

一、项目基本情况

编号:

机械工业科学技术奖励工作办公室制

二、项目简介

（限 1500 字，限 1 页）重点介绍项目的重要性和意义、立项背景、主要科技内容、技术经济指标、授权知识产权情况、经济效益和社会效益，及促进行业科技进步作用等。

光电器件是光纤通信的核心组件，是未来信息传输的基础保证，是面向国家经济主战场、提升国防核心竞争力的战略支撑。光电器件的制程工艺主要包括放置、装夹、对准、固接，其中直接决定器件质量的核心环节为亚微米级精度下的耦合对准，占器件制备总成本 50% 以上。传统工艺方法已逐渐无法实现高性能光电器件制备，主要体现在：1. 封装装备精度有限，导致自动化对准过程耗时长，品质低，严重影响光电器件制备效率，无法实现光电器件的品质升级需求；2. 现有光电器件耦合封装装备工艺与传输速率允差要求愈发脱节，缺乏耦合装备精度提升的方法与技术。

本项目立足于我国光通信行业光电器件高性能制备的重大需求，在国家自然科学基金等项目的支持下，提出了光电器件耦合封装装备深度误差溯源方法，研究了基于“误差流”理论的误差分配技术，研制了亚微米级光电器件耦合封装装备，实现了高精度光电器件耦合对准及工艺优化，构建了新一代光电器件耦合封装装备精度设计理论。主要内容如下：

1. 针对光电器件耦合过程中误差机理不清晰、微米级尺度定位精度成因机理不明等问题，剖析微行程运动误差形成机理，提出了一种基于“零件制造工艺——空间位姿偏差”的深度误差溯源方法，研究了光电器件耦合的路径搜索与规划算法。将该方法应用至光电器件耦合对准过程，对准过程耗时可降低 23%，同时可将原有定位误差从 10 μm 提升至 5 μm 以下，远优于现有产品精度指标。

2. 针对目前光电器件耦合封装装备工艺陈旧，效率较低等问题，提出了一种基于“误差流”理论的光电器件耦合封装装备综合误差建模方法，构建了光电器件耦合封装装备误差分配方法，研发了一种光电器件耦合封装装备全行程误差补偿技术，宏、小、微行程尺度下空间位姿偏差可降低 78% 以上。

3. 针对光电器件耦合封装装备工作精度低、几乎 100% 依赖进口设备的困境，提出了下一代光电器件耦合封装装备精度设计方法，自主研制了高性能高通量光电器件耦合封装装备，定位精度 $<3\mu\text{m}$ ，重复定位精度 $<0.3\mu\text{m}$ ，装备性能已达国内领先、国际一流的水平，完全符合亚微米级对准精度需求，已达到新一代光电器件耦合封装标准。

该项目形成了基础研究和核心技术成功转化，并实现了关键技术的突破。已发表相关论文 15 篇，其中机械类顶刊 4 篇，授权发明专利 3 项。本技术已在北京纳控、北京元一、湖南中南鸿思、湖南麓河等知名企业开展实际应用，相关光电器件等销往北京、广东、湖南、福建网络通讯产业知名公司，经济与社会效益显著。除目前正在使用的各类光接收、光发送器件，对于下一代硅基半导体电子器件、大数据信息传输器件等国家未来发展战略，本项目相关技术存在极大应用的可行性，应用前景十分广阔。

三、主要科技创新

不超过 10 页。《主要科技创新》是提名项目的核心内容，也是评价项目、遴选专家、处理异议的主要依据。主要科技创新应根据提名奖励类别的不同填写主要技术发明点或主要创新点及其主要内容：

1. 技术发明类：

主要技术发明点：客观、真实、准确地阐述项目技术内容中前人没有的、具有创造性的关键、核心技术。技术发明点按重要程度排序，并标明序号。

主要内容：围绕首创性、先进性和技术价值对各发明点的内容进行阐述，包括项目在技术原理或基础性、核心性技术问题上取得的突破，论证及实验结果，客观、详实地对比国内外同类技术的主要参数，每项技术发明在阐述前应首先说明所属的学科分类名称和支持其成立的授权知识产权。核心发明点必须取得授权知识产权。

2. 科技进步类：

主要创新点：客观、真实、准确地阐述项目具有创造性的关键、核心技术。创新点按重要程度排序，并标明序号。

主要内容：围绕创新性、应用效益和经济社会价值对各创新点的内容进行阐述，包括项目在技术原理、关键技术或者系统集成上取得的突破，论证及实验结果，客观、详实地对比国内外同类技术的主要参数、效益、市场竞争力，并列明主要知识产权和标准规范等。每项创新点在阐述前应首先说明所属的学科分类名称。

一、立项背景

光电器件是光通信的基础，是实现高速高承载信息化传输的关键组件，是大数据、云计算、物联网等建设的核心硬件之一，是国防竞争力的战略性支撑，更是全球未来争夺的经济、社会、民生主战场。制备高品质、高性能光电器件的关键在于光组件空间位姿的严格把控，极度依赖高精度耦合封装装备。对于已步入千亿美元产值的光模块封装产业而言，高精度耦合封装装备已成为发达国家竞相发展的高附加值技术热点，其精度直接决定了光电器件性能与质量。我国从“十二五”期间国家提出“宽带中国战略”，到“十三五”期间的“网络强国战略”以及密切相关的“互联网+”行动计划，再到“十四五”发展规划和工信部制定的《基础电子元器件产业发展行动计划（2021-2023）》等指导文件，均从国家战略高度支持我国光电子产业与技术及相关装备发展为重要工作任务，并指出“要努力提升高速光通信关键器件，加快国产化替代进程”。

通常，光器件封装过程主要包括放置、装夹、对准、固接，其中对准过程主要依靠封装装备控制光组件空间位姿，通过搜寻到最佳耦合点再进行固接，最终完成整体封装。该环节通常占总成本 50% 以上。以美国、欧洲为首的西方国家率

先从国家战略层面提出光电子发展计划，相关的耦合技术与封装装备精度指标也遥遥领先。我国虽已成为全球最大的光通信市场，但在高端光器件耦合封装装备基本被美欧日垄断，如德国 ficonTEC、日本 Suruga Seiki，导致光子器件核心模块几乎 100% 依靠进口，成为我国光通信技术发展的瓶颈。研制高精度光电器件耦合封装装备刻不容缓，是发展下一代高性能光电器件的必经之路。

随着 5G 技术、大数据、云计算等业务的提速，光电器件耦合封装装备的工作性能需满足新一代光电器件高承载量、高传输速度、高一致性、高稳定性等发展需求，存在以下难题需要解决：1. 光电器件耦合封装装备微行程尺度下误差成因机理不清晰，难以高效制备高性能光电器件；2. 耦合封装工艺过程过于陈旧单一，亟需误差反演与误差分配技术进行指导；3. 下一代光电器件性能指标对耦合封装装备的精度设计理论提出了更高的要求。基于此，分析对准过程中误差产生的原因，构建封装装备误差分析理论，研制高精度光电器件耦合封装装备，对于发展我国光纤通信产业具有切实的意义。

本项目立足于我国高性能光电器件制备的重大需求，在国家自然科学基金等项目的支持下，历经数年，提出了一种光电器件耦合封装装备深度误差溯源方法，研发了基于“误差流”理论的光电器件耦合封装装备误差分配技术，研制了亚微米级光电器件耦合封装装备，实现了高精度光电器件耦合对准及工艺优化，构建了新一代光电器件耦合封装装备精度设计理论。该项目形成了基础研究和核心技术成功转化，并实现了关键技术的突破。已发表相关论文 15 篇，其中机械类顶刊 4 篇，授权发明专利 2 项。本技术已成功用于研制适用于多类别、高精度、高传输效率的光电器件耦合封装装备，已在北京纳控、北京元一、湖南中南鸿思、湖南麓河等知名企业开展实际应用，经本项目制备的光电器件等销往北京、广东、湖南、福建网络通讯产业知名公司，经济与社会效益显著。除目前正在使用的各类光接收、光发送器件，对于下一代硅基半导体电子器件、大数据信息传输器件等国家未来发展战略，本项目相关技术存在极大应用的可行性，应用前景十分广阔。

二、技术内容

目前光电器件耦合封装装备存在以下几个问题：1. 宏行程（1mm-10mm）运动误差得到了广泛的研究，然而耦合封装过程的核心工作区域常在微行程（ $<0.1\text{mm}$ ）尺度，此尺度下运动误差生成机理与宏行程存在较大差异，亟需研究；2. 现有光电器件耦合封装装备误差分配方法单一低效，无法满足下一代光电器件多类型、高品质、高传输量的需求；3. 国外技术壁垒严重，高性能光电器件封装装备全靠进口，缺少通用性强、适配度高的复杂精密运动系统精度设计方法作为支撑。针对以上问题，本项目从微行程运动误差机理入手，精确锚定封装装备核心零部件误差项与光电器件耦合对准过程空间位姿偏差的映射关系，建立基于“误差流”理论的耦合封装装备误差分配方法，实现亚微米级光电器件耦合封装装备的自主研制，构建基于结构顺序优化、运动顺序优化与工艺优化的精度设计方法，为提升光电器件耦合封装装备运动精度，实现下一代硅基半导体电

子器件与大数据信息传输器件国产化提供技术支撑。

2.1 基于“零件制造工艺——空间位姿偏差”的深度误差溯源方法

2.1.1 提出了微行程尺度下耦合封装装备定位误差表征方法

光电器件封装工艺中存在大量的几微米至几十微米的运动过程。微行程尺度下运动误差的形成机理远不同于宏行程（>10mm）尺度，其各项误差的成因、权重与耦合关系非常复杂，剖析微行程运动误差成因机理与厘清误差源的耦合关系对于提升装备精度有直接意义。本项目揭示了微行程尺度下运动误差形成机理：耦合封装装备滚珠丝杠副加工误差与装配误差决定了装备定位精度；交叉滚柱导轨配合面表面形貌曲线决定了装备直线度、俯仰、偏转等误差项；系统材料属性、微动特性与微观摩擦特性决定了重复定位精度；提出了基于测量数据模式识别的精度指标群判定方法，可用于获取系统偏差、反向间隙、无效运动等其它精度指标的误差信息。基于此建立了误差源信息与运动系统精度指标群的映射关系，实现光器件耦合对准过程运动误差的精确表征。项目提出了新的定位精度与重复定位精度表征方法，并嵌入至北京卓立汉光、中研为控等众多企业光机产品的指标描述中，得到了充分应用。

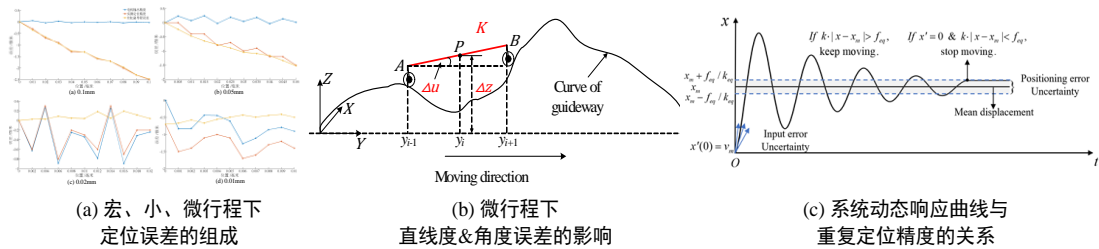


图 1 运动误差的成因与表征

本方法自公布后被国内外精密机械领域著名期刊 *Int. J. Mach. Tool. Manu.*、*Precis. Eng.*、*Int. J. Precis. Eng. Man.*、*Int. J. Adv. Manuf. Technol.*、*Aerosp. Sci. Technol.*等引用 58 次，本领域相关专家在进行综述介绍时，均认定本方法具有较强的适用性与准确性，并给予了较高的肯定，如美国国家标准与技术研究院的 Vogl 教授在(*Int. J. Mach. Tool. Manu.*, 2019, 143, 38-48)指出“While direct methods for machine tool performance evaluation are well-established (这类直接用于评价机床性能的方法已完全建立)”，表明本方法与经典方法相比具有相同的可靠性；精密工程领域专家哈尔滨工业大学谭久彬院士、国防科技大学彭小强教授、天津大学何改云教授以及北京工业大学范晋伟教授分别在 (*Aerosp. Sci. Technol.*, 2019, 95, 105442; *Int. J. Precis. Eng. Man.*, 2019, 20, 949-962; *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, 2018, 98, 2319-2333): “Tang proposed an approach to calculate the straightness and angular errors based on measuring the guideway surface and fitting curve, the effectiveness of which was verified experimentally. (Tang 提出了一种系统性的、基于测量与拟合导轨表面曲线的直线度误差、角度误差计算方法，其有效性已通过实验验证)”、“The straightness of ball screw guideway is reached to $1.4\mu\text{m}/10\text{mm}$ in Hao’s research(在 Hao 的研究中直线度可达到 $1.4\mu\text{m}/10\text{mm}$ 精度。))”。可以看出，

本方法通过测量导轨表面形貌，再根据零件加工特点进行曲线拟合，最终建立直线度误差与角度误差耦合模型的思想，具有较高的精确度与实用性，在获取误差传递机制与影响规律方面得到了专家同行的好评。



图 3 基于直线度误差与角度误差的误差建模论文与相关论文的详细介绍

2.1.2 提出了基于“零件制造工艺——空间位姿偏差”的深度误差溯源方法

传统方法局限于剖析误差源的组成，未能构建核心部件误差特征与装备运动误差分布信息的对应关系，导致封装过程效率低下。本项目提出了“零件制造工艺——零件表面形貌——装备运动误差——空间位姿偏差——耦合封装效率”的深度误差溯源技术，从耦合封装工艺过程逆推，基于“误差流”理论与数字孪生方法获取装备空间位姿偏差分布信息与核心部件表面形貌的误差特征，再进一步分析该表面形貌的工艺特点，最终得到多尺度全环节下误差传递规律，可根据装备空间位姿偏差的分布信息反馈并优化零件加工工艺过程，提升光电器件耦合封装装备运动精度。基于此设计的运动单元，可将原有定位误差从 $10\mu\text{m}$ 降低至 $5\mu\text{m}$ 以下，减少耦合对准时间 22% 以上。

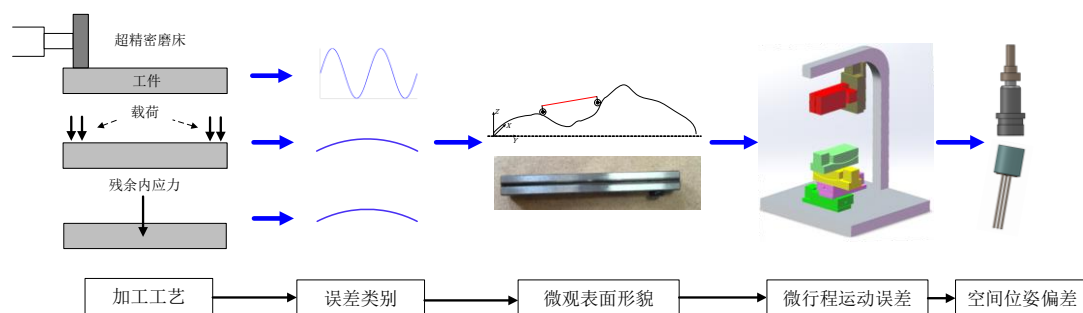


图 2 误差溯源过程

2.1.3 发明了一种基于“误差流”的对准过程搜索技术

本项目揭示了光电器件光学传输特性，厘定耦合精度与耦合效率的要求和允差。通过确定一个参考坐标系，分别为六个自由度确定初始搜索步长，对比各方向上单步长的光功率损耗值，确定配准组件得到新的位姿，同时再次寻找光功率损耗下降最快的方向。当进入精配准过程，逐步长减小并重复步骤直至实现精配准。本技术可将单次对准耗时从 20.7s 降低至 17.2s，耦合效率提升近 20%。

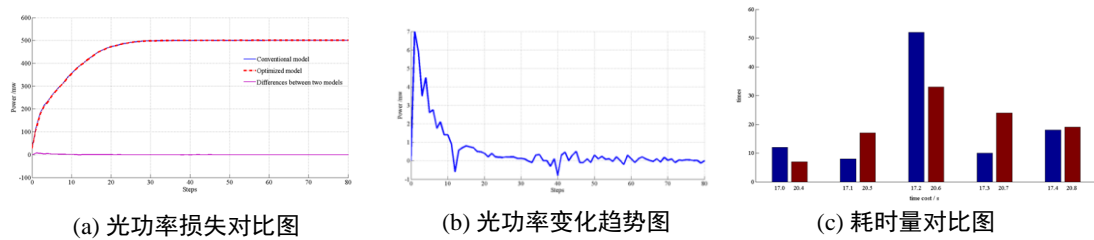


图 5 基于“误差流”理论的光功率极值搜索技术

2.2 基于“误差流”理论的光电器件耦合封装误差分配技术

2.2.1 提出了基于“误差流”理论的耦合封装装备误差建模方法

传统方法难以准确揭示偏差变化规律，导致误差模型适用性较差、工作效率低下。本项目提出了一种基于“误差流”理论的复杂精密运动系统误差建模方法，将各自由度考虑为单个阶段，逐阶段观察误差流向，同时优化误差敏感性分析方法，为更高效优化系统搭建结构、提升系统运动精度提供了理论分析依据。

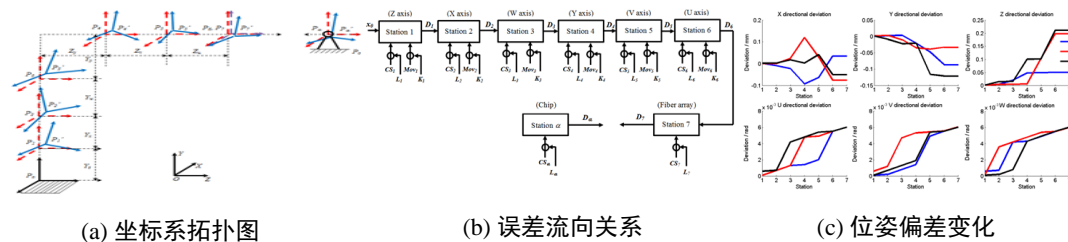


图 3 基于“误差流”理论的误差建模方法

本方法自公布后已被国内外精密机械领域著名期刊 *Int. J. Mach. Tool. Manu.*、*Precis. Eng.*、*Int. J. Precis. Eng. Man.*、*Int. J. Adv. Manuf. Technol.*、*ASCE-ASME J Risk U A* 等引用 83 次，在保证模型精度与计算效率的基础上，本方法可用于精确获取误差传递机制与影响规律，为提高系统精度提供理论基础与数据支撑，同时可准确观测误差参数的流向与变化规律，得到了专家同行的好评。



图 4 基于误差流理论的误差建模论文与相关论文的详细介绍

2.2.2 构建光电器件耦合装备亚微米级误差分配理论

光电器件对准过程中的耦合偏差存在显著的随机性与不确定度，由于众多误差因素的影响，导致耦合封装装备误差分配技术难以高效准确开展。本项目分析运动系统机械结构特点，解耦各自由度间误差参数的干涉与影响；提出基于雅克比矩阵的敏感性分析方法，遴选误差参数的敏感层级顺序；建立亚微米级精度需求与敏感层级顺序的映射关系，构建光器件耦合对准条件下的误差分配最优理论。结果表明，新的误差分配方案在 6 个方向的初始偏差量均有所减小，分别从 14.9 μm , 15.0 μm , 15.6 μm , 3.1mrad, 3.2mrad, 2.7mrad, 下降至 3.6 μm , 4.1 μm , 3.1 μm , 1.2mrad, 1.6mrad, 1.2mrad。

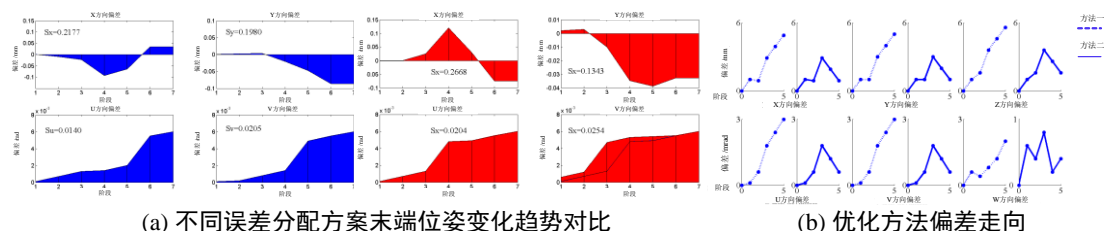


图 5 基于“误差流”理论的误差建模方法

2.2.3 提出了一种基于“精度场”的全行程误差补偿技术

目前手段过多聚焦于末端位姿偏差的具体数值，难以反映误差流向信息与传

递路径。基于此，本项目构建全空间下包含运动误差数值、分布信息与变化趋势的“精度”信息场，精确预测与补偿空间位姿偏差，为开展复杂精密系统精度设计研究提供了方法支撑。分别对宏(10mm)、小(1mm)、微(0.1mm)行程尺度下耦合封装装备定位误差进行补偿，结果分别从 13.7 μm 、7.9 μm 、4.6 μm ，下降到 2 μm 、1.5 μm 、1 μm 以下，精度有明显的提升。

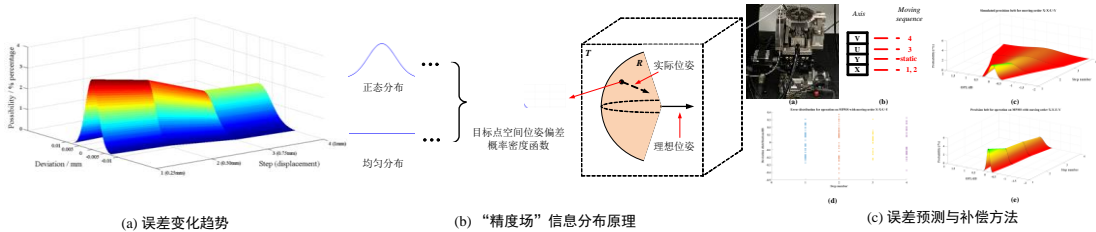
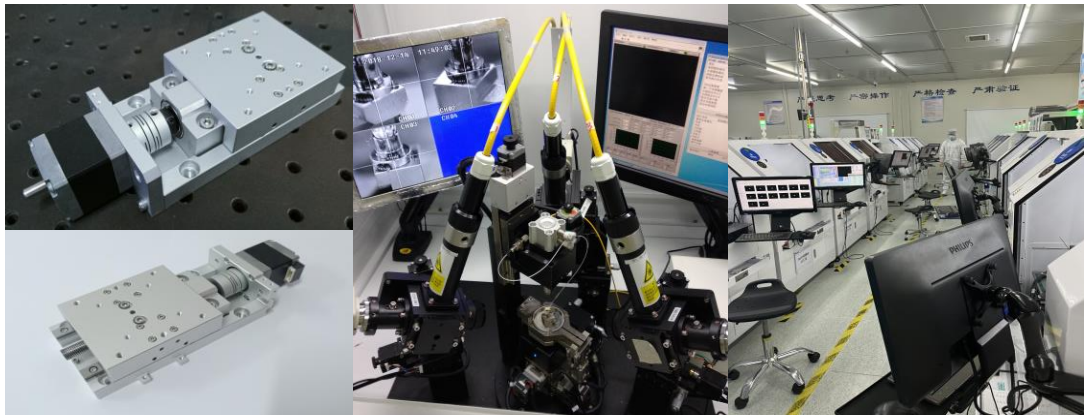


图 6 基于“精度场”理论的误差预测与补偿方法

2.3 研发了高性能高通量光电器件耦合封装装备

2.3.1 自主研发了高性能高通量光电器件耦合封装装备

本项目在对比国内外同类产品材料属性、结构特点、安装方式等方面，自主研发了高精度光电器件耦合封装装备，经权威机构检测，定位精度低于 $<3\mu\text{m}$ ，重复定位精度低于 $<0.3\mu\text{m}$ ，精度指标远超国内外同类产品，完全满足亚微米级精度需求，已成功应用于湖南中南鸿思自动化科技有限公司、湖南麓河信息技术有限公司、北京元一科技有限公司、北京纳控科技有限公司等多家知名光机企业，解决了光通信器件封装中对准精度低、通用性有限、可重复性差等制造难题。同时取得了很好的经济效益，为上述企业获得利润 8000 余万元，潜在经济效益超 2 亿元，为我国信息产业发展和国际竞争制胜提供了重要支撑。



(a)(b) 行程为 20mm/30mm 的精密运动平台

(c) 应用于光电器件耦合封装的多自由度精密运动平台

(d) 光电器件耦合封装装备整机

图 7 本项目研制产品与实际应用

2.3.2 提出了下一代光电器件耦合封装装备精度设计方法

目前国内光电器件耦合封装装备基本依赖进口，缺乏结构设计、路径规划、精度控制、成本核算等技术支撑。本项目基于耦合对准过程亚微米级精度需求，针对下一代光通信器件高传输速率、高通量、高稳定性等要求，提出了光电器件耦合封装装备系统搭建顺序优化、运动顺序优化、对准工艺优化等一系列方法，为我国抢占下一代光通信行业制高点提供技术保障。

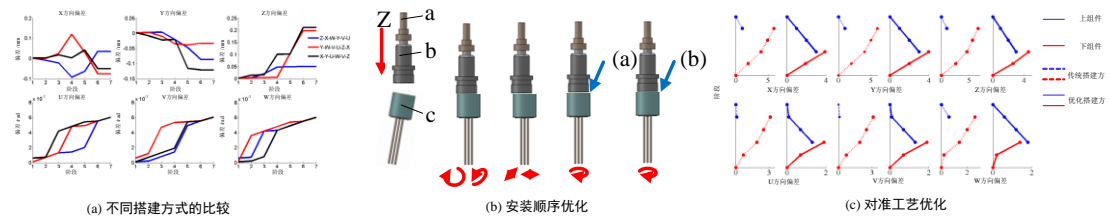


图 8 光电器件耦合封装装备精度设计方法

三、主要技术创新

1. 针对光电器件耦合过程误差形成机理不清晰，对准工艺效率低下等问题，提出了一种基于“零件制造工艺——空间位姿偏差”的深度误差溯源方法。揭示了微行程尺度下光电器件耦合封装装备运动误差的形成机理，厘清“加工工艺——表面形貌——运动误差——空间位姿偏差——耦合效率”误差溯源路径，发明了一种基于“误差流”的对准过程搜索技术。将该方法应用至耦合装备运动单元的设计中，原有定位误差从 $10\mu\text{m}$ 降低至 $5\mu\text{m}$ 以下，提升封装装备性能，大幅减小对准时间，为研制高精度光电器件耦合封装装备与精度设计方法提供理论基础。

2. 针对光学组件空间位姿偏差过大，对准过程轨迹规划效率低下等问题，提出了基于“误差流”理论的耦合封装装备误差建模方法，实现光器件耦合对准误差反演的精确计算。研究了一种基于“误差流”理论的光电器件耦合封装装备误差分配技术，研发了基于“精度场”理论的误差补偿技术。在宏（ 10mm ）、小（ 1mm ）、微（ 0.1mm ）行程尺度下应用上述技术，耦合对准过程中光器件空间位姿偏差分别下降了 78.3%、81.7%、85.5%，精度有明显提升。该技术已应用至湖南中南鸿思、北京卓立汉光等光机企业光电器件耦合封装装备中，并成功进行技术升级，如指导同轴型激光焊接系统的安装搭建顺序，计算获取封装装备运动顺序的最优解，可将耦合过程耗时降低 23%。

3. 自主研制了适用于多类光接收、发送器件的耦合封装设备，定位精度 $<3\mu\text{m}$ ，重复定位精度小于 $<0.3\mu\text{m}$ ，精度指标远超国内同类产品，完全满足亚微米级耦合精度的需求，解决了光通信器件封装中对准精度低、通用性有限、可重复性差等制造难题。基于此提出光电器件耦合封装装备精度设计方法，反向推演多自由度精密运动系统机械结构、关键误差项公差带、误差分布区间等物理参数，为设计同时满足大、宏、小、微行程，不同速度、以及不同精度条件下的光电器件耦合封装装备提供指导作用。

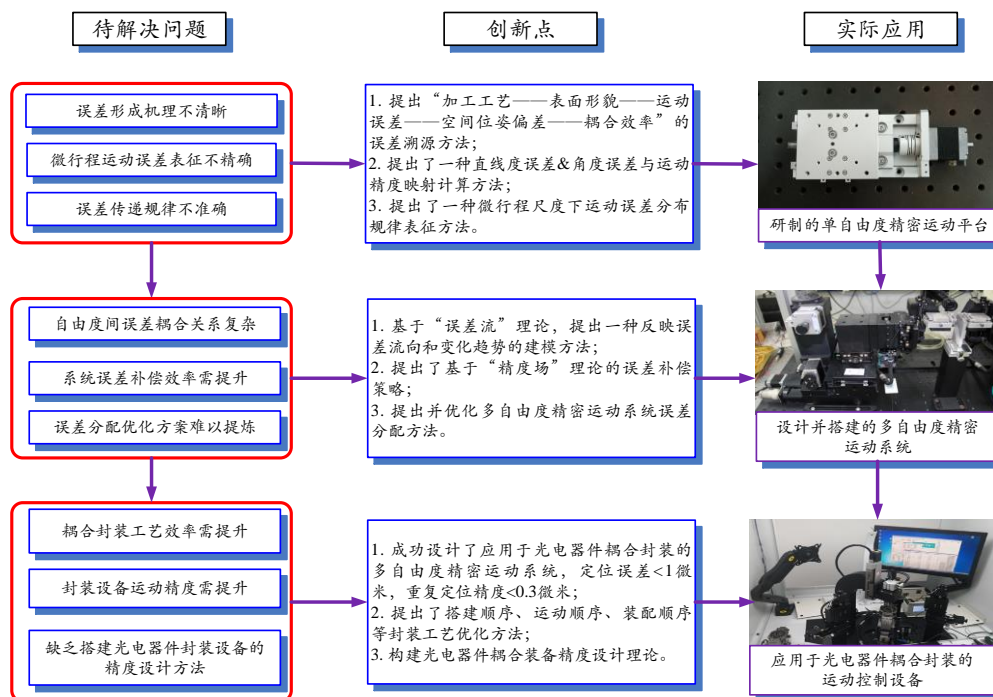


图 8 本项目创新点与研究成果

四、与当前国内外同类技术对比

1. 根据 2022 年 12 月委托教育部科技查新工作站开具的查新报告《光电器件耦合封装装备季度设计及其应用》,通过国内外数据库联机检索得到如下结论: 1. 关于光电器件耦合封装装备的基于“误差流”理论的误差建模方法, 未见有与之相同的报道。2. 关于光电器件耦合封装装备的基于“误差流”理论的运动路径搜索方法, 未见有与之相同的报道。3. 关于光电器件耦合封装装备误差分配方法, 主要包括构建几何误差、装配误差、动力源波动、系统动态响应等与定位精度、重复定位精度等精度指标的映射关系, 再基于敏感性结果与误差溯源工艺特征, 未见有与之相同的报道。

2. 根据 2022 年 11 月送自行研制的“30-002”型号精密运动平台至湖南省计量检测研究院进行检测, 检测依据 XJEU-01D-16《精密运动平台检测方法》, 检测设备为 XL-80 双频激光干涉仪, 温度 13℃, 相对湿度 54%RH。结果表明, 定位精度<3mm, 重复定位精度<0.3mm, 检测结论合格, 满足光电器件耦合封装对准精度要求。

3. 采用所提出的基于“零件制造工艺——空间位姿偏差”的深度误差溯源方法、基于“误差流”理论的光电器件耦合封装装备误差建模搜索法和基于“精度场”的全局信息误差补偿技术制造的光电器件耦合封装装备, 国外日本骏河精机 (Suruga Seiki), 德国 ficonTEC, 精度指标相当, 远超国内同类产品, 如北京卓立汉光、北京微纳光科、东莞研精覃思、江西连胜, 达到国内领先、国际先进水平。

表 1 国内外著名光机产品精度指标对比

公司	型号	行程（mm）	质量（kg）	单向 定位 精度 (μm)	重复定位 精度(μm)	回程间隙 (μm)	国家
骏河 精机	KS101-30LS	30	3.01	1	<0.2	<1	日本
New port	VP-25X	25	1.67	1	<0.1	<2	美国
卓立 汉光	uFS20-60	20	0.58	10	<1	<1	中国
连胜 科技	LSDP-50JS	50	1.4	20	<5	<20	中国
大恒 光电	GCD-50205 0M	50	0.87	10	<1	<2	中国
微纳 光科	WN265TA 20H6060	20	0.65	5	<1	<2	中国
红星 杨科 技	EPSB50F	50	3.55	10	3	<5	中国
自制 平台	30-002	30	2.34	单向 <1 双向 <3	<0.3	<2	中国

四、客观评价

（限 2 页）围绕创新性、应用效益和经济社会价值进行客观、真实、准确评价。填写的评价意见要有客观依据，主要包括国家相关部门或第三方作出的技术检测报告、评价（鉴定）结论、验收意见、国内外重要科技奖励，国内外同行在重要学术刊物、学术专著和重要国际学术会议公开发表的学术性评价性意见等。非公开资料（如私人信函等）不能作为评价依据

1. 根据 2022 年 11 月送自行研制的“30-002”型号精密运动平台至湖南省计量检测研究院进行检测，检测依据 XJEU-01D-16《精密运动平台检测方法》，检测设备为 XL-80 双频激光干涉仪，温度 13℃，相对湿度 54%RH。结果表明，定位精度<3mm，重复定位精度<0.3mm，检测结论合格，满足光电器件耦合封装对准精度要求。

2. 根据 2022 年 12 月委托教育部科技查新工作站开具的查新报告《光电器件耦合封装装备季度设计及其应用》，通过国内外数据库联机检索得到如下结论：1. 关于光电器件耦合封装装备的基于“误差流”理论的误差建模方法，未见有与之相同的报道。2. 关于光电器件耦合封装装备的基于“误差流”理论的运动路径搜索方法，未见有与之相同的报道。3. 关于光电器件耦合封装装备误差分配方法，主要包括构建几何误差、装配误差、动力源波动、系统动态响应等与定位精度、重复定位精度等精度指标的映射关系，再基于敏感性结果与误差溯源工艺特征，未见有与之相同的报道。

3. 2023 年 1 月**中心组织专家对本项目关键技术和产品进行了综合评审，与会专家一致认为，该项目技术已达到国际先进水平。

4. 2019 年开始，依托本项目技术研制的光电器件耦合封装装备，已在北京纳控、北京元一、湖南中南鸿思、湖南麓河等知名企业开展实际应用，经本项目制备光电器件等销往北京、广东、湖南、福建网络通讯产业知名公司，产生经济效益 8600 多万，潜在经济价值超过 2 亿。

必备证明材料	<p>1. 技术评价报告。必填，可多选。</p> <p>每个项目至少填报一份由具有资质的第三方鉴定（评价）法人机构出具的三年内（2020 年 3 月 31 日以后）的科技成果鉴定或技术评价证明。</p> <p>鉴定证书 组织鉴定单位：_____ 日期：_____</p> <p>评价报告 组织评价单位：_____ 日期：_____</p>
	<p>2. 科技查新报告。必填。</p> <p>由国家一级科技查新咨询单位出具的三年内（2020 年 3 月 31 日以后）科技查新报告。</p> <p><input type="checkbox"/> 科技查新报告（国内） <input checked="" type="checkbox"/> 科技查新报告（国内外）</p> <p>查新机构名称： <u>教育部科技查新工作站（L36）</u></p> <p>查新报告时间： <u>2023 年 3 月 10 日</u></p>
	<p>3. 技术检测报告。必填。</p> <p>由国家相关部门批准并具有质量监督检验检测资质的第三方法人机构出具的三年内（2020 年 3 月 31 日以后）检测（检验、试验、测试）等报告。</p> <p>检测机构名称： <u>湖南省计量检测研究院</u></p> <p>检测报告时间： <u>2022 年 11 月 29 日</u></p>
其他证明材料	<p>4. 科技成果登记证书</p> <p>科技成果鉴定（评价）或验收后是否进行成果登记</p> <p><input type="checkbox"/> 是 批准登记机构名称：_____</p> <p>批准登记号（登记证书编号）： _____</p> <p>登记日期： _____</p> <p><input type="checkbox"/> 否</p>

注：此表作为形式审查和统计汇总分析用，请如实进行填写，组织单位的名称应与所盖公章完全一致，日期填写报告出具时间。如果一种类型报告有多个，请填写日期最新的或者组织单位级别更权威的。

五、推广应用情况、经济效益和社会效益

1. 推广应用情况（限 2 页）

应就项目的生产、应用、推广情况及预期应用前景等进行概述，并提供主要应用单位详细情况。并以列表方式说明。

主要应用单位情况

序号	单位名称	应用的成果	应用对象及规模	应用起止时间	应用单位联系人/电话
1	北京元一科技有限公司	光电器件耦合封装装备精度设计及其应用	光器件耦合对准设备设计与制造	2019.02-至今	李耀 18600360733
2	湖南中南鸿思自动化科技有限公司	光电器件耦合封装装备精度设计及其应用	光电子封装设备多轴精密系统研发	2019.06-至今	卢胜强 18570047000
3	北京纳控科技有限公司	光电器件耦合封装装备精度设计及其应用	光通信产业设备研制	2019.09-至今	袁红 13801031853
4	湖南麓河信息技术有限公司	光电器件耦合封装设备运动控制技术及应用	光器件耦合对准设备设计与制造	2022.04-至今	徐聪 18874017124

预期应用前景：

光电器件是实现 5G、大数据、云计算、物联网等前沿技术信息传输的核心硬件。高精度耦合封装装备及相关技术是实现“宽带中国战略”、“网络强国战略”，以及高性能光电器件制备的关键。本项目的实施，将打破 25Gbps 及其以上高承载高传输的下一代光电器件被美欧日垄断的局面，为解决我国光通信产业相关装备大而不强、发展不均衡、无法占领下一代高性能光器件制高点等问题提供有力保障。同时，本项目可培养一批光电器件耦合封装装备设计、开发、工艺优化等方面的工程师。

2. 近三年直接经济效益（标准及软科学类项目可以不填此栏） <div>（单位：万元）</div>			
年 份	新增销售额	新增利润	新增税收
2020 年	2360	450	210
2021 年	2880	580	280
2022 年	2600	530	250
累 计	7840	1560	740
<p>经济效益的有关说明及各栏目的计算依据：（限 500 字）</p> <p>栏中填写的经济效益数字应提交支持数据成立的旁证材料，如：税务部门出具的税务证明、完成单位财务部门核准出具的财务证明等，要求只填写近三年本项目已取得的直接经济效益。</p> <p>各栏目的计算依据，应就生产或应用该项目后产生的直接累计净增效益以及提高产品质量、提高劳动生产率等方面做出简要说明，并具体列出本表所填各项效益额的计算方法和计算依据。</p> <p>1. 2020 年生产的光电器件耦合封装装备，售出 52 台，平均 45.4 万/台，实现产值 21.7 万元/台。</p> <p>2. 2021 年生产的光电器件耦合封装装备，售出 60 台，平均 48.0 万/台，实现产值 22.9 万元/台。</p> <p>3. 2022 年生产的光电器件耦合封装装备，售出 55 台，平均 47.2 万/台，实现产值 23.6 万元/台。</p>			

3. 社会效益与间接经济效益（限 800 字）

指项目在推动科学技术进步、保护自然资源或生态环境、提高国民科学文化素质、培养人才等方面所起的作用，以及项目应用推广后，本项目主要完成单位之外产生的经济效益。

光电器件是实现 5G、大数据、云计算、物联网等前沿技术信息传输的核心硬件。高精度耦合封装装备及相关技术是实现“宽带中国战略”、“网络强国战略”，以及高性能光电器件制备的关键。本项目的实施，将打破 25Gbps 及其以上高承载高传输的下一代光电器件被美欧日垄断的局面，为解决我国光通信产业相关装备大而不强、发展不均衡、无法占领下一代高性能光器件制高点等问题提供有力保障。同时，本项目可培养一批光电器件耦合封装装备设计、开发、工艺优化等方面的工程师。

六、本项目曾获科技奖励情况

获奖项目名称	获奖时间	奖种名称	奖励等级	授奖部门（单位）
本表所填科技奖励是指： 1. 省（自治区）、直辖市及计划单列市人民政府设立的科技奖励； 2. 在国家科学技术奖励工作办公室备案的社会力量科技奖励。				

七、主要知识产权和标准规范等目录

- [1] Hao Tang, Ji-an Duan, Qiancheng Zhao. A systematic approach on analyzing the relationship between straightness & angular errors and guideway surface in precise linear stage [J]. International journal of machine tools and manufacture, 2017(120):12-19.
- [2] Hao Tang, Ji-an Duan, Shuhuai Lan, Huanyi Shui. A new geometric error modeling approach for multi-axis system based on stream of variation theory [J]. International journal of machine tools and manufacture, 2015(92):41-51.
- [3] Hao Tang, Zilin Zhang. Systematic approach to realizing optimal moving order selection for multi-axis precise motion system in laser welding system [J]. Precision Engineering, 2020.
- [4] Hao Tang, Zilin Zhang, Changping Li, Tae Jo Ko. A geometric error modeling method and trajectory optimization applied in laser welding system [J]. International Journal of Precision Engineering and Manufacturing, 2019, 1-11.
- [5] Hao Tang, Ji-an Duan, Shengqiang Lu. Stream-of-Variation (SOV) Theory Applied in Geometric Error Modeling for Six-Axis Motion Platform [J]. IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS: SYSTEMS, 2020, 3(50):762-770.
- [6] 唐皓, 唐果宁. 六轴运动平台几何误差与阵列光纤对准精度的映射关系.中国机械工程, 2019, 30(14): 1720-1726.
- [7] 唐皓, 张栋, 张贺, 高贵兵, 郑煜. 基于“误差流”理论的精密线性平台微行程定位精度表征方法, 机械工程学报, 2023.
- [8]唐皓, 张籽林, 周笔锋, 唐果宁. 传感器智能芯片与阵列光纤对接平台运动顺序优化, 交通运输工程学报, 2019, 19(5): 53-63.

序号	知识产权	名称	国家	授权号	发布日期	证书编号	权利人	发明人	有效状态
9	发明专利	一种用于大功率半导体激光器封装的散热装置及办法	中国	ZL 2018110 80333. 4	2020-03-27	3731559	中南大学	严一雄, 郑煜, 段吉安	有效专利

10	实用新型专利	一种用于测量滚珠丝杠 导程误差的精密运动平台	中国	ZL 2021205 77725.2	2021-10-08	14334968	湖南科技大学	贾奥丽，唐 皓，张贺， 张栋	有效专利
----	--------	---------------------------	----	--------------------------	------------	----------	--------	----------------------	------

承诺：本项目所列知识产权符合提名要求且无争议。上述知识产权和标准规范等用于提名“机械工业科学技术奖”，已征得未列入项目主要完成人或完成单位的权利人（发明专利指发明人）同意，有关知情证明材料均存档备查。

项目第一完成人签字：

八、主要完成人情况表

(适用于中国大陆及港澳台地区完成人)

姓 名	唐 皓	性 别	男	排 名	第 1 完成人
出生年月	1988 年 04 月 02 日	国籍（地区）	中国	民 族	汉
党 派	中国共产党	身份证号/证件号	430302198804022551		
行政职务	系副主任	是否归国人员	是	归国时间	2015 年 3 月
工作单位	湖南科技大学	联系电话	0731-58290847		
通讯地址	湖南省湘潭市湖南科技大学立功楼 A410				
电子信箱	tanghao@hnust.edu.cn			移动电话	13808471902
毕业学校	中南大学	毕业时间	2016 年 11 月	文化程度	研究生
技术职称	副教授	专业、专长	机械制造、光器件设备研制	最高学位	博士
参加本项目的起止时间	自 2018 年 01 月 01 日 至 2022 年 12 月 31 日				
对本项目主要科学技术贡献：（限 300 字） 提出了基于“零件制造工艺——空间位姿偏差”的深度误差溯源方法，提出了一种基于“误差流”理论的光电器件耦合封装装备综合误差建模方法及误差建模搜索法，研发了基于“精度场”的全局信息误差补偿技术。对本项目内容第 1-3 点做出了创新性贡献。					
曾获奖励及荣誉称号情况					
声明： 1. 该项目是本人本年度被提名的唯一项目。本人同意“主要完成人”排名，并对提名书内容及全部附件材料进行了审查，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在违反相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。本人工作单位已知悉本人被提名情况且无异议。如产生争议，将积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。 2. 本人符合作为项目完成人的要求，不属于公务员以及参照《中华人民共和国公务员法》管理的人员。 3. 本人尊重评审专家的评审，接受评审结果。 本人签字： 年 月 日			工作单位声明： 本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在违反相关法律及侵犯他人知识产权的情形，如产生争议，将积极配合调查处理。 单位（盖章） 年 月 日		

八、主要完成人情况表

(适用于中国大陆及港澳台地区完成人)

姓 名	郑 煜	性 别	男	排 名	第 2 完成人
出生年月	1980 年 07 月 24 日	国 籍 (地 区)	中国	民 族	汉
党 派	中国共产党	身份证号/证件号	420982198007246010		
行政职务	无	是否归国人员	否	归国时间	
工作单位	中南大学	联系电话	0731-88660304		
通讯地址	湖南省长沙市麓山南路 932 号				
电子信箱	zhengyu@csu.edu.cn			移动电话	13786123962
毕业学校	中南大学	毕 业 时 间	2012 年 06 月	文化程度	研究生
技术职称	教授	专 业 、 专 长	机械制造、光电子器件制造	最高学位	博士
参加本项目的起止时间		自 2018 年 01 月 01 日 至 2022 年 12 月 31 日			
对本项目主要科学技术贡献：(限 300 字) 提出了基于误差流理论的微行程定位精度表征方法与技术，负责精密运动平台样机调试与参数优化。					
曾获奖励及荣誉称号情况		湖南省技术发明二等奖 1 项(排名第 1)；中国机械工业科学技术二等奖 1 项(排名第 1)			
声明： 1. 该项目是本人本年度被提名的唯一项目。本人同意“主要完成人”排名，并对提名书内容及全部附件材料进行了审查，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在违反相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。本人工作单位已知悉本人被提名情况且无异议。如产生争议，将积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。 2. 本人符合作为项目完成人的要求，不属于公务员以及参照《中华人民共和国公务员法》管理的人员。 3. 本人尊重评审专家的评审，接受评审结果。 本人签字： 年 月 日			工作单位声明： 本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在违反相关法律及侵犯他人知识产权的情形，如产生争议，将积极配合调查处理。 单位（盖章） 年 月 日		

八、主要完成人情况表

(适用于中国大陆及港澳台地区完成人)

姓 名	严一雄	性 别	男	排 名	第 3 完成人
出生年月	1992 年 11 月 14 日	国籍（地区）	中国	民 族	汉
党 派	无	身份证号/证件号	430104199211144314		
行政职务	无	是否归国人员	是	归国时间	2016 年 6 月
工作单位	长沙理工大学	联系电话	0731-85258461		
通讯地址	湖南省长沙市长沙理工大学工 1 楼 A412				
电子信箱	yanyixiong1111@163.com			移动电话	15974236910
毕业学校	中南大学	毕业时间	2021 年 12 月	文化程度	研究生
技术职称	讲师	专业、专长	机电工程、光电子封装制造	最高学位	博士
参加本项目的起止时间	自 2018 年 01 月 01 日 至 2022 年 12 月 31 日				
对本项目主要科学技术贡献：（限 300 字） 1. 构建大功率密度、高耦合效率大功率半导体激光器光束整形系统模型；2、建立了激光光束与准直透镜耦合偏移造成光场强度分布特征变化的预测模型，对本项目内容第 2 点做出了创新性贡献。					
曾获奖励及荣誉称号情况					
声明： 1. 该项目是本人本年度被提名的唯一项目。本人同意“主要完成人”排名，并对提名书内容及全部附件材料进行了审查，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在违反相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。本人工作单位已知悉本人被提名情况且无异议。如产生争议，将积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。 2. 本人符合作为项目完成人的要求，不属于公务员以及参照《中华人民共和国公务员法》管理的人员。 3. 本人尊重评审专家的评审，接受评审结果。 本人签字： 年 月 日			工作单位声明： 本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在违反相关法律及侵犯他人知识产权的情形，如产生争议，将积极配合调查处理。 单位（盖章） 年 月 日		

八、主要完成人情况表

(适用于中国大陆及港澳台地区完成人)

姓 名	卢胜强	性 别	男	排 名	第 4 完成人
出生年月	1989 年 09 月 01 日	国籍（地区）	中国	民 族	汉
党 派	无	身份证号/证件号	330724198909016939		
行政职务	无	是否归国人员	否	归国时间	
工作单位	湖南中南鸿思自动化科技有限公司	联系电话	0731-85070877		
通讯地址	湖南省长沙市雨花区振华路 519 号国际创新城 12-2 栋 4 楼				
电子信箱	lusq7@163.com			移动电话	18684925189
毕业学校	中南大学	毕业时间	2016 年 11 月	文化程度	研究生
技术职称	无	专业、专长	微电子制造、器件设备研制	最高学位	硕士
参加本项目的起止时间	自 2018 年 01 月 01 日 至 2022 年 12 月 31 日				
对本项目主要科学技术贡献：（限 300 字） 提出并应用了多种基于耦合模型的群智能优化算法。提出了光电器件固接参数优化方法。完成了新一代自动耦合封装设备，实现了机器设备代替人工进行耦合封装。对本项目内容第 3 点做出了创新性贡献。					
曾获奖励及荣誉称号情况	湖南省技术发明一等奖 1 项（排名第 3）				
声明： 1. 该项目是本人本年度被提名的唯一项目。本人同意“主要完成人”排名，并对提名书内容及全部附件材料进行了审查，保证所提供的有关材料真实有效，且不存在违反相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。本人工作单位已知悉本人被提名情况且无异议。如产生争议，将积极配合调查处理工作。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。 2. 本人符合作为项目完成人的要求，不属于公务员以及参照《中华人民共和国公务员法》管理的人员。 3. 本人尊重评审专家的评审，接受评审结果。 本人签字： 年 月 日			工作单位声明： 本单位确认该完成人情况表内容真实有效，且不存在违反相关法律及侵犯他人知识产权的情形，如产生争议，将积极配合调查处理。 单位（盖章） 年 月 日		

九、主要完成单位情况表

单位名称	湖南科技大学			所在地	湖南湘潭
排 名	1	法定 代表人	朱川曲	单位性质	高等院校
联 系 人	曾志前	联系电话	0731-58291080	移动电话	18975287261
电子邮箱	qzzeng@hnust.edu.cn				
通讯地址	湖南省湘潭市雨湖区桃园路2号			邮政编码	411201

对本项目技术创新和应用的贡献：（限600字）

湖南科技大学作为第一完成单位，负责总体技术方案制定、技术内容分析、可行性研究、技术路线确定、技术优化、产品设计与结构优化、产品生产、样机装配与调试、关键参数检测等工作内容，指导搭建光电器件耦合封装装备。

湖南科技大学的贡献在于：1. 提出了基于“零件制造工艺——空间位姿偏差”的深度误差溯源方法，揭示了微行程尺度下运动误差形成机理；2. 构建光电器件耦合装备亚微米级误差分配理论，发明了一种基于“误差流”的对准过程搜索技术；3. 研发了高性能高通量光电器件耦合封装装备，提出了下一代光电器件耦合封装装备精度设计方法。

声明：

本单位对提名书内容及全部附件材料进行了审查，全部内容和材料属实，并对提名材料的真实性负责。已知悉本单位完成人被提名情况，并同意本单位在“主要完成单位”中的排序。尊重评审专家的评审，接受评审结果。如产生争议，将保证积极配合调查处理。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。

单位（法人公章）：

年 月 日

九、主要完成单位情况表

单位名称	中南大学			所在地	湖南长沙
排 名	2	法定 代表人		单位性质	高等院校
联 系 人	王志伟	联系电话	0731-88879581	移动电话	15973174843
电子邮箱	kjccgb@csu.edu.cn				
通讯地址	湖南省长沙市麓山南路 932 号			邮政编码	410083
<p>对本项目技术创新和应用的贡献：（限 600 字）</p> <p>中南大学作为第二完成单位，负责方案细化，提出了基于误差流理论的微行程定位精度表征方法与技术，负责整体样机调试与参数优化等工作。</p>					
<p>声明：</p> <p>本单位对提名书内容及全部附件材料进行了审查，全部内容和材料属实，并对提名材料的真实性负责。已知悉本单位完成人被提名情况，并同意本单位在“主要完成单位”中的排序。尊重评审专家的评审，接受评审结果。如产生争议，将保证积极配合调查处理。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。</p> <p style="text-align: right;">单位（法人公章）：</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>					

九、主要完成单位情况表

单位名称	长沙理工大学			所在地	湖南长沙
排 名	3	法定 代表人		单位性质	高等院校
联 系 人	彭军华	联系电话	0731-85258461	移动电话	17775812913
电子邮箱	kyb-xmgl@csust.edu.cn				
通讯地址	湖南省长沙市雨花区万家丽路二段 960 号			邮政编码	410114
<p>对本项目技术创新和应用的贡献：（限 600 字）</p> <p>长沙理工大学作为第三完成单位，负责光学模型建立，光电器件封装工艺优化等工作；</p> <p>主要贡献在于：1、构建大功率密度、高耦合效率大功率半导体激光器光束整形系统模型；2、建立了激光光束与准直透镜耦合偏移造成光场强度分布特征变化的预测模型。</p>					
<p>声明：</p> <p>本单位对提名书内容及全部附件材料进行了审查，全部内容和材料属实，并对提名材料的真实性负责。已知悉本单位完成人被提名情况，并同意本单位在“主要完成单位”中的排序。尊重评审专家的评审，接受评审结果。如产生争议，将保证积极配合调查处理。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。</p> <p style="text-align: right;">单位（法人公章）：</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>					

九、主要完成单位情况表

单位名称	湖南中南鸿思自动化科技有限公司			所在地	湖南长沙
排 名	4	法定 代表人	唐佳	单位性质	企业
联 系 人	曾彩虹	联系电话	0731-85070877	移动电话	18173235390
电子邮箱	sandylu@hostechn.com				
通讯地址	湖南省长沙市雨花区振华路 519 号国际创新城 12-2 栋 4 楼			邮政编码	410116
<p>对本项目技术创新和应用的贡献：（限 600 字）</p> <p>湖南中南鸿思自动化科技有限公司作为第四完成单位，负责市场调研、对光电子器件耦合理论与封装工艺进行研究分析、工作软件开发、设备后期调试与优化、设备推广等工作内容。</p> <p>主要贡献在于：1.提出了光电器件固接参数优化方法；2.基于对光电器件光学耦合理论与封装工艺的研究，与机电工程相结合，完成了新一代自动耦合封装设备，实现了机器设备代替人工进行耦合封装。</p>					
<p>声明：</p> <p>本单位对提名书内容及全部附件材料进行了审查，全部内容和材料属实，并对提名材料的真实性负责。已知悉本单位完成人被提名情况，并同意本单位在“主要完成单位”中的排序。尊重评审专家的评审，接受评审结果。如产生争议，将保证积极配合调查处理。如有材料虚假或违纪行为，愿意承担相应责任并按规定接受处理。</p> <p style="text-align: right;">单位（法人公章）：</p> <p style="text-align: right;">年 月 日</p>					

十、提名单位意见

提名单位	湖南科技大学	通讯地址	湖南省湘潭市雨湖区桃园路 2 号
联系人	曾志前	邮政编码	411201
联系电话	0731-58291080	电子邮箱	qzzeng@hnust.edu.cn

1. 提名意见：（不少于 300 字）

光电器件是实现高速高承载信息化传输的关键组件，高精度光电器件耦合封装装备是下一代高性能光电器件发展的有力保证。

该项目立足于我国高性能光电器件制备的重大需求，在国家自然科学基金等项目的支持下，历经数年，提出了一种光电器件耦合封装装备深度误差溯源方法，研发了基于“精度场”理论的误差补偿技术，研制了光电器件耦合封装装备亚微米级精密线性平台，实现了高精度光电器件耦合对准及工艺优化，构建了新一代光电器件耦合封装装备精度设计理论，为研制高速光通信关键器件和芯片及自主技术，加快国产化进程提供支撑。

该项目形成了基础研究和核心制造技术创新，实现了关键核心技术的突破。获国家授权发明专利*项，发表高水平论文*篇。本技术已成功用于研制适用于多类别、高精度、高传输效率的光电器件耦合封装装备，已在北京纳控、北京元一、湖南中南鸿思、湖南麓河等知名企业开展实际应用，经本项目制备的光电器件等销往北京、广东、湖南、福建网络通讯产业知名公司，经济与社会效益显著。除目前正在使用的各类光接收、光发送器件，对于下一代硅基半导体电子器件、大数据信息传输器件等国家未来发展战略，本项目相关技术存在极大应用的可行性，应用前景十分广阔。

经审阅，项目提名书及附件材料真实有效，相关栏目符合填写要求。

推荐该项目为科学技术进步二等奖。

2. 提名奖种和提名等级：

提名奖种：☐技术发明奖 ☐科技进步奖

提名等级：☐一等奖 ☐一等奖或二等奖 ☐二等奖

☐二等奖或三等奖 ☐三等奖

声明：

本单位遵守《中国机械工业科学技术奖励条例》的有关规定，承诺遵守评审工作纪律，所提供的提名材料真实有效，且不存在任何违反《中华人民共和国保守国家秘密法》和《科学技术保密规定》等相关法律法规及侵犯他人知识产权的情形。如被提名项目发生争议，将积极配合工作，协助调查处理，认真履行作为提名单位的义务并承担相应的责任。

提名单位负责人签字：_____

提名单位（单位公章）：

年 月 日

十一、附件目录

（一）必备附件

1. 技术评价证明（鉴定证书、评价报告）。
2. 科技查新报告。
3. 检测报告（检验、试验、测试）。
4. 核心知识产权和标准规范等证明。
5. 成果应用证明。至少提供一份能证明本项目整体技术已实施应用 **2 年** 以上的主要应用单位提供的应用证明材料，应用证明须为加盖应用单位（法人单位）公章的原件。如应用证明包含经济效益，需加盖单位财务专用章。

（二）其他附件

6. 其他证明材料，包括可支持项目科技创新和完成人贡献的其他相关证明。
7. 工人技术创新类项目需提供的附件证明材料见提名补充要求。
8. 标准、检测与软科学类项目需提供的附件证明材料见提名补充要求。
9. 图书、科技期刊与科普项目需提供的附件证明材料见提名补充要求。