**陕西省科学技术进步奖公示信息**

**（2024年度）**

1. **项目名称：**

硫磺湿法成型工艺与大型装备开发

**二、提名者及提名意见**

**提名者：陕西省化工学会**

**提名意见：**

该项目构建了液体硫磺冷却成型的CFD全过程模拟模型，形成了环保、高效、节能、集中控制的一套硫磺冷却成型优化分析的理论与设计方法，实现了硫磺湿法成型装备的国产化；发明了一种硫磺湿法成型装置中用的硫磺颗粒物位控制装置，有效地保持成型罐内物料的动态平衡，提高了系统的稳定性；设计了基于斜板式沉淀罐的工艺水固液分离新工艺，实现了固液分离的理想效果。在中国石油独山子石化分公司、中石化普光气田天然气净化厂和中石化中科（广东）炼化公司实施后，新增综合销售收入逾12.7302亿元，费用节支逾1.7828亿元。此外，本项目获得授权国家发明专利3项，实用新型专利7项，发表相关科技论文5篇，撰写学术著作2部，指导了2名硕士研究生。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

**三、项目简介：**

硫磺湿法成型工艺主要应用于石油化工、天然气行业，研发重点包括：节能减排、提高硫磺颗粒质量，提高设备处理量及可靠性等方面。采用CFD方法对液硫从成型盘至成型罐过程中的传质与传热规律进行三维数值模拟，通过调节液硫温度、液硫液面高度、成型盘孔径、下落高度、冷却水温度、冷却水进口流速等工艺参数，优化了成型盘及成型罐设备结构，解决了国内硫磺湿法成型工艺的技术瓶颈，掌握了硫磺湿法成型的关键技术，形成了环保、高效、节能、集中控制的一套硫磺冷却成型优化分析的理论与设计方法，实现了硫磺湿法成型装备的国产化。项目共取得授权专利10项，其中发明专利3项，实用新型专利7项，发表相关科技论文5篇，撰写著作2篇。设备的生产能力为5～90t/h，细粉硫沉淀效率达95%，离心分离效率达99.35%以上，粒径为2～6mm的硫磺颗粒占比99%以上，硫磺颗粒含水率优于国家标准GB/T2449.1-2021中的要求。相关成果陆续通过了行业专家技术鉴定（见附件），鉴定结果为：系统整体技术达到了国际先进水平，建议推广应用。实现的社会效益与经济效益如下：

社会效益：项目采用的硫磺湿法成型技术，攻关一系列技术难题，整体技术达到国际先进水平，相比国内的钢带、滚筒硫磺造粒成型技术优势明显。与国内传统的国产钢带成型机相比，可以大大减少使用台数，产量调节范围大，占地面积小，设备维护管理成本低。液体硫磺与水直接换热在水下成型，从根源解决造粒过程的扬尘现象。与国外进口硫磺湿法成型机相比，解决了颗粒含水率超标、细粉硫固液分离效率低、冷却工艺水温控制效果差等问题，硫磺颗粒性能更好。此项目实施后，代替了进口技术，节省外汇，并且缩短了交货周期，市场竞争优势显著。

经济效益：

1. 该项目在中国石油独山子石化分公司项目应用后，节约设备购置费约2800万元，每年减少设备维护、保养、人工费用约125万元，每年节约细粉硫处置费330万元，2021年-2023年实现销售收入1.6102亿元，节支4165万元。

2. 在中石化普光气田天然气净化厂应用了4套硫磺湿法成型装备，每套节约购置费1500万元，每年节约细粉硫处置费400万元，每年减少设备维修、保养、人工费用约120万元，2021年-2023年实现新增销售收入3.81亿元，新增利润1560万元，费用总节支7560万元。

3. 在中石化中科（广东）炼化公司应用了2套硫磺湿法成型装备，2021年-2023年实现新增销售收入7.31亿元，创效5.5亿元。类比进口同类型设备，节约购置费6000万元，系统循环水、除盐水、低压蒸汽、电等公用工程费用共节支103.1万元。

该项目实施后，新增综合销售收入逾12.7302亿元，费用节支逾1.7828亿元。

**四、客观评价：**

项目采用的硫磺湿法成型技术攻关一系列工程技术难题，成果通过了行业专家的技术鉴定，认为其系统整体技术达到了国际先进水平，相比国内传统的国产钢带成型机相比，产量调节范围增大，占地面积减小，设备维护管理成本降低，从而大大减少了使用台数。液体硫磺与水直接换热在水下成型，从根源解决造粒过程的扬尘现象, 具有明显的技术优势。与国外进口硫磺湿法成型机相比，解决了颗粒含水率超标、细粉硫固液分离效率低、冷却工艺水温控制效果差等问题，硫磺颗粒性能更好。此项目实施后，代替了进口技术，节省外汇，并且缩短了交货周期，市场竞争优势显著。

1、中石化科技开发部科技成果鉴定意见

研究成果于2020年9月在中科（广东）炼化有限公司3×13万吨/年硫磺回收装置上投入工业应用，连续运行结果表明：硫磺颗粒产品粒径范围φ2~6mm,含水率≤0.5%，完全满足GB/T 2449.1-2014《工艺硫磺 第1部分固体产品》的要求，设备运行平稳、可靠，满足生产工艺的要求。具有投资少、占地面积小、节能环保等特点，经济效益和社会效益显著。系统整体达到国际先进水平，建议推广应用。支持文件详见附件2中“科技鉴定证书1”。

2、中石化科技部科技成果鉴定意见

利用研究成果，对普光净化厂3#湿法硫磺成型机进行了技术改造，2018年3月投用以来，装置运行稳定。标定结果表明，优化后的硫磺颗粒质量显著提高，1.5~6mm粒径分布提高了6.9~8.7个百分点，含水率下降了1.35~3.23个百分点，破碎率下降了6.3~8.18个百分点，工艺水分离效率提高了19%、细粉硫残留量下降到0.2%、开工率提高约10%。经济社会效益显著，整体技术达到国际先进水平，建议推广应用。支持文件详见附件2中“科技鉴定证书2”。

3、用户使用情况说明

2020年10月，在中科（广东）炼化项目现场对大处理量硫磺液下造粒系统使用情况进行了性能测定，设备运行良好，技术成熟可靠。硫磺颗粒产品的粒度、含水率指标和装置的单套产量、粉尘排放浓度、噪音指标均在设计范围内，完全满足国家标准要求。支持文件详见附件2中“中科（广东）炼化项目现场性能标定报告”。

本项目研发的大型硫磺湿法成型技术已比较成熟，并已投入多个工程项目中使用，技术使用方对该项技术成果给予了肯定，但也存在一定的技术局限性，主要包括以下方面：

（1）工程项目中不同工况条件下各种成型工艺参数的数据收集与分析整理，还需要大量数值模拟计算来获得成型工艺参数对设备放大规律的参考公式。

（2）工程项目中节能降耗指标的数据收集与分析整理，需要配置液位、流量、温度等全自动联锁仪表，在线监测收集运行数据，在一定程度上增加了项目成本。

**五、应用情况：**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 |
| 1 | 中国石油独山子石化分公司 | 新型硫磺湿法成型技术 | 硫磺湿法成型设备 | 2021.01-2023.12 | 郝东来/18083939767 |
| 2 | 中石化普光气田天然气净化厂 | 新型硫磺湿法成型技术 | 4套硫磺湿法成型设备 | 2021.01-2023.12 | 吕晓明/19162878132 |
| 3 | 中石化中科（广东）炼化公司 | 新型硫磺湿法成型技术 | 2套硫磺湿法成型设备 | 2020.09-2023.12 | 梁大光/18125933326 |

**六、主要知识产权和标准规范等目录：**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 序号 | 知识产权类别 | 知识产权名称 | 国家（地区） | 授权号 | 授权日期 | 证书编号 | 权利人 | 发明人 |
| 1 | 专利 | 一种硫磺湿法成型装置及成型工艺 | 中国 1 | 202210107265.6 | 2023-11-03 | 第6456345号 | 洛阳涧光特种装备股份有限公司 | 孙继鹏， 张占营，唐杨超， 韩靖 |
| 2 | 专利 | 一种硫磺湿法成型设备及成型工艺 | 中国 2 | 201510653367.8 | 2017-10-10 | 第2651361号 | 洛阳涧光特种装备股份有限公司 | 孙继鹏， 张占营，刘志平 |
| 3 | 专利 | 一种硫磺湿法成型装置中含水硫磺颗粒输送装置 | 中国 3 | 201821603439.3 | 2019-06-21 | 第8989075号 | 洛阳涧光特种装备股份有限公司 | 孙继鹏， 张占营，唐杨超 |
| 4 | 专利 | 一种硫磺湿法成型装置中用的硫磺颗粒物位控制装置 | 中国 4 | 202122969128.7 | 2022-05-06 | 第16430230号 | [洛阳涧光特种装备股份有限公司](https://cprs.patentstar.com.cn/Search/ResultList?CurrentQuery=6KW/5a6J6bi/6ZKn552/5rO95paw5p2Q5paZ56eR5oqA5pyJ6ZmQ5YWs5Y+4L1BF&type=cn) | 张占营，唐杨超 |
| 5 | 专利 | 一种硫磺湿法成型装置中用的细粉硫处理系统 | 中国 5 | 201821603448.2 | 2019-06-21 | 第9000426号 | 洛阳涧光特种装备股份有限公司 | 孙继鹏， 张占营，唐杨超 |
| 6 | 专利 | 一种沥青湿法成型装置及成型工艺 | 中国 6 | 201511011259.7 | 2017-10-10 | 第2651204号 | 洛阳涧光特种装备股份有限公司 | 孙继鹏 |
| 7 | 专利 | 一种进口旋流器及喷动床 | 中国 7 | 201820339345.3 | 2019-01-25 | 第8412946号 | 西北大学 | 吴峰 |
| 8 | 论文 | 天然气集输管道危险有害因素分析及控制 | 中国 8 | 10.19900/j.cnki.ISSN1008-4800.2021.02.061 | 2021-02-6 | 化工管理 | 中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司集输工程技术研究所 | 李茜璐 |
| 9 | 论文 | Numerical and experimental study on the particle erosion and gas–particle hydrodynamics in an integral multi-jet swirling spout-fluidized bed. | 美国 9 | 10.1016/j.cjche.2023.03.011 | 2023-09 | Chinese Journal of Chemical Engineering | 西北大学 | Feng Wu，Jipeng Sun |
| 10 | 论文 | Intensification Effect of a Multi-Jet Structure on a Multiphase Flow and Desulfurization Process in a Fluidized Bed. structure | 美国10 | 10.1021/acsomega.2c0765 | 2023-02-03 | ACS OMEGA | 西北大学 | Feng Wu |

**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 | 吴峰 | 教授 | 化工系主任 | 西北大学 | 西北大学 | 建立了液体硫磺冷却成型过程的理论与数值模拟模型，有效指导了大型硫磺湿法成型装备的改进与应用 |
| 2 | 孙继鹏 | 工程师 | 事业部经理 | 洛阳涧光特种装备股份有限公司 | 洛阳涧光特种装备股份有限公司 | 负责项目设计、项目实施、报告编写和成果验收，组织项目研究人员研讨会，协调项目进度，主持开展解决理论与技术难题 |
| 3 | 韩靖 | 高级工程师 | 产品总监 | 洛阳涧光特种装备股份有限公司 | 洛阳涧光特种装备股份有限公司 | 作为主要负责制定工艺技术路线，参与重点、难点课题攻关，全面审查技术文件。参与现场实施、性能试车、产品检验 |
| 4 | 刘志平 | 高级工程师 | 总工程师 | 洛阳涧光特种装备股份有限公司 | 洛阳涧光特种装备股份有限公司 | 长期跟踪项目中的工艺设计、设备问题，通过技术交流沟通，协助确定了装备研发技术思路，在液液两相流动、固体内部传热过程模拟等多个难题上，做出突出贡献 |
| 5 | 唐杨超 | 工程师 | 研究员 | 洛阳涧光特种装备股份有限公司 | 洛阳涧光特种装备股份有限公司 | 作为项目主要协调人，参与并负责项目设计、项目实施、报告编写和成果验收等；主要参与完成了样机产品的现场调试、现象数据收集整理、性能试验、性能考核 |
| 6 | 张占营 | 工程师 | 专业负责人 | 洛阳涧光特种装备股份有限公司 | 洛阳涧光特种装备股份有限公司 | 作为项目主要协调人，参与并负责项目设计、项目实施、报告编写和成果验收等；主要参与完成了样机产品的现场调试、现象数据收集整理、性能试验、性能考核 |
| 7 | 戴志向 | 高级工程师 | 所长 | 中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司 | 中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司集输工程技术研究所 | 参与完成了技术方案 、技术内容分析、技术路线确定，技术优化和产品定型等；参与现场项目实施、性能考核、产品检验。对该项目及专利技术的推广和应用做出了突出贡献。 |
| 8 | 李茜璐 | 工程师 | 无 | 中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司 | 中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司集输工程技术研究所 | 参与完成技术方案 、技术内容分析、可行性研究、技术路线确定等；参与完成样机产品的现场安装、调试、现场性能试验和性能考核，维护安稳运行；对该项目及专利技术的推广和应用做出了突出贡献 |
| 9 | 张杰瑶 | 无 | 无 | 西北大学 | 西北大学 | 深入了解硫磺湿法造粒固化过程的机理，并基于机理提出成型罐最佳工艺参数及结构设计 |
| 10 | 肖萍 | 无 | 无 | 西北大学 | 西北大学 | 针对硫磺湿法造粒过程进行建模，分析硫磺颗粒冷却固化过程机理，优化成型盘设计 |

**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** |
| 西北大学 | （1）建立了液体硫磺冷却成型过程的理论与数值模拟模型，揭示了硫磺颗粒成型的调控机理，有效指导了大型硫磺湿法成型装备的改进与应用，硫磺颗粒的有效成型率由96.4 %上升到98.5 %，降低了产生的细粉硫和处理细粉硫装置能耗，可节约细粉硫处置费330万元/年；  （2）以高压高含硫气田为研究背景，研究分析了可实现三相分离器的毫米级单管旋风分离器运行机理。建立了遗传算法结构参数初选与数值模拟方法结构优化的两步法，获得综合分离性能更好的单管旋风分离器结构及不同结构参数对其分离性能影响。 |
| 洛阳涧光特种装备股份有限公司 | （1）负责项目设计、项目实施、报告编写和成果验收。在项目设计阶段，负责确定项目的整体技术路线，对关键技术进行决策，并制定项目的实施计划和目标；  （2）在项目实施阶段，负责组织项目研究人员开展具体的工作任务，协调项目进度，确保项目按计划顺利进行。在项目过程中，召开项目研讨会，验收项目成果，讨论项目中遇到的理论和技术难题，协调项目进度；  （3）在液硫成型工艺及设备设计方面，主持并完成不同规模产量的最优设计参数及计算方法的研究工作。  (4)主要负责产品现场安装、调试，确认产品现场安装满足技术参数要求，达到设计要求；  (5)主要负责产品装置性能考核，确报产品符合要求，达到生产能力，维持安稳运行。 |
| 中国石油西南油气田分公司集输工程技术研究所 | （1)针对国内大规模硫磺回收装置硫磺造粒工艺存在的诸多问题，收集相关技术资料，进行了国内调研；  (2)参与确定设计工艺路线、技术内容分析、可行性研究，产品技术指标、试验台搭建方案和试验程序；  (3)参与确定样机试制技术指标、产品定型，产品生产后的出厂试验和装置性能考核；  (4)主要负责产品现场性能试验，确认产品现场安装满足技术参数要求，达到设计要求； |

**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 | 专著合著 | 吴峰/1 | 2020-12 | 2022-12 | 《能源化工计算软件及应用》专著 | 附件1-1 |
| 2 | 论文合著 | 吴峰/1  孙继鹏/2 | 2020-11 | 2023-09 | Numerical and experimental study on the particle erosion and gas–particle hydrodynamics in an integral multi-jet swirling spout-fluidized bed. structure | 附件1-2 |
| 3 | 论文合著 | 吴峰/1  唐杨超/5 | 2020-08 | 2023-02 | Intensification Effect of a Multi-Jet Structure on a Multiphase Flow and Desulfurization Process in a Fluidized Bed. structure | 附件1-3 |
| 4 | 论文合著 | 吴峰/1 | 2022-08 | 2023-03 | Numerical simulation of particle erosion coupled with flue gas desulphurization in the spouted bed | 附件1-4 |
| 5 | 论文合著 | 吴峰/1  孙继鹏/2韩靖/3  唐杨超/5张杰瑶/9肖苹/10 | 2020-06 | 2023-12 | 《硫黄湿法成型过程数值模拟与操作参数优化》论文 | 附件1-5 |
| 6 | 论文合著 | 李茜璐/8 | 2020-01 | 20221-02 | 《天然气集输管道危险有害因素分析及控制》 | 附件1-6 |
| 7 | 专著合著 | 孙继鹏/2 | 2019-03 | 2023-04 | 《硫黄回收技术进展与应用》专著 | 附件1-7 |
| 8 | 共同知识产权 | 孙继鹏/2  韩靖/3  唐杨超/5  张占营/6 | 2020-03 | 2023-04 | 一种硫磺湿法成型装置及成型工艺 | 附件2-1 |
| 9 | 共同知识产权 | 孙继鹏/2刘志平/4张占营/6 | 2020-06 | 2023-05 | 一种硫磺湿法成型设备及成型工艺 | 附件2-2 |
| 10 | 共同知识产权 | 孙继鹏/2 | 2020-02 | 2023-06 | 一种沥青湿法成型装置及成型工艺 | 附件2-3 |
| 11 | 共同知识产权 | 唐杨超/5  张占营/6 | 2020-01 | 2023-06 | 一种硫磺湿法成型装置中用的硫磺颗粒物位控制装置 | 附件2-4 |
| 12 | 共同知识产权 | 孙继鹏/2唐杨超/5张占营/6 | 2020-02 | 2023-08 | 一种硫磺湿法成型装置中用的细粉硫处理系统 | 附件2-5 |
| 13 | 共同知识产权 | 孙继鹏/2唐杨超/5张占营/6 | 2020-06 | 2023-05 | 一种硫磺湿法成型装置中含水硫磺颗粒输送装置 | 附件2-6 |
| 14 | 共同知识产权 | 孙继鹏/2唐杨超/5张占营/6 | 2020-02 | 2023-06 | 一种硫磺湿法成型装置中成型密闭设备 | 附件2-7 |
| 15 | 共同知识产权 | 唐杨超/5 | 2021-11 | 2022-06 | 一种硫磺湿法成型装置用全密闭负压尾气处理设备 | 附件2-8 |
| 16 | 共同知识产权 | 孙继鹏/2张占营/6 | 2020-06 | 2023-05 | 一种颗粒类含水物料用脱水输送装置 | 附件2-9 |
| 17 | 共同知识产权 | 孙继鹏/2张占营/6 | 2020-04 | 2023-08 | 一种硫磺湿法成型装置中工艺水固液分离设备 | 附件2-10 |
| 18 | 产业合作 | 孙继鹏/2戴志向/7韩靖/3李茜璐/8 | 2020-11 | 2023-06 | 颗粒硫磺造粒成型室内实验装置 | 附件2-11 |