

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	重金属价态转化与协同去除关键技术及应用
主要完成人	雷大士，陈吉祥，陆泓波，孙朋，王宇斌，彭祥玉，薛娟琴
主要完成单位	西安建筑科技大学，甘肃新洲矿业有限公司，浙江华东工程建设管理有限公司

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 type="checkbox"/> 一等奖 <input type="checkbox"/> 二等奖 <input checked="" type="checkbox"/> 三等奖
<p>提名意见：</p> <p>西安建筑科技大学及其合作单位，通过近 10 年对矿山废水中的难处理重金属离子的去除研究，针对重金属离子不同价态导致迁移速率不同的特性，构建了基于价态调控的重金属离子处理方法，形成了矿山废水中重金属离子高效去除和综合回收的相关理论、方法和技术。本项目充分利用矿区海拔高、日照时间长、紫外线强的地域特点，结合光催化剂表面不同区域具有较强的氧化性和还原性的特性，提出了光催化剂助力重金属离子价态转化-同步吸附去除的理论，形成了重金属价态转化与协同去除关键技术。该技术在多活性位点催化剂材料可控制备、催化反应活性区域调控和多种重金属离子同步去除微观反应机理方面取得了突出成果，开发了“重金属离子价态转化—同步吸附去除”的技术思路，通过引入光芬顿反应拓展催化反应区域，使光催化技术摆脱了材料比表面积对污染物处理速率的限制，发现了重金属离子在同步去除过程中的络合反应及电荷转移关系，探明了重金属离子氧化反应路径和交互作用机理，有效丰富了多种重金属离子同步去除领域的基础理论。该项目成果已在我国多个冶金和煤化工的企业中应用，且已获得了显著的环境和经济效益。该项目创新成果显著，应用推广价值高，成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术进步奖提名条件。</p> <p>提名该项目为陕西省科学技术进步奖 三 等奖</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)

本项目属于矿山与冶金行业污染物处理与综合利用领域。

矿山废水中往往含有大量有毒害的重金属离子(如铬、砷、铜、铅、锌等),其中砷(As)、铬(Cr)等在水体中主要以阴离子形式存在,流动性好于铜、铅、锌等金属阳离子,故采用常规吸附法或絮凝沉淀工艺难以去除。针对矿冶废水中砷/铬污染治理难度大的问题,结合成果完成人在重金属污染防治和高效催化体系构筑方面所积累的经验,本研究通过调控能带结构设计构造高效 Z 型光催化剂,利用其较强的光催化氧化和还原性能,快速转变砷/铬离子价态,降低其流动性,削弱其对环境的危害;基于水体中三价砷和六价铬同为阴离子的特性,设计并制备具有多活性位点的催化剂,并在体系中引入光芬顿反应,使催化反应区域由材料表界面拓展至溶液中,最大限度地消除砷/铬离子因竞争吸附导致的去除率下降;最终利用材料较强的吸附活性,实现矿山废水中多种难处理重金属离子的高效同步去除。

本项目依托陕西省矿产资源综合利用工程技术研究中心,利用承担的国家自然科学基金项目和中国博士后科学基金,在多活性位点催化剂材料可控制备、催化反应活性区域调控和多种重金属离子协同去除等方面取得了突出成果,开发了“**重金属离子价态转化—同步吸附去除**”的技术思路,并通过引入光芬顿反应拓展催化反应区域,使光催化技术摆脱了材料比表面积对污染物处理速率的限制,同时探明了重金属离子在同步去除过程中的络合反应及电荷转移关系,阐明了重金属离子氧化反应路径和交互作用机理,有效丰富了多种重金属离子同步去除领域的基础理论。

(1) 理论创新:针对矿山废水中多种重金属离子共存的特征,研究了多种金属离子共存时相互之间的络合关系;根据铁、铜、砷、铬、铀等金属离子不同价态会导致流动性不同,研究提出了多种重金属离子同步价态转化的反应原理;针对矿区海拔高、日照时间长、紫外线强的地域特点,以及光催化剂表面不同区域具有较强的氧化性和还原性的特性,提出了光催化反应助力重金属离子价态转化-同步吸附去除的理论,利用光催化剂较强的光催化氧化和还原性能,有效转变铁/砷/铬等离子价态并降低其流动性,同时利用催化剂较强的吸附活性,实现重金属离子的吸附去除;为了使光催化技术摆脱了材料比表面积对污染物处理速率的限制,进一步加快重金属价态转化速率,还提出了基于光芬顿反应的催化体系强化构筑方法及原理,即通过引入光芬顿反应拓展催化反应区域,使催化反应活性区域由材料表/界面附近拓展至溶液中,与传统光催化技术相比,可大幅度提升活性物种与污染物的接触几率,

能够为高效光催化体系的构筑提供理论基础。本项目研究成果先后在 *Environmental Science & Technology*、*Applied catalysis B: Environmental*、*Journal of Cleaner Production* 等国际著名 SCI 期刊发表相关论文 20 余篇。

(2) 技术创新：项目以矿山废水污染控制与水资源循环利用为目标，开发了“重金属离子价态转化—同步吸附去除”的技术思路。项目充分利用矿区得天独厚的日照资源，批量制备稳定性高、催化效率高、可磁性回收的光催化剂，在去除过程中进一步构筑具有广泛催化区域的光芬顿体系，使光催化技术摆脱了材料比表面积对污染物处理速率的限制。在实际处理过程中，还提出了多种重金属离子协同去除机制模型，通过鉴定重金属离子在催化反应过程中的中间价态离子，深入探索多种重金属离子在去除过程中的络合关系及电荷转移关系，阐明了多种重金属离子在同步去除过程中的交互作用机制，可为其他复杂性水体的治理提供技术积累。本项目共获国家授权发明专利 10 余项，开发了多种高效催化反应体系。

(3) 工程化创新与推广应用：项目团队研发的重金属离子价态转化-同步吸附去除核心技术与成套装备，在矿山与冶炼行业污染治理中实现规模化应用，有效推动周边环境质量提升，并显著促进水资源循环利用。该技术已在多家企业废水处理与资源化工程中成功应用，累计创造经济效益约 1.51 亿元，新增利润达 3714.27 万元，有效实现了水资源节约与区域环境改善（见附件 1-2-1、1-2-2）。

(4) 国内外影响与评价：研究成果不仅能够为矿山废水的高效治理提供技术支撑，还能够为光催化体系的优化构筑和多种污染物的同步去除提供理论基础。本项目的研究成果曾先后获得中国有色金属工业科学技术一等奖、陕西高等学校科学技术研究优秀成果一等奖和二等奖（见附件 2-2-15、2-2-16、2-2-17）。相关成果共发表 SCI 论文 20 余篇，其中单篇最高影响因子 20.2，该项目的代表性论文累计获得 300 余次引用，其中一篇还入选为 ESI 高被引论文（见附件 2-2-11）。

四、客观评价

(1) 与国内外技术比较

本研究针对矿山废水中重金属离子难去除的特性，创造性地提出“同步改变砷铬离子价态-协同吸附去除”的技术路线，尤其是砷、铬等难处理重金属离子的去除效率可达 98%以上,科技查新报告显示该研究在国内外同类技术中指标表现良好(详见附件 2-2-14)。

本研究的发现之一“制备具有较强氧化和还原性质的 Z 型光催化剂，利用材料较强的吸附性质实现重金属离子的深度去除”系国内首次报道，依据该发现，成功发表 SCI 学术期刊论文 6 篇，申请发明专利 2 项，该发现不仅为矿山废水的治理提供了新思路，极大地丰富了矿石废水治理的应用体系，还拓宽了光催化剂的推广应用范围，为光催化技术的推广应用增添了实例。

本研究的发现之二“通过引入光芬顿反应体系可扩宽催化反应活性区域，使光催化技术摆脱了材料比表面积对污染物处理速率的限制，极大地提升了污染物的去除速率，缩短了污染物处理时间”也是国内首次报道，依据该发现，发表 SCI 学术期刊论文 2 篇，申请发明专利 1 项，该发现为高效光催化体系的强化构筑提供了借鉴和参考，极大地丰富了光催化技术理论体系。

本研究的发现之三“多种重金属离子在同步去除过程中的协同去除机制”依据该发现，发表 SCI 学术期刊论文 3 篇，申请发明专利 1 项，该发现为多种污染物的同步去除和实际矿山废水的治理奠定了理论依据和技术支撑。

(2) 检测报告

项目组开发的重金属价态转化-协同去除技术对甘肃新洲矿业有限公司的矿山废水进行处理，经有色金属西北矿产地质测试中心检测，各项指标均合格，达到工业废水的回用标准（详见附件 2-1-2）。

(3) 公认度与同行评价

相关成果共发表 SCI 论文 10 余篇，单篇最高影响因子 20.2，累计获得 SCI 他引 300 余次。项目研究成果还多次在 Chemical Engineering Journal, Journal of Hazardous Materials, Journal of Cleaner Production 等国际高水平 SCI 期刊上被引用并正面评价，具体评价内容如下所示：

依托本研究发现之一发表的学术论文“Simultaneous removal of Arsenic(III) and

Chromium(VI) over ZnFe_2O_4 {100}/{111} Z-scheme photocatalyst: Facet-dependent active site and overlooked As(III)/Cr(VI) complex”, 发表在国际知名学术期刊 Journal of Cleaner Production, 经 Web of science 查证该论文的总引用次数为 17 次, Wang Xiangke 等人在 Separation and Purification Technology 期刊上正面评价“Lei Dashi 等人构造的一种新颖的 ZnFe_2O_4 {100}/{111} 晶面 Z 型异质结对 As (III) 和 Cr (VI) 具有优异的协同去除效果[91]。通过 DFT 计算研究了{111}和{100}平面的能带结构。此外, 通过电荷转移路径和{111}/{100}异质结之间的电荷密度差异证实了 z 型异质结的存在。在多污染物系统中, 1.0 mM 的 As (III) 和 Cr (VI) 在 pH 为 3 的条件下均可在 90 min 内消除, 溶解氧的增加对 As (III) 和 Cr (VI) 的消除分别产生积极和消极的影响”(详见附件 2-2-9)。

依托本研究发现之二发表的学术论文“Oxalate enhanced synergistic removal of chromium(VI) and arsenic(III) over $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{g-C}_3\text{N}_4$: Z-scheme charge transfer pathway and photo-Fenton like reaction”, 发表在国际知名学术期刊 Applied Catalysis B: Environmental, 经 Web of science 查证该论文的总引用次数为 158 次, Wang Shaobin 等人在 Advanced Functional Materials 期刊(影响因子 19.0)上正面评价: “Lei Dashi 等人利用 $\text{ZnFe}_2\text{O}_4/\text{g-C}_3\text{N}_4$ 所构建的光芬顿反应体系, 能够快速实现矿山废水中重金属离子铬和砷的同步去除, 为光芬顿反应的环境应用增加了一项有效实例”(详见附件 2-2-8)。

依托本研究发现之三发表的学术论文“Visible Light Accelerates Cr(III) Release and Oxidation in Cr-Fe Chromite Residues: An Overlooked Risk of Cr(VI) Reoccurrence”, 发表在国际知名学术期刊 Environmental Science & Technology, 经 Web of science 查证该论文的总引用次数为 31 次, Lijuan Zhang 等人在 Chemical Engineering Journal 期刊上正面评价: “Lei Dashi 等人发现, 还原后的 Cr(III)易于与催化剂界面上的 Fe (III)形成稳定的复合氧化物, 实现了还原 Cr(VI)和原位固定其还原产物的双重目的”(详见附件 2-2-10)。

(4) 科技奖励

本项目的研究成果曾先后获得中国有色金属工业科学技术一等奖、陕西高等学校科学技术研究优秀成果一等奖和二等奖, 详见附件 2-2-15、2-2-16 和 2-2-17。相关技术得到国内外学术界和工程界的广泛关注和赞誉。

五、应用情况

1. 应用情况

本项目针对矿山行业废水中重金属离子去除难度大的问题，成功研发了高效光催化降解与深度净化关键技术体系。

在矿山废水治理方面，项目充分利用矿区太阳光紫外辐射强的特点，采用低成本、易操作的光催化技术，对废水中重金属污染物实现了高效去除，重金属离子去除率达 98%以上，并实现了对重金属阴离子的深度净化，显著降低了废水的生物毒性与环境危害，有效保障了当地生态系统安全及居民健康。该技术操作灵活、适用性广，为电镀、印染等行业的难降解工业废水处理与资源化利用提供了可靠的技术途径和理论支撑，降低了企业治理成本，提升了经济效益与市场竞争力。

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	甘肃新洲矿业有限公司	重金属价态转化与协同去除关键技术及应用	矿山废水	2022 年 1 月至 2024 年 12 月	陈吉祥
2	浙江华东工程建设管理有限公司	重金属价态转化与协同去除关键技术及应用	矿山废水	2022 年 1 月至 2024 年 12 月	陆泓波

在矿山废水处理方面，项目针对其高浓度难处理的重金属离子，开发了模块化处理技术与装备。通过与国内多家企业开展产学研合作，相关技术已在甘肃新洲矿业有限公司、浙江华东工程建设管理有限公司等企业的废水处理与回用工程中稳定应用。运行结果表明，该系统操作简便、运行成本低，出水水质稳定达到废水回用率达 95%以上，实现了矿山废水的安全处置与资源化，显著增强了应用企业的环保水平和行业竞争力。

近年来，相关技术累计为企业新增经济效益 15081.65 万元，新增利润 3714.27 万元，环境效益、社会效益和经济效益显著。

此外，依据该技术，项目团队与河南正联环境科技有限公司签署产学研合作协议，获得持续资金支持，推动技术研发与成果转化，为促进矿业及煤化工行业绿色、可持续发展提供了重要技术保障，对维护区域水环境安全具有重要意义。

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	一种十六烷基三甲基溴化铵改性钼酸铋光电极的制备方法、产品及其应用	中国	ZL201910843131.9	2021.12.24	4866074	西安建筑科技大学	薛娟琴，雷大士，张健，李姝昊，毕强，唐长斌
2	发明专利	一种铋离子掺杂改性 BiVO ₄ 光电催化电极的制备方法、产品及其应用	中国	ZL201910843787.0	2022.03.25	5027728	西安建筑科技大学	薛娟琴，李金锴，雷大士，李姝昊，毕强，唐长斌
3	发明专利	一种从电镀污泥中选择性回收铜、镍的方法	中国	ZL202210758643.7	2024.03.26	6830470	西安建筑科技大学	雷大士，王宇斌，彭祥玉
4	发明专利	一种氢氧化镁制备方法及含植酸污水处理方法	中国	ZL202210119026.2	2022.02.08	6683858	中国电建集团华东勘测设计研究院有	陆泓波，任金明，王永明，李瑞泽，吴坚，丁聪，刘万鹏，秦亚光

							限公司浙江华东工程建设管理有限公司	
5	论文	Visible Light Accelerates Cr(III) Release and Oxidation in Cr-Fe Chromite Residues: An Overlooked Risk of Cr(VI) Reoccurrence	中国	2022, 56, 17674-17683	2022.12.18	Environmental Science & Technology	西安建筑科技大学	雷大士, 苟春丽, 王春雳, 薛娟琴, 张中申, 刘炜珍, 林璋, 张静
6	论文	Simultaneous removal of Arsenic(III) and Chromium(VI) over ZnFe ₂ O ₄	中国	2023, 383, 135493	2022.13.03	Journal of Cleaner Production	西安建筑科技大学	雷大士, 张璐, 颜慧醞, 刘雨涵, 彭祥玉, 薛娟琴, 王宇斌

		{100}/{111} Z-scheme photocatalyst: Facet-dependent active site and overlooked As(III)/Cr(VI) complex						
7	论文	Visible-light activation of sulfite by ZnFe ₂ O ₄ @PANI photocatalyst for As(III) removal: The role of radicals and Fe(IV)	中国	2022, 578, 151940	2021.11.14	Applied Surface Science	西安建筑科技大学	雷大士, 薛娟琴, 毕强, 唐长斌, 张良, 张静
8	论文	Effective photocatalytic removal of As(III) by ZnFe ₂ O ₄ /Ag/AgCl coupled	中国	2021, 567, 150860	2021.08.03	Applied Surface Science	西安建筑科技大学	雷大士, 薛娟琴, 彭祥玉, 李姝昊, 毕强, 唐长斌, 张良, 张静

		peroxymonosulfate: Z-Scheme charge transfer and dual active sites						
9	论文	Z-scheme transfer pathway assisted photoelectrocatalyst Zn ₂ SnO ₄ /rGO/Ag/AgBr for organic pollutants treatment	中国	2023, 657, 130552	2023.01.20	Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects	西安建筑科技大学	彭祥玉, 田佳怡, 张帅, 肖巍, 田晓珍, 王宇斌, 薛娟琴, 雷大士
10	论文	Enhancing photocatalytic performance of Zn ₂ SnO ₄ by doping Yb: Oxygen vacancies formation and dye self-sensitization degradation	中国	2020, 108, 110454	2020.09.24	Optical Materials	西安建筑科技大学	薛娟琴, 雷大士, 毕强, 唐长斌, 张良

七、主要完成人情况表

姓 名	雷大士	排 名	1
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	西安建科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目技术创造性贡献： 负责项目的总体设计和规划，提出了光催化剂材料制备、光芬顿体系构筑和铬/砷离子交互作用机理研究的总体设计方案，在整体上把握项目的实施进程，对于创新点 1、2、3 做出了突出贡献。			

姓 名	陈吉祥	排 名	2
行政职务	无		
技术职称	工程师		
工作单位	甘肃新洲矿业有限公司		
完成单位	甘肃新洲矿业有限公司		
对本项目技术创造性贡献： 负责矿山废水处理的具体实施过程，协调矿山相关工作人员积极配合开展工作，通过现场工艺优化和模块工艺组合，保障了重金属价态转化和协同去除技术的顺利实施，对于创新点 3 做出了突出贡献。			

姓 名	陆泓波	排 名	3
行政职务	无		
技术职称	工程师		
工作单位	浙江华东工程建设管理有限公司		
完成单位	浙江华东工程建设管理有限公司		
对本项目技术创造性贡献：			
主要负责创新点 1 中光催化剂的设计、制备和优化，为光催化材料的工业化应用提供了宝贵意见，并成功实现了废水和污泥中有价元素的综合回收。并联合申请了发明专利，佐证材料见附件 1-1。			

姓 名	孙朋	排 名	4
行政职务	无		
技术职称	工程师		
工作单位	甘肃新洲矿业有限公司		
完成单位	甘肃新洲矿业有限公司		
对本项目技术创造性贡献：			
主要负责创新点 2 中高效处理体系的优化和构筑，同时也负责协调矿山相关工作人员积极配合开展工作，保障了重金属价态转化和协同去除技术的顺利实施，对于创新点 2 做出了突出贡献。			

姓 名	王宇斌	排 名	5
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	西安建科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目技术创造性贡献： 主要负责重金属离子的高效去除研究、吸附动力学机理分析和理论计算研究，对于创新点 3 做出了突出贡献。并联合发表了论文专著。			

姓 名	彭祥玉	排 名	6
行政职务	无		
技术职称	副教授		
工作单位	西安建科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目技术创造性贡献： 主要负责光催化体系的优化构筑和重金属离子的吸附去除研究，对本研究创新点 1、3 做出了突出贡献。并联合申请了发明专利。			

姓 名	薛娟琴	排 名	7
行政职务	无		
技术职称	教授		
工作单位	西安建科技大学		
完成单位	西安建筑科技大学		
对本项目技术创造性贡献： 主要负责高效光催化剂材料设计制备、理论计算、结构调等工作，对于创新点 1、2 做出了突出贡献。并联合申请了发明专利。			

八、主要完成单位情况表

单位名称	甘肃新洲矿业有限公司
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>在项目的整体实施过程中，甘肃新洲矿业有限公司主要负责重金属价态转化与协同去除技术在现场的具体实施过程。从相关设备的选型到整个废水处理工程工艺参数的优化，甘肃新洲矿业有限公司协调整相关人员，提供厂区现有废水处理装置和场地，以熟练的运作模式、丰富的工程经验从人力和物力上完成了重金属价态转化与协同去除关键技术在实际工程中的应用，实现矿山废水处理工艺的顺利运行。</p>	

单位名称	浙江华东工程建设管理有限公司
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>在项目的整体实施过程中，浙江华东工程建设管理有限公司主要负责矿山废水处理技术在现场的具体实施过程。从催化材料的批量化制备到矿山废水处理工艺的设计及优化，浙江华东工程建设管理有限公司协调整相关人员，以熟练的运作模式、丰富的工程经验从人力和物力上完成了重金属价态转化与协同去除关键技术在实际工程中的应用，实现矿山废水处理工艺的顺利运行。</p>	

完成人合作关系说明

项目第一完成人与本项目其他完成人通过论文合著、共同立项、共同知识产权、合作项目等多种方式，就本项目涉及的矿山废水中重金属离子的处理及资源化相关核心理论创新、技术集成、及工业应用调试等进行了广泛的合作研究。项目开展过程中学校和企业充分发挥了各自特长及优势，保证了项目从技术研发到工业推广的顺利进行，项目合作情况良好，成果显著，有效的推动了行业科学技术进步。具体合作关系如下：

项目第一完成人雷大士、第五完成人王宇斌、第六完成人彭祥玉和第七完成人薛娟琴的工作单位均为西安建筑科技大学。其中，第一完成人与第五完成人王宇斌合作申请与项目相关发明专利 1 项，共同发表与项目相关的学术论文 2 篇，共同获奖 1 项；第一完成人与第六完成人彭祥玉合作申请与项目相关发明专利 1 项，共同发表与项目相关的学术论文 2 篇，共同获奖 1 项；第一完成人与第七完成人薛娟琴合作申请与项目相关发明专利 2 项，共同发表与项目相关的学术论文 6 篇，共同获奖 1 项。

项目第二完成人陈吉祥和第四完成人孙朋的工作单位为甘肃新洲矿业有限公司，第三完成人陆泓波工作单位为浙江华东工程建设管理有限公司，均在该项目的具体实施过程中做出了突出贡献。其中，第一完成人与第二完成人陈吉祥合作立项 1 项；第一完成人与第三完成人陆泓波合作立项 1 项，合作申请发明专利 1 项；第一完成人与第四完成人孙朋合作立项 1 项，共同发表与项目相关的学术论文 1 篇。

第一完成人签名：

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	雷大士 /1 王宇斌 /5 彭祥玉 /6 薛娟琴 /7	2021 年 01 月	2023 年 12 月	陕西高等学校科学技术研究优秀成果二等奖	附件 2-2-20
2	共同立项	雷大士 /1 陈吉祥 /2 陆泓波 /3 孙朋 /4	2023 年 01 月	2024 年 12 月	甘肃新洲矿业有限公司重点项目“1#、2#尾矿库资源回收项目选矿实验技术服务”	附件 2-1-3
3	共同知识产权	雷大士 /1 王宇斌 /5 彭祥玉 /6	2023 年 01 月	2024 年 12 月	一种从电镀污泥中选择性回收铜、镍的方法	附件 1-1-3
4	共同知识产权	雷大士 /1 薛娟琴 /7	2021 年 01 月	2023 年 12 月	一种十六烷基三甲基溴化铵改性钼酸铋光电极的制备方法、产品及其应用	附件 1-1-1
5	论文合著	雷大士 /1 王宇斌 /5 彭祥玉 /6 薛娟琴 /7	2022 年 1 月	2022 年 12 月	Simultaneous removal of Arsenic(III) and Chromium(VI) over ZnFe ₂ O ₄ {100}/{111} Z-scheme photocatalyst: Facet-dependent active site and overlooked As(III)/Cr(VI) complex	附件 2-2-3
6	论文合著	雷大士 /1 王宇斌 /5 彭祥玉 /6 薛娟琴 /7	2022 年 1 月	2022 年 12 月	Z-scheme transfer Pathway assisted photoelectrocatalyst Zn ₂ SnO ₄ /rGO/Ag/AgBr for organic pollutants treatment	附件 2-2-6
7	论文合著	雷大士 /1 薛娟琴 /7	2021 年 1 月	2021 年 11 月	Effective photocatalytic removal of As(III) by ZnFe ₂ O ₄ /Ag/AgCl coupled peroxydisulfate: ZScheme charge transfer and dual active sites	附件 2-2-5
8	共同知识产权	雷大士 /1 陆泓波 /3	2021 年 5 月	2021 年 11 月	一种简单高效提取电镀污泥中铜的方法	未列入附件
9	论文	雷大士 /1	2023 年	2024 年	磁化时间对丁铵黑药强化方铅	未列入

	合著	孙朋/4	12 月	07 月	矿可浮性的影响机理	附件
--	----	------	------	------	-----------	----

承诺：本人作为项目第一完成人，对本项目完成人合作关系及上述内容的真实性负责，特此声明。

第一完成人签名：