

# 高精度导航与定位技术在矿山工程测绘中的应用研究

徐如意

河南测绘职业学院, 河南 郑州 451464

**摘要:** 本文深入探讨了高精度测绘技术和三维建模在矿山工程中的应用。高精度测绘技术通过卫星遥感、激光扫描等手段, 提供了精准的地理信息, 支持矿山规划和资源管理。三维建模技术则通过可视化复杂的地理信息, 为矿山规划提供直观工具。具体应用包括精准地形模型生成、资源分布与储量评估、开采路径规划、爆破设计与控制、环境影响评估以及安全分析。

**关键词:** 高精度导航; 定位技术; 矿山工程

中图分类号: TD17

文献标识码: A

文章编号: 1002-5065(2024)17-0142-3

## Research on the application of high precision navigation and positioning technology in mine engineering surveying and mapping

XU Ru-yi

Henan College of Surveying and Mapping, Zhengzhou 451464, China

**Abstract:** This paper deeply discusses the application of high-precision surveying and mapping technology and three-dimensional modeling in mine engineering. Through satellite remote sensing, laser scanning and other means, high-precision mapping technology provides accurate geographic information to support mine planning and resource management. Three-dimensional modeling technology provides intuitive tools for mine planning by visualizing complex geographic information. Specific applications include accurate terrain model generation, resource distribution and reserve assessment, mining path planning, blasting design and control, environmental impact assessment, and safety analysis.

**Keywords:** high-precision navigation; Positioning technology; Mine engineering

随着科技的不断进步和应用范围的扩大, 高精度测绘技术和三维建模在各个领域的应用日益成为推动创新和提高效率的关键因素。这些先进的技术不仅改变了对空间信息的获取和处理方式, 同时在矿山工程领域展现出了巨大的潜力。矿山作为资源开发的关键环节, 其规划和管理对于实现可持续发展至关重要。高精度测绘技术通过为矿山提供详细、准确的地理信息, 为决策制定和资源管理提供了全新的视角。同时, 三维建模技术通过将复杂的地理信息可视化, 不仅提升了规划的直观性, 还为优化开采方案、降低环境影响、确保安全运营等方面提供了有力支持。

## 1 高精度导航技术

### 1.1 全球导航卫星系统 (GNSS) 的原理与应用

全球导航卫星系统 (GNSS) 是一种基于卫星的导航技术, 其原理涉及卫星的分布、信号传输、接收与计算以及多系统融合。GNSS 系统由一组轨道卫星和地面控制站组成, 卫星分布在地球轨道上, 以确保全球覆盖。这些卫星向地面发射无线电频率信号, 包含标识、精确时间和轨道参数信息。接收设备接收多颗卫星的信号, 并通过三维三角测量计算其精确的地理位置。现代接收设备支持多系统融合, 同时接收不同 GNSS 系统的信号, 以提高精度和可靠性<sup>[1]</sup>。

GNSS-R 海面测高模型中大致可分为平面模型和曲面模型。两种模型分别如下图 1 和图 2 所示。

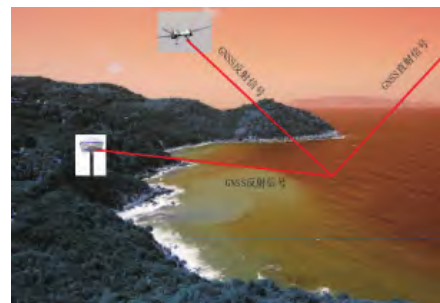


图 1 平面模型

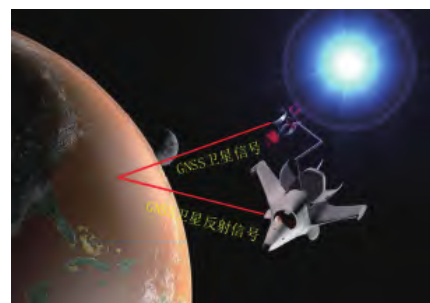


图 2 曲面模型

本文基于 GNSS 卫星的 L 波段信号提出了一种用于海面高度测量的模型, 并选择了平面模型来简化分析。当接收机与海面的距离较近时, 通常将海面视为平面反射面, 从而忽略了地球曲率和大气层对信号传播的影响。由于接收机天线距水面的高度为  $h$ , 并且接收机 R 同时接收来自 GNSS 卫星的直射信号和经海面反射的信号, 因此可以通过比较直射信号与反射信号的路径差来计算海面高度。假设直射信号和反射信号是平行的, 这种假设在接收机与卫星之间的距离远大于接收机与海面之间的距离时科学合理, 从而简化了路径差的计算。

收稿日期: 2024-06

作者简介: 徐如意, 女, 生于 1990 年, 河南内黄人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向: 测绘。

在这个模型中,反射路径最短的理论反射点 $R'$ 位于以海面为镜面的 $R$ 的镜面反射点处。通过分析接收机、卫星与海面的坐标几何关系,可确定直射信号和反射信号之间的路径差,从而推算出海面相对于接收机的位置和高度。这一测量方法不仅在理论上简化了复杂的三维几何关系,同时在实际应用中也提供了一种精确测量海面高度的有效手段。

## 1.2 GNSS信号及接收机

本文的研究基于GPS系统展开,深入探讨了GPS信号在扩展频谱通信技术中的应用,并分析了其关键组成部分。GPS信号采用了二相相移键控(BPSK)调制方式,这种调制方式通过改变载波信号的相位来传递信息,从而实现了信号的稳定传输与解码。GPS信号的核心结构由载波、伪随机码和导航电文构成,各部分在信号传输中发挥着不同的作用。

载波是GPS信号的基础部分,主要包含L1和L2两种频率分量。L1频率约为1575.42 MHz, L2频率约为1227.60 MHz。这两种频率组合使用,不仅有助于消除电离层的影响,还能够提高定位的精度和可靠性。通过同时接收这两个频率的信号,接收机可通过差分计算来校正信号传播中的误差,进而获得更为精确的定位信息。

伪随机码是GPS信号的重要组成部分,具有唯一性和高自相关性的特点。GPS信号中使用了两种伪随机码,即P码(精码)和C/A码(粗/辅码)。P码主要用于军用,具有较高的精度和较强的抗干扰能力,而C/A码则广泛应用于民用GPS系统,用于初始捕获和粗略定位。伪随机码的引入,使得接收机能够通过与卫星发出的伪随机码进行匹配,从而确定信号的到达时间和距离,并最终计算出精确的位置信息。

导航电文则包含了卫星的轨道参数、时间信息、系统状态等数据,是GPS系统为用户提供准确位置信息的关键部分。导航电文通常被嵌入到伪随机码中,通过调制后与载波信号一起发射到地面接收机。接收机解码这些电文后,可获得关于卫星位置和状态的信息,从而进行定位计算。

GPS信号的结构如图3所示,展示了载波、伪随机码和导航电文的相互关系和各自的功能。本研究通过详细分析这些信号的特性,探讨了它们在不同测量场景中的应用和优势。例如,在高精度的定位应用中,使用L1和L2双频信号能够有效提高定位精度,而伪随机码的高自相关性则确保了信号的精确捕获和解码。这些特性使得GPS系统不仅在日常导航中广泛应用,也在诸如地质勘测、工程测量等领域发挥了重要作用。本文将进一步研究这些信号在具体测量任务中的应用方法和效果,为GPS系统的应用提供新的视角和见解。



图3 GPS信号结构图

## 2 高精度定位技术

### 2.1 微震地压监测

随着浅层金属资源的广泛开采,许多金属矿山的施工深

度不断增加,施工范围也在不断扩大。这种情况对地下岩体造成了显著的影响,容易引发岩体的开裂、变形和塌陷等问题,导致原始岩层的应力平衡变得极其不稳定,从而使得深部开采过程中更容易发生塌陷、冒顶等地压灾害。地压是这些灾害产生的根本原因。由于金属矿产资源的持续开采,原始岩层的应力平衡被破坏,岩体的结构控制和应力控制遭到削弱,使应力在围岩中重新分布,进而引发围岩变形和松动破坏。如果没有采取有效的支撑措施,或者对潜在的岩层滑体采取了不适当的支撑措施,极有可能会导致冒顶事件的发生。

在矿山的巷道、掘进工作面等主要活动区域,这些空间不仅是地下运输和矿山人员工作的主要场所,还布置有风、水、电等设施设备,以及管道和线路。因此,当发生塌陷、片帮等危险时,极有对该区域的人员和设备造成严重的伤害和损坏。而当大面积的冒顶或采空区塌陷等大规模地压风险出现时,不仅会直接影响到活动区域内的人员和物品,还产生强烈的冲击波,对邻近工作区甚至整个矿山开采区造成严重影响,进而引发重大矿山安全事故。因此,开展矿山开采的地压实时可视化监测,已成为保障矿山安全生产的紧迫任务。

微震监测系统作为一种有效的技术手段,可对冲击地压风险进行监测和预警。针对上述问题,本文采用了微震监测技术,通过拾振器实时采集数据,利用计算机模型分析风险区域的位置和风险等级,能够及早识别和预判可能发生的灾害。根据监测结果,及时采取相应的防范措施,以减少或消除塌陷、冒顶等地压灾害的发生,保护作业人员的生命安全,并维护矿山的正常生产秩序。这种实时监测和预警系统对于矿山安全管理具有重要意义,有助于提高矿山的应急响应能力和事故防范水平。

### 2.2 地质构造

矿区的断裂裂隙构造十分发育,大部分形成于燕山期,并且在时间顺序上呈现出不同的走向演变,依次为东西走向、北西走向和北东走向。其中,北西走向的岩体缝隙断裂构造是该区域的主要控矿和含矿构造,具有重要的成矿意义。北东走向的岩体缝隙断裂构造则属于矿山形成后的晚期构造,在矿山形成的早期对局部成矿体造成了破坏。

北西向断裂的地表出露一般长度在32m至1072m之间,宽度为0.5m至2.5m,倾向为 $25^{\circ}$ 至 $60^{\circ}$ 或 $216^{\circ}$ 至 $233^{\circ}$ ,倾角在 $55^{\circ}$ 至 $78^{\circ}$ 之间,呈现出成群成带分布的特征,且为含金石英脉所充填。这一走向的断裂是矿区内重要的含矿构造,控制着矿体的分布和富集。

东西向断裂主要包括一采区的F27断裂和二采区的F105号断裂,其中F27号断裂规模较大,分布于矿区南部,并向西偏转至北西方向。该断裂在矿区内延伸近3000m,宽度为2m至20m,延深较大,倾向为 $216^{\circ}$ ,倾角 $50^{\circ}$ 至 $70^{\circ}$ 。F27断裂早期表现为张扭性断裂,沿断裂带有花岗岩侵入,下盘局部存在石英脉充填,并伴有金矿化现象,显示出较高的矿化潜力。

北东向断裂则多为成矿后的晚期断裂,规模相对较小,主要以压扭性平移断裂为主。这些断裂对矿脉产生了错移等破坏作用,断距一般在0.2m至0.50m之间。尽管这些断裂的规模较小,但它们对矿脉的破坏作用不容忽视,尤其是在成矿后期的地质演变过程中,这些断裂会对矿体的完整性和



可采性产生重要影响。

### 2.3 工程地质条件

矿体围岩的构成成分主要包括花岗岩、花岗斑岩、结晶灰岩以及闪长岩，这些岩石具有较高的抗压强度，通常在39.3MPa至113.73 MPa之间。这些岩石的结构致密且坚硬，能够为矿体提供较强的支撑。然而，矿区地表存在一层强风化带，其厚度一般在8m至15m之间，强风化带之下为中等风化带，岩石的强度相对较低。

此外，矿区的低洼地带广泛分布着第四系坡洪积物，这些沉积物主要由碎石土组成，厚度在3m至20m之间。这些坡洪积物的结构松散，强度较低，容易受到外力影响而发生变形或失稳。因此，在矿区的工程建设和开采过程中，必须充分考虑这些地质特征，以制定适当的支护和加固措施，确保矿山的安全和稳定。如表1所示为岩（矿）石力学试验统计结果表。

表1 岩（矿）石力学试验统计结果表

岩石名称	单轴饱和抗压强度 (Mpa)	抗拉强度 (Mpa)	抗剪强度	
			内摩擦角	凝聚力 (Mpa)
花岗斑岩	113.73	12.70	38° 4'	12.74
花岗斑岩	39.3	12.45	22° 46'	6.64
闪长岩	75.14	5.06	27° 8'	8.62
结晶灰岩	76.64	2.27	27° 48'	7.35
花岗岩	95.46	9.89	22° 46'	10.25
花岗岩	101.32	10.35	23° 15'	11.79
花岗岩	85.66	10.67	22° 30'	11.46

矿体围岩的结构类型主要为块状结构，岩体质量等级较高，分类为Ⅱ类，表明岩体质量良好。然而，在特定的构造环境下，围岩会受到硅化等蚀变作用的影响，导致围岩的高固结度。这些影响使得围岩在总体上具备较好的稳定性，但同时也增加了对断裂构造的敏感性。局部范围内的裂隙充填物在遇水后容易发生软化，形成软弱结构面，这种情况可能导致片帮、坍塌等现象，特别是在开采过程中，必须高度重视这些问题，以确保生产安全。

井下顶底板的围岩整体稳定性较好，通常情况下不需要额外的支撑防护。然而，在某些局部范围内，裂隙发育、蚀变现象强烈的地段，以及岩层走向与矿脉走向近乎立交或斜交的区域，围岩的稳定性会较差。采矿过程中，因暴露出凌空面，顶板围岩相对于底板围岩更容易发生塌落。因此，必须严格按照开采设计进行施工，尤其是在揭露上述不稳定地段时，要及时采取支护与加固措施，以防止冒顶、片帮、掉块等工程地质问题的发生，确保矿山作业的安全。

矿区的工程地质条件勘查类型应归为第二类简单型，这意味着矿区的工程地质条件主要由块状岩类组成，整体条件较为简单。此外，仍需对局部可能存在的不稳定因素进行详细分析和处理，确保矿山的长期稳定和安全运行。

## 3 技术在矿山工程中的应用

### 3.1 实时监测与控制系统

技术在矿山工程中的应用涵盖了多个方面，从勘探到安全监测都得益于先进的科技手段。在勘探阶段，地球物理勘探技术如地震勘探和电磁法，以及卫星遥感技术被广泛应用，帮助确定矿藏的位置、规模和性质。全球导航卫星系统（GNSS）在矿山区域的定位和导航中发挥关键作用，提供实

时的位置信息，优化内部运输和调度效率。自动化和智能化设备，包括自动化采矿机械和自动导航的运输车辆，提高了生产效率并降低了人员的安全风险。虚拟现实（VR）和增强现实（AR）技术被用于培训、模拟矿山场景和可视化工作过程，提高操作人员的技能水平。地下无人机应用于勘探和监测，获取地下结构和矿藏的详细信息。大数据分析和物联网（IoT）技术处理来自各种传感器和设备的大量数据，实现设备的健康监测、预测性维护和生产计划的优化。智能安全系统则通过传感器、摄像头和人工智能技术监测矿山的安全状况，及时发现潜在的危险，保障工作人员的安全。这些综合应用使得矿山工程更加高效、安全，并为资源的最大程度利用提供了强有力的支持。技术的不断创新和应用将继续推动矿山工程领域的发展<sup>[5]</sup>。

### 3.2 空间数据采集与三维建模

空间数据采集与三维建模是当代地理信息科学和技术领域的关键组成部分，为我们对地球和环境的理解提供了更为精确和全面的工具。通过遥感技术，如卫星、飞机或其他传感器，可获取各种频段的地球表面数据，从而实现对地表覆盖类型、环境监测等方面的空间数据采集。地理信息系统（GIS）则整合这些数据，提供综合的地理信息处理和可视化工具。全球导航卫星系统（GNSS）和激光扫描技术（LiDAR）进一步提供了高精度的定位和地形模型数据。这些采集到的空间数据为三维建模提供了基础。在三维建模方面，地理信息系统可以呈现地理信息的三维形式，用于城市规划、地形建模和环境模拟。建筑信息模型（BIM）通过整合建筑元素的几何形状、位置和属性信息，提高了建筑设计、施工和管理的效率。虚拟现实（VR）和增强现实（AR）应用利用三维建模技术，创造虚拟漫游、AR导航等体验。在游戏开发领域，三维建模为创造逼真的游戏场景和人物模型提供了关键支持。此外，三维建模技术还在城市规划与可视化、医学领域等方面展现了巨大的应用潜力<sup>[6]</sup>。

## 4 结语

高精度测绘技术和三维建模在矿山工程中的应用，为提高生产效率、降低环境影响、确保安全运营提供了有力支持。通过精准的地理信息获取和可视化，矿山规划和管理得以更加科学、智能。然而，仍需持续创新和技术发展，以进一步优化矿山工程的可持续性，并促进资源开发与环境保护的平衡。

### 参考文献

- [1] 王坚, 刘飞, 韩厚增等. 测绘导航高精度定位关键技术及应用[J]. 导航定位与授时, 2020, 7(06): 1-11.
- [2] 许云鹏, 李升霖. 矿山工程测量中影像定位技术的应用实践研究[J]. 中国金属通报, 2022(06): 41-43.
- [3] 赵辉. 基于矿山工程的地质勘查定位技术设计及应用[J]. 世界有色金属, 2021(15): 51-52.
- [4] 王超群. 测绘新技术在现代矿山工程测量中的应用分析[J]. 世界有色金属, 2023(11): 19-21.
- [5] 向院. 新型数字化测绘技术在矿山地质工程测量中的应用分析[J]. 建材与装饰, 2019(10): 225.
- [6] 许常善. GPS技术在工程测绘中的应用及发展趋势[J]. 工程建设与设计, 2022(07): 138-140.