

2019 年度山东省科技进步奖公示

一、项目名称

典型环境重金属检测及阻控关键技术研发与应用

二、提名单位意见

我单位认真审阅了该项目提名书及其附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合山东省科学技术奖励委员会办公室的填写要求。该项目针对致癌风险高、影响范围广的重金属污染物，建立了包括重金属形态和生物有效性分析的多元检测技术；研发了基于微生物调控、喷施营养物质以及生物炭吸附的重金属阻控技术，并将其广泛推广应用，带来了可观的经济效益和社会效益。为山东蓝城分析测试有限公司等 300 余家大型企业提供技术支持与服务，并成功将该技术推广应用于山东省环境监测中心等多家政府服务机构。为农产品产地土壤普查数万件土壤样品重金属的检测工作提供技术支撑，社会效益显著。项目发表论文 100 余篇，其中 SCI 收录 61 篇，已授权发明专利 2 项，实用新型专利 3 项，软件著作权 1 项。

对照山东省科学技术奖授奖条件，提名该项目申报 2019 年度山东省科技进步奖。

三、项目简介

1、本项目所属科学领域：

资源与环境技术

2、研究背景

重金属污染是影响民众身心健康的突出环境问题之一。基于过程阻断的理念，针对致癌风险高、影响范围广的重金属污染物，本团队进行了攻关和突破，建立了包括重金属形态和生物有效性分析的多元检测技术；研发了基于微生物调控、喷施营养物质及生物炭吸附的重金属阻控技术，并将其广泛推广应用。支撑完成了山东省、河南省农产品产地土壤普查数万件土壤样品重金属的检测工作，社会效益显著。

3、项目主要创新点

(1) 建立了 1%硝酸萃取，HPLC-ICP-MS 联用测定多介质环境样品砷形态的技术，该技术提取效率高达 100.6%，检出限低至 ng/L，提取过程中各形态砷稳定无转化，在稻米、微生物、食品及 PM_{2.5} 砷形态测定中广泛应用，解决了砷形态萃取剂易产生二次污染，干扰 ICP-MS 测定等技术瓶颈；构建了基于智能化生物体胃肠道消化系统模拟控制装置的重金属生物有效性分析技术，充分考虑肠道微生物在重金属吸收过程中的作用，提高了重金属人体健康风险评价的准确性和适用性，为重金属阻控机制的研究奠定了方法基础。

(2) 研发了基于水生微生物富集、调控及外源有机质添加的砷污染修复技术，利用三甲基砷化物易挥发且被迅速氧化为几近无毒砷氧化物的特性，以微生物和有机质调控其代谢，促进其挥发，达到砷解毒目的。数据显示集胞藻在 72 h 内对水体中低浓度砷的去除率达 40%以上，外源有机质添加可使砷污染土壤气态砷产量增加近 120 倍。构建了基于生物炭吸附及外源硅肥添加的土-水-

作物体系中重金属污染阻控技术，创造性的将水钠锰矿负载在生物炭上，制备了水钠锰矿负载的生物炭，该生物炭对砷和镉均有很强的吸附能力。未负载水钠锰矿的生物炭对砷无吸附能力，对镉的最大吸附量为 4335 mg/kg；负载水钠锰矿后，对 As(III), As(V)的最大吸附量分别是 3543 mg/kg 和 2412 mg/kg，对镉的最大吸附达 9068 mg/kg，解决了普通生物炭对砷基本无吸附能力的技术难题，实现了污染土壤中砷、镉的同时固定。另外，外源硅肥施用在水稻籽粒重金属阻控中作用显著，施用 600 kg/亩钾硅肥和钙硅肥，水稻籽粒中砷、镉分别减少 29.1%和 71.5%。

(3) 积极推进技术的落地和转化，山东省分析测试中心技术入股 4500 万，吸引蓝城检测技术（上海）有限公司投入资金 1 亿元，设立山东蓝城分析测试有限公司。本项目建立的重金属形态和生物有效性分析方法是入股技术的重要组成部分，在吸引蓝城资金投入过程中发挥了重要作用。

四、客观评价

1、鉴定、验收意见

1、2010年12月10日，受山东省科技厅委托，山东省科学院组织贾瑞宝研究员等国内同行专家，对本项目中的部分成果进行了鉴定和验收工作，专家一致认为：本项目“南四湖典型水生生物砷污染分析及其食用风险评价”研究板块，将砷形态分析技术，砷污染状况分析，污染对食品造成的影响以及食品摄入风险有机结合起来，分析全面，为政府有关部门对食品安全的控制提供了技术支持，研究成果达到了国内领先水平。

2、2016年7月14日，环境保护部科技标准司在北京组织召开了本项目部分工作“稀土金属冶炼尾矿库渗漏对地下水污染的生态风险评估与控制研究”验收会。专家组一致认为项目建立了尾矿库生态风险防控区划分技术方法和污染防控管理技术，依托该项目成果，建成了稀土冶炼尾矿库地下水渗透性反应墙修复技术示范工程，项目成果可为我国稀土冶炼尾矿库的环境管理提供技术支撑。

2、行业专家评价

中国工程院院士宁波大学陈剑平教授给予本项目高度评价：项目以剧毒致癌物砷、镉等重金属为切入点，建立了包括重金属形态及生物有效性分析的多元检测技术。项目的关键技术以无形资产的形式入股，吸引了蓝城检测技术（上海）有限公司的资金投入，推动了山东蓝城分析测试有限公司的成立，实现了成果的落地与转化，社会效益与经济效益显著。该项目依托先进的检测技术，研发了基于水生微生物富集，生物炭吸附以及外源硅肥和有机质添加的土-水-作物体系重金属污染阻控技术，并推广应用至多个重金属污染场地修复案例中，带来了良好的环境效益。

山东大学“泰山学者特聘专家”高宝玉教授认为：项目开展了致癌风险高、危害大的典型重金属砷、镉多元检测与阻控关键技术研究。建立了 1%硝酸萃取，HPLC-ICP-MS 联用测定多介质环境样品砷形态的技术，该技术提取效率高达 100.6%，检出限低至 ng/L；构建了基于智能化生物体胃肠道消化系统模拟控制装置的重金属生物有效性分析技术，充分考虑肠道微生物在重金属吸收过程中的作用，为重金属阻控机制的研究奠定了方法基础；研发了基于水生微生物富集、调控及外

源有机质添加的砷污染修复技术，数据显示集胞藻在 72 h 内对水体低浓度砷的去除率达 40%以上，外源有机质添加使砷污染土壤气态砷产量增加近 120 倍。项目的关键技术以无形资产的形式入股，吸引了蓝城检测技术（上海）有限公司的资金投入，推动了山东蓝城分析测试有限公司的成立，实现了成果的落地与转化，社会效益与经济效益显著。同时人才培养成果显著。

3、项目应用证明

山东省分析测试中心技术入股 4500 万，吸引蓝城检测技术（上海）有限公司投入资金 1 亿元，在济南共同投资设立山东蓝城分析测试有限公司。本项目建立的 PM2.5 砷形态萃取分析方法及基于智能化生物体胃肠道消化系统模拟控制装置的重金属生物有效性检测方法是入股技术的重要组成部分，在吸引蓝城资金投入的过程中发挥了重要作用，实现了科技与经济的深度融合，开拓了院企合作、协同创新的新局面。

山东省环境监测中心与济南市环境监测中心站应用后认为：该项目构建的多介质中砷形态萃取、检测技术；基于智能化生物体胃肠道消化系统模拟控制装置的重金属生物有效性分析技术解决了实际监测过程中的技术难题，保障了监测工作的高效开展。项目研发的基于水生微生物富集的土-水体系中砷污染修复技术，在小清河水体净化及底泥重金属污染削减中发挥了重要作用，为济南市的环境安全作出了重要贡献，创造了可观的社会效益和环境效益。

黑龙江省地质矿产实验测试研究中心推广应用本项目构建的多介质中砷形态萃取及分析技术后认为：该技术简单，快捷，灵敏，价廉，通过该技术的应用，有效解决了砷形态检测过程中的技术难题，保障了检测工作的高效开展，创造了可观的社会效益和环境效益。

4、科研成果

项目发表研究论文100余篇，其中SCI收录61篇；申请发明专利10项，授权发明专利2项，授权实用新型专利3项，软件著作权1项；10篇支撑项目创新点的论文总影响因子35.3，他引次数616；培养山东省优秀博士后1名，环境保护部环境监测“三五”人才1名，济南市“5150”高层次人才1名，济南市千层次创新人才1名，济南市青年学术技术带头人1名，带来了广泛的社会影响。

五、推广应用情况

1. 推广应用情况（限 1 页）单位：万元				
应用单位名称	应用技术	应用起止时间	应用单位联系人/电话	经济效益
山东蓝城分析测试有限公司	重金属检测及阻控关键技术	2016.10~2018.12	徐清忠 15864021899	/
山东省环境监测中心	重金属检测及阻控关键技术	2012.03~2016.12	潘光 13969150728	/
济南市环境监测中心站	重金属检测及阻控关键技术	2012.01~2016.12	蔡红 13065085599	/
黑龙江省地质矿产实验测试研究中心	砷形态检测关键技术	2012.03~2018.12	张旭 13804532377	/

六、主要知识产权证明目录

序号	知识产权名称	知识产权类别	发明人	知识产权人	知识产权号	取得日期	国（区）别	发明专利有效状态	证明材料
1	一种 PM _{2.5} 中砷的分离测定方法	发明专利权	尹西翔, 王利红, 于雄军, 栾玲玉, 韩术鑫	济南市环境保护科学研究院; 山东省分析测试中心	CN105606721B	2017年10月31日	1.中国	有效	附件 1
2	一种镉砷吸附材料、制备方法及应用	发明专利权	蔡超, 张又弛, 朱永官	中国科学院城市环境研究所	CN104941583B	2018年07月17日	1.中国	有效	附件 2
3	智能化生物体胃肠道消化系统模拟控制装置	实用新型专利权	蔡超、朱永官、孙国新、章臻	中国科学院城市环境研究所	CN202658158U	2013年1月9日	1.中国	有效	附件 3
4	一种喷液装置及系统	实用新型专利权	韩术鑫, 王利红, 尹西翔, 刘静, 刘书花, 王振华, 赵长盛, 栾玲玉	山东省分析测试中心; 济南市环境保护科学研究院	CN206604690 U	2017年11月03日	1.中国	有效	附件 4
5	一种施用生物炭基调理剂的深耕一体机	实用新型专利权	蔡超、张又弛、朱永官、侯艳伟	中国科学院城市环境研究所	CN204810873U	2015年12月2日	1.中国	有效	附件 5
6	污染场地铅暴露健康风险评估软件	计算机软件著作权	蔡超, 张园, 朱永官	中国科学院城市环境研究所	2016SR176333	2016年7月12日	1.中国	有效	附件 6

七、主要论文、专著目录

序号	论文专著名称	发表刊物（出版社）	发表（出版）时间	作者（按刊物发表顺序）	证明材料
1	Characterization of arsenic biotransformation by a typical bryophyte <i>Physcomitrella patens</i>	Bulletin Environmental Contamination and Toxicology	2016	Xixiang Yin, Lihong Wang, Yifei Liu, Tenglong Jiang, Jianwei Gao	附件 7
2	Accumulation and Transformation of Arsenic in the Blue-Green Alga <i>Synechocystis</i> sp. PCC6803	Water, Air, and Soil Pollution	2012	Xixiang Yin, Lihong Wang, Ren Bai, Hai. Huang, GuoXin Sun	附件 8
3	Biotransformation and volatilization of arsenic by three photosynthetic cyanobacteria	Plant Physiology	2011	Xixiang Yin, Jian Chen, Jie Qin, Guoxin Sun, Barry P. Rosen, Yongguan Zhu	附件 9
4	Biomethylation and volatilization of arsenic by model protozoan <i>Tetrahymena pyriformis</i> under different phosphate regimes	International Journal of Environmental Research and Public Health	2017	Xixiang Yin, Lihong Wang, Zhanchao Zhang, Guolan Fan, Jianjun Liu, Kaizhen Sun, Guoxin Sun	附件 10
5	Rapid biotransformation of arsenic by a model protozoan <i>Tetrahymena thermophila</i>	Environmental Pollution	2011	Xixiang Yin, Yongyu Zhang, Jun Yang, Yongguan Zhu	附件 11
6	Arsenic Accumulation and Speciation of PM _{2.5} and Relevant Health Risk Assessment in Jinan, China	Polish Journal of Environmental Studies	2017	Xixiang Yin, Lihong Wang, Xiongjun Yu, Shiyong Du, Huaichen Zhang, Zhanchao Zhang	附件 12
7	Arsenic accumulation, distribution and source analysis of rice in a typical growing area in north China	Ecotoxicology and Environmental Safety	2019	Lihong Wang, Sulian Gao, Xixiang Yin, Xiongjun Yu, Lingyu Luan	附件 13
8	Survey of arsenic and its speciation in rice products such as breakfast cereals, rice crackers and Japanese rice condiments	Environment International	2009	Guoxin Sun, Paul N. Williams, Yong-Guan Zhu, Claire Deacon, Anne-Marie Carey, Andrea Raab, Joerg Feldmann, Andrew A. Meharg	附件 14
9	Mitigating heavy metal accumulation into rice (<i>Oryza sativa</i> L.) using biochar amendment—a field experiment in Hunan, China	Environmental Science and Pollution Research	2015	Ruilun Zheng, Zheng Chen, Chao Cai, Baiqing Tie, Xiaoli Liu, Brian J. Reid, Qing Huang, Ming Lei, Guoxin Sun, Edita Baltrėnaitė	附件 15
10	The effects of biochars from rice residue on the formation of iron plaque and the accumulation of Cd, Zn, Pb, As in rice (<i>Oryza sativa</i> L.) seedlings	Chemosphere	2012	Ruilun Zheng, Chao Cai, Jianhong Liang, Qing Huang, Zheng Chen, Yizong Huang, Hans Peter H. Arp, Guoxin Sun	附件 16

八、主要完成人情况

姓名	排名	技术职称	工作单位	对项目主要贡献
尹西翔	1	高级工程师	济南市环境保护科学研究院	主持参与本项目的立项申请，组织和部署研究计划的实施。 对创新点 1、2、3 项做出了突出贡献，其中对创新点 1 的贡献是：建立了微生物、苔藓、四膜虫、PM _{2.5} 砷形态萃取及分析技术，支撑材料：附件 1，7，12~13；对创新点 2 的贡献为：研发了基于水生微生物富集的土-水体系中砷污染阻控技术，构建了基于外源有机质添加的砷污染调控技术，支撑材料：附件 4，8~11；对创新点 3 的贡献为：重金属检测及阻控技术的推广应用，支撑材料：附件 21，22。
王利红	2	副研究员	山东省分析测试中心	对创新点第 1、2、3 项做出了突出贡献，对创新点 1 的贡献是：多介质砷形态分析方法建立，重金属生物有效性检测方法的建立，支撑材料：附件 1，7，12~13；对创新点 2 的贡献为：水生微生物砷阻控技术的建立，支撑材料：附件 4，8，10；对创新点 3 的贡献为：重金属检测及阻控技术的推广应用，支撑材料：附件 20，23。
孙国新	3	副研究员	中国科学院生态环境研究中心	对创新点 1、2 做出了突出贡献，其中对创新点 1 的贡献是：建立了 1% 硝酸萃取水稻砷形态的方法，构建了重金属生物有效性检测方法，支撑材料：附件 3，14；对创新点 2 的贡献为：构建了基于生物炭及锰复合生物炭的土壤重金属阻控技术，研发了硅肥施用及硅肥生物炭联合施用的稻田砷、镉阻控技术，支撑材料：附件 15~16。
蔡超	4	研究员	中国科学院城市环境研究所	对创新点第 1、2 项做出了突出贡献，对创新点 1 的贡献为：构建了基于智能化生物体胃肠道消化系统模拟控制装置的重金属生物有效性分析技术，支撑材料：附件 3；对创新点 2 的贡献为：研发了生物炭制备方法，构建基于生物炭及锰复合生物炭的土壤重金属阻控技术，支撑材料：附件 2，5~6，15~16。
张战朝	5	研究员	济南市环境保护科学研究院	对创新点第 1、3 做出了突出贡献，对创新点 1 的贡献为：建立 1% 硝酸萃取 PM _{2.5} 砷形态的分析方法，支撑材料：附件 10，12；对创新点 3 的贡献为：重金属检测及阻控技术的推广应用，支撑材料：附件 21~22。
徐清忠	6	高级工程师	山东蓝城分析测试有限公司	对创新点 1、3 做出了突出贡献，其中对创新点 1 的贡献为：共同研发了稻米样品砷形态萃取及测定技术，支撑材料：附件 19；对创新点 3 的贡献为：重金属检测及阻控技术的推广应用，主导推动了蓝城分析测试有限公司的成立，支撑材料：附件 20，23。
韩术鑫	7	助理研究员	山东省分析测试中心	对创新点 1 做出了突出贡献，其中对创新点 1 的贡献为：共同研发了多环境介质及样品砷形态萃取及测定技术，支撑材料：附件 1，4。

马春霞	8	助理研究员	山东省分析测试中心	对创新点 3 做出了突出贡献，对创新点 3 的贡献是：重金属生物有效性检测方法的推广应用，支撑材料：附件 20~21。
栾玲玉	9	助理研究员	山东省分析测试中心	对创新点 1、3 做出了突出贡献，其中对创新点 1 的贡献为：联合研发了 PM _{2.5} 和稻米砷形态萃取及分析方法，支撑材料：附件 1, 13；对创新点 3 的贡献为：重金属检测及阻控技术的推广应用，支撑材料：附件 20。

九、主要完成单位及创新推广贡献

单位名称	排名	对本项目科技创新和推广应用情况的贡献
济南市环境保护科学研究院	1	<p>项目科技创新：本项目基于过程阻断的理念，针对致癌风险高、影响范围广的重金属污染物，建立了包括重金属形态和生物有效性分析的多元检测技术，研发了基于微生物调控、喷施营养物质以及生物炭吸附的重金属阻控技术。在进行重金属人体健康风险评估时，既考虑其总量，更关注其赋存形态和生物有效性，为重金属风险评估提供准确的数据支持。</p> <p>推广应用情况：成功将该技术推广应用于山东省环境监测中心等多家政府服务机构，同时将本项目建立的重金属检测及阻控关键技术应用于济南市环境监测及治理工作中，创造了良好的社会效益和环境效益。培养了山东省优秀博士后 1 名，环境保护部环境监测“三五”人才 1 名，济南市“5150”高层次人才 1 名，济南市千层次创新人才 1 名，济南市青年学术技术带头人 1 名。</p>
山东省分析测试中心	2	<p>项目科技创新：山东省分析测试中心建立了稻米和 PM_{2.5} 砷形态萃取技术，参与研发了基于智能化生物体胃肠道消化系统模拟控制装置的重金属生物有效性分析技术及基于水生微生物的砷阻控技术。</p> <p>推广应用情况：山东省分析测试中心是一所以基础与应用基础研究为主的社会公益性现代分析测试科学研究机构，中心依托本项目研发的重金属检测技术支撑完成了山东省农产品产地土壤普查、河南省农产品产地土壤普查数万件土壤样品重金属的检测工作。项目的部分核心技术以无形资产的形式入股，吸引了蓝城检测技术（上海）有限公司的投资，推动了山东蓝城分析测试有限公司的成立，充分实现了成果的落地和转化。</p>
中国科学院生态环境研究中心	3	<p>项目科技创新：联合建立了 1%硝酸萃取水稻砷形态的测定方法；构建了基于生物炭及锰复合生物炭吸附的土壤重金属阻控技术；研发了硅肥施用及硅肥生物炭联合施用的稻田砷、镉阻控技术；参与研发了基于智能化生物体胃肠道消化系统模拟控制装置的重金属生物有效性分析技术。</p> <p>推广应用情况：中科院生态环境研究中心致力于研究和解决地区性、全国性以及全球性的重大生态环境问题，不断突破关系到国家生态安全、环境健康和可持续发展的重大科学理论和关键技术。该中心自 2008 年起与济南市环境保护科学研究院，山东省分析测试中心展开长期合作，研究重金属检测及阻控关键技术。本项目核心技术为国家自然科学基金、科技部“863”项目子课题、国家重点研发计划项目子课题等项目的分析方法、理论体系的建立提供了技术支撑和保障。</p>

中国科学院城市环境研究所	4	<p>项目科技创新：构建了基于智能化生物体胃肠道消化系统模拟控制装置的重金属生物有效性分析技术；研发了生物炭制备方法；参与研发基于生物炭及锰复合生物炭的土壤重金属阻控技术。</p> <p>推广应用情况：中国科学院城市环境研究所是目前国际唯一的专门从事城市环境综合研究的国立研究机构，自2010年起该研究所与济南市环境科学研究院、山东省分析测试中心展开广泛合作研究。本项目发明专利“一种镉砷吸附材料、制备方法及应用”以及“一种施用生物炭基调理剂的深耕一体机”，直接服务于多个企业的重金属污染场地修复案例，带来了广泛的社会效益和环境效益。</p>
山东蓝城分析测试有限公司	5	<p>项目科技创新：参与研发1%硝酸萃取水稻、PM_{2.5}砷形态的分析测定方法以及基于智能化生物体胃肠道消化系统模拟控制装置的重金属生物有效性检测方法。</p> <p>推广应用情况：山东蓝城分析测试有限公司是一家集检测、审核、培训、环评为一体的综合性第三方机构，与山东省分析测试中心有着密切的联系。2016年山东省分析测试中心技术入股4500万，吸引蓝城检测技术（上海）有限公司投入资金1亿元，在济南共同投资设立山东蓝城分析测试有限公司。本项目建立的PM_{2.5}砷形态萃取分析方法及基于智能化生物体胃肠道消化系统模拟控制装置的重金属生物有效性检测方法是入股技术的重要组成部分，在吸引蓝城资金投入的过程中发挥了重要作用，实现了科技与经济的深度融合，开拓了院企合作、协同创新的新局面。</p>

十、完成人合作关系说明

项目第一完成人济南市环境保护科学研究院尹西翔与项目第二完成人山东省分析测试中心王利红，第三完成人中国科学院生态环境研究中心孙国新，第四完成人中国科学院城市环境研究所蔡超建立了良好的合作关系，依托彼此的技术优势，立足山东经济发展过程中的突出重金属污染问题，共同完成了多个关于重金属检测方法及阻控技术的研究项目，合作发表了多篇论文论著。项目第五完成人张战朝为第一完成人项目组的成员，参与了大量研究工作，合作完成多篇论文论著。项目第六完成人徐清忠为第二完成人王利红项目组的成员，双方共同立项了国家自然科学基金、山东省大型仪器升级改造项目等多项与本项目密切相关的研究课题，徐清忠在项目核心技术的推广应用过程中发挥了重要作用，主导了蓝城分析测试有限公司的成立。项目第七完成人韩术鑫也是第二完成人项目组的成员，共同立项多项课题，在项目核心技术的推广应用中发挥了极为重要的作用。项目第八完成人马春霞博士自 2017 年 9 月进入山东省分析测试中心以来，一直是项目第二完成人王利红课题组的成员，共同承担了国家重点研发计划子课题的研究，主导推动了本课题组人工胃肠模拟模型的建立。项目第九完成人栾玲玉与项目第一完成人、第二完成人均有密切合作，共同开发了 $PM_{2.5}$ 砷形态分析技术，并积极推广应用。