引文格式：温静,孟月玥,杨清华,等. 北斗地基增强在地质调查领域的应用需求分析[J]. 地理空间信息, 2024, 22(2): 79-82. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2024.02.019

北斗地基增强在地质调查领域的应用需求分析

温　静[1]，孟月玥[1]，杨清华[1]，肖晨超[2]
（1. 中国自然资源航空物探遥感中心，北京 100083；2. 自然资源部国土卫星遥感应用中心，北京 100048）

摘　要：地质调查与监测领域等主要业务在野外探勘和核查验证过程中，对导航和定位服务有明确的需求。为了摸清地质调查与监测领域对北斗增强服务的不同需求，评估其应用效果，面向地质矿产资源调查、矿山执法监测、地质环境调查与监测三大主体业务，全面分析了各业务对导航定位精度、服务频率、通信服务等方面的详细需求，设计了不同比例尺的业务导航定位增强产品，明确了各类增强产品的精度、服务对象、播发方式、服务范围等，为提高野外工作效率、保障野外作业安全、实现导航系统国产化提供了新的技术方法。

关键词：北斗地基增强系统；需求分析；地质调查与监测
中图分类号：P228　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2024）02-0079-04

Application Requirement Analysis of Ground-based Augmentation System of BDS in the Field of Geological Survey

WEN Jing[1], MENG Yueyue[1], YANG Qinghua[1], XIAO Chenchao[2]
(1. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Natural Resources, Beijing, 100083, China;
2. Land Satellite Remote Sensing Application Center, Ministry of Natural Resources, Beijing, 100048, China)

Abstract: In the process of geological survey and monitoring, a lot of field surveys, verification and check work are required, and there are clear business requirements for navigation and positioning services. In order to popularize the application of ground-based augmentation system (GAS) in the geological field, it is first necessary to find out the different needs of GAS of BDS in the field of geological survey and monitoring. Focusing on the three main businesses of geological and mineral resources investigation, mine law enforcement monitoring and geological environment investigation and monitoring, we comprehensively analyzed the detailed requirements of various businesses in the field of geological survey for navigation and positioning accuracy, service frequency, communication services, designed different scales of navigation and positioning enhancement products, and defined the precision, service object, broadcasting means and service scope. This research can provide a new technical method for improving the efficiency of field work, ensuring the safety of field work, and realizing the positioning of navigation system.

Key words: GAS of BDS, requirement analysis, geological survey and monitoring

目前的地质应用中只是简单使用了北斗系统的定位功能，一是精度略低于应用需求，二是没有形成面向行业应用的北斗产品。为了推广北斗高精度服务在地质调查与监测领域的应用，本文从地质调查与监测三大主体业务的应用需求出发，分析了各项业务的具体应用需求，并根据不同的应用场景设计了各类增强产品，为提高内外业一体化程度提供了可能性，为保障野外作业安全、实现地质调查领域的导航系统国产化奠定了基础。

1　服务分析

北斗高精度位置服务在地质调查领域中的应用主要体现在内业中心和外业终端的功能上。内业中心基于专业地图服务进行数据分析和展示，同时实现作业管理、设备管理、人员管理等，外业终端功能包括高精度定位导航、专题信息采集、数据传输等。

1）定位精度需求。利用米级、亚米级、厘米级等不同精度的定位，服务不同类型的地质调查业务，提升野外效率，用于管理和决策调度。

2）专题信息采集。地质监测和调查业务的野外工作中需要高精度采集各类型地质体范围面积及各类属性信息，野外实时对采集数据进行录入与整理，并及时上报变化信息。

3）终端监控。内业中心通过对外业终端的实时监控，掌握作业任务进度，保障人员安全。

收稿日期：2022-03-21。
项目来源：中国第二代卫星导航系统应用重大专项资助项目（QT362018J251）。
第一作者简介：温静（1984—），硕士研究生，正高级工程师，研究方向为北斗地质应用、遥感数据处理及地质应用，E-mail：wenjing911@163.com。

4）通信及实时传输。通过通信及实时传输，内业中心可实现对外业终端的统筹管理与互联互通，实现外业任务的实时管理、外业数据的实时采集和上传，提高工作效率和成果质量。

2 应用需求分析

2.1 地质矿产资源调查业务需求

2.1.1 精度需求

地质矿产资源调查业务中对精度的要求主要体现在导航定位精度、像控点获取精度和实地测量精度。

1）导航定位精度。在实际工作中，通过导航定位功能可以指引外业人员到达目的区域，需要北斗地基增强系统提供广域米级实时定位服务。

2）像控点获取精度。根据“区域地质调查像控点水平位置相对于附近各等级控制点的平面位置中误差不超过图上0.1 mm，高程精度不小于1/10等高距的精度”[1-3]的要求，1∶250 000区域地质、矿产地质调查的像控点平面精度要求应小于25 m，1∶50 000区域地质、矿产地质调查的像控点平面精度要求应小于5 m。因此需要提供广域米级实时定位服务。

3）实地测量精度。1∶250 000区域地质、矿产地质调查工作中测量精度须小于10 m，因此需北斗地基增强系统提供广域米级实时定位服务。1∶50 000区域地质、矿产地质调查实地工作中：进行矿点检查和异常查证时一般选用大比例尺填图（比例尺一般为1∶2 000～1∶5 000），大比例尺化探（土壤或岩石测量）、物探（高精度磁测[4]、激发极化法[5]、高精度重力等）综合剖面测量；在剖面实地测制时，调查比例尺一般为1∶2 000～1∶5 000；第四系厚度较小的细碎屑沉积，比例尺一般大于1∶100～1∶1 000，因此需要北斗地基增强系统提供分米级精度的定位服务。

综上所述，1∶250 000区域地质、区域矿产地质调查需要北斗地基增强系统提供广域米级实时定位服务；1∶50 000区域地质、地质矿产调查需要广域米级及广域分米级定位服务。

2.1.2 服务频率需求

区域地质调查、区域矿产地质调查实际工作中需要实现快速的动态定位[6]。参照CJJT73-2010《卫星定位城市测量技术规范》，动态测量中对RTK数据的采样间隔为1 s，因此，北斗地基增强系统的服务频率应优于1 s。

2.1.3 通信服务需求

区域地质、矿产地质调查业务中，对北斗地基增强系统通信服务的需求主要包括短报文和文件传输功能。

1）短报文功能。区域地质、矿产地质调查的外业工作场地通常地理环境复杂、交通不发达、手机信号覆盖差，尤其是艰险地区人烟稀少、没有网络信号、没有明显地物指引，这时北斗的短报文功能就可以实现野外作业人员和后方数据中心人员的即时通信，实时获取作业人员定位[7]，保障作业人员安全。

2）文件传输功能。区域地质、矿产地质调查中通常需要进行实地测量。目前的GPS作业中大部分是通过储存卡或数据线等方式导出数据[8]，这种方式内业人员需要在测量后一段时间得到测量数据，不利于内业人员及时利用数据、分析数据[9]。通过文件传输功能可以将外业采集数据实时发回内业数据中心，及时排除测量错误并及时进行补测。

2.2 矿山执法监测业务需求

2.2.1 精度需求

北斗系统在矿山执法监测业务主要作用有导航定位、像控点获取、实地测量。

1）导航定位。在矿山执法监测实际应用中，米级的精度就可以达到导航的要求。

2）像控点获取。根据“区域地质调查像控点水平位置相对于附近各等级控制点的平面位置中误差不超过图上0.1 mm，高程精度不小于1/10等高距的精度”的要求，故在日常巡查中1∶10 000比例尺误差不超过1 m，卫片执法中1∶10 000或1∶50 000比例尺误差不超过1 m或5 m，执法取证中1∶1 000比例尺误差不超过10 cm。这就需要北斗地基增强系统提供广域分米级或区域厘米级实时定位服务。

3）实地测量。在日常巡查中比例尺1∶10 000，卫片执法中比例尺1∶10 000或1∶50 000，执法取证中比例尺1∶1 000，故平面精度误差不超过1 m、5 m、10 cm。这就需要北斗地基增强系统提供广域分米级或区域厘米级实时定位服务。

综上，矿山执法监测需要北斗地基增强系统提供广域分米级、区域厘米级实时定位服务。

2.2.2 服务频率需求

在矿山执法监测实际工作中需要用到实时动态定位。根据需要，北斗地基增强系统的服务频率应优于1 s。

2.2.3 通信服务需求

由于矿山执法监测的特殊性，获取实测点数据[10]是形成综合分析报告、填表并入库的关键。文件传输能实时将野外采集信息传回数据处理中心，内业人员可以指挥外业人员进行补测或修改测量点错误[11]，实

现对违法矿山定性和定量分析。同时还可通过短报文功能实时监控艰险地区外业人员安全。因此在实际的矿山执法检查工作中需要北斗地基增强系统提供短报文、文件传输等通信服务功能。

2.3　地质环境调查与监测业务需求

2.3.1　精度需求

地质环境调查与监测领域涉及实时导航定位的业务主要包括地下水环境调查与监测、矿山地质环境的调查与监测、地质灾害调查与监测[12]。我国水文地质调查图幅比例尺集中在1∶10 000、1∶50 000、1∶200 000；地质灾害调查/排查，图幅比例尺集中在1∶50 000、1∶100 000、1∶250 000；矿山地质环境调查监测业务主要比例尺为1∶10 000~1∶50 000。

因此，水文地质调查/监测、地质灾害调查/排查、矿山调查/监测业务要求野外调查定点精度优于10 m；缓变地质灾害（如地面沉降等）以及灾害的位移监测需要实现毫米级精度。

2.3.2　服务频率需求

水文地质调查、地质灾害调查/排查、遥感调查野外验证、地质灾害群测调查、远离河道及水源地地区的地下水监测、稳定矿山边坡的系统服务频率按1次/d，对崩塌、滑坡、泥石流、在开采矿山边坡的系统服务频率按4次/d即可，在变形量加大时随时可加密频率服务需求。

2.3.3　通信服务需求

一般情况下通信采用短报文或者文件传输即可，但在特殊灾害区以及网络阻断或无网络覆盖区的灾害区工作，或者对工作人员生命有危险时，需要语音通信服务。

3　地质调查领域北斗地基增强产品设计

3.1　1∶50 000~1∶250　000调查监测野外导航定位增强产品

1∶50 000~1∶250 000调查监测野外导航定位增强产品，通过单向广播的方式发送至用户终端，基于一定数量的基准站原始数据，用户终端对其进行卫星轨道、卫星钟差、电离层延迟的差分改正，从而实现广域实时米级的自主定位。其服务对象主要为北斗单频接收机用户，实现方式为单频伪距差分和单频载波相位差分[13-14]，通过移动通信、互联网等方式播发至全国范围。

1∶50 000~1∶250 000调查监测野外导航定位增强产品可应用于地质填图、地质科研调查、地质物探、地质化探、地质灾害调查、遥感调查野外验证和地质灾害群防群测等业务。

3.2　1∶10 000调查监测野外导航定位增强产品

1∶10 000调查监测野外导航定位增强产品，通过单向广播的方式发送至用户终端，基于更多数量的基准站原始数据，用户终端对其进行卫星轨道、卫星钟差、电离层延迟的差分改正，从而实现广域实时分米级的自主定位。其服务对象主要为北斗双频接收机用户，其实现方式为精密单点定位（PPP）。播发手段包括互联网、移动通信等，覆盖范围为全国范围。

1∶10 000调查监测野外导航定位增强产品可应用于矿山执法检查、矿山监测、地质异常查证、矿产勘查、地质灾害调查、遥感调查野外验证、地质灾害群测群防等业务。

3.3　大比例尺区域测量采样差分增强产品

大比例尺区域测量采样差分增强产品内容主要以综合误差改正数为主，采用双向通信的方式进行产品生成和播发。通过实时解算模糊度，获取对流层误差、电离层误差、轨道误差等改正数据，根据用户终端提供的概略位置信息，通过各种内插算法[15]计算出综合误差改正数发送给客户终端，用户终端通过综合误差改正数对其定位数据进行修正，从而实现厘米级的实时定位。服务对象主要为北斗双频接收机用户，实现方式为双频载波相位差分（网络RTK），播发手段为移动通信，覆盖范围为加密网地区。

大比例尺区域测量采样差分增强产品主要应用于矿山执法检查。

3.4　地质灾害高精度监测差分增强产品

地质灾害高精度监测差分增强产品是定位精度最高的差分产品，产品主要包括后处理观测数据、精密卫星轨道、卫星钟差、地球定向参数（EOP）等，经高精度基线计算来实现后处理毫米级高精度，不具备实时性。地质灾害高精度监测差分增强产品的生成依赖于北斗地基增强基准站原始观测数据。对象主要面向北斗双频接收机用户，其实现方式为高精度基线解算，播发手段为互联网和移动通信，覆盖范围为全国范围。

地质灾害高精度监测差分增强产品是定位精度较高的增强产品，主要应用于地质滑坡监测和地面沉降监测。

4　结　语

不同定位精度的北斗地基增强数据，可有效服务于地质调查和监测领域的各项业务，可以节省人力财力和时间成本，同时有望在地质调查监测主体业务中实现导航系统的国产自主化。

根据地质调查和监测领域不同业务的特点，本文

分析了其对北斗地基增强应用的各项需求，创新性地设计出不同的北斗地基增强产品，为北斗地基增强系统在地质调查与监测领域的深入广泛应用提供了技术基础。

在北斗地基增强系统的支撑下，可以确保位置获取的及时性、准确性和安全性，保证野外工作效率和最终工作成果质量，有望建立高精度、高效率的野外工作流程，同时也对野外安全生产和突发状况营救提供了重要的基础保障。北斗地基增强系统在地质调查监测领域的进一步应用，有利于加强地质调查的技术先进性，有利于促进地质调查事业的稳步发展。

参考文献

[1] 肖秋龙,成芳,沈朋礼,等. 北斗地基增强系统观测数据质量分析[J]. 时间频率学报,2019,42(3):266-273

[2] 朱明. 基于GPS测量像控点的精度分析[J]. 安徽建筑工业学院学报(自然科学版),2009,8(17):78-80

[3] 李洁,郭梦. GPS测绘技术在地质工程测量中的应用[J]. 现代盐化工,2022(1):78-79

[4] 谢宇飞. 综合物探方法在黑山梁钪矿中的应用[J]. 世界有色金属,2020(9):210-211,214

[5] 周明. 激发极化法在安徽查册桥金矿勘查区中的运用[J]. 世界有色金属,2019(12):188-190

[6] 褚福芹. GPS测绘技术在地质勘查测绘中的应用分析[J]. 领航中国,2022(2):18-20

[7] 石小亚,王佳运. 基于北斗卫星技术的野外地质工作管理与服务模式:青海玉树州地质灾害详查示范应用[J]. 中国矿业,2013(4):110-113

[8] 薛洪刚,王凤伍. GIS数据外业采集方法的研究与应用[J]. 经纬天地,2017(4):14-18,23

[9] 刘天恒,陈明剑,张树为,等. 北斗地基增强系统数据通信综述[J]. 全球定位系统,2017,42(1):65-69,73

[10] 黄伟涛. GPS测绘技术及其在矿山地质测绘中的应用[J]. 世界有色金属,2020(1):38-39

[11] 曹巍,安平利,张有祥. 北斗位移监测技术在矿山地质灾害监测中的应用研究[J]. 世界有色金属,2021(50):188-189

[12] 郝明,牛瑞卿,张建龙,等. 基于北斗卫星的地质灾害应急救援保障体系及其在丹巴地区的应用[J]. 桂林理工大学学报,2016,36(3):471-477

[13] 周密. GNSS技术在地质灾害监测与预警系统中的应用[J]. 测绘标准化,2019,35(3):58-60

[14] 韩菲,黄洪波,缪佳佳,等. 地质勘探装备的北斗系统应用研究与实践[J]. 探矿工程(岩土钻掘工程),2019,46(10):6-12

[15] 张发兴. 北斗与GPS导航定位系统对比分析研究[J]. 科技博览中国科技博览,2017(32):246

常用参考文献著录要求

期　　刊 [序号]主要责任者.题名:其他题名信息[文献类型标识/文献载体标识].刊名,出版年,卷(期):起止页码

专　　著 [序号]主要责任者.题名:其他题名信息[文献类型标识/文献载体标识].出版地:出版者,出版年:引文页码

析出文献 [序号]析出文献主要责任者.析出文献题名:其他题名信息[文献类型标识/文献载体标识]//原文献主要责任者.原文献题名:其他题名信息.出版地:出版者,出版年:引文页码

专　　利 [序号]专利申请者或所有者.专利题名:专利号[文献类型标识/文献载体标识].公告日期或公开日期

电子公告 [序号]主要责任者.题名:其他题名信息[文献类型标识/文献载体标识].(更新或修改期)[引用日期].获取和访问路径

报纸文章 [序号]主要责任者.题名:其他题名信息[文献类型标识/文献载体标识].报纸名,出版日期(版次)

附表1　文献类型和标识代码

参考文献类型	文献类型标识代码
普通图书	M
会议录	C
汇编	G
报纸	N
期刊	J
学位论文	D
报告	R
标准	S
专利	P
数据库	DB
计算机程序	CP
电子公告	EB
档案	A
舆图	CM
数据集	DS
其他	Z

附表2　电子资源载体和标识代码

电子资源的载体类型	载体类型标识代码
磁带(magnetic tape)	MT
磁盘(disk)	DK
光盘(CD-ROM)	CD
联机网络(online)	OL

注:1、英文和中文参考文献的要求、格式一样。

2、不能少于7条。

3、作者人数在3个以上时写出3个加“等”字，只有3个或不足3个则全部写出。

4、凡可标注数字对象唯一标注符(doi码)的，一律标注于该条文献最后，用“.”与之前内容间隔。

5、参考文献在正文中要有与之相对应的标示。参考文献的排序为在正文中首次出现的顺序，对于不能在正文中明确标注的文献，一律放在所有能标注文献的后面。

6、希望本刊文献能得到您的关注。