

推荐国家科技进步奖项目公示

项目名称	卫星导航定位基准站网精密处理关键技术与应用
推荐单位	教育部
推荐单位意见： <p>我单位认真审阅了该项目推荐书及附件材料，确认全部材料真实有效，相关栏目均符合国家科学技术奖励工作办公室的填写要求。</p> <p>卫星导航定位基准站网不仅是实现高精度导航定位与位置服务关键平台，也是全球和国家坐标参考框架建设的重要基础设施。当前，大规模、多系统、长时间跨度的基准站网精密数据处理是卫星导航定位领域国际性难题。项目围绕解决此难题，瞄准国家高精度坐标框架建立和导航位置服务的重大需求，历经十余年的技术攻关，突破实现了站数不受限制的基准站网整网解算、基准站运动信号与噪声分离、多频多系统数据融合处理等关键技术，形成了一套系统的基准站网建立的技术方案和数据处理方法体系。项目整体达到国际先进水平，大规模 GNSS 基准站网整体解算和环境负载模型等处于国际领先水平。</p> <p>项目为我国首个建设的深圳 GPS 连续运行基准站网、湖北北斗地基增强系统基准站网提供了系统方案和技术支撑，并推广应用于江苏等近 100 个省、市级 GNSS 连续运行参考站系统的建设，引领了我国连续运行基准站网建设的发展；在“国家现代测绘基准体系基础设施”等重大项目中用于构建高精度坐标框架；同时，也在湖北等气象部门的数值天气预报、灾害性暴雨监测分析中应用；此外还在德国地学研究中心等国际机构的地震监测科学研究中得到应用。</p> <p>通过技术攻关和工程实践，项目取得了一批有重要影响的创新成果，丰富和完善了卫星导航定位精密数据处理理论与方法。同时，不但形成了一支实力雄厚的高水平研究团队，而且也为推进卫星导航定位行业的发展建立了一支高科技素质的队伍。</p> <p>对照国家科学技术进步奖授奖条件，特推荐该项目申报 2017 年度国家科学技术进步奖一等奖。</p>	

项目简介：

基准站网是增强全球卫星导航系统（GNSS）性能的基础设施，是实现高精度导航定位与位置服务关键平台，也是建立全球、国家和区域坐标参考框架的根本途径。随着基准站网规模的不断增大，观测数据的不断积累，以及 GPS、北斗等 GNSS 的建立，基准站网精密处理面临着不少问题与挑战，主要有：大规模网需要分子网解算以致其计算理论不严密、效率低；基准站运动的信号与噪声难以分离，导致其坐标和速度计算不准确；在卫星信号接收困难区域，单一 GNSS 定位可靠性不高、可用性差。因此，大规模、长时间跨度、多系统的基准站网精密数据处理成为当前卫星导航定位领域中的国际性难题，也是阻碍卫星导航定位应用的一道难关。

本项目围绕解决上述难题，瞄准国家高精度坐标框架建立和导航位置服务的重大需求，历经十余年的技术攻关，突破了上千个基准站整体解算、基准站运动的信号与噪声分离、多频多系统数据融合处理等关键技术，形成了一套系统的卫星导航定位基准站网精密数据处理方法。

主要技术内容和创新：

1. 建立了基于高精度距离观测值的基准站网整体解算新模型，可统一分析上千个基准站的数据，解决了传统上分子网解算大规模基准站网而导致的计算效率低、理论不严密问题，实现了基准站坐标的精确、快速获取。

2. 提出了 GNSS 坐标时间序列非线性建模新方法，精确定量确定了未模型化的海洋潮汐等误差的影响，构建了精密环境负载模型，解决了基准站运动信号与噪声难以分离的问题，提高了基准站坐标和速度场的确定精度。

3. 提出了北斗卫星多路径效应建模、顾及频间偏差的 GLONASS 模糊度固定、多 GNSS 数据预处理等系列新方法，解决了多系统融合定位中模糊度难以固定、定位精度不高等问题，显著提高了信号接收困难区域的 GNSS 定位可靠性与可用性。

4. 形成了一套基准站网建立的技术方案和数据处理方法体系，为我国 GNSS 基准站网建设提供了有力支撑；并提出了基于基准站网建立坐标参考框架和反演水汽分布的新方法，提升了基准站网在测绘和气象等领域的应用效果。

获发明专利 2 项，软件著作权 4 项，发表论文 120 余篇，其中 SCI/EI 收录 72 篇，并获中国卫星导航定位科技进步特等奖。与 GNSS 国际权威机构 IGS 解算 460 个测站的情况相比，项目的解算效率提高近 6 倍，定轨精度提高约 15%；建立的环境负载模型，与国际通用的 QOCA 和 GGFC 模型相比，精度提高 10-15%，效果最优。

项目不仅为我国首个城市级（深圳）、省级（广东）GPS 连续运行基准站网的建设提供了系统方案和技术支撑，而且率先在湖北建成北斗地基增强系统的基准站网，并应用于江苏等近 100 个省、市级基准站网的建设，引领了我国 GNSS 基准站网的发展和应用。同时，成果在“国家现代测绘基准体系基础设施”、“港珠澳大桥”等国家重大专项工程中，用于构建高精度坐标框架，发挥了重要作用；也被湖北等气象部门用于数值天气预报、灾害性暴雨监测分析。此外，还在德国地学研究中心等国际机构的全球参考框架、地震监测等研究中得到应用。

客观评价：

项目成果在《Journal of Geodesy》、《GPS Solutions》、《测绘学报》等大地测量及卫星导航定位领域的国际、国内权威刊物发表论文 120 余篇，其中 SCI/EI 收录 72 篇；获发明专利 2 项，软件著作权 4 项；获得 2016 年中国卫星导航定位科技进步特等奖，2013 年国家测绘科技进步一等奖，2015 年国家地理信息科技进步一等奖；并在国际会议 ISGG 2016 上作特邀报告汇报项目成果。

一、技术检测报告和项目验收意见、鉴定结论

“大规模 GNSS 基准站网数据处理与服务技术（2007AA12Z312）”课题验收意见如下：研究了区域型基准站网数据处理方案，完善了模糊度参数消去-恢复方法，解决了大规模基准站网（站数 200 个）的整体快速解算问题。湖北省软件评测中心对该项目开发的软件功能及技术指标进行了测试，结果如下：在同等条件下，新方法的解算时间优于已有方法的 30% 以上，可解算基准站点数为国际权威软件 GAMIT 采用已有方法的 1.5-2.0 倍以上（可同时解算 200 个以上基准站的数据）。

由宁津生、陈俊勇院士等专家组成的鉴定委员会对项目《山西省连续运行基准网及综合服务系统》进行了鉴定，认为“SX CORS 建立了高精度的山西省连续运行基准站网，由均匀分布的 67 个基准站组成，.....是国内精度最高的省级 CORS 系统之一。项目成果整体达到了国际先进水平。”

以孙家栋院士为组长的鉴定委员会对《北斗地基增强系统湖北示范项目（湖北省北斗精密定位服务系统）》进行了鉴定，认为“建成了湖北省 30 个北斗连续运行基准站及相应的北斗精密定位服务系统，.....项目建立了国内首个省级北斗精密定位服务系统，各项指标达到或优于国际当前水平，为湖北省北斗应用推广与产业化提供了基础平台，实现了北斗高精度应用工程示范的预期目标。.....达到了国际先进水平，并建议向社会推广使用。”

由宁津生、郭仁忠院士等专家组成的鉴定委员会对项目《珠海高精度三维陆海统一测绘基准建立及其理论与技术研究》进行了鉴定，认为项目“综合采用精密数据处理方法，建立了以北斗为主覆盖珠海市陆海全区域的多模卫星导航与位置服务系统，该成果对全国建立以北斗为主的多模卫星定位系统具有重要的借鉴作用。.....项目建成了覆盖珠海市全域的高精度、动态、三维、陆海统一的现代测绘基准。项目技术先进，整体达到了国际先进水平。”

二、国内外同行学术评价

国际相关领域专家学者对项目成果进行了高度评价。如全球地球物理流体中心（GGFC）主席 Tonie van Dam 教授肯定了项目组“环境负载对 GPS 时间序列及其建模的影响和物理解释成果”。

成果也被国际著名学者发表在国际权威期刊中的文章引用并肯定。美国科学院院士 Paul Segall 在国际权威期刊《Journal of Geodesy》发表文章，引用了项目组“长时间跨度时间序列非线性运动建模”成果，认为项目组“研究的长周期误模型化误差影响，是时间序列中闪烁噪声的主要来源之一”。德国地学研究中心的

R. Dill 在地学权威期刊《Journal of Geophysical Research》和《Journal of Geodynamics》相继发表文章，肯定并引用了项目组“长时间跨度时间序列非线性运动建模”研究成果，认为“.....Jiang 等在 GPS 高程时间序列中也发现了类似的区域变形信号”。

成果还被国内高水平同行引用并获得了肯定评价。中国科学院院士、我国著名大地测量学家杨元喜教授在《中国科学：地球科学》上发表文章，引用“长时间跨度时间序列非线性运动建模”成果，认为项目组“证实了时间序列中的地球物理信号并未表现为严格的谐波特性”。中国科学院测量与地球物理研究所闫昊明研究员等在《Geophysical Journal International》发表文章，引用了项目组“长时间跨度非线性建模”成果，认为“考虑高阶电离层效应的影响可以提高垂直地壳形变量的估计”。

三、用户应用评价

在国家 GNSS 基准站网精密数据处理方面，国家基础地理信息中心将该成果用于构建与国家测绘基准一致的、动态的、高精度区域坐标框架，用户认为基于项目方法“获得了 1993 年以来的 34 个国家连续运行基准站，精度优于 0.5mm/a（其中国家级基准站速度场精度优于 0.2mm/a），显著优于传统方法确定的速度场精度。基于基准站速度场建立的动态监测机制，有效保证了我国现代基准成果的精度及现势性”。

在省（自治区）、市等区域基准站网精密数据处理方面，江苏省测绘工程院等单位将项目“基准站网精密快速解算”方法用于“江苏省连续卫星定位参考站综合服务系统”建设中，用户认为“得到了 JSCORS 83 个基准站的精密三维坐标及速度场，建设的 JSCORS 系统已向全省 2000 多个用户提供了实时网络差分定位服务，减少了约 20%的建站成本，在保证精度和可靠性的前提下显著提高了工作效率”。在此基础上构建了与国家测绘基准一致的江苏省空间定位基准框架，用户认为“在技术理念、实现方式、服务领域等多个方面促使现行测绘基准体系产生深刻变革，对于加快信息化测绘体系、全面提高测绘保障能力和服务水平具有重要意义”。

在与测绘相关的气象、交通、电力等行业方面，湖北省气象局将项目水汽遥感成果应用于省内短期天气预报中，用户认为“效果显著，精度可靠，测站布设成本低，能够全天不间断的进行观测，可以实现在各种恶劣天气条件下的对大气水汽不间断高精度的监测，对于推进本地区的数值天气预报和灾害性暴雨监测分析具有重要意义”。

推广应用情况：

项目成果成功用于国家重大专项工程，省、市级基准网建设，国土、气象等行业以及科研教学单位。应用单位超 100 家。(1) 在国家 GNSS 站网建设和精密数据处理方面，项目成果在“国家现代测绘基准体系基础设施建设”国家重大专项工程中发挥了重要作用。(2) 在省、自治区 GNSS 站网建设与精密数据处理方面，项目成果已成功用于江苏、重庆等近 100 个省、市级 GNSS 连续运行参考系统的建设和部分省级北斗地基增强系统的建设。(3) 在与测绘相关的气象、交通等行业，项目成果已用于湖北、浙江等省市地区的大范围高分辨率水汽监测中；项目成果也用于长江干线连续运行参考站系统的建设。此外，项目还在国土、电力、规划、地质、环境等相关行业得到广泛应用，更好地满足了不同行业对卫星导航定位服务的要求。下表选列出了主要应用单位情况：

应用单位名称	应用技术	应用的起止时间	应用情况
国家基础地理信息中心	基准站网建立的技术方案和数据处理方法体系	2010-至今	成功应用到“国家现代测绘基准体系基础设施建设”等国家重大专项工程
江苏省测绘工程院	基准站网建立的技术方案和数据处理方法体系	2006-至今	应用于“江苏省连续卫星定位参考站综合服务系统”
内蒙古自治区测绘院	基准站网建立的技术方案和数据处理方法体系	2011-至今	在内蒙古自治区连续运行卫星定位服务系统”等项目中得到成功应用
四川省第一测绘工程院	多系统多频率 GNSS 数据融合技术	2012-至今	成功应用到“四川省北斗导航与位置服务平台”的建设
河北省测绘资料档案馆	基准站网建立的技术方案和数据处理方法体系	2010-至今	用于“河北省卫星定位综合服务系统”的建设
河南省测绘工程院	大规模网整体快速解算方法	2010-至今	在河南省连续运行参考站综合服务系统建设中成功应用
吉林省基础地理信息中心	基准站网建立的技术方案和数据处理方法体系	2011-至今	在 JLCORS 的建设中得到成功应用
广西壮族自治区测绘地理信息档案资料馆	基准站网建立的技术方案和数据处理方法体系	2010-至今	用于“广西现代空间定位基准的建立和似大地水准面的确定”
湖南省测绘科技研究所	大规模网整体快速解算方法	2011-至今	用于“湖南省卫星定位连续运行基准站系统”
广东省国土资源测绘院	基准站网建立的技术方案和数据处理方法体系	2006-至今	在“广东省连续卫星定位参考站综合服务系统”项目中得到应用

青海省第一 测绘院	大规模网整体快速 解算方法	2012-至今	用于“青海省藏区现代测 绘基准”项目
湖北省气象信 息与技术保障 中心	地基 GNSS 大气水汽 监测	2010-至今	用于湖北省的短期天气预 报中，效果显著
浙江省气象科 学研究所	地基 GNSS 大气水汽 监测	2008-至今	在浙江省的短临预报预警 天气预报项目中得到成功 应用

主要知识产权证明目录:

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	发明专利有效状态
发明专利	GPS 坐标时间序列环境负载修正方法及系统	中国	ZL201410468973.8	2016年9月28日	2252641	武汉大学	姜卫平; 李昭等	有效
发明专利	一种基于导航卫星精密轨道和精密钟差的精密定位方法	中国	ZL201510164450.9	2016年3月2日	1969900	武汉大学	叶世榕等	有效
软件著作权	GNSS 坐标时间序列分析软件 V1.0	中国	2016SR372871	2016年12月14日	01358546	武汉大学	姜卫平等	有效
软件著作权	Kin_P3 动态精密单点定位软件 V1.0	中国	2011SR102758	2011年12月29日	00074425	武汉大学	叶世榕等	有效
软件著作权	精密单点定位在线服务系统 V1.0	中国	2010SR044804	2010年8月30日	0233077	武汉大学	姜卫平; 陈华等	有效
软件著作权	自动分区坐标转换软件 V1.0	中国	2014SR092509	2014年07月07日	00494345	山西测绘工程院; 武汉大学	陈弘奕; 曾波等	有效

主要完成人情况:

- 1.姜卫平, 排名 1, 主任, 教授, 工作单位: 武汉大学, 完成单位: 武汉大学, 项目负责人, 对创新点 1、2、3、4 均有突出贡献, 具体包括: 提出了基于高精度距离观测值的基准站网统一解算新方法, 实现了大规模基准站网坐标的精确、快速获取; 提出了长时间跨度 GNSS 坐标时间序列非线性运动建模新方法, 提高了基准站坐标和速度场的确定精度; 提出了顾及基准站非线性运动的毫米级坐标参考框架建立新方法, 用于山西、湖北等地高精度、动态省级坐标参考框架的建立; 并负责山西、江苏、重庆等省市基准站网的数据处理。
- 2.叶世榕, 排名 2, 副主任, 教授, 工作单位: 武汉大学, 完成单位: 武汉大学, 对创新点 3、4 均有重要贡献, 具体包括: 提出了北斗多路径效应建模、顾及频间偏差的 GLONASS 模糊度固定、多 GNSS 系统数据预处理等系列新方法, 实现了多系统多频率 GNSS 数据融合处理; 提出了基于 GNSS 基准站网水汽遥感的新方法, 提高了对流层层析的成功率和可靠性。参与了湖北、深圳等省市基准站网的建设与数据处理。
- 3.刘经南, 排名 3, 中国工程院院士, 工作单位: 武汉大学, 完成单位: 武汉大学, 对创新点 1、3、4 有突出贡献, 具体包括: 负责了深圳、广东、湖北等 GPS 连续运行基准站网的设计和精密数据处理工作, 在全国范围内起到了示范作用; 提出了基于 GNSS 技术建立和维持坐标参考框架的创新理论与技术方法, 为利用 GNSS 升级、更新和维持国家大地坐标系统提供了实施方案。
- 4.孙占义, 排名 4, 副处长, 高级工程师, 工作单位: 国家基础地理信息中心, 完成单位: 国家基础地理信息中心, 对创新点 2、4 均有重要贡献, 具体包括: 长时间跨度基准站非线性运动变化分析与建模等关键技术研究; 作为主要成员, 将项目精密数据处理方法成果应用于国家卫星导航基准站近 20 年积累数据处理分析, 计算得到国家 GNSS 基准站高精度的空间三维坐标和速度场。
- 5.陈华, 排名 5, 讲师, 工作单位: 武汉大学, 完成单位: 武汉大学, 对创新点 1、4 有重要贡献, 具体包括: 实现了基于高精度距离观测值的大规模基准站网统一快速解算方法, 并研制了多系统数据处理软件, 能整体分析数百个基准站的数据; 并参与吉林等多个省份的基准站网数据处理工作。
- 6.陈弘奕, 排名 6, 副院长, 高级工程师, 工作单位: 山西省测绘工程院, 完成单位: 山西省测绘工程院, 对创新点 4 有突出贡献, 具体包括: 负责“山西省连续运行基准网及综合服务系统”项目的具体实施, 负责山西 GNSS 基准站网的建立, 参与基准站网的数据处理, 并建立了山西省高精度、动态坐标参考框架; 负责山西省高精度参考框架的推广应用工作, 负责研制“自动分区坐标转换软件 V1.0”。
- 7.张士柱, 排名 7, 副院长, 高级工程师, 工作单位: 湖北省测绘工程院, 完成单位: 湖北省测绘工程院, 对创新点 4 有突出贡献, 具体包括: 参与湖北省“北斗精密定位服务系统”项目和“连续运行定位服务系统”的总体设计; 负责湖北 GNSS 基准站网的建设, 并参与基准站网数据处理, 建立了湖北省高精度的动态三维坐标参考框架; 将湖北省 GNSS 基准站网成果推广应用到国土测绘、交通、电力等相关领域。
- 8.马德富, 排名 8, 院长, 教授级高工, 工作单位: 珠海市测绘院, 完成单位: 珠海市测绘院, 对创新点 4 有突出贡献, 具体包括: 负责“珠海高精度三维陆海统一测绘基准建立及其理论与技术研究”项目总体设计与具体实施, 负责珠海市北斗连续运行基准站网的建设, 并参与基准站网数据处理; 负责项目在珠海市国

土资源、工程建设、测绘、交通、港口等领域的应用推广。

9.周晓慧，排名 9，副教授，工作单位：武汉大学，完成单位：武汉大学，对创新点 2 有突出贡献，具体包括：负责 GPS 坐标时间序列预处理与最优噪声模型的构建；利用连续运行基准站观测数据开展了长时间跨度坐标时间序列分析的研究，提出了时间序列跨度达到 9.5 年可以显著降低测站速度估计的不确定度。

10.江鹏，排名 10，讲师，工作单位：安徽大学，完成单位：武汉大学，对创新点 4 有突出贡献，具体包括：参与并实现了顾及地球曲率的 GNSS 基准站网水汽遥感的新方法；开发了一套用于 GNSS 水汽遥感的数据处理与分析软件。

11.李志才，排名 11，高级工程师，工作单位：国家基础地理信息中心，完成单位：国家基础地理信息中心，对创新点 2 有贡献，具体包括：研究了坐标时间序列非线性运动分析方法，成果应用于基于 GNSS 连续运行基准站进行地壳形变分析；参与了国家卫星导航基准站近 20 年积累数据处理分析工作，并分析了全国 GNSS 连续运行基准站时间序列。

12.曾波，排名 12，总工，教授级高工，工作单位：山西省测绘工程院，完成单位：山西省测绘工程院，对创新点 4 有贡献，具体包括：参与了“山西省连续运行基准网及综合服务系统”的建设以及山西连续运行基准站网的数据处理，建立了山西省高精度、动态坐标参考框架；参与研制“自动分区坐标转换软件 V1.0”。

13.丁士俊，排名 13，教授，工作单位：武汉大学，完成单位：武汉大学，对创新点 1、4 有贡献，具体包括：提出了半参数模型稳健估计新方法，并用于 GNSS 数据处理分析，参与深圳、山西等多个 GNSS 基准站网的数据处理分析工作。

14.陈豪，排名 14，工程师，工作单位：湖北省测绘工程院，完成单位：湖北省测绘工程院，对创新点 4 有贡献，具体包括：参与了“北斗地基增强系统湖北示范”项目，负责数据的采集以及技术报告的撰写工作；参与项目“湖北省连续运行卫星定位服务系统”，参与了基准站网的建设和数据处理工作。

15.王锴华，排名 15，博士生，工作单位：武汉大学，完成单位：武汉大学，对创新点 2 有贡献，具体包括：参与了基准站精密数据处理和 GNSS 时间序列非线性运动建模工作，精确定量分析了 GNSS 坐标时间序列非线性运动中热膨胀效应的影响。

主要完成单位及创新推广贡献：

1.武汉大学：

(1) 项目负责完成单位，为项目提供了稳定的技术队伍和支持。

(2) 提出了将相位观测值转换为高精度距离观测值的整网解算方法，发展了 GNSS 精密数据处理中的质量控制方法，解决了多尺度 GNSS 基准站网精密数据处理中的基准站统一、精密、快速解算。

(3) 提出了基于长时间跨度 GNSS 坐标时间序列的非线性建模新方法，精确量化了未模型化误差对坐标时间序列的影响；并建立了精密环境负载新模型，解决了长时间跨度基准站运动非线性建模中基准站非线性运动的有效分离和解释难题。

(4) 提出了北斗卫星多路径效应建模、顾及频间偏差的 GLONASS 模糊度固定、多 GNSS 系统数据预处理等系列新方法，解决了多系统多频率数据融合处理难题。

(5) 提出了顾及水汽不均匀分布和地球曲率影响的层析参数化新模型和融合数值天气预报模式再分析资料及实时地面水汽密度观测资料的层析新方法，并提出了顾及基准站非线性运动的毫米级坐标参考框架建立新方法，实现了基于 GNSS 基准站网的三维水汽遥感和坐标参考框架的建立。

2.国家基础地理信息中心：

(1) 本项目的完成单位之一。

(2) 深入研究了多尺度 GNSS 基准站网整体快速统一解算、长时间跨度基准站非线性运动建模等方法，综合分析了长时间跨度的国家级卫星导航定位基准站数据，得到了高精度的时间序列及基准站坐标成果；成果应用于我国高精度坐标框架维持，为多个省市区域参考框架动态更新、基础建设提供技术服务。

(3) 对我国连续运行基准站时间序列进行了非线性分析，成果用于基于 GNSS 连续运行基准站的地壳形变分析。

(4) 相关研究成果也推广应用到“国家现代测绘基准体系基础设施建设”等国家重大专项工程，并为这些项目的实施提供技术参考依据。

3.湖北省测绘工程院：

(1) 本项目的完成单位之一，负责建设“湖北省北斗精密定位服务系统”（北斗地基增强系统湖北示范项目）。

(2) 分析了近 90 个 GNSS 连续运行参考站 2012 年至 2015 年间的观测数据，确定了基准站高精度三维坐标和速度场，构建了湖北省连续运行卫星定位服务系统；同时分析并得到了 30 个北斗连续运行基准站的精密坐标，建成了我国第一个省级北斗地基增强示范系统。

(3) 在此基础上构建了湖北省区域坐标参考框架，并将其推广应用于国土、

规划、市政、城勘、管线、电力、交通等行业，在湖北省水资源普查、三峡库区移民、川气东输等重大项目中发挥了重要的作用。

4.山西省测绘工程院：

(1) 本项目的主要完成单位之一，负责建设“山西省连续运行基准网及综合服务系统（SXCORS）”。

(2) 基于 67 个 CORS 基准站由 2009 年至 2015 年期间的观测数据，获得了基准站精密的三维坐标和水平、垂直速度场，构建了山西省高精度、三维、动态坐标参考框架，并为地表沉降监测等提供可靠的基础数据。

(3) 将山西省高精度坐标参考框架在基础测绘、国土管理、城市规划等部门进行了推广应用，基于 SXCORS 提供的高精度位置服务完成了“山西省第一次全国地理国情普查”等工作。

5.珠海测绘院：

(1) 本项目的主要完成单位之一，负责建设“珠海高精度三维陆海统一测绘基准建立及其理论与技术研究”项目。

(2) 分析了 11 个均匀分布于珠海市陆海全域的基准站观测数据，计算了基准站高精度的三维坐标，建立了以北斗卫星导航系统为主、GPS 为辅、兼容 GLONASS 等卫星导航系统的多系统连续运行参考位置服务系统。

(3) 构建了“珠海高精度三维陆海统一测绘基准”，应用于珠海市国土、环保、规划、建设、房产、交通、港口及不动产登记等行业领域的基础空间地理信息管理工作中，也在港珠澳大桥建设、国家交通干网太澳高速珠海段建设、国家自贸区横琴片区综合管廊建设等国家重大工程项目得到应用。

完成人合作关系说明：

本项目由武汉大学、国家基础地理信息中心、湖北省测绘工程院、山西省测绘工程院、珠海市测绘院等五家单位共同完成。其任务来源主要包括 1 项国家 863 计划，2 项国家自然科学基金和 3 项重点生产工程项目。项目的完成单位和完成人均有着良好的合作关系。前三个项目是技术基础，为主要课题，后三个是应用研究，两者有着紧密的联系。前三个项目内容是研究卫星导航定位基准站网精密数据处理技术与方法，后三个项目内容包括应用基准站网精密数据处理技术与方法，建立基准站网，进而构建卫星导航定位增强系统。

姜卫平、叶世榕自 2000 年以来，一直在刘经南院士的指导下，合作研究卫星导航定位基准站网精密数据处理技术与方法，负责或者参与了深圳、江苏、广东、湖北等省、市级 GNSS 基准站网的建立设计和数据处理。2010 年以来，国家基础地理信息中心孙占义、李志才同姜卫平合作研究卫星导航定位基准站网精密数据处理技术与方法，并负责将技术应用到国家 GNSS 基准站网建设中。2004 年以来，丁士俊、周晓慧、陈华、江鹏、王锴华先后加入姜卫平、叶世榕的团队，并作为主要成员参与了“大规模 GNSS 基准站网数据处理与服务关键技术”、“顾及非线性变化的 GPS 测站位置时间序列分析方法研究”和“基于大规模 GPS 连续跟踪网单、双频混合模式实时获取水汽三维分布方法”等科研和应用项目。应用推广项目合作情况为：陈弘奕、曾波、姜卫平等人合作完成了“山西省连续运行基准网及综合服务系统”项目；在湖北连续运行基准站网建设和北斗地基增强系统湖北示范项目中，刘经南、张士柱、姜卫平、陈豪等负责基准站网数据处理、建设及应用等工作；在珠海市北斗连续运行卫星导航与位置服务系统项目中，马德富、姜卫平分别是项目的负责人和技术负责人。

主要完成人通过密切合作，成功完成上述了项目，突破了基准站网大规模、长时间跨度、多系统等精密处理关键技术，发展形成了一套严密的多尺度高精度 GNSS 基准站网建立和精密数据处理方法，并率先在我国建立了 GPS 连续运行基准站网以及北斗地基增强系统基准站网，为省、市等区域级基准站网的建立提供了有效可行的模式和标准。项目组成员合作获得专利 2 项，软件著作权 4 项，发表论文 120 余篇，获得省部级科技进步特等奖 1 项，一等奖 2 项。