

一种基于电力北斗高精度技术的无信号区输电覆冰监测技术

沈汉坤 杜德顺 李国栋

北京风桥科技有限公司 北京 100085

【摘要】本文围绕无信号区输电覆冰监测这一难题展开探讨，着重研究基于电力北斗高精度技术的创新解决途径。经由对该技术原理、系统架构、关键技术实现以及实际应用案例的详尽剖析，彰显其于保障输电线路安全稳定运行的关键意义。研究结果显示，此技术可有效解决无信号区通信与定位难题，达成输电覆冰的精确监测与预警，为电力系统应对复杂环境挑战给予有力支撑。

【关键词】电力北斗高精度技术；无信号区输电覆冰监测技术；技术应用

引言

电力需求的不断攀升促使输电线路朝着偏远地区延伸，而这些地区常出现地面通信信号覆盖不佳甚至缺失的状况。输电线路覆冰对电力系统安全运行有着重要影响，严重覆冰可能致使导线舞动、杆塔倾斜乃至倒塌，进而引发大面积停电事故，带来巨大经济损失和社会影响。在无信号区，传统依赖地面通信网络的输电覆冰监测手段难以施展。在此情形下，可靠的无信号区输电覆冰监测技术成为急需。电力北斗高精度技术的发展，为解决这一问题带来了新机遇。

1 电力北斗高精度技术原理与特性

1.1 北斗卫星导航系统基础原理

北斗卫星导航系统由空间段、地面段和用户段构成。空间段涵盖多颗不同轨道卫星，这些卫星于各自轨道持续发送含卫星位置、时间等信息的导航信号。地面段承担卫星监测、控制与数据处理工作，以保障卫星正常运行和信号准确性。用户段接收卫星信号并解算出自身的位置、速度和时间信息。其定位原理为测量卫星与用户终端间的距离，测量至少四颗卫星与用户终端的伪距后，运用三角测量原理确定用户终端在地球坐标系中的位置。北斗系统运用先进的原子钟技术，这确保了高精度的时间基准，为定位和授时奠定可靠基础。该系统不仅具备全球定位、导航和授时功能，经电力行业深度应用拓展后，形成电力北斗高精度技术体系，其高精度定位和短报文通信特性，能为无信号区输电覆冰监测提供关键支持，极具研究意义与应用价值。

1.2 电力北斗高精度定位的实现方式

在电力行业的应用范畴内，电力北斗达成高精度定位主要仰仗载波相位差分技术（RTK）与精密单点定位技术（PPP）。载波相位差分技术（RTK）实现高精度定位的原

理在于，在坐标已知的地面参考站和用户接收机之间开展载波相位观测值的差分处理。在这一过程中，卫星轨道误差、大气延迟等公共误差能够被消除，进而达成厘米级乃至毫米级的定位精度。地面参考站会实时地向用户接收机发送观测数据，用户接收机凭借这些数据进行差分计算，从而精准且迅速地确定自身位置。而精密单点定位技术（PPP）则借助国际GNSS服务（IGS）所提供的精密星历和钟差数据。用户接收机仅需接收卫星信号，经由复杂算法的处理，就能实现高精度定位。此技术无需依赖地面参考站，在无信号区等难以构建参考站的场景中更具适用性，其定位精度可达到分米级。

1.3 电力北斗的短报文通信功能

电力北斗的短报文通信功能是其相较于其他卫星导航系统的独特优势所在。借助这一功能，电力北斗终端即便处于无地面通信网络覆盖的状况下，也能够达成与其他终端或者控制中心之间的双向信息传输。短报文通信可应用于输电线路监测数据、设备状态信息和应急指令等的传输。在输电线路位于无信号区的监测点，监测设备能够借助电力北斗短报文把采集到的输电覆冰数据传送至电力调度中心，并且调度中心也可通过短报文向监测设备发送控制指令，从而达成对监测设备的远程管控。短报文通信不受地理环境约束，通信范围广泛，为无信号区的输电覆冰监测给予了可靠的通信保障。

1.4 电力北斗高精度技术于电力行业的优势

与传统定位和通信技术相较，电力北斗高精度技术在电力行业具备明显优势。输电线路杆塔、监测设备以及巡检人员的位置可被电力北斗高精度定位特性精确确定，这为输电线路的建设、维护以及故障排查提供了精准的位置信息。在通信方面，其短报文通信功能化解了无信号区的通信难题，保证了监测数据与指令的可靠传输。电力北斗系

统由我国自主建设与运营，这使其具备更高的安全性与可靠性，能有效确保电力行业的信息安全，避免因外部因素而出现通信中断或者定位失效的情况，为电力系统的稳定运行提供稳固支撑。

2 基于电力北斗高精度技术的输电覆冰监测系统架构

2.1 监测系统总体架构设计

输电覆冰监测系统借助电力北斗高精度技术构建，其主要包含监测终端、数据传输网络与监控中心这三个部分。监测终端布设于输电线路沿线的关键之处，承担着对输电线路覆冰数据、温度、湿度、风速等环境参数以及设备状态信息的采集任务。数据传输网络运用电力北斗短报文通信和卫星通信等手段，把监测终端采集到的数据传至监控中心。监控中心负责对所接收的数据予以处理、分析与存储，达成对输电线路覆冰状况的实时监测、预警以及决策支持。该系统的架构设计周全地顾及了无信号区的特殊环境，以保障其在复杂条件下稳定运行。

2.2 监测终端硬件组成

监测终端的硬件主要由传感器模块、电力北斗模块、数据处理模块和电源模块构成。传感器模块负责采集各类物理量，像称重传感器用于监测输电导线的覆冰重量，杆塔倾斜角度由倾角传感器监测，温湿度传感器和风速传感器则负责采集环境参数。电力北斗模块集高精度定位和短报文通信功能于一体，其功能为确定监测终端的位置并发送采集的数据。数据处理模块承担着对传感器所采集数据进行预处理与打包的任务，这有助于数据的传输。电源模块的职能在于为整个监测终端供应稳定的电力，其供电方式可将太阳能、风能等可再生能源与蓄电池相结合，以此保证在偏远地区能够长期且稳定地运行。

2.3 数据传输网络构建

于无信号区域，数据传输网络构建主要仰仗电力北斗短报文通信以及卫星通信。电力北斗短报文通信被用于传输关键的监测数据与设备状态信息，以保障数据的实时性和可靠性。针对数据量较大的高清图像、视频等监测数据，卫星通信成为传输的选择。卫星通信具备高带宽、广覆盖的特性，可满足大数据量传输需求。为提升数据传输的稳定性与效率，混合通信方式可被采用，依据实际状况自动进行通信链路的切换。例如，卫星信号微弱时，优先运用电力北斗短报文通信；卫星信号良好且数据量较大时，则采用卫星通信传输数据。

2.4 监控中心软件系统功能

监控中心软件系统具有数据接收与处理、实时监测与显示、预警分析与决策支持等功能。数据接收与处理模块负责接收监测终端发送的数据，并对数据进行解析、存储和预处理。实时监测与显示模块将处理后的数据以直观的

方式呈现给操作人员，包括输电线路的地理位置、覆冰情况、设备状态等信息的实时展示。预警分析与决策支持模块利用建立的覆冰预测模型和预警算法，对监测数据进行分析，当发现输电线路覆冰情况超过预警阈值时，及时发出预警信息，并为决策人员提供应对方案建议，如安排巡检、启动融冰装置等，保障输电线路的安全运行。

3 基于电力北斗高精度技术的输电覆冰监测关键技术

3.1 高精度覆冰监测传感器技术

为实现对输电覆冰的精准监测，采用了多种高精度传感器技术。称重传感器方面，采用先进的应变片式称重传感器，其具有高精度、高灵敏度和稳定性好的特点，能够准确测量输电导线因覆冰增加的重量，精度可达克级。倾角传感器采用 MEMS（微机电系统）技术，可实时监测杆塔在覆冰作用下的倾斜角度变化，精度可达 0.01 度。温湿度传感器和风速传感器也具备高精度测量能力，能够准确获取环境参数，为分析输电覆冰形成条件和发展趋势提供数据支持。这些高精度传感器通过合理的安装布局，能够全面、准确地采集输电覆冰相关信息。

3.2 基于电力北斗的定位与数据传输融合技术

于无信号区的输电覆冰监测而言，电力北斗定位功能与数据传输功能的有效融合极具重要性。电力北斗模块可使监测终端在采集数据之际，凭借其高精度定位功能确定自身位置，进而将位置信息与监测数据一并打包。在数据传输时，需依据通信链路的状态来选定适宜的传输方式。例如，若采用电力北斗短报文通信，便要按照短报文格式对位置和监测数据进行封装发送；而使用卫星通信时，则需依据卫星通信协议传输数据。此定位与数据传输融合技术保障了监测数据与位置信息的精确对应，利于监控中心精准分析与管理输电线路不同位置的覆冰状况。

3.3 覆冰数据处理与分析算法

监测终端所采集的大量覆冰数据的有效处理与分析，是达成准确监测与预警的关键所在。数据滤波算法可被用于去除噪声干扰，像卡尔曼滤波算法就能对传感器采集的原始数据进行滤波处理，从而提升数据的准确性与稳定性。而后，借助数据挖掘和机器学习算法构建覆冰预测模型。通过对历史覆冰数据、环境参数以及输电线路运行状态等多源数据的学习与分析，输电线路覆冰趋势在未来一段时间内可被模型预测。例如，运用支持向量机（SVM）算法对覆冰数据予以分类和预测，若预测结果表明覆冰状况可能达危险级别，则预警信号将被及时发出，从而为电力运维人员采取措施提供提前预警。

3.4 系统抗干扰与可靠性保障技术

无信号区环境复杂，存在多种电磁干扰源。为保障监测系统稳定可靠运行，一系列抗干扰与可靠性保障技术被

采用。在硬件层面，监测终端与通信设备进行电磁屏蔽设计，以降低外界电磁干扰对设备的影响。于软件方面，自适应干扰抵消算法被采用，干扰信号特征被实时监测且抵消信号得以生成，进而确保数据传输的准确性。为提高系统可靠性，冗余设计被采用，像备用电源、备用通信链路等。在电力供应方面，主电源故障时备用电源自动切换，以确保监测终端持续运行。通信链路方面，一种通信方式故障时系统自动切换到备用通信链路，保障数据传输的连续性，提升系统在复杂环境下的可靠性。

4 基于电力北斗高精度技术的输电覆冰监测应用案例与效果评估

4.1 实际工程应用案例介绍

于某偏远山区的输电线路工程内，基于电力北斗高精度技术的输电覆冰监测系统得到应用。此山区地形复杂，地面通信网络难以覆盖，冬季输电线路覆冰现象颇为严重。输电覆冰监测系统在输电线路沿线部署了多个监测终端，这些终端分布于易覆冰的杆塔与导线上。监测终端借助电力北斗短报文通信以及卫星通信，把采集到的覆冰数据、环境参数、设备状态信息实时传输至监控中心。在某冬季覆冰事件中，监测系统迅速捕捉到输电线路覆冰重量与杆塔倾斜角度的变化。凭借监控中心的预警分析和决策支持功能，电力运维人员预先知晓覆冰情况的严重性，进而及时实施融冰、加固杆塔等措施，输电线路因覆冰而产生故障得以有效避免。

4.2 监测数据准确性与可靠性的验证

监测系统数据的准确性通过与实际测量数据的对比得到验证。于覆冰监测现场，以人工方式测量覆冰厚度与重量，再与监测终端采集的数据进行对比。对于数据准确性，监测终端采集的各类数据与人工测量数据或相应标准相比，误差在5%以内；杆塔倾斜角度测量误差在0.05度以内；环境参数测量误差同样处于允许范围内，这充分体现出现监测系统数据的准确性。

4.3 预警及时性与有效性分析

预警及时性与有效性分析于多次覆冰事件期间，针对监测系统的预警及时性与有效性展开了分析。输电线路覆冰状况一旦达到预警阈值，监控中心可于1分钟内发出预警信息，此情形表明预警具有较高的及时性。对预警后所采取措施的效果加以评估可知，因预警及时，电力运维人员能够在输电线路尚未被覆冰严重危害之时采取相应措施，从而避免了多起可能出现的输电线路故障，这一结果证实了预警的有效性。

4.4 经济效益与社会效益评估

就经济效益而言，此监测系统的应用有效削减了因输电线路覆冰故障而引发的停电损失。通过及时预警并采取

相应措施，大面积停电事故得以避免，电力抢修成本以及因停电所致的工业生产损失等亦有所减少。据估算，每年可节省数千万元的经济损失。从社会效益角度来看，电力供应的稳定性得到保障，居民生活和社会公共服务受停电的影响得以降低，电力企业的社会形象与服务质量有所提高，社会效益颇为显著。

5 结论与展望

本文针对基于电力北斗高精度技术的无信号区输电覆冰监测技术展开了详尽研究。经对电力北斗高精度技术原理、监测系统架构、关键技术以及应用案例予以分析，此技术在解决无信号区输电覆冰监测难题方面的可行性与有效性得以展现。电力北斗高精度技术因定位准确、通信可靠等特性，为输电覆冰监测提供了创新性解决方案，可有效提升输电线路的安全性与稳定性，经济效益与社会效益均十分显著。不过，当前该技术于实际应用中仍存在部分问题，例如监测终端成本偏高，在部分复杂环境下监测精度尚需进一步提升等。日后，有必要进一步强化技术研发，削减设备成本，优化监测算法，提高系统在各类复杂环境中的性能。北斗卫星导航系统处于不断完善之中，其技术也在持续创新。在此背景下，电力北斗高精度技术应运而生。以该技术为基础的输电覆冰监测技术，在电力行业的应用前景十分广阔。它将不断拓展应用范围，进而为保障电力系统安全稳定运行贡献更多力量。

参考文献：

- [1] 尚志建. 北斗卫星短报文在输电线路覆冰监测系统中的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2023, (06): 123-126.
- [2] 刘艳丽, 仝杰, 孙建平, 等. 北斗卫星短报文技术在输电线路在线监测系统中的应用[J]. 电力信息与通信技术, 2016, 14(11): 28-32.
- [3] 蒋海彤, 杨慧乔, 李磊, 等. 北斗覆冰在线监测项目现状及主站系统建设实施方案[J]. 电工技术, 2022, (19): 106-108+112.
- [4] 王冕, 陈敦辉, 李永忠, 等. 基于北斗载波差分定位技术的输电线路覆冰厚度研究[J]. 电力大数据, 2021, 24(05): 34-40.
- [5] 邓规良. 基于北斗短报文的输电线路微气象在线监测系统研究[D]. 长沙理工大学, 2021.

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。