

第26届国际凝聚态核科学会议(ICCF-26)介绍

张武寿

(中国科学院化学研究所,北京100190)

摘要: 第26届国际凝聚态核科学会议(The 26th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science, ICCF-26)于2025年5月26~30日在日本盛冈市举行,共有136人参会,大会收录摘要81篇。本会报道的主要进展如下:(1)Cu/Ni多层膜红外成像工作直接证明异常热效应发生在微米级区域,局部温度超过镍的熔点。(2)含H系统中D杂质含量增加的结果表明,该类系统中检测到的³He很可能来自H与D的聚变,传统核物理中难以发生的无辐射俘获反应是非常容易出现的聚变类型。(3)在地下实验室测到Pd-D和Zr-D片中高于本底的511 keV正负电子湮灭特征γ射线,证明仅氘扩散即可引起核反应。(4)有12家公司报告了2~50倍输入功率的1~10 kW级产热装置,表明凝聚态核科学产业化已初现曙光。

关键词: 凝聚态核科学;低能核反应;超热;核嬗变;无辐射俘获反应

中图分类号: O643.36

文献标志码: A

文章编号: 1001-3555(2025)06-0585-08

第26届国际凝聚态核科学会议(ICCF-26,
<https://iccf26.org/>)于2025年5月26~30日在日本盛冈市召开。会议由岩手大学承办,共有136名各国代表(含中国大陆4人)与会,其中有40人通过网络远程参会。会议共收录摘要81篇,安排口头报告44场。本文是近年来ICCF系列介绍的延续^[1-3],相同志之不赘。

本次会议与往届的最显著区别是有多家公司报告了各种类型的热、电、气产生装置,多数公司已开发出性能系数(coefficient of performance, COP, 即输出功/输入功比值)达2~50及以上的产热装置。虽然凝聚态核科学(或低能核反应, low energy nuclear reaction, LENR)机理尚不明确,但商业化已走在科学探索前面了。

下届会议(ICCF-27)将于2026年9月在加拿大尼加拉瀑布(Niagara Falls)城举行。

下面介绍本次会议的技术内容。与前几届^[1-3]不同,本文主要按材料维度大概分类。文中用【#】表示相关内容在摘要集^[4]中的顺序,如【26a-1】表示26日上午第一场报告,【27p-2】表示27日下午第二场报告,【P2-3】表示第二场墙报的第三篇,以此类推。本文乃综合摘要^[4]、报告视频^[5]、墙报和近期文献而成。

收稿日期: 2025-08-22; 修回日期: 2025-09-21。

基金项目: 国家自然科学基金(22373106, 21153003)[National Natural Science Foundation of China (22373106, 21153003)]。

作者简介: 张武寿(1968—),男,博士,副研究员,E-mail: wszhang@iccas.ac.cn[Zhang Wushou (1968—), male, doctor, associate professor, E-mail: wszhang@iccas.ac.cn].

1 膜载氢(氘)系统

1.1 Pd+D电解共沉积系统

前两届ICCF上先后有人报道过Pd+D电解共沉积系统产生超热和带电粒子^[2-3, 6],本届会议有两个小组报道类似结果,因此该系统很有希望率先实现LENR的科学突破。

美国MIT的Hagelstein组与原海军研究实验室SPAWAR学者合作,使用的电解液是PdCl₂+LiCl重水溶液,在50 μm厚麦拉膜(Mylar polyester)一侧镀Au作阴极,另一侧是CR-39(Columbia Resin #39, 美国哥伦比亚公司为该国空军研制的第39号树脂,学名是碳本酸丙烯乙酸,可用于核径迹探测和眼镜片制造)核径迹探测器。电解后在CR-39上看到与2007年SPAWAR报道类似的核径迹^[7]。用两种品牌的CR-39且在电解池内外都测到核径迹,说明结果真实可靠,还观测到高能中子与C反应产生的三重径迹【26p-4】。

印度理工学院坎普尔分校(IIT Kanpur)Rajeev组实验与MIT的不同之处在于阳极是碳棒,阴极是Pt丝。用高硼钕铁磁形成强磁场。用3种CR-39测量中子,第一种是裸CR-39;第二种是表面覆盖含B层(硼酸)的CR-39,目的是通过B(n,α)Li反应

生成高能 α 粒子提高核径迹数; 第三种是只覆盖 50 μm 厚麦拉膜的 CR-39. 三种 CR-39 都放在 50 μm 厚的聚乙烯袋中。结果发现, 有 B 膜的 CR-39 上核径迹多于无 B 膜的, 其差别只能来自中子与 B 反应生成的 α 粒子和 Li. 而有磁场时的径迹数多于无磁场的, 这个结果再次说明电解产生的是中子而非带电粒子。推算得电解池内热中子产率为 $4 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$, 电解池外为 $2.2 \text{ cm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$. 类似于 SPAWAR^[7] 和 MIT, 他们也观测到高能中子与 C 反应产生的三重径迹。作者因此认为反应既产生快中子, 也产生慢中子【26p-7, P1-9】。

1.2 Ni/Pd 膜-H₂ 系统

瑞士的 Winzeler 在 Ni/Pd-H₂ 系统中观测到超热【30a-3】。实验装置与前次会议报道的相同^[3], 区别在于用镀 0.2 g Pd 的 Ni 片替换纯 Ni 片, 用 33~100 kHz 的高频交流电感应加热样品并激发 LENR. 气压从约 0.1 MPa 缓慢降到 0.3 KPa 时出现超热, 温度在四五天内逐渐上升然后稳定数周。一次从 200 °C 升温至 280 °C, 超热为 10 W(或 50 W·g⁻¹), COP=1.43. 在 80 d 内出现了 3 次以上超热。SEM 表明反应后样品表面有明显熔化痕迹, EDS 测量表明产生了显著的 C、O、Al 和 Si, 这个结果与 NASA 在 Pd-Ag 合金管渗气后的核产物类似^[3]. 该系列工作已进行了 10 年以上, 最近还申请了美国专利(US2025022619A1). 从气压范围看, 还是 Pd 起主要作用, Ni 吸 H 很少。

此外, 乌克兰基辅大学的 Vysotskii 等注意到 Rossi 在瑞士卢加诺实验中也用 100 kHz 交流电加热氢化铝锂和镍混合粉末, COP 达到 40~60【26p-5】，所以高频感应加热法值得注意。

1.3 Cu/Ni 膜-H₂ 系统

日本的 Iwamura 最早开始研究 Cu/Ni 多层膜-H₂ 系统, 目前在多个小组间形成既相互重复还各有侧重的结果, 因此该系统也很有希望实现 LENR 的科学突破, 下列进展皆来自日本学者。

东北大学的 Kasagi 报道了 Cu/Ni 多层膜在脱氢过程中的辐射量热法进展【26p-2】。样品是 6 层镍(20 nm)/铜(4 nm)交替沉积在镍基底上的多层膜。以前他们只能测量 0.2~0.4 eV 间三种不同波长范围的光强, 然后反推 Cu/Ni 膜的辐射谱, 这次利用 Bruker INVENIOR 傅里叶变换红外光谱仪测量 0.004~0.084 eV 和 0.043~0.93 eV 的连续光谱。光谱量热不再依赖于模型, 结果更具说服力。

横滨市立大学的 Iwamura 报道了 Cu/Ni 多层膜热点的红外成像【27p-1】。样品与 Kasagi 所用相同, 结果发现产生超热为 2 W 时温度基本均匀分布, 到 6 W 时温度变得非常不均匀, 热点尺寸为 10 μm 量级, 估计一个热点放出 10^{-1} W 热功率, 比超热可达 $100 \text{ MW} \cdot \text{m}^{-2}$. 实验后显微分析表明, 有些地方明显是熔融后再结晶。局部热点温度已超出红外相机测量上限(1 000 °C), 也说明温度高于 Ni 熔点。热点处产生了 O 元素, 这与 ICCF-25 中报道的结果一致, 但未测到 γ 射线^[8].

名古屋大学的 Hioki 报道了用 X 射线吸收精细结构谱(XAFS)研究上述 Cu/Ni 多层膜的结果, X 射线照射区域为 0.5 mm × 2.3 mm, 所得谱与标准材料比较以确定其成分。结果表明有超热产生的样品中 Ni : NiO = 95 : 5, Cu : CuO = 94 : 6【27p-4】。这个结果与 Iwamura 观测到的 O 产生定性一致, 是不同于 EDS 和 SIMS 元素测量的第三方验证。

基于上述 Cu/Ni 膜-H₂ 超热技术, Kasagi 等已成立绿净星球公司(<https://www.cleanplanet.co.jp>)【27a-4】。该公司已累计注资 10 亿日元(约 700 万美元), 目前在 23 个国家获得 270 多项专利授权(笔者查到 23 项中国发明专利)。今年 4 月, 该公司得到东京都政府 10 亿日元的合同, 标的是输出 24 kW 的热功率模块, 输入为 5~10 kW, 工作温度为 700~900 °C, 用 10 g 氢气可工作数月。

1.4 Pd/CaO 膜-D₂ 系统

东京工业大学的 Tsuji-Iio 等重复了 Iwamura 的¹³³Cs(铯)嬗变为¹⁴¹Pr(镨)的实验【29p-1】。在 Pd(18 nm)/CaO(2 nm) 多层膜表面电化学沉积 Cs, 令氘气扩散通过, 温度大于 120 °C 时用 EDS 和 TOF-SIMS 在第一层 CaO 膜上测到 Pr, Pr 的产生与 CaO 层数无关, 即使 CaO 层在氘扩散的下游也可产生 Pr. 与 Iwamura 的发现类似, 质谱检测显示只有 Cs+4D 俘获反应的产物, 但没有 Cs+D、Cs+2D 和 Cs+3D 的。此外低于 140 °C 时发现¹³⁶Ba(钡)嬗变为¹⁴⁰Ce(铈)和¹⁰⁴Pd 嫣变为¹¹²Sn. 作者推测产物需满足质子数或中子数是核幻数的要求, 也未测到 γ 射线。

2 丝载氢(氘)系统

2.1 Ni 网/Pd-H₂ 系统

日本 Mizuno 使用的材料是镍网蹭钯颗粒, 今年 5 月份, 以 Mizuno 技术为基础的日本水素技术应用开发株式会社公开了样机, 将氢气封入容量约

1 L 的金属反应器并加热到 300~500 °C 输入 400 W 时输出 2 kW, 已稳定运行 5 个月, 号称装气一次可运行 10 年^[9]. 印度瑜伽大学 (S-VYASA) Ramarao 小组在成功复制 Mizuno 超热基础上已组建 Hylenr 公司推广其产品, 目前输入功率 100 W 时 COP=1.3, COP 偶尔可达 2 [27a-7]. Mizuno 装置的另一个特点是使用负氢压, 这与捷克 Jędrzejek 的经验一致^[10]. 该装置的气压和温度参数既可满足日常安全性要求, 也可与目前主流的热发电系统无缝对接, 因此具有广阔的应用前景.

2.2 康铜丝-H₂(D₂) 系统

意大利的 Celani 继续其康铜丝 ($\text{Cu}_{55}\text{Ni}_{44}\text{Mn}_1$)-H₂ 系统超热研究 [27p-2]. 本次报道用调光器控制电流脉冲宽度和强度. 康铜丝与对电极铁丝之间是绝缘层, 通过施加脉冲高电压实现介质阻挡放电. 在一例实验中, 使用 0.02 MPa 的 H₂ 与 Ar 对半混合气, 反应器内达到 900 °C, 反应器表面温度不超过 400 °C. 输入功率为 80 W, 超热为 21 W(比超热为 47 W·g⁻¹), COP=1.27. 系统放置十多天再启动时效应消失, 表明活性位点具有亚稳态. 通过氧化还原和长时间脉冲激发后效应又部分恢复.

加拿大湖首大学的 Alexandrov 基于康铜丝-D₂ 超热结果(丝温度为 1 043~1 092 °C, COP=3.7~4.1, 超功率为 267~307 W, 平均比超热为 150 W·g⁻¹), 创办恒星聚变技术公司 (<https://www.starfusion.ca>) 放大并推广其研究成果 [30a-5].

康铜的主要成分是 Ni-Cu 合金, 与日本学者开发的 Ni/Cu 多层膜成分类似. 而康铜丝在 H₂ 和 D₂ 气氛下皆产生超热, 不仅再次证明了 Ni-Cu 合金的有效性, 也说明 H 和 D 作用类似, 打破了必须 Pd-D 或 Ni-H 配对的传统观念, 对 LENR 的机理研究乃至技术应用都有重要价值. 而 Celani 的活性位点观念, 与我们多年来提倡的材料必须活化和 Storms 的核活性环境等观念是一致的.

3 粉末载氢(氘)系统

3.1 Cu-Ni/ZrO₂ 粉末-H₂ 系统

最早开展 Cu-Ni/ZrO₂ 粉末研究的是日本的 Takahashi, 他最近组建了新氢聚变能公司 (<https://www.nhf-energy.com>). 他们使用 Cu-Ni/ZrO₂(CNZ) 介观催化剂粉末和 1 L 容积的反应器, 在常规压力 (0.1~0.3 MPa) 氢气及 600~1 000 °C 条件下得到持续 30 d、300 W 以上 (COP>2.0) 的可控超热. 变化

输入功可控制超热水平, 目前已实现 2 kW·kg⁻¹ 的比超热^[11]. 日本岩手大学 Kawarada 也报告了 CNZ 粉末的超热 [27p-3].

神户大学的 Hasegawa 报道了不同煅烧处理过程对 CNZ-H₂ 系统超热的影响 [29a-3]. 前期工作已证明煅烧可活化样品^[1-2], 本次试验不同煅烧方法的影响, 结果表明先把煅烧炉预热到 450 °C, 放入样品后保温 60 h 的效果最佳, 超热大于 30 W(比超热为 500 W·kg⁻¹), COP>1.3.

神户大学的 Kanasaki 报道了他们与 Takahashi 合作在产超热的 CNZ 样品中用热解吸谱 (TDS) 联立质谱和核反应分析 (NRA) 两种方法确证反应产生了³He [26p-3]. 在一例实验中, 按 3 个 H 聚变为³He 放出的能量估计比超热为 $6.2 \times 10^4 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$, 比实际值 $5.5 \times 10^5 \text{ J} \cdot \text{g}^{-1}$ 小约一个量级, 也就是说如果把³He 作为含 H 系统唯一核产物, 也只能解释超热的 9%, 这意味着 H 聚变成³He 还不是主反应道^[12]. 笔者大胆推测, 考虑到前述 Cu/Ni 膜中的 O 产生, 可见 Cu/Ni-H 和 CNZ-H 系统的主要核过程类似于恒星中的氦燃烧, 而传统的 Pd-D 核过程更像是氢燃烧. 总而言之, CNZ 粉末-H₂ 系统还缺少更全面的核产物测量结果作为核过程质能关系的完整证据.

3.2 Pd-Ni/ZrO₂(Pd-Ni) 粉末-D₂ 系统

国民核生化灾害防护国家重点实验室肖无云组的赵辉等报道了 Pd-Ni(PN) 和 Pd-Ni-ZrO₂(PNZ) 纳米粉末在氯气氛下的超热 [28a-5]. 与前述日本学者方法相比, 主要改进如下: (1) 使用球磨法而非熔融纺丝法制备样品, 颗粒形态和尺寸更加可控; (2) 在空气中 500 °C 下氧化 12 h 预处理样品; (3) 用塞贝克量热法测量超热, 在 500 W 时不确定度只有 0.12 W. 结果表明: (1) PN 和 PNZ 纳米粉末都产超热; (2) 只有氧化预处理过的样品才能产生超热, 再次证明活化样品的重要性; (3) 产超热样品在把氯气更换为氮气时超热仍可维持一段时间, 应该是样品中残留氯所致, 也说明氯扩散是产超热的必要条件; (4) 变化温度可激发超热. 产生超热的条件为 300~500 °C, 200~2 000 Pa. PN 和 PNZ 粉末比超热分别为 1.8 kW·kg⁻¹ 和 0.18 kW·kg⁻¹.

美国的 Swartz 继续对 Nanor®型 ZrO₂NiPdD 器件进行研究 [29p-2]. 在聚烯烃塑料管内放入 30~400 mg 预充氯粉末, COP 在 $10^5 \sim 10^{10}$ 之间. 如输入为 1 μW, 输出 10 W, COP=10⁷, 比超热达 19.5 kW·kg⁻¹. 电压不超过 1 kV, 否则会出现大电流贯穿. 磁场有

助于提高 COP. 他的一个美国专利在 4 月份刚刚公开 (US12278016B1)【P1-7】. Swartz 还研究了氢杂质对载氘 Nanor® 器件的影响, 结果表明会抑制活性, 当氢含量超过 1/4 时会完全失活【P2-5】. Nanor® 型器件的 COP 虽然很高, 但电流很低, 未必能如愿实现商用, 但其结果对机理研究有重要参考价值.

3.3 Ti-H(D) 系统

意大利的 Gamberale 和 Modanese 在钛氢粉热循环过程中观测到比本底高 2 个量级的 D/H 同位素丰度比^[13]. 把 1 g TiH₂ 粉放入不锈钢管, 用残气分析仪 (RGA) 测量升温过程中逸出气质谱. 结果发现当温度达到 200 °C 时, 钛氢粉开始脱氢, 逸出气中可见 HD、D₂ 和 HDO 等显示 D 存在的质谱峰, 氚相对于正常氢天然丰度提高了 280 倍. 该结果意义重大, 说明含 H 体系中第一步核产物很可能是 D, 其次才是³He. Swartz 多年来也一直报道含氢体系中掺杂的氘参与了反应, 在 ICCF-9 中他报道用 Ni 电解水的超热正比于其中掺杂的重水含量^[14]. 在 ICCF-21 中报道 Ni 电解水产超热时逸出气质谱中 DH/H₂ 的 m_3/m_2 峰值比变小, 认为 D 参与核反应受消耗所以减少^[15]. 这些结果可以相互验证, 有助于理解含氢系统的 LENR 机理.

美国的 Fomitchev-Zamilov 报道超声空化矿物油与 1 mL 重水和几百毫克氘化钛粉混合形成的微乳液时观测到中子发射, 主要结论如下: (1) 在任何条件下, 无论多么极端, 用矿物油空化 D₂ 气泡或 D₂O 液滴都测不到中子; (2) 无 Ti-D 粉时无中子; (3) 当向反应器中引入氘化钛粉悬浮液时, 用³He 正比计数器观测到比本底高 10 000 倍的中子并与声学效应同步; (4) 在 6 个月时间里, 能够多次重复实验, 最长一次运行中持续产生中子达 1.5 h; (5) 只有当反应器内出现巨大的声波压力峰值 (几千 psi, 1 psi=6.89 kPa) 时, 才会出现中子^[16].

4 其他体系的核异常

4.1 超声空化

台湾师大和江陵关系企业的黄秉钧小组在前几届会议内容^[1-3] 基础上继续报道蒸汽压缩空化产生超热与核产物的结果【26p-6】. ICCF-25 上他们用质谱发现空化水中产生了¹²C、¹⁷O 和²²Ne^[3,17], 这次除用质谱继续证明该结果外, 还说明空化可分解水为氢气和氧气. 核磁共振 (NMR) 表明产生超热的空

化水中¹⁷O 信号比本底高 35%, 作者据此来生产 H₂¹⁷O 用于癌症治疗. 质谱测量还表明产生了¹⁸O, 焰色反应证明产生了 Ne.

4.2 晶格能量转换器 (LEC)

2023 年 Storms 报道过 Pd-Pt-D₂ 构成的 LEC 同时产生电流和超热^[3], 本届会议上法国的 Biberian 等也报道了电热同生的结果. 他们用水滑石通过活化/还原法制成纳米 Cu-Ni 合金嵌入无定型 Al₂O₃ 基体形成的粉末, 粉末盛在容器中作为工作电极, 顶部是悬空的不锈钢片对电极, 两者放在石英管中, 管内抽真空或充氢. 主要结论如下: (1) 能产生超热的粉末也可产生 LEC 电压; (2) 电压随加热和冷却循环而改变; (3) 电压时正时负; (4) 电压在真空和氢气中不同; (5) LEC 可用于判断能否产生超热; (6) LEC 行为与超热相似, 似乎是相同的现象; (7) 在 133 m 地下的测量表明, 没有 γ 射线产生【26p-1】. 该结果不仅再次证明了 LEC 中电效应的 LENR 属性, 也预示着 LENR 直接发电的潜在可能性.

4.3 束靶反应

斯洛文尼亚约瑟夫斯特藩研究所 (JSI) 的 Cvetinović 等在矿井实验室中验证了室温下金属中的 DD 聚变【30a-1】. 样品是 Zr-D 和 Pd-D 片, 用 Si 和 Ge 的信号符合来确定电子对产生.

第一轮实验在首都卢布尔雅那东部 26 km 处的 Sitarjevec Litija 矿井中进行, 持续 3 个月的测量结果表明 Zr-D 片上大于 3 MeV 的电子计数是 331 ± 18 , 无靶本底是 220 ± 15 , 两者相减是 70 ± 25 . 另一个结果是 511 keV 的特征 γ 谱线, 一个正电子湮灭可以产生 2 条 511 keV 的 γ 射线, Zr-D 靶上的计数减去空白本底, 结果得到计数 617 ± 115 , 高于 5σ . 经过计算, 可得到 DD 反应屏蔽能 $U_e = (400 \pm 10)$ eV.

第二轮实验在阿尔卑斯山少女峰山坳的地堡实验室进行, 宇宙射线计数率比前述矿井中还低 3 倍. 本底平均值为 2.3 CPD (counts per day, 每日计数), Zr 靶为 4.0 CPD, Pd 靶为 3.9 CPD. 扣除本底后 Pd-D 的电子计数为 31 ± 10 , Zr-D 的电子计数为 27 ± 9 ; Pd-D 中的自发聚变持续 2~3 d, Zr-D 中持续 5 d, 这是世界上第一例直接观测 D 扩散引起聚变反应的实验.

受美国 ARPA-E (Advanced Research Projects Agency-Energy) 的 LENR 项目资助的加拿大不列颠哥伦比亚大学 Berlinguette 与劳伦斯伯克利国家实验室的 Schenkel 等最近在 Nature 上发表了一篇

束靶反应论文^[18]. 用微波源电离氘气, 在0.3 mm 厚钯片和真空室之间施加-30 kV 电压, 产生富D⁺等离子体鞘, 并加速D⁺撞击钯膜, 发生核聚变. 钯片另一侧是电解池, 钯片作阴极还原重水为氘, 氘随后被钯膜所吸收, 可与真空侧的入射氘发生聚变. 用液闪测量D-D 反应产生的 2.45 MeV 中子. 当中子产率达到恒定值后, 开启电解池电源在Pd 片上加载来自D₂O 的额外氘. 结果电化学加载使中子产率增加了(15±2)%. 他们之前一直研究束靶反应条件下 D-D 截面的反常增加, 这次工作能在Nature 发表也是LENR 研究的一次小小胜利.

4.4 脉冲放电和各种商业等离子体装置

俄罗斯科学院高温联合研究所的 Klimov 等研究脉冲等离子体中的 LENR 【P2-17】. 他们在有机玻璃管口放几毫克 TiH_x, 施加高电压产生含(C₅H₈O₂)_n 离子、质子、纳米碳和 TH_x 颗粒的异质等离子体, 用4个铜柱压缩等离子体形成长寿命耗能等离子体粒团. 反应持续时间不到3 ms, 最大压力为0.2 MPa, 计算得到COP=2~4. 按1.2 mg 的 TiH_x 计算, 求得比超热为2 MeV (atom⁻¹). 光谱证实等离子体中产生了Li、Al、Ca 和 Zn. 去年他们还报道了在含NiH_x 的等离子体光谱中看到明显的Li线和X射线谱^[19], 与本次报道<2 keV 的X射线结论一致, 他们同时还测到低能中子流. Klimov 小组在2001年就已发表相关结果, 前几次ICCF会议上也有报道^[1-2].

国际凝聚态核科学学会秘书 Smith 介绍了欧洲公司的进展【26a-2】. 这些公司的共同点是或多或少使用等离子体放电, 输出有热、电、气三种产物, COP=2~50. 虽然公司出于商业考虑, 未公布太多技术细节, 但也有不少参考价值.

英国ENG8 是这些公司中规模最大的【27a-6】，CTO Back 介绍目前有水、空气、氢气和氢氧混合气(HHO) 四种能源模块. 水能源模块是俄罗斯 Leonov 最早发明的. 空气能源模块是空气等离子体电弧元件, 在600 °C、1.5 MPa 条件下运行, 2022年COP 达到18, 功率达到15 kW. 俄罗斯的 Klimov 小组参与了 HHO 能源模块的早期研发. 目前, ENG8 还支持 Egely 的小型氢火花放电系统, 可直接产生电力. 这些能源模块可扩展, 有小到运行笔记本电脑的10 W 微单元, 有大到运行蒸汽发生器的100 kW 系统. 预计能源成本比目前的可再生能源低10~15倍, 技术成熟度在4 到7 级之间(最高级别是9). 过去2年公司融资300万欧元, 将来计划再

融资3 000万欧元.

Biaco 公司是从ENG8 公司独立出来的, 其水模块目前达到输入8 kW, 输出51 kW, COP>6, 已申请英国专利(GB2604853B)【26a-2】. 德国嬗变能源公司的装置也以水为工质, 利用脉冲电场把水分解为 HHO, 产物有氦, 多年前就已申请中国专利(CN200480033801.2)【P1-16】.

此外, 意大利 FutureOn 公司研制了等离子体与粉末混合堆, 利用高频和高电压脉冲等离子体激发气态充氘活性纳米粉末, 10 g 样品可达到COP>2.0, 样品活性可维持10个月. 意大利普罗米修斯公司采用液相等离子体技术, 产生超热、元素嬗变、氢气和机械功. 以色列 Metatron 公司研制了20 kV 高电压外加磁场自约束重水等离子体小型聚变堆, 尺寸约台式机大小, 可直接产生电力, 已申请以色列专利(63/176/172)【26a-2】.

必须提及的是, 这些公司以及前述日本的三家公司的装置都具有高的COP, 尺寸可大可小, 安全性高, 虽然其工作机理尚不清楚, 但看起来商业化进程比预想的要快.

4.5 生物核嬗变

乌克兰基辅大学的 Vysotskii 等继续其近30年的生物核嬗变研究, 他们在ICCF-23 上曾报道生物体系中⁸⁸Sr+p=⁸⁹Y 和³⁹K+p=⁴⁰Ca 聚变反应. 最近他们注意到, 生理应激下白鼠甲状腺附近有大量氙气聚集, 最可能机制是发生了¹²⁷I+p=¹²⁸Xe 聚变. 为此他们用葡萄糖为能量来源, 由耐热厌氧菌-多极端嗜好菌组成共生体, 然后把这些共生体接种到密封的生物反应池中, 反应池内充入模拟厌氧环境的氙气. 在生物反应池的营养介质中添加碘和含2% D₂O 的蒸馏水. 营养介质中的主要化学元素是S、N、C、O 和D, 温度为20~22 °C. 培养7 d 后用便携式X射线荧光分析仪直接对顶部空气进行非侵入性测量, 结果表明初始碘浓度为10 mg·L⁻¹ 的生物样本光谱中出现对应于Xe 气的823~828 nm 峰. 在进一步分析中, 测到29.77 keV 的峰, 对应于Xe 的K α 峰, 而在未加碘对照组中, 未测到Xe. 该结果证明在生物反应池中确实发生了上述聚变.

5 方法与材料

5.1 AI 工具的应用

美国纽约大学的 Bari 和华盛顿大学的 Nagel 合作利用AI 工具辅助学者们研究 LENR, 目的有

二: 首先是应用现有算法构建和分析 LENR 文献, 得出有用结论; 其次是设计并部署新 AI 工具以支持并加速 LENR 研发和商业化. 目前进展有四: (1) LENR 文献数据集, <https://lenrdashboard.com/> 网站已收录 6 100 篇文献, 这些文献可显示主题建模与可视化、作者的合作网络、概念共现和趋势分析等内容; (2) 数据交互分析控制面板; (3) LENR 文献相似性检测工具 2.0. 上传一篇文章, 即可检索出类似文献; (4) 基于新的大语言模型集成方法的 β 版 LENR 聊天机器人 (LENR ChatBot 2.0, <http://lenrbot.com>), 主要方法是检索增强生成 (RAG) 架构和多种大语言模型结合处理问题【27a-2】. 此外美国 MIT 也开发了一个 LENR 文献分析网站 lenr.mit.edu/literature【30a-6】.

国民核生化灾害防护国家重点实验室的肖无云等用一种 AI 技术——因果网络——对金属-氢系统的 LENR 进行了分析【P2-7】. 因果网络是一种数学物理模型, 用于描述复杂系统演化过程中多要素间的逻辑关联, 使其工作机理从黑盒转变成灰盒或白盒. 它不仅可描述变量间的相关性, 还能解释变量间的因果机制, 从而为决策和干预提供依据. 因果网络的基本概念包含节点、有向边、路径以及有向无环图 (DAG), 它实现了数据与规律的紧密结合, 是研究复杂系统的重要工具. 作者绘制了 LENR 超热效应的因果网络示意图, 共有五个步骤代表的时间线. 由配方和质量界定的金属原材料构成工作起点, 经制备和活化处理后形成的结构特性决定了第二步的核活性环境 (nuclear active environment, NAE) 的数量. 通过充氢以及加热等物理激励, 在 NAE 中进一步产生核活性位点 (nuclear active site, NAS). NAS 一旦出现, 便可诱发 LENR 并产生超热.

5.2 量热学

法国的 Ruer 报道一种无损耗空气流量量热计. 目前这类量热计的最大问题是除了通过空气带走热量外还通过量热计外壁散热, 所以室温对量热影响很大. 作者在量热计外壁与内壁之间加装玻纤制作的蒸腾屏, 空气先通过蒸腾屏渗透进入放置反应器的内腔, 当渗透通过蒸腾屏的空气速度足够大时就抑制了量热计外壁的热损耗, 这样就保证热量都通过出口的空气带走. 采用该技术后热功率在 170 W 内与温差呈线性关系, 精度大大提高【29a-6】.

5.3 电磁测量

美国 Nagel 小组的 Choi 介绍通过测量电解池

中电噪声的方法来判断 LENR 的发生【P1-1】. 其思路是每个 LENR 反应会放出 MeV 级的能量, 这会在电路中产生很大的噪声, 测量这些电噪声总比量热容易. 因为即使是 mW 级热量, 也意味着每秒发生 2.6×10^8 次 $D+D=^4He$ 的反应, 所以要求很高. 他们的装置用电池供电以避免整流型直流电源的电噪声. 把装置放在接地的铜盒内, 用高速数据采集卡测量串联在电解池上电阻的信号, 持续测量 100 s. 该装置可在 1 Hz 带宽内测到小于 10^{-11} W 的噪声, 作者期望得到有意义的结果.

Nagel 小组的另一个工作是用矢量网络分析仪 (vector network analyzer, VNA) 研究电解系统【P2-6】. VNA 是一种测量电网的振幅和相位特性的仪器. 他们利用工作频率为 2 MHz 至 6 GHz 的 VNA, 将射频信号发送至 Pd-Pt-D₂O 电解池, 检测反射系数或传输系数随频率的变化. 测量的基本思想是 LENR 会伴随射频信号, 所以用 VNA 应可发现关联现象. 尽管作者还不确定测量结果的物理意义, 但估计其中的特征峰或传输系数的变化与电解过程中 Pd 材料和表面性质变化有关, 可用于表征电解系统.

5.4 材料

这次 Nagel 也提到材料问题, 材料需要有活性, 活性也有寿命. 活化样品有电化学、高温和放电三种【26a-1】. 笔者在 16 年前提出的这些观点现在终于成了行业共识. 此外, 材料纳米化是另一个共识, Storms 的 NAE 和 NAS 概念最后都归结到材料的纳米性质【28a-1】, 这从本文内容也可看出, 活性材料的发展有统一的规律和趋势.

国民核生化灾害防护国家重点实验室肖无云组的梁艳霞等用磁控溅射法制备 Pd 单晶膜并研究了其吸氢性能【29a-2】. 结果表明基底温度、溅射气压及功率对薄膜结构和形貌皆有影响, 测试表明 Pd 单晶膜的吸氢量是普通 Pd 膜的 2.2 倍. 因为薄膜具有微观可控性, Iwamura 小组正是在纳米膜表面发现了热点, 从而建立材料制作方法与活性位点之间的联系, 最终实现超热定位, 为机理的深入研究奠定基础.

6 总结

本届会议主要进展如下: (1) Iwamura 的 Cu/Ni 多层膜红外成像工作直接证明 LENR 发生在微米级区域, 局部温度可以超过 Ni 的熔点. 如果完成产

物检测并形成质能关系的完整证据链,膜-氢气系统很有希望实现科学突破。(2)因为含H系统测到D的产生,另一些含H系统中检测到³He,所以部分超热应该来自H+D= ³He+5.5 MeV反应,虽然目前证据零散,但看起来非常有可能。(3)传统核物理中融合反应(但无γ辐射)是LENR中非常容易出现的聚变类型。(4)在地下实验室测到Pd-D和Ti-D中高于本底的511 keV正负电子湮灭特征γ射线,证明仅仅氘的扩散即可引起核反应。(5)多家公司报告了COP=2~50的kW级乃至10 kW级产热装置,LENR的商业应用已曙光初现。

笔者参加本次会议最大的感受是,与LENR技术进步形成鲜明对比的是,直到目前为止,尚未出现第三方完全可重复且核产物与超热间起码符合质能关系的LENR实验。即技术已走在科学的前面,在科学技术史上这种事情只出现于十九世纪之前,在技术进步依赖基础研究突破的今日,LENR领域这一现象不仅反常,也一定预示着科学本身的巨大问题。而LENR已实现的大数值COP的超热已预示着它不可避免将引发一场能源革命,而对其他领域的冲击也将次第展开^[20]。

致谢:田中群院士和吕功煊研究员提出重要修改意见。

参考文献:

- [1] 张武寿. 第23届国际凝聚态核科学会议(ICCF-23)介绍[J]. 分子催化, 2021, 35(4): 390–394. [Zhang W S. Summaries of 23rd international conference on condensed matter nuclear science (ICCF-23)[J]. *J Mol Catal (China)*, 2021, 35(4): 390–394.]
- [2] 张武寿. 第24届国际凝聚态核科学会议(ICCF-24)介绍[J]. 分子催化, 2023, 37(3): 316–321. [Zhang W S. Summaries of 24th international conference on condensed matter nuclear science (ICCF-24)[J]. *J Mol Catal (China)*, 2023, 37(3): 316–321.]
- [3] 张武寿. 第25届国际凝聚态核科学会议(ICCF-25)介绍[J]. 分子催化, 2023, 37(6): 625–630. [Zhang W S. Summaries of 25th international conference on condensed matter nuclear science (ICCF-25)[J]. *J Mol Catal (China)*, 2023, 37(6): 625–630.]
- [4] https://iccf26.org/img_common/abstract/iccf26_abstract.pdf.
- [5] <https://www.youtube.com/playlist?list=PLU0NX-ST1yX8xZlgmL964jVySbDq2zpj>.
- [6] Gotzmer C, DeChiaro L F, Conley K et al. Li-Pd-Rh-D₂O electrochemistry experiments at elevated voltage[J]. *APL Energy*, 2023, 1: 036107.
- [7] Szpak S, Mosier-Boss P A, Gordon F E. Further evidence of nuclear reactions in the Pd/D lattice: Emission of charged particles[J]. *Naturwissenschaften*, 2007, 94: 511–514.
- [8] Iwamura Y, Itoh T, Yamauchi S, et al. Anomalous heat generation that cannot be explained by known chemical reactions produced by nano-structured multilayer metal composites and hydrogen gas[J]. *Jpn J Appl Phys*, 2024, 63: 037001.
- [9] Mizuno T, Yamasaki A. Successful development of prototype room-temperature nuclear fusion heater: 2000 W heat output with only 400 W input power[R]. 2025. https://coolfusion.jp/pdf/20250501pressrelease_en.pdf.
- [10] Jędrzejek T. Mizuno R20 replication[R]. 2022. <https://www.lenr-forum.com/attachment/22162-mizuno-steps-pdf>.
- [11] Takahashi A, Hachisuka J. New hydrogen fusion energy is practical technology—NHFE Tech Report [R]. Research Gate, 2025. DOI: 10.13140/RG.2.2.12804.0320.
- [12] Yamauchi T, Mori Y, Higashi S, et al. Detections of He-3 in Ni-based binary metal nanocomposites with Cu in zirconia exposed to hydrogen gas at elevated temperatures[J]. *Jpn J Appl Phys*, 2025, 64: 017004.
- [13] Gamberale L, Modanese G. An experimental study on deuterium production from titanium hydride powders subjected to thermal cycles[J]. *Symmetry*, 2024, 16(11): 1542.
- [14] Swartz M R, Verner G M, Frank A H. The impact of heavy water(D₂O) on nickel-light water cold fusion systems[C]. Beijing: *Proceedings of the 9th International Conference on Cold Fusion (ICCF-9)*, 2002: 335–342. <https://www.mendeley.com/catalogue/a5762a5e-13c2-3407-930b-9fb7f76f8c66/>.
- [15] Swartz M R, Ahern B, Haldemann C, et al. Excess heat is linked to deuterium loss in an aqueous nickel LANR System[J]. *J Condensed Matter Nucl Sci*, 2019, 29: 169–176.
- [16] Fomitchev-Zamilov M. Observation of neutron emission during acoustic cavitation of deuterated titanium powder[J]. *Sci Rep*, 2024, 14: 11517.
- [17] Huang B J, Pan Y H, Wu P H, et al. Water can trigger nuclear reaction to produce energy and isotope gases[J]. *Sci Rep*, 2024, 14: 214.
- [18] Chen K Y, Maiwald J, Schauer P A, et al. Electrochem-

- ical loading enhances deuterium fusion rates in a metal target[J]. *Nature*, 2025, **644**: 640–645.
- [19] Klimov A L, Brovkin V G, Pashchina A S. Stimulated detonation of a high-energy heterogeneous plasma formation created by a capillary erosive plasma generator and magneto-plasma compressor[J]. *Russ J Phys Chem B*, 2024, **18**(5): 1415–1421.
- [20] 杰德·罗斯韦尔. 冷聚变与未来 [A]. 毛智杰, 张武寿. LENR-CANR. org, 2022. [Rothwell J. Cold fusion and the future[A]. Mao Z J, Zhang W S. LENR-CANR. org, 2022.] <https://www.lenr-canr.org/acrobat/RothwellJlen gjubian.pdf>.]

Summaries of 26th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science (ICCF-26)

ZHANG Wushou

(Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

Abstract: The 26th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science (ICCF-26) was held from May 26 to 30, 2025, Morioka, Japan. 141 participants attended this meeting. 81 abstracts were accepted. The main progresses reported by this conference are as follows: (1) The infrared imaging of the Cu/Ni multilayer film by the Iwamura group in Japan directly proved that the excess heat occurs in the micron-scale area, and the local temperature exceeds the melting point of nickel. (2) The results of the increase in the D impurity in the H-containing system show that the ^3He detected in this type of system is likely to come from the H + D fusion. Nonradiative capture reactions that are difficult to occur in traditional nuclear physics are very likely to occur. (3) The 511 keV positron-electron annihilation characteristic γ rays above the background in Pd-D and Zr-D were measured in the underground laboratory, proving that deuterium diffusion alone can cause nuclear reactions. (4) 12 companies have reported kW-level or even 10 kW-level heat-generating devices with 2 to 50 times the input power, and the commercialization of condensed matter nuclear science has begun to show the dawn.

Key words: condensed matter nuclear science; low energy nuclear reaction; excess heat; nuclear transmutation; nonradiative capture reactions