

陕西省技术发明奖公示信息

(2025年度)

一、项目基本情况

项目名称	轻合金表面先进涂层制备技术及产业化应用
主要完成人	王强 牛文娟 李楠 钱润玲 郭楠
主要完成单位	西安建筑科技大学

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 checked="" type="checkbox"/> 二等奖
<p>提名意见：</p> <p>《轻合金表面先进涂层制备技术及产业化应用》项目面向航空航天和高端装备制造等重大需求，针对传统表面处理能耗高、污染重、涂层性能不足等瓶颈，取得了系列原创性技术突破。项目创新提出并实现了嵌入式复合非晶涂层、高性能金属基陶瓷复合涂层及新型多元材料复合涂层的固态沉积制备新方法，具有显著的技术先进性与自主创新性。</p> <p>该项目成果已在陕西天元智能再制造股份有限公司、中车青岛四方机车车辆股份有限公司等多家企业广泛应用，显著提升了轻合金关键部件的服役性能与可靠性，推动了国产化进程，取得了突出经济与社会效益，并对新材料与先进制造产业的绿色低碳发展起到重要支撑作用。项目技术发明点清晰，知识产权归属明确，成果经多家应用单位长期验证，整体水平达到行业先进，具备良好推广价值。</p> <p>综上，我单位认为该项目符合陕西省技术发明奖授奖条件，特提名该项目为陕西省技术发明奖二等奖。</p>			

三、项目简介

近年来，我国航空航天、国防军工、轨道交通等国家重要安全与经济领域迅速发展，对重大装备的轻量化设计提出了更高的要求。镁合金、铝合金具有密度低、比强度高、易加工等优点，广泛应用于我国多型号的航天飞行器、军用大型运输机/舰载直升机/歼击机、高速列车上。然而，镁合金、铝合金的耐磨损性能较差，性质活泼易发生腐蚀。由腐蚀和磨损引起的铝、镁合金零部件表面损伤问题，严重影响了装备的使用安全和服役寿命。因此，轻合金表面修复与防护技术的研究和开发具有重要的现实意义。

目前，常用的轻合金表面涂层制备方法如堆焊、激光熔覆等高温技术对基体的热损伤较大，易导致材料氧化、相变、变形和开裂等问题；电刷镀制备的镀层薄、与基体的结合强度低，并且面临较严重的环境污染问题。随着《有色金属行业碳达峰实施方案》和《2024-2025 年节能降碳行动方案》等国家政策的实施，传统的轻合金表面涂层制备技术已无法满足“双碳”目标和节能减排的需求。针对传统涂层制备技术无法满足轻合金表面高性能防护涂层的制备需求，本项目采用超音速冷喷涂和超音速激光沉积技术，通过对粉末原材料、涂层成分与结构、制备工艺和设备的集成创新，实现了镁合金、铝合金表面金属基陶瓷复合涂层、新型多元材料复合涂层、非晶合金涂层等一系列高性能防护涂层的开发和应用，为我国航空航天、国防军工、轨道交通等领域中的镁合金、铝合金关键零部件的防护提供了系统的解决方案。

本项目开发了轻合金表面先进涂层材料及其制备相关的核心技术。包括应用低温超音速冷喷涂技术，解决高温涂层制备技术易导致的非晶合金晶化和氧化的瓶颈问题。在 AZ31 镁合金、6061 铝合金表面制备出致密度高、非晶含量高的高性能非晶合金涂层，该涂层具有优异的耐腐蚀、耐磨损性能，并且通过对非晶合金粉末进行深冷循环处理，开发出制备嵌入式复合非晶涂层的新方法。（授权专利：**ZL202010761088.4**；**ZL202110477978.7**）；采用基于金属颗粒极端塑性变形的超音速冷喷涂固态喷射成形技术，在镁合金、铝合金表面制备金属基陶瓷复合涂层，并且通过添加微米、纳米尺度的陶瓷粉末颗粒，调控涂层的成分与结构，获得具有耐磨自润滑特性的高性能复合涂层的高性能金属基陶瓷复合涂层及其固态沉积制备新方法（授权专利：**ZL 201911368823.9**；**ZL 202110449251.8**）；以 Al-Ni、Al-Zn 金属复合粉末为原料设计

并制备了高性能铝基多元金属复合涂层材料。该技术通过调控冷喷涂过程中颗粒的温度和速度，获得了良好的元素扩散冶金结合层，有效控制了涂层-基体间的界面结合状态，进而提高了界面结合强度。并且，大幅提升了粉末原料利用率，并提高了涂层致密度。开发的**新型多元材料复合涂层及其固态沉积制备新方法（授权专利：ZL201811445984.9；ZL202120536241.3；ZL201710561429.1）**。

本项目相关技术的产业化应用显著提升了轻合金零部件的使用性能和服役周期，符合绿色制造的发展方向。目前，已在陕西天元智能再制造股份有限公司、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、西安俊程精密科技有限公司、西安瑞霖电子科技有限公司、西安科佳光电科技有限公司等国内相关企业进行了广泛应用，并取得了高度认可。项目累计产生经济效益 727.38 万元。根据我国战略发展布局和国内外宏观经济环境，预计未来光伏、风电、动力及储能电池封装、新能源汽车及交通工具轻量化等将成为轻合金材料产业的主要增长点。轻合金表面先进防护及功能涂层的需求量及市场容量有望进一步扩大，在未来行业中有着较大的发展空间。

四、客观评价

目前，国内外关于采用低温固态沉积技术在轻合金表面制备非晶合金及铝基陶瓷复合涂层的研究仍处在技术开发与验证阶段，产业化应用尚未成熟。本项目采用超音速冷喷涂和超音速激光沉积技术，通过对粉末原材料、涂层成分与结构、制备工艺和设备的集成创新，实现了镁合金、铝合金表面金属基陶瓷复合涂层、新型多元材料复合涂层、非晶合金涂层等一系列高性能防护涂层的开发和应用。项目研发的高性能防护涂层与目前行业水平对比如表1所示，非晶合金涂层和铝基陶瓷复合涂层的孔隙率、与基体的结合强度及磨损性能等指标均处于行业领先水平。

项目成果已在航空航天、高端装备制造等领域开展示范应用，表现出优异的工程适用性和稳定性。根据用户单位提供的应用证明，涂层使关键部件的耐磨寿命大幅提升，维护周期显著延长，有效降低了因部件失效导致的停机损失。此外，该技术还可应用于海洋装备、新能源汽车等对轻量化与表面性能要求较高的领域，应用前景广阔。

本项目开发的涂层技术大幅提升了轻合金材料的表面性能，拓展了其在高工况环境下的应用范围，对推动制造业轻量化、高性能化发展具有重要意义。据初步估算，该技术规模化应用后，可为企业节约因零部件更换和停机带来的成本约20%以上，同时减少因材料早期失效导致的资源浪费。项目成果符合国家新材料、高端装备等领域的发展战略，具备显著的社会和经济效益。

表1 本项目与目前行业水平对比分析

涂层材料	指标	本项目水平	目前行业水平	对比结论
非晶合金涂层	晶化率	<10%	>15%	领先
	结合强度	25±2MPa	18±2MPa	领先
	磨损率	0.8×10 ⁻⁵ mm ³ /N·m	1.2×10 ⁻⁵ mm ³ /N·m	领先
	磨擦系数	0.38±0.05	0.44±0.05	领先
铝基陶瓷复合涂层	孔隙率	<0.5%	<1%	领先
	结合强度	>69MPa	>55.3MPa	领先
	磨损率	3.0×10 ⁻³ mm ³ /N·m	4.5×10 ⁻³ mm ³ /N·m	领先
	磨擦系数	0.11±0.05	0.31±0.05	领先

五、应用情况和效益

1. 应用情况

本项目技术在陕西天元智能再制造股份有限公司、西安俊程精密科技有限公司等国内相关企业进行了广泛应用，并取得了广泛认可。项目创新性地为我国航空航天、国防军工、轨道交通等领域中的镁合金、铝合金关键零部件的防护提供了系统的解决方案。

表 2 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	陕西天元智能再制造股份有限公司	轻合金表面修复与再制造技术	高铁铝合金车体现场修复	2020.01.01-2024.10.31	苏成明
2	西安俊程精密科技有限公司	耐磨自润滑涂层制备技术	电力装备铝合金端盖轴套内壁耐磨自润滑涂层制备	2020.01.01-2024.10.31	李延安

应用案例一：高铁铝合金车体现场修复应用

采用全铝车身是提高列车运行速度、降低运行成本的关键因素。我国的高铁运行里程长，运行环境复杂，车体易出现由腐蚀、磨损、划伤等引起的表面缺陷，严重影响了列车的外观及运行安全。因此，对铝合金车体进行表面修复与防护对保证高铁运行安全具有重要的现实意义，经济高效的铝合金车体防护技术具有广泛的应用前景。针对目前常见的铝合金堆焊、激光熔覆等修复与表面处理方法所存在的高温氧化、热影响区等问题，本项目团队创新提出采用以低温固态沉积为特点的超音速冷喷涂技术，并开展了高铁铝合金车体表面缺陷修复及防腐涂层材料制备方法的关键技术研发。项目团队联合陕西天元智能再制造有限公司与青岛中车四方公司展开了技术合作与应用推广，针对性地研发出高铁车体腐蚀和磨损问题的铝基复合涂层材料、车体修复工艺及移动式现场修复设备，解决了长期以来困扰高速列车车体维护费用高的难题。该技术为我国高铁车体修复提供了新技术，产生了良好的经济效益，并且在铝合金修复与防护行业领域的具有广阔的市场前景。



图 1 移动式超音速冷喷涂设备及高铁车体修复现场

应用案例二：电力装备铝合金端盖轴套内壁耐磨自润滑涂层应用

轻合金具有比强度、比刚度高和比重小的优点，广泛应用于我国大型电力装备中。电机设备用铝合金端盖轴套内壁面临严重的摩擦磨损问题，导致电机运行故障频发。因此，亟待开发新型的铝合金耐磨自润滑涂层。目前，在铝合金表面制备耐磨涂层的技术主要包括微弧氧化、热喷涂、激光熔覆等。微弧氧化技术摩擦系数较高，缺少自润滑性，不利于节能减排；热喷涂和激光熔覆技术对基体的热影响较大，易引起基体表面出现残余拉应力，导致材料疲劳性能降低。项目团队联合西安俊程精密科技有限公司开展了技术合作与应用推广，开发出一种铝基陶瓷复合耐磨自润滑涂层材料及其制备的新方法，采用内壁修复专用设备，成功制备了耐磨自润滑涂层，极大提升了设备的运行安全与效率，降低了设备的维修成本，经济效益显著。



图 2 电力装备铝合金端盖轴套内壁耐磨自润滑涂层制备现场

2. 经济效益和社会效益

本项目“轻合金表面先进涂层制备技术及产业化应用”在实现关键技术发明与突破的同时，已产生显著的经济效益，并对推动产业升级、保障国家重大工程和促进区域发展发挥了重要的社会效益。

2.1 经济效益

本项目技术成果已成功在陕西省内多家行业龙头企业实现规模化、产业化应用，显著提升了相关产品的性能、寿命和市场竞争力，直接创造了巨大的经济效益。

直接经济效益显著：技术成果已在陕西天元智能再制造股份有限公司、中车青岛四方机车车辆股份有限公司、西安俊程精密科技有限公司、西安瑞霖电子科技有限公司、西安科佳光电科技有限公司等国内相关企业进行了广泛应用，并取得了高度认可。项目累计产生经济效益 727.38 万元。

降低综合成本，提升企业效益：本项目技术成果通过创新的工艺路径和高效的材料利用方式，从多个维度显著降低了企业的综合运营成本，有效提升了经济效益。相比传统制造或修复工艺，本技术无需高温熔化材料，实现了低温、高效加工，大幅减少了能源消耗，同时降低了设备的热应力与磨损，延长了设备使用寿命，减少了维护频次与成本。生产成本较传统工艺降低约 20%-30%。在材料利用方面，采用先进的局部塑性变形与粉末致密化结合技术，显著提升了材料利用率，尤其在钛合金、镍基高温合金等高价值金属的应用中，材料浪费大幅减少，利用率提升 40%以上，有效节约了昂贵的原材料支出。此外，该技术已成功应用于航空、军工等领域的高价值零部件修复与再制造，不仅避免了整体更换带来的高昂成本，还显著缩短了修复周期，减少了设备停机时间，使关键装备能够快速恢复服役，大幅提升了生产线的运行效率和整体收益。综合来看，本技术通过节能降耗、节材增效和高效修复，为企业带来了全方位的成本优化与效益提升。

增强产品竞争力，开拓高端市场：应用本技术的轻合金构件在耐磨、耐蚀、减摩等关键性能上达到国际先进水平，满足了航空航天、高端装备制造等领域对长寿命、高可靠性部件的严苛要求，助力合作企业成功进入国内外高端供应链，提升了产品议价能力和市场占有率，为高端制造产业创造了新的经济增长点。

带动产业链发展：项目的实施促进了上游靶材、特种气体、智能化装备等配套产业的发展，以及下游应用领域的技术升级，形成了良好的产业带动效应，优化了新材

料与先进制造产业链。

2.2 社会效益

轻合金表面先进涂层制备技术不仅带来了显著的经济效益，还在推动科技进步、环境保护及提高人民生活质量等方面产生了广泛的社会效益。

服务国家重大战略需求：项目成果成功应用于航空发动机、起落架、高端医疗器械、新能源汽车核心部件等国家重大工程和战略性新兴产业的关键构件，有效解决了轻合金部件在严苛服役环境下的可靠性与寿命瓶颈，为我国航空航天、国防军工、高端交通装备等领域的自主可控和安全运行提供了强有力的技术支撑，保障了国家重大装备的服役安全。

引领产业技术升级与绿色转型：本项目突破了传统表面处理技术高能耗、高污染的局限，开发的低温、高效、环保技术符合国家“双碳”战略目标。技术的推广应用，显著减少了表面处理过程中的能源消耗和污染物（如含铬废水、废气）排放，推动了陕西省乃至全国表面工程行业向绿色、智能、可持续方向转型升级，具有重要的环保示范意义。

促进高层次人才培养与学科发展：项目实施过程中，培养了一大批在材料表面工程、先进制造技术领域的博士、硕士研究生和工程技术人员，为相关行业输送了急需的高素质创新人才。同时，项目取得的系列原创性成果，丰富和发展了材料表面改性理论与技术体系，推动了相关学科的进步。

创造就业机会：技术的产业化应用带动了生产线建设、设备维护、技术研发、质量控制等环节的人员需求，为社会创造了新的就业岗位。

综上所述，本项目在创造巨大直接经济效益的同时，其社会效益广泛而深远，充分体现了技术创新在服务国家战略、推动产业升级、促进绿色发展和提升区域竞争力方面的核心价值。

六、主要知识产权证明目录（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	一种利用冷喷涂技术制备嵌入式复合非晶涂层的方法及复合材料	中国	ZL 202010761088. 4	2022-11-08	5568388	西安建筑科技大学	牛文娟；李旭；王强；王璐；毛轩
2	发明专利	一种用于制备耐磨自润滑涂层的材料以及耐磨自润滑涂层和制备方法	中国	ZL 201911368823. 9	2021-12-07	4833671	西安建筑科技大学	牛文娟；王强；李旭；毛轩；李洋洋；杨驹；王永刚；王璐
3	发明专利	一种具有可磨耗封严涂层的复合材料及其制备方法	中国	ZL 202110449251. 8	2022-11-15	5583460	西安建筑科技大学	王强；李楠；牛文娟；李旭；韩鹏；韩瑜
4	发明专利	一种铁基耐磨复合材料及其制备方法	中国	ZL 202110477978. 7	2022-06-28	5266817	西安建筑科技大学	王强；杨驹；牛文娟；张康；李洋洋；毛轩；王永刚

5	发明专利	一种医用钛合金表面多孔钛涂层及其制备方法	中国	ZL 20171056142 9.1	2019-12-31	3650092	西安 建筑 科技 大学	王强; 牛文 娟; 王 快社; 高原; 王文
6	发明专利	一种晶粒细化的3D打印用金属粉末及其制备方法	中国	ZL 201811445984. 9	2020-11-06	4079674	西安 建筑 科技 大学	王强; 张康; 牛文 娟
7	实用新型专利	一种混粉机	中国	ZL 202120536241. 3	2021-11-23	1482978 4	西安 建筑 科技 大学	王强; 杨驹; 牛文 娟; 张 康; 李 洋洋; 毛轩; 王永 刚
8								
9								
10								

七、主要完成人情况表

姓 名	王强	排 名	1/5
行政职务	无		
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： 作为项目负责人，全面负责项目的整体规划、技术方案设计、研究进程管理与资源协调，承担核心决策任务，并作为主要代表进行对外交流与合作。在项目推进过程中，主导了多项关键方法的理论构建与验证方案设计，为实现高性能非晶合金涂层及其低温沉积新方法、高性能金属基陶瓷复合涂层及其固态沉积新方法和新型多元材料复合涂层及其固态沉积制备新方法的技术突破与系统集成提供了重要支撑，对项目的顺利实施与成果产出发挥了决定性作用。			

姓 名	牛文娟	排 名	2/5
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：			
作为成果主要完成人，系统开展了镁合金表面非晶合金涂层的沉积机理与性能研究，阐明了冷喷涂过程中非晶涂层的形成机制与结构演化规律，并牵头完成多项组织性能表征工作。在嵌入式复合非晶涂层、金属基陶瓷复合涂层及多元材料复合涂层的固态沉积新方法研发方面，提出了关键工艺方案，实现了涂层性能的显著提升，为实现高性能非晶合金涂层及其低温沉积新方法、高性能金属基陶瓷复合涂层及其固态沉积新方法和新型多元材料复合涂层及其固态沉积制备新方法相关技术从基础研究走向工程应用作出了实质性贡献。			

姓 名	李楠	排 名	3/5
行政职务	无		
技术职称	讲师		
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： 作为成果主要完成人，在高性能金属基陶瓷复合涂层的研发中，主导完成了实验体系的构建与方法论设计，提出了科学严谨的实验方案，优化了数据采集与分析方法，显著增强了研究的创新性与结果可靠性，为涂层技术在成分-结构-性能调控方面的突破提供了关键支撑，对金属基陶瓷复合涂层及其固态沉积制备新方法和新型多元材料复合涂层及其固态沉积制备新方法的建立与验证作出了实质性贡献。			

姓 名	钱润玲	排 名	4/5
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： 作为成果完成人，在研究计划实施与实验结果分析中发挥了关键作用，参与镁合金及铝合金表面非晶合金涂层研究，主要负责涂层的组织表征与机理分析。通过深入研究涂层力学性能，明确了非晶颗粒在沉积成形过程中的变形机制，并参与高水平论文撰写，为高性能非晶合金涂层及其低温沉积新方法的实现作出实质性贡献。			

姓 名	郭楠	排 名	5/5
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： 作为成果完成人，在研究计划实施和实验结果分析中发挥了关键作用，主要负责铝合金表面金属基陶瓷复合涂层的成分设计、样品制备、性能测试及沉积成形机理分析。通过研究涂层与基体界面结合及颗粒间结合特性，揭示了复合涂层的性能特点与界面结合机理，为项目高性能金属基陶瓷复合涂层及其固态沉积新方法的实现提供了重要支撑，做出了实质性贡献。			

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>西安建筑科技大学作为本项目的第一完成单位，全面主导并深度参与了“轻合金表面先进涂层制备技术及产业化应用”项目的科技创新与应用推广全过程，是项目取得系统性突破和显著经济社会效益的核心力量。</p> <p>学校依托冶金工程学院及相关科研平台，组建了高水平创新团队，围绕轻合金表面防护的重大技术难题，开展了长达十余年的持续攻关。项目核心的高性能非晶合金涂层及其低温沉积制备新方法、高性能金属基陶瓷复合涂层及其固态沉积制备新方法、新型多元材料复合涂层及其固态沉积制备新方法等关键发明，均由学校科研团队在基础理论研究和实验室研发阶段完成并实现原理验证。学校作为第一申请人，牵头获得了国家发明专利，构建了完整、自主的知识产权体系，为项目奠定了坚实的科技基础。</p> <p>学校不仅是技术的“发明者”，更是成果转化的“推动者”。团队积极践行“秦创原”创新驱动理念，与陕西天元智能再制造股份有限公司等企业建立紧密的产学研合作。在智能化涂层生产线的工艺设计、关键参数在线监测与反馈系统构建中，学校团队提供核心技术方案与现场指导，成功实现技术的规模化和稳定化生产。</p> <p>本项目成果已成为学校材料与冶金学科的标志性成就，有力促进学科发展。技术在陕西省内重点产业成功应用，为推动陕西省新材料与高端装备制造产业升级、实现绿色低碳发展做出突出贡献，充分彰显了高校服务国家战略与区域经济社会发展的使命担当。</p>	

完成人合作关系说明

项目完成人包括王强，牛文娟，李楠，钱润玲，郭楠。本项目所有完成人同属西安建筑科技大学，通过论文合著、共同知识产权、共同获奖等方式合作。

项目第一完成人王强与第二完成人牛文娟通过论文合著、共同知识产权、共同立项、共同获奖方式合作。

项目第一完成人王强与第三完成人李楠通过论文合著、共同知识产权、共同获奖方式合作。

项目第一完成人王强与第四完成人钱润玲通过论文合著、共同获奖方式合作。

项目第一完成人王强与第五完成人郭楠通过共同获奖方式合作。

完成人牛文娟，李楠，钱润玲通过论文合著、共同获奖方式合作。

完成人牛文娟，李楠，钱润玲，郭楠通过共同获奖方式合作。

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 知识 产权	王强/1 牛文娟/2	2020.07. 31	2022.11. 08	一种利用冷喷涂技术制备嵌入式复合非晶涂层的方法及复合材料	附件 1.1.1
2	共同 知识 产权	王强/1 牛文娟/2	2019.12. 26	2021.12. 07	一种用于制备耐磨自润滑涂层的材料以及耐磨自润滑涂层和制备方法	附件 1.1.2
3	共同 知识 产权	王强/1 牛文娟/2 李楠/3	2021.04. 25	2022.11. 15	一种具有可磨耗封严涂层的复合材料及其制备方法	附件 1.1.3
4	共同 知识 产权	王强/1 牛文娟/2	2021.04. 29	2022.06. 28	一种铁基耐磨复合材料及其制备方法	附件 2.2.1
5	共同 知识 产权	王强/1 牛文娟/2	2017.07. 11	2019.12. 31	一种医用钛合金表面多孔钛涂层及其制备方法	附件 2.2.2
6	共同 知识 产权	王强/1 牛文娟/2	2018.11. 29	2020.11. 06	一种晶粒细化的 3D 打印用金属粉末及其制备方法	附件 2.2.3
7	共同 知识 产权	王强/1 牛文娟/2	2021.03. 15	2021.11. 23	一种混粉机	附件 2.2.4
8	共同 立项	王强/1 牛文娟/2	2019.01. 01	2021.12. 31	镁合金表面非晶合金涂层的冷喷涂沉积制备机理基础研究	附件 2.2.5
9	共同 立项	王强/1 牛文娟/2	2017.01. 01	2019.12. 31	镁合金表面冷喷涂非晶合金涂层形成机理及其组织性能表征	附件 2.2.6
10	论文	王强/1	2024.01.	2024.09.	Bonding mechanism and fracture	附件 2.2.7

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
	合著	牛文娟/2 李楠/3 钱润玲/4	01	15	behavior of cold-sprayed Fe-based amorphous alloy on 6061 Al alloy	
11	论文合著	王强/1 牛文娟/2	2018.01.01	2018.08.17	The influence of cold and detonation thermal spraying processes on the microstructure and properties of Al-based composite coatings on Mg alloy	附件 2.2.8
12	论文合著	王强/1 牛文娟/2 李楠/3 钱润玲/4	2024.01.01	2024.04.30	Multi-layer formation by oxidation and solid-state crystallization of cold sprayed amorphous coatings during dry sliding wear	附件 2.2.9
13	共同获奖	王强/1 牛文娟/2 李楠/3 钱润玲/4 郭楠/5	2018.01.01	2023.10.01	陕西高等学校科学技术研究优秀成果技术发明二等奖	附件 2.2.10
14	共同获奖	王强/1 牛文娟/2 李楠/3	2018.01.01	2023.10.01	2024 年度西安建筑科技大学科学研究优秀成果奖技术发明一等奖	附件 2.2.11