

10 kV 配网合环转电计算模型与试验分析

邹俊雄¹, 周冠波², 付轲², 蔡泽祥²

(1. 广东电网公司广州供电局, 广东 广州 510620; 2. 华南理工大学电力学院, 广东 广州 510640)

摘要: 电磁合环可提高地区电网供电可靠性, 但由于合环时存在的风险, 合环操作的影响因素及可能引起的安全问题没有进行过现场试验论证。根据广州番禺区局同一 220 kV 片网和不同 220 kV 片网之间的 10 kV 馈线合环现场实验, 建立了合环等值模型, 进行潮流计算, 分析了试验数据, 具体研究电磁合环对电网运行的影响。结果表明外网等值、电压、负荷等是影响合环安全的重要因素。对降低合环操作的电网风险和供电可靠性具有重要意义。

关键词: 电磁合环; 现场试验; 计算模型; 10 kV 配网

Electromagnetic loop closing calculation model and experimental analysis on 10 kV distribution network

ZOU Jun-xiong¹, ZHOU Guan-bo², FU Ke², CAI Ze-xiang²

(1. Guangzhou Power Supply Bureau, Guangzhou 510620, China;

2. Electric Power College, South China University of Technology, Guangzhou 510640, China)

Abstract: It improves the reliability of power supply in regional power network by electromagnetic loop closing operation. Because of the risk, its influencing factors and security problems are not proved by field test. By the field test on taking loop closing operation on feeder line in Panyu in Guangzhou 10 kV distribution network, this paper establishes its equivalent model, calculates power flow, analyzes test results, and does specific study on the effect to the power network operation by electromagnetic loop closing operation. The results show that external network equivalence, voltage and line load are important factors on safety of loop closing operation. This paper has importance to reducing the power network operation risk and improving the reliability of power supply.

Key words: electromagnetic loop closing; field experiment; calculation model; 10 kV distribution network

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)08-0144-05

0 引言

目前地区电网不同分区间合环操作普遍采用“先断后通”方式, 操作过程中需短时停电, 降低了供电连续性。若采用合环转电方式, 合环时的电网潮流分布受系统运行影响较大^[1], 现有的技术分析手段有限, 目前调度人员进行合环转电操作时, 只能依靠以往经验, 没有系统的操作原则, 调度人员难把握, 存在操作风险^[2]。一般进行合环操作时, 受系统运行状况和电网参数影响, 将可能出现因合环潮流过大而引起设备过载, 继电保护误动, 短路电流超标, 电磁环网引起事故扩大等风险, 影响电网安全^[3]。

以广州番禺区迎宾路 10 kV 吉盛开关合环为例, 建立合环等值模型并进行潮流计算^[4]。现场试验过程中记录合环时负荷参数、线路参数, 实测母线电压、合环两侧电流等重要参数, 根据试验结果

与 BPA 潮流计算结果的对比, 对地区电网 10 kV 系统电磁合环操作进行研究, 分析合环操作对电网运行的影响。

1 合环试验方式

试验选取番禺地区 110 kV 南村站 10 kV II A 母线上的 F17 和 110 kV 城北站 10 kV III 母线上的 F27 进行合环, 分别进行不同片网和同一片网下的两次试验。

涉及合环操作的 220 kV 番禺站、220 kV 迎宾站、110 kV 城北站、110 kV 南村站四站运行方式如下: 番禺站 110 kV 1M、2M 母线通过母联开关并列运行; 迎宾站 110 kV 1M、2M、5M、6M 母线通过母联和分段开关并列运行; 城北站 110 kV 1M、2M 母线分列运行, 分别由番城甲、乙线供电, #1 主变挂 1M 母线, #2、#3 主变挂 2M 母线; 南村站 110 kV 1M、2M 母线分列运行, #1 主变挂 1M 母线, #2、

#3 主变挂 2M 母线, 1M 母线由迎南线供, 2M 母线由番迎线供。

试验一(番禺网内合环): 番迎线由番禺站供电, 迎宾站侧开关热备用; 南村站 F17 和城北站 F27 均由番禺站供电, 合环示意图如图 1 所示。

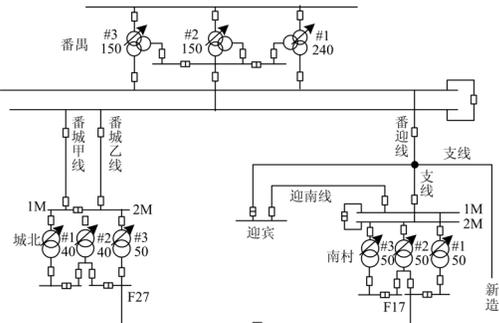


图 1 番禺网内合环示意图

Fig.1 Loop-closing in Panyu net

试验二(迎宾—番禺网合环): 番迎线转由迎宾站供电, 番禺站侧开关热备用; 南村站 F17 转由迎

宾站供电, 城北站保持由番禺站供电不变, 合环示意图如图 2 所示。

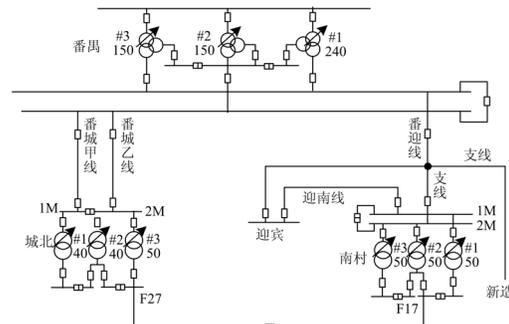


图 2 番禺-迎宾网合环示意图

Fig.2 Loop-closing between Panyu and Yingbin net

试验中分别采用直接测量和由馈线所在变电站 10 kV 母线电压、相角和馈线初始负荷推算的两种方式获取合环开关两侧电压和相角差, 其中变电站 10 kV 母线电压和相角由调度员潮流计算结果提供。试验参数记录于表 1。

表 1 合环实测参数

Tab.1 Measured parameters of loop-closing

合环方式	记录时间	馈线编号	变电站侧 馈线 电流/A	所在主变			所在 10 kV 母线电压/kV	合环开关 本侧电压 /kV	合环开 关相角 差/(°)	10 kV 母 线相角 差/(°)
				有功负荷 /MW	无功负荷 /Mvar	变低电流 /A				
番禺 网内 合环	合环前	城北 F27	64	13	-0.5	726	10.4	10.39	2	0.91
	合环前	南村 F17	56	16	1	960	10.4	10.48		
	合环期间	城北 F27	128	14.1	-0.6	797	10.4	10.3	1	/
	合环期间	南村 F17	32	15.6	1.3	930	10.3	10.3		
迎宾- 番禺 网合 环	合环前	城北 F27	60	12	-2.2	638	10.6	10.6	4	2.82
	合环前	南村 F17	55	29.5	4	1 644	10.7	11		
	合环期间	城北 F27	130	12.4	2	696	10.5	10.52	1	/
	合环期间	南村 F17	80	28.3	2.7	1 629	10.4	10.52		

2 合环网络等值与仿真计算

2.1 合环网络等值

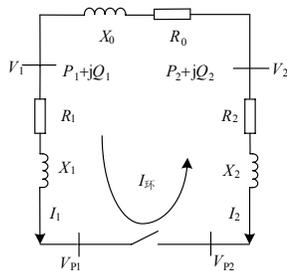


图 3 保留合环支路合环等值电路

Fig.3 Equivalent circuit by reservation of loop-closing branch

采用网孔等值算法, 在已知馈线及所在 110 kV 主变阻抗、合环前馈线负荷(初始负荷)和合环开关两侧电压、相角差的情况下, 可通过初始潮流、均衡潮流的叠加原理计算馈线合环潮流。对试验网络进行网孔等值并保留合环支路, 10 kV 合环等值电路如图 3 所示。

以图 3 中 V_2 电压为参考相量, 假设 V_1 的相角为 δ_{12} , $R_0 + jX_0$ 为除去两合环支路阻抗外的合环端口等值阻抗, 设合环等值总阻抗为 $R + jX$ 、 $P_1 + jQ_1$ 、 $P_2 + jQ_2$ 分别为从 10 kV 母线端沿两条合环馈线输送的最大功率, 以上各参数假定已知。

V_{p1} , V_{p2} 分别为合环开关两侧的电压, I_{10} 、 I_{20} 分别为两条馈线的初始电流。根据电路原理可知:

$$V_{p1} = V_1 - I_1(R_1 + jX_1) = V_1 - (\Delta V_1 + \delta V_1) = V_1 \cos \delta_{12} + jV_1 \sin \delta_{12} - (\Delta V_1 \cos \delta_{12} + j\Delta V_1 \sin \delta_{12} + \delta V_1 \cos(\delta_{12} + 90^\circ) + j\delta V_1 \sin(\delta_{12} + 90^\circ))$$

$$V_{p2} = V_2 - I_2(R_2 + jX_2) = V_2 - (\Delta V_2 + \delta V_2)$$

其中:

$$\Delta V_1 = \sqrt{3}(I_1 R_1 \cos \varphi_1 + I_1 X_1 \sin \varphi_1)$$

$$\delta V_1 = \sqrt{3}(I_1 X_1 \cos \varphi_1 - I_1 R_1 \sin \varphi_1)$$

$$\Delta V_2 = \sqrt{3}(I_2 R_2 \cos \varphi_2 + I_2 X_2 \sin \varphi_2)$$

$$\delta V_2 = \sqrt{3}(I_2 X_2 \cos \varphi_2 - I_2 R_2 \sin \varphi_2)$$

合环两侧电压差异引起的环流:

$$I_{环} = \frac{V_{p1} - V_{p2}}{\sqrt{3}(R + jX)}$$

馈线 1 初始电流为:

$$I_{10} = I_{10} \cos(\arccos(\cos \varphi_1) - \delta_{12}) - jI_{10} \sin(\arccos(\cos \varphi_1) - \delta_{12});$$

馈线 2 初始电流为:

$$I_{20} = I_{20} \cos \varphi_2 - jI_{20} \sqrt{1 - \cos^2 \varphi_2};$$

合环后流经馈线 1 的电流: $I_1 = I_{10} + I_{环}$; 合环后流经馈线 2 的电流: $I_2 = I_{20} - I_{环}$

2.2 合环仿真计算

采用 BPA 软件仿真合环时全网潮流。以南网、广东电网 08 年冬大方式为背景, 加入广州地区 110 kV 线路、主变和南村 F17、城北 F27 馈线参数组成, 并截取 10 月 21 日峰断面进行合环潮流计算。同时, 根据全网潮流计算的合环前 10 kV 母线电压和相角数值, 计算基于网孔等值算法的馈线合环潮流。仿真计算中, 忽略各支线路阻抗, 直接将各支线负荷挂至干线分段节点, 合环后潮流计算结果如表 2 所示。

表 2 全网潮流合环后参数

Tab.2 Power flow data after loop-closing

母线	电压/kV	功角	电流/A	有功/MW	无功/MVar
番禺网 合环点	10.58	-40.5	9	-0.1	0.1
内合环 南村站 10 kV IIM	10.69	-40.0	249	4.0	1.6
城北站 10 kV IIIM	10.71	-40.2	385	6.3	2.2
番禺-迎 合环点	10.78	-36.3	237	4.1	0.1
宾网合 南村站 10 kV IIM	11.09	-33.1	479	8.1	1.8
环 城北站 10 kV IIIM	10.78	-36.8	180	2.2	2.2

注: 规定功率方向流出母线为正, 合环点处正方向同南村站母线。

表 3 考虑测量误差和调度员潮流计算误差的合环潮流计算

Tab.3 Calculation of loop-closing power flow by considering measurement error and calculation error of dispatcher

合环方式	相角计算方式	馈线编号	合环电流 /A	所在 10 kV 母线 电压/kV	合环开关本侧电 压/kV	合环开关相角 差/(°)	10 kV 母线相 角差/(°)
番禺网合 环	调度员潮流	城北 F27	111	10.4	/	1.435	0.955
	计算	南村 F17	36	10.4	/		
	开关实测	城北 F27	120	/	10.34		
		南村 F17	40	/	10.31		
迎宾-番禺 网间 合环	调度员潮流	城北 F27	167	10.6	/	3.16	2.66
	计算	南村 F17	102	10.7	/		
	开关实测	城北 F27	186	/	10.54		
		南村 F17	117	/	10.61		

注: 电压、相角差为合环前参数; 除 10 kV 母线相角差、合环电流外, 均为实测参数; 粗体数值表示修正后数据。

2.3 考虑测量误差和调度员潮流计算误差的合环计算

与实测电流对比,直接采用开关实测参数或不同片网间调度员潮流结果计算所的馈线合环电流存在较大误差。根据现场测试记录,由于仪表精度影响,合环开关两侧相角测量值存在 1° 误差。另外,因调度员潮流忽略外网等值影响,在计算番禺—迎宾网 10 kV 母线相角差时也存在一定误差,故需要对馈线压降和相角偏移推算。

根据计算,两回馈线开环时从母线到开关的电压降在 0.1 kV 以内,相角偏移在 0.5° 左右。考虑到开关两侧实测数据存在较大的误差,因此以变电站母线电压为基准推算出修正后的开关两侧电压和相角。以推算电压直接作为开关的修正电压,以推算相角和开关实测相角平均值作为修正相角。考虑测量误差和调度员潮流计算误差的合环潮流计算结果如表 3 所示,表 4 为实测与计算结果的对比。

由表 4 可见,对实测参数和调度员潮流计算结果修正后,馈线合环电流的计算误差在工程计算误差范围内,说明相角和电压偏差对合环电流分布的有较大影响,特别是相角的影响灵敏度高。其中相同片网合环的计算潮流已接近实测电流,但不论何种合环方式,采用由 10 kV 母线参数推算环流的方法都具有较小的计算误差,反映开关两侧实测电压、相角数据存在较大误差。

表 4 合环潮流计算与实测量对比

Tab.4 Comparison of calculation data and measured parameter

合环方式	馈线编号	馈线合环电流/A		相对误差	
		理论计算	实测量		
番禺网合环	城北 F27	用母线参数	111	128	13%
	南村 F17	推算	36	32	13%
	城北 F27	用开关参数	120	128	6%
	南村 F17	推算	40	32	25%
迎宾-番禺网间合环	城北 F27	用母线参数	167	130	28%
	南村 F17	推算	102	86	19%
	城北 F27	用开关参数	186	130	43%
	南村 F17	推算	117	86	36%

2.4 合环前后潮流的变化对比

表 5 是两种计算方式下试验合环前后潮流分布结果,其值按修正后参数计算。从表中可以发现,试验中,合环前后馈线潮流的分布发生较大变化:

- 1) 两条馈线电流幅值之和大于合环前的初始电流;
- 2) 一回馈线功率因数提高在 1 左右,另一回馈线功率因数大幅下降至 0.5 左右;
- 3) 馈线有功、无功潮流方向相反。这是由于合环均衡潮流的存在,改变了馈线有功、无功潮流的分布,甚至在两条母线产生穿越功率,从而引起电流幅值的变化。其中,合

表 5 合环前、后潮流分布对比

Tab.5 Comparison of power flow before and after loop-closing

合环方式	馈线编号	计算方式	合环前		合环后	
			馈线电流	功率因素	馈线电流	功率因素
番禺网合环	城北 F27	用母线参数	64	0.9	111	0.987
	南村 F17	推算	56	0.9	36	0.13
	城北 F27	用开关参数	64	0.9	120	0.995
	南村 F17	推算	56	0.9	40	0.248
迎宾-番禺网间合环	城北 F27	用母线参数	60	0.9	167	0.98
	南村 F17	推算	55	0.9	102	0.632
	城北 F27	用开关参数	60	0.9	186	0.973
	南村 F17	推算	55	0.9	117	0.633

环前两侧相角的差异主要改变有功潮流,两侧电压的差异主要改变无功潮流。

3 馈线保护分析

试验过程中,系统保持正常方式,继电保护按正常方式下整定运行,10 kV 馈线保护的整定计算原则如表 6 所述(I_N 为 CT 二次侧额定电流)。

表 6 10 kV 馈线保护配置

Tab.6 Protection scheme of 10 kV feeder

		一次电流/A	时限/s
相间电流保护	限时速断保护电流定值	3 000	0.3
	定时限过流保护电流定值	$1.3I_N$	0.9
零序过流保护	跳闸	60	1
	发信	25	1.2
过负荷保护	发信	$0.9I_N$	5

试验实测馈线最大稳态电流 130 A, 小于限时速断保护电流定值(一次值 3 000 A, 时限 0.3 s)和定时限过流保护电流定值 ($1.3I_N=780$ A, 时限 0.9 s); 馈线保护过流速断 3 000 A 和延时 $1.3I_{CT}=780$ A, 且馈线载流量小于 1 852 A, CT 一次电流小于 1 000 A, 均满足保护整定的合环条件。试验过程中无发生保护误动等异常情况。

4 结论

本文主要介绍了 10 kV 配网电磁合环试验, 建立等值计算模型, 通过试验结果的分析和 BPA 潮流计算研究配网合环操作对电网安全运行的影响, 并得出以下结论:

(1) 试验表明, 在满足技术条件的情况下, 10 kV 线路可进行合环操作。但合环条件与线路负荷、载流量、所在母线电压和相角等密切相关, 应具体计算分析。

(2) 在预知合环开关两侧电压、相角差及馈线初始负荷的情况下, 可采用网孔等值算法计算合环潮流, 其计算精度可满足工程要求。合环开关两侧电压、相角差可分别由开关现场测量或由馈线所在变电站母线电压、相角推算获取, 其中变电站相角由调度员潮流提供。

(3) 合环潮流受电压、相角影响大, 应尽可能提高电压、相角测量和潮流计算精度, 并准确反映环路阻抗参数和馈线负荷分布情况。当开关两侧不具备测量条件或电压、相角测量误差较大时, 宜采取调度员潮流计算母线相角参数, 但计算不同片网调度员潮流时需提高外网等值精度。

(4) 合环过程中, 由于环流影响, 馈线有功、无功负荷重新分布, 可能出现馈线电流幅值和大于初始电流的情况, 且一回馈线功率因数提高在 0.9 以上, 另一回馈线功率因数下降至 0.5 左右。

参考文献

- [1] 曹亮, 孔峰, 陈昆薇. 一种配电网的实用潮流算法[J]. 电网技术, 2002, 26 (11): 58-60.
CAO Liang, KONG Feng, CHEN Kun-wei. A Practical Algorithm of Load Flow Calculation for Distribution Power System[J]. Power System Technology, 2002, 26 (11): 58-60.
- [2] 于建辉, 周浩, 陆华. 杭州 10 kV 配电网合环问题的研究[J]. 机电工程, 2007, 24 (10): 54-57.
YU Jian-hui, ZHOU Hao, LU Hua. Research on Hangzhou 10 kV Distribution Network Closing Loop Operation[J]. Mechanical and Electrical Engineering Magazine, 2007, 24 (10): 54-57.
- [3] 杨志栋, 刘一, 张建华, 等. 北京 10 kV 配网合环试验与分析[J]. 中国电力, 2006, 39 (3): 66-69.
YANG Zhi-dong, LIU Yi, ZHANG Jian-hua, et al. Loop Closing Examination and Analysis on Beijing 10 kV Distribution Network[J]. Electric Power, 2006, 39 (3): 66-69.
- [4] 夏翔, 熊军, 胡列翔. 地区电网的合环潮流分析与控制[J]. 电网技术, 2004, 28 (22): 76-80.
XIA Xiang, XIONG Jun, HU Lie-xiang. Analysis and Control of Loop Power Flow in Regional Power Network [J]. Power System Technology, 2004, 28 (22): 76-80.

收稿日期: 2009-05-19; 修回日期: 2009-09-15

作者简介:

邹俊雄(1977-), 男, 工程师, 从事调度运行管理工作; E-mail: zgong@tom.com

周冠波(1985-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统保护、控制与自动化;

付轲(1985-), 男, 硕士研究生, 研究方向为电力系统保护、控制与自动化。

(上接第 66 页 continued from page 66)

- [3] 吴杰余, 张哲, 尹项根, 等. 电气二次设备状态检修研究[J]. 继电器, 2002, 30(2): 22-24.
WU Jie-yu, ZHANG Zhe, YIN Xiang-gen, et al. Study on Condition-based Maintenance of Electrical Secondary Equipment[J]. Relay, 2002, 30 (2): 22-24.
- [4] 陈绍光. 电力系统二次设备状态检修探讨[J]. 云南水力发电, 2005, 21(5): 53-56
CHEN Shao-guang. Condition - based Maintenance of Electrical Secondary Equipment for Power Systems[J]. Yunnan Water Power, 2005, 21(5): 53-56.
- [5] Power Systems Engineering Research Center. Integration of Substation IED Information into EMS Functionality

Final Project Report[EB/OL]/ <http://www.pserc.org>, 2008.

收稿日期: 2009-06-04; 修回日期: 2009-07-08

作者简介:

马晋辉(1974-), 男, 高级工程师, 硕士研究生, 主要从事电力系统继电保护运行管理、工程设计工作; E-mail: hn_mjh@126.com

赵文博(1953-), 男, 教授级高级工程师, 本科, 主要从事发电厂技术管理工作;

杨耀文(1965-), 男, 高级工程师, 本科, 主要从事发电厂检修管理工作。