

合肥同步辐射装置

综述及基本情况

设施概述

国家同步辐射实验室坐落在安徽合肥中国科学技术大学西校区，是我国批准建设的第一个国家实验室——国家同步辐射实验室（NSRL）。实验室建有我国第一台以真空紫外和软X射线为主的专用同步辐射光源——合肥同步辐射装置（简称“合肥光源”，“HLS”）

合肥光源的建设历经HLS-I和HLS-II两个阶段。

HLS-I包括一期工程（1983年立项，1991年通过国家验收）和二期工程（1999年开工建设，2004年通过国家验收）。在此期间，合肥光源坚持稳定运行、优质开放的原则，为我国材料科学、凝聚态物理学、化学、能源环境科学等领域提供了一个优良的实验平台，取得了一系列研究成果。

HLS-II的建设自2010年8月立项，2012年5月开工，2014年底完成新建直线加速器、储存环及5条光束线站的首批任务。2016年1月投入正式运行，同时边运行、边建设，逐步完善通用辅助设施的基础设施改造，实施恒流运行等改造，不断提升光束线站性能。目前HLS-II已建设完成，达到三代光源运行水平。



合肥光源目前拥有 10 条光束线及实验站，包括 5 条插入元件线站和实验站、5 条弯铁线站和实验站。此外还有 3 个出光口为未来发展预留空间。

作为国家大科学装置和合肥大科学中心的重要组成部分，NSRL 将继续面向国家战略需求和前沿基础科学研究，为各领域科学家提供长期、可靠、稳定的技术支撑。

主要研究目标

NSRL 致力于提升机器性能，发展新的实验技术和方法，积极引进和培养国内外高水平用户，围绕前沿科学领域和国家重大需求，为国内外众多学科领域提供独特的大型综合交叉研究平台。

在科学实验方面，NSRL 围绕合肥大科学中心的能源与环境、量子功能材料、物质与生命科学交叉等领域科学目标，重点发展能量转换材料、化石燃料的清洁燃烧、大气环境、关联电子材料、多尺度生物成像等前沿学科领域的前沿课题研究。同时，还围绕电子加速器前沿科学和用户需求，开展先进光源物理和关键技术研究。

在保证稳定运行、优质开放的基础上，NSRL 最终目标是建成具有世界一流水平的红外-真空紫外-软X射线波段的光源，成为合肥大科学中心的重要组成部分、国家交叉科学研究中心和人才培养基地，为用户提供世界先进的实验平台，推动我国同步辐射应用研究取得创新成果。

研究进展与成果

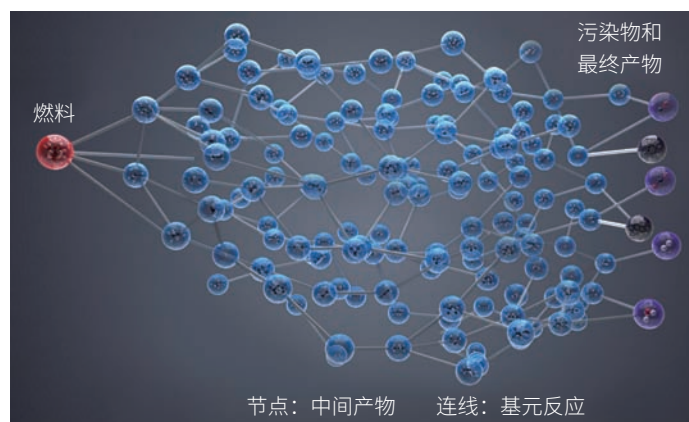
合肥同步辐射装置建成

合肥同步辐射装置是我国第一台以真空紫外和软X射线为主的专用同步辐射光源。1983年4月，作为第一个由国家全额投资兴建并支持运行的国家实验室——国家同步辐射实验室由原国家计委批准立项，11月20日破土动工；1989年建成出光，1991年12月通过国家验收，1999年进行国家同步辐射实验室二期工程建设，2004年12月二期工程通过国家验收。合肥同步辐射装置曾荣获国家科技进步奖一等奖、中国科学院科技进步奖特等奖和安徽省高校科技进步奖等奖项。

发动机燃烧反应网络调控理论及方法

利用合肥同步辐射装置，我国科学家深入系统地开展了发动机燃烧反应网络测量方法、模型构建及调控理论的基础研究，取得了多项原创性成果：提出了同步辐射光电离-分子束质谱燃烧测量方法，实现了分子量和电离能的同步测量，发现了燃烧反应网络中的过氧化物、烯醇、聚炔烃和苄基分解新产物，揭示了发动机燃料分解、氧化和污染物生成机理；提出了基于关键燃烧中间产物的模型构建方法，构建了兼具准确性和适用性的燃烧反应模型，建立了覆盖发动机宽广工况范围和多燃料适用性的发动机燃料燃烧反应模型体系；发现了发动机燃料的分子结构对关键燃烧

中间产物和污染物的控制作用，揭示了支链结构、苯环结构、含氧官能团等分子结构控制燃烧反应网络的动力学机制，建立了发动机燃烧反应网络调控理论及方法，实现了对燃烧反应网络活性和碳烟颗粒物排放的调控。该成果荣获2018年度国家自然科学奖二等奖。



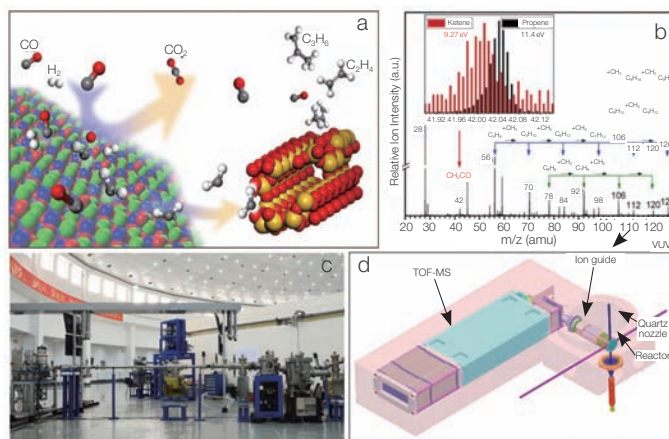
发动机燃烧反应网络

从合成气到高值化学品的一条“捷（洁）径”

中国科学院大连化学物理研究所的包信和院士（现任中国科学技术大学校长）领导的团队在煤气化直接制烯烃研究中获得重大突破，颠覆了90多年来煤化工一直沿袭的费-托路线，他们摒弃了高水耗和高能耗的水煤气变换制氢过程，创造性地直接采用煤气化产生的合成气（纯化后CO和H₂的混合气体）在一种新型复合催化剂的作用下，高选择性地一步反应获得低碳烯烃，破解了传统煤化工催化反应中活性与选择性此长彼消的“跷跷板”难题，为高效催化剂和催化反应过程的设计提供了指南。这项成果被业界誉为“煤转化领域里程碑式的重大突破”，相关研究以“Selective conversion of syngas to light olefins”为题发表在*Science*期刊上，过程申报了中国发明专利和国

际 PCT 专利。《Science》同期刊发了以“Surprised by Selectivity”（令人惊奇的选择性）为题的专家评述文章，认为该过程未来在工业上将具有巨大的竞争力。这项研究成果利用合肥同步辐射装置的燃烧实验站进行了部分测试，为理解其催化反应过程作出了重要贡献。

(a) 催化反应机理示意图；(b) 关键反应中间体的质谱图；(c) 新建设的合肥光源燃烧研究光束线；(d) 催化研究实验站



大脑神经元代谢研究中取得重要进展

脑内神经细胞在细胞形态、突触连结、细胞结构、电生理以及生理功能上具有高度的多样性。不同种类的神经细胞中，其化学分子组成、含量、代谢也都有着很大的差别。因此，对脑内单个神经元的化学成分进行分析，具有重要的生物学价值。同时，质谱分析因具有高灵敏度、大的线性范围以及高通量分析待测物的特点，逐渐被用于单细胞的细胞代谢分析。

我国科学家利用合肥同步辐射装置质谱实验站，结合自行开发的单细胞电生理与质谱联合检测平台，首次利用化学质谱方法直接无稀释的检测单个神经元中多种神经递质、代谢物、脂质等化学小分子，实现了单个神经元化学成分及代谢物的即时分析。该技术将目前神经细胞成分分析的研究推向了一个活细胞及单细胞水平，有望在单细胞层次上研究神经生物学、代谢组学、毒理学等生命科学重大问题，具有非常重要的应用前景。相关成果在线发表于2017年2月21日的《美国科学院院刊》(PNAS)上。

发现波恩-奥本海默近似在氟加氘反应中完全失效

波恩-奥本海默近似是理论化学最重要的近似，是确立分子势能面概念的前提条件，一般动力学理论研究都基于这个模型。根据波恩-奥本海默近似，激发态氟原子 F^* 与 D_2 的化学反应是不应发生的，中国科学院大连化学物理研究所杨学明院士研究小组利用合肥同步辐射装置先进的飞行时间谱—交叉分子束取样技术（国内首创），观测到了 $F^* + D_2$ 反应，发现在低碰撞能下激发态氟原子的反应性居然比基态氟高出很多，表明波恩-奥本海默近似的图像不适用于 $F^* + D_2$ 反应。结合理论计算，给出了这一重要非绝热动力学过程的精确的物理图像。

这一研究成果是物理化学中一项具有重要学术意义的突破，对于进一步理解这一重要化学激光体系的反应机理有相当重要的意义，同时也标志着我国在非绝热动力学研究方面处于国际前列。成果发表在2007年8月24日出版的《Science》上。