[电网]

基于分布系数法的电力系统合环电流分析

文/中油电能电力生产保障公司　陈　超

电网合环运行时，合环电流与负荷电流的迭加，可能造成潮流超过设备限额，或引起继电保护误动作，影响电网安全、稳定运行。基于分布系数法对35 kV兴油库线合环潮流的计算分析，提出控制合环电流的多种措施，对电网实际运行有一定的指导意义。

2013年，大庆电业局繁星变电站投运后，网架结构发生变化。2013年4月27日，兴旺变电站由让开变电站系统转至繁星系统，繁星变电站仅接带25 MW的负荷。2013年8月4日，兴旺变电站35 kV兴油库线12、13号杆横担弯了，造成跳闸。故障处理结束，与周星系统合环转移负荷时，由于环流大，导致兴旺变电站35 kV兴油库线00937过电流保护动作，断路器跳闸，重合闸动作不成功，系统无冲击。系统接线如图1所示。

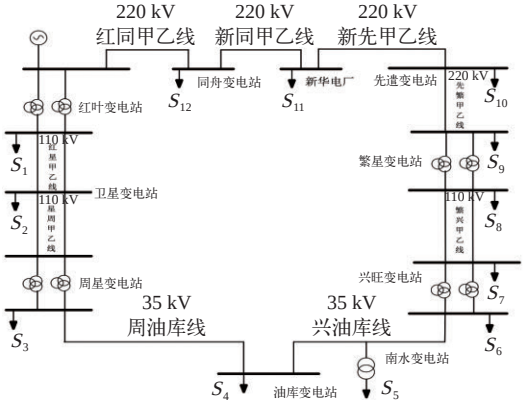

图1　系统接线

分析跳闸原因，主要是当时220 kV繁星变电站、同舟变电站没有带负荷，兴旺变电站00937过电流保护定值受南水变电站变压器容量小的影响，定值仅为360 A。经过近三年的调整，马鞍变电站、宏伟电厂接入繁星变电站，宋屯、杏西和杏东接入同舟变电站，卫星一次变电站接入系统，电网结构及潮流分布发生变化。如果再次进行合环操作，在35 kV兴油库线、周油库线形成的合环电流能否再次引起兴旺35 kV兴油库线保护误动，本文对该系统进行了潮流计算、分析，探讨产生大环流的原因和采取控制措施，以确定再次合环的可能性。

计算和分析

1．计算步骤

1）求出220 kV红叶变电站、220 kV繁星变电站、110 kV兴旺变电站和110 kV周星变变压器高、中压绕组的阻抗标幺值。

2）求出220 kV红同甲乙线、220 kV新同甲乙线、220 kV新先甲乙线、220 kV先繁甲乙线、110 kV繁兴甲乙线、110 kV红星甲乙线、110 kV星周甲乙线、35 kV周油库线和35 kV兴油库线的阻抗标幺值。

3）根据电网的参数及负荷利用分布系数法，求出电网内闭合环路的自然功率。

4）求出环网内的循环功率。

5）将自然功率和循环功率进行叠加，求出环网的最终潮流分布。

2．注意事项

1）红叶变电站、繁星变电站、兴旺变电站和周星变电站低压绕组不在闭合环路内，其负荷较轻，不作为负荷节点。

2）由于线路较短，忽略线路电容充电功率。

3）根据220 kV网络潮流分布，繁星变电站潮流较大，故以繁星变电站220 kV母线电源节点为平衡节点。

4）为了近似计算方便，分布系数虚部作零处理。

5）阻抗采用标幺值进行计算。

3．求参数及电网的等值电路

根据环网内各电气元件的参数，计算变压器和线路的阻抗。简化环网的等值电路，采用标幺值进行计算，选取基准三相功率P_j为1 000 MW，基准电压U_j分别为37 kV、115 kV和230 kV。

1）计算变压器阻抗标幺值。我国目前生产的变压器三个绕组的容量比按高、中、低绕组的顺序有100/100/100、100/50/100、100/100/50等多种。对于三个绕组额定容量不相等的变压器，需对变压器厂提供的短路损耗值进行折算。

2）计算各线路电阻和电抗标幺值。

3）计算环网内变压器、线路电阻和电抗标幺值。

可以计算出繁星变电站、红叶变电站、兴旺变电站、周星变电站变压器并列后的电阻和电抗标幺值。由于低压侧负荷轻，低压侧不作为负荷节点，故将高压侧和中压侧电阻和电抗分别相加。计算出的220 kV红同甲乙线、新同甲乙线、新先甲乙线、先繁甲乙线和110 kV红星甲乙线、兴周甲乙线和繁兴甲乙线并列后的电阻和电抗标幺值，以及35 kV周油库线、兴油库线的电阻和电抗标幺值（计算从略），如下表所示。

表　各元件的电阻和电抗标幺值

变电所/线路	电阻标幺值			电抗标幺值		
	高压侧	中压侧	合计	高压侧	中压侧	合计
220 kV红叶变电站	0.005 6	0.003 1	0.0087	0.408 4	−0.022 8	0.385 6
220 kV繁星变电站	0.005 6	0.002 2	0.0078	0.4107	−0.026	0.384 7
110 kV兴旺变电站	0.029 8	0.01 6	0.0458	1.0305	−0.062 5	0.968
110 kV周星变电站	0.022 1	0.011 1	0.0332	1.4092	−0.121 9	1.287 3
220 K红同甲乙线	0.017 8			0.083 4		
220 K新同甲乙线	0.021 3			0.100 2		
220 K新先甲乙线	0.022 6			0.106 3		
220 kV先繁甲乙线	0.018 4			0.086 4		
110 kV繁兴甲乙线	0.024 3			0.073 7		
110 kV星周甲乙线	0.041			0.124 4		
110 kV红星甲乙线	0.048 2			0.146 3		
35 kV周油库线	1.724 9			3.154 1		
35 kV兴油库线1（兴旺—南水变电站）	0.588 2			1.075 5		
35kV兴油库线2	0.344 6			0.630 1		

4．计算分布系数

采用分布系数法计算分布系数时，需要选定平衡节点和分布系数的环绕方向。有两条并联支路的简单环网，选取平衡节点为A，环绕方向如图2所示。

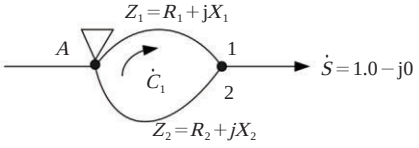

图2　还绕方向

在实际潮流计算时，大多数电力网均可近似地视为均一网，此时，分布系数的虚部很小，在近似地计算中，它对计算结果的影响可以忽略不计。分布系数的计算公式为

$$C_1=\frac{R_2(R_1+R_2)+X_2(X_1+X_2)}{(R_1+R_2)^2+(X_1+X_2)^2} \tag{1}$$

式中，C_1为支路1的分布系数；R_1、R_2为分别为支路1、支路2的电阻；X_1、X_2为分别为支路1、支路2的电抗。

以繁星变电站220 kV母线电源结点为平衡节点，称繁星变电站平衡结点为0节点，计算各节点负荷对繁星变电站220 kV侧绕组支路的分布系数实数部分。计算出其他各支路对繁星变电站220 kV侧绕组支路的分布系数。计算出的各支路在红叶变电站主变压器支路上的分布系数如图3所示。

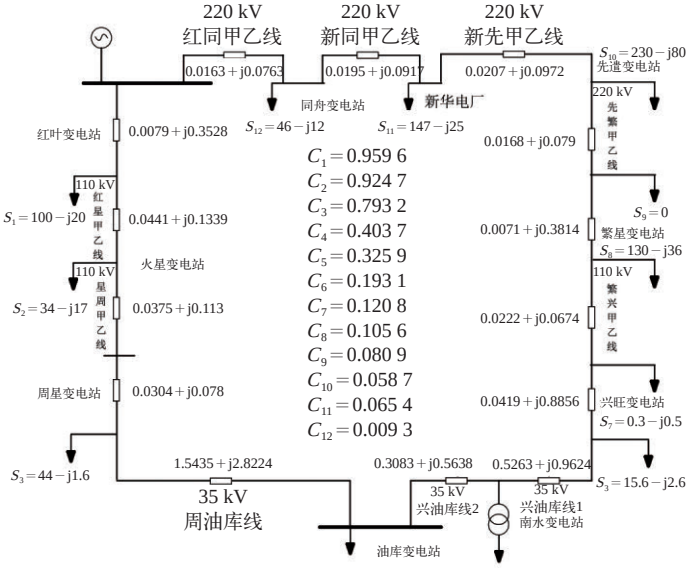

图3　红叶变电站主变压器支路上的分布系数

5．计算环路初步功率分布

简单环网图如图3所示。通过支路a的功率和各节点的负荷关系为

$$\dot{P}_a=C_n\dot{S}_n \tag{2}$$

式中，$\dot{P}_a$为通过支路a的功率，MW；$\dot{S}_n$为节点n的负荷，MW；C_n为节点n的负荷在支路a的分布系数。如图4所示。

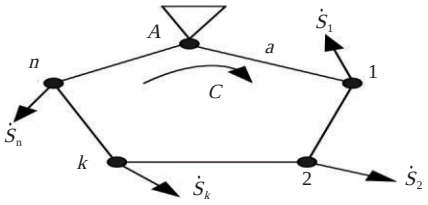

图4　节点n负荷在支路a的分布系数

根据式（2），可以计算出红叶变电站主变压器220 kV绕组支路功率（MV·A），结果为

$$S_0 = C_1S_1 + C_2S_2 + C_3S_3 + C_4S_4 + C_5S_5 + C_6S_6 + C_7S_7 + C_8S_8 + C_9S_9 + C_{10}S_{10} + C_{11}S_{11} + C_{12}S_{12}$$

$$= 0.9596\times(100-\mathrm{j}20) + 0.9247\times(34-\mathrm{j}17) + 0.7932\times(44+\mathrm{j}1.6) + 0.4037\times(4.1+\mathrm{j}2.1) + 0.3259\times(0.4+\mathrm{j}0.3) + 0.1931\times(15.6-\mathrm{j}2.6) + 0.1208\times(0.3-\mathrm{j}0.5) + 0.1056\times(130-\mathrm{j}36) + 0.0587\times(230-\mathrm{j}80) + 0.0654\times(147+\mathrm{j}25) + 0.0093\times(46+\mathrm{j}12) = 204.41-\mathrm{j}46.04$$

35 kV兴油库线的初步潮流计算结果为

$$S_{初56} = 21.91-\mathrm{j}9.84\ \mathrm{MV\cdot A} \quad (3)$$

6．计算环路循环功率

红叶变电站主变压器电压比为222.75/115，繁星变电站主变压器电压比为222.75/115，兴旺变电站主变压器电压比为116.785/38.5，周星变电站主变压器电压比为17.8125/36/575，等值电压比K_Σ为

$$K_\Sigma = \frac{\frac{222.75}{115}\times\frac{107.8125}{36.575}}{\frac{225.5}{115}\times\frac{116.875}{38.5}} \approx 0.959\,2 \quad (4)$$

$K_\Sigma<1$，所以环网内有循环功率，循环功率方向为顺时针方向，循环功率方向由红叶变指向繁星变电站。

电网内闭合环路阻抗标幺值为

$$Z^*_\Sigma = 2.6425+\mathrm{j}7.7049 = 8.1454\angle 71.1^\circ \quad (5)$$

环路循环功率为

$$P_h = \frac{K_\Sigma-1}{Z^*_\Sigma}P_j = \frac{0.9592-1}{8.1454\angle 71.1^\circ}\times 1\ 000 = 4.97\angle 71.1^\circ = 1.61-\mathrm{j}4.7 \quad (6)$$

7．计算35 kV兴油库线最终潮流分布

$$S_{最终56} = S_{56}+S_h = (21.91-\mathrm{j}9.84+1.61-\mathrm{j}4.7)\ \mathrm{MV\cdot A} = 23.55-\mathrm{j}14.54 = 27.68\angle -31.7^\circ \quad (7)$$

合环后通过35 kV兴油库线的最终潮流为27.68 MV·A，电流为415 A，远远大于兴旺变电站的过电流保护定值360 A，潮流方向为兴旺变电站指向周星变电站。如果进行合环操作，将会引起过电流保护动作，造成甩负荷情况的发生。

产生大环流的原因

在35 kV兴油库线线路上产生大环流的主要原因有：

1）环网内红叶变电站、繁兴变电站、周星变电站和兴旺变电站等变压器电压比不同使得产生的循环功率大，主要体现在无功功率上。

2）红叶变负荷较重。

3）繁星变负荷较轻。

4）受所带南水变电所变压器容量2 000 kV·A的影响，为保证保护灵敏性，兴旺变35 kV兴油库线过电流保护定值整定得较小。

解决措施

要减少该区域在设备检修和事故处理期间合环操作时的环流，确保供电安全，必须采取以下措施。

1）对南水变电所2 000 kV·A变压器进行增容，将容量增加到4 000 kV·A或6 300 kV·A。这样，可以将兴旺变电站35 kV兴油库线00937断路器过电流保护定值调整到450～550 A。

2）南水变电所负荷较轻，新建6 kV开闭所带负荷后，将南水变电所从35 kV兴油库线T节点拆除。这样，可以将兴旺变电站35 kV兴油库线00937断路器过电流保护定值调整到590 A。

3）调整周星变电站变压器110 kV侧有载调压开关，提高35 kV母线电压。调整兴旺变电站变压器110 kV侧有载调压开关，降低35 kV母线电压，减小环网内循环功率。

结束语

系统网络结构改变、特殊运行方式的合环操作，单凭经验或仅停留在定性分析的层面都是危险的。在电网结构及参数一定的条件下，合环后各支路的潮流仅与节点的负荷有关，因此，可以利用分布系数法进行环网潮流计算。在南水变电所变压器容量没有增容之前，系统不能进行合环操作，潮流计算证明了这一点。EA

（收稿日期：2018.09.26）
（编辑：朱金凤）