持续制造：材料流分析显示了诸多节能机遇，包括可以重新利用的产品设计、能够更有效利用二级材料的技术以及减少原材料需求的技术。

（13）直接热能转化材料、器件和系统：不需要中间过程而直接将能量从一种形式转化为另一种形式的技术（如热电效应），可以用于废热回收、高效加热与制冷以及其他应用。

（14）用于严苛服役条件下的材料：包括更高温度、更高效率的发电厂，耐腐蚀管道以及更安全的核燃料包壳。

（15）宽禁带半导体：相比于传统的硅基元件，宽禁带半导体能够制造更小、更轻和更高效的电力电子器件。

（16）复合材料：轻质、高强度和高刚性的结构复合材料可以为车

辆、风力涡轮机和储气等轻量化应用带来能源和环境益处。

5 清洁燃料

燃料满足了国家交通部门 99% 的能源需求和发电部门 66% 的能源需求。在美国，化石燃料占能源消费总量的 82%。需要在不同时间框架下权衡传统燃料和替代燃料的利弊，包括成本、性能、基础设施、安全性和环境因素等。加深对燃料行业多元化技术方案的理解有助于形成 RDD & D 策略。

文本框 5 清洁燃料先进系统和技术的 RDD & D 机遇

燃料行业（包括石油与天然气、生物燃料、氢气以及其他）各种技术的成熟度差异很大，相对应的 RDD & D 机遇也不尽相同：

石油和天然气：

- （1）最小化非常规石油和天然气开发中的安全和环境影响。
- （2）保护地下水，减少水耗，保护空气质量。
- （3）减少管道和压缩系统的甲烷泄露。
- （4）加强对诱发地震活动的理解。
- （5）加强理解天然气水合物的商业化生产条件。

生物燃料：

- （1）减少原料生产、运输和转化的成本。
- （2）生产和管理一系列木质纤维素原料。
- （3）改进生物化学转化路线的酶和微生物，改进热化学转化路线的催化剂及工艺流程。
- （4）开发高价值生物基产品和生物基化学品。

氢气：

- （1）材料和系统研发创新，以提高效率、性能、耐久性，并降低成本。
- （2）解决氢气制造、运输、储存和分配各环节的安全性问题。

6 先进清洁交通运输系统

美国交通运输业是主要的石油消费部门和温室气体及污染物的主要排放来源,轻型、中型和重型车辆几乎占到运输能源用量和排放的 3/4。需要采用各种技术相结合的方法,包括改进部件效率、电气化动力传动系统、使用可再生燃料以及提高运输系统效率等。对于轻型车辆,动力电气化是减少移动源排放和增加能源多样性的可行途径。最有前景的包括氢燃料电池车和纯电动汽车,但是两者都面临着高成本和性能挑战。

文本框 6 先进清洁交通运输系统和技术的 RDD&D 机遇

传统汽车和新型电动汽车与燃料电池车从单个组件到系统层面均存在 RDD&D 机遇:

(1) 燃油经济性改善: 采用更先进的燃烧发动机和更高能源使用效率的车辆系统。

(2) 燃料与车辆的协同优化: 通过燃料和车辆系统的集成研发, 实现更好地使用新型低碳燃料。

(3) 车辆轻量化: 改善所有动力传动系统和车辆类型的效率。

(4) 动力传动系统电气化: 是轻型车辆减少汽油使用和污染物排放的一个重要策略, 包括插电式电动汽车、燃料电池车或者混合动力汽车等。

(5) 电池成本、重量和可靠性提高: 配合电力电子系统、控制系统和整体研究, 可以降低成本和改善电动汽车性能。

(6) 电力电子器件、牵引电机和控制系统: 其研究必须降低技术成本以增强竞争力。

(7) 燃料电池汽车: 其广泛应用于轻型车辆市场需要研发提高耐用性能, 降低燃料电池成本, 以及降低车载储氢的成本、体积和重量。

(8) 燃料电池系统: 运行效率需达到 65%, 最终要提高到 70%, 并能使用 5000 小时(等效于约 15 万英里的寿命)。需要解决以下与电池相关的性能障碍: 在催化剂中优化使用铂族金属材料; 提高催化剂和

电极性能；提高在过热和干燥情况下薄膜的性能；增强电极构成和微结构对燃料电池性能和耐用性影响的认知。

（9）车载储氢：在保障安全、性能或内部空间的情况下以有竞争力的成本提供超过 300 英里行程的储氢量；

（10）其他运输模式：包含航空、航海、铁路和越野设备都有显著提高效率的潜力。这些模式所占的耗油量和排放比例较低，但增长迅速，提高其效率是未来的重要研究领域。

（11）形成运输系统观：这利于推动对先进运输系统和技术的进一步投资。例如，车辆互联和自动化在交通能源消耗方面是一个新兴问题，需要开展研究去评估各种可能的投资途径。

7 领域间交叉技术

随着技术的快速发展，许多技术主题已不仅限制在特定的能源领域，该报告评估了这六个能源领域中 12 类交叉技术的 RDD&D 机遇，包括技术主题和使能工具。这些研究应该通过新的研究计划和/或促进现有各类研究活动的沟通以集成化方式进行，一个领域的技术进步同时会使其他领域受益。

技术主题主要包括以下 8 类：

（1）**电网现代化**：电网正在从中央控制、可预测、单相配电流动的系统向多点分布、混沌、动态、配电双向流动的系统转变。各种发电、电力转化、数字通信和控制技术的发展正深刻影响着电力系统的核心特征。电网相关技术需要随着供电和用电技术的变化而发展。同样，与电网技术相关的 RDD&D 机遇（例如可再生能源供电、高效电机控制和智能负载）应该考虑与电网的交互。如果电力能够替代石油和天然气在交通和供热中的应用，电网将会在未来能源系统中发挥更核心的作用。这一快速发展领域的 RDD&D 机遇包括：规划模型、运营工具、输电设备、配电硬件、控制系统、电能储存和网络安全。利用这些机遇发展成为可靠、灵活和弹性电力系统，以高效集成各种供电和用电方式。

(2) 系统集成：能源系统间的互联日益增多，与其他系统如水资源和原材料供应等联结也在增加。集成系统的潜在利益包括效率、资源节约、减少温室气体排放以及提高弹性。系统集成也面临着一些挑战和风险，例如潜在的瓶颈和失败点。系统集成的合理应用需要理解、控制和优化多个部门、多个时间尺度（从以秒计的运行到以年计的规划）、多个空间尺度（设备、建筑、园区、城市、地区、国家）以及多种功能（数据、分析、控制、市场等）。集成还需要充分理解成本，特别是部署新技术和/或集成技术的资本成本，也包括部署和运行的财务影响。各技术的集成如燃料电池、储能、屋顶太阳能和微电网等都会受到系统集成策略的影响。这一领域的 RDD&D 机遇将使系统设计者和运营商通过合理的系统设计和断开连接策略，优化互联、消除风险。

(3) 网络安全：广泛应用的数字技术能够显著改善新能源系统，但也增加了网络干扰的风险。能源行业正在积极探索促进网络安全的机遇，包括发电和石油与天然气生产、用来自动控制建筑能源使用的监督控制和数据获取系统、信息技术使能制造业以及车辆互联与自动化。严格应用网络安全最佳实践和工具来度量能源系统安全性和弹性，以及运用面对网络威胁能够适应和自调整的网络和系统，将有助于确保整个能源系统供应链各部件的完整性。

(4) 能源和水资源：水资源使用和石油与天然气生产、生物质生长与处理、热电厂冷却、众多制造过程以及人类直接使用紧密相关。另一方面，水资源的获取、运输、净化、保持以及最终返还大自然需要消耗大量能源。下列 RDD&D 机遇可以提高这些过程的效率，或者寻找低廉的少用水/不用水的替代方案，包括：新型纳米结构薄膜以及新型化学和生物处理技术。还有广泛的机遇促进数据库、模型和分析技术的发展，以更好地理解 and 解决水质、可利用性和灾害问题。另外，气候变化会对水资源的时空分布产生影响，气候科学和整体评估的进步能够更好地帮助理解这些未知因素。

(5) 地下环境: 石油和天然气生产、地热能源、碳捕集与封存(CCS)以及核废料处理,都依赖于有效控制和管理地下环境。基础科学研究和技术进步,能够促进这些应用中对地下环境的表征和控制。在各种空间和时间尺度(从纳米到千米,从微秒到千年)上定量预测和控制地下断层、流体流动、复杂物理化学和岩石对控制的响应对于上述领域是非常关键的。由于大部分地下环境无法直接观测,需要依靠传感技术、建模仿真的大幅进步来改善这种状况。这需要在高压、高温和强腐蚀性环境中,通过有效地持续监控储层完整性在低风险条件下完成。

(6) 材料: 材料特性代表了能源技术的性能限制。下一代能源技术的新材料会更复杂,包含更多成分和新型纳米结构。材料 R&D 机遇需要调动实验和计算工具。设计材料以满足特殊的性能需求需要结合理论、建模、仿真以及原位和过程表征的研究。利用生物信息学设计的新材料结构需要新型纳米合成工艺和运行条件下的表征以验证计算模型。将新材料应用于能源技术需要推动规模化制造工艺、实时过程表征、过程控制以及性能验证能力的发展。这些能力有潜力极大地促进新技术的发展,并降低其成本。

(7) 燃料-发动机协同优化: 发动机性能会受到可用燃料特性的限制。通过利用生物基燃料或其他合成燃料,能够优化终端燃料-发动机系统,以提高效率和减少环境影响。协同优化燃料-发动机系统有潜力提高系统效率,并减少交通行业温室气体排放。利用低碳、零碳或负碳原料制造的燃料会进一步减少排放。开展燃料和交通行业多学科的基础科学研究和技术开发有望实现这些目标。

(8) 储能: 高效经济的储能对交通领域以及电网都是非常重要的。电动汽车需要更高重量和体积能量密度的储能技术来与传统车辆技术相竞争。对于电网来说,低成本储能对于可再生能源的高比例应用是非常重要的,结合快速作用技术可以提供电压支持、频率调节和其他电网服务。高效、耐用和安全储能技术的 RDD&D 机遇,能够实现运输、电

力和建筑业的革命性变化。

下述四项使能工具在能源领域应用的 RDD & D 机遇将推动革命性创新：

（1）计算模拟和仿真：计算能力的快速发展使得能够对复杂物理现象进行仿真，这将影响 RDD & D 过程的各个阶段。归功于庞大而复杂的分子层面仿真，极端环境应用的材料、生物燃料生产和光伏等领域的研究均因此得到加速发展。工程师在新型内燃机、风力发电系统和化石燃料电站的设计和发展过程中也日益依赖于先进仿真，无需屡次制造昂贵的系统原型。这些仿真能力也能够实现新能源项目示范阶段的模拟和仿真。先进的仿真能力可以使部署的能源系统更高效运行。在所有这些领域，计算能力的提高、新算法的开发以及仿真与大规模实验、技术设计过程和大型能源系统的结合，将会增强能源系统中先进仿真的重要性。

（2）数据和分析：先进分析和大数据管理广泛应用的机遇贯穿整个清洁能源经济。特别是，从大数据中获取有用信息既是机遇也是挑战。更多监测和控制数据密集型能源系统的低廉而有效的方法可以实现节省资源和更精确的控制。增强在庞大数据中建立复杂相关性以及自动综合大量研究结果的能力可以有效推动科学研究过程。

（3）复杂系统分析：鉴于能源系统及其技术体系的融汇，复杂系统分析能力的进步需要与理论、模型、综合和表征的融合以及计算建模与仿真、数据与分析和决策科学（包括风险分析）领域的进步相结合，有效推动向清洁能源经济的转型。发展能源相关生物和环境系统的预测性认知，在从微生物燃料生产到碳捕集和环保输运等领域都有广泛应用。深入理解地球动态、物理和生物地球化学系统之间的相互作用，能够实现对气候变化影响的预测，并有助于规划未来能源需求。

（4）多尺度物质表征和控制：材料和化学观测和表征的极大进步为在纳米和介观尺度上操控材料创造新功能铺平了道路。首先是 X 射线光源能够允许科研工作者在电子、原子和分子水平上探究物质的结构，

有助于设计革命性的新型物质，调控其性质在化学、材料、生命和地球科学中加以应用。其次是中子源，对于探测包含轻原子、磁材料或者大尺度样品的材料结构和动态是非常理想的，新兴中子源技术可以实现从凝聚态到生物材料的新科学，也会实现在 3D 结构测量中的世界领先的分辨率。

纳米尺度科学研究集成了新型纳米和介观尺度系统的理论、综合、制造和表征，开发下一代能源技术新材料。基于高通量合成和自组装的制造新工艺以及多功能高时空解析度的探测表征有潜力加速材料发现和开发的步伐。

美国能源部《四年度技术评估》报告原文参见：

<http://www.energy.gov/sites/prod/files/2015/09/f26/Quadrennial-Technology-Review-2015.pdf>

版权及合理使用声明

中国科学院武汉先进能源战略情报中心《国际重要能源研究专报》（简称《专报》）遵守国家知识产权法的规定，保护知识产权，保障著作权人的合法利益，并要求参阅人员及研究人员认真遵守中国版权法的有关规定，严禁将《专报》用于任何商业或其他营利性用途。未经中国科学院武汉先进能源战略情报中心允许，院内外各单位不能以任何方式整期转载、链接或发布《专报》，用于读者个人学习、研究目的的稿件使用，应注明版权信息和信息来源。任何单位要链接、整期发布或转载《专报》内容，应向中国科学院武汉先进能源战略情报中心发送正式的需求函，说明其用途，征得同意，并与中国科学院武汉先进能源战略情报中心签订协议。

《国际重要能源研究专报》系内部资料，请注意保存，版权归作者所有。任何意见和建议请与中国科学院武汉先进能源战略情报中心联系。

中国科学院武汉先进能源战略情报中心

战略情报研究服务

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 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 主要国家及国立科研机构天然气水合物研究发展态势
产业发展分析	开展产业技术与市场发展研究，分析战略布局与未来走向，为社会有关行业和企业部门提供信息咨询服务。	国内外电动汽车产业与产业技术调研 国内外太阳能电池产业与产业技术调研 国内外风能产业与产业技术调研 中国氢能及新能源汽车产业发展报告 新能源战略新兴产业之关键材料分析报告

《国际重要能源研究专报》

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：张军 陈伟 李桂菊
电 话：（027）87199180
电子邮件：jiance@mail.whlib.ac.cn