

# M701DA燃气联合循环机组冷态启动方案优化

王才文

(江苏华电戚墅堰发电有限公司, 江苏 常州 21300)

**摘 要:** 通过深入分析影响M701DA型燃气-蒸汽联合循环机组冷态启动经济性的主要因素, 从机组启动前的准备、汽机冲转参数的选择、主汽温度与缸温的匹配、辅机启动时机的选择等方面提出了相应的优化方案, 从而达到缩短联合循环机组的冷态启动时间及降低启动用电的目标, 提高机组冷态启动的经济性。

**关键词:** M701DA型燃机; 冷态启动; 节能

## 0 引言

M701DA 型燃气-蒸汽联合循环机组由东方汽轮机有限公司引进日本三菱燃机技术生产, 燃机和汽轮机为双轴布置, 燃机由 19 级的压气机、18 个预混式低 NOX 燃烧器和 4 级透平组成; 汽机为高压、单缸、双压、无再热、下排汽、抽汽凝汽式供热机组, 通流部分共 19 级压力级; 余热锅炉由杭州锅炉有限公司生产的双压、卧式、无补燃、自身除氧、自然循环锅炉, 受热面有 5 个模块组成。

2×220MW 燃机热电机组分别于 2011 年 11 月 23 日、12 月 24 日通过 72+24 小时试运行, 在 2012 年先后投入商业运行, 截止 2012 年 11 月底, 二套机组共启动 23 次, 其中冷态启动达到 20 次, 另外基于供热机组一般不参与电网的调峰, 不需要每天

进行启停, 按照机组设计说明机组从燃机启动到汽机满负荷需 5.5h, 明显启动时间过长, 对机组的气耗、电网的调度肯定会带来一定的影响。因此本文将以其中一套机组#7/8 机冷态启动为例, 通过较详细的分析, 找出影响机组冷态启动时间的主要因素, 提出相应的优化措施, 缩短冷态启动时间, 同时科学合理安排好辅机的启动时机, 尽可能提高机组冷态启动的经济性。

## 1 影响机组冷态启动速度的主要因素

联合循环机组正常冷态启动时燃机从启动到满负荷是按程序设计程序进行, 运行人员很少能干预, 而余热锅炉、汽机启动是以运行人员手动操作为主, 机组正常冷态启动主要步骤如下:

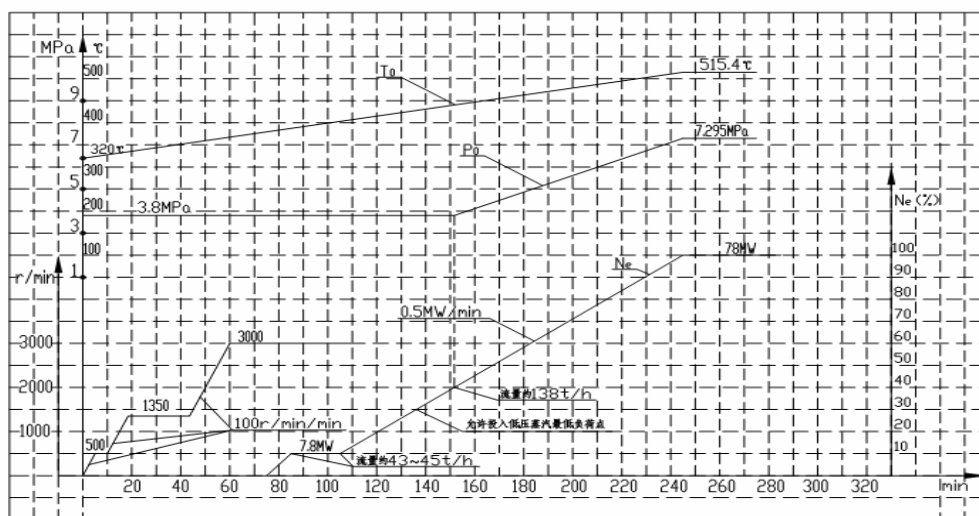


图1 汽机冷态启动曲线

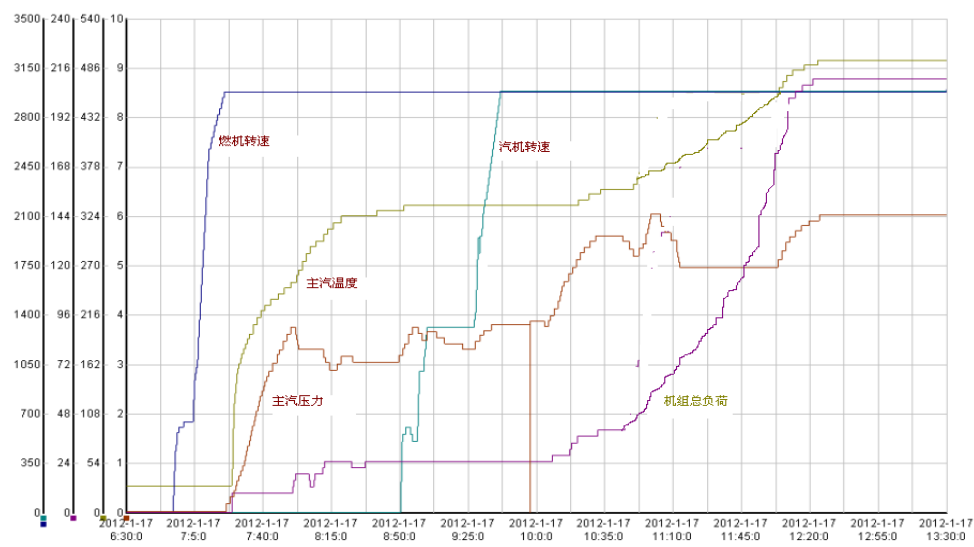


图2 2012年1月17日#7/8机组冷态启动曲线

- 1) 燃机启动，启动电机运行，带动燃机升速至650r/min 压气机吹扫，8min 后燃机点火断续升速至额定转速、并网。
- 2) 余炉锅炉随着燃机点火，高、低汽水系统开始启压。
- 3) 当高压主汽压力 $\geq 3.8\text{MPa}$ ，主汽温度 $\geq 320^{\circ}\text{C}$ 且具有  $50^{\circ}\text{C}$  以上的过热度时，汽机开始以100r/min/min 速率冲转，冲转至 1350r/min 时中速暖机 30min，暖机结束后升至全速、并网。
- 4) 汽机并网后高压主汽调门全开，汽机根据高压汽缸内上缸的温度与高压主汽温度的匹配，随燃机滑参数启动。
- 5) 汽机负荷升至额定负荷的 30%时进行低压补汽。
- 6) 根据省调要求将燃机带至目标负荷值。

图 1 所示为东方汽轮机股份有限公司提供的 LC79.8/62-7.14/1.14 型汽轮机冷态启动曲线，从图中我们可以看到，汽轮机从冲转到满负荷共需 240min 左右。

图2所示为#7/8机组2012年1月17日冷态启动的实时动态曲线，从图中我们可以看到，从启动到满负荷近300min。

为了更加清楚起见，现将启动过程中各个阶段的时间分段列表，见表1。

从以上的比较中，我们可以清楚地看到机组启动时间过长主要是因为余炉起压至满足汽机冲转参数、并网操作、汽机并网至额定负荷的时间过长。

表1 启动过程中各个阶段的时间分段

冷态启动主要阶段	东方汽轮机厂 设计耗时/min	#7/8机组实 际耗时/min
燃机启动至全速	28	28
余炉起压至满足汽机冲转参数	60	75
汽机冲转	60	60
汽机并网至额定负荷	160	130
并网操作及其它等待时间	15	20
总耗时	323	313

2 机组冷态启动方案优化

下面就按机组的启动过程，分别针对启动的各个阶段影响启动速度的原因逐个进行分析，并提出相应的改进措施。

2.1 充分做好启动前准备

充分做好启动前准备工作，及时发现机组存在的缺陷，避免启动中发生设备故障，延长机组启动时间。

1) 对于停运时间超过15天有机组，在启动前对各发电机、电机进行摇测绝缘，对各电动门、气动门进行试操，对调压站对各调压器进行活动试验，确保各设备在完好状态。

2) 启动前通知对凝结水、各系统的炉水进行化验，若水质不合格进行更换冲洗，在启动凝泵、高压给泵后及时通知化学人员进行加药，防止因蒸汽品质不合格延长汽机冲转的等待时间。

3) 严格按照冷态启动阀门检查卡进行各系统的检查，防止因操作人员检查不到位而影响到机组启动各节点时间，甚至启动失败。

4) 若机组准备时间比较充裕, 在启动前24h应投入余炉底部加热, 提高炉水温度, 燃机点火后可加快建立余炉水循环, 降低汽包壁温差, 同时高压系统的起压时间也提前, 缩短余炉起压至满足汽机冲转参数时间。

## 2.2 合理控制好余炉锅炉启动初期的升压、升温速度

余热锅炉的启动过程是一个极其不稳定的变化过程, 在启动过程中, 既要最小限度地消耗机组的使用寿命, 又要尽可能地缩短启动时间; 根据杭州锅炉制造厂提供的设计规定: 高压部分温升 $\geq 4.4/^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , 低压部分温升 $\geq 27.8/^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , 汽包上、下壁温差 $\geq 40/^{\circ}\text{C}$ 。根据水和蒸汽的饱和温度与压力之间的变化可知, 压力越高, 饱和温度随压力而变化的数值越小; 压力越低, 饱和温度随压力而变化的数值越大, 因而造成温差大使汽包产生的热应力也大。所以, 在锅炉升压过程中, 升压速度太快将影响汽包和各部件的安全, 为防止在启动过程中汽包壁温差过大, 除及早投入余炉底部加热外, 还可在燃机点火后加强对各蒸发器进行定排, 及早建立水循环, 在过热器向空排关闭后用高压旁路阀来控制高压汽包初期的升压速度, 避免在启动初期因压力升速过快而影响到燃机启动速度。

## 2.3 合理选择冲转参数

启动参数的选择主要是考虑热应力, 热应力的大小取决于蒸汽与汽轮机金属部件的温差与放热率, 理想的冲转参数应当是进入汽缸的蒸汽流量能满足汽机顺利通过临界转速和带初始负荷的要求, 同时避免对汽机的热冲击, 使金属各部分加热均匀<sup>[1]</sup>。依据这理论认为东汽厂提供的汽机冲转时主蒸汽压力 3.8MPa、主蒸汽温度  $320\pm 10/^{\circ}\text{C}$  明显偏高, 不但对高压缸热冲击大, 同时因压力高通过汽轮机的蒸汽量较少, 放热系数小, 使得汽轮机加热缓慢, 转速也不易稳定; 另外因冲转压力高, 为确保主汽门前蒸汽温度有大于 $50/^{\circ}\text{C}$ 过热度, 要求的主蒸汽温度也高, 余炉起压至满足汽机冲转参数时间明显延长。因此利用每次汽机冲转机会做降低冲转参数试验, 从试验结果看将冲转参数压力降至 2.0MPa, 温度降至 $300\pm 10/^{\circ}\text{C}$ 完全能满足冲转要求; 冲转参数降低后不但缩短了余炉起压至满足汽机冲转参数的时间, 使汽机尽早并网多发电; 还因冲转压力低, 进高压缸的蒸汽量相应增加, 缸胀也明显

比原来有所加快, 为并网后缩短升负荷时间提供了条件。

## 2.4 合理控制好高压主汽温度与汽机缸温的匹配

当汽机并网后根据汽机缸温温升情况逐渐全开高压调门, 增加高压缸的进汽量, 此时应尽量控制燃机在低负荷状态下对汽机进行暖机, 提高汽机升负荷后阶段的速度, 降低整个启动阶段的发电气耗; 只有当高压主汽温度与高压内上缸金属温度之差小于 $60\sim 80/^{\circ}\text{C}$ 时才开始逐渐增加燃机负荷, 提高燃机排气温度, 选择主汽温度与汽机缸温匹配温度的上限, 同时避免高压主汽温度上、下波动, 增加缸温的热应力。当汽机缸温 $> 420/^{\circ}\text{C}$ 时, 在汽机热膨胀、差胀良好的情况下, 将燃机负荷直接带至目标负荷, 尽量缩短汽机带负荷时间。

## 2.5 科学合理安排辅机设备的启动时机, 降低厂用电

冷态启动时, 当汽机发电机负荷大于20MW时才能切换厂用电, 在此以前所有辅机用机都是下网用电, 其价格远比高厂变自供电来得高, 因此在厂用电切换前降低厂用电尤其显得重要。为节约启动厂用电主要从以下方面做了优化工作:

1) 启动前余炉的除氧器上水时充分利用上水泵来完成, 减少凝泵的启动次数及运行时间。

2) 燃机启动前15min开始对轴封进行暖管, 此时才启动凝泵变频运行, 防止排汽缸超温、超压; 由于此时凝结水用量较小, 要求凝泵保持在最小流量运行。因凝泵变频自动暂无法投用, 除氧器上水靠调节除氧器上水调整门来控制, 因此当除氧器进水时, 用凝泵变频输出来控制除氧器进水调门开度在70%左右, 减少调门的节流损失, 达到凝泵变频最佳的节电效果。

3) 燃机点火成功后再分别启动高、低压给泵, 选择此时机启动给泵是因为燃机点火后余炉汽包内存水的温度才开始上升, 一段时间内汽包水位只会有一个逐渐上升的过程; 即使遇给泵由于某种原因启动不成功耽误了汽包上水, 引起汽包水位下降, 严重时余炉受热面干烧, 也不会对设备造成损害, 因为燃机在额定转速时排气温度只有 $285/^{\circ}\text{C}$ , 而余炉在进气温度小于 $371/^{\circ}\text{C}$ 前允许干烧; 但同时要求高、低压给泵未投入正常运行前燃机发电机不能并网, 防止发电机并网后由于给泵设备原因无法启动而使燃机故障停机, 增加机组的非停次数。高压给泵变

频运行后，要求给泵的出口压力与高压给水调门后的压差控制在2MPa之内，在考虑了高压汽包给水的安安全余量的前提下降低高压给水调门的节流损失，降低高压给泵的电耗。

4) 机组启动前确认开式水泵的出口逆止门在开启状态，充分利用开式水泵进、出口的静压差来冷却汽机润滑油、汽机发电机、闭式水温；当闭式水换热器出口温度大于30℃或汽机发电机进口风温大于40℃时才启动开式水泵，冬季时一般不要求启动开式水泵运行。

5) 若机组启动前已有一套机组在运时，要求凝器的循环进水电门关，回水电门开，凝器循环水侧既保持充压状态，又不影响在运凝器循环水的压力，增开循环泵时间安排在燃机点火后。

6) 天然气经调压阀降压是一等焓过程，然气压力下降1MPa则温度下降约6℃，为防止调压阀指挥

器因结露造成冰堵，使调节失常，一般要求环境温度低于10℃才启动水浴炉。

## 2.6 做好启动过程中的组织措施，缩短启动时间

值长根据省调要求并网时间，对机组各系统的检查进行合理安排，正确估算燃机启动时间，协调好集控与网控人员的并网操作，高压旁路开启后及时联系化运人员对蒸汽品质的化验，根据化验结果的针对性进行调整，不因蒸汽品质而影响汽机冲转时间。

## 3 机组冷态启动优化后的经济效益

燃机热电机组冷态启动方案优化实际上是对原主设备运行说明书、原制定的启动操作中不合理的部份根据实际运行情况进行改进、完善，在未对设备进行改造的前提下基本能达到满足快速启动的要求，同时达到最佳的机组启动节能效果。

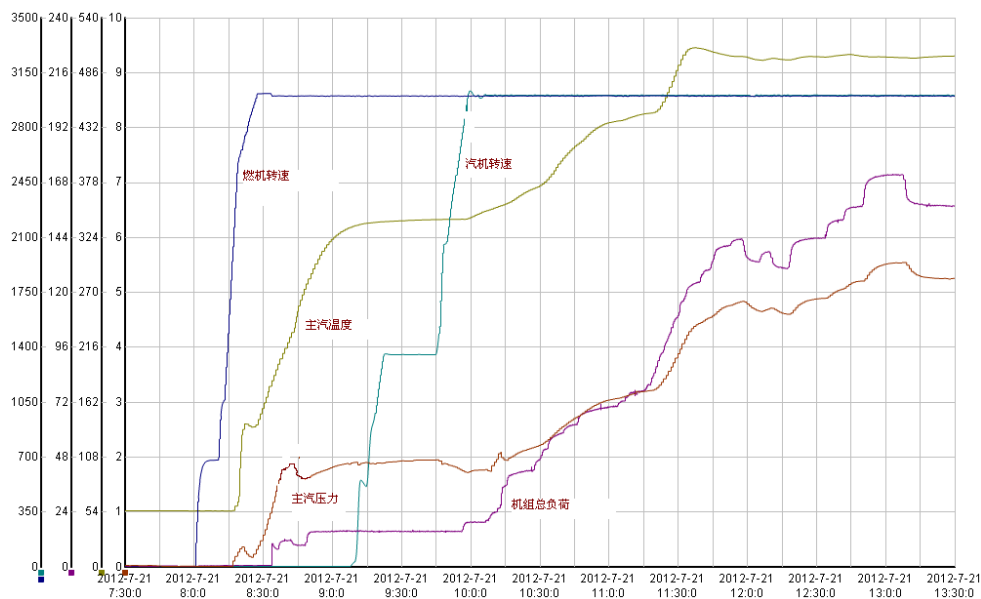


图3 2012年7月21日#7/8机组冷态启动曲线

图3是在机组冷态启动方案优化后#7/8机组7月21日冷态启动的曲线。从曲线上可看出燃机从启动至燃机负荷120MW时间已缩短至3.5h，具体产生直接经济效益如下：

- 1) 采用上水泵上水凝泵可少运行0.5h，节约厂用电140kWh。
- 2) 投用底部加热，可缩短启动时间10~20min，节约燃气0.25~0.5万m<sup>3</sup>。
- 3) 凝泵在轴封暖管时启动，比原来晚开0.5h，节约厂用电140kWh。

4) 高、低压给泵在燃机点火后启动，比原来晚开 1 h，节约厂用电1000kWh。

5) 循泵在燃机点火后启动，比原来晚开2h，节约厂用电2000kWh。

6) 冲转参数降低，缩短启动时间30~45min，节约燃气0.6~0.8万m<sup>3</sup>。

7) 汽机并网后匹配好燃机排气温度与汽机缸温，可缩短启动时间30~60min。

8) 开式水泵在闭式水温度大于30℃时启动，比原来晚开2h节约厂用电440kWh。

9) 机组冷态启动一次耗气量从原来的9万m<sup>3</sup>降至6万m<sup>3</sup>。

#### 4 结束语

燃机热电机组冷态启动方案优化项目实施已近6个月,取得了良好的经济效益,我们已根据优化方案将冷态启动操作票进行了修编,在各个运行班组推广新的操作方式。当然,影响机组冷态启动的经济性不止以上几点,随着运行经验的不断丰富,

操作方式的不断优化,机组启动经济性将会更好。

#### 参考文献:

[1] 孙奉仲.大型汽轮机运行[M].北京:中国电力出版社,2008.

---

#### 作者简介:

王才文(1968-),江苏常州人,助理工程师,从事电厂运行技术工作。