

· 管理纵横 ·

推进“一带一路”国家生物质资源化利用研究： 基于中国和泰国组织间国际合作研究项目的分析

纪 军^{1*} 史翊翔¹ 张永涛² 肖 睿³ 张会岩³

(1. 国家自然科学基金委员会 工程三处, 北京 100085;

2. 国家自然科学基金委员会 国际合作局亚非及国际组织处, 北京 100085;

3. 东南大学能源与环境学院 能源热转换及其过程测控教育部重点实验室, 南京 210096)

[摘要] 本文基于国家自然科学基金资助的中泰合作研究项目“生物质催化热解-齐聚异构制取高品质车用燃料的基础研究”的实施经验,从组织间国际合作项目开展情况,本合作项目涉及的生物质制备高品质车用燃料研究背景和现状,结合项目取得的研究进展,探讨了国际合作项目开展的良好模式,推进了“一带一路”国家生物质资源化利用研究工作。

[关键词] 国际合作;一带一路;生物质高值化;车用燃料

组织间国际(地区)合作研究项目(以下简称组织间合作研究项目)是国家自然科学基金委员会(以下简称基金委)在组织间协议框架下,与境外科学基金组织、学术机构或国际科学组织共同组织和资助科学技术人员开展的双边或多边合作研究项目。该项目设立的目的是推进中外科研人员在“平等合作、互利互惠、成果共享”的原则下深化实质性国际合作研究,借助国际科技资源,推动我国科研水平和国际竞争力的提高^[1]。截至2018年初,基金委已经与美国科学基金会、英国研究理事会、俄罗斯基础研究基金会、德国科学基金会、日本学术振兴会等近40个国际科研资助机构建立了合作关系,联合资助了一系列组织间合作研究项目。

近年来,在“一带一路”战略的带动下,基金委结合“一带一路”国家各自的地域特征、学科特点、基本国情和发展需求,与相关国家和地区的科研资助机构不断深化合作。2013年至2016年,基金委与“一带一路”国家开展组织间合作研究项目的资助经费由4063万元迅速增长至2亿余元,与“一带一路”国家间合作的范围、层次和水平都在不断提升^[2]。本文以中国和泰国的科学基金组织开展组织间国际合作项目为例,展示中国与泰国这个典型的“一带一

路”国家开展基础研究国际合作所取得的成绩,探讨和总结“一带一路”战略实施背景下组织间国际合作研究与交流的模式及经验。

1 中泰两国开展生物质资源研究的背景及概况

中国和泰国都拥有丰富的生物质资源。生物质作为后化石时代有机碳的唯一来源,是唯一可以转化为液体燃料从而实现化石能源“多功能替代”的可再生资源。对其进行合理的开发和利用,有助于缓解两国面临的资源匮乏和环境污染等问题,对国家经济社会可持续发展具有重要意义^[3]。高品质车用燃料主要成分是多支链烷烃和芳香烃混合物,具有较高辛烷值和抗震性^[4]。传统车用汽油是由石油经过直馏馏分和二次加工馏分调合精制并加入必要添加剂混合而成。我国石油进口量巨大,目前对外依存度已超过65%,大量进口石油的状况难以在短期内改变^[5]。利用生物质制备高品质车用燃料有利于保障两国的能源战略安全,相应技术的储备符合两国的重大需求。近年来,国际著名刊物《Science》和《Nature》上陆续刊登了多篇生物质制备高品质液体燃料的研究和综述文章,表明该方向已经成为当前

国际研究的前沿和热点,具有重要的科学意义^[6,7]。因此,无论是从科学发展还是从技术需求上看,开展生物质制取高品质车用燃料的基础和关键技术研究都具有重大意义,这也是建立国家多元能源体系、保障国家能源安全的必然选择。

基于上述原因,基金委与泰国研究理事会于2015年共同资助了组织间合作研究项目“生物质催化热解-齐聚异构制取高品质车用燃料的基础研究”,中泰双方分别由东南大学肖睿教授和泰国朱拉隆功大学 Tharapong Vitidsant 教授主持,中方研究任务由东南大学和中科院广州能源研究所共同承担。项目围绕“生物质热化转化中碳氧键缩聚与抑制机制、氧的定向脱除机理”等关键科学问题,中泰双方结合各自研究优势,采用各自擅长的两套不同方案实现了生物质向高品质车用燃料的高效转化(图1)。中方提出了通过生物质催化热解制取芳香烃和低碳烯烃,然后将低碳烯烃通过齐聚-异构制备异构长链烷烃,将其与芳香烃混合制备高品质车用燃料的新途径。泰方则采用金属氧化物/天然石作为催化剂进行催化热解,然后通过加氢脱氧的方式制取目标产品。主要研究内容包括:生物质催化热解制备高品质车用燃料的反应途径、催化剂构效关系和对反应历程的调控机制、反应器内流动与反应的耦合强化。通过研究,获得生物质热解转化为高品质车用燃料的理论基础。中泰双方虽然技术路线不同,但在对催化热解机理的认识、催化剂的研发、反应器设计与内部反应和流动的耦合强化等方面可相互借鉴、相互补充。

项目执行期内,中泰双方在深度合作下开展了一系列研究工作,取得了丰硕的研究成果。目前,该项目共发表SCI收录论文28篇,中泰合作发表论文6篇,获美国专利授权1项,申请国家发明专利11

项,培养研究生8名。此外,相关研究成果获得2017年教育部自然科学一等奖。双方已互派2名(共4人次)项目组成员到对方课题组开展长期合作研究。

2 项目研究进展

2.1 生物质三大组分催化热解机理及协同作用机制研究

该项目通过开展生物质三大组分(纤维素、半纤维素和木质素)催化热解中碳氧键断键过程和组分相互作用规律研究,解析了三大组分催化反应途径和协同作用机制。结合量化模拟与热解实验探究了木质素催化热解过程中转甲基作用机理,结果表明:该过程首先由催化剂B酸位点释放质子对甲氧基上氧原子进行亲电攻击,随后进行碳正离子取代反应,苯环上邻位和对位氢原子最易被取代。结合Py-GC/MS和TG-FTIR探究了纤维素、纤维二糖、葡萄糖的热解过程,提出了 β -O-4糖苷键断键途径。对比天然结合与物理混合的纤维素-木质素、木质素-半纤维素热解产物分布,发现在天然结合情况下纤维素与木质素之间协同作用较强(图2)。

2.2 催化剂积炭行为及其调控机制研究

生物质热解产生数百种含氧化合物,这些化合物热不稳定性强,在催化转化过程中极易结焦形成积炭,所以对催化剂的积炭行为及其调控机制的研究尤为重要。该项目以呋喃为模化物,探究生物质催化热解过程中的积炭行为,提出催化剂内部存在促进反应的“活性积炭”和抑制反应的“惰性积炭”,采用原位红外对催化剂内部含碳物质官能团结构进行在线跟踪与捕捉,揭示了呋喃催化转化中活性积炭组分主要为烷基苯酚类,建立了积炭量和产物分布的关联模型(图3)。

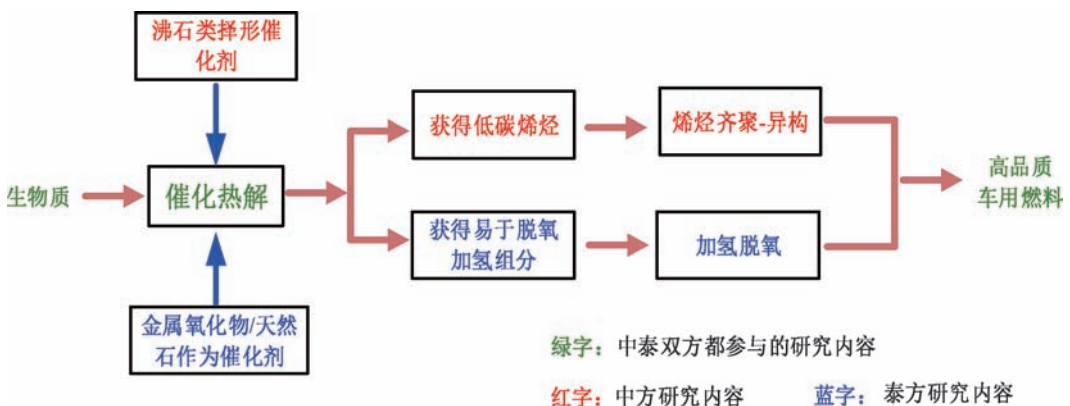


图1 中泰双方提出的生物质制备高品质液体燃料转化新途径

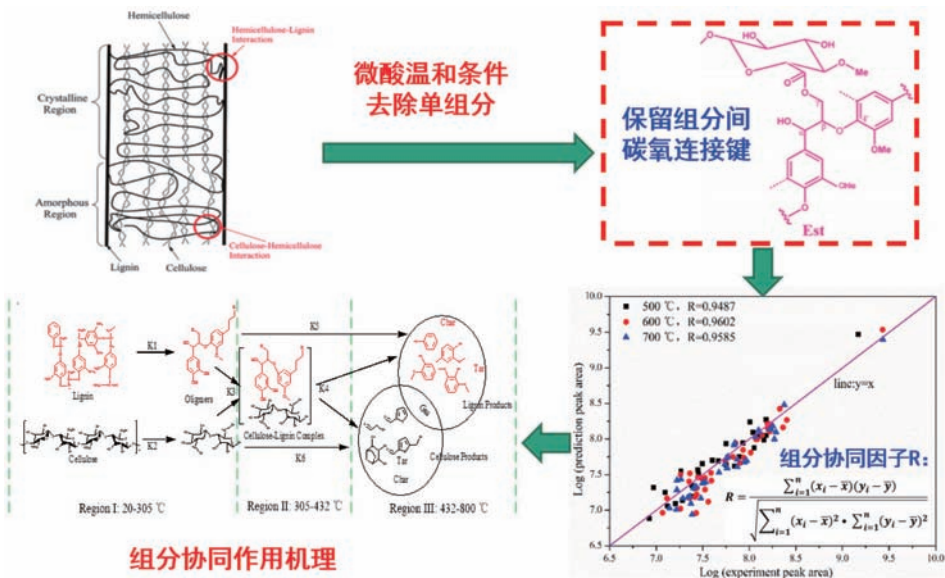


图 2 生物质组分协同作用机理及其研究方法^[8, 9]

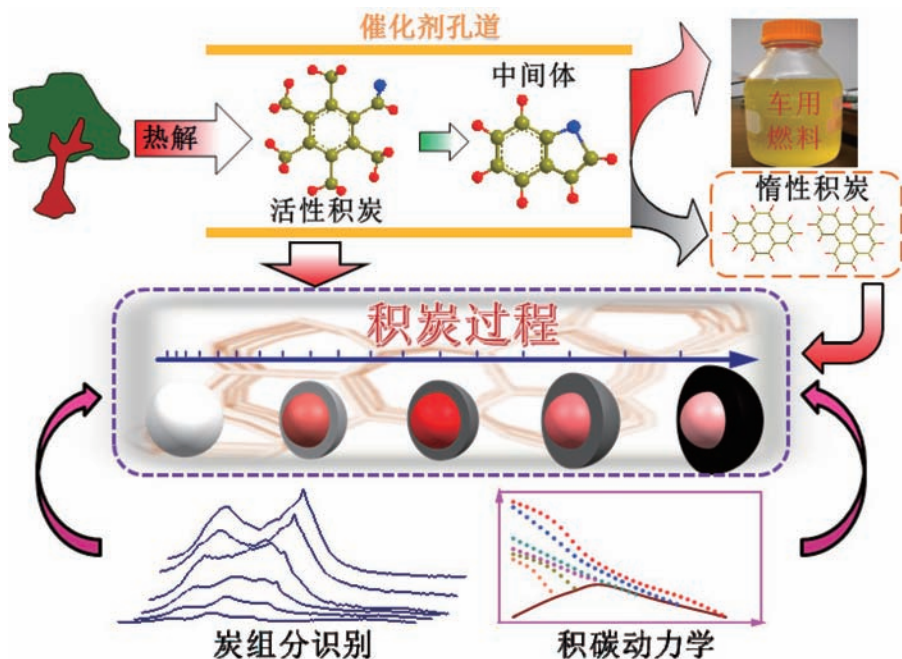


图 3 生物质催化热解中催化剂积炭过程^[10]

通过化学液相沉积改性后催化剂骨架结构完整,外表面酸位点钝化,烯烃、芳香烃的产率分别由 9.8%、18.8% 提高到 16.5%、24.5%,催化剂表面结焦率由 44.1% 下降到 26.7%。利用酸处理法对催化剂进行表面脱铝,改性后的催化剂骨架结构基本未被破坏,孔径略有增大,催化剂外表面硅铝比明显升高,酸量下降,抗结焦能力明显提高。将大孔径 USY 催化剂与择形催化剂 HZSM-5 依次布置,形成热解蒸汽先经大孔脱氧断键后经小孔脱氧择形的梯级转化方式,USY/HZSM-5 复合催化下烃类产率提

升为 HZSM-5 单催化下的 2.66 倍。

2.3 生物质热解气组分调变规律研究

生物质催化热解生成的低碳烯烃通过齐聚异构制备车用燃料中的异构长链烷烃。为了提高生物质催化热解气低碳烯烃含量,设计并合成了利用生物质催化热解气其他组分(CO、CO₂、H₂)经费托合成制备低碳烯烃的负载型 Fe-MnK/AC 催化剂。通过考察负载型 Fe-MnK/AC 催化剂用于生物质催化热解气费托合成的催化特性,探讨了不同助剂提高低碳烯烃产量和抑制副反应的作用规律。针对传统

Fe基费托合成催化剂易破碎和失活的特点,研发了适用于生物质催化热解气气质调变的核壳型Fe基催化剂,研究了惰性二氧化硅壳层的孔道结构及孔径对费托合成反应产物分布规律的影响,实现了产物碳链的可控增长。

2.4 生物质热解气齐聚-异构制取长链烷烃特性研究

该项目完成了基于费托合成和烯烃齐聚耦合的生物质热解气制备异构长链烷烃多功能催化剂的合成及催化特性研究,包括设计并合成烯烃齐聚催化剂Ni/ASA,并实现了在Ni活性位及铝酸性位催化下混合低碳烯烃齐聚制备汽油段液体烃类(图4)。通过Ni改性ASA催化剂可显著提高催化剂酸性,从而提高低碳烯烃齐聚活性。但Ni负载量增大时会覆盖反应活性位并促进低碳烯烃加氢副反应,不利于低碳烯烃的齐聚。

针对生物质催化热解气中同时富含低碳烯烃

和H₂,CO等气体的特点,该项目研发了基于费托合成(转化H₂,CO)和烯烃齐聚一步合成液体燃料的Fe基和HZSM-5双功能催化体系(图5)。研究发现,低碳烯烃在Fe基催化剂催化下剧烈的加氢副反应是制约高选择性制备液态烃的关键因素,提高两种活性组分的远离度有利于抑制低碳烯烃在邻近Fe基催化剂上的加氢,从而控制反应分级发生以提高C5+烷烃收率。研究人员提出采用先齐聚后费托的双床层分级模式可有效抑制低碳烯烃加氢副反应,使得C5+选择性可达80%以上。

3 合作交流模式

项目启动以来,中泰双方始终保持密切交流,建立了良好的合作伙伴关系,科研合作与人才培养有序推进,双方项目组成员交流合作通道建立健全。主要实施的合作交流方式如下:

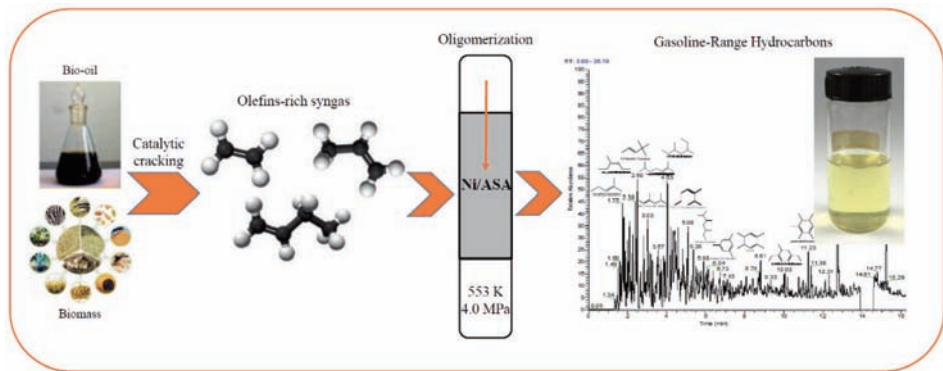


图4 生物质催化热解气经Ni/ASA催化齐聚合异构长链烷烃路线图^[11]

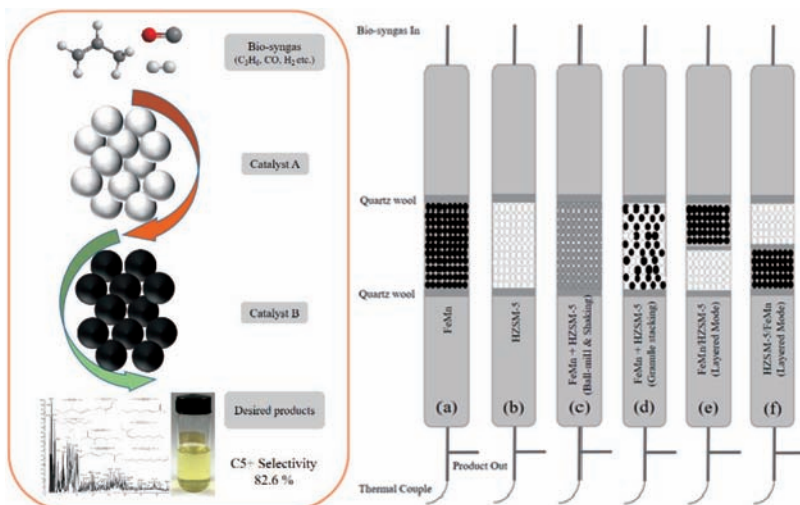


图5 烯烃聚合与费托合成分级催化制备异构长链烷烃示意图^[12]

(1) 高频次学术沟通。双方项目负责人和一线研究人员始终保持高频次邮件往来,就研究进展、学术问题、统筹协调工作等方面保持及时的交流和磋商,积极对接,形成优势互补的良好局面,逐步建立双边合作长效机制,确保项目有力有序有效推进。在高频次的沟通下,中泰双方合作关系更加紧密,合作力度不断加深,不仅取得了丰硕的科研成果,更收获了深厚的国际友谊。

(2) 定期举办学术研讨会。项目参与单位在2016年3月于中国南京召开项目启动会后,又分别于2016年12月、2017年6月和11月在泰国清迈、中国南京和上海召开项目进展研讨会。此外,共同参加了第七和第八届中泰可再生能源研讨会,并作项目进展汇报。中泰可再生能源研讨会是在国家自然科学基金委员会和泰国国家研究理事会的大力支持下由中泰双方轮流承办的年度会议,双方就当年工作进展进行详细汇报,同时就中泰两国可再生能源利用科技发展面临的问题及未来发展方向展开研讨,至今已开展八届。定期举办学术研讨会能够有效促进中泰两国可再生能源界的相互交流与合作,是国家自然科学基金委对接我国“一带一路”战略的重要举措。

(3) 人员交流与合作研究。为进一步强化人员交流、推进实质性合作研究,中泰双方已互派2名项目组成员到对方课题组开展长期的学习交流和科研合作。目前,已通过深度合作发表共同署名SCI收录文章6篇,双边合作成效显著。人员互访带来的不仅仅是学术上的交流,也是文化上的交流,是加深对两国传统文化、历史国情和发展需求等认知的重要途径,对于更好地推进“一带一路”建设具有深远意义。当前,双边人员交流合作机制建设正在不断完善,合作规模正在不断扩大。

通过该项目实施成果,可以总结以下成功经验:一是研究项目方向的设立需要结合我国国情和“一带一路”国家的特点,围绕双方天然资源优势、科技优势和国家的重大需求;二是结合合作双方各自研究优势制定技术路线,让项目参与单位都能发挥所长,实现优势互补,是项目得以顺利实施的基础;三是合作双方始终保持高频次日常沟通与阶段性会议研讨,及时做好沟通,交流研究进展,解决学术难题

和统筹协调工作等,是维持项目稳步推进、深化双边交流合作的重要保障;四是重视合作双方人员交流互访、加强实质性合作研究是有效利用国际科技资源提高我国科学研究水平的重要途径,也是推进“一带一路”建设的重要一环。

参 考 文 献

- [1] 国家自然科学基金委员会,2018年度国家自然科学基金项目指南. <http://www.nsf.gov.cn/nsfc/cen/xmzn/2018xmzn/>.
- [2] 支持科学人才合作,共创“一带一路”未来:科学基金“一带一路”国际研讨会成功举办. <http://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/tab458/info69989.htm>.
- [3] Bridgwater AV. Review of fast pyrolysis of biomass and product upgrading. *Biomass and Bioenergy*, 2012, 38: 68—94.
- [4] 陈俊英, 马晓建, 冯向应, 等. 国内外生物航油研究现状. *可再生能源*, 2012, 30: 120—124.
- [5] 罗艳托, 朱海龙, 程俐. 中国航空煤油市场现状分析与趋势预测. *国际石油经济*, 2009, (7): 18.
- [6] Sergeev AG, Hartwig JF. Selective, nickel-catalyzed hydrogenolysis of aryl ethers. *Science*, 2011, 332(6028): 439—443.
- [7] Vispute TP, Zhang H, Sanna A, et al. Renewable chemical commodity feedstocks from integrated catalytic processing of pyrolysis oils. *Science*, 2010, 330(6008): 1222—1227.
- [8] Wu S, Shen D, Hu J, et al. Cellulose-hemicellulose interactions during fast pyrolysis with different temperatures and mixing methods. *Biomass and Bioenergy*, 2016, 95: 55—63.
- [9] Wu S, Shen D, Hu J, et al. Cellulose-lignin interactions during fast pyrolysis with different temperatures and mixing methods. *Biomass and Bioenergy*, 2016, 90: 209—217.
- [10] Shao S, Zhang H, Xiao R, et al. Catalytic conversion of furan to hydrocarbons using HZSM-5: coking behavior and kinetic modeling including coke deposition. *Energy Technology*, 2017, 5(1): 111—118.
- [11] Zhang Q, Wang T, Li Y, et al. Olefin-rich gasoline-range hydrocarbons from oligomerization of bio-syngas over Ni/ASA catalyst. *Fuel Processing Technology*, 2017, 167: 702—710.
- [12] Zhang Q, Wang T, Weng Y, et al. Direct conversion of simulated propene-rich bio-syngas to liquid iso-hydrocarbons via FT-oligomerization integrated catalytic process. *Energy Conversion and Management*, 2018, 171: 211—221.

Promoting research on biomass resource utilization in the “the Belt and Road” countries based on Major International (Regional) Joint Research Project

Ji Jun¹ Shi Yixiang¹ Zhang Yongtao² Xiao Rui³ Zhang Huiyan³

(1. National Natural Science Foundation of China, Department of Engineering and Materials, Beijing 100085;

2. National Natural Science Foundation of China, International Cooperation Bureau, Asian and African and International Organizations, Beijing 100085;

3. Key Laboratory of Energy Thermal Conversion and Control, Ministry of Education, School of Energy and Environment, Southeast University, Nanjing 210096)

Abstract This paper is based on the implementation experience of the Sino-Thai joint research project “Preparation of High Quality Transport Fuels via Biomass Catalytic Pyrolysis—Synthetic Heterogeneous” funded by the National Natural Science Foundation of China, including the development of inter-organizational international cooperation projects, and the background and current status of biomass-based high-quality transport fuels involved in this cooperation project. Combined with the research progress achieved by the project, an excellent model of international cooperation projects has been explored which promotes the research work of biomass utilization in the “the Belt and Road” countries.

Key words international cooperation; the Belt and Road; biomass high value utilization; transport fuel

· 资料信息 ·

我国学者在宽吸收线类星体外流研究方面取得重要进展

在国家自然科学基金(项目批准号:11233002,11421303,U1431229,11373024,11233003,11873032,11673020,11703022)等资助下,中国科学技术大学物理学院天文学系王挺贵教授、刘桂琳教授课题组和南京师范大学、武汉大学、中国科学院国家天文台的合作者在宽吸收线类星体外流研究方面取得重要进展。他们利用光谱吸收线光变,首次通过大样本统计获得类星体所驱动的高速气体外流的物理性质分布。该成果以“The Properties of Broad Absorption Line Outflows Based on a Large Sample of Quasars”(基于类星体大样本的宽吸收线外流属性)为题,于2019年1月28日在线发表在*Nature Astronomy*(《自然·天文学》)上(论文链接:<https://www.nature.com/articles/s41550-018-0669-8>)。

目前主流的星系形成与演化理论要求其中心活跃的超大质量黑洞(类星体)向宿主星系施加反馈作用,将大量气体吹向星际空间,然而具体作用机制一直不清楚。一种猜测是类星体中普遍存在的高速(可达0.1倍光速)外流可能扮演了这个角色,但一直以来缺乏定量数据支持。国际上近二十多年的工作积累仅仅完成了数十个目标源外流参数的测量。

在前期确定宽吸收线光变机制的系列工作基础上,该团队另辟蹊径,提出利用吸收线光变探测率曲线推断外流中的电离气体复合时标分布的新方法,进而首次给出近千个类星体外流的物理性质分布。对这一大样本的分析显示,类星体外流距中心黑洞的典型距离约为数十光年,外流每年带走数十倍太阳质量的气体,外流的动力学光度接近类星体总辐射光度的百分之十。这些结果表明,外流的强度普遍足以影响星系的整体演化,这一发现为深入理解星系的形成和演化过程提供了具有重要统计意义的观测依据。

(供稿:数理科学部 刘强 王挺贵 刘桂琳)