

S109FA 型单轴燃气-蒸汽联合循环机组 临界转速轴振异常分析和处理

葛建春

(福建晋江天然气发电有限公司,福建 晋江 362251)

摘要:介绍一起单轴燃气-蒸汽联合循环机组停机至二阶临界转速时轴振异常案例,借助频谱分析和诊断,通过改变运行工况、设备检查修理等方式探索故障处理临时措施和根治方案,并分析总结故障产生的根本原因,为类似故障处理积累经验。

关键词:单轴;燃气-蒸汽联合循环;轴振;配重

中图分类号:TK477

文献标志码:B

文章编号:1009-2889(2019)03-0051-04

GE 公司的 S109FA 单轴燃气-蒸汽联合循环机组轴系主要由燃气轮机转子、负荷短轴、汽轮机高中压转子、汽轮机低压转子、发电机转子等组成,如图 1 所示,其中 1~5 为可倾瓦轴承,6~8 为椭圆瓦轴承,推力轴承位于 1 号轴承处,只有 1 号和 2 号轴承有顶轴油。对于两班制调峰运行的机组,由于轴系长达 42 m,经常发生因轴承油膜失稳、轴系不对中、转子质量不平衡、动静碰磨等造成的振动故障,严重影响机组的安全可靠运行。

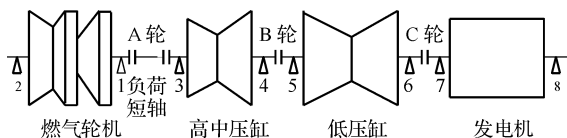


图 1 轴系布置

本文主要研究了一起在正常停机至二阶临界转速时 3 号轴承轴振异常偏大的故障案例,通过采取调节润滑油温度、轴系找中、调整轴承标高、全速空载等待、转子平衡配重等方法探索临时措施和根本处理方案,并进行原因分析和总结,为处理和避免类似故障积累经验。

1 机组振动现象

某燃气电厂一期工程装配四台 S109FA 单轴燃气-蒸汽联合循环发电机组,机组在投产初期启停和

满负荷运行过程中各轴承振动情况良好,运行 2 年后,其中 2 台机组频繁发生停机至二阶临界转速时 3X 振动大故障,且随运行时间增长而不断恶化,如图 2 和 3 所示,主要表象为:

(1) 满负荷工况时各轴承轴振一般不大于 0.10 mm,启机至临界转速工况时各轴承最大轴振一般不超过 0.15 mm。

(2) 停机至二阶临界转速工况时,3X 轴振大于 0.20 mm,3Y 及其它轴承轴振不大于 0.10 mm,各轴承瓦振和瓦温数据未发生明显异常。

(3) 停机至二阶临界转速工况时,3X 轴振主要是一倍频分量,且高中压转子两侧轴承振动相位基本相同。

(4) 停机至二阶临界转速工况时,3X 偏大问题与机组冷态启机运行方式无直接关联。

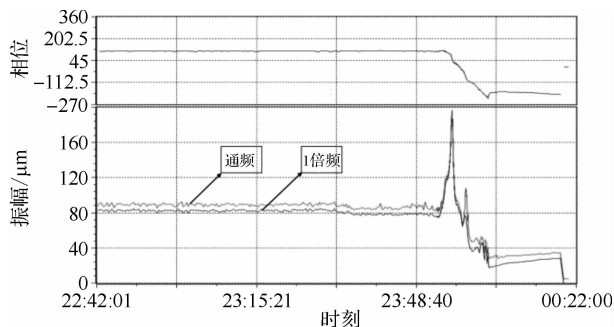


图 2 停机降转速过程 3X 轴振图

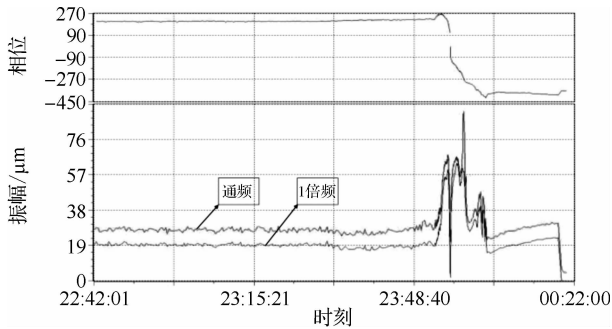


图 3 停机降转速过程 3Y 轴振图

2 振动影响因素试验研究

为避免故障进一步恶化,从以下几方面进行探索性研究查找问题原因,并适时采用有效的临时措施,为彻底根除故障争取时间和积累分析数据。

2.1 改变润滑油温度

表 1 为润滑油温度对 4 号机临界转速 3 号轴振影响。从表 1 可以看出:

(1) 润滑油温度降低约 3℃,3X 升高 0.006 mm;润滑油温度升高 4.5℃,3X 降低 0.012 mm。因此,相同温升和温降时,提高温度对 3X 影响更大。

(2) 停机至二阶临界转速时,3X 振动大,3Y 振动小,说明轴颈在 3 号轴承内沿 X 方向偏移较大,此时 X 方向油膜增厚,若提高润滑温度,可降低 X 方向油膜厚度,从而降低 X 方向振动,Y 方向振动基本不变。

(3) 油温调整不易太高,一方面可能会引起轴承温度高造成润滑油油质老化,另一方面可能会降低油压影响润滑效果。因此,通过提高油温降低停机至二阶临界转速时 3X 振动的措施是受限的,效果也不佳。

表 1 润滑油温度对 4 号机临界转速 3 号轴振影响

时间	3X/mm	3Y/mm	油温/℃
2016.06.14	0.212	0.081	49.6
2016.06.15	0.218	0.081	46.5
2016.06.16	0.200	0.080	54.1

注:1) 机组正常停运时润滑油温度为 49℃;
2) 润滑油压等参数未做调整。

2.2 停机解列至全速空载等待

表 2 为全速空载时长对 3 号机临界转速 3 号轴振影响。从表 2 可以看出:停机解列至全速空载等待时间越长,降速至二阶临界转速时 3X 和 3Y 振动

下降幅度越大,效果越明显。

表 2 全速空载时长对 3 号机临界转速 3 号轴振影响

时间	3X/mm	3Y/mm	全速空载时长/min
2016.11.10	0.216	0.101	0
2016.11.12	0.191	0.088	15
2016.11.13	0.175	0.088	20
2016.11.14	0.161	0.071	25

注:机组正常停运时润滑油温度、压力等参数未做调整。

2.3 轴系找中

表 3 为轴系找中对 4 号机临界转速 3 号轴振影响。从表 3 可以看出:

(1) 第一次轴系找中后,停机至二阶临界转速时 3X 增大;第二次轴系找中后,停机至二阶临界转速时 3X 振动有小幅下降,但点火运行 23 次至 2014 年 6 月 18 日停机时达到 0.185 mm,之后至下次找中前一直维持在 0.180~0.210 mm;第三次轴系找中中基本没有效果。

(2) 启动和正常运行过程中,各轴承瓦温和振动均正常,轴系不对中不是停机至二阶临界转速时 3X 振动大问题的根本原因,找中效果也不明显,如果找中不当可能会加剧 3X 振动幅度。

表 3 轴系找中对 4 号机临界转速 3 号轴振影响

		时间	3X/mm	3Y/mm
一次	修前	2012.02.09	0.180	0.055
	找中 修后	2012.04.19	0.203	0.043
二次	修前	2014.02.28	0.210	0.064
	找中 修后	2014.05.08	0.170	0.047
	修后	2014.06.18	0.185	0.051
三次	修前	2016.04.01	0.206	0.061
	找中 修后	2016.06.02	0.202	0.073

2.4 调整轴承标高

表 4 为调整轴承标高对 3 号机临界转速 3 号轴振影响。从表 4 可以看出:

(1) 调整 3 号轴承标高主要是增加负载,油膜厚度变薄,油膜刚度增大,可以暂时降低停机至二阶临界转速时 3X 振动,随着运行时间增长会继续恶化。

(2) 调整 3 号轴承标高要从轴系的负荷分配角度综合进行考虑。如在 2016 年 6 月 22 日热态启动过程因 4 号轴承振动大跳闸,再次对 4 号轴承进行标高调整才暂时缓解振动故障。

表4 调整轴承标高对3号机临界转速3号轴振影响

		时间	3X/mm	3Y/mm
3号轴承抬升0.05 mm	调前	2016.02.17	0.207	0.103
	调后	2016.05.10	0.201	0.098
3号轴承抬升0.13 mm	调前	2016.05.31	0.208	0.144
	调后	2016.06.21	0.151	0.073
4号轴承抬升0.07 mm	调前	2016.07.08	0.174	0.094
	调后	2016.07.08	0.174	0.094
157次点火至下次配重		2017.03.30	0.199	0.103

2.5 燃气轮机转子配重

在燃气轮机未揭缸检修的情况下,一般在透平三级动叶轮盘配重,如图4的③位置。在机组未检修的情况下,一般在负荷短轴中间配重,如图5的④位置;或在靠近汽轮机侧的靠背轮配重,如图5的⑤位置。

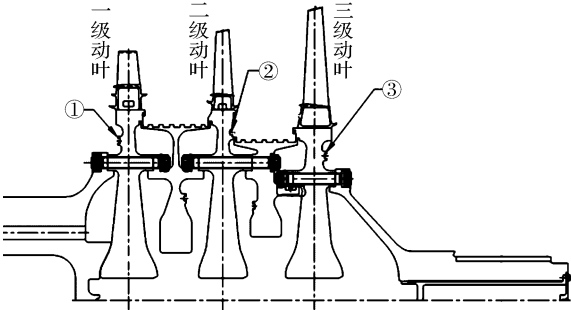


图4 燃气轮机透平转子配重示意图

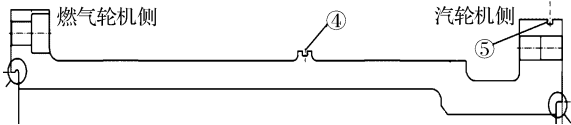


图5 负荷短轴配重示意图

表5为燃气轮机转子配重对3号机临界转速3号轴振影响。从表5可以看出:燃气轮机三级动叶轮盘配重(图4的③位置)和负荷短轴中间配重(图

配重位置		时间	3X/mm	3Y/mm
燃气轮机三 级动叶轮盘	配重前	2014.08.27	0.226	0.075
	一次配重	2014.09.06	0.225	0.100
	二次配重	2014.11.21	0.211	0.105
负荷短轴中间	配重前	2016.01.15	0.194	0.122
	配重后	2016.02.07	0.180	0.104

注:1) 燃机三动轮盘一次配重:③加 552g∠330°;
2) 燃机三动轮盘二次配重:③拆 552g ∠330°, ③加 690g∠260°;
3) 负荷短轴中间配重:④加 232g∠300°。

5的④位置)可适当降低停机至二阶临界转速时3X振动,但可能会对定速满负荷工况下各轴承振动产生不利影响,效果不明显。

3 振动原因分析

通过上述大量试验和频谱分析,基本排除油膜涡动、轴系不对中、燃气轮机转子质量不平衡等因素对停机至二阶临界转速时3X轴振的影响。考虑到停机至二阶临界转速时,1号和2号轴承轴振较小,3号轴承轴振较大,且高中压转子两侧轴承振动相位基本同相,初步推断故障原因是由于高中压转子质量不平衡引起。

4 汽轮机高中压转子动平衡试验

汽轮机在未揭缸检修的情况下,一般在两侧和中间位置配重,如图6所示,其中⑥和⑧是两侧配重位置,⑦是中间配重位置。

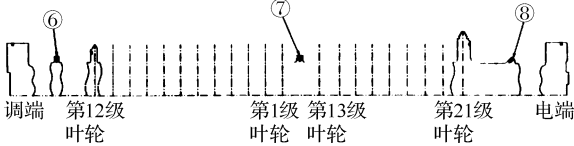


图6 高中压转子配重示意图

4.1 高中压转子两侧配重

表6为高中压两侧配重对4号机临界转速3号轴振影响。从表6可以看出:在汽轮机高中压转子两侧配重(图6的⑥和⑧位置),可以暂时降低停机至二阶临界转速时3X振动,且振动幅值下降有限;随运行时间增长,停机至二阶临界转速时3X振动会持续恶化至报警甚至跳闸。

表6 高中压两侧配重对4号机临界转速3号轴振影响

	时间	3X/mm	3Y/mm	备注
配重前	2016.11.25	0.223	0.081	
一次配重	2016.12.13	0.193	0.062	
配重	2017.01.04	0.224	0.082	15 FS
二次配重	2017.01.21	0.236	0.088	
配重	2017.01.22	0.246	0.088	1 FS
三次配重	2017.02.23	0.186	0.041	
配重	2018.03.15	0.254	0.101	138 FS

注:1)“FS”指点火启动次数;
2)第1次配重:⑥和⑧各加 350g∠200°;
3)第2次配重:⑥和⑧各加 500g∠128°;
4)第3次配重:⑥和⑧各拆 500g ∠128°, ⑥和⑧各加 272g∠254°。

4.2 高中压转子中间配重

表 7 为高中压中间配重对 4 号机临界转速 3 号轴振影响。从表 7 可以看出:在汽轮机高中压转子中间配重面配重(图 6 的⑦位置),可以较大降低停机至二阶临界转速时 3X 振动幅值,对其它轴承在启停机及定速工况下的轴振无明显影响,且不会随运行时间增长而恶化,说明此方案才是消除故障的根本措施。

表 7 高中压中间配重对 4 号机临界转速 3 号轴振影响

	时间	3X/mm	3Y/mm	备注
配重前	2018.03.14	0.203	0.070	
	2018.04.07	0.138	0.028	
配重后	2019.03.01	0.144	0.028	105 FS

注:1)“FS”指点火启动次数;
2)配重:⑦加 554g $\angle$ 250°。

4.3 原因分析

由于停机至二阶临界转速时 3X 振动大是由于汽轮机高中压转子不平衡造成,且不平衡力位于高中压转子中间部位,当在高中压转子两侧进行配重时,配重面和失衡面不重合,在 3 个力的作用下,随着运行时间增长,转子会出现越来越大的弯曲变形,从而导致临界转速下振动越来越大,如图 7 所示。当在高中压转子中间面配重时,则会避免转子弯曲变形,从而彻底根除故障。

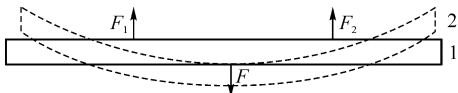


图 7 转子弯曲变形示意图

5 结语

(1) 轴系找中、燃气轮机三级动叶轮盘配重、负荷短轴配重等方式基本无法有效降低停机至二阶临界转速时 3X 振动,有时反而会恶化,甚至会影响其它工况下各轴承振动。

(2) 延长停机解列至全速空载时长可以降低停机至二阶临界转速时 3X 振动,由于全速空载会造成天然气和电量消耗影响经济性,只能作为应急临时措施。

(3) 调整 3 号轴承标高可以作为临时措施降低停机至二阶临界转速时 3X 振动,但也可能会引起相邻轴承负荷分配发生变化造成其它振动异常,因此要综合考虑进行轴系标高调整。

(4) 提高油温和抬高 3 号轴承标高都是增加 3 号轴承负载,油膜厚度变薄,油膜刚度增大,降低停机至二阶临界转速时 3X 振动。提高油温效果相对不明显,一是受油温提升幅度限制;二是提升油温对所有轴承影响是同步的,而抬高 3 号轴承标高主要影响 3 号轴承。

(5) 在高中压转子两侧配重可以缓解停机至二阶临界转速时 3X 振动,由于配重面与失衡面不重合造成转子弯曲变形加大,导致故障重复发生。

(6) 在高中压转子中间配重面进行动平衡可以根除故障,因此尽量在转子失衡面进行配重。

参考文献:

[1] 毛华军. S109FA 联合循环机组#3 瓦振动原因分析及处理[J]. 华电技术,2010,32(9):52-54.
[2] 夏亚磊,杨建刚,张晓斌. 柔性转子转轴弯曲与不平衡耦合振动分析[J]. 动力工程学报,2016,36(11):877-882.

Analysis and Trouble Shooting S109FA Single Shaft Gas-Steam Combined Cycle Unit Abnormal Axis Vibration on Critical Speed

Ge Jianchun

(Fujian Jinjiang gas power Generation Co., Ltd., Fujian Jinjiang 362251, China)

Abstract: This paper introduces an abnormal case of shaft vibration when a single-shaft gas-steam combined cycle unit shuts down to the second-order critical speed. With the help of frequency spectrum analysis and diagnosis, temporary measures and fundamental solutions for fault processing are explored by operation condition adjustment, equipment inspection and repair. In addition, analysis is also given on the root cause of the farlure, which helps to accumulate experience on similar problems.

Key words: single shaft; gas-steam combined cycle; axis vibration; counterweight