

复杂流体中新型材料的合成 反应过程实时跟踪研究

◆吴忠华¹ 黄宇营² 张建玲³ 沈容⁴ 俞宏英⁵
邢雪青¹ 杨春明² 韩布兴³ 陆坤权⁴

1. 中国科学院高能物理研究所,北京同步辐射装置,北京 100049;
2. 中国科学院上海应用物理研究所,上海同步辐射装置,上海 201204;
3. 中国科学院化学研究所,胶体、界面与化学热力学重点实验室,北京 100190;
4. 中国科学院物理研究所,软物质物理院重点实验室,北京 100190;
5. 北京科技大学,新材料技术研究院,北京 100083

摘要 复杂流体在新型材料合成、机械、智能控制、催化、医药、生物、环境等诸多领域有着非常重要的应用前景。目前,复杂流体中微观结构随外场的演化及复杂流体中个体间的复杂耦合作用尚不清楚,这严重制约着复杂流体的开发和应用。复杂流体中组元间的耦合作用、微观结构随外场的演化规律以及结构与性能的内在联系是复杂流体科学面临的关键科学问题,其研究亟需原位实验技术予以支撑。该研究拟建立基于同步辐射光源的X射线吸收(XAFS)/X射线衍射(XRD)联用技术、小角X射线散射(SAXS)/广角X射线散射(WAXS)/XAFS联用技术、SAXS/WAXS/拉曼光谱(Raman)联用技术、SAXS/WAXS/红外光谱(IR)联用技术、掠入射小角X射线散射(GISAXS)/紫外可见吸收光谱(UV-Vis)联用技术,开发适用以上联用技术的复杂流体原位研究样品环境(包括温度、压力、电场、剪切力场、混流、浓度等),用于跟踪复杂流体中原子、分子、纳米尺度结构基团等随外场的变化,揭示复杂流体中结构演化机

制,并最终通过控制结构,达到改善和调控复杂流体性质的目的。

关键词: 复杂流体;同步辐射技术;原位表征;微观结构;动态演化

中图分类号: O368 · 文献标识码: A

文章编号: 1009-2412(2018)05-0017-06

DOI: 10.3969/j.issn.1009-2412.2018.05.004

1 复杂流体多级结构的研究需要原位联用表征技术

复杂流体在现实生活中广泛存在,如高分子聚合物、液晶、表面活性剂、胶体、电流变液、磁流变液、超临界流体、甚至混合离子液体等。一个微小扰动(如成份、温度、压力、电场、剪切等微小改变)往往引起复杂流体性质的剧变,表现出临界现象的特征。复杂流体结构的变化常常发生在 $1\ \mu\text{s}$ 以上的时间尺度和纳米以上的空间尺度,在大分子、超分子组合、胶体、液晶、共混物、乳液、悬浮体等不同层次上表现出特异现象。因此,复杂流体的研究需要对不同层次的微观结构进行动态观测。

国际上,复杂流体的原位实时动态研究还处于起步阶段,一般仅限于较简单体系,缺乏深入系统研究。单一实验技术(如:紫外-可见光谱、傅立叶变换红外光谱、荧光光谱、核磁共振、电子显微技术、动态光散射、小角X射线散射、小角中子散射等)或计算模拟用于复杂流体中的分子聚集体结构的研究取得

收稿日期: 2018-08-15 修回日期: 2018-09-12

研究资助: 国家重点研发计划“大科学装置前沿研究”重点专项项目(2017YFA040300)。

联系作者: 吴忠华,研究员, wuzh@ihp.ac.cn。

了一些重要进展,观测到胶束、囊泡、表面活性剂、微乳液、多重乳液、团簇、纳米级聚集体、网络结构、局域分相结构、液晶结构等。近年来,项目组成员利用同步辐射小角 X 射线散射(SAXS)技术研究超临界流体中的分子聚集行为和微观结构变化,取得了一些创新成果,发现:CO₂可作为新型“开关”调控液晶与胶束间的可逆转变^[1]、可调控高度组装的金属有机框架介孔材料的介孔尺寸^[2]、超临界 CO₂/表面活性剂体系可形成离子液体包 CO₂ 型微乳液^[3]、在离子液体/超临界 CO₂ 乳液中,成功制备了有序介孔-微孔金属有机框架(MOF)纳米球^[4]、超临界 CO₂ 可诱导嵌段共聚物分子在水相中形成胶束^[5]、可调控反胶束微观结构转变^[6]、可诱导新型纳米乳液形成^[7,8]、可使反胶束中形成纳米尺度大小的聚乙二醇(PEG)室温液相区域^[9]。利用超临界 CO₂/离子液体混合介质进行化学反应的研究^[10]发现:通过 CO₂ 调控压力可调节乳液微滴的尺寸,并进而调控苯乙烯环氧化转换效率的新途径。利用离子液体多孔水凝胶可一步合成^[11]负载型金属纳米催化材料。电流变液也是一种代表性的复杂流体,在外加电场作用下,电流变液可在固液之间发生可逆变化,在制动与减震等领域有着重要的潜在应用价值。另外,通过高性能极性分子型电流变液的研究还发现了电流变液中的极性分子电流变(PM-ER)效应^[12]、通过固液界面的研究对金属钛表面的钝化机制也有新的认识^[13]。以上最新进展表明:复杂流体蕴含着丰富的物理内涵,许多新颖的性质和物理化学效应还有待深入的挖掘。然而,人们对复杂流体所呈现出的各种新颖性质与效应的解释还很不完善,其主要原因是缺乏有效观测手段原位实时跟踪复杂流体的动态结构变化,特别是复杂流体中多级结构的演化、分子聚集行为以及组元间的耦合作用。复杂流体中多级结构的原位实时跟踪研究不仅是一个挑战性课题,而且正发展成为国际前沿研究。

在原位表征技术方面,国际上已有不少单一原位同步辐射实验技术或联用技术的研究^[14-18],用原位同步辐射技术研究复杂流体相关体系的报道^[19-26]也不少。国内针对样品环境的研究或复杂流体相关的原位研究也取得一些成果^[27-33],但在原位样品环境条件下,针对复杂流体进行同步辐射联用技术的表征研究还很不成熟,例如,到目前为止国内外还未见适用同步辐射联用技术的复杂流体电场与剪切力场样品环境系统的报道。据我们所知,针对复杂流

体,国内只有少量原位温压条件下的单一 SAXS 技术研究。然而,单一原位同步辐射技术只能针对复杂流体样品进行某一方面的结构表征,而不能满足复杂流体在原位环境条件下不同尺度结构同步表征的需求。因此,发展基于同步辐射光源的多种原位结构表征技术及相应的复杂流体原位样品环境系统,不仅是复杂流体动态多级结构研究的迫切需求,也是同步辐射实验技术的重要发展方向。

2 基于同步辐射光源的复杂流体原位联用表征技术的实现

由于复杂流体结构的复杂性,其中存在着从原子分子尺度、超分子组合、纳米尺度到块体长周期等不同尺度的微观结构。更为复杂的是:由于复杂流体中原子分子或颗粒等微结构单元间的耦合作用,使复杂流体的整体性质不能完全决定于复杂流体中的个体特性。因而要对复杂流体的性质进行描述和预测就不能忽视复杂流体中个体间的耦合作用、复杂流体中微观结构随外场的演化及复杂流体中个体间的复杂耦合作用是打开复杂流体应用之门的钥匙。因此,在外场作用下复杂流体中个体间的耦合作用、复杂流体微观多级结构在时间尺度上的演化规律以及在空间尺度上的变化规律是复杂流体科学面临的共性关键科学问题。针对这一关键科学问题的探究,迫切需要发展时间分辨的结构表征技术和多级结构同步表征的联用技术。

复杂流体中新型材料的合成反应过程、复杂流体中固液界面的构效关系以及电流变液微观结构对外场作用的响应行为是 3 个代表性的复杂流体前沿研究领域。基于以上 3 个方面的研究需求,重点研发适用复杂流体多级微观结构表征的多种同步辐射联用技术、同步辐射与非同步辐射联用技术以及适用联用实验技术的复杂流体原位样品环境系统,建立复杂流体结构表征的原位研究手段极为重要。

2.1 基于同步辐射光源的联用新技术方法的实现

重点研发多种同步辐射联用技术或同步辐射与非同步辐射联用技术,以满足复杂流体多尺度结构同步测量的需求,用于获取复杂流体中原子分子尺度、纳米尺度以及块体长周期尺度的结构变化规律。主要研究内容有:

发展基于同步辐射光源的小角 X 射线散射

(SAXS)、广角 X 射线散射(WAXS)与 X 射线吸收谱学(XAFS)的联用实验技术(SAXS/WAXS/XAFS),用于原位同步研究复杂流体中原子近邻结构、纳米尺度颗粒结构及纳米尺度周期的长程结构的演化;发展基于同步辐射光源的 X 射线衍射(XRD)与 X 射线吸收谱学(XAFS)联用实验技术(XRD/XAFS),用于原位同步研究复杂流体中原子近邻结构与原子尺度周期的长程有序的演化;发展基于同步辐射光源的小角 X 射线散射(SAXS)、广角 X 射线散射(WAXS)与非同步辐射光源的拉曼光谱(Raman)联用实验技术(SAXS/WAXS/Raman),用于原位同步研究复杂流体中新材料合成过程的原子排列、分子构成及分子聚集行为;发展基于同步辐射光源的小角 X 射线散射(SAXS)、广角 X 射线散射(WAXS)与非同步辐射光源的红外光谱(IR)联用实验技术(SAXS/WAXS/IR),用于原位同步研究复杂流体中纳米颗粒的周期性结构、新材料的晶体结构以及分子结构的演化;发展基于同步辐射光源的掠入射小角 X 射线散射(GISAXS)与非同步辐射光源的紫外可见光谱(UV-Vis)联用实验技术(GISAXS/UV-Vis),用于原位同步研究复杂流体中界面微观结构及分子的电子状态。

2.2 适用复杂流体原位研究的样品环境系统开发

重点研发多种适用复杂流体研究的原位样品环境系统,为复杂流体研究提供原位外场环境条件,实现外场作用条件下复杂流体微观结构演化的原位跟踪研究。原位环境系统必须与联用实验技术兼容,以便获取复杂流体中多级尺度结构随时间的演变规律。主要研究内容有:

研发适用复杂流体及 SAXS/WAXS/XAFS 联用实验技术的温度压力样品环境系统,用于跟踪复杂流体中原子近邻结构、分子聚集与颗粒组装结构的演化;研发适用于复杂流体及 XRD/XAFS 联用实验技术的温度压力样品环境系统,用于跟踪复杂流体中原子近邻结构、晶粒大小、中间体或结晶相晶体结构的演化;研发适用于复杂流体及 SAXS/WAXS/XAFS 联用实验技术的混流组分可控环境系统,用于跟踪复杂流体混流过程中的原子近邻结构、分子聚集与颗粒组装结构的演化;研发适用于电流变液及 SAXS/WAXS/XAFS 联用技术的电场与剪切力场样品环境系统,用于跟踪外加电场与剪切力场作用下,电流变液中结构单元、颗粒聚集与外场响应行为的演化;研发适用于复杂流体及 SAXS/WAXS/Raman

联用实验技术的温度压力样品环境系统,用于跟踪复杂流体中原子排列、分子构成及分子聚集行为的演化;研发适用于复杂流体及 SAXS/WAXS/Raman 联用实验技术的混流组分可控样品环境系统,用于跟踪复杂流体混流过程中原子排列、分子构成及分子聚集行为的演化;研发适用于复杂流体及 SAXS/WAXS/IR 联用实验技术的温度压力样品环境系统与衰减全反射(ATR)液体测量系统,用于跟踪复杂流体中分子聚集、新材料周期性结构及分子组元结构的演化;研发适用于复杂流体及 GISAXS/UV-Vis 联用实验技术的固液界面温度气氛样品环境系统,用于跟踪复杂流体中固液界面结构及分子电子状态的演化。

2.3 复杂流体原位过程的跟踪研究

重点研究复杂流体中新材料的合成反应过程、固液界面的构效关系以及电流变液的外场响应行为,获取复杂流体内部原子、分子、纳微等尺度上的结构不均匀性,以及外场调节作用下的形成演化规律,为复杂流体关键科学问题的解决提供实验证据。主要研究内容有:

利用本项目发展的新技术方法研究复杂流体中金属、金属氧化物、金属硫化物、金属-有机框架、石墨烯等纳米材料合成过程中纳米颗粒的形貌、尺寸、表面吸附、体积分数等的演变规律;利用本项目发展的新技术方法研究复杂流体中金属/金属-有机框架、金属/石墨烯、金属氧化物/金属-有机框架、金属氧化物/石墨烯、金属硫化物/金属-有机框架、金属硫化物/石墨烯等复合材料合成过程中纳米颗粒的组装、表界面原子结构及缺陷、组分间相互作用等的演变规律;利用本项目发展的新技术方法研究溶剂、温度、压力等外场作用条件对上述纳米材料合成和组装过程的影响规律和机制,解决一些现有技术无法或难以解决的科学难题。初步研究发现离子液体可加速 Zr 基金属-有机框架材料的晶化过程^[34],通过调整离子液体中的阴离子和阳离子,可容易实现框架粒子大小的调节,并对该金属-有机框架材料的形成机制进行了前期的探索;利用本项目发展的新技术方法研究外加电场与剪切力场作用下,电流变液中纳米颗粒聚集形态对外场的响应行为,获取电流变液在外场作用下纳米颗粒聚集形态的演化规律,结合电流变液物性测量,理解电流变液的构效关系,揭示电流变液的作用机理,为提高电流变液的性能提供实验依据;利用本项目发展的新技术方法研

究复杂流体中固液界面构效关系的演化过程,获取复杂流体中固液界面处离子、原子、分子及纳米颗粒分布、构象、界面特征与光学特征的变化,理解固液界面构效关系的规律,揭示复杂流体与固体界面相互作用机理,为改善固体表面的使用性能提供实验依据。

3 研究目标和预期效益

3.1 研究目标

通过原位条件下的同步辐射联用实验技术(SAXS/WAXS/XAFS、XRD/XAFS)以及同步辐射与非同步辐射联用实验技术(SAXS/WAXS/Raman、SAXS/WAXS/IR、GISAXS/UV-Vis)的发展以及适用复杂流体原位研究的多种样品环境系统(温度、压力、电场、剪切、流速、组分)的研发,提供基于同步辐射大科学装置的复杂流体研究支撑手段,初步建立复杂流体原位动态微观结构研究表征平台;以复杂流体中的原位反应过程、电流变液的响应行为以及固液界面的构效关系等复杂流体共性关键科学问题的研究为牵引,从原子尺度和纳米尺度等结构信息方面,跟踪外场作用下复杂流体中分子聚集行为与聚集体结构的演化,探索外场对复杂流体微观结构及其性能的调控机制,为复杂流体性能的改善和应用提供实验依据。

3.2 预期效益

这一研究涉及的联用表征技术和原位样品环境系统是复杂流体体系研究迫切需要但还未实现的研究条件。通过研究建立的研究平台不仅可解决我国复杂流体研究的燃眉之急,而且所提供的联用技术与研究手段可实现原位实时研究复杂流体在外场作用下的动态变化,跟踪复杂流体中的化学反应、材料合成、响应机制等方面的变化规律,有助于复杂流体中关键科学问题的解决,对新材料的合成及智能材料的开发具有显著的科学意义。通过研究实现的联用表征方法可应用于包括复杂流体在内的所有液态样品,并将逐步发展完善成常规通用的实验表征手段,对所有用户开放共享运行,这将进一步提升我国大科学装置对科学研究的支撑作用,在科学研究群体中产生积极影响,具有重要的社会效益。在联用技术和复杂流体样品环境上的突破将提升我国科学技术的研发能力,不仅推动我国复杂流体科学研究从静态过渡到动态,拓展流

体科学研究的维度,带动我国复杂流体领域整体研究水平的提升,而且技术与方法的进步可对其他实验技术与相关学科的研究起到借鉴与示范作用。通过研究产出的技术方法、原理、技巧、工艺等有可能在其他同类装置上得到应用转移,研制的各种样品环境系统与部件有可能形成产品或商品,在不同的研究群体中得到推广应用,也有可能产生一定的经济效益。

利用复杂流体合成新型材料可能减少材料生产对环境的污染,还可能优化化学化工过程,提高效率,并解决一些现有技术无法或难以解决的难题。电流变液外场响应行为的研究有可能对电流变液的作用机制获得新的认识,将有助于改进和提高电流变液的品质,有可能在制动、减震、智能材料等领域产生社会效益。复杂流体固液界面构效关系的研究有可能加深理解金属表面的腐蚀机制,在材料防腐方面有可能产生经济与生态效益。

致谢

本文主体内容来自国家重点研发计划“大科学装置前沿研究”专项项目(2017YFA0403000),是参与项目的24位骨干成员的集体成果。

参考文献

- [1] Zhang Jianling, Han Buxing, Li Wei, et al. Reversible switching of lamellar liquid crystals into micellar solutions using CO₂[J]. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2008, 47:10119—10123
- [2] Peng Li, Zhang Jianling, Xue Zhimin, et al. Highly mesoporous metal-organic framework assembled in a switchable solvent [J]. *Nat. Commun.*, 2014, 5: 5465
- [3] Zhang Jianling, Han Buxing, Li Jianshen, et al. Carbon dioxide in ionic liquid microemulsions [J]. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2011, 50:9911—9915
- [4] Zhao Yueju, Zhang Jianling, Han Buxing, et al. Metal-organic framework nanospheres with well-ordered mesopores synthesized in an ionic liquid/CO₂/surfactant system [J]. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2011, 50: 636—639
- [5] Zhang Jianling, Han Buxing, Zhao Yueju, et al. Switching micellization of pluronics in water by CO₂ [J]. *Chem. Eur. J.*, 2011, 17: 4266—4272
- [6] Zhao Yueju, Zhang Jianling, Wang Qian, et al. Cylindrical-to-spherical shape transformation of lecithin reverse micelles induced by CO₂ [J]. *Langmuir*, 2010, 26: 4581—4585

- [7] Zhang Jianling, Zhao Yueju, Li Jianshen, et al. CO₂-responsive TX-100 emulsion for selective synthesis of 1D or 3D gold [J]. *Soft Matter*, 2010, 6: 6200—6205
- [8] Zhao Yueju, Zhang Jianling, Wang Qian, et al. Water-in-oil-in-water double nanoemulsion induced by CO₂ [J]. *Phys. Chem. Chem. Phys.*, 2011, 13: 684—689
- [9] Xue Zhimin, Zhang Jianling, Peng Li, et al. Nanosized poly(ethylene glycol) domains within reverse micelles formed in CO₂ [J]. *Angew. Chem. Int. Ed.*, 2012, 51: 12325—12329
- [10] Zhao Yueju, Zhang Jianling, Han Buxing, et al. CO₂-controlled reactors; epoxidation in emulsions with droplet size from micron to nanometre scale [J]. *Green Chem.*, 2010, 12: 452—457
- [11] Kang Xinchen, Zhang Jianling, Shang Wenting, et al. One-step synthesis of highly efficient nanocatalysts on the supports with hierarchical pores using porous ionic liquid-water gel [J]. *J. Am. Chem. Soc.*, 2014, 136: 3768—3771
- [12] Shen Rong, Wang Xuezhao, Lu Yang, et al. Polar-molecule-dominated electrorheological fluids featuring high yield stresses [J]. *Adv. Mater.*, 2009, 21: 4631—4635
- [13] Wang Lu, Yu Hongying, Wang Ke, et al. Local fine structural insight into mechanism of electrochemical passivation of titanium [J]. *ACS Appl. Mater. & Interfaces*, 2016, 8: 18608—18619
- [14] Kim Youngeun, Robert J Macfarlane, Matthew R Jones, et al. Transmutable nanoparticles with reconfigurable surface ligands [J]. *Science*, 2016, 351: 579—582
- [15] Andrew M Beale, Matthew G O'Brien, Marta Kasuni, et al. Probing ZnAPO-34 self-assembly using simultaneous multiple in situ techniques [J]. *J. Phys. Chem. C*, 2011, 115: 6331—6340
- [16] Soon Gu Kwon, Galyna Krylova, Patrick J Phillips, et al. Heterogeneous nucleation and shape transformation of multicomponent metallic nanostructures [J]. *Nat. Mater.*, 2015, 14: 215—223
- [17] Adam P Hitchcock, James J Dynes, Goran Johansson, et al. Comparison of NEXAFS microscopy and TEM-EELS for studies of soft matter [J]. *Micron*, 2008, 39: 741—748
- [18] Juan-Jesus Velasco-Velez, Wu Chenghao, Tod A Pascal, et al. The structure of interfacial water on gold electrodes studied by x-ray absorption spectroscopy [J]. *Science*, 2014, 346: 831—834
- [19] Daniel Hermida-Merino, Giuseppe Portale, Peter Fields, et al. A high pressure cell for supercritical CO₂ on-line chemical reactions studied with x-ray techniques [J]. *Rev. Sci. Instrum.*, 2014, 85: 093905
- [20] Markus M Hoffmann, John G Darab, Steve M Heald, et al. New experimental developments for in situ XAFS studies of chemical reactions under hydrothermal conditions [J]. *Chem. Geol.*, 2000, 167: 89—103
- [21] Ursula Bentrup. Combining in situ characterization methods in one set-up: looking with more eyes into the intricate chemistry of the synthesis and working of heterogeneous catalysts [J]. *Chem. Soc. Rev.*, 2010, 39: 4718—4730
- [22] Christian R Ocier, Detlef-M Smilgies, Richard D Robinson, et al. Reconfigurable nanorod films; an in situ study of the relationship between the tunable nanorod orientation and the optical properties of their self-assembled thin films [J]. *Chem. Mater.*, 2015, 27: 2659—2665
- [23] Kotaro Sasaki, Nebojsa Marinkovic, Hugh S Isaacs, et al. Synchrotron-based in situ characterization of carbon-supported platinum and platinum monolayer electrocatalysts [J]. *ACS Catal.*, 2016, 6: 69—76
- [24] Li Tao, Andrew J Senesi, Byeongdu Lee. Small angle X-ray scattering for nanoparticle research [J]. *Chem. Rev.*, 2016, 116: 11128—11180
- [25] Markus Mezger, Blandine Jérôme, Jeffrey B Kortright, et al. Molecular orientation in soft matter thin films studied by resonant soft X-ray reflectivity [J]. *Phys. Rev. B*, 2011, 83: 155—406
- [26] Isao Saeki, Yusuke Sugiyama, Shigenari Hayashi, et al. In situ X-ray diffraction of surface oxide on type 430 stainless steel in breakaway condition using synchrotron radiation [J]. *Corros. Sci.*, 2012, 55: 219—225
- [27] Cai Quan, Wang Qiang, Wang Wei, et al. A furnace to 1200 K for in situ heating x-ray diffraction, small angle x-ray scattering, and x-ray absorption fine structure experiments [J]. *Rev. Sci. Instrum.*, 2008, 79: 126101
- [28] An Pengfei, Hong Caihao, Zhang Jing, et al. A facile heating cell for in situ transmittance and fluorescence X-ray absorption spectroscopy investigations [J]. *J. Synchrotron Rad.*, 2014, 21: 165—169
- [29] Gong Jianxiao, Richmond S Newman, Michael Engel, et al. Shape-dependent ordering of gold nanocrystals into large-scale superlattices [J]. *Nat. Commun.*, 2017, 8: 4038
- [30] Liu Chengcheng, Zhang Jianling, Zheng Lirong, et al. Metal-organic framework for emulsifying carbon dioxide and water, *angew* [J]. *Chem. Int. Ed.*, 2016, 55: 11372—11376
- [31] Luo Tian, Zhang Jianling, Tan Xiuniang, et al. Water-in-supercritical CO₂ microemulsion stabilized by a metal water-in-supercritical CO₂ complex, *angew* [J]. *Chem. Int. Ed.*, 2016,

55: 13533—13537

- [32] Shen R, Wang X Z, Lu Y, et al. The methods for measuring shear stress of polar molecule dominated electrorheological fluids [J]. *J. Appl. Phys.*, 2007, 102: 024106
- [33] Shen Rong, Liu Rui, Wang De, et al. Frequency response of giant electrorheological fluids in AC electric field [J]. *RSC Adv.*, 2014, 4: 61968
- [34] Sang Xinxin, Zhang Jianling, Xiang Junfeng, et al. Ionic liquid accelerates the crystallization of Zr-based metal-organic frameworks [J]. *Nat. Commun.*, 2017, 8: 175

Real-time Tracking Research on the Formation of New Materials in Complex Fluids

Wu Zhonghua¹, Huang Yuying², Zhang Jianling³,
Shen Rong⁴, Yu Hongying⁵, Xing Xueqing¹,
Yang Chunming², Han Buxing³, Lu Kunquan⁴

1. Beijing Synchrotron Radiation Facility, Institute of High Energy Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049;
2. Shanghai Synchrotron Radiation Facility, Shanghai Institute of Applied Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 201204;
3. Key Laboratory of Colloid, Interface and Chemical Thermodynamics, Institute of Chemistry, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190;
4. Key Laboratory of Soft Matter Physics, Institute of Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190;
5. Institute for Advanced Materials and Technology, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083

Complex fluid has very important application prospects in new material synthesis, machinery, intelligent

control, catalysis, medicine, biology, environmentology, and so on. Because of the particularity and structural complexity of complex fluid, a small disturbance of the applied field to complex fluid could cause a big response. At present, how the microstructure of complex fluid evolves with the applied fields and what is the coupling interaction between individuals in complex fluid are still unclear, which not only restrict seriously the development and application of complex fluid, but also become the key scientific issues and frontier researches in complex fluid. To reveal the coupling interaction between molecules, the microstructure evolution with applied fields, and the inner link between structure and property, in-situ combining techniques are desired for studying complex fluid. This project intends to set up SAXS/WAXS/XAFS, XAFS/XRD, SAXS/WAXS/Raman, SAXS/WAXS/IR, and GISAXS/UV-Vis combining techniques on synchrotron radiation facilities. For tracking the structure evolution of complex fluid with the applied fields in atomic-scale, molecular scale, and nanoscale, the sample cells in real conditions will be developed, which involve the controllable temperature, pressure, electric field, shearing field, mixed-flow rate, concentration, respectively. We hope that this study could realize the support conditions for revealing the structure evolution mechanism of complex fluid and further improving the property of complex fluid.

Keywords: complex fluid; synchrotron radiation technology; in-situ characterization; microstructure; dynamic evolution