

# 陕西省科学技术进步奖提名书

## (2025年度)

### 一、项目基本情况

项目名称	吸附浓缩耦合低温蒸发深度处理工业废水关键技术开发及应用
主要完成人	冯江涛，延卫，陈宋璇，李珊珊，王宁，孙文亮，吕伟，王玉冰，黄龙， 马航
主要完成单位	西安交通大学，中国恩菲工程技术有限公司

## 二、提名意见（适用于部门、机构提名）

提 名 者	陕西省教育厅	提名等级	<input type="checkbox"/> 一等奖 <input checked="" type="checkbox"/> 二等奖及以上 <input type="checkbox"/> 三等奖及以上
<p>提名意见：</p> <p>该成果以低浓度难降解工业废水的深度处理与资源化利用为目标，从新型吸附材料的设计合成、吸附机理探索、吸附浓缩液的低温蒸发技术三方面有针对性地开展系统深入的研究，取得一系列高水平的研究成果，并在产学研用结合方面取得了突出业绩。成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术奖提名条件。</p> <p>提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。</p> <p>说明：省科学技术奖一、二、三等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“仅提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖，“提名二等奖及以上”的评审落选项目不再降格参评三等奖。提名项目正式提交后，提名等级建议本年度不得变更。</p>			

### 三、项目简介

(限 2 页)

本项目属于环境科学与工程领域。

工业废水的深度处理及资源再利用对促进工业经济全面绿色低碳转型具有重要意义。工业废水来源广、种类多、含质复杂，对处理技术要求高、难度大。当前，我国印染、化工、有色、钢铁等高耗水行业多采用传统膜分离和热蒸发处理技术，普遍具有工艺路线长、能耗大、处理成本高等问题，如何低碳、高效、低成本地处理这些工业废水成为行业的共性难题。

项目团队基于“**废水浓缩减量—浓水低温蒸发—废物资源化—废水零排放**”的减污降碳协同增效绿色理念，历经 10 余年，开发出新型工业废水用吸附剂制备技术、吸附剂改性技术、吸附剂的脱附再生技术、脱附浓缩液的低温蒸发技术及水生态数字化管控和水网络优化节水技术，并对吸附剂的吸附机理进行深入研究。率先在印染行业、化工、有色冶炼行业实现了“**吸附浓缩-低能耗固液高效分离-智慧化节水**”工艺链的一体化贯通，形成了工业废水低碳处理的整体解决方案。获得了良好的环境、经济与社会效益。项目的关键技术和创新性成果如下：

1. 设计合成出具有广谱优异吸附性能的复合吸附剂，并通过在微观结构上的改性提高其吸附性能，提出了简单易行的吸附剂再生方法：（1）采用溶胶凝胶法耦合原位化学聚合法成功制备出导电聚合物@金属氧化物复合吸附材料，该吸附材料结合了导电聚合物的优异吸附性能和金属氧化物的大比表面积，对工业污水中的多种污染物具有广谱吸附去除效果，可实现同时对污水中有机污染物、总磷、氨氮、氟离子、色度和部分重金属离子（铬、镉、汞、铅、铜、锌等）的协同吸附去除；（2）通过微观结构和分子结构的设计改性，获得特殊结构和微形貌的改性吸附材料，改性后的材料对水中阳离子型污染物亚甲基蓝（MB）的吸附容量提高 2.5 倍，对六价铬离子（ $\text{Cr}^{6+}$ ）的吸附容量提高近 5 倍；（3）依据复合材料中导电聚合物在酸性和碱性溶液中的掺杂和脱掺杂特性，实现低浓度（0.1 mol/L）的酸或碱溶液将污染物从吸附剂表面的高效脱附。脱附后的复合吸附剂还可以采用相应的酸或碱溶液实现活化，并且该方法具有普适性，对吸附了有机物、重金属离子、总磷、氨氮等的吸附剂都可采用该方法进行脱附再生。合成的复合吸附剂在实际应用中再生 100 次后，其吸附性能仍可保持其初始吸附性能的 85%以上，并且脱附液浓度可以达到原污水

的 100 倍左右，成为高浓度污水。

2. 发现并阐明复合吸附材料对水体污染物的吸附机理：（1）阐明了复合吸附材料中共轭聚合物和金属氧化物的复合机理：金属氧化物通过表面羟基基团对共轭聚合物进行掺杂并进而形成 p-n 异质结结构；（2）发现、提出并证明了复合吸附剂材料中氧化物选择吸附重金属离子的“类外延晶格生长”机理；（3）发现并证明了复合吸附材料中导电聚合物和氧化物在污染物吸附过程中的协同作用机理。

3. 开发出脱附浓缩液的低温蒸发与节水技术：（1）基于高浓度浓缩水的处理，构建了盐溶液体系下相变与结晶成核机理，通过反复试验确定工艺参数、纯度和晶型尺寸，发明了低能耗蒸发结晶工艺，替代了传统采用的高能耗蒸发结晶工艺，出盐晶型稳定、纯度高，满足一类品结晶盐指标。蒸发结晶二次蒸汽用于低温蒸发浓缩热源，实现了“一汽两用”的节能降碳效果，提高了热能的利用率，大幅降低了废水零排放处理的能耗。（2）基于氨氮脱除原理，项目研究了温度、pH 等对脱氨效率的影响，创新性地开发了含氨氮废水低温多效脱氨技术，解决现有技术中氨氮废水的处理系统易造成污染且能耗高的问题，方法简单、能耗低、处理效率高、运行成本低，脱氨后废水能够满足排放标准，且可以回收稀氨水回用于上游工艺系统，避免直接外排对环境造成的污染；（3）开发了多效蒸发内部压差自调节技术，基于系统动力学建立了数学模型，开发了水生态数字化管控技术，研究工业系统水网络用水优配信息系统和生产系统结构，找出生产系统的瓶颈，改进多步骤协同关系，寻找最优生产操作，消除系统问题，使系统新鲜水用量减少 91%，生产能力提升 4.8%。

依据本项目的研究成果，目前已申请并获批准 4 项国家自然科学基金（面上项目 2 项、青年基金 2 项，其中 2 项面上项目和 1 项青年基金已结题）。累计发表各类论文 69 篇，其中 SCI 收录论文 56 篇，EI 检索论文 8 篇，中文核心期刊论文 5 篇，SCI 论文累计被引 1819 次。申请发明专利 13 项，获授权发明专利 6 项，成功转化专利 9 项，专利转让费共计 260 万元。累计培养研究生 16 人，其中获博士学位 6 人，获硕士学位 10 人。项目开发的吸附浓缩水低温蒸发技术成功拓展应用于金川、盛屯、陕煤等十余家企业，近 5 年累计实现经济产值约 6.16 亿元、利税 1.38 亿元。

## 四、客观评价

### 1. 获奖情况

(1) 2021 年度陕西省高等学校科学技术奖励一等奖，项目名称：新型环境吸附材料的设计、调控与应用研究；

(2) 2021 年度陕西省环境保护科学技术奖特等奖，项目名称：水中低浓度难降解污染物的深度处理技术；

(3) 入选工业和信息化部第一批先进适用技术名单，2025 年 2 月；

(4) 入选有色金属行业绿色低碳先进适用技术（2024 年），2024 年 5 月；

(5) 入选中国专利保护协会绿色技术创新典型案例，2024 年 10 月；

(6) 入选工业和信息化部、科学技术部、生态环境部《国家鼓励发展的重大环保技术装备目录（2020 年版）》，；

(7) 获 2024 年度有色金属建设行业优秀工程设计一等奖，2024 年 9 月；

(8) 获 2024 年度有色金属建设行业优秀工程咨询一等奖，2024 年 9 月；

(9) 获 2022 年度有色金属建设行业优秀工程咨询一等奖，2022 年 9 月。

### 2. 主要验收意见

(1) 项目所依托的国家自然科学基金青年基金项目《导电高分子/TiO<sub>2</sub> 复合可再生吸附剂的设计合成及吸附性能研究》（基金号：21307098）于 2017 年 3 月获批准结题，评价良好；

(2) 国家自然科学基金面上项目《聚苯胺基微孔共轭聚合物的设计、调控及其对重金属离子吸附行为的研究》（基金号：51978569）于 2024 年 3 月获批准结题，评价良好；

(3) 国家自然科学基金面上项目《聚吡咯甲烯共轭聚合物的设计、调控及其对重金属离子的选择吸附特性研究》（基金号：52070155）于 2025 年 3 月获批准结题，评价良好。

(4) 2023 年 9 月 12 日，中国有色金属工业协会组织专家组对“低温利用与工业废水深度处理耦合关键技术与装备”科技成果进行评价（中色协科评字[2023]第 181 号），专家组一致认定：项目成果达到国际领先水平。

### 3. 国内外同行评价

(1) 基于分子设计合成、合成方法改进和吸附性能提升方面的研究成果被多篇国际高水平论文正面引用。例如国外学者 Badekai Ramachandra Bhat (Journal of Hazardous Materials, 2021, 416: 125929) 和 Moaaz K. Seliem (Chemical Engineering Journal, 2021, 426: 131890) 等人对本项目中吸附材料的合成及吸附性能的提高工作非常认可，并进行了正面引用。国内学者 Wu Baile (Environmental Science & Technology, 2020, 54, 50–66) 和 Li Xiangdong (Water Research, 2023, 234: 119804)

等人就本项目中使用钛基吸附材料吸附水体中磷离子的研究结果进行了正面报道。国内学者 Zhao Feiping、Zhang Weiming 和 Jiang Xia 等人 (Science of the Total Environment, 2024, 920:170951; Chemical Engineering Journal, 2022, 430:132960; Chemical Engineering Journal, 2020, 392:124823) 对本项目通过结构设计, 调控吸附材料表面结构和物化性能的研究结果进行了正面引用; Charl. F.J. Faul (Advanced Materials, 2025, 37, 2410262)、Liu Xiaoqing (Advanced Materials, 2021, 33: 2101857) 和 Li Bin (Advanced Functional Materials, 2021, 31: 2101861) 等人对本项目关于共轭微孔聚合物 (CMPs) 比表面积和孔结构调控的内容做了正面的引用。

(2) 在吸附机理的研究方面: 关于复合吸附材料对水体污染物吸附机理的研究结果被国外学者 Rashmi Acharya (Journal of Molecular Liquids, 2021, 337: 116487) 和 Om P. Khatri (Coordination Chemistry Reviews, 2021, 445: 214100) 等人进行了正面引用。Harish Kumar 等人 (Coordination Chemistry Reviews, 2024, 500: 215533) 正面引用了关于导电聚合物与金属氧化物之间通过羟基掺杂结合提高对重金属离子吸附性能机理的相关研究。

(3) 对吸附浓缩水低温蒸发技术的评价: 云南驰宏资源综合利用有限公司对项目中“氨氮废水处理扩大化试验”技术的评价结果为“项目总体工艺、装备、效益均处于国内领先水平”; 四川盛屯锌锗科技有限公司对项目中“低温热法短流程”法污水深度处理工艺的评价结果为“项目总体工艺、装备、效益均处于国际领先水平”; 盛屯能源金属化学(贵州)有限公司对“硫酸锌溶液蒸发浓缩项目”的验收评价结果为“通过 48 小时考核, 性能指标合格, 通过验收”。

综上所述, 成果所涉及的吸附剂设计制备、结构和功能调控、吸附机理与理论等方面的研究内容, 脱附浓缩液的低温蒸发处理技术, 从工艺技术到相关基础理论分析与国内外同类研究相比较, 均具有显著的创新性。项目已发表了 69 篇高水平研究论文, 并被广泛关注和引用, SCI 他引 1819 次, 获得较高的评价。吸附和脱附浓缩液的低温蒸发相关技术受到企业青睐, 目前已转让发明专利 9 项, 其中有 7 项发明专利尚在申请阶段就已经被企业要求转让, 专利转让金额共计 260 万元。其中吸附浓缩水低温蒸发技术成功拓展应用于金川、盛屯、陕煤等十余家企业, 近 5 年累计实现经济产值约 6.16 亿元、利税 1.38 亿元, 为用户节省运行费 0.65 亿元/年、回收淡水 126 万吨/年、碳排放较行业平均水平下降 68%, 经济、环境和社会效益显著, 获得用户的高度评价。这均体现了国内外学术界同行及产业界对本项目技术创新性的认可。

## 五、应用情况

### 1. 应用情况（限 2 页）

本项目开发的吸附和催化相关技术受到企业青睐，目前已成功实现专利转让 9 项，甚至有 7 项发明专利尚在申请阶段，未授权情况下就已经被企业要求转让，专利转让金额共计 260 万元。这均体现了国内外学术界同行及产业界对本项目技术创新性的认可。另外，项目形成的技术也与通过其他企业的技术合作在工程实践中得以应用。具体见表 1、表 2 和表 3：

表 1 项目相关发明专利转让明细列表

序号	转让发明专利名称	专利受让公司名称	转让时间	转让金额 (万元)	备注
1	聚吡咯/二氧化钛复合吸附剂及其制备、应用和再生方法	绍兴东方能源工程技术有限公司	2016-9-18	90.00	2 项授权发明专利转让
2	聚苯胺复合二氧化钛吸附剂及其制备、应用及再生方法	四川星科环保工程设备有限公司	2016-9-9	75.00	
3	一种复合吸附剂、膜保护剂和水处理剂	绍兴谓钢建材有限公司	2020-6-10	95.00	7 项未授权发明专利转让
4	一种复合吸附剂及包含其的膜保护剂和水处理剂				
5	一种用于吸附电负性物质的复合吸附剂的再生方法				
6	一种用于吸附阳离子的复合吸附剂的再生方法				
7	用于吸附铜离子的吸附剂及包含其的膜保护剂和水处理剂				
8	用于吸附铅离子的吸附剂及包含其的膜保护剂和水处理剂				
9	用于吸附铈离子或总磷的吸附剂				

表 2 项目主要应用情况表

序号	单位名称	应用技术	应用规模	应用起止日期	单位联系人/电话
1	四川优尼柯环保科技有限公司	吸附材料和配套技术的应用	日处理 600 m <sup>3</sup> 污水	2021 年 5 月~2022 年 6 月	陈纯
2	浙江宏铭环保有限公司	吸附材料的生产及应用	吸附剂 1 吨/天生产量；500m <sup>3</sup> /d 的污水处理量	2019 年 7 月~2021 年 12 月	杜团
3	中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司	氟离子吸附材料应用	日处理 2 吨	2018 年 3 月~2019 年 3 月	何瑞敏

表 3 与企业签订的部分项目协议

序号	单位名称	协议名称	协议签订时间	备注
1	绍兴东方能源工程技术有限公司	印染废水综合处理技术中试工艺研发	2013 年 7 月	
2	中国神华能源股份有限公司神东煤炭分公司	神东矿区饮用水除氟技术研究	2017 年 11 月	
3	云南云天化股份有限公司研发中心	异龙湖水体的原位生态物化联合修复技术研究及工程示范	2022 年 11 月	
4	云南驰宏资源综合利用有限公司	“氨氮废水处理扩大化试验”一模拟合同能源管理示范工程项目	2017 年 6 月	
5	汉源比利弗环保科技有限公司	ENFL-LTE 法 300 m <sup>3</sup> /d 污水深度处理项目	2021 年 5 月	
6	陕西煤业化工技术研究院有限责任公司华州分公司	100 吨/年氧化石墨烯工业化示范项目污水处理工程总承包项目	2021 年 11 月	
8	盛屯能源金属化学（贵州）有限公司	300 m <sup>3</sup> /d 高盐废水资源化零排放处理项目	2022 年 6 月	
9	新疆五鑫铜业有限责任公司	中水回用项目	2022 年 10 月	
10	金川集团镍钴股份有限公司	镍电解三车间高盐废水零排放综合治理技术改造项目	2022 年 12 月	
12	盛屯能源金属化学（贵州）有限公司	硫酸锌溶液蒸发浓缩项目	2023 年 3 月	
13	西安陕鼓动力股份有限公司	顺应储能电池材料镍钴原材料加工项目	2023 年 10 月	
14	广西格派电池新材料有限公司	低温热法蒸发结晶成套装置	2024 年 8 月	
15	金川集团镍钴股份有限公司	重金属高盐废水零排放治理项目（一期）子项目一	2025 年 1 月	
16	金川集团镍钴股份有限公司	重金属高盐废水零排放治理项目（一期）子项目二	2025 年 4 月	



## 六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家（地区）	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人
1	发明专利	聚苯胺复合二氧化钛吸附剂的制备方法、应用及再生方法	中国	ZL201410081506.X	2015年12月9日	1874749	西安交通大学	冯江涛，延卫，王宁，李晶晶
2	发明专利	一种聚-吡咯-2, 5-二（多元醇甲烷）吸附剂及其制备方法	中国	ZL201910474238.0	2020年8月18日	3946547	西安交通大学	冯江涛，张文龙，延卫，刘云鹏，姬亚军
3	发明专利	垃圾渗滤液自供热处理方法和系统	中国	ZL202210695892.6	2022年9月2日	5427274	中国恩菲工程技术有限公司	陈宋璇，孙文亮，徐建炎，郭红兵，曹迪，王欣，黄龙
4	SCI 论文	Nitrogen-Based conjugated microporous polymers for efficient Hg(II) removal from Water: Performance and mechanism	欧洲	2023, 471: 144659	2023年7月12日	Chemical Engineering Journal	西安交通大学，云南云天化股份有限公司	王玉冰，李珊珊，伍小溪，张家瑞，冯江涛，李明涛，宗世荣，延卫
5	SCI 论文	Adsorption mechanism of phosphate by polyaniline/TiO <sub>2</sub> composite from wastewater	欧洲	2017, 316: 33-40	2017年1月19日	Chemical Engineering Journal	西安交通大学	王宁，冯江涛，陈杰，王嘉楠，延卫
6	发明专利	氨氮废水的处理装置	中国	ZL201811497162.5	2024年4月16日	6915373	中国恩菲工程技术有限公司	孙文亮，徐建炎，郭红兵
7	SCI 论文	Easy separated 3D hierarchical coral-like magnetic polyaniline adsorbent with enhanced performance in adsorption and reduction of Cr(VI) and immobilization of Cr(III)	欧洲	2019, 363: 107-119	2019年1月22日	Chemical Engineering Journal	西安交通大学	吕伟，吴嘉敏，张文龙，刘云鹏，余梦婷，赵一凡，冯江涛，延卫
8	SCI 论文	Highly crystalline polyaniline nanofibers coating	欧洲	2018, 458: 413-424	2018年7月17日	Applied Surface Science	西安交通大学	吕伟，余梦婷，冯江涛，延

		with low-cost biomass for easy separation and high efficient removal of anionic dye ARG from aqueous solution						卫
9	发明专利	加酸装置及具有其的高压釜	中国	ZL 201911030 661.8	2024 年 12 月 6 日	7579732	中国恩菲工程技术有限公司	黄龙, 杨胜平, 赵凯, 郝朋越, 张鹏飞
10	SCI 论文	Water-Phosphorus Nexus for Wet-Process Phosphoric Acid Production	美国	2018, 57: 6968-6979	2018 年 5 月 2 日	Industrial & Engineering Chemistry Research	西安交通大学, 中国石油大学 (北京)	马航, 冯霄, 邓春

## 七、主要完成人情况表

姓 名	冯江涛	排 名	1
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献：  项目第 1 完成人，负责项目方案设计、参与大部分研究内容，负责吸附剂结构设计和制备新方法的提出、吸附剂结构调控方法的提出和方案优化、吸附剂应用设计与运行等工作，对项目主要发现、发明及创新均有贡献。发表 SCI 论文 55 篇，EI 论文 7 篇，中文核心论文 3 篇，获授权国家发明专利 3 项，主持并完成国家自然科学基金 2 项。			

姓 名	延卫	排 名	2
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 项目第 2 完成人，负责项目总体方案设计，把握项目总进度和进展情况，参与全部研究内容。对项目主要发现、发明及创新均有贡献。发表 SCI 论 56 篇，EI 论文 5 篇，中文核心论文 8 篇，获授权国家发明专利 3 项，主持并完成国家自然科学基金 1 项。			

姓 名	陈宋璇	排 名	3
行政职务	公司副总经理		
技术职称	正高级工程师		
工作单位	中国恩菲工程技术有限公司		

完成单位	中国恩菲工程技术有限公司
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>项目第 3 完成人，负责脱附浓缩液高浓度废水低温蒸发处理全部研究内容。对项目中脱附浓缩液高浓度工业废水低温蒸发研究方向的主要发现、发明及创新均有贡献。获授权国家发明专利 1 项，发表相关科技论文 1 篇。获得中国先进技术转化大赛优胜奖 1 项。</p>	

姓 名	李珊珊	排 名	4
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 项目第 4 完成人，参与吸附剂的设计合成及其功能化结构调控，同时参与吸附剂对水体重金属离子的吸附及其机理的研究工作，对项目中吸附部分的主要发现、发明及创新均有贡献。 发表 SCI 论文 5 篇，中文核心论文 1 篇。			

姓 名	王宁	排 名	5
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	西安工程大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 项目第 5 完成人，参与导电聚合物复合吸附材料的设计与合成、吸附剂结构和性能调控、吸附剂对水体有机物、磷酸根离子的吸附性能和吸附机理的研究等工作，对项目吸附方向的主要发现、发明及创新均有贡献。发表 SCI 论文 8 篇，获授权国家发明专利 1 项，主持国家自然科学基金青年基金 1 项。			

姓 名	孙文亮	排 名	6
行政职务	部门总经理		
技术职称	正高级工程师		
工作单位	中国恩菲工程技术有限公司		
完成单位	中国恩菲工程技术有限公司		
对本项目主要学术贡献： 项目第 6 完成人，负责吸附浓缩后高氨氮废水的处理和处置，参与高浓度废水处理工艺系统的设计开发与应用。对项目中吸附浓缩后高浓度废水处理中的主要发现、发明及创新均有贡献。授权国家发明专利 2 项，发表科技论文 1 篇，获得中国先进技术转化大赛优胜奖 1 项。			

姓 名	吕伟	排 名	7
行政职务	无		
技术职称	副研究员		
工作单位	东华大学		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献： 项目第 7 完成人，参与特定微结构共轭导电聚合物结构与合成、吸附剂结构和性能调控、吸附剂对水体有机物和重金属离子的吸附性能和吸附机理的研究等工作，对项目吸附方向的主要发现、发明及创新均有贡献。发表 SCI 论文 6 篇，主持国家自然科学基金 1 项。			

姓 名	王玉冰	排 名	8
行政职务	无		
技术职称	博士后		
工作单位	西安交通大学		
完成单位	西安交通大学		

对本项目主要学术贡献：

项目第 8 完成人，参与水体重金属污染物吸附的相关内容，对项目中吸附处理水体重金属离子方向的主要发现、发明及创新均有贡献。发表 SCI 论文 5 篇，EI 论文 3 篇。

姓 名	黄龙	排 名	9
行政职务	部门副总经理		
技术职称	高级工程师		
工作单位	中国恩菲工程技术有限公司		
完成单位	中国恩菲工程技术有限公司		
对本项目主要学术贡献：			
项目第 9 完成人，参与吸附剂再生方法和工艺的相关研究和推广工作，对项目吸附剂再生方向的主要发现、发明及创新均有贡献。授权国家发明专利 2 项，发表科技论文 1 篇，获得中国先进技术转化大赛优胜奖 1 项。			

姓 名	马航	排 名	10
行政职务	无		
技术职称	正高级工程师		
工作单位	云南云天化股份有限公司研发中心		
完成单位	西安交通大学		
对本项目主要学术贡献：			
项目第 10 完成人，主要负责水体磷资源的高效处理、工业水网络优化与节水的研究，主导和参与相关项目的实施。对项目中水体磷酸盐的高效处理和资源化利用及水网络优化与节水方向的主要发现、发明及创新均有贡献，发表 SCI 论文 1 篇。			

## 八、主要完成单位情况表

单位名称	西安交通大学
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>本单位为项目主要完成单位，项目与吸附浓缩相关的研究内容都在本单位完成，包括吸附相关的项目方案设计、整体进度的把控和项目具体的实施过程。</p> <p>本单位累计发表各类与项目相关的论文 69 篇，其中 SCI 检索论文 56 篇，EI 检索论文 8 篇，中文核心期刊论文 5 篇；获授权国家发明专利 4 项。SCI 论文累计被引 1819 次，单篇 SCI 论文最高被引用 158 次。项目累计培养研究生 16 人，其中获博士学位 6 人，硕士学位 10 人。获批准国家级课题 3 项。</p>	

单位名称	中国恩菲工程技术有限公司
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>主要完成项目中关于脱附技术、脱附浓缩液的低温蒸发及部分污染物的资源化相关技术开发和推广应用。</p> <p>累计获授权与项目相关的国家发明专利 3 项，发表科技论文 1 篇。获部级咨询、设计一等奖 3 项，列入 2020 年工信部、科技部、生态环境部《国家鼓励发展的重大环保技术装备目录》技术一项，2025 年入选工信部第一批先进适用技术名单，2024 年入选十大有色金属行业绿色低碳先进适用技术一项。</p>	

## 完成人合作关系说明

项目主要针对低浓度难降解工业废水中污染物的高效低成本处理和资源化利用需求，采用吸附浓缩的方法对污水的污染物进行吸附浓缩处理，涉及到吸附剂设计、制备和改性，以及吸附机理的研究。吸附浓缩后的浓水采用低温蒸发技术进一步处理，以实现低浓度难降解工业废水的高效处理与部分物质的资源化回用。以吸附剂的结构设计与调控为切入点、针对水体不同污染物的特点调控吸附剂的结构和性能，对吸附水体中不同类型污染物的机理、吸附性能提升及吸附浓缩液的低温蒸发和部分物质的资源化回用等方面展开系统研究和相关的应用。项目的所有 10 位完成人都是围绕着以上工作进行紧密合作，共同保证了项目的顺利进行。

对于吸附剂的设计、制备、改性和吸附机理的相关理论方面的研究主要由西安交通大学完成，对于吸附浓缩液的低温蒸发处理及其工艺的推广与应用同坐主要由中国恩菲工程技术有限公司完成。



完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/ 项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	共同知识产权	延卫/2	2009 年 1 月	2024 年 12 月	发明专利	主要知识产权列表中的 1 和 2
2	论文合著	延卫/2	2009 年 1 月	2024 年 12 月	SCI 论文	主要知识产权列表中的 4、5、7、8
3	共同知识产权	陈 宋 璇 /3	2014 年 3 月	2024 年 12 月	发明专利	主要知识产权列表中的 3
4	论文合著	李 珊 珊 /4	2015 年 9 月	2024 年 12 月	SCI 论文	主要知识产权列表中的 4
5	共同知识产权	王宁/5	2013 年 9 月	2017 年 12 月	发明专利	主要知识产权列表中的 1
6	论文合著	王宁/5	2013 年 9 月	2017 年 12 月	SCI 论文	主要知识产权列表中的 5
7	共同知识产权	孙 文 亮 /6	2014 年 3 月	2024 年 12 月	发明专利	主要知识产权列表中的 6
8	论文合著	吕伟/7	2012 年 9 月	2019 年 1 月	SCI 论文	主要知识产权列表中的 7、8
9	论文合著	王 玉 冰 /8	2020 年 9 月	2024 年 12 月	SCI 论文	主要知识产权列表中的 4
10	共同知识产权	黄龙/9	2014 年 3 月	2024 年 12 月	发明专利	主要知识产权列表中的 9
11	共同立项（与第 2 完成人）	马航/10	2017 年 3 月	2018 年 5 月	异龙湖水体的原位生态物化联合修复技术研究及工程示范	合作协议