

# 巴基斯坦 SAIF 发电厂燃机小岛运行试验分析

余小敏, 王达峰, 王异臣

(浙江省电力试验研究院, 杭州 310014)

**摘要:** 由于燃机具备启动快速的特点, 故比较适合作为电网事故情况下黑启动电源, 此时燃机能够运行在小岛模式显得尤为重要。介绍了巴基斯坦 SAIF 发电厂燃机小岛运行试验的情况, 主要分析了 GE 公司燃机小岛运行逻辑的设计思想, 并对试验的过程及试验过程中出现的问题及解决方法进行了总结。试验证明, GE 公司的燃机具备比较优良的小岛运行能力。

**关键词:** 巴基斯坦; 燃机; GE; 小岛运行

**中图分类号:** TK477

**文献标志码:** B

**文章编号:** 1007-1881(2012)05-0056-03

## Analysis on Gas Turbine Island Operation Test of Pakistan SAIF Power Plant

YU Xiao-min, WANG Da-feng, WANG Yi-chen

(Zhejiang Electric Power Test and Research Institute, Hangzhou 310014, China)

**Abstract:** Since gas turbines are featured by rapid start, these are suitable for black start power supply in grid accidents. It is significant for gas turbines to operate in island mode. This paper introduces the island operation test of the gas turbines in Pakistan SAIF Power Plant, analyzes the design of island operation logic of the gas turbines manufactured by GE Company and summarizes the test process and the problems found in the process as well as the solutions. The test proves that gas turbines manufactured by GE have a desirable capability of island operation.

**Key words:** Pakistan; gas turbine; GE; island operation

## 0 引言

巴基斯坦 SAIF 燃气发电厂是由中国机械设备进出口有限公司总承包的海外工程。由 2 套 GE 公司生产的 PG6111FA 型燃气轮发电机组(简称燃机)、2 套中国杭州锅炉集团股份有限公司生产的余热锅炉和 1 套 SIEMENS 生产的 SST-900、单轴、凝汽式汽轮发电机组(简称汽机), 及相关辅助设备组成联合循环发电机组。正常联合循环运行期间, 燃机热排气进入余热锅炉产生高、低压蒸汽驱动汽轮机。机组采用双燃料, 天然气作为主要燃料, 轻柴油作为备用燃料。运行模式为带基本负荷联合循环, 燃用天然气时, 机组净出力约 209 MW。

巴基斯坦全国的电网容量很小, 电网极不稳定, 比较容易发生故障。而在电网故障时, 必须至少保证有一个发电厂能够自身带厂用电运行,

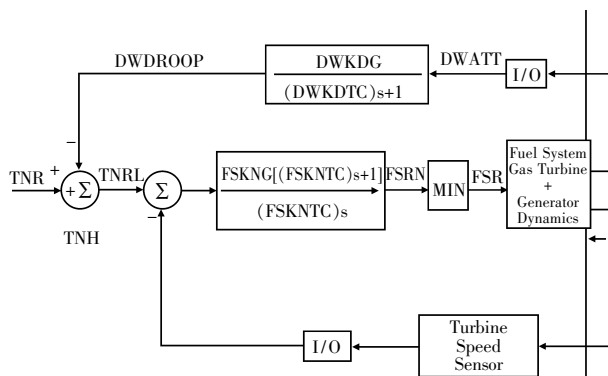
即处于小岛运行模式, 这样才能在电网故障恢复后向其他发电厂提供启动电源。按照合同要求, 当该发电厂具备整套启动条件并稳定运行一段时间后, 需要进行 2 台燃机的小岛运行试验。主要目的是检验在电网故障时机组是否能稳定运行在小岛模式。

## 1 小岛运行的控制模式

GE 公司的 MARK-VI 控制系统中针对有小岛运行模式要求的机组开发了独立的小岛运行模块, 为操作人员提供了一个专门的画面, 可根据需要在相应的窗口将机组投入小岛模式, 并且输入在小岛模式下机组的目标负荷和目标频率。这样当发生电网侧故障时, 机组会自动进入小岛模式, 带厂用电运行。

在最初的 17 s 内, 控制系统处于负荷控制阶段, 会迅速减少燃料量, 使负荷迅速下降并维持

在目标负荷运行。17 s 之后, 机组基本稳定运行, 这时控制系统将自动切换至频率控制阶段, 将控制燃料量以使频率维持在事先设定的目标频率上。当外部电网故障恢复后, 可再次并网。一旦机组重新并上电网, 则控制系统自动切换回正常的燃料控制回路运行。图 1 为 MARK-VI 控制系统燃料控制的原理。



注: 其中 TNR 为转速指令; TNH 为实际转速; DWATT 为实际负荷; DWKDG 为负荷与转速指令的增益系数; DWKDTTC 和 FSKNTC 为惯性时间; DWDROOP 为负荷变化对应的转速反馈; FSRN 为转速控制燃料行程基准; FSR 为燃料行程基准; Turbine speed sensor 为燃机转速传感器; Fuel System 为燃料系统; Gas Turbine 为燃机; Generator Dynamics 为发电机动态模型。

图 1 参数可调有差转速及负荷控制

在试验中有以下几个注意要点:

(1) 目标负荷必需准确反映厂用电负荷。当机组进入小岛运行模式时, 控制系统在最初的 17 s 内是按照操作员事先设定好的目标负荷调整燃料量的。为了机组能够稳定运行避免超速, 控制系统必须快速减少燃料; 另一方面, 若燃料减少过多无法满足厂用电的需要, 则会导致频率过低无法稳定运行。所以目标负荷必须能基本反映厂用电的情况, 这样当小岛模式触发后, 机组能将目标负荷转换成实际转速指令, 快速准确地调整燃料量, 使机组在最短的时间内达到基本稳定。

(2) 目标频率必须设定准确。当机组进入小岛模式且稳定运行 17 s 后, 进入目标频率控制。为了机组能够稳定运行在预期的频率上, 目标频率必须要稍微高于预期频率, 这样才能使机组在带厂用电的情况下稳定运行在预期的频率上。

(3) 每次只能设定 1 台机组进入小岛运行备用模式。巴基斯坦 SAIF 发电厂是 2 台燃机带

1 台汽机运行。虽然在 2 台燃机的操作画面中都有小岛备用模式投入按钮, 但每次只能投入 1 台机组进入小岛运行备用模式。在第 1 台机组已经投入小岛运行备用模式后, 若仍强行投入第 2 台机组, 则在实际发生电网故障时, 只有第 1 台机组会进入小岛模式, 第 2 台不会进入小岛模式运行, 而是直接进入全速空载模式(FSNL)。所以在试验及平时运行中, 一定要检查 2 台机组的小岛模式投入情况, 确保只有 1 台机组处于小岛模式备用状态。

## 2 小岛运行模式试验

### 2.1 试验条件

进行小岛运行模式试验前必须完成相关的试验, 并正确摆好机组的各种相关状态:

(1) 2 台燃机甩满负荷试验成功, 能维持全速空载运行。

(2) 汽机甩满负荷试验完成, 保护功能正常。

(3) 汽机旁路系统运行正常, 投入压力跟踪自动, 旁路阀前疏水短暂打开进行暖管。

(4) 柴油发电机组自启动联锁功能试验正常。

(5) 全部厂用电由小岛模式运行的燃机提供。

(6) 主变压器出口 132 kV 开关和灭磁开关跳合正常。

(7) 确认自动励磁调节(AVR)系统中电力系统稳定器(PSS)已退出。

(8) 燃机 MARK-VI 控制系统中小岛运行逻辑功能静态试验正常。

(9) 全厂事故照明能正常投入。

(10) 保证试验燃机的控制室、集控及就地关键部位之间通信畅通。

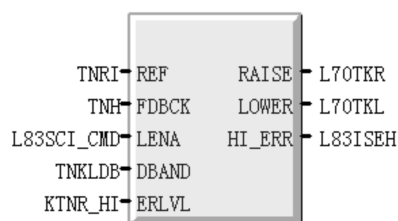
### 2.2 试验过程

全部厂用电已切至 1 号燃机, 在燃机“ISOCHRONE”界面选择“ISLAND MODE ON”按钮(小岛运行模式按钮), 根据当前全厂厂用电负荷, 在同一画面设定小岛运行的目标负荷以及目标频率: 4.7 MW, 100.28%。接试验总指挥通知, 同时分闸 3 台断路器, 其中 3 号汽机、2 号燃机全速空载, 1 号燃机进入小岛运行。1 号燃机负荷 4.7 MW, 维持频率在 50 Hz 运行。旁路在汽机甩负荷瞬间快开, 然后维持甩负荷前压力稳定。汽机甩负荷后, 轴封供汽自动切换为高压蒸汽供汽,

真空良好。余热锅炉高低压汽包以及除氧器水位,各高低压给水泵及给水再循环泵运行正常。2号燃机全速空载运行,各主辅设备状态良好。

当运行人员准备重新并网时却发生了意外。1号燃机重新并网后,燃机的燃料量立即大量增加,出力亦迅速增加,最终导致排气温度高而跳机。经检查逻辑后发现,在并网开关重新合上后,内部燃料行程基准(FSR)逻辑应立即由小岛模式输出切换至正常输出模式,并且应该是无扰切换。但经查看历史记录后发现,在1号燃机重新并网后,FSR能正确从小岛模式切回正常模式,但却没有实现无扰切换,FSR发生了大幅度的阶跃增加。经仔细查看逻辑发现,问题出在当机组处于小岛运行模式时的TNR跟踪程序有误。

图2是原MARK VI逻辑中当机组处于小岛运行模式时,正常的燃料基准TNR跟踪小岛运行时的燃料基准TNRI的逻辑。按照设计的原意,当机组处于小岛运行模式时,处于实际燃料控制的基准是TNRI。此时正常的燃料基准TNR应该跟踪TNRI以便当机组从小岛模式切回正常模式时可以实现无扰切换。故图2中的FDBCK引脚处应该引入的是TNR而不是TNH。因为只有在FDBCK引脚处引入TNR,这样当TNRI与TNR之间有偏差时,通过控制命令模块右边的输出引脚RAISE和LOWER可以调整TNR的数值,直到TNRI和TNR之间的偏差基本消失为止。这样当机组重新合上并网开关并入电网,机组切回正常模式时不会有太大扰动。而实际情况却是逻辑中FDBCK处引入的是TNH。这样当机组处于小岛运行模式,即L83SCI-CMD为TURE时,由于TNRI与TNH之间会一直存在偏差(因为机组一直会带有厂用电,这样TNRI会一直高于TNH,其具体数值为厂用电负荷与不等率的比值),所以控制命令模块的RAISE引脚会一直为TRUE,导致TNR的输出值一直增加直到达到上限。所以一旦小岛模式结束,TNR接替TNRI成为实际燃料基准时,则会在瞬间喷入大量燃料,负荷急



注: TNRI 为小岛运行目标频率; TNH 为转速反馈; L83SCI\_CMD 为小岛运行模式标签; TNKLDB 为控制死区; L70TKR 为小岛运行转速增指令; L70TKL 为小岛运行转速减指令; REF 为参考输入引脚; FDBCK 为反馈输入引脚; LENA 为模块使能引脚; DBAND 为死区输入引脚; ERLVL 为死区回滞引脚; RAISE 为增输出引脚; LOWER 为减输出引脚; HI\_ERR 为偏差大报警输出引脚。

图2 小岛运行控制命令模块

剧上升最终导致排气温度高而跳机。

在查明跳机原因并经修改逻辑后,进行了第2次试验。步骤与第1次试验相同。在1号燃机进入小岛运行15 min后,2号燃机并网,30 min后1号燃机并网,40 min后3号汽机并网,试验顺利结束。

### 3 结语

小岛运行试验表明,燃机系统由于空压机的存在,其自身的惯性比较大,这样的系统对于甩负荷扰动的抗扰能力比较强。只要对小岛运行模式的相关参数进行合理设置,在发生电网故障时,GE燃机能够顺利进入小岛运行模式并稳定运行,为电网的恢复提供了可靠的启动电源。

### 参考文献:

- [1] 文立斌.并网机组切换成孤网运行的应对措施[J].广西电力,2008,31(4):15-18.
- [2] 俞立凡,李彩玲,彭竹君.9F单轴燃机作为电网黑启动电源点的探讨[J].浙江电力,2006,25(6):53-56.

收稿日期:2011-12-02

作者简介:余小敏(1978-),男,湖北荆州人,硕士,工程师,主要从事发电厂热工调试方面的工作。

(本文编辑:陆莹)

建设世界一流电网 建设国际一流企业