

# 陕西省科学技术进步奖提名公示材料

(2025年度)

## 一、项目基本情况

项目名称	钛合金表面微弧氧化原位增强技术及应用
主要完成人	陈永楠，赵秦阳，高广睿，王楠，屈静，呼丹，徐义库，张勇
主要完成单位	长安大学，西安赛福斯材料防护有限责任公司

## 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 checked="" type="checkbox"/> 二等奖 <input type="checkbox"/> 三等奖
提名意见： <p>针对钛合金作动筒微弧氧化表面处理的膜基结合力、长效磨损性能及配套的自主化等问题，项目围绕微弧氧化技术全过程，开展系统性技术开发及应用推广，发明了常压等离子体表面预处理技术、原位反应控制技术、梯度膜层制备技术以及自主化成套装备与工艺包。实现了钛合金作动筒内壁膜层在往复疲劳磨损工况下的服役稳定性，有力支撑了航空发动机关键部件的性能提升。</p> <p>我单位认真评阅了该项目推荐材料及完成人资格，项目申报材料真实完整，项目完成单位、完成人排序无异议，符合陕西省科学技术进步奖申报要求。</p> <p>提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。</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。请在相应栏打“√”进行选择。</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

#### 一、研究背景

钛合金因其优异的比强度和良好的综合力学性能，被广泛应用于航空发动机作动筒等关键结构件。由于钛合金导热率低、耐磨性较差的问题，需要阳极氧化、微弧氧化等表面处理技术以改善结构件表面耐磨性。钛合金表面传统微弧氧化处理工艺仍以表面除污除氧化层前处理、氧化处理和清洗干燥为主，主要技术和装备还存在如下瓶颈：**前处理中残余氧的去除问题**，前处除氧是微弧氧化的保障和膜基结合的关键，常规打磨等物理工艺“剥皮”后表层仍存在大量残余氧，阻碍了微弧氧化过程中钛氧键的形成，导致膜层与基体间结合力弱；**传统微弧氧化通过添加增强颗粒实现强化**，此方法颗粒易于团聚，膜层中添加颗粒增强相分布不均，导致膜层韧性下降；此外，**传统氧化膜层结构单一**，难以满足钛合金结构件复杂工况，如动筒类部件在往复疲劳磨损的服役需求；此外，配套的微弧氧化电源装备自主化程度低，缺乏完整、可推广的成套工艺包。

因此，为解决钛合金筒件如作动筒等在严苛环境中耐磨等问题，亟需开展从表面前处理、微弧氧化原位增强技术、耐磨增韧一体化膜层设计，到配套工装、电源装备及工艺包等的系统技术创新。项目不仅可显著提升钛合金作动筒在极端工况下的服役寿命与可靠性，为我国航空航天钛合金关键结构件的安全提供技术保障，更对我国、特别是陕西省万亿产业中高端装备关键部件实现自主保障具有重要战略意义。

#### 二、主要创新点

(1) 发明了常压等离子体轰击钛合金表层除氧预处理技术，解决了钛合金表层残余氧去除的难题，从根本上避免了混氧层对微弧氧化膜层结合力的影响。针对钛合金筒腔长径比大、内部封闭的复杂结构的除氧处理，发明了筒体内壁配套的常压等离子体处理设备，处理后钛合金作动筒次表层约  $2\mu\text{m}$  厚度形成零氧层，有效的保障钛合金作动筒内壁后续微弧氧化处理，提升膜层结合力。

(2) 提出了膜层与增强相协调生长的动力学调控新方法，突破了膜层/增强相协同生长的“黑箱”认知，为精确原位调控膜层微观结构提供了坚实的理论基础。发明了原位反应同步生成增强相的微弧氧化技术，突破了传统外加增强相颗粒导致的界面结合弱、易团聚等技术瓶颈，实现膜层微观结构的精准调控与性能的协同提升。

(3) 发明了钛合金表面“原位合成+梯度设计”的一体化微弧氧化技术，通过调控原位增强相的合成和分布，实现了微观增强相与宏观层结构的双级强化效应。基于该技术结合仿生结构特点，在钛合金作动筒内壁制备了具有牙釉质结构的  $\text{MoS}_2$  尺寸梯度分布微弧氧化膜层，解决了作动筒内壁往复疲劳磨损下膜层失效问题，服役寿命提升了 27%。

(4) 发明了钛合金筒体内置阴极管配合电解液涡流的工装，通过强制内壁的涡流冲刷，克服了筒体内腔的气障层效应，解决了钛合金作动筒内壁成膜难、厚度不均的难题。开发了完全自主产权的钛合金筒体配套微弧氧化电源及对应工艺包，钛合金作动筒批量生产的产品合格率提升了 60%，能耗降低了 11%。

### 三、成果价值

**科学价值：**项目围绕钛合金微弧氧化原位反应中，氧化钛/增强相 ( $\text{MoS}_2$ 、 $\text{ZrO}_2$  等) 形核生长、界面结构等关键科学问题，及增强相尺寸、形态和分布等微结构调控关键技术研究，基于等离子体放电电位点提出了膜层与增强相协调生长的动力学调控新机制，突破了膜层/增强相协同生长的“黑箱”认知，明确了等离子体放电电位点对熔融氧化物界面传热效应的驱动作用，为精确原位调控膜层微观结构提供了坚实的理论基础。相关机制在 *Nat. Commun.*、*Adv. Funct. Mater.*、*Int. J. Plast.*、*Corros. Sci.* 等行业顶刊发表 SCI 论文 76 篇（其中中科院一区 Top 期刊 44 篇），获国家发明专利授权 25 件。

**社会价值：**本项目提供了钛合金作动筒表面微弧氧化技术的系统性解决方案，攻克了表层残余氧导致的膜基结合力差以及增强相分散不均引起膜层韧性低等技术瓶颈，开发了完全自主知识产权的常压等离子体前处理技术及配套设备、微弧氧化电源及对应工艺包。应用于钛合金作动筒等产品内壁耐磨处理，使得膜层的摩擦系数降低了 75%，磨损率降低了 64%，显著提升了产品往复疲劳磨损下的服役寿命。项目成果形成企业标准 1 项，为表面处理行业提供了可靠工艺规范，推动了钛合金高端装备关键部件表面处理技术的自主化发展。

**经济价值：**截至 2024 年底，本项目相关技术成果已在多个型号航空发动机作动筒部件，产生直接经济效益超 13554 万元；此外，成功在其他钛合金筒形部件进行推广及规模化应用，累计产生经济效益共超过 20062 万元，成果转化效益显著。

## 四、客观评价

### 1. 科研项目验收意见

2018 年陕西省科技统筹创新工程计划项目“航空发动机钛合金液压件产业化 (2016KTCQ01-101)”顺利通过验收。验收专家指出：“项目开发了航空发动机用 TC6 钛合金液压件深孔内壁耐磨涂层制备技术以及 TC6 钛合金液压件机械制备工艺，研制出了具有自主知识产权的航空发动机用 TC6 钛合金液压件产品，公司该项目建设的生产线可实现 200 套/年的能力，公司 2017 年实现产值 2344.95 万”。（附件 12）

2024 年西安市科技计划-重大科技成果就地转化资助项目“航空航天用轻质高压作动筒产业化“(2021SFGX0006)”顺利通过验收。验收专家明确指出：“通过无氢渗碳工艺与精密精工工艺的优化，与加工技术相配合在作动筒深孔内壁制备了均匀硬化层，提高内壁硬度 3 倍以上，延长了使用寿命，实现了钛合金筒体的稳定化生产，产生了重大经济效益和社会效益，累计产值 4880.2 万元”。（附件 13）

2020 年陕西省科技统筹创新工程计划项目“高性能矢量发动机耐磨液压作动筒产业化 (2018ZDXM-GY-143)”顺利通过验收。验收专家明确指出：“项目开发了矢量发动机用钛合金液压作动筒深孔内壁耐磨涂层及钛合金液压作动筒制备工艺，研制出了矢量发动机用钛合金液压作动筒产品”。（附件 14）

### 2. 用户评价

在 2013 年至 2021 年期间，西安赛福斯材料防护有限责任公司为庆安集团有限公司提供了多种型号的钛合金作动筒 500 余件：“产品解决了钛合金作动筒耐磨长寿命使用的难题，通过了“台架功能试验”、“发动机地面性能测试”、“样机飞行试验”等考核，各项指标满足设计要求，实现了钛合金作动筒在飞机矢量发动机上的**首次应用**，达到了减重、提升战机性能的目的”。（附件 11）

西安赛福斯材料防护有限责任公司为中国航空工业集团公司西安飞行自动控制研究所和金城南京机电液压工程研究中心提供了多种型号的钛合金筒体：“产品通过了地面性能测试及样机飞行试验等考核，各项指标满足设计要求，目前钛合金筒体已经成功应用在多种型号飞机的姿态控制系统上”。（附件 15、16）

### 3. 项目成果评价

项目针对钛合金微弧氧化原位增强表面处理技术及应用，突破了膜层/增强相协同生长的“黑箱”认知。据此，在金属材料、机械工程领域等领域的 *Nat. Commun.*、*Adv. Funct. Mater.*、*Int. J. Plast.*、*Corros. Sci.*等顶级期刊发表 SCI 论文 76 篇（其中中科院一区 Top 期刊 44 篇），总他引 1444 余次。

其中：

针对创新点 1，团队提出的“常压等离子体轰击钛合金表面氧化层的预处理技术”( *Vacuum*, 2017, 143, 150-157) 被国际同行评价为“有助于促进金属的粘附作用，更有效地形成薄膜”( *Mater. Today Commun.*, 2025, 110081)、 “这是促进界面结合的有效预处理方式”( *Appl. Surf. Sci.*, 2025, 163353) 和“这是高效原位反应的必要路径”( *Wear*, 2025, 205968)。

针对创新点 2 和 3，团队提出的“原位反应+梯度设计”一体化技术( *Adv. Funct. Mater.*, 2025, 2418312) 及合成增强相梯度调控机制( *Int. J. Plast.*, 2023, 103555, *Appl. Surf. Sci.*, 2025, 161296)，尤其是项目制备的 MoS<sub>2</sub> 梯度膜层指标远高于国内外同类技术指标（表 1）。国际同行认为“是结构设计和调控增强相的新范式”( *Int. J. Mech. Sci.*, 2025, 110608)、 “首次在 MAO 中通过纳米梯度结构诱导了剪切带提升膜层性能”( *Int. J. Plast.*, 2024, 104103)。

表 1 钛合金表面微弧氧化膜层性能指标对比

技术指标	国内外同类技术指标	本项目 MoS <sub>2</sub> 梯度膜层指标
膜层结合力	63 N	94 N
摩擦系数	0.53	0.13
磨损率	4.9×10 <sup>-8</sup> mm <sup>3</sup> ·N <sup>-1</sup> ·m <sup>-1</sup>	1.8×10 <sup>-8</sup> mm <sup>3</sup> ·N <sup>-1</sup> ·m <sup>-1</sup>
硬度	430 HV	580 HV

针对创新点 4，团队提出的“多物理场协同调控的集成技术和低能耗工装”，使得设备生产能耗降低 11% ( *Prog. Org. Coat.*, 2025, 108200)，钛合金作动筒批量生产的产品合格率提升 60%，成本降低了 10%；被国际同行评价为“低能等离子体工装设计的新路径”( *Surf. Coat. Technol.*, 2024, 131397)。

基于上述的成果，1) 长安大学 “轻合金表面强化技术创新团队”2020 年入选陕西省高等学校青年创新团队”（附件 19）；2) 西安赛福斯材料防护有限责任公司 2023 年获批专精特新“小巨人”企业（附件 20）；3) 2022 年赛福斯与长安大学联合获批“四主体一联合稀有金属材料涂层制品先进制造校企联合研究中心”（附件 21）；4) 2021 年完成人陈永楠入选“交通部交通运输青年科技英才”（附件 22）；5) 2022 年完成人赵秦阳入选“陕西省高校青年杰出人才支持计划”，2022 年入选“陕西省三秦英才青年人才”（附件 23、24）；6) 2025 年完成人高广睿入选“陕西省创新人才攀登工程科技创新创业人才”（附件 25）；7) 2025 年完成人王楠入选“陕西省青年人才托举工程”（附件 26）；8) 依托上述成果，项目团队近期获批国家自然科学基金面上项目、陕西省重大专项等 10 个省部级项目。

## 五、应用情况

### 1. 应用情况（限 2 页）

成果涉及的钛合金筒体、金属材料组件耐磨涂层已经在航空发动机、航天离子推进器、航天贮供单元、飞机通信等领域得到广泛应用。截止 2025 年 6 月底，钛合金筒体已累计应用 2259 件，产生经济效益约 13554 万元；由金属材料制备的壳体、导轨、箱体等组件目前已经累计应用 3099 件，产生经济效益约 6508 万元。上述产品共计产生经济效益约 20062 万元。主要应用单位及证明如下表：（附件 17、18）

序号	单位名称	应用的技术	应对象及规模	应用起止时间	
1	庆安集团有限公司	钛合金筒体耐磨涂层应用	钛合金筒体已累计在航空发动机上应用 2100 件	2019 年 1 月至 2025 年 6 月	
2	中国航空工业集团公司西安飞行自动控制研究所	钛合金筒体耐磨涂层应用	钛合金筒体已累计在航空发动机上应用 45 件	2022 年 10 月至 2024 年 12 月	
3	中航工业金城南京机电液压工程研究中心	钛合金筒体耐磨涂层应用	钛合金筒体已累计在航空发动机上应用 114 件	2023 年 3 月至 2025 年 5 月	
4	宝鸡烽火工模具技术有限公司	金属组件耐磨涂层应用	金属组件已累计在工业领域应用 3099 件	2019 年 1 月至 2023 年 12 月	

## 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	一种三明治结构的复合膜层及其制备方法	中国	ZL 2020 1099790 9.4	2021 年 11 月 30 日	4822587	长安大学	陈永楠; 王楠; 张震; 杨泽慧; 徐义库; 姜超平; 赵秦阳; 张勇
2	发明专利	一种 TC4 钛合金油井管结箍镀铜前预处理工艺	中国	ZL2016 1063942 9.4	2019 年 04 月 02 日	3316430	长安大学	陈永楠; 徐义库; 陈宏; 郝建民; 朱军; 刘双双; 张凤英; 郭梦乐; 姜超平; 邢亚哲; 张勇
3	发明专利	一种钛合金基体表面高发射率陶瓷涂层的制备方法	中国	ZL2018 1004583 0.4	2019 年 8 月 13 日	3491812	西安赛福斯材料防护有限责任公司	高广睿; 屈静; 呼丹; 李超众; 王宝云; 李争显; 颜学柏
4	发明专利	一种钛合金的超疏水复合膜层及其制备方法	中国	ZL 2020 1104553 9.0	2022 年 05 月 17 日	5160884	长安大学	陈永楠; 杨泽慧; 王楠; 张震; 张龙; 徐义库; 赵秦阳; 姜超平; 陈宏; 郝建民
5	发明专利	一种采用微弧氧化制备钛合金表面耐磨绝缘膜层的方法	中国	ZL2020 1121830 0.9	2023 年 6 月 23 日	6084868	西安赛福斯材料防护有限责任公司	呼丹; 陶路路; 翁特; 张宇舵; 杨小龙; 高广睿; 屈静; 王宝云
6	发明专利	一种钛合金球阀表面硬质防护微弧氧化膜层的制备方法	中国	ZL2020 1121681 3.6	2023 年 6 月 20 日	6063276	西安赛福斯材料防护有限责任公司	屈静; 王宝云; 呼丹; 陶路路; 翁特; 杨小龙; 张宇舵



								高广睿
7	发明专利	一种钛合金球阀表面耐磨绝缘膜层的制备方法	中国	ZL202011216827.8	2022 年 8 月 23 日	5405484	西安赛福斯材料防护有限责任公司	呼丹;屈静;陶路路;翁特;杨小龙;张宇舵;高广睿;王宝云
8	论文	Revealing the anti-friction mechanism of in-situ synthesized MoS <sub>2</sub> -S nanocomposite coating under different shear stress	中国	2024 年 7 月, 195 卷, 109587	2024 年 3 月 22 日	Tribology International	长安大学	杨泽慧; 宁炳坤; 陈永楠; 王楠; 赵秦阳; 张子樊; 侯智敏; 康彦; 高广睿; 花珂
9	论文	Length large lattice mismatch of nanocomposite coating: In-situ establishment of MoS <sub>2</sub> by precursor and desulfurization reaction	中国	2023 年 12 月, 639 卷, 158147	2023 年 7 月 31 日	Applied Surface Science	长安大学	杨泽慧; 宁炳坤; 陈永楠; 赵秦阳; 徐义库; 高广睿; 汤玉斐; 赵永庆; 占海飞
10	企业标准	钛合金自润滑 MoS <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 微弧氧化工艺规范	中国		2023 年 6 月 15 日	SFS/BZ-TC-230614/A	西安赛福斯材料防护有限责任公司	呼丹、高广睿、屈静、陈永楠、赵秦阳、王楠

## 七、主要完成人情况表

姓 名	陈永楠	排 名	1
行政职务	教务处副处长		
技术职称	教授		
工作单位	长安大学		
完成单位	长安大学		
对本项目主要学术贡献： 项目主要研究人员，负责研究方案设计，实验执行，技术要点总结与统筹协调各项目与人员。全程参与创新点 1，2，3，4 的提出与实行。专利 1，2，4、论文 8，9、标准 10 的主要完成人和作者。			

姓 名	赵秦阳	排 名	2
行政职务	材料加工系副主任		
技术职称	教授		
工作单位	长安大学		
完成单位	长安大学		
对本项目主要学术贡献： 项目主要研究人员，负责关键技术突破研究，实验过程协调与执行。全程参与创新点 1，2，3，4 的提出与实行。专利 1，4、论文 8，9、标准 10 的主要完成人和作者。			

姓 名	高广睿	排 名	3
行政职务	总经理		
技术职称	正高级工程师		
工作单位	西安赛福斯材料防护有限责任公司		
完成单位	西安赛福斯材料防护有限责任公司		

对本项目主要学术贡献：
项目主要研究人员，负责研究方案设计，主要对创新 2，3，4 做出贡献。专利 3，5，6，7、论文 8，9、标准 10 的主要完成人和作者。

姓 名	王楠	排 名	4
行政职务	无		
技术职称	讲师		
工作单位	长安大学		
完成单位	长安大学		
对本项目主要学术贡献： 项目主要研究人员，负责研究方案设计，实验执行。对创新点 1，3，4 做出主要贡献。专利 1，4、论文 8、标准 10 的主要完成人和作者。			

姓 名	屈 静	排 名	5
行政职务	副总经理		
技术职称	高级工程师		
工作单位	西安赛福斯材料防护有限责任公司		
完成单位	西安赛福斯材料防护有限责任公司		
对本项目主要学术贡献： 项目主要研究人员，负责研究方案设计，实验路线设计，产品评价标准指定和推广，协调外部市场推广。主要对创新 2，3，4 做出贡献。专利 3，5，6，7、标准 10 的主要完成人和作者。			

姓 名	呼丹	排 名	6
行政职务	研发部部长		
技术职称	工程师		
工作单位	西安赛福斯材料防护有限责任公司		

完成单位	西安赛福斯材料防护有限责任公司
<p>对本项目主要学术贡献：</p> <p>项目主要研究人员，负责实验场地协调，实验仪器材料统筹，装配。主要对创新 2，3，4 做出贡献。专利 3，5，6，7、标准 10 的主要完成人和作者。</p>	

姓 名	徐义库	排 名	7
行政职务	副院长		
技术职称	教授		
工作单位	长安大学		
完成单位	长安大学		
对本项目主要学术贡献： 负责关键技术突破研究，实验过程协调与执行，主要对创新 1，2，3 做出贡献。专利 1，2，4、论文 9 的主要完成人和作者。			

姓 名	张勇	排 名	8
行政职务	院工会主席		
技术职称	副教授		
工作单位	长安大学		
完成单位	长安大学		
对本项目主要学术贡献： 负责关键技术突破研究，实验过程协调与执行，主要对创新 1 做出贡献。专利 1，2 的主要完成人和作者。			

## 八、主要完成单位情况表

单位名称	长安大学
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>微弧氧化膜层及配套设备研制开发、性能测试及机制分析，具体包括：</p> <p>一、开发了常压等离子体轰击钛合金表层的除氧预处理技术，形成了筒体内壁配套常压等离子体处理设备，建立了常压等离子体处理的工艺包。</p> <p>二、进行微弧氧化原位梯度膜层制备，建立了电解液调配-梯度变化-膜层性能的关系，揭示了内在的科学机制，为该类材料的工程应用提供参考。</p> <p>三、开发了钛合金筒体内置阴极管配合电解液涡流的工装，以及完全自主产权的钛合金筒体微弧氧化电源系统及工艺包，为钛合金筒体微弧氧化技术的应用推广提供了系统解决方案。</p>	

单位名称	西安赛福斯材料防护有限责任公司
<p>对本项目科技创新和应用推广情况的贡献：</p> <p>具体如下：</p> <p>一、提供了资金支持。投入科研经费开展了钛合金表面预处理，微弧氧化原位合成梯度膜层，钛合金作动筒测试样品提供，性能检测评估等项目的研发。</p> <p>二、进行了项目的关键技术、关键材料及关键工具的研发和试验。全程负责微弧氧化原位合成梯度膜层的开发测试、工艺制定、现场试验及推广工作。</p> <p>三、开展了项目进度管理与过程控制。对项目的研发进行了顶层设计、中期检查、结题验收等进度管理。</p>	

## 九、完成人合作关系说明

长安大学陈永楠（第 1 完成人）、赵秦阳（第 2 完成人）、王楠（第 4 完成人）、徐义库（第 7 完成人）、张勇（第 8 完成人），西安赛福斯材料防护有限责任公司高广睿（第 3 完成人）、屈静（第 5 完成人）、呼丹（第 6 完成人），通过科研团队以及项目合作的方式长期保持紧密的合作关系。一直从事钛合金作动筒表面预处理和微弧氧化原位合成梯度膜层、提高作动筒表面耐磨性能的研究工作，共同授权多项发明专利、发表学术论文、撰写企业标准规范以及共同获奖。

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	论文合著	陈永楠/1、 赵秦阳/2、 高广睿/3、 王楠/4	2016 年 1 月 1 日	2024 年 7 月 30 日	论文： 《Revealing the anti-friction mechanism of in-situ synthesized MoS <sub>2</sub> -S nanocomposite coating under different shear stress》	附件 8
2	论文合著	陈永楠/1、 赵秦阳/2、 高广睿/3、 徐义库/7	2016 年 1 月 1 日	2024 年 7 月 30 日	论文：《Length large lattice mismatch of nanocomposite coating: In-situ establishment of MoS <sub>2</sub> by precursor and desulfurization reaction》	附件 9
3	共同知识产权	陈永楠/1、 赵秦阳/2、 王楠/4、徐 义库/7、张 勇/8	2016 年 1 月 1 日	2024 年 7 月 30 日	发明专利： 《一种三明治结构的复合膜层及其制备方法：ZL 2020 10997909.4》	附件 1
4	共同知识产权	陈永楠/1、 徐义库/7、 张勇/8	2016 年 1 月 1 日	2024 年 7 月 30 日	发明专利： 《一种 TC4 钛合金油井管结箍镀铜前预处理工艺：ZL 01610639429.4》	附件 2
5	共同知识产权	陈永楠/1、 赵秦阳/2、 王楠/4、徐 义库/7	2016 年 1 月 1 日	2024 年 7 月 30 日	发明专利： 《一种钛合金的超疏水复合膜层及其制备方法：ZL 2020	附件 4

					11045539.0》	
6	共同 知识 产权	高广睿/3、 屈静/5、呼 丹/6	2016 年 1 月 1 日	2024 年 7 月 30 日	发明专利： 《一种钛合 金基体表面 高发射率陶 瓷涂层的制 备方法： ZL201810045 830.4》	附件 3
7	共同 知识 产权	高广睿/3、 屈静/5、呼 丹/6	2016 年 1 月 1 日	2024 年 7 月 30 日	发明专利： 《一种采用 微弧氧化制 备钛合金表 面耐磨绝缘 膜层的方法： ZL202011218 300.9》	附件 5
8	共同 知识 产权	高广睿/3、 屈静/5、呼 丹/6	2016 年 1 月 1 日	2024 年 7 月 30 日	发明专利： 《一种钛合 金球阀表面 硬质防护微 弧氧化膜层 的制备方法： ZL202011216 813.6》	附件 6
9	共同 知识 产权	高广睿/3、 屈静/5、呼 丹/6	2016 年 1 月 1 日	2024 年 7 月 30 日	发明专利： 《一种钛合 金球阀表面 耐磨绝缘膜 层的制备方 法： ZL202011216 827.8》	附件 7
10	共同 知识 产权	陈永楠/1、 赵秦阳/2、 高广睿/3、 王楠/4、屈 静/5、呼丹 /6	2016 年 1 月 1 日	2024 年 7 月 30 日	企业标准： 《钛合金自 润滑 MoS <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 微弧氧化工 艺规范》	附件 10

**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。