推荐国家科技进步奖项目公示

项目名称	宽带移动通信测试技术与仪器研发及产业化应用
提名专家	尤肖虎，蓝羽石，周万幸
主要完成人	洪伟，蒋政波，张念祖，田玲，王海明，陈向民，王洪博，石美宪，陈鹏，于磊
主要完成单位	东南大学，上海创远仪器技术股份有限公司，中国信息通信研究院

提名单位（专家）意见：

1、提名专家：尤肖虎（东南大学、教授、通信技术）

移动通信测试技术与测量仪器是行业核心技术体系的重要组成部分。在多个国家科技重大专项课题的支持下，该项目在分布式实时双向 MIMO 信道测量、LTE-A MIMO 信道模拟、宽带矢量信号产生与分析、无线网络优化测量等方面开展了创新研究。该项目三家完成单位开展了长期的产学研合作，充分发挥各自优势，在理论方法研究、关键技术突破、标准制定、产品生产、产业化应用等方面进行了全链条创新，所取得的成果为我国移动通信标准研究、产品研发、设备生产、网络建设整个产业生命周期提供给了先进的测试解决方案，在多个领域填补了国内空白，整体达到国际先进水平，提高了我国高端通信测试仪器的自主可控能力。该项目获得了一批国家发明专利，完成了多项国际国内标准提案，发表了一系列高水平学术论文。研发成果均已实现产业化应用，获得了显著的经济社会效益，对增强我国移动通信产业链的整体实力发挥了重要作用。

提名申报国家科技进步奖二等奖。

2、提名专家：蓝羽石（中国电子科技集团公司第二十八研究所、研究员、计算机应用）

我国高端通信测量仪器长期被国外企业垄断，是通信行业乃至整个电子信息行业的短板。该项目自 2006 年起，在多个国家科技计划支持下，开展了深入系统的研究。在分布式实时双向 MIMO 信道测量、宽带矢量信号产生与分析、MIMO 信道模拟、无线网络优化测量等方面取得了关键技术突破，获得了一批重要知识产权，成功实现了产业化，广泛应用于移动通信运营商、基站设备与终端厂商、科研院所等单位，为我国移动通信产业的发展提供了有力的测试支撑，为提高我国高端通信测试仪器的自主可控做出了重要贡献。

提名申报国家科技进步奖二等奖。

3、提名专家：周万幸（中国电子科技集团公司第十四研究所、研究员级高工、通信技术）

为了满足我国移动通信产业对测试技术和测试仪器的需求，该项目在相关测试技术方面开展了系统深入的创新研究，研制了一系列核心测量仪器。实现了分布式实时双向 MIMO 信道测量，研制了国内首套多频段、多通道、百兆带宽信道测量系统。提出了二维级联的创新架构，研制了国内首套宽频段、大带宽、8 通道 LTE-A MIMO 信道模拟器。突破了通用通信测量仪器系列核心技术，研制了国内首套百兆分析带宽、支持 LTE-A 等宽带移动通信标准的台式一体化矢量信号源与信号分析仪、高集成度手持天馈线分析仪、多端口矢量网络分析仪等。攻克了同频干扰检测等一系列技术难题，引领了扫频仪技术发展。该项目获得了一批重要知识产权，研究成果均已实现产业化，在国内外广泛应用，取得了显著的经济社会效益，对我国高端电子测量仪器的发展起到了重要的推动作用。

提名申报国家科技进步奖二等奖。

项目简介：

移动通信测试技术及测量仪器是行业核心技术体系的重要组成部分，而且是贯穿研发、制造和应用各个环节的关键支撑技术。十几年前，我国高端通信测试仪器绝大部分依赖进口，不仅价格昂贵，而且受国际形势影响，是主要的卡脖子或短板领域之一。在多个国家科技重大专项课题的支持下，该项目在宽带移动通信测试技术与仪器研发及产业化应用方面取得了突破，主要实现了四个方面的科技创新：

1、 首次实现了分布式实时双向 MIMO 信道测量系统，支持移动状态下的快速信道测量。提出了低峰均比最优导频、高精度定时偏移和信道联合估计等一系列新算法，研制了国内首套多小区、多频段、多通道、百兆带宽 MIMO 信道测量仪，提取了多种场景的信道特征参数，提交了多项国际标准提案，并被国际电信联盟（ITU）采纳。

2、 提出了一种 4M×4N 模块化和二维级联的 MIMO 信道模拟器架构，实现了分布式流水线处理，解决了宽带大规模 MIMO 信道模拟带来的极大资源消耗和海量数据交互问题，创新性地实现了高分辨率、低相噪频率合成器和多频多模可扩展多通道射频，研制了国内首套 0.4-6GHz 频段、8×4 MIMO 信道模拟器，实现了高端信道模拟器的自主可控。

3、 突破了通用通信测量仪器系列核心技术。提出了多通道同步和时延校正方法，实现了基于谐波混频的无分频器频率合成方法，攻克了调度、干扰等一系列技术难题，研制了国内首台百兆带宽的高性能台式一体化 LTE-A 信号源与分析仪，降低了基站测试系统的复杂性和成本。研制了国内首台真实 10 端口台式矢量网络分析仪，与传统的基于开关矩阵的多端口天线测试方案相比，测量速度提高了数倍。研制了高集成度手持天馈线分析仪，实现大规模量产，并被美国仪表企业贴牌在全球市场销售。

4、 攻克了移动通信空口测量仪器中长期存在的增益控制与测量定标难以兼顾的共性问题，奠定了融合接收机与测量仪器双重属性的扫频仪架构基础。突破了同频干扰条件下制约小区检测动态的瓶颈问题，使扫频仪的检测范围提升数倍。首次提出了一种以噪声为主导的全新信噪比估计算法，同时提高了弱信号下的测量精度和可信度。实现了基于递推的镜频干扰消除法，使得射频硬件成本降低约三分之一。十多年来，伴随移动通信的发展，领先国外竞争对手陆续推出了 2G/3G/4G/NB-IoT 等多种制式扫频仪，为我国移动通信网络规划与优化提供了测试支撑，在国内绝大多数省市得到长期广泛应用。

该项目获授权发明专利 46 项，被采纳的国际国内标准提案 7 项，软件著作权 12 项，发表学术论文 51 篇。研究成果均已实现产业化，并应用于中国移动、中国电信、中国联通、华为、中兴、大唐移动、爱立信、诺基亚西门子、中电科五十所、中国信通院、中科院微系统所等企业和科研院所，部分产品批量销售至欧美国家，累计销售额已超过 5 亿元，取得了显著的经济和社会效益。

客观评价：

1. 国家科技重大专项课题“电波测量与信道建模技术研究”的责任专家评价：“自主研制成功百兆带宽 4 发 4 收 MIMO 信道测量系统……，对多频段、多种场景的信道特性进行了测量及建模，提取了大量 MIMO 信道模型参数，已建立容量为 8TByte 的多场景 MIMO 信道的测量数据与信道参数数据库，完成了合同规定的考核指标。申请专利和提交文稿、论文的数量已超过合同规定指标”。
2. 工信部组织的验收专家组对国家科技重大专项课题“多天线无线信道模拟器研发”的验收意见为：“课题组在 MIMO 信道模拟分布式流水线处理方案，支持宽带射频处理的技术，数字式多径衰落特性模拟器可扩展架构及多路时钟同步方法等方面有创新”。
3. 工信部组织的验收专家组对国家科技重大专项课题“LTE 及 LTE-Advanced 信号源及无线信号分析仪开发”进行了验收，专家组认为：“课题组研究开发了 LTE 及 LTE-A 矢量信号源及信号分析仪硬件和软件平台，研制了高性能百兆带宽的一体化台式矢量信号源与分析仪……在基于牛顿向后插值滤波器的采样率转换算法、基于分块式结构的功率快速校准、高精度大动态数字化幅度调制、下行控制信道盲检、本振近端杂散自动测试校准及频谱仪功率快速自动定标等技术方面有创新”。
4. 联芯科技、上海无委等单位对该项目研制的 MIMO 信道模拟器进行了测试，验证了输出功率精度、频率准确度、多径衰落与多普勒频移等功能，测试了 TM2 模式 LTE-A 单小区吞吐率和 TD-LTE Cat.7 芯片组吞吐率，测试结果与预期符合。

应用情况：

该项目成果由上海创远仪器技术股份有限公司和中国信息通信研究院实现了产业化应用。该项目研制的扫频仪和基站模拟器已在市场销售十多年，主要用户包括移动、电信、联通三大运营商和华为、中兴、大唐、爱立信、诺西等系统设备厂商，应用地域覆盖了全国绝大多数省市，对于提升我国移动通信网络优化效率和网络质量发挥了重要作用。利用该项目研制的信道测量系统，在南京、上海、北京等地开展了大规模信道测量工作，采集了大量实测数据，提出了 4G/5G 传播模型，由中国信息通信研究院牵头向国际电信联盟（ITU）提交了多项 5G 毫米波传播模型标准提案，已有 4 项被 ITU 采纳。基于该项目的信道模拟技术为中国电子科技集团第五十所定制开发了高性能专用信道模拟系统，提高了我国在复杂信道模拟方面的自主可控能力。基于该项目技术，研制了一系列通用通信测量仪器，矢量信号源、信号分析仪、矢量网络分析仪及相关衍生产品已批量生产销售，应用对象包括通信、卫星导航等国民经济重要领域；高集成度手持天馈线分析仪，实现大规模量产，并被美国仪表企业贴牌在全球市场销售。

主要知识产权和标准规范等目录：

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
发明专利	一种 FDD-LTE 系统的同频小区检测方法	中国	ZL201010521016.9	2012-10-24	1067571	东南大学	洪伟、徐文虎、蒋政波、刘进、田玲	有效
发明专利	一种提高无线信道测量的定时同步精度的方法	中国	ZL201210050564.7	2015-03-25	1615895	江苏中兴微通信息科技有限公司（原权利人东南大学转让）	王海明、洪伟、杨广琦、张念祖、张慧、余晨	有效
发明专利	基于分布式架构的多天线双向信道测量装置的校准方法	中国	ZL201510665762.8	2017-06-09	2510826	东南大学	张念祖、王海明、洪伟、周健义	有效
发明专利	一种应用于 LTE 信道模拟器的宽带频率源	中国	ZL201410003575.9	2017-02-08	2375032	东南大学	田玲、张念祖、李垚、朱晓维、张雷、陈鹏、余旭涛	有效
发明专利	一种多模式多天线信道模拟器射频前端的实现方法和实现结构	中国	ZL201510543618.7	2017-05-10	2480627	东南大学	田玲、李垚、袁云辉	有效
发明专利	基于谐波混频的无分频器宽带低相噪频率合成器	中国	ZL201410025497.2	2017-02-08	2374782	东南大学、上海创远仪器技术股份有限公司	蒋政波、洪伟、李胜寅、鲁永智、田玲、陈亿元	有效

发明专利	实现多通道信号分析同步与时延校正的系统及方法	中国	ZL201510106745.0	2017-03-29	2430996	上海创远仪器技术股份有限公司	陈爽、陈向民	有效
发明专利	一种高带宽大规模 MIMO 信道模拟的方法与装置	中国	ZL201510791889.4	2018-11-07	3198526	东南大学	张念祖、杨广琦、翟建锋、洪伟	有效
ITU 标准	Proposed Modification to Recommendation ITU-R P.1238 - Indoor millimeter-wave channel measurements and modelling at multi-frequency bands	联合国	3K/198	2017-08-13	国际电信联盟	中国信息通信研究院	王洪博、庞帅、吴克利、张沛泽、王海明、洪伟、周宇、孙向前	有效
ITU 标准	Proposed Modification to Recommendation ITU-R P.1411 - Millimeter-wave channel measurement and modelling for outdoor street canyon environment at 25.5 and 39.5 GHz	联合国	3K/135	2017-03-06	国际电信联盟	中国信息通信研究院	王洪博、张沛泽、吴克利、王海明、洪伟、周宇、孙向前、周峰、孙景禄、魏克军、陈晓贝、罗振东	有效

主要完成人情况：

1. 洪伟，排名 1，教授，工作单位：东南大学，完成单位：东南大学，是该项目总体技术负责人，对创新点 1、2、3、4 均有重要贡献，具体负责 MIMO 信道测量仪、MIMO 信道模拟器等系统架构和技术路线。
2. 蒋政波，排名 2，副研究员，工作单位：东南大学，完成单位：东南大学，对创新点 2、3、4 有重要贡献，具体负责矢量信号源、矢量信号分析仪、无线网络扫频仪的架构与关键技术研究等。
3. 张念祖，排名 3，副研究员，工作单位：东南大学，完成单位：东南大学，对创新点 1、2 有重要贡献，具体负责 MIMO 信道测量仪与模拟器基带硬件平台和模拟算法架构。
4. 田玲，排名 4，副研究员，工作单位：东南大学，完成单位：东南大学，对创新点 2、3、4 有重要贡献，具体负责信道模拟器、矢量信号源和扫频仪的射频前端研制。
5. 王海明，排名 5，教授，工作单位：东南大学，完成单位：东南大学，对创新点 1 有重要贡献，具体负责 MIMO 信道测量系统物理层技术、信道测量与建模技术研究。
6. 陈向民，排名 6，研究员级高工，工作单位：上海创远仪器技术股份有限公司，完成单位：上海创远仪器技术股份有限公司，对创新点 2、3 有重要贡献，具体负责 MIMO 信道模拟器硬件架构，实现了多通道信号分析同步与时延校正的系统及方法。
7. 王洪博，排名 7，高级工程师，工作单位：中国信息通信研究院，完成单位：中国信息通信研究院，对创新点 1 有重要贡献，具体是基于信道测量数据，牵头撰写 5G 信道模型标准提案。
8. 石美宪，排名 8，高级工程师，工作单位：中国信息通信研究院，完成单位：中国信息通信研究院，对创新点 3 有重要贡献，具体是负责测试方法研究。
9. 陈鹏，排名 9，副研究员，工作单位：东南大学，完成单位：东南大学，对创新点 4 有重要贡献，具体是设计了第一代 TD-SCDMA 扫频仪基带处理板。
10. 于磊，排名 10，高级工程师，工作单位：上海创远仪器技术股份有限公司，完成单位：上海创远仪器技术股份有限公司，对创新点 3 有重要贡献，具体负责矢量网络分析仪和手持式天馈线分析仪等研制。

主要完成单位及创新推广贡献：

东南大学：

东南大学针对宽带移动通信测试技术开展了长时间的研究开发工作，取得了丰富的创新研究成果，突破了一系列关键技术，通过“东大-创远电子测量技术联合研究中心”，合作研制了 MIMO 信道测量仪、MIMO 信道模拟器、矢量信号源与分析仪等测量仪器。在多频点宽带 MIMO 信道测量原理与方法上，取得一系列创新成果。在分布式实时双向测量等多项关键技术上取得了创新性的突破，研制了国内首套具有自主知识产权的，覆盖 4 个频段、百兆带宽的 4×4 MIMO 信道测量仪。研制成功了国内首套自主知识产权的 0.4-6GHz 频段、8×4 MIMO 信道模拟器，提出了一种 4M×4N 模块化和二维级联的创新架构，实现了高分辨率低相噪频率合成器和多频多模多通道射频前端。开展了高性能通用矢量信号产生关键技术研究，开发了信号产生与分析的软件通用平台，研制了具有 160MHz 带宽、支持 LTE-Advanced 等宽带移动通信标准的矢量信号源。针对移动通信网络优化，研究了扫频路测关键技术，开发了支持 TD-SCDMA、TD-LTE 等移动通信标准的多频多模扫频仪。

上海创远仪器技术股份有限公司：

上海创远仪器技术股份有限公司（简称：创远仪器）自 2006 年起与东南大学合作开展移动通信网络规划与优化测试技术研究，2012 年起，创远仪器与东南大学通过联合研究中心，联合完成了国家科技重大专项课题，研制了 MIMO 信道模拟器、矢量信号源与矢量信号分析仪等测量仪器。创远仪器在需求分析、产品定义、整机软件与结构设计、应用开发、产品化与工程化、市场推广等方面做出了重要贡献。该项目的主要技术成果，通过创远仪器成功转化为有竞争力的产品，并销售给中国移动、中国电信、中国联通、华为、中兴、大唐移动、爱立信、诺基亚西门子、中电科五十所等单位，有力推动了该项目科技成果的应用，创造了良好的经济和社会效益。研发的手持式天馈线分析仪实现大规模量产，并被美国仪表企业贴牌在全球市场销售。

中国信息通信研究院：

中国信息通信研究院与东南大学、创远仪器合作，开展了移动通信测试方法研究与标准制定，主持制定了多项移动通信行业标准，向国际电信联盟（ITU）提交了多项国际标准提案，其中有 4 项标准提案已被 ITU 采纳。

完成人合作关系说明：

自 2006 年起，东南大学洪伟教授（第 1 完成人）领导的团队针对移动通信测试技术开展了系统深入的研究，并和上海创远仪器技术股份有限公司进行了持续的产学研合作，第 2、3、4、5、9 完成人均是第一完成人在不同时期指导的研究生，毕业后均留在东南大学毫米波国家重点实验室工作，与第 1 完成人在科研项目、论文专著和知识产权方面有长期合作。

东南大学（第 1 完成单位）与上海创远仪器技术股份有限公司（第 2 完成单位）建有“东大-创远电子测量技术联合研究中心”，本项目的大部分研究工作在此联合研究中心完成，第 1 完成人是该联合研究中心主任，第 2 完成人是联合研究中心副主任，第 6 完成人陈向民是联合研究中心的管委会委员。

上海创远仪器技术股份有限公司建有“上海无线通信测试仪器工程技术研究中心”，第 1 完成人为该工程中心技术委员会主任，第 6 完成人是该工程中心主任，第 10 完成人是该工程中心的业务带头人，负责网络分析仪和天馈线分析仪开发。

中国信息通信研究院（第 3 完成单位）与东南大学及上海创远仪器技术股份有限公司有长期的合作，联合承担了国家科技重大专项课题。第 1 完成人、第 5 完成人与第 7 完成人等共同提交了 ITU 标准提案。第 8 完成人参与了第 2 完成人主持的国家科技重大专项课题。