

项目情况简介（省自然科学奖）

1、项目名称

煤焦油组分分离与分析的策略与方法研究

2、主要完成人

孙鸣，么秋香，何磊，张丹

3、提名单位 陕西省教育厅

4、提名意见

煤炭是我国的主体能源，在能源保供中发挥“压舱石”和“稳定器”作用。煤焦油是煤炭热解/干馏的液体产物，煤焦油能够提供最为丰富的煤热解过程信息，对阐明煤焦油的分子组成和结构、解明煤的热解机理和有效指导煤炭高效加工利用至关重要。该项目通过对煤焦油组分的准确分析与高效分离，实现了对煤焦油在内的复杂有机混合物的精准解析，具有鲜明的研究特色。该项目主要发现了：1）系统阐明了溶剂性质与煤焦油被萃取组分之间的关系，实现了煤焦油组分气相色谱-质谱联用仪可分析与不可分析部分的溶剂萃取定向分离；2）建立煤焦油六组分的分离方法，巧妙联合直接分析与间接分析手段，成功解耦了煤焦油中难以分析的重质组分结构，解明了煤焦油六组分中的产物分布，形成了煤焦油快速全面的分离分析方法；3）提出了“以定向反应为基础、溶剂萃取分离为核心”的分离策略，运用“层层剥离”的分离理念并借助先进的分离表征手段，建立了煤焦油高沸点馏分分子层次组成和结构的理论解析方法；4）提出并设计了一种基于热重分析仪，样品用量小和精确度高的煤焦油模拟蒸馏装置，提供了一种省时省力、准确便捷进行复杂有机混合物模拟蒸馏的方法。

该项目获得了国家重点研发计划项目课题、国家自然科学基金项目等 6 个项目，陕西省重点研发计划-重点产业创新链（群）和一般项目等 3 项项目的支持，在 Chem. Eng. J.、Energ. Convers. Manage.、Energy、Chem. Eng. Sci.等国内外主流期刊发表 SCI 收录论文 100 余篇，授权国内外发明专利 26 件，主持制定国家标准 1 项。5 篇代表性作他引 425 次，单篇最高引用次数达 204 次，研究工作在国内外产生了重要的学术影响。培养了陕西省中青年科技创新领军人才 1 人、陕西省青年科技新星 1 人、全球华人化工学者研讨会“未来化工学者”1 人。

该成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省自然科学奖提名条件。提名该项目为陕西省自然科学奖二等奖。

5、项目简介

煤焦油是煤炭干馏的液体产物，是十分宝贵的化工原料，富含石油路线无法生产得到的重要化工原料或中间体。因此，煤焦油化工是许多国家十分关注的重要课题之一。此外，相对于煤热解的固态和气态产物，煤焦油提供的热解过程信息最为丰富。如何准确定量分析和分离煤焦油中的化合物，充分阐明煤焦油的分子组成和结构是极为困难的，但是该部分对煤清洁高效利用和热解机理的研究至关重要。近年来，本项目围绕煤焦油组分高效分离与准确分析这一核心主题，在

国际上首次提出并建立了“以定向反应为基础、溶剂萃取分离为核心”的分离策略。运用“层层剥离”的分离理念并借助先进的分离表征手段，建立了煤焦油分子层次组成和结构的理论解析方法。基于此，开发了煤焦油组分直接和间接定量分析、组分系统分离一系列方法，广泛用于石油、煤液化油、生物质热解油等复杂有机混合物的分离与分析，有效的指导了工业生产。

本项目 5 篇代表性论文成果分别发表在 SCI 期刊 Energy & Fuels, Fuel, Fuel Processing Technology, Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 上，总被他引 425 余次，单篇最高被他引 204 次。授权国家发明专利 1 件，为复杂有机混合物组分分析和分离方法的构建。以西北大学为第一单位，主持制定国家标准 1 项（GB/T 38397-2019），该标准应用于能源化工全行业。

6、客观评价

5 篇代表性论文被在 J. Clean. Prod.、Energy、Bioresour. Technol.、J. Energy Chem.、Chem. Eng. J. 等高水平工程刊物中被国内外学者广泛关注和高度认可，产生了积极的学术影响，总被他引 425 次，单篇论文最高被他引 204 次。

美国 Ali Mokhtari 教授在 Constr. Build. Mater. (2020, 250, 118836) 中指出直接接受代表性论文 1 的启发并解决了其研究内容上的难点：“...To derive the transmittance level for each wavelength, Fourier transform algorithm can be used to process this unique interferogram of reflected light...”。罗马大学 Risoluti 教授在 Molecules (2022, 27, 8926) 中将代表性论文 4 的结论用于其研究内容的例证：“...The petroleum ether-extracted residues of the low temperature coal tar were separated and analyzed by EGA-FTIR and Py-GC/MS. It was demonstrated that the pyrolysis volatiles change completely with the rising temperature...”。教育部矿业类教指委委员杜美利教授在 Fuel (2022, 309, 122137) 一文中评述：“...Py-GC/MS is an effective analytical technique that can easily separate pyrolysates and obtain the structural information of volatiles...”，认为代表性论文 4 是解析重质组分结构的有效技术方法。教育部十四五能源科学学科前沿战略研究等专家组专家姚洪教授在 Bioresour. Technol. (2013, 136, 595) 中将该研究成果作为煤焦油组分分析的典型代表。中国化工学会侯德榜化工科技创新奖得主韩生教授在 Fuel (2019, 240, 84) 一文中对本工作成果给予了高度总结：“These mixtures can be divided according to polarity by using column chromatography into aliphatics, aromatics and polar components (成果 2)。Gas Chromatography-Mass Spectrometer (GC-MS), an analytical tool, could provide molecular composition information when coincidence of the chromatographic peaks of various compounds is observed (成果 1、3)。Therefore, the composition of aliphatics, aromatics and polar component can be acquired by using GC-MS. Combined with column chromatography and GC-MS, the composition information on coal liquefied oil can be obtained”，认为此三项技术是针对获取煤焦油组分和组成信息的一套完整体系。

7、代表性论文专著目录

序号	论文专著名称	刊名	作者	年卷 页码 (xx 年xx 卷xx 页)	发表 时间	通讯 作者	第一 作者	国内作 者	SCI 他 引 次 数	他 引 总 次 数	知识 产权 是否 归国 内所 有
1	GC-MS and TG-FTIR study of petroleum ether extract and residue from low temperature coal tar	Energy & Fuels	Ming Sun, Xiaoxun Ma, Qiuxiang Yao, Yanxing Ma, Rucheng Wang, Guang Feng, Jianxuan Shang, Long Xu, Yanhong Yang	2011 年 25 卷 1140-1 145 页	2011- 03-01	Xiao xun Ma	Ming Sun	孙鸣, 马晓迅, 么秋香, 马燕星, 王汝成, 尚建选, 徐龙, 杨燕红	12 1	2 0 4	是
2	Controlled separation of low temperature coal tar based on solvent extraction-column chromatography	Fuel Processing Technology	Ming Sun, Jing Chen, Xiaoming Dai, Xianglong Zhao, Ke Liu, Xiaoxun Ma	2015 年-136 卷 41-49 页	2015- 08-10	Xiao xun Ma	Ming Sun	孙鸣, 陈静, 代晓敏, 赵香龙, 刘科, 马晓迅	40	8 9	是
3	Separation and composition analysis of GC/MS analyzable and unanalyzable parts from coal tar	Energy & Fuels	Ming Sun, Dan Zhang, Qiuxiang Yao, Yongqi Liu, Xiaoping Su, Qingqing Hao, Xiaoxun Ma	2018 年-32 卷 7404-7 411 页	2015- 08-10	Xiao xun Ma	Ming Sun	孙鸣, 张丹, 么秋香, 刘永琦, 苏小平, 郝青青, 马晓迅	44	6 5	是

4	Separation of petroleum ether extracted residue of low temperature coal tar by chromatography column and structural feature of fractions by TG-FTIR and PY-GC/MS	Fuel	Qiuxiang Yao, Yabo Li, Xing Tang, Junwen Gao, Rucheng Wang, Yujuan Zhang, Ming Sun, Xiaoxun Ma	2019年 245 卷 122-130 页	2019-06-01	Ming Sun, Xiaoxun Ma	Qiuxiang Yao	么秋香, 李亚波, 唐星, 高俊文, 王汝成, 张玉娟, 孙鸣, 马晓迅	38	66	是
5	Separation and direct-indirect analysis of six group components from liquids of kerosene co-refining	Journal of Analytical and Applied Pyrolysis	Lei He, Qiuxiang Yao, Xi Li, Linyang Wang, Jing Wang, Ming Sun, Xiaoxun Ma	2023年 170 卷 105914 页	2023-02-09	Xiaoxun Ma, Ming Sun	Lei He	何磊, 么秋香, 李曦, 王林洋, 王婧, 孙鸣, 马晓迅	1	1	是
合 计									244	425	

8、主要完成人情况

排序	完成人	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目的贡献
1	孙鸣	无	教授	西北大学	西北大学	主持项目研究。主持完成了煤焦油组分的定量分析、煤焦油高沸点馏分中组分的定向分离、和煤焦油精准模拟蒸馏方法，主要参与了煤焦油族组分的高效分离。代表性论文 1、2、3 的第一作者；代表性论文 4、5 的共同通讯作者；国家标准制订人排名第一；授权发明专利 1， 发明人排名第一。
2	么秋香	无	教授	西京学院	西京学院	主持项目研究。主持了煤焦油族组分的高效分离，主要参与了煤焦油组分的定量分析、煤焦油高沸点馏分中组分的定向分离。代表性论文 4 的第一作者；代表性论文 1、3 的作者，均排名第三，代表性论文 5 的作者，排名第二；授权发明专利 1 的发明人，排名第六。
3	何磊	无	无	西北	西北	参与项目研究。主要参与了煤焦油六组分的定量分

				大学	大学	析与分离及其热解产物解析、煤焦油精准模拟蒸馏方法。代表性论文 5 的第一作者；授权发明专利 1 的发明人，排名第三。
4	张丹	副主任	讲师	宜宾学院	宜宾学院	主持项目研究。主持了煤焦油族组分的高效分离，主要参与了煤焦油中可检测与不可检测部分的分离与组成分析。代表性论文 3 的作者，排名第二。

9、主要完成单位情况

排序	完成单位	对本项目的贡献
1	西北大学	西北大学为该项目主要申报和完成单位，为该项目创造了学科平台优势，营造了良好的科研环境，提供了必要的实验场地和条件，配备了优秀的科研人才，为项目的顺利实施提供了有力保证。是该项目成果 1、2、3、4 的主要完成人，成果有代表性论文 1、2、3、4、5，国家标准 1，授权发明专利 1。
2	西京学院	西京学院为该项目合作单位，为该项目创造了学科平台优势，营造了良好的科研环境，提供了必要的实验场地和条件，配备了优秀的科研人才，为项目的顺利实施提供了有力保证。是该项目成果 1、2 的主要完成人，成果有代表性论文 1、3、4、5，授权发明专利 1。
3	宜宾学院	宜宾学院为该项目合作单位，为该项目创造了学科平台优势，营造了良好的科研环境，提供了必要的实验场地和条件，配备了优秀的科研人才，为项目的顺利实施提供了有力保证。是该项目成果 1 的主要完成人，成果有代表性论文 3。

10、完成人合作关系说明

本项目由西北大学、西京学院、宜宾学院合作完成。2010 年，西北大学（孙鸣）与西京学院（么秋香）在煤焦油分离与分析方面开始合作完成多个科研项目，合作发表相关论文 30 余篇。2016 年，西北大学（孙鸣）与宜宾学院（张丹）开始合作，在煤焦油可分析与不可分析的组成鉴定方面合作发表论文和授权专利 10 余件。作为西北大学“碳氢资源高效转化课题组”的核心成员，孙鸣，何磊等，2020 年开始合作发表论文 10 余篇，授权发明专利 2 件。