

报告编号:

2	0	2	6	4	1	K	X	0	0	0	7
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

科学技术成果评价报告

豫矿协科(评)字(2026)第7号

成果名称: 典型流域重金属重点防控区矿区水环境修复关键技术

成果类型: 技术开发类应用技术成果

完成单位: 河南省地质局生态环境地质服务中心

栾川龙宇钼业有限公司

成都理工大学

生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心

河南省深部探矿工程技术研究中心

河南省矿山环境生态修复工程技术中心

委托评价单位: 河南省地质局生态环境地质服务中心

委托日期: 2026年7月22日

评价形式: 会议形式

评价机构: 河南省矿业协会(盖章)

评价完成日期: 2026年7月24日

中华人民共和国科学技术部

二〇〇九年制

撰写说明

一、撰写本报告之前，应仔细阅读科学技术部《科技成果评价试点暂行办法》和《河南省矿业协会科技成果评价办法》。

二、报告采用A4纸，左右页边距28mm，上下页边距30mm，可分栏。

三、内容打印，签字用钢笔或碳素笔，无需填写处划“/”。

四、报告编号为12位，第1-4位为公历年代号，第5-6位为省、自治区、直辖市编码，第7-8位为矿业协会拼音字母KX，第9-12位为报告序号。省、自治区、直辖市的编码按GB/T2260的规定填写。

五、成果类型：技术开发类、社会公益类、软科学研究成果。

六、评价指标：是指反映评价成果的特征指标。

七、主要文件和技术资料是指评价委托方向评价机构提交的有关文件和技术资料，以及评价机构在评价中的所依据的其他文件、技术资料和标准等。

八、评价机构对其做出的评价结论负责。评价结论属咨询意见，供使用者参考。

成果名称	典型流域重金属重点防控区矿区水环境修复关键技术					
项目来源	针对典型流域重金属污染环境风险这一突出的社会问题，栾川龙宇铝业股份有限公司主动践行企业的社会责任，设置专题科研攻关项目，项目编号：ZB-2024-030，项目经费350万元。通过公开招投标工作，河南省地质局生态环境地质服务中心承担研究任务，以南泥湖钼矿清河流经流域水环境修复为研究对象，组织5家单位采用“产-学-研-用”模式共同实施典型流域重金属重点控制区矿区水环境修复关键技术研究工作。					
起止时间	2023 年 01 月至 2025 年 12 月					
委托方	名称	河南省地质局生态环境地质服务中心				
	地址	河南省郑州市金水路28号				
	负责人	徐 刚	电话	13598827716	传真	0371-86018015
	联系人	王 刚	电话	13608686743	邮编	450053
	电子信箱	sthjdzfwzx@163.com				
评价机构	名称	河南省矿业协会				
	地址	郑州市金水东路16号鑫地大厦三层				
	负责人	冯进城	电话	0371-87520553	传真	/
	联系人	李利彬	电话	18638571506	邮编	/
	电子信箱	hnkybzh@163.com				
委托评价要求方式						
会议方式						
评价基本过程陈述						
2026年7月24日，受河南省地质局生态环境地质服务中心委托，河南省矿业协会组织召开了“典型流域重金属重点防控区矿区水环境修复关键技术”项目成果评价评审会，按照国家科技部《科技成果评价试点暂行办法》和《河南省矿业协会科技成果评价办法》的规定和要求，从河南省矿业协会专家库选定了5位专家组成评价委员会，评价委员会专家听取了项目组的汇报，审阅了有关技术资料，进行了质询、交流和成果评价打分，最后得到综合评分并形成综合评价结论。						

科技成果简要技术说明及主要技术经济指标
一、任务来源 针对典型流域重金属污染风险这一突出社会环境问题，栾川龙宇钼业有限公司设置专题科研攻关项目，项目编号：ZB-2024-030。通过公开的招投标，河南省地质局生态环境地质服务中心承担实施任务，联合成都理工大学、生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心以及河南省矿山环境生态修复工程技术中心等6家单位数十名技术人员实施联合科技攻关，以“产-学-研-用”模式依托南泥湖钼矿渭河流域水环境修复为基础，实施典型流域重金属重点控制区矿区水环境修复关键技术研究。 二、应用领域和技术原理 本项目属于矿山工程技术（440）领域，是防控矿山开采中重金属对水环境污染的关键技术。技术原理是采用地球化学、地球物理、物理化学等多种综合方法防控资源开采引发的钼、钨等重金属对水环境造成的污染，为保障南水北调中线水源上游渭河流域水环境安全提供技术支撑。 三、性能指标 通过本项目研究，技术成果达到了如下技术性能指标： ①揭示了AAS法在复杂基质中适用性受限。虽在标准溶液中呈现良好线性（$R^2=0.9922$），但在实际矿排水样中暴露严重缺陷——未屏蔽硫酸根时测得负值，添加硝酸钡-硝酸镁改进剂后虽转为正值，但不同稀释倍数的测定结果仍相差数倍，表明其无法有效消除多元离子干扰，准确度难以满足要求。ICP-MS法展现出显著优势：标准曲线线性优异（$R^2=0.9984$），验证样品测定误差小于$1.5\mu\text{g/L}$，实际水样重现性良好（$\text{RSD}=4.9\%$）。该方法无需基质改进剂即可规避硫酸根等阴离子干扰，检出限达$0.02\mu\text{g/L}$，灵敏度较AAS提升30倍，在复杂水样中实现了准确定量检测。 ②研发了AAS适用于修复中期大批量样品的快速筛查方法，其成本低、操作简便，但仅限于低干扰场景。ICP-MS则是修复目标精准判定、痕量钼溯源及司法鉴证等高精度任务的必要选择，尽管存在设备昂贵、运行成本高的局限。鉴于渭河流域水样基质的高度复杂性，ICP-MS在数据可靠性方面具有不可替代性，应作为钼浓度测定的首选方法；AAS仅可作为补充手段用于初步筛查。 ③针对南泥湖钼矿下游渭河流域低浓度（1.16mg/L）钼污染水体，系统研究了麦

饭石、石墨烯、TiO₂、片状椰壳炭及粉末椰壳炭的吸附性能。粉末椰壳炭以68.5%的去除率、1577.22m²/g的比表面积和0.83cm³/g的孔体积综合优势被选为最佳吸附剂。

④研究成果授权国家发明专利 5 项、实用新型专利 2 项，发表/录用高水平论文 12 篇（SCI论文11篇、中文核心论文1篇），出版学术专著 1 部，编制河南省矿业协会团体技术标准1部，获得全国职工“五小”创新成果1项。

四、与国内外技术同类技术比较

化学沉淀法是国内研究最为成熟的技术。钱冬旭等系统比较了铁盐、铝盐、镁盐对钼的沉淀效果，发现聚合硫酸铁（PFS）在pH=5.0-6.5时除钼效率最优，对初始浓度20mg/L的含钼废水去除率可达92%，但污泥产量高达处理水量的0.8-1.2%。吸附法是国内研究的热点方向，主要集中在低成本吸附剂与新型功能材料的开发。人工湿地法在我国钼矿区应用较少，离子交换法在国内主要用于深度处理。组合工艺是国内研究的重要趋势，单一技术难以应对重金属钼污染的多源性、复杂性。

本研究确定“ICP-MS为首选精准定量、AAS为低干扰场景快速筛查”分级检测技术，精准检测水环境中重金属的含量。

五、成果的创造性、先进性

针对南泥湖钼矿消河流域高硬度、高硫酸盐、多金属共存的复杂水质背景，系统对比了原子吸收分光光度法（AAS）与电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）的适用性。揭示了AAS法在实际矿排水样中因多元离子干扰导致测定结果存在严重失真的局限性，验证了ICP-MS法在规避基质干扰、检出限、灵敏度及数据重现性方面的显著优势，形成了“ICP-MS为首选精准定量、AAS为低干扰场景快速筛查”的分级检测技术策略，实施重金属的精准检测。

针对钼酸根去除难题系统性评价了铁基、钙基、镁基、硫化物四大类共8种化学沉淀剂的除金属钼效能。首次在同一研究体系下，结合SEM、XRD、Raman及BET等微观表征手段，揭示了氯化铁通过“吸附-络合-共沉淀”协同作用实现>99%高效除钼的核心机制，并明确了pH（6-8）、温度（20-40℃）、搅拌速度（200-250rpm）为最佳工艺窗口。

构建了“混凝沉淀-吸附”组合工艺提供了关键材料与技术参数，开发了集地下

水位、渗漏速度、重金属指标等一体化数据采集检测解译处理系统，研发了多源融合高精度定位+云边协同智能一体化算法，构建了典型矿区重金属污染立体化监测预警系统平台。

六、作用意义

在工程实践中应用，2025年1月至2026年4月期间新增产值4100万元，新增利润260万元，且节约工业废水处理技术改造工程的施工周期2个月以上，技术改造与选矿废水处理施工没有影响矿区采矿作业，创造良好的经济效益。研究成果的地质调查与环境调查数据为龙宇铝业有限公司的工业采矿和矿区环境综合治理提供了技术指导，排入河道矿区排水的水质满足要求，没有出现金属铝污染水体事件，没有出现群众因水质问题的上访事件，而且为保障南水北调工程“一泓清水永续北上”正常、安全运行做出了贡献，创造良好社会效益。应用该技术后矿区地表水、地下水环境及农用地土壤质量得到了明显改善，为实现矿区重金属污染防控做出了贡献，也为确保丹江口水库上游渭河流域水环境达标提供了技术服务，创造良好环境效益。

七、推广应用的范围、条件和前景

本技术可以在类似河南省栾川县等以钼矿资源为主的重金属重点控制区、重要水源涵养区的矿区水环境修复中应用，应用条件是区域地质条件和成矿机理造成的矿山金属钼本底值高，且矿区水系流域水环境对重金属含量要求极高，该技术可以精准检测环境中金属钼的含量，通过技术手段控制重金属对水环境造成的污染，保证重要水源地供水水质安全。

离子交换法与膜分离法适用于高浓度、小水量或资源回收场景，但成本与运行复杂度较高；人工湿地法适合中低浓度、大水量、生态敏感区，但需解决冬季低温与基质饱和问题。未来可探索“离子交换-膜浓缩-人工湿地深度处理”耦合工艺，实现经济-生态双赢。同时，开发磁性可再生树脂、抗污染纳滤膜及功能化湿地基质，将是南泥湖钼矿渭河流域水环境修复的重要方向。

河南省栾川县位于全国16个重点多金属成矿带之一的东秦岭成矿带中心区位，是我国中西部核心的多金属矿集区，有“中国钼都”之称。研究区是国内重要的重金属矿产资源区，除钼之外还盛产铅、锌、钨等重金属，需要针对这些类型的重金属开展后续研究，以保证南水北调中线水源丹江口水库水源涵养区的水环境质量优良，维护南水北调中线工程“一泓清水永续北上”重大目标的顺利落实。

八、存在的问题和改进意见 研究区是国内重要的重金属矿产资源区，除钼之外还盛产铅、锌、钨等重金属，需要针对这些类型的重金属开展后续研究，以保证南水北调中线水源丹江口水库水源涵养区的水环境质量优良，维护南水北调中线工程“一泓清水永续北上”重大目标的顺利落实。
主要文件和技术资料目录和来源 （包括：1. 委托合同；2. 调查报告；3. 技术研究报告；4. 测试分析报告；5. 河南省矿业协会团体标准；6. 科技查新报告；7. 发明专利证书；8. 实用新型专利证书；10. 应用证明；11. 全国职工“五小”创新成果证书） 1、鉴定材料之一：委托合同 2、鉴定材料之二：栾川南泥湖钼矿洧河流经区域水环境质量调查报告 3、鉴定材料之三：南泥湖钼矿洧河流经流域水环境修复技术研究报告 4、鉴定材料之四：典型流域重金属重点防控区矿区水环境修复关键技术研究报告 5、鉴定材料之五：河南省矿业协会团体标准 6、鉴定材料之六：科技查新报告 7、鉴定材料之七：发明专利证书 8、鉴定材料之八：实用新型专利证书 9、鉴定材料之九：应用证明 10、鉴定材料之十：全国职工“五小”创新成果证书 11、鉴定材料之十一：代表性论文 （安标、防爆证明材料，计划任务书（合同），专利、论文知识产权）
备注： 无

综合评分与评价结论

2026年7月24日，河南省矿业协会组织有关专家对河南省地质局生态环境地质服务中心、栾川龙宇钼业有限公司等6家单位完成的“典型流域重金属重点防控区矿区水环境修复关键技术”研究成果进行了评价。评价委员会审阅了成果资料，听取了汇报，经质询、讨论，形成以下评价意见：

1. 提交的成果资料齐全、规范，符合评价要求。
2. 该研究项目取得如下成果：

(1) 揭示了原子吸收分光光度法（AAS）在矿场排水中因多元离子干扰导致测定结果存在严重失真的局限性，验证了电感耦合等离子体质谱法（ICP-MS）在规避基质干扰、检出限、灵敏度及数据重现性方面的显著优势，形成了“ICP-MS首选精准定量、AAS低干扰场景快速筛查”的分级检测技术，实现重金属的高效精准检测。

(2) 首次在同一研究体系下，结合SEM、XRD、Raman、BET等微观表征手段，揭示氯化铁通过“吸附-络合-共沉淀”协同高效除钼的核心机制，确定了pH值、温度、搅拌速度等最优工艺参数。

(3) 开发了集地下水位、渗漏、重金属指标等一体化数据采集检测解译处理系统，研发了“多源融合高精度定位+云端协同”智能一体化算法，构建了典型矿区重金属污染立体化监测预警平台。

3. 项目研究成果在栾川龙宇钼业有限公司应用，显著提升了典型流域矿区水环境修复技术水平，取得了显著的经济和社会效益，具有广阔的推广应用前景。

评价委员会一致认为：该项目的“多源融合高精度定位+云端协同”智能一体化算法、典型矿区重金属污染立体化监测预警平台等研究成果具有创新性，达到国内领先水平，同意通过评价。

评价委员会主任：刘永德

委员：

孙利 潘云庆

2026年7月24日

评价咨询专家名单					
姓名	工作单位	职称	从事专业	联系电话	签字
刘永德	河南工业大学	教授	环境工程	18623718008	刘永德
潘元庆	河南省国土空间调查 规划院	正高级工程师	地质	13838071384	潘元庆
王子刚	河南省第二地质矿产 调查院有限公司	正高级工程师	化探	18703867670	王子刚
评价指标和评分 (技术开发类)					
技术创新程度				19.5	
技术指标的先进程度				19.5	
技术难度和复杂程度				14	
技术重现性和成熟度				14	
技术创新对科技进步及市场竞争力的作用				14	
经济或社会效益				14	
评分结果				95	

评价机构意见
同意评价结论  2026 年 7 月 24 日
评价机构声明
我单位依据《中华人民共和国科学技术进步法》《中华人民共和国促进科技成果转化法》、科学技术部《科学技术评价办法(试行)》《科技评估管理暂行办法》《科技成果评价试点暂行办法》和《河南省矿业协会科技成果评价管理办法》的有关规定和要求,秉承客观、公正、独立的原则,聘请同行专家对该项科技成果进行了评价。评价结论以客观事实为依据,评价过程不存在任何违反上述有关法律法规规定的情形。 我单位承诺对依据委托方提供的技术资料所做出的科技成果评价结论的客观性、真实性和准确性负责,将严格按照上述有关规定和要求,认真履行作为评价机构的义务并承担相应的责任。 科技成果评价结论不具有行政效能,仅属咨询性意见。依据评价结论做出的决策行为,其后果由行为决策者承担。  2027 年 7 月 24 日

科技成果完成单位情况

序号	完成单位名称	邮政编码	详细通信地址	联系人	联系电话
1	河南省地质局生态环境地质服务中心	450053	河南省郑州市金水路28号	王 刚	13608686743
2	栾川龙宇钼业有限公司	471500	栾川县城钼都路与滨河路交叉口	白颖慧	18937989577
3	成都理工大学	610059	四川省成都市成华区二仙桥1号	黄 艺	18980629010
4	生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心	100000	北京市朝阳区安外大羊坊8号	何泽新	18810552860
5	河南省深部探矿工程技术研究中心	450053	河南省郑州市南阳路56号	乐 扬	15936266191
6	河南省矿山环境生态修复工程技术中心	450000	河南省郑州市南阳路99号	王新华	13523477717



主要研制人员名单

序号	姓名	性别	出生年月	技术职称	文化程度	工作单位	对成果创造性贡献
1	王刚	男	1971.09	正高级工程师	本科	河南省地质局生态环境地质服务中心	主持项目实施与应用, 论文与专利、编制标准
2	卢玮	女	1987.08	高级工程师	博士在读	河南省地质局生态环境地质服务中心	主持重金属检测技术研发
3	张继银	男	1970.01	高级工程师	大专	栾川龙宇铝业股份有限公司	主持污染防治技术应用
4	黄艺	女	1975.07	教授	博士	成都理工大学	重金属迁移机理研究, 发表论文, 申报专利
5	白颖慧	男	1990.09	高级工程师	本科	栾川龙宇铝业股份有限公司	重金属污染防治技术研发
6	何泽新	男	1989.09	正高级工程师	博士	生态环境部土壤与农业农村生态环境监管技术中心	污染防治技术研究, 发表论文、申报专利
7	程宇	女	1988.06	工程师	本科	河南省地质局生态环境地质服务中心	矿区重金属调查与防控污染技术研究
8	田明磊	男	1983.03	高级工程师	硕士	河南省地质局生态环境地质服务中心	矿区重金属调查与防控污染技术研究
9	郝旭军	男	1985.10	高级工程师	本科	栾川龙宇铝业股份有限公司	重金属污染防治技术应用
10	上官锐	男	1991.07	工程师	本科	河南省地质局生态环境地质服务中心	重金属污染防治技术研发
11	李南方	男	1983.12	工程师	本科	栾川龙宇铝业股份有限公司	重金属污染防治技术应用
12	乐扬	女	1989.07	工程师	本科	河南省深部采矿工程技术研究中心	矿区重金属调查与防控污染技术研究
13	宫亚峰	男	1990.07	工程师	本科	栾川龙宇铝业股份有限公司	重金属检测技术应用
14	孙焱焱	男	1986.09	工程师	本科	栾川龙宇铝业股份有限公司	重金属污染防治技术应用
15	贾妙洁	女	2000.08	助理工程师	本科	栾川龙宇铝业股份有限公司	重金属检测技术应用

注: 主要研制人员超过15人可加附页, 按照贡献大小顺序严格排列。