

电力系统中电能计量问题的探讨

访国网江苏省电力公司电力科学研究院高级工程师吴桥

■ 杨帆/本刊记者



吴桥 高级工程师
国网江苏省电力公司电力科学研究院

智能化的数字化变电站已成为电力系统技术发展的方向，电子式互感器的应用是实现变电站电能计量与继电保护的智能化、自动化的基础。

电能计量是电力生产、营销以及电网安全运行的重要环节，发电、输电、配电、销售和用电都离不开电能计量，电能计量工作是代表电力企业效益和质量水平的重要标志。随着我国电力系统的改革，对电能计量工作提出更高的要求，特别是从传统的计划经济向市场经济的转变，电能测量技术显得更为重要。因此，为了对电力系统中电能计量相关问题进行深入了解，本刊记者特别采访了国网江苏省电力公司电力科学研究院高级工程师吴桥，请他就相关问题予以解答。

电能计量主要方法

电气应用：吴桥先生，您好！首先请问目前电力系统中电能计量的主要方法都有哪些？

吴桥：从供电用户区分，电能计量方式分为以下三种。

1) 高压供电、高压侧计量（简称高供高计）。一般指交流10 kV及以上电压等级的输电系统或大用户。这种计量方式需通过安装在高压侧的电压互感器、电流互感器，将高电压和大电流转换成100/57.7 V及 $3 \times 1(5)$ A，再输入电能表进行计量。相应的，在计算电量时应将电能表示数乘以电压互感器的电压比、电流互感器的电流比（倍率）。

2) 高压供电、低压侧计量（简称高供低计）。一般指交流35 kV、10 kV电压等级且具有专用配电变压器的大用户。这种计量方式的电压直接取低压侧的电压，无须电压互感器，电流则需通过安装在低压侧的电流互感器，将大电流转换成 $3 \times 1(5)$ A，再输入电能表进行计量。相应的，在计算电量时应将电能表示数乘以电流互感器的电流比（倍率）。

3) 低压供电、低压侧计量（简称低供低计）。一般指通过10 kV公用配电变压器供电的交流380/220 V低压小型用户、居民（小区）用户。这种计量方式的电压、电流均直接取低压侧的电压、电流，无须电压互感器、电流互感器。相应的，在计算电量时直接读取电能

表示数。

另外，从电力系统运行方式区分，电能计量方式也可以分为以下三种：①单相电能计量方式，一般指交流380/220 V电压等级的电力系统，使用单相电能表；②三相三线制电能计量方式，一般指交流35 kV、10 kV电压等级的电力系统，且变压器中性点不接地或经大阻抗接地的运行方式，使用三相两元件电能表；③三相四线制电能计量方式，一般指交流110 kV及以上电压等级的电力系统，且变压器中性点直接接地或经小阻抗接地的运行方式，使用三相三元件电能表或3个单相电能表。

电能计量主要装置

电气应用：互感器作为电能计量中的主要装置，目前的电子式互感器与传统互感器相比有哪些优势？

吴桥：电子式互感器是电力互感器的发展方向，其与传统电磁式或电容式互感器比较，具有如下优点。

1) 绝缘性能优良。电子式互感器将高压侧的电流或电压转换为光信息后，通过绝缘性能优良的光纤传输到低压侧，实现了高低压侧完全隔离，绝缘结构简单，绝缘安全性且可靠性高。

2) 不含铁心，没有磁饱和问题。电子式互感器不采用传统互感器的铁心做电磁耦合，避免了磁饱和和引起的一系列问题，例如电压互感器的铁磁谐振问题及二次侧短路问题，电流互感器的磁饱和问题及二次侧开路问题，从而避免了电力系统运行中的重大安全隐患。

3) 动态范围大、测量准确度高。传统的电磁式电流互感器因存在磁饱和问题，难以实现电流的大范围测量，满足高准确度计量和继电保护的需要。电子式互感器动态响应范围大，线性度好，一个测量通道既可以测量小电流（几十安培），也可测量大电流（几千安培），测量准确度可以满足计量和继电保护的要求。另外，电子式互感器动态响应迅速，还可以满足暂态保护的要求。

4) 频率响应范围宽。电子式互感器由于采用光电及电子元件，其频率测量范围很宽，既可以测量工频，也可以测量谐波，还可以测量暂态电流、直流电流和高频电流。

5) 抗电磁干扰能力强。电子式互感器没有传统互感器的电磁耦合和电模拟量传输，因而消除了变电站运行中的电磁场对互感器性能的影响。

6) 不使用油作为绝缘介质，避免了传统互感器因充油装置造成的火灾、爆炸等危险。

7) 体积小、重量轻且造价低。电子式互感器绝缘结构简单，运输及安装方便，其造价随电压等级升高而

增加的幅度较小。

8) 输出量为数字量，可以和计算机连接，适应了电力计量和继电保护多功能、智能化及自动化发展的潮流。

电气应用：目前常见的电子式互感器都有哪些种类？应用情况如何？对其发展前景您怎么看？

吴桥：按被测量类型区分，电子式互感器分为电子式电流互感器（ECT）和电子式电压互感器（EVT）；按是否需要供电分为无源式电子式互感器和有源式电子式互感器。

无源电子式互感器又称为光学互感器。无源式 ECT 主要是利用法拉第（Faraday）磁光感应原理，又可分为全光纤式和磁光玻璃式；无源式 EVT 主要应用泡克尔斯（Pockels）电光效应、逆压电效应或电致伸缩效应原理。

有源电子式互感器主要是利用电磁感应原理。有源式 ECT 采用罗氏（Rogowski）线圈形式；有源式 EVT 则主要采用电阻、电容或电感分压方式。

目前，在电力系统中，电子式互感器还处在试用阶段，已经在少数的数字化变电站中挂网试运行，主要是考察其长期运行的稳定性及可靠性。

电子式互感器的性能指标现已满足实用化要求，由于电子式互感器原理及制造方面的优势，随着技术的发展，相信可以解决电子式互感器存在的热稳定性、电子元件的稳定性及可靠性等主要问题，传统互感器将被逐渐淘汰。

同时，由于变电站建设规模大、数量多，所以减少变电站占地面积非常必要，使用电子式互感器及其配套设备可以减少电力设备的占地面积。

智能化的数字化变电站已成为电力系统技术发展的方向，电子式互感器的应用是实现变电站电能计量与继电保护的智能化、自动化的基础。

电气应用：虽然目前计量装置的故障已随着技术的提高而不断减少，但由于外界的因素影响导致的计量故障也仍然存在。那么目前电能计量系统在运行中经常会出现哪些故障问题？产生的原因和解决办法都有哪些？

吴桥：电能计量装置在运行中经常会出现的故障主要包括人为因数故障和设备因数故障。

(1) 人为因数故障

1) 错误接线。电能计量装置在安装或变更时，由于作业人员错误接线，造成电能计量错误。例如将电压互感器二次绕组中的非计量绕组接至电能表回路，或将A/B/C三相顺序接错，将电流互感器的三相接错或接反等。

2) 操作失误。例如在电力设备检修或技改时,没有对邻近的在运其他设备引起足够的重视,操作失误,使电压互感器二次回路的断路器跳闸或熔丝熔断,电能表失去电压,造成电能计量故障。

3) 倍率错误。将电压互感器或电流互感器的电压比或者电流比搞错,导致电量计算错误。

4) 窃电行为。随着经济的发展,这种现象逐渐减少,但现阶段仍然少量存在。

(2) 设备因数故障

1) 灾害性天气影响。特别是在沿海地区的夏季,某些超大强度的雷电可能会使电压互感器二次回路的断路器跳闸或熔丝熔断,使电能表失去电压,造成电能计量故障。

2) 倒闸操作。例如在某些接地网设计或施工存在缺陷的系统中,正常拉、合隔离开关,有时会引发电压互感器二次回路的断路器跳闸或熔丝熔断,造成电能计量故障。

3) 设备老化或质量问题。例如某些变电站电压互感器二次回路的断路器或熔丝质量不佳或长期运行,在某些正常因数(例如倒闸操作)的触发下,发生接触不良、跳闸和熔断,造成电能计量故障。

4) 负荷低。某些线路或设备长期低负荷运行,使传统电磁式或电容式互感器误差失准,导致线路或设备两端的电能计量数值相差较大。

5) 电压、电流互感器误差。由于使用了不合格的电压互感器、电流互感器,或者设备二次负载偏离电压互感器、电流互感器额定二次负荷的25%~100%太多,导致电压、电流互感器误差增大,最终使电能计量误差增大。

6) 电压互感器二次回路电压降过大。电压降过大会使电能表的输入电压偏小,使电能表少计电量。

7) 电能表故障。随着制造业水平的提高,这类故障比之前越来越少。

另外,还有些故障原因是设备因数和人为因数兼而有之,例如电压互感器二次回路切换开关本身就有缺陷,操作人员进行切换操作后,未及时验证切换的正确性,使得电压并没有真正切换,导致电能计量故障。

电能计量故障不可能完全杜绝,只能尽量减少,要减少上述电能计量故障问题,重在预防,次为补救。需做到以下几点:①要从基建开始抓起,严格审查设计、施工及设备的资质;②要按规程、规定、规范甚至经验对设备开展定期、不定期检测、检查,及时排除问题隐患;③要加强人员培训,提高专业水平;④要加强管理,设备维护方要编制各类操作规范及

作业指导手册,并遵照执行;⑤要建立在线监测系统,实时监测电压、电流和功率因数等重要参量,当参量异常时产生报警,及时消缺。

电能计量优化措施

电气应用: 您认为防止电能计量出现误差提高电能计量准确性的优化措施有哪些?

吴桥: 电能计量误差不可能为零,只能尽量减小,可以采取以下措施减小电能计量误差,提高准确性。

1) 采用高准确度等级的电压、电流互感器及电能表,并经检测合格。

2) 适当选取电压互感器、电流互感器的额定二次负荷值,使实际二次负荷在其额定二次负荷的25%~100%之间。

3) 加强基建管理及验收,电缆、接地网、断路器及屏柜等与电能计量相关的设备必须检测合格。

4) 尽量减少电压互感器二次回路电压降,重要类型的电能计量装置中的电压互感器二次回路电压降应不大于其额定二次电压的0.2%;其他类型的应不大于其额定二次电压的0.5%。

5) 在条件允许的情况下,可以在电压、电流互感器及电能表中进行误差配对,即如果电压互感器的平均误差或实际负荷误差是0.08%,电流互感器的平均误差或实际负荷误差是-0.06%,电能表的平均误差或实际负荷误差是-0.02%,那么这三者的组合误差就是0。不过这种误差配对只是粗略估算,因为实际负荷随时变化、不尽相同,所谓的平均误差或实际负荷误差严格的说只是一种趋向,非准确值,只有在特定场合或各方达成共识的情况下才能实施。

电气应用: 退补电量的核算是开展电量退补工作的前提和关键点,那么请简述电能计量差错的退补电量计算方法。

吴桥: 电量计量差错的退补电量计算方法按准确性和科学性依次如下。

(1) 计算法

又称“公式法”,即通过电能计量误差原理推导出需退补电量。

电能计量装置误差超差时,以误差公式为基准,计算出需退补电量,计算公式为

$$\Delta W = W' \cdot r\% / (1 + r\%)$$

式中, ΔW 为需退补电量; W' 为电能计量装置非正常计量时的电量; $r\%$ 为电能计量装置实际误差。

(2) 估算法

在难以利用公式推导的情况下采用的方法,依次为

以下几种：①以副表所计的正常电量为准，计算出需退补电量；②以电能平衡数据为基础，并综合相应损耗，计算出需退补电量；③以同一处的其他电量或功率测量设备的数据为基础，综合负荷、功率因数及旁路等因素，计算出需退补电量；④以下一级或对侧电能计量装置所计电量为基础，综合负荷、功率因数、旁路及铜铁损耗等因素，计算出需退补电量。

(3) 测试法

在电能计量装置非正常计量的同时，在同一处接入正确的电能计量设备，选取具有代表性的负荷，计量一段时间，然后用正确计量的电量与同一时间段内非正常计量的电量相比较，从而推算出需退补的电量。

电能计量新技术

电气应用：智能用电是智能电网研究的热点、难点，灵活互动的供用电模式已成为智能用电的发展趋势。那么电能计量作为组成智能电网重要的部分，针对智能电网的电能计量新技术有哪些？

吴桥：电能计量在智能电网中是一个集成化的智能系统，其要素包括电子式互感器、智能电能表、智能家电及家居、通信网络、管理控制系统以及云计算中心等，“效果”有点类似现在的某些网络机顶盒，只不过

涉及的范围和内容不同。

智能电网中电能计量系统的主要技术特征可以总体理解为电子技术与互联网技术的集成，主要技术包括光电技术、基于芯片的电子测量技术、网络及通信技术、电力电子技术和基于网络的本地及远程控制技术等，一般可以实现三大功能。

1) 数据采集。利用电子式互感器或智能电能表，将用户负荷的电压、电流、功率、相位、功率因数、电量、谐波及用电特征等信息采集后转换成数字量，通过网络传送至云计算中心。

2) 分析汇总。云计算中心对用户数据进行分类处理、汇总。

3) 信息反馈及处理。云计算中心将处理结果传送给供电公司及用户，并按照各种需求进行处理及控制，可以实现：①基于用户的用电信息，构建供电公司为用户之间的网络沟通平台；②生成任意时间段的用电明细清单，为用户解答用电疑问，用户可以进行网上缴费、网上预付费；③在实现需量电价及分时电价的同时，实行更为精细的实时电价；④自动识别用户用电的某些问题及故障，及时远程或派人进行处理；⑤根据用户的用电特征，为其提供个性化的用电建议；⑥提供智能家电及智能家居的本地集成及远程控制服务。EA

广告 | AD



Weidmüller 

魏德米勒风电箱体成套解决方案 —— 个性化的一站式服务

魏德米勒为全球客户和合作伙伴提供高品质的风电箱体成套解决方案。

魏德米勒深耕风电应用，立足客户的实际需求和产品特性，针对性的提供个性化的创新解决方案，依托丰富的产品线、长期的运行经验和专业技术，整合众多产品和零部件，为客户提供一站式箱体成套服务，箱体品质优良、性能可靠，满足风电客户实际应用中的高标准需求。

魏德米勒电联接(上海)有限公司
电话: 86 21-22195008 网址: www.weidmueller.com.cn

扫一扫，关注魏德米勒官方微信



Let's connect.