

### 附件 3

## 2017 年度全国质检系统科研成果评定申报公示表

|                                 |  |
|---------------------------------|--|
| 成果名称                            | 角振动国家计量基准装置关键技术的研究   |
| 推荐单位                            | 中国计量科学研究院  |
| 成果来源<br>(具体计划、基金<br>的名称和编<br>号) | 国家质量监督检验检疫总局科技计划项目, 课题编号: 2014QK236  |
| 成果简介                            | <p>随着科技的进步, 广泛应用于航空航天、交通运输、工业自动化等领域的角振动传感器技术得到了迅猛的发展, 而建立角振动溯源量值体系是保证角振动传感器正确测量的前提条件。德国联邦物理技术研究院 (PTB)、韩国国家计量研究院 (KRISS) 和俄罗斯门捷列夫计量院 (VNIM) 等研究机构分别建立了角振动国家标准装置; 而在我国, 仅北京长城计量测试技术研究所建立了频率范围 0.5Hz~500Hz 的“角振动标准装置”, 但频率范围窄, 无法满足低频陀螺仪和高频角加速度传感器校准的要求, 同时由于我国还没有角振动国家计量基准, 该装置角振动量值也无法溯源。因此, 研究建立角振动国家计量基准, 解决制约相关行业科技发展的计量问题意义重大。在总局科技计划等项目的支持下, 课题组攻克了多项技术难题, 研制成功了具有完全自主知识产权的宽频带 (0.0005~1200 Hz)、低失真 (小于 1%)、大负载 (10kg)、大动态范围 (0.04~2000rad/s<sup>2</sup>) 的激光绝对法低频和中频角振动基准装置。</p> <p>装置主要包括低频和中频角振动台系统、衍射光栅式外差激光干涉仪以及相关测量控制软件等。主要创新成果有: ①创新提出了多层线路板多圈互绕式线圈结构, 解决了角振动台盘式动圈推力小、转动惯量大的技术难题; ②创新设计了一种具有轴向气隙的双磁源磁路结构, 解决了盘式动圈角振动台结构中强而均匀的轴向气隙磁场的设计难题; ③发明了一种基于跟踪旋转磁场的径向气隙磁路结构, 解决了低频振动台运动部件超大位移输出的技术难题; ④创新提出了基频模拟移相技术和矩阵无限衍生分布算法, 解决了正弦衍射光栅式外差激光干涉仪测量低频或超低频角振动的信号解调难问题, 扩展国际标准中外差技术正弦逼近法下限频率至 0.05 Hz; ⑤创新提出了适用于角振动光栅衍射</p> |

|                 |  |
|-----------------|--|
|                 | <p>法测量的同时基动态最小载波技术，解决了小位移角振动精确测量的技术难题；⑥创新提出了模糊和无参自适应的混合振动控制策略，实现了角振动校准过程的自动化。</p> <p>项目已授权发明专利 10 项、其中韩国发明专利 1 项，公示发明专利 2 项；授权软件著作权 2 项；发表或录用学术论文 8 篇，其中 EI 期刊 4 篇、SCI 期刊 2 篇。经权威机构测试、验收，结果表明：项目通过自主创新，建立了(0.0005~1200) Hz 宽频角振动激光绝对法幅值和相位校准装置，各项指标达到国际先进水平，其中频率下限达到国际领先水平；项目成果具有良好的科学性和实用性，具有重大的推广应用价值。</p> <p>项目成果在两年多的运行中，分别服务于航空 304 所、航天科工集团 33 所、上海卫星装备研究所、浙江省计量科学研究院、北京理工大学、兰州空间技术物理研究所等多家单位，解决了我国角振动量值溯源问题，以及国内角振动传感器和测量仪器的校准服务问题，为推动相关领域的科技进步做出了贡献，并取得了显著社会和经济效益。</p>                   |
| <p>成果推广应用情况</p> | <p>项目于 2015 年 8 月完成质检总局组织的验收，整套装置在一年多的运行中，分别为航空 304 所、航天科工集团 33 所、上海卫星装备研究所、浙江省计量科学研究院、北京理工大学等多家单位提供了角振动量值传递以及角振动传感器的计量检测服务，解决了我国角振动量值溯源长期处于空白的问题，为推动相关领域的科技进步做出了贡献，主要代表性应用服务按时间顺序介绍如下。</p> <p>(1) 2015 年 11 月, 航天科工集团 33 所角加速度实验室研制的角加速度计在本项目研制的中频角振动校准装置上进行了测试，为其角加速度计研制项目提供了数据支撑；</p> <div data-bbox="603 1397 1150 1771" data-label="Image"> </div> <p>图 1 航天科工集团 33 所角加速度计实验现场</p> <p>(2) 2015 年 12 月，为中国航空工业集团公司 304 所的角加速度计进行了比对实验，该传感器在本项目研制的中频角振动校准装置上进行了测试，测试结果为其角振动标准装置建标提供了数据证明；</p> |

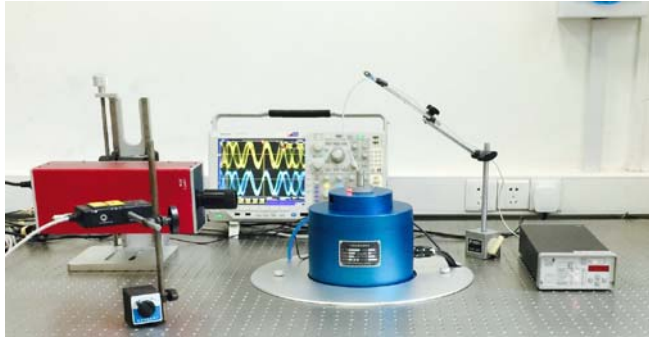


图 2 中国航空工业集团公司 304 所的角加速度计校准实验

(3) 2016 年 5 月，为上海卫星装备研究所购买的美国 JEWELL 公司的低频角加速度计进行校准实验，该传感器在本项目研制的低频角振动校准装置进行了测试，测试数据为其验收和后续使用提供数据支撑；

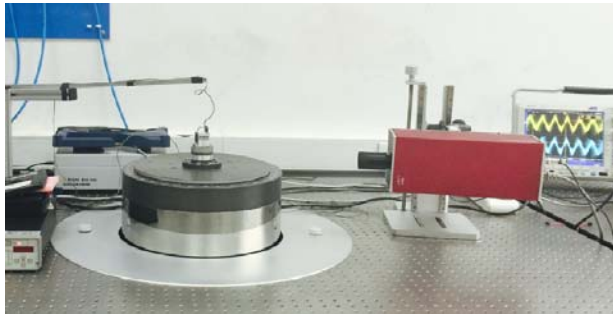


图 3 上海卫星装备研究所角加速度传感器校准实验

(4) 2016 年 7 月，为北京理工大学国家重大仪器专项“基于界面双电层效应的角加速度测量仪器”中研制的角加速度计模型进行测试分析，传感器在本项目的低频角振动校准装置进行，测试数据为其研制过程提供了数据支撑。

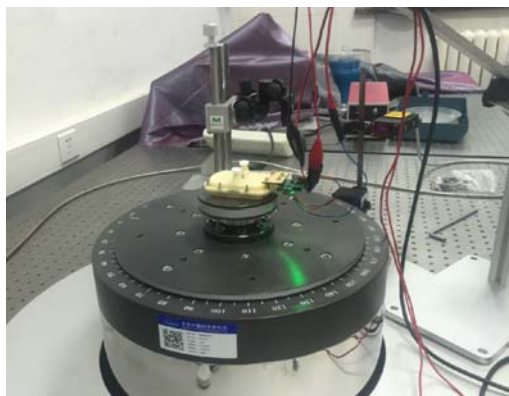


图 4 北京理工大学研制的角加速度计模型数据支撑实验

(5) 2016 年 11 月，项目研制的外差激光干涉仪为浙江省计量科学研究院承担的国家重大仪器专项“跨尺度三维光电振动测量仪计量及可靠性评价研究”提供技术支持和设备研发。



图 5 浙江省计量科学研究院  
国家重大仪器专项的外差激光测量系统

(6) 2017 年 4 月,对中国航天五院兰州空间物理技术研究所研制的微角振动传感器进行了测试,该传感器主要用于航天器在轨测量,为其解决了研制过程中无测试设备的难题,对该传感器的进一步研究改进提供了重要的数据。



图 6 兰州空间物理技术研究所研制的微角振动传感器测试

曾获科技  
奖励情况

2017 年获得中国计量科学研究院科技进步（应用研究类）二等奖

|                       |   |                  |        |              |            |
|-----------------------|---|------------------|--------|--------------|------------|
| 专利目录<br>(已授权<br>或已公示) | <b>1. 已授权专利</b>                                     |                  |        |              |            |
|                       | 专利名称  | 授权号              | 类别     | 发明人          | 授权时间       |
|                       | 一种高精度外差激光测振仪  | ZL201210087459.0 | 中国发明专利 | 刘爱东等         | 2014-04-16 |
|                       | 一种永磁式角振动台的双磁源磁路结构                                   | ZL201310454492.7 | 中国发明专利 | 何闻等          | 2015-12-12 |
|                       | 一种角振动台  | ZL201310453339.2 | 中国发明专利 | 何闻等          | 2016-08-17 |
|                       | 一种角振动台动圈  | ZL201310451020.6 | 中国发明专利 | 何闻等          | 2017-01-26 |
|                       | 一种宽频带大位移角振动台  | ZL201410442908.8 | 中国发明专利 | 何闻等          | 2016-09-14 |
|                       | 一种振动自动化校准方法   | ZL201410312352.0 | 中国发明专利 | 刘爱东          | 2017-01-11 |
|                       | 一种低频大位移角振动台   | ZL201410442502.X | 中国发明专利 | 何闻等          | 2016-09-14 |
|                       | 一种角振动台动圈  | ZL201410442935.5 | 中国发明专利 | 何闻等          | 2017-4-12  |
|                       | 一种电磁驱动式角振动台   | ZL201410442973.0 | 中国发明专利 | 何闻等          | 2017-4-12  |
|                       | WIDE-FREQUENCY-BAND LARGE DISPLACEMENT ANGLE SHAKER | 1018109780000    | 韩国发明专利 | Wen HE, etc. | 2017-12-14 |
|                       | <b>2. 已公示专利</b>                                     |                  |        |              |            |
|                       | 专利名称  | 公示号              | 类别     | 发明人          | 公示时间       |
| 一种外差激光的信号解调方法及其系统     | CN104501940A  | 中国发明专利           | 刘爱东等   | 2015-04-08   |            |
| 用于角振动测量的衍射光栅外差激光测振仪   | CN105241539A  | 中国发明专利           | 刘爱东等   | 2016-01-13   |            |

| 其他知识产权目录 | <table border="1"> <thead> <tr> <th data-bbox="443 259 639 383">知识产权类别</th> <th data-bbox="639 259 831 383">知识产权具体名称</th> <th data-bbox="831 259 963 383">国家(地区)</th> <th data-bbox="963 259 1134 383">授权号</th> <th data-bbox="1134 259 1305 383">授权日期</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td data-bbox="443 383 639 506">软件著作权</td> <td data-bbox="639 383 831 506">低频振动自动化校准系统 V1.0</td> <td data-bbox="831 383 963 506">中国</td> <td data-bbox="963 383 1134 506">2014SR082617</td> <td data-bbox="1134 383 1305 506">2012-03-20</td> </tr> <tr> <td data-bbox="443 506 639 629">软件著作权</td> <td data-bbox="639 506 831 629">超低频振动绝对法校准系统 V1.0</td> <td data-bbox="831 506 963 629">中国</td> <td data-bbox="963 506 1134 629">2014SR082613</td> <td data-bbox="1134 506 1305 629">2012-03-20</td> </tr> </tbody> </table> | 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 | 软件著作权 | 低频振动自动化校准系统 V1.0 | 中国 | 2014SR082617 | 2012-03-20 | 软件著作权 | 超低频振动绝对法校准系统 V1.0 | 中国 | 2014SR082613 | 2012-03-20 |
|----------|---|--------|--------------|------------|-----|------|-------|------------------|----|--------------|------------|-------|-------------------|----|--------------|------------|
| 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       |     |      |       |                  |    |              |            |       |                   |    |              |            |
| 软件著作权    | 低频振动自动化校准系统 V1.0  | 中国     | 2014SR082617 | 2012-03-20 |     |      |       |                  |    |              |            |       |                   |    |              |            |
| 软件著作权    | 超低频振动绝对法校准系统 V1.0   | 中国     | 2014SR082613 | 2012-03-20 |     |      |       |                  |    |              |            |       |                   |    |              |            |
| 主要完成人    | <p>排名：1<br/> 姓名：刘爱东<br/> 技术职称：副高级<br/> 工作单位：中国计量科学研究院<br/> 对本项目贡献：提出、设计并实施了项目的创新构想和技术方案，全面负责和组织项目的总体研究工作。全面负责测量系统的研制，研制正弦衍射式外差激光测振仪，编写系统的软件，实验数据的采集，测量不确定度评估，撰写报告等研究工作。<br/> 曾获科技奖励情况：（1）2011 年度国家质量监督检验检疫总局科技兴检奖，一等，“超低频振动国家标准装置的研究与建立”，排名第 3；（2）2009 年度国家质量监督检验检疫总局科技兴检奖，一等，“新一代振动幅相特性测量系统”，排名第 6；（3）获 17 届中国优秀专利奖，“低频或超低频振动测量套件”，排名第 1；（4）2017 年获中国计量科学研究院应用研究奖二等奖，“角振动国家计量基准装置的研究与建立”，排名第 1；</p> <p>排名：2<br/> 姓名：何闻<br/> 技术职称：正高级<br/> 工作单位：浙江大学<br/> 对本项目贡献：主要研制了角振动激励系统、角振动反馈控制系统以及系统的联机调试和实验；<br/> 曾获科技奖励情况：（1）获 2007 年度国家科学技术进步二等奖，“甚低频标准振动测试系统”，排名第 3；（2）2011 年度国家质量监督检验检疫总局科技兴检奖，一等，“超低频振动国家标准装置的研究与建立”，排名第 2；（3）2017 年获中国计量科学研究院应用研究奖二等奖，“角振动国家计量基准装置的研究与建立”，排名第 2；</p> <p>排名：3<br/> 姓名：于梅<br/> 技术职称：正高级<br/> 工作单位：中国计量科学研究院<br/> 对本项目贡献：项目的主要研究人员，参与组织项目的方案制订和实施，包括基础设施的实施、正弦衍射光栅的研制、角振动台的研制、会议组织和实验等</p>   |        |              |            |     |      |       |                  |    |              |            |       |                   |    |              |            |

重要工作；  
曾获科技奖励情况：（1）2011 年度国家质量监督检验检疫总局科技兴检奖，一等，“超低频振动国家标准装置的研究与建立”，排名第 1；（2）2009 年度国家质量监督检验检疫总局科技兴检奖，一等，“新一代振动幅相特性测量系统”，排名第 1；（3）2016 年度获 18 届中国优秀专利奖，“低频或超低频振动测量套件”，排名第 2；（4）2017 年获中国计量科学研究院应用研究奖二等奖，“角振动国家计量基准装置的研究与建立”，排名第 3；

排名：4

姓名：马明德

技术职称：副高级

工作单位：中国计量科学研究院

对本项目贡献：主要负责基础设施设计和实施、气路设计和实施、参与光学的设计等研究工作；

曾获科技奖励情况：（1）2011 年度国家质量监督检验检疫总局科技兴检奖，一等，“超低频振动国家标准装置的研究与建立”，排名第 4；（2）2009 年度国家质量监督检验检疫总局科技兴检奖，一等奖，“新一代振动幅相特性测量系统”，排名第 2；（3）2017 年获中国计量科学研究院应用研究奖二等奖，“角振动国家计量基准装置的研究与建立”，排名第 4；

排名：5

姓名：贾叔仕

技术职称：副高级

工作单位：浙江大学

对本项目贡献：负责角振动激励系统的机械设计与制作。

曾获科技奖励情况：（1）2011 年度国家质量监督检验检疫总局科技兴检奖，一等，“超低频振动国家标准装置的研究与建立”，排名第 5；（3）2017 年获中国计量科学研究院应用研究奖二等奖，“角振动国家计量基准装置的研究与建立”，排名第 5；

排名：6

姓名：杨丽峰

技术职称：副高级

工作单位：中国计量科学研究院

对本项目贡献：主要负责项目的软件编写和实验工作；

曾获科技奖励情况：（1）2011 年度获得国家科学技术进步奖二等奖，“测长方法创新及固体密度基准的建立”，排名第 3；（2）2011 年度国家质量监督检验检疫总局科技兴检奖，一等奖，“超低频振动国家标准装置的研究与建立”，排名第 7；（3）2009 年度国家质量监督检验检疫总局科技兴检奖，一等，“新一代振动幅相特性测量系统”，排名第 5；（4）2009 年获得质量检验检疫总局科技兴检奖 二等奖，“测长方法创新及固体密度基准的建立”，排名第 2；（5）2017 年获中国计量科学研究院应用研究奖二等奖，“角振动国家计量基准装置的研究与建立”，排名第 6；

排名：7

|               |  |
|---------------|--|
|               | <p>姓名：胡红波<br/> 技术职称：副高级<br/> 工作单位：中国计量科学研究院<br/> 对本项目贡献：主要负责解算方法的设计与实验工作；<br/> 曾获科技奖励情况：（1）2011 年度国家质量监督检验检疫总局科技兴检奖，一等，“超低频振动国家标准装置的研究与建立”，排名第 8；（2）2017 年中国计量科学研究院基础研究奖二等奖，“低 g 值碰撞式绝对法冲击计量标准的研究与建立”，排名第 1；（3）2017 年获中国计量科学研究院应用研究奖二等奖，“角振动国家计量基准装置的研究与建立”，排名第 7；</p> <p>排名：8</p> <p>姓名：左爱斌<br/> 技术职称：副高级<br/> 工作单位：中国计量科学研究院<br/> 对本项目贡献：参与外差激光干涉仪的研制和实验工作；<br/> 曾获科技奖励情况：（1）2008 年度获得国家科学技术进步奖二等奖“碘稳频 532nm 光学频率标准”，排名第 5；（2）2017 年获中国计量科学研究院应用研究奖二等奖，“角振动国家计量基准装置的研究与建立”，排名第 8；</p> <p>排名：9</p> <p>姓名：唐波<br/> 技术职称：讲师<br/> 工作单位：浙江大学<br/> 对本项目贡献：主要负责角振动台样机优化设计和试制。<br/> 曾获科技奖励情况：（1）2017 年获中国计量科学研究院应用研究奖二等奖，“角振动国家计量基准装置的研究与建立”，排名第 9；</p> <p>排名：10</p> <p>姓名：李劲林<br/> 技术职称：学生<br/> 工作单位：浙江大学<br/> 对本项目贡献：主要负责角振动台系统的实验工作；<br/> 曾获科技奖励情况：（1）2017 年获中国计量科学研究院应用研究奖二等奖，“角振动国家计量基准装置的研究与建立”，排名第 10；</p> |
| <p>主要完成单位</p> | <p>排名：1<br/> 单位名称：中国计量科学研究院<br/> 对本项目科技创新和推广应用情况的贡献：</p> <p>中国计量科学研究院作为本项目第一完成单位，为项目研究提供了所需的各种条件，对整体技术创新内容做出了重要贡献，承担并完成了项目的 70%以上的研究工作。研制的装置填补了国内（0.0005-1200）Hz 激光绝对法角振动幅值和相位校准空白，装置属于自主创新的科研成果，各项指标达到国际先进水平，其中频率下限达到国际领先水平，项目成果具有良好的科学性和实用性，具有重大的推广应用价值。</p>   |

项目研制了正弦衍射光栅式外差激光干涉仪,实现了高精度(正弦衍射光栅精度达到 3000 个正弦波/mm)、宽频带、大角位移测量的角振动幅值/相位激光绝对法测量,创新提出了基频模拟移相技术和矩阵无限衍生分布算法,解决了正弦衍射光栅式外差激光干涉仪测量低频或超低频角振动的信号解调困难问题,扩展国际标准中外差技术正弦逼近法下限频率至 0.05 Hz;创新提出了适用于角振动光栅衍射法测量的同时基动态最小载波技术,解决了小位移角振动精确测量的技术难题;提出了模糊和无参自适应的混合振动控制策略,实现了角振动校准过程的自动化。

该装置在服务国家目标中发挥了重要作用,为航空航天、机器人自动化、计量专业等提供技术和校准服务,为国家重大仪器专项提供技术移植,在推动相关领域科学技术进步和产品研发方面发挥了重要作用,取得了很好的推广应用实效。

排名: 2

单位名称: 浙江大学

对本项目科技创新和推广应用情况的贡献:

浙江大学作为参加单位与中国计量科学研究院共同承担了我国角振动基准装置的研究与建立的课题任务,主要负责角振动激励系统部分的研制工作。完成的主要科技创新的工作有:提出了一种多层线路板制作的多圈互绕式线圈结构,解决了角振动台盘式动圈推力小,转动惯量大的技术难题;创新设计了一种具有轴向气隙的双磁源磁路结构,解决了盘式动圈角振动台中强而均匀轴向气隙磁场的设计难题;发明了一种基于跟踪旋转磁场的径向气隙磁路结构,解决了低频振动台运动部件超大位移输出的技术难题,与中国计量科学研究院共同研制出具有完全自主知识产权、宽频带(0.0005~1200Hz)、低失真(小于 1%)、大位移(300°)、大负载(10 公斤)的低频和中频角振动激励系统。

注:项目公示表请转为 PDF 格式。表格内容须与推荐书内容一致。