

附件 3

拟推荐 2017 年度国家科技进步奖项目 1 公示材料

一、项目名称

流域水环境重金属污染风险防控理论与应用

二、推荐单位意见

该项目围绕流域重金属污染控制的关键理论技术问题，以流域水体污染控制和水质改善为目标，以清洁生产、源头控制、过程强化去除、水质改善和风险管理为主线，开展了持续系统的理论创新、技术突破和工程实践，实用性强，经济社会效果好，为促进我国重金属污染治理和风险防控技术进步起到了积极作用。该项目历时 18 年，研发的以清洁生产、过程与风险防控为突破口的关键技术及成套设备达到国际先进水平，解决了源头减排和强化去除等关键技术难题，在技术创造性、新颖性、实用性和功能综合性等方面取得了原创性突破。

该项目成果在国家和多个地方重金属治理工程建设中得到应用，为国家和地方重金属污染防治规划、标准和政策提供重要科技支撑。核心技术推动了全国重点金属（锰、镉、锌、铜、汞、银、铬等）的污染削减，理论和技术突破受到国内外专家和用户单位的一致好评，为重金属污染综合防治“十二五”规划实施取得良好成效提供了科技支持，为水环境重金属风险防控和质量改善做出了重要贡献，提升了解决我国流域复杂环境问题的综合治理能力，促进了工业、环保和矿业等部门/行业的流域水环境保护工作，研究成果具

有国际影响，并产生了社会经济和环境效益。

推荐该项目申报 2017 年度国家科学技术进步一等奖。

三、项目简介

技术内容: 针对国家重大需求重金属污染防治的关键瓶颈问题，选择流域风险防控为突破点，以源头控制-过程削减-应急处置为主线，创建了流域水环境重金属风险防控理论方法体系，攻克了行业清洁生产、资源化利用、尾矿治理、强化去除和原位钝化等核心技术及成套设备，形成了完整的技术与应用系统，解决了我国流域污染减排与循环利用耦合、日常管理与突发事故应急处理相结合、源头与过程协同防控的科技难题。在创造性、新颖性、实用性和工程应用方面取得原创性突破，主要创新如下：

(1) 发展和完善了流域水环境重金属风险防控理论方法体系，在重金属迁移转化、生物有效性和食物链传递等方面取得了重要进展，创建了流域污染负荷估算、来源解析、过程模拟和风险评估等系列新模型与新方法，解决了关键理论难题。

(2) 开发和完善了流域水环境重金属风险防控技术系统，攻克了电解锰锌行业清洁生产、资源回收利用、矿山源头治理、强化去除、掩蔽钝化和应急处置等核心技术，在流域系统过程防控新技术、新工艺和新结构方面取得原创性突破。

(3) 研发了以源头控制、过程与风险防控为突破口的成套设备，发明了重金属污染移动削减、自动收集、强化去除与原位钝化投料等控污装置，实现了重金属污染协同防控技术和新材料的重要突破。

(4) 通过自主研发和系统集成提出的流域水体重金属风险防控

技术模式，以及开发的整装成套技术及其设备，在我国重点流域、电解锰锌行业和突发水污染事故处理处置工程得到了应用，实用性强、效果好，为我国流域环境质量改善提供了工程经验和成功案例。

应用推广和效益：入选国家鼓励发展的环境保护技术名录和国家先进污染防治名录（2007-2012），是 1 项国家行业污染防治技术政策、2 项国家污染防治可行性技术指南的核心技术，支撑了 10 多项涉重金属国家标准；已在我国 20 多个重点流域环保规划、设计、建设和运行管理中得到广泛应用，显著提升了行业科技水平。成果直接应用于广西和广东等 30 多个环保工程建设，取得重大社会经济和生态环境效益。

四、客观评价

技术查新报告

教育部技术查新报告(编号：201636000G020103)表明：未见基于金属理化参数的毒性预测技术的报道。教育部查新报告(编号：2005023)表明：未见对重金属复合污染水土进行实地示范修复技术的报道。中国科学院查新报告（20130514CX01，20130510CX05，20130510CX06）：未见该项目建立的排水自然回归工程技术、事件减害工程技术和健康风险阻断技术的研究和应用的报告；在水环境风险控制和管理方面，未见水环境风险全流域控制方法体系方面的研究报道。

技术标准

锰锌清洁生产和重金属深度去除等技术入选国家鼓励发展的环境保护技术名录和国家先进污染防治名录（2007-2012），是国家电

解锰行业污染防治技术政策（环发[2010]150号）、国家电解锰污染行业防治可行技术指南（环境保护部公告2014年第81号）和电解锰行业清洁生产评价体系（发展改革委、环境保护部和工业和信息化部）等10多项国家技术政策、文件和业务平台的核心技术，负责/参与编制了包括地表水环境质量标准（GB3838-2002）和电镀污染物排放标准（GB 21900-2008）等在内的涉重金属国家标准13项，成为国家重金属污染防治管理制度的重要内容。

用户单位和社会评价

项目成果应用实施后，得到了广西、广东、贵州和福建等30余家用户单位充分认可。占全球总产能1/3的最大电解锰企业宁夏天元锰业在其三期20条1.5万吨/年的生产线上全面应用推广项目技术；成果在龙江、北江和东江等流域20余次突发事故处理工程取得公认的良好效果，事件后续环境监测证实了事件应急处置的正确性和高效性，是突发环境污染事故处置成功范例；项目参与/负责国家污染防治技术政策培训、咨询和推广，在贵阳百花湖、阿哈湖污染控制基地和电解锰清洁生产国家示范基地每年接待来自中国工程院、中国科学院、清华大学和北京大学等部门、科研院所专家领导和全国各省市相关技术人员，累计达5000多人次；中国环境报和科技日报以连载方式发表10多篇报道，项目取得了以点带面、宣传普及、示范引领和推广应用的良好效果；整体技术被列入国务院发布的《水污染防治行动计划》和太湖等重点流域水环境综合治理实施方案，并入选“十二五”国家重大水专项10大标志性成果；支撑了《珠江流域北江重金属污染综合防治规划》和《南粤水更清2013-2020年行动计划》等编制与实施。

论著引用评价

发表相关论文 390 篇，其中 SCI 收录 192 篇，发表在相关学科 **Top Journal** 上 50 多篇，其中 Environ Sci & Technol 刊物论文 16 篇，SCI 他引 5300 多次。4 篇入选 **ESI 全球高被引论文前 1%**；3 篇入选“精品期刊顶尖论文平台-领跑者 5000 项目”；3 篇入选国际期刊年度的高被引论文；出版《金属矿山尾矿钝化技术》等专著 5 部，总字数达 200 多万字，入选当代杰出青年科学文库，曲久辉院士评价专著成果是我国矿山修复和源头控制的实用技术。

项目成果受到国内外同行高度关注并被广泛引用。金属毒性预测技术被评为《Environ Sci & Technol》刊物年度最佳论文之一，美国工程院院士、ES&T 刊物主编 Schnoor 教授高度评价：“是最高质量的工作，将对领域具有巨大且深远的影响”。4 次被《Environ Toxicol & Chem》、《中国科学:地球科学》等刊物选为封面文章，并为《Applied Geochemistry》和《生态毒理学报》等刊物主编重金属专刊 3 部。

同行著名专家评价

国内外同行和国际组织非常重视该项目研发工作，对技术成果给予高度评价。100 多位来自美国、加拿大、英国、荷兰等国专家来函咨询和探讨相关技术难题。成果被美国和韩国等 100 多个国内外实验室的验证采用。国际膜处理著名刊物 *Journal of Membrane Science* 评价“矿山废水污染源控制系列新技术，是重金属去除最有前景的应用工程技术”。国际环境工程权威 Ghosh 教授评价：“矿山废水重金属污染去除系列新技术”是处理含 Cd(II) 综合废水的最具潜力的技术。美国化学学会分析会学部主席、犹他州大学 Harris 教授、国际著名学者 Schneider 等评价：“亚洲新技术”，解决了材料稳

定合成极具挑战性的难题。美国海军实验室生物工程中心 Medintz 教授在《Chemical Reviews》(IF=45.6) 杂志上以半页篇幅报道, 并评价“赋予传统磁性纳米材料多功能可修饰的优越新技术”。

五、推广应用情况

项目研发的成套理论技术、设备材料和技术模式被我国 20 多个重点流域、11 个省市和 30 多个用户单位应用到重金属污染防治规划、标准政策、工程建设和运行管理中, 应用推广成效显著, 为我国重金属污染治理提供了成熟模式、成功案例和工程经验。

(1) 项目成果被广东(北江、东江、武江等)、广西(龙江、西江等)、贵州省(百花湖、阿哈湖和红枫湖等)、福建(九龙江、漳州等)、浙江(钱塘江上游常山港、沐尘水库等)、江西(东江源流域等)、辽宁(辽河流域)、湖南(湘江、资江流域)、重庆、宁夏和湖北等 10 多个省市应用到流域规划、设计、建设和运行管理中, 为重金属污染源头控制、流域污染负荷削减和水质改善提供了重要科技支撑。

(2) 项目成果在 30 多个地方和国家用户单位得到应用, 其中包括环境保护部科技司、应急与事故调查中等 4 个业务司局, 支撑了我国环境基准/标准和技术政策的编制和实施工作, 为我国重金属污染防治和风险管理工作做出了重要贡献, 其他用户还有广西、广东和江西等省环保厅、广东省人民政府应急办和河池市人民政府等 12 个地方政府和环保部门, 及宁夏天元锰业、福建南方有色金属有限责任公司等 15 家环保企业。

(3) 项目支撑了 2 个技术指南、1 个技术政策和 13 项涉重金

属标准的编制和实施工作，是国家重金属污染防治管理制度的重要组成部分。截至到 2016 年，累积新增经济效益 3.5 亿元，生态环境和社会经济效益显著。环境保护部近期公布《重金属污染综合防治十二五规划》实施情况 (http://www.gov.cn/xinwen/2015-11/19/content_2968473.htm): 铅汞铬镉和类金属砷等重金属污染排放比 2007 年削减 27%，重点示范区广西、广东、福建、湖南、江西和贵州等取得显著效果。

六、主要知识产权证明目录

知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号	授权日期	证书编号	权利人	发明人	发明专利状态
1 发明专利	湿法电解锰、锌的电解后续工段自动化处理方法	中国	ZL201110460071.6	2015-10-21	1820355	中国环境科学研究院	段宁; 王璠; 程伟; 刘于海; 潘涔轩; 周长波; 但智钢; 降林华; 汪启年; 刘斌	有效专利 (核心专利)
2 发明专利	一种锰电解流程重金属污染削减移动平台工艺动作及分解	中国	ZL201310595014.8	2016-02-10	1945065	中国环境科学研究院	段宁; 降林华; 周超; 但智钢; 徐夫元; 陆大玮; 文玉成; 张歌; 李志强; 阳建平; 高晓娟	有效专利 (核心专利)
3 发明专利	一种用改性蓝藻处理含汞废水的方法	中国	ZL201310092642.4	2014-08-06	1456456	中国环境科学研究院	廖海清; 吴丰昌; 孙福红; 李强	有效专利 (核心专利)
4 发明专利	用改性粉煤灰处理锑矿选矿废水的方法	中国	ZL200910102462.3	2010-10-27	691321	中国科学院地球化学研究所	朱静; 吴丰昌	有效专利

5 发明专利	邻苯二甲酸二丁酯降解菌及其应用	中国	ZL200710026366.6	2009-06-03	504797	华南理工大学	易筱筠; 段星春; 党志; 陶雪琴; 卢桂宁; 杨琛	有效专利
6 发明专利	复合金属氧化物吸附剂及应用其去除水中苯并三唑的方法	中国	ZL200910084153.8	2012-07-04	984539	中国环境科学研究院	吴丰昌; 徐冰冰; 廖海清	有效专利
7 发明专利	表面活性剂修饰的纳米 TiO ₂ 半透膜水样前处理方法	中国	ZL201310682908.0	2016-06-01	2094658	中国环境科学研究院	赵晓丽; 吴丰昌; 汪浩	有效专利
8 发明专利	模拟水位变化对沉积物氮磷和重金属释放风险影响的装置	中国	ZL201410512371.8	2016-04-06	2010313	中国环境科学研究院	王圣瑞; 倪兆奎; 席海燕	有效专利
9 计算机软件著作权	环境污染事件风险源识别与管理系统 (SRIMS) V1.0	中国	2010SR017164	2008-08-28	软 著 登 字 第 0205437 号	环境保护部华南环境科学研究所 (注: 杨大勇、魏清伟、林奎、杨剑、赵坤荣)		其他有效的知识产权
10 计算机软件著作权	环境污染事件预测预警系统 (PEFCS) V1.0	中国	2010SR017158	2008-08-28	软 著 登 字 第 02054371 号	环境保护部华南环境科学研究所 (注: 杨大勇、魏清伟、林奎、杨剑、赵坤荣)		其他有效的知识产权

七、主要完成人情况

姓名	排名	工作单位	对本项目技术创造性贡献
吴丰昌	1	中国环境科学研	对本项目技术有创造性贡献; 项目总负责人, 主持项目所有理论

		究院	研究和技术研发工作，对创新点 1-4 均有创造性贡献：（1）组织自主研发了 3 套生物毒性驯化、培养和测试标准化装置。（2）发展和完善了流域水体重金属风险防控理论方法体系，在重金属迁移转化规律和生物有效性等方面有重要贡献。（3）开创性地建立了多因子耦合重金属毒性预测理论模型，集成创新了流域重金属环境风险评估技术系统；（4）提出了流域重金属风险防控技术模式，并在贵州、福建、广西等推广应用。
段宁	2	中国环境科学研究院	项目主要负责人，对创新点 2, 3, 4 均有创造性贡献：（1）创新性的构建了电解锰锌行业污染源头削减移动平台，自主研发了电解锰锌行业清洁生产与重金属削减技术和成套装置。（2）开发了脏板智能识别和分拣技术等清洁生产核心技术，及电解锰锌阴极板硫酸盐智能识别和控制技术。（3）为国家电解锰行业污染防治技术政策、2 项行业污染防治可行性技术指南和清洁生产评价体系提供技术支持，推动了行业技术革新。（4）将上述成果在电解锰锌清洁生产行业和“锰三角”等示范工程中推广应用。
党志	3	华南理工大学	项目主要负责人，对创新点 2,3,4 均有创造性贡献：（1）创新性开展了矿山尾矿重金属源头治理技术研究，揭示了尾矿重金属释放的物理、化学与生物过程。（2）发现并定量表征了矿山氧化过程的关键微生物：氧化亚铁硫杆菌，并在此基础上研发了抑制微生物氧化的缓释杀菌剂。（3）制备了三乙烯四胺等多种硫化物矿山尾矿钝化剂；改性花生壳、玉米秸秆等废弃物，研制了多种高效吸附、廉价生物质吸附新材料；（4）提出了金属矿山重金属源头削减技术模式，在江西和广东等多个地区的矿区流域综合治理和尾矿废水处理工程中得到应用。
降林华	4	中国环境科学研究院	项目参与人员，对创新点 2, 3, 4 有创造性贡献：（1）研发了电解锰锌行业集十二道工序为一体的封闭化-自动化-精准化大型自控流水线等削减成套设备。（2）参与开发了镉离子高效回收系列装置，并在企业清洁生产和工程示范中推广应用。（3）参与解决了电解锰锌行业重金属工艺废水和固相源消解技术难题，在行业清洁生产和资源化利用方面有创新性贡献。（4）参与支撑了多个涉重金属清洁生产标准的编制和实施。
胡清	5	南方科技大学	项目参与人员，对创新点 3, 4 有创造性贡献：（1）参与研发和技术推广适合中国重金属监测的轻型便携式 HD Rocksand™

			超低含量的重金属检测设备，该设备可快速完成近 40 种金属，检出限低、稳定性高。(2) 参与研发化学氧化还原与生物降解技术及其稳定化药剂，支撑了湖南等地企业污染治理技术实施方案的编制和实施。(3) 组织研发电解锰生产过程中产生于阳极区的阳极渣进行资源化综合利用可行性技术解决方案，并指导宁夏天元锰业等企业清洁生产和资源综合利用工程。
魏清伟	6	环境保护部华南环境科学研究所	项目参与人员，在流域水环境重金属风险防控理论体系和突发性水污染事件应急处置技术等方面发挥重要作用。对创新点 1, 4 有创造性贡献：(1) 参与研发集成了结合流域自然-经济-社会-生物特征等风险要素识别和监测新方法。(2) 参与阐明了流域风险要素变化规律与耦合原理，并建立流域重金属风险消解途径与系统风险控制技术方法。(3) 参与制定突发性污染风险防控技术与工程方案，并参与部分应急处置和生态修复工程的实施，参与制定广西龙江镉污染等多起国家重大突发水污染事件的风险源识别和强化去除等技术方案，并参与指导工程的实施。
赵晓丽	7	中国环境科学研究院	项目参与人员，对创新点 1, 2, 4 均有创造性贡献：(1) 参与创新建立和综合集成了重金属毒性预测与风险评估技术方法，负责新增了 10 几类中国重要的环境参数、1 万多条中国物种毒性数据和理论模型研发。(2) 参与重金属污染控制新技术和新材料研发，在高吸附容量纳米去除剂等系列水体重金属强化去除材料研发方面起到重要作用。(3) 参与发展和完善了水体重金属风险防控理论方法体系，开展 pH、有机质和硬度等对重金属迁移转化规律研究。(4) 参与突发性污染事件应急处置技术方案和工程实施。
邓超冰	8	广西壮族自治区环境保护厅	项目参与人员。对创新点 1, 4 有创造性贡献：(1) 研发了流域水环境风险要素识别与解析新方法。(2) 参与发明了系列新装置和新技术，并应用于流域水体重金属污染状况的调查、常规和应急环境监测工作。(3) 参与建立控源、削污、调水和供水联用系统工程方法，参与其在广西突发污染水事件应急处置工程应用。(4) 参与研发了多学科集成事件后评估方法与后续处置技术，有效控制突发污染事件后续风险，后评估精确控制自然过程清淤大幅节省工程投资。
张远	9	中国环境科学研究院	项目参与人员，对创新点 4 有创造性贡献：(1) 参与提出了流域重金属风险防控优先序、风险源清单和风险等级区划，制定相应的

			技术方案,设计并参与实施污染治理、环境保护和生态修复工程建设。(2)参与提出了重点流域水环境重金属污染风险防控技术模式,为国家分区/分类/分级/分期流域风险管理做出了重要贡献。(3)参与负责成套技术与模式在辽宁和江西等地推广应用。
易筱筠	10	华南理工大学	项目参与人员,对创新点1,2均有创造性贡献:(1)主持和参与筛选及人工合成三乙烯四胺(TETA)、聚硅氧烷、二硫代氨基甲酸钠和有机酸类等硫化物尾矿钝化剂。(2)参与研发了玉米秸秆(醚化改性)、稻草秸秆(季铵化改性)、花生壳(生物改性)等改性制备技术,获得高效吸附重金属吸附材料。(3)参与源头控制技术在贵州、江西、湖南等金属矿山污染控制工程的推广应用工作。
史亚利	11	中国科学院生态环境研究中心	项目参与人员,对创新点1,2,4均有贡献:(1)参与研发系列磁性纳米新材料,该材料具介孔结构的三层新型材料,比表面积大,快速吸附和容易洗脱以及强萃取能力等优点。(2)参与重金属污染控制新技术研发,在水体重金属强化去除材料研发和分析方面发挥了重要作用。(3)参与新装置和新材料的产业化,研发污染物系列新分析技术,并开展推广应用。
廖海清	12	中国环境科学研究院	项目参与人员,对创新点1,3,4均有创造性贡献:(1)升级改造和自主研发了沉积物重金属原位掩蔽和钝化装置,确定了装置运行过程的行驶速度、投料速率、掩蔽厚度、风浪影响及掩蔽材料沉降速率校正系数等最佳参数,解决了多材料复杂精细化覆盖难题。(2)参与研发水环境重金属原位掩蔽钝化系列核心技术,攻克了精确控制掩蔽厚度、适用于不同水深条件的掩蔽钝化新技术。(3)负责实施了贵州省百花湖和阿哈湖等汞污染治理和示范工程应用推广。
王圣瑞	13	中国环境科学研究院	项目参与人员,对创新点1,4有创造性贡献:(1)参与构建流域水体重金属风险防控理论方法体系,在重金属通量估算、来源和过程辨识及风险评估系列新模型和新方法有贡献。(2)参与研发了水环境重金属原位掩蔽钝化系列新材料,综合集成和优化了适用于不同污染物的实用原位钝化材料和技术实施方案。(3)参与负责实施了江西省和江苏省流域重金属污染综合治理和示范区应用推广工作。
陈艳卿	14	中国环境科学研	项目参与人员,对创新点3,4均有创造性贡献:(1)参与地表

		究院	水环境质量标准等多个国家环境质量标准和技术规范编制，并负责其中重金属部分工作。(2) 参与完成 10 多项涉重金属污染物的国家排放标准的编制，将项目重金属污染控制相关理论、技术应用于行业排放标准的制定，促进行业技术革新和科学管理水平的提升，有效减少源头排放。
符志友	15	中国环境科学研究院	项目参与人员，对创新点 3, 4 均有创造性贡献:(1) 参与开发了生物毒性测试标准化成套装置，建立了相应的驯化培育标准程序与规范，获得了一批重金属生物毒性数据。(2) 参与发现了重金属食物链传递新规律，研究了重金属生物富集机制，参与发现铜镉锌银等金属在底栖生物食物链存在生物放大作用。(3) 参与建立了我国化学品测试和效应评估实验测试平台。

八、主要完成单位情况及创新推广贡献

1、中国环境科学研究院

作为项目主持单位，全面负责制定项目主要研究内容、技术路线、研究方案并组织实施，对创新点 1-4 均有首要创新贡献，在项目流域重金属风险源头控制、过程与风险防控为突破口的关键技术突破、成套装置研发和成果推广应用中发挥了首要作用。具体为：

(1) 创新性地构建了我国流域重金属风险防控理论技术体系，在水环境重金属迁移转化规律、吸附解吸机理、生物有效性、食物链传递、风险评估等方面取得了突破性进展，为我国水体重金属风险防控提供了科学依据，整体提升了我国重金属风险防控的科学认知水平。

(2) 开发和完善了流域水流域重金属风险防控技术体系，攻克了电解锰锌行业清洁生产，研发了重金属毒性预测和风险评估技术，突破了水体重金属强化去除和掩蔽等关键技术，为流域水质改善工程的实施提供了重要的技术支撑。

(3) 突破了我国长期以来重金属防控装置研发薄弱瓶颈，自主研发了电解锰锌行业重金属削减系列装置，开发了重金属生物毒性测试标准化装置，综合集成了大型水体沉积物污染掩蔽关键设备，为水体重金属风险评估和污染防治工程建设提供了装备支持。

(4) 建立了流域水体重金属风险控制新模式，全面负责项目成果在贵州、广西、浙江和广西等 30 多个单位的 20 多个重点流域重金属污染治理工程之中推广应用。

2、华南理工大学

项目第二完成单位，在创新点 2 矿山尾矿重金属的释放机理，创新点 3 酸性矿山废水综合治理关键技术和创新点 4 矿区重金属风险控制模式方面有创新贡献，并在我国重点流域湖南锑矿山（资江流域）、江西定南钨矿山（东江源流域）、广东大宝山矿山（横石河流域）等重金属污染治理工程推广应用中发挥了重要作用。具体为：

(1) 在创新点 2 中，创新性提出流域尾矿中金属释放的物理、化学和生物过程，揭示了酸性矿山废水产生和金属离子释放的关键控制因素，发现并定量表征了矿山氧化过程的关键微生物：氧化亚铁硫杆菌，并在此基础上研发了抑制微生物氧化的缓释杀菌剂，为流域重金属污染源头控制提供理论依据，是水体重金属风险防控理论体系的重要组成部分。

(2) 在创新点 3 中，研发了流域金属矿山源头控制系列技术，通过技术手段从源头上防止酸性矿山废水的产生、并对所产生的矿山废水中重金属进行去除，项目筛选出系列尾矿钝化剂，制备了三乙烯四胺等多种硫化物矿山尾矿钝化剂；改性花生壳、玉米秸秆等农业废弃物，获得多种高效吸附重金属的廉价生物质吸附新材料；

为矿山流域水环境质量改善提供有力支撑。

(3) 在创新点 4 中, 提出了流域金属矿山重金属源头削减技术模式, 在江西、湖南等 10 多个地区的矿区流域综合治理和尾矿废水处理工程中得到应用。

3、中国科学院生态环境研究中心

在创新点 1 生物有效性和食物链传递等理论方面, 创新点 2 水体中重金属强化去除的新材料和新方法方面和创新点 4 突发性污染事件应急处置技术方案和工程实施有创新贡献。具体为:

(1) 在创新点 1, 参与发现重金属生物富集新机制, 发现并证实了食物链传递是水生生物累积的主要途径, 参与研发金属毒性预测模型, 实现了 20 多个重金属生物毒性和风险的准确预测, 获得国内外同行的高度评价。

(2) 在创新点 2 中, 在传统技术的基础上, 参与发明了高温高压化学精确合成技术、纳米尺度上粒径精确控制、醚化改性、接枝改性、季铵化改性、高锰酸钾改性、盐酸改性和生物改性等新材料制备技术, 研发的磁性纳米材料具有介孔结构的三层新型材料, 比表面积大, 快速吸附和容易洗脱以及强萃取能力等优点。

(3) 参与突发性污染事件应急处置技术方案和工程实施, 参与突发应急事件污染应急技术实验研发, 参与重金属强化絮凝沉淀技术方案优化、为重金属污染状况生态修复提供技术支持; 参与新装置和新材料的产业化, 研发污染物系列新分析技术, 完善分析设备升级和方法创新, 推广实用技术在全国高校和科研单位的应用, 取得良好的经济社会效益。

4、环境保护部华南环境科学研究所

主要完成单位，在创新点 2 流域风险控制理论方法、创新点 4 重金属污染事件等方面有创新贡献。具体为：

(1) 参与流域水环境重金属风险防控理论体系构建，研发集成了结合流域自然-经济-社会-生物特征等风险要素识别和监测方法；阐明了流域风险要素变化规律与耦合原理，并建立流域重金属风险消解途径与系统风险控制技术方法，构建多信息源、多控制突降的水环境风险控制技术体系，全流域全面控制风险系等具有管理方法创新性和实用性。

(2) 在广西龙江、北江、东江、鉴江、右江等流域重金属时间处置中得到应用，以控制综合损害最小为目标，形成了突发性污染事故完整使用的方法系统与高效操作性强的技术系统。将我国主动防范与处置环境污染、生态异常与健康风险事件的技术水平系统提升至国际领先水平，在二十余次环境突发事件处置应用中均取得了国内外公认的良好效果。

(3) 促进我国水环境保护战略转型，《南粤水更清计划》全面应用本成果在广东开启了流域水环境风险控制的先河。

(4) 促进我国水源保护指标与国际先进水平全面接轨并实现流域的风险防范。在东江流域全面应用，大幅降低了流域水环境综合风险，使水源达标率（III类）从 90%提高至 100%，水质优良率（II类）从 60%提升至 85%；在湖南渔溪河流域系统应用，解除了该流域重金属污染风险对北江水源地的威胁。

5、南方科技大学

项目主要完成单位，在创新点 1 研发了便携式重金属分析测试仪器，在创新点 4 为矿区重金属流域风险防控技术模式和应用方面

有创新贡献，并发挥了重要作用。具体为：

(1) 研发了高精度土壤重金属快速检测设备，研发和技术推广适合中国重金属监测的轻型便携式 HD Rocksand™ 超低含量的重金属分析仪；该仪器可快速完成近 40 种金属的检测、稳定性高，与国际著名分析仪器公司合作，实现了设备产业化。

(2) 参与研发化学氧化还原与生物降解技术及其稳定化药剂，支撑了湖南等地企业污染废物处置及污染治理技术实施方案的编制和实施，促进我国危险废物环境可持续管理水平的提高，为我国国际公约的缔约与履约做出了贡献。

(3) 为电解锰生产过程中产生于阳极区的阳极渣进行资源化综合利用提供可行的技术解决方案，以使阳极渣有效循环利用，并指导宁夏天元锰业等企业清洁生产和资源综合利用工程，为类似行业清洁生产重金属削减和资源化利用提供技术支持和示范。

6、广西壮族自治区环境监测中心站

项目主要完成单位，在创新点 4 重金属污染事件等方面有创新贡献。具体为：

(1) 参与研发了流域水环境风险要素识别与解析新方法。

(2) 研发重金属检测和采样等新装置和新技术，并应用于流域水体重金属污染调查、常规和应急环境监测工作，为应急处置提供了快速的预警监测数据。

(3) 参与研发流域污染控源、削污、调水和供水联用系统工程方法，在广西突发污染水事件应急处置工程建设中得到应用，效果明显；全面控制生态与健康风险，保障社会稳定，促进社会和谐，避免大区域社会经济混乱而造成的市值损失高达数百亿元（含香

港)。

(4) 参与研发了多学科集成事件后评估方法与后续处置新技术，有效控制突发污染事件后续风险，后评估精确控制自然过程清淤大幅节省工程投资，使事件后续风险控制水平达到国际领先水平。

九、完成人合作关系说明

吴丰昌、段宁、党志等合作完成本项目的所有理论研究和技术研发。

吴丰昌、段宁、降林华、张远、陈艳卿、廖海清、赵晓丽、王圣瑞、符志友都是中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室主要学术骨干。吴丰昌、张远、陈艳卿、廖海清和赵晓丽共同完成国家 973 等多个项目，其中吴丰昌为项目负责人，张远、吴丰昌和陈艳卿为课题一、四和六负责人，廖海清、赵晓丽和符志友为课题四主要完成人；吴丰昌、廖海清、赵晓丽和符志友共同发表文章 20 篇以上，共同申请发明专利 10 项以上。共同完成创新点 1-4 中重金属源头控制、过程与风险防控为突破口的成套设备研发、关键技术突破、风险控制模式和推广应用。吴丰昌、赵晓丽、张远、陈艳卿、王圣瑞和符志友等人共同获得 2016 年国家环境保护科学技术一等奖。吴丰昌、张远、廖海清、赵晓丽、王圣瑞和符志友共同获全国专业技术人才先进集体、国家创新人才推进计划-科技部重点领域创新团队。

降林华是段宁的博士后，后留院继续合作，段宁与降林华合作完成创新点 2、3 中电解锰锌行业清洁生产与重金属削减系列装置和核心技术，完成国家电解锰行业清洁生产评价体系等技术指南和技

术政策，共同获得中国有色金属工业协会一等奖，共同完成发明专利 10 余项。党志与易筱筠共同完成创新点 1、2 中矿山重金属源头控制系列理论、技术和推广应用，共同获得发明专利 5 项和广东省自然科学一等奖。

魏清伟和邓超冰共同完成创新点 1、4 中包括广西龙江镉污染事件在内的多个突发事故应急处理处置工程，共同获得 2012 年广西科技进步二等奖《流域水环境突发事件应急处置技术体系研究及其在广西应用》。胡清与吴丰昌、赵晓丽和符志友在创新点 2 开展技术联合攻关，并在福建、贵州和广西等地开展推广应用研究。

党志与吴丰昌均师从涂光炽院士和万国江研究员。廖海清和符志友是吴丰昌的博士研究生，赵晓丽博士毕业于中国科学院生态环境研究中心，与史亚利共同发表文章 10 篇以上，与吴丰昌等合作完成了创新点 1 水体重金属迁移转化规律、吸附解吸机理、创新点 3 的纳米功能新材料和新技术研发和应用。党志与吴丰昌、廖海清和符志友等共同开展技术研发，并在贵州、广西和广东等地开展推广应用工作。