

[控制系统]

CT电源在电网智能化改造中的应用

文/纳图（常州）电气有限公司 章佳音 孙卫城

江苏省供电公司苏州电力公司 黄国栋 周 飞

江苏省供电公司苏州市吴江供电公司 顾国萍 胡 波 蔡献中 杨志雄

当前，国家电网公司及江苏省公司正在全面解决“两头薄弱”的问题；国网公司在《配电自动化规划设计技术导则》中明确提出了要加快现代配电网的发展，全面提升配电自动化建设应用水平。

苏州地区配电网按区域负荷水平、经济发展程度及用电需求，可划分为A+、A、B及C区，其中A+区属于城市核心区，A区为中心城区，B为城区，C为郊区。按照国网自动化规划设计导则推荐的终端配置方式，苏州地区全部应达到二遥以上要求，并在A+、A区实现三遥，B区联络开关和特别重要的开关实现三遥。

在“十一五”及“十二五”期间大规模的两网改造结束后，苏州地区的配电网布局得到了优化。目前新上线电力设备大多已经考虑到了配备自动化配电装置，但实际上仍只应用于少数试点区域，大部分区域则还未大规模应用。目前在网运行的10 kV/20 kV户外环网柜改造存在以下几个问题。

1) 户外环网柜不符合配电自动化技术改造要求。目前站所内绝大部分环网柜不符合自动化配置要求，缺少电源，并且缺少二次设备（如电动操作机构、辅助控制电源、远近控转换开关和智能化装置等）。

2) 户外环网柜由于其内部空间限制，所以改造难度较大；尤其是设备电源部分，如果改造时采用类似开关站内以电压互感器（PT）柜作为电源的方式，则改造过程会异常烦琐，而且可能会导致大规模的停电、更会涉及庞大的改造资金及资产利用率等问题；而且户外设备所处运行环境恶劣，将PT运用在户外项目本身就会带来很大的设备及安全隐患，违背了配电自动化提高供电可

靠性的初衷。

因此，开发一种经济高效、切实可行、通用各种型号的10 kV/20 kV户外环网柜自动化改造方案（以下简称智能化改造）显得尤为重要。

为此，苏州供电公司/苏州吴江供电公司，与纳图（常州）电气有限公司（以下简称“纳图”）、苏州安塞电力有限公司联合成立了项目组，以纳图为试验基地，结合供电公司电网运行经验与纳图多年配网设计和安装经验，合作研发了一种新型电网智能化方案，来解决户外环网柜的改造问题。

项目组首先调研了目前最常见的户外环网柜智能化改造方案，经过实地考察，发现几乎所有地区的智能化改造方案大同小异，主要原理如下。

1) 由电压互感器PT为所有设备（包括开关柜电操）提供电源。

2) 采用集中式DTU实现开关设备的三遥功能。

这套智能化方案已在室内开关站运用较长时间，所以方案本身的完善性和可靠性已经得到了认证，然而将其运用在户外项目时所产生的问题非常明显。

方案由三部分组成，分别是PT电源部分、集中式DTU部分和开关柜电操部分，由于前两种设备的体积庞大，所以其改造方式基本为以下三种。

1) 在原户外项目附近新设一个PT与DTU设备专用户外箱。这种方案需要挖掘新旧两只户外箱

之间的连接电缆沟,铺设电缆通道,现场施工工作量较大,施工时还可能会造成多次停电;除此以外,这类挖掘工程必然会造成环境破坏,并且这种改造方式还会占用规划外土地,所以还需要通过环境保护局和土地管理局的审批,审核过程也比较烦琐。该改造方案的示意图如图1所示。

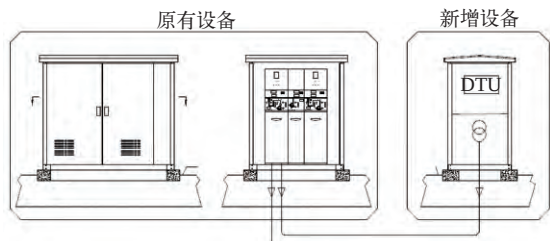


图1 改造方案示意图

2) 将原户外箱换成更大的户外箱。这种改造方式只能将原项目设备吊回原厂实施改造,改造时间长。

3) 将旧的开关设备报废,直接换成新设备。这种改造方式虽然改造时速度快,但是却会造成极大浪费(目前运行中的户外开关站很多都只工作了两三年时间,远远未达到其使用年限);在一些负责改造的设备厂家里,换下来的旧开关设备堆积如山,根本难以处理;而且这种改造方式与前一种一样需要重新制作现场地基,同样涉及环境和土地方面的问题。

从以上三点可以看出,PT加集中式DTU的智能化电网方案其实并不适用于户外环网站改造项目。除此以外,将PT作为电源运用在户外项目中还存在不小的安全隐患。

纳图在2015年承接了多起对已投运户外环网站进行PT整改的项目,大多数是投运1年左右的智能化户外环网站,由于空间足够,所以采用了浇注式PT来提供设备电源。夏季连续几天的大雨致使户外箱体内部湿度过高,甚至PT室内出现了积水,导致PT一次回路相间短路继而引发了PT爆炸的事故。

目前市场上一种新型一体式PT虽然能解决传统浇注式PT一次回路不防水的问题,但是其二次回路部分仍然存在受潮后短路的隐患(尤其是夏季连续大雨后PT可能会浸泡在积水中),而且这种新型PT将熔丝仓集成在PT内部,更换时需报废一套电缆头,更换过程也并不方便。

由于目前没有更好更完善的替代方案,在电网改造需求迫切的大前提下,大多数地区依然选择了沿用“PT+集中式DTU”的改造方案,而其

存在的种种缺陷以及安全隐患却让人为之担忧。

在了解智能化改造方案的现状后,项目组开始思考替代方案;而我们所遇到的首要问题,就是如何提供设备电源。

为了找到可靠的电源替代方案,项目组在全国范围内搜索已有案例,最终,在天津地区发现了一个新型改造案例:天津部分地区采用了光伏板来替代PT的电源功能。于是,项目组成员来到天津向相关负责人了解了光伏户外智能电站的实际运行情况,结果却大失所望;项目负责人告诉我们,这些试点站由于光伏板发电受环境因素影响太大,其自动化设备经常会由于没有电而连不上后台,根本达不到智能化电网的要求。

在否决了光伏电源方案后,项目组继续探索其他可行的电源替代方案,正当毫无进展的时候,纳图的电源供应商向项目组提供了一个已经被华东电网搁置的电源方案,该方案原理是用电流互感器CT来替代PT为设备提供电源,同样也是运用于改造项目。整套电源方案的设计理念很不错,之所以被搁置,项目组分析后觉得可能是以下原因导致的。

1) 该方案所研发的CT取电功率较小,该方案只能驱动6 W的长期负载、45 W的短期负载(智能化方案中分长期和短期负载,其中智能化设备为长期负载,开关柜电操为短期负载)。

2) 由于技术条件限制,取电CT尺寸很大,还需要独立的柜子来安装。如图2所示。

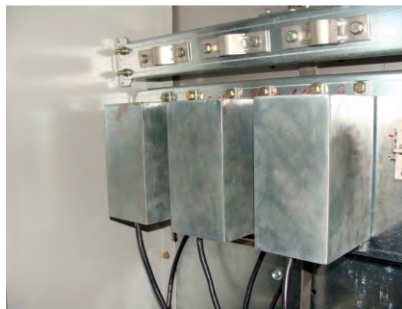


图2 CT安装

3) 造价昂贵。单套设备价格为2万元,而且只能驱动一个回路的设备;多一个回路就得多一套这种电源。

这套被搁置的方案给研发人员提供了思路,那就是用CT替代PT为设备提供电源;于是项目组开始对市场上一一些以CT作为电源的产品进行了调研,发现相关的产品均为小功率用电,比较成熟和具有标志性的是无源型综合保护装置,而利用

CT同时为多组设备供电的案例为零。

CT真的只能运用于小功率电源方案么？项目组找到了国内一家比较有名的CT生产厂家，向他们提出了这一课题。厂家了解到我们的意向后，表示愿意配合项目组做深入的研讨。

通过CT厂家工程师计算得出的数据，三相穿心式CT可以稳定输出240 W的功率，而后的试验也认证了这个功率值；240 W的功率其实并不低，它已经足以驱动DTU设备和开关柜电操；然而问题是，CT输出这样的功率还存在着条件限制：取电所在位置的一次电流必须要达到一定的数值。

电网的一次电流会随着其负载（即用电设备）数量的增减而变化，这就意味着CT不可能稳定持续地输出240 W的功率，在夜间等用电低谷时间段，CT的输出功率可能为0。

所以要想使CT能够持续稳定地为设备提供电源，就必须解决CT输出功率不稳定的难题。在苏州供电局的支持下，项目组得到了部分户外环网站运行时的一次电流数据，总结出了正常工作时户外环网站的一次电流变化曲线，如3图所示。

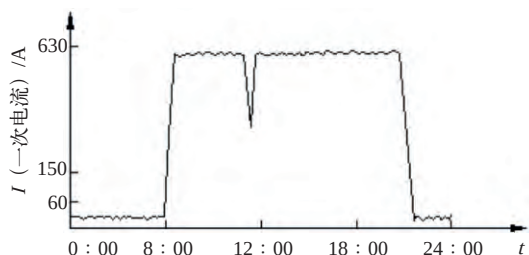


图3 户外环网站的一次电流变化曲线

从上图可以看出，以单个工作日为例，户外环网站的用电高峰基本集中在上午8点到下午7点之间，这个时间段可以满足CT输出功率240 W的一次电流要求，而在其他时间段CT可能无法输出足够的功率。

由此得出结论，只要找到办法来规避CT无法取电的时间段，就能使CT持续可靠地为设备提供电源。

同时，CT作为电流源是无法输出稳定电压的，如果想将其作为设备电源，还需要设法将其输出的电流转换为稳定电压。

在了解了这些信息后，项目组着手制定的CT电源装置的设计方案如下。

(1) 额定电压：DC48 V

由于CT输出功率在一次电流达到要求时为240 W，如果额定电压太小的话充电电流就会很大，如DC24 V时，充电电流会达到10 A，对

应的导线也必须用线径较大的，否则充电时发热会很严重；所以最终确定额定电压为DC48 V，这样充电电流只有5 A，充电时发热情况得到缓解，导线线径也可以缩小。

(2) 储能设备：DC48 V、25 A·h的锂电池

对比市场上现有的储能设备（超级电容、铅酸电池、锂电池），超级电容储电密度太小，造成其体积过大，而且价格昂贵；铅酸电池虽然便宜，但是只有单节12 V的，DC48 V必须要用4节铅酸蓄电池串联组成，而且寿命短，易鼓包漏液，内部液体泄漏会造成污染，充电电流不能超过3 A；而锂电池可以做单节DC48 V的，寿命长（如果按10%充电，即电量消耗10%后就充电，充放次数可以达到10万次），可以支持5 A充电，更重要的是锂电池是由电池板组成，可以根据现场要求定制所需的外形，这也符合最初确定的利用项目原有空间改造的设计要求，所以最终决定用锂电池作为储能设备。

(3) 工作模式：以储能设备为主，CT电源为辅

结合CT取电的特性和锂电池的最佳充放电方式，项目组确定了电源装置的这种工作模式；与PT电源装置有所不同，PT电源装置的工作模式是以PT为主供电源，同时对蓄电池不间断浮充，工作一段时间后做一次深度放电激活电池，当PT无法供电时才由蓄电池供电，这是一种典型的UPS式工作模式，这种工作模式对电池是有害的。

参阅相关资料后可以发现，锂电池寿命最长的保养方式是使其电量一直在80%~90%左右浮动，而最佳的充电方式是10%~20%充电，即电量消耗10%或者20%后立即充电，充满后停止，不可过充，也不可过放。所以将电源装置的工作模式设计成以储能设备为主，CT电源为辅；即锂电池为主供电源，当锂电池电量低于80%，装置启动预充电模式，一次电流满足充电要求后，装置启动充电，在短时间内将电池电量充至100%后停止；这种工作模式既规避了CT无法工作的时间段，又能很好地保障电池的使用寿命。

20%电量的充电完成时间，以DC48 V、25 A·h的锂电池为标准，按240 W的充电功率来计算，理论上只需要1 h就可以将电池充满，大大缩短了充电时间。由于所针对的改造项目在户外，在夏日时设备所处环境温度较高，而电池的特性是无法长时间在高温环境下进行充电，所以充电时间短也在一定程度上延长了电池的使用寿命。

(4) 取电CT的规格

根据实际项目情况，项目组与CT厂家合作设计了两种规格的CT（改造时取电CT安装于改造项目的进线电缆位置）。

1) 穿心式CT。穿心式CT主要用于负载较小的项目，CT电源装置针对穿心式CT设计了两种充电模式，一种是2 A充电模式：取电位置一次电流只要达到45 A以上就可以进行充电，另外一种5 A充电模式，取电位置一次电流达到95 A以上可以进行充电；只要在装置启动时根据实际情况设定一种充电模式即可，运行中也可以手动更改充电模式。

穿心式CT的缺点是安装时需要重新制作进线柜电缆头，优点是取电所需一次电流小，适用于运行电流较小的项目。

2) 开启式CT。负载较大的项目，可以使用开启式CT，也有两种充电模式：一次电流超过86 A时启动2 A充电模式；5 A充电模式在一次电流达到130 A以上即可启动。

对比穿心式CT，开启式CT最大的优点是无需重新制作进线柜电缆头，安装便利。

项目组以上述设计方案为基础，经过1年多的研发和3次样品更新，最终开发出了CT电源装置的原型机，开始在纳图公司进行样机试验。

样机试制时，新的问题又出现了；配合工厂试验使用的集中式DTU装置额定功耗在20 W左右，这个功耗运作10 h左右就会启动CT电源装置充电模式（电池电量低于80%后充电），导致装置必须一天一充电或者一天二次充电，而实际运用在项目中时，装置有可能连续2~3天都无法满足充电条件（企业双休日用电情况）；20 W功耗足以在这段时间内将锂电池电量耗光。

其实，20 W的功耗已经很低了；但是项目组成员一致认为，要配合CT电源模块来工作，这个功耗依然偏高，还必须要找到功耗更小并且具备DTU功能的产品。

为了找到理想的DTU设备，项目组找到了一家国产DTU厂家了解集中式DTU功耗大的原因以及市场上是否有可以替换集中式DTU的产品。DTU厂家告知，集中式DTU功耗大的原因是由于这套装置将所有的电路板都集成在了一起（标准的集中式DTU装置一般为12回路，而户外配电项目最常见的回路数为6回路），并且共用一个电源；在装置运行时，空闲的电路板虽然在休眠状态，但是依然在耗电。

将DTU设计成分布式后应该可以进一步降低整套智能化系统的运行功耗，而分布式的DTU已经有很成熟的产品；厂家向我们提供了他们最新的分布式DTU产品，但是觉得厂家提供的产品体积太大，并不是很符合项目组“利用设备原有空间进行改造”的初衷，期望可以做出更小的分布式DTU产品；于是项目组与DTU厂家合作重新开发了一款分布式DTU，并且为其设计了一款专用通信管理机（包含GPRS和光纤通信两种通信模式）。

在完成一系列主要元器件的研发工作后，项目组开始着手开关柜样机的试制；为了合理利用原开关柜内部空间完成改造工作，最大程度上模拟现场实际安装情况，项目组优化了开关柜电动操作机构的原理和接线。

样机制作完成后，首先进行主要设备功耗检测，发现整套智能化装置的运行功耗果然大大降低，实测3回路（样机为3回路）的功耗不到6.5 W；其中单只分布式DTU的运行功耗小于1 W，而通信模块的运行功率<3.5 W，通过计算可得出6回路智能化系统功耗为9.5 W左右，只有集中式DTU一半左右，这意味着用电池维持这套装置所用的时间将提升为原来的2倍（开关柜电操虽然额定功耗达到60 W以上，但是由于其运作是一个瞬时的过程，且运行时的操作次数也比较少，所以不将其列入二次回路长期负载考虑）。

最终设计完成的整套系统（包含开关柜电操）原理如图4所示。

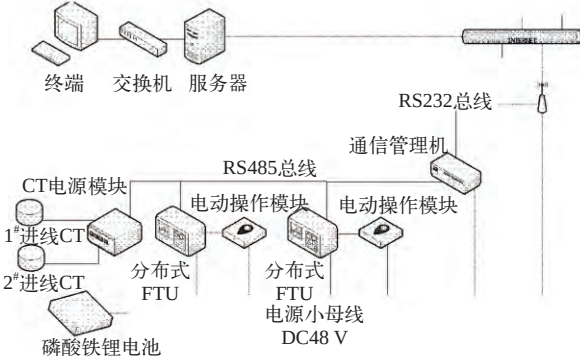


图4 系统原理示意图

由于工厂条件限制，无法完全模拟现场实际情况，所以在试验时以大电流发生器来替代实际电站运行时的一次电流，使用了开启式电流互感器（方便拆装），并将大电流发生器的电流值设定在150 A，带动整套系统（3回路）稳定运行了2个月时间（期间每周五下班时将大电流发生器关闭，第二周周一早上再将其打开，最大限度模拟实

际用电情况），试验人员在办公室以专用笔记本式计算机对设备进行监控，未发生设备无法连接上位机的情况，而且三遥功能均可以完美实现。

虽然在实验室环境下已经获得了成功，但是为了保证整套方案在实际运用时的可靠性，我们还是做了一些特别的设计：如为了规避国庆或者过春节时可能出现的长时间用电低谷期，设计了一套电源应急程序，可以完美解决CT电源装置长时间无法充电的问题（由于涉及到技术机密，本文不详细阐述其原理）。当然，为了进一步确保方案的稳定性，还必须在正式项目运用时根据实际情况不断进行改进。

即便如此，对比新型智能化电网改造方案与旧改造方案，仍可以发现其存在的巨大优势。

1) CT设计为自带线，二次导线与CT本体设计在一起，并用硅胶做防水处理，受环境湿度的影响很小；就算CT浸泡在积水里，也不会影响其工作。

2) CT的一次回路与二次回路在电气上完全隔离，更安全可靠。

3) 分布式FTU由于其模块化设计，单回路出现故障时不会影响到其他回路的运行，而且优化回路时设计了标准线束，可以很方便地更换掉发生故障的设备。

4) 改造施工时间短。在改造实施前对改造对象进行考察，有针对性地形成改造方案后，可以

在工厂内部完成大部分半成品组件的接线工作；由于电气回路优化设计了线束与插接插件，在现场施工时，只需要安装好相关的组件，然后将对应插件连接上即可完成改造。

5) 改造时受空间影响小。大多数项目均可利用原设备空间完成改造，少数内部空间太小的项目可以将部分设备安装在外挂箱体中，也能完成智能化改造（对比了西门子、ABB和施耐德3个厂家的户外柜型，西门子的8DH10/8DJ20可以利用内部空间完成改造，而涉及ABB的SAFE柜型和施耐德RM6柜型的部分项目由于内部空间有限，可以将部分设备安装在外挂箱中完成改造）。改造时不涉及土建，不需要重新浇筑地基，不会对周边环境造成影响。

6) 改造成本相比旧方案大大降低（无需增加或更换户外箱体，无需将改造对象设备运回工厂，无需重新浇筑地基，改造过程对一次部分的影响很小）。

该应用的推广，将切实解决目前配网自动化水平与地区规划定位水平不匹配的问题，用有限的改造资金，即可大范围地实现二遥或三遥的要求，提高了配网自动化水平，并极大地提高了供电可靠率，对推进苏州地区“一流配电网”建设具有积极的探索和实践意义。EA

（收稿日期：2015.09.17）

（编辑：杨得润）

（上接第95页）

问题的解决方法和带来的警示

如果还想继续使用此输出点，可以将比较指令加到程序块的最后去控制一个存储位，再用其去控制输出点；或者干脆更换输出点在程序块最后用比较指令直接控制。这两种方法的使用在控制上不会有任何问题，但当换了一个不注意此用户程序的数据使用方式的维护工程师时，还可能出现此类问题。因此，最根本的解决方法是，将所有没有明确标注数据块地址的数据准确进行全地址标注。这样就不会由于数据的使用而造成寻址的错误，从而导致控制逻辑的混乱产生设备的损坏和人身伤害。

从发现这个问题的过程可以看到，由于维护工程师没有加以注意，因程序编制者的习惯方式不同，按照正常方式加入的一条控制指令，产生了控制逻辑混乱的问题。又由于混乱的逻辑程序所控制的输出点没有接入设备，且操作人员认为出现的问

题无关紧要，本应该能够及时被发现的问题在数月后才被发现。也正是由于混乱的逻辑控制的输出点没有接入设备，从而避免了一起由于控制逻辑混乱而导致的设备的损坏，甚至是人身伤害事故的发生。

作为维护人员要注意编程者使用数据块数据的方式。一旦疏忽，即使是正确的编程指令的使用，放的位置不恰当，也会造成严重甚至可怕的后果。而对于系统设备的程序编编制者而言，要尽量使用规范且明晰的全地址标注的编程方式。不仅要保证控制逻辑的正确好用，还要为设备的使用者考虑，为用户在以后的维护中能够快速准确地解决问题创造便利条件。如果像此类问题产生严重的后果的话，无论是对设备的使用方还是提供方都会造成不利的影响。EA

（收稿日期：2015.09.17）

（编辑：杨得润）