

综合极端条件实验装置——高温高压大体积材料研究系统建设*

胡阔¹, 由存¹, 刘闯¹, 姚迪¹, 王星淋¹, 王志文¹, 陶强¹, 杨新一¹,

何志¹, 朱品文¹, 刘兆东¹, 邹勃¹, 崔田^{*1,2}, 周强^{*1}, 刘冰冰^{*1}

(1. 吉林大学物理学院, 高压与超硬材料全国重点实验, 综合极端条件高压科学中心, 吉林 长春 130012;

2. 宁波大学高压物理科学研究院, 浙江 宁波 315000)

摘 要: 大腔体压机 (LVPs) 因能合成较大的样品尺寸, 产生液体传压环境, 实现变形、快速加压以及原位测量等功能, 在高压科学特别是地球科学、凝聚态物理、材料科学、化学和生物学等领域的研究发挥着重要作用。吉林大学成功搭建了综合极端条件实验装置 (SECUF) 高温高压 (HPHT) 大体积材料研究平台, 该平台集成了不同类型的 LVP 子系统, 包括固体环境、液体环境以及非平衡环境高温高压极端条件实验子系统。本文详细阐述了各子系统的搭建过程, 并综述了不同环境高温高压极端条件子系统的功能与特性。利用固体环境高温高压极端条件实验子系统搭建的 belts 式装置, 可在 20 GPa 压力下实现大体积样品的制备, 腔体体积达 1000 mm³。利用液体环境高温高压极端条件子系统搭建的活塞-圆筒型大腔体压机, 可以在最大 10 μ L 的样品腔内实现 1.8 GPa、1000 K 的高温高压加载和原位光谱测试。利用非平衡环境高压极端条件子系统搭建的可控快速加载大腔体压机, 可实现 20 ms 内 10.2 GPa 的快速压力加载。简要回顾了使用不同 LVP 获得的一些典型实验结果, 以说明这些压机的应用场景与优势。总之, 本文所描述的平台有望为高压科学研究及高压技术创新做出重要贡献。

关键词: 大腔体压机; 固体环境; 液体环境; 非平衡环境; 高温高压平台

中图分类号: O521.1; O521.2; O521.3

文献标识码: A

大腔体压机 (LVPs) 广泛应用于压力对材料结构与性能的研究^[1]。利用大腔体压机, 可以在几 GPa 至 30 GPa 的压力范围内, 以及超过 2300 °C 的高温条件下, 合成并表征相对较大 (毫米级) 的样品。自 1958 年 Tracy Hall 发表关于多顶砧高压装置的论文以来^[2], 多顶砧压机的发展取得了持续进展。例如, 采用固体传压介质的大腔体压机主要应用于材料合成与行星科学研究 (尤其是地球科学领域)。而采用液体传压介质的各类高温高压装置, 则在纳米材料与功能材料的合成、水合能研究、液态行星结构探索以及生命起源研究等方面做出了重要贡献。具备快速加压的非平衡态大腔体压机, 在时间分辨率上架起了静态高压与动态高压之间的桥梁, 在研究加载速率对材料性能与结构的影响具有重要价值。在空间非平衡加载方面, 利用形变加载大腔体压力, 不仅可以研究地球深部的应力环境, 还能够在显著降低材料制备的压力。当前, 为了满足日益增长的极端条件研究需求, 多种新型大腔体压机正处于设计或建造阶段。

*收稿日期: 2026-06-25; 修回日期: 2026-07-25

基金项目: 教育部基础学科和交叉学科突破计划 (JYB2025XDXM311); 吉林省重大科技专项 (20240211002GX, SKL202602010JC); 国家自然科学基金 (52302043); 国家重点研发计划 (2023YFA1406200)

第一作者: 胡 阔 (1991—), 男, 博士, 研究员, 主要从事高温高压下凝聚态物质的性质研究. E-mail:

hukuo@jlu.edu.cn

通信作者: 崔 田 (1964—), 男, 博士, 教授, 主要从事超高压等极端条件对物质结构与性质的影响研究. E-mail:

cuitian@nbu.edu.cn

周 强 (1969—), 男, 博士, 教授, 主要从事高温高压弹性性质研究. E-mail: zhouqiang@jlu.edu.cn

刘冰冰 (1967—), 女, 博士, 教授, 主要从事碳材料合成及其高压结构研究. E-mail: liubb@jlu.edu.cn

目前固体传压介质的腔体压机, 通常可根据压砧所形成腔体的形状分为三类, 即立方体腔、圆柱体腔和八面体腔。立方体多顶砧压机包括国产铰链式六面顶压机和 DIA 压机 (6/6-6 或 6/6-8 模式) 前者因其成本低、工作效率高, 已实现超硬材料的工业化生产。圆柱体两面顶压机, 因其系统结构简单, 维修率很低, 大型化容易, 腔体内部压力高且温度均匀, 在金刚石、cBN、宝石级金刚石及 PCD 复合片等产品的研发和生产广泛应用。采用八面体传压介质的腔体压机 (6-8 模式) 通过两级增压方式实现超高压条件^[3-6]。随着压力的升高, 高压腔体的体积相应减小, 不利于大尺寸样品的合成。通过提高腔体压机吨位, 能够获得更大的样品尺寸, 已有多台具有 60 MN (6000 吨) 或 50 MN (5000 吨) 高加载力的腔体压机被建造, 例如日本爱媛大学和德国拜罗伊特大学的设备^[7, 8]。然而, 进一步提高高压腔体尺寸的能力有限, 尚不足以实现大尺寸样品的合成。

除了采用固体传压介质的压机之外, 多年来还发展出了多种具有重要科学与工业价值的液体传压介质大体积压机。液体高压设备的应用与开发可追溯到十九世纪初工业上合成氨的研究领域。目前, 能够产生的压力仍在几十兆帕, 远低于科学研究的实际需求。在液体环境中实现更高的压力与温度, 可拓展对新型材料、液态行星结构以及生命起源等领域的研究范围。

除了提供静水压力的腔体压机之外, 能够产生非平衡环境的大体积压机也在不断发展。例如, Barton 和 Stacey 实现了在 100 毫秒内从常压跃升至 0.1 GPa 的压力跳变^[9], Woenckhaus 等人则在 5 毫秒内实现了 0.7 GPa 的跃升^[10]。中国西南交通大学的研究团队采用大容量气囊式蓄能器, 结合活塞-圆筒型与 Bridgman 型压砧, 在大体积压机中实现了快速压缩 (20 毫秒内达 5.2 GPa)^[11]。然而, 现有设备在压力极限和升压速率方面, 仍无法弥补动态冲击压缩与静态压缩之间的差距。此外, 剪切环境可通过 D-DIA 型压机 (SSRF、APS)^[12]、六柱塞压机 (DESY、BGI、ChiPs)^[13-15]、T-cup 型压机 (APS)^[16]或旋转式 Paris-Edinburgh (PE) 压机等压力发生装置实现, 也可通过采用 45 倾斜角度的组装部件来实现^[17, 18]。尽管这些压机各有优势, 但高压加载能力相对较低, 且腔体尺寸较小, 难以实现大尺寸、高压加载。

尽管过去一个世纪以来, 腔体压机及其相关仪器设备和原位测量技术均取得了长足发展, 高压技术的突破仍面临诸多挑战。此外, 由于不同类型的大腔体压机分布于不同的研究机构, 实现技术的协同发展与开展跨学科研究仍面临挑战。位于中国吉林大学的综合极端条件实验装置-高温高压大体积材料研究系统, 旨在满足对具备不同能力、不同类型大腔体压机日益增长的需求。

本文介绍了综合极端条件实验装置-高温高压大体积材料研究系统三个腔体压机子系统的设计与建设情况: 固体环境高温高压 (SEHPHT) 站、液体环境高温高压 (LEHPHT) 站以及非平衡环境高温高压 (NHP) 站。图 1 为综合极端条件实验装置-高温高压大体积材料研究系统实验大厅照片, 各子系统的功能和特点总结于表 1。以下详细阐述了各子系统的优势、设计目标及研究重点, 并展示了部分已报道的结果, 以说明各类大腔体压机在不同研究领域的作用。用户可根据实验目的选择最适合的设备, 各子系统的负责人将根据需要提供用户培训及实验协助。该平台配备一系列专用的样品加工、表征及数据分析实验室的基础设施, 以确保高温高压实验的顺利开展。因此, 高温高压大体积材料研究系统的高温高压平台有望成为推动高压技术在科学研究中发展的强大力量。



图 1 综合极端条件实验装置实验大厅

Fig.1 Experimental hall of the synergetic extreme condition user facility

表 1. 高温高压大体积材料研究系统所部署各子系统及多顶砧压机的主要参数

Table 1. Main parameters of the subsystems deployed by High-Temperature and High-Pressure Large-Volume Materials Research System and the multi-anvil press

Subsystem Name	Equipment Name	Functions and Features	State
Solid environment high pressure and high temperature station (SEHPHT)	20000 t Belt-type apparatus	$P \leq 20 \text{ GPa}$, $V \leq 1000 \text{ mm}^3$, $T \leq 2500 \text{ K}$, Solid condition, cylindrical chamber	Solid condition
	3000 t Kawai press	$P \leq 28 \text{ GPa}$, $V \leq 10 \text{ mm}^3$, $T \leq 2500 \text{ K}$, Solid condition, octahedral chamber	
	1000 t DIA press	$P \leq 23 \text{ GPa}$, $V \leq 10 \text{ mm}^3$, $T \leq 2500 \text{ K}$, octahedral chamber	
	1000 t Kawai press	$P \leq 28 \text{ GPa}$, $V \leq 10 \text{ mm}^3$, $T \leq 2500 \text{ K}$, octahedral chamber	
Liquid environment high-temperature and high-pressure station (LEHPHT)	Liter volume liquid environment	$P \leq 600 \text{ MPa}$, $V \leq 1 \text{ L}$, condition, cylindrical chamber	Liquid condition
	Hundred milliliter volume press	$P \leq 0.5 \text{ GPa}$, $V \leq 100 \text{ mL}$, $T \leq 800 \text{ K}$, Liquid condition, cylindrical chamber	
	Microliter volume press	$P \leq 1.8 \text{ GPa}$, $V \leq 10 \text{ }\mu\text{L}$, $T \leq 1000 \text{ K}$, Liquid condition, cylindrical chamber	
Non-equilibrium High-Pressure station (NHP)	Rapid compression press	10.2 GPa in 20 ms , $V \leq 10 \text{ mm}^3$, $T \leq 1600 \text{ K}$, Temporal nonequilibrium, octahedral chamber	Temporal nonequilibrium Spatial nonequilibrium
	D-DIA press	8 GPa with shear deformation, $V \leq 10 \text{ mm}^3$, Spatial nonequilibrium, $T \leq 1600 \text{ K}$, cubic chamber	

1 固体环境高温高压极端条件实验子系统简介

固体环境高温高压极端条件实验子系统是开展大体积材料高温高压极端条件下相关研究的系统，主要包括新一代万吨级圆柱体高压腔体超高压产生装置和基于两面顶构架的高精度 2-6-8 型八

面体压腔高温高压产生装置，可以开展大尺寸新型功能材料制备，物质输运性质的高温高压原位测量，地球深部矿物形成等研究。

1.1 新一代万吨级圆柱体高压腔体超高压产生装置

新一代大型超高压产生装置主要利用大质量支撑和侧向支撑原理，使高压核心部件在常压下处于同心向内的预应力状态；其次是利用分割式压缸设计消减压腔内壁的剪切应力。该装置的总体结构包括：单缸 2 万吨压力加载系统、大腔体超高压系统、高精度温度压力控制系统以及配套的分瓣式压腔缠绕装置。可在厘米级样品上实现 20 GPa、300-2500 K 的极端条件。

1.1.1 主要技术指标

新一代万吨级圆柱体高压腔体超高压产生装置主要技术指标见表 2

表 2 新一代万吨级圆柱体高压腔体超高压产生装置的技术指标

Table 2 Technical specification of Belt-type high-pressure and high-temperature apparatus			
Apparatus	Pressure	Temperature	Chamber volume
20000 ton Belt-type apparatus	≤ 20 GPa	≤ 2500 K	≤ 1000 mm ³

1.1.2 实验站设计

采用 1 主缸 4 回程缸结构，主缸缸径 2061 mm，可以在 60 MPa 油压下产生 2 万吨推力，机架采用预应力钢带缠绕技术，结合分瓣式高压模具形成了径向被动加压，可以有效增强高压模具的强度。采用具有不同传压特性密封材料结合三级密封技术，旨在降低高压腔体组件内的剪切应力。配备 54 kW 交流加热系统，并有 24 V/2250 A 和 50 V/1080 A 两个档位可以选择。



图 2 万吨压机主体，(a) 正面，(b) 侧面

Fig. 2 20000 ton press main body, (a) Front view, (b) Side view

1.2 高精度 2-6-8 型八面体压腔高温高压产生装置

高精度 2-6-8 型八面体压腔高温高压产生装置主要由两面顶构架压力产生单元及高压腔体模块构成。其中两面顶构架包括两面顶机架、液压单元、压力控制单元、温度控制单元、高压模具等组成；八面体高压腔体单元分别由 3000 吨 Kawai 模块、1000 吨 Kawai 模块和 1000 吨 DIA 模块组成。可在毫米级样品上实现 28 GPa、300-2500K 的极端条件。大腔体压机常借助压标物质相变电阻变化标定腔体压力，但 22.5~34.5 GPa 区间缺少合适压标，而 50% MgSiO₃-50% Al₂O₃ (En₅₀Cor₅₀) 高温高压下可生成钙钛矿结构，且在 27 GPa 以上钙钛矿结构 MgSiO₃ 中溶解的 Al₂O₃ 含量随压力升高而增加。据此提出以 En₅₀Cor₅₀ 作为 28 GPa 压标间接标定腔体压力。先采用常规压标完成 6.0~22.5 GPa 低压标定，拟合油压-腔体压力校正曲线，推算 28 GPa 对应的油压，再在该油压、2000 K 条件下开展 En₅₀Cor₅₀ 高温高压实验，结合拉曼、扫描电镜、电子探针测试样品物相与 Al₂O₃ 溶解度，依靠溶解度反推实际腔体压力。

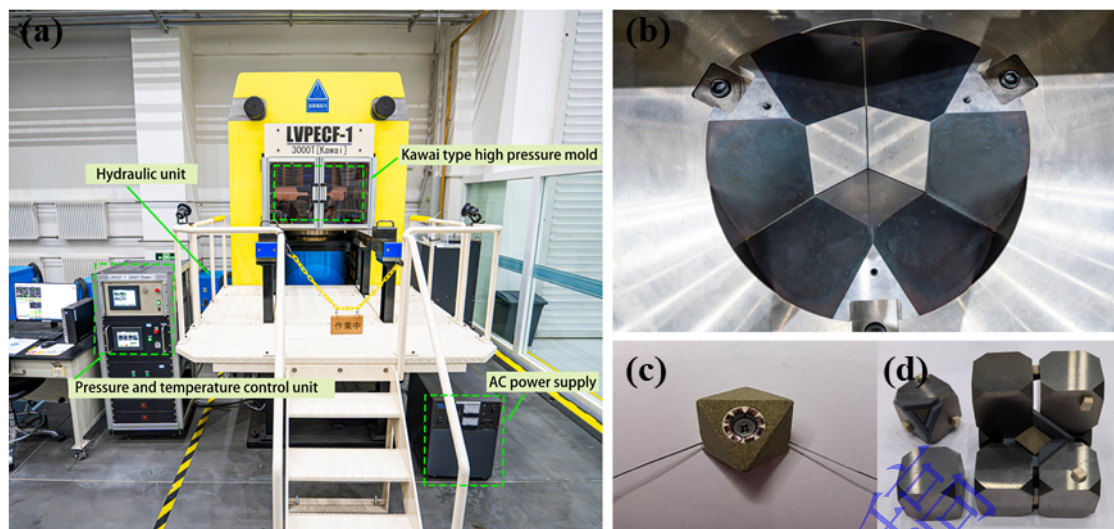


图 3 (a)3000 吨 Kawai 型高压产生装置, (b)Kawai 型高压模具, (c)八面体组装和(d)碳化钨二级压砧
Fig. 3 (a)3000 ton Kawai-type high-pressure apparatus, (b) Kawai -type high press mold, (c) Octahedral assembly and (d) tungsten carbide secondary pressing anvil

1.2.1 主要技术指标

高精度 2-6-8 型八面体压腔高温高压产生装置主要技术指标见表 3

表 3 高精度 2-6-8 型八面体压腔高温高压产生装置的技术指标

Table 3 Technical specification of High-Pressure and High-Temperature Generation Device with a High-Precision 2-6-8

Type Octahedral Pressure Chamber			
Apparatus	Pressure	Temperature	Chamber volume
3000 ton Kawai press	≤ 28 GPa	≤ 2500 K	≤ 10 mm ³
1000 ton Kawai press	≤ 28 GPa	≤ 2500 K	≤ 10 mm ³
1000 ton DIA press	≤ 23 GPa	≤ 2500 K	≤ 10 mm ³

1.2.2 实验站设计

实验站安装了 3 台二级加压装置, 一台 3000 吨 Kawai 压机 (型号 CTF-KT3000P-V018), 采用 0-200 MPa 液压系统, 一级压砧边长为 100 mm, 一台 1000 吨 Kawai 压机 (型号 CTF-KT1000P-V018), 采用 0-70 MPa 液压系统, 一级压砧边长为 70 mm, 二级压砧可以使用 32 mm 和 25.4 mm 的碳化钨材料, 二级加压可以达到 28 GPa 的条件, 另一台 1000 吨 DIA 型压机 (型号 CTF-DT1000P-V018) 配有 50 mm 边长的钢质顶锤, 可以使用 25.4 mm 边长的二级碳化钨压砧, 腔体压力可以达到 23 GPa, 3 台压机均配有高性能加热电源, 使用金属材料加热可以实现 2500 K 以上的温度。可以开展物质的高温高压原位电学和热学性质测试。

1.3 固体环境高温高压极端条件实验子系统典型实验结果

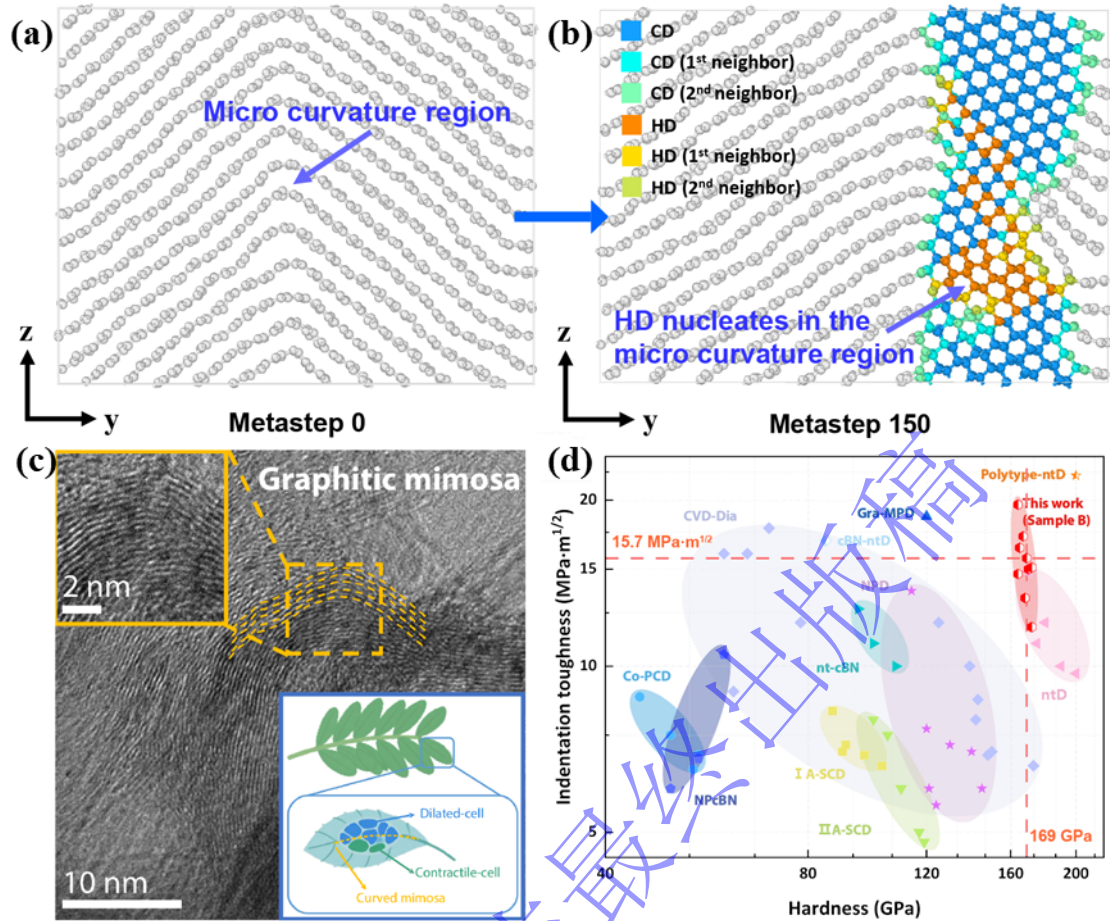


图 4 仿生曲率诱导的金刚石超硬材料结构设计与实验制备^[9]。(a)弯曲石墨初始结构通过 20% y 轴预应变获得。(b)在 15 GPa、2300 K 条件下的模拟揭示了弯曲石墨向金刚石的不同成核路径。(c)类含羞草结构的石墨 HRTEM 图像显示曲率与晶格畸变。(d)压痕韧性与硬度的对比图表明该材料实现了硬度与韧性的出色平衡

Fig. 4 Structural design and experimental preparation of bioinspired curvature-induced diamond superhard materials. (a) Initial curved graphite structure obtained via 20% y-axis prestrain. (b) Metadynamics simulations at 15 GPa and 2300 K reveal distinct nucleation pathways from curved graphite to diamond. (c) HRTEM image of graphitic mimosa showing curvature and lattice distortions. (d) Comparative map of indentation toughness versus hardness demonstrating that this material achieves an outstanding balance between hardness and toughness

本工作受含羞草叶片曲率响应机制启发，通过在石墨前驱体中构筑微米尺度曲率结构，实现了局域应力场的可控调节，并由此调控金刚石的相变路径与界面演化，成功构筑立方金刚石和六方金刚石异质结构。该异质结构通过界面阻碍位错运动，并在裂纹扩展过程中促进裂纹偏转与能量耗散，从而实现硬度与断裂韧性的协同提升。所得材料的维氏硬度达到 169 GPa，较传统纳米多晶金刚石提高 36%；断裂韧性达到 15.7 MPa·m^{1/2}，较纳米多晶金刚石提高 104%，约为天然金刚石的 3 倍。该研究建立了前驱体曲率、局域应力场、相变路径与界面结构之间的关联，为高性能超硬材料的仿生结构设计与可控制备提供了新的研究范式。本工作使用固体环境高温高压极端条件实验子系统中的高精度 2-6-8 型八面体压腔高温高压产生装置合成。

2 液体环境高温高压极端条件实验子系统简介

当前，液体及静态高压环境相关的众多学科领域正蓬勃发展。然而，现有的静水压高温高压设备因在样品腔体积、温度和压强范围及原位测量方面的局限性，限制了其在极端条件科学领域的进一步应用。液体环境高温高压极端条件实验子系统 (Liquid Environment High-Pressure and High-Temperature, LEHPHT)，按照不同样品腔体积和温度-压强条件的实验需求，有针对性的配置了超

高温静高压产生装置, 活塞-圆筒液态高压产生装置和原位光谱学测量设备等构成单元。系统采用流体介质, 结合先进的原位测量技术, 突破原有技术局限, 将实验条件拓宽至压强从 MPa 到 GPa、温度从室温至 1000 K 的广阔范围。子系统旨在建成世界先进水平的大体积液体高温高压反应条件与原位光谱测量的科研与应用平台。依托该平台, 可系统开展高温高压下化学合成、反应动力学过程解析、水热-溶剂热合成、人工晶体生长、超临界流体及其与物质相互作用、高温高压流体的液-液相变及相平衡等相关实验。在更广泛的温度-压强条件下开展材料科学、化学、地学和生命科学等学科的基础及应用研究。

2.1 液体环境高温高压极端条件子系统主要技术指标

LEHPHT 子系统高温高压产生装置包括, 升级液体大体积静高压产生装置、百毫升级液体超高温静高压产生装置和微升级液体活塞圆筒液态高压产生装置, 主要技术指标如表 4 所示。三台装置均可以在运行过程中对样品腔内高温高压液体样品进行原位拉曼、荧光光谱测量。

表 4. 液体环境高温高压极端条件子系统主要技术指标

Table 4. Main Technical Specifications of the LEHPHT

Apparatus	Sample chamber volume	Pressure	Temperature
Liter volume liquid environment "large-volume static high pressure apparatus"	≤ 1 L	≤ 600 MPa	
Hundred milliliter volume liquid environment "ultra high temperature and static high pressure apparatus "	≤ 100 mL	≤ 500 MPa	≤ 800 K
Microliter volume liquid environment "piston cylinder liquid high pressure apparatus"	≤ 10 μ L	≤ 1.8 GPa	≤ 1000 K

2.2 液体环境高温高压极端条件子系统设计

依据不同的科学目标和用户需求, 以及不同高压产生装置产生的压力极限和反应腔体容量。子系统分为高温高压产生装置和原位光谱学测量系统两部分, 通过两部分装置的联用, 能够实现大体积液体样品的超高温度和压力加载, 以及高温高压条件下的原位光学测量。具体的设计与布局如下。

2.2.1 液体环境高温高压产生装置

液体环境高温高压极端条件实验子系统的高温高压产生装置包括升级液体大体积静高压产生装置、百毫升级液体超高温静高压产生装置和微升级液体活塞圆筒液态高压产生装置, 如图(5a-c)。

升级液体大体积静高压产生装置具有最大容积为 1L 的样品腔, 百毫升级液体超高温静高压产生装置可以提供最大容积 100 mL 的样品腔。两套装置均采用气体加压方式, 使用氮气作为工作气, 通过增压器对氮气进行加压, 经高压管路将高压气体输送到耐压容器内部, 升级液体大体积静高压产生装置和百毫升级液体超高温静高压产生装置分别可以实现常压至 600 MPa、常压至 500 MPa 范围内连续可调的压力控制, 精度为 ± 1 MPa。进一步, 百毫升级液体超高温静高压产生装置的耐压容器内部配置加热装置, 能够在加压状态下对样品腔进行温度加载, 实现温度从室温到 800 K 范围内的可控调节, 温度精度为 ± 1 K。此外, 为了获得高温高压条件下样品的信息和真实的变化过程, 耐压容器外壁设置有贯通式光学窗口, 通过与光谱设备连接, 可以在装置运行的高温高压反应条件下实现样品腔内的原位光学测量。

微升级液体活塞圆筒液态高压产生装置具有最大容积为 10 μ L 的样品腔。装置通过外部液压加压的方式为样品腔提供压力, 样品腔内的压力通过压标的状态方程拟合得到, 可实现的最大压力为 1.8 GPa。样品腔的温度加载通过内置加热装置实现, 可进行从室温至 1000 K 范围内可控的温度加载, 控温精度为 ± 1 K。同时装置具有上下贯通的光学窗口, 通过与原位光谱学测量系统联用, 能够在运行过程中实现样品腔内高温高压液体的原位光学测量。

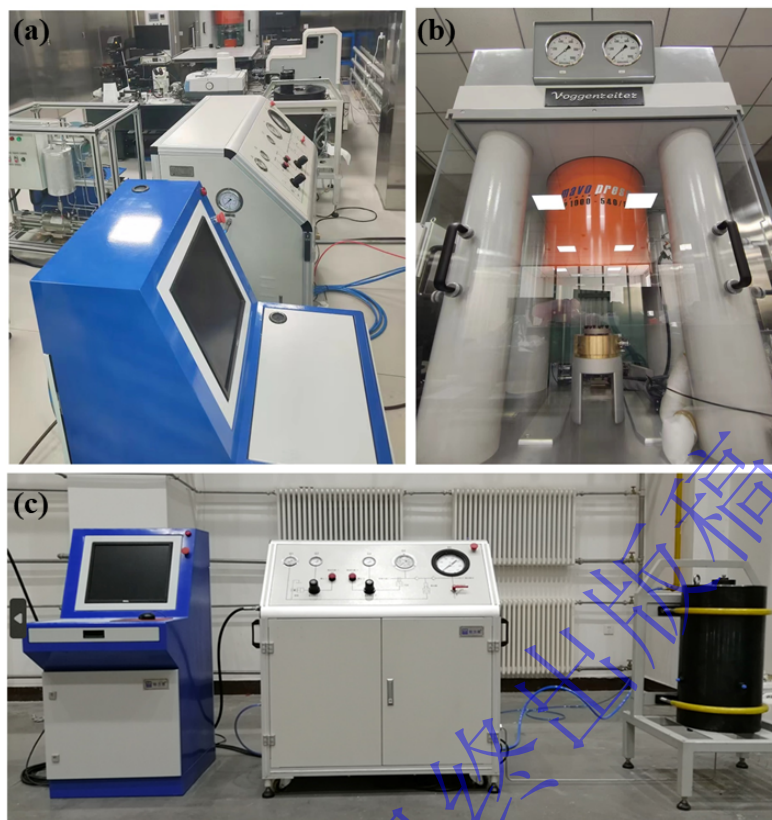


图 5 液体环境高温高压极端条件实验子系统的高温高压产生装置。(a)百毫升级液体超高温静高压产生装置, (b)微升级液体活塞圆筒液态高压产生装置, (c)升级液体大体积静高压产生装置

Fig. 5 The high-temperature and high-pressure generation device for LEHPHT. (a) Hundred milliliter volume liquid environment "ultra high temperature and static high pressure apparatus", (b) Microliter volume liquid environment "piston cylinder liquid high pressure apparatus", (c) Liter volume liquid environment "large-volume static high pressure apparatus"

2.2.2 原位光谱学测量系统

原位光谱学测量系统包括激光拉曼光谱仪和稳态/瞬态荧光光谱仪等主要设备,如图6。其中,激光拉曼光谱仪配备405 nm, 532 nm和785 nm波长的三路激光,覆盖紫外到近红外区间激发光选择的需求。三路激光耦合在同一光路中,可根据需求自行选择切换不同波长激光。为了匹配高温高压产生装置。光谱仪使用光纤耦合的方式与压力产生装置联用。采用长焦光路设计,通过光纤将激光汇聚到样品腔中,再经过光纤对光谱信号进行收集,实现原位拉曼光谱的测量。稳态/瞬态荧光光谱仪配备355 nm和405 nm波长的皮秒激光器,不同波长的紫外光可以满足大部分材料的荧光光谱测量需求,并且可以在1 MHz-80 MHz脉冲频率范围内测量样品的荧光寿命。稳态/瞬态荧光光谱仪同样通过光纤耦合的方式与高温高压产生装置联用,从而实现高温高压条件下的原位荧光光谱/荧光寿命测量。

此外,为了进一步满足高温高压下原位物性测量需求,未来还会逐步提供原位红外吸收光谱与原位紫外可见吸收光谱测量功能。

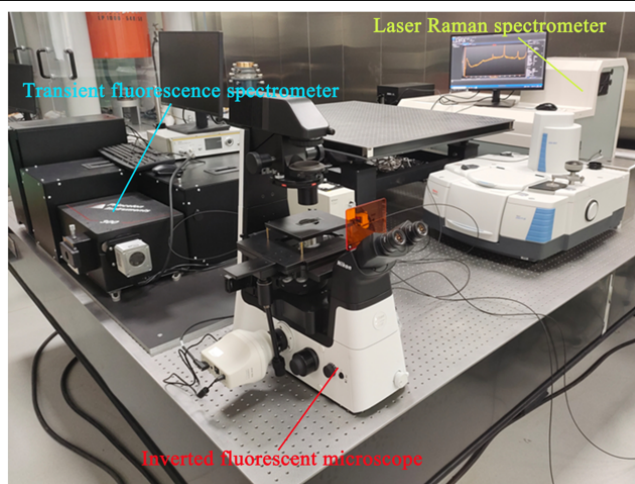


图 6 原位光谱学测量系统。包括瞬态荧光光谱仪，激光拉曼光谱仪、倒置荧光显微镜等设备

Fig. 6 In-situ spectroscopy measurement system for LEHPHT, including transient fluorescence spectrometer, laser Raman spectrometer, inverted fluorescence microscope and other instruments.

2.3 液体环境高温高压极端条件实验子系统典型实验结果

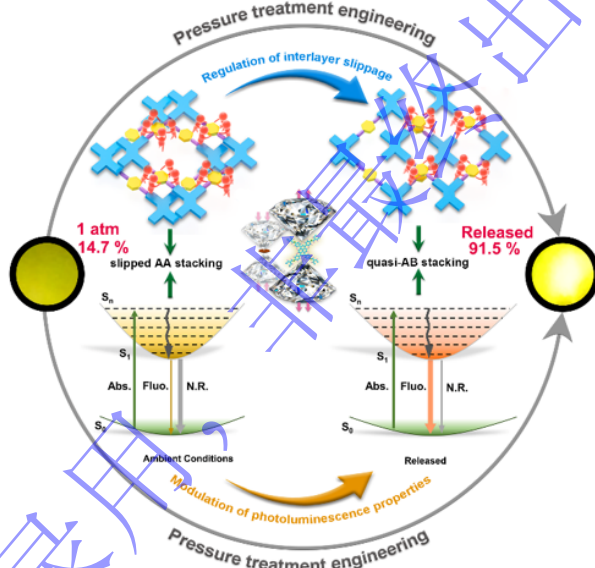


图 7 通过压强处理工程和空间位阻效应实现 Py-Da-4CH₃-COF 高品质发光高压相的常压截获^[20]

Fig. 7 Achieving Ambient Retention of a High-Quality Luminescent High-Pressure Phase of Py-Da-4CH₃-COF through Pressure Treatment Engineering and Steric Hindrance Effects

本工作依托液体环境高温高压极端条件实验子系统的原位光谱学测量模块，利用压强处理工程和空间位阻效应，实现了茈基亚胺共价有机框架材料 Py-Da-4CH₃-COF 堆积结构及发光性能的有效调控。较大的空间位阻提高了其相变势垒，驱动结构由初始滑移 AA 堆积构型转变为不可逆的准 AB 堆积构型。准 AB 堆积诱导具有大 π 共轭体系的茈基团发生完全层间错位，有效削弱了 π - π 堆积导致的荧光猝灭并限制了甲基基团的 C-H 键振动，使压强处理后的 Py-Da-4CH₃-COF 的荧光量子产率得到了显著提高，从 14.7% 提高至 91.5%。该研究揭示了分子结构设计与压力工程协同调控 COFs 层间堆积及光物理过程的作用机制，为高发光效率 COFs 材料的设计与制备提供了新的研究路径。本工作使用了液体环境高温高压极端条件实验子系统中原位光谱学测量系统。

3. 非平衡高温高压极端条件子系统简介

非平衡高压极端条件实验子系统配备可实现单轴形变和快速可控压力加载的高压实验装置，主要用于研究物质在高压条件下的应力状态、变形机制及其在动态与静态压缩过渡区间内的结构和物性演化。该系统可协同调控压力、温度、应力状态及加载速率，为系统揭示材料物理化学性质对多场耦合条件的响应规律、建立高温高压环境下的材料强度模型提供重要实验基础。

该实验子系统可获取物理学、材料科学、化学、地球科学及行星科学等领域所需的关键材料参数，是开展复杂应力状态和非平衡高压过程研究的重要实验手段。同时，该系统还可用于块体非晶材料的高压制备、瞬态压缩条件下物质热力学状态方程研究及格林函数测量，为极端条件下材料合成、结构演化与物性表征提供综合实验平台。

3.1 非平衡高温高压极端条件子系统主要技术指标

NHP 包括单轴形变与可控快速压力加载大腔体压机。主要技术指标如下表所示。此外两台装置可以实现对样品腔体内原位电学、阻抗谱测试，实现大腔体样品在温度和压力下的物性变化监测。

表 5 非平衡高温高压极端条件子系统主要技术指标

Table 5 Main Technical Specifications of the NEHPHT

Apparatus	Technical Specifications
Large volume deformation press	8 GPa with shear deformation, $V \leq 10 \text{ mm}^3$, Spatial nonequilibrium, $T \leq 1600 \text{ K}$, cubic chamber
Rapid compression large-volume press	10.2 GPa in 20 ms, $V \leq 10 \text{ mm}^3$, $T \leq 1600 \text{ K}$, Temporal nonequilibrium, octahedral chamber

3.2 单轴形变加载大腔体压机

空间非平衡条件（包括单轴压和剪切/旋转）可通过 3000 吨单轴高压装置（图 8）和 3000 吨旋转压机（图 9）实现。该装置采用了基于 Jiro Osugi 实验室所开发设计的 DIA 型导块系统，该系统包含具有四个 45° 斜面的上/下导块、四个带有滑动楔块的一级压砧、一个增压主压头以及一个 D 型增压压头。六个一级压砧通过电动环链葫芦加载，立方体空间沿[100]方向同步压缩。一级压砧在 6-6 立方体模式和 6-8 模式下的截角边长均为 37 mm。交流加热系统提供 8 V、20 V 和 50 V 三种电压选项，最大功率为 12 kW，可提供稳定的加热电源。

空间旋转通过 3000 吨旋转压机实现，该设备可预设 0 至 30 MN（对应 0–630 bar）的连续压力。压缩和卸压速率可通过软件在 0–100 bar/min 范围内连续控制，控制精度为 $\pm 0.5 \text{ bar}$ 。最大负载能力为 2000 吨，最大扭矩为 90 kN·m。主开关加热器提供 8 V/1500 A、20 V/600 A 和 50 V/240 A 三种输出，以确保充足的加热功率。旋转装置采用双环面碳化钨（WC）一级压砧，并额外配备激光距离传感器和温度传感器，用于检测预压位置和压砧温度。

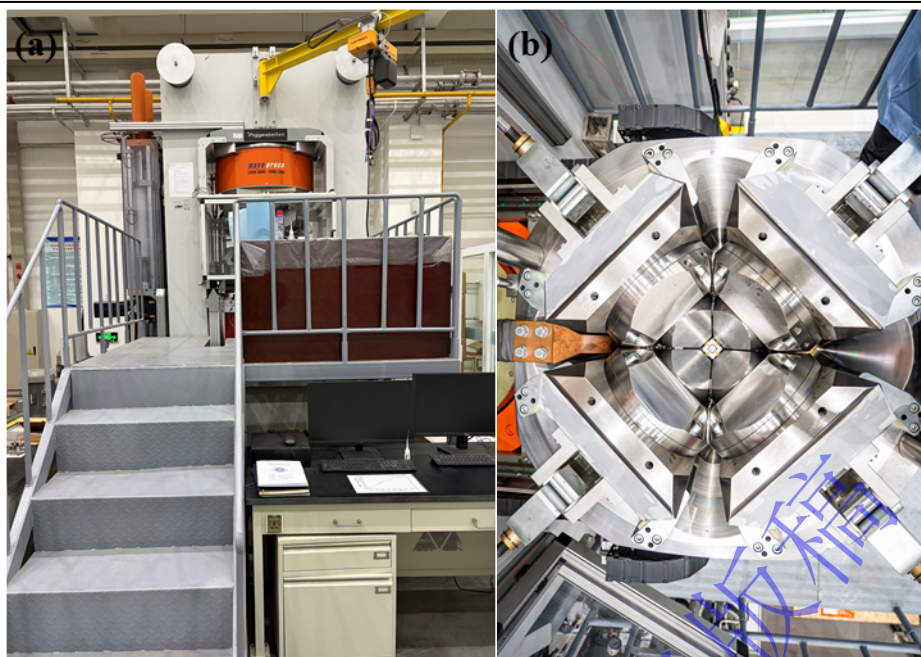


图 8 (a) 3000 吨单轴高压装置, (b) 单轴加载高压模具

Fig. 8 (a) 3000-ton uniaxial high-pressure apparatus; (b) uniaxial loading high-pressure mold



图 9 (a) 3000 吨旋转高压装置, (b) 旋转加载高压模具

Fig. 9 (a) 3000-ton rotation high-pressure apparatus; (b) rotation loading high-pressure mold

3.3 可控快速压力加载大腔体压机

可控快速增压装置 (RCLVP) 是通过搭载的囊式储能装置、电磁阀等组件实现, 如图 10 所示, 左图为快速增压大腔体压机整体照片, 包括了囊式储能器、电控柜、油路系统、主油缸、示波器等。通过对 RCLVP 的囊式储能器注入特定的油压, 实现能量预充。利用快速电磁阀, 能够将预充油压瞬间释放到主油缸, 传递到组装内部。图 10 右侧为常规和快速加压的油管, 通过旋转阀门可以切换快速加压和常规加压的油路系统。为了实时监测主油缸的压强, 我们将压力传感器电信号引出, 利用示波器记录电压变化, 反应腔体承受的油压值。目前我们利用该设备, 能够以 74.28 MN/s 压缩速率, 实现 1.66 MN 油压加载, 该过程通过示波器和电阻表间接记录。我们改良和设计了碳化钨二级压砧、八面体组装, 优化了密封尺寸, 最终实现了在 20 ms 内腔体压强跃升了 10.2 GPa。

不同于动高压装置, 该设备加载速率介于纳秒和小时之间, 是用于制备亚稳态或非晶材料的有利工具, 在探究物理学、化学、材料科学及地球科学中涉及的分子相变、结晶动力学等基本物理化学过程发挥着重要的作用。大腔体压机快速加载技术方面, 人们开展了部分探索, 采用活塞圆筒或 Bridgman 型模块, 实现了 5 GPa 的快速加压, 受限于加载磨具承压极限, 难以实现更高压力加载。

我们采用 Walker 模具，极大的提高了设备加载稳定性，改良内部组装进而将压力极限提升到~15 GPa。

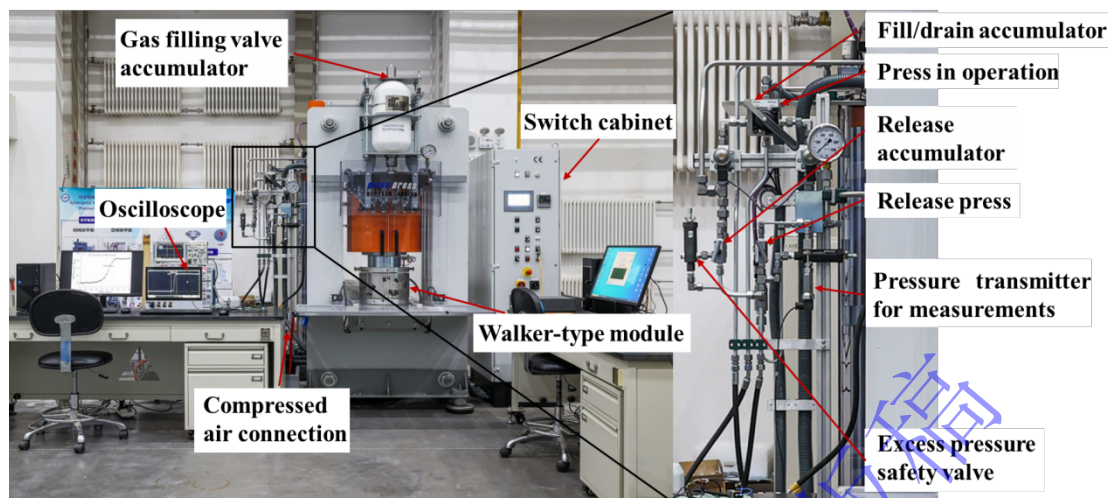


图 10 (a) RCLVP-10 的光学照片，包括商业大腔体压机主体、快速加压系统和油路系统（黑色方块标记）。^[21]

Fig. 10 (a) Photograph of the RCLVP-10, including the commercial large-volume press main body, rapid pressurization system, and oil circuit system (marked with black square).

3.4 非平衡高温高压极端条件子系统典型实验结果

3.4.1 非晶碳材料的高压制备

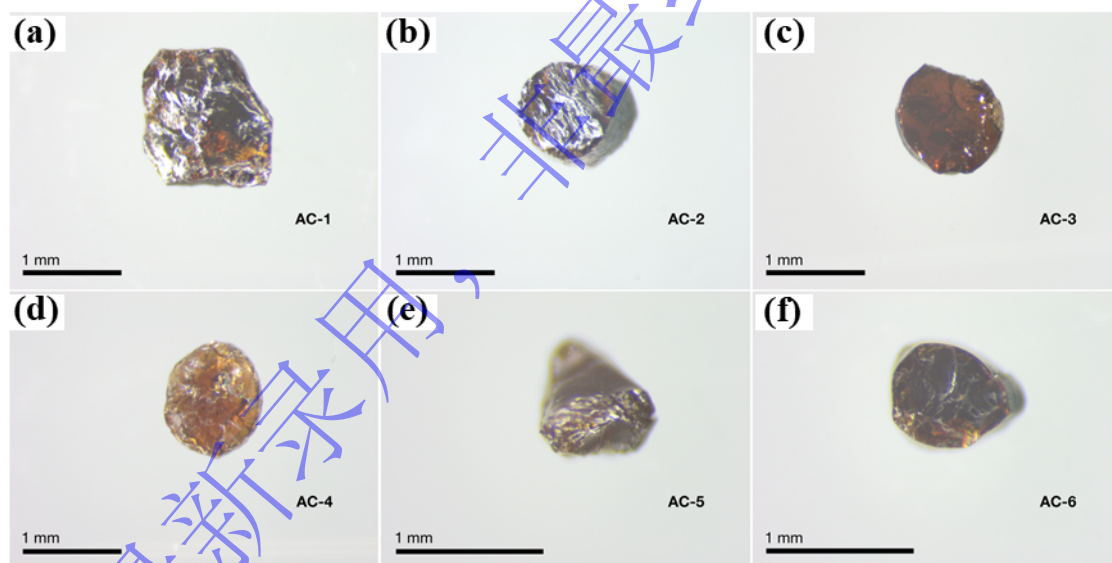


图 11 不同高压高温条件下回收样品的光学照片。a-f：分别展示了在以下条件下合成的样品光学照片^[22]

Fig. 11 Optical photographs of the recovered samples from different HPHT conditions. a-e: Optical photographs of AC

非晶碳材料通常以 sp^2 杂化碳为主要结构特征，因而在结构与物性上表现出明显的类石墨特征。与之相对，由 sp^3 化碳构成的块体非晶碳具有三维共价网络与无序结构相耦合的独特特征，有望呈现区别于传统非晶碳材料的综合性能。然而，受制于高 sp^3 碳网络的构筑、稳定及块体化，近全 sp^3 块体非晶碳的合成长期未能实现，构成碳材料领域亟待突破的重要科学问题。

非晶材料虽不具备长程周期性，却可通过局域配位、成键方式及中程有序形成复杂的结构层级，并由此产生显著区别于晶态材料的物理性质。发展具有新型成键模式和局域结构的非晶材料，阐明其原子结构与宏观物性之间的内在关联，是非晶材料研究的重要方向。近全 sp^3 块体非晶碳的获得，不仅可拓展非晶碳材料的结构与成键空间，也可为研究高配位非晶网络的形成机制及其结构性能关系提供新的材料基础。

基于对富勒烯 C_{60} 结构演化规律的系统研究，该工作提出了一种近全 sp^3 块体非晶碳的构筑策略：采用大腔体超高压技术，诱导 C_{60} 碳笼发生压致塌缩与结构重构，形成非晶碳团簇，并以其作为结构构筑单元，在更高温压条件下进一步交联与致密化，最终构建连续的三维 sp^3 碳网络。

本研究首次实现了近全 sp^3 块体非晶碳的合成，解析了其局域结构特征及网络连接方式，揭示了近全 sp^3 非晶碳的结构本质。所获得材料表现出优异的力学、热学和光学性能，多项性能指标达到已报道非晶材料中的最高水平。同时，通过调控合成温度与压力，实现了非晶碳中 sp^3 含量及其相关物性的连续调节。上述研究建立了合成条件、成键结构与宏观性能之间的内在联系，为高 sp^3 非晶碳材料的可控制备与非晶材料的结构设计提供了新的研究基础。

3.4.2 六方金刚石的高压制备

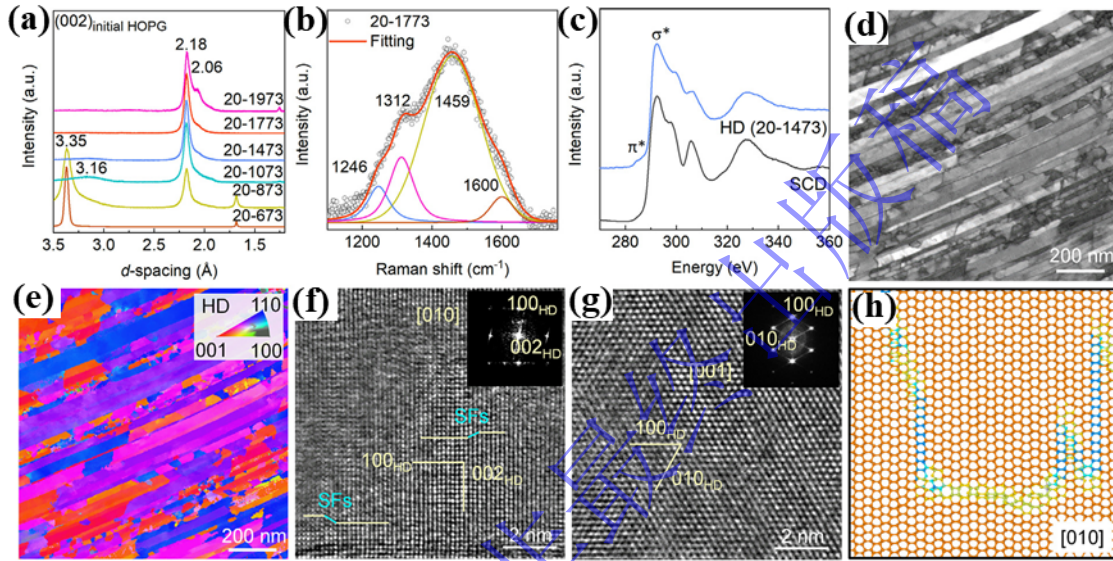


图 12 六方金刚石的鉴定^[23]。(a)在 20 GPa 和 673–1973 K 条件下回收样品的 XRD 图谱，采集自 HOPG 的初始(002)晶面。样品标签表示合成压力与温度，例如 20-1773 表示该样品是在 20 GPa 和 1773 K 的温压条件下合成的。(b)扣除背景后的 20 GPa、1773 K 条件下回收样品的拟合可见光拉曼光谱。位于 1459 和 1600 cm^{-1} 的拉曼峰归因于残留在晶界中的微量 sp^2 碳，同时也对应 EELS 谱中的 π^* 特征以及 UV 拉曼光谱中的弱 sp^2 键信号。(c) 20-1473 样品中六方金刚石的 EELS 谱，并与单晶立方金刚石 (SCD) 进行对比。(d, e) 分别展示了 20-1773 样品利用 PED 获得的虚明场像和反极图 (IPF) 图谱。(f, g) 20-1773 样品沿六方金刚石[010]和[001]方向的高分辨透射电镜 (HRTEM) 图像。插图为对应的快速傅里叶变换 (FFT) 图谱。(h)通过大规模经典分子动力学模拟生成的六方金刚石沿[010]方向投影的原子结构图。橙色和蓝色原子分别代表六方金刚石中的原子堆垛和类立方金刚石 (CD) 的缺陷原子堆垛。类 CD 的缺陷原子面与 HRTEM 图像(f)中的(002)堆垛层错(SFs)相对应

Fig. 12 Identification of hexagonal diamond. (a) XRD patterns of the recovered samples from 20 GPa and 673–1973 K, were collected on the initial (002) planes of HOPG. The sample labels indicate the synthesis pressure and temperature, e.g. 20-1773 means that this sample was synthesized at 20 GPa and 1773 K. (b) Fitted visible Raman spectrum without the background of the recovered samples from 20 GPa and 1773 K. The Raman peaks at 1459 and 1600 cm^{-1} are owing to a trace amount of sp^2 carbon remaining in grain boundaries, also corresponding to the feature of p^* in the EELS spectrum and the weak sp^2 -bonded signal in the UV Raman spectrum (c) EELS spectrum of the hexagonal diamond in the 20-1473 sample, compared with that of single-crystal cubic diamond (SCD). (d, e) Virtual bright-field image and inverse pole figure (IPF) map of the 20-1773 sample using PED, respectively. (f, g) HRTEM images of the 20-1773 sample along the [010] and [001] directions of hexagonal diamond, respectively. Insets: corresponding FFT patterns. (h) Atomic structure projected in the [010] direction of hexagonal diamond, generated by large-scale classical MD simulation. Orange and blue atoms represent atomic packing in hexagonal diamond and CD-like defective atomic packing, respectively. The CD-like defective atomic planes are corresponding to the (002) stacking faults (SFs) in the HRTEM image (f)

该工作揭示了高温高压条件下石墨经由后石墨相向六方金刚石转变的新型相变路径，并“首次”实现了高质量六方金刚石块体的可控制备。研究表明，所得六方金刚石具有高于立方金刚石的硬度及良好的热稳定性。该研究建立了纯相六方金刚石的人工合成途径，为六方金刚石作为独立碳相存在提供了有力的实验证据，并拓展了超硬材料和碳材料的结构与性能体系，为突破立方金刚石在极端服役条件下的性能与应用限制提供了新的材料基础。该成果对深入了解陨石中钻石的具体来源和重大地质事件也有着重要意义。本工作使用非平衡高温高压极端条件子系统中的可控快速压力加载大腔体压机（非快速加载系统）合成六方金刚石。

3.4.3 次晶金刚石的低压制备

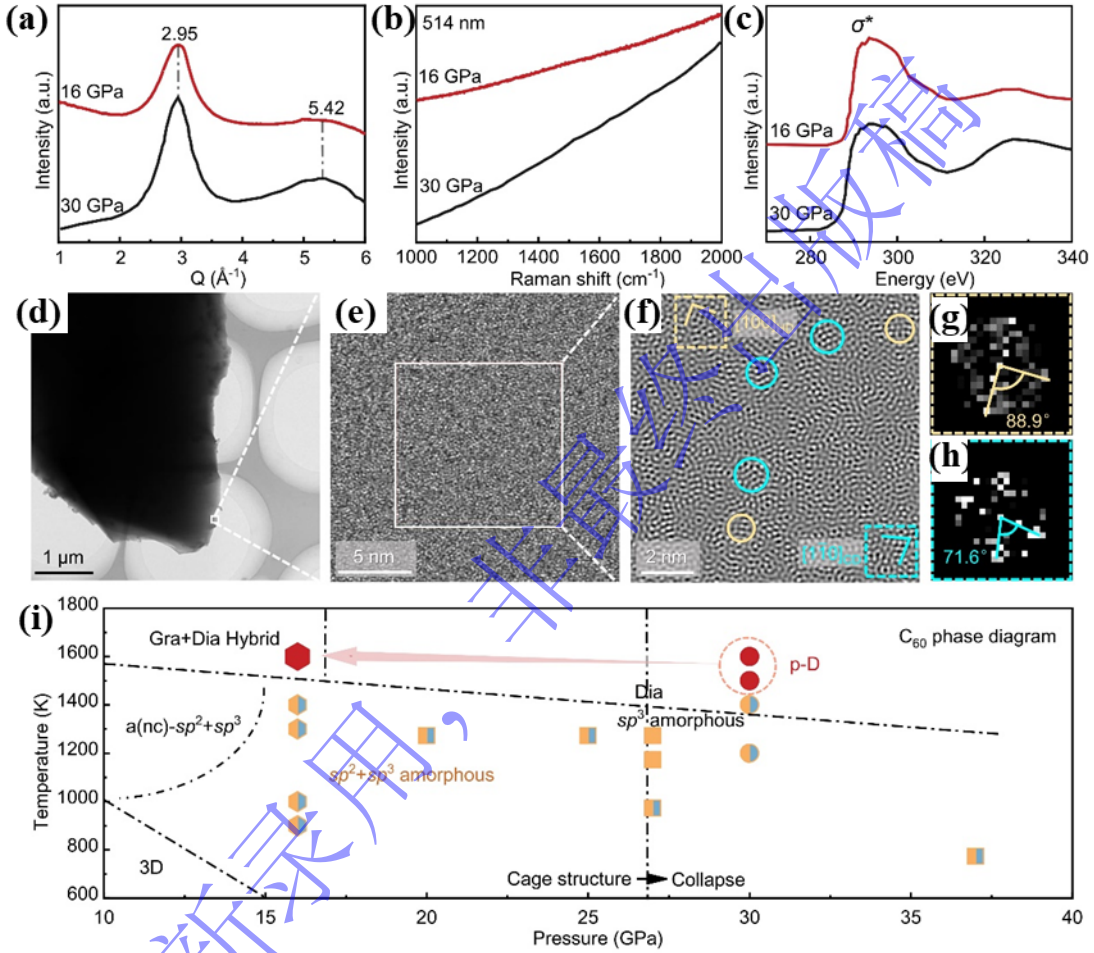


图 13 在 16 GPa 和 1600 K 条件下回收的 p-D 的结构表征^[24]。(a-c)在 16 GPa 和 1600 K 条件下得到的 p-D 的 XRD、拉曼和 EELS 谱，并与先前报道的 30 GPa、1600 K 条件下回收的 p-D 谱图进行对比。在拉曼光谱（1400–1600 cm^{-1} 处的峰）和 EELS 谱（292 eV 处的 π^* 峰）中均未检测到 sp^2 键合信号。(d-h) 在 16 GPa 和 1600 K 条件下回收的样品的透射电镜表征。(d) 低倍 TEM 图像。(e) 在 (d) 中白色方框标记区域的高分辨 TEM 图像。(f) 在 (e) 中白色方框标记区域的 IFFT 图像。黄色和青色线标记的类晶体中程有序 (MRO) 团簇分别具有沿六方金刚石 (HD) 和立方金刚石 (CD) 的 [010] 和 [110] 晶向的原子排列。(g, h) 分别对应于 (f) 中黄色和青色方框 ($2.0 \times 2.0 \text{ nm}^2$) 的 FFT 图谱。类 HD 和类 CD 的准晶体的夹角分别为 88.9° 和 71.6° ，偏离了完美 HD 晶体 (90°) 和完美 CD 晶体 (70.3°) 的理论值，表明存在高度畸变。(i) C_{60} 的 P-T 相图。虚线结果来自高压高温实验。实心符号表示本研究及参考文献中获得的不同样品。蓝色系列表示 sp^2 ，红色系列表示 sp^3 。红色实心六边形和圆形分别表示本研究及先前报道中 p-D 的形成条件

Fig. 13 Structural characterizations of p-D recovered from 16 GPa and 1600 K. (a–c) XRD, Raman, and EELS spectra of p-D at 16 GPa and 1600 K, compared to previous spectra of p-D recovered from 30 GPa and 1600 K. No observed sp^2 -bonded

signals were detected in (peaks at $1400\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$) Raman and ($\square^*$ peak at 292 eV) EELS spectra. (d–h) TEM characterizations of samples recovered from 16 GPa and 1600 K . (d) Low-magnification TEM image. (e) HRTEM image of the area marked with the white box in (d). (f) IFFT image from the area marked with the white box in (e). Crystal-like MRO clusters marked by the yellow and cyan lines have atomic arrangements along the $[010]$ and $[110]$ zone axes of HD and CD, respectively. (g,h) FFT patterns correspond to the yellow and cyan boxes ($2.0 \times 2.0\text{ nm}^2$) in (f), respectively. The inclusive angles of HD- and CD-like paracrystallites are 88.9° and 71.6° , which deviate from that in perfect HD (90°) and CD (70.3°) crystals, suggesting a high-degree distortion. (i) P-T phase diagram of C_{60} . Results for dash lines are from HPHT experiments. Solid symbols denote different samples obtained from this study and references. The blue series denotes sp^2 while the red series represents sp^3 . Red solid hexagons and circles represent the formation conditions of p-D in this work and the previous report, respectively

碳材料具有丰富的结构形态和优异的物理化学性质，是材料科学领域的重要研究对象。近年来，无序碳材料的可控制备及性能调控取得了显著进展。其中，次晶态金刚石作为一类具有特殊中程有序结构的无序 sp^3 碳材料，因其独特的结构特征和潜在性能受到广泛关注。然而，已有次晶态金刚石的合成通常需要约 30 GPa 的高压条件，显著制约了其规模化制备与实际应用。

针对上述问题，本研究通过在高温高压条件下引入单轴应力，调控前驱体的结构演化与相变过程，在 16 GPa 和 1600 K 条件下成功合成了次晶态金刚石，使其合成压力较此前降低近 50% （图 13）。该压力已接近现有工业高压设备的可实现范围，表明次晶态金刚石具备由实验室制备向规模化合成拓展的潜力，为其进一步性能开发和工程应用奠定了基础。本工作使用非平衡高温高压极端条件子系统中的可控快速压力加载大腔体压机（非快速加载系统）合成次晶态金刚石。

4 结 论

在吉林大学负责的部分综合极端条件实验装置-高温高压大体积材料研究系统，已设计和建造了多种不同类型的大体积压机，以实现多样化的功能，满足不同研究领域的应用需求。固体环境子系统提供了大尺寸腔体，以满足在超高温超高压条件下对大尺寸样品的需求。液体环境子系统能够在腔体压机中实现高压液体条件，拓展了液态材料的研究范围。非平衡子系统则能够在高温高压条件下实现材料的快速压缩与变形。此外，针对大腔体压机还开发了一系列原位高压技术（如原位高压力学测量等），以满足各高压研究学科日益增长的需求。未来，该平台将进一步发展更为精密的大腔体压机设备和原位测量技术。可以预见，高温高压大体积材料研究系统装备与技术的持续升级将为深化和拓展高压科学的研究范围提供重要基础。

致谢 感谢吉林大学综合极端条件高压科学中心科学家的辛勤工作，感谢中国科学院物理研究所、高压与超硬材料全国重点实验室对高压平台设计与建设工作的支持与配合。感谢吉林大学相关职能部门支持，感谢吉林省，中华人民共和国国家发展和改革委员会的支持。感谢国内外高压研究用户的建议和支持。

参考文献

- [1] ZHANG L J, WANG Y C, LV J, et al. Materials discovery at high pressures [J]. Nature Reviews Materials, 2017, 2(4): 17005.
- [2] HALL H T. Some High-Pressure, High-Temperature Apparatus Design Considerations: Equipment for Use at $100\,000$ Atmospheres and 3000°C [J]. Review of Scientific Instruments, 1958, 29(4): 267-275.
- [3] SHANG Y C, SHEN F R, HOU X Y, et al. Pressure Generation above 35 GPa in a Walker-Type Large-Volume Press [J]. Chinese Physics Letters, 2020, 37(8): 080701.
- [4] ISHII T, SHI L, HUANG R, et al. Generation of pressures over 40 GPa using Kawai-type multi-anvil press with tungsten carbide anvils [J]. Review of Scientific Instruments, 2016, 87(2): 024501.
- [5] YAMAZAKI D. Generation of pressures to 60 GPa in Kawai-type apparatus and stability of MnGeO_3

- perovskite at high pressure and high temperature [J]. *American Mineralogist*, 2006, 91(8-9): 1342-1345.
- [6] TANGE Y, IRIFUNE T, FUNAKOSHI K-I. Pressure generation to 80 GPa using multianvil apparatus with sintered diamond anvils [J]. *High Pressure Research*, 2008, 28(3): 245-254.
- [7] LIEBERMANN R C. Multi-anvil, high pressure apparatus: a half-century of development and progress [J]. *High Pressure Research*, 2011, 31(4): 493-532.
- [8] FROST D J, POE B T, TRØNNES R G, et al. A new large-volume multianvil system [J]. *Physics of the Earth and Planetary Interiors*, 2004, 143-144: 507-514.
- [9] BARTON M A, STACEY F D. The Grüneisen parameter at high pressure: a molecular dynamical study [J]. *Physics of the Earth & Planetary Interiors*, 1985, 39(3): 167-177.
- [10] WOENCKHAUS J, KÖHLING R, WINTER R, et al. High pressure-jump apparatus for kinetic studies of protein folding reactions using the small-angle synchrotron x-ray scattering technique [J]. *Review of Scientific Instruments*, 2000, 71(10): 3895-3899.
- [11] HONG S M, CHEN L Y, LIU X R, et al. High pressure jump apparatus for measuring Grüneisen parameter of NaCl and studying metastable amorphous phase of poly (ethylene terephthalate) [J]. *Review of Scientific Instruments*, 2005, 76(5): 053905.
- [12] NISHIYAMA N, WANG Y, SANEHIRA T, et al. Development of the Multi-anvil Assembly 6-6 for DIA and D-DIA type high-pressure apparatuses [J]. *High Pressure Research*, 2008, 28(3): 307-314.
- [13] FARLA R, BHAT S, SONNTAG S, et al. Extreme conditions research using the large-volume press at the P61B endstation, PETRA III [J]. *J Synchrotron Radiat*, 2022, 29(2): 409-423.
- [14] HOWARD C M, WALTE N P. New cooling system for a three-axis multi-anvil press with 6-6 geometry [J]. *High Pressure Research*, 2021, 41(2): 1-13.
- [15] MA S L, GASC J, FARLA R. Acoustic emission detection of micro-cracks under high pressure and high temperature in a deformation large-volume apparatus at the endstation P61B, PETRA III [J]. *Review of Scientific Instruments*, 2023, 94(2): 023901.
- [16] YU T, WANG Y B, RIVERS M L, et al. An upgraded and integrated large-volume high-pressure facility at the GeoSoilEnviroCARS bending magnet beamline of the Advanced Photon Source [J]. *Comptes Rendus Géoscience*, 2019, 351(2-3): 269-279.
- [17] SQ. Z, KARATO S. Lattice preferred orientation of olivine aggregates deformed in simple shear [J]. *Nature*, 1995, 375(6534): 774-777.
- [18] TASAKA M, ZIMMERMAN M E, KOHLSTEDT D L, et al. Rheological Weakening of Olivine + Orthopyroxene Aggregates Due To Phase Mixing: Part 2. Microstructural Development [J]. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 2017, 122(10): 7597-7612.
- [19] MA X C, WANG D, LIAN M, et al. Curved graphite precursors enable cubic-hexagonal diamond heterostructures with unprecedented toughness-hardness synergy [J]. *Sci Adv*, 2025, 11(44): eaea3692.
- [20] WANG Y X, LIU Y Z, WANG Z T, et al. Pressure-driven steric hindrance engineering for maximizing photoluminescence in covalent organic frameworks [J]. *Sci Adv*, 2026, 12(15): eaeb5242.
- [21] HU K, LIU R, LIU S C, et al. A rapid compression large-volume press with a high pressure jump above 10 GPa within milliseconds [J]. *Review of Scientific Instruments*, 2024, 95(10): 103905.
- [22] SHANG Y C, LIU Z D, DONG J J, et al. Ultrahard bulk amorphous carbon from collapsed fullerene [J]. *Nature*, 2021, 599(7886): 599-604.
- [23] YUAN X H, CHEN G W, CHENG Y, et al. Direct synthesis of millimeter-sized hexagonal diamond from graphite [J]. *Science Bulletin*, 2025, 70(8): 1257-1263.
- [24] PAN Y, YUAN X H, CHENG Y, et al. Uniaxiality-Induced Reduced-Pressure Synthesis of Ultrahard Paracrystalline Diamond [J]. *Advanced Materials*, 2025, 37(27): 2500037.

最新录用，
非最终出版稿

Construction of the Large-Volume Material Research System under High Temperature and High Pressure at Synergetic Extreme Condition User Facility (SECUF): High-Temperature and High-Pressure Large-Volume Materials Research System

HU Kuo¹, YOU Cun¹, LIU Chuang¹, YAO Di¹, WANG Xinglin¹, WANG Zhiwen¹, TAO Qiang¹, YANG Xinyi¹, HE Zhi¹, ZHU Pinwen¹, LIU Zhaodong¹, ZOU Bo¹, CUI Tian^{*1,2}, ZHOU Qiang^{*1}, LIU Bingbing^{*1}

(1. *Synergetic Extreme Condition High-Pressure Science Center, State Key Laboratory of High Pressure and Superhard Materials, College of Physics, Jilin University, Changchun 130012, Jilin, China;*
2 *Institute of High Pressure Physics, Ningbo University, Ningbo 315000, China*)

Abstract: Large-volume presses (LVPs) play a crucial role in high-pressure science, particularly in fields such as earth sciences, condensed matter physics, materials science, chemistry, and biology, due to their ability to provide large sample volumes, fluid pressure-transmitting environments, deformability, rapid compression, and in-situ measurement capabilities. Jilin University has successfully established the High-Pressure and High-Temperature (HPHT) Large-Volume Material Research Platform as part of the Synergetic Extreme Condition User Facility (SECUF). This platform integrates various types of LVP subsystems, including solid environment, liquid environment, and non-equilibrium environment high-pressure and high-temperature extreme condition experimental subsystems. This paper elaborates on the construction process of each subsystem and reviews the functions and characteristics of the high-pressure and high-temperature extreme condition subsystems under different environments. Using the solid environment HPHT extreme condition experimental subsystem, a belts-type device has been constructed, enabling the preparation of large-volume samples under a pressure of 20 GPa, with a cavity volume of up to 1000 mm³. Using the piston-cylinder type liquid environment large-volume press from the liquid environment HPHT extreme condition subsystem, equipped with diamond optical windows, high-pressure loading of up to 1.8 GPa and 1000 K, as well as in-situ spectroscopic testing, can be achieved within a sample chamber of up to 10 μ L. Using the non-equilibrium environment high-pressure extreme condition subsystem, a controllable rapid-loading large-volume press has been developed, capable of achieving rapid pressure loading of 10.2 GPa within 20 milliseconds. The paper briefly reviews typical experimental results obtained using different LVPs to illustrate the application scenarios and advantages of these presses. In summary, the platform described in this paper is expected to make significant contributions to high-pressure scientific research and the innovation of high-pressure technologies.

Keywords: large-volume press; solid-environment; liquid-environment; non-equilibrium-environment; high-temperature and high-pressure platform