

# 高海拔无人区 GNSS 测量中外挂电台通信的关键技术研究 与实现

张亮

四川省特道建设工程有限公司 四川自贡 643000

**【摘要】**随着国家基础设施建设和资源勘探向西部高海拔地区的扩展，高精度GNSS测量在这些区域的应用日益广泛。然而，高海拔无人区往往缺乏可靠的移动通信网络覆盖，使得传统GNSS测量中的数据传输成为制约作业效率的关键因素。本文针对高海拔无人区特殊环境条件，研究了GNSS测量中外挂电台通信的关键技术，包括低功耗设计、远距离传输、抗干扰能力及系统集成等，提出了一个完整的解决方案。通过对现有技术的分析和实验验证，结果表明优化后的外挂电台通信系统能够在高海拔恶劣环境下实现稳定可靠的GNSS数据传输，为相关领域的技术应用提供参考。

**【关键词】**高海拔无人区；GNSS测量；外挂电台；低功耗设计；远距离传输

Research and Implementation of Key Technologies for External Radio Communication in GNSS Measurement in High Altitude Unmanned Areas

Zhang Liang

Sichuan Teda Construction Engineering Co., Ltd. Sichuan Zigong 643000

**【Abstract】**With the expansion of national infrastructure construction and resource exploration to high-altitude areas in the west, the application of high-precision GNSS measurement is becoming increasingly widespread in these regions. However, high-altitude unmanned areas often lack reliable mobile communication network coverage, making data transmission in traditional GNSS measurements a key factor restricting operational efficiency. This article focuses on the special environmental conditions of high-altitude unmanned areas and studies the key technologies of external radio communication in GNSS measurement, including low-power design, long-distance transmission, anti-interference ability, and system integration. A complete solution is proposed. Through analysis and experimental verification of existing technologies, the results show that the optimized external radio communication system can achieve stable and reliable GNSS data transmission in high-altitude harsh environments, providing reference for technical applications in related fields.

**【Key words】**high-altitude uninhabited areas; GNSS measurement; External radio station; Low power design; long-distance transmission

## 1 引言

高海拔无人区通常指海拔 3000 米以上、人烟稀少、自然环境恶劣的区域，这些区域广泛分布于我国的青藏高原、西部荒漠等地带。随着国家“十四五”规划中对西部开发的深入推进，高精度 GNSS 测量在高原交通建设、能源勘探、地质灾害监测等领域的应用需求日益增长。然而，高海拔地区复杂的地形条件和恶劣的气候环境对传统 GNSS 测量作业构成了严峻挑战，特别是在通信数据传输方面表现尤为突出。在高海拔无人区进行 GNSS 测量作业时，由于缺乏公共移动通信网络覆盖，采用电台方式进行基准站与移动站之间的数据传输成为主要技术手段。相比于内置电台，外挂电台具有发射功率大、传输距离远、抗干扰能力强等显著优势，更适合在高海拔复杂环境下使用。然而，高海拔环境也给外挂电台通信带来了诸多技术挑战：低气压和极端气温影响电子设备的正常工作；复杂地形导致信号传输遮挡严重；无人区缺乏稳定电源供应要求设备必须具备低功耗特性。

本文从高海拔无人区环境特性分析入手，系统研究

GNSS 测量中外挂电台通信的关键技术，包括低功耗设计与电源管理、远距离传输与抗干扰技术、集成化与模块化设计等，并提出系统的实现方案和集成方法。通过对技术性能的测试与分析，验证解决方案的可行性与有效性，为高海拔无人区 GNSS 测量作业提供技术参考和实践指导。

## 2 高海拔无人区环境特性及对电台通信的影响

高海拔无人区的环境特性极为特殊，对 GNSS 测量中的外挂电台通信产生了多方面的复杂影响。只有深入了解这些环境特性及其对通信系统的具体影响机制，才能有针对性地设计出适应性强、可靠性高的外挂电台通信系统。

### 2.1 地形地貌与信号传输

高海拔无人区通常具有极为复杂的地形特征，包括高山峡谷、冰川荒漠、深切河谷等多种地貌。以青藏高原为例，该区域平均海拔超过 4000 米，山脉起伏剧烈，高差可达 1000–2000 米，这种地形对电台信号的传输造成了严重影响。一方面，复杂地形导致信号遮挡严重，特别是在峡谷地

带, 电台信号容易被山体阻挡形成通信盲区; 另一方面, 多径效应明显, 信号经不同路径到达接收端, 造成信号干涉和衰减。研究表明, 在高山地区, UHF 频段的电台信号传播损耗比平原地区增加 15-25dB, 显著缩短了有效通信距离。

## 2.2 气候条件与设备可靠性

高海拔无人区的气候条件极其恶劣, 对电台设备的可靠

性和耐久性提出了极高要求。这些地区普遍具有低氧、低温、强紫外线辐射、大风等气候特征, 尤其是温度变化剧烈, 日温差可达 30℃以上, 冬季极端温度可低于-40℃。低温条件会显著降低电池性能, 导致供电系统输出电压下降, 容量锐减。据测试, 普通锂电池在-20℃环境下的有效容量仅为常温下的 30%-40%, 严重影响了电台设备的持续工作时间。

表 1 高海拔环境因素对电台通信性能的影响

环境因素	对电台通信的影响	技术应对措施
复杂地形	信号遮挡、多径效应、传输距离缩短	采用中继技术、提高天线高度、优化站址选择
低温环境	电池容量下降、设备启动困难	低温电池、保温设计、智能功耗管理
低气压	散热效率降低、绝缘性能下降	自然散热设计、增强绝缘强度
强紫外线	材料老化、密封性能退化	抗 UV 材料、加强密封设计

## 2.3 电磁环境与信号质量

高海拔无人区的电磁环境相对纯净, 人为干扰源少, 这为电台通信提供了一定的有利条件。然而, 这些地区也存在一些特殊的电磁干扰因素。例如, 高原地区雷暴活动较为频繁, 雷电干扰可能对电台设备造成损害; 太阳辐射强烈, 电离层变化对无线电波传播产生影响; 地广人稀, 无线电台站稀少, 导致中继组网困难。

值得注意的是, 高海拔地区空气稀薄, 大气吸收损耗较小, 这在某种程度上有利于无线电波的传播。研究表明, 在海拔 4000 米以上地区, UHF 频段的电波传播损耗比海平面条件下降低约 5-10%, 这一特性可在系统设计时加以利用。

## 3 外挂电台通信的关键技术

高海拔无人区 GNSS 测量中的外挂电台通信技术面临多重挑战, 需要从多个方面进行技术创新和优化设计。本节将详细分析外挂电台通信系统中的关键技术, 包括低功耗设计

计、远距离传输、抗干扰能力以及系统集成等方面。

### 3.1 低功耗设计与电源管理

高海拔无人区往往缺乏稳定的市电供应, 电台设备通常依赖蓄电池或太阳能供电, 因此低功耗设计成为外挂电台通信系统的核心技术之一。实现低功耗设计需要从芯片级、模块级和系统级多个层面进行优化。

### 3.2 远距离传输与抗干扰技术

高海拔无人区 GNSS 测量作业范围广泛, 基准站与移动站之间的距离常常达到数十公里, 这对电台通信的远距离传输能力提出了很高要求。同时, 复杂的电磁环境要求设备必须具备强大的抗干扰能力。

实现远距离传输首先需要适当的发射功率。外挂电台相比内置电台的一个显著优势就是可以提供更大的发射功率, 例如华测电台提供高功率型号, 配合高增益天线, 可实现视距条件下超过 20 公里的可靠传输。然而, 单纯增加发射功率并非最优解决方案, 更需要结合高效调制解调技术提升传输效率。

表 2 外挂电台关键通信技术对比

技术类型	技术特点	优势	适用场景
哈达玛扩频调制	高处理增益、抗干扰性强	低信噪比下可靠接收、保密性好	远距离、弱信号环境
多信道跳频	多频点自动切换	避开干扰频点、难以被截获	复杂电磁环境
前向纠错编码	添加冗余校验信息	检测和纠正传输错误	高误码率环境
模糊逻辑加权	动态调整卫星权重	提升弱信号环境下定位精度	信号阻塞严重区域

### 3.3 集成化与模块化设计

为适应高海拔无人区的恶劣环境, 外挂电台需要采用高度集成化和模块化的设计理念, 以提高设备的可靠性、可维护性和环境适应性。

模块化设计则体现在硬件架构和接口设计两个方面。硬件模块化使得设备的不同功能单元相对独立, 便于维护和升级; 标准化的接口设计则使设备能够灵活连接各种外围设备, 如不同类型的天线、电源、传感器等。例如, 华测的智能互联 GNSS 接收机采用模块化设计, 集成了蜂窝网络、Wi-Fi 和天线系统, 并提供了短距离通信的扩展插槽, 可在全球范围内使用。这种模块化设计大大增强了设备的环境适应性和功能扩展性。

### 3.4 智能配置与中继技术

面对高海拔无人区复杂多变的通信环境, 智能配置和中继技术对于保障通信链路的可靠性至关重要。

智能配置技术主要体现在参数自动匹配和远程管理两个方面。传统的电台配置需要手动设置工作频率、协议、波特率等参数, 过程繁琐且容易出错。而现代外挂电台支持智能参数配置, 如华测 RTK 系统的智能基站功能, 能够在建立连接后自动进行鉴权和参数匹配, 大大简化了配置流程。此外, 一些高端电台还支持远程 Web 管理功能, 用户可通过网络浏览器远程监控和配置电台参数, 便于设备的集中管理和维护。

中继技术是扩展通信覆盖范围的有效手段。在高海拔地区, 由于地形阻挡, 基准站与移动站之间往往无法直接通信, 此时需要通过无线电转发器来延伸通信范围。华测电台具有电台中继功能, 测量作业中常遇到超出电台作业范围的情况, 可将接收到的基站电台信号, 通过电台中继功能转发给移动站, 从而大大延伸电台的作业距离。中继方式包括固定中继和移动中继两种形式: 固定中继站设置在高点, 提供区

域性覆盖；移动中继则可搭载于车辆或无人机上，提供灵活的临时覆盖。

## 4 系统实现与集成方案

在前述关键技术研究的基础上，本节将深入探讨高海拔无人区GNSS测量中外挂电台通信系统的具体实现方案和系统集成方法。一个完整可靠的外挂电台通信系统需要从系统架构、硬件选型、软件设计等多个方面进行综合考虑和优化设计。

### 4.1 空天地一体化监测系统架构

针对高海拔无人区的特殊环境，空天地一体化监测系统架构是一种有效的解决方案。这种架构综合利用卫星通信、空中平台和地面设备，形成立体化的监测网络，确保在复杂地形条件下的可靠通信。

空天地一体化架构通常采用分层设计，包括数据采集层、传输层和处理层。在数据采集层，布置各类GNSS接收机和传感器，采集高精度定位数据和环境数据；在传输层，外挂电台承担地面主要传输任务，在无法直接通过电台传输的区域，则借助无人机机载中继或卫星通信进行补充；在处理层，数据中心对接收到的数据进行解算和分析，生成最终的测量结果或预警信息。

### 4.2 硬件选型与配置优化

外挂电台通信系统的硬件选型直接影响到系统在高海拔环境下的性能和可靠性。针对高海拔地区的特殊环境，需要选择具备特定性能指标的硬件设备。

在电台设备选择方面，应考虑功率、功耗、环境适应性等关键参数。华测电台提供多种功率型号，整机轻量化设计，内置智能电池组可连续工作10小时以上，轻松实现8-20公里作业距离。这种轻量化、大功率的设计非常适合高海拔地区的应用。对于环境适应性，应优先选择工作温度范围宽、防护等级高（至少IP67）的设备，确保在极端环境下正常工作。

硬件配置的优化也至关重要。华测RTK系统通过智能基站功能，实现了参数的自动匹配。在外挂电台的设置中，需要用小五芯线将主机和电台连接，外挂天线连接电台，再使用蓄电池给电台供电，并在软件中设置数据链为外挂，选择适当的电文格式。这些配置细节的优化，能够显著提高现场作业的效率 and 可靠性。

### 4.3 软件设计与数据处理流程

外挂电台通信系统的软件设计关系到系统的易用性、稳定性和数据处理效率。一个完整的软件系统应包括设备配置、数据传输、数据解算和系统监控等多个模块。

在设备配置模块设计中，应提供直观友好的用户界面，简化设备参数设置过程。如华测RTK系统的测量软件那样，

通过图形化界面引导用户完成外挂电台的参数设置，包括协议选择、频道设置、功率调整等。智能基站功能更进一步，系统能够根据移动站与基准站的距离自动判断是否允许配置，避免误操作。

在数据解算模块设计中，需要集成先进的数据处理算法。华测的GNSS接收机支持全星座多频点跟踪，可为高精度应用提供精确的GNSS校正和定位。在高海拔地区，由于电离层和对流层条件与平原地区不同，需要采用适合当地条件的大气误差模型，提高定位解算的精度和可靠性。

### 4.4 典型应用场景与效果评估

高海拔无人区GNSS测量中外挂电台通信系统的应用场景主要包括大面积测绘、地质灾害监测和工程建设等多个领域。在不同应用场景下，系统的配置和优化重点也有所不同。

在大面积测绘领域，如高原区域地形图测绘，通常需要大范围的GNSS测量作业，通信距离远、移动站数量多。这类应用适合采用大功率外挂电台与中继技术相结合的方式，构建覆盖广泛的通信网络。在地质灾害监测领域，如高原滑坡监测，需要长期连续的数据采集和传输。这类应用对设备的低功耗和可靠性要求极高，适合采用超低功耗的普通型GNSS模块与太阳能供电系统相结合的方式。这类应用中，数据传输的实时性要求可能不高，可采用定时传输或触发式传输模式，进一步降低系统功耗。

在工程建设领域，如高原铁路、公路建设测量，需要高精度的实时定位数据。这类应用对通信的实时性和可靠性要求都很高，适合采用高性能的外挂电台设备，并结合网络RTK等技术，实现厘米级实时定位。华测RTK系统的外挂电台设置中描述的智能基站模式非常适合这类应用。

## 5 结论

本文针对高海拔无人区GNSS测量中的数据通信挑战，系统研究了外挂电台通信的关键技术并提出了完整的解决方案。高海拔无人区的特殊环境条件，包括复杂地形、恶劣气候和特殊电磁环境，对外挂电台通信提出了严峻挑战。低功耗设计是解决无人区供电问题的关键技术，通过芯片级优化、模块级管理和系统级供电设计，可实现设备在无人环境下的长期稳定工作。远距离传输和抗干扰技术是保障通信可靠性的核心，大功率输出、高效调制技术和智能抗干扰算法的结合，有效应对了高海拔地区的传输挑战。空天地一体化系统架构充分利用了卫星、空中和地面多种平台的优势，形成了立体化的通信网络，解决了复杂地形条件下的通信覆盖问题。实际应用案例表明，优化设计的外挂电台通信系统在高海拔无人区GNSS测量中表现出色，通信距离、功耗控制、环境适应性等关键指标均能满足作业要求。

## 参考文献

- [1]秦丛勇, 张虎, 马庆平, 等. 高寒山区超长线性项目施工测量方法[J]. 安装, 2025(07): 113-117
- [2]王志刚, 郝富春, 江兆平. 基于外挂式虚拟仪器的军用电台测试[J]. 电子工程师, 2007(11): 12-14.