

**项目名称：**飞机复杂薄壳异形件多维控制精确拉深技术

**提名者及提名意见**

陕西省航空学会

本项目已与国际同行业先进水平接轨，极大地提升了国产飞机应用寿命和结构功能。该项目研究成果突破了传统拉深产品结构及拉深成形极限，开发了具有我国自主知识产权、核心竞争力的多维因素控制的拉深成形失稳抑制新方法，攻克了复杂薄壁立体结构抗皱、缓裂工装的设计制造，回弹补偿模具过变形量精确设计，多动作协同控制工装设计结构等技术难题，形成了基于数值模拟拉深成形技术规范，建立了基于试验修正的拉深成形回弹补偿工艺参数库，制定了飞机钣金件典型拉深结构要素设计、拉深成形模具结构设计及拉深成形工艺设计的国家标准、行业标准、企业标准，扩大了拉深成形技术在行业内的提升空间，填补了国内多动作协同立体压边、纵向横向同步复合拉深技术，及基于毛坯精准设计、优选焊缝路径的 A286 激光拼焊、强度可控复合拉深技术空白，实现了复杂结构件拉深成形过程中材料有序流动，回弹误差、尺寸精度的有效控制，提高了飞机复杂薄壳异形件的装配效率 1 倍以上，有效缩短了模具研制及调试周期 80%，平均每项零件减少手工操作量 40%。近三年，完成了近两万件零件的拉深精确成形，新增产值累计近亿元，对航空拉深精确成形技术起到引领作用，总体技术水平处于国际先进，推动了国家航空工业钣金行业数字化、精确化、智能化技术进步。

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三等奖。

**项目简介**

本项目属航空制造技术领域，涉及钣金制造拉深成形拓展开发等高新技术。

自主研制军民机是落实国家战略、建设创新型国家和制造强国的重大任务。现代飞机的设计理念要求航空产品轻量化、整体化、精密化、高可靠性，为此大量的钣金空心立体焊接结构被优化，取而代之的是具有独立特征的复杂薄壁整体拉深结构，这种设计理念的革新向飞机传统拉深工艺提出了挑战。拉深成形是飞机制造中难度较大的关键钣金工艺之一，承担的零件结构复杂、种类多、数量大。复杂结构的板料拉深成形是一个同时包含大变形、塑性、接触和摩擦等多重非线性因素的耦合，拉深成形过程诸多影响因素以及拉深产品的异形结构决定了材料塑性变形的无规律性，起皱、变薄、开裂、回弹成为制约拉深成形的主要技术瓶颈，大量辅助的手工成形及手工校形成为该类复杂结构件外形满足设计要求的唯一保障手段，对零件的力学性能和生产效率影响极大，严重制约了新型飞机研制进度和制造质量。

项目组针对现代飞机研制中双曲双 U 多向复合结构拉深成形型腔深度大质量无法保证、多道次拉深结构过渡模型设计困难以及新型 A286 材料毛坯尺寸受限无法拉深等瓶颈问题，肩负着多型号首飞的光荣使命，通过自主创新，历时 8 年完成 2 项课题和 8 项攻关研制任务，从毛坯设计、模具结构等多个影响维度开展拉深成形缺陷控制研究，在大深度变截面门框多维度成形模具结构设计技术，

低塑性腔型结构拉深成形材料减薄控制技术，复杂曲面结构展开算法解析技术，高强度合金拼焊拉深材料流动控制技术，板制盒形件拉深极限判定方法设计，硬铝合金深腔型开敞结构拉深回弹抑制技术，阶梯形不锈钢包角一模多件回弹补偿模具结构设计，大拉深比薄壳件多道次拉深过渡模型结构设计技术，不同工艺参数对拉深成形过程影响分析试验等方面进行了系统研究，建立了基于试验修正的拉深成形回弹补偿工艺参数库，制定了飞机钣金件典型拉深结构要素设计、拉深成形模具结构设计及拉深成形工艺设计的国家标准、行业标准、企业标准，突破了储料拉深、拼焊拉深、增量拉深、过变形拉深、立体压边随动拉深等关键技术，扩大了拉深成形技术在行业内的提升空间，实现了航空拉深成形钣金零件的精确制造，取得系列原创性成果：

1. 提出了一种板制盒形件拉深极限判定准则，发明了一种极限转角阶梯形包角零件拉深成形方法，攻克了多道次拉深过渡模型设计技术，突破了精准展开、储料拉深、缓裂保护等关键技术。

2. 提出了一种弹性支撑纵横向同步复合拉深成形新方法，采用成对楔形联动装置实现了成形力的双向传递，突破了多组飞机大深度变截面门框立体压边、柔性支撑、随动拉深等关键技术，填补了国内双曲双 U 多向复合半框结构拉深成形技术空白。

3. 针对 A286 高强度不锈钢成形回弹大、成形质量差、原材料尺寸受限的问题，通过焊缝路径设计、固溶热处理工序设计、拉延筋随形设计等技术，实现了 A286 薄壁大口径双曲排气管变形稳定控制和回弹抑制。

4. 自主研发了系列拉深成形失稳抑制装置和回弹补偿模具结构，建立了基于数值模拟拉深成形技术规范体系，形成了基于试验修正的拉深成形回弹补偿工艺参数库，实现了拉深成形零件回弹误差的有效控制。

应用项目成果生产的多品种拉深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 $0.5\text{mm}$ 的贴膜度。通过增加中间固溶处理有效降低了 A286 材料屈服强度，使零件容易成形，弯管激光焊接对缝精度可以达到 $0.2\text{mm}$ 范围以内；双曲双 U 多向复合门框结构年需求量近 5000 件，长期以来都为纯手工成形，通过多年攻关，突破了多动作协同立体压边以及纵向横向同步复合拉深技术，实现了该结构零件机械化成形，生产效率提高 90%；针对系列大拉深比一次成形破裂零件，提出一种口径增大、型腔减缓过渡模型设计技术，较好的将材料最大减薄量控制在 20%以内，极大提升了新研飞机钣金产品的力学性能和结构功能。

项目研发过程中，获授权发明专利 6 项、实用新型专利 5 项，受理发明专利 6 项，主持制定实施国家标准 1 项，企业标准/规范 8 项，出版专著 1 部，发表学术论文 14 篇，总体技术水平达到国际先进，有力地推动了国内飞机钣金制造数字化发展。成果已在大型运输机、MA700 等多型号飞机 150 余项零件上进行了工程化应用，零件厚度减薄控制精度提升 33%，生产效率提升 40%，进一步提升了国产飞机安装效率和使用寿命，对延长飞机应用寿命、降低飞机制造成本、缩

短飞机制造周期意义重大，年节约资金 3000 余万元，自 2019 年至今累计新增产值近亿元，取得了巨大的经济和社会效益。

## 客观评价

### 1. 科技成果鉴定意见

2021 年 12 月 16 日，由中国航空工业集团有限公司科技与信息化部组织，西安交通大学、西北工业大学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：

项目针对双曲双 U 多向复合结构拉深成形型腔深度大质量无法保证、多道次拉深结构过渡模型设计困难以及新型 A286 材料毛坯尺寸受限无法拉深等问题，突破了储料拉深、拼焊拉深、增量拉深、过变形拉深、立体压边随动拉深等关键技术，实现了航空拉深成形钣金零件的精确制造。

该项目研究难度大，复杂程度高，拓宽了拉深成形技术应用领域，获得多项知识产权，总体技术水平达到国际先进。

### 2 使用方评价

(1) 中航西飞民用飞机有限责任公司认为：

飞机复杂薄壳异形件多维控制精确拉深技术，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 飞机门区系列多阶梯小转角包角包边类零件研制中，攻克了一模两组四件的回弹补偿模具结构，解决了传统拉深成形盆底材料不流动易变薄超差而法兰材料流动过快表面褶皱剧烈难题。在 MA700 飞机短舱 50 余项 A286 双曲薄壁变径变曲率弯管成形中，攻克了 A286 合金屈服强度高回弹大等成形难题，采用随形压边圈解决了拉深高度落差大材料变形无序失稳破裂问题，攻克了 A286 薄壁受限毛坯半包裹式减阻均匀拉深，保证了 A286 系列零件不大于 0.5mm 的贴胎精度。在 MA700 飞机环控等系统安装中，突破了储料拉深、多道次拉深、协同压边复合拉深等关键技术，改变了昔日以落压成形为主的传统加工模式，实现了多品种、小批量、低成本、高效率的净边毛料精确拉深成形。

利用该项目研究成果在 MA700 飞机成功实现了千余项钣金零件拉深成形精确制造，平均每项零件减少手工成形及校形工作量 40%，零件制造周期缩短 50% 以上，进而提高飞机短舱等部位装配效率，极大地提升了飞机结构的可靠性及钣金结构件的使用寿命，较好的保障了新一代国产支线客机 MA700 的研制进程。

(2) 西安嘉业航空科技有限公司认为：

飞机复杂薄壳异形件多维控制精确拉深技术，在民用飞机舱门及短舱系列钣金零件精确制造中获得推广应用。

推广应用随形压边、强度可控的 A286 拉深技术，实现了 60 余项 A286 复杂结构件成形过程中材料有序流动、回弹得以控制，满足了不大于 0.5mm 的装配公差。推广应用极限拉深展开毛坯设计及多参量控制技术，实现了民用飞机舱门系列门包角类零件精确拉深成形。包角件贴模度达到 0.4mm，表面光洁度好，生产效率高，可满足年产 120 架份订货需求。

### 3 其他

项目研制中形成的《小径深腔帽型复杂结构飞机零件成形》获得 2021 年度陕西省职工先进操作（工作）法。

#### 应用情况

该项目研究成果实现了大型飞机、MA700 等飞机双曲门框、双 U 半框、门区包角包边，短舱 A286 系列弯管蒙皮、尺寸各异的深腔非规则盒体等系列复杂异形钣金结构件拉深精确制造。产品从仿真预测到完成制造形成了完整的拉深成形技术体系，应用项目成果生产的多品种拉深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 $0.5\text{mm}$  的贴膜度。通过增加中间固溶处理有效降低了 A286 材料屈服强度，使零件容易成形，弯管激光焊接对缝精度可以达到 $0.2\text{mm}$  范围以内；双曲双 U 多向复合门框结构，使用传统拉深因 U 型底部两转角处严重起皱，甚至叠死，无法成形，该类零件年需求量近 5000 件，长期以来都为纯手工成形，工人劳动强度大，通过多年攻关，提出一种飞机大深度变截面门框多维度成形模具及成形方法，首次采用楔形机构将纵向拉深力分解为纵向横向拉深力，突破了多动作协同立体压边以及纵向横向同步复合拉深技术，实现了该结构零件机械化成形，生产效率提高 90%；针对大拉深比一次成形破裂零件，提出一种口径增大、型腔减缓过渡模型设计技术，较好的将材料最大减薄量控制在 20% 以内，极大提升了新研飞机钣金产品的力学性能和结构功能。

该项目提出了储料拉深、拼焊拉深、增量拉深、过变形拉深、立体压边随动拉深等创新成形方法，自主研制了系列拉深成形失稳抑制装置和回弹补偿模具；建立了基于数值模拟拉深成形技术规范体系，形成了基于试验修正的拉深成形回弹补偿工艺参数库，缩短模具研制及调试周期 80% 以上，平均每项零件手工操作量减少 40%，零件制造周期缩短 50% 以上，进而提高飞机门区、短舱等部位装配效率 1 倍以上，对延长飞机应用寿命、降低飞机制造成本、缩短飞机制造周期意义重大。

该项目成果已在 MA700 飞机上进行了工程化应用，完成了千余项零件的拉深精确成形，零件表面质量好，外形准确。节省了落压模具、过渡模具、热成形模具费用，手工成形、热成形、充液成形、落压成形、手工校形、手工切割、表面打磨及现场修配工时费用，减少了材料损失费用，年新增产值 3000 余万元。

该项目带动了相似技术产业发展，复杂形状钣金件的展开技术、多道次过渡结构设计、起皱抑制、缓裂保护、回弹控制及多动作协同模具结构设计等核心技术，已在其他机型新研项目中推广使用，完成了 30 余项高温合金强度可控的拉深成形，为 120 余项储料缓裂拉深模结构设计提供指导，较好的消除了传统落压成形内部及表面质量缺陷。近三年，该项目新增产值及新增利润累计近亿元。

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	中航西飞民用飞机有限责任	储料拉深、多道次拉深、一模四件回弹补偿	零件制造周期缩短 50% 以上，提高飞机	2019 年 6 月至 2021 年 8 月	解安生 13709180238

	公司	拉深技术等	短舱等部件的装配效率,较好的保障了新生代客机MA700的研制进程。		
2	西安嘉业航空科技有限公司	极限拉深展开毛坯设计及材料有序流动控制技术	实现了民用飞机舱门由外包到自主研制,提高了短舱A286系列产品的装配精度,提升了民用飞机结构的可靠性。	2019年6月至2021年8月	布国亮 18612812192
3	西安飞机工业(集团)有限责任公司	储料拉深、多道次拉深、协同压边复合拉深、拼焊拉深、缓裂拉深、反向对称拉深技术等	大型运输机、ARJ21、MA700等多种军民机用飞机,年产6000余件	2019年1月至2021年12月	田野 18710375377

### 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	一种板制盒形件拉深极限判定方法	中国	ZL201610907790.0	2018年07月24日	3010987	中航飞机股份有限公司西安飞机分公司	白颖;韩艳斌;程晓芳
2	发明专利	一种飞机门区阶梯形包角零件拉深成形方法	中国	ZL20181067818.1	2019年11月15日	3596430	西安飞机工业(集团)有限责任公司	白颖;李小曼;乔锋敏;黄润卓
3	发明专利	一种大法兰、高翻边管口加强件的冲压成形方法	中国	ZL201610907786.4	2018年01月16日	2780878	中航飞机股份有限公司西安飞机分公司	曹锋;白颖;章文亮
4	国家标准	民用飞机钣金件典型结构要素分类	中国	GB/T 38967—2020	2020年07月21日	国家市场监督管理总局	西安飞机工业(集团)有限责任公司	高艳丽;赵安安;寇洁;王惜晨;杜坤鹏;白颖
5	专著论文	A286薄壁大径双曲排气半管拼焊拉深工艺探索	中国	第28卷第9期65-72页	2021年09月28日	塑性工程学报	西安飞机工业(集团)有限责任公司	白颖;钟李欣;范子翠;李世峰;张立;陈磊
6	专著论文	拉深成形过程中不规则楔形深腔件的缺陷控制	中国	第44卷第10期49-55页	2019年10月24日	锻压技术	西安飞机工业(集团)有限责任公司	白颖;李善良;段嘉庆;王汝姣;黄润卓
7	专著论文	基于神经网络遗传算法的深腔零件拉深工艺参数优化	中国	第13卷第5期173-179页	2021年09月10日	精密成形工程	西安飞机工业(集团)有限责任公司	邱超斌;张猛;郎利辉;郭庆磊;江培成;李奎;陈琳
8	专著论文	航空常用铝合金板料拉伸性能参数及应力-应变曲线拟合	中国	第53卷第10期41-46页	2019年10月15日	工具技术	西北工业大学;西安飞机工业(集团)有限责任公司	仝朋艳;张鹏;王永军;韩艳彬;刘波;郭全庆

9	实用新型专利	一种飞机大深度变截面门框多维度成形模具	中国	ZL201821437627.3	2019年06月25日	9012236	西安飞机工业(集团)有限责任公司	翟攀;车剑昭;田忠文
10	实用新型专利	一种钛合金垫圈成形模具	中国	ZL201820973754.9	2019年03月19日	8596674	西安飞机工业(集团)有限责任公司	翟攀;车剑昭

### 主要完成人情况

姓名	排名	行政职务	技术职称	工作单位	完成单位	对本项目贡献
吴继文	1	科技委副主任	研究员级高工	西安飞机工业(集团)有限责任公司	西安飞机工业(集团)有限责任公司	1. 针对各型号研制拉深成形瓶颈问题, 制定了多维控制的精确拉深成形总体工艺方案, 先后成立了多个攻关课题研制小组。2. 提出在开展多种板材物性参数及材料本构关系研究的基础上, 以拉深成形失稳抑制技术及回弹预测补偿技术研究为主线的总体思路, 建立了拉深回弹补偿工艺知识库。3. 针对系列小径深腔帽型复杂结构一次拉深破, 裂问题, 争取了中华全国总工会职工创新项目资金补助, 提出一种小口径、深型腔薄壁结构多道次冲压成形过渡结构设计办法, 提高了零件成形准确度。发明专利《一种小口径、深型腔帽型零件的冲压成形方法》已授权。
白颖	2	副主任师	研究员级高工	西安飞机工业(集团)有限责任公司	西安飞机工业(集团)有限责任公司	1. 提出一种板制盒形件拉深极限判定准则, 发明一种极限转角阶梯形包角零件拉深成形方法, 攻克了多道次拉深过渡模型设计技术。《一种板制盒形件拉深极限判定方法》等4项专利授权。2. 首次采用优选路径的激光拼焊工艺, 实现了A286薄壁大口径双曲排气管变形的稳定成形和回弹抑制。发表核心论文《A286薄壁大径双曲排气半管拼焊拉深工艺探索》。3. 自主研制了系列拉深成形失稳抑制装置, 编制了基于PAM-STAMP拉深成形和回弹补偿仿真标准规范, 实现了复杂拉深零件数据库管理。相关国标GB/T 38967—2020发布。
李奎	3	副主任	工程师	西安飞机工业(集团)有限责任公司	西安飞机工业(集团)有限责任公司	1. 开展了极限拉深展开毛坯设计及多参量控制技术研究, 攻克了包角零件法兰面成形相对静止, 阶梯特征由上而下渐次成形的难题。发明专利《一种阶梯型包角零件的成形方法》已受理。2. 针对年产5000件的双曲U型半框件, 提出了一种纵横向同步复合拉深成形新方法, 打破了长年手工收边的技术束缚。发明专利《一种槽型铝合金框类零件成形模具及成形方法》已受理。3. 为了解决拉深成形中工艺参数优化难的问题, 以冲压速度和压边力作为输入, 最大减薄作为输出, 借助遗传算法进行寻优, 有效提高预测精度, 形成论文1篇。
章文亮	4	钣金厂厂长	高工	西安飞机工业(集团)有限	西安飞机工业(集团)有限	1. 开展了极限拉深毛坯设计对拉深材料应力应变影响规律研究, 解决了管口件危险断裂处变薄超差、废品率高的难题。发明专利《一种大

				责任公司	责任公司	法兰、高翻边管口加强件的冲压成形方法》已授权。2. 开展了双曲深U型门框拉深成形方法和拉深模具结构设计研究，从成形过程中多个影响因素中确定关键参数，逐一攻克实现机械化成形技术突破。《铝合金双曲双U半框拉深成形典型操作规程》发布实施。3. 在C919等型号飞机产品中全面推进多维控制的精确拉深成形技术，提高整体钣金成形数字化水平。编制并发布标准规范《钣金拉深成形仿真方法》。
翟攀	5	主管 主 师	高工	西安飞机工业（集团）有限责任公司	西安飞机工业（集团）有限责任公司	1. 提出了一种飞机大深度变截面门框多维度成形模具及成形方法，填补了国内双曲双U多向复合半框结构拉深成形技术空白。实用新型专利《一种飞机大深度变截面门框多维度成形模具》已授权。2. 针对飞机槽型框类零件利用冲压加工和仿形成型原理，实现零件成形过程中模具的联动；使传力分瓣阳模向两侧运动。发明专利《一种槽型铝合金框类零件成形模具及成形方法》已受理。3. 参与搭建了基于试验的拉深成形回弹补偿工艺参数库，自主编制了拉深成形模具设计结构工具书，提高了拉深成形缺陷消除能力。
钟李欣	6	副总 副 师	研究员 级高工	西安飞机工业（集团）有限责任公司	西安飞机工业（集团）有限责任公司	1. 通过动态仿真研究成形道次、展开毛坯形状等诸多因素对零件成形性的影响规律，确定出帽型类深腔零件两道次渐进冲压可行性成形方案。帽型零件的冲压成形方法发明专利已授权。2. 针对三类双曲变径变截面导管的不同结构，采用随形压边圈解决拉深高度落差大材料变形无序失稳破裂问题，工艺规范《沉淀硬化不锈钢零件成形》制定并实施。3. 提出搭建拉深成形回弹补偿数工艺知识库的模块管理思路，组织编制了拉深成形仿真方法，提高了数值模拟的指导意义和钣金零件数字化制造水平。
郭全庆	7	技术 厂 长	高工	西安飞机工业（集团）有限责任公司	西安飞机工业（集团）有限责任公司	1. 采用导向、限位、驱动、归位系列联动装置创造出纵向横向拉深力，利用分体阳模和整形阳模实现了门框机械化成形及校形。编制并发布《铝合金双曲双U半框拉深成形典型操作规程》。2. 与院校合作开展了航空材料物性研究，搭建了钣金零件常用材料物性参数库，准确定义了典型拉深结构成形多维控制的关键工艺参数。3. 通过开展拉延筋的数量和结构研究，实现了复杂结构件拉深成形过程中材料有序流动，回弹误差有效控制。编制并发布标准规范《钣金展开坯料反算仿真方法》。

### 主要完成单位及创新推广贡献

排名	单位名称	创新推广贡献
1	西安飞机工业（集团）有限责任公司	西安飞机工业（集团）有限责任公司为国内多型飞机的主制造单位，十分重视拉深成形工艺制造能力与技术水平的提高，着力挖掘传统拉深成形工艺的潜力，建立了拉深成形数值模拟技术规范体系，打造了基于试验研究的拉深成形回弹补偿工艺参数库，制定了相应的国家标准、行业标准和企业标准，为拉深成形工艺工装设计、成形质量控制提供数字化指导，为实现复杂结构件拉深

	<p>成形回弹误差、尺寸精度的有效控制提供了切实可行的研究环境，推动了复杂立体结构钣金零件拉深精确成形技术在新型号飞机研制和批产应用，使钣金拉深成形制造的各个环节达到最优的经济效益。</p> <p>1. 负责本项目的总体策划，提出以极限拉深模、协同压边模等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要求。2. 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，有效的保证了项目顺利开展、各型号研制任务如期完成。3. 确定了审查该项目提供的技术资料标准规范要求。4. 协调组织项目的成果应用，使拉深成形已在多个重点型号新研飞机的关键项目生产中有了实际的应用，且拉深成形设备任务量饱满。5. 为保证飞机复杂薄壳异形件多维控制精确拉深技术的有效应用，对工装设计人员、钣金冲压成形工艺人员、拉深成形工艺人员、冲压成形及拉深成形操作人员进行培训 558 人次。</p>
--	--

### 完成人合作关系说明

完成人吴继文、白颖、李奎、章文亮、翟攀、钟李欣、郭全庆均供职于西安飞机工业（集团）有限责任公司，一直参与飞机复杂薄壳异形件多维控制精确拉深技术的研究工作。

吴继文作为项目负责人，负责制定拉深精确成形总体技术方案及项目具体研制计划，跟进并投入项目实施过程。白颖作为项目主要完成人，负责极限拉深展开毛坯设计及多参量控制技术、薄壁 A286 激光拼焊强度可控的复合拉深技术的研究及成果推广。李奎作为项目主要完成人，负责多动作协同立体压边及纵向横向同步复合拉深技术的研究及成果推广。章文亮作为项目主要完成人，负责构建多维控制精确拉深技术工艺知识库及推广应用。翟攀、钟李欣、郭全庆等其余完成人也均作为飞机复杂薄壳异形件多维控制精确拉深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。

本项目组是一个团结合作的科研团队，各主要完成人长期合作、优势互补、联合攻关，取得了多项创新性成果，为确保项目的成功研制、成果应用推广以及综合效益显著发挥作出了贡献。

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	白颖/2 章文亮/4	2012.06	2018.12	一种大法兰、高翻边管口加强件的冲压成形方法	附件 1.3
2	论文合著	白颖/2 钟李欣/6	2016.01	2018.12	A286 薄壁大径双曲排气半管拼焊拉深工艺探索	附件 8.2
3	共同鉴定	吴继文/1 李奎/3 翟攀/5 郭全庆/7	2011.03	2018.12	鉴定证书	附件 7.1 附件 7.2 附件 7.3 附件 7.4
4	共同知识产权	吴继文/1 白颖/2 钟李欣/6	2016.03	2018.12	一种小口径、深型腔帽型零件的冲压成形方法	附件 9.1 附件 9.2