

2026 年度拟提名陕西省科学技术进步奖项目公示内容

一、项目名称

面向平战融合的空地协同量子保密通信关键技术及应用

二、提名者及提名意见

提名者：陕西省委军民融合委员会办公室

提名意见：

本项目以量子保密通信技术筑牢平战两种场景下无人机信息安全底座为目标，完成了面向平战融合的空地协同量子保密通信关键技术攻关，形成了支撑应用的完整软硬件装备体系。其中研制的国内首台无人机搭载全光纤斯托克斯参量编码 QKD 系统，填补了轻量化机载量子保密通信成套装备工程化空白。项目成套技术成果已在军事战术通信、城市反恐演练、山区电力巡检等典型场景实现了落地应用，取得军队系统、陕西省、军工集团等 10 个单位的 11 份应用证明，近 3 年累积经济产值超 3.5 亿元，获得包括 3 位院士在内的国内光量子领域专家的高度评价。

项目发表直接相关的 SCI/EI 期刊论文 18 篇，授权发明专利 14 项，项目形成了兼顾战时无人作战平台保密通信、平时关键基础设施信息安全防护的平战两用安全解决方案。对于推动自由空间量子通信技术发展，稳固我国在机载机动量子通信赛道的先发优势，培育新域新质作战力量，推动低空经济高质量发展具有重大战略意义。对照陕西省科技进步奖授奖条件，成果创造性突出，整体技术先进，契合国家军民融合发展战略，对行业科技进步推动作用重大。

提名该项目申报陕西省科学技术进步奖二等奖。

三、项目简介

无人机在未来战场、低空经济产业、城市反恐处突等领域具有重大应用价值，既是获取非对称作战优势的关键装备，也是激活低空产业新动能、构建城市立体安防体系的核心载体。但俄乌、美伊局部冲突实战案例集中暴露出无人机测控和信息链路存在被干扰、窃取、甚至反控劫持的巨大风险，成为制约无人机作战能力生成和低空经济安全应用的关键“风险点”。量子保密通信具备理论无条件安全的内生特性，能够从根源抵御电磁欺骗、通信窃听、身份伪造等各类攻击，其与无人机测控与信息链路深度融合，可以使安全成为无人机信息链路的“内禀能力”。本项目以量子保密通信技术筑牢平战两种场景下无人机信息安全底座为目标，针对无人机空地协同量子链路全天时持续贯通难、平战分级密钥管控架构与空地异构链路动态调度机制缺、传统量子装备适配机载应用能力弱等三个方面的关键瓶颈，按照“空地链路协同贯通、平战分级密钥服务、机载终端小型化集成”技术攻关路线，完成了机理剖析、核心技术突破与成套装备研制。项目成果在军事战术通信、城市反恐指挥、山区电力巡检等典型场景实现了落地应用，对推动自由空间量子通信技术发展，稳固我国在机载机动量子通信赛道的先发优势，培育新域新质作战力量，推动低空经济高质量发展具有重大战略意义。取得了如下创新性成果：

1.突破了复杂大气信道空地量子态传输与链路协同贯通技术，打通机载发射、

空地跟瞄、光纤落地全链路稳定传输通路。针对航空环境致量子态畸变、动态跟瞄耦合损耗、经典-量子共纤串扰三重链路难题，系统揭示了机载平台量子态退化完整机理，首次提出机载气动效应量子态退化机理及密钥优化提取技术，实现动态信道参数预测与阈值后选择密钥优化提取；创新偏振参考系无关量子态编码及自适应接收技术，突破时/空/频联合滤波背景光抑制技术，解决动态场景下偏振对准困难与日间噪声干扰难题；突破共纤非线性噪声抑制技术，解决强经典信号串扰致量子误码率恶化难题。自主研制无人机光量子自适应跟瞄建链系统及四节点光纤量子通信试验平台，有力支撑了某空中4节点无人机量子通信网络原型系统3km组网试飞验证、地面4节点军事光缆网量子通信设备共纤典型场景应用，主要成果入选全军量子成果展。

2.突破平战融合分级密钥服务与动态链路调度技术，形成覆盖密钥生成、管理、分发和应用的软硬件支撑体系。针对空地自由空间、光纤异构网络拓扑动态变化、平战业务安全等级差异问题，突破空地异构量子网络多链路智能调度技术，实现动态链路资源高效协同与密钥传输优化；突破量子密钥动态防护与融合加密技术，实现多模式、高容量业务安全承载；突破平战分级量子密钥服务架构与装备体系，实现高性能、高安全模式灵活切换，支撑民用无人机等平台快速转役应用。自主研制服务器密码机、量子密钥管理终端、密码卡、量子随机数发生器等成套装备，有力支撑了西安城区反恐实战演练重大任务和秦岭山区电力巡检，同时在多个重点城市量子城域网建设中得到应用。

3.突破小型化机载量子终端集成技术，形成无人机平台量子保密通信网络构建与全天时全方位覆盖应用能力。针对无人机平台体积、功耗、振动、强光噪声多重严苛约束，突破全光纤抗扰动偏振编码与大孔径高效低噪外差探测技术，解决机载振动与日间强背景光干扰难题；突破基于斯托克斯参量编码的连续变量系统相位补偿技术，研制国际首台全光纤斯托克斯参量编码器，解决机载平台集成问题；突破多路低速DAC并行轮询调制，解决机载平台功耗体积限制下高速调制难题；突破正交偏振基底选择性相位操控技术，研制全光纤斯托克斯参量编码器与无人机平台QKD系统，获批安徽省首台套重大技术装备，技术水平达到国际领先。

本项目形成包含无人机光量子自适应跟瞄建链系统、小型化机载量子保密通信终端、波分复用型量子密钥分配终端、空地量子密钥管理平台等4类10台套装备，开发配套软件10套，形成了支撑无人机空地协同量子保密通信应用的完整装备体系，其中研制的国内首台无人机搭载全光纤斯托克斯参量编码QKD系统，获评2025年安徽省首台套重大技术装备，填补了轻量化机载量子保密通信成套装备工程化空白。发表直接相关的SCI/EI期刊论文18篇，授权发明专利14项，培养硕博研究生50余名。项目成套技术成果已在军队系统、陕西省、军工集团等10个单位得到应用，取得应用证明11份，近3年累积经济产值超3.5亿元。项目成果获得包括3位院士在内的国内光量子领域专家的高度评价。

项目完成单位涵盖军地高校、量子科技领军企业，深度参与全国量子通信行业标准、国际标准体系建设，系统培养量子光学、机载光电子集成、量子网络管控、

军事保密通信多领域复合型专业人才梯队，作为会长单位有力支撑了**陕西省量子通信产业协会的成立**，吸引上下游配套企业、科研院所、高端人才集聚，推动陕西量子通信产业从原理验证走向产业化。

四、客观评价

1. 权威专家评价

【郭光灿院士评价】“研制服务器密码机、量子密钥管理终端等关键装备，集成基于量子随机数的密码卡，形成覆盖密钥生成、管理、分发和应用的硬件支撑体系，达到**国内领先水平**。该创新技术可为平战融合能力支撑体系建设提供安全底座，支撑民用无人机快速、安全完成民参军转化。”

【祝世宁院士评价】“突破小型化机载量子终端集成关键技术，达到**国际领先水平**，打破了传统量子终端难以机载搭载的技术壁垒，为民用无人机产业快速动员、规模化装备部署奠定硬件基础，筑牢我国在量子保密通信领域的国际领跑地位。”

【姜会林院士评价】“实现了空地 3km 光量子链路建链试飞验证，稳定建链时间 ≥ 30 分钟，达到**国际领先水平**。打通从机载发射、空地跟瞄、光纤落地全链条工程化通路，对新域新质作战力量建设具有重要价值，具备显著的军事应用前景。”

2. 学术论文评价

【湍流环境下自适应光学量子态传输补偿方案评价】项目提出的基于卷积神经网络的量子通信湍流畸变补偿方案发表于 SCI Top 期刊 *Photonics Research*，并获中科大彭承志院士、复旦大学迟楠教授、深圳大学袁晓聪教授等团队引用。彭承志院士团队肯定了该工作利用深度学习方法补偿湍流效应的贡献。此外，该论文入选**中国激光出版社 2021 年度下载榜前 10**，彰显了其在领域内的学术影响力。

—*Photon. Res.* 9, B9-B17 (2021)

【首个全天候自由空间量子通信实验评价】项目开展的强背景噪声条件下自由空间连续变量量子密钥分发实验，发表于 SCI Top 期刊 *npj Quantum Information*，并获南京大学祝世宁院士、奥地利维也纳量子科学与技术中心、上海交大曾贵华教授等团队引用。祝世宁院士团队评价指出，该实验**首次在白天乃至雨天环境下稳定运行**，安全密钥率突破 100 kbps，充分展示了在复杂气象条件下的实用化前景与应用潜力。

—*npj Quantum Inf.* 11, 52 (2025)

3. 主要用户评价

【95861 部队参谋部信息保障处】“项目研制的量子安全网关、量子密钥分配终端等成果，解决了最大距离为 100km 的 2 个核心节点之间的量子密钥安全传输问题。”“提出的经典—量子信号共纤同传技术，在我部‘**试验核心节点量子保密通信网**’项目中得到了应用，为保障各类数据信息传输安全提供了有力支撑。”

【中国人民武装警察部队铜川支队】“项目研制的加密通信机柜安全防护装置和...地面四节点光纤量子通信试验网，有效解决了光电共纤传输干扰严重、城市复杂场景量子通信组网不稳定、指挥数据传输安全性不足等难题。在我**西安城区反恐实战演练任务**中开展了应用验证，解决了核心指挥信息传输的加密防护难题。”

【中国电子科技集团公司第三十四研究所】“系统运用了...抗扰动偏振编码、高效低噪声外差探测等核心技术，经实际工程应用验证，该成果大幅提升了复杂动态环境下无人机自由空间量子密钥分发的稳定性和抗干扰能力，有效提升了无人系统安全通信保障能力，具备较好的工程应用价值。”

【陕西紫瑞建设工程有限公司】“项目研制的量子密钥分发数据后处理技术，在我单位进行秦陵山区电力巡检时中应用验证，解决通信加密难题。有力支撑量子通信技术在民用低空作业领域应用落地，技术示范效益与创新应用效益显著。”

4. 项目验收意见

2024年3月，国家自然科学基金项目面上项目课题“面向全天候应用的机载QKD关键问题研究”通过国家自然科学基金委员会结题验收。

2020年6月，陕西省自然科学基金基础研究计划项目“基于量子反馈控制的纠缠态制备及其应用研究”通过陕西省科技厅结题验收。

2019年7月，陕西省自然科学基金基础研究计划项目“基于光子角动量的量子计算研究”通过陕西省科技厅结题验收。

2019年6月，国防科研项目“量子保密通信技术在×××地空通信中的应用研究”通过结题验收。

2020年，安徽省科技重大专项“波分复用型量子密码通信设备研制”通过安徽省科技厅验收，完成安徽省科技成果登记。

5. 重大技术装备

项目主要成果“无人机地空自适应跟瞄系统”凭借领先的技术创新性和重大装备价值入选全军量子成果展代表成果。

项目主要成果“波分复用型量子密钥分配终端”凭借领先的技术创新性和重大装备价值入选2021年度安徽省第一批首台套重大技术装备名录。

项目主要成果“基于无人机平台的斯托克斯参量编码自由空间QKD系统”凭借领先的技术创新性和重大装备价值入选2023年度安徽省第四批首台套重大技术装备名录。

6. 查新结论

2026年8月8日，西安交通大学教育部科技查新工作站出具《科技查新报告》结论：“在国内公开发表的相关文献中，与本项目查阅的创新点‘复杂大气信道空地量子态传输与链路协同贯通技术’、‘平战融合分级密钥服务与动态链路调度技术’及‘小型化机载量子终端集成技术’完全相同的未见报道。”

7. 技术检测

【国家密码管理局商用密码检测中心】出具量子密钥发射、接收终端和基于量子随机数的密码卡等《检测报告》（CCTC-SF39-2021-0003、CCTC-SF39-2025-0015、CCTC-SF39-2025-0008、CCTC-SF39-2025-0009）4项产品，结论：量子密钥分发符合《诱骗态BB84量子密钥分发设备检测要求》，量子密钥管理系统符合GM/T 0028《密码模块安全技术要求》安全等级第二级相关要求。

【第三方测试】华测检测认证集团股份有限公司、工业和信息化部第五研究所、

江苏屹信航天科技有限公司等第三方测评机构出具的《经典-量子共纤传输示范应用软硬件设备》、《量子加密通信的攻防安全检测报告》、《面向航空环境的高精度自适应跟瞄系统样机与空中跟瞄系统样机检测报告》等，所有检测结果均符合要求。

五、应用情况和效益

本项目技术已在 95861 部队、中国电子科技集团公司第三十四研究所、中国人民武装警察部队铜川支队、中电信量子科技有限公司、陕西紫瑞建设工程有限公司、湖南省第三测绘院、北京量子信息科学研究院、中华人民共和国深圳出入境边防检查总站、广东电网有限责任公司广州供电局等多家单位推广应用，覆盖军事网络设施建设、重点装备研发、城市反恐指挥安全通信、秦岭山区电力巡检、省会城市量子城域网完善、城市轨道交通核心业务及不动产登记海量涉密数据安全传输等场景。应用单位证明表明，项目构建的空地自由空间量子通信工程化应用链条，形成了兼顾战时无人作战平台保密通信、平时关键基础设施信息安全防护的平战两用安全解决方案，既补齐了机动无人平台信息安全短板，也为低空经济、城市关键基础设施提供了新型安全通信手段，成果契合国家军民融合发展战略，应用前景广阔。

主要应用单位情况表

序号	单位名称	应用的技术	应用对象及规模	应用起止时间	单位联系人/电话
1	中国人民解放军 95861 部队	共纤非线性噪声抑制技术	试验核心节点量子保密通信网建设与应用	2020.09 至今	/
2	中国电子科技集团公司第三十四研究所	全天时自由空间 CV-QKD 终端集成技术、斯托克斯参量编码器载终端集成技术	无人机-无人车双动态平台空地量子密钥系统研制与应用	2022 年 至今	/
3	中国人民武装警察部队铜川支队	平战分级量子密钥服务架构与硬件装备体系	搭建了城区反恐实战量子保密通信系统应用于城市应急指挥、反恐等任务场景	2023.08 -2024.07	/
4	中电信量子科技有限公司	异构量子网络多链路智能调度技术	合肥、北京、上海、广州、深圳、重庆、成都、杭州、西安、石家庄等重点城市量子城域网项目	2021 年 至今	/
5	陕西紫瑞建设工程有限公司	机载气动效应量子态退化机理及密钥优化提取技术	无人机实现秦岭山区电力巡检及量子安全通信应用	2023.08 -2024.07	/
6	...				

六、主要知识产权证明目录

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	一种多倾斜镜量子通信装置和交互方法	中国	ZL202411739960.X	2025.11.18	8490258	中国人民解放军空军工程大学	王星宇；伦华志；李佳豪；曹跃翔；唐杰；石磊；于惠存；魏家华
2	发明专利	量子密钥安全管理方法、系统、计算机设备及存储介质	中国	ZL202410707558.7	2024.08.20	7302131	易迅通科技有限公司	刘艳华；刘永；薛宏；张少华；冯纪元；张晓林；张星
3	发明专利	基于低速DAC控制调制器的高速QKD系统实现方法及发射端	中国	ZL201610750781.5	2019.01.08	3209083	安徽问天量子科技股份有限公司	丁冬平、黄敦锋、张启发、刘梦捷、徐焕银、尹凯、王春生、吕丽影、刘云、苗春华、赵义博
4	发明专利	一种附面层作用下的星-机量子密钥分发仿真方法	中国	ZL 2022 11234199.5	2025.02.07	7706205	中国人民解放军空军工程大学	于惠存；石磊；魏家华；唐杰；李佳豪；曹跃翔
5	发明专利	一种基于连续变量测量设备无关的量子密钥分发系统及其方法	中国	ZL201710164460.1	2020.07.21	3896603	中国人民解放军空军工程大学	李云霞；许振宇；罗均文；蒙文；石磊；徐志燕；杨汝
6	发明专利	一种参考系无关量子密钥分发方法及系统	中国	ZL202310377565.0	2023.06.27	6096876	易迅通科技有限公司	刘艳华；张沛；刘永华；王傅民；常宏泽；薛宏；张友斌；李彬彬；张少华
7	发明专利	一种量子与经典密码融合加密传输设备	中国	ZL202310261335.8	2023.05.23	5981493	易迅通科技有限公司	刘艳华；张沛；刘永华；王傅民；常宏泽；薛宏；张友斌；李彬；张少华
8	发明专利	一种单偏振相位调制光学器件	中国	ZL201910294889.1	2021.02.02	4235830	西安交通大学	张沛；贾俊亮；夏晋；胡马萍；刘青；刘瑞丰

9	发明专利	一种针对复杂环境的相位补偿控制方法	中国	ZL201910085575.0	2021.07.16	4551197	安徽问天量子科技股份有限公司	张启发；黄敦锋；苗春华；王剑；刘云；韩正甫；叶顺君；尹凯；尹家卫；王立霞
10	发明专利	量子光与经典光共纤传输装置及其传输方法	中国	ZL201710795701.2	2022.09.16	5454495	安徽问天量子科技股份有限公司	苗春华；张启发；刘云；韩正甫

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
石磊	1	无	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	项目负责人，技术总体负责。主持 2 类、参与 2 类空地贯通的量子通信软硬件装备研制，创新突破复杂大气信道空地量子态传输与链路协同贯通技术，构建了平战融合分级密钥管控体系，补齐民参军安全组网全链条短板。
刘艳华	2	董事长	无	易迅通科技有限公司	易迅通科技有限公司	参与创新点 1、创新点 2 相关技术内容研究。负责完成分级密钥服务架构技术开发，推动高性能与高安全模式按需切换；组织研制服务器密码机等装备，为复杂环境下规模化应用作出贡献。
张沛	3	院党委副书记	教授	西安交通大学	西安交通大学	对创新点 1、创新点 3 有贡献。创新结合轨道角动量编码及参考系无关协议，解决空地场景下量子态对准难题，发明快速调制解调器件，推动机载量子通信系统小型化、集成化。
张启发	4	无	高级工程师	安徽问天量子科技股份有限公司	安徽问天量子科技股份有限公司	对创新点 1、创新点 3 有贡献。负责开发 4 节点光纤量子保密试验网络光学模块，牵头完成小型化机载量子终端集成技术模块的关键技术攻关，参与设备研制。
王星宇	5	无	讲师	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	对创新点 1、创新点 3 有贡献。负责复杂大气信道空地量子态传输与链路协同贯通技术攻关，参与无人机地空自适应跟瞄建链系统研制，牵头组织完成外场实验验证工作；参与异构量子网络多链路智能调度方法研究，并开展链路调度算法设计。

李佳豪	6	无	讲师	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	对创新点 1 有贡献。参与无人机光量子自适应跟瞄建链样机与四节点光纤量子通信试验网设备研制与试验验证工作，结合高维编码方法破解空基量子通信参考系对准问题，基于波分复用技术推动地基量子通信网络向经济性、拓展性、实用性发展。
刘永华	7	总经理	无	易迅通科技有限公司	易迅通科技有限公司	对创新点 3 有贡献。负责平战分级量子密钥服务架构与硬件装备体系的技术实现，具体承担服务器密码机、量子密钥管理终端等关键装备的研制工作，集成基于量子随机数的密码卡。
魏家华	8	无	副教授	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	对创新点 3 有贡献。提出了空地异构量子网络多链路智能调度方法，实现动态链路资源高效协同与密钥传输优化，参与了无人机量子通信网络原型系统试飞外场技术验证。
于惠存	9	无	讲师	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	对创新点 1 有贡献。负责机载附面层效应量子态退化机理及密钥优化提取技术攻关，发明了附面层作用下的量子密钥分发仿真方法，参与无人机地空自适应跟瞄建链系统研制。
唐杰	10	无	讲师	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	对创新点 1 有贡献。提出大气信道建模仿真方法，揭示机载量子态退化机理，参与无人机地空自适应跟瞄建链系统研制与外场试飞技术验证。

八、主要完成单位情况

完成单位	排名	对本项目主要贡献
中国人民解放军空军工程大学	1	项目第一完成单位和技术总体单位。提出了项目研究的总体方案和技术路线，提出面向平战融合的空地协同量子保密通信关键技术及应用总体思路与体系架构，主要完成动态光束耦合及全天时抗噪自适应接收技术、异构量子网络多链路智能调度技术等内容研究，组织开展空地量子全链路传输、轻量化机载量子终端、平战分级动态密钥管控成套核心技术攻关与软硬件样机研制，推动了上述科技创新成果在无人机地空光量子通信、城市反恐指挥、山区电力巡检等多个军民两用场景的外场试飞验证与工程化应用。

易迅通科技有限公司	2	主要完成量子密钥动态防护与融合加密技术，设计量子加密、经典加密与融合加密协同机制，支撑大容量数据传输和复杂场景下通信业务连续运行，实现高性能与高安全模式按需切换。单位积极推动项目成果在政务安全通信、无人机电力巡检等领域的应用示范，作为陕西省量子通信产业协会会长单位，吸引上下游配套企业、科研院所、高端人才集聚，推动区域量子通信产业从原理验证走向产业化，为本项目在陕的规模化应用和产业化发展作出了重要贡献。
西安交通大学	3	主要完成参考系无关的量子密钥分发技术，研制了单偏振相位调制等器件，攻克了量子态的产生、分束与相位调控核心功能。器件构成的链路具有结构紧凑、易于集成的特点，可直接支撑量子通信系统的机载实用化。相关成果推动了量子保密通信终端在空地协同等复杂场景下的轻量化与集成化，为本项目技术的工程转化和规模化应用提供了关键硬件保障。
安徽问天量子科技股份有限公司	4	主要绕空地协同量子保密通信平战融合的目标，攻关光纤抗扰动偏振编码与大孔径高效低噪外差探测技术、基于斯托克斯参量编码的连续变量系统相位补偿技术、突破多路低速 DAC 并行轮询调制等技术，研制了全光纤斯托克斯参量编码器与无人机平台 QKD 系统，并参与 4 节点网络的建设和设备研制工作。

九、完成人合作关系说明

本项目由第一完成人石磊牵头，各完成人围绕面向平战融合的空地协同量子保密通信关键技术及应用开展了长期、稳定的合作，主要合作关系如下：

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	共同科研论文	李佳豪、石磊、张启发	2021.05	至今	经典-量子信号共信道传输实验噪声分析及性能优化
2	共同科研论文	唐杰、张沛、石磊	2025.06	至今	Experimental revival of squeezing-enhanced phase measurement in noisy quantum channels
3	共同知识产权	刘艳华、张沛、刘永华	2023.10	至今	一种应用型高维度量子与经典密码融合加密终端
4	共同知识产权	刘艳华、张沛、刘永华	2023.05	至今	一种量子与经典密码融合加密传输设备
5	共同知识产权	刘艳华、张沛、刘永华	2023.06	至今	一种参考系无关量子密钥分发方法及系统
6	共同知识产权	王星宇、李佳豪、唐杰、石磊、于惠存、魏家华	2025.11	至今	一种多倾斜镜量子通信装置和交互方法

7	共同知识产权	刘艳华、刘永华	2024.08	至今	量子密钥安全管理方法、系统、计算机设备及存储介质
8	共同知识产权	于惠存、石磊、魏家华、唐杰、李佳豪	2025.02	至今	一种附面层作用下的星-机量子密钥分发仿真方法
9	产业合作	石磊、张启发	2020.01	2022.01	量子通信系统采购合同
10	科技合作	石磊、刘艳华、刘永华	2023.08	2024.07	基于阈值实时选择的参考系无关量子密钥分发技术
11	科技合作	石磊、刘艳华、刘永华	2023.08	2024.07	基于量子共纤干扰抑制的机柜安全防护与城域光纤量子通信加密组网技术