

电力北斗应用体系设计与应用研究

陈向东, 赵建伟, 傅宁

The design and application research of the BeiDou application system for electric power

CHEN Xiangdong, ZHAO Jianwei, and FU Ning

引用本文:

陈向东, 赵建伟, 傅宁. 电力北斗应用体系设计与应用研究[J]. 全球定位系统, 2024, 49(1): 3–8. DOI: [10.12265/j.gnss.2024005](https://doi.org/10.12265/j.gnss.2024005)

CHEN Xiangdong, ZHAO Jianwei, FU Ning. The design and application research of the BeiDou application system for electric power[J]. *Gnss World of China*, 2024, 49(1): 3–8. DOI: [10.12265/j.gnss.2024005](https://doi.org/10.12265/j.gnss.2024005)

在线阅读 View online: <https://doi.org/10.12265/j.gnss.2024005>

您可能感兴趣的其他文章

Articles you may be interested in

基于北斗的现代测绘基准数据综合服务平台设计与实现

The Design and Implementation of the Modern Surveying and Mapping Datum Data Integrated Service Platform Based on the BeiDou
全球定位系统. 2018, 43(2): 104–107

北斗卫星导航系统在河南精准农业中的应用探讨

The Application of BeiDou Satellite Navigation System in Precision Agriculture of Henan
全球定位系统. 2017, 42(3): 94–98

北斗卫星导航系统在海洋能发电设备参数监控中的应用

Application of BeiDou Satellite System in Direct Drive Type Wave Power
全球定位系统. 2018, 43(2): 91–95

北斗卫星导航系统在AUV中的应用研究

Study on the Application of BeiDou Satellite Navigation in AUV
全球定位系统. 2018, 43(1): 96–101

北斗卫星导航系统在一体化智能安全头盔中的应用

Application of BDS in an integrated intelligent safety helmet
全球定位系统. 2021, 46(3): 111–115

基于位置服务的共享自行车政府监管与服务平台设计与实现

The Design and Implementation of Sharing Bicycle Government Regulation and Service Platform Based on Location Service
全球定位系统. 2018, 43(4): 73–76



关注微信公众号, 获得更多资讯信息

电力北斗应用体系设计与应用研究

陈向东, 赵建伟, 傅宁

(国网思极位置服务有限公司, 北京 102211)

摘要:随着北斗卫星导航系统 (BeiDou Satellite Navigation System, BDS) 的成熟, 电力北斗应用不断拓展和深入, 并构建起较为完整的应用体系. 本文对电力 BDS 应用体系架构进行了研究设计, 重点介绍了电力北斗在规划建设、设施设备管理、营销、调度控制及物资后勤管理等五方面的应用, 并对电力北斗应用未来发展趋势进行了分析, 提出了相应的发展建议.

关键词: 北斗卫星导航系统 (BDS); 电力北斗应用; 精准位置服务网; 时频服务网; 时空智能综合服务平台

中图分类号: P228.49

文献标志码: A

文章编号: 1008-9268(2024)01-0003-06

0 引言

2021 年 3 月中央财经委员会第九次会议提出构建以新能源为主体的新型电力系统是实现碳达峰碳中和目标的必然选择. 从传统电力系统向新型电力系统转型的过程, 是国家电网有限公司 (以下简称: 国网公司) 实现“具有中国特色国际领先的能源互联网企业”战略目标的关键时期, 也是贯彻落实“一体四翼”总体产业布局、培育战略性新兴产业实现基业长青的关键时期.

新型电力系统是以确保能源电力安全为基本前提, 以满足经济社会发展电力需求为首要目标, 以坚强智能电网为枢纽平台, 以“源网荷储”互动与“风光水火”多能互补为支撑, 具有清洁低碳、安全可控、灵活高效、智能友好、开放互动基本特征的电力系统.

新型电力系统建设事关国计民生, 其重要的组成部分是智能电网. 电网具有天然的时空属性, 精准地解决电网资源设施设备“什么时间, 什么地点、什么状态”是实现智能电网的基础. 2021 年首届北斗规模应用国际峰会贺信中提出的“时空信息、定位导航服务”已成为“重要的新型基础设施”.

北斗卫星导航系统 (BeiDou Satellite Navigation System, BDS) 是我国自主设计和建设的 GNSS, 可为电力系统, 特别是新型电力系统建设和运行提供可靠、可信的时空信息服务. 应用领域包括电网的规划设计、基建、安全监管、设备管理、营销、物资管理、

后勤等, 同时, 能够很好地支撑企业数字化转型发展, 包括数字电网建设, 以及数字孪生技术的应用等. 随着北斗国家战略的全面实施, 北斗规模化应用成为当前的首要工作任务, 因此要加快推动北斗在国家关键行业领域的推广应用步伐, 特别是能源电力领域, 构建起相应完备的应用体系.

1 电力北斗应用体系总体架构

国网公司电力北斗应用体系总体架构设计按照“战略引领、聚焦需求、创新驱动、统建统管”的原则, 采取强化顶设、分步实施、全面带动的策略开展. 电力北斗应用体系总体架构是公司电力物联网数据采集、智能巡检和智能调度等的重要依托, 是电力北斗应用的基础和支撑. 主要包括“两网一平台”, 即电力北斗精准位置服务网、电力北斗时频服务网和北斗时空智能综合服务平台^[1], 以及各类标准化接入的电力北斗导航定位终端、授时终端、短报文通信终端和上层的电力业务应用等, 应用体系总体架构如图 1 所示.

应用层, 通过北斗时空智能综合服务平台以及统一运维、统一运营等, 实现电力业务应用服务的持续性和安全性.

平台层, 通过企业中台的北斗时空智能综合服务平台, 为企业中台和各类业务应用提供开放、标准的时空信息服务, 充分发挥数据资产价值.

网络层, 通过使用无线公网、无线专网、卫星通

信、电力光纤等传输通道,实现终端与北斗时空智能综合服务平台互联互通。

感知层,统筹输电、配电、变电等泛在物联和深度感知需求,通过边缘物联代理、卫星通信方式并通过加密设备和相应的协议规约,实现电力北斗导航定位终端、授时终端、短报文通信终端接入,服务于电网业务。

基础层,通过建设电力北斗精准位置服务网,电力北斗时频服务网两大北斗时空基础设施,为北斗时空智能综合服务平台提供基础时空数据。

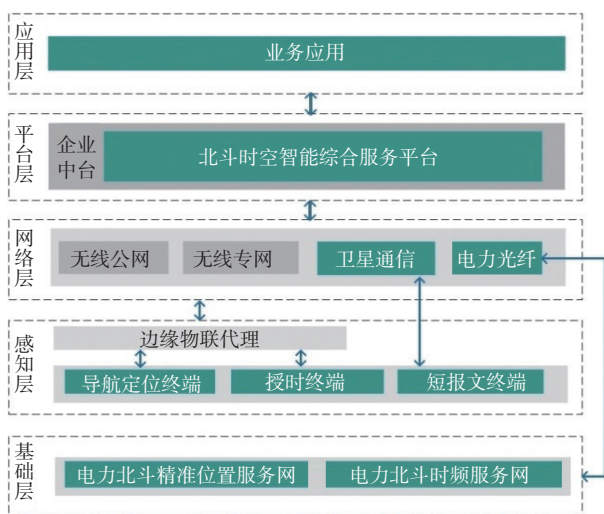


图 1 电力北斗应用体系总体架构图

1.1 电力北斗精准位置服务网

根据电网标准及安全要求,充分分析电网规划、基建、运检、营销、调度、安监、后勤、物资等专业领域应用需求基础能力要求,按照“统一规划、分步实施、持续发展”的思路,建设电力北斗精准位置服务网,实现分布合理、性能先进、稳定可靠,可以为电网业务及其他行业应用提供完好、连续、可靠、安全的实时米级、分米级、厘米级以及事后毫米级位置服务^[1-2]。电力北斗精准位置服务网架构图如图 2 所示。

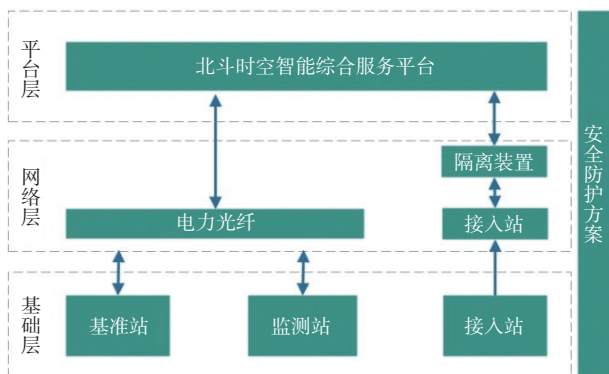


图 2 电力北斗精准位置服务网架构图

平台层主要负责电力北斗精准位置服务网基准站观测数据的解算和播发,并提供精准时空信息服务。

网络层主要包括电力光纤和地面专线,对于利用国网公司变电站或营业厅等资源建立的电力北斗基准站优先使用内网光纤进行数据传输;对于外部合作单位的接入站通过建立地面专线形式接入电力内网。

基础层主要包括电力北斗精准位置服务网已建成和规划中的电力北斗基准站、监测站和接入站,按照统一标准采集北斗/GNSS 卫星原始观测数据并实时上传。

1.2 电力北斗时频服务网

国网公司电力北斗时频服务网应用基础体系包括终端感知层、传输网络层和管理平台层。建设“集中守时、分布授时、天基为主、地基为辅、天地互备”的电力北斗时频服务网,打造自主的、具有独立保持能力的世界标准时间 (coordinated universal time, UTC),为电网业务应用提供安全可靠的高精度时间服务。电力北斗时频服务网架构图如图 3 所示。

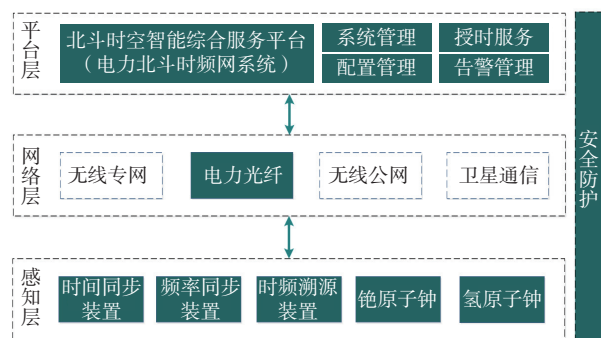


图 3 电力北斗时频服务网架构图

平台层部署了电力北斗时频网系统,集成到北斗时空智能综合服务平台,用于解算北斗共视比对数据和管理服务授时应用设备。通过终端、网络、平台打造形成电力北斗时频服务网应用基础体系架构。

传输网络层包括了电力光纤、无线专网、无线公网和卫星通信,用于传输北斗卫星共视时频比对数据。

终端感知层包括时间同步装置、频率同步装置、时频溯源装置、原子钟组等时频设备,用于获取北斗卫星授时信号和北斗卫星共视原始观测数据。

1.3 北斗时空智能综合服务平台

北斗时空智能综合服务平台采用国网公司-省侧两级部署,按照数据层、平台层、服务层、应用层标准四层设计模式,建设位置解算、短报文传输、时频处理三大核心服务及运维管理、运营管理两大关键配套功能模块。

基于北斗卫星导航系统、电力北斗精准位置服务网,结合边缘智能代理装置,在管理信息大区,为国网公司及省市公司终端用户提供稳定的高精度实时亚米、厘米级定位、后处理毫米级定位、时频服务、短报文解析、业务数据回传等系统服务;在互联网大区提供高精度实时亚米、厘米级定位、后处理毫米级定位、业务数据回传等系统服务。平台系统与国网公司物联管理平台集成,用于获取终端上行数据,与业务中台集成,推送终端位置数据,支撑运检、基建、安

监等电网业务应用。

1.4 电力北斗应用架构

电力北斗应用遵循国网公司电力北斗应用体系总体架构,按照“精准感知、边缘智能、统一物联、中台支撑、开放共享”的设计思路,结合北斗技术特点,形成针对电力北斗技术应用的“感知层、网络层、平台层和应用层”总体架构,形成业务场景全、技术融合新、应用范围广的电力北斗技术深度应用新态势。电力北斗应用架构图如图 4 所示。

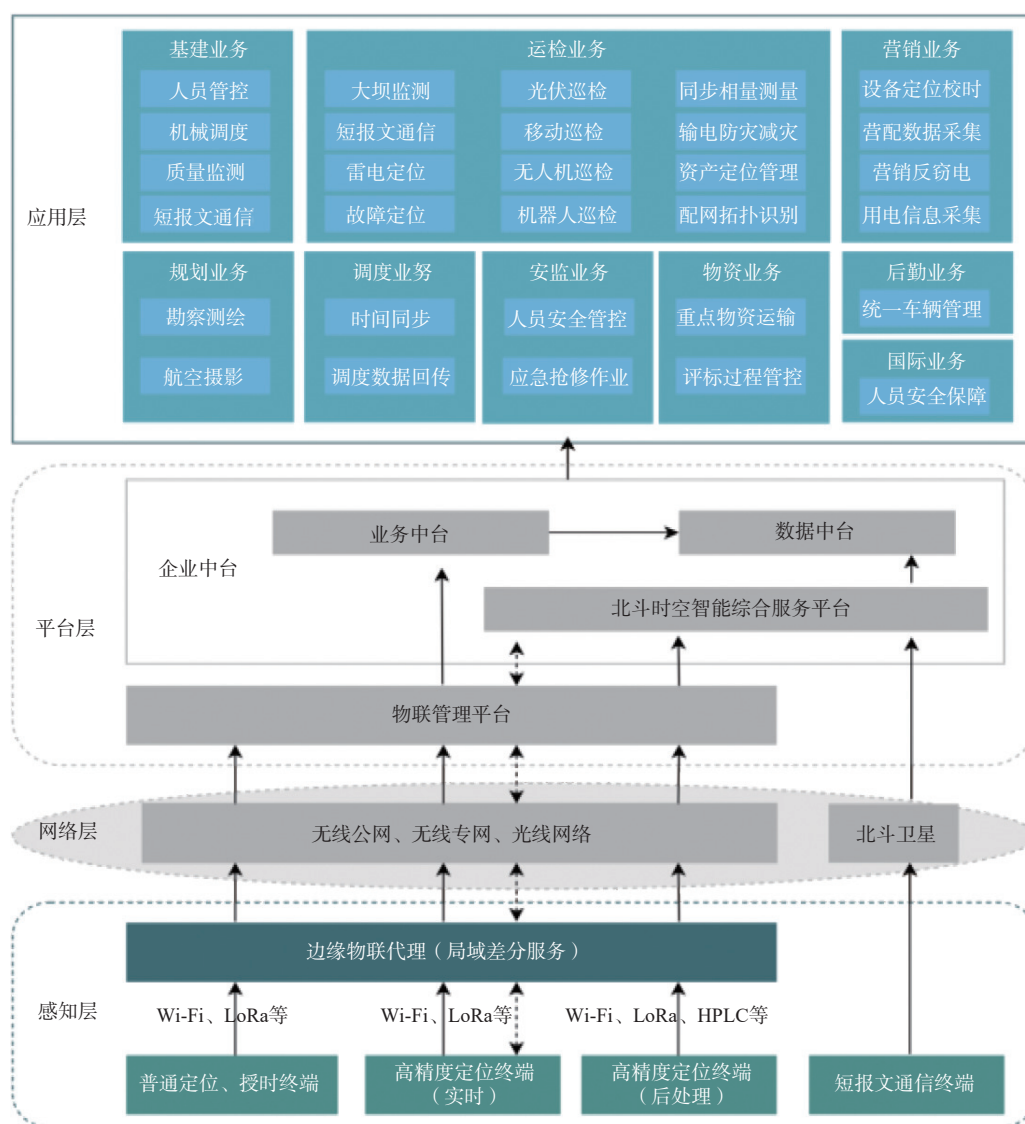


图 4 电力北斗应用架构图

2 电力北斗典型应用

2.1 在电力规划建设方面的应用

2.1.1 勘测数据采集

利用电力北斗精准位置服务网所提供的实时三维定位精度优于 5 cm 的高精度位置服务及北斗高精

度定位信息采集装置,开展可研、设计、施工各类勘测阶段的数据采集工作,建立统一的电网工程勘测坐标基准,提升输电线路控制测量效率,保障控制测量成果可靠性和一致性。

2.1.2 输电线路选线及竣工质量核查

基于电力北斗精准位置服务网,通过激光点云扫

描或航空摄影测量获取输电线路规划建设区域的高精度点云数据或三维倾斜模型。对预建设线路参数与规划建设区域的组合分析, 选择合理的输电线路建设方案, 减少人员外业勘测的难度, 提高输电线路规划的合理性和科学性。同理将输电线路工程通道走廊内的高精度的激光点云数据与杆塔或导线设计成果进行叠加分析, 对杆塔横担尺寸大小、杆塔姿态角度、导线弧垂等进行校验核查实现输电线路竣工质量核查, 提高基建验收效率。

2.1.3 基建现场人员安全管控

通过利用电力北斗精准位置服务网的服务和地理信息数据, 依托北斗高精度智能安全帽、北斗高精度智能手表、北斗智能工卡等穿戴设备, 开展基建现场人员作业安全管控。结合电力设施安全作业距离, 在作业人员安全管控系统中对空间进行安全区域划分, 构建高精度二、三维空间虚拟电子安全围栏。同时, 北斗高精度智能安全帽和北斗高精度智能手表能够实时精准采集作业人员精准位置信息与行动轨迹。当作业人员超出允许作业时空区域或踏入危险区域时, 北斗高精度智能安全帽和北斗高精度智能手表通过声光、震动方式自动告警, 有效预防作业人员违章行为, 减少基建现场人员触电、跌落风险。通过北斗高精度智能安全帽的视频或图片传输功能, 实现后台系统远程指挥作业或作业信息采集, 为作业准确性、安全性提供辅助支撑。提高施工现场安全管控能力和安全管理水平, 落实安全管理责任, 保障施工现场安全。

2.1.4 电网数字化施工及设备管理

依托电力北斗高精度导航定位及授时功能, 在施工和设备管理方面开发应用基于北斗的综合管理应用, 建立数字化基础平台、地理信息系统、工地现场数据采集系统、工地现场机械控制系统等基础平台, 依靠数字化的施工过程辅助及监控, 解决施工质量管理、成本管理相关问题, 提高工作效率, 提升工地管理水平, 优化施工方案的最佳选择, 同时提高施工进度透明度、实现实时和有效监督。在电力基建施工中应用安装北斗高精度定位设备的挖掘机、推土机、桩基、压实作业引导系统及防外破报警系统, 对施工位置和作业精度实时监测, 减少因人工导致的施工误差, 实现准确高效作业, 有效提高并保障工程建设效率。通过将北斗声光报警器安装在电网附近工程车辆驾驶室内, 结合防外破平台对设备周边设置分级围栏, 车辆进出围栏对驾驶人员实时声光提示, 主动防控电网设备因施工建设造成的外力破坏事件。

2.2 在电力设施设备管理方面的应用

2.2.1 无人机自主巡检

目前, 国网公司电力巡检无人机均已具备北斗单点定位和实时动态 (real-time kinematic, RTK) 定位功能, 能够实时传送无人机的经纬度、高程、方向、速度等信息, 实现无人机的实时跟踪和飞行轨迹绘制, 并利用北斗无人机导航定位终端提供的位置数据, 实现无人机坠机事故发生后的机体搜寻。在飞行作业中, 也可以利用无人机定位信息开展空域飞行管理, 一旦无人机飞行的区域存在直升机作业, 则对应地发送作业提醒, 保障无人机飞行安全。同时, 利用电力北斗精准位置服务网实现无人机实时厘米级高精度定位, 从而实现无人机自主巡检。结合变电站安装的固定式机巢和巡检移动式机巢, 实现大范围全流程自主巡检。利用北斗高精度定位支撑无人机自主巡检, 巡检效率由 40~60 min, 基杆塔提升到 5~8 min, 人员配置由 2~4 人降低到 1~2 人; 同时, 无人机巡检的安全风险成本也大幅降低。

2.2.2 地质灾害和杆塔位移监测

利用建立的北斗基准站和监测平台系统, 开展基于北斗高精度定位技术的输电线路地质灾害和输电杆塔的位移、倾斜监测工作, 并与电力北斗精准位置服务网的电力北斗基准站部分复用, 可节省传统监测基准站的投资建设。通过布设于杆塔塔基的位移监测终端数据, 以及外设的土壤湿度、雨量、裂缝传感器等多源传感器数据, 统一解算和分析处理, 实现对杆塔位移毫米级监测分析预警, 提升灾害监测防控能力, 为生产运维提供更精准的灾害预警, 有效提升电网灾害全过程的监测、预警、评估和决策能力。

2.2.3 水电站坝体变形实时监测

集成高精度北斗接收机、多种网络通信技术, 开发对大范围水库群的坝体全天候实时高精度位移和沉降等的监测与预警软硬件平台, 实现水库群坝体外观安全自动化监测。

2.2.4 变电站作业人员行为安全管控

构建基于北斗高精度定位的变电站作业人员行为安全管控应用系统。利用先进的三维激光扫描技术对变电站进行三维建模, 构建三维数字地图, 并利用超宽带 (ultra wideband, UWB)+电力北斗高精度定位技术、北斗伪卫星定位技术等, 实现变电站室内外高精度定位要求, 将北斗智能手表与电力工作票相关联, 通过佩戴北斗智能手表的方式, 实现对变电站作业人员行为进行安全管控。

2.2.5 基于北斗短报文通信的电网覆冰预警

利用北斗短报文通信功能, 在无 4G 信号的地

域,实现现场数据采集回传覆冰监测主站,并将北斗通信服务器部署在安全缓冲区,通过正反向隔离装置后,进入安全区内,与覆冰监测业务主站交互数据。同时,实现全区域北斗授时精准同步以及精确定位。

2.2.6 输电线路接地线实时监测

利用电力北斗高精度定位和北斗短报文通信功能,实现接地线从出库、挂设到拆除、归库全流程监控追踪,避免发生接地线未挂、误挂及漏拆情况,并通过移动终端向作业人员实时反馈异常状态报警,实现不同工作环境下接地线的远程化、实时化、全过程监测,从而有效提升作业现场安全性与管控效率。

2.3 在电力营销方面的应用

2.3.1 营销计量授时

通过在台区集中器加装电力营销北斗授时定位终端,利用北斗高精度授时功能,直接给台区集中器授时,再通过高速电力线载波 (high-speed power line carrier, HPLC) 通信给智能电表授时,解决现场表计设备因电池欠压导致时钟漂移,以及由于主站服务器处理能力有限,对时指令和召测指令无法高效下发,导致现场二级电能表时间偏差未能及时校准,影响主站侧采集数据的精准度的问题。确保分时计价、线损计算的准确性。

2.3.2 营销计量数据采集

利用北斗短报文通信实现无公网通信环境下的电力计量终端数据传输,消除计量数据采集盲区。北斗短报文通信模块采用与现有电力计量终端的 GPRS/4G 公网远程通信模块同样的接口设计,可以直接实现北斗短报文通信模块的替代,即插即用,提升营销设备数据采集准确度和及时率,提升计量业务水平 and 能力。

2.3.3 营配全业务融合管控

以电力北斗精准位置服务网和全方位地理信息为基础支撑,将终端通信、数据处理、数据分发、实时数据访问等服务有机结合,构建涵盖基础设施建设、物联标准统一、服务总线搭建、营配业务应用的精准时空服务体系,对营配智能化终端设备提供统一的授时授频服务、短报文通信服务及高精度位置服务,并实现营销高(低)压数据、营销服务数据、智能感知设备数据等的接入、监控、结算、存储转发及消息推送等。

2.4 在电力调度控制方面的应用

2.4.1 配电网 FTU 数据传输和授时

基于北斗短报文通信在配电网馈线终端装置(feeder terminal unit, FTU)中实现“三遥”数据传输应用,有效解决电网通信网络的补盲问题以及应急通信问题。同时,通过在配电网 FTU 中加装北斗授时模

块,实现对 FTU 的精确授时。

2.4.2 变电站时钟同步

在变电站采用统一时钟装置^[3-4],实现对站内各系统和设备对时。主时钟采用双机冗余配置,完成对北斗卫星信号的接收、处理,及向时间扩展设备提供标准同步时间信号。每台主时钟同时具有接收另一台主时钟的 IRIG-B 时间信息功能,达到两台主时钟之间能够互为备用。其他小室配置扩展时钟,通过接收主时钟的 IRIG-B 码信号的接收、处理,再给其他设备对时。

2.4.3 解决小水电盲调

由于小水电都处于比较偏远的山区,其通信通道一直是难以解决的问题,因此小水电一直以来都存在盲调运行方式,给小水电电源并网发电带来很大不便。通过利用北斗短报文通信和授时功能,有效解决小水电的数据通信和本地授时及时频同步,确保小水电具备远程通信通道和标准时频,从而具备并网发电和调度的实时性和可靠性,实现高效并网发电。

2.5 在电力物资后勤管理方面的应用

2.5.1 物资管理和运输监控

电力物资仓库存在物资数量多、种类杂乱、难于管理的现象,且现有的物资管理多以人工管理为主,一旦出现一线作业人员急需应用物资而管理人员不在场无法登记的情况,容易导致物资设备丢失或损坏。通过安装基于北斗、蓝牙和 UWB 组合的物资定位终端,并结合电子围栏实现物资的自动出入库管理。同时,通过给运输设备的车辆安装基于北斗、惯性传感器(inertial measurement unit, IMU)组合并集成振动监测传感器的终端,实时回传位置信息开展运输流转全流程轨迹管理,利用振动监测传感器实现运输路途由于震动导致的设备损坏定责,保障资产安全。

2.5.2 后勤车辆管理

在电力后勤方面,主要应用北斗技术于车辆的管理,除管理自有公务和生产车辆外,电力各业务领域也存在着较多的外来车辆需要管理,防止车辆撞线、误入危险区域等情况的出现,解决安全管控存在监控不到位、报警不及时等传统安全管控模式的问题。通过安装集成北斗定位、惯导等技术的车辆高精度定位终端,实时掌握公务、生产车辆或外来车辆的信息,根据终端回传的状态信息,实现车辆的运行轨迹管理、电子围栏管理、作业记录管理以及防止外来车辆的破坏,为数字化管理提供管理手段,提高车辆管理水平。

3 电力北斗应用发展趋势分析和建议

国网公司大力推动电力北斗应用发展,通过构建

“两网一平台”的电力北斗应用基础设施,充分发挥北斗高精度定位导航、授时、短报文通信等功能的应用,持续提升产业规模化发展能力,为实现电力北斗全覆盖、全替代奠定基础。经过十余年的电力北斗应用发展,目前已取得一定的成效,截止目前,已推广应用北斗终端超 25 万台,广泛应用在 17 万车辆、1 300 多条输电线路、13 个省公司基建现场、2 万余座变电站的调度控制系统,以及 13 个省 1 万多个用电信息采集装置、12 个省公司无人机巡检中,提升了电力抢修、监控和服务效率。同时,国网公司发挥北斗精准授时优势,实现了北斗授时功能覆盖电力系统的大部分 110 kV 及以上重要变电站,变电站授时以 BDS 为主用, GPS 为备用,结束了长期依赖 GPS 授时的局面,提高了电力设备安全稳定水平。

随着新型电力系统和数字电网建设和发展,电力北斗将会成为其重要的时空数字底座,发挥越来越大的作用。未来电力北斗应用发展将呈现出如下趋势:

- 1) 电力北斗应用将全面取代 GPS 成为主导;
- 2) 电力北斗应用将进一步拓展并向规模化发展;
- 3) 电力北斗建设管理运营将向专业化和服务标准化方向发展;
- 4) 电力北斗应用将更强调安全性和可靠性;
- 5) 电力北斗应用将成为电力数字化转型发展的重要基础支撑;
- 6) 电力北斗将与其他技术进一步融合应用^[5]。

针对上述趋势分析,建议电力北斗的应用一是加快规模化应用与替代 GPS 的步伐;二是不断挖掘应用场景,并基于电力北斗实现电力装备的自动化和智

能化;三是适应业数融合的要求,加快实现电力北斗终端设备融入业务平台系统;四是深入开展创新研究和技术推动,不断提高电力北斗应用的可靠性和安全性。

参考文献

- [1] 中国能源研究会信息通信专业委员会, EPTC 电力信息通信专家工作委员会. 电力北斗创新应用发展报告 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2023.
- [2] 吴海乐. 基于格网化高精度卫星导航定位服务方法的网络 RTK 精度分析 [J]. 全球定位系统, 2022, 47(2): 99-103.
- [3] 张道农, 于跃海. 电力系统时间同步技术 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2017.
- [4] 陈向东. 北斗授时终端及其检测技术 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2016.
- [5] 姜蔚, 陈向东, 邢云剑, 等. 北斗三号 PPP-B2b 服务的卫星定轨精度评估 [J]. 全球定位系统, 2023, 48(1): 32-36.

作者简介

陈向东 (1970—), 男, 博士, 正高级工程师, 国网信息通信产业集团首席北斗专家, 长期从事我国北斗卫星导航系统论证研究、研制建设和应用开发. E-mail: x.d.chen1022@139.com

赵建伟 (1983—), 男, 硕士, 高级工程师, 国网思极位置服务有限公司董事长, 长期从事电力信息通信技术、电力遥感等方面的研究工作. E-mail: zhaojianwei@sgitg.sgcc.com.cn

傅宁 (1981—), 硕士, 正高级工程师, 国网思极位置服务有限公司北斗事业部副总经理, 长期从事电力卫星导航、通信技术研究, 产品开发和应用. E-mail: funing@sgitg.sgcc.com.cn

The design and application research of the BeiDou application system for electric power

CHEN Xiangdong, ZHAO Jianwei, FU Ning

(State Grid Siji Location Based Service Co., Ltd., Beijing 102211, China)

Abstract: With the maturity of the BeiDou Navigation Satellite System (BDS), the application of BeiDou in the electric power industry has continuously expanded and deepened, establishing a relatively comprehensive application framework. This paper discusses the research and design of the electric power of BDS application system structure, emphasizing the system's utilization in planning and construction, facility and equipment management, marketing, dispatch control, and material logistics management. Additionally, it presents an analysis of future development trends of BDS application in the electric power industry and offers corresponding recommendations for growth.

Keywords: BeiDou Navigation Satellite System; electric power BDS application; precise location service network; time and frequency service network; spatiotemporal intelligent integrated service platform