## 技术发明奖公示信息

**一、项目名称**

极端尺寸天线结构设计关键技术与应用

**二、提名者及提名意见**

提名单位基本信息

陕西省电子学会

|  |  |
| --- | --- |
| 提 名 者 | 陕西省电子学会 |
| 通讯地址 | 西安市雁塔区太白南路2号 | 邮政编码 | 710071 |
| 联 系 人 | 杜娟 | 联系电话 | 13619213782 |
| 电子邮箱 | sxsdzxh@163.com | 传 真 | 029-81891405 |

提名意见

我单位认真审阅了该项目提名书及附件材料，确认全部材料真实有效，并按照要求对该项目的基本情况进行了公示，公示期间无异议。

该项目在机电耦合基础理论指导下，从辐射原理上突破了电磁辐射这一单一路径，借助跨学科的多源信息融合，深入而系统地开展了两类三种新体制天线的应用基础与前沿技术研究。该项目成果已在多项国家重大工程中得到应用，为我国科技进步、经济与社会发展、及国防建设做出了一定贡献，取得了较好的国防、经济与社会效益。

根据《陕西省科学技术厅关于做好2023年度省科学技术奖提名工作的通知》，参照技术发明奖评定条件和评定标准，提名该项目参评陕西省技术发明奖二等奖。

主要完成单位情况表中对本项目的主要学术贡献

本项目针对上述国家重大工程中面临的极端尺寸天线结构设计技术瓶颈问题，[在电子装备机电耦合基础理论的指导下，](https://www.so.com/link?m=bn85lvzCv%2FAL9ynJ0gLS8XK%2FRGJEcC5iYVEocEPsZezJJU2pD0NghiDCYnEUvPbz%2FF58kYWHgiVVnA6eellz%2BWRAVjG8IUtFCiUnodfcF4dmOg56LinRaaCOv2i3k%2B6gv%2BEH8dx8dNHjPbmHYnqtSvvpN4z3LVo1kUM1s%2Bj9K%2FkUS9RXmoQHMcBooigUB%2BYODW4Faog5lewLqgv%2B2YxZismclmFY%3D)借助多学科融合设计，致力于具有颠覆性的新体制天线应用基础与前沿技术研究。在国内率先开展了超大、超小两种极端尺寸天线的原创性设计工作，自主完成了多种原理性样机的研制，经第三方专家测试，性能指标均已达到国际先进水平，并已在上述多项国家重大工程中进行初步应用，获得项目总师的高度评价。取得主要技术发明包括以下三点：

（1）微米尺度声激励磁电薄膜天线设计

针对目前国内外微型无人机等微小型载荷平台电磁感知能力的实现需求，提出了一种声激励磁电薄膜小型化天线设计方案，研究了电磁波在压电与磁致伸缩薄膜等异质不连续介质中的传输机理；建立了磁电天线动态多物理场跨尺度分析理论模型；探索了高性能压电材料与磁致伸缩材料的设计、制备与调控技术；研制性能优良的高/低频磁电天线；最终形成了一套磁电天线整套理论、制备与测评方法体系。该技术方案可将同等性能金属天线结构尺寸缩至原有的1/100。基于上述理论研究，研制了原理性天线样件，测试结果与《Science》刊载文献数据对比，同尺寸天线主增益提高1.41dBi，工作带宽拓宽10%，经验证突破了Chu-Harrington物理极限。该天线已在特种服役的侦察设备中进行应用，其结构尺寸与性能可满足我国抵近式侦察中微型无人机载荷平台的适配尺寸、侦察范围与角度分辨率的技术需求。已完成中央军委装备发展部基金项目，通过专家组验收，结题评价优秀。

（2）大型星载柔性赋形可展开天线设计

针对星载天线的大口径需求与我国现有火箭运载容积有限之间的矛盾问题，本项目提出了一种柔性馈源阵匹配赋形反射面技术方案，利用三层索网结构实现大型反射面的可控赋形；通过石墨烯材料的微结构控制与工作区域的片上开关设置实现馈源的可控赋形；基于索结构与馈源材料的双重维度智能调控最终实现了在轨状态赋形区域可变换。本项目通过提高能量利用效率降低了对天线口径的需求，从根本上解决大型星载天线设计的技术瓶颈问题。基于上述研究成果，完成了原理性样机的研制，搭建了地面演示验证系统，经测试验证其具备实现大口径星载天线的应用潜力，可作为未来大口径可展开天线的一种新的技术方案。已完成军科委创新特区重点培育项目，通过专家组验收，结题评价优秀。

（3）超大型射电望远镜天线主副面协同设计与调控技术

针对百米级超大型射电天文望远镜天线的大口径与高指向精度要求，提出了一种全新的主副面结构共轭保型设计方法。以电性能最优为目标函数，进行主副面结构设计变量共轭归并，利用副面形变调整来补偿主面保型残差影响，从而大幅降低对主面精度的要求，成功突破了百米级口径反射面天线结构优化设计的技术瓶颈问题。针对建成后，望远镜服役过程中的指向精度保持问题，提出了一种基于多场耦合理论的主副面协同调控方法，通过建立温度-结构-电磁多场耦合理论模型，确定主副面最优调整量，实现电性能最优，显著提升了天线整体指向性能，为大型射电望远镜服役过程中的性能保持提供了关键技术支撑。该技术方法对我国大型射电望远镜的设计、建造与运维具有重要的工程应用价值与理论指导意义。

西安电子科技大学作为本项目第一完成单位，全面负责项目的总体规划、设计、实施与组织，为本项目提供了大力支持和充分保障，确保了项目的顺利进行。

**三、项目简介**

随着我国厘米级微型无人载荷平台、110米射电天文望远镜（QTT）、大型星载可展开天线等多项国家重大工程的开展，对天线的结构尺寸提出了极端要求。空间远距离、高精度探测需要超大口径天线以实现高增益，微小型载荷平台则需要极小天线来实现机动性与隐蔽性。依靠传统设计，天线口径增大需求与现有运载能力存在着根本性矛盾，而天线小型化设计囿于电磁辐射原理，终究无法突破Chu极限。

本项目在机电耦合基础理论指导下，从辐射原理上突破了电磁辐射这一单一路径，借助跨学科的多源信息融合，深入而系统地开展了两类三种新体制天线的应用基础与前沿技术研究。针对微小载荷平台的电磁感知能力实现，提出了微米尺度声激励磁电薄膜天线设计方案；针对空间太阳能电站建设中光电转换效率过低问题，针对星载天线的大口径需求，提出了柔性馈源阵匹配赋形反射面技术方案；针对百米口径射电望远镜天线的高指向精度要求，提出了电性能最优的主副面协同设计与调控技术方案。

**四、客观评价**

（1）国家某委柔性电子组专家，我国预警机总师陈竹梅研究员对本项目的技术发明点[2]作出了评价；

（2）[中国科学院新疆天文台](https://www.so.com/link?m=bmP0KdelzDsBRm5pDF2csJLNxses%2Ba7s48K2EHyew7C8u3ZloPlb5ebnZUeT97I6WbOxSdiY7B1%2BF3YDpUjZksZO85LX48LPnHVsqx17OZeAWPG%2B3Kcpr7Sh%2B9yP5LI3xvyRiIulVcoh1Z0e3ZnDY72CxsfQ%3D)台长，奇台射电望远镜项目（QiTai Radio Telescope，QTT）项目总工王娜研究院对技术发明点[3]作出了评价。

**五、应用情况和效益**

该项目成果已被成功应用于多个国家重大工程中，例如：世界最大全可动高频射电天文望远镜（QTT）,基于微型无人载荷平台的城市抵近式电磁感知系统,我国首个集电磁-结构-热于一体的天线综合仿真设计平台等，为突破国外对极端尺寸天线设计的技术封锁，实现自主创新、独立研发，有效促进我国通信、导航、探测等行业的科技进步，做出了贡献。

本单位基于现有技术，近五年新增3项技术合同收入。同时，应用单位（应急管理部上海消防研究所、江苏八达电子有限公司）通过应用项目相关研究成果，对提高产品设计水平、缩短研制周期、降低研制成本，提高产品竞争力，均发挥了重要作用。

**六、主要知识产权目录**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 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 | 一种温度对磁电天线性能影响的评估方法 | 中国 | ZL202110838971.3 | 2022年10月4日 | 5493612 | 西安电子科技大学 | [李娜](https://s.wanfangdata.com.cn/patent?q=%E5%8F%91%E6%98%8E%E4%BA%BA/%E8%AE%BE%E8%AE%A1%E4%BA%BA:%22%E6%9D%8E%E5%A8%9C%22);[李向阳](https://s.wanfangdata.com.cn/patent?q=%E5%8F%91%E6%98%8E%E4%BA%BA/%E8%AE%BE%E8%AE%A1%E4%BA%BA:%22%E6%9D%8E%E5%90%91%E9%98%B3%22);[郑彬](https://s.wanfangdata.com.cn/patent?q=%E5%8F%91%E6%98%8E%E4%BA%BA/%E8%AE%BE%E8%AE%A1%E4%BA%BA:%22%E9%83%91%E5%BD%AC%22);[田艳伟](https://s.wanfangdata.com.cn/patent?q=%E5%8F%91%E6%98%8E%E4%BA%BA/%E8%AE%BE%E8%AE%A1%E4%BA%BA:%22%E7%94%B0%E8%89%B3%E4%BC%9F%22);[王岩](https://s.wanfangdata.com.cn/patent?q=%E5%8F%91%E6%98%8E%E4%BA%BA/%E8%AE%BE%E8%AE%A1%E4%BA%BA:%22%E7%8E%8B%E5%B2%A9%22);[包建强](https://s.wanfangdata.com.cn/patent?q=%E5%8F%91%E6%98%8E%E4%BA%BA/%E8%AE%BE%E8%AE%A1%E4%BA%BA:%22%E5%8C%85%E5%BB%BA%E5%BC%BA%22);[张璐璐](https://s.wanfangdata.com.cn/patent?q=%E5%8F%91%E6%98%8E%E4%BA%BA/%E8%AE%BE%E8%AE%A1%E4%BA%BA:%22%E5%BC%A0%E7%92%90%E7%92%90%22) |
| 2 | 发明专利 | 面向指向精度的射电天文望远镜轨道不平度逆向设计方法 | 中国 | ZL201610466593.X | 2018年12月11日 | 3178630 | 西安电子科技大学 | [李娜](http://www.soopat.com/Home/Result?SearchWord=FMR%3A(%E6%9D%8E%E5%A8%9C)" \t "_blank);[王伟](http://www.soopat.com/Home/Result?SearchWord=FMR%3A(%E7%8E%8B%E4%BC%9F));[吴江](http://www.soopat.com/Home/Result?SearchWord=FMR%3A(%E5%90%B4%E6%B1%9F));[张逸群](http://www.soopat.com/Home/Result?SearchWord=FMR%3A(%E5%BC%A0%E9%80%B8%E7%BE%A4));[宋立伟](http://www.soopat.com/Home/Result?SearchWord=FMR%3A(%E5%AE%8B%E7%AB%8B%E4%BC%9F));[李鹏](http://www.soopat.com/Home/Result?SearchWord=FMR%3A(%E6%9D%8E%E9%B9%8F)) |
| 3 | 发明专利 | 一种基于能量角度的可展开天线展开驱动力分析方法 | 中国 | ZL201710034642.7 | 2020年3月13日 | 3715818 | 西安电子科技大学 | 张逸群;李娜;杨癸庚;杨东武;李申;杜敬利;朱日升 |
| 4 | 发明专利 | 轨道不平度影响的大型反射面天线指向误差的计算方法 | 中国 | ZL201610265402.3 | 2019年4月5日 | 3323426 | 西安电子科技大学 | 李娜;吴江;王从思;段宝岩;李鹏;宋立伟;周金柱 |
| 5 | 发明专利 | 基于反射面赋形的大型天线罩电性能补偿方法 | 中国 | ZL201410018897.0 | 2016年8月17日 | 2189632 | 西安电子科技大学 | 许万业;李鹏;段宝岩; 仇原鹰; 南瑞亭; 崔传贞 |
| 6 | 发明专利 | 一种面向电磁性能的阵列天线支撑结构拓扑设计方法 | 中国 | ZL2021111776088 | 2022年9月16日 | 5453673 | 西安电子科技大学 | 胡乃岗;娄顺喜;许万业;李鹏 |
| 7 | 发明专利 | 一种基于模块化拼接思想的抛物柱面网状可展开天线的设计方法 | 中国 | ZL201710616221.5 | 2020年10月2日 | 4017484 | 西安电子科技大学 | 张逸群;李娜;朱日升 |
| 8 | 发明专利 | 面板随机和系统误差下反射面天线电性能的区间分析方法 | 中国 | ZL201610389839.8 | 2018年10月30日 | 3129153 | 西安电子科技大学 | 李鹏;李娜;王从思;黄进;许万业;王伟;宋立伟;周金柱 |
| 9 | 发明专利 | 面向电性能的反射面天线结构加权优化方法 | 中国 | ZL 202111478222.0 | 2022年9月6日 | 5431486 | 西安电子科技大学 | 李娜;田雲歌;郑彬;李向阳;包建强;田艳伟;王岩 |
| 10 | 实用新型 | 磁电天线的层合结构 | 中国 | ZL 2022216351633 | 2022年11月1日 | 17681599 | 西安电子科技大学 | 李娜;李向阳;刘国;徐博楠;张静柯;饶鑫,赵驰;单玉玉 |

**七、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 |
| 李娜 | 1 | 无 | 教授 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 对应技术发明创新点（1），建立了微米尺度声激励磁电薄膜天线机电耦合理论模型；对应技术发明创新点（2），提出了大型星载柔性赋形可展开天线的赋形馈源设计方法；对应技术发明创新点（3），提出了超大型射电望远镜天线主副面共轭保型设计方法； |
| 李鹏 | 2 | 无 | 教授 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 对应技术发明点（2），提出了大型星载柔性赋形可展开天线的三层索网结构设计方案，提出了基于三层索网结构的赋形反射面设计方案。对应技术发明点（3），完成了大型射电望远镜天线的主反射面有限元分析及优化设计。 |
| 宋立伟 | 3 | 无 | 副教授 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 对应技术发明点（3），提出了双反射面天线的机电耦合理论建模方法，提出了大型反射面天线的主副面协同调整技术方案，提出了大型反射面天线的机电热多场集成设计方法。 |
| 胡乃岗 | 4 | 无 | 讲师 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 对应技术发明点（2），提出了大型星载柔性赋形可展开天线的三层索网结构设计方案，提出了基于三层索网结构的赋形反射面设计方案。 |
| 许万业 | 5 | 无 | 副教授 | 西安电子科技大学 | 西安电子科技大学 | 对应技术发明点（2），提出了大型星载柔性赋形可展开天线的三层索网结构型面设计方法，提出了基于三层索网结构的多学科优化方案。 |
| 刘国 | 6 | 无 | 高级工程师 | 中电29所 | 西安电子科技大学 | 对应技术发明点（1），提出了基于声激励的微米尺度磁电薄膜天线结构设计方法，明确了天线带宽拓宽技术方案，实现了天线性能指标的可设计、可预期与可重构。 |

**八、主要完成单位情况**

|  |  |
| --- | --- |
| 单位名称 | 西安电子科技大学 |
| 排 名 | 1 | 法定代表人 | 张新亮 | 所 在 地 | 陕西 |
| 单位性质 | 高等院校 | 传 真 | 029-81891405 | 邮政编码 | 710126 |
| 通讯地址 | 陕西省西安市长安区西沣路兴隆段266号 |
| 联 系 人 | 李鹏 | 单位电话 | 029-81892583 | 移动电话 | 18710849268 |
| 电子邮箱 | kjjl@xidian.edu.cn |

**九、完成人合作关系说明**

完成人李娜、李鹏、宋立伟、胡乃岗、许万业同为西安电子科技大学机电工程学院教师，刘国于2011年9月至2015年12月在西安电子科技大学攻读博士学位，全体成员均为“基于机电耦合基础理论的极端尺寸天线结构设计”课题组成员，此次申报的核心知识产权与论文材料均为课题组长期以来进行技术攻关而取得的研究成果。

 各完成人在参与项目研究过程中通力协作，获多项共同知识产权与合著论文，结合技术攻关，课题组研制了多个天线样机模型，在此过程中，项目完成人均参与到了样机的方案设计、零部件细节设计、加工与实验流程讨论与实践中，为最终取得良好的样机指标奠定了基础。