

## 厂用电大功角切换问题探讨

兀鹏越<sup>1</sup>, 何信林<sup>1</sup>, 王团结<sup>1</sup>, 沈海晨<sup>2</sup>, 张永辉<sup>2</sup>, 田申强<sup>2</sup>

(1. 西安热工研究院有限责任公司, 陕西 西安 710032; 2. 华能上安电厂, 河北 石家庄 050310)

**摘要:** 发电厂厂用电工作电源与备用电源属于同一个大电网系统, 在一些特殊情况下, 两者之间也会有大的功角, 导致厂用电切换无法采用并联方式。针对上述问题, 结合上安#5 机组启动试验, 对同系统厂用电大功角切换问题进行了探讨, 纠正了某些厂用电切换的不正确观点, 提出了合理的切换方式, 并经过试验验证其合理性。

**关键词:** 厂用电; 切换; 功角

### Discussion of power supply transfer in big power angle

WU Peng-yue<sup>1</sup>, HE Xin-lin<sup>1</sup>, WANG Tuan-jie<sup>1</sup>, SHEN Hai-chen<sup>2</sup>, ZHANG Yong-hui<sup>2</sup>, TIAN Shen-qiang<sup>2</sup>

(1. Thermal Power Research Institute of Xi'an, Xi'an 710032, China;

2. Huaneng Shang'an Power Plant, Shijiazhuang 050310, China)

**Abstract:** Plant power supply and standby power supply of power plant belong to the same power grid system, bigger power angle between them may induce that power supply transfer of power plant can not adopt parallel connection in some special conditions. For the problem above, based on start-up test of Huaneng Shang'an power plant, this paper discusses the problem of the same power grid system's power supply transfer in big power angle, and rectifies some inaccurate viewpoints on power supply transfer. It puts forward an appropriate power supply transfer mode, and testifies the rationality of this mode by test.

**Key words:** power-supply; transfer; power-angle

中图分类号: TM76 文献标识码: B 文章编号: 1674-3415(2010)07-0059-04

## 0 引言

发电机组的备用电源与工作电源可以是同一系统, 也可以是不同系统。一般在同一系统时, 两者间功角为  $0^\circ$  或者很小, 厂用电正常切换可以采用并联方式, 即“先合后跳”, 两个电源之间可以短时间并联运行, 切换期间厂用母线不失电; 如果备用电源与工作电源在不同系统, 两者间功角一般不为  $0^\circ$ , 当这个角度比较大的时候, 厂用电正常切换就无法采用并联方式, 而要采用串联方式, 即“先跳后合”, 备用电源跳开以后再合上工作电源, 这样一来, 厂用母线必然有短时的失电。很显然, 前种切换方式的安全性高于后者。

然而, 在有的特殊情况下, 即便是同系统间, 备用电源与工作电源也存在较大的功角。例如起备变与机组处于不同的电压等级, 且在远端连接, 在有些运行方式下, 备用电源与工作电源间功角就很大。大功角情况下的并联切换, 必然产生环流, 环流可能导致保护误动, 也会对变压器造成一定损坏。

对于这种情况的切换问题, 本文结合上安电厂#5 机组整套启动调试实践进行了研究, 分析了并联切换时功角与环流的关系、运行方式与功角的关系, 分析了串联切换的失电时间, 得出了不同运行方式下的合理的切换方式。

## 1 上安电厂系统简介

上安电厂共三期工程, 一期 ( $2 \times 350$  MW) #1、#2 机组送出为 220 kV 升压站, 二期 ( $2 \times 300$  MW) #3、#4 机组和三期工程 ( $2 \times 620$  MW) #5、#6 机组送出为 500 kV 升压站。这两个升压站均经输电线 (约 40 km) 接入河北南网, 在保北变电站经联络变互联, 所以 220 kV 升压站和 500 kV 升压站属于同一个系统。

#5、#6 机组高压厂用电电压采用 6 kV, 设 1 台分裂高压厂用变压器, 两台机组设 1 台同容量的启动/备用变压器。#5、#6 机组启动/备用电源为取自本厂 220 kV 母线, 因此, 高厂变低压侧与起备变低压侧也是同一个系统。



$$I_c = \frac{\Delta E}{Z_{k1} + Z_{k2}} = \frac{\dot{U}_{by} - \dot{U}_{gz}}{Z_{k1} + Z_{k2}}$$

式中:  $I_c$  为环流;  $U_{gz}$  为工作分支的电压;  $U_{by}$  为备用分支的电压;  $Z_{k1}$  为高厂变短路阻抗;  $Z_{k2}$  为起备变短路阻抗。

可以看出, 该环流正比于压差, 而压差又主要受角差影响, 因此在大功角下切换, 必然产生很大的环流。

还要指出, 大功角下#5 厂高变和#3 起备变的并联运行, 还存在这两个变压器之间的功率交换, 还将产生一定的附加电流, 这里不再详述。

#### 4 并联切换试验

以上分析可见, 影响两个变压器并联环流的因素较多, 相互影响复杂, 定量分析较难。在#5 机组整套启动调试期间, 在功角不大于  $12^\circ$  的情况下, 进行了多次并联切换试验。图 2 是典型的试验波形, 几次试验的功角与冲击电流关系见表 2。

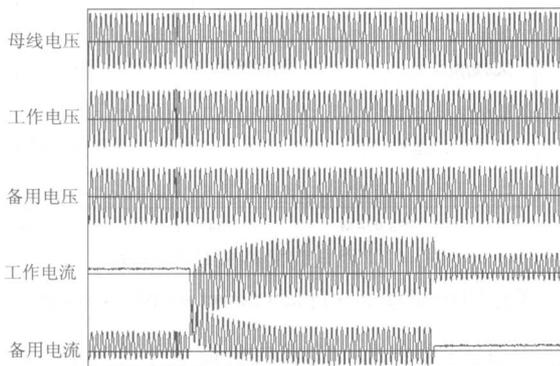


图 2 并联切换波形 (备用切工作)

Fig.2 The diagram of parallel switching waveform (standby power supply switch over plant power supply)

表 2 不同功角下的冲击电流

Tab.2 Impact current in different power angle

序号	功角 / ( $^\circ$ )	最大冲击电流 / A		负荷电流 / A	备注
		工作分支	备用分支		
1	10.3	3 550	2 550	1 750	工作切备用
2	10.2	3 550	2 600	1 750	工作切备用
3	11.4	2 900	1 550	1 750	备用切工作
4	11.4	2 850	1 350	1 750	备用切工作

由图 2 可见, 切换后前几个周波的冲击电流远大于负荷电流, 而且波形发生畸变, 偏向坐标轴的

一侧。在工作分支和备用分支短时并联过程中, 环流也比正常负荷电流大得多。由表 2 可知, 最大的冲击电流幅值达到负荷电流 2 倍多。

尽管在以上几次试验都很成功, 切换期间厂用母线电压平稳无波动, #5 机组和#3 起备变保护无误动, #5 机厂用系统无异常, 说明变压器质量较好, 过负荷能力强, 保护系统也很可靠。但是要看到, 变压器并联环流大小有随机性, 有时其瞬时值相当大。虽然短时间内的该环流是允许的, 但必然会对变压器造成一定的隐性损害, 长期积累也不容小视。

如果环流过大, 将会对变压器造成损坏, 甚至导致保护误动。1998 年 5 月 20 日和 23 日, 上安电厂 3#机正常运行带负荷 200 MW 以上, 厂工作段由启动变带, 当时同期条件满足, 手动快速切换 3A2 段成功, 当手动快速切换 3A1 段时, 切换成功后单元变差动保护动作。事后从变压器保护录波图上看切换成功后瞬间冲击电流很大, 3A1 段 B 相电流有畸变, 出现非周期分量, 导致保护误动作。

#### 5 串联切换试验

鉴于并联切换方式导致变压器产生环流的问题, 有必要考虑采取不会产生环流的串联切换方式。

串联切换也是厂用电正常切换方式的一种, 即切换装置自动跳开工作电源, 经小延时同时合上备用电源。由于是“先跳后合”, 厂用电母线会有短时间的失压。这个时间越短, 对厂用电影响越小, 但是由于开关跳合闸时间的离散性, 如果时间太短可能会导致变压器并联; 这个时间如果过长, 则在失电期间厂用母线电压下降, 一些厂用负荷可能会跳掉。因此, 串联切换的关键问题是在保证变压器不会并联的前提下, 尽量减小母线失电时间。

目前 6 kV 真空开关的跳闸时间在 40 ms, 合闸时间在 50 ms, 跳闸时间略小于合闸时间。为了防止开关跳合闸时间的离散性带来的误差, 保证串联安全切换, 在快切装置中设置串联切换延时为 0.03 s。这样, 理论上母线失电时间为 40 ms 左右。在#5 机组带负荷情况下, 进行了厂用电的手动串联切换, 切换波形见图 3, 切换事件顺序记录见表 3。

由图 3 及表 3 可见, 工作开关跳闸到备用开关合闸时间为仅 39 ms, 时间极短。在此时间内, 虽然母线上没有电源供电, 但是由于电动机的反馈电势存在, 实际上母线电压几乎没有下降, 切换期间厂用母线电压基本平稳, #5 机厂用负荷正常运行, #5 机组和#3 起备变保护无误动。试验结果说明串联切换方式可以满足正常切换的要求, 串联切换延时的设置也是合理的。

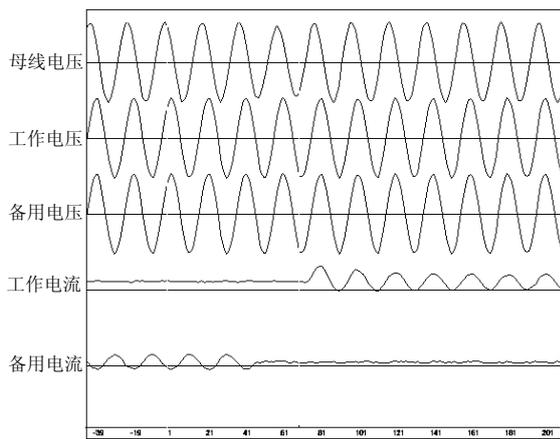


图 3 串联切换波形

Fig.3 The diagram of series connection switching waveform

表 3 串联切换过程事件顺序记录

Tab.3 The sequence record of series connection switching

序号	时间	事件记录
1	19 时 55 分 18 秒 425 毫秒	启动切换
2	19 时 55 分 18 秒 432 毫秒	发“跳工作”脉冲
3	19 时 55 分 18 秒 459 毫秒	发“合备用”脉冲
4	19 时 55 分 18 秒 465 毫秒	工作分支开关分位
5	19 时 55 分 18 秒 504 毫秒	备用分支开关合位

需要指出的是，在某些非正常情况下，串联切换也存在切换失败的风险。例如当工作电源跳掉以后，备用电源开关故障拒合闸，将导致厂用失电。有的快速切换装置具备在这种情况下将已经跳开的工作开关再次合上的功能，但即使如此，这时候已经错过了快速切换的时机，只能进行同期切换或者残压切换，厂用电一般会受到影响，甚至全失。如果手动抢合工作开关，则母线失电时间更长。这种事件出现的几率非常小，但是在#5 机组切换系统调试期间曾经发生过，也是采用串联切换时需要考虑到的一个问题。并联切换方式下，如果备用开关拒合，则切换装置不会跳工作开关，不会导致母线失电，这是并联切换比串联切换的一个优点。

## 6 厂用电的切换时机

为了减小并联切换期间的电流冲击，希望在小负荷、小功角的情况下及时进行厂用电切换。因此，机组并网后厂用电切换时机就至关重要。

一般来说，现行运行规程和启动方案都规定机组厂用电切换应该在机组并网后负荷 25%以上进行。有一种观点认为，这是因为当厂用负荷（一般为机组额定负荷的 5%~8%）由备用电源切换到工作电源的过程，等于将厂用负荷由启备变转移到发

电机，这样将会对发电机形成一个扰动，机组负荷越小，扰动越大，不利于启动初期的发电机稳定。当机组负荷比较大的时候，例如超过 25%，进行厂用电切换对机组的扰动会比较小。目前的厂用电切换也都是在机组并网后带负荷 25%以上进行的。实际情况是不是这样呢？

图 4 是上安#5 机组厂用切换过程中的发电机、主变、高厂变功率曲线。由图中可见，当厂用电由备用电源切换到工作电源的过程中，主变输出功率瞬时减少了厂用负荷的数量，而发电机功率平稳无波动，即厂用电切换后厂用负荷并没有对发电机出力产生冲击作用。实际上，规定负荷大于 25%进行厂用电切换的出发点，主要是考虑到负荷小于 25%时机组运行不稳定，容易跳机。过早切换厂用电，当机组跳机以后又要切回备用电源，导致厂用电反复切换。

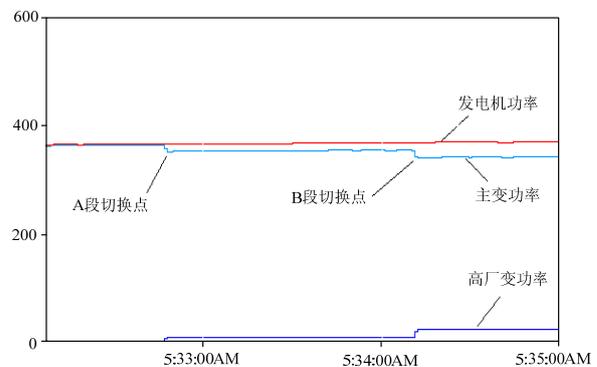


图 4 厂用电切换期间功率曲线

Fig.4 The diagram of plant power supply switching

认识到这一点，就明白负荷大于 25%进行厂用电切换的规定不是绝对的，只要并网后机组运行平稳，随时可以进行厂用电切换。这样一来，对于类似上安#5 机组这种大负荷下厂用电功角过大的情况，就可以不必拘泥于“机组负荷大于 25%进行厂用电切换”的常规，可以在小负荷、小功角的情况下及时切换。

## 7 结论

同系统间大功角下的厂用电切换采用何种切换方式宜具体问题具体分析，并联切换和串联切换各有利弊。

从保证厂用电安全的角度看，并联切换优于串联切换，但大功角带来的环流问题不容忽视，从试验数据来看，并联切换的功角宜限制在 10° 以内。因此，应从运行方式上尽量创造适合并联切换的有

(下转第 68 页 continued on page 68)

Dispatching Automation System Integration Platform Based on IEC 61970[J]. Power System Technology, 2006, 30: 89-92.

[17] 王志南, 吴文传, 等. 基于 IEC 61970 的 CIS 服务与 SVG 的研究和实践[J]. 电力系统自动化, 2005,29(22): 60-63.  
WANG Zhi-nan, WU Wen-chuan, et al. Study and Implementation of CIS and SVG based on IEC61970[J]. Automation of Electric Power Systems, 2005, 29(22): 60-63.

[18] 吴琳, 周炜. 基于 UIB 软总线的配电管理系统内部信息交互[J]. 电力信息化, 2007, 5(7): 60-62.  
WU Lin, ZHOU Wei. Intenal Information Exchange in Distribution Management System Based on UIB[J]. Power Infromationization, 2007, 5(7): 60-62.

[19] 赵龙文. 多 Agent 的层次合作模型及任务规划[J]. 华南理工大学学报: 自然科学版, 2006, 34(1): 96-100.  
ZHAO Long-wen. Layered Model and Task Planning for Multi-agent Cooperation[J]. Journal of South China University of Technology: Natural Science Edition, 2006, 34(1): 96-100.

[20] 任明, 王成道. 基于联邦结构的多 Agent 协作[J]. 华东理工大学学报, 2006, 30(3): 311-314.  
REN Ming, WANG Cheng-dao. Research of Multi-agent Cooperating Based on Federation Structure[J]. Journal of East China University of Science and Technology, 2006, 30(3): 311-314.

[21] 喻超, 毋国庆. 委托驱动的多 Agent 协调模型[J]. 计算机工程, 2006, 31(5): 18-19, 22.  
YU Chao, WU Guo-qing. Consignable Relationship-driven Coordination Model of Multi-agent Consignable Relationship-driven Coordination Model of Multi-agent[J]. Computer Engineering, 2006, 31(5): 18-19, 22.

[22] 饶元. 面向服务体系结构的企业资源计划系统应用模型与集成策略[J]. 计算机集成制造系统, 2006(10): 1570-1576.  
RAO Yuan. Application Model & Integration Strategy of SOA-based ERP System[J]. Computer Integrated Manufacturing Systems, 2006(10): 1570-1576.

[23] 吴浩, 王积鹏. 一种基于 SOA 的 MAS 设计方法[J]. 中国电子科学研究院学报, 2007(2): 19-25.  
WU Hao, WANG Ji-peng. Method for Multi-agent System Design Based on SOA System[J]. Journal of CAE IT, 2007(2): 19-25.

收稿日期: 2009-04-13; 修回日期: 2009-05-23

作者简介:

毕睿华 (1977-), 男, 讲师, 研究方向为电力信息化, 继电保护信息系统; E-mail: biruihua@126.com

杨志超 (1960-), 男, 副教授, 研究方向为自动控制, 虚拟现实仿真技术在电力系统中的应用;

王玉忠 (1966-), 男, 副教授, 研究方向为研究方向为电力系统自动化及信息化、继电保护。

(上接第 62 页 continued from page 62)  
利条件。事实证明, 有功功率大于 25% 才能进行厂用切换是不必要的, 只要机组运行平稳, 任何时候都可以切换。在低有功时候厂用电功角小, 有利于并联切换进行。

当某些特殊运行方式下, 如果功角超过切换限制值, 或者无法降低到安全范围以内, 可以采取串联切换厂用电。为保证串联切换时开关动作可靠性, 平时需加强对切换开关的检修维护。

参考文献

[1] 贺家李, 宋从矩. 电力系统继电保护原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 2004.

[2] 张兵海, 刘继安. 火力发电厂低压厂用电系统保护定值配合问题的探讨[J]. 继电器, 2006, 35 (3): 68-70.  
ZHANG Bing-hai, LIU Ji-an. Setting Guide Analysis of Relay Protection in Power Plant LV Auxiliary Power System[J]. Relay, 2006, 35 (3): 68-70.

[3] 盘学南. 运行变压器分接开关档位的调整方法[J]. 变压器, 2003,40(1): 30-31.

[4] 陈华中. 变压器原边电压不等并联运行时的环流分析[J]. 机电工程, 2001,18(5): 205-206.  
CHENG Hua-zhong. Analysis of Circulating Electric Current when the Transformer Original Side Voltage with Unequal Parallel Connection[J]. Mechanical & Electrical Engineering Magazine, 2001,18 (5): 205-206.

收稿日期: 2009-05-18; 修回日期: 2009-05-27

作者简介:

兀鹏越 (1976-), 男, 硕士, 工程师, 从事电站启动调试技术研究工作; E-mail: wupengyue@tpri.com.cn

何信林 (1978-), 男, 硕士, 工程师, 从事电站启动调试技术研究工作;

王团结 (1980-), 男, 硕士, 工程师, 从事电站启动调试技术研究工作。