

# 美国国家可再生能源实验室研究

秦方云<sup>1</sup>, 王 凌<sup>2</sup>

(1. 中国国家铁路局, 北京 100038;

2. 中国科学技术部, 北京 100862)

**摘 要:** 美国国家可再生能源实验室作为一家专攻可再生能源和能效技术研发、示范和部署的国家实验室, 在推动相关领域的技术进步和应用推广方面扮演关键角色。本文介绍了该实验室在推动可再生能源和能效科学研究与技术创新方面发挥的牵头作用及其在联通创新链和产业链方面承担的 4 项重要功能, 以供研究借鉴。

**关键词:** 美国; 国家可再生能源实验室; 可再生能源; 能源效率; 技术转移; 初创企业孵化

**中图分类号:** G311; G203 **文献标识码:** A **DOI:** 10.3772/j.issn.1009-8623.2021.10.005

美国国家可再生能源实验室 (NREL) 是美国能源部下属 17 家国家实验室中唯一从事可再生能源与能源效率技术研发和示范的实验室, 在推动可再生能源、能效、可持续交通和能源系统集成等领域的技术进步和应用方面取得重要成果, 在相关领域的研究、创新、应用和推广方面发挥了关键作用。本报告从实验室基本情况、推动科研创新、促进产业技术应用等方面对美国国家可再生能源实验室承担的角色和任务做一综合介绍。

## 1 国家可再生能源实验室的基本情况

美国国家可再生能源实验室位于科罗拉多州戈尔登市, 由能源部能源效率与可再生能源办公室 (EERE) 管理, 是美国唯一专门从事可再生能源与能效技术研发和示范的国家实验室。国家可再生能源实验室前身为 1977 年成立的太阳能研究所 (SERI), 其是首个专门开发太阳能电力的联邦研究机构, 1991 年升级为国家实验室并被重新命名为国家可再生能源实验室。

国家可再生能源实验室属于政府所有、承包商运营 (GOCO) 的国家实验室, 现由非营利机构可

持续能源联盟 (Alliance for Sustainable Energy) 负责日常运营。国家可再生能源实验室实施的研发任务大多来自能源效率与可再生能源办公室。2019 财年, 国家可再生能源实验室总预算为 4.92 亿美元, 其中能源效率与可再生能源办公室出资 3.91 亿美元, 占比 79.5%<sup>[1]</sup>。

国家可再生能源实验室主任由可持续能源联盟总裁担任, 两名副主任由联盟两位高级副总裁担任, 分别负责研究和运营事务。国家可再生能源实验室的研究事务主要依托生物能科技 (BST) 分部, 能源系统集成 (ESI) 分部, 材料、化学与计算机科学 (MCCS) 分部, 机械与热能工程科学 (MTES) 分部共 4 个科技分部开展, 此外还设有创新与合作学部负责政产学研合作事宜。2019 财年, 国家可再生能源实验室共有 2 265 名员工, 研发人员和业务支持人员分别占 63% 和 37%, 96.4% 持有学士以上学位, 最高学历为学士、硕士和博士的员工比例分别为 27.5%、32.5% 和 36.4%<sup>[2]</sup>。

国家可再生能源实验室主要在可再生电力、可持续交通、能效和能源系统集成 4 大方面开展科学研究与工程技术开发, 其研究项目细分为 16 个领

第一作者简介: 秦方云 (1990—), 女, 硕士, 主要研究方向为科技政策、国际科技合作。

收稿日期: 2021-08-19

域,其中可再生电力涵盖地热能、太阳能、水能和风能,可持续交通聚焦生物能源、氢与燃料电池、交通和移动性,能效重点关注先进制造和建筑,能源系统整合包括电网现代化和集成能源解决方案。此外,国家可再生能源实验室还从事化学与纳米科学、计算机科学、能源分析、储能和材料科学各领域的研究。

国家可再生能源实验室在可再生能源、可持续交通和能效技术创新方面取得了重要成果。截至目前,国家可再生能源实验室研发的相关领域技术已获得 616 项专利,69 项技术被授予有“创新界奥斯卡”之称的 R&D 100 创新奖(R&D 100 Awards)。据国家可再生能源实验室统计,1977 年至 2017 年,国家可再生能源实验室技术创新大幅降低了可再生能源和燃料的成本,例如,对电池设计、模块可靠性和材料的改进使太阳能发电成本降低 96%;在风机叶片设计、涡轮变速箱及控制研究方面取得的进步使风能成本从每千瓦时 40 美分降至 4~7 美分,降幅达 90%;生化过程和发酵催化剂的效率提升使纤维素乙醇成本降低 78%<sup>[3]</sup>。

## 2 国家可再生能源实验室在推动可再生能源科技创新中发挥的作用

国家可再生能源实验室是能源部开展能效、可再生能源和可持续交通领域等相关技术研发的重要依托力量,负责牵头实施国家重大研发计划、组织开展相关领域基础研究和应用技术研究,在推动技术进步与应用方面发挥重要作用。

(1) 牵头高校开展基础研究,整合多学科、多机构研究力量,解决阻碍能源技术创新的关键科学难题,推动变革性科学进展,为技术创新提供源头支撑。

2009 年,能源部科学办公室下属基础能源科学办公室发起能源前沿研究中心(EFRC)计划,由大学或国家实验室牵头设立能源前沿研究中心,聚焦某一重大变革性能源技术挑战,加速推进高风险高回报基础研究。国家可再生能源实验室先后牵头反求设计中心、下一代材料设计中心和能源用混合有机无机半导体中心(CHOISE)。目前,能源用混合有机无机半导体中心仍在运行,国家可再生能源实验室牵头杜克大学、圣地亚哥州立大学、科

罗拉多大学等 7 所大学的多学科研究人员合作开展基础研究,为先进能效技术奠定基础。此外,国家可再生能源实验室还与所在科罗拉多州的高校合作设立联合研究所,由能源部、州政府或产业界提供资金支持,开展能源技术研究或综合战略分析,推动能源技术创新和转移,为能源投资和政策制定提供指导。

(2) 牵头国家实验室联盟,聚焦特定难题和关键障碍与产学研部门开展研发合作,形成国家实验室与产学研合作网络,加强产学研用结合。

2016 年,能源部能源效率与可再生能源办公室发起能源材料网络(EMN)倡议,支持国家实验室牵头组建联盟开展先进材料设计、测试与生产研发,与产学研部门加强技术对接与成果共享,旨在加速清洁能源技术商业化。目前正在运行的 7 个能源材料网络联盟中,有 4 个由国家可再生能源实验室牵头:先进水裂解材料联盟(HydroGEN)旨在加速先进水裂解材料与工艺研发,加速制氢商业化;耐用模块材料联盟(DuraMAT)旨在推动光伏模块新材料、新设计和新模型的商业化,以提升光伏发电效率、延长寿命并扩大应用范围,最终实现光电成本降至 3 美分/千瓦时以下;氢材料先进研究联盟(HyMARC)旨在加速发现适用于车载储氢设备的固态材料;生物能化学催化联盟(ChemCatBio)旨在加速将生物质转化为可再生燃料与化学品的催化剂研发。

这些联盟由国家可再生能源实验室专家担任主任,能源部及各参与实验室专家组成指导委员会确立联盟研发重点方向和目标。联盟围绕目标征集项目,由能源部出资,企业提供配套资金,国家实验室与产学研开展研发合作,企业对研究成果先行先试,以加速推进相关技术整合纳入现有系统。部分联盟还设有产业顾问委员会,由产业代表组成,为联盟研究活动提供反馈建议。

(3) 牵头组建产业技术联盟,整合产学研部门研究力量,以企业发展需求为导向开展技术研发合作,支持企业突破关键技术障碍,提升产业技术创新能力。

碲化镉太阳能在全美公用事业规模光伏市场中占比 40%,目前商用效率已达 19%,但尚未达到 30% 的理论转换效率<sup>[4]</sup>。2021 年 3 月,能源部

太阳能技术办公室投资 2 000 万美元发起“碲化镉光伏加速器计划”, 由国家可再生能源实验室牵头组建碲化镉光伏加速器联盟, 整合国家实验室、企业和大学的研究力量, 制定技术路线图, 旨在提升美国碲化镉光伏技术研发水平和降低制造成本, 在 2030 年前将碲化镉太阳能电池效率从目前的 19% 提升至 26% 以上、模块成本降至 15 美分/瓦以下。国家可再生能源实验室将根据技术路线图进行具体项目招标, 并开展相关应用研究, 对美国国内碲化镉供应链进行评估分析, 确定关键材料或能力障碍, 推动新型材料和设计的商业化, 加快实现上述目标。

#### (4) 组织开展清洁能源技术创新竞赛。

国家可再生能源实验室面向中学、大学和初创企业组织开展一系列可再生能源和能效技术创新竞赛, 如中学生汽车模型竞赛、大学风能竞赛、太阳能十项全能竞赛、美国制造挑战 (American-Made Challenges) 等, 一方面激励先进能源技术创新, 加速技术开发与商业化, 另一方面提高学生和创新创业者的科研创新热情, 培养下一代清洁能源技术研发人才。

其中, “美国制造挑战”奖励计划规模大、涉及领域广、参与主体全, 是推动清洁能源技术加速进入市场的重要激励力量。该计划于 2018 年发起, 由能源部能效与可再生能源办公室资助、国家可再生能源实验室管理, 设有地热制造奖、太阳能奖、水电先进制造创新奖、锂电池回收利用奖、海水脱盐奖等十余个奖项, 面向初创企业征集新概念、新技术, 旨在推动解决重大技术挑战, 加速先进能源技术创新和商业化。国家可再生能源实验室组织能源部 17 家国家实验室、大学、企业、加速器、孵化器机构的专家和研究人員构建起“美国制造网络”(American-Made Network), 负责竞赛战略制定、队伍选拔, 为参赛者提供多学科、多机构的资源和专业指导, 建立长期研发合作关系。

### 3 国家可再生能源实验室在联通可再生能源创新链和产业链中发挥的作用

作为可再生能源领域唯一的国家实验室, 国家可再生能源实验室实际承载着产业技术研发、技术转移和商业化、清洁能源初创企业孵化以及重大科

研基础设施共享 4 项重要功能, 参与了可再生能源领域的基础研究、产业共性技术研发和技术推广应用, 发挥了联通创新链和产业链的重要枢纽作用。

#### 3.1 产业技术研发中心

国家可再生能源实验室统筹国家实验室、高校和科研院所研发资源和力量, 面向可再生能源、建筑、交通等产业发展需求, 组织开展最紧迫、最棘手、最具挑战性的清洁高效能源技术研发和集成攻关, 推动技术从实验室走向市场, 实现技术产业化, 服务企业和产业转型升级, 已经成为清洁能源产业技术研发的重要平台。在这一过程中, 国家可再生能源实验室建立了庞大的开源数据库, 开发了一系列软件、建模仿真工具和分析方法, 为可再生能源和能效技术研究与分析提供了共性平台和关键支撑, 在企业开展技术研发过程中发挥着不可或缺的作用。

1984 年, 太阳能研究所研究人员杰瑞·奥尔森以磷化镓 (GaInP) 电池为顶层、砷化镓 (GaAs) 为底层制成的“双结叠加式”(Tandem Junction) 太阳能电池, 成为世界上首个真正意义上的多结 III-V 族太阳能电池, 奥尔森于 1987 年获得该技术专利<sup>[5]</sup>。在此基础上, 各国研究人员深入研究半导体叠加式太阳能电池, 转化率不断提高。目前使用磷化镓作为顶层电池的商用太阳能电池架构均在双结叠加式的基础上研发而成。多结太阳能电池自 20 世纪 90 年代起广泛应用于空间设备, 美国最早的两个火星探测器“精神号”和“机遇号”均使用多结太阳能电池供电, 实际服务时间远超预期。

长期以来, 氢积聚是抛物槽式聚光太阳能热发电 (CSP) 厂发电效率提升的重要掣肘因素, 引起的热损耗最高可将发电厂整体效率和收入降低 15%, 全球 80 余座抛物槽式聚光太阳能热发电厂每年累计损失 750 兆瓦发电能力、约 2.5 亿美元收入。2015 年, 国家可再生能源实验室与 Acciona 太阳能电力公司达成研发合作协议, 开始研究解决氢积聚问题。国家可再生能源实验室设计出集成式氢传感器/分离器模块, 经 Acciona 的聚光太阳能热发电厂试用发现, 该模块不仅能够有效预防氢积聚, 还能回收此前积聚的氢气, 使设备恢复高效运行, 显著提升了聚光太阳能热发电厂的发电效率和收益<sup>[6]</sup>。目前, 国家

可再生能源实验室正努力将该模块推广应用于其他聚光太阳能热发电厂。

### 3.2 技术转移中心

国家可再生能源实验室重视将科技成果转化为实现生产力，设有技术转移办公室专门负责实验室研发技术的转让与商业化事宜（见图1），持续推广应用实验室技术，改造提升产业技术水平。自2000年起，国家可再生能源实验室已向企业授予260余项许可，目前约有700项专利技术和250余项软件解决方案可供使用。企业可通过能源部的“实验室合作服务”（Lab Partnering Service）网站查看

国家可再生能源实验室提供许可的技术专利，与技术转移办公室进行协商后达成协议。国家可再生能源实验室的技术转移方式灵活多样，根据技术类型、企业规模和需求提供多种协议类型，尽可能促进实验室技术的商业化应用。

此外，能源部设有技术商业化资金（TCF），专门促进国家实验室技术商业化，企业需要提供配套资金，由国家实验室与企业共同进行技术开发，加速推动技术转化为产品。2020财年，能源部投资3300万美元支持82个项目，其中国家可再生能源实验室共有21个项目获资超过680万美元。

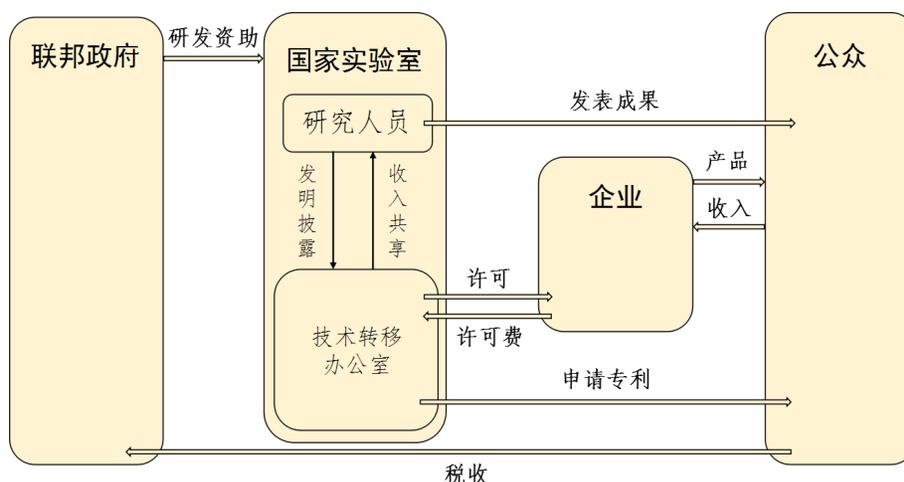


图1 国家可再生能源实验室技术转移图示<sup>[7]</sup>

### 3.3 清洁能源企业孵化器

除积极推动实验室研发技术转移与商业化，国家可再生能源实验室还组织协调投资方、大学、孵化器和行业领军企业等各方力量，为清洁能源初创企业提供技术服务和资金支持，推动企业创新成果加速进入市场，在清洁能源技术孵化方面发挥重要作用。

1995年，国家可再生能源实验室举办首届行业成长论坛（Industry Growth Forum, IGF），为清洁能源初创企业与潜在投资者提供交流对接平台，自此开启孵化初创企业之路。据统计，2003年至2020年，共计400余家初创企业参与该论坛，筹集资金超过70亿美元。2008年，国家可再生能源实验室新设创新与创业中心（IEC），专门负责初创企业孵化工作。2014年，能源部发起清洁能源国家孵化器倡议（NIICE），出资支持国家可再生能源实验室和电力研究院（EPRI）合作构建孵化能源网络

（Incubatenergy Network），旨在促进全美孵化器的信息交流和最佳实践共享，以提升孵化器服务水平，为清洁能源初创企业提供资源和工具，推动创新成果加速转化。2014年和2018年，创新与创业中心分别与富国银行基金会（WFF）和壳牌公司联合发起“富国银行创新孵化器”（IN2）计划和“国家可再生能源实验室支持的壳牌变革者加速器”（GCxN）计划，聚焦清洁能源关键技术初创企业，由富国银行基金会和壳牌分别出资，国家可再生能源实验室提供科研设施、技术验证与示范支持，推动初创企业研发技术加速进入市场<sup>[8]</sup>。

在此过程中，创新与创业中心组织构建起由全美60余家孵化器、加速器和大学组成的渠道合作伙伴网络（Network of Channel Partners），形成了覆盖清洁技术研发、测试、示范、商业化全过程，初创企业、投资方、大学、孵化器和行业领军企业良性互动的清洁能源初创企业孵化培育格局，为初创

企业成长发展、创新成果加速转化提供了重要支撑。

创新与创业中心还负责组织开展能源部的“能源创新兵团”(Energy I-Corps)计划,聘请产业专家为国家实验室能源技术研究人员提供产业培训,探索技术商业化前景和途径,推动实验室技术开发与产业及市场需求接轨,提升技术创新水平,加速使技术进入市场。此外,创新与创业中心还设有国家可再生能源实验室商业化援助计划(NCAP),专门面向可再生能源与能效小企业,免费提供40小时的技术咨询、设备使用等支持,帮助其解决具体技术问题,推动技术商业化进程。

### 3.4 科研基础设施共享平台

国家可再生能源实验室拥有太阳能研究设施、风电机现场试验场、燃料燃烧实验室、储能实验室等数十个实验室和科研基础设施,为外部产学研机构开展技术研发、测试、示范与评估提供了重要平台。产学研机构可以通过与国家可再生能源实验室开展研发合作、参与国家可再生能源实验室组织的竞赛等多种形式使用这些设施,实现了国家可再生能源实验室设备资源的最大化利用,同时解决了企业和研究机构缺少大型科研基础设施的难题。

能源系统集成设施(ESIF)是国家可再生能源实验室的重要科研设施之一。其于2013年建成,是美国第一个能够在兆瓦级别对清洁能源技术并网进行集成研发和示范的设施,拥有世界上最快的清洁能源研究专用超级计算机“游隼号”,可模拟任何电网环境,从而对清洁技术并网影响进行测试。2015年,国家可再生能源实验室与SolarCity太阳能公司和夏威夷电力公司合作,在能源系统集成设施测试了太阳能光伏发电系统在电网中比例增加导致的甩负荷过电压(LRO)问题。夏威夷电力公司根据测试结果批准了约2500户光伏发电系统的并网申请,并将分布式太阳能电力的日最小负荷从120%提升至250%<sup>[9]</sup>,较好地解决了分布式光伏系统并网比例增加可能引发的安全性、可靠性和稳定性问题。

## 4 结语

国家可再生能源实验室聚焦可再生能源、能效、可持续交通和能源系统集成4个研究领域,凭借专业的研究人员、先进的科研基础设施与丰富的资源和政策工具,在政产学研之间搭建沟通平台与合作桥梁,推动基础研究、应用研究和产业化贯通发展,

在推动相关领域科研创新、技术进步与产业应用方面发挥了国家实验室的牵头和枢纽作用。美国专业领域国家实验室的做法值得我国研究借鉴。■

### 参考文献:

- [1] Department of Energy. The State of the DOE National Laboratories: 2020 Edition[R/OL]. [2021-01-19]. <https://www.energy.gov/sites/default/files/2021/01/f82/DOE%20National%20Labs%20Report%20FINAL.pdf>.
- [2] The Business Research Division, Leeds School of Business, University of Colorado Boulder. National Renewable Energy Laboratory: Economic Contribution of Operations and Capital Investments on the Region, the State of Colorado, and the Nation in Fiscal Year 2019[R/OL]. [2021-05-23]. <https://www.nrel.gov/about/assets/pdfs/economic-impact-report-fy19.pdf>.
- [3] National Renewable Energy Laboratory. FY 2017: Community Outreach Impact Report[R/OL]. [2021-03-20]. <https://www.nrel.gov/docs/fy18osti/70913.pdf>.
- [4] Pickerel K. New solar consortium says it will push CdTe thin-film efficiency to 30%[EB/OL]. [2021-04-26]. <https://www.solarpowerworldonline.com/2021/04/new-solar-consortium-says-it-will-push-cdte-thin-film-efficiency-to-30/>.
- [5] National Renewable Energy Laboratory. NREL scientists spurred the success of multijunction solar cells[EB/OL]. [2021-04-20]. <https://www.nrel.gov/docs/fy12osti/53604.pdf>.
- [6] Glatzmaier G. Development of Hydrogen Mitigation for the Nevada Solar One Power Plant[R]. Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2020.
- [7] Perry T D, IV. Ampulse Corporation: A Case Study on Technology Transfer in U.S. Department of Energy Laboratories[R]. Colorado: National Renewable Energy Laboratory, 2010.
- [8] Garfield D J, Moore K E, Adams R. New Approaches to Energy Hardware Innovation and Incubation[R/OL]. [2021-04-20]. <https://www.nrel.gov/docs/fy19osti/73438.pdf>.
- [9] National Renewable Energy Laboratory. High penetration PV: how high can we go?[EB/OL]. [2021-01-11]. <https://www.nrel.gov/docs/fy16osti/65591.pdf>.

## Research on the United States National Renewable Energy Laboratory

QIN Fang-yun<sup>1</sup>, WANG Ling<sup>2</sup>

(1. National Railway Administration of the People's Republic of China, Beijing 100038;

2. Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China, Beijing 100862)

**Abstract:** As the only national laboratory in the United States dedicated to the research, development, demonstration and deployment of renewable energy and energy efficiency technologies, National Renewable Energy Laboratory (NREL) has played a key role in promoting technology advancement and deployment in related areas. This paper gives an introduction to the laboratory's leading role in advancing scientific research and technological innovation of renewable energy and energy efficiency, and its four vital functions in connecting innovation value chain and industry chain. These practices are worth further studying.

**Keywords:** the U.S.; National Renewable Energy Laboratory; renewable energy; energy efficiency; technology transfer; start-up incubation

---

(上接第7页)

## Review of Science, Technology and Innovation in Greece and Outlook of Sino-Greece Cooperation

ZHANG Xin-min<sup>1</sup>, DAI Le<sup>2</sup>, WANG Lu<sup>1</sup>, PAN Yao<sup>1</sup>, MA Zheng<sup>1</sup>

(1. Institute of Scientific and Technological Information of China, Beijing 100038;

2. China Science and Technology Exchange Center, Beijing 100045)

**Abstract:** This paper introduces Greece's national science, technology and innovation (STI) system, and its policies, performance and characteristics, then analyzes the potential of Sino-Greece bilateral cooperation in terms of STI, explores the entry points of bilateral cooperation, and finally puts forward some suggestions for future Sino-Greece STI cooperation. The research indicates that Greece is a small EU country whose economic size and competitiveness, scientific and technological strength and innovation performance cannot be compared with the world's major innovative countries and key small innovative countries, its geographical location, resource endowment, economic and industrial structure, and STI are unique and highly complementary to China in terms of resources, production capacity, markets and other economic factors. Moreover, Greece has a good foundation and good performance in economic development and STI. Both sides have great potential and opportunity for STI cooperation. It is recommended that on the base of previous good cooperation, together with STI policy orientation, advantageous industries and characteristic research fields of both sides, China should further strengthen macro-coordination, optimize the joint funding mechanism, strengthen industry docking, and innovate cooperation mechanisms, so as to further strengthen and deepen STI cooperation between China and Greece.

**Keywords:** Greece; science, technology and innovation (STI); STI input and output; international cooperation