

爱达荷国家实验室2025年核能科研进展

数十年来，爱达荷国家实验室（Idaho National Laboratory, INL）一直是美国先进核技术创新的国家中心。该实验室拥有全美顶尖的核能研究设施，包括先进试验堆（Advanced Test Reactor, ATR）和材料与燃料综合设施（Materials and Fuels Complex, MFC）。2025年，INL支持美国核能现代化工作并取得以下进展。

TRISO燃料交付标志着“Pele项目”取得重大进展



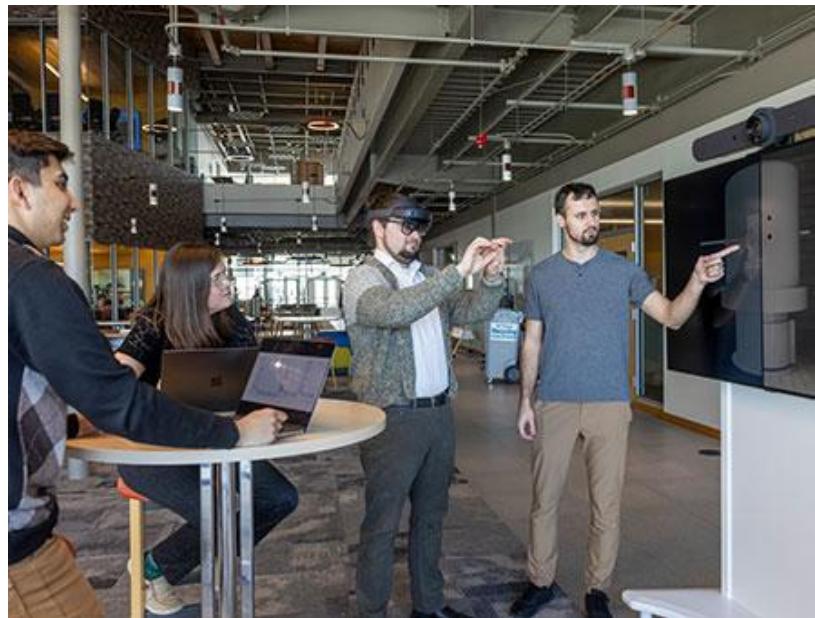
首批TRISO（三结构各向同性）燃料成功交付至爱达荷国家实验室的瞬态反应堆试验设施（Transient Reactor Test Facility, TREAT），标志着“Pele项目”迈出了重要一步。该项目旨在研制一种可移动微型反应堆原型，为军事行动提供高韧性电力。该项目由国防部战略能力办公室牵头，与BWXT（BWX Technologies）公司、能源部及INL合作开展，采用了一种专为承受极端条件而设计的先进燃料。这一工作体现了多年来对TRISO燃料鉴定工作的投入，也彰显了多方协作推进的巨大力量。

MCRE团队达成关键燃料里程碑



爱达荷国家实验室的熔融氯化物反应堆实验（Molten Chloride Reactor Experiment，MCRE）团队近期启动了用于快谱MCRE的浓缩燃料盐的全规模生产。该团队实现了95%的铀转化率，并于九月交付了首批燃料。MCRE是南方电力公司（Southern Company）、泰拉能源（TerraPower）、CORE POWER公司与美国能源部的一项公私合作项目。这些燃料将用于在INL的长寿命有机冷却便携式通用电源（Long-life Organic-cooled Transportable Utility Source，LOTUS）试验平台上进行的反应堆实验，预计将于2030年前投入运行。

与亚马逊合作，赋能核能AI创新



INL正与亚马逊云服务（AWS）合作，为核能项目开发人工智能工具。INL在开发可简化核设施设计、许可和建造流程的AI技术方面处于领先地位。通过向INL提供其AI模型、图形处理器和专用云服务，AWS正在助力实现“规模化核能AI”。INL科学计算与AI部门主管表示，双方合作的首个项目将利用AWS的计算与AI工具，基于近实时数据构建一个小型模块化反应堆的数字孪生，以实现高级建模与仿真。

携手微软，简化核能许可流程



微软公司与INL合作，利用其Azure云和人工智能技术加速核能许可申请流程。该技术可读取核工程与安全文档，并自动生成美国核监管委员会和能源部所需的许可文件。该工具并非用于分析文档内容，而是自动化构建许可文件，供后续人工审核。

Aalo公司示范反应堆破土动工



Aalo公司为其首座示范工厂Aalo—X举行了奠基仪式。Aalo—X是目前在INL进行的四个反应堆示范项目之一。它是一座钠冷微型反应堆，该公司计划于2026年7月4日实现临界。Aalo团队已完成全面概念设计审查，并已获得爱达荷州反应堆示范项目的环境批准。

Oklo公司“极光”厂址破土动工



Oklo公司在INL为其首个“极光”（Aurora）电站举行了奠基仪式。该电站是一种基于实验增殖反应堆—II（Experimental Breeder Reactor—II，EBR—II）设计的钠冷快堆。此次奠基仪式地点位于实验室MFC以南，标志着该公司、实验室与能源部长达数年的合作开启。Oklo公司正在翻新MFC的一栋建筑，将其改造为极光燃料制造设施（A3F），预计将在2026年中之前完成初始堆芯的制造。

验证核燃料的新纪元



INL 及其先进试验堆（ATR）为 CCThE（Clean Core Thorium Energy）公司验证其富集寿命先进核能（Advanced Nuclear Energy for Enriched Life，ANEEL）燃料提供了保障。ANEEL是一种用于重水加压反应堆（PHWR）的新型核燃料设计，有望减少废物、提升安全性并降低成本。2024年春季，工程师们将216颗ANEEL燃料芯块放入ATR堆芯进行辐照；2025年，第一批芯块被取出并送至热室燃料检验设施（Hot Fuel Examination Facility，HFEF）进行辐照后检验。第二批检验将于2026年进行。

MARVEL项目测试达成里程碑节点



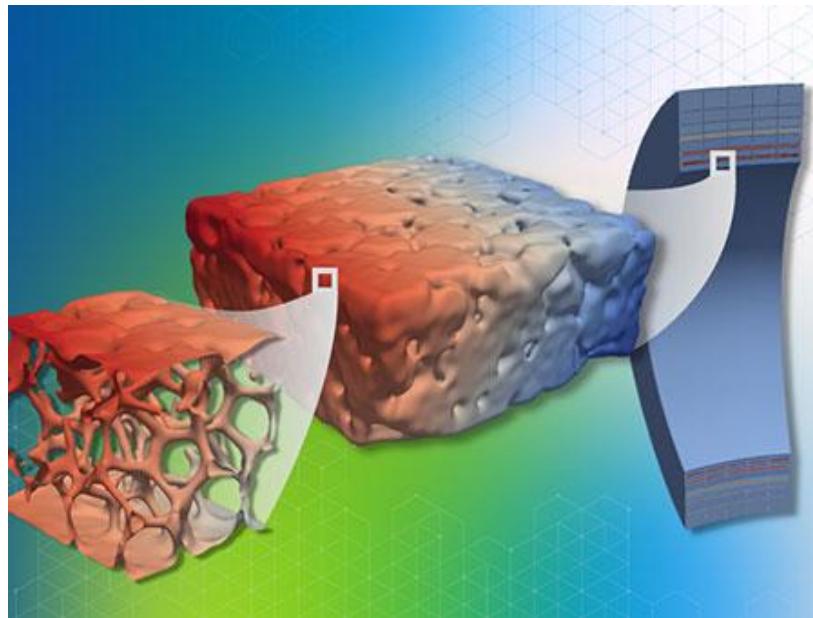
INL的研究团队使用独一无二的主冷却剂装置试验台（Primary Coolant Apparatus Test，PCAT），对微型反应堆应用研究验证（Microreactor Applications Research Validation，MARVEL）项目的部件进行了严格验证。PCAT几乎是MARVEL反应堆主冷却回路的精确模型，它使用电力而非核能产生热量，以复现其热工水力行为。通过分析建模和数值模拟，该团队证明了MARVEL的冷却方案是可行的。此项测试对于验证设计并确保微型反应堆在现实环境中安全有效运行至关重要。

实时测试推动熔盐研究



INL研究人员成功完成了熔盐流动回路试验台（Molten Salt Flow Loop Test Bed）的首次运行。该试验台可对氯化物基熔盐技术进行连续、实时的监测与分析。大多数测试回路关注熔盐对结构材料的影响，运行数小时后就必须拆解以分析腐蚀情况。而INL的回路独具特色，它使用可在流动环境中追踪熔盐行为的仪器。这将为更好地理解材料在高温下的腐蚀机理以及传感器性能提供深刻见解。INL是开发熔融氯化物反应堆实验（MC RE）团队的一员，该实验将展示世界上首个运行的快谱熔盐反应堆。

能源部委任INL加速聚变燃料循环研究



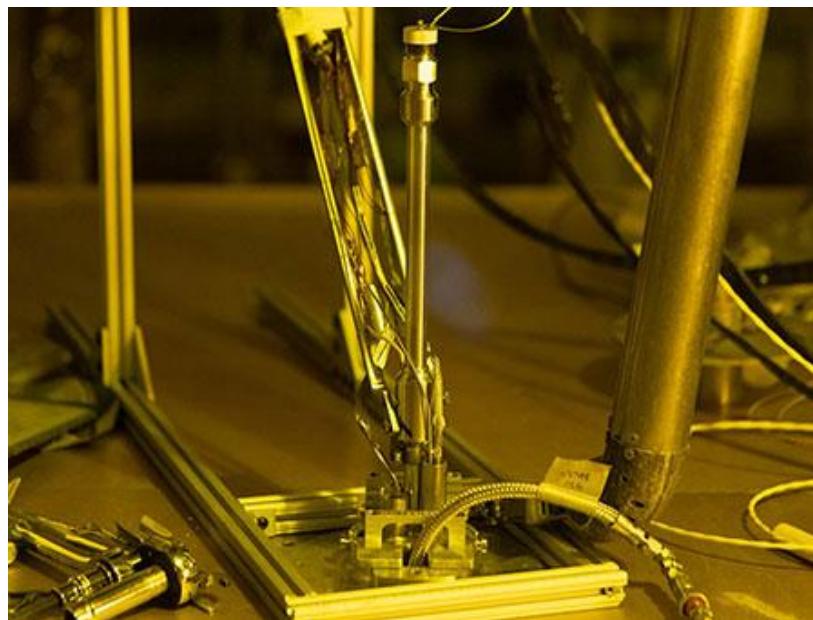
INL被指定为能源部六个聚变创新研究引擎（Fusion Innovative Research Engine, FIRE）中心之一。这些中心的目标是在十年内开发出可运行的燃料循环，为商业核聚变电站铺平道路。INL将领导通过核试验加速聚变包层开发（Accelerating Fusion Blanket Development through Nuclear Testing, BNT）中心，并参与另外两个中心的工作。聚变包层（fusion blanket）可为聚变反应堆创造新燃料，将聚变能转化为热能以发电，并保护反应堆强大的磁体。INL领导的团队将在裂变反应堆中测试包层系统的部分组件，以观察其在核环境中的表现。

华尔街与硅谷代表访问INL



来自Meta、亚马逊和谷歌等数千亿美元级公司的代表参加了由INL与能源部共同主办的“核能投资者日”（Nuclear Investor Days）活动。高盛、摩根士丹利和贝莱德的银行家与顾问也出席了此次活动。26名参与者代表的投资资金总额超过1万亿美元。活动介绍了核能如何为耗电量巨大的数据中心提供基荷电力，以及如何应对金融和监管方面的挑战。

二十多年来首次开展高燃耗快堆燃料安全测试



INL在其瞬态反应堆试验（TREAT）设施中，开展了二十多年来全球首次针对高燃耗快堆燃料的安全测试。此项测试是能源部与日本原子能机构合作开发和鉴定快堆燃料项目中的一部分。所用的金属燃料源自实验增殖反应堆-II（EBR-II）的历史辐照试验，并使用了一种新型测试胶囊，该胶囊配备了多种传感器以监测测试过程中的燃料行为。这些安全测试将提供关键的新数据，以支持未来燃料的开发与鉴定。

在辐射防护中平衡安全与科学



为响应特朗普总统签署的两项关于辐射防护的行政命令，INL发布了题为《基于当前科学证据对公众与工作人员辐射防护标准的重新评估》的报告。该报告由INL主任与五位健康物理学家共同撰写，指出将公众年剂量限值从100毫雷姆提高到500毫雷姆，既能维持有效的安全裕度，又能更好地与科学证据保持一致。报告建议维持现行的5000毫雷姆美国职业年剂量限值，但在此限值以下不再强制应用自1971年引入的“合理可行的低水平”（ALARA）监管原则。

与 Atomic Canyon 合作，制定核能 AI 标准



专注于核工业的人工智能公司 Atomic Canyon 宣布与 INL 合作，开发首个面向核应用的综合性 AI 基准测试套件。此次合作旨在为评估核电站中的生成式 AI 系统建立行业标准，并促进安全、可信的 AI 应用。合作计划为文档检索和法规遵循等任务确定基准，重点在于提升核运营的安全性与安保水平。Atomic Canyon 将主导基准测试套件及配套开源软件的开发，而 INL 将贡献其核专业知识并提供精选的数据集。

先进燃料制造能力



材料与燃料综合设施（MFC）的工程师们在INL的实验燃料设施（Experimental Fuels Facility, EFF）中，利用共挤压（co-extrusion）技术，生产出一根长段的锆包壳浓缩铀棒。这项工作是为Lightbridge公司完成的，这些样品是该公司计划用于其商用燃料产品的合金模型，旨在提升核电站的效率与性能。共挤压是一种制造工艺，可将两种或多种不同材料同时通过一个模具挤出，形成具有多层结构的复合产品。工程师们使用EFF的挤压机，共挤压出一根长约8英尺的细圆柱形棒材，该棒材将被切割成小段，并在INL的先进试验堆（ATR）中进行辐照。

能源部与爱达荷州达成定向豁免，以推进核研究



爱达荷州与能源部签署了对1995年《爱达荷州和解协议》(Idaho Settlement Agreement)的定向豁免。该协议确立了在INL场址清除历史遗留废物的里程碑，同时允许在该实验室进行核能研发。此次豁免允许对来自商业核电站的高燃耗核燃料贮存罐进行关键研究，为支持全美28个州54座核电站延长乏燃料贮存期限提供数据。豁免还允许INL安全地管理少量来自国内大学研究堆的乏燃料。

对外交流合作部 张灵宇 供稿

翻译自美国爱达荷国家实验室官网

文章内容不代表本公众号观点