涉重金属污染防治适用技术成果 推荐目录

自治区科技厅 自治区生态环境厅

2025年6月

前 言

为贯彻落实自治区党委、政府关于涉重金属环境风险排查整治工作的部署要求，充分发挥科技创新支撑作用，促进涉重金属环境保护领域科技创新，加快涉重金属环境污染治理和生态修复等适用技术成果的推广应用，加快推动重金属产业全面绿色升级，自治区科技厅与自治区生态环境厅联合组织开展涉重金属污染防治适用技术成果征集和推荐工作，对各单位推荐的技术成果组织专家进行筛选评估，遴选出一批涉重金属污染防治适用技术成果，编制形成《涉重金属污染防治适用技术成果推荐目录》。入选适用技术成果均通过工程示范或用户使用等方式得到应用，具备推广前景。

为便于使用者查阅和掌握整体情况，本推荐目录包括废弃矿硐、废弃矿山、尾矿库、历史遗留固体废物等方面的防治技术成果，并重点介绍技术名称、应用范围及领域、技术成熟度、成果介绍、成果单位、技术负责人及联系方式等信息。

任何单位或个人使用本推荐目录所列技术，请认真研究分析该技术成果在相关应用中的适用性，并根据《中华人民共和国民法典》等国家现行法律法规，与技术成果提供方约定双方权利与义务，在技术成果交易和使用中严格履行供需双方的责任与义务。

目 录

第一部分 废弃矿硐涌水防治技术成果	4
(一) 有色金属矿区地下水污染防控技术	4
(二) 矿硐涌水源头阻断技术	4
(三) 高硫矿区地下水污染协同治理技术	5
第二部分 废弃矿山淋溶水重金属防治技术成果	7
(四) 珠三角典型产业集群区土壤与地下水协同修复技术	7
(五) 高效纤维植物巨芦修复重金属污染土壤技术	7
(六) 废弃矿山重金属污染水体综合治理技术	8
第三部分 尾矿库渗滤液防治技术成果	10
(七) 场地污染快速处置技术	10
(八) 尾矿库理—化—生协同重金属原位稳定阻隔技术	10
(九) 地下水污染原位阻隔—净化协同修复技术	12
(十) 尾矿库地表—地下双维协同防控与修复技术	12
(十一) 固废堆场及渗水复合重金属污染原位生物修复技术	14
第四部分 历史遗留固体废物防治技术成果	15
(十二) 场地土壤多金属污染长效稳定修复功能材料	15
(十三) 场地土壤酸根态重金属钝化新型功能材料	16
(十四) 场地土壤阳离子态重金属活性钝化新型功能材料	17
(十五) 矿区及周边场地砷污染扩散阻控与修复技术	18

(十六) 有色金属采选冶聚集区遗留污染场地生物修复技术.....	19
(十七) 西南有色金属选冶渣场影响区污染修复技术.....	20
(十八) 锑矿区锑砷污染源阻断及生态治理技术.....	22
(十九) 西南金属采选场地及周边土壤污染防控与治理技术.....	23
(二十) 中南有色金属冶炼场地综合防控及再开发安全利用技术	24
(二十一) 中南有色冶炼场地土壤—地下水协同修复技术.....	25
(二十二) 铜冶炼危废源头减量及全过程控制技术.....	26
(二十三) 南方水质敏感区域采选冶固废安全处置利用技术.....	27
(二十四) “一带一路”有色金属产业聚集区固废综合利用技术..	27
(二十五) 锌冶炼过程危废源头减量关键技术.....	29
(二十六) 铜铅锌综合冶炼基地多源固废协同利用技术.....	30
(二十七) 复杂铅基多金属固废协同冶炼技术.....	31
(二十八) 镍钴/钨/锑战略金属冶金固废清洁提取与无害化技术	32
(二十九) 微纳高效还原功能材料规模化制备关键技术.....	33
(三十) 重金属复合污染土壤长效超稳成矿化材料制备技术.....	34
(三十一) 低品位碳酸锰矿锰渣全过程控制与资源化利用技术..	35
(三十二) 铜电解精炼含砷危废源头减量与分质梯级利用微观化学 过程数字化技术.....	36
(三十三) 铅液态熔渣有价金属分离与污染控制技术.....	36
(三十四) 锑矿区遗留固废重金属污染梯度阻隔拦截技术.....	37
(三十五) 硅钙基生物矿化材料.....	38
(三十六) 固废基阻控材料.....	39
(三十七) 纳米陶瓷材料.....	40

第五部分 其他技术成果	42
(三十八) 污染场地土壤—地下水重金属迁移扩散与预测模型 ..	42
(三十九) 重金属光/电协同原位一体化便携式检测装备	43
(四十) 场地土壤重金属现场快速检测技术与智能设备	44
(四十一) 区域土壤重金属污染的环境效应和风险管控技术	44
(四十二) 区域重金属污染全过程精准识别与通量评估技术	45
(四十三) 新改扩建工矿用地污染防治与信息化监管技术	46
(四十四) 场地土壤与地下水污染综合治理技术	47
(四十五) 湿法炼锌铁渣临界微流控源头减量与重金属分离技术 ..	47
(四十六) 选矿废水可控氧化协同处理技术	48

第一部分 废弃矿硐涌水防治技术成果

（一）有色金属矿区地下水污染防控技术

1. 技术名称：

有色金属矿区地下水污染防控技术

2. 应用范围及领域：

适用于有色金属矿区地下水污染防控。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

针对矿区地下水污染通道看不清、污染防不住和管控做不实三大挑战，形成了多尺度水力通道探测与优势通道示踪技术与方法，构建了矿区重金属污染多维运移传输耦合模型，研发了重金属污染阻断材料，对地下水重金属污染源负荷削减达 85%以上，研发了地下水污染动力截获与径流阻断技术、补给区重金属污染源控制关键技术，形成了有色金属矿区地下水污染全过程防控技术方案及管理模式，在我国华南、西南、华北典型有色金属矿区进行了成套化工程应用示范。

5. 成果单位：中山大学

6. 技术负责人及联系方式：王诗忠 18666091213

（二）矿硐涌水源头阻断技术

1. 技术名称：

矿洞涌水源头阻断技术

2. 应用范围及领域:

适用于矿洞涌水源头阻断。

3. 技术成熟度:

完全成熟，可直接转化应用。

4. 成果介绍:

针对矿洞酸性废水，通过利用地质雷达、高密度电法等物探技术精准识别涌水来源与排泄路径，科学设计关键位置水闸墙。在四川广元、广安、阆中、泸州以及广东清远等地区参与完成废弃矿山地下水污染治理项目超 30 个，其中，煤矿、硫铁矿、粘土矿以及铅锌矿等废弃矿山地下水污染治理项目 16 个，具体有四川广元的振华矿业、况家坪硫铁矿、长沟里煤矿、民主硫铁矿、两河口镇钒矿，四川泸州叙永县落卜镇硫铁矿以及广东清远的水龙尾铅锌矿等，广东省清远市佛冈县水头镇水龙尾铅锌矿矿山开采区防渗改造及废弃矿井封井回填项目为全国首批地下水污染防治试点项目之一。

5. 成果单位: 四川恒泰环境技术有限责任公司

6. 技术负责人及联系方式: 张宇 13808079820

(三) 高硫矿区地下水污染协同治理技术

1. 技术名称:

高硫矿区地下水污染协同治理技术

2. 应用范围及领域:

适用于高硫矿区地下水污染协同治理。

3. 技术成熟度:

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍:

针对高硫矿区酸性矿坑水生态环境问题，研发了石灰石转筒中和处理装置及工艺，中试效果良好（中试日处理水量 12.6 吨，吨水成本 2.5 元，锌、铁去除率 > 95%），结合安徽铜陵天马山硫金矿巷道涌水点，利用注浆堵水、钻孔疏水等方法，开展了混合井-210 - -300 m 段的井壁涌水治理，注浆范围内井筒渗漏水量降低 80-90%，井壁无明显漏水点，注浆段无淋水洒入井筒。

5. 成果单位: 南京大学

6. 技术负责人及联系方式: 吴剑锋 13921444868

第二部分 废弃矿山淋溶水重金属防治技术成果

（四）珠三角典型产业集群区土壤与地下水协同修复技术

1. 技术名称：

珠三角典型产业集群区土壤与地下水协同修复技术

2. 应用范围及领域：

适用于珠三角产业集群区土壤与地下水协同修复。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

针对典型村镇级产业集群区污染问题，以“精准+协同”为思路，建立了特征污染物准确识别、溯源和风险筛查方法，研发了6种绿色高效协同消减材料，实现典型重金属活性或总量消减效率 $\geq 75\%$ ，多相态有机污染物去除效率 $\geq 80\%$ ，重金属-有机复合污染协同消减效率 $\geq 70\%$ ，修复后污染地块安全利用率大于95%，在深圳松岗电镀产业集群区内完成示范工程，为保障区域社会经济高质量发展和人民群众高品质生活提供科技支撑。

5. 成果单位：生态环境部华南环境科学研究所

6. 技术负责人及联系方式：叶权运 17688440864

（五）高效纤维植物巨芦修复重金属污染土壤技术

1. 技术名称：

高效纤维植物巨芦修复重金属污染土壤技术

2. 应用范围及领域:

适用于矿山土壤重金属污染治理和矿井水和污酸废水处理。

3. 技术成熟度:

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍:

针对矿山水/土重金属污染问题，研发了新型重金属螯合吸附纤维材料，用于对矿井水和污酸废水的高效处理。构建了巨芦—内生真菌复合体系，用于镉、铅、砷等重金属污染农田土壤的治理修复，形成了重金属污染土壤田间巨芦种植修复与生产管理技术。与其他重金属污染土壤治理修复技术相比，具有低成本、高效率 and 可持续性等优势，为广西乃至全国镉、铅、砷等重金属污染土壤的治理修复提供技术支撑。

5. 成果单位: 植物研究所

6. 技术负责人及联系方式: 蒲高忠 15307737928

(六) 废弃矿山重金属污染水体综合治理技术

1. 技术名称:

废弃矿山重金属污染水体综合治理技术

2. 应用范围及领域:

适用于由废弃矿山废渣尾矿堆淋溶形成的重金属（砷、汞、铬、镉、铜、铅、铊等）污染水体治理修复。

3. 技术成熟度:

完全成熟，可直接转化应用。

4. 成果介绍:

针对矿山尾矿废渣淋溶水重金属污染问题,采用纳米陶瓷材料作为新型核心修复材料,通过提供废渣堆重金属局部注浆内部消减、内部循环滤吸、地表(下)水重金属滤吸及采坑重金属滤吸等技术,实现对废弃矿山废渣淋溶水重金属污染治理。本技术在陕西省安康市紫阳县某矿产开发伴生硫铁矿酸性水治理工程、广西贺州市某重金属污染矿区修复项目、陕西省凤县银洞梁某铅锌矿重金属污染矿区修复示范工程等项目中得到应用,取得良好应用效果。

5. 成果单位: 中地宝联(北京)国土资源勘查技术开发集团有限公司

6. 技术负责人及联系方式: 董桂海 13371661433

第三部分 尾矿库渗滤液防治技术成果

(七) 场地污染快速处置技术

1. 技术名称:

场地污染快速处置技术

2. 应用范围及领域:

适用于场地污染的快速处置。

3. 技术成熟度:

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍:

针对突发性污染事故场地应急处置、工业集聚区分散点状污染场地快速处置的需求，开发了场地污染物迁移的快速高效预测方法，迁移预测计算效率提高 50% 以上，场地渗透率预测速度 < 1h。研发了涵盖水基泡沫剂表面阻控、生物炭基、聚醚多元醇基、土体固化防渗和膨润土系 5 类强相容性绿色高效应急阻控材料，实现了典型异味化学物质（硫醇、硫醚类有机物）、重金属（铬、镉等）不同类型污染物的绿色高效应急防控，阻隔性能提升 30% 以上、阻隔材料成型时间降至 24h。成果应用于苏州市虎丘电镀厂点状铬污染场地，示范规模约 1500m³。

5. 成果单位: 江苏省环境科学研究院

6. 技术负责人及联系方式: 李梦雅 19509991689

(八) 尾矿库理—化—生协同重金属原位稳定阻隔技术

1. 技术名称:

尾矿库理—化—生协同重金属原位稳定阻隔技术

2. 应用范围及领域:

适用于不规范设计尾矿库闭库的重金属污染阻断和生态恢复。

3. 技术成熟度:

基本成熟，经过示范工程验证，可在企业推广应用。

4. 成果介绍:

针对不规范设计尾矿库易导致重金属污染物扩散问题。本技术通过物理覆盖导排、化学钝化和植物稳定等综合措施控制尾矿库重金属污染物扩散。物理覆盖导排减少尾矿库水蚀风险，可减少尾矿库渗滤液的产生。化学钝化利用靶向设计的钝化剂吸附—沉淀—矿化游离态重金属减少金属离子的迁移性。植物稳定通过快速建立植被覆盖，激发根际微生物矿化活动，并与物理化学覆盖层形成稳定阻隔层，进一步固定和拦截尾矿中的重金属污染物。该技术可有效减少尾矿中重金属随水蚀和风蚀的迁移，在实现重金属长效固定的同时恢复尾矿库生态系统的服务功能。治理效果和生态效益已经过第三方长期监测的验证。该技术已成功应用于阳朔兴坪铅锌矿尾矿库的重金属治理和生态恢复。工程实施1年后，植被覆盖率达90%以上，周边大气降尘减少70%。连续8年监测尾矿库尾水，悬浮物、Pb、Zn、Cd和As等指标均达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III类标准限值。该技术为不规范设计尾矿库的重金属污染防治提供低扰动、低成本、绿色低碳解决方案。

5. 成果单位：桂林理工大学

6. 技术负责人及联系方式：刘杰 15877035310

(九) 地下水污染原位阻隔—净化协同修复技术

1. 技术名称：

地下水污染原位阻隔—净化协同修复技术

2. 应用范围及领域：

适用于尾矿库、渣库等地下水污染原位阻隔-净化协同修复。

3. 技术成熟度：

基本成熟，具备推广应用条件。

4. 成果介绍：

针对尾矿库、渣库等污染治理的长期稳定性要求，构建了“物理阻隔—化学净化”协同的原位修复系统。通过阻隔单元（垂直防渗墙/低渗透介质层）构建污染羽水力捕获带，实现污染物运移路径的定向导控与高效截获；并通过可渗透反应墙（PRB）净化单元，在阻隔污染扩散的同时达到地下水水质持续净化目标，在中色钨锡尾矿库区域环境治理工程通过“源控—阻断—修复”模式成功应用该技术构建 203 米复合阻隔系统（隔水帷幕+渗透反应墙），工程于 2023 年 12 月完工后连续监测 5 个月，下游砷浓度稳定达到修复目标，实现原位修复技术的有效性。

5. 成果单位：中国有色桂林矿产地质研究院有限公司

6. 技术负责人及联系方式：林达红 15078346058

(十) 尾矿库地表—地下双维协同防控与修复技术

1. 技术名称：

尾矿库地表—地下双维协同防控与修复技术

2. 应用范围及领域:

适用于尾矿库复合污染的协同防控与修复。

3. 技术成熟度:

达到成熟应用水平，具备规模化推广条件。

4. 成果介绍:

针对尾矿库环境污染治理中地表—地下复合型污染难题—地表污染链（坝体渗滤液、溢流水、淋溶水重金属及有机药剂污染）与地下水污染羽（库底历史未防渗导致的持续性渗漏及污染羽扩散），构建了地上一地下空间协同污染防控体系。地表治理采用梯度式截排水沟收集系统，对尾矿水（坝体渗滤液、溢流水、淋溶水）进行高效收集（收集效率 $\geq 98\%$ ）；地下防控通过垂直防渗帷幕配合抽提井群，阻断污染羽扩散路径，实现地上、地下双重污染阻控，较传统单一处理方式，污染阻断效率提升40%以上。地面废水处理创新集成强化混凝—吸附技术，实现重金属、化学需氧量、氨氮等高效去除。在中色铜锌尾矿库地下水治理工程中，成功构建了地表—地下协同防控体系与污水处理系统，地下水中特征污染物浓度持续降低，区域水质呈持续改善趋势，出水水质稳定达到《地表水环境质量标准》（GB3838-2002）III类标准限值。工程自2024年10月建成投运以来，已连续稳定运行，各项技术参数完整可靠。

5. 成果单位：中国有色桂林矿产地质研究院有限公司

6. 技术负责人及联系方式：林达红 15078346058

(十一)固废堆场及渗水复合重金属污染原位生物修复技术

1. 技术名称:

固废堆场及渗水复合重金属污染原位生物修复技术

2. 应用范围及领域:

适用于固废堆场复合重金属污染原位生物修复。

3. 技术成熟度:

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍:

针对尾矿库、冶炼渣场中重金属迁移、渗水污染问题，开发了基于硫酸盐还原菌、寡营养铁还原菌的重金属污染微生物地球化学原位成矿固化技术，在广西南丹县星鑫尾矿库完成了3万平方米尾矿库重金属污染微生物原位成矿修复示范，修复一年后外渗地下水重金属含量满足《地下水质量标准》(GB/T14848-2017) IV类标准限值。在广西来宾市老渣库遗址修复，修复后3个月内，风险管控区表层土壤渗滤液中的砷、铅、铜、镍等污染指标均达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002) IV类标准限值，岩溶地下水评估指标砷、镉、铅、锌、锑以及六价铬达到《地下水质量标准》(GB/T14848-2017) IV类标准限值，环境、社会、经济效益显著。

5. 成果单位: 有研资源环境技术研究院(北京)有限公司

6. 技术负责人及联系方式: 崔兴兰 18810518169

第四部分 历史遗留固体废物防治技术成果

(十二) 场地土壤多金属污染长效稳定修复功能材料

1. 技术名称:

场地土壤多金属污染长效稳定修复功能材料

2. 应用范围及领域:

适用于场地土壤重金属污染治理。

3. 技术成熟度:

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍:

针对我国场地土壤多金属复合污染治理需求，自主建立了2项微纳尺度多金属原位表征技术，创制了晶格固定、抗侵蚀、抗裂隙、长效缓释的12类稳定化功能材料，稳定化效果提高50%，成本降低30%。在广西柳州（1547.75m²砷镉锑铅污染）、北京首钢（6238.36m²铅钴汞砷污染）、广西河池（7176.37m²砷镉铅锑污染）分别应用3种自主研发生产的稳定化功能材料开展修复，第三方评估显示修复后土壤及地下水多金属稳定化效果达国际同类水平，修复效果达到风险管控标准，相关成果形成《污染地块土壤重金属稳定化效果评估技术规范》等团体标准，具有明确的示范效应和推广价值。

5. 成果单位: 清华大学

6. 技术负责人及联系方式: 侯德义 18548911918

(十三) 场地土壤酸根态重金属钝化新型功能材料

1. 技术名称:

场地土壤酸根态重金属钝化新型功能材料

2. 应用范围及领域:

适用于场地土壤重金属污染治理。

3. 技术成熟度:

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍:

针对我国土壤中砷、铬等酸根态重金属污染突出，现有钝化材料存在长效稳定性不足等问题，研发了 6 种不同应用场景的重金属钝化材料。核壳结构的多孔炭包裹零价铁复合材料实现了对三价砷的长效氧化固定，土壤砷钝化率高于 80%，显著降低了土壤砷的毒性和迁移性。凹凸棒土负载硫改性零价铁修复 Cr(VI) 污染土壤 30 天后，钝化效率为 98.1%，修复材料在湖南常德原湘北电镀厂应用，添加药剂修复 420 天后铬钝化率维持在 96% 以上，砷、锑修复材料在重钢炼铁厂原址地块示范，添加钝化药剂修复 60 天砷稳定化率 93%，实现钝化材料对土壤酸根态重金属污染修复的高效性和长效性。编制了国家标准《场地土壤酸根态重金属钝化长效稳定性评价方法》，形成了“材料研发—生产—应用—评价”全链条技术规范。获中美日专利 13 项，为全国重金属污染场地修复提供了标准化解决方案，推动土壤修复产业升级，助力净土保卫战。

5. 成果单位：中国科学院生态环境研究中心

6. 技术负责人及联系方式：段桂兰 18910760072

(十四) 场地土壤阳离子态重金属活性钝化新型功能材料

1. 技术名称：

场地土壤阳离子态重金属活性钝化新型功能材料

2. 应用范围及领域：

适用于我国场地土壤多金属复合污染治理。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

针对矿冶、电镀和化工等三类典型场地土壤重金属污染特征，研制了 11 种土壤阳离子态重金属活性钝化的新型环境功能材料。优选的磷尾矿材料、工业铁泥材料和生物炭材料对土壤中镉、铅、锌等重金属离子的活性钝化效率整体高于 75%，材料生产成本和修复应用成本低于国际同类型产品 30% 以上，基于项目开发的长效稳定性评估方法，材料对土壤重金属的钝化长效性达 5 年以上。开展了高温活化磷尾矿材料在典型铅锌矿冶场地开展原位修复应用示范和验证，铁泥基磁性颗粒污泥钝化材料在典型电镀厂遗留污染场地开展异位修复应用示范和验证，生物炭材料在典型化工场地开展异位修复应用示范与验证，累计应用示范面积约 5000 平方米，重金属钝化效率整体高于 75%。

5. 成果单位：中国科学院地球化学研究所

6. 技术负责人及联系方式：刘承帅 13828421192

(十五) 矿区及周边场地砷污染扩散阻控与修复技术

1. 技术名称:

矿区及周边场地砷污染扩散阻控与修复技术

2. 应用范围及领域:

适用于场地土壤重金属污染治理。

3. 技术成熟度:

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍:

针对我国矿区及周边场地砷的稳定化阻控与拦截难的问题，研发了土壤砷及伴生重金属的硅铝基、铁基、生物炭及稳定化材料和微生物菌剂，以及基于水生植物和拦截墙的低成本长效地表径流砷及伴生污染物拦截技术。研制了适合浅层污染土壤原位修复的移动式稳定化药剂与土壤强化混合修复装备以及适合深层污染土壤修复的原位搅拌注药修复装备。利用研发的技术、材料和装备，在河池锡多金属矿区砷污染土水协同治理示范工程中，形成了“土壤原位稳定化+生态拦截带阻控+可渗透反应墙吸附拦截+生物促沉”土水协同治理的阻控—稳定—修复集成技术体系，示范区面积达到 54.86 亩，修复后场地内土壤砷的生物有效性（BCR 法）降低率为 87.02%。示范工程实施后场地内地表径流中重金属 As、Sb 和 Pb 的拦截率分别达 94.95%、89.79%和 89.63%以上。结合示范工程的修复效果，编制了《有色金属矿区砷及伴生重金属污染场地修复技术规范》和《有色金属矿区及周边场地

砷污染综合防治技术方案》，形成可推广、可复制的集成技术模式，为我国矿区砷污染土壤修复提供理论与技术指导。

5. 成果单位：大连理工大学

6. 技术负责人及联系方式：王少锋 13478383662

(十六)有色金属采选冶聚集区遗留污染场地生物修复技术

1. 技术名称：

有色金属采选冶聚集区遗留污染场地生物修复技术

2. 应用范围及领域：

适用于矿区污染场地土壤重金属污染治理。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

针对我国矿区污染场地稳定化阻控与拦截难的问题，研发了14种绿色高效生物基、矿物基和复配材料，研制了适用于复杂地形的直推钻进一喷/注一体化装备，研发了复合污染场地重金属原位矿化技术、有机选冶药剂高效降解技术和快速生态修复技术，在广东韶关、广西河池/贺州、贵州铜仁、湖北黄石等国家土壤污染综合防治先行区开展多场景生态修复技术工程示范，共计建设示范点5个，总修复面积210亩；技术辐射同类型修复工程5个，总修复面积1154亩，并在《广西南丹大厂矿区恒峰冶炼厂重金属污染场地综合治理项目》《富川瑶族自治县砒霜厂旧址污染场地风险管控项目》《冷水江市锡矿山地区回风坳片区废

渣综合整治工程》《福建省中节能电镀集控园区场地治理修复工程》《新晃县废弃矸石矿区及周边土地综合整治工程》《东安县金江流域环境综合治理工程》《花垣县文华锰业有限责任公司尾矿库和华东锰业有限公司尾矿库环境污染治理工程》等项目中得到应用，经济、社会和环境效益显著。

5. 成果单位：中山大学

6. 技术负责人及联系方式：汤叶涛 13822258209

（十七）西南有色金属选冶渣场影响区污染修复技术

1. 技术名称：

西南有色金属选冶渣场影响区污染修复技术

2. 应用范围及领域：

适用于选冶渣场重金属复合污染治理。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

针对西南有色金属选冶渣场地重金属复合污染问题，聚焦广西典型岩溶丘陵地貌、云南典型湿热岭谷、四川干热河谷及贵州丘峰岩溶洼谷多金属复合污染场景，研发了钢铁冶金、煤电固废协同有色金属选冶渣制备而成的污染场地修复固化材料，钢铁—煤电—有色金属选冶渣和垃圾焚烧飞灰—钢铁—煤电—有色金属选冶渣体系，降低重金属输出通量 92%和 CO₂ 排放 90%以上，污染物固化率 > 97%，安全利用率达 100%。成本降低 75%以上。

研发了本土化天然矿物—改性膨润土等+大宗固废—脱硫石膏等协同+土工膜覆盖的选冶渣堆功能化多元阻隔防渗材料技术。抗击穿能力强，底部监测点的浓度达到泄漏初始浓度的 3%、10%、50%、100%分别需要 18.6 年、22.2 年、32.7 年、82 年。研发了选冶渣场失稳等造成突发环境事件下的污染源快速固化材料，其中高溶胀高强自修复吸水高分子有机快速固化材料，可实现对泥沙浆的 60 倍固水能力，秒级固水速度，无破溶，自修复抗冲刷，在吸水止缓堵漏方面实现快速膨胀、以水堵水和动态堵水。钢渣—粉煤灰等钢铁—煤电全固废胶凝快速固化材料，具备 3—5 分钟快速固化和 10 倍以上固水能力，可实现污染源流动性快速止缓阻断，并可用于应急阻隔墙修建。研发了新型可渗透反应墙技术——水土共治技术、低流量地表或地下水的原位净化及阻隔的长效 PRB 工程化技术，协同利用大块钢渣、脱硫石膏压球等固废的复盐效应，模拟可实现达 33 年的长效原位阻隔与净化。经示范工程的一年净化，砷和铅锌等主要重金属污染物的去除率高达 95%。技术成果已成功推广应用于国家土壤污染防治先行区建设，如云南个旧关停选冶生态建设场地生态恢复示范工程、个旧市八抱树、老虎山工业片区、安徽尖山湖矿冶微生物原位复绿项目等，支撑了广西历史遗留砷渣场、云南个旧铅锌渣场、四川会理铜渣场等重大修复工程。累计治理污染场地面积超 50 万平方公里，累计消减固废材料 1700 万方，削减重金属迁移量 75% 以上，土壤安全利用率提升至 95%。其中，四川会理铜选冶渣场示

范工程，第一个与国际接轨全防渗渣库；获得了四川省最优治理渣场奖，代表我国铜选冶渣场全防渗最高水平。

5. 成果单位：中国地质大学（北京）

6. 技术负责人及联系方式：姚俊 18701647928

（十八）锑矿区锑砷污染源阻断及生态治理技术

1. 技术名称：

锑矿区锑砷污染源阻断及生态治理技术

2. 应用范围及领域：

适用于锑矿区土壤重金属污染治理。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

针对锑矿区场地高风险锑砷污染土壤/矿渣/冶炼渣，研发了高风险锑砷污染土壤/固废做骨料的全固废基阻控材料并集成竖向阻隔技术，同步实现锑砷土壤/固废的规模化利用与稳定阻控。针对中低风险区域，研发了系列新型锑砷靶向阻控材料。通过集成锑矿区土壤锑砷污染梯度阻隔拦截技术、原位稳定化技术、重污染土壤生物淋洗—淋洗液净化技术、锑矿生态破坏区立体生态修复技术，在广西、贵州、甘肃 3 个典型锑矿区开展工程示范验证，总面积 12000m²，实现矿区周边土壤锑砷输入量降低 40% 以上，锑污染削减 90% 以上（重污染土壤淋洗），与国内外同类技术体系相比成本低、易操作、可持续性强，具备了在不同锑矿区

场地大规模推广应用的潜力，为锑矿区污染精准修复提供重要技术支撑。同时形成并发布了系列团体标准，填补了我国在锑矿区土壤修复标准领域的空白，为同类矿区的修复提供了规范指导，实现了场地的安全利用。

5. 成果单位： 中国环境科学研究院

6. 技术负责人及联系方式： 侯红 13611347318

(十九)西南金属采选场地及周边土壤污染防控与治理技术

1. 技术名称：

西南金属采选场地及周边土壤污染防控与治理技术

2. 应用范围及领域：

适用于采选场地及周边土壤重金属污染治理。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

针对我国西南不同区域典型的多金属采选矿区，研发了源头—过程—末端一体化治理技术和生物质热解加速风化成土技术，在广西河池市南丹铅锌矿区和金城江废弃选厂区进行应用示范。生物质热解加速风化成土技术在云南楚雄州干热河谷区荒山及采选废弃地对土壤基质进行改良，已建成基地面积 1.1 万亩，正在实施 10 万亩。来利山矿区历史遗留尾矿废渣管控，累计处置矿业固废超 12.6 万 m³、建设尾矿（堆）覆盖层 4.98 万 m²及场地植被覆盖率达 90%。

5. 成果单位：中国科学院南京土壤研究所

6. 技术负责人及联系方式：李柱 13813950519

(二十)中南有色金属冶炼场地综合防控及再开发安全利用技术

1. 技术名称：

中南有色金属冶炼场地综合防控及再开发安全利用技术

2. 应用范围及领域：

适用于有色金属冶炼场地的综合防控和再开发安全利用。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

针对污染面积大、风险较低的冶炼场地及周边土壤，研发了原位生物固定技术、原位钝化与生物固定协同修复技术以及相应的修复材料和设备。针对污染较重、风险较高、需要快速开发利用的冶炼场地，研发了土壤重金属异位快速高效稳定化处理关键技术、绿色长效稳定剂和快速处理智能装备。针对风险高、要求快速开发利用的重污染冶炼场地，研发土壤重金属分级淋洗与深度洗脱分离的修复技术以及相应的修复材料和设备。重金属原位微生物成矿固定效率 $\geq 99\%$ ，异位快速高效稳定化土壤重金属稳定化率 $\geq 90\%$ ，分级淋洗与深度洗脱土壤重金属淋洗去除率 $\geq 90\%$ ，重金属分离去除率 $\geq 90\%$ ，土壤重金属异位快速稳定化处理智能装备处理能力 $\geq 35\text{m}^3/\text{h}$ ，黏性颗粒分级淋洗—涡流深度洗

脱成套装备处理能力 $\geq 30\text{m}^3/\text{h}$ 。在广西完成包括南丹县 50 亩铅锌尾矿库，来宾冶炼厂 120 亩历史铅锌危废遗留渣库原位风险管控项目，北港新材料涉铊在产企业地下水风险管控项目（750 亩）等多个项目，综合示范场地再开发土地安全利用达标率 100%。

5. 成果单位：永清环保股份有限公司、中国地质大学（北京）

6. 技术负责人及联系方式：刘兴宇 13810000849

（二十一）中南有色冶炼场地土壤—地下水协同修复技术

1. 技术名称：

中南有色冶炼场地土壤—地下水协同修复技术

2. 应用范围及领域：

适用于有色冶炼场地水/土协同治理修复。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

针对中南地区冶炼场地土壤—地下水污染协同修复技术需求，研发了冶炼场地地下水重金属污染分级阻控技术、冶炼场地土壤功能修复与生态重构技术和有色冶炼场地土壤—地下水重金属协同修复技术。在河南开展有色冶炼场地土壤多金属同步固化/稳定化修复工程示范，面积超 5 公顷；在湖南铅锌冶炼场地开展土壤—地下水协同修复工程示范，面积超 10 公顷；在河南、广西等铝冶炼场地开展土壤功能重构技术工程示范，面积超 5 公

顷。编制了相关技术规范 6 项，为有色金属工业大宗固体废物规模化消纳与安全利用提供科技支撑。

5. 成果单位：中南大学

6. 技术负责人及联系方式：薛生国 137871484419

(二十二) 铜冶炼危废源头减量及全过程控制技术

1. 技术名称：

铜冶炼危废源头减量及全过程控制技术

2. 应用范围及领域：

适用于铜冶炼危废的源头减量。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

针对铜冶炼砷污染防治的重大需求，发明了“砷危废返料—气态砷挥发—渣相铜砷浮选”的铜熔炼过程砷分离工艺，开发了抗氧化型金属砷制备方法，发明了低毒高密度砷铁合金配重材料制备新方法，集成创新“含砷料渣预处理返料—搭配熔炼高效挥发—砷烟气砷物相调控聚沉回收—粗三氧化二砷资源化利用”新工艺。在山东恒邦冶炼股份有限公司建立了 10 万吨/年铜冶炼砷危废源头减量及全过程控制示范工程，年处理高砷精矿 8000 吨以上、硫化砷渣等砷危废 6000 吨以上，年减排砷超 1 万吨。在国投金诚冶金有限责任公司推广，年处理高砷精矿 1.5 万吨以上、硫化砷渣等含砷危废 4000 吨以上，为铜冶炼过程含砷固废的治理与资源化利用提供技术支撑。

5. 成果单位：中南大学

6. 技术负责人及联系方式：唐崇俭 17775754257

(二十三)南方水质敏感区域采选冶固废安全处置利用技术

1. 技术名称：

南方水质敏感区域采选冶固废安全处置利用技术

2. 应用范围及领域：

适用于南方采选冶固废的安全处置利用。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

针对南方水质敏感区域采选冶固废处置及污染控制的迫切需求，研发了冶炼污酸渣矿相分离与资源化利用技术和铅砷镉多金属复杂固废协同胶凝安全处置技术，实现了污酸渣中脉石相与重金属矿相分离率在 93.5% 以上，终渣浸出毒性达到一般工业固废鉴别标准。在湖南柿竹园有色金属有限责任公司建成了 50 万吨/年钨尾矿钨锡回收、5000 吨/年萤石尾矿萤石回收、50 万吨/年尾矿产压滤脱水、10 万吨/年尾矿生产胶凝材料 4 项工程示范。集成形成了污酸渣矿相分离—富氧熔炼资源化利用技术，并建成了 5000t/a 规模的示范工程。

5. 成果单位：中南大学

6. 技术负责人及联系方式：颜旭 13574198657

(二十四)“一带一路”有色金属产业聚集区固废综合利用技术

1. 技术名称:

“一带一路”有色金属产业聚集区固废综合利用技术

2. 应用范围及领域:

适用于“一带一路”有色金属产业聚集区固废的综合利用。

3. 技术成熟度:

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍:

针对锡铅锌冶炼渣、污酸石膏渣等危险废物的资源化利用技术瓶颈，研发了锡尾矿复合力场综合回收与无害化充填关键技术、锡精炼渣减量与高值化利用真空冶金关键技术、污酸/酸泥的外场定向除杂与回用关键技术和铝冶炼危废渣的多场协同处置与全组分利用技术，实现锡作业回收率 99.40%、钨作业回收率 81.26%、铋作业回收率 79.42%，砷铝渣减量可达 100%，硫渣利用率为 99.24%，石膏渣减排 100%，汞脱除率 99%以上，铝灰综合回收率达到 99.9%。其中“定向还原—真空挥发”处理锡精炼除锑砷渣技术在云南锡业集团（控股）有限责任公司建成了 3000 吨/年除锑砷渣真空冶金源头减量工程示范线，助力其创造世界锡冶金五个之最；在广西华锡等国内 10 家企业应用，年带动行业减排砷铝渣 3000 吨以上。“常压硫化—真空挥发”处理锡精炼除铜渣在昆明鼎邦科技股份有限公司建成年产 300 吨硫化亚锡生产线，为“无废城市”建设提供了可复制的技术模式，成果已推广至哈萨克斯坦等“一带一路”沿线国家，支撑了我国有色金属行业的绿色低碳转型。

5. 成果单位：昆明理工大学

6. 技术负责人及联系方式：夏洪应 13388843165

(二十五) 锌冶炼过程危废源头减量关键技术

1. 技术名称：

锌冶炼过程危废源头减量关键技术

2. 应用范围及领域：

适用于锌冶炼危废的源头减量。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

针对锌冶炼过程产生的主要危废，研发了锌精矿高效同步浸出源头减量关键技术、铁高温诱导矿化及资源化利用技术、可视化针铁矿法及铁资源化利用技术、镉渣源头减量与梯级利用技术、铁矾渣/铅银渣源头消减关键技术，相较于传统加压浸出，实现浸出渣率降低 24.34%；砷沉淀率 95%以上，产出高品质的赤铁矿含铁高于 58%，含砷低于 0.01%；针铁矿渣源头减排量 $\geq 98\%$ ；钴沉淀 98.68%，镍沉淀 99.74%，镉沉淀率 99.13%；铁渣源头减排量 $\geq 98\%$ 。在云锡文山锌铟冶炼有限公司建成与 10 万吨锌/年规模相匹配的湿法炼锌赤铁矿法除铁示范工程，在中金岭南丹霞冶炼厂净化除铁车间建成与 10 万吨锌/年规模相匹配的可视化针铁矿法铁渣源头减排示范工程，在深圳市中金岭南有色金属股份有限公司建成了与 10 万吨锌相匹配的镉渣源头减排与

梯级利用的工程示范，在巴彦淖尔紫金有色金属有限公司建成与20万吨锌/年规模相匹配的铁矾渣/铅银渣源头消减示范工程，全面提升了我国锌冶炼技术与装备水平，树立了国内锌冶炼过程危废源头减排、节能环保的新标杆，促进我国锌冶炼科技进步与企业创新，增强了我国锌冶炼企业参与国内外锌冶炼的国际竞争力，对于促进锌冶炼节能环保、新材料产业和绿色能源产业可持续发展具有重要意义。

5. 成果单位：北京矿冶科技集团有限公司

6. 技术负责人及联系方式：刘全民 13651101104

（二十六）铜铅锌综合冶炼基地多源固废协同利用技术

1. 技术名称：

铜铅锌综合冶炼基地多源固废协同利用技术

2. 应用范围及领域：

适用于铜铅锌综合冶炼基地多源固废的协同利用。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

针对已建成的综合基地存在对冶炼固废中敏感元素迁移规律、资源环境属性认知不够清晰等问题，开发了硫酸铅渣与铅精矿协同底吹熔炼技术、铜铅锌冶炼渣还原提铁基综合利用技术、铜熔炼渣贫化过程气氛和物理场调控、白烟尘高效选择性分离预处理、基于炉内气氛控制的污酸渣源头减量等关键技术，实现了

硫酸铅渣配入比例达到 14.29%，铅回收率 98.06%；铅锌回收率分别为 91.09%和 92.63%，铁综合利用率 81.69%；90%以上的回用水率，污酸渣 100%消除；As 回收利用率大于 90%，产品纯度 99.57%。建设了搭配处理 2 万吨/年以上硫酸铅渣的底吹熔炼工艺示范工程、30 万吨/年锌浸出渣还原提铁示范工程和年消除 1.5 万吨污酸中和渣示范工程。该成果应用于湖南省衡阳市水口山基地 50 万吨/年铜铅锌冶炼生产线的示范工程建设，为铜铅锌冶炼固废绿色高质循环利用提供监管技术和管理模式的创新，促进铜铅锌冶炼行业资源环境监管能力的大幅度提升，有效降低冶炼固废及其资源转化过程的生态环境风险，有力推动有色行业绿色发展的转型升级。

5. 成果单位：株洲冶炼集团股份有限公司

6. 技术负责人及联系方式：林文军 13467736386

（二十七）复杂铅基多金属固废协同冶炼技术

1. 技术名称：

复杂铅基多金属固废协同冶炼技术

2. 应用范围及领域：

适用于铅基多金属固废的协同冶炼。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

针对我国铅基固废处置过程中环境污染严重、技术经济指标

落后等问题，研发了原生矿协同多形态铅基固废冶炼技术、含锌铅基固废还原熔炼—连续烟化技术，实现残渣 100%无害化处理，尾气 SO₂ 排放浓度平均值降至 3.43mg/Nm³，NO_x 排放浓度平均值降至 6.31mg/Nm³，颗粒物排放浓度平均值降至 0.91mg/Nm³。在河南豫光金铅股份有限公司建立了示范工程，年可利用含铅固废 20 万吨，累计利用铅基固废 80 万吨以上。成果推广至灵宝市新凌铅业多金属综合利用提升改造项目、青海西豫多金属资源综合循环利用项目等，为破解铅锌行业“小散乱”污染困局提供系统性解决方案，支撑铅产业绿色低碳循环发展。

5. 成果单位：中国恩菲工程技术有限公司

6. 技术负责人及联系方式：李兵 15001125427

(二十八)镍钴/钨/铋战略金属冶金固废清洁提取与无害化技术

1. 技术名称：

镍钴/钨/铋战略金属冶金固废清洁提取与无害化技术

2. 应用范围及领域：

适用于镍钴/钨/铋战略金属冶金固废的清洁提取与无害化。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

针对冶金固废有价有害组份分离富集、固体废物相定向重构与稳定化调控等问题，研发了红土镍矿冶金渣梯级资源化关键技

术、硫基镍钴渣多组份深度分离提取关键技术、钨渣分类解毒与有价元素协同富集关键技术、锑砷碱渣锑、砷、碱梯级分离回收关键技术，实现了硫酸盐渣源头/过程减量率>90%，镍钴回收率为 97.02%，多元渣处置率为 100%；镍钴铜回收率>96%，余酸循环利用率 100%，尾渣资源化利用率 100%；砷分离效率 > 70%，含砷烟尘处理后毒性浸出砷浓度 < 5mg/L，尾渣无害化率 100% 金属砷回收率>95%，砷总开路率>92%，建立了千吨级/年红土镍矿硫酸盐渣源头/过程减量工程示范线、万吨级/年硫基镍钴渣资源化利用工程示范、万吨级/年钨碱煮渣资源化利用工程示范、万吨级/年锑精炼砷碱渣资源化利用工程示范，为战略金属冶金行业绿色转型提供系统性解决方案。

5. 成果单位：锡矿山闪星锑业有限责任公司

6. 技术负责人及联系方式：王亲猛 13574812541

（二十九）微纳高效还原功能材料规模化制备关键技术

1. 技术名称：

微纳高效还原功能材料规模化制备关键技术

2. 应用范围及领域：

适用于铬污染场地土壤修复。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

针对微纳高效还原功能材料规模化生产与工程化应用面临

的科学问题和技术瓶颈，研发了微纳铁基还原材料表面稳定化及其机械力化学制备技术，构建了低成本短程宏量制备的微纳颗粒剪切磨成套装备，在宁波奉化某工业园区六价铬污染场地土壤修复示范，采用六价铬还原—洗脱修复技术，完成了 3966.6 吨六价铬污染土壤处置，修复后土壤中六价铬浓度满足修复目标 ($<5.7\text{mg/kg}$)。

5. 成果单位：浙江大学

6. 技术负责人及联系方式：周文军 13575719628

(三十)重金属复合污染土壤长效超稳成矿化材料制备技术

1. 技术名称：

重金属复合污染土壤长效超稳成矿化材料制备技术

2. 应用范围及领域：

适用于场地土壤重金属污染的综合治理。

3. 技术成熟度：

基本成熟，正在开展应用示范。

4. 成果介绍：

针对单一材料难以实现铅镉砷阴阳离子同步修复问题，研发了铁羟基材料、活性凹凸棒材料和硅钙铁基长效矿化材料，因地制宜生产多组分功能协同的复合矿化材料，具有高效（快速反应 $<7\text{d}$ ）、长效（Cd 稳定化率 $>95\%$ ，Pb、As 稳定化率 $>85\%$ ）、安全（稳定长效 >3 年）的特点，在广东冶炼厂和湖南省浏阳市焦溪镇污染农田完成示范。

5. 成果单位：中钢集团马鞍山矿山研究总院股份有限公司

6. 技术负责人及联系方式：李书钦 18955556829

（三十一）低品位碳酸锰矿锰渣全过程控制与资源化利用技术

1. 技术名称：

低品位碳酸锰矿锰渣全过程控制与资源化利用技术

2. 应用范围及领域：

适用于低品位碳酸锰矿锰渣的资源化利用。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

针对锰渣的减量与资源化无害化需求，研发了低品位锰矿石高效抛废与提锰降杂技术、多源锰矿协同利用精细除杂制备高纯硫酸锰技术和电解锰渣复盐解耦与全组元梯次利用技术，实现了锰矿石品位提高 5 个百分点以上，选矿回收率 > 80%，废渣源头减量 20% 以上；形成锰渣重金属湿法分离技术，锌、钴、镍回收率 > 90%；锰渣复盐转化率 > 95%，铵盐回收率 > 90%，铁、锰回收利用率超过 90%；开发了 3—5 种建筑材料、土壤改良剂等无害化锰渣资源化利用产品，消纳能力达到 20 万吨/年以上，建成了 10 万吨级低品位锰矿干湿选矿、5 万吨/年高纯硫酸锰、10 万吨级无害化资源化处置利用等示范工程。

5. 成果单位：长沙矿冶研究院有限责任公司

6. 技术负责人及联系方式：廖乾 13637405341

(三十二)铜电解精炼含砷危废源头减量与分质梯级利用微观化学过程数字化技术

1. 技术名称:

铜电解精炼含砷危废源头减量与分质梯级利用微观化学过程数字化技术

2. 应用范围及领域:

适用于铜电解精炼含砷危废的源头减量与分质梯级利用。

3. 技术成熟度:

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍:

针对铜电解精炼流程产生大量含砷危废，砷无法有效去除而形成的砷污染的问题，研发了铜电解液净化系统三级硫化工艺铜砷定向回收、铜砷原态浓度实时监测技术和液相体系微观化学过程铜砷分离数字调控技术，实现了硫化铜直接回用率 $\geq 60\%$ ，脱铜砷渣削减 $\geq 50\%$ 、处置成本降低 50%以上；液相体系不同价态/形态/相态铜砷实时监测时间达 5—8 秒/物种，相对误差 $\leq 10\%$ ，测定数量不低于 5 种；数字调控技术从数据输入到形成全流程调控方案时间 ≤ 1 秒；砷转化率 $\geq 90\%$ 、金属砷纯度 $\geq 95\%$ ，依托 30 万吨电解铜/年规模生产线建设示范工程。

5. 成果单位: 同济大学

6. 技术负责人及联系方式: 周超 17310952486

(三十三)铅液态熔渣有价金属分离与污染控制技术

1. 技术名称:

铅液态熔渣有价金属分离与污染控制技术

2. 应用范围及领域:

适用于铅液态熔渣有价金属的分离富集。

3. 技术成熟度:

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍:

针对铅冶炼过程还原炉液态熔渣资源/能源利用率低、重金属迁移扩散难控制等问题，研发了铅锌熔渣协同含铂族废料定向捕集与深度富集关键技术、铅液态熔渣铅锌一体化连续还原关键技术、液态高铁渣直接还原提铁关键技术和污染防控及终渣高值化利用关键技术，实现了协同处理过程铂族金属捕集率 $\geq 98\%$ ；一体化炉还原处理后尾渣铅、锌含量分别 $\leq 0.5\%$ 和 $\leq 1.0\%$ ；连续还原铅、锌分离回收率 $\geq 97.5\%$ ，铁回收率 $\geq 80\%$ ；净化烟气中二氧化硫排放浓度 $\leq 80\text{mg}/\text{m}^3$ ，铅及其化合物浓度 $\leq 8\text{mg}/\text{m}^3$ ，建设了10万吨铅/年铅锌—铁一体化连续还原工程示范，支撑了国家重金属污染防控、工业固废综合利用、“无废城市”建设等重大工程，推动了行业绿色转型。

5. 成果单位: 矿冶科技集团有限公司

6. 技术负责人及联系方式: 张学东 18813142836

(三十四) 铋矿区遗留固废重金属污染梯度阻隔拦截技术

1. 技术名称:

锑矿区遗留固废重金属污染梯度阻隔拦截技术

2. 应用范围及领域:

适用于锑矿区遗留固废重金属污染的阻隔拦截。

3. 技术成熟度:

完全成熟，可直接转化应用；主体技术已经在相关企业成功运用。

4. 成果介绍:

针对锑矿区锑等重金属污染物对周边生态系统和人类健康构成严重威胁的问题，研发了以改性硅酸盐矿物、锰渣基生物炭材料、生物负载矿物基阻控材料与生物制剂为协同阻控材料，开发了多层覆盖强还原稳定成矿的表面阻隔技术与柔性竖向阻隔墙技术，实现锑砷复合污染物的长效稳定矿化。利用锑污染土壤、锑选冶固废、矿渣、钢渣等固废协同制备阻隔材料，开发多源固废协同阻控锑砷的硬性阻隔墙，长效阻控含锑固废中复合重金属。集成技术在贵州省晴隆、广西南丹完成技术应用，修复后锑、砷浸出浓度均达到《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV类标准限值，相比化学修复技术，本技术的应用成本降低50%以上。

5. 成果单位：有研资源环境技术研究院（北京）有限公司

6. 技术负责人及联系方式：崔兴兰 18810518169

（三十五）硅钙基生物矿化材料

1. 技术名称:

硅钙基生物矿化材料

2. 应用范围及领域:

适用于场地镉砷污染治理。

3. 技术成熟度:

完全成熟，可直接转化应用；主体技术已经在相关企业成功运用。

4. 成果介绍:

针对镉砷污染场地治理难题，开发了具有高吸附容量且阻控砷功能的铁基硅钙基小球和高负载菌剂的硅钙基生物矿化材料，对镉砷的阻控率超过 80%。材料已应用于贵州晴隆镉矿区的污染治理，修复后镉、砷浸出浓度均达到《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）IV类标准限值。

5. 成果单位: 有研资源环境技术研究院（北京）有限公司

6. 技术负责人及联系方式: 崔兴兰 18810518169

（三十六）固废基阻控材料

1. 技术名称:

固废基阻控材料

2. 应用范围及领域:

适用于污染源头的刚性阻隔。

3. 技术成熟度:

完全成熟，可直接转化应用；主体技术已经在相关企业成功运用。

4. 成果介绍:

本材料秉承“以废治废”的绿色理念，利用锑砷污染土壤、锑选冶固废、矿渣、钢渣等，开发基于硅的四配位同构化效应和复盐效应固化锑砷的固废基阻控材料。本材料应用于广西南丹锑砷污染场地，修复后场地内所有点位均达标，阻隔墙外点位所有重金属含量均低于《地下水质量标准》（GB/T14848-2017）III类标准限值。

5. 成果单位：有研资源环境技术研究院（北京）有限公司

6. 技术负责人及联系方式：崔兴兰 18810518169

（三十七）纳米陶瓷材料

1. 技术名称：

纳米陶瓷材料

2. 应用范围及领域：

适用于矿山、尾矿、废渣堆、场地固体废物等重金属污染水体治理。

3. 技术成熟度：

完全成熟，可直接转化应用。

4. 成果介绍：

以绿色友好天然矿物为原材料制备了具有高比表面多孔纳米陶瓷材料，选择性对各类重金属离子靶向滤吸键合，实现重金属的高效钝化、稳定化，从而降低重金属的活性，有效减少其向环境的迁移富集和二次释放。对砷、汞、铬、镉、铜、铅、铊等目标污染物离子的有效去除容量达到 35—300mg/g 以上。本材料

在陕西省安康市紫阳县某矿产开发伴生硫铁矿酸性水治理工程、广西贺州某重金属污染矿区修复项目、陕西省凤县银洞梁某铅锌矿重金属污染矿区修复示范工程等项目中得到应用，取得良好应用效果。

5. 成果单位：中地宝联（北京）国土资源勘查技术开发集团有限公司

6. 技术负责人及联系方式：董桂海 13371661433

第五部分 其他技术成果

(三十八) 污染场地土壤—地下水重金属迁移扩散与预测模型

1. 技术名称:

污染场地土壤—地下水重金属迁移扩散与预测模型

2. 应用范围及领域:

适用于场地土壤—地下水重金属污染物运移通量的精准预测。

3. 技术成熟度:

该模型已被上海勘察设计研究院等采纳应用。

4. 成果介绍:

针对污染场地重金属反应运移模型的不确定性,构建了重金属运移不确定性量化框架,在参数升尺度基础上开展过程升尺度,对重金属运移参数(孔隙度、弥散度)及过程(溶质转移系数)升尺度,通量预测精度高于90%,升尺度前后污染物通量预测误差控制在10%以内,计算效率提升了30—60倍,有力支撑场地污染物运移通量的精准预测。模型在新沂市佳宇镍业有限公司地块、江苏新沂经济开发区老化工园区地块及上海市嘉宝光明灯头有限公司地块的风险评估和污染修复方案中得到应用。

5. 成果单位: 上海交通大学

6. 技术负责人及联系方式: 楼紫阳 13564381973

(三十九) 重金属光/电协同原位一体化便携式检测装备

1. 技术名称:

重金属光/电协同原位一体化便携式检测装备

2. 应用范围及领域:

适用于场地地下水污染快速筛查检测。

3. 技术成熟度:

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍:

针对地下水重金属分析缺乏原位检测设备，选择复杂地下水环境中典型重金属（汞、镉、铅、砷、铬）的总量及形态（甲基汞、三价砷、六价铬）为检测靶标，研制了支持物联网远程数据传输的多通道并行 ASV（汞、镉、铅、砷和铬总量）和 LIFs（三价砷、六价铬和甲基汞）原位一体化检测装备（设备尺寸为 371.5×300×87.3mm，重量 3.1kg，续航时间 8h），检测响应浓度 $\leq 10\text{ppb}$ （汞 $\leq 5\text{ppb}$ ），响应时间 $\leq 2\text{min}$ ，误差 $\leq 5\%$ ，设备通过了北京市计量检测科学研究院计量检测认证，并成功在采矿、冶炼、电镀等行业污染场地进行了应用示范验证与评估，为场地地下水污染快速筛查、应急处置与精准测量提供有力的技术装备，有力地促进场地污染管控与修复能力的根本提高，降低地下水污染造成的经济损失和社会影响，社会、经济、环境生态效益显著。

5. 成果单位: 中国科学院地球化学研究所

6. 技术负责人及联系方式: 张华 13985191327

(四十) 场地土壤重金属现场快速检测技术与智能设备

1. 技术名称:

场地土壤重金属现场快速检测技术与智能设备

2. 应用范围及领域:

适用于场地土壤重金属的现场快速检测。

3. 技术成熟度:

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍:

针对场地土壤重金属现场快速检测的需求和核心硬件依赖进口的技术瓶颈，研制了场地土壤重金属检测仪，对 Cd、Cr、Pb、As 和 Hg 的检出限分别为 0.26mg/kg、0.22mg/kg、0.19mg/kg、0.15mg/kg 和 0.28mg/kg。在北辰铬渣场地、韶关冶炼厂等示范场地开展示范验证，明确了 XRF 检测影响因素并建立校正模型，填补技术空白，为国家重大污染治理工程提供技术支撑。

5. 成果单位: 国家地质实验测试中心

6. 技术负责人及联系方式: 沈亚婷 13810481738

(四十一) 区域土壤重金属污染的环境效应和风险管控技术

1. 技术名称:

区域土壤重金属污染的环境效应和风险管控技术

2. 应用范围及领域:

适用于区域土壤重金属污染的环境效应和风险管控。

3. 技术成熟度:

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍:

针对区域土壤 Cd、Pb、Hg、Cr、As、Zn 等重金属污染风险，突破了基于土壤重金属总量的常规评估方法，识别了重金属的特异性生物标志物，建立了区域土壤重金属数据库和基于机器学习与地统计融合的区域土壤重金属百米精度的空间分布预测模型，实现县域尺度土壤重金属风险评估与预测。在广东省韶关市的三个典型区域（矿区、工业区和生态保护区）完成应用示范，准确地反映了土壤重金属的真实暴露风险，为矿区土壤重金属污染的精准风险评估提供了重要参考。

5. 成果单位: 中国科学院生态环境研究中心

6. 技术负责人及联系方式: 杜晶晶 13810246926

(四十二)区域重金属污染全过程精准识别与通量评估技术

1. 技术名称:

区域重金属污染全过程精准识别与通量评估技术

2. 应用范围及领域:

适用于区域重金属污染全过程的精准识别与通量评估。

3. 技术成熟度:

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍:

针对制约土壤污染问题突出区域环境质量改善所面临的重金属污染问题，建立了区域重金属污染全过程精准识别与通量评

估技术，形成了土壤重金属污染多介质、跨尺度、全链条智慧监管方案，在项目示范区完成了农用地土壤重金属污染溯源全覆盖，指导和规范农用地土壤重金属污染溯源工作，支撑精准整治农用地土壤污染源，推动土壤环境质量稳中向好。

5. 成果单位：生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心

6. 技术负责人及联系方式：冯瑶 18610176937

（四十三）新改扩建工矿用地污染防控与信息化监管技术

1. 技术名称：

新改扩建工矿用地污染防控与信息化监管技术

2. 应用范围及领域：

适用于新改扩建工矿用地的污染防控与信息化监管。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

针对我国企业用地的时空分布及其污染特征，构建了涵盖重点行业企业、污染场地、敏感受体和暴露途径等关键数据资源的污染场地信息管理数据库，结合场地污染物排放特征、企业分布、政策因素和环境管理水平等多维度信息，运用先进方法模型识别了场地污染形成的主控因子，揭示了全国尺度以及六个典型区域内九大重点行业企业用地和污染场地的风险等级，支撑了全国重点行业企业用地和农用地调查成果集成的风险分析和成因分析。

5. 成果单位：中国科学院地理科学与资源研究所

6. 技术负责人及联系方式：雷梅 13811234359

(四十四) 场地土壤与地下水污染综合治理技术

1. 技术名称：

场地土壤与地下水污染综合治理技术

2. 应用范围及领域：

适用于场地土壤与地下水污染的综合治理。

3. 技术成熟度：

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍：

基于土壤—地下水污染专项的大量成果，创新集成了土壤—地下水污染修复—污染阻控—风险管控综合治理技术，开发了基于大数据技术的智能决策系统平台。在长三角、珠三角、黄河流域开展综合治理技术、材料、装备等集成应用，在山东省桓台马桥化工产业园开展水泥窑协同处置、水平阻隔和垂向阻隔等多项修复治理工程，支撑国家在“十五五”期间对大型复杂场地土壤—地下水污染治理与安全利用的管理需求。

5. 成果单位：浙江大学

6. 技术负责人及联系方式：肖欣 15068801313

(四十五) 湿法炼锌铁渣临界微流控源头减量与重金属分离技术

1. 技术名称：

湿法炼锌铁渣临界微流控源头减量与重金属分离技术

2. 应用范围及领域:

适用于湿法炼锌铁渣重金属的分离。

3. 技术成熟度:

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍:

针对湿法炼锌浸出液磁铁矿可控形成与多金属分离难题，突破了微尺度下酸性浸出液磁铁矿定向转化结晶、铁/多金属矿物表界面调控差异化长大、外场强化磁铁矿与多金属深度分离等关键技术，设计研发了集成装置，完成验证与优化，实现铁渣全量循环利用，推动铁渣向高值化资源转型，助力“无废城市”建设中固废循环经济模式的实现。

5. 成果单位: 中南大学

6. 技术负责人及联系方式: 颜旭 13574198657

(四十六) 选矿废水可控氧化协同处理技术

1. 技术名称:

选矿废水可控氧化协同处理技术

2. 应用范围及领域:

适用于选矿废水可控氧化协同处理。

3. 技术成熟度:

基本成熟，完成应用示范。

4. 成果介绍:

针对选矿废水捕收剂和重金属难以同步高效低能耗去除的难题，构建了可控氧化选矿药剂协同处理重金属新技术，实现选矿废水全部回用。在南丹锡铅锑锌多金属矿选厂建立了日处理 1.28 万 m³选矿废水回用项目，运行成本 0.41 元/吨，年节约费用 357 万元，具备规模化推广条件。该技术获授权发明专利 4 项，省部级奖项 1 项。

5. 成果单位：中国有色桂林矿产地质研究院有限公司

6. 技术负责人及联系方式：林达红 15078346058