

2025 年度陕西省科学技术奖提名公示

（科技进步奖）

一、项目名称

试验场测控引导与信息化关键技术及应用

二、提名者及提名意见

提名单位：陕西省教育厅。

该项目围绕试验场引导控制和信息化技术，从网络化测试设备互引导、全域覆盖通信保障网和测控信息流分析处理等试验场引导控制和信息化中几个关键技术展开了系统深入的研究。针对试验场复杂电磁环境下高密度、常态化、多目标测试任务发展新形势，设计了将雷达、光电和遥测设备所测的目标数据坐标转换后进行弹道优选的网络化测试引导方法；率先提出了多站协同测试三段式接力引控方法，使得各测量系统在最能发挥作用的弹道段完成测试任务，显著提高了测试数据采集率；针对试验场常用的超短波和微波手段建立了传输衰减预测模型，对大气折射误差进行了修正，设计了电波极化方法，构建了试验场全域无缝覆盖的多维、异构通信网络，为试验场可靠通信和信息传输提供有力保障。项目突破了多站协同测试接力引控方法、测控设备信息流处理、电波极化和传输衰落等多项核心技术，解决了传统测试目标丢失率高，信息不能充分共享，多手段异构通信网互联互通，以及测试流、设备状态流、引控流、安控流等信息流互相干扰等难题，学术意义重大，经济和社会效益显著。项目成果对推动航空航天、无人机等相关产业的快速发展，提升试验场信息化和自动化水平，增强综合实力方面发挥着极为重要的作用。项目成果材料齐全、规范，无知识产权纠纷，人员排序无争议，符合陕西省科学技术奖提名条件。

提名该项目为陕西省科学技术进步奖三等奖。

三、项目简介

飞行测控试验场在推动航空航天、无人机等相关产业的快速发展，提升装备

性能和安全性，增强综合实力方面发挥着极为重要的作用。目前国内飞行测控试验场信息化和自动化程度普遍不高，难以适应复杂电磁环境下高密度、常态化、多目标测试任务发展的新形势。为此，本项目围绕试验场引导控制和信息化技术，从网络化测试设备互引导、全域覆盖通信保障网和测控信息流分析处理等试验场引导控制和信息化中几个关键技术展开研究，突破了多站协同测试接力引控方法、测控设备信息流处理、试验场移动自组网、电波极化和传输衰落等多项核心技术，解决了传统测试目标丢失率高，信息不能充分共享，多手段异构通信网互联互通，以及测试流、设备状态流、引控流、安控流等信息流互相干扰等难题，产生了良好的经济效益和社会效益。主要科技创新如下：

（1）针对试验场复杂电磁环境下高密度、常态化、多目标测试任务发展新形势，设计了网络化测试引导控制方法。将雷达、光电和遥测设备所测的目标数据坐标转换后进行弹道优选，并向所有测试设备实时广播优选数据，当测试设备丢失目标时，将接收到的广播数据作适当弹道外推后用于指引本设备快速捕获目标，弹道优选算法采用最小二乘+莱特准则。

（2）试验靶场多站协同测试三段式接力引控方法。针对飞行目标测试试验，率先提出了多站协同测试三段式接力引控方法，引控中心接收各测试设备采集的弹道数据，对数据进行航迹平滑处理，进入实时引导程序。如果人工能辨别出弹道优劣，则由人工实时指定引导源进行引导；否则利用预设引导源引导；如果预设引导源均无效，则进入非预设引导模式，非预设引导源模式采用自动优选引导源算法。该项技术可以在引导和测量数据所覆盖的弹道段上互为补充，测试参数互为备份和参考，合理利用各测量系统的特长，使各测量系统在最能发挥作用的弹道段完成测试任务，显著提高了测试数据采集率。

（3）试验场复杂电磁环境下综合多维通信网络构建和优化。构建了试验场全域无缝覆盖的多维、异构通信网络。在深入研究天线极化机理基础上建立了场区电波传播模型，对电磁波大气折射误差进行了修正。结合有线和无线、高低配合、多手段互补，构建了全场区无缝覆盖的空天地一体联合测试保障通信网络模型。针对较为集中的固定测试点位，采用指挥调度系统和 SDH 传输设备组成基础骨干网提供高可靠传输；针对远散点位，比如场区安全警戒点位，采用 OFDM 高速电力线载波通信，只要具备供电的点位均可实现低成本快速接入；针对活动测试点位采用便携式卫星通信和 Ad hoc 无线自组网实现快速灵活布站。为在试验靶场

复杂电磁环境下保障试验指挥、测控信息、勤务通信等视频流、图像数据、语音通信等综合业务的可靠传输，设计了复杂异构网络跨网交互协议。针对试验场常用的超短波和微波手段建立了传输衰减预测模型，并对模型进行了仿真试验，对大气折射误差进行了修正。针对以上场景，设计了基于各向异性超表面的圆极化维持反射器和基于双层各向异性超表面的广角宽带透射型无线电波圆极化器，利用开发的射频性能测试系统进行测试，性能与仿真结果吻合，大幅提升了试验场无线信号传输效率。这些成果为预测超短波和微波设备的通信距离、通信稳定度提供理论参考。

(4) 针对试验测控装备运行特点，设计了利用跟踪雷达、光电设备、遥测设备等测控设备自动捕获跟踪目标，实现互引导的体系结构。提出基于高阶统计特征的多波段雷达图像变化检测方法，能有效检测不同时相不同波段 SAR 图像的变化信息，实现对飞行目标特性的测试。开发了测控设备信息流分析软件，包括数据处理、态势显示、指挥控制、测试引控、数字孪生等模块。完成了三型测控设备数据采集和格式转换，并实现了数据交汇处理算法，完成了地心惯性坐标系、地心大地坐标系和测站坐标系之间的坐标变换和标准化处理。开发了测控设备健康管理软件，实现时间修正、方位角过零修正、合理性检验和光学跟踪误差修正数据预处理。可以命令的形式指定测控装备开展自检、测试、标校等工作，同时收集结果信息，作为评估测控装备参试状态的依据，得出测控装备性能指标是否满足任务工作要求的结论，并上报指挥中心和数据中心，显著提升了从任务准备、实施到后续处理的自动化程度。

项目组围绕试验场测控设备互引导和信息化展开技术研发，积极与中科星图测控技术股份有限公司、西安睿奥电磁环境科技有限公司、北京远山信息技术有限公司等国内测控和信息技术领域知名企业合作，开展成果转化和推广应用。累计授权发明专利 17 件，实用新型专利 20 件，登记软件著作权 18 项，发表高水平论文 45 篇，出版专著 1 部。本项目取得的技术研究成果具有重要科学价值和应用推广潜力。与西安睿奥电磁环境科技有限公司合作成功将“一种常规试验靶场多站协同测试三段式接力引控方法”和“一种外弹道组网测试引导控制方法”两项发明专利进行了成果转化和实施，经济和社会效益明显。

四、客观评价

在测控设备引控方面，通过将雷达、光电设备和遥测设备所测量的目标数据坐标转换后进行弹道优选、实时广播、数据外推和目标捕获指引，实现引导和测量数据所覆盖的弹道范围内互为补充，测试参数互为备份，使各测量系统在最能发挥作用的弹道段完成测试任务，显著提高了单套设备的数据采集率。与传统测试相比，采用该重要技术升级的引导控制系统组网测试设备跟踪率得到显著提升。在信息传输方面，通过设计基于各向异性超表面的圆极化维持反射器和基于双层各向异性超表面的广角宽带透射型无线电波圆极化器，提出电波传播大气折射误差修正方法和靶场无线通信效能评估方法，研制复杂异构网络跨网交互协议，显著提高了试验靶场复杂电磁环境下保障试验指挥、测控信息、勤务通信等视频流、图像数据、语音通信等综合业务等信息传输的可靠性。为实现测控设备间实现准确、实时、高效引控提供信息分发、共享的可靠通道和强力支撑。项目的顺利开展和实施有力地提升了试验靶场信息化和智能化水平，有助于缩短装备的研发周期，提高装备的性能和质量，为装备的研发和升级提供有力支持，从而提升综合能力。

（1）该技术将雷达、光电设备和遥测设备所测量的目标数据坐标转换后进行弹道优选，并将优选弹道数据向所有测试设备实时广播，当测试设备目标跟踪丢失时，将接收到的广播数据作适当弹道外推后用于指引本设备快速捕获目标，可实现单路数据预处理、光测数据精确交汇、动态权值数据融合、引导数据校验、数据记录、遥测数据处理等功能，测试设备跟踪率得到显著提升。

（2）与传统测试相比，采用该重要技术升级的引导控制系统组网测试设备跟踪率得到显著提升，显著提高了试验靶场复杂电磁环境下保障试验指挥、测控信息、勤务通信等视频流、图像数据、语音通信等综合业务等信息传输的可靠性。为实现测控设备间准确、实时、高效引控提供信息分发、共享的可靠通道和强力支撑。

（3）项目进一步推广应用可显著提升试验靶场信息化和智能化水平，有助于缩短装备的研发周期，提高装备的性能和质量，为装备的研发和升级提供有力支持，对提升综合能力具有重要意义。

五、应用情况

该项目研究成果已在我国多家企业成功应用，在技术功能验证和推动企业经济效益增长方面均取得良好成效。与中科星图测控技术股份有限公司等 5 家测控和信息技术企业合作开展成果转化和应用，其中与西安睿奥电磁环境科技有限公司合作成功将“一种常规试验靶场多站协同测试三段式接力引控方法”和“一种外弹道组网测试引导控制方法”两项发明专利进行了成果转化和实施。项目解决了传统测试目标丢失率高，信息不能充分共享等缺点，提升了试验靶场信息化和自动化水平，有助于缩短装备的研发周期，提高装备性能和质量。累计增加销售约 1.2 亿元，经济和社会效益显著。

六、主要知识产权和标准规范等目录

序号	知识产权类别	知识产权具体名称	国家(地区)	授权号(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)
1	发明专利	一种外弹道组网测试引导控制方法	中国	ZL201710747987.7	2021-08-06	4597807	申请单位：西京学院 已转让至：西安睿奥电磁环境科技有限公司	王祖良、黄世奇、周美丽、林东、张婷、李险峰
2	发明专利	一种常规试验靶场多站协同测试三段式接力引控方法	中国	ZL201710747716.1	2019-06-07	3406755	申请单位：西京学院 已转让至：西安睿奥电磁环境科技有限公司	王祖良
3	发明专利	一种基于 OFDM 的高速电力线载波通信装置及方法	中国	ZL201710002180.0	2020-08-11	3931297	西京学院	张婷、王祖良、师韵，蒋树培，叶青，鲍艳蕾
4	发明专利	基于高阶统计特征的多波段雷达图像变化检测方法	中国	ZL201810028135.7	2022-01-18	4896615	西京学院	黄世奇；武文胜；周美丽；林东；王祖良；张婷；段向阳

5	软著	测控设备信息流分析管理软件	中国	2023SR0509068	2023-04-28	11096239	北京远山信息技术有限公司	
6	软著	跨网交互代理软件	中国	2021SR2210815	2021-12-29	8933441	北京远山信息技术有限公司	
7	软著	测控设备健康管理软件	中国	2021SR2202543	2021-12-29	8925169	北京远山信息技术有限公司	
8	论文	Second-Order Polarization Rotating Frequency-Selective Surface.	IEEE TRANSACTIONS ON ANTENNAS AND PROPAGATION	2020, 69(11): 7976-7988	2021-11-01	DOI: 10.1109/TAP.2021.3076243	西京学院	Baoqin Lin, Wenzhun Huang, Lintao Lv, Jianxin Guo, Zuliang Wang, and Rui Zhu
9	论文	Ultra-wideband and Linear-to-Circular Polarization Conversion Realized by an 8-shaped Meta surface	Plasmonic	2020, 11(3): 1424-1430	2020-11-31	DOI: 10.1007/s11468-020-01321-5	西京学院	Bao-qin Lin, Wen-zhun Huang, Lin-tao Lv, Jian-xin Guo, Shi-gi Huang, Rui Zhu
10	论文	外弹道组网测试引导控制系统设计	宇航测试技术	2017, 37(6): 58-62	2017-10-15	DOI: 10.12060/j.issn.1000-7202.2017.06.12	西京学院	王祖良; 樊凌雁; 黄世奇; 张婷; 王荔斌

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
王祖良	1	无	教授	西京学院	西京学院	网络化测试引导控制流程、测试数据优选算法; 试验靶场多站协同测试三段式接力

						引控方法；OFDM 载波同步算法；多波段雷达统计特征提取算法。
黄文准	2	副校长	教授	西京学院	西京学院	试验场电波极化方向研究
林宝勤	3	无	副教授	西京学院	西京学院	电波传播模型与天线
张婷	4	无	副教授	西京学院	西京学院	弹道优选算法；电力线载波通信系统。
王荔斌	5	无	高工	北京远山信息技术有限公司	北京远山信息技术有限公司	测控坐标变换，测控设备信息流体系结构设计。
王玉军	6	无	高工	西安睿奥电磁环境科技有限公司	西安睿奥电磁环境科技有限公司	数据交汇处理，专利转化实施。
邓海生	7	无	教授	西京学院	西京学院	引导控制软件设计及实施。

八、主要完成单位及创新推广贡献

完成单位	排名	创新推广贡献
西京学院	1	西京学院团队聚焦试验场测控引导与信息化关键技术研发、成果转化及应用推广。作为本项目第一完成单位，全面负责项目的总体规划、项目组织和实施，为本项目的顺利开展提供了大力支持和充分保障。对本项目科技创新和应用推广情况的贡献主要体现在：负责试验场测控引导与信息化关键技术研发；制定总体研究思路及技术路线；研发常规试验靶场多站协同测试接力引控方法提出外弹道组网测试引导控制方法；提出基于高阶统计特征的多波段雷达检测方法，设计高速电力线载波通信系统，建立电波传播路径衰落模型、电波折射误差修正方法和电波极化模型；与合作单位共同实施成果转化工作。
西安睿奥电磁环境科技有限公司	2	西安睿奥电磁环境科技有限公司为本项目合作单位，对本项目贡献主要体现在：与西京学院合作完成发明专利“一种外弹道组网测试引导控制方法”、“一种常规试验靶场多站协同测试三段式接力引控方法”的转化实施；合作完成试验场测控引导方法改造和应用实施；共同完成成果转化和应用推广工作。

北京远山信息技术有限公司	3	北京远山信息技术有限公司为本项目合作单位，对本项目贡献主要体现在：设计开发测控设备信息流分析软件、测控设备健康管理软件和跨网交互代理软件等软件和系统；与西京学院合作完成试验场测控设备自动化体系结构设计及原理验证系统；与中科星图测控技术股份有限公司合作对对测控设备管理信息系统进行升级改造，并在试验场进行推广试用。
--------------	---	--

九、完成人合作关系说明

本项目是由西京学院(王祖良、黄文准、林宝勤、张婷和邓海生)、西安睿奥电磁环境科技有限公司(王玉军)和北京远山信息技术有限公司(王荔斌)共同完成。西京学院四位完成人分别为电子信息学院和计算机学院核心骨干教师，均为西京学院物联网与大数据技术研究中心核心科研人员，形成了多个关键技术相互融合的良好关系。西京学院为项目团队提供所需研究条件，作为第一完成单位，全面负责项目的总体规划、项目组织和实施，为本项目的顺利开展提供了大力支持和充分保障。对本项目科技创新和应用推广情况的贡献主要体现在：负责试验场测控引导与信息化关键技术研发，制定总体研究思路及技术路线，研发常规试验靶场多站协同测试接力引控方法，提出外弹道组网测试引导控制方法，提出基于高阶统计特征的多波段雷达检测方法，设计高速电力线载波通信系统，建立电波传播路径衰落模型、电波折射误差修正方法和电波极化模型，与合作单位共同实施成果转化工作。

2017年起，王祖良、黄文准与林宝勤合作进行试验场电波极化方向研究。设计了基于各向异性超表面的圆极化维持反射器和基于双层各向异性超表面的广角宽带透射型无线电波圆极化器，利用开发的射频性能测试系统进行测试，验证了所设计的计划器的有效性。

2016年起，王祖良、张婷、王荔斌合作，开展外弹道组网测试引导控制系统设计。针对复杂电磁环境测试任务特点，设计了网络化测试引导控制系统；构建了无缝覆盖的多维、异构通信网络模型，建立了电波传播模型，对大气折射误差进行了修正，为通信节点布站和优化提供依据。

2019年起，王祖良、王荔斌、张婷合作，开展试验场测控设备自动化体系结

构设计及系统开发。针对试验测控装备运行特点，设计了利用各测试设备自动捕获跟踪目标，并实现互引导的自动化运行体系结构。通过对任务计划下达、标校测试、参数配置、状态评估、捕获跟踪、离线数据分析处理等进行模块化设计，简化了信息处理流程，降低了自动化运行体系实现难度，显著提升了试验场测控装备信息化和智能化水平。

2020 年起，王祖良、王玉军、邓海生合作，开展试验场测控引导系统开发和推广应用。基于 TCP/IP 协议的以太网技术，设计了利用前 5 个点的数据作最小二乘预测当前弹道值的算法实现，利用莱特准则从各测试设备所测得的当前弹道数值中挑选残差最大的测量弹道，将光电测试设备、雷达系统及遥测系统等测试系统实现互联互通，在引导控制中心的统一调度下实现测试信息融合和实时互引导。

完成人合作关系情况汇总表

序号	合作方式	合作者/项目排名	合作起始时间	合作完成时间	合作成果
1	论文合著	王祖良/1 黄文准/2 林宝勤/3	2017.1	2021.12	Second-radar Polarization Rotating Frequency-elective Surface
2	论文合著	王祖良/1 张婷/4 王荔斌/5	2016.2	2020.5	外弹道组网测试引导控制系统设计
3	产业合作	王祖良/1 王玉军/6 邓海生/7	2020.1	2021.5	试验场测控引导方法应用实施
4	共同知识产权	王祖良/1 张婷/4	2020.3	2022.3	一种外弹道组网测试引导控制方法
5	共同知识产权	王祖良/1 张婷/4	2019.1	2021.12	一种基于 OFDM 的高速电力线载波通信装置及方法
6	共同获奖	王祖良/1 黄文准/2 林宝勤/3 张婷/4 王荔斌/5 王玉军/6 邓海生/7	2016.2	2024.12	试验场测控引导与信息化关键技术及应用