电力系统10 kV配电网接地方式探讨

文/国网重庆市电力公司市区供电分公司　刘　方　王　勇

随着配电网发展，城市电网普遍存在10 kV电缆线路多、电容电流增大的问题。10 kV系统中性点经消弧线圈接地方式的弊端逐渐凸显，主要表现为系统单相接地故障时，不易在短时间内准确发现故障点，容易发展成相间短路甚至多线故障等。将10 kV系统中性点接地方式由经消弧线圈接地改为经小电阻接地是解决以上问题的途径之一，但仍需结合系统现状和发展规划进行技术经济比较，全面考虑系统接地方式。

10 kV配电网中性点接地是一个涉及电力系统各个方面的综合性问题，它对电力系统的设计与运行有着重大的影响。我国目前采用的中性点接地方式有：中性点不接地、经消弧线圈接地和经小电阻接地三种方式。

中性点不接地方式的主要特点是结构简单，投资较少。发生单相接地故障时，故障相电压降为零，非故障相电压升高1.732倍，流经故障点的电流是全系统对地电容电流。系统对地电容较小时，故障电流较小，系统可继续运行1～2 h。中性点不接地系统的根本弱点在于中性点绝缘，电网对地电容储存的能量没有释放通道，弧光接地时易产生间歇性电弧过电压，对绝缘危害很大，同时容易引发铁磁谐振。因此该方式不能适应配电网发展，已逐渐被经消弧线圈接地和经小电阻接地方式取代。

经消弧线圈接地方式需要通过接地变压器提供中性点。为避免出现谐振过电压，消弧线圈一般运行在过补偿状态。发生单相接地故障时，故障电流仅为补偿后的残余电流，可抑制电弧重燃，减少间歇性电弧过电压出现概率。故障后可持续运行一段时间，但在接地期间绝缘薄弱环节可能被击穿。目前我国大部分地区10 kV配电网均采用经消弧线圈接地方式。

经小电阻接地方式是指接地电阻值在20 Ω以下，单相接地故障电流限制在400～1000 A的接地方式。通常依靠零序电流保护将单相接地故障迅速切除，过电压较低，但故障电流较大，故障点接触电压和跨步电压显著升高。目前北京、广州、深圳、天津等地有部分区域采用经小电阻接地方式。

经消弧线圈接地系统中的主要问题

在市区供电公司10 kV配电网中，约有80%为中性点经消弧线圈接地系统，20%为中性点不接地系统，未来将全部改造为中性点经消弧线圈接地系统。在经消弧线圈接地系统的运行维护中，主要面临以下几方面的问题。

（1）少数变电站10 kV母线电容电流过大，超过100 A，消弧线圈长期欠补偿运行，发生线路单相接地后消弧线圈容量无法完全补偿电容电流。

（2）部分10 kV母线全部为电缆出线，或以电缆出线为主，且电缆沟运行环境普遍恶劣，电缆绝缘水平降低。线路单相接地后系统中性点电压升高，容易引起电缆沟内电缆绝缘击穿，甚至演变成同沟多起电缆事故，扩大事故范围。

（3）部分变电站接地选线装置应用效果不理想，仍要依靠线路轮切查找接地线路。由于城市内重要用户较多，用户停电协调较困难，系统接地时间比较长，设备长时间经受过电压，薄弱环节易击穿。辖区内曾出现过10 kV系统接地过程中发生设备损坏、线路跳闸以及多条线路故障跳闸等情况。

配电网中性点接地方式选择

10 kV配电网接地方式的选择在世界各国范围内也是很有争议的问题。目前我国各个地区都根据各自的实际情况采用不同的中性点接地方式，暂时没有十分明确的中性点接地方式选择依据，相关规定有：

（1）电力部《交流电气装置的过电压保护和绝缘配合》规定，10 kV电缆线路在电容电流小于30 A时，采用不接地方式；大于30 A且需在接地故障条件下运行时采用消弧线圈接地方式；单相接地故障电容电流较大时，可采用低电阻接地方式,但应考虑供电可靠性要求、故障时瞬态电压、瞬态电流对电气设备的影响、对通信的影响和继电保护技术要求以及本地的运行经验等。

（2）国网十八项反措14.5.1要求，对于已经安装消弧线圈， 单相接地故障电容电流依然超标的应当采取消弧线圈增容或者采取分散补偿方式，对于系统电容电流大于150 A及以上也可以根据系统实际情况改变中性点接地方式或者在配电线路分散补偿。

（3）根据《天津电网10 kV和35 kV系统中性点接地方式及设备选用标准》，天津地区明确规定天津市外环线以内及滨海新区，或主要以电缆出线为主的变电站,或电容电流增长较快的城镇中心区、科技园区、经济技术开发区等区域变电站，或一台主变所带35 kV、10 kV母线单相接地故障电容电流超过100 A时，采用中性点经小电阻接地方式。

经小电阻接地系统涉及的问题

1. 确定小电阻阻值

目前大多采用传统分析比较方法确定小电阻阻值，即从系统发生单相接地故障的情况入手，不断改变中性点接地电阻值，对系统的稳态和暂态两方面进行计算，比较随之改变的单相接地故障电流值、单相接地故障健全相电压值及弧光接地过电压值、铁磁谐振过电压值，等等，然后按照规程规定值和继电保护等方面的约束值进行综合比较，最终得出较合适的接地电阻值。也可以通过经验确定小电阻阻值，经验计算式为：$R=U/(2\sim3)I$，其中R表示中性点电阻，U表示配电网相电压，I表示配电网接地电容电流。目前国内各地区变电站接地电阻计算结果通常在10～15 Ω。

2. 变电站一次设备改造

变电站内一次设备的改造主要是在接地变原装设消弧线圈的位置装设接地电阻，并增加刀开关和电流互感器。此外，由于零序保护在中性点经小电阻接地系统是主保护，对于无法获取线路零序电流的开关柜需改造加装零序CT。

3. 变电站二次设备改造

经小电阻接地系统的设备发生单相接地故障时，保护应可靠切除故障，因此变电站内所有母线连接元件（含站用变压器、电容器、电抗器、线路）均需增加零序电流保护。

接地变零序保护主要作为10 kV出线后备保护，在10 kV线路故障断路器拒动时，断开小电阻接地系统以减小电流。动作时限应与10 kV出线零序过电流保护配合，保护动作后较短时限跳开10 kV分段断路器，闭锁备自投；第二时限跳开主变低压侧断路器（也可不设）；第三时限跳开主变高、低压侧全部断路器。

4. 配电网改造

按照电源侧和负荷侧同步保护的原则，要求负荷侧零序保护同期投入，避免造成故障越级。采用小电阻接地的配电系统（含用户站）高压侧进线开关应配置零序电流保护。对于中性点经消弧线圈接地系统，配电网开关大部分只具备两相CT，无零序CT，因此在一次设备方面需要改造开关柜，加装零序CT；二次设备方面需要增加零序保护功能，或加装故障指示器。

经小电阻接地系统运行中的问题

经小电阻接地系统能够快速切断故障，瞬时故障下能够通过重合闸快速恢复供电，但小电阻接地系统存在的问题也不容忽视。一方面是供电可靠性下降的问题，另一方面是系统运行经验不足的问题。

在经小电阻接地方式的情况下，无论是发生瞬时接地故障还是永久接地故障，只要故障电流和故障时间达到零序保护整定值，保护都会出口跳闸，造成电压波动，降低供电可靠性。

在经小电阻接地的情况下，运行人员需要了解小电阻接地系统原理特点，对可能出现的零序保护误动、拒动等问题有清醒的认识，在正常情况下调整运行方式时注意接地电阻的调整，在零线保护越级跳闸时能快速、合理处理。

1. 防止零序保护误动、拒动

在经小电阻接地方式下，发生接地故障时，流过线路的电流比较大，如果遇到保护拒动的情况，容易击穿线路的绝缘薄弱部分，对设备造成损害，扩大事故范围。如果配电网络线路有轻微的接地故障，例如电缆绝缘损坏、异物触碰架空线、线路避雷器有故障等情况，接地电流达不到零序保护的整定值，故障不能靠保护切除，需要人工轮切线路来排除故障，这样就扩大了停电范围，降低了供电可靠性，同时也延长了切除故障的时间，增大了单相接地故障发展成为相间短路的可能性。

若保护定值设置不合理或零序CT选用不当，也可能引起零序保护误动或拒动。零序电流互感器的质量、精度和安装是否正确，对于零序保护的可靠性和选择性具有决定性的意义。保护级零序电流互感器的选择应在相应的保护配置下满足一定的测量精度要求，并具有一定裕度，以保证保护装置运行的可靠性要求。

2. 调整运行方式时注意接地变相应操作

调整10 kV负荷的时候，应该考虑接地变的装设位置，防止母线失去中性点接地，或因方式变化使接地电阻值发生大的变化。一般不能够让两台中性点经小电阻接地的接地变长时间并列，而在倒闸操作的过程中，则允许短时间并列，但是在操作过程中因为设备、天气或者其他原因，可能会中断操作或者使操作时间大幅度延长，这时候就要考虑接地点的退出。

在系统发生故障时，10 kV备自投动作，需要考虑10 kV中性点是否合理，是否需要手动退出中性点，防止因为接地电阻过小造成保护误动或者故障电流过大而损坏设备的情况出现。

3. 快速合理处理越级跳闸事件

在难以预防越级跳闸的情况下，只能通过快速、合理处理越级跳闸事件，尽快排除故障，缩短停电时间来保证供电的可靠性。要快速、合理处理越级跳闸事件，就必须要了解小电阻接地系统越级跳闸的特征，对于故障处理要形成一定的套路。

小电阻接地系统的越级跳闸，一般是接地变零序保护启动的主变低压侧开关跳闸。接地变零序保护动作反映的是馈线、电容器、站用变接地故障，所以当接地变零序保护动作时要特别注意馈线、电容器、站用变零序保护动作情况以及母联、主变低压侧开关动作情况。发生越级跳闸时，通常存在有接地变零序保护启动、备自投被闭锁、有的馈线的零序保护也启动，如果馈线的保护都没有动作，就要注意母线是否存在故障，在确定故障原因后要尽快隔离故障点，恢复其他无故障设备的运行。

相关思考

1. 经消弧线圈接地和经小电阻接地各有特点

从国内目前各地运行经验来看，经消弧线圈接地和经小电阻接地的配电网，实际运行中都存在不少问题和缺陷。对于经消弧线圈接地系统：消弧线圈随着电力电缆的大量使用，容量越来越大，技术难度和经济投入也大大增多；单相接地后判断故障电流技术难度高，准确选线和故障定位比较困难；单相接地期间线路绝缘薄弱部分易引发相间短路，扩大事故等。对于经小电阻接地系统：保护配置技术要求高，保护误动和拒动会对电网产生负面影响；接地故障时接地电流大，保护误动时设备易损坏，扩大事故范围；无论瞬时接地故障和永久接地故障，都会保护跳闸引起电压波动。

2. 联络密切的配电网系统接地方式应统一

城市配电网线路间具有大量联络，运行方式非常灵活。在联络密切的配电网区域应尽量保持接地方式统一，不宜长期并存经消弧线圈接地和经小电阻接地两种不同的接地方式，否则运行中会造成保护配置困难、运行方式调整不便等诸多问题。目前国内已有不少地区在这一问题上面临尴尬境地，并专门针对多种接地方式互联的配电网运行问题进行研究。

如果在某一地区配电网中需要存在两种不同的接地方式，也应尽量使两种接地方式的配电网之间保持较少的互联，形成比较清晰的界面，并在运行方式调整时密切注意接地方式的调整。

3. 应加强配电自动化系统接地故障研判功能

目前配电自动系统建设已经取得了很大成果，为解决经消弧线圈接地系统的单相接地故障区段判别问题，普遍认为应利用配电自动化系统进行故障选线选段。为提高接地故障选线选段的正确性，北京、福建等地都在进行小电流接地故障分段定位的示范工程，基本思路主要是在配电终端实现零序电流录波，将配电终端录波波形与变电站选线装置录波波形集中上传至配电自动化系统进行研判。

目前大部分城市配电自动化系统仍处于快速建设阶段，新建终端应预先考虑接入三相CT电流和零序CT电流，并要求装置具备接地故障判别功能，应充分重视配电网三相CT和零序CT的基础建设和规范管理工作。

4. 其他中性点接地方式

最近提出了综合不同接地方式的技术思路，或称其为智能多模接地。其主要思路为单相接地故障出现后，对瞬时接地，通过快速补偿电容电流使其自动消除，防止事故扩大；对永久性接地，在快速补偿同时，准确判断接地线路，将故障隔离。一种实现方式是消弧线圈并联中电阻（100 Ω左右），永久性接地时中电阻瞬时投入（持续1 s），接地电流升高到50 A左右，主要用于变电站内选线。另一种实现方式是消弧线圈并联小电阻，永久性接地时小电阻瞬时投入，接地电流升高，依靠线路零序保护动作切除故障，可与配电自动化系统配合。

结束语

总的来说，中性点接地方式选择关系到调度、变电、配网的各个运行方面，是涉及到配电网规划设计和运行管理过程的基础性问题，对供电质量、继电保护、运行管理方式有根本性的影响。中性点接地方式选择需要综合考虑技术和经济两方面的问题，应结合系统现状和发展规划进行技术经济比较、全面考虑。EA