

高压物理学报

适用于同步辐射小角X射线散射的高压溶液装置及其应用

刘广峰 李怡雯 张建桥 宋攀奇 李娜

Applications of High-Pressure Solution Device for Synchrotron Radiation Small Angle X-Ray Scattering Method

LIU Guangfeng, LI Yiwen, ZHANG Jianqiao, SONG Panqi, LI Na

引用本文:

刘广峰, 李怡雯, 张建桥, 等. 适用于同步辐射小角X射线散射的高压溶液装置及其应用[J]. 高压物理学报, 2025, 39(2):020101. DOI: 10.11858/gywlb.20240831

LIU Guangfeng, LI Yiwen, ZHANG Jianqiao, et al. Applications of High-Pressure Solution Device for Synchrotron Radiation Small Angle X-Ray Scattering Method[J]. Chinese Journal of High Pressure Physics, 2025, 39(2):020101. DOI: 10.11858/gywlb.20240831

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.11858/gywlb.20240831>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

静态高压下氢的金属化研究与非弹性X射线散射技术

Metallization of Hydrogen under Static High Pressure and the Inelastic X-ray Scattering Technique

高压物理学报. 2021, 35(5): 050101 <https://doi.org/10.11858/gywlb.20210864>

上海同步辐射光源高压相关线站概述

Application of Shanghai Synchrotron Radiation Source in High Pressure Research

高压物理学报. 2020, 34(5): 050102 <https://doi.org/10.11858/gywlb.20200584>

同步辐射高压衍射技术

High Pressure Diffraction Using Synchrotron Radiation

高压物理学报. 2020, 34(5): 050103 <https://doi.org/10.11858/gywlb.20200586>

基于同步辐射的强冲击荷载下原位诊断技术及其应用研究进展

Progress on Synchrotron Based *in-Situ* Dynamic X-Ray Diagnostics and Its Applications

高压物理学报. 2023, 37(5): 050104 <https://doi.org/10.11858/gywlb.20230747>

第四代高能同步辐射光源HEPS及高压相关线站建设

Introduction of Fourth-Generation High Energy Photon Source HEPS and the Beamlines for High-Pressure Research

高压物理学报. 2020, 34(5): 050101 <https://doi.org/10.11858/gywlb.20200554>

CuS₂的高压拉曼光谱和X射线衍射

High Pressure Raman Spectroscopy and X-ray Diffraction of CuS₂

高压物理学报. 2020, 34(4): 040104 <https://doi.org/10.11858/gywlb.20200509>

DOI: 10.11858/gywlxb.20240831

适用于同步辐射小角 X 射线散射的高压溶液装置及其应用

刘广峰, 李怡雯, 张建桥, 宋攀奇, 李 娜

(中国科学院上海高等研究院国家蛋白质科学研究(上海)设施, 上海 201204)

摘要: 高压作为一种重要的热力学变量, 可用于引发软物质系统中的各种结构变化。小角 X 射线散射具有高空间分辨能力, 可用于蛋白质折叠动力学、核酸结构稳定机制研究, 在生命科学领域具有广阔的应用前景。然而, 目前国内尚缺少用于高压溶液散射的专用装置, 为此, 在上海光源 BL19U2 线站设计开发了一种专用于溶液 X 射线散射的高压原位样品装置和手动加压系统, 实现了在 0.1~250 MPa 范围内静水压测量。该装置可实现 X 射线窗口在整个测量过程中保留在原位, 有助于准确扣除背景散射, 实现高信噪比测量, 为食品科学、药理学、结构生物学等研究领域提供重要的研究平台。

关键词: 上海同步辐射装置; 高压溶液散射装置; 小角 X 射线散射; 软物质

中图分类号: O434.19; O521.3

文献标志码: A

高压能够影响生物大分子的结构和功能^[1], 例如, 压力可以导致蛋白质折叠和展开^[2]、触发脂质膜的形成^[3]以及影响 DNA 和 RNA 的构象^[4-5]等。小角 X 射线散射 (small-angle X-ray scattering, SAXS) 是在纳米尺度研究生物大分子结构特性的一种有效方法, 由 SAXS 数据可以构建三维低分辨率模型^[6]。利用高压引起的构象变化, 结合小角 X 射线散射 (SAXS) 的高空间分辨能力, 可以研究这些系统的不平衡变化, 进而研究蛋白质折叠动力学、核酸的结构稳定机制, 在生命科学、医药^[7]和食品科学^[8]等领域具有广阔的应用前景。

利用同步辐射装置开展高压实验研究具有独特的优势^[9-12]。同步辐射具有光准直性好、光斑尺寸小、通量高的特点, 再结合高压原位技术, 是研究极端条件下物质结构的有力手段。因此, 国内外同步辐射装置均建设了专用的高压线站, 如北京同步辐射装置 (BSRF) 的 4W2 线站^[12]、美国先进光源 (Advanced Light Source, ALS) 的 12.2.2 线站^[11]、德国电子同步加速器 (DESY) 的 PETRA III 极端条件线站 P02.2^[13]、日本 SPring-8 光源的高压单晶衍射线站 BL10XU^[14]等。然而, 利用同步辐射 SAXS 方法进行高压溶液实验却存在技术困难。首先, SAXS 信号分布在小角度范围内, 为了保证信号的分辨率, 样品到探测器之间的距离需要足够远, 不便于在专用线站开展 SAXS 实验; 其次, 对于溶液散射而言, 其散射强度比固态样品更弱, 对背底的一致性要求更高。传统金刚石对顶压砧 (diamond anvil cell, DAC) 技术中使用的单晶金刚石存在衍射条纹, 更换样品需要将压机拆下, 无法保证散射背底的一致性。因此, 需要开发专用的高压溶液 SAXS 装置。

国际上已开发出专用的溶液散射压腔用于同步辐射装置 SAXS 线站。1997 年, 奥地利科学家 Pressl 等^[15]报道了一种适用于同步辐射 SAXS 实验的高压溶液样品装置; 随后, 在美国阿贡先进光源

* 收稿日期: 2024-06-21; 修回日期: 2024-07-05

基金项目: 国家自然科学基金 (12105350); 中国科学院青年创新促进会项目 (2020289)

作者简介: 刘广峰 (1986—), 男, 博士, 副研究员, 主要从事同步辐射小角 X 射线散射研究。

E-mail: liuguangfeng@sari.ac.cn

通信作者: 李 娜 (1981—), 女, 博士, 高级工程师, 主要从事生物小角散射研究. E-mail: lina02@sari.ac.cn

(APS)、欧洲同步辐射光源(ESRF)以及美国康耐尔同步加速器光源(CHESS)开展了相关装置的研发和应用^[16]; 2010 年, 英国钻石光源(Diamond)在此基础上设计了一款可以温度跳变(时间尺度为毫秒)的原位样品装置^[17]。这些专用高压溶液样品腔的发展支持了用户在蛋白折叠^[18]、脂质体相变^[19-20]等方面的研究。目前, 国内还没有用于溶液 SAXS 的专用高压样品实验装置, 限制了相关领域的发展。由于 BL19U2 生物小角散射线站具有光通量高、发散角小的特点, 因此非常适合开展软物质动力学过程研究^[21]。BL19U2 散射团队基于对国内相关实验装置的认识, 依托上海同步辐射装置, 开发一种溶液 SAXS 专用高压原位样品装置, 以期为软物质科学(如食品科学、药理学、结构生物学等)研究领域提供一个新的高压溶液散射实验平台。

1 高压溶液散射装置

1.1 高压溶液散射压腔设计

针对生物大分子溶液散射的实际需求, 设计压腔时主要考虑以下几点: (1) 生物大分子的大尺度结构变化主要来源于非共价相互作用, 这类相互作用在高压下更易被压缩, 几百兆帕就足以引起构象上的变化; (2) 以水作为传压介质, 常温下纯水在约 670 MPa 压力处固化, 因此将压力上限设定在 500 MPa; (3) 考虑到 BL19U2 线站光束线的聚焦光斑尺寸为 $330\ \mu\text{m}$ (水平) $\times 50\ \mu\text{m}$ (垂直), 通光口的尺寸应大于 1 mm。

参考文献 [15, 17] 进行高压压腔设计。腔体形状为立方体, 窗口与传压介质接口由 3 个彼此垂直的孔组成, 如图 1 所示。设置一个沿 X 射线传输路径穿过整个腔体的通孔, 将两端用金刚石材质的 X 射线窗口密封, 金刚石窗口之间用定位环间隔, 以免窗口之间压得过紧, 而无法顺利换样; 另一个通孔则由 2 个螺纹孔组成, 两端分别接压力传感器和高压软管, 面向样品处开有小孔, 便于传压介质进出; 顶部的孔则用于样品装载。样品池压腔材料选用 V350 合金钢, 其屈服强度达到 2 200 MPa, 满足所需的强度要求。

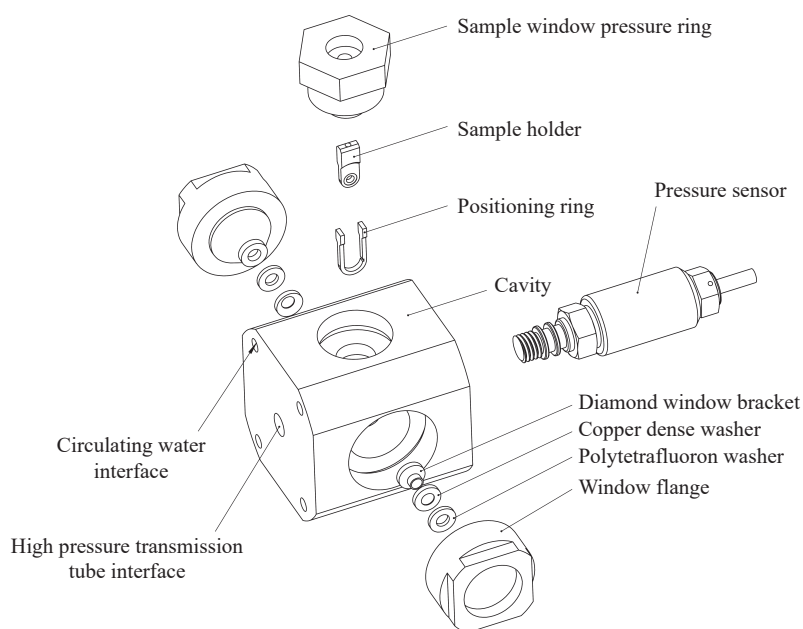


图 1 高压压腔的爆炸视图

Fig. 1 Explosive view of high pressure chamber

为了在腔体内获得足够高的压强, 密封是关键的一环。窗口密封材料采用厚度为 $300\ \mu\text{m}$ 的 II a 型单晶金刚石片, 该厚度的金刚石对 13.5 keV 下 X 射线透过率大于 95%。窗口支架结构如图 2 所示, 金刚石窗口通过高黏度环氧胶粘在支架底部。支架直径为 10 mm, 通光孔直径为 1.5 mm, 相对于

BL19U2 线站最大尺寸为 $300\ \mu\text{m}$ 的光斑而言, 无需使用狭缝限制光斑尺寸, 避免了通量损失。腔体出射窗口的有效张角 2θ 为 30° , 满足小角散射的测试要求。

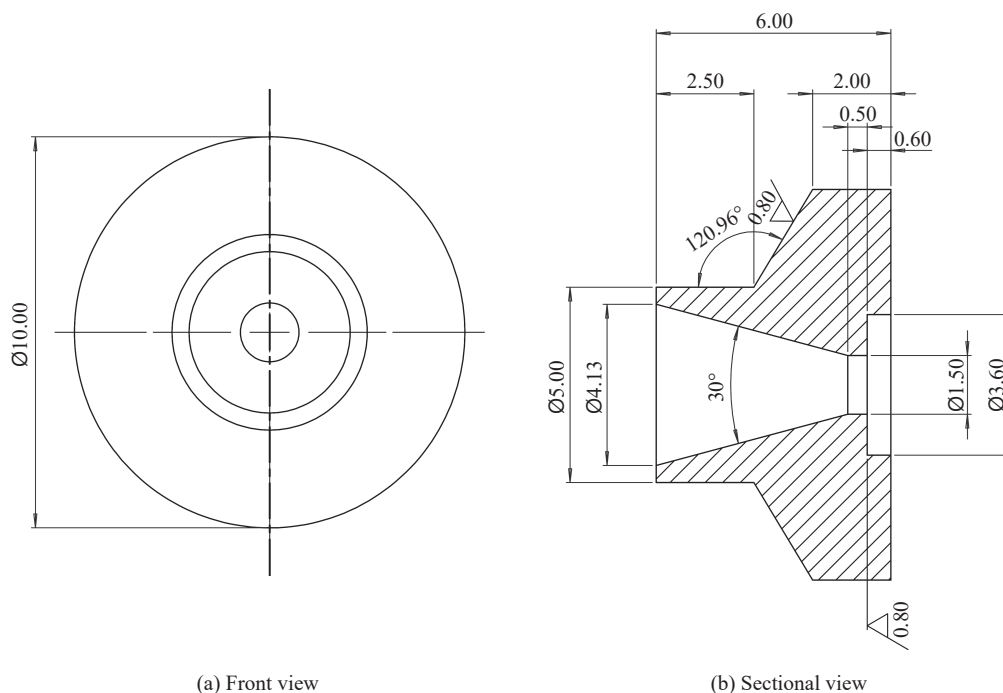


图 2 金刚石窗口支架设计示意图(单位: mm)

Fig. 2 Design drawing of diamond window bracket (Unit: mm)

窗口支架与腔体之间使用布里奇曼型密封件, 当轴向压缩时, 填充环沿径向变形, 形成压缩密封。压力传感器、高压管路与腔体之间采用金属端面密封。对于高压管路与压腔的连接而言, 将高压管穿过压紧螺母后与调整螺母螺纹连接, 高压管前端锥面与样品池腔体通过挤压实现密封。样品窗口则采用“O”形密封圈封闭。这种静态密封在 400 MPa 以上或长时间的压力循环下开始恶化, 密封性低于布里奇曼型。然而, 这种密封件更易拆卸, 且 O 形圈可以作为易损件更换, 因此, 此处采用 O 形圈密封以便于样品更换。

顶端的样品加载端口是该压腔的主要优势。在换样过程中, 无需移除窗口。因此, 在更换样品前后, X 射线仍可保持照射在金刚石窗口的同一位置, 不会使安装样品前获取的背景数据失效, 并可方便地从实验数据中扣除。定位环沿 X 射线方向的厚度为 2 mm, 相当于形成了一个尺寸为 2 mm 的样品腔, 样品支架刚好与腔体吻合, 填充了腔体的大部分空间。样品由 $20\ \mu\text{m}$ 厚的聚酰亚胺胶带 (X 射线的透过率为 99%) 密封在支架的样品孔内, 厚度为 1.8 mm, 孔的直径为 2 mm, 因此进行一次实验仅需要 $10\ \mu\text{L}$ 样品。

1.2 加压装置

如图 3 所示, 采用美国高压设备公司 (High Pressure Equipment Company, HIP) 生产的手动加压泵 (型号: 37-5.75-60) 以及针阀 (型号: 60-11 HF4) 搭建了 500 MPa 手动加压泵站, 采用压力计显示压力, 量程为 500 MPa, 精度为 1%。通过快速接头连接高压泵站的出口和压腔。整个加压装置组装完成后集成在一块 $50\ \text{cm} \times 45\ \text{cm}$ 的钢板上。

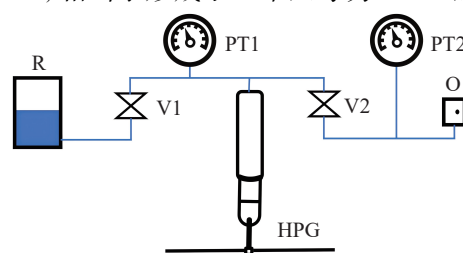


图 3 加压装置结构示意图 (HPG 为手动加压泵, V1 和 V2 为高压针阀, PT1 和 PT2 为压力表, R 为传压介质存储罐, O 为压力出口)

Fig. 3 Structural diagram of the pressurized device (HPG is the manual pressure pump; V1 and V2 are the high pressure needle valves; PT1 and PT2 are the pressure gauges; R is the pressure transmission medium storage tank; O is the pressure outlet.)

通过高压管连接高压泵站与压腔, 利用压紧螺母与调整螺母连接。调整螺母为左旋螺纹, 因此, 在将压紧螺母固定至压腔上时, 可以自行调节高压管的行程; 高压管前端锥面与样品池腔体通过挤压实现密封。

如图 3 所示, 加压过程中, 先关闭高压针阀 V2, 通过调节泵吸取液体; 然后关闭高压针阀 V1, 放开 V2, 利用泵进行加压。若泵达到极限后, 仍没有达到目标压力, 则可以关闭 V2, 放开 V1, 重新吸取液体, 再次进行加压。在加压调试过程中, 整个系统运行正常, 保压效果良好, 重复操作显示 250 MPa 时压降小于 0.02 MPa/min。当压力稍有下降时, 轻轻转动手动泵手柄即可完成补压。

压力传感器(广州锐拓自动化科技有限公司生产, 型号: LB1000)与压腔直接连接, 量程范围为 0~450 MPa, 精度为 0.5%。

2 高压溶液散射实验

为了测试高压溶液散射压腔的性能, 在上海光源 BL19U2 线站进行了原位 SAXS 测试。实验条件: X 射线能量为 12 keV, 光斑尺寸为 $300\ \mu\text{m} \times 50\ \mu\text{m}$ 。样品到探测器的距离为 2.7 m, X 射线探测器为瑞士 DECTRIS 公司的 PILATUS 2M 探测器, 散射矢量范围为 $0.007\ \text{\AA}^{-1} < q < 0.400\ \text{\AA}^{-1}$, 其中: $q = 4\pi \sin \theta / \lambda$, 2θ 为散射角, X 射线波长 $\lambda = 1.033\ \text{\AA}$ 。压腔通过专用夹具固定, 夹具通过燕尾槽与底座相连, 底座安装在 1 组二维电机上, 可以进行上下左右调节, 以使 X 射线通过窗口中部, 如图 4 所示。更换样品时, 取下压腔, 与样品更换点的底座相连, 拧开顶部螺栓即可换样。该过程中, 电机的底座位置固定, 且没有受到额外应力的作用, 通过底座上的定位块可以保证窗口位置精度在 $1\ \mu\text{m}$ 内, 与光斑尺寸相比, 可忽略其位置变化。

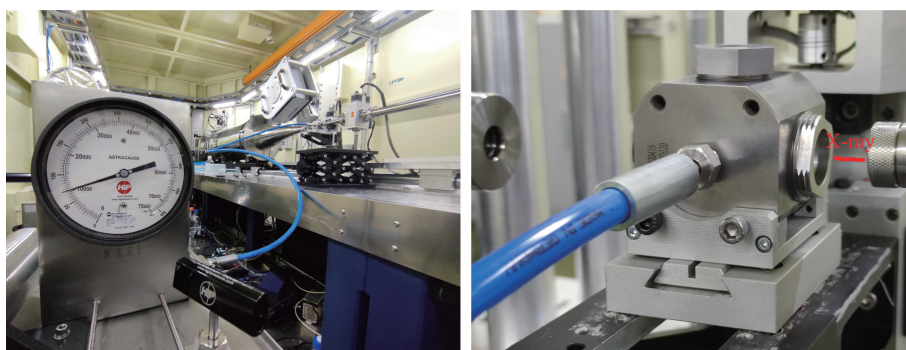


图 4 高压散射实验现场照片(加压泵站与压腔通过高压管线(蓝色)连接, 压腔通过专用的底座安装于位移平台)

Fig. 4 Photos of high pressure scattering experiment (The pump station is connected with the pressure chamber through the high pressure pipeline (blue), and the pressure chamber is installed on the displacement platform through a special base.)

为了验证实验装置的性能, 采用标准样品溶菌酶进行测试。所使用的溶菌酶样品购自美国 Sigma 公司(CAS 编号: 12650-88-3, 货号: 62971-10G-F), 缓冲液为磷酸盐缓冲液(PBS)。样品和缓冲液装入样品池后, 两侧用 Kapton 胶带进行隔离, 依靠薄膜变形进行压力传递。首先, 加压到一定的压力, 平衡 3 min 后进行测量, 曝光时间为 1 s; 然后, 加压到另一个压力点, 最终加压到 250 MPa。实验结果如图 5 所示, 其中 $I(q)$ 为散射强度。从散射曲线(图 5(a))可以看出, 不同压力下的溶菌酶散射曲线变化趋势基本保持一致, 这在 Kratky 图(图 5(b))中也得到了证实, 不同压力下的蛋白质基本维持球状结构, 没有完全展开。上述结果与文献 [22] 的报道相符。Ortore 等 [22] 通过小角 X 射线散射研究发现, 溶菌酶在高达 150 MPa 的压力下完全保持球状结构。这些结果都证明了溶菌酶在压力下的超高稳定性。

类似地, 本课题组也研究了重组人源重链铁蛋白在不同压力下的表现, 结果如图 6 所示。在不同物种中均发现有铁蛋白参与生物体内的铁代谢。人铁蛋白是由 24 个蛋白亚基构成的中空球状结构, 外径约为 12 nm, 内径约为 8 nm, 是很好的模式蛋白。该蛋白由实验室制备, 制备方法参考文献 [23]。2017 年, Wang 等 [24] 将高压技术作用于铁蛋白, 促使铁蛋白结构松散开, 从而使小分子抗癌药物阿霉素(Doxorubicin, DOX)进入铁蛋白内部。他们推测, 铁蛋白在 500 MPa 仍然能够维持球蛋白结构, 但受表

征手段的限制, 没有铁蛋白在压力下维持笼状结构的证据。

铁蛋白作为笼状蛋白, 可以视为一个中空球壳, 其散射曲线具有特征性。图 6 为不同压力下铁蛋白的散射曲线, 可以发现, 随着压力的增加, 铁蛋白散射曲线的变化趋势保持一致, 进而可以证明, 在 200 MPa 的压力下, 铁蛋白仍然维持着笼状结构, 证实了文献 [23] 的推测。至于更高压力下铁蛋白的表现, 还需进一步研究。

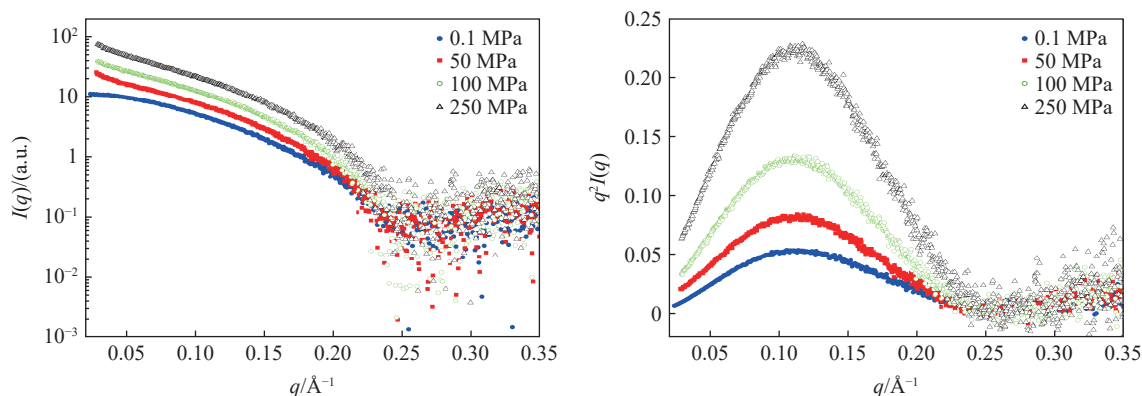


图 5 (a) 不同压力下溶菌酶的散射曲线, (b) 散射曲线的 Kratky 图

Fig. 5 (a) Scattering curves of lysozyme under different pressures; (b) Kratky plot of the scattering curves

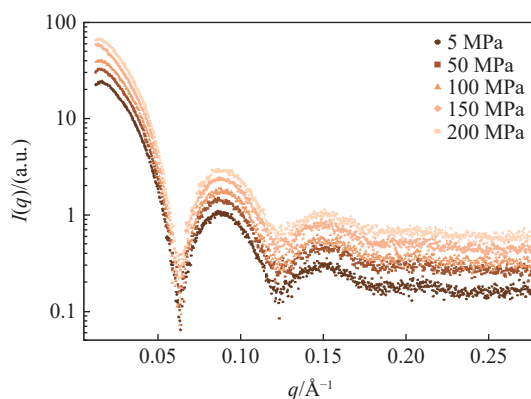


图 6 不同压力下重组人源重链铁蛋白的散射曲线

Fig. 6 Scattering curves of recombinant human heavy chain ferritin under different pressures

3 结 论

SAXS 是一种测量蛋白质结构信息的有效方法。由于蛋白质的散射信号较弱, 因此, 对 SAXS 样品池有严格的要求。设计开发了一种用于高压溶液 X 射线的实验装置, 压腔及加压泵站的最高设计压力为 500 MPa; 快接头管线的最高压力为 250 MPa; 泵站与压腔之间的连接管线最高压力为 400 MPa; 离线测试过程中, 压力达到 300 MPa。溶菌酶和铁蛋白实验证明了生物大分子高压溶液散射方法的可行性。该装置可以很好地满足同步辐射实验的时间有限性和高压实验的复杂性要求, 只需要 1~2 人就可以完成高压溶液散射实验。该装置丰富了 BL19U12 线站的研究技术, 扩展了线站开展高压下溶液自组装、高压生物反应等软物质科学研究的能力。

感谢国家蛋白质科学研究(上海)设施规模化蛋白质制备系统李洁博士在样品制备上提供的帮助, 感谢北京宜捷材料科技有限公司王磊、朱君博士在装置制造中提供的帮助。

参考文献:

- [1] SILVA J L, OLIVEIRA A C, VIEIRA T C R G, et al. High-pressure chemical biology and biotechnology [J]. *Chemical Reviews*, 2014, 114(14): 7239–7267.
- [2] SCHROER M A, PAULUS M, JEWORREK C, et al. High-pressure SAXS study of folded and unfolded ensembles of proteins [J]. *Biophysical Journal*, 2010, 99(10): 3430–3437.
- [3] BROOKS N J, SEDDON J M. High pressure X-ray studies of lipid membranes and lipid phase transitions [J]. *Zeitschrift für Physikalische Chemie*, 2014, 228(10/11/12): 987–1004.
- [4] KRZYŻANIAK A, BARCISZEWSKI J, FÜRSTE J P, et al. A-Z-RNA conformational-changes effected by high-pressure [J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 1994, 16(3): 159–162.
- [5] OTAKE T, TANIGUCHI T, FURUKAWA Y, et al. Stability of amino acids and their oligomerization under high-pressure conditions: implications for prebiotic chemistry [J]. *Astrobiology*, 2011, 11(8): 799–813.
- [6] BLANCHET C E, SVERGUN D I. Small-angle X-ray scattering on biological macromolecules and nanocomposites in solution [J]. *Annual Review of Physical Chemistry*, 2013, 64: 37–54.
- [7] KÖNIG N, PAULUS M, JULIUS K, et al. Antibodies under pressure: a small-angle X-ray scattering study of immunoglobulin G under high hydrostatic pressure [J]. *Biophysical Chemistry*, 2017, 231: 45–49.
- [8] SOMKUTI J, SMELLER L. High pressure effects on allergen food proteins [J]. *Biophysical Chemistry*, 2013, 183: 19–29.
- [9] 李晓东, 袁清习, 徐伟, 等. 第四代高能同步辐射光源 HEPS 及高压相关线站建设 [J]. *高压物理学报*, 2020, 34(5): 050101.
- LI X D, YUAN Q X, XU W, et al. Introduction of fourth-generation high energy photon source HEPS and the beamlines for high-pressure research [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2020, 34(5): 050101.
- [10] 杨科, 蒋升, 闫帅, 等. 上海同步辐射光源高压相关线站概述 [J]. *高压物理学报*, 2020, 34(5): 050102.
- YANG K, JIANG S, YAN S, et al. Application of Shanghai synchrotron radiation source in high pressure research [J]. *Chinese Journal of High Pressure Physics*, 2020, 34(5): 050102.
- [11] KUNZ M, MACDOWELL A A, CALDWELL W A, et al. A beamline for high-pressure studies at the Advanced Light Source with a superconducting bending magnet as the source [J]. *Journal of Synchrotron Radiation*, 2005, 12(5): 650–658.
- [12] LI X D, LI H, LI P S, et al. A high-pressure single-crystal-diffraction experimental system at 4W2 beamline of BSRF [J]. *Journal of Synchrotron Radiation*, 2017, 24(3): 699–706.
- [13] ROTHKIRCH A, GATTA G D, MEYER M, et al. Single-crystal diffraction at the extreme conditions beamline P02.2: procedure for collecting and analyzing high-pressure single-crystal data [J]. *Journal of Synchrotron Radiation*, 2013, 20(5): 711–720.
- [14] HIRAO N, KAWAGUCHI S I, HIROSE K, et al. New developments in high-pressure X-ray diffraction beamline for diamond anvil cell at Spring-8 [J]. *Matter and Radiation at Extremes*, 2020, 5(1): 018403.
- [15] PRESSL K, KRIECHBAUM M, STEINHART M, et al. High pressure cell for small- and wide-angle X-ray scattering [J]. *Review of Scientific Instruments*, 1997, 68(12): 4588–4592.
- [16] ANDO N, CHENEVIER P, NOVAK M, et al. High hydrostatic pressure small-angle X-ray scattering cell for protein solution studies featuring diamond windows and disposable sample cells [J]. *Journal of Applied Crystallography*, 2008, 41(1): 167–175.
- [17] BROOKS N J, GAUTHE B L L E, TERRILL N J, et al. Automated high pressure cell for pressure jump X-ray diffraction [J]. *Review of Scientific Instruments*, 2010, 81(6): 064103.
- [18] CINAR S, AL-AYOUBI S, STERNEMANN C, et al. A high pressure study of calmodulin-ligand interactions using small-angle X-ray and elastic incoherent neutron scattering [J]. *Physical Chemistry Chemical Physics*, 2018, 20(5): 3514–3522.
- [19] LEHOFER B, GOLUB M, KORNMUELLER K, et al. Structural effects of high hydrostatic pressure on human low density lipoprotein revealed by small angle X-ray and neutron scattering [J]. *Biophysical Journal*, 2016, 110(3): 255a–256a.
- [20] ABE H, HAMAYA N, KOYAMA Y, et al. Long periodic structure of a room-temperature ionic liquid by high-pressure small-angle X-ray scattering and wide-angle X-ray scattering: 1-decyl-3-methylimidazolium chloride [J]. *ChemPhysChem*, 2018, 19(12): 1441–1447.
- [21] LI Y W, LIU G F, WU H J, et al. BL19U2: small-angle X-ray scattering beamline for biological macromolecules in solution at SSRF [J]. *Nuclear Science and Techniques*, 2020, 31(12): 117.
- [22] ORTORE M G, SPINOZZI F, MARIANI P, et al. Combining structure and dynamics: non-denaturing high-pressure effect on

- lysozyme in solution [J]. *Journal of the Royal Society Interface*, 2009, 6(Suppl 5): S619–S634.
- [23] SONG X T, ZHENG Y X, ZHU L, et al. Development of robust and facile purification process for production of recombinant human ferritin heavy chain nanoparticle from *Escherichia coli* [J]. *Process Biochemistry*, 2021, 104: 1–9.
- [24] WANG Q, ZHANG C, LIU L P, et al. High hydrostatic pressure encapsulation of doxorubicin in ferritin nanocages with enhanced efficiency [J]. *Journal of Biotechnology*, 2017, 254: 34–42.

Applications of High-Pressure Solution Device for Synchrotron Radiation Small Angle X-Ray Scattering Method

LIU Guangfeng, LI Yiwen, ZHANG Jianqiao, SONG Panqi, LI Na

(*National Facility for Protein Science Shanghai, Shanghai Advanced Research Institute,
Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201204, China*)

Abstract: High pressure is one of the fundamental thermodynamic parameters, which can induce the structural changes in soft matter systems. By combining the spatial resolution of small-angle X-ray scattering (SAXS), this technique can be employed to explore the dynamics of protein folding and the mechanisms of nucleic acid structural stability. Moreover, it has promising and broad applications in the field of life sciences. Currently, the specialized equipment for high-pressure solution scattering is still lacking in China. For this purpose, a high-pressure *in-situ* sample device and a manual pressurization system for specialized solution X-ray scattering have been developed at BL19U2 beamline at SSRF, which can complete the hydrostatic pressure measurements from 0.1 to 250 MPa. More important, the apparatus can keep the X-ray window in the same place throughout the experiment, which can help to subtract the accurate background scattering and achieve the measurements with high signal-to-noise ratio. This will provide a valuable research platform for wide range of areas, including food science, pharmacology, and structural biology.

Keywords: Shanghai synchrotron radiation facility; high pressure solution scattering apparatus; small angle X-ray scattering; soft matter