

项目名称:

多能量场高效低能耗干燥装备及废水处理集成技术

推荐单位意见:

“多能量场高效低能耗干燥装备及废水处理集成技术”项目经过五年多的实验研究与工业化推广,取得了丰富的成果和显著的经济效益。该项目围绕多能量场干燥过程工艺开发及优化和干燥废水零排放处理两个关键技术问题开展研究,旨在解决低品质煤、粮食等干燥过程中的高能耗、低效率和低品质等问题授权中国发明专利 8 项,澳大利亚专利 1 项,在国内外干燥和废水处理领域期刊发表 SCI 论文 17 篇。通过物料干燥过程水分和品质变化规律调控微波流化床工艺参数,实现物料干燥的过程强化,技术路线先进可靠,属于干燥节能综合技术领域。同意申报山东省科技进步奖。该项目在济宁阳光煤化有限公司、青岛科朗特微波设备有限公司等公司推广应用,取得了显著的经济效益和社会效益。参照山东省科学技术奖授奖条件,推荐 2021 年度山东省科学技术进步奖 二 等奖。

项目简介:

本项目属于化学工程和环境工程交叉领域,主要涉及多能量场高效低能耗干燥机的研制与优化和废水处理技术。基于不同湿物料,研究其孔隙参数、传热传质特征参数、孔道迂曲度和粒度分布等持水特征,获得真空抽滤脱水、微波脱水、热风干燥和热压脱水等典型脱水过程中持水变化与工艺参数,创建多能量场协同脱水过程数学模型及脱水过程控制理论,通过对外部多能量场分布、强度和作用时段的多重调控实现能量传输与水分迁移过程强化。基于多能量场耦合流化床反应器处理干燥废水,建立流化床双流体模型、多能量场辐射传递模型与废水降解动力学模型的耦合机制,开发基于多能量场耦合脱水及废水处理技术与装备。多能量场高效低能耗脱水干燥及废水处理技术与装备项目具有重要的应用背景 and 市场需求。

在国家自然科学基金、山东省科技发展和山东省自然科学基金等项目资助支持下,设计研制出多能量场高效低能耗脱水干燥设备,围绕低品质煤、化工物料和一般固废干燥和粮食干燥领域开展推广应用,有效解决了干燥领域高能耗、低效率和干燥废水的污染等问题。主要理论和技术创新如下:

(1) 围绕流化床高效低能耗干燥装备关键技术,克服现有流化床干燥和微波干燥技术中存在的缺点,设计开发了一种微波多级流化床干燥装置及其干燥方法,开发了流化床干燥器自动进料装置和流化床干燥器余热回收利用装置,获得授权中国发明专利 1 项,发表 SCI 论文 4 篇。微波外场强化流化床干燥过程中,可以通过外部多能量场的调控和过程强化,实现微波强化流化均匀干燥。

(2) 在煤化工产品和固废脱水领域,通过超声场、压力场的协同作用,辅以湿物料界面性质调控,实现比现有真空滤布机装置多脱除 5-6% 的水分,能耗仅为真空滤布机的 14.16%,建立了超声场和压力场耦合脱除水分技术路线,授

权发明专利 3 项，发表 SCI 论文 8 篇。

(3) 在干燥废水处理方面，设计开发一种微波光催化流化床废水处理装置及其处理方法，制备一种多元素共掺杂纳米二氧化钛光催化材料，利用微波对催化剂的极化作用，促进羟基自由基生成，提高光催化剂活性和光催化降解废水效率，为干燥废水特别是化工废水连续化处理提供有效的方法和装置，并获得授权中国发明专利 3 项，发表 SCI 论文 5 篇。

项目实施过程中授权发明专利 8 项、授权实用新型专利 2 项；发表论文 17 篇，其中 SCI 收录 17 篇，联合培养博士和硕士研究生 10 人，企业现场技术人员 50 余人，社会效益显著。项目成果已在青岛科朗特机电设备制造有限公司和济宁阳光煤化有限公司等企业推广应用，项目实施 5 年来为企业带来经济效益 3000 多万元。

客观评价：

(一) 教育部科技查新工作站 (G04) 提供的 SCI 论文收录检索证明报告：经检索，围绕多能量场高效低能耗脱水干燥及废水处理技术与装备项目成果，济宁学院司崇殿等同志提交的 2011-2020 年发表的 10 篇论文均被 SCI 收录。

(二) 项目组制备了复合纳米材料，并成功应用于干燥废水中重金属离子 Cr(VI)、Cu(II) 以及有机污染物的去除。经国家自然科学基金委员会计划局核准，准予结题 (国科金计函【2015】51 号)。

(三) 项目组开展了二氧化钛改性光催化剂的合成、结构和性能研究工作，建立了纳米光催化剂合成条件和流化床光催化反应器操作条件，并将其与流化床相结合处理低品质煤干燥废水。2015 年 12 月项目经验收专家组验收，报山东省科学技术厅审批，同意结题。

推广应用情况：

项目成果已在青岛科朗特机电设备制造有限公司和济宁阳光煤化有限公司等企业推广应用，项目实施 5 年来为企业带来经济效益 3000 多万元，符合国家节能减排的产业政策。

论文论著目录：

- [1] Chong-dian Si, Jing Zhou, Qingjie Guo. Characterization of pressure fluctuation signals in an acoustic bubbling fluidized bed. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*. 2011, 42(6): 929-936.
- [2] Chong-dian Si, Jing Zhou, Hong-tao Gao, Guang-jun Liu. Photocatalytic Degradation of Formaldehyde in a Fluidized Bed with Sound-Magnetic Assistance. *Advanced Powder Technology*, 2013, 24(1): 295-300.
- [3] Chong-dian Si, Jing Zhou, Hong-tao Gao, Guang-jun Liu, Jianjun Wu. A typical application of sound field in wastewater treatment with fluidized bed photocatalytic reactor. *Water Environment Researchs*, 2015, 87(4): 378-383.

- [4] Chongdian Si, Jianjun Wu, Yong Wang, Yixin Zhang, Xiaoling Shang. Drying of Low rank coals-A Review of Fluidized Bed Technologies. *Drying Technology*, 2015, 33(3): 277-287.
- [5] Chongdian Si, Jianjun Wu, Yong Wang, Yixin Zhang, Guangjun Liu. Effect of acoustic field on minimum fluidization velocity and drying characteristics of lignite in a fluidized bed. *Fuel Processing Technology*, 2015, 135, 112-118.
- [6] Chongdian Si, Jianjun Wu, Yong Wang, Yixin Zhang, Xiaoling Shang, Guangjun Liu. Experimental study on three-stage microwave-assisted fluidized bed drying of Shengli lump lignite. *Drying Technology*, 2016, 34(6): 685-691.
- [7] Chongdian Si, Jing Zhou, Yuhong Sun, Guangjun Liu, and Hongtao Gao. Kinetics of Photodegradation of Alizarin Green in an Acoustic Fluidized Bed using TiO₂ Catalyst. *Journal of Water Chemistry and Technology*, 2016, 38(4), 207-212.
- [8] Yixin Zhang, Jianjun Wu, Jiang Ma, Binbin Wang, Xiaoling Shang, Chongdian Si. Study on lignite dewatering by vibration mechanical thermal expression process. *Fuel Processing Technology* 130 (2015) 101–106.
- [9] Yixin Zhang, Jianjun Wu, Yong Wang, Zhenyong Miao, Chongdian Si, Xiaoling Shang, Na Zhang. Effect of hydrothermal dewatering on the physico-chemical structure and surface properties of Shengli lignite. *Fuel* 164 (2016) 128–133.
- [10] Yuhong Sun, Shuang Lv, Chongdian Si, Guangjun Liu, and Hongtao Gao. The Efficient Adsorption Removal of Cu(II) by Using Fe₃O₄/TiO₂/Graphene Ternary Nanocomposites. *J. Nanosci. Nanotechnol.* 17(8), 2017, 5400-5407.

知识产权目录:

- [1] 司崇殿 王宇光 刘国栋 张功国 苑壮东 陈万东. 一种微波多级流化床干燥装置及其干燥方法, ZL.201410261215.9.
- [2] 司崇殿 周晶 刘广军 刘国栋 王明锋. 一种微波光催化流化床废水处理装置及其处理方法, ZL.201410320415.7.
- [3] 孙玉红 司崇殿 韩红 刘广军 周晶. 一种含重金属废水的处理方法, ZL.201610128764.8.
- [4] 韩红 司崇殿 孙玉红 刘广军 周晶. 一种多元素共掺杂纳米二氧化钛光催化材料, ZL.201610128763.3.
- [5] 武建军 张一昕 周国莉 刘炯天 万永周 胡雪莲 李霞 李国宁 代应杰 王勇 马江 尚晓玲 石鑫 蔡志丹 商玉坤. 褐煤振动热压脱水提质工艺及系统, ZL.201310048349.8.
- [6] WU JIANJUN ZHANG YIXIN ZHOU GUOLI LIU JIONGTIAN WAN YONGZHOU HU XUELIAN LI XIA LI GUONING DAI YINGJIE WANG YONG MA JIANG SHANG XIAOLING SHI XIN CAI ZHIDAN SHANG YUKUN .Process and system for upgrading lignite by vibration hot-pressing dehydration, AU2013377629B2 201310048349.8.
- [7] 张一昕 武建军 孙少杰 尚晓玲 祈娟 宋姿洁 侯康 邵忠业 陈晓凯 郭凡辉.

一种过程可视、产物在线监测的煤炭高温热解实验系统及方法，发明专利，ZL.2016107058820.

[8] 司崇殿 刘广军 周晶 韩红 李继森 孙玉红.节能环保一体化多级微波流化床干燥系统，ZL 2017203305636.

[9] 司崇殿 苑壮东 刘国栋 王宇光 张功国.流化床干燥器自动进料装置，ZL 2016201478918.

[10] 司崇殿 张功国 苑壮东 刘国栋 王宇光.流化床干燥器余热回收利用装置，ZL 201521043482.5.

主要完成人情况：

1、姓名：司崇殿，排序：1/6，职称：副教授，工作单位：济宁学院

对本项目技术创造性贡献：

为项目主要负责人之一，负责本项目的实施、项目技术指导，是项目技术路线的总体设计者。主要负责本项目的微波流化床干燥一体机的设计和推广工作，还参与了研究光催化流化床处理干燥废水的研究。对第 1、2、5 技术创新点做出重大贡献，是附件 1.1 -1.2 的第一发明人，是附件 2.1-2.7 论文的第一作者，是附件 3.2 山东省自然科学基金项目和 3.3 山东省科技发展计划项目的主持人。在该技术研究工作中，投入工作量占总工作量的 80%。

2、姓名：张一昕，排序：2/6，职称：副研究员，工作单位：中国矿业大学

对本项目技术创造性贡献：

负责本项目褐煤振动热压脱水提质工艺及系统研究。对第 2、3 技术创新点做出重大贡献，是附件 1.7 的第一发明人，1.5-1.6 的第二发明人，是附件 2.8-2.9 论文的第一作者，投入工作量占总工作量的 60%。

3、姓名：武建军，排序：3/6，职称：教授，工作单位：中国矿业大学

对本项目技术创造性贡献：

负责多能量场耦合机理研究工作。对第 1、2 技术创新点做出重大贡献，是附件 1.5 -1.6 的第一发明人，是附件 2.4-2.6, 2.8-2.9 论文的通讯作者，投入工作量占总工作量的 40%。

4、姓名：孙玉红，排序：4/6，职称：讲师，工作单位：济宁学院

对本项目技术创造性贡献：

负责本项目的流化床处理干燥废水的研究工作。对第 1、2、5 技术创新点做出重大贡献，是附件 1.3 的第一发明人，是附件 2.10 论文的第一作者，投入工作量占总工作量的 30%。

5、姓名：韩红，排序：5/6，职称：副教授，工作单位：济宁学院

对本项目技术创造性贡献：

负责本项目多能量场高效低能耗脱水干燥及废水处理技术与装备的设计和推广工作，还参与了研究废水处理工艺，对第 5 技术创新点做出重大贡献，投入工作

量占总工作量的 40%。

6、姓名：周晶，排序：6/6，职称：副教授，工作单位：济宁学院

对本项目技术创造性贡献：

负责设计开发微波光催化流化床废水处理装置及其处理方法，制备多元素共掺杂纳米二氧化钛光催化材料，利用微波对催化剂的极化作用，促进羟基自由基生成，提高光催化剂活性和光催化降解废水效率，为干燥废水特别是化工废水连续化处理提供有效的方法和装置，投入工作量占总工作量的 40%。

完成单位及贡献：

济宁学院提出了一种微波多级流化床干燥装置及其干燥方法和一种微波光催化流化床废水处理装置及其处理方法；中国矿业大学提出了褐煤振动热压脱水提质工艺及系统和一种过程可视、产物在线监测的煤炭高温热解实验系统及方法。

完成人合作关系：

第一完成人司崇殿为济宁学院教师，完成人张一昕为中国矿业大学教师，完成人武建军为中国矿业大学教师，完成人孙玉红为济宁学院教师，完成人韩红为济宁学院教师，完成人周晶红为济宁学院教师，完成人司崇殿和张一昕为武建军教授在指导的博士研究生。从 2013 年开始，司崇殿、张一昕与武建军教授合作在《Drying Technology》、《Fuel Processing Technology》等本领域权威期刊发表论文 5 篇，司崇殿和孙玉红合作发表论文 2 篇，授权中国发明专利 2 件，张一昕与武建军教授合作授权中国发明专利和澳大利亚发明专利 6 件。