

「管理系统」

基于塑料光纤通信的用电信息采集系统功能设计

文/深圳供电局有限公司 张之涵 李伟华

描述了塑料光纤通信技术应用于用电信息采集系统的实用化组网结构，并进一步详细阐述了用电信息采集系统深化应用功能设计，包括广播抄表，相位/台区识别，停电实时上报，自主运维流程等。

自2008年全球金融危机以来，欧美主要发达国家提出了智能电网的建设要求。我国也随之提出了建成智能电网的目标与规划。智能电网的七大特征之一即是安全稳定实时互动。稳定和可靠的通信技术是支撑智能电网真正实现的关键技术之一。国家能源局和发改委更提出了双向互动、可观可控的配网建设需求。目前用电信息采集系统已经基本实现全覆盖，系统采用的低压电力载波通信技术和微功率无线通信技术各有其特点，但目前数据24 h采集成功率很难提升达到100%。无论从管理角度还是专业角度讲，不但24 h 100%抄收率与99%抄收率有着本质的区别，而且24 h 100%抄收率与实时稳定的100%抄收率更有天壤之别，不能确保实时100%准确的抄收率，就无法真正实现费（负）控、台变线损实时计算、停电及时上告、能效管理、大数据挖掘等应用，无法实现变被动报修为主动维护，无法实现可观可控等用户需求。

塑料光纤是一种区别于传统石英玻璃光纤的高分子材料，其在短距离通信技术中取代铜线通信已在欧美日等发达国家得到了诸如桌面上网，工业控制，飞机，音频传输和汽车等领域的广泛应用。将其应用在用电信息采集控制系统中，通过合理的系统组网模式设计和功能设计，可以解决目前用电信息采集系统由于通信问题遇到

的诸多瓶颈和障碍，能够适应智能电网发展建设要求。

系统组网结构设计

1. 塑料光纤简介

通常所说的光纤，一般是指石英玻璃光纤，由高纯度二氧化硅（ SiO_2 ）加入适量掺杂剂组成。而塑料光纤（POF）是用一种透光聚合物制成的光纤。它可利用聚合物成熟的简单拉制工艺，故成本比较低，且比较柔软，直径较大（约达1mm），对接容易，无须熔接且接续损耗较低。制作POF主要的材料有两类：一类是聚甲基丙烯酸甲酯聚合物PMMA（Polymer Polymethmethacte）；另一类是含氟聚合物（Perfluorinated polymers）。目前市面上用得最多的是PMMA材料制成的光纤，成本最低。塑料光纤通信另一个不同于传统石英光纤通信的是光源为可见光，2012年以前主要采用中心波长为650 nm红光LED，通信距离可达100 m，带宽可到10 Mbit/s。图1所示为不同的光源在PMMA塑料光纤中的衰减特性。

塑料光纤通信技术在欧美日等发达国家主要用在桌面上网、音频传输、汽车、飞机和工业机器控制等领域通信并制定了相应的标准。国内主

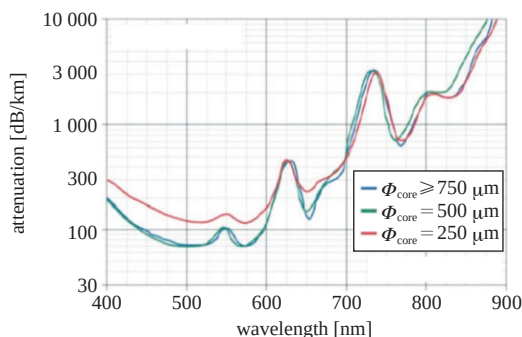


图1 PMMA塑料光纤传输损耗特性

要用在高压变频设备光电隔离控制通信,最近几年开始掀起塑料光纤用于用户用电信息采集系统通信的应用研究热点。由图1可见,绿光和蓝光在塑料光纤中衰减更低。2012年日本滨松和爱尔兰飞尔康先后推出了以中心波长520 nm绿光LED作光源的发射器,1 mW光功率下,通信距离可达200~300 m,这一通信距离通过合理的设计,将塑料光纤用于满足用电信息采集系统台区覆盖范围要求没有障碍。

2. 系统组网结构设计

塑料光纤通信本质是一种光耦合通信,其不同于光耦器件通信的差别在于光耦器件通信中光收发封装在单芯片的暗室内,而塑料光纤通信是将光的发射和接收独立分开,信源发射端的电信号转换为光发出,发出的光耦合进塑料光纤传输,信号接收端将接收的光信号转换为电信号,从而完成信号传输。从原理上而言,塑料光纤用于用电信息采集系统通信,有不同组网模式。如图2、图3所示是最实用化的应用模式,和现有用电信息采集系统结构完全兼容。图2所示的半光系统中,电表与光纤采集器之间仍然采用双绞线连接的485通信。采集器与集中器以及采集器之间采用双芯光缆闭环连接,保证单点故障不影响系统通信。因为塑料光纤衰减大,采集器具有自动中继转发的功能,从而保证系统具有足够的覆盖范

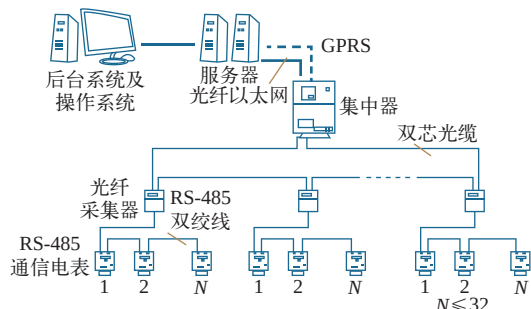


图2 半光系统结构

围。图3所示全光系统的差别在于电表与采集器之间的连接通信方式。全光系统中,电表单独安装光纤通信模块,电表之间采用单芯光纤串联连接到光纤采集器。这正符合电表集中的台区特点,单表箱多个电表集中在封闭的箱体内部,光纤发生故障率低,单芯接线工艺简洁且足够,而系统造价成本更经济。

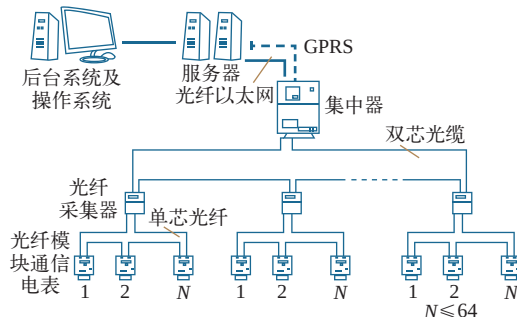


图3 全光系统结构

如图2、图3所示的结构具有以下优点:

(1) 和现有其他技术组网模式高度兼容

从居民用电信息采集系统的发展历史表明,从电表到用户后台有集中器,采集器的四层结构是居民用电信息采集系统经典组网方式。采用塑料光纤通信,从成本和后期管理角度,图2、图3所示结构符合这一经典模式。

(2) 该组网方式扬长避短,充分发挥了塑料光纤的优势

塑料光纤由于衰减大,只适合短距离通信,该结构中采集器具有自动中继功能,从而使得采用的塑料光纤可以建设理论上覆盖无限大空间的实时局域网络。

(3) 简化后台系统的设备管理

光纤采集器主要作为通信中继,不需后台管理通信地址即可使用,比半载波系统管理更简单。

(4) 扩展方便

建成后的系统如果需要新增设备,只需将现场其他新增信息采集点就近接入主环路即可,扩展非常方便。如图2、图3所示,集中器到后台如果采用石英光纤远距离传输,则完全实现石英光纤+塑料光纤的全光网络通信。

(5) 经济实用

基于塑料光纤的全光网络模式中,集中器和采集器之间采用双芯闭环,保证了不同环境条件下单点故障不影响系统通信,从而增强了整个网

络的健壮性；采集器与表之间单芯串联通信。接线工艺简洁，电表数量不同的不同表箱只需1台光纤采集器，系统造价低。

功能设计

目前，基于低压电力载波通信/微功率无线通信技术/RS 485通信技术的用电信息采集系统除了24 h抄收居民日冻结电量达到98%以上的要求外，几乎难以扩展其他功能。因此，这是用电信息采集系统性价比比较低的主要原因。塑料光纤通信具有先天免疫的抗电磁干扰能力，用塑料光纤打造的居民用电信息采集系统通信稳定性实时性好，挖掘用户需求，研究设计更多可以实现的功能，全面提高居民用电信息采集系统性价比，为塑料光纤在电力系统的通信应用打下充分可信任的基础就显得尤为迫切。结合塑料光纤通信的特点，在深圳供电局有限公司的试点建设研究中，共设计了如下功能。

1. 广播命令

广播命令即集中器在一个时间点针对下辖电表下发执行某一任务或多个任务，因此分为单任务广播和多任务广播。该功能的本地处理流程如下。

集中器本地通信模块即光纤模块接到广播命令后向采集器下发，采集器收到后向下一级采集器转发（采集器自动中继转发功能），然后解析

并逐一与本机下辖电表进行主从通信。电表接收命令后执行并反馈。电表的执行结果上报到集中器的过程与命令下发过程相逆。由图2、图3可见，基于塑料光纤通信的用电信息采集系统在执行广播命令时，如果忽略集中器与采集器之间的信号传输时间，采集器几乎是同时接收同时处理，分段上报。因此，整个系统响应迅速。

以1 024只DL/T 2007—645规约电表的实时电量广播抄收为例，假设系统采集器为32台，单采集器电表数量最大32只。则整个系统响应时间主要取决于单采集器处理时间：主从式通信下，单表数据处理时间0.5 s，则单采集器最大处理时间 $0.5 \times 32 = 16$ s。以单表数据100字节，每字节11 bit，光纤通信速率115 200 bit/s计算，1 024只电表数据在光纤中的传输时间则为 $1\,024 \times 100 \times 11 / 115\,200 = 9.78$ s。如果光纤通信速率为921 600 bit/s，则该时间为1.22 s。

由以上计算可得，在不考虑缓存的情况下，1 024只表的塑料光纤通信的用电信息采集系统本地广播任务执行时间可在30 s内完成。这一效率指标是其他技术难以达到的。

为了验证上述推算是否可行，设计了光纤采集器，电表光通信模块并进行多个台区挂网运行，表1为现场实际测试数据统计，这一结果与上述推算基本吻合。

表1 广播抄表完成时间统计

台区	电能表	电能表数量	组网方案	100%成功抄收完成时间（集中器录得）/s	平均抄收完成时间/s
1#	RS 485电能表	369	半光方案	23	0.06
2#	RS 485电能表	93	半光方案	6	0.06
3#	光通信电能表	264	全光方案	14	0.053
4#	光通信电能表	240	全光方案	11	0.045 8
5#	光通信电能表	129	全光方案	5	0.038

由上述可见，广播通信命令功能的可靠实现依赖于塑料光纤稳定实时的通信性能和恰当适用的组网模式。

2. 停电实时上报功能

目前基于低压电力载波通信/微功率无线通信/RS 485通信的用电信息采集系统中，停电上报功能定义为电表记录停电事件，在电表重新上电后上报集中器，集中器再上报远程后台。显然，这一定义停电上报为事后处理的非实时上报，使得业务处理麻烦，围绕这一功能的测试技术也比较复杂，另一方面，这种事后上报的功能对于提升

用电服务质量和效率的作用有限。居民用户实时的停电事件上报功能是电能质量和计量装置在线监测的范畴。

从原理上，居民用户停电实时上报功能首先要求用电信息采集终端（集中器），采集器，电表通信模块等必须具有后备电源。集中器、采集器增加后备电源障碍不大，但电表通信模块受限于结构以及模块功耗，基于低压电力载波通信/微功率无线通信技术的用电信息采集系统因为通信原理限制，模块功耗大于1 W，如需增加后备电源，则容量不能小，否则持续时间不理想（标准

要求30 s), 容易发生无效上报。如果后备电源容量大, 则结构不允许, 因此难以稳定准确实现停电功能的实时上报。而塑料光纤通信模块动态功耗小于0.2 W, 因此, 在解决居民停电实时上报功能处理上就游刃有余。具体实现描述如下。

在图2所示的全网系统中, 电表光纤模块设计了1.5 F的法拉电容作为模块后备电源, 采集器设计了2.5 F的电容作后备电源, 采用电容作为后备电源的优点是体积小, 寿命长, 工业级工作温度, 无安全风险。当居民电表停电时, 光纤模块内部CPU从三方面判断电表是否停电: ①电表交流信号是否缺失? ②电表供通信模块的12 V电源是否缺失? ③电表与光纤模块通信是否正常? ④模块是否被拔出? 四者缺一不可, 以作为此判断电表是否真正停电的依据。实测数据表明, 在电表停电后, 光纤模块可以持续工作10 min以上, 这一时间足以排除瞬时掉电。减少误判误报, 从而将系统要求的居民停电实时上报功能真正落实。

由上述可见, 停电实时上报功能的可靠实现依赖于塑料光纤通信稳定和低功耗的优点。

3. 相位/台区识别功能

电表相位/台区识别, 其本质是电压相位关系确定, 电压相位差别其实就是过零时间差别。因此, 相位/台区识别的基本原理是: 集中器本地通信模块, 光纤采集器, 电表通信模块这三者需设计有电压过零信号检测电路。集中器本地通信模块设计有三相电压过零信号检测, 以它为标准, 通过比较采集器电压过零信号时间差, 同台区的电压相位时间差在0 ms, 6.66 ms, 13.32 ms。不在这个时间差且差值超出一定范围的采集器可以判定非本台区。因为塑料光纤通信方案的用电信息采集系统按表箱配置采集器, 因此, 只要识别出采集器是否在本台区, 即可确定该采集器下电表是否在本台区, 因此, 对于RS 485电表台区, 基于塑料光纤通信的用电信息采集系统可以识别出非本台区电表。

对于全光系统, 则在采集器确定相位后, 以同样的原理, 识别出下辖每只电表的相位。

由上述可见, 相位/台区识别的关键和难点在于电压过零时间差的计算。对于载波/无线通信方案, 涉及单片机程序处理时间, 通信成功率和跨台区等影响, 识别时间基本不可控。但对于光纤通信来说, 因为传输稳定, 时间确定, 单片机处理时间小, 可以直接将不同位置的光纤采集器

电源电压过零信号进行比较, 时间计算误差小, 因此相位/台区识别更准确, 过程更短。实测数据表明, 以50台采集器串接, 单采集器下接32只电表, 整个识别过程在10 min内完成。

4. 四表合一功能

《国家发展改革委、国家能源局关于促进智能电网发展的指导意见》明确指出, “完善煤、电、油、气领域信息资源共享机制, 支持水、气、电集采集抄, 建设跨行业能源运行动态数据集成平台, 鼓励能源与信息基础设施共享复用”。四表合一集抄, 可以避免硬件重复投入建设, 节约社会资源。目前四表合一的难点不在技术问题上, 而在于各表计主管部门意愿与管理。在基于塑料光纤通信的用电信息采集系统基础上, 实现四表集抄更容易: 以光纤采集器为到户表的基础单元, 另外针对水表, 气表, 热量表增设光纤转485, 光纤转无线或光纤转Mbus总线等设备即可就近将居民水、气、热表接入用电信息采集系统, 从而实现四表合一集抄功能。这样设计使得水、电、气、热四表物理上各自独立, 其益处是可以根据实际需求, 特别是气、热、水表标准不统一的情况下, 系统建设可以分步实现, 哪个表计条件成熟就采用相应地设备接入系统即可。

5. 自主运维流程设计

目前用电信息采集系统在国内用户覆盖已超3.8亿户, 全面建设已经接近尾声, 基本改变了原来人工抄收的用电信息采集模式, 由于目前用电信息采集系统中关键的通信技术实时性稳定性是个难点, 运维压力陡增。我们的塑料光纤试点台区建成2年多来, 系统几乎零故障, 数据采集成功率100%。塑料光纤通信的稳定性和可靠性为国家能源局及国家发改委相关文件要求的配网自动化建设“变被动报修为主动维护”就有了真正实现的坚实基础。

基于塑料光纤通信的用电信息采集系统自主运维流程设计如图4所示: 按照此流程设计, 现场终端设备与后台实时信息交互, 当现场设备故障时, 后台直接记录并将相关信息发送给运维直接责任人并记录故障时间, 相应设备处于待修状态, 故障排除后, 设备发出正常信号, 后台状态自动恢复正常, 并记录时间, 可生成相应统计表格, 用以考核管理运维人员运维工作量, 运维效率等, 真正实现变被动报修为主动维护, 自主运



图4 塑料光纤用电采集系统自主运维流程

维、自主管理。

6. 其他拓展功能设计

由于塑料光纤通信的稳定性和可靠性，基于塑料光纤通信的用电信息采集系统可以实现更多的增值业务。比如安全用电，双向互动，信息推送，智能家居控制系统联网，居民用电行为习惯分析等。

求，其本质是一种工业控制通信的要求。这需要高度稳定的通信技术支撑。以塑料光纤为本地骨干通信网络，建立低压电力物联网，能够充分展示塑料光纤通信的优势，发挥用电信息采集系统的社会效益，能够将用户从用电信息采集系统本身的运维中解放出来，专注于业务功能，比如大数据的需求开发和应用管理。因为，塑料光纤通信技术应用于用电信息采集系统没有“副作用”。EA

结束语

用电信息采集系统的本地设备信息采集需

(收稿日期：2018.04.27)

(编辑：朱金凤)

(上接第87页)

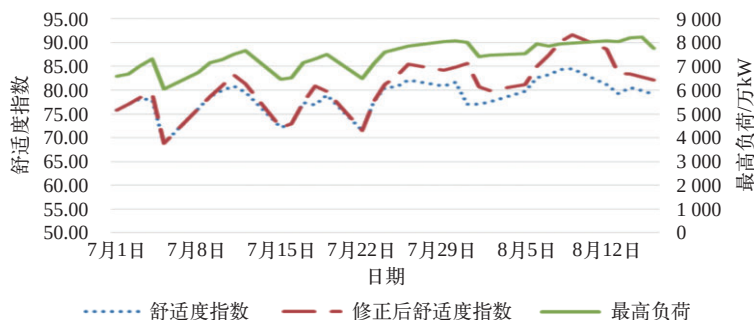


图2 调整前后的人体舒适度指数与最高负荷拟合曲线

分析图2和表1得到，考虑累积效应后，日最高负荷与舒适度指数的相关性相较不考虑累积效应的0.849 6有明显提升，达到0.907 3。

结束语

表征综合气象指标的人体舒适度指数与夏季最高负荷密切相关，持续炎热天气造成人体舒适度指数也有叠加效应。本文建立考虑累积效应的人体舒适度指数修正模型，根据相关性分析研究出了最大连续天数及累积系数的求解方法，并通

过对待预测日的人体舒适度指数进行修正调整来量化累积效应的影响。经过实例分析，验证了本文提出的方法能够有效反映舒适度指数的累积效应对最高负荷的影响程度，为进一步提高夏季短期负荷预测的准确度提供了一种有效的方法。在后续研究工作中，还需针对居民、工业等不同负荷类型分别开展研究，以进一步提高负荷预测的精度。EA

(收稿日期：2017.12.07)

(编辑：朱金凤)