



基于北斗的同期线损用电信息采集系统设计与实现

王继业¹, 沈亮¹, 王林信¹, 杨成月²

(1. 国家电网有限公司, 北京 100032;

2. 国网信通产业集团思极神往位置服务公司, 北京 102209)

摘要: 提出一种基于北斗卫星系统实现电力用电信息采集的技术方案, 将北斗终端安全接入集中器设备与主站系统, 同时兼容原有电力用电采集系统, 实现对盲区的有效覆盖。提出一种北斗分包组包技术, 实现电力 376.1 协议中长数据分组的传输。同时, 建立多卡管理与预缓冲机制, 并引入多时段主动上报与定时补召等机制, 弥补北斗通信分组丢失问题。该技术经验证测试, 设备正常运行情况下数据采集成功率可达到 99% 以上, 可靠性与安全性较高。

关键词: 北斗卫星系统; 短报文技术; 电力用电信息采集系统; 预缓冲技术

中图分类号: TN927

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019056

Design and implementation of synchronous line loss electricity consumption information collection system based on Beidou technology

WANG Jiye¹, SHEN Liang¹, WANG Linxin¹, YANG Chengyue²

1. State Grid Corporation of China, Beijing 100032, China

2. State Grid Shengwang LBS (Beijing) Co., Ltd., Beijing 102209, China

Abstract: In consideration of this situation, a technical scheme based on Beidou satellite system was proposed, which could realize the collection of power consumption information and could safely bring Beidou terminal onto concentrators and main station systems. At the same time, it was compatible with the original power consumption collection system to achieve effective coverage of the blind zone. A technology of Beidou short message partition and composition was proposed, which made the transmission of long data packets in the power 376.1 protocol come true. Meanwhile, the platform implements the Beidou multi-card management and pre-buffering mechanism to solve the problems of the delay in issuing commands and data query response. And some mechanisms such as active reporting and timing motion tween call instructions in multi period was introduced in order to make up the packet loss problem in the area of Beidou communication. The technology has been tested, which shows that the success rate of data collection under the situation of equipment normal operation can be up to above 99% and demonstrates the high reliability and safety.

Key words: Beidou satellite system, short message technology, electricity power consumption information collection system, pre-buffering technology



1 引言

用电信息采集对于电力行业是一个关键的环节,是智能电网建设的重要内容。稳定安全的通信方式是实现用电信息高采集率的重要支撑,但在我国还存在着大量如山区、牧区、峡谷与水电站等地区的用电信息采集无法实现自动化,特别是西北省份的偏远地区,地域广阔、设备分散等因素导致此类地区的用电信息远程自动化采集面临着有线通信链路建设成本高、无线公网信号尚未覆盖等问题^[1-2]。目前这些地区以人工抄表的方式为主,存在着工作量大、效率低且准确度不高等问题,不利于用电信息采集的自动化管理。

本文提出基于北斗技术的用电信息采集方案,在原有用电信息采集系统主站端前置北斗服务器,接入北斗设备,建立北斗信息通道;同时,设计新型北斗短报文解析算法,实现电力采集信息转换。原有数据采集现场的集中器通过接入北斗电力转接设备增加北斗传输功能,并在终端与平台端加入多时段主动上报与补召逻辑机制以及长数据分包组包机制,可充分利用北斗短报文资源实现安全可靠的用电数据采集与传输。该系统作为“北斗+”用电信息采集服务的一种有效技术补充方案,对实现用电信息的采集全覆盖起到了重要作用,具有较高的推广意义。

2 现状与概述

2.1 现有用电信息采集通信技术

目前电力行业的数据通信应用方式中,主要采用光纤、运营商无线公网通道与电力线载波等形式^[3]。其中,光纤通信方式可靠性最高,适合长距离传输,但施工建设成本高^[4];电力载波方式较适合城市电缆,但不适合长距离传输,信号受干扰衰减影响大^[5];运营商网络运维与传输质量可靠,该方式是目前用电信息采集的主要手段,但不适合建设在复杂地势环境。以上几种通信方

式已能覆盖大部分地域,但偏远地区地广人疏,网络建设困难、成本高昂并且难以全覆盖,只能靠运维人员每月长途驱车至各个分散的地点进行人工抄表,不仅花费了许多人力物力,还可能带来诸多不确定的因素,导致采集数据不准确,不利于“全覆盖,全采集,全费控”的建设目标的实现。

2.2 北斗卫星系统优势

北斗卫星系统是由中国自主研发的卫星系统,具有在国内全境信号全覆盖、全天稳定工作不受时空约束的特点,且具备双向短报文传输功能^[6],可与电网通信结合,提供有效可靠的电网通信通道,实现电力系统对运行状态进行感知监测,并通过北斗卫星通信技术将数据远程传输到主站,解决无信号区域的数据传输问题,缩短停电状况处理时间,减小停电损失,提高作业自动化、信息化水平。同时,北斗卫星通信安全性等级高,可以有效提高电力系统应用的整体安全性。针对上述情况,融合基于北斗卫星系统的通信机制,可实现配电网无信号盲区的数据采集,提高电力通信系统的整体自动化水平,解决目前偏远地区专变终端等设备的在线率低及数据采集传输问题。

3 应用技术系统结构

3.1 系统总架构

基于北斗的用电采集系统主要包含两大部分,一部分为北斗采集主站,另一部分为采集终端,如图1所示。北斗采集主站通过架设北斗指挥机与北斗多卡机群组成北斗收发通道,北斗前置服务器负责北斗协议与电力376.1协议^[7]数据的处理与转发;同时,为保证信息与网络安全,前置服务器将先通过防火墙与隔离装置接入电力内网。另外,现场的采集终端,将原有的集中器连接至北斗电力转接盒,使集中器具备北斗通信能力。现场设备通过北斗短报文通信技术、与主站的互联互通,实现远程抄表、控制等一系列功能。

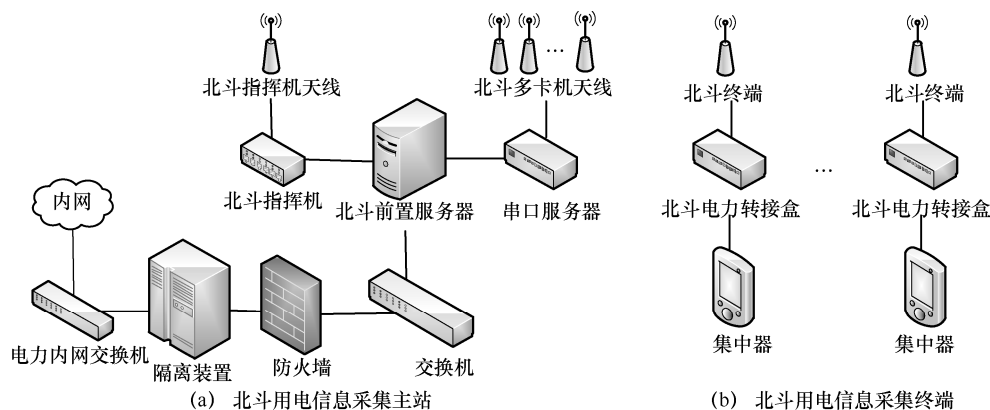


图1 北斗用电信息采集系统架构

3.2 采集终端转接盒结构

传统的用电信息采集终端大多采用集中器下挂智能电表方式，集中器采集数据后通过 GPRS 通信模块将数据上传至主站^[8-9]，为了使集中器具具备与北斗终端进行通信的功能，本方案应用上采用集中器通过 RJ45 口外连北斗电力转接盒，转接盒通过串口实现与北斗终端通信^[10-11]，如图 2 所示。由北斗通信转接盒 STM32 控制器完成北斗与电力协议的处理与转换，并调控数据采集的频度与逻辑，Flash 实现采集信息存储的临时缓存管理，解决北斗通信频度有限而采集信息数量大的问题。微控制器除了设备间的联通工作，还负责向集中器召集每日冻结数据并存至 Flash，当收到主站的召测指令后根据逻辑返回对应数据。

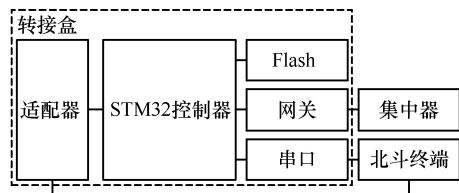


图2 北斗用电信息采集终端结构

3.3 主站前置软件结构

主站前置软件为北斗电力数据的传输枢纽，软件结构如图 3 所示，北斗指挥机直接通过串口连接至前置服务器，北斗多卡机群通过串口服务器连接至前置服务器，软件可对北斗设备进行实时信号功率与通信状态监测^[12]。由于软件需要接

入电力原有用电信息采集系统，为保证电网信息安全前置软件与内网交换机之间增设安全隔离装置与防火墙。集中器与原有用电信息采集平台大部分为通过 GPRS 或者光纤等方式进行 TCP/IP 连接，采用北斗通信方式可监测现场北斗采集设备的在线状态，前置软件根据终端设备状态再与原用电信息采集平台建立某台设备的 TCP/IP 连接。

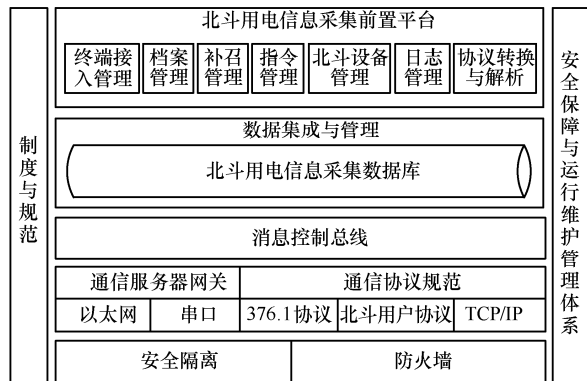


图3 北斗前置软件结构

4 应用技术设计

4.1 协议数据设计

4.1.1 协议结构

该技术中提及的所有北斗设备终端均采用国家测绘局颁布的北斗用户机接口协议 4.0 版^[13]。用电信息采集系统的 376.1 通信协议需转换成北斗协议数据分组，经北斗通信链路送至主站端，在主站端将北斗协议数据分组还原为电力通信规



约的数据分组^[14-15]。以上规约转换在北斗通信链路两端进行,不影响原通信方式,实现数据透传。

376.1 规约数据嵌入北斗协议转换示例如下形式。

电力通信协议数据分组格式如图 4 所示。

电力协议报文头	376.1 协议数据分组	电力协议报文尾
---------	--------------	---------

图 4 电力通信协议数据分组格式

转换成北斗协议后,376.1 协议数据分组将作为北斗协议的数据分组,封装在北斗协议的帧格式中,数据分组格式如图 5 所示。

北斗协议 报文头	北斗协议数据分组			北斗协议 报文尾
	电力通信 协议报文头	376.1 协议 数据分组	电力通信 协议报文尾	

图 5 北斗协议数据分组格式

由于受北斗自身的通信性能的限制,每分钟每张卡只能发送一帧报文,报文有效数据为 78.5 byte,当传输 376.1 协议中一帧大于 78.5 byte 的数据时,需要进行分包处理。因此需要另外加入 2 byte 标志位,通过分包 ID 与总分组数实现分包组包过程^[16]。前置软件与北斗通信转接盒均可实现分包与组包操作。

4.1.2 召测数据项种类

北斗通信虽有一定限制,但合理设计传输的数据种类与数量可充分利用短报文资源。对于公变,集中器一般下挂一个台区总表与多户居民电表,这种情况通常下挂的居民用户表数量较多,北斗优先传输居民用户表的日冻结电能历史示值,在确保这些数据项传送完成后还能预留出多余时间分配给后续的保障机制,则可增加总表的部分曲线冻结数据数据项。对于专变,仅下挂数量较少的三相表,这种情况下电能示值数据与曲

线数据项均可传输,本系统每日每个专变用户测量点可传输共 32 项数据。

4.2 预缓冲机制设计

由于北斗通信民用频度为 1 次/min,主站发送召测请求指令给终端无法实时得到数据,若遇到需要分包的数据需要更长的时间回传,主站将判断为超时。为了解决这一问题,本系统设计了预缓冲机制,如图 6 所示,北斗前置服务器将缓冲数据存入数据库,当北斗前置软件收到电力用电信息采集系统发出的召测请求后,会先查询数据库是否已有数据,立即将情况反馈主站做出响应。现场北斗转接盒负责不断向集中器主动召测数据,集中器返回给转接盒的数据将会加入北斗发送队列,依次回传至北斗前置平台。

4.3 召测与控制流程设计

传输的数据常有分包处理,一帧数据需要分多次传输,由于卫星信号受到干扰的因素较为复杂,数据会有分组丢失现象。为提高系统传输数据的可靠性,设计了多时段主动召测与补召机制。

4.3.1 北斗终端多时段主动上报算法

原有的集中器与主站的召测机制为主站定时向集中器发送召测指令^[17],集中器根据指令返回。这种机制对实时性要求较高不适合北斗通信方式。本系统采用北斗终端向集中器主动召测的方式^[18],现场北斗电力转接盒根据预设时间,定时向集中器召测数据,并将数据存储到 Flash 中,微控制器将数据进行分包与组装后按照北斗通信频度主动向北斗前置平台进行发送。平台接收到数据后进行组装,保存到数据库中,当电力用电信息采集系统向集中器召测数据时,北斗前置平台将会接收到指令并响应数据^[19-20]。流程如图 7 所示。设备一天可设置至少 1 次的主动召测时间,

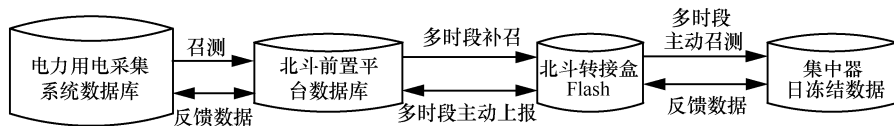


图 6 缓冲流程示意图

设置多次主动上报可有效提高可靠性,一天最大主动上报次数可根据式(1)计算得出,其中 $C_{\max}$ 为最大次数, X_n 为冻结数据项字节数,单位为byte, Y_m 为曲线指标数据项字节数,单位为byte。默认主动召测次数为 $C_{\max}-1$ 次,预留出的时间可利用在后续平台端补召机制。

$$C_{\max} \leq \frac{78 \text{ byte} \cdot 60 \text{ min} \cdot 24 \text{ h}}{\left(\sum_{n=1}^N X_n + \sum_{m=1}^M Y_m \right) \text{ byte}} \quad (1)$$

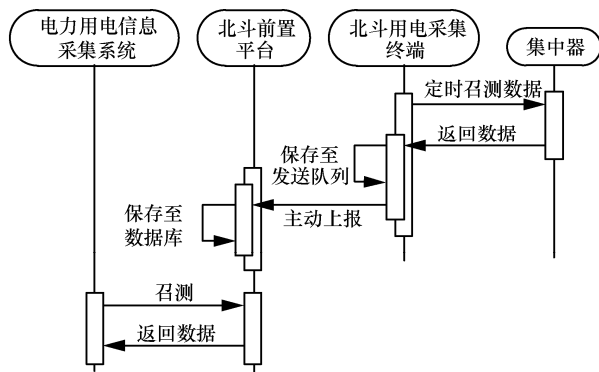


图7 北斗用电信息采集终端主动上报流程

主动上报功能逻辑通过北斗转接盒中的微处理器进行控制,主要涉及3个定时中断器,分别为召测定时中断负责向集中器进行数据召测以及分包处理;网口中断主要负责缓存集中器通过RJ45线传输至转接盒网口的数据;北斗发送定时中断主要负责管理北斗发送频度。具体流程如图8所示。

4.3.2 北斗前置平台多时段补召

当遇到集中器下挂用户表数量较多或召测数据项较多的情况时,数据需要更长的时间才能回传完整,北斗转接盒无法设置多次的主动上报^[21],这种情况通信成功率依然会受影响。针对这个问题,本系统加入了北斗前置平台的多时段补召机制,更有针对性、更为高效地进行数据召测,采用该机制北斗前置平台将对数据库每日的冻结数据进行自检,当发现有遗漏数据项时,平台将组装补召指令推送至发送队列,终端接收到各条指令后将重新向集中器召测对应数据,并重新回传上报。流程如图9所示。

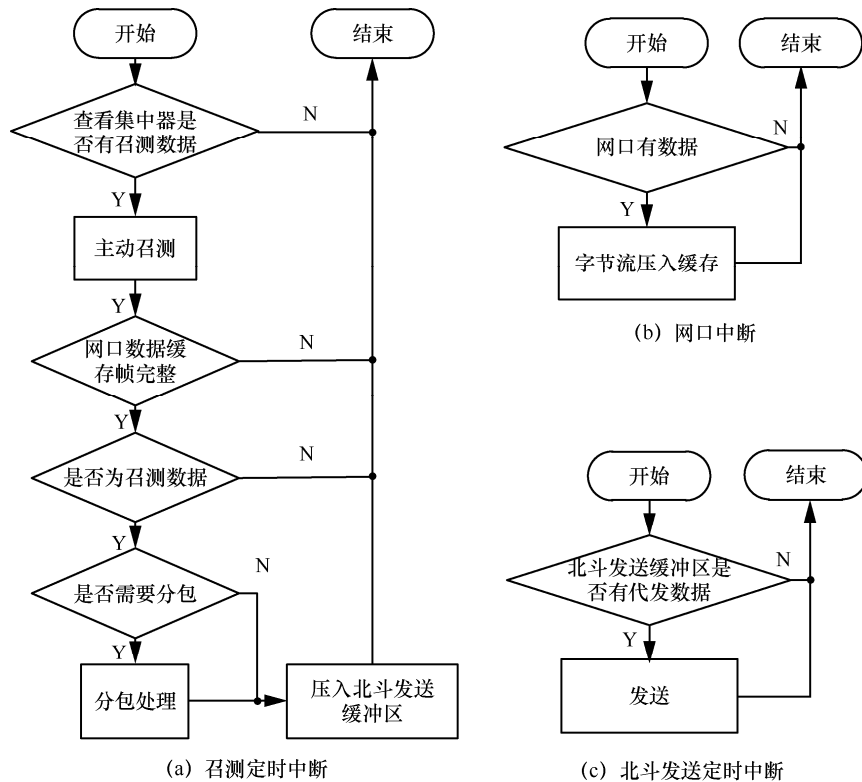


图8 主动上报定时中断流程

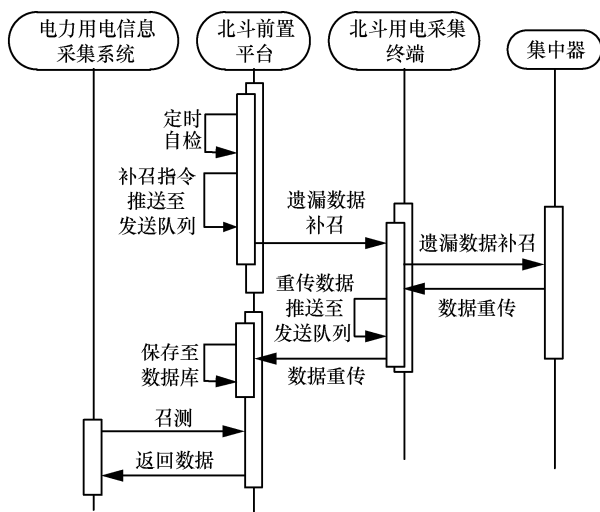


图9 北斗前置平台补召流程

补召机制采用北斗前置平台端发起召测的形式, 由于平台采用北斗多卡设备, 北斗短报文频度资源较为丰富, 主站补召请求可实现相对实时地发送至终端, 集中器连接的北斗终端为单卡设备, 上报数据的频度为 1 条/min, 终端收到请求后, 若当前正处于主动上报阶段, 将会在本次主动上报结束后进行补召数据的发送; 若处于闲置状态, 则立即开始发送补召数据。平台设计补召时间段受到终端主动上报的时间以及补召量等因素的影响, 当终端主动上报的时间已处于最大饱和状态时则不适合再另外加入补召, 这将引起召测总时间迭代溢出。当终端每日主动上报时间存在富余情况, 且当第一遍主动上报时间结束后平台将会立即开始自检并进行补召, 补召时间与次数以及主动上报时间与次数需要满足式 (2) 的关系:

$$\begin{cases} T_s N_{\max} + T_p (C_{\max} - 1) \leq 24 \text{ h} \\ T_s \leq T_p \end{cases} \quad (2)$$

其中, T_s 为单次补召时长, 单位为 h, $N_{\max}$ 为最大补召次数, T_p 为单次主动上报时长。

5 测试与分析

5.1 测试案例

该系统已在 60 个试点测试并长期运行, 其中

包含 12 台公变集中器与 48 台专变终端, 单台公变下挂最大用户数为 52 户。针对不同类型用户终端采集的用电信息包含 23 项日冻结数据, 曲线类数据覆盖 96 个时间点。对 60 台设备每日冻结数据项完整性进行统计, 平均召测成功率 P 计算如式 (3), 其中 d 为天数, D 为总天数, n 为公变数, m 为专变数, X 为公变用户总表召测数据项每日采集数, Y 为公变下挂居民用户表召测数据项每日采集数, Z 为专变用户表召测数据项每日采集数, S 为所有用户数据项数总量。

$$P = \frac{\sum_{d=1}^D \left(\sum_{n=1}^{12} (X_{dn} + Y_{dn}) + \sum_{m=1}^{46} Z_{dm} \right)}{D \cdot S} \times 100\% \quad (3)$$

本次测试历时 3 个月, 12 台公变集中器与 48 台专变终端包含的用户总数为 232 户, 每日召测的完整数据总量为 2 125 项, 前置主站接收一次完整的主动上报北斗数据分组总数量为 5 905 个。测试在每个月中分为 3 部分, 每类测试维持 10 天, 下面分别对不同测试数据进行分析。

首先对主动上报次数增加产生的影响进行讨论。如图 10 所示, 随着主动上报次数的增加, 数据采集成功率明显上升, 通过原始日志数据接收的情况发现, 只采用一遍主动上报, 一日之内会有某些时间段由于信号环境干扰导致部分设备出现分包数据丢失, 降低采集成功率。测试结果表明增加主动上报次数可有效提高采集成功率。

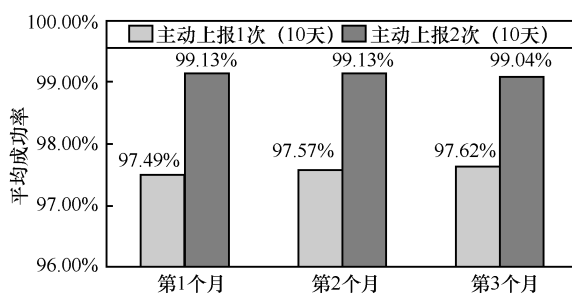


图10 不同主动上报次数平均成功率统计

接下来讨论主站补召机制对采集成功率的影响, 单独分析主动上报的数据日志后, 加入补召部

分的数据进行统计。当主动上报次数为1时,补召1次则采集成功率相比只有主动上报的情况有明显提升,当补召次数增加到2次时采集成功率有进一步提高。不同召测机制平均成功率如图11所示。

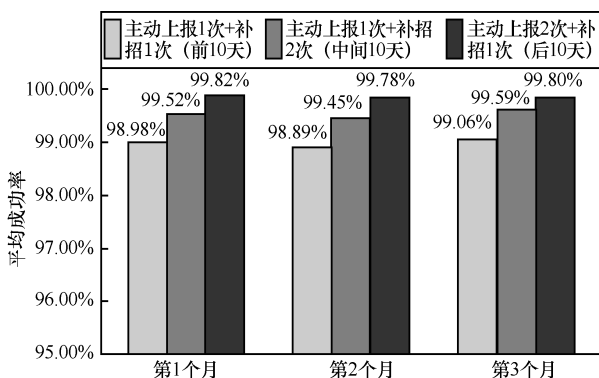


图11 不同召测机制平均成功率统计

原则上补召1次,主站根据现有数据存储情况有针对性地进行补充召测,成功率应基本为100%,但补召这个步骤需要主站发送请求,终端接收后再作反馈,将会多引入一次信息传输的过程,一定程度上也引入了新的分组丢失概率导致主站发送请求时就已经分组丢失。而当补召次数增加到2次时,采集成功率接近100%,这部分产生的数据丢失原因为个别集中器故障以及停电。

从图11可以看出,采用主动上报2次与补召1次的机制,采集成功率最高。但这种机制也有一种弊端,就是所消耗的时间更长。本次测试也统计了不同召测机制下的耗时情况。如图12所示,可看出增加主动上报次数虽能明显提高采集成功率,但消耗更多时间。主动上报为现场终端发起,主站可同时并行接收,且不需要占用主站北斗发送频度资源。主动上报与补召的次数分配应根据实际需求进行调整。

通过以上测试,可以总结几点结论:增加主动上报与补召次数可有效提高采集率;补召过程也存在一定分组丢失概率,并不能完全保证完整采集;主动上报过程由于是单向通信更为可靠,主站可同时并行接收,但增加次数后消耗的时间

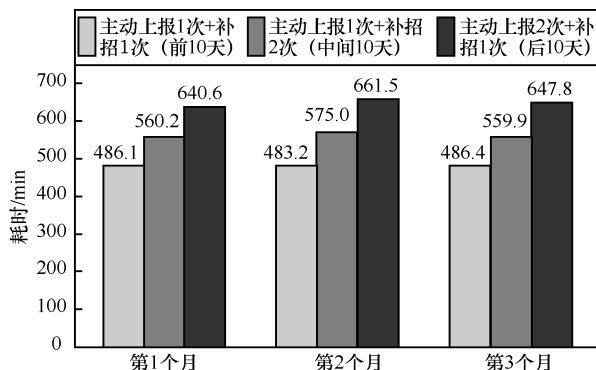


图12 不同召测机制耗时情况统计

将会更长;补召机制消耗时间较短,但由于需要串行发送补召指令,将会占用主站北斗发送资源;在现场北斗信号较弱的情况下,可考虑增加终端主动上报次数,当只存在少部分分组丢失情况建议使用补召机制进行弥补。

5.2 技术特点分析

(1) 与主站无缝对接,本技术采用北斗前置平台与北斗转接终端嵌入式地接入现有系统中,无需对现有已投运系统进行任何改造。

(2) 施工方便,对电力施工技术人员进行简单培训后,即可独立完成设备安装,调试工作少。现场终端设备迁移或变更时无需更改系统配置,维护方便。

(3) 不占用其他网络资源,随着电力信息化、自动化的程度越来越高,有限的IP地址资源在分配应用上显得捉襟见肘。在采用其他方式进行通信通道建设时,需要在现场、变电站及电力公司内部添加大量的设备,势必占用大量的IP地址资源,同时采集数据需经过变电站走电力信息内网,需要增加电力信息内网的带宽。而北斗通信通道不占用电力内网IP地址,也不占用电力信息内网带宽。

(4) 维护成本低,由于北斗卫星系统同时支持导航定位和通信功能,可实现对子站终端位置采集功能,便于后期运营维护。在后期的运行维护中,如出现设备故障,只需对设备本身进行故障诊断,无需像其他通信链路一样,需要判断复



杂的通路问题。

(5) 通信带宽充足, 其中下行带宽无论是分钟卡还是秒卡, 在数据接收频率上没有限制, 可以同时接收多个终端上送的多条报文, 平台可较为实时地下发控制指令监测管理采集终端设备。

(6) 安全性强, 稳定有效, 北斗卫星是国家战略基础设施, 具备高强度通信安全性, 可保障配网系统不受攻击破坏; 北斗卫星通信不受环境、自然灾害等影响, 短报文通信覆盖区域广。

6 结束语

本系统将北斗短报文通信技术应用于电力用电信息采集领域, 补充了公网盲区用电信息采集的技术方案, 推动北斗技术在电力系统应用, 高度契合国家电网有限公司大力推行“信息采集全覆盖”战略方针, 具有良好的社会效应和经济效益, 且系统成本低、经济适用性好、模式简单、可复制性高。北斗卫星通信系统为独立专网, 软件应用与硬件控制相互隔离, 数据经过编解码加密传输, 保证系统的安全运行。随着北斗三号系统投入运行, 系统研究成果可以解决在无公网覆盖区域的用电信息采集、小水电站并网电能采集、输电线路在线监测等泛在电力物联网场景中的无线通信难题, 具有良好的推广应用前景。

参考文献:

- [1] 许显青. 国网青海电力自主研发北斗技术应用终端[N]. 国家电网报, 2017-06-15.
XU X Q. State Grid Qinghai Electric Power autonomous research and development of Beidou technology application terminal[N]. State Grid News, 2017-06-15.
- [2] 张忠慧. 北斗卫星远程抄表助力省际电网信息化[N]. 中国能源报, 2015-07-27.
ZHANG Z H. Beidou satellite remote meter reading aids the informatization of interprovincial power grid [N]. China Energy Daily, 2015-07-27.
- [3] 陶俊. 北斗通信技术在电力行业中的研究与应用[J]. 中国新通信, 2017, 19(24): 9-10.
TAO J. Research and response of Beidou communication technology in power industry [J]. China New Telecommunications,
- 2017, 19(24): 9-10.
- [4] 妙红英. 基于北斗卫星通信的偏远地区用电信息采集[J]. 电子设计工程, 2015, 23(10): 152-154, 158.
MIAO H Y. Electric energy data acquisition by Beidou satellite communication in remote region[J]. Electronic Design Engineering, 2015, 23(10): 152-154, 158.
- [5] 侯莹莹, 赵冲, 周颖, 等. 基于用电信息采集的电力北斗通信模块关键技术[J]. 工业控制计算机, 2018, 31(2): 11-12, 15.
HOU Y Y, ZHAO C, ZHOU Y, et al. Key technology of power Beidou communication module based on power information acquisition[J]. Industrial Control Computer, 2018, 31(2): 11-12, 15.
- [6] 富新辉, 余之喜, 苏凯雄. 基于 BLE 北斗便携终端的安卓系统设计[J]. 微型机与应用, 2017, 36(7): 95-97, 101.
FU X H, YU Z X, SU K X. The design of Android system based on BLE for the Beidou portable terminal[J]. Microcomputer & its Applications, 2017, 36(7): 95-97, 101.
- [7] 国家电网公司. 电力用户用电信息采集系统通信协议第一部分: 主站与采集终端通信协议: Q/GDW 376.1-2009[S]. 北京: 中国电力出版社, 2009.
State Grid Corporation of China. Power user electric energy data acquisition system communication protocol part1: master station communication with data acquire terminal: Q/GDW 376.1-2009[S]. Beijing: China Electric Power Press, 2009.
- [8] 王涛, 周宜, 王立福, 等. 基于北斗通信 SRP 机制的电力计费信息远程传输系统的设计与实现[J]. 合肥工业大学学报(自然科学版), 2017, 40(12): 1630-1636.
WANG T, ZHOU Y, WANG L F, et al. Design and implementation of electricity information remote meter reading system based on Beidou communication SRP mechanism[J]. Journal of Hefei University of Technology(Natural Science), 2017, 40(12): 1630-1636.
- [9] 李文金, 苏凯雄. 基于存储管理的北斗报文传输协议设计与应用[J]. 微型机与应用, 2015, 34(24): 63-65.
LI W J, SU K X. Design and application of Beidou message transmission protocol based on storage management[J]. Microcomputer & its Applications, 2015, 34(24): 63-65.
- [10] 刘凯, 刘艳, 方华亮, 等. 基于北斗系统的电力同步网可靠性模型研究[J]. 电力系统及其自动化学报, 2016, 28(9): 8-13.
LIU K, LIU Y, FANG H L, et al. Research on reliability model of electric power synchronization network based on Beidou system[J]. Proceedings of the CSU-EPSA, 2016, 28(9): 8-13.
- [11] 陈锡春, 李志国, 赵伟, 等. 北斗多模一体机收发组合设备: CN205301587U[P]. 2016.
CHEN X C, LI Z G, ZHAO W, et al. Beidou multimode integrated transceiver and transceiver equipment: CN205301587U[P]. 2016.
- [12] 庞瑜. 基于北斗短报文通信的小水电站用电采集系统研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2016.
PANG Y. Study on electric power acquisition system of small hydropower station based on Beidou short message communi-

- cation [D]. Jilin: Jilin University, 2016.
- [13] 颜晓星, 车明, 高小娟. 基于北斗卫星的可靠远程通信系统设计[J]. 计算机工程, 2017, 43(3): 62-68.
- YAN X X, CHE M, GAO X J. Design of reliable remote communication system based on BeiDou satellite [J]. Computer Engineering, 2017, 43(3): 62-68.
- [14] 陆云, 齐文才, 陆建达. 一种智能电网中配变终端的嵌入式规约转换装置: CN 206041647 U[P]. 2017-03-22.
- LU Y, QI W C, LU J D. An embedded protocol conversion device for distribution and transformer terminal in smart grid: CN 206041647 U [P]. 2017-03-22.
- [15] 张文飞, 金金, 王有虎, 等. 北斗数传通信模块在智能电网中的应用[Z]. 2015.
- ZHANG W F, JIN J, WANG Y H, et al. Research and application of Beidou digital communication module in smart grid[Z]. 2015.
- [16] DUZETT R C. Data storage methods and apparatuses for reducing the number of writes to flash-based storage[Z]. 2017.
- [17] 李湘波. 嵌入式智能电能抄表集中器的设计[D]. 广州: 广东工业大学, 2015.
- LI X B. Design of embedded intelligent meter reading concentrator [D]. Guangzhou: Guangdong University of Technology, 2015.
- [18] SUN R, HAN K, HU J, et al. Integrated solution for anomalous driving detection based on Beidou/GPS/IMU measurements[J]. Transportation Research Part C, 2016(69): 193-207.
- [19] 段立, 胡文, 夏海燕, 等. 基于大数据的用电信息采集系统建设[J]. 贵州电力技术, 2017, 20(9): 1-5.
- DUAN L, HU W, XIA H Y, et al. Construction of electricity information acquisition system based on big data [J]. Power Systems and Big Data, 2017, 20(9): 1-5.
- [20] 周文婷, 王涛, 袁鸣峰, 等. 基于北斗短报文通信的用电信息采集系统的研制[J]. 电力自动化设备, 2017, 37(12): 211-217.
- ZHOU W T, WANG T, YUAN M F, et al. Development of electricity information acquisition system based on Beidou short message communication[J]. Electric Power Automation Equipment, 2017, 37(12): 211-217.
- [21] 韩志凤, 刘建业, 李荣冰, 等. 基于长时间差分相关/最大似然法的北斗信号位同步算法[J]. 中国惯性技术学报, 2017(6).
- HAN Z F, LIU J Y, LI R B, et al. Beidou signal bit synchroniza-

tion algorithm based on long-time differential correlation and maximum likelihood[J]. Journal of Chinese Inertial Technology, 2017(6).

[作者简介]



王继业(1965—), 男, 博士, 国家电网有限公司教授级高级工程师、信息通信部主任, 中国电机工程学会会士、常务理事、学术委员会委员, 中国地理信息产业协会副会长, 中国计算机用户协会副理事长。长期从事电力信息化及测绘遥感地理信息、卫星导航定位、信息通信等技术在国家电网有限公司进行融合、创新研发与推广应用工作。



沈亮(1969—), 男, 国家电网有限公司教授级高级工程师、通信分公司副总经理, 中国电机工程学会电力信息化专委会副主任委员、电力行业信息标准化委员会副主任委员, 长期从事电力行业信息化建设与运行管理工作。



王林信(1967—), 男, 国家电网有限公司正高级工程师, 甘肃省电力公司营销部主任, 国家电网公司专业领军人才, 主要研究方向为电力调度、电力营销、营销信息化、电力市场运营、需求侧管理等。



杨成月(1977—), 男, 博士, 国网信通产业集团思极神往位置服务公司高级工程师、技术总监, 长期从事测绘遥感、地理信息、卫星导航定位、信息通信、物联网等技术在能源系统的创新研发与推广应用工作。