2019年度国家科学技术进步奖提名公示材料

|  |  |
| --- | --- |
| 项目名称 | 面向制浆废水零排放的膜制备、集成技术与应用 |
| 提名单位 | 中国石油和化学工业联合会 |
| 提名意见  （不超过600字） | 该项目针对制浆造纸工业废水减排需求和江苏最大的群体事件“启东7·28”事件，通过对制浆废水复杂成分的分析检测，提出了“以化工产品生产方法”将制浆废水“吃干榨尽”的研究思路，发明了“高效预处理、多膜集成技术、高效蒸发结晶”等相结合的膜法制浆废水零排放新工艺，开发出超亲水特种超滤膜的制备方法、水质软化与膜污染协同控制技术，建成了30万m2/年的特种超滤膜规模化生产线，实施了4万吨/日全球首套膜法制浆废水零排放工程，破解了制浆废水零排放治理的国际难题，将制浆废水变成“净化水、工业盐和干泥”并实现资源化利用，入选国家“十二五”科技创新成就展，成为以科技解决社会发展问题的典范。2014年项目完成人向习总书记汇报了制浆废水零排放的成果，总书记鼓励要多开发这样的好技术；2016年科技部王志刚部长亲临南通制浆废水零排放工程现场视察，充分肯定项目的研究成果；2017年央视“一滴水的故事”讲述了该项目的成果。  该项目的技术创新性十分突出，获得中国发明专利30项，在Adv. Mater.、J. Membr. Sci.等期刊上发表学术论文22篇。相关成果在制浆造纸、精细化工、盐化工、医药工业等废水资源化中得到推广应用，累计减排废水1.3亿吨、COD 7000多吨，环境效益十分显著；项目成果的实施产生了较好的经济效益，为经济社会高质量发展做出了重要贡献。  对照国家科技进步奖授奖条件，我单位决定提名该项目为2019年度国家科技进步奖二等奖。 |
| 项目简介 | 制浆造纸工业属于高耗水、高排放的行业，其中制浆废水污染物成分极为复杂，**难以实现废水资源化回收利用，国内外均是达标处理后排入大海、河流**。2012年，因江苏王子制纸有限公司的制浆废水排海问题，引发了“启东”群体事件，**迫切需要通过科学技术实现制浆废水零排放与综合利用，破解制浆废水零排放这一国际难题**。  面向此重大需求，项目组研发出**以多膜集成为核心的制浆废水零排放新工艺，实现了制浆废水的资源化利用**，于2014年实施了4万吨/日的全球首套膜法制浆废水零排放示范工程，以科技的手段解决了社会发展问题。  在国家、江苏省等科技项目支持下，攻克了基于核心膜材料制备、膜污染控制、多膜集成工艺等的制浆废水零排放关键技术，形成以下创新点：  （1）**发明了两亲共聚物成膜方法，研制出超亲水高强度特种超滤膜，实现了工业化生产与规模化应用。**创造性地将聚偏氟乙烯（PVDF）为主体相的两亲共聚物引入到PVDF均聚物铸膜液，使亲水组分在成膜过程中迁移至膜孔和表面，产生自发亲水特性；通过调节分子链之间的缠结作用，使得膜材料具有永久亲水性；通过蒸汽诱导相分离与非溶剂诱导相分离过程耦合，实现了超滤膜微结构的精准调控，解决了制浆废水处理中超滤膜易污染和断丝问题，提高了运行稳定性。  （2）**开发出水质软化与反渗透膜污染协同控制技术，提高了反渗透膜的水回收率，延长了膜清洗周期。**发明了高盐体系膜污染控制与清洗方法，建立了反渗透膜隔网与膜分离性能的关系，发明了碱性木质素改性反渗透膜的方法，提高了反渗透膜抗污染的能力；开发出水质软化与反渗透膜污染协同控制技术，将反渗透膜的水回收率从70%提高到90%以上，降低反渗透膜脱盐过程药剂消耗40%，解决了反渗透膜用于工业废水处理过程水回收率低的问题，有效降低了膜系统的运行成本。  （3）**以多膜集成为核心，发明了膜法制浆造纸废水零排放技术工艺包，实施了全球首套膜法制浆废水零排放工程。**按化工产品生产方法“吃干榨净”制浆尾水，发明了“高效预处理-多膜集成-高效蒸发结晶”等为一体的制浆废水资源化处理技术工艺包，在南通实施4万吨/日处理规模的制浆废水零排放工程，获得净化水及工业盐、干泥等副产物，实现资源化利用。工程投资成本和运行成本为原排海工程的50%左右，以科技解决了“启东”群体事件，得到党和国家领导人、各级政府和社会各界的充分肯定。  项目执行期间，获得中国发明专利30件，发表论文22篇。完成单位项目成果转化累计新增产值超过4亿。推广应用到制浆造纸、化工、印染、有色等行业，累计减排废水1.3亿吨，产生显著经济效益；项目成果挽救了投资19亿美元的江苏王子公司，近4年该公司新增经济效益累计80亿，同时避免了地方政府百亿元经济赔偿，为经济和社会发展做出重要贡献。 |
| 客观评价 | **1、国内外技术比较**  经文献调研、企业走访，国内外制浆废水均达标处理后排入江河湖海，没有深度处理回用实现废水零排放的案例，本项目建成的是全球首套膜法制浆废水零排放工程。与原排海计划相比，投资成本由13亿元下降到5亿元，年运行成本由1亿元下降到6500万元，具有明显的经济及环境效益。  研制的特种超滤膜与国际先进水平膜产品相比，膜通量提高30%，化学清洗周期延长了1倍。针对工业废水中硬度和COD易造成反渗透膜结垢，限制了水回收率的提高，开发出水质软化与反渗透污染协同控制技术，使反渗透膜的水回收率从70%提高到90%以上，药剂消耗下降40%，有效降低了运行成本。  **2、鉴定与项目验收**  中国石油和化学工业联合会组织了“面向制浆造纸废水零排放的膜制备与多膜集成技术及应用”项目科技成果鉴定会，鉴定委员一致认为：**成果创新性强，总体技术居国际领先水平**。  南京九思高科技有限公司承担的国家科技支撑计划项目课题《造纸达标尾水膜法处理工艺包开发与应用示范》（编号2013BAE1B03）验收委员会认为已完成任务书规定的各项任务和考核指标。  南京工业大学承担的江苏省产学研前瞻性联合研究项目《低成本制浆造纸尾水膜法深度回用技术》（编号：BY2014005-06）验收委员会认为项目完成了合同约定的各项任务和考核指标，**技术水平居国际领先**。  **南通市环境保护局对南通能达水务有限公司出具的环保验收报告（通开环验[2014]080号）表明：再生水供水水质参数检测结果符合GB/T9923-2005标准，通过环保验收。**  南京市科技信息研究所对国内外信息进行查询，**未见与本项目三个创新点相同的研究报道。**  南京市科技信息研究所对国内外信息进行查询，膜集成工艺制浆造纸废水处理技术**未见公开报道**。  南京市科技信息研究所对国内外信息进行查询，基于高度不对称两亲PVDF嵌段共聚物的永久亲水PVDF中空纤维超滤膜**未见公开报道**。  **2、他人引用与评价情况**  欧洲膜学会荣誉主席Enrico Drioli教授在EU-China Membrane Newsletter (中欧膜新闻快讯)2014年第8期中报道：以南京工业大学为核心的研发团队开发了世界首套膜法制浆造纸零排放工程，已建立了处理量达4万吨/日的废水处理示范工程，等于新建了一个再生水厂。  **美国工程院院士、**Carnegie Mellon**大学**Krzysztof Matyjaszewski教授在*Chem. Rev.*（2012, *112*, 3959-4015）上发表综述论文时，将南京工业大学关于两亲共聚物在选择性溶剂作用下向表面的富集与迁移的工作作为专门的一节，进行重点介绍和评述，36次引用该项目发表的6篇文章。**英国皇家科学院院士（FRS）、Bristol大学Ian Manners教授**在*Angew Chem Int Ed*（2012, *51*, 7898-7921）中引用南京工业大学报道的多孔结构图片，进行重点介绍。**剑桥大学卡文迪许实验室、**厦门大学、华中科技大学、韩国科学技术研究院（KIST）、美国Akron大学等多个课题组和国际著名膜生产企业日东电工也引用并借鉴南京工业大学的工作，采用其方法制备了不同的多孔结构（*Adv Mater* 2012, *24*, 1889-1893; *Nanoscale* 2013, *5*, 1195-1204; *Small* 2013, *9*, 322-329; *Adv Funct Mater* 2014, *24*, 6981–6988；*Soft Matter,* 2015, *11*, 8499-8507）。  **3**、**其他证明**  “全球首套制浆造纸废水零排放成套工艺”入选国家“十二五”科技成就展。 |
| 应用情况 | 1）该项目开发的“膜法制浆造纸废水零排放技术工艺包技术”，已在南通能达水务有限公司实施，建成了全球首套制浆废水零排放工程，工程规模4万吨/日。净化水回用到江苏王子、江山农化、东丽、帝人等公司，表现出良好的技术经济与社会效益。  2）膜法中水回用技术已在亚洲最大造纸企业APP金华盛纸业（苏州工业园区）有限公司推广应用，处理规模2万吨/日；在江苏三吉利化工股份有限公司建成2000吨/日化工废水的中水回用工程，累计推广应用十多家企业。  3）开发的特种超滤膜与组件技术已在南京九思高科技有限公司建成30万m2/年的规模化生产线，在南京久盈公司成果转化并推广应用。  4）开发的膜法制浆造纸废水零排放技术，已由江苏久吾高科技股份有限公司推广应用至造纸、化工、制药等领域。 |

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 专利号 | 名称 | 发明人 |
| 1 | ZL200910233405.9 | 一种制备具有连续纳米孔道的聚合物薄膜的方法 | 汪勇；范益群；邢卫红 |
| 2 | ZL201210284496.0 | 基于嵌段共聚物选择性溶胀制备多孔膜的方法 | 汪勇；王召根；邢卫红；范益群；汪朝晖 |
| 3 | ZL201110051167.7 | 外压式中空纤维膜组件及其制备方法 | 汪朝晖；汪效祖；王奎 |
| 4 | ZL200910264218.7 | 一种膜法盐水精制工艺的膜污染清洗方法 | 邢卫红；顾俊杰；仲兆祥；刘飞；徐南平 |
| 5 | ZL201610228397.9 | 一种表面改性提高聚酰胺反渗透膜性能的方法 | 邢卫红；吴雅萍；陈朋利；汪勇；李卫星 |
| 6 | ZL201310310793.2 | 一种造纸制浆尾水回用工艺 | 杨刚；李卫星；李辉；邢卫红 |
| 7 | ZL201310310857.9 | 一种含盐废水的近零排放工艺 | 杨刚；邢卫红；李辉；李卫星；徐南平 |
| 8 | ZL201310312806.X | 一种净化水水质平衡方法 | 邢卫红；张荟钦；杨刚；徐南平 |
| 9 | ZL201310311089.9 | 一种膜与蒸发结晶集成的高盐度工业废水零排放的工艺 | 李卫星；杨刚；张荟钦；邢卫红 |
| 10 | ZL201511022716.2 | 一种木质素废水回用工艺 | 丁晓斌；周利跃；赵祥强；南江普 |

|  |  |
| --- | --- |
| 主要完成人情况 | （格式：姓名、排名、行政职务、技术职称、工作单位、完成单位、对本项目贡献）  **邢卫红、排名1、副校长/研究员、南京工业大学、对本项目贡献：**负责江苏王子制浆废水零排放工艺包开发，是零排放工艺、特种超滤膜、膜污染与再生方法等专利的主要发明人。创新点一中参与超亲水特种超滤膜及组件的研发，创新点二中开发出抗污染反渗透膜表面修饰技术，创新点三中负责废水零排放新工艺的设计。是三个创新点的主要贡献人，是18个专利的主要发明人（ZL201310310793.2、ZL201310310857.9、ZL201310312806.X 等）  **李卫星、排名2、教授、南京工业大学、对本项目贡献：**负责江苏王子制浆废水零排放工艺包开发，是零排放工艺的主要发明人之一。形成了基于高效预处理、多膜集成技术、高效蒸发结晶等相结合的废水零排放新工艺，是创新点三的主要贡献人，组织开发工艺包，是10个专利的主要发明人（ZL201310310857.9、ZL201310311089.9、ZL201310310793.2等）  **汪勇、排名3、教授、南京工业大学、对本项目贡献：**提出嵌段共聚物调节成膜性能，负责超亲水特种超滤膜亲水机理的基础研究并开发相应配方（创新点1）；以及抗污染反渗透膜表面修饰的机理研究和合成方法开发（创新点2），是创新点1和2的主要贡献人之一，是代表作 1 的第一作者和共同通讯作者、代表作 2-6 的通讯作者；是8个专利的第一发明人（ZL201210284496.0、ZL200910233405.9、ZL201310068462.2等）  **杨刚、排名4、教授、南京工业大学、对本项目贡献：**是江苏王子制浆废水零排放工艺包开发的核心人员，对水质软化和反渗透膜污染控制有重要贡献（创新点2）；是高效预处理、多膜集成技术、高效蒸发结晶等相结合的废水零排放新工艺的主要发明人（创新点3），是创新点1和2的主要贡献人，是 5 个专利的主要发明人（ZL201310310793.2、ZL201310311089.9、ZL201310310857.9、ZL201310312806.X、ZL200910264219.1）  **崔朝亮、排名5、副教授、南京工业大学、对本项目贡献：**负责高抗污染特种超滤膜制备基础理论及产业化研究，提出蒸汽诱导相分离与非溶剂诱导相分离耦合的聚合物膜制备新工艺，组织特种超滤膜制备工艺参数的优化和系统改造，参与特种超滤膜生产线建设和运行性能评估（创新点1）；主要研究了相分离基本原理、成膜过程分析、膜污染控制理论和清洗方法（创新点2），是创新点1和2的主要贡献人之一。是专利ZL201621385217.X的第一发明人。代表性论文8的第一作者。  **范益群、排名6、教授、南京工业大学、对本项目贡献：**是江苏王子制浆废水零排放工艺包开发的主要人员，参与开发超亲水高强度特种超滤膜及组件（创新点1），参与创新点2中膜污染控制技术的研发。是4个专利的主要发明人（ZL200910233405.9、ZL201210284496.0、ZL201310068462.2、ZL201310066924.7）。  **陈强、排名7、教授级高工、南通能达水务有限公司、对本项目贡献：**代表南通经济开发区政府牵头组织实施江苏王子制浆尾水中水回用零排放工程，解决了技术研发过程和工程实施过程一系列关键问题。负责创新点3中的高效蒸发结晶系统的技术方案及设备选型、工业盐及干泥的综合利用等；组织工程现场运行和水质监控，降低药剂使用量和运行能耗，对创新点2有重要贡献，保障了制浆废水零排放工程的顺利实施。  **丁晓斌、排名8、总经理/高级工程师、南京九思高科技有限公司、对本项目贡献：**是国家支撑计划课题的负责人，负责开发双膜法造纸废水中水回用技术，参与特种超滤膜生产线建设和生产运行，在金华盛建成万吨级的膜法中水回用工程，是创新点1和2的主要贡献人，组织开发了万吨级废水处理工艺包和超滤膜污染控制技术，是3个专利的主要发明人。（ZL201510976259.4、ZL201210142597.4、CN201511022716.2）。  **张荟钦、排名9、高级工程师、江苏久吾高科技股份有限公司、对本项目贡献：**负责膜集成技术在制浆废水零排放过程中的应用研发，主要包括膜集成工艺设计优化、以及工艺过程的技术评价和经济性分析等等。完成了从膜集成技术小试到工业化应用的过程，实现了其在制浆废水中的应用推广，对创新点3有较大贡献。是4项专利的主要发明人（ZL201410488066.X、ZL201410019433.1、ZL201310311089.9、ZL201310312806.X）。  **汪效祖**、**排名10、副教授、南京工业大学、对本项目贡献：**是超亲水高强度特种超滤膜及组件的主要负责人之一，负责膜生产线的生产管理和性能监控，参与膜运行性能评估，对创新点1有较大贡献。是4个专利的主要发明人（ZL201110051167.7、ZL201110067990.7、ZL201621385217.X等）。 |
| 主要完成单位及创新推广贡献 | **南京工业大学：**南京工业大学通过组建产学研合作团队，解决了制浆废水零排放的技术瓶颈，开发出超亲水特种超滤膜的制备方法，通过反渗透膜表面修饰解决膜污染问题，形成了基于高效预处理、多膜集成技术、高效蒸发结晶等相结合的废水零排放新工艺，通过科学技术实现制浆废水零排放和资源化综合利用，破解制浆废水治理这一国际难题。项目执行期间，获得中国授权发明专利20项；在Adv. Mater.、J. Membr. Sci.等期刊上发表学术论文22篇，是三个创新点的主要贡献单位。积极组织项目研究成果的转移转化和推广应用，与江苏久吾高科技有限公司、南京九思高科技有限公司等紧密合作，促进研究成果应用，建成 30 万m2/年的特种超滤膜生产线，在制浆造纸、化工、盐化工、医药等废水处理中推广应用10余项工程。受南通经济开发区和黄冈经济开发区委托，应用本项目成果开发了制浆废水零排放工艺包，合同科研经费为3700万元。2014年习近平总书记视察江苏省产业技术研究院时，该成果得到了总书记的充分肯定；2016年被遴选为环保领域的代表性成果在国家“十二五”科技创新成就展上展出。  **南京九思高科技有限公司：**本单位主要参与了高亲水特种超滤膜的研发及制备，解决了运行过程中膜易污染、易断丝、出水水质不稳定等技术问题；并建成了规模化生产线，运行过程中膜通量稳定，水回收率高，膜清洗周期可达到2个月以上，并在苏州金华盛公司完成了性能考评。是创新点1的主要贡献单位。  **南通能达水务有限公司：**负责制浆造纸零排放工程中高效蒸发结晶系统的技术方案及设备选型、工业盐及干泥的综合利用等；组织工程现场运行和水质监控，降低药剂使用量和运行能耗，保障了工程的稳定运行。是创新点2和3的主要贡献单位。该项目工程实施后，每年为园区节约用水约1200万吨，减少向水体排放COD、BOD分别为900吨和240吨。对于我国长江流域、水资源短缺地区的制浆造纸企业和其他企业尾水循环利用具有推广示范效应；对促进节能减排、发展循环经济、高标准保护生态环境、节约水资源、改善人居环境具有重要现实意义。  **江苏久吾高科技股份有限公司：**本单位开发了用于制浆废水处理的膜集成应用技术，完成了膜应用工业化设备的设计、生产制造，以及南通王子制浆废水工程现场的设备安装、调试、运营工作。现该工程运营出水水质稳定，是创新点3的主要贡献者。并在造纸行业中进行技术应用推广，起到节能减排作用。 |
| 完成人合作关系说明 | 第一完成人与其他完成人形成紧密合作关系，有的共同承担科研项目（邢卫红、李卫星、杨刚等），有的共同获得发明专利（邢卫红、汪勇、崔朝亮、范益群、丁晓斌、汪效祖等），有的共同发表学术论文（邢卫红、崔朝亮、张荟欣等），有的共同完成成果鉴定与验收（邢卫红、陈强、范益群、汪勇等）。 |