

一种新型窃电策略的研究与实现

任燕康 杜立斐 宋 剑 李 剑 甯 锐
(国网资阳供电公司,四川 资阳 641300)

摘要: 线损率是一个衡量供电企业综合管理水平的重要指标,而窃电现象普遍存在,这直接影响了供电企业的经济效益。在国家电网公司全力打造的用电信息采集系统这个成熟的平台上,利用专变采集终端自带的表计特性,通过计量回路和测量回路的多日电量比对进行窃电分析与日常监控,最终形成良好的防范机制。

关键词: 用电信息采集系统;专变采集终端;计量回路;测量回路;窃电分析

中图分类号: TM73 文献标志码: A 文章编号: 1003-6954(2019)01-0083-07

DOI:10.16527/j.cnki.cn51-1315/tm.2019.01.018

Research and Realization of A New Electricity – stealing Prevention Strategy

Ren Yankang, Du Lifei, Song Jian, Li Jian, Ning Rui
(State Grid Ziyang Electric Power Supply Company, Ziyang 641300, Sichuan, China)

Abstract: Line loss rate is an important index of comprehensive management level for power supply companies, but electricity stealing happens frequently, which directly influences the economic benefits of power supply companies. On the platform of electric energy data acquisition system which is built with effort by State Grid Corporation of China, the measurement characteristics of data acquisition terminal of special transformer is used, and the electricity stealing analysis and daily monitoring are carried out through the comparison of multi-day power consumption of metering loop and measurement circuit, thus a good prevention mechanism is formed finally.

Key words: electric energy data acquisition system; data acquisition terminal of special transformer; metering loop; measurement circuit; electricity stealing analysis

0 引言

社会经济增长对电能的需求日益增加,窃电行为却始终存在,并成为影响社会经济环境和供电企业利益的重大问题。据统计,中国一年由于窃电行为造成的损失高达200亿元,而屡屡发生的窃电行为不但使国家电力资源白白流失,而且往往附带电力设施损坏或人员伤亡,直接威胁整个电网的安全运行。近年来,利用高新技术的窃电技术层出不穷,窃电手段也出现多元化发展和隐蔽性态势,甚至成为一整套产业化生产链。从电能表外使用高仿铅封、加装反检查继电器模块与延时电容,到电能表内焊接二极管进行半波整流、主动分断电路改变相位等,无不体现“高精尖”水平,随之而来的是更大的

反窃电难度^[1-3]。

不少供电企业采取了一定手段,但主要还是依托第三方公司,采购大量昂贵的仪器设备,并加装成套监测模块,对现行电路构架进行深度改造,以达到可监测、可管理的目的;或者建立新的窃电信息系统,增设特有通讯信道,经过后台特定数据库处理环节,与现有供电企业的业务系统进行接口设计,以达到信息与资源共享。但以上两方面,无疑增加了系统投资与运营成本,且未因地制宜,充分运用好现有的系统资源与硬件设施,造成了不必要的浪费。

1 策略研究的问题背景

用电信息采集系统是建设智能电网的关键部分,同时也是物理基础,其涉及方面包括传感器技术、电能计量技术、通信技术、数据库技术等,主要能

实现电力用户数据采集、数据检索、数据分析和数据管理,为供电企业各项业务提供可靠的技术支撑;同时也能方便供电企业与电力用户进行双向沟通、广泛互动,从而实现提高供电电能利用效率,优化电网能源结构的最终目的^[4-5]。

专变采集终端是供电企业依托用电信息采集系统推进“全覆盖”、“全采集”、“全费控”进程中利用到的一种常见的用电信息采集设备,具有集成度高、技术先进、测量准确等优点。远端普遍采用GPRS/CDMA/GSM/SMS等通讯方式;其近端则采用RS485/电力载波等通讯方式,能实现电能表历史和当前数据采集、电能表运行情况监测、事件记录与报警、电能异常监测以及远程关断控制。其具有单独的交流采样信号回路,能完成电流信息的采集与上传,主要使用场合多数为专变台区^[6-8]。

专变台区用户窃电行为相比公变台区来说具有更明显的隐蔽性和大电量性。一般情况下,专变用户计量设备因其变压器所属性质会一同安装在其厂区内,为供电企业用电检查人员进行防窃电侦查带来诸多不便;并且由于生产特性与规模,往往使得窃电追补金额数以万计;所以专变台区窃电治理必须防微杜渐,从防做起,对窃电苗头进行有效监控和处理。

专变台区配电柜一般会存在3种类型的CT,即计量CT、测量CT和保护CT。这3种CT的用途分别为:计量CT主要是将电流信息反馈给计量装置(如智能电能表),用于供电企业电能结算,一般准

确度等级为0.2(S)或0.5(S);测量CT主要是将电流信息反馈给测量装置(如显示电流表),用于检查人员观察电流大小,一般准确度等级为0.2或0.5;保护CT主要是将故障电流信息反馈给继保装置(如保护动作开关),用于切断故障电路,保护供电系统安全,一般准确度等级为5P或10P。3种CT虽各自用途不同,但通过实际比较,计量CT和测量CT从准确度等级和安装位置两方面来看都最为接近,而保护CT由于准确度等级不够且涉及到继保装置动作问题,如果更改接线将会产生更多不必要的工作量^[9-10]。

基于以上问题,结合专变台区的窃电防治工作,深度揣摩窃电者的心理,提出了一种现实可行且耗费较小的监控方法。通过现场搭建实验平台,充分利用成熟的用电信息采集系统平台以及广泛投用的专变采集终端,对专变台区配电柜进行改造,选择接入配电柜自带的测量CT,与计量CT电量信息进行有针对性的实时比对,从而实现窃电防治的双保险机制。

2 实时监控的平台搭建

实现实时监控的平台搭建如图1所示。但根据专变台区的现场计量装置安装位置情况可以分为两种现场硬件搭建接法“高供高计接法”和“高供低计接法”。

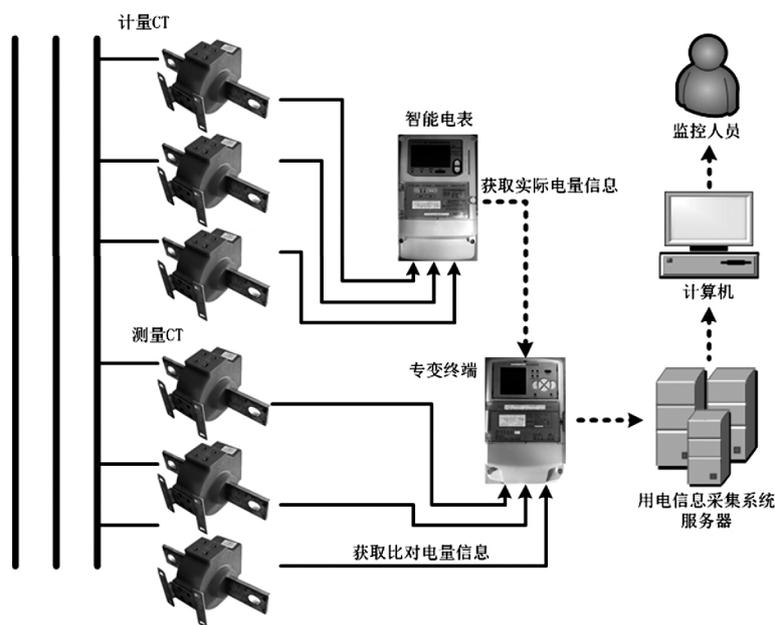


图1 系统构架

2.1 “高供高计”接法

针对“高供高计”的专变台区,计量装置一般选用三相三线智能电能表,电能表规格为“ $3 \times 100 \text{ V}$ 、 $3 \times 1.5(6) \text{ A}$ ”,电能表、计量 CT、计量 PT 以及专变采集终端均安装在高压室,其中计量 CT 数量为 2 个,串接在 A 相和 C 相,计量 PT 数量为 2 个,采用“V-V”接法并入电路,PT 二次侧 B 相接地。测量 CT 一般在配电柜组装过程中就配备好并安装在低压室,数量为 3 个,分别串接在 A、B、C 三相上。考虑到实际设备及环境情况,应分为两种类型来改造。第 1 种类型如图 2 所示,具体为计量 CT 不带多抽头或多绕组。此种情况下,专变采集终端的电流信号可取自低压室测量 CT,但需单独布线从低压室引线至高压室,对户外预装式箱式变电站可采用这种方法,缺点是布线距离较长,对测量精度可能会带来影响。第 2 种类型如图 3 所示,具体为将计量 CT 更换为多抽头或多绕组类型。此种情况下,专变采集终端的电流信号可直接从计量 CT 的其他绕组(通常为测量用绕组)获取,需要单独布线,但距离较短,可适用于户外预装式箱式变电站或配电室,缺点是需要采购并更换计量 CT,有一定的资金耗费。

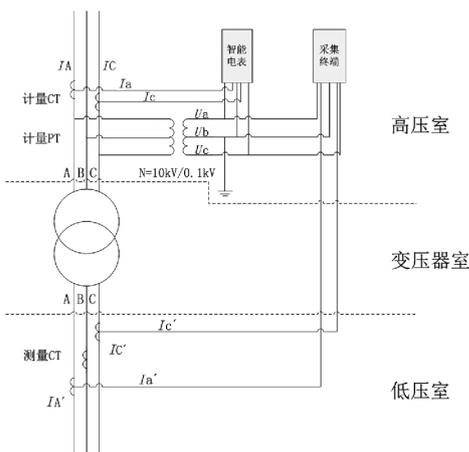


图 2 “高供高计”且计量 CT 不带多抽头或多绕组

2.2 “高供低计”接法

针对“高供低计”的专变台区,计量装置一般选用三相四线智能电能表,电能表规格为“ $3 \times 220 \text{ V}$ 、 $3 \times 1.5(6) \text{ A}$ ”。电能表、计量 CT 及专变采集终端均安装在低压室,如图 4 所示,其中计量 CT 共有 3 个,分别安装在 A、B、C 三相上;测量 CT 同样有 3 个,也分别安装在 A、B、C 三相上。区别是两种 CT 安装位置一般分布于总路断路器上下两侧,优点是测量 CT 可直接使用,较为简便。

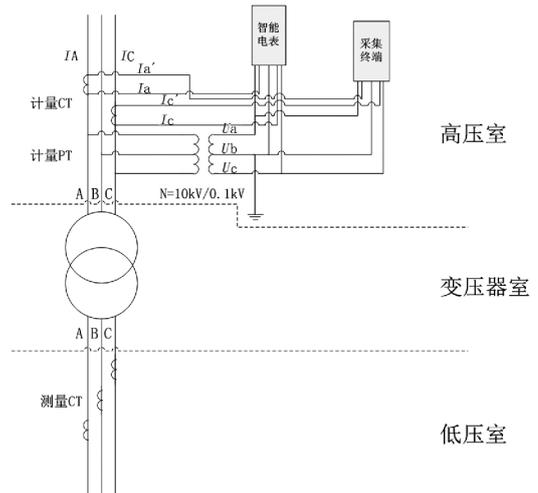


图 3 “高供高计”且计量 CT 自带多抽头或多绕组

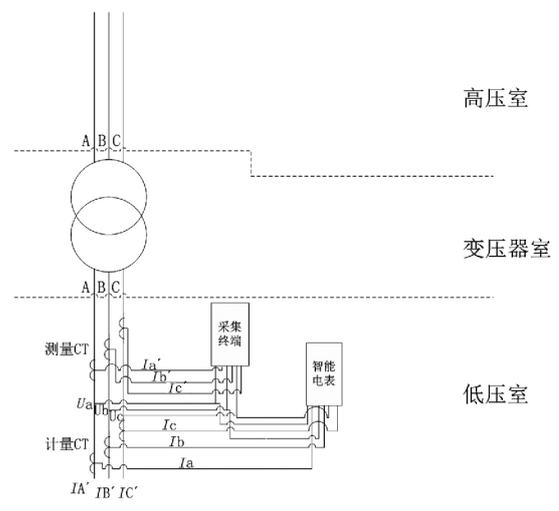


图 4 “高供低计”接法

2.3 改造接法特点分析

表 1 改造接法特点分析

“高供高计”不带多抽头多绕组	“高供高计”更换多抽头多绕组	“高供低计”
布线距离长	布线距离短	布线距离短
需绝缘铜导线	需绝缘铜导线及更换 CT	需绝缘铜导线
适用箱式变电站	适用配电室及箱式变电站	适用配电室及箱式变电站
信号传输影响大	信号传输影响小	信号传输影响小

3 种方法各有优缺点,在实际勘查之后可以根据现场情况灵活运用,选择最合适的改造接法,完成窃电监控平台的硬件搭建。

3 系统建设及分析方法

专变采集终端可从测量 CT 或计量 CT 的测量

绕组获取第2组电流信号,通过终端自带的表计特性计算得到的电量信息,原理如图5所示。再与电能表计算得到的电量信息进行多次比对,从而为计量装置是否存在故障或专变用户是否存在窃电行为提供可靠参考。

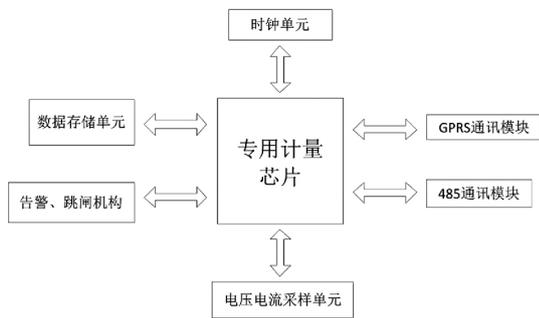


图5 专变采集终端计量原理

3.1 “高供高计”且计量CT不带多抽头或多绕组情况分析

根据常见的DYN11型配电变压器特性,图1中变压器高压侧相电流与低压侧相电流关系满足:

$$\frac{I_A}{I_A'} = \frac{1}{N\sqrt{3}} = \frac{I_C}{I_C'} \quad (1)$$

式中, N 为变压器变比。

在三相电压对称,三相负荷平衡的条件下,电表计算得到的电量为

$$W_1 = [U_{ab} \times I_a \times \cos(30^\circ + \theta) + U_{cb} \times I_c \times \cos(30^\circ - \theta)] \times t \quad (2)$$

式中: U_{ab} 、 U_{cb} 为高压侧线(相)电压; I_a 、 I_c 为高压侧相电流; θ 为相电压与相电流的夹角。

同样情况下,专变采集终端计算得到的电量为

$$W_2 = [U_{ab} \times I_a' \times \cos(30^\circ + \theta) + U_{cb} \times I_c' \times \cos(30^\circ - \theta)] \times t \quad (3)$$

式中: U_{ab} 、 U_{cb} 为高压侧线电压; I_a' 、 I_c' 为低压侧线(相)电流; θ 为相电压与相电流的夹角。由于配电变压器不具有移相功能,所以高压侧相电压与高压侧、低压侧相电流的夹角均相同。

根据电流互感器特性,图1中电流互感器一次侧电流与二次侧电流关系满足式(4)、式(5):

$$\frac{I_A}{I_a} = N_1 = \frac{I_C}{I_c} \quad (4)$$

$$\frac{I_A'}{I_a'} = N_2 = \frac{I_C'}{I_c'} \quad (5)$$

式中: N_1 为计量CT倍率; N_2 为测量CT倍率。联合式(1)、式(4)、式(5)代入式(3)中与式(2)比

较可得到:

$$W_1 = \frac{N_2}{N \times N_1 \times \sqrt{3}} \times W_2 \quad (6)$$

可知在这种情况下,对专变采集终端得到的电量信息进行如式(6)校正后再与电能表得到的电量信息进行多次比对,就能够较准确地判断出是否存在电量异常情况。另一种处理方法是直接将计量CT更换为多抽头或多绕组的形式,具体电量分析方法见3.2节。

3.2 “高供高计”且计量CT自带多抽头或多绕组情况分析

在三相电压对称,三相负荷平衡的条件下,电能表计算得到的电量为

$$W_1 = [U_{ab} \times I_a \times \cos(30^\circ + \theta) + U_{cb} \times I_c \times \cos(30^\circ - \theta)] \times t \quad (7)$$

式中: U_{ab} 、 U_{cb} 为高压侧线电压; I_a 、 I_c 为计量CT的计量绕组引出的高压侧线(相)电流; θ 为高压侧相电压与高压侧相电流的夹角。

同样情况下,专变采集终端计算得到的电量为

$$W_2 = [U_{ab} \times I_a' \times \cos(30^\circ + \theta) + U_{cb} \times I_c' \times \cos(30^\circ - \theta)] \times t \quad (8)$$

式中: U_{ab} 、 U_{cb} 为高压侧线电压; I_a' 、 I_c' 为计量CT的测量绕组引出的高压侧线(相)电流; θ 为高压侧相电压与高压侧相电流的夹角。

根据电流互感器特性,图2中电流互感器一次侧电流与二次侧电流关系满足:

$$\frac{I_A}{I_a} = N_1 = \frac{I_C}{I_c} \quad (9)$$

$$\frac{I_A'}{I_a'} = N_2 = \frac{I_C'}{I_c'} \quad (10)$$

式中: N_1 为计量CT倍率; N_2 为测量CT倍率。联合式(9)、式(10)代入式(8)中与式(7)比较可得到:

$$W_1 = \frac{N_2}{N_1} \times W_2 \quad (11)$$

在此种情况下,对专变采集终端得到的电量信息也需要进行如式(11)校正后再与电能表得到的电量信息进行多次比对,即可较为准确地判断出是否存在电量异常情况。

3.3 “高供低计”情况分析

在三相电压对称,三相负荷平衡的条件下,电能表计算得到的电量为

$$W_1 = [U_a \times I_a \times \cos\theta + U_b \times I_b \times \cos\theta +$$

$$U_c \times I_c \times \cos\theta] \times t \quad (12)$$

式中: U_a, U_b, U_c 为低压侧相电压; I_a, I_b, I_c 为计量CT引出的低压侧相电流; θ 为低压侧相电压与低压侧相电流的夹角。

同样情况下, 专变采集终端计算得到的电量为

$$W_2 = [U_a \times I_a' \times \cos\theta + U_b \times I_b' \times \cos\theta + U_c \times I_c' \times \cos\theta] \times t \quad (13)$$

式中: U_a, U_b, U_c 为低压侧相电压; I_a', I_b', I_c' 为测量CT引出的低压侧相电流; θ 为低压侧相电压与低压侧相电流的夹角。

根据电流互感器特性, 图3中电流互感器一次侧电流与二次侧电流关系满足:

$$\frac{I_A'}{I_a} = \frac{I_B'}{I_b} = \frac{I_C'}{I_c} = N_1 \quad (14)$$

$$\frac{I_A'}{I_a'} = \frac{I_B'}{I_b'} = \frac{I_C'}{I_c'} = N_2 \quad (15)$$

式中: N_1 为计量CT倍率; N_2 为测量CT倍率。联合式(14)、式(15)代入式(13)中与式(12)比较可得到

$$W_1 = \frac{N_2}{N_1} \times W_2 \quad (16)$$

通过式(16)对专变采集终端得到的电量信息进行校正后可与电能表得到的电量信息进行多次比对, 进而能够发现该专变用户是否存在电量异常情况。

3.4 SG186系统及用电信息采集系统建设方法

在现场硬件设备搭建完成之后, 需要对专变采集终端进行调试, 调试流程见图6。由于各厂家终端逻辑上默认自身设备为“测量点01”, 所以必须通过修改参数将“测量点01”强制开启并设置为交流采样模式, 电能表地址设置为终端的逻辑地址, 这样才可实现终端的计量功能。

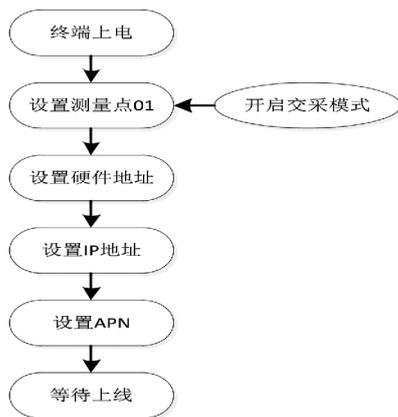


图6 终端硬件调试

在SG186系统中新建考核类型的虚拟用户, 该用户下计量点设置为考核类型的虚拟电能表, 并挂在供异常监控用的虚拟台区下, 最后进行采集系统资源同步, 如图7所示。

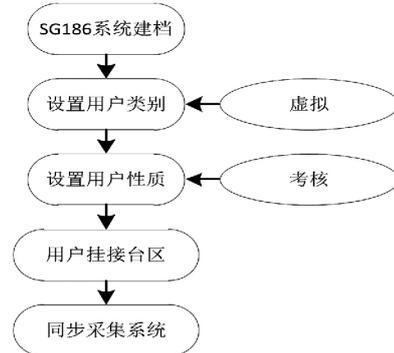


图7 SG186系统搭建

可在用电信息采集系统“用户自定义群组”中添加需要监控的实际专变用户和通过专变采集终端新建的虚拟用户。在“表码查询”功能界面可实现表码逐日跟踪, 或“电量查询”功能界面实现异常时段内的电量跟踪, 具体流程见图8。

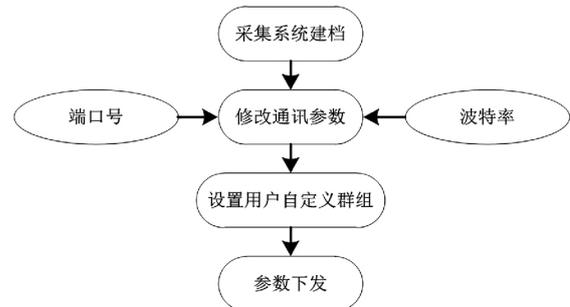


图8 用电信息采集系统搭建



图9 现场装置实物

4 现场实验验证

以辖区内某异常专变台区进行实际安装验证,经过现场勘查后发现,该台区变压器容量为800 kVA,采用“高供低计”的计量方式,计量电能表为DTZY832-Z型三相四线费控智能电能表,电能表规格为“3×220 V/380 V、3×1.5(6) A、50 Hz”,准确度等级为有功1.0级,无功2.0级。采集设备为FKGA23-WFET1000型专变采集终端,终端规格为“3×220 V/380 V、3×1.5(6) A、50 Hz”,准确度等级为有功0.5级,无功2.0级;计量CT变比为1200/5,准确度等级为0.2 S级;测量CT变比为1200/5,准确度等级为0.5 S级。由于计量CT与测量CT变比相同,根据“高供低计”电量校正公式(16)可以得到 $W_1 = W_2$ 。在此校正公式下可通过比对电量进行实际电量的异常跟踪。

根据现场情况进行改造,将测量CT接入专变采集终端,完成终端上线调试和系统档案维护工作,然后对该专变台区进行多日电量信息监控,图9为现场装置实物图,从上到下(从左到右)依次为三相四线智能电能表、专变采集终端、计量CT、测量CT。

1) 该台区连续7 d的电量数据如表2所示。

表2 7 d电量数据对比

日期	某专变台区计量电能表 (W_1)	某专变台区采集终端 (W_2)
3月6日	201.60	199.92
3月7日	199.20	197.52
3月8日	184.80	183.60
3月9日	139.20	136.80
3月10日	163.20	161.04
3月11日	177.60	175.44
3月12日	153.60	151.20

通过计量电能表得到的电量数据7 d平均值为

$$\overline{W_1} = (201.6 + 199.2 + 184.8 + 139.2 + 163.2 + 177.6 + 153.6) \div 7 = 174.1714 \quad (17)$$

利用贝塞尔公式得到 W_1 的实验标准偏差为

$$S_1(W) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W_i - \overline{W_1})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{3\ 270.034\ 286}{6}}$$

$$\approx 23.345 \quad (18)$$

通过采集终端得到的电量数据7天平均值为

$$\overline{W_2} = (199.92 + 197.52 + 183.6 + 136.8 + 161.04 + 175.44 + 151.2) \div 7 = 172.2171 \quad (19)$$

同样利用贝塞尔公式得到 W_2 的实验标准偏差为

$$S_2(W) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (W_i - \overline{W_2})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{3\ 368.661\ 943}{6}} \approx 23.695 \quad (20)$$

两者7 d时间内的平均电量数据相对误差为

$$\delta_1 = \frac{\overline{W_1} - \overline{W_2}}{\overline{W_1}} = \frac{174.1714 - 172.2171}{174.1714} \times 100\% = 1.12\% \quad (21)$$

同时两者实验标准偏差的相对误差为

$$\delta_2 = \frac{S_1(W) - S_2(W)}{S_1(W)} = \frac{23.345 - 23.695}{23.345} \times 100\% = -1.499\% \quad (22)$$

δ_1 和 δ_2 均满足实际监控的误差要求,由此可见这种方法能够达到精准监控专变用户电量数据异常变化的目的。

2) 对比计量电能表计和采集终端3月8日全天的电量数据,数据密度为每小时采集1个数据。通过绘制对比曲线(如图10所示)可知,采集终端较好地完成了计量电能表计电量信息的跟踪任务,两者数据误差较小,能够实现用户电量异常监控的目的。

3) 对比计量电能表计和采集终端中记录的三相电流数据,数据密度为每小时采集1个数据。通过绘制A相电流比对曲线(如图11所示)可知,采集终端也可实现电流信息的有效跟踪,且相对误差较小,可以用来监控用户的电流异常。

由于测量CT隐藏在配电柜中,且组数较多,不易发觉,当用户擅自更改计量CT、智能电能表接线

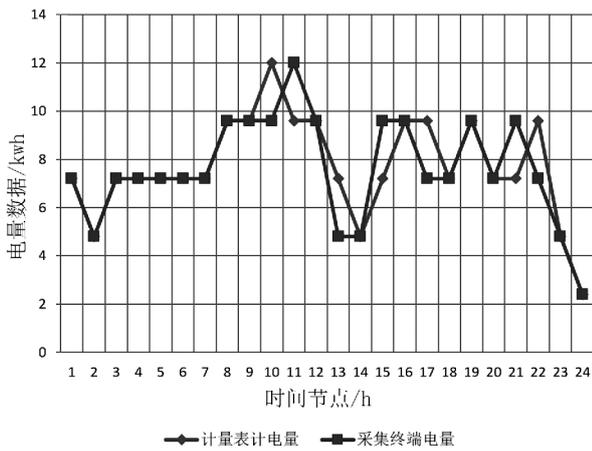


图10 3月8日全天电量数据对比

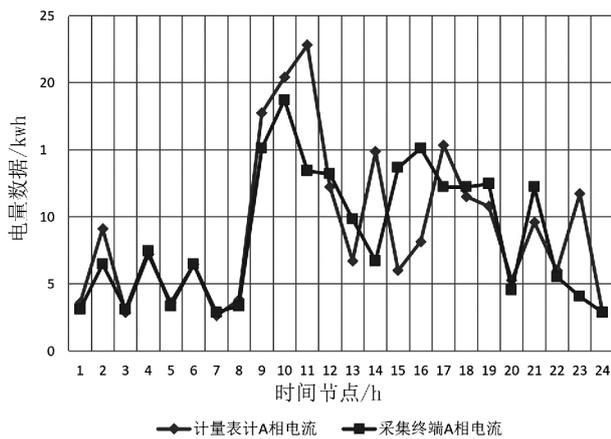


图11 3月8日全天电流数据对比

时,用电信息采集系统会监测到两者电量差异变化,从而监控人员能够较快发现窃电异常,同时通过专变采集终端获取的第2组电量数据能够为窃电处罚及电量追补提供可靠依据。

在后续的监控过程中,通过对比发现及时查处了该用户间歇性绕越计量装置进行窃电的行为,为供电企业追回了电量电费损失。而实际工作中,这种新型防窃电策略也得到了区域性推广,在异常监控和降低线损率方面取得了一定成效。

5 结 语

根据专变台区的现场实际情况,利用专变采集终端的交流采样功能,联合测量CT组成第2套测量回路,与专变用户本身使用的电能表、计量CT组

成计量回路形成可靠对比,通过实验中两者传回数据的综合分析,验证了该策略的有效性和合理性。从整体推广的角度上看,其具有的主要优势如下:

1) 充分利用现场资源,如专变采集终端和测量CT,未在变压器两侧新增加任何设备仪器,尤其是未在计量回路添加任何装置,所以不会对计量设备造成影响;

2) 充分利用窃电心理,在计量装置背后设置第2道防线,由于测量CT的组数较多、位置隐藏,并能够为窃电处理和追补提供可靠数据支持;

3) 充分利用系统资源,如用电信息采集系统,不需要专门开发新的监控系统,利用现有的通讯主站,在终端上线调试完成之后,即可进行每日异常监控。

参考文献

- [1] 胡江溢,祝恩国,杜新纲,等.用电信息采集系统应用现状及发展趋势[J].电力系统自动化,2014,38(2):131-135.
- [2] 张瑞.基于用电信息数据挖掘的智能反窃电研究与应用[J].价值工程,2016,25(12):51-54.
- [3] 陈华睿.配电管理系统的防窃电功能研究[J].中国高新技术企业,2016(31):124-125.
- [4] 王全兴,李思韬.基于采集系统的反窃电技术分析及防范措施[J].电测与仪表,2016,53(7):78-83.
- [5] 祝恩国,龚健.用电信息采集系统双向互动功能设计及关键技术[J].电力系统自动化,2015,39(17):62-67.
- [6] 刘海峰,周敬嵩,沈勤卫,等.智能防窃电管理信息平台的应用[J].浙江电力,2016,35(4):65-69.
- [7] 肖监,王玉萍,桂专,等.一种分布式高低压线路防窃电设计[J].电测与仪表,2016,53(51):185-187.
- [8] 马淑清.基于快速瞬态算法的智能防窃电系统的研究[J].山西建筑,2015,41(31):129-131.
- [9] 黄荣国,陆春光,姚力,等.防窃电仿真试验平台设计与实现[J].电测与仪表,2016,53(24):115-120.
- [10] 王承刚,夏景欣,张文嘉,等.基于电流型窃电的新型防窃电装置的开发[J].电工技术,2016(3):66-68.

作者简介:

任燕康(1988),硕士研究生、助理工程师,主要从事用电智能化研究及线损治理等领域的研究工作。

(收稿日期:2018-09-16)