

# 一种应用于配电网合环操作的计算模型与方法

陈曦, 曾勇波, 叶涛, 张玻

(四川省德阳电业局, 四川 德阳 618000)

**摘要:**提出了一种简化 10 kV 配电网合环计算模型, 计算合环冲击电流、稳态电流和合环状态下保护灵敏度校验的方法, 得出能否进行配网合环操作的结论, 为调度员进行 10 kV 配网合环操作提供指导。

**关键词:**配电网; 合环操作; 计算模型; 方法

**Abstract:** A simplified calculation model of closed loop operation in distributing network is presented as well as a calculation method of impact current steady current and verification protection in the closed loop state. A conclusion of whether or not to carry out closed loop operation can be obtained which provides the guidance for dispatchers to do closed loop operation in 10kV distribution network.

**Key words:** distributing network; closed loop operation; calculation model; method

**中图分类号:** TM744 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-6954(2009)02-0062-04

随着社会经济的迅猛发展和人民生活水平的不断提高, 用电客户对电能质量和供电可靠性的要求越来越高。由于新增用户接入、配网缺陷处理、通道维护、事故抢修、方式改变等原因造成配网停电, 大大减低了供电可靠性。

经过近几年大规模的城网改造后, 10 kV 配电网大多实现了“闭环接线, 开环运行”的供电方式, 负荷区域用联络开关隔离, 形成供电负荷岛。正常情况下, 联络开关一般开断运行。当“手拉手”式线路中有一条需停电时, 另一条线路可转供负荷, 此时若进行合环操作, 可以增强配电网的供电可靠性, 减少对外停电。但合环瞬间产生的冲击电流, 可能对电网安全稳定运行造成影响。当电网厂站较多、结构较为复杂时, 常规的潮流计算方法需输入大量数据, 计算极其复杂, 无法满足配电网合环潮流的计算要求。就此提出了一种简单实用、满足工程需要的 10 kV 配网合环计算模型, 并在合环模型简化的基础上提供了计算合环冲击电流、稳态电流和合环状态下保护灵敏度校验的方法, 用以指导调度人员进行合环操作。

## 1 合解环路的操作规定

合环操作过程是指: 当配电网中一段线路或变电站出线开关需要检修或出现其他突发事件时, 先合上联络开关, 再断开这一线路的各侧进线电源开关或变电站出线开关, 需停电的 10 kV 配网线路通过其他

配网线路转带负荷, 如图 1 所示。

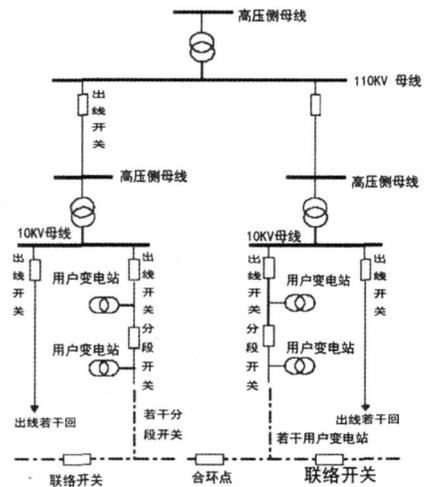


图 1 10 kV 母线及环网配电系统合环示意图

根据《四川电网调度管理规程》和《德阳电网调度管理规程》的有关规定:

1) 合环操作必须相位相同, 应保证合环后各环节潮流的变化不超过继电保护、系统稳定和设备容量等方面的限额。合环前应将合环点两端电压幅值差调整至最小, 220 kV 系统一般允许在 20%, 最大不超过 30%, 负荷相角差一般不超过 30 度, 500 kV 系统一般不超过 10%, 最大不超过 20%, 负荷相角差不超过 20 度。有条件时, 操作前应启用合环开关的同期装置, 检查负荷相角差和电压差。

2) 解环操作应先检查解环点的有功、无功潮流, 确保解环后系统各部份电压在规定范围内, 各环节的潮

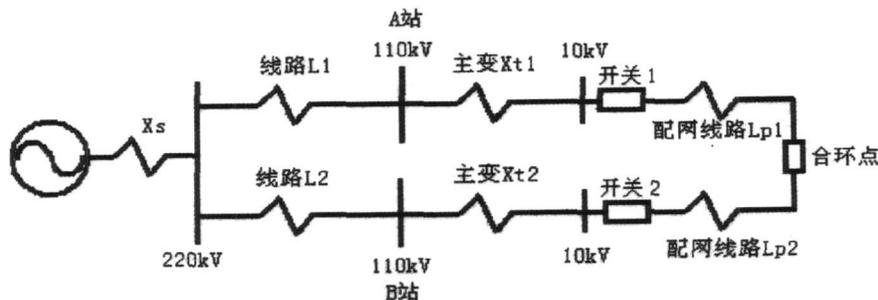


图 2 10 kV 配电网合环简化图

流变化不超过继电保护、系统稳定和设备容量等方面的限额。

因此,必须进行计算,保证合解环时各部份电压在规定范围内,各环节的潮流变化不超过继电保护、系统稳定和设备容量等方面的限额。同时在实际配电网合环操作前,还要进行线路的核相工作,以确保相序正确。

## 2 简化的 10 kV 配电网合环计算模型

常规的潮流计算需要大量的数据和参数:配电网的节点数、平衡节点电压模值和相角、PV 节点注入有功和电压模值、线路型号及长度、变压器分接头位置等运行参数,同时由于配网分支很多,即节点数过多,潮流计算复杂。因此,需根据实际工程需要对 10 kV 配电网合环计算模型进行以下简化:

(1)所有进行 10 kV 配网合环操作的变电站均由同一座 220 kV 变电站供电;

(2)不考虑变电站投入的电容器对母线电压和无功的影响;

(3)忽略不经过合环电流的配网支线负荷和分流作用,只进行变电站出线到联络开关之间的线路参数计算;

(4)对不同的主变进行变比取值,使主变的变比尽量接近一致,并规定主变合环时的运行档位。即:尽量控制因主变变比不同产生的稳态环流。

综上,10 kV 配电网合环可简化为图 2 所示:

其中:线路 L1、线路 L2 为同一座 220 kV 变电站的两条 110 kV 出线;

主变  $X_{t1}$ 、主变  $X_{t2}$  为 A 站、B 站的主变阻抗;

配网线路  $L_{p1}$ 、配网线路  $L_{p2}$  为不同变电站的两条 10 kV 配网出线。

## 3 合环稳态电流、冲击电流的计算方法

在简化的 10 kV 配电网合环模型下,进行具体分析:

1) 合环点电压的计算:

根据电力系统分析,合环时合环点存在电压差以及合环线路阻抗的不同,导致负荷有功及潮流的重新分配,该电压差在合环后随着暂态过程结束而逐渐消失,合环电流也由初始电压高的一端流向电压低的一端,直至平衡。最恶劣的情况是解环点在线路的始末端,造成潮流变化最大,产生最大的电压降:

$$\Delta V_{\max} = \frac{PR + QX}{V_N} \quad (1)$$

式中:

P: 两条合环线路的总有功功率;

Q: 两条合环线路的总无功功率;

R: 两条合环线路的总电阻;

X: 两条合环线路的总电抗;

$U_N$ : 线路额定电压。

2) 合环稳态电流、冲击电流的计算:

合环时,系统将因合环点的电压差值产生合环冲击电流。根据《电力系统暂态分析》中阐述,该冲击电流属于暂态过程,时间不大于 2~5 个周波,即大部分非周期分量在不超过 0.1 s 时间内将衰减完毕。合环冲击电流由周期分量和非周期分量构成,其最大瞬时值将在合环发生经过半个周期后(约 0.01 s)出现,最大冲击电流值为:

$$\begin{cases} I_m = K_m I_n \\ I_n = \frac{\Delta V_{\max}}{Z_m} \times 10^3 \end{cases} \quad (2)$$

式中:

$I_m$ : 最大冲击电流;

$K_m$ : 冲击系数,实际计算取 1.8~1.9;

$I_n$ : 合环稳态电流;

$Z_n$ : 合环网内总阻抗有名值, 如图 3 所示。

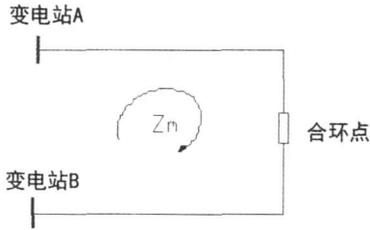


图 3 线路环路阻抗示意图

由式 (2) 可知, 合环稳态电流与合环点前后电压幅值差近似成正比, 与环网总阻抗近似成反比。只要速断保护能够躲过合环最大冲击电流 (即: 负荷电流与冲击电流之和), 过流保护能够躲过合环最大稳态电流 (即: 负荷电流与主变变比不同产生的稳态电流之和) 就可以满足合环条件, 否则应采取控制合环线路负荷电流、调整线路保护定值等相应措施。

#### 4 合环状态下过流保护灵敏度校验

分别进行合环线路中点处短路和出线处短路的过流保护灵敏度校验:

$$K = 0.866 \frac{I_{min}^{(2)}}{I} \quad (3)$$

式中:

$I_{min}^{(2)}$ : 最小方式下的两相短路电流;

$I$ : 开关过流保护一次折算电流。

$K > 1.3$ , 满足灵敏度要求。

$K < 1.3$ , 计算相继动作后的灵敏度, 若仍不能满

足灵敏度要求, 则按灵敏度整定过流保护, 同时校核。在正常方式下的过流保护。

#### 5 算例

1) 以广汉城网数据计算为例, 进行主变档位控制:

广汉站主变:

型号: SFZ9 M - 31500 / 110

接线方式: YN, d11

额定电压:  $110 \pm 8 \times 1.25\% / 10.5 \text{ kV}$ ,

炳灵官站主变:

型号: SFSZ6 - 31500 / 110,

接线方式: Yn yn 0, d11,

额定电压:  $110 \pm 3 \times 2.5\% / 38.5 \pm 5\% / 11 \text{ kV}$ ,

正常运行时, 广汉站主变运行在 5 档或 6 档, 高、低压侧电压比:  $115.5 \text{ kV} / 10.5 \text{ kV} = 11$  或  $114.125 \text{ kV} / 10.5 \text{ kV} = 10.87$ ; 炳灵官站主变运行在 1 档, 高、低压侧电压比:  $118.25 \text{ kV} / 11 \text{ kV} = 10.75$ 。取电压差最接近的档位: 广汉站主变运行在 6 档, 炳灵官站主变运行在 1 档。则两主变产生的电压差为:

$$(110 / 10.87 - 110 / 10.75) \times 1000 = 112.96 \text{ V}.$$

2) 合环电流计算

从表 1 计算结果可知, 在线路始末端进行合解环的极端情况下, 合环最大冲击电流小于速断保护定值, 合环最大稳态电流小于过流保护定值, 满足合环条件。

3) 进行合环过流保护灵敏度的校验, 从表 1 中计算结果可知, 在合环状态下发生各种短路时均有足够的保护灵敏度, 满足保护要求。具体数据见表 2 至表 4。

表 1 广汉城网合环电流计算表

线路名称	TA	速断定值 A	过流定值 A	线路长度 M	线路电阻 Q	线路电抗 Q	线路阻抗 Q	线路有功 kW	线路无功 kVAR	线路负荷电流 A	合环主变变比不同的电压差 $\Delta U_{UV}^2$	合环回路阻抗 Q	合环稳态电流 A	冲击电流 A	最大冲击电流 A	最大冲击速断定值	最大稳态电流 A	最大稳态过流定值	结论		
广什路 910	300/5	40	6	1	0.13	0.415	0.434	2.000	968.6	128	451.0	112.96	3.480	32.46	246.24	274.55	6.24	160.76	2.68	满足要求, 可以合环	
炳城本路 905	600/5	25	5.6	5.6	0.952	2.240	2.433	0	0	0	451.0	112.96	3.480	32.46	246.24	374.55	3.12	160.76	1.34	满足要求, 可以合环	
广连路 906	600/5	30	5	3.1	0.403	1.286	1.348	6.000	2.906	385	1.726	7.112	96.381	29.65	861.07	1.245	98.10	38	414.56	3.45	满足要求, 可以合环
炳城一路 921	600/5	25	5	4.4	1.188	1.667	2.047	0	0	0	1.726	7.112	96.381	29.65	861.07	1.245	98.10	38	414.56	3.45	满足要求, 可以合环
广城三路 928	600/5	25	5	2.6	0.338	1.079	1.130	6.000	2.906	385	1.321	1.112	96.271	41.68	926.23	1.311	14.10	93	426.59	3.55	满足要求, 可以合环
炳城一路 921	600/5	25	5	3.2	0.864	1.212	1.489	0	0	0	1.321	1.112	96.271	41.68	926.23	1.311	14.10	93	426.59	3.55	满足要求, 可以合环
广城二路 906	600/5	25	5	1.7	0.221	0.705	0.739	5.500	2.664	353	1.476	0.112	96.402	28.10	697.59	1.050	43.8	75	380.94	3.17	满足要求, 可以合环
炳城四路 926	600/5	25	5.6	6.2	1.054	2.480	2.694	0	0	0	1.476	0.112	96.402	28.10	697.59	1.050	43.8	75	380.94	3.17	满足要求, 可以合环

表 2 合环线路中点短路故障时过流保护灵敏度校验表

线路名称	TA	过流定值	线路长度	折算线路标么值 L	合环线 路中点 发生短路 的阻抗	分路阻抗	并列 阻抗	总阻抗	合环线 路中点 发生两相 短路电 流	分路电流	灵敏度 校验	结论 K <sub>1n</sub> >=1.3	
广什路 910	600/5	6	1	0.394 5	1.301	广汉站 侧阻抗	1.584 2	0.868 4	0.986 1	4 830.37	通过广汉 站侧电源	2 647.6	7.35 满足要求
炳城三 路 903	600/5	5.6	5.6	2.207 6		炳灵官 站侧阻抗	1.921 6				流过炳灵官 站侧电流	2 182.8	3.25 满足要求
广连路 906	600/5	5	3.1	1.222 8	1.523 3	广汉站 侧阻抗	1.806 5	0.980 4	1.098 3	4 336.80	流过广汉 站侧电流	2 353.6	3.92 满足要求
炳城一 路 921	600/5	5	4.4	1.823 7		炳灵官 站侧阻抗	2.143 9				流过炳灵官 站侧电流	1 983.2	3.31 满足要求
广城三 路 928	600/5	5	2.6	1.025 6	1.188 1	广汉站 侧阻抗	1.471 3	0.811 3	0.929 2	5 125.75	流过广汉 站侧电流	2 826.5	4.71 满足要求
炳城一 路 921	600/5	5	3.2	1.350 6		炳灵官 站侧阻抗	1.808 7				流过炳灵官 站侧电流	2 299.2	3.83 满足要求
广城二 路 906	600/5	5	1.7	0.670 6	1.557 5	广流站 侧阻抗	1.840 7	0.997 6	1.115 5	4 269.78	通过广汉 站侧电流	2 314.1	3.86 满足要求
炳城四 路 926	600/5	5.6	6.2	2.444 4		炳灵官 站侧阻抗	2.178 1				流过炳灵官 站侧电流	1 955.7	2.91 满足要求

表 3 广流站出口处短路故障时过流保护灵敏度校验表

线路名称	TA	过流定值	线路长度	折算线路标么值 L	在广汉 站出口 处发生短 路的阻抗	分路阻抗	并列 阻抗	总阻抗	在广汉 站出口 处发生两 相短路电 流	分路电流	灵敏度 校验	结论 K <sub>1n</sub> >=1.3	
广什路 910	300/5	6	1	0.394 5		广汉站 侧阻抗	0.283 2	0.260 3	0.378 0	12 599.7	流过广汉 站侧电流	11 582	32.2 满足要求
炳城三 路 903	600/5	5.6	5.6	2.207 6		炳灵官站 侧阻抗	3.227				流过炳灵官 站侧电流	1 017.8	1.5 满足要求
广连路 906	600/5	5	3.1	1.228		广汉站 侧阻抗	0.283 2	0.262 9	0.380 6	12 514.5	流过广汉 站侧电流	11 617	19.4 满足要求
炳城一 路 921	600/5	5	4.4	1.823 7		炳灵官站 侧阻抗	3.667 1				流过炳灵官 站侧电流	897.2	1.5 满足要求
广城三 路 928	600/5	5	2.6	1.025 6		广汉站 侧阻抗	0.283 2	0.258 7	0.376 4	12 652.5	流过广汉 站侧电流	11 560	19.3 满足要求
炳城一 路 921	600/5	5	3.2	1.350 6		炳灵官站 侧阻抗	2.996 8				流过炳灵官 站侧电流	1 092.4	1.8 满足要求
广城二 路 906	600/5	5	1.7	0.670 6		广汉站 侧阻抗	0.283 2	0.263 2	0.380 9	12 503.2	流过广汉 站侧电流	11 622	19.4 满足要求
炳城四 路 926	600/5	5.6	6.2	2.444 4		炳灵官站 侧阻抗	3.735 6				流过炳灵官 站侧电流	881.1	1.3 满足要求

表 4 炳灵官站出口处短路故障时过流保护灵敏度校验表

线路名称	TA	过流定值	线路长度	折算线路标么值 L	在炳灵 官站出 口处发 生短路 的阻抗	的阻抗	并列 阻抗	总阻抗	在炳灵 官站出 口处发 生短路 的阻抗	分路电流	灵敏度 校验	结论 K <sub>1n</sub> >=1.3	
广什路 910	600/5	6/	1	0.394 5		广流站 侧阻抗	2.885 3	0.510 7	0.628 4	7 579.04	流过广汉 站侧电流	1 341.6	3.73 满足要求
炳城三 路 903	600/5	5.6	5.6	2.207 6		炳灵官站 侧阻抗	0.620 6				流过炳灵官 站侧电流	6 237.4	9.28 满足要求
广连路 906	600/5	5	3.1	1.228		广汉站 侧阻抗	3.329 7	0.523 1	0.640 8	7 432.87	流过广汉 站侧电流	1 167.7	1.95 满足要求
炳城一 路 921	600/5	5	4.4	1.823 7		炳灵官站 侧阻抗	0.620 6				流过炳灵官 站侧电流	6 265.1	10.4 满足要求
广城三 路 928	600/5	5	2.6	1.025 6		广汉站 侧阻抗	2.659 4	0.503 2	0.620 9	7 671.40	流过广汉 站侧电流	1 451.5	2.42 满足要求

(下转第 87 页)

压试验也一次成功。在 31 号、32 号机组启动试运过程中,未发生焊口、焊缝泄漏等金属方面故障。

### 2.3 31 号、32 号汽轮机是否揭缸检查问题

汽轮机是火力发电厂的重要精密转动机械,转速高达 3 000 r/min,转子和缸体之间的间隙也很小。“5.12”地震后,整个汽轮机平台土建部分外观有明显挤压损坏,对整个汽轮机转子和内部缸体有何影响;特别是 31 号机组地震时满负荷运行,地震跳机后又面临整厂厂用电中断,低压缸排汽温度明显超标(排汽温度最高达 180℃)的影响,所有这些对汽轮机本体影响如何,最简单直接的方法是对 31 号、32 号机组揭缸进行全面检查。但当时面临的问题是如果揭缸,抢修恢复发电时间将大大推后。

专家组经过对地震前后机组本体数据的多次慎重研究认为,鉴于 31 号、32 号机组盘车电流、盘车时转子声音等正常,与地震前无明显差别,在对以下项目进行认真检查的情况下,可不揭缸全面检查。

1)对汽轮机基础进行沉降和倾斜观测并与历史记录作对比。

2)汽轮机本体所有轴承应翻瓦检查,测量转子扬度(中心复查、找正)检查滑销系统。

3)启动冲转时按基建调试机组方式进行。

经过对上述项目的严格检查,特别是在对轴承翻瓦检查过程中,发现个别轴承有损伤并进行了更换处理;31 号、32 号机组启动调试时在冲转、带负荷及满负荷过程中震动、胀差、轴向位移等指标均正常,个别指标甚至优于震前水平。

## 3 结 语

按照“安全、科学、有力、有序、有效”的原则,在专家组的指导和各级人员的共同努力下,巴蜀江油发电厂 32 号机组于地震后第 48 天并网发电并按调度命令接带负荷,31 号机组于 7 月 14 日并网发电,均比计划提前恢复发电;33 号、34 号机组也正在按照综合性评价专家组的意见和技术方案进行修复,力争年底全面恢复发电。目前 31 号、32 号机组安全、稳定运行,为抗震救灾、迎峰度夏及保奥运用电做出了贡献。巴蜀江油发电厂 330 MW 机组强地震后抢修恢复发电组织和重大技术方案研究,也为今后处理同类事件提供了宝贵的经验和积极的借鉴作用。

(收稿日期:2008-10-13)

(上接第 65 页)

线路名称	TA	过流定值	线路长度	折算线路标么值 L	在炳灵官站出口处发生短路的阻抗	并列阻抗	总阻抗	在炳灵官站出口处发生短路的阻抗	分路电流	灵敏度校验	结论 $K_{lm} >= 1.3$
炳城一路 921	600/5	5	3.2	1.350 6	炳灵官站侧阻抗	0.620 6		流过炳灵官站侧电流	6 219.9	10.4	满足要求
广城二路 906	600/5	5	1.7	0.670 6	广汉站侧阻抗	3.398 2	0.524 8	0.642 5	7 413.64	1.91	满足要求
炳城四路 926	600/5	5.6	6.2	2.444 4	炳灵官站侧阻抗	0.620 6		流过炳灵官站侧电流	6 268.8	9.33	满足要求

## 6 结束语

通过建立简化的 10 kV 配电网合环计算模型,计算合环冲击电流、稳态电流,进行合环状态下保护灵敏度校验,规避了常规潮流计算需要的大量数据和相关软硬件支持,为调度人员进行 10 kV 配网合环操作提供指导,为不停电转移负荷,提高供电可靠性具有积极的意义。

### 参考文献

[1] 刘天琪、丘晓燕. 电力系统分析理论 [M]. 四川大学出版社, 2003 年 1 月.

[2] 幸荣霞,姚爱明. 环网合环操作的分析 [J]. 浙江电力, 2007, (1): 66-68

[3] 陈 衍. 电力系统稳态分析 [M]. 北京, 水利电力出版社, 1985.

### 作者简介:

陈 曦, 硕士, 工程师, 四川省电力公司德阳电业局调度中心主任工程师

曾勇波, 硕士, 四川省电力公司德阳电业局广汉供电局可靠性专责。

叶 涛, 硕士, 高级工程师, 四川省电力公司德阳电业局调度中心主任。

张 玻, 学士学位, 工程师, 现任四川省电力公司德阳电业局广汉供电局生技科长。

(收稿日期:2008-12-04)