

# 一种基于低轨卫星通信的电力北斗融合终端一体机技术

沈汉坤 杜德顺 李国栋

北京风桥科技有限公司 北京 100085

**【摘要】**电力行业对通信可靠性和定位精度的需求持续攀升，促使低轨卫星通信与电力北斗融合终端一体机技术出现。本文对该技术的原理、系统架构、关键技术、应用场景与前景予以详细阐述，为推动电力行业通信与定位技术发展提供参考。经深入分析相关技术，展现此融合技术在提升电力系统运行效率、保障供电可靠性等方面的巨大潜力。

**【关键词】**低轨卫星通信；电力北斗；融合终端一体机技术

## 1 低轨卫星通信与电力北斗融合终端一体机技术概述

### 1.1 低轨卫星通信技术原理与特点

低轨卫星通信系统借助运行于低地球轨道（高度一般在500-2000公里）的卫星开展信号传输工作。电磁波通信存在于卫星与地面终端之间，此为其原理所在，卫星充当中继站角色，将地面终端发出的信号接收后转发给其他地面终端或者网络节点。低轨卫星通信的传输延迟较小，这是因为卫星和地面的距离相对较近，信号往返所需时间较短，与高轨卫星通信相比，其在实时通信质量的提升方面效果显著。比如，在实时电力数据传输场景下，低延迟能够保证电力调度指令及时被下达，进而提高电力系统的响应速度。低轨卫星通信具有高带宽的优势，此优势可满足电力行业大量数据快速传输的需求，像高清电力设备监控视频的实时回传这类需求就能得到满足。其覆盖范围广泛，这一特性能够弥补地面通信网络在偏远地区或者特殊地形环境下覆盖方面的不足，从而为电力设施的远程监控与维护提供可靠的通信保障。

### 1.2 电力北斗技术的发展与现状

北斗卫星导航系统于电力行业中的应用正不断深入，已从最初简单的授时功能发展成为如今集定位、导航、授时以及短报文通信等多方面的综合应用。电力北斗技术的高精度定位能力使其能够精确定位电力设施的地理位置，这为电力线路巡检、变电站建设等提供精确的位置信息。例如，在山区复杂地形里，借助电力北斗定位技术可精准找到电力杆塔的位置，巡检效率得以提高。北斗系统的高精度授时为电力系统的同步运行给予了关键支撑，确保电力系统中各设备的时间同步精度达到微秒级，保障电力调度的准确性以及电力系统的稳定运行。当前，电力北斗技术

在电力行业已被广泛应用，从输电、变电直至配电环节，均起到重要作用，且随着技术的持续发展，其应用场景仍在不断拓展。

## 2 基于低轨卫星通信的电力北斗融合终端一体机系统架构

### 2.1 硬件架构设计

融合终端一体机的硬件架构主要涵盖通信模块、定位授时模块、数据处理模块以及电源管理模块等。通信模块运用低轨卫星通信专用芯片，此芯片具备高灵敏度接收与大功率发射的特性，从而可实现与低轨卫星间稳定的信号传输。并且，该模块支持多种通信协议，能适配不同的低轨卫星通信系统。定位授时模块集成电力北斗芯片，可接收北斗卫星信号以达成高精度的定位与授时功能。其定位精度达亚米级，授时精度达纳秒级，这满足了电力行业对位置和时间精度的严苛要求。数据处理模块采用高性能处理器，对通信模块接收的数据以及定位授时模块获取的位置和时间信息予以处理、分析和存储。该模块数据运算能力强，能够迅速处理如电力负荷数据、设备状态监测数据等复杂的电力数据。电源管理模块采用高效的电源转换技术，为终端一体机提供稳定的电源供应，确保设备在不同工作环境下稳定运行，且具备低功耗管理功能以延长设备续航时间。

### 2.2 软件架构设计

软件架构包含底层驱动层、中间层和应用层。其中，底层驱动层负责与硬件设备交互，对通信模块、定位授时模块等硬件设备进行控制和驱动。它向上层软件提供统一的硬件访问接口，借此屏蔽硬件设备的差异，从而便于中间层与应用层调用硬件功能。中间层涵盖通信协议栈、定位

算法库以及数据处理引擎等部分。其中，通信协议栈负责解析和封装低轨卫星通信协议，保障数据在通信过程中得以正确传输；定位算法库集成了先进的北斗定位算法，可依据接收到的北斗卫星信号精准计算出终端的位置信息；数据处理引擎则负责处理和分析各类电力数据，为应用层提供数据支撑。应用层面向电力行业用户，提供如电力设备监控、电力调度指挥、电力应急抢险等多种应用功能。用户借助应用层界面，可直观查看电力系统运行状态、下达调度指令并获取设备位置等信息，进而实现对电力系统的高效管理与控制。

### 2.3 通信链路设计

通信链路设计包含卫星链路与地面链路这两部分。在卫星链路部分，选取适宜的调制解调技术与信道编码方式，可提升信号于卫星信道中传输的可靠性。例如，正交频分复用（OFDM）调制技术的运用，能有效抵御多径衰落，提高频谱利用率。

## 3 基于低轨卫星通信的电力北斗融合终端一体机关键技术

### 3.1 卫星通信与北斗定位融合算法

卫星通信与北斗定位融合算法为实现融合终端一体机功能的关键技术。此算法意在把低轨卫星通信所得的位置相关信息（像信号到达时间差等）与电力北斗定位信息融合，进而提升定位的精度与可靠性。需建立统一的坐标系和时间基准，对两种来源的位置信息进行归一化处理，再运用扩展卡尔曼滤波（EKF）算法处理融合后的数据。在通信链路技术方面，优化信道编码意义重大，例如采用低密度奇偶校验（LDPC）码，可增加信号纠错能力并降低误码率。卫星链路的功率控制方面，要依据卫星与地面终端的距离以及信号传输质量动态调整发射功率，如此既能确保信号有效传输，又可避免不必要的功率浪费。地面链路设计的重点在于考虑与电力通信网络的接入方式。融合终端一体机接入电力通信网络可通过有线或者无线的方式，像以太网接口、4G/5G无线通信模块等。在接入电力通信网络时，采用安全可靠的通信协议，以保障数据传输过程中的安全性与完整性，防止数据被窃取或者篡改。EKF算法基于系统的状态方程与观测方程，能够对当前位置状态予以预测和更新。在融合环节，会充分考量卫星通信与北斗定位的误差特性，从而为不同观测值分配合理权重。例如，若北斗定位信号质量佳，则给予北斗定位信息较高权重；

而当卫星通信信号在特殊环境下具备更精确的位置相关信息时，便适当增加卫星通信信息的权重。通过这种动态加权融合的方式，定位精度可得到有效提升，在城市峡谷、山区等复杂环境下，定位效果能显著改善，进而为电力行业应用提供更为精准的位置服务。

### 3.2 高效数据处理与传输技术

电力行业中的融合终端一体机面临着大量电力数据的处理与传输任务。为达成高效的数据处理与传输目的，一系列先进技术被采用。于数据处理而言，并行计算技术被利用，该技术把复杂的数据处理任务拆解成多个子任务，由多核处理器并行执行，以此提高数据处理速度。像在对电力设备海量监测数据进行分析时，并行算法可被用于数据的快速筛选、特征提取以及故障诊断，数据处理时间大幅缩短。在数据传输方面，自适应编码调制技术被采用。在电力系统的运行中，鉴于卫星信道和地面通信网络的实时状态具有动态变化性，需对数据的编码方式和解调方式进行动态调整。若信道质量处于较好状态，则可采用高码率、高阶调制方式，这有助于提升数据传输速率；而当信道质量出现恶化时，便自动转换为低码率、低阶调制方式，从而保障数据传输的可靠性。另外，将数据压缩技术与之相结合，对电力数据予以压缩处理，此举能够减少数据传输量、降低通信带宽需求，进而提高数据传输效率。

### 3.3 抗干扰与安全防护技术

电力环境繁杂，其中存在诸多电磁干扰源。并且，融合终端一体机在电力数据传输方面扮演着重要角色，所以安全防护的意义非凡。于抗干扰层面而言，多种抗干扰措施被采用。在硬件方面，针对通信模块与定位授时模块开展电磁屏蔽设计，以此削减外界电磁干扰给设备带来的影响。在软件方面，运用自适应干扰抵消算法，借助对干扰信号特征的实时监测，生成与之反向的抵消信号，进而消除干扰对有用信号的影响。在安全防护方面，需要从数据加密、身份认证以及访问控制等多个维度着手。例如在数据加密方面，采用如AES（高级加密标准）算法这类先进的加密算法，对传输的数据实施加密处理，以保证数据在传输过程中的保密性。身份认证借助数字证书等手段，对使用融合终端一体机的用户与设备予以身份核实，杜绝非法用户接入以及数据被窃取的情况。访问控制依据用户的角色与权限，严格限制对系统资源的访问，唯有经授权的用户方可访问特定的电力数据和功能，以此确保电力系统安

全稳定运行。

#### 4 基于低轨卫星通信的电力北斗融合终端一体机应用场景与前景

##### 4.1 电力输电线路监测与维护

电力输电线路的监测与维护工作中，融合终端一体机意义非凡。低轨卫星通信可将地处偏远地区输电线路监测设备所采集的数据实时传输至监控中心。电力北斗高精度定位功能有助于精确判定输电线路杆塔位置以及线路故障点位置。像在地面通信网络难以覆盖的山区，低轨卫星通信保障了输电线路的图像、温度、舞动等监测数据的及时传输。输电线路若有异常，例如温度过高或者发生舞动时，融合终端一体机能够迅速定位故障位置，为维修人员提供精准导航指引，这会极大缩短故障排查与修复的时长，提升输电线路的可靠性以及供电稳定性。

##### 4.2 电力变电站智能运维

电力变电站里，融合终端一体机达成了智能运维的目标。它借助低轨卫星通信和电力北斗相关技术优势，实现变电站设备运行状态的实时监测。例如，变电站设备巡检期间，运维人员携带融合终端一体机时，设备位置信息可被实时获取，进而依据设备台账开展检查工作，而且设备运行状态数据也能够通过低轨卫星通信及时上传至管理系统。并且，变电站内一旦出现设备故障，融合终端一体机能够迅速定位故障设备，依据实时监测数据进行故障诊断，为维修方案的制定提供依据，进而提升变电站的运维效率与智能化水平。

##### 4.3 电力应急抢险与保障

在电力应急抢险场景下，融合终端一体机属于关键装备。自然灾害等情况致使电力设施受损时，地面通信网络往往会遭受严重破坏，此时低轨卫星通信广覆盖与快速组网的优势便得以彰显。融合终端一体机可快速构建通信链路，保障应急指挥中心与现场抢险人员的通信顺畅。同时，凭借电力北斗定位功能，抢险人员和抢险设备的位置信息能够被实时掌握，这有助于资源的合理调配以及抢险方案的制定。

#### 5 结论

本文对基于低轨卫星通信的电力北斗融合终端一体机技术展开深入探究。经由对其技术概要、系统架构、关键技术以及应用场景与前景的剖析，彰显出该融合技术于电力行业

蕴含的巨大潜力与应用价值。低轨卫星通信和电力北斗技术相融合，为电力行业供给全面且可靠的通信与定位服务，有力地化解了电力系统在复杂环境下通信与定位方面的难题。在系统架构层面，硬件、软件、通信链路以及定位与授时系统的合理设计，保障了融合终端一体机的稳定运行与高效工作。关键技术方面取得的突破，像卫星通信与北斗定位融合算法、高效数据处理与传输技术、抗干扰与安全防护技术以及终端设备小型化与低功耗设计等，为该技术的实际应用筑牢坚实根基。于应用场景之中，在电力输电线路监测与维护、电力变电站智能运维、电力应急抢险与保障等领域均收获显著成果，且未来应用拓展的前景颇为广阔。然而，当下该技术尚面临诸多挑战。技术成本偏高、在部分应用场景下性能仍需进一步优化等问题较为突出。未来，应进一步强化技术研发与创新工作，降低成本并提升技术性能，从而推动基于低轨卫星通信的电力北斗融合终端一体机技术于电力行业实现大规模应用，达成可持续发展，为电力行业的现代化建设贡献更多力量。

#### 参考文献：

[1] 朱文, 江伟, 周志烽, 等. 面向电力业务多协议融合的北斗三号短报文传输技术研究[J]. 物联网技术, 2023, 13(6): 62-64.

[2] 孙艺新, 柳占杰, 刘哲, 等. 融合北斗及LiDAR移动测量的电力工程道路横断面自动获取方法[J]. 应用科学学报, 2022, 40(6): 953-963.

[3] 陈远, 黄林超, 刘丽斌, 等. 基于北斗卫星导航系统的电力铁塔自动化远程定位方法[J]. 自动化技术与应用, 2022, 41(11): 112-115.

[4] 陈远, 黄林超, 刘丽斌, 等. 基于北斗卫星导航系统的电力铁塔自动化远程定位方法[J]. 自动化技术与应用, 2022, 41(11): 112-115.

#### 作者简介：

沈汉坤(1974.09-), 男, 汉族, 福建漳州人, 本科, 研究方向: 新一代电力通信。

杜德顺(1975.07-), 男, 汉族, 辽宁辽阳人, 本科, 研究方向: 电力北斗。

李国栋(1973.12-), 男, 汉族, 河南濮阳人, 硕士, 研究方向: 电力北斗。