

9FB 燃气轮机燃气压力低 RB 事件及 RB 速率分析

丁建军, 严 强

(广东粤电新会发电有限公司, 广东 江门 529149)

摘 要:介绍了一起 9FB 联合循环机组在停机过程中因上游分输站内主、备用调压线 SSV 阀误关, 导致机组天然气供应中断, 进而由于燃气压力低, 造成机组 RB 的案例。通过分析燃机控制逻辑, 对本次事件的原因进行了详细分析并对其他情况下的 RB 速率进行了剖析, 了解了燃气轮机不同情况下降负荷速率的差异, 以及各种触发条件。从电厂运行的角度, 提高了运行技能及日后机组出现类似异常情况下的处理能力。

关 键 词:燃气轮机; 天然气; SSV 阀; RB 应

中图分类号: TK477

文献标志码: B

文章编号: 1009-2889(2019)03-0055-05

某电厂 2 × 453 MW 燃气-蒸汽联合循环热电联产机组, 燃气轮机由 GE 公司生产, 型号为 PG9371FB, 燃气轮机由 1 台 18 级的轴流式压气机、1 套由 18 个低 NO_x 燃烧器组成的燃烧系统、1 台 3 级透平和相关辅助系统组成。汽轮机由哈尔滨汽轮机厂制造, 型号为 LN150/C120 - 11.00/3.30/0.43/1.40, 型式为三压、再热、三缸、冲动、抽凝式汽轮机。余热锅炉采用东方菱日锅炉有限公司的三压、再热、自然循环、无补燃、卧式、MHDB - PG9371 - Q1 型余热锅炉。

本文对该电厂发生的一起因燃气压力低导致的快速减负荷 (RUNBACK, 简称 RB) 事件进行分析研究, 针对此次 RB 事件, 讨论了燃气轮机 11 种不同情况下的降负荷速率, 并列出了所有 RB 的触发条件, 有助于更好的提高运行人员专业技能, 提高机组的控制水平, 确保事故发生时的处置效率及正确性。

1 燃气系统简介

天然气由上游分输站供至厂内, 经调压站过滤、分离和加热及调压后进入机组前置模块, 再经双联前置过滤器、性能加热器、启动电加热器、过滤洗涤器、流量计和变送器最终送至燃气小间内燃气控制阀组。燃气控制系统的作用是以适当的压力和流量

向燃烧室输送燃料气, 以满足燃气轮机运行时启动、带负荷和停机的所有要求^[1]。

燃料气控制系统的主要由燃料气截止阀 (VS4 - 1)、燃料气速比截止阀 (VSR - 1)、燃料气放空阀 (VS13 - 15)、燃料气控制阀 (VGC - 1/2/3/4)、燃料气压力传感器、燃料气温度传感器等组成。天然气系统流程示意图如图 1 所示。

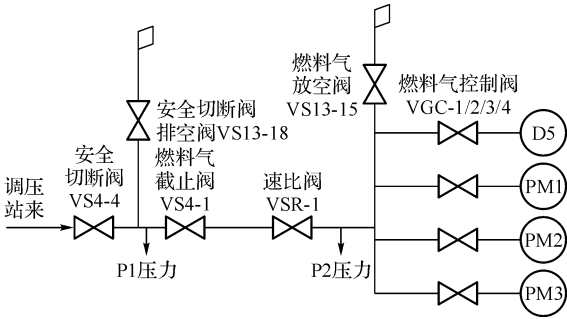


图 1 天然气系统流程示意图

GE 9FB 燃气轮机燃气控制系统中的速比阀 (VSR - 1) 和燃气控制阀 (VGC - 1/2/3/4) 作用类似于三菱燃气轮机的压力控制阀和流量控制阀^[2-3], VGC 阀是用来控制进入燃气轮机的天然气流量, 其设计成超临界流动, 使得通过阀的天然气流量与阀后背压无关, 同时其阀芯的特殊型线使通流面积的变化与阀门的开度成正比。机组正常运行

收稿日期: 2019-05-07 改稿日期: 2019-06-08

作者简介: 丁建军 (1986—), 男, 山东日照人, 工程师, 工学硕士, 主要从事电厂运行及管理工作, E-mail: djdragon@163.com。

中,VSR 阀则保持 VGC 阀前的 P2 压力在一个恒定值,同时其也兼作天然气的截止阀^[4]。

2 事故现象、原因分析及处理

2.1 事故现象

2018 年 12 月 02 日 21 时 20 分,1 号机组负荷 300 MW,退出 AGC,开始执行停机操作,其中 P1 压力 3.35 MPa,P2 压力 2.95 MPa。21 时 26 分 34 秒,燃气轮机发电机降负荷至 72 MW,汽轮机发电机滑参数降至 99 MW,机组总负荷降至 171 MW,P1 压力 3.46 MPa,P2 压力 2.95 MPa。21 时 27 分 38 秒,燃气轮机负荷 69 MW,汽轮机继续滑参数降至 94 MW,P1 压力 3.02 MPa,P2 压力 2.85 MPa,MARK VIe 控制系统报警窗口发出“P1 AND P2 MAX DECAY RATE EXCEED-RUNBACK(P1 和 P2

最大衰减速率超限 - RB)”、“GAS FUEL SUPPLY PRESSURE LOW(燃气供气压力低)”报警,燃气轮机执行 RB 程序,自动降负荷停机,汽轮机跟随滑参数降负荷。21 时 28 分 37 秒,燃气轮机降负荷至 5 MW 后正常逆功率解列,汽轮机负荷 71 MW,打闸停机。

2.2 事故原因分析

造成此次燃气轮机 RB 的直接原因是“P1 和 P2 最大衰减速率超限”,根本原因是因为停机过程中,上游分输站供我厂主/备用调压线 SSV 阀同时误关导致 1 号机组天然气供应中断。

通过查看逻辑,如图 2 所示,P1 和 P2 最大衰减速率必须均超限(LFPG1RTZ、LFPG2RTZ)才能触发 P1 和 P2 最大衰减速率超限(LFPGRTZ)进而触发燃气轮机 RB 至全速空载(L70L_AUX)。

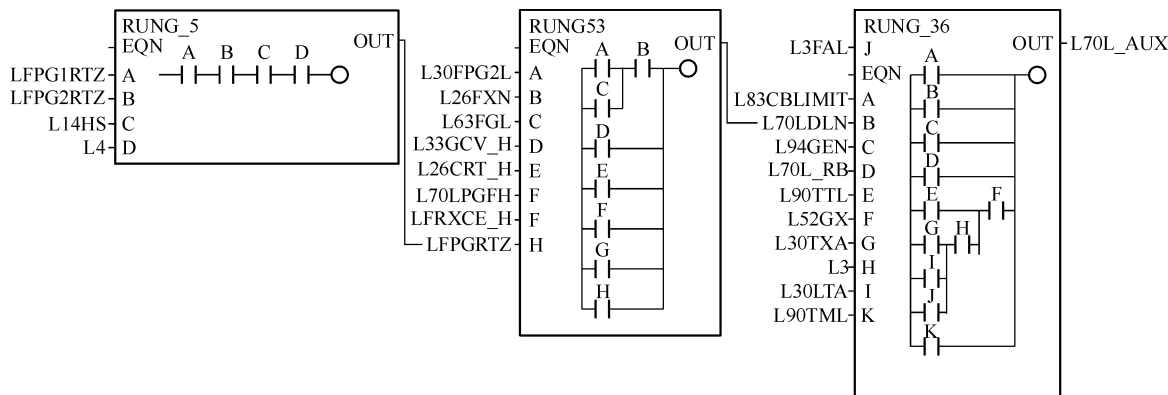


图 2 燃气轮机 RB 逻辑框图

查阅历史数据曲线图 3 得知,21 时 26 分 39 秒,P1 最大衰减速率先达超限动作,VSR 阀开度为 40.79%,由于 P1 压力持续下降,为维持 P2 压力恒定,VSR 阀开度增加至 52.17%,但 VSR 阀开大速率比 P1 压力下降速率慢,最终 P2 最大衰减速率也达到了超限值,进而触发燃气轮机 RB。

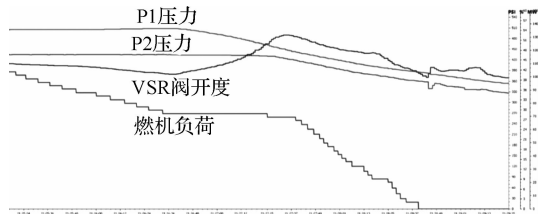


图 3 停机过程中历史数据

与上游分输站协调及检查后,对分输站 SSV 阀切断原因分析如下:一是因调压阀、指挥器和稳压器老旧,导致阀门调节滞后;二是燃气轮机在启、停机过程天然气流量波动较大;三是冰堵和稳压过滤器

堵塞都可能会导致调压失效;四是厂内调压站与上游分输站联络管线较短,各调压阀设定值间隔较小,导致压力调节失稳出现异常波动;五是安全切断阀的连锁机构是机械式,易受管道振动影响。

2.3 处理

针对以上情况,进行了如下处理措施:一是重新设定了调压撬各阀压力,主路的安全切断阀、监控调压阀、工作调压阀依次设定为 4.2/3.95/3.7 MPa,备用路的各阀依次设定为 4.4/3.95/3.6 MPa;二是定期对调压设备维保检修,及时更换配件;三是加强日常数据监控,确保及时发现调压撬冰堵和稳压过滤器脏污情况。

3 燃气轮机 RB 速率分析讨论

3.1 RB 简介

燃气轮机电厂由于机组特性的不同,RB 功能和常规火电机组有明显差别。煤机机组 RB 发生

后,控制策略主要由 CCS 方式切至锅炉输入控制方式(或汽轮机跟随方式),锅炉主控处于手动状态,汽轮机主控自动切至压力控制模式,机组处于滑压运行状态,锅炉主控切为手动,燃料主控自动维持 RB 目标负荷对应的燃料量。煤机因主要辅机故障跳闸而 RB 主要有磨煤机、送风机、引风机、一次风机、给水泵、空气预热器等^[5],根据不同的故障辅机导致的 RB,采用不同的 RB 速率^[6]。

对于燃气机组,由于没有煤机相对复杂的锅炉系统,只有简单的余热锅炉,机组负荷主要通过燃气轮机系统调节燃料量适应负荷变化。燃气轮机 RB 主要分为外部 RB 和内部 RB 两种。外部 RB 是指由 DCS 经过判断条件后,发至燃气轮机进行 RB,内部 RB 是指燃气轮机自身判断条件后触发 RB。不同厂家的燃气轮机,其 RB 速率不同,三菱 M701F 型 RB 速率包括 20 MW/min(正常)和 300 MW/min(快速)两种^[7];因西门子 V94.3A 型燃气轮机资料有限,未在相关文献中查到其 RB 信息。

本次燃气轮机因 P1 和 P2 最大衰减速率超限发生 RB 后,燃气轮机负荷从 69 MW 降至 5 MW,用时 59 秒,降负荷速率约为 64 MW/Min,比机组正常停机降负荷速率要快很多。MARK VIe 逻辑由于其复杂性及保密性往往成为运行人员的专业短板,为了解 GE 燃气轮机更多关于快速降负荷的触发条件,更好的提高运行人员专业技能,提高机组的控制水平,确保事故发生时的处置效率及正确性,特查阅热控相关控制逻辑。

3.2 燃气轮机燃料控制

燃气轮机的转速控制有两种方式,有差转速控制(Doop Speed)和无差转速控制(Isoch Speed)。当燃气轮机用作带动发电机时,选用有差控制方式。

燃气轮机负荷变化是通过当前实际输出燃料冲程基准(FSR)的变化体现的,FSR 的变化正比于转速控制基准(TNR)与实际转速基准(TNH)之差,即 $\Delta FSR \propto (TNR - TNH)$ ^[8-9]。若燃气轮机未并网,则 TNH 随燃气轮机转速变化而变化;若燃气轮机在并网状态下,TNH 保持不变,燃气轮机出力大小实际由 TNR 决定,而 TNR 的值最终通过转速控制基准逻辑块(TNRV1)计算得知,如图 4 所示。Z-1 与加法器组成数字积分器,L83JDn(0-11)决定了升降速率常数 TNKR1_n 的某个值,也就是通过不同的逻辑选择了不同的积分速率常数。L70R 和 L70L 决定了积分的方向,L70R = 1 且 L70L = 0 时,积分值

上升,TNR 增加;L70L = 1 时,积分值下降,TNR 减小;L70R = 0 且 L70L = 0 时,积分中止,TNR 保持不变。

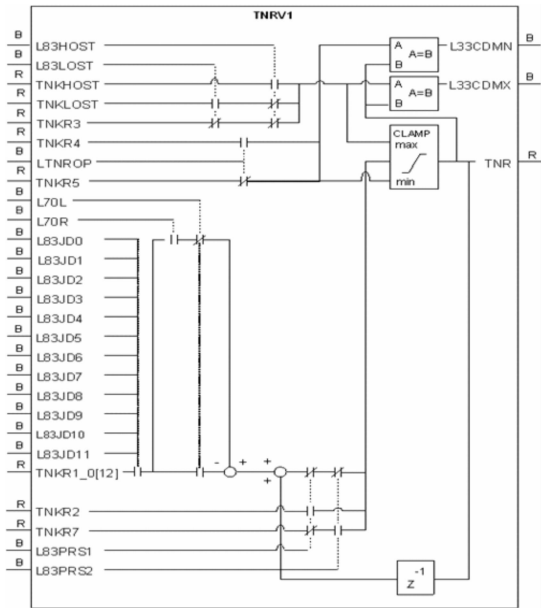


图 4 TNRV1 转速控制基准逻辑

3.3 速率分析

升降速率常数 TNKR1_n 为固定值,如表 1 所示,L83JDn(0-11)决定了选择哪个常数,针对不同的情况,对应不同的负荷速率,也就是通过不同的逻辑选择了不同的积分速率常数,而最终反映在输出不同的 TNR 值。

表 1 转速基准 TNR 变化率

序号	速率常数	燃料冲程基准变化率/(% · s ⁻¹)
1	TNKR1_0	1
2	TNKR1_1	0.005 5
3	TNKR1_2	0.005 55
4	TNKR1_3	0.016 7
5	TNKR1_4	0.005 55
6	TNKR1_5	0.01
7	TNKR1_6	0.133 3
8	TNKR1_7	0.083 33
9	TNKR1_8	0.1
10	TNKR1_9	0.01
11	TNKR1_10	0.015
12	TNKR1_11	0.001 7

单位时间内燃气轮机负荷变化量,计算公式如下:

$$\Delta Q = \frac{\text{TNKR}_x}{\text{DWKDG}} \times 60$$

(1)

式中: ΔQ 为燃气轮机每分钟负荷变化量; TNKR_x 为燃料基准变化率; DWKDG 为负荷与转速指令的增益系数,固定值 $0.014\%/MW$ (转速不等率 $(3.99\%) = \text{DWKDG} * \text{BASE}(285 \text{ MW})$)。

通过公式 1 可计算不同速率常数下对应的负荷速率如表 2 所示,得知不同的触发条件下,燃气轮机会以不同的速率降负荷。

3.4 RB 触发条件

由图 2 可知,RUNG_36 逻辑快中有 9 种可以触发燃气轮机 RB 至全速空载的情况,详细说明见表 3。

表 2 TNKR1_n 对应下的负荷速率

序号	信号	描述	负荷速率 (MW/Min)
1	L83JD0	Automated OST Slow Rate(Raise)	/
2	L83JD1	Local Grid Operation Load Rate	23.57
3	L83JD2	Manual Load Rate	23.79
4	L83JD3	Manual Speed Rate	71.57
5	L83JD4	Auto Load Rate	23.79
6	L83JD5	Acceleration Rate-Droop Tracking	42.86
7	L83JD6	Fast Rate	571.29
8	L83JD7	Automated OST Fast Rate(R. L)	357.13
9	L83JD8	Speed Matching Rate	428.57
10	L83JD9	DLN Load Rate	42.86
11	L83JD10	DLN Load Rate	64.29
12	L83JD11	TM Loading Rate Small Error Between Setpt And TTXM	7.29

表 3 9 种触发燃气轮机 RB 至全速空载情况

序号	触发条件	描述	释义
1	L83CBLIMIT	CBV FAILED TO CLOSE-LOAD LIMITING	并网后防喘放气阀未关到位。
2	L70LDLN	DLN AUTO LOWER	燃料系统故障;P1 压力低;P2 压力低;任一 GCV 开度过大(大于 97%);在特定的燃烧模式中,燃烧温度过高;清吹空气温度大于 399℃(750 ℉);速比阀开度大于 85%;P1 和 P2 最大衰减速率超限。
3	L94GEN	GENERATOR VENTILATION TROUBLE SHUTDOWN	发电机通风故障。
4	L70L_RB	HIGH STEAM TEMP-LOAD RUNBACK REQUIRED	高蒸汽温度-降负荷;燃气轮机排气温度大于 565℃(1050 ℉)且 DCS 检测到主蒸汽温度超温后发给 MKVIe 快速降负荷指令 LCA70_RB。
5	L90TTL	EXH FRAME & #2BRG COOLING TRBLE-UNLD	排气框架和#2 轴承隧道间冷却风机故障;88TK 和 88BN 风机组故障(压力开关都低报警或风机运行信号消失)。
6	L30TXA	OVERTEMPERATURE ALARM	并网后燃气轮机排气温度高;L30TFOT 燃烧温度过高;L30TXOT 排气温度大于基准值 3.8 ℃(25 ℉);L30TXOT2 排气温度大于 668 ℃(1 235 ℉)。
7	L30LTA	LOAD TUNNEL TEMPERATURE HIGH	并网后#2 轴承隧道温度高;#2 轴承隧道温度大于 177℃(350 ℉)。
8	L3FAL	LIQUID FUEL BYPASS VLV HARD CLOSED	液体燃料旁路阀关闭(未设计)。
9	L90TML	TEMP MATCH GOVERN LOWER (DECREASE TTXM w/TNR)	燃气轮机温度匹配过程中排气温度计算值、实际排气温度及燃气轮机转速基准偏差大。

4 结论

燃气-蒸汽联合循环机组由于主要设备故障造成机组实发功率受到限制时,为适应设备出力,控制系统强制将机组负荷减到尚在运行的设备所能承受的负荷目标值。若故障严重时,燃气轮机快速降负荷仍不能维持机组运行,则机组发自动停机指令自动停机。

燃气轮机在转速/负荷控制模式下,其负荷变化的速率受控于 TNR 的变化速率,TNR 的变化速率是控制程序预先设定好的固定值。通过分析由于上游分输站中断供气造成的一起燃气轮机 RB 事件,展开讨论了不同触发条件下燃气轮机不同的降负荷速率,并列举了所有 RB 条件,论证了实际 RB 速率和理论降负荷速率的一致性。

参考文献:

[1] 丁建军. 9FA 燃机燃气压力低遮断原因分析及处理[J]. 浙江电力,2017,36(6) :72-75.

[2] 曾万模,刘斌. M701F 型燃气-蒸汽联合循环机组的燃料控制[J]. 热力发电,2007, (8) :84-87.

[3] 王新年. M701F 机组主燃料流量阀差压高分析与处理[J]. 热力透平,2015, 44(2) :136-139.

[4] 陈元锁. 9FA 燃机的天然气滑压运行[J]. 燃气轮机技术, 2010,23(4) :58-60.

[5] 王冬瑞,钟建清,熊锋. RUNBACD 在 600 MW 亚临界汽包炉中

的应用[J]. 云南电力技术, 2012, 40 (06) :65-67.

[6] 丁怀德. 300 MW 机组 RB 负荷速率确定分析[J]. 华东电力, 2001, (04) :19-21.

[7] 刘世雄,高玉峰,王乾远. 燃气机组功能浅析[J]. 云南电力技术, 2016, 44(06) :46-48.

[8] 陈元锁,张明泽. 功率变送器故障导致燃气轮机快速降负荷的分析及应对措施[J]. 燃气轮机技术,2011,24(4) :56-60.

[9] 章素华. 燃气轮机发电机组控制系统[M]. 北京:中国电力出版社,2013.

9FB Gas Turbine Lower Gas Pressure RB Event and RB Rate Analysis

Ding Jianjun , Yan Qiang

(Guangdong Yudean Xinhui Generation Co. , Ltd. , Guangdong Jiangmen 529149, China)

Abstract: This paper introduces a case of 9FB combined cycle unit’s natural gas supply interruption due to the wrong shutdown of SSV valves of main and standby surge lines in upstream diversion station during shutdown, and then the RB of unit is caused by the low gas pressure. By analyzing the control logic of the gas engine, the causes of this event are analyzed in detail, and the RB rate in other cases is analyzed. The difference of load reduction rate in different cases of the gas engine and various triggering conditions are understood. From the point of view of power plant operation, the operation skills and the ability to deal with similar abnormal situations in the future are improved.

Key words: gas turbine; natural gas; safety shut-off valve; runback

(上接第 45 页)

Study on the Influence of Pre-filter Wrap on Filter Filtration Performance

Yu Jiao¹, Si Dandan², Liang Yun¹, Tang Min¹

(1. State Key laboratory of Pulp and Paper Engineering, South China University of Technology, Guangzhou 510640 ,China;
2. Watsun Filtration System Co. , Ltd. , Guangdong Shenzhen 518109,China)

Abstract: In order to explore the influence of pre-filter wrap on the filtration performance of the filter element, Micro-filters were prepared by electrospinning composite and melt-blown composite, and M5 pre-filtered wrap was installed to carry out the mixed dust experiment of A2 dust and DEHS oily substances. The experimental results show that the dust holding capacity of the electrospun composite filter with pre-filter wrap is 2.9 times that of the filter without pre-filter wrap. The dust holding capacity of the melt-blown composite filter with pre-filter wrap is 3.0 times that of the filter without pre-filter wrap. During the experiment, the first pre-filter wrap has the largest dust holding capacity, accounting for 58% and 52% of the total dust holding capacity, respectively. The method of install pre-filter wrap to the filter element can effectively extend the service life of the filter element. Under the experimental conditions, the electrospun material is more sensitive to the putty mixed dust than the melt-blown material, and the pressure drop rises rapidly.

Key words: air filtration; mini-filter; pre-filtered wrap; dust holding performance; pressure drop