

2026 年度陕西省技术发明奖公示信息

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |               |                     |               |               |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------|---------------|---------------|
| 项目名称                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |               | 分布式雷达相参合成与高精度角度估计方法 |               |               |
| 提名者                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |               | 中共陕西省委军民融合发展委员会办公室  |               |               |
| 提名意见                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |               |                     |               |               |
| <p>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。</p> <p>该项目属于雷达信号处理领域，面向我国亟需解决的反隐身目标探测制导难题，具有重要的战略意义。在自然科学基金、重点预研和上海航天科技创新基金等项目的支持下，针对米波雷达孔径大、机动性差、测角精度难以满足制导要求等问题，创新性提出了全数字化分布式米波反隐身制导雷达系统，有效地解决了反隐身米波雷达高机动性和高精度测角之间的矛盾，以及分布式阵列孔径稀布引起的方位、俯仰维的角度模糊难题。以较小代价构建原理性样机，对分布式相参合成雷达的关键技术进行了试验验证，证明了该方案对隐身目标进行探测制导的可行性。相关关键技术也推广到车载、弹载等其他动平台中，取得了较好的国防、经济与社会效益。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。</p> <p>根据《陕西省科学技术厅关于 2026 度省科学技术奖提名工作的通知》，参照陕西省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。</p> |               |                     |               |               |
| 主要完成人情况                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |               |                     |               |               |
| 排名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 姓名            | 技术职称                | 工作单位          | 完成单位          |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 杨明磊           | 教授                  | 西安电子科技大学      | 西安电子科技大学      |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 陈伯孝           | 教授                  | 西安电子科技大学      | 西安电子科技大学      |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 曹运合           | 教授                  | 西安电子科技大学      | 西安电子科技大学      |
| 4                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 叶舟            | 高级工程师               | 上海航天电子通讯设备研究所 | 上海航天电子通讯设备研究所 |
| 5                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 李洪兵           | 教授                  | 中国人民解放军空军工程大学 | 中国人民解放军空军工程大学 |
| 6                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 吴学昊           | 无                   | 西安电子科技大学      | 西安电子科技大学      |
| 主要完成单位                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |               |                     |               |               |
| 排名                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 单位名称          |                     |               |               |
| 1                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 西安电子科技大学      |                     |               |               |
| 2                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 上海航天电子通讯设备研究所 |                     |               |               |
| 3                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 中国人民解放军空军工程大学 |                     |               |               |

| 主要知识产权和标准规范等目录 |            |                           |        |                  |            |                |             |                                    |              |
|----------------|------------|---------------------------|--------|------------------|------------|----------------|-------------|------------------------------------|--------------|
| 序号             | 知识产权（标准）类别 | 知识产权（标准）具体名称              | 国家（地区） | 授权号（标准编号）        | 授权（标准发布）日期 | 证书编号（标准批准发布部门） | 权利人（标准起草单位） | 发明人（标准起草人）                         | 发明专利（标准）有效状态 |
| 1              | 发明专利       | 一种分布式宽带相控阵雷达阵列基线长度及带宽优化方法 | 中国     | ZL201410030573.9 | 2016/3/23  | 1993748        | 西安电子科技大学    | 杨明磊；<br>陈伯孝；<br>王毅；<br>高龙超         | 有效           |
| 2              | 发明专利       | 分布式阵列目标到达角估计方法            | 中国     | ZL201310279474.X | 2015/11/18 | 1838103        | 西安电子科技大学    | 杨明磊；<br>陈伯孝；<br>高龙超；<br>王玉         | 有效           |
| 3              | 发明专利       | 基于地形匹配的數字阵列米波雷达超分辨测高方法    | 中国     | ZL201110120849.9 | 2013/09/25 | 1276669        | 西安电子科技大学    | 朱伟；<br>陈伯孝；<br>杨明磊                 | 有效           |
| 4              | 发明专利       | 基于最小冗余线性稀疏子阵的米波雷达低仰角估计方法  | 中国     | ZL201410081416.0 | 2016/06/22 | 2122370        | 西安电子科技大学    | 杨明磊；<br>陈伯孝；<br>武宇娟；<br>鲁加战；<br>王玉 | 有效           |
| 5              | 发明专利       | 分布式子阵波达方向估计方法             | 中国     | ZL201210493295.1 | 2015/04/08 | 1625173        | 西安电子科技大学    | 杨明磊；<br>陈伯孝；<br>王玉；<br>陈根华         | 有效           |

|    |          |                         |    |                  |            |         |          |                                           |    |
|----|----------|-------------------------|----|------------------|------------|---------|----------|-------------------------------------------|----|
| 6  | 发明专利     | 基于 L 型干涉式线性阵列的二维波达角估计方法 | 中国 | ZL201410241880.1 | 2017/09/01 | 2604925 | 西安电子科技大学 | 杨明磊；<br>陈伯孝；<br>翁亚男；<br>全达领               | 有效 |
| 7  | 发明专利     | 基于嵌套式最小冗余阵列的波达方向估计方法    | 中国 | ZL201510725142.9 | 2017/10/24 | 2666948 | 西安电子科技大学 | 杨明磊；<br>陈伯孝；<br>王晶；<br>曾小路                | 有效 |
| 8  | 发明专利     | 基于深度神经网络的米波雷达低仰角测高方法    | 中国 | ZL201810650951.1 | 2022/04/29 | 5121274 | 西安电子科技大学 | 陈伯孝；<br>杨婷；<br>项厚宏                        | 有效 |
| 9  | 计算机软件著作权 | 分布式相参合成系统上位机控制处理软件      | 中国 | 2022SR0752963    | 2022/06/14 | 9707162 | 西安电子科技大学 | 杨明磊；<br>欧阳婉；<br>魏法；张<br>聪                 | 有效 |
| 10 | 发明专利     | 一种分布式相参雷达的孔径渡越补偿方法      | 中国 | ZL202210391586.3 | 2024/08/06 | 7262576 | 西安电子科技大学 | 曹运合；<br>张钰林；<br>沙祥；<br>杨利民；<br>顾晓婕；<br>刘帅 | 有效 |

## 客观评价

在国内首次提出**分布式阵列相参合成米波反隐身制导雷达系统**方案，解决了米波反隐身制导雷达高精度与高机动性之间的矛盾；提出了分布式米波阵列高精度测角及解模糊方法，包括基于双尺度 ESPRIT 的分布式阵列角度算法、基于预估计 MUSIC 的分布式子阵 DOA 估计以及基于最小冗余线性稀疏子阵的分布式米波雷达高精度低仰角估计算法，并搭建国内首个全数字化的分布式米波雷达试验系统，同时将分布式相参雷达技术应用到运动平台上，例如弹载，车载等。实现对隐身飞行器进行火力攻击的目的，改变目前对隐身飞行器无计可施的局面，本项目具有极为现实的实用意义及迫切的研制需求。同时发表学术论文 36 篇，专利 35 项，研究成果受到中国工程院院士、IEEE Fellow 等著名学者以及中国科学院等顶尖科研机构雷达专家的广泛引用与正面评价，得到了业界的高度认可：

### 1、针对主要技术发明一的代表性学术评价：

介绍全数字化分布式米波雷达试验系统的文章 ‘Experimental system and results for distributed VHF radar’ 在 2016 年国际雷达会议 International Conference on Radar (RADAR) 上发表，论文得到参会专家的高度评价，并获得优秀论文二等奖。

### 2、针对主要技术发明二的代表性学术评价：

2018 年在《IEEE Signal Processing Letters》发表的论文 ‘A new nested MIMO array with increased degrees of freedom and hole-free difference coarray’，受到国际著名雷达专家、IEEE Life Fellow 美国维拉诺瓦大学 Moeness G. Amin 教授、天普大学 Yimin D. Zhang 教授等发表在《IEEE Transactions on Signal Processing》《Signal Processing》论文的引述，并认为该工作利用稀疏阵列的 DOA 估计可以以相对较低的成本提供大量的自由度。

### 3、针对主要技术发明三的代表性评价：

2012 年在《系统工程与电子技术》期刊发表的论文“干涉式 L 形阵的二维高精度方向估计”得到中国工程院院士吴剑旗出版的专著《Advanced Metric Wave Radar》的引用，2018 年在《IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems》期刊发表的论文 ‘Estimation of Direction of Arrival by Time Reversal for Low Angle Targets.’ 被 IEEE Fellow、美国马里兰大学帕克分校杰出大学教授、曾任 IEEE 主席的 K. J. Ray Liu 引用。他们对该项工作提出的角度解模糊、二维高精度方向估计及低仰角多径环境下的目标方向估计方法进行了引用与评价，并肯定了所提分布式阵列可以在没有额外天线的情况下提供高精度的角度估计。

### 4、针对主要技术发明四的代表性评价：

该发明技术应用于中国航天科工集团第二研究院第二总体设计部和上海航天电子通讯设备研究所。专家认为该技术对基于车载动平台的分布式雷达信号模型构建，完成了分布式稀疏阵列雷达站点优化配置技术研究和动平台分布式雷达相参合成信号处理技术研究，研究成果有力支撑了相关课题的项目申请和关键技术攻关，为后期开展原理性试验以及新一代雷达研制奠定了理论基础。

## 项目简介

当前，隐身飞行器的大量部署对国家防空体系构成严重挑战，其低可探测性使传统雷达在探测与制导中效能受限。尽管我国已装备多部米波警戒雷达，但受限于精度不足和天线体积庞大，难以满足制导雷达的使用需求。因此，迫切需要发展兼具“远程探测、高精度、强生存”的新型反隐身制导雷达。然而，实现远程探测需依赖高功率发射，成本高且易暴露自身；提高精度依赖扩大孔径，却会削弱机动性并降低生存能力，三者形成尖锐矛盾，成为该领域亟待突破的核心难点。

针对这一科学难题，项目组于 2011 年在国内率先提出分布式阵列相参合成米波反隐身制导雷达方案。其核心在于将分布式架构与相参合成技术有机结合：以空间分布的小口径雷达替代单一大口径设备，降低单体体积与成本并提升机动灵活性；通过多雷达信号的相干叠加，实现等效大口径的探测效果和高功率孔径积输出。该方案有效突破了传统米波雷达在精度与机动性间的矛盾，不仅显著提升了角度分辨率，推远了探测威力，还具备了更强的机动性能与生存能力。

针对核心难题，取得如下主要技术发明：

- 1) 分布式阵列相参合成米波反隐身制导雷达系统架构；
- 2) 分布式相参孔径雷达的角度解模糊技术；
- 3) 分布式米波雷达在低仰角多径情况下高精度测高方法；
- 4) 运动平台分布式相参雷达信号处理技术。

项目以自然科学基金、重点预研和、上海航天科技创新基金、华为合作研发等项目研究为基础，以高水平论文为支撑，以专利授权应用为落脚点，研究成果得到了业界的高度认可，具有广泛的应用前景。项目取得的主要成果包括：发表学术论文 36 篇，专利 35 项，软件著作权 3 项。上述工作受到中国工程院院士、IEEE Fellow 等著名学者以及中国科学院等顶尖科研机构雷达专家的广泛引用与正面评价，具有极为现实的实用意义及迫切的研制需求。

## 应用情况和效益

该项目目前已经应用于 6 家单位，项目发明技术一已应用于西安黄河机电有限公司的预研的制导雷达，解决了该雷达的高精度制导的关键技术，有效提升了雷达的反隐身能力和机动性能。项目发明技术二应用于中国航天科工集团二院二十三所和中国电子科技集团公司第三十八所的雷达系统，提升了该雷达的测角精度。项目发明技术二和三经过技术实施许可，在空军工程大学的课题研究中实施。项目发明技术四分别在中国航天科工集团第二研究院第二总体设计部和上海航天电子通讯设备研究所的预研项目和制导雷达中进行实施，有效提高了目标的探测威力和跟踪精度。

本项目的实施得到了多个支撑项目的经费支持，包括动平台分布式雷达相参合成信号处理技术项目、基于分布式阵列架构的高精度终端感知系统研究合作项目、制导技术项目、以及雷达信号处理技术项目、分布式宽带相控阵技术与实验研究项目。这些项目的经费为本项目的顺利进行提供了坚实的资金保障，并直接转化为经济效益，推动了相关领域的快速发展。另外，该方案使米波反隐身制导雷达成为可能，解决了米波反隐身制导雷达的精度要求与机动性之间的矛盾，大大提高了对隐身目标的打击能力。这一技术突破对于国防安全具有重要意义，能够有效增强我国防空反导武器系统对隐身目标的探测、高精度引导与跟踪能力，进而提升国防实力。

### 完成人合作关系说明

本项目完成人包括六名同志：杨明磊、陈伯孝、曹运合、叶舟、李洪兵和吴学昊，完成单位为西安电子科技大学、上海航天电子通讯设备研究所和中国人民解放军空军工程大学；

项目第一完成人杨明磊、项目第二完成人陈伯孝、项目第三完成人曹运合和项目第六完成人吴学昊为同一单位的课题组合作人员。杨明磊和陈伯孝共同完成了项目的立项申请、米波反隐身制导雷达方案论证和分布式相参合成关键技术研究等工作，合作方式为共同撰写专利、论文、软件著作权等；杨明磊和曹运合共同完成了项目的分布式相参协同方案等工作，合作方式为共同立项。吴学昊是课题组的博士生，参与完成了车载分布式相参合成雷达的关键技术研究和论文撰写工作等，合作方式为论文合著。

项目第四完成人叶舟与项目第一完成人杨明磊共同开展了多车载平台分布式雷达的项目立项、关键技术研究 and 外场试验组织工作，利用实测数据支撑并验证了发明技术四的部分关键技术，合作方式为共同立项和论文合著。

项目第五完成人李洪兵与项目第一完成人杨明磊教授共同完成了分布式反隐身制导雷达系统方案设计的项目立项、关键技术研究和原理样机研制工作，验证了发明技术二的部分关键技术，合作方式为共同立项和论文合著。