

2021 年度拟提名陕西省科技进步奖项目公示内容

1、项目名称：橡皮囊精确成形的失稳抑制及回弹补偿技术

2、提名者及提名意见

提名者：陕西省航空学会

提名意见：橡皮囊成形是支撑飞机钣金制造的核心技术之一。我国飞机钣金橡皮囊成形工艺多年来一直沿袭着以手工为主的低效率混线生产模式。橡皮囊成形固有的失稳起皱及回弹等缺陷，严重制约了大型飞机研制进度和制造质量。项目紧密结合国家大型飞机发展战略需求，通过产学研协作和完全自主创新，攻克了大曲率高翻边、变曲率封闭型腔和多加强筋槽结构零件橡皮囊成形公认技术难题，突破了坯料精确展开计算、柔性增压成形起皱抑制及多道次回弹补偿精确控制等关键技术，提出了刚性压边法、挤皱法、储料法等多种失稳抑制新方法，自主研发了系列橡皮囊成形失稳抑制装置和回弹补偿模具，形成了基于数值模拟橡皮囊成形技术规范，建立了基于试验修正的橡皮囊成形回弹补偿工艺参数库，实现了零件橡皮囊精确制造，成功应用于 C919、ARJ21、MA700 等多个型号飞机研制和批量生产，为提升我国大飞机研制水平和质量做出了重大贡献，产生了巨大经济效益和显著社会效益。该项目申报发明专利 12 件（已授权 5 件），实用新型专利授权 6 件，发表论文 14 篇，制定国家标准、行业标准及企业规范 3 项，部分指标优于国外同类技术水平，有力地推动了国内飞机钣金制造数字化发展，引领了国内飞机钣金橡皮囊成形技术发展方向。

提名材料属实，主要完成单位、完成人名单及排序已协商一致，无异议。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖二等奖。

3、项目简介

本项目属航空制造技术领域，涉及钣金制造橡皮囊成形拓展开发等高新技术。

我国飞机钣金橡皮囊成形工艺多年来一直沿袭着以手工为主的低效率混线生产模式，由于固有的失稳起皱及回弹等缺陷，严重制约了飞机研制进度和制造质量。该项目针对落后成形工艺问题，历经多年的持续研究，探索了基于外形特征的失稳抑制橡皮成形技术和双曲封闭型腔橡皮成形回弹补偿工艺技术等，提出了刚性压边法、挤皱法、储料法等多种失稳抑制新方法。开发掌握了具有特殊结构的容框防皱，鱼骨型反向弹性支撑随动压边，复杂结构楔形增压消皱，多加强筋结构限位成形及变形控制，大尺寸薄壁深筋槽结构渐进铺层缓裂压制，薄板淬火防变形控制等新型橡皮囊精确成形工艺技术，自主研发了系列橡皮囊成形失稳抑制装置和回弹补偿模具。同时，形成了基于数值模拟橡皮囊成形技术规范，建立了基于试验修正的橡皮囊成形回弹补偿工艺参数库，在生产中实现了橡皮囊成形零件回弹误差的有效控制，并将项目研究的技术成果进行了卓有成效地推广应用。

1. 针对大曲率高翻边结构类零件，提出了一种具有自主知识产权的反向弹性支撑随动压边橡皮、拉深复合成形方法，突破了大曲率高翻边结构刚性压边、柔性支撑、增量拉深、回弹补偿等关键技术，解决了凸弯边橡皮囊成形起皱不易控制及成形精度差的难题，提高了传统橡皮囊成形凸弯边高度极限，实现了净边毛坯大曲率变形的稳定控制和精确成形。

2. 针对薄壁双曲封闭结构类零件在新淬火状态下的橡皮囊成形，提出了一种铝合金薄板淬火变形通用控制和封闭空腔类结构回弹补偿相结合的方法，攻克了薄板淬火过程中受介质冲击产生鼓包、翘曲变形的控制及成形中因空气反作用力产生回弹的抑制等技术难题，实现了一次精确成形。

3. 提出了刚性压边法、挤皱法、储料法等多种失稳抑制新方法，自主研发了系列橡皮囊成形失稳抑制装置和回弹补偿模具，形成了基于数值模拟橡皮囊成形技术规范，建立了基于试验修正的橡皮囊成形回弹补偿工艺参数库，实现了橡皮囊成形零件回弹误差的有效控制。

该项目解决了长期困扰橡皮囊成形起皱和回弹的难题，拓宽了橡皮囊成形应用范围，打破了西方发达国家的橡皮囊精确成形制造技术封锁和垄断，填补了国内空白。该项目已获授权专利 11 件、发表论文 14 篇、制定国家标准、行业标准及企业规范 3 项，总体技术达到国际先进水平。该项目成果已在多型飞机上批量应用，完成了 79000 余项零件的精确制造，减少 55% 以上的手工操作量，零件制造周期平均缩短 50% 以上，零件一次交检合格率达到 100%，满足了现代飞机高精度高质量制造需求。近三年，该项目研究成果已新增产值累计 3.79 亿元，具有重大的社会效益和经济效益。

4、客观评价

1. 科技成果鉴定意见

2018年11月15日，由中国航空工业集团有限公司科技质量部组织，西安交通大学、航空工业一飞院等专家组成的鉴定委员会，对本项目进行了科技成果鉴定，鉴定意见简摘如下：

项目针对大曲率高翻边、变曲率封闭型腔和多加强筋槽结构零件橡皮囊成形难题，突破了坯料精确展开计算、柔性增压成形起皱抑制及多道次回弹补偿精确控制等关键技术，实现了零件的精确制造。

该项目研究难度大，项目组经过多年攻关，解决了长期困扰橡皮囊成形起皱和回弹难题，拓宽了橡皮囊成形应用范围。完成了3300余项零件的精确制造，成果已在大型飞机上获得应用，具有重要的军事价值和显著的社会经济效益。总体技术达到国际先进水平。

2. 使用方评价

中航西飞民用飞机有限责任公司认为：基于橡皮囊精确成形的失稳抑制及回弹补偿技术，在新型涡桨支线客机MA700精密化、精品化制造中获得全面推广应用。

在MA700飞机固定前缘的研制中，解决了大曲率凹弯边零件变薄、开裂、不易成形难题，实现了复杂薄壁隔板零件两道次橡皮囊高效成形。在MA700飞机中机身的研制中，保证了加强翻边与模具的贴合精度，实现了快速定位、毛料切换、柔性控边、回弹补偿的橡皮囊精确成形，经济效益成倍增长。在MA700飞机环控等系统的安装中，改变了昔日以手工为主的落后加工模式，实现了多品种、小批量、低成本、高效率的净边毛料橡皮一次精确成形。

利用该项目研究成果在MA700飞机成功实现了400余项钣金零件橡皮成形精确制造，平均每项零件减少手工成形及校形工作量70%，零件制造周期缩短65%以上，零件壁厚控制精度及外形贴模精度可以缩小20%~30%，进而提高飞机机身、机翼装配效率，较好的保障了新一代国产支线客机MA700的研制进程。

5、应用情况和效益

1. 应用情况

该项目研究成果实现了大飞机机身上框板、内蒙皮，机翼上隔板、胶结面板等系列钣金结构件一次橡皮囊精确制造，产品从仿真预测到完成制造形成了完整的橡皮囊成形技术规范体系，应用该项技术生产的多品种橡皮成形零件壁厚变化范围、外形贴膜度均符合技术规范要求，零件轮廓精度可控制在 $\pm 0.4\text{mm}$ 公差范围之内，外形曲率精度可保证基于工装不大于 0.5mm 的贴膜度，针对易起皱、变薄的特征零件，材料厚度变化可控精度范围达到料厚的15%以内，极大提升了大飞机钣金产品的力学性能和结构功能。

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/电话
1	西安飞机工业(集团)有限责任公司	橡皮拉深复合成形方法、一步成形回弹抑制技术、刚性压边法、挤皱法、储料法、控边法等橡皮囊精确成形新技术	C919、ARJ21、MA700等多种军民用飞机	2017年9月至2020年9月	田野 18710375377
2	中航西飞民用飞机有限责任公司	凹曲面弯边橡皮囊成形失稳缓裂技术、一模两件橡皮囊成形回弹补偿技术等	MA700飞机	2017年9月至2020年9月	解安生 13709180238

2. 经济效益和社会效益

直接经济效益：该研究成果目前应用于 C919、ARJ21、MA700 等多种军民用飞机 4000 余项产品批产，年产值 1.3 亿元。

社会效益：该项目研究成果创新式地建立了我国飞机研制过程中柔性增压成形起皱抑制及多道次回弹补偿精确控制等关键技术，开发了我国具有自主知识产权、核心竞争力的系列橡皮囊成形失稳抑制新方法，自主研发了系列橡皮囊成形失稳抑制装置和回弹补偿模具，形成了基于数值模拟橡皮囊成形技术规范，建立了基于试验修正的橡皮囊成形回弹补偿工艺参数库，实现了橡皮囊成形零件回弹误差的有效控制，解决了长期困扰橡皮囊成形起皱和回弹难题，拓宽了橡皮囊成形应用范围，象征着中国航空制造业具备了橡皮囊精确制造复杂零件的能力，挑战了国内大曲率高翻边类零件净边一次橡皮囊成形技术空白，且总体技术水平处于国际先进，对航空橡皮囊精确成形技术起到引领和推动作用，对提升我国航空、航天制造技术水平等方面具有十分重要的社会效益。

6、主要知识产权和标准规范等目录

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	一种大曲率高翻边钣金零件的橡皮成形方法及成形模具	中国	ZL201710178329.0	2018.08.24	3044096	西安飞机工业(集团)有限责任公司	白颖,李世峰,雷颖洁
2	发明专利	一种铝合金薄板淬火变形控制方法	中国	ZL201510866400.5	2017.03.22	2426049	西安飞机工业(集团)有限责任公司	郭锡明,邱超斌,倪兴屹,张小平,张蓓
3	发明专利	一种凹曲面半圆弧状加强弯边钣金零件的橡皮成形方法	中国	ZL201910479203.6	2020.06.30	3864860	西安飞机工业(集团)有限责任公司	白颖,李善良,邹峰,王汝娇,李世峰,常蓓
4	发明专利	一种细长板制角材零件橡皮囊成形方法	中国	ZL201810647425.X	2019.10.18	3561871	西安飞机工业(集团)有限责任公司	倪兴屹,常蓓,田旭东
5	发明专利	一种含二次翻边孔的钣金件橡皮囊成形方法及组合模具	中国	ZL201710239829.0	2018.11.16	3149714	西安飞机工业(集团)有限责任公司	倪兴屹,王伟,安红伟
6	实用新型专利	一种大曲率高翻边钣金零件的橡皮成形模具	中国	ZL201720290183.4	2018.01.16	6862875	西安飞机工业(集团)有限责任公司	白颖,李世峰
7	实用新型专利	一种Π型双弯边钣金零件的成型模具	中国	ZL201620271213.2	2016.11.23	5684392	西安飞机工业(集团)有限责任公司	白颖,邱超斌,李世峰
8	实用新型专利	一种板制多加强筋钣金件橡皮囊成型模具	中国	ZL201620687002.7	2016.12.21	5789005	西安飞机工业(集团)有限责任公司	李骁,倪兴屹,郭全庆
9	实用新型专利	一种含二次翻边孔的钣金件橡皮囊成形用的组合模具	中国	ZL201720289541.X	2017.03.23	6862466	西安飞机工业(集团)有限责任公司	倪兴屹,王伟
10	实用新型专利	一种用于锐角多弯边橡皮成形的组合模具	中国	ZL200820005586.0	2008.12.03	1140623	西安飞机工业(集团)有限责任公司	陈磊,李善良,白颖

7、主要完成人

姓名：白颖

排名：1

行政职务：副主任师

技术职称：研究员级高工

工作单位：西安飞机工业（集团）有限责任公司

完成单位：西安飞机工业（集团）有限责任公司

对本项目技术创造性贡献：制定总体技术研究方案，自主研制了系列橡皮囊成形失稳抑制装置和回弹补偿模具，形成了橡皮液压典型零件技术手册，建立了常用材料物性参数数据库以及回弹补偿工艺参数库，编制了基于 PAM-STAMP 橡皮囊成形和回弹补偿仿真标准规范，实现了橡皮囊液压精确成形。针对大曲率高翻边结构类零件，提出了一种具有自主知识产权的反向弹性支撑随动压边橡皮、拉深复合成形方法，解决了凸弯边橡皮囊成形起皱不易控制及成形精度差的难题。提出了刚性压边法、挤皱法、储料法等多种失稳抑制新方法，拓宽了橡皮囊成形应用范围。发表论文 8 篇，获得授权专利 5 件，国家标准 1 份。

曾获国家科技奖励情况：无

姓名：王永军

排名：2

行政职务：无

技术职称：副教授

工作单位：西北工业大学

完成单位：西北工业大学

对本项目技术创造性贡献：开展常用材料成形性能试验及物性参数测量，为后续的成形实验以及成形模拟提供理论依据。探索了双曲封闭型腔橡皮成形回弹补偿和鼓动抑制工艺技术，实现了回弹精确补偿的参数优化，攻克了薄板淬火过程中受介质冲击产生鼓包、翘曲变形的控制及成形中因空气反作用力产生回弹的抑制等技术难题。通过模拟研究，确定了薄铝“一步成形法”橡皮精确成形的工艺流程和成形参数，实现了新淬火状态下以机械化手段一次完成封闭型腔零件橡皮精确成形及校形技术。在核心杂志发表论文 3 篇。

曾获国家科技奖励情况：无

姓名：邱超斌

排名：3

行政职务：钣金构件厂副厂长

技术职称：高级工程师

工作单位：西安飞机工业（集团）有限责任公司

完成单位：西安飞机工业（集团）有限责任公司

对本项目技术创造性贡献：建立有限元计算模型，通过动态仿真、模拟分析，研究橡皮硬度、成形压力、材料性能参数、摩擦接触等众多因素对零件成形性的影响规律，为橡皮成形回弹补偿数值模拟技术提供指导。开展橡皮成形回弹补偿试验验证，构建了基于试验修正的典型零件橡皮成形回弹补偿工艺参数库。创新出一种 Π 型双弯边钣金零件的成形方法和组合模具结构，解决了零件成形干涉与模具分离问题。发表论文 2 篇，形成专利 2 件。

曾获国家科技奖励情况：无

姓名：郭锡明

排名：4

行政职务：无

技术职称：高级工程师

工作单位：西安飞机工业（集团）有限责任公司

完成单位：西安飞机工业（集团）有限责任公司

对本项目技术创造性贡献：研究用于铝合金薄板淬火变形控制方法和薄板毛料预拉伸校平方法。通过模拟研究，提出一种铝合金薄板淬火变形的通用控制技术，确定了薄板盒形零件“一步成形法”的型胎典型结构，固化了薄铝“一步成形法”橡皮精确成形的工艺流程和成形参数。自主研发了系列回弹补偿模具结构，准确预测了典型结构零件回弹量值。对不同成形压力橡皮成形影响规律进行研究，构建基于试验研究的橡皮成形回弹补偿工艺参数库，归纳总结工艺参数库各项信息，如成形压力、回弹量等。获得专利授权 2 件。

曾获国家科技奖励情况：无

姓名：惠小鹏

排名：5

行政职务：无

技术职称：高级工程师

工作单位：西安飞机工业（集团）有限责任公司

完成单位：西安飞机工业（集团）有限责任公司

对本项目技术创造性贡献：利用有限元分析中模具回弹补偿模块，使用回弹分析结果反复多次进行回弹补偿工艺分析，开展橡皮成形回弹补偿试验验证，构建了基于试验修正的典型零件橡皮成形回弹补偿工艺参数库。针对常规无法得到的复杂关键项展开形状，开发 Pam-stamp 坯料反算功能，确定基准展放面，设计工艺补偿，掌握了变角度复杂翻边类、大法兰椭球类、封闭 II 型压板类、多加强筋槽类零件展开算法。发表论文 1 篇，完成硕士论文 1 篇。

曾获国家科技奖励情况：无

姓名：李善良

排名：6

行政职务：主任师

技术职称：研究员级高工

工作单位：西安飞机工业（集团）有限责任公司

完成单位：西安飞机工业（集团）有限责任公司

对本项目技术创造性贡献：分析鱼头类零件凸弯边橡皮成形缺陷，攻克了具有特殊结构的容框防皱模具设计技术，抑制了大曲率弯边材料在厚度方向上的自由起伏，在马鞍型容框成形空间内采用自定位反向弹性压紧结构，解决了模具组合多部件自由窜动及零件与模具分离问题。针对凹曲面半圆弧状加强隔板创新采用带有辅助垫块的组合成形模具结构，提高了橡皮囊成形凹曲线弯边成形极限系数，解决了系列大曲率凹弯边零件变薄、开裂、不易成形难题。获得专利授权 1 件，发表论文 2 篇，行业标准 1 份。

曾获国家科技奖励情况：无

姓名：倪兴屹

排名：7

行政职务：无

技术职称：研究员级高工

工作单位：西安飞机工业（集团）有限责任公司

完成单位：西安飞机工业（集团）有限责任公司

对本项目技术创造性贡献：提出了凸形框板结构储料防皱的失稳抑制新方法。采用一种吸皱槽模具结构，使吸皱槽区域两侧板料产生沿切线方向拉伸力塑性变形延展效应，防止了材料沿切向压缩失稳导致起皱，同时排出了材料厚度方向的反向抵抗应力引起回弹不贴模现象。

获得专利授权 3 件。

曾获国家科技奖励情况：无

姓名：郭全庆

排名：8

行政职务：副科长

技术职称：高级工程师

工作单位：西安飞机工业（集团）有限责任公司

完成单位：西安飞机工业（集团）有限责任公司

对本项目技术创造性贡献：完成了常用材料成形极限测试，获取了有限元分析可用的材料成形极限图，为后续的成形实验以及成形模拟提供理论依据。独立完成了多项翻边零件回弹补偿模具设计。通过模拟研究，最终确定了薄铝“一步成形法”橡皮精确成形的工艺流程和成形参数，实现了新淬火状态下以机械化手段一次完成封闭型腔零件橡皮精确成形及校形技术。获得专利授权 1 件。

曾获国家科技奖励情况：无

姓名：章文亮

排名：9

行政职务：钣金构件厂副厂长

技术职称：高级工程师

工作单位：西安飞机工业（集团）有限责任公司

完成单位：西安飞机工业（集团）有限责任公司

对本项目技术创造性贡献：独立完成了多项翻边零件橡皮成形回弹补偿研究及模具设计。自主研发了带侧压块橡皮成形防皱模具，比较分析了侧压块角度、侧压块与模具主体间距、零件初始搭接余量等诸多因素对成形的影响规律，解决了凸弯边橡皮囊成形起皱不易控制的难题。针对复杂关键项展开形状，开发 Pam-stamp 坯料反算功能，确定基准展放面，设计工艺补偿，固化展开毛坯有限元分析结果。形成标准规范 1 份。

曾获国家科技奖励情况：无

8、主要完成单位及创新推广贡献

单位名称：西安飞机工业（集团）有限责任公司

排名：1

单位贡献：西安飞机工业（集团）有限责任公司作为飞机的主制造单位，十分重视橡皮囊液压成形工艺制造能力与技术水平的提高，着力挖掘橡皮囊液压成形工艺的潜力，推动了橡皮囊精确成形技术在飞机研制和批生产全面应用，使钣金制造的各个环节达到最优的经济效益。

1. 建立了“统一策划、理论先行、多部门攻关、探索创新、评审试用、跟踪验证、修订完善”的工作机制。对项目的时间进程、研究方法、开发经费、研究成果等做出科学合理的整体规划和设计，有效地保证了项目顺利开展和研究任务完成。

2. 负责《橡皮囊精确成形的失稳抑制及回弹补偿技术》项目的总体策划，针对大曲率高翻边、变曲率封闭型腔和多加强筋槽结构零件橡皮囊成形技术瓶颈进行需求分析，在开展多种常用板材物性参数及材料本构关系研究的基础上，确立以解决零件毛坯精确展开，橡皮囊成形过程均匀定位、起皱抑制、回弹补偿、缓裂保护，淬火过程变形控制等难题为研究目标，提出以橡皮液压失稳抑制技术、橡皮液压回弹补偿技术研究为主线，建立和开发结合试验修正的橡皮囊成形数值模拟环境下的仿真模型及计算方法，以防皱压边模、侧压压边模、组合成形模、限位成形模、橡皮储料模、回弹补偿模以及防淬火变形控制装置的设计制造为基本出发点，配合大量探索性试验的项目研究方案和试验要求。

单位名称：西北工业大学

排名：2

单位贡献：作为项目联合承制单位，自2013年以来，配合西安飞机工业（集团）有限责任公司在“橡皮囊精确成形的失稳抑制及回弹补偿技术”开展深入研究，联合开展常用材料成形性能试验及物性参数测量，为后续的成形试验及成形模拟提供依据。探索了双曲封闭型腔橡皮成形回弹补偿和鼓动抑制工艺技术，实现了回弹精确补偿的参数优化，攻克了薄板淬火过程中受介质冲击产生鼓包、翘曲变形的控制及成形中因空气反作用力产生回弹抑制等技术难题。通过模拟研究，确定了薄壁铝合金板料“一步成形法”橡皮囊精确成形的工艺流程和成形参数，实现了新淬火状态下一次完成封闭型腔零件橡皮囊精确成形及校形技术，使橡皮囊精确成形的失稳抑制及回弹补偿技术在企业内得到了深入的推广应用。

9、完成人合作关系说明

完成人白颖、邱超斌、郭锡明、惠小鹏、李善良、倪兴屹、郭全庆、章文亮等完成人均供职于西安飞机工业（集团）有限责任公司，完成人王永军供职于西北工业大学，一直参与橡皮囊精确成形的失稳抑制及回弹补偿技术的研究工作。白颖作为项目技术负责人，负责制定皮囊精确成形总体技术研究方案及项目具体研制计划，跟进并投入项目实施过程。邱超斌作为项目整体负责人，主持项目立项、验收、结题、鉴定工作，把握项目研究方向，制定项目阶段性研制目标。王永军作为项目协作单位负责人，主持完成常用材料成形性能试验及物性参数测量，探索研究橡皮成形回弹补偿和鼓动抑制工艺技术。李善良作为特级专家，主持该项目的整体研制工作，并制定橡皮囊精确成形研究方法、技术要点和技术指标。郭锡明、惠小鹏、倪兴屹、郭全庆、章文亮等其余完成人也均作为橡皮囊精确成形的失稳抑制及回弹补偿技术项目的主要成员，参与了各个分支项目的具体技术研制工作。

本项目组是一个合作的科研团队，保证了本成果的取得。