

附件

2023 年度天津市科学技术奖提名项目 公示基本情况表

项目名称	有机污染土壤原位微波修复关键技术与装备
提名奖项和等级	奖项：科技进步奖 等级：二等奖
主要完成单位	天津环科立嘉环境修复科技有限公司；南开大学；天津市生态环境科学研究院；西北农林科技大学；中石化第五建设有限公司
主要完成人	商晓甫；张 鹏；张 涛；贾汉忠；马建立；周 龔；王翠莘；王铁成
提名单位	天津市南开区科学技术局
项目简介	<p>本项目属于环境保护领域的应用研究。</p> <p>本项目由天津环科立嘉环境修复科技有限公司依托国家重点研发计划和天津市科技计划，联合南开大学、天津市生态环境科学研究院、西北农林科技大学、中石化第五建设有限公司完成。项目针对“农药化工有机污染土壤热脱附技术耗能高、成本高、二次污染风险大、土壤性状破坏严重，快速、经济、高效土壤原位修复技术和全国产化集成装备匮乏”等短板问题，以“装备制造-科技攻关-减污降碳-技术体系-工程应用”为总体研究思路，突破了微波装备的构型创新、调谐降耗、集成设计、制造工艺、高效强化和土壤适应性等技术难题，完成了装备集成创新、规模制造、机理剖析、技术研发、工程应用完整链条。形成以下三个创新成果：</p> <p>（1）研发了立式构型结合棋盘式布局的模块化原位微波辐射装置，阐明了原位修复模式下微波辐射装置与土壤环境介质间的电磁耦合规律，突破了微波装备制造及稳定运行的核心技术，并实现量化生产。该装置总功率30~150 kW 可调，运行期间平均耦合效率不低于 85%。</p> <p>（2）阐明了微波热效应下有机污染物在土壤界面的迁移转化机制和土壤有机碳的持留机制，深入剖析土壤中有有机污染物热脱附的限制因素并建立模型预测技术；创新了微波加热井结构、尾气处理系统和自动监测系统，并辅以抽注系统、覆盖系统的优化设计，集成创新了有机污染土壤原位微波修</p>

	<p>复关键装备及应用技术体系，等功率成套装备制造成本比国外降低 80%以上。</p> <p>(3) 创制了氮掺杂碳基零价铁强化微波修复药剂，筛选出强化微波去除有机污染物的系列辅助药剂，提出了基于微波能捕获、体系快速升温、零价铁电子传递、自由基高效产生等机制的微波与药剂耦合技术，可实现土壤中目标有机污染物总体去除率达 90%以上。</p> <p>项目成果在天津、安徽、浙江、福建 4 省份得到应用，成套技术累计修复污染土壤 47 万方，处理有机废气 7.5 万 ACMH，形成高精度加工工艺 1 套。应用效果表明，该技术装备集高端、智能、绿色为一体，对土壤性状破坏小，有机碳持留量高，土壤和尾气有机污染物残留少，满足地块的安全利用标准。</p> <p>项目授权知识产权 18 件（国家发明专利 5 件）；发表论文 22 篇（SCI 摘要 18 篇，ESI 高被引 1 篇）；制定团体标准 1 项（报批稿）；培养高级职称人员 3 名，研究生 10 名；促成了天津市及科技部重点领域“风险评估与污染修复创新团队”交流平台的建成。</p> <p>经天津市权威部门组织论证，项目成果创新程度高，达到国际先进水平。</p>
发现点/发明点/创新点	<p>(1) 研发了立式构型结合棋盘式布局的模块化原位微波辐射装备，阐明了原位修复模式下装备与土壤-水介质间的电磁耦合规律，突破了微波辐射装备制造及稳定运行的核心技术，并实现量化生产。该装备总功率 30~150 kW 可调，运行期间平均耦合效率不低于 85%。</p> <p>(2) 阐明了微波热效应下有机污染物在土壤界面上的迁移转化机制和土壤有机碳的持留机制，深入剖析土壤中有机污染物热脱附的限制因素并建立模型预测技术；创新了加热井结构、尾气处理系统和自动监测系统，并辅以覆盖系统、辐射井、抽注井的优化设计，集成创新了有机污染土壤原位微波修复关键技术装备，等功率成套装备制造成本比国外降低 80%以上。</p> <p>(3) 创制了新型氮掺杂碳基零价铁强化微波修复药剂，筛选出强化微波去除有机污染物的系列辅助药剂，提出了基于微波能捕获、体系快速升温、零价铁电子传递、自由基高效产生等机制的微波与药剂耦合技术，应用该技术可实现土壤中目标有机污染物总体去除率达 90%以上。</p>

主要技术支撑材料	<p>代表性知识产权</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 张鹏, 孙红文, 范明毅, 王翠苹, 郝越力, 蒙星英。发明专利, 一种微波诱导强化铁改性氮掺杂碳基材料降解染料和农药的方法, ZL2021100616371, 已授权。 2. 张鹏, 黄鹏, 孙红文。发明专利, 一种纤维素碳基纳米零价铁材料及其制备方法, ZL202010810824.0, 已授权。 3. 张鹏、黄鹏、孙红文、王翠苹。发明专利, 一种超高比表面积碳气凝胶材料的制备方法, ZL201910551735.6, 已授权。 4. 商晓甫, 魏彤宇, 马建立, 蔡凌, 孙红文, 张鹏, 贾汉忠, 周金倩, 李晓光, 杨博凯, 冯磊, 游洋洋, 霍宁, 张良运。实用新型, 原位微波土壤修复装置及系统, ZL202020292724.9, 已授权。 5. 商晓甫, 李晓光, 张鹏, 童奇玲, 周金倩, 马建立, 王芳, 孙红文, 贾汉忠, 蔡凌。实用新型, 微波修复模拟装置, ZL202022979296.X, 已授权。 6. 商晓甫, 霍宁, 游洋洋, 李晓光, 张鹏, 马建立, 杨博凯, 孙红文, 贾汉忠, 蔡凌。实用新型, 微波定向辐射装置及环境污染修复系统, ZL202022981330.7, 已授权。 7. 商晓甫, 张鹏, 王铭伟, 孙红文, 霍宁, 张涛, 邹克华, 马建立, 贾汉忠, 张业鑫。实用新型, 微波辐射装置及有机污染土壤修复系统, ZL202121616599.3, 已授权。 8. 李晓光, 马建立, 商晓甫, 周金倩, 乔鹏, 王世传, 童奇玲, 王芳, 王岳, 林晓泉。实用新型, 废气焚烧装置及有机废气处理系统, ZL202122601203.4, 已授权。 9. 张鹏, 商晓甫, 孙红文, 张业鑫, 马建立。实用新型, 一种用于微用量固体材料电参数测定装置, ZL202122825651.2, 已授权。 10. 商晓甫, 王子林, 张鹏, 张涛, 邹克华, 马建立, 孙红文, 贾汉忠, 张业鑫, 李晓光。微波强化修复污染土壤自动监测系统 V1.0, 著作权登记号: 2021SR125298.2, 已授权。 <p>代表性论文</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Hongshuai Kan, Tiecheng Wang*, Jinxian Yu, Guangzhou Qu, Peng Zhang, Hanzhong Jia, Hongwen Sun. Remediation of organophosphorus pesticide polluted soil using persulfate oxidation activated by microwave, Journal of Hazardous Materials, 2021, 401, 123361.
----------	--

2. Jiutao An, Qi Wang, Xiaofu Shang, Jianli Ma, Huanzhong Bao, Dan Wu, Ying Zhang, Tiecheng Wang*, Hanzhong Jia. Aerobic and anaerobic regulation induced different degradation behaviors of parachloronitrobenzene in soil by microwave activated persulfate oxidation, *Separation and Purification Technology*, 2022, 295, 121333.
3. Zhiqiang Wang, Hanzhong Jia*, Tao Zheng, Yunchao Dai, Chi Zhang, Xuetao Guo, Tiecheng Wang, Lingyan Zhu*, Promoted catalytic transformation of polycyclic aromatic hydrocarbons by MnO₂ polymorphs: Synergistic effects of Mn³⁺ and oxygen vacancies, *Applied Catalysis B: Environmental*, 2020, 272, 119030.
4. Dan Wu, Hongshuai Kan, Ying Zhang , Tiecheng Wang * , Guangzhou Qu, Peng Zhang , Han Zhong Jia, Hongwen Sun, Pyrene contaminated soil remediation using microwave/magnetite activated persulfate oxidation, *Chemosphere*, 2022, 286, 131787.
5. Zhiqiang Wang , Hanzhong Jia*, Ziwen Liu , Ziyi Peng , Yunchao Dai , Chi Zhang , Xuetao Guo, Tiecheng Wang , Lingyan Zhu*, Greatly enhanced oxidative activity of δ -MnO₂ to degrade organic pollutants driven by dominantly exposed $\{-111\}$ facets, *Journal of Hazardous Materials*, 2021, 413, 125285.
6. Jinsong Liu, Chi Zhang, Song Zhao, Kecheng Zhu, Jinbo Liu, Zhiqiang Wang, Yunchao Dai, Hanzhong Jia*, Deciphering the transformation mechanism of substituted polycyclic aromatic hydrocarbons on Al(III)-montmorillonite: An experimental and density functional theory study, *Science of the Total Environment*, 2021, 786, 147493.
7. Hongshuai Kan, Dan Wu, Tiecheng Wang*, Guangzhou Qu, Peng Zhang, Hanzhong Jia, Hongwen Sun, Crystallographic manganese oxides enhanced pyrene contaminated soil remediation in microwave activated persulfate system, *Chemical Engineering Journal*, 2021, 417, 127916.
8. Duo Miao, Song Zhao, Kecheng Zhu, Peng Zhang, Tiecheng Wang, Hanzhong Jia*, Hongwen Sun, Activation of persulfate and removal of ethyl-parathion from soil: Effect of microwave irradiation, *Chemosphere*, 2020, 253, 126679.