

# 川渝断面失步解列装置配置研究

刘柏私

(四川电力调度中心 四川 成都 610041)

**摘要:**对当前中国电网中常用的失步解列装置及其原理进行了综述和说明。同时,对川渝断面失步解列装置配置的可能性及其效果进行了计算和分析。

**关键词:**电网;失步解列;装置配置

**Abstract:** The out-of-step islanding equipments commonly used in power grid in China are summarized and described as well as their theories. At the same time, the probability of equipment configuration for out-of-step islanding interface of Chuan-Yu power grid and its effects are calculated and analyzed.

**Key words:** power grid; out-of-step islanding; equipment configuration

中图分类号:TM712 文献标志码:A 文章编号:1003-6954(2011)06-0014-03

## 0 引言

失步解列作为电网第三道防线的重要防御措施,主要是为了防范在可能的极其严重故障下,系统稳定被破坏后,将系统中失步的机群解列,防止事故范围扩大,从而避免系统崩溃而造成长时间大面积停电<sup>[1]</sup>。

电力系统中存在的潜在失稳模式,与所发生的故障密切相关。合理故障集的设立原则主要包括:①《电力系统安全稳定导则》规定的第三级标准故障;②研究国内外大停电事故前因后果,故障集中包括导致发生大停电的故障;③结合所研究电网的特点,建立连锁故障或多重故障集。

传统的解列判据通常适应采取边缘联网模式的弱联系统。但随着大区电网联系的日益紧密,联络断面通常由多条联络线组成。研究大区电网解列控制方案,必须要结合所研究电网的特点,研究传统判据在复杂大电网中的适应性;如有必要,还须对原有判据进行改进或者研究新的解列判据<sup>[2]</sup>。

紧密互联的大区电网中,除了被解列断面通常由多条输电线路组成这一特点外,由于电网中可能存在多个潜在失稳模式,因此还可能需在电网内部多个失步断面装设解列装置。当电网发生失步振荡时,可能由于振荡中心偏移,不完全落在所配置的失步断面上,导致解列装置不能及时地将失步机组解列;或者

多个断面的失步解列装置都能检测到系统失步,造成电网的无序解列。因此,必须注重研究解列装置间的协调控制策略,以保证大电网解列控制系统的安全性、可靠性。

解列装置的协调配合主要包括同一断面内部各解列装置间的协调和各断面间装置的协调配合两个方面。断面内部各装置的协调,重点是保证断面内各装置不拒动、不误动。而断面间协调配合的重点是保证各断面有序动作,防止电网在大扰动下无序解列。除了通过设置装置不同定值根据就地量来进行协调配合外,还可利用通信系统进行信息交换来实现各装置间的协调配合。

解列控制作为一种系统性的保护控制措施,应从系统的角度出发,综合研究解列控制方案,而不应单单将着眼点放在单个装置或局部断面上。通常,可通过将分散安装的失步解列装置通过快速通信系统组合起来,构成一个完整的失步解列系统,结合广域信息和就地量信息,来实现系统内所有解列装置的协调动作。

通常情况下,电网解列后各子网能保持稳定运行。但在某些情况下,解列失步断面后,振荡中心附近机组仍可能发生相继失步,并在解列后的子网中激发出新的失稳模式,因此须深入研究解列后孤网的稳定控制措施,例如,可采取主动的切机控制来抑制多数机组相继失步,其中主动切机控制判据的制定,是关键所在。

其次,传统的第三道防线,在系统解列后,受端通常由低频、低压减载装置根据离线的整定值切除相应的负荷,而送端通常由高周保护切机来解决解列后孤网的功率平衡问题。目前低频、低压减载装置基本上没有考虑电压和频率的相互关联性,可能导致严重的过切或欠切现象发生。运行经验表明,当有功功率缺额较大时,在发生频率崩溃的同时,还可能发生电压崩溃,甚至电压崩溃快于频率崩溃,出现电压全面降低,运行机组全面过电流,而系统频率下降并不严重的现象,使得低频减载装置不满足动作条件。此外,当频率或电压变化速率过大时,可能导致减载装置或机组高周保护功能的闭锁,而且,在中国实际系统运行中也曾发生了送端电网故障解列后,高周保护装置由于频率变化速度过快而闭锁的情况<sup>[3]</sup>。

## 1 解列装置简介

### 1.1 南瑞稳定 UFV 系列失步解列装置

南瑞稳定 UFV 系列解列装置主要采用相位角原理失步振荡判据。基于视在相位角失步判据是利用解列装置安装处测量的电压和电流的夹角随等值电势功角差的正向渐增或负向渐减而变化的规律,来判断系统振荡的情况,当振荡中心落在装置的正反方向时,相位角有不同的变化规律,所以该判据可以有效地判别振荡中心的方向。

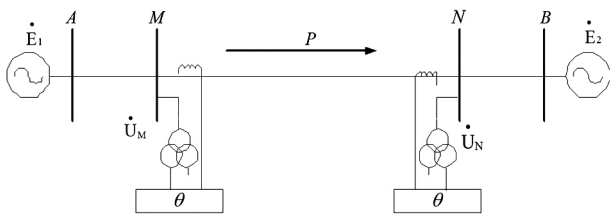


图 1 失步解列装置示意图

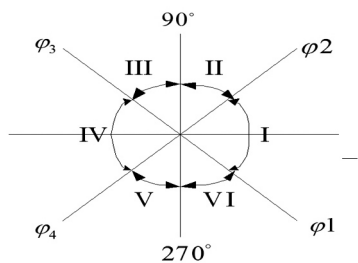


图 2 线路视在阻抗角判断区划分

失步周期整定和振荡中心方向判断将线路视在阻抗角可能的变化范围划分为 6 个区,如图 2 所示。 $\varphi_1 \sim \varphi_2$  之间为 I 区,  $\varphi_2 \sim 90^\circ$  之间为 II 区,  $90^\circ \sim \varphi_3$  之

间为 III 区,  $\varphi_3 \sim \varphi_4$  之间为 IV 区,  $\varphi_4 \sim 270^\circ$  之间为 V 区,  $270^\circ \sim \varphi_1$  之间为 VI 区。正常情况下,系统一般运行在 I 区或者 IV 区。

根据图 1,具体的失步判别方法如下。

1) 装在 M 端失步解列装置正常工作时,运行在 I 区,从 I 区开始按顺序经过 II 区、III 区、IV 区,则认为经历一个失步振荡周期;振荡中心位于该装置的正方向,即落在 M-N 联络线或 B-N 上。

2) 装在 N 端失步解列装置正常工作时,运行在 IV 区,从 IV 区开始按顺序经过 III 区、II 区、I 区,则认为经历一个振荡周期;振荡中心位于该装置的反方向,即落在 M-N 联络线或 A-M 上。

3) M 侧解列装置正常运行在 I 区时,从 I 区开始突变到 IV 区(或跨越 II、III 中的一个区),再回 I 区,则认为经历了一个失步振荡周期;振荡中心落在 M 端失步解列装置附近。

4) N 侧解列装置正常运行在 IV 区时,从 IV 区开始突变到 I 区(或跨越 II、III 中的一个区),再回 IV 区,则认为经历一个失步振荡周期;振荡中心落在 N 端失步解列装置附近。

当考虑本断面解列装置和相临断面装置配合,作为相临断面的后备保护,即振荡中心落在装置装设断面的相邻断面时,失步周期整定规律如下。

1) 当振荡中心落在 A-M 断面时, M 侧解列装置正常运行在 I 区时,从 I 区开始按顺序经过 VI 区、V 区、IV 区,则认为经历一个振荡周期,并判断振荡中心落在 A-M 线路上。

2) 当振荡中心落在 B-N 断面时, N 侧解列装置正常运行在 IV 区时,从 IV 区开始按顺序经过 V 区、IV 区、I 区,则认为经历一个振荡周期,并判断振荡中心落在 B-N 线路上。

动作区范围确定对于失步后的电力系统,当振荡中心确立后,系统各点的最低电压值就可以计算出来。振荡中心处的电压包络线最低值为零,离振荡中心越远,包络线的最低电压也就越高。也就是说,通过设定最低动作电压,就可以确立装置的动作范围;而且包络线的最低电压出现在 1/2 振荡周期时刻,这个电压的检测在先,失步振荡周期判断在后,检测包络线电压的最低值不会影响失步振荡周期的判断。

对于振荡中心落在解列装置附近的情况,电压包络线的最小值必须出现很低数值(低于有效值的 20%)时,结合失步周期整定值,发出解列命令。

### 1.2 南瑞继保 RCS 系列失步解列装置

RCS-993(A)型基于阻抗循序判别方式原理,将阻抗平面分为6个区域。在阻抗平面上依据阻抗角分为6个阻抗圆区域,当系统失步振荡时,测量阻抗变化的特点(加速还是减速),识别其轨迹是否依次通过6个区域(正向或反向),据此判断是否失步。

RCS-993(B)型基于  $u \cos \varphi$  失步解列判据。振荡中心处的电压,在系统失步振荡时,出现周期性的振荡,当功角摆开到  $180^\circ$  时,振荡中心电压为零。基于  $u \cos \varphi$  失步解列判据主要通过监测联络线上电压、电流计算出  $u \cos \varphi$  的值来模拟失步过程中振荡中心电压变化,根据穿越轨迹判断系统是否失步。虽然该判据有明确的物理意义,反应了振荡中心的电压。但是其实质都是通过相位角来反映系统的失步状况。

本质上和基于相位角的判据是一致的。

### 1.3 中国电科院 PAC 解列装置

PAC 解列装置根据线路输电功率的变化趋势、线路两端电压相角差的变化趋势以及系统失步中心的位置等因素来形成失步判据。PAC-1000 装置的判据如下。

①失步中心在本线路上;

②  $\frac{d\delta}{dt} > 0, \frac{d^2\delta}{dt^2} > 0$ , 功角变化趋势增大,且加速度

大于零;

③  $\frac{dP}{dt} < 0$ ;

④  $U < U_{SET}$ , 电压低于阈值。

## 2 川渝断面失步解列装置的配置

本研究采用 2011 年全国联网夏季滚动计算典型数据。

典型方式下,洪板线 N-2 故障下四川机组相对于主网机组首摆失稳。暂态过程中配置在黄岩站解列装置检测到的黄万线相位角响应曲线如图 3 所示,黄岩和万县的电压响应曲线如图 4 所示。

可见,装设在黄岩的解列装置可检测到系统失步,并正确触发解列命令。

典型方式下,洪沟 500 kV 变电站全停故障均会导致四川机组相对于主网机组首摆失稳。

暂态过程中四川机组功角、变电站电压以及振荡中心线路的相位角响应曲线和洪板线 N-2 故障下

基本一致,不再赘述。

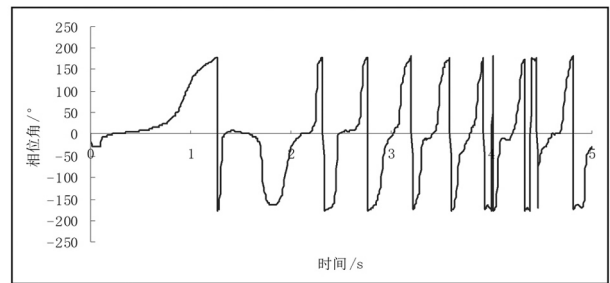


图3 洪板线 N-2 故障下黄万线的相位角响应曲线

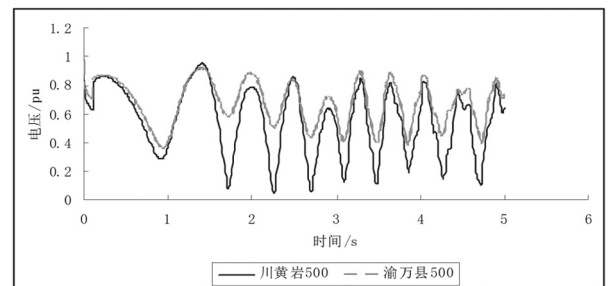


图4 洪板线 N-2 故障下黄岩和万县变电站母线的电压响应曲线

分析发现,某些严重故障导致川渝断面解列装置动作后,在四川子网内可能会继续激发出新的失稳模式。

如洪沟 500 kV 变电站全停故障导致四川机组相对其他华中机组失步后,华中电网内所有发电机的功角摇摆曲线如图 5 所示。

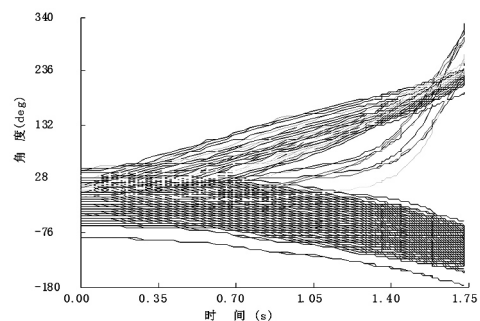


图5 洪沟 500 kV 变电站全停故障下系统内机组的功角摇摆曲线

当川渝断面在失步一个周期被解列后,重庆机组和华中其他省网机组保持稳定运行,而四川电网内南充和广安地区的发电机组将构成临界群与其他四川机组相继失步,暂态过程中四川电网内各机组的功角响应曲线如图 6 所示。

当川渝断面被解列后,利用川渝断面失步解列动作信号作为切广安机组的触发命令,立即切除广安机

(下转第 39 页)

因此,可以看出,由于负载及环境温度的增长,变压器寿命缩短了大约 60 000 h。

### 2.3 只考虑环境温度的增长

如果只考虑环境温度的增长,即

$$\theta_H = \theta_A + \Delta\theta_A + \Delta\theta_{TO} + \Delta\theta_H \quad (3)$$

其中  $\Delta\theta_A$  为环境温度的增加。

设  $\theta = [(\text{考虑温升后的变压器寿命损失} - \text{未考虑温升的变压器寿命损失}) / \text{未考虑温升的变压器寿命损失}] \times 100\%$

那么  $\theta$  与环境温度增加的关系图如图 8 所示。

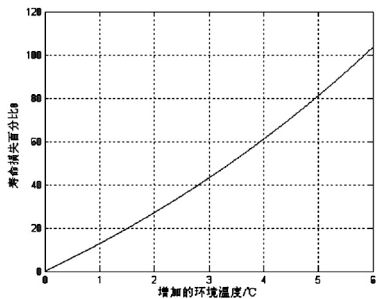


图 8 环境温度对变压器寿命的影响

由图 8 可以看出,环境温度增加得越多,变压器的寿命损失越多,并且它们之间的关系成指数倍增长。当温升到达 5.8 °C 时,变压器的寿命损失加倍。

## 3 结 论

在监测到得历史数据的基础上,建立了变压器所

(上接第 16 页)

组,从而抑制广安和南充地区其他机组相对四川主网其他机组发生相继失步。

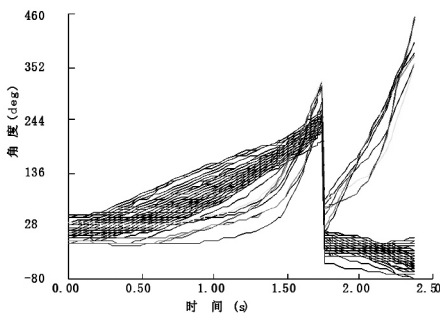


图 6 川渝断面被解列后四川电网机组的功角摇摆曲线

## 3 结 论

对当前中国电网中常用的集中失步解列装置及

带负载模型及环境温度模型,对一台实际的变压器进行了寿命评估,讨论了考虑/不考虑负荷增长及环境温度增长情况下对变压器绝缘寿命的影响,建立了基于 weibull + 变压器绝缘寿命预测评估模型。最后,还单独分析了环境温度的增长对变压器绝缘寿命的影响。

### 参考文献

- [1] 吕继恺,曹建波. 发电机与变压器的寿命评估[J]. 江苏电机工程, 2006, 25(03): 51-52.
- [2] Kshira T. Muthanna, Abhinanda Sarkar, Kaushik Das, and Kurt Waldner. Transformer Insulation Life Assessment [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2006, 21(1): 150-156.
- [3] Jonathan W. Stahlhut, Member, IEEE, Gerald T. Heydt, Fellow, IEEE, and Nancy J. Selover. A Preliminary Assessment of the Impact of Ambient Temperature Rise on Distribution Transformer Loss of Life [J]. IEEE Transactions on Power Delivery, 2008, 23(4): 2000-2007.
- [4] IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers [S]. IEEE Std. C57.91-1995.
- [5] 董立文,李军,何宝龙,等. 水分对油浸式变压器寿命的影响[J]. 变压器, 2008, 45(7): 17-18.
- [6] 杜林,袁蕾,熊浩,等. 应用蒙特卡罗模拟法的电力变压器热特性绝缘寿命评估[J]. 高电压技术, 2010, 36(4): 856-861.

(收稿日期:2010-03-19)

其原理进行了综述和说明。同时,基于此,对川渝断面失步解列装置配置的可能性及其效果进行了计算和分析。对指导电网运行具有一定的参考价值。

### 参考文献

- [1] 周孝信,等译. 电力系统稳定与控制[M]. 北京: 中国电力出版社, 2001.
- [2] 张保会,汪成根,郝治国. 电力系统失步解列存在的问题及需要开展的研究[J]. 电力自动化设备, 2010, (10): 1-6.
- [3] 王达,薛禹胜,刘玉田,等. 故障解列与失步解列的协调优化[J]. 电力系统自动化, 2009, 33(14): 1-6.

(收稿日期:2011-07-07)