

M701F 单轴联合循环机组温态启动逻辑优化与应用

王新年

(中海福建燃气发电有限公司,福建 莆田 351100)

摘 要:介绍了 M701F 单轴联合循环机组温态启动逻辑组成、控制原理和存在问题,提出了温态启动逻辑优化方向,与厂家一起确定了逻辑优化具体方案。在机组检修过程中实施逻辑优化,优化后缩短了机组温态启动时间,提高了机组启动经济性,为同类型机组提供借鉴。
关 键 词:燃气轮机;温态启动;逻辑优化;节能减排

中图分类号:TK478 文献标识码:B 文章编号:1009-2889(2015)01-0066-03

在国家“以市场换技术”的方针指导下,天然气发电产业自 2003 年以来快速发展,燃气-蒸汽联合循环电厂以其环保、高效、启停迅速在天然气发电产业中占主导地位^[1],且在治理雾霾方面发挥较大作用,得到充分肯定,但随着天然气价格日益高涨,燃料成本大幅上升,为提高发电经济性,各燃机电厂在启停、运行等方面采取多方面优化措施。

福建某燃气-蒸汽联合循环电厂一期建设四套 M701F 单轴联合循环机组,按照日启停模式运行,建设和运行阶段在设计、运行和维护等方面进行了优化和改进,综合厂用电率已降至 1.6%。联合循环机组启停过程中发电少,耗气多,对机组经济性影响较大,为进一步提高机组经济性,降低启动过程耗能,进行了机组温态启动逻辑优化,缩短了温态启动时间,取得了良好成效。

1 冷态、温态和热态启动状态的划分

联合循环机组启动过程中,燃气轮机点火后余热锅炉逐渐产生蒸汽,在汽轮机进汽时,汽轮机转子从外面开始受热,转子表面因温度变化产生热应力,由于热传导存在延迟,它的中心温度与转子表面温度差异会产生附加的热应力^[2-3]。

热应力的大小、频次和持续时间将影响转子的寿命,为控制转子寿命损耗不超过设计要求,厂家运

行维护手册要求保证 M701F 单轴联合循环机组在设计运行全周期内转子寿命损耗不大于 45%。为控制启动过程中转子热应力,根据汽轮机高压缸金属温度将机组启动状态划分为冷态、温态和热态。

1) 冷态:高压缸入口金属温度 <230 ℃。
2) 温态:230 ℃ ≤ 高压缸入口金属温度 <400 ℃。
3) 热态:高压缸入口金属温度 ≥400 ℃。

2 冷态、温态和热态启动状态比例分布和参数差别

2.1 冷态、温态和热态启动比例分布

在单台机组年运行 3 200 h,年启动近 160 次的条件下(因供热需要,约 8 个月的时间有一台机组连续运行,每台机组启停次数约减少 40 次),如表 1 所示,机组主要是热态启动,占比 81%,温态启动约占 14%,冷态仅占 5.2%。

表 1 2012 年机组启动状态比例分布表

	冷态	温态	热态	合计
#1	7	17	121	145
#2	10	26	122	158
#3	7	22	160	189
#4	8	19	95	122
合计	32	84	498	614
比例	5.2%	13.7%	81.1%	

2.2 冷态、温态和热态启动状态控制参数差别

如表 2 所示,机组在三种启动状态下,主要有暖机负荷、升负荷率和启动时间(发启动令到满负荷的时间)等差别,并最终影响机组启动过程经济性和接带负荷速度。

表 2 冷态、温态和热态启动参数对比表

	冷态	温态	热态
暖机负荷/MW	52	78	120
升负荷率/(MW·min ⁻¹)	1.5	2.5	4
启动时间/min	210	140	80
耗气量/m ³	105 100	69 400	51 100
发电量/MW	328	233	178
气耗率/(m ³ ·kW ⁻¹)	0.32	0.298	0.287

机组冷态启动时间最长,气耗率最高,经济性最差,温态其次,热态最好。机组低负荷停留时效率较低,在机组启动过程中,通过合理缩短启动时间,可有效提高机组经济性。

3 负荷控制逻辑中启动设置和温态启动模式运行存在问题

图 1 为机组自动负荷逻辑图,机组并网后,暖机负荷和升负荷速率均由启动状态确定,且设定为固定值。

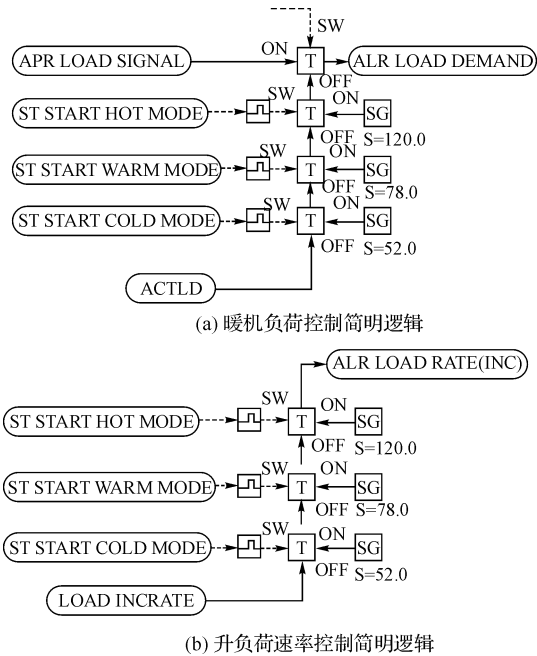


图 1 暖机负荷和负荷升速率简明逻辑

在机组相应汽轮机高、中、低压调阀控制逻辑中也同自动负荷控制类似设置,开阀速度也由启动状

态确定。但参数设定为固定值,未根据机组温度做成线性控制,控制方式不尽合理。

特别是在机组启动状态判定条件中,温态启动条件中高压缸入口金属温度范围达到 170℃。在实际运行中,停机 1 天到 6 天机组均是温态启动,机组实际状态差别很大,使用相同的暖机负荷和升负荷率;造成高压缸入口金属温度接近热态如 395℃仍需要在低负荷停留较久暖机,且升负荷率低,启动时间长,大量蒸汽被排入凝汽器,燃料浪费严重,影响了机组经济性。

在实际日启停运行中,这种高温温态启动比例较大,如能优化控制逻辑,将自动负荷控制中温态启动逻辑设定值从固定值改为与高压缸入口金属温度相对应的函数关系,使转子热应力控制、启动时间控制和经济性方面均能得到兼顾。就此优化建议与厂家技术人员做了详细沟通,得到良好的回应。

4 温态启动逻辑优化方案

厂家在进行机组热应力分析和寿命损耗评估后,提出了可变温态启动逻辑优化方案,如图 2 所示,将温态启动模式优化为根据高压缸入口金属温度可变控制,暖机负荷和升负荷率从固定设定值改为高压缸入口金属温度的线性函数。

在机组控制逻辑中,共修改 5 页控制逻辑设定:一是在机组启动状态判定逻辑中,将温态启动模式下高压缸入口金属温度做输出变量到自动负荷控制和汽轮机高、低压调节阀控制逻辑做控制变量;二是在自动负荷逻辑控制中,将温态启动对应暖机负荷和升负荷率设定值改为与高压缸入口金属温度的线性函数关系;三是在高、低压调节阀控制逻辑中,将温态启动对应开阀速率设定值改为与高压缸入口金属温度的线性函数关系。因三压再热蒸汽系统中,高压系统和再热系统串联在一起,中压调节阀采用跟随高压调节阀控制策略,中压调压阀开阀速率因此相应会改变。

通过温态启动逻辑优化,预计优化后相比原温态启动模式,启动时间根据启动时高压缸入口金属温度不同,可缩短 0~50 min,汽轮机高中压转子寿命损耗略有增加,因启停次数在设计范围内,寿命损耗在控制范围内。

5 温态启动优化实施和效果

在 2014 年 1 月#4 机组中修过程中,首先对#4 机

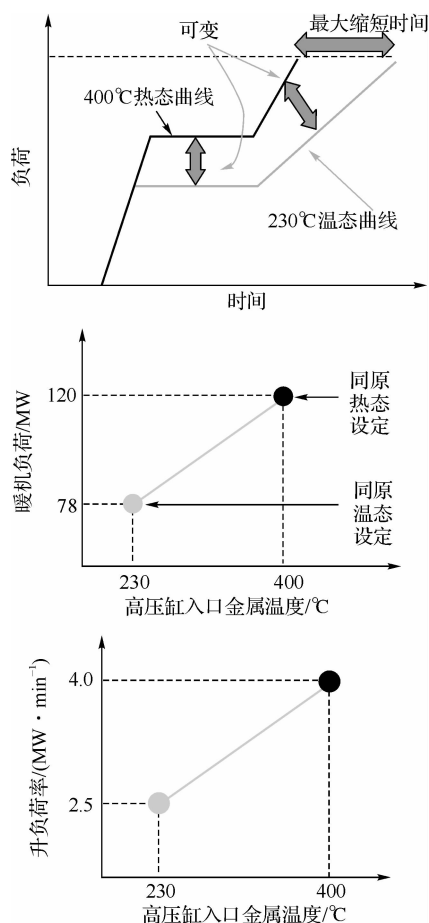


图2 可变温态启动模式示意及参数设定

组进行了温态启动模式逻辑优化,并在机组调试过程中确认温态启动暖机负荷、升负荷率、汽轮机调阀开启速度、转子热应力等参数均在预期范围内,机组运行稳定。

1月17日#4机组温态启动逻辑优化后与优化前数据相比见图3,在高压缸进口金属温度348℃的状况下,机组暖机负荷提高26MW,升负荷率提高0.9MW/min,机组启动时间缩短了21min。优化后机组接带负荷速度明显增加,此次温态启动气耗率降至 $0.29\text{ m}^3/\text{kW}$,与优化前相比降低2%,每次启动可减少耗气约 $1\,800\text{ m}^3$,启动经济性增加。

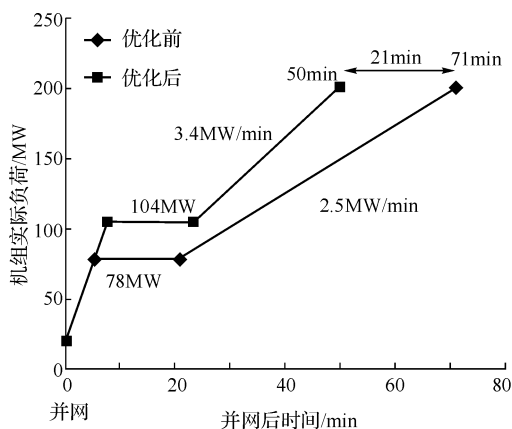


图3 优化前后参数对比

在#4机组温态启动逻辑优化获得成功后,#1、#2、#3机组陆续进行温态启动逻辑优化工作,并在机组运行中进一步证实方案切实可行,能有效缩短温态启动时间,提高机组温态启动经济性。预计机组每次温态启动平均可缩短25min,按照每年4台机组共80次温态启动计算,每年可缩短温态启动时间约2000min,每年可节约天然气 $144\,000\text{ m}^3$,根据天然气采购价格不同,可节约20~40万元,经济效益可观。

6 结语

通过M701F单轴联合循环机组日启停运行中发现了温态启动存在问题,提出了温态启动优化方向,与厂家共同确定并实施了温态启动逻辑优化方案,有效缩短了机组温态启动时间,提高了机组温态启动经济性,此方案可供同类型电厂参考使用。

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, 2003: 5-6.
- [2] 孙伟. 调峰运行的燃气轮机联合循环汽轮机转子热应力和寿命损耗分析[J]. 动力工程, 23(2): 2266-2269.
- [3] 卢俊, 翟春华. 联合循环机组启停过程中汽轮机转子热应力控制及运行调整[J]. 燃气轮机技术, 2008, 21(3): 47-51.
- [4] 中海福建燃气发电有限公司2013年#4机组首次透平检查报告书.

(下转第72页)