

# 航空器件喇叭口创新制作工艺研究

周俊

四川西南航空职业学院，四川成都，610400；

**摘要：**目前飞机导管连接多采用扩口连接形式，但日常外场导管取样和故障排除时，存在导管多次扩口对比安装确定最佳管型、现场弯曲后需返厂扩口加工等问题，影响效率。为此，提出一种便携式喇叭口连接装置，其包括外套螺母、平管嘴、喇叭口套管等部件，喇叭口套管由喇叭口、堵片、套管组成，采用氩弧焊接后打磨焊缝，锥形橡胶套与套管过盈配合固定。该装置结构简单、成本低、便于携带，可替代样件端头扩口，节省厂间往返时间，提高肥样及排故效率。

本文概括阐述采用创新工艺制作航空材料喇叭口的研究目的、方法、关键成果及结论，突出新工艺在提升喇叭口性能与制作效率等方面的优势及对航空领域的潜在价值。

**关键词：**航空材料；喇叭口；创新工艺；性能优化

**DOI：**10.69979/3041-0673.25.10.023

## 1 绪论

### 1.1 研究背景与意义

介绍航空领域中喇叭口部件的应用场景（如航空发动机进气道、排气系统等），分析传统制作工艺在满足高性能航空部件需求上的局限性，阐述创新工艺对提高航空材料喇叭口质量、性能、可靠性以及推动航空制造技术发展的重要意义。

### 1.2 国内外研究现状

梳理国内外在航空材料加工工艺，特别是喇叭口制作工艺方面的研究进展，对比分析现有工艺方法的优缺点，找出当前研究的空白点或有待改进之处，为本研究的创新性提供依据和方向。

### 1.3 研究目标与内容

明确本研究旨在开发一种全新的航空材料喇叭口制作工艺，详细阐述研究内容，包括材料选择与特性分析、创新工艺原理与流程设计、工艺参数优化、性能测试与评估方法以及新工艺的可行性验证等。

### 1.4 研究方法与技术路线

列举采用的理论分析、数值模拟（如有限元分析）、实验研究等方法，绘制从原材料准备、工艺设计、实验实施到结果分析及优化的技术路线图，确保研究步骤的系统性和逻辑性。

## 2 航空材料特性及喇叭口传统制作工艺分析

### 2.1 常用航空材料性能剖析

针对铝合金、钛合金、镍基合金等航空领域常用材料，分析其力学性能（强度、硬度、韧性等）、物理性

能（热膨胀系数、导热性等）、化学性能（耐腐蚀性等），探讨这些性能对喇叭口制作工艺的影响，为材料选择和工艺设计提供基础。航空行业对于材料的结构性能要求非常高，但是由于受到资金的限制，或者出于节省资源的考虑，航空材料的选择应该在符合安全条件允许的条件下尽可能节省预算。与新出现的复合材料相比，传统的金属材料仍是航空器生产的首要选择。尽管复合材料具有许多传统金属材料所没有的优势，航空制造业也将之视为未来航空材料的主流材料，但是就现有的生产水平和航空技术而言，传统的金属材料仍是航空制造的首要选择<sup>[1]</sup>。

航空材料是航空工业的基石，其性能直接影响飞机的安全、经济性和环保性。在众多航空材料中，铝合金、钛合金和复合材料是最为常用的几种。

这些材料的选择和应用，必须基于对材料性能的深入剖析和精确计算，以确保飞机在各种飞行条件下的性能和安全。随着材料科学的进步，新型航空材料不断涌现，为航空工业的发展提供了更多可能。

### 2.2 喇叭口传统制作工艺原理与流程

详细介绍如冲压成型、旋压成型等传统工艺的加工原理，展示其从原材料切割、坯料制备、成型加工到后处理的完整工艺流程，分析各环节的工艺参数（如冲压压力、旋压速度等）对喇叭口成型质量、尺寸精度和材料性能的影响机制，通过实际案例或实验数据揭示传统工艺存在的问题，如成型缺陷（裂纹、褶皱）、材料利用率低、加工精度难以控制等<sup>[2]</sup>。

## 3 航空材料喇叭口创新制作工艺开发

### 3.1 创新工艺原理与技术特点

提出基于新型成型技术（如增材制造与传统工艺结合、特种塑性加工方法等）的喇叭口制作创新工艺原理，阐述该工艺如何利用材料的特性实现精确、高效、低损伤的成型过程，分析其区别于传统工艺的技术优势，如能够实现复杂形状的一次性成型、微观组织均匀性好、残余应力小等，并通过示意图或原理动画辅助说明。

（1）旋压成形技术：这是一种将材料通过旋转运动向中心流动形成凸起的工艺。在制造“喇叭口”形铝合金管类零件时，旋压成形被用于形成带规则凸缘的帽形结构，即旋压工序件。该技术通过旋压模实现，旋压模包括胎体和顶板，能够将板料成形出所需的结构，为后续手工成形打下基础。

（2）手工成形技术：在旋压成形之后，手工成形技术被用于将旋压工序件进一步成形至“喇叭口”形最终外形。手工成形使用的工装为型胎，包括胎体、盖板、芯子、定位销和吊环螺钉，这些组件共同作用以确保成形过程中的精确性和稳定性。

（3）工艺流程优化：传统的扩口成形或拉深成形工艺流程被优化为“旋压成形—手工成形”，这种优化不仅提高了零件加工质量，还降低了废品率。旋压成形中板料流动均匀，避免了厚度变化不均导致管壁内径不符合设计图样的问题。

（4）便携式喇叭口连接装置：为了提高外场导管取样和故障排除的效率，开发了一种便携式喇叭口连接装置。该装置包括外套螺母、平管嘴、喇叭口套管等组件，通过氩弧焊接技术整体焊接，使得现场扩口加工更加便捷，节省了往返工厂的时间，提高了生产效率。

（5）提高表面质量：在航空导管喇叭口的制造过程中，为了保持喇叭口光滑且无划伤裂纹缺陷，采用了砂布手工抛光打磨与旋转打磨机相结合的方法。此外，还开发了一种飞机导管航空导管喇叭口打磨装置，以提高修理过程中扩口导管喇叭口微小缺陷的处理效率。

### 3.2 创新工艺详细流程设计

将创新工艺分解为多个关键步骤，包括原材料预处理、新型成型过程实施、后处理优化等，详细描述每个步骤的操作方法、设备选型（如有新型模具设计或增材制造设备参数设置）、工艺参数范围确定依据，绘制详细的工艺流程图，明确各步骤之间的逻辑关系和质量控制点，确保工艺的可操作性和重复性。

为了提高外场导管取样和故障排除的效率，开发了一种便携式喇叭口连接装置。该装置包括外套螺母、平管嘴、喇叭口套管、锥形橡胶套、堵片、喇叭口、套管等组件。喇叭口套管由喇叭口、堵片、套管组成，整体采用氩弧焊接，焊接后需要将焊缝打磨齐平。外套螺母可与飞机上其他导管连接，另一端安装锥形橡胶套<sup>[3]</sup>。

在航空导管喇叭口的制造过程中，为了保持喇叭口光滑且无划伤裂纹缺陷，采用了砂布手工抛光打磨与旋转打磨机相结合的方法。此外，还开发了一种飞机导管航空导管喇叭口打磨装置，以提高修理过程中扩口导管喇叭口微小缺陷的处理效率。

## 4 创新工艺参数优化研究

### 4.1 关键工艺参数确定与实验设计

基于创新工艺原理，确定对喇叭口成型质量、性能起关键作用的工艺参数（如温度、压力、应变率、增材制造层厚等），采用单因素实验法或正交实验法设计多组实验方案，以全面考察各参数及其交互作用对喇叭口性能指标（如尺寸精度、表面粗糙度、力学性能等）的影响规律，同时说明实验样本数量的确定依据和样本制备方法，确保实验结果的可靠性和代表性。

### 4.2 实验结果分析与参数优化模型建立

对实验获得的大量数据进行统计分析，运用回归分析、方差分析等方法确定各工艺参数与性能指标之间的定量关系，构建工艺参数优化模型（如基于响应面法的数学模型），通过模型求解确定最优工艺参数组合，使喇叭口在满足航空部件性能要求的前提下，实现质量和生产效率的最大化，并通过实验验证优化后参数的有效性，对比优化前后喇叭口的性能差异，展示优化效果。

## 5 创新制作工艺对喇叭口性能的影响评估

### 5.1 喇叭口力学性能测试与分析

按照航空材料力学性能测试标准，对采用创新工艺制作的喇叭口进行拉伸、压缩、弯曲、疲劳等力学性能测试，获取应力—应变曲线、强度极限、疲劳寿命等关键数据，与传统工艺制作的喇叭口以及设计要求进行对比分析，从微观组织结构演变（如晶粒细化、位错密度变化等）角度解释创新工艺对力学性能提升的内在机制，运用金相显微镜、扫描电镜等手段观察材料微观组织特征，并建立微观组织与宏观力学性能之间的联系。

在航空材料领域，喇叭口的力学性能测试与分析是确保航空安全和飞机性能稳定的重要环节。随着创新制作工艺的发展，对喇叭口力学性能的测试与分析提出了更高的要求。

首先，创新制作工艺如3D打印技术，为制造复杂的几何组件提供了新的可能性。这种技术特别适用于连续碳纤维增强热塑性材料的制造，其力学性能的测试与分析尤为关键。例如，通过田口实验设计方法，可以建立工艺参数与3D打印部件机械性能之间的关系，优化关键参数如层厚、温度、打印速度和填充方向对杨氏模量和拉伸强度的影响<sup>[4]</sup>。

此外，对于航空材料喇叭口的力学性能测试，还需要考虑材料的各向异性和工艺参数的影响。例如，增材制造聚合物材料的各向异性弹塑性本构模型研究，揭示了不同工艺对材料力学性能的影响机理。这些研究为理解材料在不同方向上的力学行为提供了理论基础，对于优化喇叭口的力学性能具有重要意义。

## 5.2 喇叭口物理性能及可靠性评估

除力学性能外，对喇叭口的物理性能（如热导率、热膨胀系数等）进行测试评估，分析创新工艺是否会对这些性能产生有利或不利影响，结合航空部件实际工况，通过模拟高温、高压、振动等复杂环境条件下的可靠性试验（如热循环试验、振动疲劳试验等），考察喇叭口在长期使用过程中的性能稳定性和可靠性，运用无损检测技术（如超声波探伤、X射线检测等）监测试验过程中可能出现的内部缺陷萌生与扩展情况，为喇叭口的工程应用提供性能保障依据。

创新制作工艺，尤其是增材制造技术，使得复杂几何形状的制造成为可能，但同时也带来了新的挑战。这些技术在制造过程中可能会引入微观缺陷，如孔洞、裂纹和未熔合区域，这些缺陷会严重影响喇叭口的物理性能和可靠性。因此，对这些缺陷的检测和评估变得尤为重要。

为了提高喇叭口的物理性能和可靠性，创新制作工艺还需要结合先进的材料设计和后处理技术。例如，通过优化材料的微观结构和表面处理，可以提高喇叭口的耐磨性和抗疲劳性。此外，通过数值模拟和计算，可以预测材料在不同工况下的性能，从而为设计提供指导。

## 6 航空材料喇叭口创新制作工艺的可行性验证与工程应用前景

### 6.1 创新工艺可行性综合验证

从工艺稳定性、重复性、成本效益、环保性等多个维度对创新制作工艺进行可行性验证，通过小批量试生产，统计产品合格率、生产周期、原材料消耗等数据，与传统工艺进行对比分析，评估创新工艺在实际生产中的可操作性和经济可行性；同时，对生产过程中的废弃物排放、能源消耗等环境指标进行监测评估，确保新工艺符合现代航空制造的绿色发展理念，综合各方面验证结果，判断创新工艺是否具备大规模推广应用的条件<sup>[5]</sup>。

### 6.2 工程应用前景与展望

结合航空工业未来发展趋势（如高性能飞行器研制、轻量化设计需求等），探讨航空材料喇叭口创新制作工艺在新型航空发动机、先进飞行器结构部件等领域的潜在应用场景，分析其对提升航空装备整体性能、降低制

造成本、缩短研发周期等方面的预期贡献，展望随着材料科学、制造技术不断进步，该创新工艺在未来航空制造领域的进一步发展方向和拓展应用空间，为后续研究和工程实践提供参考和启示。

## 7 结论与展望

### 7.1 研究工作总结

概括本研究在航空材料喇叭口创新制作工艺开发方面的主要成果，包括工艺原理提出、流程设计优化、关键工艺参数确定、性能提升效果验证以及可行性论证等，总结创新工艺的技术优势和特点，梳理研究过程中解决的关键问题和突破的技术难点，强调本研究对航空制造领域的重要理论贡献和实际应用价值。

### 7.2 研究展望

针对当前研究的局限性和不足之处，如某些复杂工况下的性能研究不够深入、工艺优化空间仍存在等问题，提出未来进一步研究的方向和建议，包括开展更广泛的材料体系适用性研究、深化对工艺—微观结构—性能关系的理解、探索与其他先进制造技术的融合创新以及加强面向工程化应用的工艺稳定性和可靠性提升研究等，为后续相关研究工作的持续开展提供思路和方向，推动航空材料加工技术不断向前发展。

以上内容仅供参考，在实际生产应用过程中，需根据具体研究内容和实验数据进一步细化和完善各章节内容，确保产品的逻辑性、科学性和严谨性。

## 参考文献

- [1] 章洛. 多种常用航空材料性能分布的任意置信限许用值计算 [J]. 航空航天科学与工程, 2024, 84(3): 2-3.
- [2] 徐逸豪. 国外航空材料技术的应用现状研究 [J]. 航空航天科学与工程
- [3] 周正干, 孙广开, 李征, 等. 激光超声检测技术在复合材料检测中的应用 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2012(6).
- [4] 刘颖韬, 郭广平, 杨党纲, 等. 脉冲热像法在航空复合材料构件无损检测中的应用 [J]. 航空材料学报, 2012(1).
- [5] 陈济轮. 激光快速制造技术在我国航天制造领域的应用展望 [J]. 航天制造技术, 2010 (6) .
- [6] 吴国华, 陈玉狮, 丁文江. 镁合金在航空航天领域研究应用现状与展望 [J]. 载人航天, 2016(3)。

作者简介：周俊（1990,03-）男，汉族，湖北孝感人，硕士研究生学历，讲师，研究方向：航空机械工程。