「配电网」

主变中性点接地电阻间歇性接地故障的在线监测技术应用研究

文/国网上海浦东供电公司　谢邦鹏　万轶伦　顾　力　汤　蕾　张上浣　于晟华　郭　宇　施　展　罗臻鉴

现代配电网中，主变中性点经小电阻接地的运行方式被普遍应用，其中，如何对中性点小电阻因出线间歇性接地故障而发热烧毁的进行在线监测是继保人员的检修重点。从提取电流为状态特征量出发，在不改变小电阻柜硬件条件的情况下，完成对配电网中有关中性点接地电阻间歇性接地故障的实时在线监测。

现代配电网中，主变中性点经小电阻接地的运行方式被普遍应用。在上海配电网的实际应用中，由于出线间歇性接地问题，每年都有中性点小电阻因出线间歇性接地故障而发热烧毁，经济损失较大，且影响供电可靠性。虽然上海地区部分出线保护已装设了间歇性接地保护，但并不能根本性解决中性点接地电阻烧毁问题。因此迫切需要解决间歇性接地问题，保障电力系统运行的安全可靠性。

开发中性点接地电阻间歇性接地故障在线监测技术，对接地电阻各路出线的电压、电流进行在线监测，根据监测到的异常情况及时进行告警，通知运检人员及时进行处理，可以根本性解决接地电阻因间歇性接地烧毁的问题，提高了故障判断和处理的效率，提升系统运行的安全可靠性。

通过对间歇性接地故障数据研究分析，得到间歇性接地的保护配置方案，解决电网设备缺陷，保证电网坚强，提高系统安全运行水平。出现类似故障时，能尽快隔离故障，减少故障设备对电网的影响，提高设备可靠性和供电合格率。为10 kV电网中心点经小电阻接地系统的维护运行以及继保整定方案提供有力的参考依据与经验。

本项目成果主要应用于小电阻接地配电网中的间歇性接地故障在线监测，因此项目的推广途径为以电缆出线为主的城市配电网。

主变中性点接地电阻间歇性接地在线监测

通过现场故障录波数据分析，在主变中性点电阻接地间歇性接地的过程中，对中性点电阻电压和电流的监测需要根据其波形状态，选择出合适的整定值门槛。

1. 间歇性接地故障后主变中性点接地电阻电流、电压特性

从变压器PT开口三角中获取中性点电压值U_0，在电阻柜接地处串入CT，测量电阻通过的电流I_0。这样就可以实时计算出小电阻的阻值$R=U_0/I_0$。一旦接地电阻＞100 Ω时就会出现弧光过电压，而接地电阻烧毁或者从电网中脱离，电网成为了不接地系统，弧光过电压出现的概率将极大地增加。而小电阻接地电网开关设备等一般绝缘等级不高，将造成这些设备的损坏，使危害扩散。当电网发生单相接地的情况下需要将故障支路成功切除，当发生接地电阻故障时，就需要切除供电变压器。在小电阻柜上安装小电阻监测装置十分必要，毕竟小电阻是否工作正常在电网正常运行的情况下是很难观察到的。

2. 主变中性点接地电阻的电流、电压在线监测技术

当系统发生故障接地时，U_0、I_0的变化即可以给小电阻在线监测装置作为判断依据而发出接地报警。配合继电保护方案可以实现保护跳闸，当

支路继保装置失效或者是出口断路器失灵的情况下跳变压器出口断路器，作为后备保护。通过小电阻在线监测装置实时计算当前小电阻的阻值，就可以发现小电阻在正常运行下的工作状态，如果阻值超过规定范围，就可以立即电阻异常报警。同时监测装置还可以加装测温模块，测量电阻上的温度，防止电阻过热。小电阻在线监测装置安装方便，针对中性点小电阻进行实时监测与保护，弥补了变电站继电保护中对小电阻保护不足的缺陷。

间歇性故障电流的特点是其波形比较有规则，都是到达一个高值后衰减，经过几个周波后又冲高，以此往复，导致微机型继电保护因为整定时间不够的原因而不停地启动-复归-启动－复归，而达不到保护跳闸的作用。结合使用的微机型继电器的特点，来设置间歇性故障电流的辨识条件。当故障电流超过整定值持续一个周波以上，且与第二次触发整定值门槛的间隔时间在1 s以内，就认为是间歇性电流，而当该故障电流不断往复触发整定值门槛达到5 s以上，即应该继电器发信或者出口断路器跳闸。

小电阻箱的温升特性

对接地系统中的小电阻箱进行温升特性研究，以在其发生接地故障时，电流特征值的变化特性可以作为在线监测时的观测重点。

1. 故障时电阻器电流的继保整定特性

当系统发生单相金属性接地故障时，故障点的接地电阻值近似为0，电阻器将承受系统相电压，流经电阻器的电流最大（约1 000 A），电阻器剧烈发热，但继电保护一般会在瞬时内动作，切除故障线路。电流大、时间短是这种情况的主要特征，实际运行表明，这种情况下电阻器烧毁的概率并不大。当系统发生非金属接地故障或间歇性接地故障时，故障电流一般在数十至数百安范围内，若未达到继电保护整定值，故障线路不会切除。电流相对较小，但持续时间长是这种情况的主要特征，实际运行中，这种情况下电阻器烧毁的案例较多。

2. 小电阻柜的温升特性

小电阻柜中的电阻片由不锈钢钢板制成，当故障电流通过时，电阻器内部温度会升高，开始进入热平衡状态，电阻器的电流值在热平衡过程循环变化。

图 1

在电阻器的热平衡过程中，若电阻器温升超过规定限值还未能达到热平衡状态时，电流持续流经电阻器，同时由于电流值并未达到触发间歇性接地保护的电流起动值，此时的电阻器将存在被烧毁的风险。

3. 接地电阻整机电流试验

模拟故障状态，我们对小电阻柜按照50 A、80 A、100 A、150 A、200 A、250 A、300 A七个电流值各进行试验，试验结果如图2～图8所示。

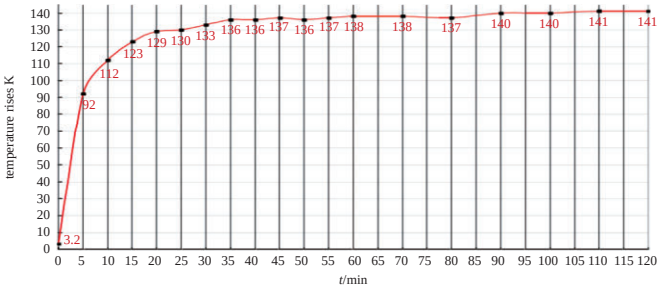

图2　电阻器整机温升曲线（50 A）

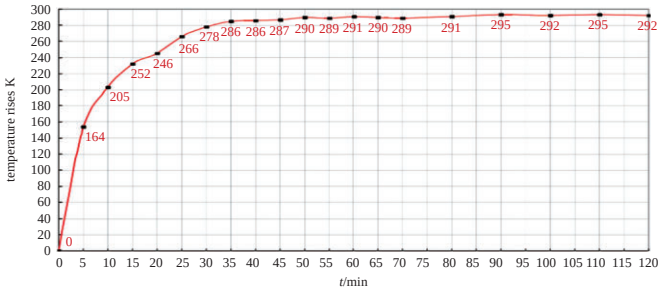

图3　电阻器整机温升曲线（80 A）

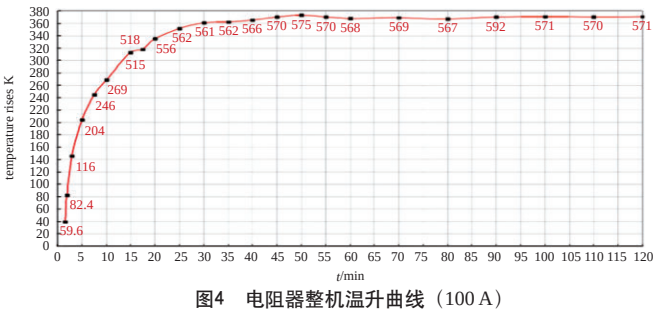

图4　电阻器整机温升曲线（100 A）

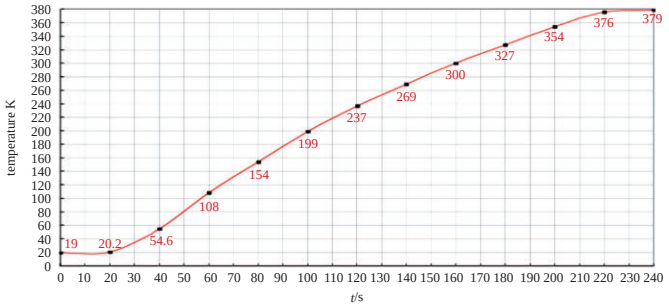

图5　电阻器整机温升曲线（150 A）

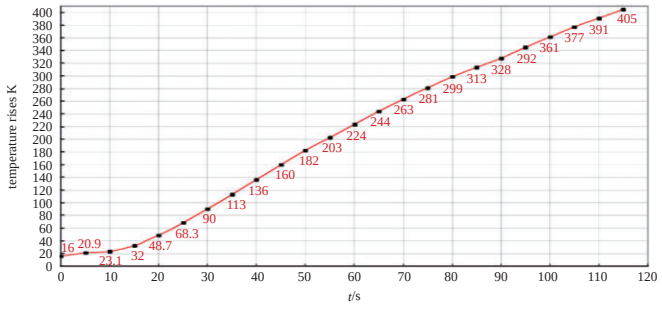

图6　电阻器整机温升曲线（200 A）

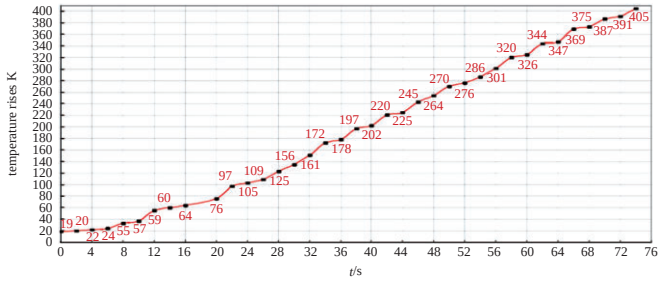

图7　电阻器整机温升曲线（250 A）

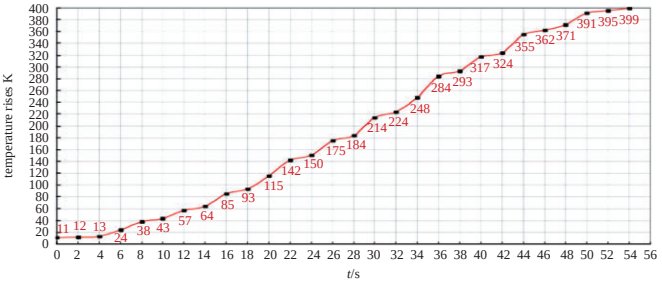

图8　电阻器整机温升曲线（300 A）

研究结论：

1）电阻器整机在电流不超过100 A时，可在温升小于385 K条件下达到热平衡状态，持续2 h无异常，此时该型电阻器长时耐受电流的极限能力为100 A。

2）当电流大于100 A后，该电阻器无法在温升不超过385 K的前提下达到热平衡状态。在测试的100～300 A范围内，该电阻器可承受的电流与持续时间关系曲线如图9所示。

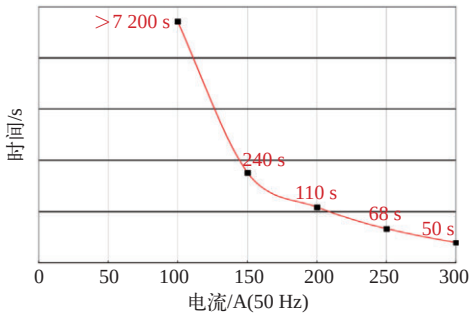

图9　电阻器整机温升－电流曲线

通过对实测数据的分析，本文就ZDZ66－10－10型电阻器耐受电流、温升、时间三者间的关系得出以下结论与建议：

1）该型电阻器整机在电流不超过100 A时，可在温升小于385 K条件下达到热平衡状态，持续2 h无异常。

2）当电流大于100 A后，整机无法在385 K温升限值范围内达到热平衡状态，长时运行将对电阻器造成损伤。在温升不超过385 K的条件下，电阻器整机可承受的电流（100～300 A范围内）与持续时间的关系曲线可以作为基础对电阻器进行保护以防止其热损伤。

自动化系统监测接地电阻运行的应用

采用已有的自动化系统对提取值进行分析，确保在间歇性接地时系统可以实时对线路进行监测和事故报警。下面简要介绍一种已投入应用的自动化系统。

1. 自动化系统监测间歇性接地故障

变电站内中性点接地电阻经常接受间歇性接地电流的冲击，当间歇性电流未达到保护动作定值时，保护不会动作，自动化系统也不会发任何信号，此时接地电阻容易过热而烧毁，运检人员无法第一时间掌握故障情况，一旦再发生间歇性接地，故障会扩大，造成极大的安全隐患。为防止此类现象发生，方便运维人员及时发现接地电阻故障，现提供以下方案：

1）自动化系统采集各线路的零流保护启动信息，在自动化后台做累计，在一定时间内（比如0.5 h内）达到一定数量，产生报警信号。

2）自动化系统根据采集到电阻温度和零流启动次数，启动报警。

3）间隙性接地告警：各线路的零流保护启动次数1 min内超过5次，启动报警信号。后台将以上告警信号合成一个中性点电阻故障告警信号转发调度，同时触发事故总信号，调度依据告警信号提醒运检人员检查该接地电阻的运行情况。

此方案可在不修改保护定值，不修改现场二次接线的情况下，综合电阻温度、零流、零压、电阻受冲击的次数等情况，能实时地较为准确的反映接地电阻运行情况，发出报警信号，第一时间提醒运检人员检查接地电阻，减少安全隐患。

2. 间歇性接地故障试验与整定

间隙性接地多发生于夏天，时间短，偶然性强，短时间内现场不一定会发生此类故障，我们在百曲站现场挑取备用线路曲24通过继保实验仪模拟故障电流来验证此功能。

试验条件：

1）35 kV百曲站全套自动化后台，包括软件和硬件，备用线路曲24SEL保护继电器，保护测试仪。

2）35 kV百曲站的间歇性接地保护判据：当零序故障电流50N4＝1.850 A持续一个周波以上，且间歇性接地时间不大于1 000 ms，同时$3U_0$大于10 V，延时5.5 s出口。

3）零流一段$50N_1$＝2 A延时2 s出口断中器跳闸。

4）SEL继电器增加逻辑零流启动逻辑 SV14＝50N1＋50N2＋50N3＋50N4＋51N；增加转发后台DNP点号 SV14的762。

试验判据：间歇性故障电流的特点是期波形比较有规则，都是到达一个高值后衰减，经过几个周波后又冲高，导致微机型继电保护整定时间不够调度原因而不停地启动－复归－启动－复归，但还达不到保护跳闸的时限。通过检查零序电流保护的启动，累计启动次数来辨识存在的接地故障，提前预警间歇性接地。如果零流故障在1 s内动作返回，重复8次左右，累积到5.5 s，间歇性接地保护出口；如果2次以上零流故障在1 s以外，延时2 s，零流一段出口。在5.5 s＋2 s时间内，零流启动频繁，应该是永久性接地故障，由零流一段或者间歇性接地出口跳闸，后台的零流启动告警将8 s作为一个计数周期，1 min累计启动5～7次启动告警。

结合以上分析，自动化监控中性点电阻，每个10 s作为一个检测周期，1 min内累计检测到5次零流启动，作为判断是否启动中性点电阻故障报警的一个判据。

试验过程：用保护测试仪模拟零流变化，在SEL保护继电器中设置零序电流保护启动逻辑，在自动化后台里面编辑间歇性接地故障的告警逻辑：1若在1 min内发生5次及以上零流启动信息，触发间歇性接地报警信号；2若5次零流启动信息前后间隔超过1 min，则不触发间歇性接地报警信号。

试验步骤：

1）保护测试仪加故障电流I_N＝1.85 A，模拟间歇性接地情况，0.5 s故障电流消失，此时保护50N4启动，但不出口，零流一段不启动。后台收到一个零流启动信号，开始累计1。

2）重复1的试验，1 min内，模拟50N4启动5次。

3）重复1的试验，1 min内，模拟50N4启动4次，超过1 min，50N4再启动一次。

试验结果：

1）综自间歇性接地参数：1 min内发生5次零流启动信息，触发零流告警信号，同时触发中性点电阻故障告警合成信号（中性点电阻故障告警：由绝对温升超值报警，温升率报警；零流启动告警信号合成）。报警发生后需人工现场复归，复归后缓存器清零（日动作次数不会清零）。

2）综自间歇性接地参数：超过1 min发生5次零流启动信息，不触发零流告警信号，不触发中性点电阻故障告警，不触发事故总信号。

结束语

通过研究中性点电阻发生间歇性接地时电压、电流特征及温度监测方案，提取相关特征，设计可在后台运行的程序，在保证报警可靠性的同时，发出间歇性接地警告信号，为运行人员提供指示信号及参考信息。并由SCADA系统进行中性点接地电阻监测及间歇性接地故障告警的方案，辅助判断了发生间歇性接地故障的母线，为运行人员、检修人员的进一步故障处理给出参考，提高故障判断、处理效率。该监测方案可以实现对接地电阻的故障监测，对电网的正常运行发挥了一定的作用。**EA**

（收稿日期：2018.03.30）
（编辑：白文亭）