

项目公示内容

一、项目名称

新型多组元复合强化镁合金研发、高品质制备与轻量化应用

二、申报奖种及等级

山东省科技进步奖 二等奖

三、提名者及提名意见

提名者：齐鲁工业大学（山东省科学院）

提名意见：

镁合金作为轻量化材料之一，对交通工具、航空航天、电子通讯等领域的轻量化具有举足轻重的作用。镁合金材料的应用对缓解我国日益严峻的环境和能源危机，助力“碳达峰、碳中和”目标实现具有重要的意义。项目基于镁合金质轻特性和装备轻量化的迫切需求，在国家重点研发计划等课题支持下，围绕新型多组元复合强化镁合金的设计、先进制备加工技术和轻量化应用形成了以下创新性成果。

（1）提出了新型高强韧镁合金材料多组元复合强化设计思路，基于第一性原理和热力学相图计算，形成了 10 余种新型高性能镁合金，综合力学性能优于现有商用合金，2 种合金分别列入国家标准和国际标准。

（2）发明了镁合金脉冲磁场均质/细晶/洁净半连续铸造技术和装备，解决了大规格镁合金铸锭成分偏析与组织粗大的行业共性关键问题，实现了镁合金半连续铸锭的细晶化、均质化和洁净化。

(3) 开发了高强韧镁合金低温低残余应力塑性成形技术，解决了型材挤压存在温度高、速率低、残余应力大等问题，实现了高性能变形镁合金型材/板材的高效高品质制备。

(4) 发明了镁铝异质连接部件整体微弧氧化表面处理技术，实现了一次性整体表面化学防护，涂层耐蚀性好、附着力强，解决了异质金属连接件易电偶腐蚀的关键技术难点。

本项目获得国家授权专利 34 件（其中发明专利 28 件），发表学术论文 78 篇，制定国家标准和国际标准各 1 项，获国际镁合金协会卓越变形产品奖和中国有色金属工业科学技术一等奖各 1 项。项目研发的高性能镁合金及其制备技术已在交通工具、电子通讯和军工等多个领域推广应用，实现了客车车身骨架、**用复杂腔体构件、无人机发动机缸体、轮毂、雷达天线等典型镁零部件的批量化生产，轻量化效果显著，促进了山东省镁合金及上下游产业的发展。项目获得的知识产权作价 466.67 万元出资入股企业。本项目技术在企业实现推广应用，近二年新增销售收入 5.087 亿元，净利润 4477 万元，实现利税 3956 万元。

提名该项目为 2022 年度山东省科学技术进步奖 二 等奖。

四、项目简介

1、项目背景

项目基于镁合金质轻特性和装备轻量化的迫切需求，针对合金在应用过程中强韧性不足、合金类型较少和制备方法不完善以及镁铝异质构件电偶腐蚀等关键技术瓶颈问题，研发出系列新型高强韧镁合

金、脉冲磁场半连续铸造技术、低温低残余应力塑性成形技术和镁铝异质连接部件整体微弧氧化技术，开发了装备轻量化用镁合金部件并实现应用，推动了山东省镁产业发展。

2、主要创新点

(1) 提出了新型高强韧镁合金材料多组元复合强化设计思路，基于第一性原理和热力学相图计算，开发了多元合金化设计和组织调控技术，以垂直于基面的纳米强化相提高材料的强度和塑性，形成了10余种新型高性能铸造镁合金和变形镁合金，综合力学性能优于现有商用合金，8种合金获批国家发明专利，2种合金分别列入国家标准（GB/T19078-2016）和国际标准（ISO3116: 2019）。

(2) 发明了镁合金脉冲磁场均质/细晶/洁净半连续铸造技术和装备，解决了大规格镁合金半连续铸锭成分偏析与组织粗大不均匀的行业共性关键问题，实现了镁合金半连续铸锭的细晶化、均质化和净化。

(3) 开发了高强韧镁合金低温低残余应力塑性成形技术，形成了低残余应力挤压模具设计准则和呈梯度温度分布挤压坯料加热工艺，解决了型材挤压存在温度高、速率低、残余应力大等问题，实现了高性能变形镁合金型材/板材的高效高品质制备，大幅降低了镁合金挤压生产成本。

(4) 发明了镁铝异质连接部件整体微弧氧化表面处理技术，实现了一次性整体表面化学防护，涂层耐蚀性好、附着力强，解决了异质金属连接件易电偶腐蚀的关键技术难点，实现了低成本绿色表面处

理。

3、项目成果

获得国家授权专利 34 件（其中发明专利 28 件），发表论文 78 篇，制定国家标准和国际标准各 1 项，获国际镁协卓越变形产品奖 1 项。

4、应用推广效益情况

项目研发的高性能镁合金及其制备技术已在交通工具、电子通讯和军工等多个领域推广应用，实现了客车车身骨架、**用复杂腔体构件、无人机发动机缸体、轮毂、雷达天线等典型镁零部件的批量化生产，轻量化效果显著。项目获得的知识产权作价 466.67 万元出资入股企业。本项目技术在企业实现推广应用，近二年新增销售收入 5.087 亿元，净利润 4477 万元，实现利税 3956 万元。项目实施促进了山东省镁合金及上下游产业的发展。

五、主要知识产权和标准规范等目录

知识产权（标准）类别	知识产权（标准）具体名称	国家（地区）	授权号（标准编号）	授权（标准发布）日期	证书编号（标准批准发布部门）	权利人（标准起草单位）	发明人（标准起草人）	发明专利（标准）有效状态	第一完成单位是否参与	第一完成人是否参与
发明专利	一种热处理强化高强度铸造镁合金及其制备方法	中国	ZL201510962643.9	2017.08.25	2591239	山东省科学院新材料研究所	周吉学;吴建华;赵东清;王金伟;刘运腾;李卫红;刘玉	有效	是	是

发明专利	一种高强度高塑性的镁合金挤压材制备方法	中国	ZL201710237446.X	2018.10.16	3111967	山东省科学院新材料研究所	刘运腾;林涛;周吉学;李卫红;刘洪涛;赵静蕊	有效	是	是
发明专利	一种镁合金低频脉冲磁场辅助半连续铸造结晶器及其应用	中国	ZL201110236278.5	2013.06.05	1208706	中国科学院金属研究所	罗天骄;杨院生;冯小辉;李应举;付俊伟	有效	否	否
发明专利	一种Mg-Zn-Sn-Mn合金的高强度挤压型材制备方法	中国	ZL201910140422.1	2020.01.14	3664978	山东省科学院新材料研究所	刘运腾;刘聪;周吉学;林涛;马百常;王美芳;唐守秋	有效	是	是
发明专利	一种变形镁合金及其制备方法	中国	ZL201710636213.7	2019.03.29	3311453	山东省科学院新材料研究所	周吉学;马百常;王金伟;吴建华;林涛;唐守秋;杨院生	有效	是	是
发明专利	一种Mg-Zn-Al-Sn-Mn系镁合金及其制备方法	中国	ZL201310695013.0	2015.12.30	1881689	中国科学院金属研究所, 山东省科学院新材料研究所	杨院生;赵东清;董旭光;罗天骄;周吉学	有效	是	否
发明专利	制造高塑性/成形性变形镁合金板材的方法	中国	ZL201610078071.2	2017.08.04	2574024	哈尔滨工业大学(威海)	陈文振;张文丛;王文珂	有效	否	否

发明专利	一种镁合金表面钝化处理工艺方法及其装置	中国	ZL202010640294.X	2021.08.24	4637446	哈尔滨工业大学(威海)	陈文振; 杨建雷; 张文丛; 王松辉	有效	否	否
发明专利	一种实现挤压坯料温度梯度分布的热处理炉及热处理方法	中国	ZL201710197658.X	2018.05.15	1924610	山东省科学院新材料研究所	刘运腾; 林涛; 周吉学; 詹成伟; 刘玉; 刘洪涛	有效	是	是
发明专利	一种镁/铝异种金属连接件的整体防护方法	中国	ZL201710710859.5	2019.10.29	3575180	山东省科学院新材料研究所	李涛; 周吉学; 刘洪涛; 吴建华; 唐守秋; 杨院生; 詹成伟; 陈燕飞	有效	是	是

六、主要完成人情况表(姓名、国籍、身份证号、排名、技术职称、工作单位、二级单位、完成单位、参加本项目的起止时间、对本项目技术创造性贡献、曾获省级以上科技奖励情况)

1. 姓名: 周吉学; 国籍: 中国; 排名: 1/10; 技术职称: 研究员; 行政职务: 山东省科学院新材料研究所常务副所长; 工作单位: 山东省科学院新材料研究所; 二级单位: 无; 完成单位: 山东省科学院新材料研究所; 参加本项目的起止时间: 自 2013 年 1 月至 2022 年 12 月; 具体贡献: 作为项目负责人在本项目中负责研究开发工作, 对创新点 1、3、4 做出重要贡献。在技术开发方面: 具体进行了 ZTM、ZA80

系列合金化开发、镁合金低温低残余应力挤压成形技术及镁铝异质结构件整体微弧氧化技术的研发工作；负责镁合金新材料及其制备技术转化与应用推广。在本项目中获得授权发明专利 7 项，排名首位 2 项。在本项目研究过程中投入工作量在 35%以上。曾获奖励情况：山东省科技进步二等奖。

2. 姓名：杨院生；国籍：中国；排名：2/10；技术职称：研究员；行政职务：无；工作单位：中国科学院金属研究所；完成单位：中国科学院金属研究所；参加本项目的起止时间：自 2013 年 1 月至 2022 年 12 月；具体贡献：在本项目中参与研究开发工作，对创新点 1、2、4 做出重要贡献。在技术开发方面：具体进行了 ZTAM 系合金开发、镁合金脉冲磁场半连续铸造技术的研发工作、镁合金低温低残余应力挤压成形技术以及镁铝异质连接部件整体表面处理的研发工作；参与镁合金新材料及其制备技术转化与应用推广。在本项目中获得授权发明专利 4 项，排名首位 1 项。在本项目研究过程中投入工作量在 10%以上。

3. 姓名：刘运腾；国籍：中国；排名：3/10；技术职称：副研究员；行政职务：无；工作单位：山东省科学院新材料研究所；二级单位：无；完成单位：山东省科学院新材料研究所；参加本项目的起止时间：自 2013 年 1 月至 2022 年 12 月；具体贡献：作为项目骨干在本项目中参与研究开发工作，对创新点 1、3 做出重要贡献。在技术开发方面：具体进行了 ZTM、ZTAM、ZA80 系列合金挤压成型工艺、镁合金低温低残余应力挤压成形技术的研发工作；参与了镁合金新材料

及其制备技术转化与应用推广。在本项目中获得授权发明专利 4 项，排名首位 3 项。在本项目研究过程中投入工作量在 10%以上。曾获奖励情况：山东省科技进步二等奖。

4. 姓名：陈文振；国籍：中国；排名：4/10；技术职称：教授；行政职务：无；工作单位：哈尔滨工业大学（威海）；二级单位：材料科学与工程学院；完成单位：哈尔滨工业大学（威海）；参加本项目的起止时间：自 2014 年 1 月至 2022 年 12 月；具体贡献：作为项目骨干人员在本项目中负责研究开发工作，对创新点 3 做出重要贡献。在技术开发方面：开展了镁合金变形过程的演化规律与强化机制研究，研发镁合金型/板材材料中低温变形技术，进行了高塑性/成形性变形镁合金板材挤压轧制、技术研发工作，及镁合金腔体构件的成形与应用技术研发。在本项目中获得授权发明专利 2 项，排名首位 2 项，实用新型 1 项。发表与本项目相关学术论文 6 篇。在本项目研究过程中投入工作量在 20%以上。

5. 姓名：罗天骄；国籍：中国；排名：5/10；技术职称：副研究员；行政职务：无；工作单位：中国科学院金属研究所；完成单位：中国科学院金属研究所；参加本项目的起止时间：自 2013 年 1 月至 2022 年 12 月；具体贡献：作为项目骨干在本项目中参与研究开发工作，对创新点 1、2 做出重要贡献。在技术开发方面，具体进行了镁合金脉冲磁场半连续铸造技术的研发工作；参与镁合金新材料及其制备技术转化与应用推广。在本项目中获得授权发明专利 2 项。在本项目研究过程中投入工作量在 5%以上。

6. 姓名：程开明；国籍：中国；排名：6/10；技术职称：副研究员；行政职务：无；工作单位：山东省科学院新材料研究所；二级单位：无；完成单位：山东省科学院新材料研究所；参加本项目的起止时间：自2016年7月至2022年12月；具体贡献：作为科研骨干在本项目中参与合金设计研究开发工作，对创新点1做出重要贡献。在技术开发方面：基于第一性原理和热力学计算开发多元合金化设计和组织调控技术。在本项目研究过程中投入工作量在5%以上。曾获奖励情况：滨州市科技进步一等奖。

7. 姓名：詹成伟；国籍：中国；排名：7/10；技术职称：助理研究员；行政职务：无；工作单位：山东省科学院新材料研究所；二级单位：无；完成单位：山东省科学院新材料研究所；参加本项目的起止时间：自2014年1月至2022年12月；具体贡献：作为科研骨干在本项目中参与研究开发工作，对创新点3、4做出重要贡献。在技术开发方面：具体进行了镁合金低温低残余应力挤压成形技术以及镁铝异质结构件整体微弧氧化技术的研发工作。在本项目中获得授权发明专利4项。在本项目研究过程中投入工作量在4%以上。

8. 姓名：王文珂；国籍：中国；排名：8/10；技术职称：副研究员；行政职务：无；工作单位：哈尔滨工业大学（威海）；二级单位：材料科学与工程学院；完成单位：哈尔滨工业大学（威海）；参加本项目的起止时间：自2015年1月至2022年12月；具体贡献：作为项目参与人员在本项目中负责研究开发工作，对创新点3做出重要贡献。在技术开发方面：开展了基于复合工艺的镁合金组织性能改善研

究，研发镁合金薄板材降温挤压-异步轧制技术。在本项目中授权发明专利 1 项，实用新型 1 项，发表相关 SCI 论文 6 篇。在本项目研究过程中投入工作量在 4%以上。

9. 姓名：李应举；国籍：中国；排名：9/10；技术职称：研究员；行政职务：无；工作单位：中国科学院金属研究所；完成单位：中国科学院金属研究所；参加本项目的起止时间：自 2013 年 1 月至 2022 年 12 月；具体贡献：作为项目骨干在本项目中参与研究开发工作，对创新点 2 做出重要贡献。在技术开发方面，具体进行了镁合金脉冲磁场半连续铸造技术的研发工作；参与镁合金新材料及其制备技术转化与应用推广。在本项目中获得授权发明专利 1 项。在本项目研究过程中投入工作量在 4%以上。

10. 姓名：唐守秋；国籍：中国；排名：10/10；技术职称：研究员；行政职务：无；工作单位：山东省科学院新材料研究所；二级单位：无；完成单位：山东省科学院新材料研究所；参加本项目的起止时间：自 2013 年 1 月至 2022 年 12 月；具体贡献：作为科研骨干在本项目中参与研究开发工作，对创新点 1、4 做出重要贡献。在技术开发方面：具体进行了 ZTM、ZA80 系列合金化开发及镁铝异质结构件整体微弧氧化技术的研发工作；负责镁合金新材料及其制备技术转化与应用推广。在本项目中获得授权发明专利 3 项。在本项目研究过程中投入工作量在 2%以上。曾获奖励情况：山东省科技进步二等奖。

七、主要完成单位情况表（单位名称、排名、对本项目科技创新和推广应用情况的贡献）

1. 山东省科学院新材料研究所：排名第 1 位。

山东省科学院新材料研究所为山东省镁产业技术创新战略联盟理事长单位，建有山东省轻质高强金属材料重点实验室和山东省汽车用镁合金材料工程技术研究中心。

科技创新贡献：在本项目中负责重点技术研究开发工作，对创新点 1、2、3、4 做出重要贡献。本完成单位在国家重点研发计划、山东省重大创新工程等项目支持下，提出了多组元复合强化镁合金设计方法，研发了系列新型高强韧镁合金，开发了低温低残余应力塑性成形技术和镁铝异质连接部件整体表面处理技术，实现了低成本高性能镁合金结构材料的设计、制备及多领域轻量化应用，促进了交通领域的节能减排，推动了山东省镁产业的发展。在本项目中获得授权发明专利 22 项。在本项目研究过程中投入工作量在 65% 以上，为本创新提供了强有力的技术研发支撑。

2. 中国科学院金属研究所：排名第 2 位。

中国科学院金属研究所是我国进行材料研究的专门研究机构，拥有沈阳材料科学国家研究中心、师昌绪先进材料创新中心、高性能均质合金国家工程研究中心等国家级研发平台，为我国镁合金研究的重要基地。

在本项目中参与高性能镁合金材料设计及脉冲磁场半连续铸造技术开发工作，对创新点 1、2 做出重要贡献。本完成单位提出了多元微合金化新型镁合金的设计思路，通过多元微合金化促进高密度纳米强化相垂直于基面弥散析出，实现了低成本强韧性新型镁合金的研

发、制备和应用。研发的脉冲磁场半连续细晶均质洁净铸造技术，解决了镁合金锭坯组织粗大、不均匀和成分偏析严重等问题。在本项目中获得授权发明专利 4 项。在本项目研究过程中投入工作量在 20% 以上，为本项目的顺利实施和推广应用做出了贡献。

3. 哈尔滨工业大学（威海）：排名第 3 位。

哈尔滨工业大学（威海）属哈工大“一校三区”办学格局中的重要组成部分，是山东省镁产业技术创新战略联盟成员单位，现建有“海洋工程材料及深加工技术国际联合研究中心”、“军民两用新材料及制品”省高教重点实验室等特色科研平台。

在本项目中参与高强韧镁合金材料低温成形技术开发工作，对创新点 1、3 做出重要贡献。本完成单位提出了适于高强韧变形镁合金中低温塑性成形技术，实现了高塑性镁合金板材、超高强度镁合金板材的塑性加工制备，实施了耐热镁合金成形产品在航天舱体制造领域的应用推广。在本项目中获得授权发明专利 2 项。发表与本项目相关学术论文 15 篇。在本项目研究过程中投入工作量在 15% 以上，为本项目的顺利实施和推广应用做出了贡献。