

陕西省科学技术进步奖公示信息

(2025年度)

一、项目基本情况

项目名称	提高选钼回收率的流变学调控技术及应用
主要完成人	卜显忠，薛季玮，张荣斐，董燧珍，赵军，晁彦德，任强，何川，康玉清，阳建国，张崇辉，王萍
主要完成单位	西安建筑科技大学，金堆城钼业股份有限公司，栾川龙宇钼业有限公司，中国有色金属工业西安勘察设计研究院有限公司

二、提名意见（适用于单位提名）

提 名 者	陕西省教育厅	提名等级	<input checked="" type="checkbox"/> 一等奖 <input type="checkbox"/> 二等奖 <input type="checkbox"/> 三等奖
<p>提名意见：</p> <p>该项目针对低品位难选钼矿浮选回收率低、微细粒钼损失严重及脉石干扰突出等行业共性难题，研发形成了涵盖细粒脉石流变性调控、炔油捕收剂乳化增效协同强化、微细粒钼矿精尾选择性絮凝与流体协同强化回收等关键技术，显著提升了钼资源回收率与利用效率。本项目成果适用于多种类型钼矿资源，包括低品位、细粒、共伴生、难选型等复杂矿石选别场景，对于推动行业科技进步，提高钼资源量和利用效率、增强企业的竞争和生存能力具有重要的意义。研究成果拥有国家专利 27 项，论文 60 余篇。成果成功应用于陕西金堆城钼业股份有限公司、平泉小寺沟矿业有限公司、洛阳栾川钼业集团股份有限公司和栾川龙宇钼业有限公司，取得了良好的技术指标，并取得了明显的经济效益。近三年，新增钼精矿产量 6261 吨，新增产值 101830 万元，新增利润 85404 万元。该项目技术上有创新，工艺合理，实用性强，有广阔的应用前景和推广价值。提名材料齐全、规范，经完成单位公示，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术奖提名条件。</p> <p>说明：省科学技术进步奖一、二、三等奖项目，实行按等级标准提名、独立评审表决的机制。提名单者应严格依据省科学技术奖的标准条件，说明提名项目的贡献程度及等级建议。“提名一等奖”评审落选项目不再降格参评二等奖，“提名二等奖”的评审落选项目不再降格参评三等奖。项目组与提名单位沟通后，做出提名等级意见；提名项目正式提交后，提名等级建议不得变更。</p> <p>软科学标准计量科普类项目请勾选“二等奖”或者“三等奖”。</p>			

三、项目简介

(限 2 页)

本项目属于选矿工程学科，复杂难处理多金属矿高效分选领域，主要解决低品位钼矿浮选回收率低、微细粒级钼损失严重、脉石干扰严重等制约钼资源高效利用的关键技术难题。项目历经 8 年技术攻关，在钼矿分选方法与工艺体系研究中取得重大突破，创立了以“流变性精准调控”为核心、“磨矿-浮选-微细粒回收”协同优化的钼资源高效回收技术体系。成果成功应用于陕西金堆城钼业股份有限公司、洛阳栾川钼业集团股份有限公司、栾川龙宇钼业有限公司和平泉小寺沟矿业有限公司，显著提升了钼精矿产品质量与资源综合利用效率，经济、社会及生态效益显著。主要创新如下：

(1) 发现适当比例高硬度花岗岩具有支撑作用从而避免鞍山矽岩过磨这一科学原理，创立了入浮粒级动态调控技术，通过优化配矿比例与磨矿参数，使入浮-20 μm 微细粒级从 38% 降至 16%，从源头控制了微细粒级硅酸盐粘土矿物产生，显著改善了浮选矿浆的流变学环境。

(2) 发现氢键和阳离子桥接作用硅酸盐粘土颗粒间形成紧密的网络结构从而显著增加矿浆的粘度的现象，并依据“温度每升高 1℃，矿浆/泡沫粘度增加 1.5%~3.2%”这一关联机制，发明了分区湍流调控和泡沫控温喷淋装置，改善了矿浆和泡沫的流变性。

(3) 突破传统柴油乳化能耗高、分散不均的瓶颈，发明了基于水包油体系的乳化柴油稳定制备工艺与工业级超声乳化装置。通过调控乳化剂配比和油水比，实现了油滴粒径的均匀可控与体系黏度的动态优化，有效改善了乳化柴油在矿浆中的流变学性能与界面分散性，柴油粒径由 135.97nm 降低至 18.87nm，药剂用量下降 50%，确保了药剂体系的稳定性和现场连续运行的工业适应性。

(4) 发现芳香烃分子能够削弱 Ca^{2+} 在辉钼矿表面诱导形成的水化层黏弹性这一现象，阐明了其重构界面流变环境并协同强化柴油定向吸附的机制，开发了芳香烃-柴油复配捕收剂，降低了矿浆局部流场黏度与界面阻力，从而显著提升了辉钼矿的疏水性与可浮性，实现了含钙矿浆中辉钼矿的高效回收。

(5) 创建了微细粒级辉钼矿选择性絮凝-流畅协同强化分选集成技术，通过调控矿浆在分选区的剪切速率与流变环境，优化了絮凝体结构与强度；研制了湍流强

化装置，在低能耗下形成了适于微细粒回收的高效湍流流场，解决了精选尾矿中微细粒钼回收的难题。

该技术率先在陕西金堆城钼业股份有限公司应用，并陆续推广到平泉小寺沟矿业有限公司、洛阳栾川钼业集团股份有限公司和栾川龙宇钼业有限公司，取得了良好的技术指标，并取得了明显的经济效益。项目授权发明专利 14 项，实用新型专利 13 项，发表论文 60 余篇，SCI/EI 期刊检索 27 篇。近三年，各公司通过实施“提高选钼回收率的流变学调控技术及应用”，新增钼精矿产量 6261 吨，新增产值 101830 万元，新增利润 85404 万元。项目推广后显著降低了选矿药剂成本与微细粒资源损耗，实现了浮选过程清洁化与尾矿资源化，有效保护了矿区生态环境，大幅提升了战略金属资源保障能力，为复杂多金属矿高效绿色分选提供了系统性技术范式，有力推动了选矿工业的科技进步与可持续发展。

四、客观评价

（限 2 页。围绕创新性、应用效益和经济社会价值进行客观、真实、准确评价。填写的评价意见要有客观依据，主要包括与国内外相关技术的比较，国家相关部门正式作出的技术检测报告、验收意见、鉴定结论，国内外重要科技奖励，国内外同行在重要学术刊物、学术专著和重要国际学术会议公开发表的学术性评价意见等，可在附件中提供证明材料。非公开资料（如私人信函等）不能作为评价依据。）

1. 科技成果查新报告

报告编号：2025360XAUAT0035

检索结果：

依据上述文献检索范围和检索式，检索到国内外公开发表的相关文献 23 篇。

经检索并对相关文献分析对比结果表明：在国内外公开发表的文献中与本委托项目创新点完全相同的未见报道。

2. 中国冶金矿山企业协会科技成果评价意见

报告编号：中矿协评价[2025]第 8 号

评价结论：

2025 年 7 月 23 日，中国冶金矿山企业协会在北京通过视频会议组织有关专家（名单附后）召开由西安建筑科技大学、金堆城钼业股份有限公司、栾川龙宇钼业股份有限公司和中国有色金属工业西安勘察设计研究院有限公司共同完成的《大型低品位难选钼矿高效回收关键技术及应用》项目科技成果评价会，专家委员会听取成果汇报、审阅相关资料并经质询讨论，形成如下意见：

（1）评价资料完整规范，符合科技成果评价标准。

（2）针对低品位难选钼矿浮选回收率低、微细粒损失严重及脉石干扰突出等行业共性难题，项目研发形成了涵盖细粒脉石流变性调控、烃油捕收剂乳化增效协同强化、微细粒钼矿精尾选择性絮凝与流体协同强化回收等关键技术，核心创新点如下：

①发现了无定形二氧化硅的矿浆流变学行为，揭示了其对钼迁移的影响规律，发明了相态分离与精准定量技术，通过高剪切机械搅拌、超声空化效应和强化分散等措施降低了矿浆表观黏度，改善了浮选效果。

②阐明了芳香烃-柴油复配协同强化选钼机制，发明了相应的超声乳化装置，研发了水包油型乳化柴油稳定制备工艺，显著提升药剂的捕收性能。

③创建了微细粒级辉钼矿选择性絮凝-湍流矿化-短流程分选集成技术，研制了非均匀充填涡流装备，解决了精选尾矿中微细粒钼回收的难题。

（3）成果已在陕西金堆城钼业、平泉小寺沟矿业、洛阳栾川钼业和栾川龙宇钼业等选钼企业实现工业化应用，经济与社会效益显著。

评价咨询专家委员会一致同意：成果整体技术达到**国际领先水平**。

建议进一步加快推广应用。

五、应用情况

1. 应用情况（限 2 页）

本项目研发的提高选钼回收率的流变学调控技术率先在陕西金堆城钼业股份有限公司应用，并陆续推广到平泉小寺沟矿业有限公司、洛阳栾川钼业集团股份有限公司和栾川龙宇钼业有限公司，历经多年的研究、开发和实践，研发了提高易浮粒级选择性磨矿技术、炔油捕收剂乳化增效与协同强化技术、细粒脉石在辉钼矿浮选中的影响机制与矿浆流变性调控技术、精尾选择性絮凝与流体协同强化回收微细粒钼矿技术等技术并将之集成，实现了钼资源的高效回收。其中，提高易浮粒级选择性磨矿技术的开发，解决了钼矿磨矿效率低、过磨和欠磨现象严重的问题；炔油捕收剂乳化增效与协同强化技术的开发，有效解决了炔油捕收剂分散性差、浮选指标不稳定的问题，并设计了一种工业级新型柴油超声乳化装置，实现水包油型乳化柴油的高效制备，大幅降低生产实践药剂用量和选矿成本，提高钼浮选指标；细粒脉石在辉钼矿浮选中的影响机制与矿浆流变性调控技术的开发，解决了易泥化脉石矿物干扰严重、捕收剂选择性差的问题；精尾选择性絮凝与流体协同强化回收微细粒钼矿技术，在筛选适用于微细粒铜钼二次资源的高效分散剂与絮凝剂基础上，构建了由非均匀充填、内置涡发生器等单元组成的高效浮选设备结构，解决了钼精选尾矿粒度细、浮选效率低的问题。金堆城钼业股份有限公司、平泉小寺沟矿业有限公司、洛阳栾川钼业集团股份有限公司和栾川龙宇钼业有限公司自实施项目成果以来，所有设备运行良好，工艺稳定，各技术指标正常，降低了生产成本，提高了资源综合利用率。项目成果适用于多种类型钼矿资源，包括低品位、细粒、共伴生、难选型等复杂矿石选别场项目，具备在全国其他矿山企业广泛应用的基础。该项目的研发对于提升企业的竞争和生存能力，以及保障国家资源安全、推动传统矿业高质量发展具有重要示范意义。

金堆城钼业股份有限公司自实施本项目成果以来，2017 年到 2024 年共处理矿石约 13845 万吨，矿石中钼平均含量为 0.125%，与使用原有药剂制度、工艺流程相比，新增钼精矿产量约 8015 吨，使用新药剂、新工艺获得经济效益 124402 万元。

平泉小寺沟矿业有限公司自实施本项目成果以来，2017 年到 2024 年共处理矿石约 781 万吨，矿石中钼平均含量为 0.062%，与使用原有药剂制度、工艺流程相比，新增钼精矿产量约 316 吨，使用新药剂、新工艺获得经济效益 3581 万元。

洛阳栾川钼业集团股份有限公司自实施本项目成果以来，2019 年到 2024 年共处理矿石约 9315 万吨，矿石中钼平均含量为 0.103%，与使用原有药剂制度、工艺流程相比，新增钼精矿产量约 3964 吨，使用新药剂、新工艺获得经济效益 60642 万元。

栾川龙宇钼业有限公司自实施本项目成果以来，2020 年到 2024 年共处理矿石约 5614 万吨，矿石中钼平均含量为 0.0837%，与使用原有药剂制度、工艺流程相比，新增钼精矿产量约 1874 吨，使用新药剂、新工艺获得经济效益 11703 万元。

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人
1	金堆城钼业股份有限公司	提高选钼回收率的流变学调控技术	2017 年至 2024 年处理矿石 13845 万吨	2017 年至今	董燧珍
2	平泉小寺沟矿业有限公司	提高选钼回收率的流变学调控技术	2017 年至 2024 年处理矿石 781 万吨	2017 年至今	张恒旺
3	洛阳栾川钼业集团股份有限公司	提高选钼回收率的流变学调控技术	2019 年至 2024 年处理矿石 9315 万吨	2019 年至今	王花
4	栾川龙宇钼业有限公司	提高选钼回收率的流变学调控技术	2020 年至 2024 年处理矿石 5614 万吨	2020 年至今	晁彦德

六、主要知识产权和标准规范等目录（限 10 条）

序号	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
1	发明专利	一种还原细磨改善辉钼矿浮选指标的方法	中国	ZL202210606880.1	2024 年 02 月 20 日	6723237	西安建筑科技大学	卜显忠; 王亮; 王森; 薛季玮; 宛鹤; 张崇辉
2	发明专利	一种钼酸钙硫化浮选的方法	中国	ZL 202210606186.X	2024 年 07 月 16 日	7201790	西安建筑科技大学	卜显忠; 王亮; 王森; 薛季玮; 宛鹤; 张崇辉
3	实用新型专利	一种连续型乳化装置	中国	ZL202420248357.0	2024 年 10 月 08 日	21797863	西安建筑科技大学	张崇辉; 卜显忠; 王森; 宛鹤; 薛季玮; 宋学文
4	专著	细粒脉石矿物流变学效应对辉钼矿浮选的影响机制及其调控方法	中国	ISBN978-7-5024-9853-5	2024 年 05 月	086319	西安建筑科技大学	卜显忠; 薛季玮
5	发明专利	一种选择性聚团浮选回收氧化后细粒硫化铜矿物的方法	中国	ZL 202111071056.2	2023 年 02 月 28 日	5754876	西安建筑科技大学	薛季玮; 任大伟; 卜显忠; 宛鹤; 屈壹鞋; 涂华臻
6	发明专利	一种抑铜抑制	中国	ZL201810447602.X	2020 年 10 月 09 日	4019250	西安	张崇辉;

		剂、制备方法 及含铜 矿物浮 选方法			日		建 筑 科 技 大 学	何廷 树; 李慧; 卜显 忠
7	发明专 利	一种黄 铜矿浮 选复合 抑制剂 及黄铜 矿浮选 方法	中国	ZL201910228681.X	2021 年 06 月 01 日	4455484	西 安 建 筑 科 技 大 学	张崇 辉; 何廷 树; 卜显 忠; 陈伟; 王森
8	发明专 利	一种柱 式设备 矿浆气 动控制 阀门	中国	ZL201210415155.2	2014 年 06 月 18 日	1424415	栾 川 龙 宇 钼 业 有 限 公 司	晁彦 德; 杨 浩基
9	发明专 利	一种乳 清蛋白 抑制铜 活化闪 锌矿的 方法	中国	ZL201811049777.1	2020 年 09 月 15 日	3989356	西 安 建 筑 科 技 大 学	卜显 忠; 丁 一豪; 陈帆 帆; 陈 伟
10	实用新 型专利	一种浮 选柱喷 淋水系 统	中国	ZL 202320938629.5	2023 年 10 月 20 日	19831434	金 堆 城 钼 业 股 份 有 限 公 司	杜凤 梅; 郝 波; 赵 涛; 闵 波浪; 杨耿; 董燧 珍; 李 卫昌; 张敏

七、主要完成人情况表

姓 名	卜显忠	排 名	1
行政职务	副院长		
技术职称	教授		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目技术创造性贡献： 负责项目方案总体设计，在提高易浮粒级选择性磨矿技术、烃油捕收剂乳化增效协同强化、改善细粒脉石不利影响的流变性调控技术、微细粒钼矿精尾选择性絮凝与流体协同强化回收等方面做出重要创造性贡献。			

姓 名	薛季玮	排 名	2
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目技术创造性贡献： 协助负责项目方案总体设计及应用，在提高易浮粒级选择性磨矿技术、烃油捕收剂乳化增效协同强化、改善细粒脉石不利影响的流变性调控技术等方面做出重要创造性贡献。			

姓 名	张荣斐	排 名	3
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目技术创造性贡献： 在提高易浮粒级选择性磨矿技术、改善细粒脉石不利影响的流变性调控技术等方面做出重要创造性贡献。			

姓 名	董燧珍	排 名	4
行政职务	无		
技术职称	高级工程师		
工作单位	金堆城钼业股份有限公司		
完成单位	金堆城钼业股份有限公司		
对本项目技术创造性贡献： 在提高易浮粒级选择性磨矿技术、炔油捕收剂乳化增效协同强化、微细粒钼矿精尾选择性絮凝与流体协同强化回收技术开发方面做出重要创造性贡献。			

姓 名	赵军	排 名	5
行政职务	无		
技术职称	工程师		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目技术创造性贡献： 在炔油捕收剂乳化增效协同强化、改善细粒脉石不利影响的流变性调控技术等方面做出重要创造性贡献。			

姓 名	晁彦德	排 名	6
行政职务	无		
技术职称	高级工程师		
工作单位	栾川龙宇钼业有限公司		
完成单位	栾川龙宇钼业有限公司		
对本项目技术创造性贡献： 在炔油捕收剂乳化增效协同强化、微细粒钼矿精尾选择性絮凝与流体协同强化回收技术开发方面做出重要创造性贡献。			

姓 名	任强	排 名	7
行政职务	区长		
技术职称	高级工程师		
工作单位	金堆城钼业股份有限公司		
完成单位	金堆城钼业股份有限公司		
对本项目技术创造性贡献： 在提高易浮粒级选择性磨矿技术开发方面做出重要创造性贡献。			

姓 名	何川	排 名	8
行政职务	部长		
技术职称	工程师		
工作单位	金堆城钼业股份有限公司		
完成单位	金堆城钼业股份有限公司		
对本项目技术创造性贡献： 在炔油捕收剂乳化增效协同强化技术开发方面做出重要创造性贡献。			

姓 名	康玉清	排 名	9
行政职务	无		
技术职称	高级经济师		
工作单位	金堆城钼业股份有限公司		
完成单位	金堆城钼业股份有限公司		
对本项目技术创造性贡献： 在提高易浮粒级选择性磨矿技术开发方面做出重要创造性贡献。			

姓 名	阳建国	排 名	10
-----	-----	-----	----

行政职务	部长
技术职称	高级工程师
工作单位	中国有色金属工业西安勘察设计研究院有限公司
完成单位	中国有色金属工业西安勘察设计研究院有限公司
<p>对本项目技术创造性贡献：</p> <p>在提高易浮粒级选择性磨矿技术开发方面做出重要创造性贡献。</p>	

姓 名	张崇辉	排 名	11
行政职务	无		
技术职称	高级实验师		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目技术创造性贡献： 在提高易浮粒级选择性磨矿技术、烃油捕收剂乳化增效协同强化等方面做出重要创造性贡献。			

姓 名	王萍	排 名	12
行政职务	无		
技术职称	无		
工作单位	西安建筑科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目技术创造性贡献： 在提高易浮粒级选择性磨矿技术开发方面做出重要创造性贡献。			

八、主要完成单位情况表

单位名称	西安建筑科技大学
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>西安建筑科技大学主要负责提高选钼回收率的流变学调控技术及应用的总体方案的设计及生产管控研发等工作，主要表现在：</p> <p>（1）发现适当比例高硬度花岗岩具有支撑作用从而避免鞍山矽岩过磨这一科学原理，创立了入浮粒级动态调控技术，通过优化配矿比例与磨矿参数，使入浮-20 μm 微细粒级从 38%降至 16%，从源头控制了微细粒级硅酸盐粘土矿物产生，显著改善了浮选矿浆的流变学环境。</p> <p>（2）发现氢键和阳离子桥接作用硅酸盐粘土颗粒间形成紧密的网络结构从而显著增加矿浆的粘度的现象，发明了分区湍流调控和泡沫控温喷淋装置，改善了矿浆和泡沫的流变性。</p> <p>（3）突破传统柴油乳化能耗高、分散不均的瓶颈，发明了基于水包油体系的乳化柴油稳定制备工艺与工业级超声乳化装置。通过调控乳化剂配比和油水比，实现了油滴粒径的均匀可控与体系黏度的动态优化，有效改善了乳化柴油在矿浆中的流变学性能与界面分散性，药剂用量下降 50%，确保了药剂体系的稳定性和现场连续运行的工业适应性。</p> <p>（4）发现芳香烃分子能够削弱 Ca^{2+} 在辉钼矿表面诱导形成的水化层黏弹性这一现象，阐明了其重构界面流变环境并协同强化柴油定向吸附的机制，开发了芳香烃-柴油复配捕收剂，降低了矿浆局部流场黏度与界面阻力，从而显著提升了辉钼矿的疏水性与可浮性，实现了含钙矿浆中辉钼矿的高效回收。</p> <p>（5）创建了微细粒级辉钼矿选择性絮凝-流畅协同强化分选集成技术，通过调控矿浆在分选区的剪切速率与流变环境，优化了絮凝体结构与强度；研制了湍流强化装置，在低能耗下形成了适于微细粒回收的高效湍流流场，解决了精选尾矿中微细粒钼回收的难题。</p> <p>主要研究工作适用于低品位难选钼矿的浮选回收，目前已在陕西金堆城钼业股份有限公司、洛阳栾川钼业集团股份有限公司、栾川龙宇钼业有限公司和平泉小寺沟矿业有限公司等矿区投入运行 5-8 年，运行状况良好。</p>	

单位名称	金堆城钼业股份有限公司
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>金堆城钼业股份有限公司主要负责提高易浮粒级选择性磨矿技术、炔油捕收剂乳化增效协同强化、改善细粒脉石不利影响的流变性调控技术、微细粒钼矿精尾选择性絮凝与流体协同强化回收技术等相关数据收集、技术资料分析、方案论证、工业方案实施等工作。</p>	

单位名称	栾川龙宇钼业有限公司
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>栾川龙宇钼业有限公司主要负责提高选钼回收率的流变学调控技术集成与应用等相关数据收集、方案论证、工业方案实施等工作。</p>	

单位名称	中国有色金属工业西安勘察设计研究院有限公司
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>中国有色金属工业西安勘察设计研究院有限公司主要参与了提高易浮粒级的选择性磨矿技术开发与提高选钼回收率的流变学调控技术集成与应用等研究工作，主要完成了钼赋存粒级规律与不同岩性钼矿磨矿行为关联关系研究、入浮粒级动态调控技术研究及应用，以及流变学调控技术在难选钼矿的应用推广等工作。</p>	

完成人合作关系说明

本项目第一完成人卜显忠、第二完成人薛季玮、第三完成人张荣斐、第五完成人赵军、第十一完成人张崇辉、第十二完成人王萍工作单位均为西安建筑科技大学，所属专业均为矿物加工工程。第一完成人卜显忠与第二完成人薛季玮共同授权与项目相关专利 4 项，共同发表与项目相关学术论文 9 篇，出版学术专著 1 部；第一完成人卜显忠与第三完成人张荣斐共同发表与项目相关学术论文 2 篇；第一完成人卜显忠与第五完成人赵军共同发表与项目相关学术论文 1 篇；第一完成人卜显忠与第十一完成人张崇辉共同授权与项目相关专利 5 项，共同发表与项目相关学术论文 4 篇；第一完成人卜显忠与第十二完成人王萍共同发表与项目相关学术论文 1 篇。此外，第一完成人卜显忠与第二完成人薛季玮、第十一完成人张崇辉共同获得陕西高等学校科学技术研究优秀成果奖一等奖 1 项。

第四完成人董燧珍、第七完成人任强、第八完成人何川、第九完成人康玉清工作单位均为金堆城铝业股份有限公司；第六完成人晁彦德工作单位为栾川龙宇铝业股份有限公司；第十完成人阳建国工作单位为中国有色金属工业西安勘察设计研究院有限公司。第一完成人卜显忠与第二完成人薛季玮、第三完成人张荣斐、第四完成人董燧珍、第五完成人赵军、第六完成人晁彦德、第七完成人任强、第八完成人何川、第九完成人康玉清、第十完成人阳建国、第十一完成人张崇辉、第十二完成人王萍合作完成技术开发、成果评价和推广工作，共同发表与项目相关学术论文 1 篇。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果	证明材料
1	共同获奖	卜显忠/1, 薛季玮/2, 张崇辉/11	2021/01	2022/03	高氧化率铜锌矿浮选分离关键技术开发与应用	6-2-1
2	成果评价	卜显忠/1, 薛季玮/2, 张荣斐/3, 董燧珍/4, 赵军/5, 张崇辉/11, 晁彦德/6, 任强/7, 何川/8, 阳建国/10, 康玉清/9, 王萍/12	2025/06	2025/07	大型低品位难选钼矿高效回收关键技术及应用	6-3-1
3	共同知识产权	卜显忠/1, 薛季玮/2, 张崇辉/11	2022/05	2024/02	一种还原细磨改善辉钼矿浮选指标的方法	1-1-1
4	共同知识产权	卜显忠/1, 薛季玮/2, 张崇辉/11	2022/05	2024/07	一种钼酸钙硫化浮选的方法	1-1-2
5	共同知识产权	张崇辉/11, 卜显忠/1, 薛季玮/2	2024/02	2024/10	一种连续型乳化装置	1-1-3
6	共同知识产权	薛季玮/2, 卜显忠/1	2021/09	2023/02	一种选择性聚团浮选回收氧化后细粒硫化铜矿物的方法	6-1-2
7	共同知识产权	张崇辉/11, 卜显忠/1	2018/05	2020/10	一种抑铜抑制剂、制备方法及其含铜矿物浮选方法	6-1-3
8	共同知识产权	张崇辉/11, 卜显忠/1	2019/03	2021/06	一种黄铜矿浮选复合抑制剂及黄铜矿浮选方法	6-1-4
9	专著合著	卜显忠/1, 薛季玮/2	2023/05	2024/05	细粒脉石矿物流变学效应对辉钼矿浮选的影响机制及其调控方法	6-1-1

10	论文 合著	薛季玮/2, 卜 显忠/1	2024/02	2024/12	Enhanced inhibition of chalcopyrite in molybdenite flotation by combined oxidation of microwave and H ₂ O ₂	未列入附件
11	论文 合著	薛季玮/2, 卜 显忠/1	2022/02	2022/12	Enhanced inhibition of talc flotation using acidified sodium silicate and sodium carboxymethyl cellulose as the combined inhibitor	未列入附件
12	论文 合著	张崇辉/11, 卜 显忠/1, 薛季 玮/2	2023/12	2025/01	The role of copper ions in improving the flotation of chalcopyrite at low temperatures	未列入附件
13	论文 合著	卜显忠/1, 薛季 玮/2, 张崇辉 /11	2019/09	2021/09	Effective recovery of chalcopyrite at low temperatures using a modified ester collector	未列入附件
14	论文 合著	薛季玮/2, 卜显 忠/1	2020/01	2021/05	Hydrophobic agglomeration flotation of oxidized digenite fine particles induced by Na ₂ S and butyl xanthate	未列入附件
15	论文 合著	薛季玮/2, 卜显 忠/1	2020/03	2021/03	Effect of ferric ions on sulfidization flotation of oxidize digenite fine particles and their	未列入附件

					significance	
16	论文 合著	卜显忠/1, 董燧珍/4, 赵军/5, 晁彦德/7, 任强/8, 何川/9, 阳建国/10, 康玉清/11, 王萍/12, 张荣斐/3, 薛季玮/2	2025/07	2025/08	陕西某钼矿磨矿条件优化试验	未列入附件
17	论文 合著	张荣斐/3, 卜显忠/1, 薛季玮/2, 张崇辉/11	2025/03	2025/07	从铜钼冶炼二次资源中回收铈的研究进展	未列入附件
18	论文 合著	卜显忠/1, 薛季玮/2, 张崇辉/11	2023/02	2023/08	辉钼矿浮选中无定形二氧化硅的流变学效应	未列入附件