

一、项目名称

基于有机固废的 Cr(VI) 污染生态处置关键技术开发与应用

二、提名单位意见及提名等级

铬是危害性较强的重金属污染，含铬废物被列入“危险废物”名录，是危害最为严重的污染物。国务院颁布的《土壤污染防治行动计划》，要求全国范围内迅速开展环境修复工作。但铬污染处置是世界难题，目前相关处置技术二次污染严重，亟需生态处置技术。本项目利用对土壤生态友好的有机废物处置含铬污染，生态高效的对含铬废物进行治理，克服了传统技术容易引发二次污染的瓶颈，同时以废治废，降低了处置成本。相关技术在国内多个省份污染区域进行了应用，2018-2020 年新增销售额 24534.4 万，为企业创造利润 5618.0 万元，获得了较好的环境、经济及社会效益。项目技术创新性强，取得 14 项授权发明专利，发表 30 余篇学术论文，且部分成果也获得山东省教育厅、青岛市科技进步二等奖等奖励，同时也获得了青岛日报的报道。

参照山东省科学技术进步奖申报和推荐条件，推荐该项目申报 2021 年度山东省科技进步二等奖。

三、项目简介

(1) 首创了以多源有机固废协同 FeSO_4 生化还原铬污染土壤和生物质热解气还原工业铬渣的 Cr(VI) 绿色生态还原理论

基于多源有机固废富含还原性官能团和微生物种类丰富的特点，提出了基于多源有机固废协同 FeSO_4 生化还原理论，实现了

“ $\text{Fe}^{2+} \rightleftharpoons \text{Fe}^{3+}$ ”和“ $\text{SO}_4^{2-} \rightleftharpoons \text{S}^{2-}$ ” 氧化还原闭路循环；利用生物质热解气的还原作用，阐明了 Cr(VI) 在高温富氢气氛下的还原机理，实现了工业铬渣向无定形 Cr_2O_3 的高效转化。

(2) 建立了基于有机废物的生物异位/原位修复铬污染土壤技术体系，并研制了相关配套装置与设备

针对化学法还原 Cr(VI) 修复能力有限和长效性差等问题，利用厌氧污泥、矿化垃圾、沼渣等有机固废，开发了厌氧污泥制备高效 Cr(VI) 修复菌剂工艺，研制了高压旋喷注射和注入井/加压注入组合注入系统和设备，形成了稳定高效还原 Cr(VI) 污染土壤技术。内蒙某铬渣污染场地现场修复应用结果表明，1 天和 36 天还原脱毒效率分别为 92.7% 和 99.6%，效率提高约 66% 以上，修复成本降低 6%~22.2%，实现了 Cr(VI) 污染土壤的可持续修复。

(3) 开发了高浓度 Cr(VI) 生物质热解无害化技术

针对现有工业铬渣修复技术存在的修复成本高、易返黄等问题，开发了工业铬渣生物质热解气还原工艺，开发了基于回转窑的可控还原系列配套设备，完成了工艺装置的放大设计并形成了万吨级工艺软件包；建成了 10000 吨/年的生物质热解无害化工程示范项目。运行结果表明，修复后 Cr(VI) 浓度低于 3mg/kg，还原剂成本仅为化石燃料的 30%，吨铬渣处理费用低于 150 元。

项目授权发明专利 14 项，发表学术论文 30 余篇，培养硕博士 10 人，本成果系列技术已在济南裕兴化工厂原厂区、青岛市-娄山河综合整治工程项目污染场地、西宁原湟中鑫飞工厂铬污染场地风险管

控工程项目污染场地、云南省牟定县滇滇化工厂历史遗留铬渣污染场地土壤治理和修复中成功应用。为企业新增销售额 24534.4 万，创造利润 5618.0 万元。

四、主要知识产权和标准规范等目录

类别	名称	国家	证书编号	权利人	发明人
发明专利权	用糖蜜修复铬污染土壤的方法	中国	ZL201510156601.6	北京建工环境修复股份有限公司	许超，郭丽莉，李书鹏，李珊，黄树焘，穆扬
发明专利	Biogas residue-based in situ and ectopic coupled detoxification method for hexavalentchromium-containing sites and soil remediation agent	美国	US10688546B2	青岛理工大学	张大磊、赵昱皓、陈璐、李健菊、赵峰、罗文涛、
发明专利权	一种利用有机废物原位修复含 Cr（VI）场地的方法	中国	ZL201310645078.4	青岛理工大学	张大磊，芦静，孙英杰，王亚空
发明专利权	铬污染土壤修复的异位反应系统的布置方法	中国	ZL201510156676.4	北京建工环境修复股份有限公司	郭丽莉，李书鹏，许超，张岳，范云，康绍果
发明专利权	一种铬污染土壤的分层修复方法	中国	ZL201510156600.1	北京建工环境修复股份有限公司	李书鹏，郭丽莉，许超，崔双超，李静文，张晓斌
发明专利权	一种利用污泥制备 Cr（VI）污染场地修复菌群的方法	中国	ZL201310643015.5	青岛理工大学	张大磊，李卫华，孙英杰，郭皓，刘琮，唐沂珍
发明专利权	一种连续培养碱性含 Cr(VI)废物修复菌液的方法	中国	ZL201310642919.6	青岛理工大学	张大磊，孙英杰，封琳，陈瑛
发明专利权	一种可以快速稳定化含铬土壤及生活垃圾的填埋方法	中国	ZL201310642990.4	青岛理工大学	张大磊，刘霞，蒋莹，孙萧，孙英杰，孙喆，刘琮
发明专利	In-situdetoxification method for heavily contaminated site by	美国	US10596606B2	青岛理工大学	张大磊，赵昱昊，等

	hexavalent chromium, chromium soil remediation microbial agent and preparation method thereof				
--	---	--	--	--	--

五、主要完成人情况

1. 姓名：孙英杰，排序：1/9，职务：环境学院副院长，职称：教授，工作单位：青岛理工大学，完成单位：青岛理工大学，对本项目主要学术贡献：全面负责课题技术路线的制定、实验方案的设计、数据处理、应用示范方案的设计以及课题成果的总结等工作，在项目技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量的 50%。系统分析了有机垃圾填埋过程中的元素电子转移过程，分析了渗滤液回灌对电子转移的影响及污染物处置效果的影响，为强化场地 Cr（VI）等污染物的共填埋降解提供了理论支撑，另一方面参与研发了基于有机废物的原位/异位处置技术；参与了铬渣热解以及六价铬生态修复菌剂的研发工作。

2. 姓名：张大磊，排序：2/9，职务：无，职称：副教授，工作单位：青岛理工大学，完成单位：青岛理工大学，对本项目主要学术贡献：作为主要完成人，在项目技术研发工作中投入的工作量占本人工作总量的 60%。开发了基于有机废物的原位/异位处置技术，同时开发了基于多源有机废弃物的含铬废物热解无害化技术，并对相关机制及效果进行了分析研究，完成了六价铬修复生态菌剂的开发工作。

3. 姓名：李书鹏，排序：3/9，职务：副总经理，职称：教授级高工，工作单位：北京建工环境修复股份有限公司，完成单位：北京

建工环境修复股份有限公司，对本项目主要学术贡献：参与构建了异位反应系统及布置方法、土壤原位水力压裂注入系统及应用方法，开发了原位高压注入旋喷等众多配套的异位/原位土壤修复成套设备，为有机废物的原位/异位修复含铬场地提供了技术支撑。

4. 姓名：郭莉丽，排序：4/9，职务：副总工，职称：高级工程师，工作单位：北京建工环境修复股份有限公司，完成单位：北京建工环境修复股份有限公司，对本项目主要学术贡献：参与构建了异位反应系统及布置方法、土壤原位水力压裂注入系统及应用方法，开发了原位高压注入旋喷等众多配套的异位/原位土壤修复成套设备，为有机废物的原位/异位修复含铬场地提供了技术支撑。

5. 姓名：卞荣星，排序：6/9，职务：无，职称：副教授，工作单位：青岛理工大学，完成单位：青岛理工大学，对本项目主要学术贡献：参与开发了基于有机废物的原位/异位处置技术，为多源有机废物协同生物处置含铬废物提供了技术支持。

6. 姓名：李卫华，排序：5/9，职务：无，职称：副教授，工作单位：青岛理工大学，完成单位：青岛理工大学，对本项目主要学术贡献：参与开发了基于有机废物的原位/异位处置技术，基于多源有机废弃物(塑料)的含铬废物热解无害化技术，并对相关机制及效果进行了分析研究。

7. 姓名：王华伟，排序：7/9，职务：无，职称：副教授，工作单位：青岛理工大学，完成单位：青岛理工大学，对本项目主要学术贡献：参与开发了基于有机废物的原位/异位处置技术，为多源有机

废物协同生物处置含铬废物提供了技术支持。

8. 姓名：王亚楠，排序：8/9，职务：无，职称：副教授，工作单位：青岛理工大学，完成单位：青岛理工大学，对本项目主要学术贡献：参与开发了基于有机废物的原位/异位处置技术，为多源有机废物协同生物处置含铬废物提供了技术支持。

9. 姓名：赵建伟，排序：9/9，职务：无，职称：副教授，工作单位：青岛理工大学，完成单位：青岛理工大学，对本项目主要学术贡献：分析了厌氧污泥厌氧过程中厌氧微生物的菌群特征及电子转移特点，为强化硫酸盐还原菌、铬还原菌的培养提供了理论支撑。

六、主要完成单位情况

1. 青岛理工大学，首创了以多源有机固废协同 FeSO_4 生化还原铬污染土壤和生物质热解气还原工业铬渣的 Cr(VI) 绿色生态还原理论，建立了基于有机废物的生物异位/原位修复铬污染土壤技术体系，开发了高浓度 Cr(VI) 生物质热解无害化技术。

2. 北京建工环境修复股份有限公司，发现了有机废物-强化厌氧微生物协同作用的还原稳定化途径，根据场地状况及六价铬污染特征，开发了基于有机废物处置的铬污染土壤修复的原位/异位成套设备，为有机废物的原位/异位修复含铬场地提供了理论及技术支撑；在全国多个场地进行了含铬废物修复工程的实践。