**陕西省科学技术进步奖公示信息**

**（2024年度）**

1. **项目名称：**

煤化工高盐废水中盐分离提纯成套技术开发及工程应用

**二、提名者及提名意见**

**提名者：陕西省化工学会**

**提名意见：**

本项目以国家和地区基础产业清洁生产和水资源高效利用重大战略需求为引导，立足我国现代煤化工产业结构和产业布局特点，针对煤化工废水中盐资源化分离问题，聚焦高盐废水中结垢污染物、有机污染物和无机盐提纯等行业难题，研究水、装备结构与目标污染物分子多介质反应的调控原理，开发膜分离串联盐结晶组合技术、旋流微气泡高级氧化技术、形成结垢离子梯级去除的系统控制阻垢策略，建立煤化工废水全链条、水资源梯级利用与盐逐级分离提纯技术。

本项目获授权发明专利4项，授权实用新型专利25项，发表论文11篇，授权软件著作权5件，先后在全球首套百万吨煤制油综合利用项目、千万吨煤炭分质清洁高效转化项目、千万吨煤矿项目中获得应用。主要技术经济指标被鉴定为国内领先水平。仅煤制油综合利用项目，产出回用水552720吨/年，硫酸钠产品13841.6吨/年，氯化钠产品8644.8吨/年，近三年该项目的高盐水处理工段累计创造新增产值共计3.9亿元，新增利润1.4亿元。取得了显著的经济效益和社会效益，极大推动了我国西北地区煤化工副产盐的资源化处理及周边生态环境保护。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖三等奖。

**三、项目简介：**

水-能源是人类社会发展的战略资源。由于我国能源“贫油，少气”特点，煤炭在我国国家能源储备中占据首要位置。现代煤化工将煤炭转化为固气体燃料及各种化学品，保障我国能源安全、推动富煤贫油的西部发展。煤化工具有高污染和高好水的特点，且分布在水资源断缺且环境容量差的地区。国家环保部对煤化工废水提出近零排放的严格要求，应运而生煤化工废盐。2019年我国废盐的产生量超过2100万吨，约占危废总量的26%。我国煤化工用煤量8亿吨/年，直接或间接产生的煤化工废盐量巨大，仅陕北地区约350万吨/年。煤化工行业中废盐成分主要为氯化钠和硫酸钠，依据《现代煤化工建设项目环境准入条件(试行)》规定，该类废物按照危险废物进行管理。

2024年国家发展和改革委员出版《产业结构调整指导目录》明确将“高盐废水和工业副产盐资源化利用”列为鼓励类项目。因此，现代煤化工以保障国家能源战略需求为出发点，充分考虑空间资源与环境的异质性，利用现代分离技术对煤化工废水中副产盐进行合理处理，对煤化工产业的高质量发展具有重要的社会意义和经济意义。

本技术针对煤化工高盐废水中结垢离子、有机物、无机杂质的存在而无法实现盐资源化分离的问题，开发了膜串联结晶组合技术、微气泡高级氧化技术、结垢离子梯级去除技术等方法、流程和装备，并进行工业应用，填补国内空白。相关的研究工作主要在以下几方面开展：

1、开发了膜分离串联盐结晶组合技术，采用工艺系统设计实现了膜的双向分离浓缩，进而通过结晶实现了两种盐的高效提纯。其中产品氯化钠干盐纯度≥97.5%，硫酸钠干盐纯度≥98%，分别达到T/CCT 002-2019《煤化工副产工业氯化钠》工业干盐一级品标准，T/CCT 001-2019《煤化工副产工业硫酸钠》A类合格品标准。

2、开发了旋流微气泡高级氧化技术，深度解析了废水零排放系统并科学定位有机物单元高效脱除的流程位置，使COD去除率不低于60%，解决了高浓盐水COD成分复杂、波动大、去除效果低等问题，保证了后续产品盐的色度和TOC指标。

3、形成了结垢离子梯级去除的系统控制阻垢策略，提出了反应产物细颗粒内循环，大颗粒外排的高密除垢新思路，揭示了不同条件下废水中结垢阳离子脱除规律及特性，开发了低碱度除硅新工艺系统，使最终结垢硅离子的去除率高于90%。

该技术已获得5项软件著作权，授权中国专利29件，发表论文11篇，经陕西省化工学会鉴定和教育部科技查新工作站证明，煤化工高盐废水中盐分离提纯成套技术处于国内领先水平。

上述成套技术已推广至4类现代煤化工废水中盐资源化分离，包括煤油气综合利用高盐废水、煤炭分质利用制化工新材料浓盐水和煤矿井下水处理大装置。该项目解决了现代煤化工高浓盐废水中废盐回收的问题，推动了我国西北地区固废资源化处理和新型煤化工中出现的环境保护技术进步，整体技术处于国内领先水平。

**四、客观评价：**

（1）科技查新结论：教育部科技查新工作站(L29)对本项目成果“煤化工高盐废水中盐分离提纯成套技术开发及工程应用”的国内外相关研究进行了国际联机检索查新，经检索并对相关文献分析对比结果表明：上述国内外的相关文献报道分别涉及到该查新项目的部分研究内容，但除该委托项目组发表的文献外，国内外均未见与该查新项目查新点相同的文献报道。

（2）技术水平评价：“60万吨/年煤化工高盐废水中盐分离提纯成套技术开发及工程应用”通过了陕西省化工学会组织的科技成果鉴定，专家组一致认定：“开发了结垢离子协同分离技术，最终结垢硅离子去除率高于90%”、“开发了旋流微气泡高级氧化技术，保证后续产品盐的品质”、“开发了膜分离串联盐结晶组合技术，实现了两种盐的高效提纯”、“该成果技术水平达到国内领先”。

（3）所获科技奖励：荣获陕西省化工学会2023年度科学进步一等奖。

（4）检验检测结论：经陕西省化工产品质量检验检测站有限公司检测，产品氯化钠达到T/CCT002-2019《煤化工副产工业氯化钠》工业干盐一级品标准，产品硫酸钠达到T/CCT001-2019《煤化工副产工业硫酸钠》A类合格品标准。

（5）技术效果评价：本技术成果在陕西延长中煤榆林能源化工股份有限公司全厂综合废水的60万吨/年高盐废水处理中，实现了煤化工废盐的分离提纯，其中混盐回收率大于90%，较少工业园区废盐产生量，同时提升全厂水系统运行稳定性，解决煤化工废盐未资源化采用填埋而造成周边生态环境影响的行业共性难题。

（6）经济效益评价：陕西延长中煤榆林能源化工股份有限公司建成60万吨/年高盐废水中盐分离提纯项目后，产生新鲜水552720吨/年，硫酸钠产品13841.6吨/年，氯化钠产品8644.8吨/年，节约危废填埋费用12645万元。近三年累积节约减排费39307.95万元。

（7）社会效益评价：陕西延长中煤榆林能源化工股份有限公司评价该项目产生的社会效益，水盐资源化利用项目，使原来的混盐变为有使用价值的工业盐，减少了园区废盐产生量，使产业园区更加健康有序的发展，具有较高的环境效益和社会效益。由于分盐的实行，最终需要填埋的杂盐量仅为原有盐量的10%且由危废转为普通固废，系统环保效益显著，为企业的可持续发展提供了强而有力的支撑，为企业树立良好的社会形象打下坚实基础。

（8）知识产权评价：本成果“煤化工高盐废水中盐分离提纯成套技术开发及工程应用”的多项关键技术均是国内领先。获得计算机软件著作权5项，授权专利29项，在《工业水处理》等环境领域顶级期刊发表论文11篇。

**五、应用情况：**

在陕西延长中煤榆林能源化工股份有限公司建成由结垢类脱除、有机物脱除及无机盐分离的60万吨/年煤化工高盐废水工程示范，其中产品氯化钠达到T/CCT 002-2019《煤化工 副产工业氯化钠》工业干盐一级品标准，产品硫酸钠达到T/CCT 001-2019《煤化工 副产工业硫酸钠》A类合格品标准。同时将该技术推广应用至陕西延长中煤榆林能源化工股份有限公司一期启动项目填平补齐工程的浓盐水处理、陕煤集团榆林化学有限责任公司煤炭分质利用制化工新材料示范项目中污水深度处理和巴拉素煤矿井下水处理项目。

主要应用单位情况表：

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 单位名称 | 起止时间 | 单位联系人/电话 |
| 陕西延长中煤榆林能源化工股份有限公司 | 2018-至今 | 贺旺盛/15353890516 |
| 陕西延长中煤榆林能源化工股份有限公司 | 2021-至今 | 贺旺盛/15353890516 |
| 陕煤集团榆林化学有限责任公司 | 2020-至今 | 刘国涛/18891210721 |
| 陕西延长石油巴拉素煤业有限公司 | 2019-至今 | 李保成/13109684838 |

本项目实现了上述应用公司，提高了企业的环境友好性和市场竞争力。此外，可以推广应用到基础化学品、多晶硅、电子化学品等高端制造业等行业产生的废盐资源化分离工程中。

**六、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 | 发明专利 | 一种废盐资源化处理系统级方法 | 中国 | ZL202110942270.4 | 2024.05.14 | 证书号第6998150号 | 陕西化工研究院有限公司 | 田磊；孙玲玲 |
| 2 | 发明专利 | 一种煤化工废水中COD吸附的三层四塔吸附方法及系统 | 中国 | ZL201710470064.1 | 2023.05.26 | 证书号第5999962号 | 陕西化工研究院有限公司 | 马红鹏;齐永红;薛群翔;田磊;蒋靖波;肖理 |
| 3 | 发明专利 | 钠床再生废液循环利用方法及系统 | 中国 | ZL201410766208.4 | 2016.06.01 | 证书号第2092007号 | 陕西化工研究院有限公司 | 齐永红；田磊；王林；杨楠 |
| 4 | 发明专利 | 一种废碱液资源化处理系统及方法 | 中国 | ZL202110387475.0 | 2024.04.12 |  | 陕西化工研究院有限公司 | 李俊;刘晓晶;张国辉;张哲 |
| 5 | 实用新型专利 | 一种能源化工水系统集成厂区 | 中国 | ZL202220407397.6 | 2022.08.09 | 证书号第17130890号 | 陕西化工研究院有限公司 | 田磊；孙凌凌；蒋靖波；杨楠 |
| 6 | 实用新型专利 | 一种高浓盐水纳滤膜双向分离装置 | 中国 | ZL201721358712.6 | 2018.05.08 | 证书号第7326184号 | 陕西化工研究院有限公司 | 田磊；马红鹏；齐永红；巢志理 |
| 7 | 实用新型 | 一种高浓度盐水资源化系统 | 中国 | ZL201822217600.X | 2019.09.03 | 证书号第9326734号 | 陕西化工研究院有限公司 | 蒋靖波；齐永红；黄建良；孙凌凌；田磊；陈文宜；周立武；张立震 |
| 8 | 实用新型专利 | 煤化工废水零排放中高盐难生化废水脱除COD的装置 | 中国 | ZL201921427000.4 | 2020.06.16 | 证书号第10732540号 | 陕西化工研究院有限公司 | 李俊；田磊；刘晓晶；巢志理；贺正泽；刘学贽；朱海晨；李孟君 |
| 9 | 论文 | Reducing fouling of an industrial multi-stage nanofiltration membrane  based on process control: A novel shutdown system | 中国 | 2022,644:120141 | 2021.12.02 | Journal of Membrane Science | Shaanxi Research Design Institute of Petroleum and Chemical Industry | Hong-Peng Ma, Hua-Lin Wang, Yong-Hong Qi, Zhi-Li Chao, Lei Tian, Wei Yuan, Li Dai,  Wen-Jie Lv |
| 10 | 论文 | 基于模拟核算的煤化工浓盐水分盐工艺选择 | 中国 | 2021,06:54-58 | 2021.01.01 | 煤炭加工与综  合利用 | 陕西化工研究院有限公司 | 田磊，蒋靖波 |

**七、主要完成人情况：**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 排名 | 姓名 | 职称 | 行政职务 | 工作单位 | 完成单位 | 对本成果主要学术和技术创造性贡献 |
| 1 | 田磊 | 高级工程师/副所长 | 副所长 | 陕西化工研究院有限公司 | 陕西化工研究院有限公司 | 全面负责“煤化工高盐废水中盐分离提纯成套技术开发及工程应用”的研发与工业实施，提出了煤化工高盐废水中盐分离提纯成套技术的总体思路和技术路线，研究形成了具有知识产权的高盐废水中盐分离提纯的方法和关键技术。 |
| 2 | 张勇 | 高级经济师/副院长 | 副院长 | 陕西化工研究院有限公司 | 陕西化工研究院有限公司 | 组织开展了煤化工废水中处理工程示范实践，改进实践暴露的技术问题，主持工业试验和工程应用，全面负责成果的推广。 |
| 3 | 马红鹏 | 助理研究员 | \ | 陕西化工研究院有限公司 | 陕西化工研究院有限公司 | 提出了微气泡强化高级氧化去COD的技术思路，开发了旋流微气泡氧化装备，提高COD的脱除效率，保证了后续盐的品质 |
| 4 | 贺正泽 | 工程师/副所长 | 副所长 | 陕西化工研究院有限公司 | 陕西化工研究院有限公司 | 参与“煤化工高盐废水中盐分离提纯成套技术开发及工程应用”的研发与工业实施。并攻克一系列的现场施工技术难题。 |
| 5 | 蒋靖波 | 高级工程师 | 科技开发中心副主任 | 陕西化工研究院有限公司 | 陕西化工研究院有限公司 | 负责工艺技术系统集成的技术路径选择，并主导全系统的调试。 |
| 6 | 李俊 | 高级工程师 | 副所长 | 陕西化工研究院有限公司 | 陕西化工研究院有限公司 | 参与“煤化工高盐废水中盐分离提纯成套技术开发及工程应用”的研发与工业实施。参与现场工程建设和调试运行 |

**八、主要完成单位及创新推广贡献：**

|  |  |
| --- | --- |
| **主要完成单位** | **创新推广贡献** |
| 陕西化工研究院有限公司 | 陕西化工研究院有限公司为该项目主要完成单位，全面负责项目的组织、运行和管理，为项目研究提供了必备的资料、设备、人员及技术支撑，组织专家、学者对项目进行把关并提出宝贵的修改意见，并承担项目研究成果的推广应用和实施效果评价。  陕西化工研究院有限公司规范项目运行和质量管理。组织成立项目组，给予充足的人力、物力、财力支持与保障。并定期检查，督促研究内容保质保量完成。  针对现代煤化工废水中盐分离提纯的问题，按照源头控制、逐级提纯的分离原则，提出污染物分段处理，工艺组合冗余调控处理新思路，发明了废水回收利用与无机盐逐级提纯的废盐资源化处理方法，研制成功膜分离串联盐结晶组合处理装置、旋流微气泡高级氧化处理装置、结垢离子梯级去除的系统控制阻垢控制技术，建立了我国煤化工高盐废水中废盐分离提纯的技术体系，并进行工业应用，填补国内空白。 |

**九、完成人合作关系说明：**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | 产业合作 | 张勇/2 | 2016-05-01 | 2022-06-01 | 煤化工高盐废水中盐分离提纯成套技术工业示范 | 成果鉴定证  书 |
| 2 | 共同知识产权 | 马红鹏/3 | 2014-12-01 | 2022-06-01 | 煤化工废水中COD吸附方法及装置 | 成果鉴定证  书；知识产权2 |
| 3 | 产业合作 | 贺正泽/4 | 2017-01-01 | 2022-06-01 | 60万吨/年煤化工高盐废水中盐分离提纯成套技术开发及工程应用 | 成果鉴定证  书 |
| 4 | 共同知识产权 | 蒋靖波/5 | 2014-05-01 | 2022-06-01 | 高浓盐水盐资源化分离工艺控制及设计 | 成果鉴定证  书；知识产权7 |
| 5 | 共同知识产权 | 李俊/6 | 2015-05-01 | 2022-06-01 | 结垢离子脱除的装备结构设计及过程调控措施 | 成果鉴定证  书；知识产权8 |