

2026 年度陕西省科学技术奖提名公示内容

1. 项目名称：煤化工废水高效处理与资源化利用关键技术

2. 提名者及提名意见

陕西省人民政府国有资产监督管理委员会，提名为陕西省科学技术进步奖三等奖。

3. 项目简介

(1) 项目背景

随着“碳达峰、碳中和”战略深入推进，现代煤化工已成为国家战略性新兴产业的重要支柱，是保障能源安全与产业链完整的关键支撑。黄河流域生态保护和高质量发展上升为国家战略，《工业废水循环利用实施方案》明确提出 2025 年规模以上工业用水重复利用率达到 94% 的目标，工信部《工业领域碳达峰实施方案》《工业园区高质量发展指引》明确提出，煤化工行业需重点推进高浓废水资源化、循环化利用，推广低成本、低碳污染治理新工艺。基于此，加快煤化工高浓污水深度处理与资源化关键技术突破，构建水系统全流程绿色低碳运行体系，既是顺应产业升级的客观趋势，也是煤化工企业实现减污降碳、提质增效的内在要求。但煤化工高浓度污水处理与资源化领域仍面临诸多技术瓶颈：一是煤制乙二醇、粉煤热解过程中废水组分复杂、可生化性差、碳氮比失衡，常规生化处理曝气能耗高、脱氮效率低；二是传统 RO 处理系统能耗高、回收率低；三是膜浓液中残留的难降解有机物浓度高、可生化性差。

针对上述问题，陕煤集团榆林化学有限责任公司依托 180 万吨/年乙二醇工程污水回用成套装置，联合南京工大环境科技有限公司、南京顺水达环保科技有限公司、西安交通大学等多家单位，围绕“生化强化脱氮脱碳—膜系统智能调控—膜浓液深度氧化”三条技术主线，创新研发了低氧同

步硝化反硝化生化处理技术、AI 垂直大模型与智慧反渗透协同调控技术、低耗高效臭氧催化氧化深度处理技术，覆盖生化处理、回用水处理、深度双膜浓缩等全流程工艺单元，构建了水、固、气一体化协同治理体系，实现了污水资源化回收。

（2）主要科技创新

①针对煤化工高浓污水组分复杂、可生化性差、碳氮比失衡、生化曝气能耗高、脱氮效率低等问题，开发了分级曝气的低氧硝化反硝化同步处理技术

通过设置低氧池与好氧池的分区结构，采用分级梯度曝气策略，将溶解氧（DO）浓度逐步降低至 0.5~0.8 mg/L 的低氧条件，在单一反应器内实现硝化和反硝化过程的同步进行。在此基础上构建了“两级 A0+反硝化滤池+曝气生物滤池”高效生化处理体系，实现了 COD 去除率 $\geq 95\%$ ，氨氮去除率 $\geq 99\%$ ，总氮去除率 $\geq 90\%$ 。与传统好氧生化工艺相比，低氧运行大幅降低了曝气能耗，同时减少了剩余污泥产量和温室气体排放，实现了生化段的绿色低碳运行。

②开发了“AI 垂直大模型+智慧反渗透 SSDRO”深度融合、协同调控技术

基于 CNN+Transformer+TCN 融合网络及 PPO、SAC 双强化学习算法开发了工业水处理反渗透领域专用 AI 垂直大模型，通过 CNN+Transformer+TCN 三重融合网络实现时空特征的全面提取，通过 PPO、SAC 双强化学习算法实现多目标协同优化，实现 RO 系统回收率由 75%提升至 85%以上，系统运行能耗降低 20%以上，形成了具有自主知识产权的协同调控工艺体系。

③针对膜浓液中残留的难降解有机物浓度高、可生化性差的难题，研发了低耗高效臭氧催化氧化深度处理技术

研制了以 CuO、MnO₂、CeO₂ 等为活性组分的多金属纳米簇催化剂，可使催化剂在宽 pH 范围内保持高活性，连续运行 2 年性能稳定；开发了大高径比多倍环流臭氧催化氧化塔，集成内外双循环、射流微米气泡及多次破碎剪切湍流场，实现气液两相逆流高效接触与臭氧浓度场均匀分布。实验结果表明，臭氧利用率达 95% 以上，COD 去除率达 60% 以上，提升了膜浓液中难降解有机物的去除效率，实现长周期稳定运行。

（3）知识产权情况

项目授权发明专利 9 项，授权实用新型专利 9 项，获得软件著作权 2 项，论文 2 篇（其中 SCI 收录 1 篇）。

（4）技术指标情况

①曝气能耗及脱氮效率：低氧同步硝化反硝化（SND）生化技术实现曝气能耗较常规工艺降低 40% 以上，COD 去除率 $\geq 95\%$ ，氨氮去除率 $\geq 99\%$ ，总氮去除率 $\geq 90\%$ 。

②设备运行效率：AI 垂直大模型+智慧反渗透 SSDRO 协同调控工艺实现 RO 系统回收率由 75% 提升至 85% 以上，系统运行能耗降低 20% 以上。

③水资源回用效率：项目年处理水量超 1400 万 m³，水资源综合回用率超 98%，累计创造直接经济效益超 3.88 亿元。

（5）实施成效

上述创新成果的取得，标志着煤化工行业高浓污水处理与高效利用技术实现了系统性突破。项目围绕“生化强化脱氮脱碳—膜系统智能调控—膜浓液深度氧化”三条技术主线，成功攻克了煤化工废水可生化性差、膜系统回收率低、膜浓液难降解三大行业共性“卡脖子”难题，构建了从“达标排放”到“资源回收”的完整技术链条，为行业废水资源化利用提供了可复制、可推广的示范样板。

本项目已在陕煤集团榆林化学建成全国煤化工行业处理规模最大的污水处理及回用示范装置，水资源综合回用率超 98%。整体工艺高效、灵活，流程短，有效规避了传统污水处理路线投资高、回报低、工艺复杂及运行成本高等问题。2023—2025 年累计新增利润 3.88 亿元。

上述技术的成功应用，不仅为煤化工行业高浓污水处理提供了成熟、可靠的技术支撑，更与国家绿色低碳循环发展的战略导向高度契合。项目的实施为煤化工废水高效处理与资源化利用关键技术及应用提供了理论依据、经验积累和技术指导，对推动行业向更高效、绿色、可持续的未来迈进具有重要意义。

4. 客观评价

（1）科技成果查新

2026 年 8 月，本项目委托陕西省科学技术情报研究院对“高浓煤化工废水梯级利用与智慧管控关键技术及应用”进行查新，共检索密切相关文献 10 篇，综合分析比较得出结论：在国内公开发表的中文文献中，与委托项目查新点完全相同的未见报道。

（2）科技成果鉴定

2026 年 8 月 29 日，陕西省化工学会在西安召开了“煤化工废水高效处理与资源化利用关键技术”科技成果鉴定会，鉴定委员会一致认为该成果在煤化工领域得到有效应用，实现了企业高浓废水近零排放、水资源高效资源化利用，环保及经济效益显著，并达到国内领先水平。

（3）获得的荣誉

2023 年 9 月 26 日，公司 180 万吨/年乙二醇项目以单位产品综合能效 331.2kgce/t、水效 9.39m³/t 的优秀指标，荣获全国煤制乙二醇行业 2023 年度能效“领跑者”第一名、水效“领跑者”第一名荣誉称号。

2025 年 11 月 18 日，公司 180 万吨/年乙二醇项目凭借单位产品综合能效 2248.6kgce/t、水效 9.27m³/t 的优秀指标，获全国石油和化工行业 2024 年度能效“领跑者”、水效“领跑者”标杆企业荣誉称号。

（4）曾获奖励情况

2019 年 10 月，“煤化工有机废水强化处理新工艺研究及应用”获得中国循环经济协会科技进步奖二等奖；

2023 年，“费托合成废水节减降盐短流程清洁处理技术研发与应用”获得中国煤炭工业协会科技进步奖二等奖。

2024 年 4 月，“智慧反渗透技术”已荣获中华环保联合会科学技术奖二等奖。

2024 年 11 月，“高效低耗智慧反渗透工艺系统技术开发及应用”项目荣获第十二届中国技术市场协会金桥奖项目二等奖。

5. 应用情况

陕煤集团榆林化学有限责任公司煤化工废水高效处理与资源化利用关键技术及应用于 2021 年 6 月 20 日开始实施，项目团队经过多年产学研协同攻关，成功攻克了煤化工废水可生化性差、膜系统回收率低、膜浓液难降解三大行业共性“卡脖子”难题，形成了“生化强化脱氮脱碳—膜系统智能调控—膜浓液深度氧化”处理工艺，构建了从“达标排放”到“资源回收”的完整技术链条，为行业废水资源化利用提供了可复制、可推广的示范样板，2023—2025 年 12 月累计新增利润 3.88 亿元。在生化处理环节，创新构建的“两级 A0+反硝化滤池+曝气生物滤池”高效生化体系，实现 COD 去除率≥95%、总氮去除率≥90%，曝气能耗较传统工艺降低 40%以上，氧传递效率由 10%~15%提升至 25%~30%。在膜系统智能调控环节，开发了“AI

垂直大模型+智慧反渗透 SSDRO”深度融合协同调控工艺，基于 CNN+Transformer+TCN 融合网络及 PPO、SAC 双强化学习算法实现多目标协同优化，将 RO 系统回收率由 75%提升至 85%以上，系统运行能耗降低 20%以上，形成了具有自主知识产权的协同调控工艺体系。在膜浓液深度处理环节，研制了以 CuO、MnO₂、CeO₂ 为活性组分的多金属纳米簇催化剂，开发了大高径比多倍环流催化臭氧氧化塔，实验结果表明，臭氧利用率达 95%以上，COD 去除率≥60%。项目已在陕煤集团榆林化学建成全国煤化工行业处理规模最大的污水处理及回用示范装置，年处理水量超 1400 万 m³，水资源综合回用率超 98%，累计创造直接经济效益超 3.88 亿元。整体工艺高效、灵活，流程短，有效规避了传统污水处理路线投资高、回报低、工艺复杂及运行成本高等问题。

江苏方洋水务有限公司针对连云港石化基地高盐生产废水（TDS 12100~14200mg/L、COD 均值 159mg/L）污染物难降解、可生化性差的处理难题，采用高效低耗臭氧催化氧化专利塔式设备，配套 A0 两级生化单元，形成“两级臭氧催化氧化+两级生化”集成工艺。臭氧利用率达到 99.8%，同等处理效果下臭氧投加量降低 46.7%，反应停留时间大幅缩短，系统抗水质波动冲击能力强，自动化集成度高、运维操作简便。整套集成工艺运行稳定，考核期内综合出水 COD 均值 40mg/L，氨氮、总氮、总磷、悬浮物、硫化物等全部指标稳定优于《城镇污水处理厂污染物排放标准》（GB 18918-2002）一级 A 标准；对比传统接触氧化工艺，吨水处理运行成本降低 42.8%。该项目的成功实施，充分验证了高效低耗臭氧催化氧化组合工艺处理石化高盐难降解有机废水的技术可行性与经济优势，为大型石化园区同类高盐废水深度治理提供了标准化工艺参数与成熟工程示范，具备广泛复制推广价值。

云南先锋化工有限公司对于含酚、醇的原废水，采用高效催化氧化预处理与生化组合工艺，有效降低 COD 及特征污染物；对于生化尾水，进一步采用高效低耗臭氧催化氧化深度处理，COD 稳定控制在 50mg/L 以内，挥发酚及石油类等特征污染物均实现深度脱除；对于深度产水，配套超滤、反渗透、纳滤、高压反渗透及蒸发浓缩等成套浓盐水处置装置，中水产水全部回用于循环水补水。整套工艺路线适配褐煤化工复杂废水工况，抗水质波动能力强，同步解决了难降解有机物处理与水资源循环利用的双重需求，运行效果稳定，出水指标全面满足回用要求，为同类型煤化工废水分质处理与资源化利用提供了成熟的技术方案与工程应用示范。

表 1 主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/电话
11	陕煤集团榆林化学有限责任公司	整体技术	陕煤榆林化学 1500 万吨/年煤炭分质清洁高效转化示范项目 180 万吨/年乙二醇工程	2022 年 7 月一至今	侯玲梅 17797548506
12	江苏方洋水务有限公司	高效低耗臭氧催化氧化集成工艺	连云港石化基地化工 2% 的高盐生产废水处理，12000 吨/天	2022 年 7 月一至今	江云 18036682483
3	云南先锋化工有限公司	低氧生化+低耗高效臭氧催化氧化	先锋化工褐煤 4800 吨/天高浓污水处理	2022 年 7 月一至今	赵永红 15912457180

6. 主要知识产权和标准规范等目录

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	一种用于高浓盐水处理的高效催化氧化设备	中国	202211163642.4	2023 年 9 月 1 日	第 6287453 号	南京工大环境科技有限公司	陆曦；崔新；杨敏捷；钟智春；申颖颖；徐炎华
2	发明	一种有机物去除催化剂及其制备方法、应用	中国	202310380023.9	2024 年 9 月 3 日	第 7340844 号	陕煤集团榆林化学有限责任公司；西安交通大	王文东；张楠；田崑墙；王江伟；杨岚；孙威；陈

							学	志文；董莹莹；杨晔
3	发明	一种一段定比例闭路回流高效反渗透工艺	中国	202310089255.9	2023年12月26日	第6588405号	南京顺水达环保科技有限公司	易志东；刘林；王涛；柳文广；胡登辉
4	发明	一种应用于反渗透工艺中的超声波除垢工艺	中国	202310198238.9	2023年3月3日	第7986345号	南京顺水达环保科技有限公司	刘林；柳文广；王涛；张文；唐海进
5	发明	一种用于膜壳端盖的电磁脉冲检测方法	中国	202410947608.9	2024年10月18日	第7453493号	南京顺水达环保科技有限公司	刘林；易志芳；易志东
6	发明	一种堆叠横流式旋砂过滤器	中国	202510639345.X	2025年5月19日	第8102235号	南京顺水达环保科技有限公司	易志芳；刘林；易志东；李伟；阮在高；柳文广
7	发明	一种基于高频脉冲的膜壳杀菌阻垢的方法与系统	中国	202410813479.4	2024年8月27日	第7322246号	南京顺水达环保科技有限公司	刘林；易志芳；易志东；柳文广
8	发明	基于膜壳利用变频电磁场杀菌阻垢监测方法及系统	中国	202410578373.0	2024年9月3日	第7339246号	南京顺水达环保科技有限公司	刘林；柳文广
9	实用新型	一种煤化工废水反硝化处理装置	中国	202321248798.2	2023年11月24日	第20073548号	陕煤集团榆林化学有限责任公司；西安交通大学	王文东；董莹莹；田崑墙；王江伟；孙威
10	发明	一种过滤器	中国	202310556923.4	2025年7月25日	第8109161号	陕煤集团榆林化学有限责任公司	刘振虎；贺杠；牛鸿权；马金霞；杨艳；张晋豪；李正虎；薛正正

7. 主要完成人情况

排名	姓 名	技术职称	从 事 专 业	在项目中所承担任务	所 在 单 位
1	刘振虎	高级工程师	采矿工程	总体负责	陕煤集团榆林化学有限责任公司

2	孙威	高级工程师	环境工程	技术负责	陕煤集团榆林化学有限责任公司
3	刘鑫	中级工程师	测控技术与仪器	技术负责	陕煤集团榆林化学有限责任公司
4	钟智春	高级工程师	环境工程	实施负责	南京工大环境科技有限公司
5	刘林	无	工商管理	技术负责	南京顺水达环保科技有限公司
6	董莹莹	无	环境科学与工程	技术负责	西安交通大学
7	蒲东浩	中级工程师	环境工程	技术负责	陕煤集团榆林化学有限责任公司

8. 主要完成单位及创新推广贡献

第一完成单位：陕煤集团榆林化学有限责任公司

第二完成单位：南京工大环境科技有限公司

第三完成单位：西安交通大学

第四完成单位：南京顺水达环保科技有限公司

《煤化工废水高效处理与资源化利用关键技术》是榆林市科学技术研究项目，陕煤集团榆林化学有限责任公司负责。项目参与科研单位有：南京工大环境科技有限公司，主要负责提出了分置曝气级联溶解氧精准管控策略，开发了新型全混合推流生化反应器，构建了“两级AO+反硝化滤池+曝气生物滤池”高效处理体系，实现了低氧条件下对COD和总氮的高效去除；研制了高效稳定的多金属纳米簇催化剂，设计了大高径比多倍环流催化氧化塔，显著提升了臭氧利用率和有机物去除效率，有效降低了运行成本。西安交通大学，主要参与研制了多金属纳米簇催化剂，显著提高了催化剂表面活性组分结晶程度和分散均匀性；开展了催化剂微观结构与催化活性的系统表征与分析；围绕多金属催化剂在废水处理中的应用机理开展了深入研究，为项目技术报告的编写、技术创新点的凝练及项目整体理论水平的提升做出了积极贡献。南京顺水达环保科技有限公司，针对陕煤集团榆林化学深度处理装置提质增效需求，自主研发并应用智慧反渗透技术（SSDRO）。该技术通过优化运行参数与智能调

控逻辑，可在不降低脱盐率的前提下有效避免膜元件结垢，将反渗透系统回收率由传统的 75%提升至 90%。项目设计处理水量约 10000m³/d，采用新型反渗透技术对现有一级、二级反渗透产水进行脱盐处理，进一步降低产水电导率、提高系统回收率、改善循环水和除盐水补水水质。

9. 完成人合作关系说明

项目由陕煤集团榆林化学有限责任公司、南京工大环境科技有限公司、西安交通大学、南京顺水达环保科技有限公司合作完成。项目实施期间，完成人刘振虎/1、孙威/2、刘鑫/3、陆曦/4、刘林/5、董莹莹/6、蒲东浩/7 合作进行研究，主要取得的成果如下：

1. 刘振虎/1、孙威/2、刘鑫/3、董莹莹/6、蒲东浩/7 共同负责煤制乙二醇工艺污水零排放关键技术研发及其工程示范化应用研究，合作方式为共同研究，合作时间为 2021 年 1 月—2022 年 12 月；

2. 孙威/2、董莹莹/6 共同负责多金属纳米簇催化剂和大高径比多倍环流臭氧催化氧化反应器，构建了高效低耗臭氧催化氧化深度处理技术，实现了膜浓液难降解有机物的高效去除。合作方式为共同知识产权，合作时间为 2021 年 1 月—2022 年 12 月；

3. 孙威/2、刘林/5 共同负责深度处理装置智慧反渗透技术研究，基于 CNN+Transformer+TCN 融合网络及 PPO、SAC 双强化学习算法开发了工业水处理反渗透领域专用 AI 垂直大模型，实现 RO 系统回收率由 75%提升至 85% 以上，合作方式为共同研究，合作时间为 2025 年 4 月—2026 年 8 月。

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	共同研究	刘振虎/1、孙威/2、刘鑫/3、董莹莹/6、蒲东浩/7	2021. 1. 1	2022. 12. 30	煤制乙二醇工艺污水零排放关键技术研发及其工程示范化应用研究	2-7-1； 2-7-2； 2-7-3； 2-7-4； 2-7-5； 2-7-6
2	共同知识产权	孙威/2、董莹莹/6	2021. 1. 1	2022. 12. 30	一种有机物去除催化剂及其制备方法、应用；一种煤化工废水反硝化处理装置（专利）	1-1-2； 2-1-6
3	共同研究	孙威/2、刘林/5	2025. 4. 1	2026. 8. 1	深度处理装置智慧反渗透技术	2-7-7