

轮南电站燃气轮发电机组运行方式的试验研究

陈仁贵¹, 袁 俊¹, 吴 斌², 黄 新¹

(1. 塔里木油田 油气生产技术服务部, 新疆 库尔勒 841000; 2. 东北电力学院 研究生部, 吉林 132012)

摘 要:通过对轮南电站燃气轮机甩负荷后机组转速动态飞升过程中的有关参数的分析,并分别对有差控制、无差控制、有差无差混合运行 3 种速度控制模式下机组所表现的动态特性进行了对比,根据燃气轮机机组本身特点和电站孤网运行现状,建议电站采用有差速度控制模式。

关 键 词:燃气轮发电机组;甩负荷;速度控制模式;有差控制;无差控制

中图分类号: TM611.24 文献标识码: B

1 前 言

轮南电站二期扩建新增 3 台铭牌功率 13.5 MW 的 TITAN-130 双燃料型燃气轮发电机组,其系美国 SOLAR 公司制造。压气机为轴流式,14 级,压比为 16:1,压气机进口处布置 5 级可转导叶,保证了启停过程的可靠性。每套燃气轮发电机组均配置单元控制盘独立工作,为机组运行提供控制,如机组启动、同步并网、正常运行、停机和故障停机。单元控制盘是一个以 AB 公司的 CONTROL LOGIX 可编程控制器为核心的高度集成的控制系统,配有监视器和操作盘^[1]。该机组是 SOLAR 公司最近几年生产的适用于沙漠环境的系列中功率最大、效率最高的机组,在新疆泽普油田和塔河油田已经安装运行,表现出良好的性能。为了考核燃气轮发电机组的动态调节特性,并确定其运行方式,在投入商业运行之前,对其进行了甩负荷试验。

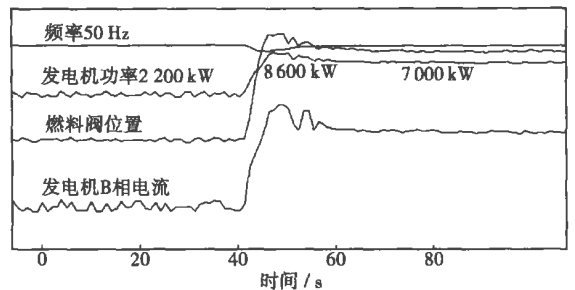
轮南电站一期工程安装美国 SOLAR 公司 3 台 MARS-100 双轴燃气轮发电机组(铭牌功率为 10 MW),与 2×8 000 kW 电站组成电网以孤网形式运行。一般说来,并网运行机组必须采用有差控制系统,并装有同步器,否则会导致运行机组之间功率分配的不稳定,也无法用同步器来进行功率调配^[2~3]。而 SOLAR 机组装有负荷分配器,可以在无差速度控制模式下并网运行,各机组的负荷分配通过负荷分配器来控制。二期工程投产后,轮南电站 6 台 SOLAR 机组的

速度控制模式究竟采用有差控制还是采用无差控制,一直是尚待解决的课题。为了确定其运行方式,提出了有差控制、无差控制、有差无差混合运行 3 种方案,通过本次甩负荷试验对上述 3 种方案进行了比较,以此作出合理的选择。本次甩负荷试验根据机组间不同的组合方式,共进行了 12 次,本文就几次有代表性的试验结果进行讨论和分析。

2 试验数据分析及速度控制模式的选择

2.1 方案一:轮南电站 6 台机组均为无差控制模式

(1)在这种控制模式下,无论系统负荷如何变化,而系统频率保持基本不变,这是无差控制模式最大的优点。图 1 是 4 号、5 号、6 号机组和 2×8 000 kW 电站机组并网运行,4 号、6 号机组采用无差控制模式,5 号机组甩全负荷 10 700 kW 时 4 号机组的运行参数变化曲线。



数据说明:起始频率为 50 Hz,机组负荷从 2 200 kW 突增到 8 600 kW 后系统频率开始下降,10 s 后频率稳定到 49.9 Hz,功率稳定在 7 000 kW,频率基本保持不变。

图 1 4 号机组接负荷后运行参数变化曲线

(2)在轮南电站电网 8 台机组中,2×8 000 kW 电站机组只能采用有差控制模式。如果 6 台 SOLAR 机组都采用无差控制模式时,2×8 000 kW 机组将不接负荷,造成系统备用容量的浪费。试验数据如表 1 所示。

表1为2号、4号、6号机组和2×8000kW电站机组并网运行，SOLAR机组采用无差控制模式6号机组用5929kW的试验数据。试验数据表明：2号和4号机组分别接了2533kW和3312kW的负荷，

共计5848kW。而2×8000kW电站两台机组甩负荷前后的负荷保持基本不变，这说明了2×8000kW电站在无差控制模式下起不到接负荷的作用。

表1 甩负荷试验参数变化

轮南电站2号机组负荷/kW		轮南电站4号机组负荷/kW		轮南电站6号机组负荷/kW		2×8000kW电站1号机组负荷/kW		2×8000kW电站2号机组负荷/kW	
甩前	甩后	甩前	甩后	甩前	甩后	甩前	甩后	甩前	甩后
2646	5179	2688	6000	5929	0	4600	4500	4200	4200
无差		无差		无差		有差		有差	

(3) 无差控制模式下的机组接负荷的动态过程功率变化量大，功率超调量大，温升率高，容易引起机组超温。4号机组分别在有差、无差控制模式下接负荷试验曲线如图2所示。

匀。在理想的无差控制模式下，功率相同的同型号机组接负荷时，初始值小的机组应多接负荷，初始值大的应少接负荷，以保证机组负荷间的合理分配。而试验数据表明情形刚好相反，目前机组在无差控制模式下的功率分配不符合理想控制状态。

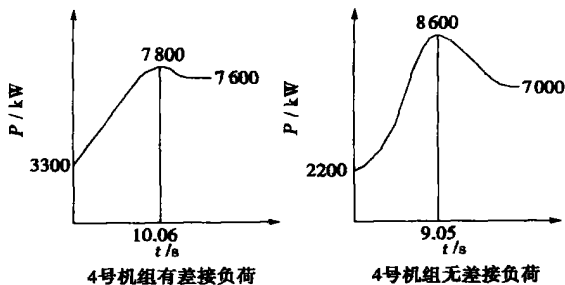


图2 4号机组接负荷时功率特性曲线

由图2可见，4号机组在有差控制模式下用10.65s接了4500kW负荷，而在无差控制模式下只用9.05s接了6400kW负荷。4号机组在有差控制模式下的功率超调量为(7800-7600)/7600=2.6%，而在无差控制模式下的功率超调量为(8600-7000)/7000=22.9%。

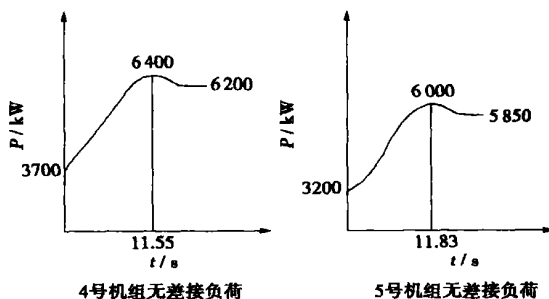


图3 4号、5号机组接负荷时功率特性曲线

(4) 从试验数据上来看，在无差控制模式下，同型号的TITAN机组间的功率分配不太理想。图3为2号、4号、6号TITAN机组与2×8000kW电站机组并网运行，TITAN机组均采用无差控制模式，2号机组用5250kW负荷时，4号、5号TITAN机组的功率特性曲线；图4为4号、5号、6号TITAN机组与2×8000kW电站机组并网运行，TITAN机组均采用无差控制模式，5号机组用5250kW负荷时，4号、6号TITAN机组的功率特性曲线。

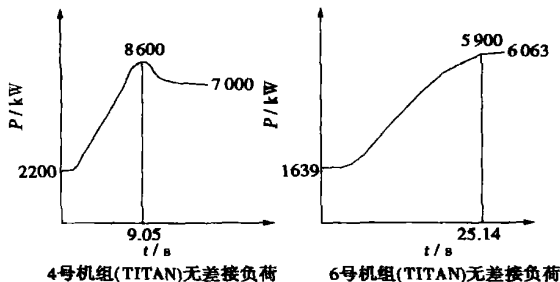


图4 4号、6号机组接负荷时功率特性曲线

从图3和图4中可以看出，同型号的两台TITAN机组在无差运行方式下接负荷的特性相差也很大：4号机组接负荷较快，功率超调量大，说明同型号机组在无差控制模式下接负荷时功率分配不均

2.2 方案二：轮南电站6台机组均为有差控制模式

(1) 在并列运行的机组中，若电网负荷发生变化，有差控制模式下的每一机组的负荷变化量与该机组的额定功率成正比，与其调节系统的不均匀度成反比^[4]。表2为2号、5号、6号机组和2×8000kW电站机组并网运行，所有机组均在有差控制模

式下 6 号机组接收 8 000 kW 负荷时的情况

表 2 甩负荷试验参数变化

轮南电站 2 号			轮南电站 5 号			2×8 000 kW 电站			2×8 000 kW 电站		
机组负荷/kW			机组负荷/kW			1 号机组负荷/kW			2 号机组负荷/kW		
甩前	甩后	ΔP	甩前	甩后	ΔP	甩前	甩后	ΔP	甩前	甩后	ΔP
1 500	4 800	3 300	2 500	6 500	4 000	4 300	4 700	400	4 000	4 200	200

由此可以看出, 额定容量越大的机组, 所接负荷也越多, 功率分配比较理想。

(2) 2×8 000 kW 电站机组也能参与系统负荷分配, 可以利用网上所有有差控制模式下机组的发电能力。表 3 所示为所有机组均在有差控制模式下, 2×8 000 kW 电站两台机组接负荷情况。从表 3 中可以看出: 在有差控制模式下, 2×8 000 kW 电站的两台机组均能接受一定数量的负荷。

表 3 甩负荷试验参数变化

轮南电站 1 号		轮南电站 2 号		2×8 000 kW 电站		2×8 000 kW 电站	
机组负荷/kW		机组负荷/kW		1 号机组负荷/kW		2 号机组负荷/kW	
甩前	甩后	甩前	甩后	甩前	甩后	甩前	甩后
2 800	5 100	3 200	5 560	4 200	4 300	4 000	4 300
3 400	5 800	2 972	5 179	4 100	4 500	4 200	4 300
1 495	5 200	2 580	5 700	4 300	4 700	4 000	4 200

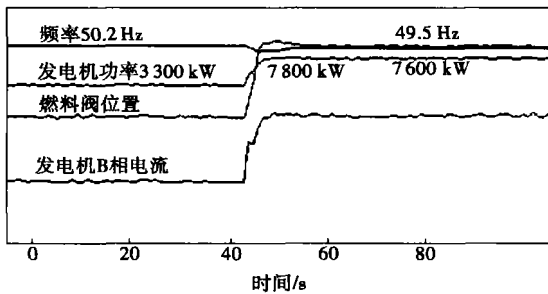


图 5 4 号机组接负荷后运行参数变化曲线

(3) 机组接负荷时功率超调量小, 系统功率控制比较稳定。图 5 和图 6 是 4 号、5 号、6 号机组与 2×8 000 kW 电站机组并网运行, 4 号、5 号机组均为有差控制模式 6 号机组甩 9 900 kW 负荷时 4 号机组、5 号机组的运行参数变化曲线。从图 5 和图 6 中可以看出这两台机组接负荷时功率超调量基本上为零, 这有利于机组在电网突变情况下功率的平稳过渡。

(4) 系统频率随着系统负荷的变化而变化, 必要时需要二次调频。图 5 数据表明: 起始频率为 50.2 Hz, 接负荷后频率为 49.5 Hz, 频率下降 0.7 Hz。图 6 中频率变化也是类似的情况。可见系统频率随着负荷的升高而降低, 此时需要利用同步器通

过二次调频来使系统频率调整到合格频率。

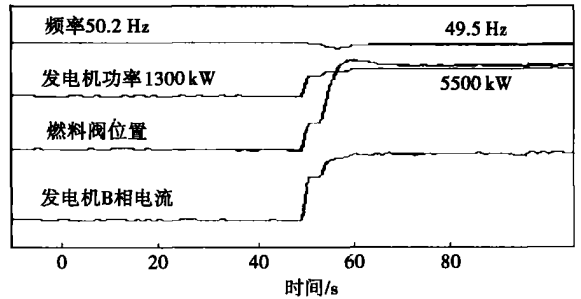


图 6 5 号机组接负荷后运行参数变化曲线

2.3 方案三: 轮南电站 6 台机组采用有差和无差控制模式混合运行

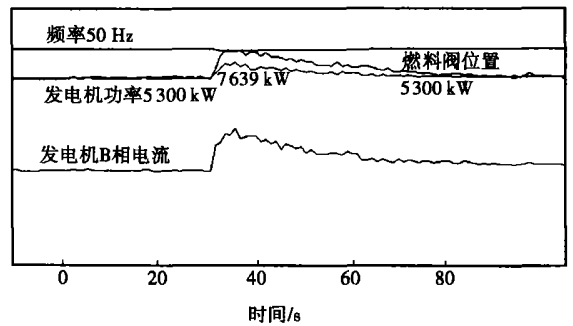


图 7 4 号机组接负荷后运行参数变化曲线

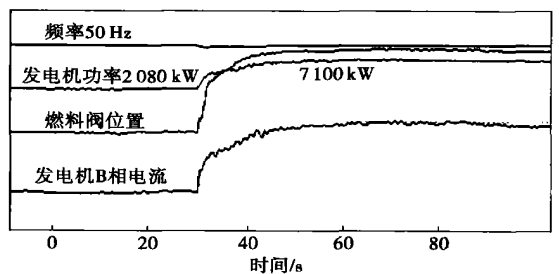


图 8 5 号机组接负荷后运行参数变化曲线

(1) 系统频率不因系统负荷的变化而变化。

图 7 和图 8 为 4 号、5 号、6 号机组与 2×8 000 kW 电站机组并网运行, 4 号机组采用有差控制模式, 5 号机组采用无差控制模式, 6 号机组甩 5 000 kW 负荷时 4 号、5 号机组的各运行参数变化曲线。从图中可以看出: 这两台机组起始频率值均为 50 Hz, 接负荷后的频率值也为 50 Hz 不变。

(2) 系统稳定后, 只有无差控制模式的机组承担所有变化的负荷, 造成系统备用容量的浪费, 如果突变负荷大于无差控制模式的机组的旋转余量, 无

差控制模式的机组将首先被压垮。

表 4 甩负荷试验参数变化

轮南电站 4 号 机组负荷/kW		轮南电站 5 号 机组负荷/kW		轮南电站 6 号 机组负荷/kW		2×8 000 kW 电站 1 号机组负荷/kW		2×8 000 kW 电站 2 号机组负荷/kW	
甩前	甩后	甩前	甩后	甩前	甩后	甩前	甩后	甩前	甩后
5 300	5 300	2 080	7 100	4 940	0	4 200	4 300	4 000	3 900
有差		无差		有差		有差		有差	

从表 4 中可以看出, 只有在无差控制模式下的 5 号机组接 5 020 kW 负荷, 与 6 号机组所甩掉的负荷 4 940 kW 基本相等, 而有差控制模式下的其它机组均未接负荷。

(3) 由无差控制模式的机组接负荷较快, 温升率高, 容易引起机组超温, 机组功率控制不是很稳定。

3 结 论

(1) 6 台 SOLAR 机组在无差控制模式下, 各机组的负荷分配是由机组之间的负荷分配器来控制的; 而在有差控制模式下, 各机组的负荷分配是由系统频率与机组有差静态特性曲线控制的。试验表明: 无论选择有差或无差(不包括混合使用), 甩负荷稳态后的机组负荷分配都比较合理。

(2) 选择无差控制模式, 系统突变稳定后, 频率基本保持不变。选择有差控制模式, 系统突变稳定后, 频率有所下降, 必要时需要进行二次调频。

(3) 无差控制和有差混合控制模式下的并网运行机组之间的稳态负荷分配是: 无差机组承担系统变化的总负荷, 有差机组基本不承担变化负荷。

(4) 在有差控制模式, 机组负荷特性比较平缓, 超调量小, 机组容易稳定, 负荷分配合理, 再加上塔北电网日负荷曲线变化不大, 因而有差控制模式下的频率变化也不大, 从维持电力系统稳定性和电网可靠性的角度上讲, 建议轮南电站 6 台机组均采用有差控制模式。

参考文献:

[1] 杨顺虎. 燃气—蒸汽联合循环发电设备及运行[M]. 北京: 中国电力出版社, 2002.
 [2] 清华大学电力工程系燃气轮机教研组. 燃气轮机[M]. 北京: 水利电力出版社, 1978.
 [3] 沈士一, 庄贺庆, 康松, 等. 汽轮机原理[M]. 北京: 中国电力出版社, 1998.

(何静芳 编辑)

(上接第 306 页)

参考文献:

[1] 李志宏. 膜式水冷壁壁温影响因素的数值分析[J]. 热能动力工程, 2003, 18(3): 173—176.
 [2] 王广军. 锅炉受热面热力过程通用数学模型[J]. 中国电机工程学报, 1998, 18(4): 254—257.
 [3] 郑建学, 陈昕宽. 600 MW 变压运行直流锅炉水冷壁内螺旋管内壁换热特性的研究[J]. 中国电机工程学报, 1996 16(4): 271—275.
 [4] 周一工. 600 MW 超临界压力锅炉水冷壁温度场计算外边界条件的确定[J]. 电力建设, 1974 5(1): 23—43.
 [5] 庞力平. 电站锅炉受热面高度积灰的数值模拟[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(10): 219—224.
 [6] 樊泉桂. 亚临界和超临界压力锅炉[M]. 北京: 中国电力工业出版社, 2000.
 [7] JESTIN L, MEYER P, SCHMITT G, et al. Heat transfer in a 125 MW CFB boiler[J]. Proc of the Seventh Engineering Foundation Conference on Fluidization VI[C]. Brisbane: Engineering Foundation, 1992. 849—856.
 [8] 范 谨, 贾鸿祥, 陈昕宽. 膜式水冷壁温度场解析[J]. 热力发电, 1996 3: 10—17.

[9] 张 娜. 超临界压力锅炉蒸发受热面动态数学模型的一族解析特解[J]. 中国电机工程学报, 1999, 19(1): 24—27.
 [10] 冯俊凯, 沈幼庭, 杨瑞昌. 锅炉原理及计算[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
 [11] LEVERT F E, ROBINSON J C, BARRENTT S A, et al. Slag deposition monitor for boiler performance enhancement[J]. ISA Transactions, 1988 27(3): 213—221.
 [12] 程乐鸣, 骆仲泱, 李均天, 等. 循环硫化床膜式壁传热试验与模型[J]. 工程热物理学报, 1998 19(4): 514—518.
 [13] BLASKO VLADIMIR. Analysis of a hybrid PWM based on modified space-vector and triangle-comparison methods[J]. IEEE Trans on IA, 1997, 33(3): 754—764.
 [14] 白卫东, 严建华, 池 涌, 等. PCA 和 SVM 在火焰监测中的应用研究[J]. 中国电机工程学报, 2004, 24(2): 185—190.
 [15] 翟永杰, 韩 璞, 王东风, 等. 基于损失函数的 SVM 算法及其在轻微故障诊断中的应用[J]. 中国电机工程学报, 2003, 23(9): 198—203

(何静芳 编辑)

(State Key Laboratory of Power Engineering Multi-phase Flow under the Xi'an Jiaotong University, Xi'an, Shanxi, China, Post Code: 710049)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(3). — 299~302

An investigation was conducted of the flow distribution characteristics of distribution header water-wall tubes under a supercritical pressure for a home-made 600 MW once-through boiler. The test parameters can be listed as follows: pressure $p=23\sim 25$ MPa, mass flow rate $G=400\sim 1200$ kg/(m².s), working medium temperature $t=10\sim 400$ °C. An experimental study has been conducted of the impact of working medium pressure, mass flow rate and working medium temperature on the vertical water-wall tube flow distribution characteristics of the distribution header. The test results show that with an increase in mass flow rate, the uniformity of flow distribution among the vertical water-wall tubes could be enhanced. The non-uniformity of flow distribution will undergo a step increase near the quasi-critical points. Moreover, with an increasing pressure, the above-mentioned step increase will become weaker. By employing a discrete model of the parallel-connected branch tubes of the distribution header, the flow distribution among the distribution header vertical water-wall tubes was calculated and the calculation results are in good agreement with the test ones. **Key words:** once-through boiler, supercritical pressure, distribution header, vertical water-wall tubes

USC 直流炉水冷壁壁温监测有限元分析 = **Finite Element Analysis of the Monitoring of Water-wall Water Temperatures in an Ultra-supercritical-pressure Once-through Boiler**[刊, 汉] / WANG Hong-yue, BI Xiao-long, SI Fengqi, et al (Power Engineering Department of Southeast University, Nanjing, Jiangsu, China, Post Code: 210096)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(3). — 303~306, 310

It has all along been rather difficult to realize an on-line monitoring of the hazardous-point wall temperatures of a flame-facing membrane wall in an ultra-supercritical-pressure once-through boiler. Based on a finite-element analysis theory, the authors have come up with a method for the numerical simulation of water-wall cross-section two-dimensional temperature field for the on-line temperature field of a 900 MW ultra-supercritical-pressure utility boiler water wall. Through a theoretical analysis and an experimental verification it has been found that the numerical simulation features a solution of high precision and good confidence level, providing a new monitoring method for the indirect measurement of hazardous-point temperatures in the flame-facing water wall of an ultra-supercritical-pressure once-through boiler. **Key words:** membrane wall, finite element, wall temperature, on-line monitoring, simulation

轮南电站燃气轮发电机组运行方式的试验研究 = **Experimental Study of Operation Modes for Gas Turbine Generator Units at Lun-nan Power Station**[刊, 汉] / CHEN Ren-gui, YUAN Jun, HUANG Xin (Oil and Gas Production Technical Service Department of Tarim Oil Field, Korla, Xinjiang, China, Post Code: 841000), WU Bin (Post-graduate Department of Northeast College of Electric Power, Jilin, China, Post Code: 132012)// Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2006, 21(3). — 307~310

Through an analysis of the relevant parameters associated with the process of dynamic-abrupt rise in rotation speed of Lun-nan Power Station gas turbine unit after a load rejection, the dynamic characteristics of the unit were compared when the latter assumes the following three speed control modes: droop control, zero-droop control, and droop and zero-droop mixed control. On the basis of the specific features of the gas turbine unit itself and the current status of isolated electric grid operation of the power station it is recommended that the power station should adopt a droop speed control mode. **Key words:** load rejection, speed control mode, droop control, zero-droop control

CFB 锅炉水冷排渣余热利用的分析与优化 = **An Analysis and Optimization of Waste Heat Utilization Involving Water-cooled Ash-slag Discharged from CFB (Circulating Fluidized Bed) Boilers**[刊, 汉] / ZHANG Ning, SUN