

文章编号: 1001-3555(2023)03-0316-06

第 24 届国际凝聚态核科学会议 (ICCF-24) 介绍

张武寿

(中国科学院化学研究所, 北京 100190)

摘要: 第 24 届国际凝聚态核科学会议 (ICCF-24) 于 2022 年 7 月 25~28 日在美国加州硅谷举行, 约 300 名各国和地区代表参会, 收录摘要 91 篇. 本次会议主要进展如下: (1) 多个小组发现含有载氢材料的晶格能量转换器可直接产生电流; (2) 电化学共沉积法形成的钨阴极容易在电解重水时产生超热; (3) 脉冲气压、脉冲加热或脉冲电流可激发超热; (4) 嬗变核产物的种类严重依赖于物理化学条件, 最常见的核产物是 Na、Mg、Ca、Fe、Cu 和 Zn. 与以前工作相比, 学者们逐渐集中于重复性相对高的体系. 美欧政府已大幅支持该类研究, 预计不久可实现科学性验证.

关键词: 凝聚态核科学; 低能核反应; 晶格能量转换器; 超热; 核嬗变

中图分类号: O643.36

文献标志码: A

DOI: 10.16084/j.issn1001-3555.2023.03.011

1 会议简介

第 24 届国际凝聚态核科学会议 (ICCF-24) 已于 2022 年 7 月 25~28 日召开(<https://www.iccf24.org/>). 本次会议由美国加州硅谷的人类世研究所 (Anthropocene Institute) 承办, 在硅谷 Mount. View 的计算机历史博物馆举行. 会议别名固态能源峰会 (Solid-State Energy Summit).

世界各国及地区共约 300 名代表参加了本次会议, 其中现场参会者占一半, 以美欧学者为主; 远程参会者占另一半, 中、日、俄学者多远程参会. 会议共收录摘要 91 篇, 口头报告和墙报各占一半左右. 报告视频可在 YouTube 上观看 (<https://www.youtube.com/c/ICCF24xSolidStateEnergySummit/playlists>), 摘要集可从网上下载 (https://www.iccf24.org/_files/ugd/d37f88_29485442383545328a55eaf7c6b70616.pdf). 我们对上次 ICCF-23 介绍^[1] 进行延续, 相同之处不再重复.

会议上美国能源部先进能源计划署 (ARPA-E) 宣布将资助 5~8 个小组共约 1×10^7 \$ 以验证低能核反应 (LENR) 的科学性 (https://mn.gov/commerce-stat/IJA/DE-FOA-0002785_Exploratory_Topics_SBIR-STTR.pdf), 打破前期“LENR 科学性不足而无法获得承认, 无法获得承认所以缺少资助, 缺少资助所以得不到具有足够科学性的结果”的恶性循环. 此次能源部吸取了 Google 公司的教训, 明确要求每个小组

必须有资深 LENR 学者参加, 以发表盲审论文获得科学界承认为最终目的. 截止到 2022 年 11 月 15 号, 已有 39 个小组的代表报名. 会议信息显示, 美国国防部高级研究计划局 (DARPA) 已于 2021 年同时资助了海军和陆军两家科研单位独立重复 Pd 共沉积系统中的 LENR, 印象中这是 DARPA 第一次资助该类研究. 此前欧盟已资助所属国家的研究组 5.68×10^6 € (<http://www.cleanhme.eu/>).

在本次会议上, 国际凝聚态核科学学会 (ISCMNS) 授予 E. Storms 丰田实 (Minoru Toyoda) 金奖 (<http://iscmns.org/MinoruToyodaMedal.pdf>), 这是继 M. Fleischmann 于 2009 年 ICCF-15 上获此奖后的第二位获此殊荣者, 说明大家对他多年研究的认可. 另一个新闻是人类世研究所设立固态聚变奖 (Solid-State Fusion Prize), 给第一个能重复 LENR 实验的人. X Prize 创始人 P Diamandis 认为 LENR 应该奖励 1×10^8 \$, X Prize 以通过巨额奖项实现不可能的技术目标而著名.

会议还组织一个在线短训班, 全是 LENR 入门内容, 详见 YouTube 网站 (<https://www.youtube.com/channel/UCY5ZAbIS5LNSIAM001veh9w>).

ICCF-25 将于 2023 年由波兰什切青大学 (USZ) 举办.

现在分不同系统介绍本次会议的技术内容. 文中用【A#】的形式表示其在摘要集中的页码, 如

收稿日期: 2022-12-23; 修回日期: 2023-02-01.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (#21153003, 20973185)(Project supported by NSFC(#21153003, 20973185)).

作者简介: 张武寿 (1968-), 男, 博士, 副研究员, E-mail: wszhang@iccas.ac.cn, Tel: +86-10-62554276 (Zhang Wu-shou (1968-), male, Associate Professor, E-mail: wszhang@iccas.ac.cn, Tel: +86-10-62554276).

【A27】表示摘要集电子文档第27页,笔者评论多在【A#】之后.笔者综合摘要、报告视频、墙报和相关文献而写成此文,特此说明.

2 晶格能量转换器 (LEC)

在本次会议中晶格能量转换器 (Lattice Energy Converter, LEC) 受到额外重视,第3天下午有4场报告集中讨论 LEC,另有3篇相关墙报. LEC 一般是两个同轴金属管,内管外表面沉积载氢材料作为工作电极,外管是对电极,中间充入氢(氘)气. LEC 类似于核电池,可直接产生电流. 2009年罗马 ICCF-15 上笔者第一次见到法国 F. David 报道类似装置,2021年厦门 ICCF-23 上美国 Inovl 公司报道参与了该技术研发,器件改进后命名为 LEC,其中一个已连续工作8年.

Inovl 公司的 F. Gordon 和 H. Whitehouse 报道了 LEC 研究最新进展. 经验表明只有在水溶液中电化学沉积形成的载氢材料作为工作电极才能产生电压. 把 Pd 镀在紫铜管外,对电极是黄铜管. 使用氢气和氘气都测得电压,稳定值达 0.7 V 以上. 充入空气时也有电压,但随时间衰减,一般可维持数天,应该是脱氢所致. 当温度升高时,电压相应提高【A27】. 他们已建立数值模型研究其物理化学过程. 初步结论是气压越高,离子密度也越高. 最佳输出功率取决于离子种类,如果以电子为主,则小电极间距有利;如果是质子和 α 粒子,则大电极间距有利【A98】.

已有3个小组复制出 LEC. 美国洛斯阿拉莫斯国家实验室 (LANL) 退休的 G A Erickson 与 Inovl 公司合作,重复了 Pd-H LEC,使用空气时电压超过 0.35 V【A60】.

法国 J P Biberian 小组用 Pd-Ag 棒与不锈钢管封闭氢气(氘气)时无任何效应,但用钯盐溶液在 Pd-Ag 棒上电沉积一薄层 Pd 膜后产生了直流电,开路电压达 0.33 V,最大输出功率达 16 nW. 把 Pd-Ag 棒换成面积更大的同轴不锈钢管后输出功率增加了2个量级,最大达 4.5 μ W. 他们也发现温度升高,输出增加. 反应活化能为 0.23 eV/atom. 主要问题还是输出电压和功率不稳定,多数随时间衰减【A12】.

意大利的 A Di Stefano 利用两个同轴黄铜管,工作电极只用黄铜管时无电压和电流,只用铁棒电解吸氢也无效应. 他发现只有用氢与铁共沉积形成的工作电极方可产生电压和电流. 分别用黄铜、铝

和紫铜管作对电极,结果发现用铝时电压变成正值. 因此 A Di Stefano 认为所测电势只是不同材料间电极电势或功函数的不同,主要效应是气体的电离,而所测电势只是气体电离后的次级效应,即电流更具有代表性. 因气体离化需要 10~20 eV 的能量,已超过化学能,所以该效应是非化学的. 用盖革 LND712 计数器未测到核辐射,说明不是普通的 α 、 β 和 γ 辐射,或者辐射能低于 1 keV. 总而言之,实验重复性很好,装置类似于核电池【A20】.

对于 LEC, E Storms 在 Google CMNS 论坛上发言,估计电离辐射是次级效应,就是薄膜表面发射出的带电粒子电离了气体,可用类似于气体正比计数管的方法表征. 笔者认为是否为次级效应还可通过热测量来部分解答,即把 LEC 放入量热计中,热功率远大于输出电功率时肯定是次级效应,否则就是初级效应,当然,这对量热计灵敏度有很高要求.

1995年乌克兰的 Shmal'ko 等^[2]就已经综述了类似结果,氢从钯等过渡金属中放出时伴随有质子以及少量的氢分子离子 (H_2^+) 发射,当时他们就想到该效应与 LENR 的关系.

总而言之,载氢金属薄膜可以电离气体并产生电流,本身类似于核电池,电压随温度、电极种类、负载等条件而变化,实验本身重复性高,但稳定性差. 该器件中发生的过程需要 LENR—即电、热、核辐射与核产物等的关联测量,也需要物理化学—如在不同气压下研究载氢金属表面离子发射过程、气相中离子输运模拟等的多方面研究. 这些过程明确后,其是否具有能源利用前景也就清楚了.

3 Pd-D(H) 系统

长期研究 Pd-D 系统的 E Storms 这次主要介绍他的唯象理论,他认为在核活性环境 (nuclear active environment, NAE) 中的特定位置形成核活性态/点 (nuclear active state or site, NAS)【A44】. NAE 是物理间隙,把各种高熔点氧化物颗粒溶入 Pd 形成 NAE 可增强 LENR,他说 Pd 吸 D 时膨胀产生的缝隙也是一种 NAE,预言可在金属上刻画纳米槽来形成间隙,实现 LENR. NAS 是多个电子与多个氢核形成的团簇,类似于 K Shoulder 提出的 EV. NAS 一旦形成就会发生核反应,生成高能离子和电子,辐射光,最后反应能以热量的形式耗散在周围材料中.

3.1 Pd-D₂O 系统

美国的 M H Miles 回顾了 Pd-D₂O 电解系统中

^4He 的测量结果, 当时只测到 ^4He , 完全没有 ^3He . 轻水电解系统中则没有任何 ^4He . 迄今为止, 已有 15 个小组证实了 Pd-D 系统中主要核产物是 ^4He 【A80】.

我们用 Miles 提供的 Pd-B 柱电极重复出明显超热, 当输入 3 W 时超热为 0.2 W(或 0.6 W/cm^3). 此外, 我们用开放电解法对电极进行预处理, 结果表明, 未处理的超热很小, 前两次预处理可显著活化电极并产生超热, 但预处理次数太多反而无效, 说明活性样品的预处理次数是有限的. 回顾以前很多 Pd 样品的超热产生规律, 发现该结论具有普适性【A99】.

美国 P A Mosier-Boss 和 L P Forsley 讨论了以前 4 个小组的 Pd-D 共沉积电解实验中的氦测量结果, 有 3 大特点: (1) 液相和气相中的氦产生是猝发式的; (2) 低含氦电解液中氦含量增加, 高含氦电解液中氦含量减少; (3) Pd 固体阴极实验中未观测到氦消失(电解会导致氦富集). 作者结合其他人的 CR-39 核径迹测量结果和可能消耗氦的传统核反应后认为只有 DD 反应产生的 3 MeV 质子继续发生次级 pt 反应可以解释实验结果, 不太可能是 $^3\text{H}-^7\text{Li}$ 和 $^3\text{H}-^{\text{Pd}}$ 反应【A14】. 虽然其解释可商榷, 但氦浓度变化的特点应该可为机理研究提供参考.

美国海军水面作战中心印第安黑德分部(NSWC IHD)的 O Barham 介绍了 HIVER($^2\text{H}-\text{Pd}-\text{Li}$ 通用建模与结果评估)项目进展, 他们从 2019 年开始遵循 Mosier-Boss 和 Szpak 小组的技术路线(参见美国专利 8,419,919B1), 用阴极共沉积法形成 PdD_x , 外加磁场, 用 Seebeck 量热法测到明显超热; 用 CR-39 测到粒子径迹, 粒子能量为 1~20 MeV; 在实验开始 0.5~1.0 h 左右测得突然出现的射频信号; 但用 ^3He 正比计数器未测得明显高于本底的中子计数【A6, A58】.

3.2 Pd-D₂(H₂) 系统

DARPA 资助陆军寒区研究与工程实验室(CRREL)重复了 ICCF-19 上 U. Mastromatteo 和 ICCF-23 上 J P Biberian 的激光照射 Pd-H 激发核嬗变的工作. 使用 Pd 锭和氢气, 用红绿蓝 3 种颜色的激光照射 9 d 后, 发现只有红光和蓝光照射点可识别. 与 Mastromatteo 和 Biberian 的结果相比, 3 者都产生了 Na; 而 Biberian 和 CRREL 都产生了 Mg 和 Ni; Mastromatteo 和 CRREL 都产生了 Si、Al 和 Ca; 但只有 Biberian 产生了 Fe【A7】. 按照宇宙元素演化理论, 铁是放热核反应的终点, Pd 吸收 H 裂变的

最终产物只有反应到 Fe 才是放出能量最多的, 看起来高激光功率密度有利于嬗变到最稳定的核产物. 此外, Mastromatteo 发现红光效应比蓝光强, 而此处是红光和蓝光有效应, 绿光却无效应(至少是很微弱), 如能证实激光波长的影响, 对机理研究有很大意义.

美国 G H Miley 小组的 A Ziehm 介绍用 CR-39 测量 Pd-D₂ 放电过程中产生的 α 粒子. 各种信息都表明 Pd 阴极发射的 α 粒子能量是 $138 \pm 21 \text{ keV}$, 只有 $d(d,\gamma)^4\text{He}$ 反应产生的 80 keV α 粒子最接近测量结果. 笔者认为这很奇怪, 现在普遍认为 $2\text{D} \rightarrow ^4\text{He}$ 反应产生的能量主要表现为热量, 实验上从未测到 23.85 MeV 的 γ 射线, 但现在测到了与 23.85 MeV 光子动量相同的 α 反冲核, 那就意味着产生了 γ 射线, 但从未有人报道过该类结果.

印度的 P Ramarao 继续研究 Pd-H₂ 系统的超热, 这次使用 3 种独立方法验证超热的存在, 产生超热的条件是吸氢(氘)金属, Ni、Pt 和 Ti 都有效, Pd 最好【A87】.

4 Ni-H 系统

意大利的 F Righes 等用 Ni 阴极丝脉冲电解 NaHCO_3 或 KOH 轻水溶液, 用液闪探头得到的光子谱与氦 β 衰变的一致. 把电解液吸出, 放在盒子中, 用塑料薄膜盖上, 结果打开薄膜后计数增加, 说明逸出气中有氦. 把电解液拿到其他实验室, 测到与氦类似的 β 射线谱, 对照组无氦产生. 用液氮冷却的锗探头靠近电解池未测到 $> 20 \text{ keV}$ 的 γ 射线, 但在气体中测到峰值为 7.7 和 16.5 keV 的 X 射线. 用盖革-米勒计数器测到与电解过程同步的显著计数, 也说明电解产生了辐射. 用 CHM-10 正比计数器未测到显著的中子计数. 此外还发现死后热, 即停止电解后温度长时间高于环境. 电解液中未测到氦、氦和其他元素. 实验重复率 100%【A42】.

5 合金-H(D) 系统

5.1 Pd-Ni-Zr 和 Cu-Ni-Zr 粉末系统

日本 Technova 公司的 M Hasegawa 报道了 D 系统(应该是 C 系统的升级版)中 CNZ(即 Cu-Ni-Zr)在氢气中的超热, 材料反复煅烧后进行量热实验. 最新进展是量热的同时监测气压推算 H/Ni 比, 结果发现加热几分钟后材料迅速吸氢并吸热, 然后很快放热, 在 30~70 h 内 H/Ni 持续增加并远大于 1, 超热

稳定在 25~35 W(或 200~280 W/kg). 再后面超热进入下降期. 只有 Ni 显著吸氢时才有超热. 他们还发现超热减小后, 打开遥控阀促使样品快速脱氢可再次激发超热【A31】. A Takahashi 用自己的 4H/TSC 理论解释该结果【A46】.

日本早稻田大学的 T Kobayashi 和 K Naitoh 等的工作仍是去年 ICCF-23 报道的延续, 使用 Technova 公司提供的 PNZ(即 Pd-Ni-Zr) 合金粉, 充入氢气, 初始温度 95~240 °C. 在装置上加装电磁阀实现气体脉冲流, 结果表明有脉冲流时的温升 35.0 °C 高于无脉冲流时的 12.4 °C【A72】.

西安秋然实验室张航研究了 Ni-Pd 合金粉末在氢(氘)气下的超热, 结果发现随着粉末氧化次数增多, 超热逐渐增大, 最大为 2 W(或 10 W/kg), 出现在第 3 次氧化以后. 该结果验证了 Technova 公司多次氧化对超热的影响【A17】.

法国 J P Biberian 等研究了各种纳米镍合金(如 Cu₁Ni₇) 和氧化物载体, 结果表明温度对超热有影响. 他的经验是因为 Ni 吸 H 是吸热反应, 所以需要升温到 200 °C 以上, 此外表面氧化物阻止吸氢, 需要首先去除. 这两个问题可用高温氢处理同时解决【A11】.

泰国的 D Gruenberg 和 T Mizuno 讨论了量热方法对超热放大的影响. 他们开发出烤箱式量热计, 内部温度更高也更均匀. 反应釜在 593 °C 时超热大于 200 W(或 0.22 W/cm²). 超热与温度呈指数关系, 超热正比于催化剂面积. 计划最终实现 1~10 W/cm² 的超热, 用多片催化剂联合实现家用热电联供装置【A29】. 使用的催化剂应该还是 Ni 网蹭 Pd 微粒.

美国 G H Miley 小组报告了触发加压纳米颗粒中产生 LENR 的方法, 材料是富含缺陷的 Pd-Zr 和 Pd-Ni-Zr 合金纳米颗粒, 最简单的触发方法是用 600 °C 以上的高温, 但超热不大. 另一种触发方法是用线圈加热, 通过 ns 级 kV 电磁脉冲来触发【A86】.

5.2 Cu/Ni 和 Pd/Ni 膜系统

日本东北大学的 T Itoh、Y Iwamura 和 J Kasagi 分别报道其最新研究进展, 还是用 Ni 基底 Cu/Ni 纳米多层膜, 在 250 °C 条件下充分吸氢, 加热并抽真空, 可观测到热猝发. 用中红外、近红外和可见光 3 种谱仪测量光辐射, 结果表明光谱变化得出的超热与热电偶测温得到的一致, 但不同猝发热情况下, 可见光与近红外光谱强度有区别, 说明不同热猝发的性质不同【A33】. 他们在相同输入功率条件下, 比

较氢气、氘气和真空 3 种情况下的热辐射光谱, 结果发现氢氘结果相同, 但都比真空条件下辐射强度提高, 也说明产生了超热且氢氘差别不大. 他们还测量了 H 和 D 产生超热的活化能, 都是 0.29~0.36 eV/atom【A35】. 在实验中, 他们有意变化加热功率, 结果激发出 4.8 kJ, 峰值约 10 W 的超热【A34】.

他们原计划测出氢氘区别, 因为 *pp* 反应截面比 *dd* 反应截面低很多, 但实际差别不大. 作者设想 *dd* 反应产物是 ⁴He, 每个 D 放出 12 MeV; 而 *pp* 反应产物是 D, 每个质子放出 0.8 MeV(这还不考虑中微子带走部分能量). 如果两者热功率一致, 意味着氢反应率是氘的 15 倍. 当然, 作者说这需要用气体质谱测量 ⁴He、³He 等产物来确定反应机理. 下一步计划是测量 X 和 γ 来确定是否存在 511 keV 的特征谱【A35】. 我们用 Pt 电解 D₂O 和 H₂O 都发现数量相近的超热, 因此, H 和 D 具有相同的热功率对于机理探索有指导意义.

日本岩手大学的 S Narita 小组在 Pd 箔上用 Ar 离子束蚀刻成精细表面结构, 然后沉积 100 nm 厚 Ni 膜, 在 H₂(D₂) 气氛中吸 H(D) 到饱和, 抽真空的同时在样品上通入电流刺激 H(D) 扩散, 结果观察到热猝发, 最高超热到 1 W(或 8 W/g), 重复性好【A82】. 该小组结果与东北大学的类似, 都把三维颗粒扩展到二维复合膜, 有利于机理深入.

5.3 康铜丝

意大利的 F Celani 等报道了康铜 (Cu₅₅Ni₄₄Mn₁) 丝-H₂(D₂) 系统中的超热, 该丝需要用低功函数材料修饰, 用直流加热可激活新样品. 还发现从最高功率开始的冷却循环期间出现的超热与最高功率持续时间有关. 获得氢气氛下超热为 5 W(或 11 W/g), 氘气氛下超热为 9 W(或 20 W/g). 还发现超热正比于丝上的电压降【A16】.

加拿大湖首大学的 D Alexandrov 重复了 Celani 的实验, 把康铜丝绕在氧化铝棒上, 充入氘气, 电加热康铜丝, 共进行了两类工作: (1) 在初始温度 950 °C 下进行了几个可重复实验, 在导线与注入氘气相互作用开始后, 导线发生爆炸性蒸发, 释放的瞬时超功率大于 3.4 kW(或 2.3 kW/g), COP = 15(COP 即能效比, 输出功率与输入功率比值), 未测到辐射. (2) 在初始温度 660~690 °C 范围内进行了许多可重复实验, 康铜丝温度在氘气注入约 8 s 后开始升高, 并在约 25 s 达到 300~316 °C 温升. 超功率为 158~179 W(或 105~119 W/g), COP = 2.7, 也未测到辐射【A3】.

6 束靶反应和核嬗变

6.1 束靶反应

波兰什切青大学 (USZ) 的 K Czerski 小组致力于研究固体中低能束靶核反应截面异常. Czerski 认为 dd 反应产物是 ^4He 复合核阈值共振的结果, 共振宽度低于 1 eV, 因宽度太窄, 以前实验未观测到. 室温附近的固体中主要以 ^4He 反应道为主【A19】.

USZ 的 N Targosz-Slecza 等报道了用加速器研究 Zr 和 Ni 基合金中的轻核 LENR, 认为晶格缺陷可以改变电子能带结构, 导致电子有效质量增加, 屏蔽效应增强. ZrD_x 中 dd 反应屏蔽能约为 100 eV, NiBeD_x 中约为 450 eV, NiLiD_x 中约为 300 eV【A47】.

USZ 的 M Kaczmarzski 等介绍了低能离子加速器的最新进展, 安装减速透镜后把离子能量降到低于 1 keV, 同时保持最高达 1 mA 的束流, 靶温度从液氮到 1 000 °C 可调. 该小组的一个有趣结果是 PdD_x 片中 $\text{D}(^{19}\text{F}, p)^{20}\text{F}$ 反应, 硬 Pd 片中屏蔽能为 18.2 ± 3.3 keV, 而软 Pd 片和 CD_2 靶中无屏蔽能, 说明晶格应力或缺陷对核反应确实有影响【A70】.

美国麻省理工学院 (MIT) P Hagelstein 小组用 Ti 片进行束靶激发实验, 用 D 束注入 Ti 形成 TiD_x , 再用 Ar 束激发 THz 振动, 观测到 10 MeV 粒子【A23】.

6.2 其他体系的核异常

印度理工学院坎普尔分校 (IIT Kanpur) K.P. Kajeew 小组继续其轻水电解核产物测量. M Kumawat 等用的阴极分别是黄铜、青铜、焊丝和银钎焊合金. EDS 测量表明黄铜和青铜上都产生了显著的 Fe, Cu 含量减少, Zn 含量增加. 在青铜电极上, Sn 比 Cu 减少更显著. 焊丝上产生了 Cu; 银钎焊合金上产生了 Fe, Zn 含量显著增加【A38】. 与 ICCF-23 上已报道结果类似的是核产物集中于 Fe、Cu 和 Zn 这 3 种金属上. Fe 是反应物时产物有 Cu; Cu 是反应物时产物有 Fe. 从核结合能的角度而言, Fe 和 Ni 是单位核子结合能最高的金属, 核产物集中在这些金属附近肯定对核反应机理有指示作用. 该组的 S S Lakesar 等报告用半波整流器电解轻水, 测量嬗变核产物. 阴极是镍, 电解结束后用 EDS 分析发现电极柱体上主要产物是 Cu, 电极顶端主要产物是 Au.

俄罗斯 A Klimov 等在水涡流等离子体反应器中使用镍等金属电极进行脉冲重复放电, 得到 2~

3 kW 的超热 ($\text{COP} = 3\sim 4$). 通过 EDS、光谱和软 X 射线谱发现沉积物中含有 C、Al、Si、S 等轻元素和 Cu、Zn、Fe 等较重元素【A36】. 其嬗变核产物与其他系统结果一致.

台湾大学的黄秉钧小组继续报道以前介绍过的蒸汽压缩空化产生超热的结果, 这次 COP 从 ICCF-23 的 1.9 增加到 2.39~2.55, 在破裂的铜管上测到 3~4 倍的 C 含量升高, 10 倍的 O 含量升高, 1.4~4.4 倍的 Fe 含量升高. 超热来自两相流热交换系统中的超声空化【A67】.

7 总结

Storms 在 Google CMNS 论坛上明确说过, LENR 重要的是结果可控可重复, 而不是观测到新奇效应和大超热, 这次《ARPA-E 资助公告》也明确要求解决其科学问题, 所以优先努力方向还是实现第 3 方可重复的实验, 结果要有明确的超热与核产物对应关系.

关于实验的重复性, 现在很多学者终于意识到样品必须提前活化, 否则观测不到显著的效应. 已证实的活化方法有电化学共沉积、氧化煅烧和高温预处理等. 超热出现需要激发, 多个小组已经证实用各种电、压力和温度脉冲方法可激发出超热. 嬗变核产物的种类严重依赖于物理化学条件, 最常见的核产物有 Na、Mg、Ca、Fe、Cu 和 Zn.

总而言之, 与 6 年前 ICCF-20 时相比, 这次会议的最显著变化就是 LENR 研究逐渐集中于重复性相对高的几个实验体系, 这些体系的重复性和效应显著性也将很快逼近质变的临界点. 笔者可以大胆地预言, 5 年内 LENR 一定会突破, 确立其科学地位.

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] Zhang Wu-shou(张武寿). Summaries of 23rd International Conference on Condensed Matter Nuclear Science (ICCF-23) (第23届国际凝聚态核科学会议(ICCF-23)介绍) [J]. *J Mol Catal(China)*(分子催化), 2021, **35**(4): 390-394.
- [2] Shmal'ko Y F, Lototsky M V, Klochko Y V, et al. The formation of excited H species using metal hydrides[J]. *J Alloys Comp*, 1995, **231**(1/2): 856-859.

Summaries of 24th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science (ICCF-24)

ZHANG Wu-shou

(Institute of Chemistry, CAS, Beijing 100190, China)

Abstract: The 24th International Conference on Condensed Matter Nuclear Science (ICCF-24) was held from July 25 to 28, 2022 at Mout. View, CA, USA. About 300 participants from several countries or regions attended this meeting. 91 abstracts were accepted. The main progresses of this conference are as follows: (1) Several groups found that hydrogen-carrying materials as working electrodes can directly generate current in a lattice energy converter filled with H_2 ; (2) The palladium active layer formed by the electrochemical co-deposition method is easily to produce excess heat in electrolysis of heavy water; (3) Pulsed gas pressure, pulsed heating or pulsed electric current can simulate excess heat; (4) The types of transmutation nuclear products depend heavily on physiochemical conditions. The most common nuclear products are Na, Mg, Ca, Fe, Cu and Zn. Some systems with relatively high reproducibility are focused on research in recent years. Governments in the US and Europe have begun to significantly support such area. It is expected to achieve scientific breakthroughs in the near future.

Key words: condensed matter nuclear science; low energy nuclear reaction; lattice energy converter; excess heat; nuclear transmutation