

雷达图在分析 M701F4 燃气轮机 BPT 偏差大报警事件中应用

邱玮坤

(江苏国信淮安第二燃气发电有限责任公司, 江苏 淮安 223002)

摘要: M701F4 燃气轮机在发电机组运行中出现#2 燃烧器叶片通道温度偏差大报警。本文针对该报警事件原因进行分析,发现采用雷达图进行数据分析具有更强的可观性,能够更好地体现 BPT 偏差数据动态变化,通过数据变化分析故障原因,缩小故障范围,指导故障处理,最终确认燃烧器 V 型滤网堵塞是产生此次报警事件的根本原因。

关键词: 雷达图; M701F4 燃气轮机; BPT 偏差; 负偏差; V 型滤网堵塞; 处理

中图分类号: TK478

文献标志码: B

文章编号: 1009-2889(2018)02-0068-05

江苏国信淮安第二燃气发电有限责任公司配备两套三菱 M701F4 燃气-蒸汽联合循环发电机组,分别为#1、#3 燃气轮机,2017 年 7 月 15 日正式投入商业运行,额定工况下负荷 475MW,燃气轮机控制系统为三菱 Diasys Netmation 控制系统。M701F4 型燃气轮机采用干式低氮燃烧器,燃气轮机的周向共有 20 个燃烧器,有 20 支热电偶测量叶片通道温度 (Blade Path Temperature, BPT)。

1 报警事件经过

2017 年 10 月 4 日 16:28:19, #1 燃气轮机在负荷变动至 226 MW 时, #1 燃气轮机控制屏出现#2 燃烧器 BPT 偏差大报警,偏差达到 25.3 °C,持续 10 s 后报警消失。

2017 年 10 月 4 日 20:40:44, #1 燃气轮机在负荷变动至 223.1 MW 时, #1 燃气轮机控制屏出现#2 燃烧器 BPT 偏差大报警,偏差达到 25.7 °C,持续 10 s 后报警消失。

2 M701F 燃气轮机 BPT 布置与偏差计算

为了防止燃气轮机透平初温过高或者温度变化

趋势过快损伤燃气轮机燃烧室和透平叶片, M701F4 燃气轮机设置了 20 个叶片通道温度 (BPT) 监测来保护燃气轮机的热通道部件,叶片通道温度监测之所以能够起到保护作用,是因为它能间接反映燃气轮机的燃烧室和透平叶片的运行状态。对叶片通道温度的监测就是对燃气轮机的透平初温的监测。

为了精确测量燃气轮机的排气温度, M701F 燃气轮机布置了 20 个 BPT 温度测点,环形均匀布置,以提高测量和控制的可靠性^[1]。BPT 的测点安装在燃气轮机的透平第 4 级叶片出口处与各燃烧室对应的位置,20 支热电偶通过环绕排气缸布置的导管插入,热电偶延伸到燃气通道中,测量透平第 4 级后的烟气温度。图 1 是 M701F4 叶片通道温度探头测量示意图。

机组在正常运行中,除了监测 BPT 温度外,还必须监测 BPT 偏差。所谓 BPT 偏差,是指 BPT 的平均温度与其相应的基准值的差值^[2],即

$$[\text{BPT 偏差}] = [\text{BPT 温度}] - [\text{BPT 温度平均值}]$$

其中:[BPT 温度平均值]为 20 个 BPT 测点温度,减去最大最小两个温度值,取其 18 个温度平均值。

叶片通道温度 (BPT) 偏差是燃气轮机的一个重

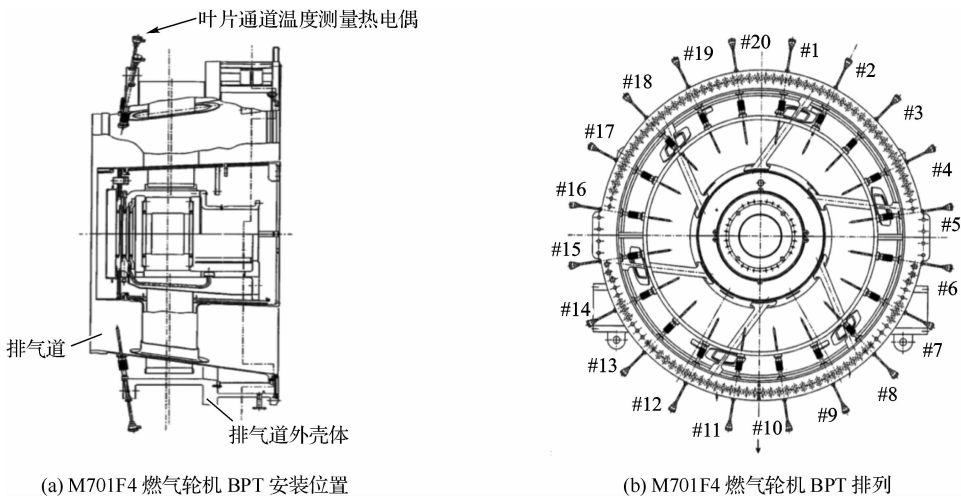


图1 M701F4 叶片通道温度探头测量示意图

要保护参数,当彼此的偏差超限时,说明相应的燃烧室存在燃烧不良或燃烧室的损坏,此时燃气轮机叶片经受的热应力很大,严重时会导致热部件损坏。

3 BPT 偏差计算与报警原因分析

3.1 报警事件数据

表 1 为#1 燃气轮机 2017 年 10 月 4 日 20:40:44, 燃气轮机负荷 223.1MW 时 BPT 数据。

表 1 10 月 4 日#1 燃气轮机 BPT 温度

BPT 编号	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
BPT 温度/℃	604.3	622.8	601.9	602.5	603	605.7	578.4	584.6	581.5	583.8
BPT 偏差/℃	7.3	25.7	4.8	5.4	5.9	8.6	-18.7	-12.5	-15.6	-13.3
BPT 编号	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17	#18	#19	#20
BPT 温度/℃	587.3	593.3	592.0	593.2	596.5	597.8	613.5	600.1	599.3	607.3
BPT 偏差/℃	-9.8	-3.8	-5.0	-3.9	-0.6	0.7	16.4	3.0	2.2	10.3

3.2 报警事件原因分析

根据图 2 可以计算出#1 燃气轮机在负荷 223.1 MW 时,BPT 正偏差应不超过 25.4 ℃,而表 1 中#2 BPT 偏差温度达到 25.7 ℃,触发#1 燃气轮机发#2

BPT 偏差大报警事件。

3.3 雷达图对比 BPT 偏差数据分析报警事件

表 2 为#1 燃气轮机 2017 年 8 月 2 日 10:56:52,负荷 191 MW 时 BPT 数据。

表 2 8 月 2 日#1 燃气轮机 BPT 温度

BPT 编号	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
BPT 温度/℃	601.1	626.2	641	628.3	626.6	630.2	601.1	619.7	623.2	610.4
BPT 偏差/℃	4.4	19.2	2.8	6.5	4.8	8.4	-20.6	-2.1	1.5	-11.3
BPT 编号	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17	#18	#19	#20
BPT 温度/℃	607.4	610.7	615	619.5	621	620.3	630.8	623.8	623.7	630.5
BPT 偏差/℃	-14.4	-11	-6.7	-2.3	-0.8	-1.5	9.1	2	1.9	8.7

根据表 1 与表 2 BPT 偏差数据,生成相对应的雷达图,统一放在一个雷达图上进行比较,见图 3,图中菱形为 8 月 2 日的数据,方块为 10 月 4 日的数据。从图中可以看出,10 月 4 日 BPT 偏差温度测点 #8、#9 这两个点较 8 月 2 日数据出现明显异常,产

生负偏差。

由于#1 燃气轮机#8、#9 BPT 偏差温度负偏差增大,导致 10 月 4 日#1 燃气轮机 BPT 温度平均值偏低,#1 燃气轮机负荷变化时,致使原来处于正偏差较大的#2 BPT 发偏差大报警事件。

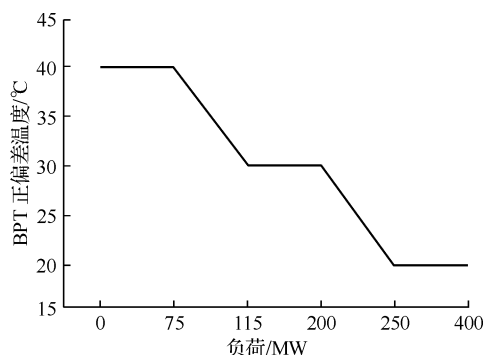


图2 三菱 M701F4 负荷与 BPT 正偏差温度关系图^[2]

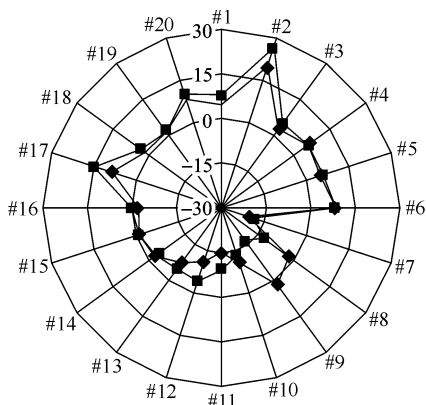


图3 8月2日与10月4日雷达对比图

3.4 BPT 偏差温度负偏差产生原因分析

报警事件发生后,随即开展了原因分析和故障查找工作。根据 M701F4 燃气轮机结构特点,BPT 偏差大主要原因是燃气或空气侧流量分配不均,可能的原因是 BPT 测点故障。

首先对#8、#9 BPT 测点完好性进行确认。检查了#8、#9 BPT 热电偶、补偿导线、端子箱接线、I/O 模块等,发现无异常,调阅#8、#9 BPT 历史数据,未出现数据跃变,温度变化不大且随着机组负荷的变化 BPT 温度同步变化。经过上述检查,排除了 BPT 传感器故障导致的 BPT 偏差大。

测点故障排除后,对产生 BPT 偏差大空气侧原因进行了分析:

1) 当燃气轮机进口可调导叶开度很小时,空气量少,燃烧室壳体压力低,空气分配不均程度相对放大,导致 BPT 偏差增大。就地检查#1 燃气轮机进口可调导叶执行机构机械位置,执行机构螺母锁定,进口可调导叶执行机构 LVDT 指令与反馈相比较,均正常。就地检查#1 燃气轮机旁路阀执行机构机械位置,执行机构螺母锁定,旁路阀执行机构 LVDT 指令与反馈相比较,均正常。进口可调导叶和旁路阀故障被排除。

2) 当压气机叶片脏污时,压气机出口空气量减少,压比降低,加剧空气分配的不均匀性,也有可能造成 BPT 偏差大。通过调阅#1 燃气轮机压气机出口排气压力、温度历史数据,相同负荷和相同环境温度下进行对比并无下降趋势,压气机叶片脏污原因被排除。

3) 调阅#1 燃气轮机燃烧器 CPM(燃烧室压力波动监视系统)^[3] 历史数据,未发现燃烧室压力波动大报警。如果 BPT 偏差大报警和燃烧室压力波动大报警同时出现,说明燃烧室出现故障^[4]。现在只有 BPT 偏差大报警,排除燃烧室故障。

同时也对产生 BPT 偏差大燃料侧原因进行了分析:

1) 现场检查#1 燃气轮机各燃烧室进气管道、法兰处并无泄漏。泄漏产生偏差大原因排除。

2) 通过调阅#1 燃气轮机排气温度测点历史数据,检查发现燃气轮机排气温度分布均匀,同时机组振动未出现异常变化,可以排除燃气轮机透平段出现故障可能。

经过一系列检查,除 BPT 偏差大外,机组其它各运行参数和燃烧状况无异常。由于#1 燃气轮机在正常运行中出现负偏差大,初步判断#1 燃气轮机燃烧器存在堵塞可能,极端情况下可能会有部件损伤。

4 BPT 偏差大对应故障燃烧器分析

M701F4 燃气轮机 20 个燃烧器沿 360° 圆周方向排列,各个燃烧器出口燃气温度高于燃烧室之间的燃气温度,同时由于设备加工精度的原因,20 个燃烧器不可能完全相同,经过燃烧器燃气或空气流量也不一样,各个燃烧器的燃烧情况不同,会引起燃烧温度和燃气温度的变化,导致 360° 圆周方向上的燃气的温度分布不均匀,而且燃气能够在一定程度上保留层流的特点。当高压燃气流过透平时,受叶片旋转的作用,气流在沿着轴向逐级流经各级叶片的同时,也会有一个沿着 360° 圆周旋转的运动分量,此分量与机组负荷有关,且关系相对固定。由于燃气轮机 BPT 的布置密度与燃烧器相当,读数也会受此圆周运动分量的影响。BPT 偏差存在是必然的,只要温度偏差值在允许的规定范围内。(表 2 中#2、#7 BPT 测点温度偏差较其它点偏大,由于机组一投产就存在,判断为设备固有偏差。)当 BPT 分散度过大时,通过修正此圆周分量,BPT 读数可用于

分析甄别故障燃烧器。

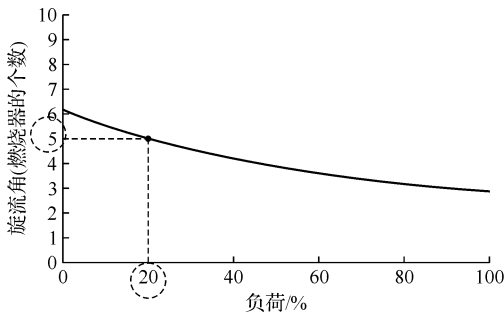


图 4 三菱 M701F4 机组带负荷阶段旋流角^[5]

通过图 4 可以看出,在机组 20% 负荷时,旋流角为 5 个燃烧器的角度,假如#10 BPT 偏差大,需要点检#10 - 5 = #5 燃烧器(旋流角可能存在 ±1 个燃烧器部分的偏差,所以#4, #6 也需要一起点检)。M701F 机组旋转的角度是用旋转过的燃烧器数量来定义。

2017 年 10 月 4 日#1 燃气轮机出现 BPT 偏差报警时燃气轮机机组负荷为 223.1 MW, 约为燃气轮

机额定负荷的 72%, 根据图 4 查找偏差角约为 3.5 个燃烧器角度,出现异常负偏差为#8、#9 BPT 温度,需要点检#8 - 3.5 = #4.5, #9 - 3.5 = #5.5 燃烧器,初步判断燃烧器#4、#5、#6 出现故障。

为了慎重起见,同时联系燃气轮机厂家也对此现象进行分析,反馈信息要求对燃烧器#3、#4、#5 进行检查,首先检查燃烧器 V 型滤网是否有堵塞情况,如 V 型滤网无堵塞需扩大检查相对应燃烧器。

5 V 型滤网堵塞处理过程

2017 年 10 月 17 日,利用#1 机组停机机会对燃烧器进行检查,取出#3、#4 燃烧器主 B 喷嘴 V 型滤网进行透光检查,发现基本完好,检查#5 燃烧器主 B 喷嘴 V 型滤网进行透光检查,已有部分滤网被堵塞,检查到#6 燃烧器主 B 喷嘴 V 型滤网,发现滤网大部分通流部分被堵塞,堵塞物为类似沥青的黑色粘稠物,检查结果见图 5。为慎重起见,同时又检查#7 燃烧器主 B 喷嘴 V 型滤网,透光检查基本完好。

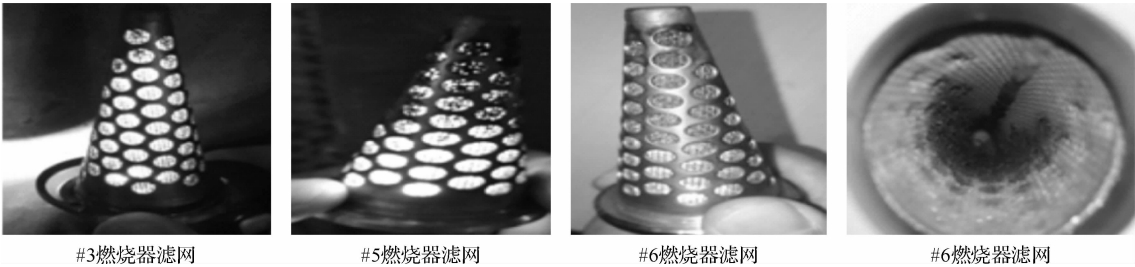


图 5 燃烧器滤网检查结果

经分析黑色粘稠物为管道存留的烃类聚合物杂质,燃气轮机投入运行时,天然气被加热到 200 ℃,部分烃类被加热融化,极具粘稠性,在经过 V 型滤网时,一部分细小颗粒在 V 型滤网表面不断粘结,堵塞部分喷嘴滤网,造成 BPT 偏差超标报警。为彻底解决问题,对堵塞燃烧器 V 型滤网进行更换处理。

6 雷达图对比重新启机后 BPT 偏差数据

表 3 为#1 燃气轮机重新启机后 2017 年 10 月 22 日 17:05:21,负荷 192 MW 时 BPT 数据。

根据表 3 与表 2 BPT 偏差数据,生成相对应的

表 3 10 月 22 日#1 燃气轮机 BPT 温度

BPT 编号	#1	#2	#3	#4	#5	#6	#7	#8	#9	#10
BPT 温度/℃	607.6	621.8	599.4	607.0	606.4	607.5	585.3	599.1	602.9	594.3
BPT 偏差/℃	6.1	20.4	-2.0	5.6	4.3	6.1	-16.1	-2.3	1.5	-7.2

BPT 编号	#11	#12	#13	#14	#15	#16	#17	#18	#19	#20
BPT 温度/℃	588.4	591.0	593.1	598.7	601.8	599.8	613.6	601.4	601.8	611.9
BPT 偏差/℃	-13.0	-10.4	-8.3	1.0	0.3	-1.7	12.2	0.0	0.3	10.5

雷达图,统一放在一个雷达图上进行比较,见图 6,图中方块为 8 月 2 日的数据,菱形为 10 月 22 日的

数据。从图 6 可以看出, #1 燃气轮机 BPT 偏差基本回到原先正常状态。

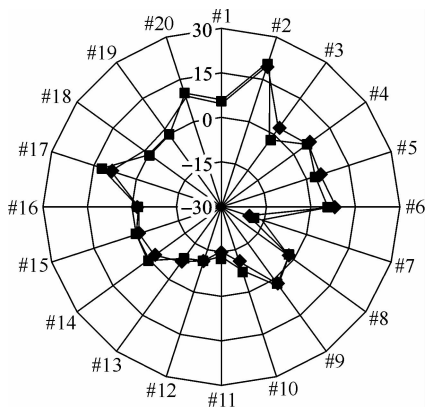


图6 8月2日与10月22日雷达对比图

7 结论

利用雷达图来动态分析燃气轮机现时 BPT 偏差与先前 BPT 偏差,直观、方便,也是查找异常的有

益尝试,通过对比,我们能够及时发现燃气轮机 BPT 偏差存在异常,把握重点,分析原因,及时消除故障,保护燃气轮机的安全运行,同时也为燃气轮机 BPT 偏差分析提供了一种新的思路。

参考文献:

[1] 深圳能源集团月亮湾燃机电厂,中国电机工程学会燃气轮机发电专业委员会. 大型燃气-蒸汽联合循环电厂培训教材: M701F 燃气轮机/汽轮机分册[M]. 重庆:重庆大学出版社,2014.

[2] 深圳能源集团东部电厂,中国电机工程学会燃气轮机发电专业委员会. 大型燃气-蒸汽联合循环电厂培训教材: DIASYS \ OVATION 控制分册. 重庆:重庆大学出版社, 2014.

[3] 吴海滨. M701F 燃机的燃烧室压力波动监视系统[J]. 燃气轮机技术,2009, 22(2):63-67.

[4] 杨勇,艾松,贾文. 燃气轮机燃烧室燃烧稳定性分析[J]. 东方电气评论,2012, (1): 27-31.

[5] 东方汽轮机有限公司 M701F4 燃气-蒸汽联合循环机组运行维护说明书[Z]. 2016.

Application of Radar Map on the Analysis of M701F4 Gas Turbine BPT Big Deviation Alarm Events

QIU Weikun

(Jiangsu Guoxin Huai'an Second Gas Power Generation Co., Ltd., Jiangsu Huai'an 223002, China)

Abstract: Blade path temperature deviation alarm of #2 combustor appeared in the operation of M701F4 gas turbine. To analyze the cause of alarm event, we found that radar data analysis had a stronger observability and it can better reflect the dynamic change of BPT deviation data. Based on analyzing the cause of failure through the data changes, and reducing the fault coverage and guiding the fault processing,it was finally confirmed that the combustor V filter blocking was the root cause of this alarm event.

Key words:radar map;M701F4 gas turbine;BPT deviation;negative deviation; V filter blocking;dispose