

基于北斗的多源数据融合普适性地质灾害监测

关键技术研究及应用

1. 主要内容

项目以地质灾害监测为中心，以地质灾害监测解算软件、毫米级定位终端、数据传输可靠性和地灾监测预警平台为主线，研究了地质灾害监测中解算软件、低功耗北斗接收机、应急监测站、数据传输、监测预警平台等关键技术，实现了地质灾害监测软硬件全面优化升级。

2. 关键创新点

(1) 改进了北斗毫米级精度变形监测算法，研发了北斗中长基线毫米级定位解算软件，实现在复杂地质环境下 120km 基线毫米级精度的解算。

(2) 采用微芯 SAMA5 集成 DDR 的处理器和 SOC(系统级芯片)卫星接收模块，研制了整机正常运行功耗小于 1.5W 的低功耗北斗接收机，可保证阴雨天 30 天野外不间断工作。

(3) 研制了融合薄膜电池板、锂电池、4G/北斗通信、数据采集于一体的便携式北斗应急监测站，简化了施工流程，缩短了监测部署时间，有效的提高了应急监测的部署效率。

(4) 提出了基于北斗通信的指标压缩方法、要素压缩方法、位压缩方法，提升了北斗通信传输的效率和可靠性。

(5) 开发了多源数据融合的监测应急管理信息化平台，支持超过 30 多种监测类型，100 多种传感器，支持接入 30000 个设备。实现了多种传感器数据统一化管理和存储，提高了地质灾害监测预警的有效性

和可靠性。

3. 专利、论文情况本项目

项目获得发明专利 8 项、实用新型专利 12 项、外观专利 3 项、软件著作权 36 项。

4. 经济与社会效益和对科技进步的作用

本项目的研究成果已成功应用在滑坡、崩塌地质灾害、尾矿库、采空区沉降、水力发电、道路桥梁、车辆调度、大型构筑物等多个领域，市场潜力巨大，大幅度提高对于各类灾害机理的认识水平，全面提高安全监管水平，增强企业、社会、政府对于灾害的预警响应能力。

本项目的研究工作与国家产业发展布局高度一致，研发形成具有普遍适用功能的便携式北斗应急监测站、应急管理信息化平台、空天地一体化地灾应急监测预警系统和行业相关标准，填补国内在该领域的空白，有效抑制进口产品的价格，改变国外技术对我国 GNSS 监测终端市场的主导局面，对于完善、提升我国卫星导航定位产业结构和竞争力具有相当的作用。

” ”（一）立项背景和总体思路

1. 立项背景：

全国滑坡崩塌等地质灾害频发，据查明全国现存 28 万处地质灾害隐患点，同时大坝、桥梁、铁路、高层建筑物、尾矿库、边坡、隧道等各种大型工程建筑物如雨后春笋般地不断涌现。基于卫星导航 GNSS 观测手段，具有设备体积小、观测精度高、观测速度快、可全天候作业等优点已逐步推广使用，但存在价格昂贵，功耗较高等缺点，不适

合大量普及和推广应用；对于短、临时的地灾应急监测仅靠 GNSS 监测技术无法满足需求；地质监测传感器百花齐放，数据协议错综纷杂，如何实现数据统一化存储和管理，提高数据的可靠性和可利用性，对于监测预警具有重要意义。

如何科学、准确、及时、有效地进行地质灾害监测、分析与预报预警，建立大范围、普适型和应急高精度位移监测服务体系尤为重要。

2. 总体思路

对目前国内外相关技术和软件进行研究与对比，基于北斗高精度变形监测技术开发北斗自动化实时安全监测系统和北斗中长基线毫米级定位软件，研制北斗多模多频安全监测专用接收机设备和低功耗接收机设备，研发一体化便携式 GNSS 应急监测站和多源数据融合的监测应急管理信息化平台，在地质灾害、水利、电力、大型建筑、铁路桥梁和矿区监测等领域开展无人值守的智能化安全监测预警应用和应急监测预警指挥应用。

（二）关键技术及创新成果

针对需要和难题，围绕北斗高精度变形监测软硬件和应急监测预警关键技术及应用主题，展开系统研究，取得的创新成果如下：

创新成果一：改进了北斗毫米级精度变形监测算法，研发了北斗中长基线毫米级定位解算软件

[背景及难点]由于观测环境限制，卫星信号经常遮挡；在中长基线中，极大推高了设备和施工运维成本，对于商业软件而言，中长基线解算只能达到厘米级精度，无法满足变形监测中毫米级定位的需求。

佐证材料：软件著作权（2013SR05886.6；2015SR07859；2016SR18014.2）。

（1）解决单历元北斗高精度变形监测技术，改进了北斗毫米级精度变形监测算法

提出了北斗单历元观测数据处理方法，利用基线长度约束，并充分利用变形监测的特点通过变形监测网设计与优化、顾及高程差异的残余对流层延迟削弱方法、多路径探测技术及消除方法、基于变形特征约束的北斗单历元解算技术等方法对现有的单历元算法作进一步改进，通过变形监测网设计与优化、顾及高程差异的残余对流层延迟削弱方法、多路径探测技术及消除方法和基于变形特征约束的北斗单历元解算等技术实现北斗毫米级精度变形监测算法

（2）研发了北斗中长基线毫米级定位解算软件

利用 CORS 增强系统提供的实时精密星历、精密钟差以及精密对流层模型的基础测，实现监测站网络与 CORS 参考站网络的衔接。有效利用 CORS 增强系统中提供的精密实时卫星钟差，精密对流层改正模型，尤其是天顶对流层湿分量映射函数，有效地削弱对流层模型改正误差。精化其它 GNSS 误差源，利用顾及高阶电离层改正的双差 LC 组合观测值进行最小二乘估计，建立准确可靠的随机模型，优化参数估计策略，利用获取到的普适型北斗接收机的原始卫星观测数据，在站间、星间或历元间进行求差。通过双差观测值，消去接收机钟差以及卫星钟差参数，削弱对流层、电离层、轨道等大部分误差的影响，建立基于云平台的多参考站组网大数据联合解算算法。与此同时，开展精化

误差建模，即在数据解算过程中，顾及电离层折射、相位缠绕、差分码偏差、天线相位中心偏差、固体潮、相对论效应等多种误差改正项，优化中长基线数据组合解算策略、误差改正模型、周跳探测与修复方法等数据处理算法，从而实现在复杂地质环境下 120km 基线毫米级精度的解算。

创新成果二：研制了整机正常运行功耗小于 1.5W 的低功耗北斗接收机

[背景及难点]地质灾害频繁发生且分布点多面广，专业监测覆盖率低。现有的 GNSS 位移监测设备昂贵，监测系统建设成本高，且设备，集成度低、系统笨重、功耗高、供电系统冗余，不利于设备在野外长期稳定服役，难以大规模推广。

佐证材料：专利（201910489477.3）；检测报告（W01914200894）。

基于传统方案将天线和北斗接收机两大核心功能集成整合为一体式结构，设备体积压缩到原有常规天线水平，删除原有天线罩。采用空气介质天线，大幅减轻天线重量，在该天线兼容两个 2.4GHz 的移动网络天线，去掉常规外置吸盘式天线，增强移动信号接收和发送能力。系统电源采用太阳能电池板和储控一体式（储存和控制）电池；相对于常规设计，取消太阳能电池板控制器、机柜、天线罩及多种线缆，显著降低成本和安装复杂度。

采用微芯 SAMA5 集成 DDR 的处理器和 SOC（系统级芯片）卫星接收模块，采用 EC20 4G 模块和 UART 通讯技术，整个接收机功耗仅 1.5W 以内，为长续航创建优越功耗条件。通常常规接收机功耗为 4W，新型

接收机功耗仅为常规机型的约 1/2；实验室检测显示对于 70Ah 的电池，续航时间将不小于 20 天；在长期阴雨天气条件下对于相同容量的电池，新型接收机的续航时间将是常规机型的 2~3 倍；采用良好的密封性和防浪涌设计，可以保障新型接收机户外长期运行寿命达到 3 到 5 年。

创新成果三：研制了融合薄膜电池板、锂电池、4G/北斗通信、数据采集于一体的便携式北斗应急监测站

[背景及难点] 地质灾害发生后时间很紧张，需要快速进行灾情评估；应急测绘产品存在网络信号差数据无法及时传输评估；野外供电困难，无法长期监测；设备沉重，安装复杂需要混凝土基础浇筑、安装立杆，供电系统需配备太阳能板、蓄电池，无法满足应急监测的快速机动，快速布设，不便于及时获取数据；雨雾天气影响光学仪器受限等难点。

佐证材料：专利（ZL201910298749.1；ZL20153040908.4；ZL201621018238.8；ZL201621090318.4）。

采用一体化设计，集成太阳能电池板、智能数据采集模块、和 GNSS 卫星信号接收处理模块、内置电池、4G 全网通通讯模块、快速安装固定杆等关键组件于一体。监测设备信号输出的周期可设置，自带太阳能电池板和锂电池，即可满足应急监测需要，又可保障短期内的临时监测，同时可以外接备用电池。

笔记本式一体化设计，便于携带，可单人运输到指定的监测点位上，部署快速，到达指定点位，固定好安装支架，打开电池板，按下开机键现场部署只需要 10 分钟即可完成部署，大大节约了应急监测的时

间，能够快速获得监测点的形变信息，得到灾害体的形变情况。

内置 4G 通讯，快速传输数据至远端平台；没有移动网络的情况下，可通过外接网桥组成局域网，在当地进行解算；续航时间长，没有光照的情况下可连续工作一周时间，有光照条件下可长期使用；

一体化便携式北斗应急监测站简化了施工流程，缩短了监测部署时间，有效的提高了应急监测的部署效率。该设备填补了国内 GNSS 在应急监测上的空白，可大规模地在地灾应急监测行业推广应用。

创新成果四：提出了基于北斗通信的指标压缩方法、要素压缩方法、位压缩方法，提升了北斗通信传输的效率和可靠性

[背景及难点]在自然环境恶劣和，信号中断，依靠北斗报文传输，但北斗报文服务传输频度和单次传输量受到限制。

佐证材料：专利（201510340547.0）。

重点研究基于北斗的远程传输机制，提出了一种适用于北斗报文的提高其传输效率的远程传输有效性优化机制（effectiveness optimization mechanism of remote transmission, EMRT），优化了北斗报文的物联网实时监测远程传输有效性。EMRT 机制包括 3 部分：

（1）针对待传记录，动态压缩记录中冗余指标的“指标压缩方法”；
（2）针对待传指标，根据协议事先约定好去除双方都知道的静态“外部包装”的“要素压缩方法”；（3）针对待传要素，压缩高 4 位的“位压缩方法”。同时根据双方的动态数据变化量化分析了 EMRT 对北斗传输有效性的提高效果，并分析了影响有效性的因素。理论分析和实际数据验证表明，这些机制对提高北斗传输有效性具有显著作用，对基

于我国北斗卫星的信息传输的实际应用具有重要的理论和实际意义。

创新成果五：开发了多源数据融合的监测应急管理信息化平台

[背景及难点] 目前很多已完成建设的平台，无法满足监测手段（InSAR、GBSAR、倾斜摄影）、和物联网平台、监测平台、预警平台，运维平台等技术不断地发展需要，且存在 3D 数据展示加载慢，监测数据协议不统一，数据汇总麻烦，界面交互复杂，不容易操作。

佐证材料：检测报告（W1914200824），软件著作权：（2019SR0621332；2019SR0627896；2019SR0126412；2019SR0126430；2019SR0627626；2019SR0126191；2019SR0126195；2019SR0126184；2019SR0126202）。

设计并实现了集成移动互联网、三维地理信息系统、网络通信、物联网、InSAR、GBSAR 等技术，通过移动传输网络实现对于地质灾害、矿山、石油管道、公路交通以及水库大坝等领域监测数据采集、查询、浏览以及监测预警、视频会商、三维集成可视化、应急决策支持等功能。完成了地质灾害大数据综合展示、地质灾害基础数据管理、群测群防（Web + APP）、地质灾害应急值班系统、地质灾害应急指挥系统、地质灾害专业监测预警系统、“一张图”地质环境子系统、地质灾害综合防治体系建设项目管理系统等模块的开发，实现对变形监测大多数传感器数据进行统一存储管理和分析，进而实现高效可靠的监测预警以及应急指挥。

应急管理信息化平台可支持 30 多种监测类型，100 多种传感器，支持接入 30000 个设备，实现隐患点、野外调查、群测群防、专业监测、防治规划等数据一张图等地灾数据集中展示，通过支持无人机、视频、

专业监测、应急救援物资等多种数据实时接入全面掌握灾害现场信息，为应急指挥、应急调度提供有力保障。

3. 实施效果

a. 借助自主知识产权的北斗卫星导航系统和中长基线解算软件，提升了包括滑坡、崩塌、尾矿库、桥梁、隧道、高速边坡在内的多种变形监测的精度，拓展了北斗产品应用在变形监测的工作模式与应用场景；利用北斗高精度技术、无人机技术和雷达技术在地质灾害监测领域研发符合我国国情的新技术，升级产业发展模式，引领我国工程施工行业实现数字化、信息化、智慧化转型升级，进而在国内外施工行业普及中国地质灾害监测标准，打造以“北斗”为标杆的国际卫星导航应用体系，显著提高我国地灾监测预警技术在国际市场的综合竞争力。

b. 通过本项目的建设，华测导航将进一步扩大地灾监测的市场，进一步提升华测导航地质灾害监测预警领域相关产品的成熟度、实用性，进一步提高华测导航在地质灾害监测预警领域的影响力，为高精度导航产业提供良好的示范效应，加速推动了华测导航成为北斗高精度导航领域的国内重点龙头企业，带动以上海为中心长三角经济区的北斗相关企业产业升级及协同发展，形成以华测导航为龙头的百亿规模上海北斗产业集群。

c. 通过基于北斗的多源数据融合智能监测技术研发及产业化，主要应用于高边坡监测、地质滑坡监测、水利水电大坝监测、尾矿库安全监测、桥梁健康监测、采空区沉降监测等领域，所涉及项目占全国 GNSS 自动化变形监测市场份额 80%左右，间接带来巨大的社会效益、经济

效益和环境效益。

4. 保密方面

项目保密内容已采取申请专利的形式进行保密，本次提供的材料无密点。

5. 国际比较（限 800 字）

项目研发研发了北斗中长基线毫米级定位解算软件，实现在复杂地质环境下 120km 基线毫米级精度的解算，实测性能优于国内同类产品；研制的整机运行功耗小于 1.5W 的低功耗北斗接收机，是国内首创，比国内外其他同类产品相同工作条件下，功耗降低 40%；自研的应急管理信息化平台，可集成超过 30 多种监测类型，100 多种传感器，支持接入 30000 个设备，达到了国际先进国内领先的水平。”

1. 推广及应用情况

华测导航与国家卫星定位系统工程技术研究中心、上海交通大学、武汉大学、东南大学、同济大学、上海市测绘院、上海市天文台等国内高等院校和事业单位保持着紧密的合作近年来承担多项国家关于监测的项目，部分项目如下：（1）国家科技部 863 计划：高精度定位服务系统及应用示范；（2）总装备部中国第二代卫星导航系统重大专项：北斗高精度网络建设和服务平台及终端示范应用；（3）国家发改委 2013 年卫星及应用产业发展专项：基于北斗的工程机械高精度 GNSS 终端及产业化；（4）国家发改委 2018 年度北斗产业园区发展专项：北斗高精度智慧施工管理创新应用及产业化；（5）上海市战略新兴产业重点项目：基于北斗的高精度位移监测应用；（6）2018 年国家重

点研发项目：特大滑坡实时监测预警与技术装备研发；（7）上海科技创新项目：尾矿库远程智能安全监测技术研究；（8）上海科技创新项目：基于北斗的多模地质灾害大型构筑物监测预警技术研究及应用。华测导航利用 38 家分子公司，3000 家代理商在国内外 150 个国家地区进行推广。华测导航监测集成事业部主要为地质灾害及大型构筑物提供自动化监测解决方案，以北斗高精度定位技术为核心，结合多种传感器，利用物联网技术、大数据技术及云服务等技术实现自动化监测预警。监测集成事业部于 2006 年成立，已经经历了 14 年的发展历程，承建的监测项目案例超过 800 个，累计金额超过 8 亿，在 GNSS 监测领域占比超过 80%，期间多次参与了国家重点监测项目的建设工 作。采用的传感器主要有：GNSS 接收机、岩土类传感器、合成孔径雷达等。目前在地质灾害、交通、水利水电、矿山、轨道交通、电力等行业有众多解决方案。

具有代表性的监测案例有港珠澳大桥健康监测、南水北调渠坡自动化监测、溪洛渡水电站滑坡体监测（225.7 万元）、贵州省提升地质灾害监测预警科技能力地灾隐患监测点设备采购 2018 年度（第一期）采购项目（1131.6 万元）、四川凉山州滑坡监测、舟曲灾后恢复重建防治规划区地质灾害监测预警项目滑坡灾害监测设备采购（一期）合同（218.6 万元）、云南省 2015 年 34 个地质灾害隐患点监测预警项目（395.51 万元）、云南省 2014 年度地质灾害隐患点监测预警（722.72 万元）、三峡后续规划重庆库区奉节县和云阳县地质灾害专业监测货物采购与安装项目（432.78 万元）、山西省地质灾害专业监测预警示

范项目（215 万元）、神华准能黑岱沟露天煤矿边坡稳定 GPS 自动化滑坡监测项目（355 万元）、湖北沪蓉西高速公路工程结构滑坡监测系统设备采购项目（1486.4 万元）、四川卡拉水电站工程区滑坡体一期安全监测工程外部变形监测仪器设备采购合同（392.75 万元）。

2. 社会评价

- 1) 上海市测绘地理信息产业协会专家评定会评价意见；
- 2) 同济大学出具的软件测试报告：HuaceNav HCMonitor，该报告给出了软件功能性、稳定性、用户界面、文档、解算精度等项目的测试结果，验证该软件可提取不同时期高精度（毫米级）的变化量，可实现变形监测应用需求；
- 3) 上海市质量监督检验技术研究院出具的测试报告：华测监测预警软件（报告编号：W01614200487），该报告给出了系统管理、工程管理、监测类型、报表调查和视频监控等项目的检测结果；
- 4) 上海市质量监督检验技术研究院出具的检测报告：基于北斗的 NRTK 区域定位解算的导航定位系统（报告编号：W01914201515），该报告给出了，参考站最大间距，可接受卫星信号等新项目的监测结果；
- 5) 上海市质量监督检验技术研究院出具的检测报告：监测专用 GNSS 接收机（报告编号：W01914200894），该报告给出了低功耗接收的工作功耗情况，正常搜星功耗 1.4W，云服务功耗 1.5W，网络播发数据 1.9W，以及断点续传功能；
- 6) 上海市质量监督检验技术研究院出具的检测报告：地质灾害防治指挥平台（报告编号：W01914200824），该报告给出了多源数据管理、

多源数据叠加展示等各个功能的检测，确认地质灾害防治指挥平台设计功能开发完成，确实做到了多源数据融合智能监测预警服务；

7) 上海市青浦区科委组织专家对项目：基于北斗的多模式地质灾害大型构筑物监测预警技术研究及应用的验收意见。

“ 本项目与国家产业发展布局高度一致，研发的具有普遍适用功能的高精度位移监测设备核心软硬件产品、系统和解决方案，可广泛应用于滑坡、崩塌地质灾害、大型构筑物等多个领域，有效抑制进口产品的价格，改变国外技术对我国北斗监测终端市场的主导局面，对于完善、提升我国卫星导航定位产业结构和竞争力具有相当的作用，大幅度提高对于各类灾害机理的认识水平，增强企业、社会、政府对于灾害的预警响应能力。”该项目以地质灾害监测为中心，以地质灾害监测解算软件、毫米级定位终端、数据传输可靠性和地灾监测预警平台为主线，研发了北斗中长基线毫米级定位解算软件，实现在复杂地质环境下 120km 基线毫米级精度的解算；研制了整机运行功耗小于 1.5W 的低功耗北斗接收机，可保证阴雨天 30 天野外不间断工作；研制了融合薄膜电池板、锂电池、4G/北斗通信、数据采集于一体的便携式北斗应急监测站，极大的提高了监测部署的效率；提出了基于北斗通信的指标压缩方法、要素压缩方法、位压缩方法，提升了北斗通信传输的效率和可靠性，开发了多源数据融合的监测应急管理信息化

平台，实现了多种传感器数据统一化存储和管理，提高了地质灾害监测预警的有效性和可靠性。

项目获得发明专利 8 项、实用新型专利 12 项、外观专利 3 项、软件著作权 36 项，实现了地质灾害监测软硬件全面升级和优化。成果已成功应用在滑坡、崩塌地质灾害、尾矿库、采空区沉降、水力发电、道路桥梁、车辆调度、大型构筑物等多个领域，市场潜力巨大；同时该研究可全面提高安全监管水平，增强企业、社会、政府对于地质灾害的预警响应能力，对于完善、提升我国卫星导航定位产业结构和竞争力具有很好的推动作用。

该项目取得了系列成果，有效地促进了卫星导航定位产业领域的进步，为国内外同行所公认，对照科学技术进步奖授奖条件，同意推荐该项目申报中国地理信息产业协会地理信息科技进步奖。”