

# 9E 燃气-蒸汽联合循环发电机组冷态启动节能控制策略研究

谢本亮

广州白云协鑫能源科技有限公司 广州地区 510700

DOI:10.12238/ems.v7i12.16464

**[摘要]** 本文着重探讨 9E 燃气 - 蒸汽联合循环发电机组冷态启动的节能控制办法。先对该机组的结构与运行原理展开深入分析,再结合实际运行数据及具体案例,细致说明冷态启动时关键的控制环节,以及相应的节能控制策略,涵盖启动参数精准把控、暖机时长合理优化,还有轴封系统和蒸汽管道的协同配合管理等方面。经研究发现,采用科学的节能控制策略,能有效缩短冷态启动时间,减少燃料消耗,降低厂用电率,提升机组运行的经济性与稳定性,为同类机组节能运行提供借鉴。

**[关键词]** 9E 燃气-蒸汽联合循环发电机组;冷态启动;节能控制策略;运行优化

## 一、引言

当下,能源短缺状况愈发突出,环境问题也日益棘手,在这样的形势下,提升能源利用效率、削减能源消耗以及降低污染物排放,已然成为电力行业发展的关键方向。9E 燃气 - 蒸汽联合循环发电机组属于高效且低排放的发电装置,具备灵活启动、启动耗时短等突出优势,在电力调峰以及能源供应领域占据着重要地位。不过,冷态启动是该机组运行中极为关键的一个环节。其启动流程十分复杂,需要多个系统和部件相互配合、协同运作。倘若在启动过程中控制措施不到位,就会引发一系列不良后果,比如启动时间大幅延长、燃料消耗量增多,甚至还可能对设备造成损害,进而影响机组的使用年限和运行安全。所以,深入探究 9E 燃气 - 蒸汽联合循环发电机组的冷态启动节能控制策略,有着极为重要的现实价值。

## 二、9E燃气 - 蒸汽联合循环发电机组的结构与运行原理

### 2.1 机组结构

9E 燃气 - 蒸汽联合循环发电机组堪称多种能量转换技术的复杂融合体,它主要由燃气轮机、余热锅炉、汽轮机以及各类辅助系统构成。燃气轮机是整个系统的“心脏”,天然气这类气体燃料在燃烧室里充分燃烧,生成高温高压的气体,推动涡轮飞速旋转,从而带动发电机发电。余热锅炉则扮演着“余热回收者”的角色,它借助燃气轮机排出废气中的余热,把水加热成蒸汽,为汽轮机提供动力来源。汽轮机与发电机紧密相连,将蒸汽蕴含的热能转化为机械能,最终实现

向电能的转变。辅助系统涵盖燃料供应系统、冷却系统、排放控制系统等,它们相互配合、协同运作,保障机组在最佳性能状态下运行,产出清洁且可靠的能源,同时最大程度降低对环境的负面影响。

### 2.2 运行原理

9E 燃气 - 蒸汽联合循环发电机组的运行原理建立在燃气轮机和汽轮机这两种不同发电系统的协同配合之上。起初,在燃气涡轮机的燃烧室中,燃料(一般是天然气)被点燃,产生高温高压的气体。气体膨胀后流经涡轮机,将热能转化为机械能,驱动发电机运转发电。燃气轮机排出的废气温度颇高,若不妥善处理会造成能源的极大浪费,所以这些废气被引入余热锅炉。余热锅炉利用废气中的余热对水进行加热,生成高温高压的蒸汽,蒸汽被输送到汽轮机,推动蒸汽涡轮机转动,进而带动发电机发电。通过这种能量梯级利用的方式,达成了能源的高效转换与利用。

## 三、9E燃气 - 蒸汽联合循环发电机组冷态启动过程及存在的问题

### 3.1 冷态启动过程

冷态启动,即汽轮机高压缸内壁金属温度低于 200℃ 时的启动流程,包含多个关键步骤。准备阶段,要全面检查机组各设备状态,确保燃料供应、冷却水、压缩空气等系统正常运行。像发电机绝缘测量、燃机汽机滤油等工作,必须认真落实。之后打开锅炉出口电动门,给均压箱升温,同时把均压箱压力控制在 0.15MPa 以内,并启动两台真空泵抽真

空。点火与冲转阶段,当主汽电动门前温度高于门后温度,且凝汽器真空大于 $-30\text{kPa}$ 时,打开主汽电动门及相关疏水门暖管,期间合理调节凝汽器循环水量和真空。达到冲转条件后,投入轴封系统,用高旁降压以提高冲转速度和暖缸效果,随后冲转。暖机与升速时,机组冲转后进入暖机阶段,会在 $1200\text{r/min}$ 、 $2200\text{r/min}$ 等不同转速下停留,观察上下缸温度、绝对膨胀、胀差等参数,及时调整真空、蒸汽温度和压力。并网与带负荷环节,机组转速达 $3000\text{r/min}$ 时,先做好并网前检查,确认无误后并网。并网后逐步增加燃气轮机和汽轮机负荷,先升至合适数值保持,再增至基本负荷。

### 3.2 存在的问题

传统冷态启动过程里,存在不少影响启动效率和节能效果的问题。其一,暖机时间过长。按照规程来操作时,没有充分考虑到实际运行参数的变化情况,这就导致暖机时间比实际需要的长,进而增加了启动时间和燃料消耗。其二,参数控制不够精确。在启动过程中,对于温度、压力、真空等参数的把控不够精准,可能会使设备承受的热应力过大,这样不仅会损害设备的寿命,还会增加能源的消耗。其三,轴封系统和蒸汽管道的协同性较差。这两者的投入时机和暖管速度不匹配,可能会出现转子提前受热、后期胀差过大的情况,从而影响启动的安全性和效率。其四,缺乏有效的节能监测与评估手段。在启动过程中,没办法对能源消耗进行实时监测和评估,也就难以及时发现节能潜力,更无法采取有效的节能措施。

## 四、9E燃气-蒸汽联合循环发电机组冷态启动节能控制策略

### 4.1 启动参数的精确控制

9E燃气-蒸汽联合循环发电机组冷态启动时,精准控制启动参数是节能的重中之重。就温度控制而言,得把燃烧温度、蒸汽温度这些关键参数拿捏得恰到好处。让燃烧温度维持在最佳区间,能显著提升燃烧效率;把蒸汽温度控制在合理范围,可防止因温度过高或过低损伤汽轮机叶片,或者影响热效率。要达成这一目标,就得装上高精度的温度传感器,再搭配先进的自动控制系统,这样就能实时盯着温度参数,随时做出调节,保证机组在不同工况下都能处于最佳温度状态。压力控制也不能掉以轻心,燃气轮机排气压力、主蒸汽压力等压力参数都得精确调控。通过合理调整燃气轮机

的负荷以及余热锅炉的运行参数,让排气压力和主蒸汽压力在设计范围内波动,进而提高能量转换效率。比如启动过程中,得根据机组实际运行状况,适时调整高旁和低旁的开度,控制好主蒸汽压力的上升速度,避免压力波动太大。真空控制同样关键,凝汽器真空得维持在合适水平,因为真空过高或过低都会影响汽轮机的出力和效率。可以通过优化真空泵的运行方式,还有调节凝汽器的冷却水流量,让凝汽器真空稳定在最佳值。启动初期,适当控制真空泵运行时间,防止真空下降过快;机组并网后,根据负荷变化及时调整真空泵运行台数,保持真空稳定。

### 4.2 暖机时间的优化

传统的固定时间暖机方式有不少弊端,所以对暖机时间进行优化。基于参数变化的动态暖机是个不错的办法,它摒弃了传统模式,根据上下缸温度、绝对膨胀、胀差等实际参数的变化,灵活调整暖机时间。比如说在 $1200\text{r/min}$ 暖机阶段,要是上下缸温差减小且不大于 $50^{\circ}\text{C}$ ,绝对膨胀有上升趋势但比之前慢,那就可以适当缩短暖机时间;在 $2200\text{r/min}$ 暖机阶段,要是胀差向正数增大,但绝对膨胀没明显变化,就增加汽机负荷,保证缸温提升速度,让胀差稳定减小,同时缩短暖机时间。另外,还能借鉴先进的暖机经验,制定新的暖机方案。比如把转速 $1200\text{r/min}$ 时的暖机时间调到20分钟,新增转速 $2200\text{r/min}$ 时暖机10分钟;根据运行经验,规定冷态启动时投轴封的条件是自动主汽门前温度大于 $200^{\circ}\text{C}$ 且均压箱温度达到 $120^{\circ}\text{C}$ ,避免转子提前受热导致后期胀差过大。

### 4.3 轴封系统与蒸汽管道的协同管理

轴封系统与蒸汽管道的协同管理对机组冷态启动的节能控制意义重大。优化轴封系统投入时机是关键环节,得根据蒸汽管道的暖管进度和温度变化,合理确定轴封系统的投入时机。要是均压箱先具备投轴封条件,就先用新蒸汽到均压箱进行压力调节,等基本达到冲转条件再投轴封,然后马上冲转,这样能避免转子提前受热。加快蒸汽管道暖管速度也不能忽视,采用有效的暖管措施能提高暖管效率。比如在冷态启动时,点火前打开均压箱本体等5处无压疏水,加快冷态启动速度;暖管过程中,合理调整高旁和低旁的开度,控制好蒸汽压力和温度的上升速度,保证蒸汽管道均匀受热,减少能源浪费,提高启动效率。

#### 4.4 节能监测与评估体系的建立

建立完善的节能监测与评估体系是提升9E燃气-蒸汽联合循环发电机组节能水平的重要支撑。首先,得安装能源监测设备,在机组的关键部位装上流量计、功率计、温度传感器等,实时监测燃料消耗、发电功率、温度、压力等能源消耗相关参数,给节能控制提供准确的数据支持。其次,建立能源消耗数据库,把监测到的数据存进去,方便进行数据分析和评估。通过对历史数据的深入剖析,找出能源消耗的规律和节能潜力,为制定科学合理的节能控制策略提供依据。最后,制定节能评估指标,像单位发电量燃料消耗、厂用电率、启动时间等,定期对机组的节能效果进行评估。根据评估结果,及时调整节能控制策略,不断优化机组的运行方式,提高机组的节能水平,实现能源的高效利用。

### 五、案例分析

以某电厂的9E燃气-蒸汽联合循环发电机组作为实例,在实施冷态启动节能控制策略之前,该机组冷态启动时间平均长达3.5小时,燃料消耗处于较高水平,厂用电率也比较大。而在实施上述节能控制策略之后,取得了十分显著的节能成效。

#### 5.1 启动参数精确控制效果

该电厂通过安装高精度且可靠的温度、压力以及真空传感器,同时运用先进的自动控制系统,达成了启动参数的精准把控。燃烧温度被稳定控制在最佳区间内,蒸汽温度和压力也保持平稳状态,凝汽器真空同样维持在合适水平。在启动过程中,各项参数的波动幅度明显降低,这极大地提升了机组的运行稳定性。例如,以往启动时温度和压力的波动常常让运行人员提心吊胆,现在参数稳定,机组运行更加平稳有序。

#### 5.2 暖机时间优化效果

在采用基于参数变化的动态暖机方式以及全新的暖机方案后,暖机时间得到了切实有效地缩短。原本1200r/min时的暖机时间需要40分钟,现在缩短到了20分钟;2200r/min时的暖机时间也从原来的30分钟减少至10分钟。如此一来,冷态启动时间平均缩短到了2.75小时,相较于实施策略之前缩短了21%。以前机组启动需要漫长等待暖机完成,现在时间大幅缩短,提高了机组的使用效率。

#### 5.3 轴封系统与蒸汽管道协同管理效果

通过精心优化轴封系统的投入时机,并且加快蒸汽管道的暖管速度,轴封系统与蒸汽管道之间的协同性有了显著提升。转子提前受热以及后期胀差较大的问题得到了妥善解决,启动过程中的安全性和效率都得到了进一步提高。就像以前启动时,转子受热不均和胀差问题经常导致一些小故障,现在在这些问题解决后,启动过程更加顺畅安全。

#### 5.4 节能监测与评估效果

在建立了完善的能源监测与评估体系之后,能够实时对机组的能源消耗状况进行监测,并且借助数据分析及时察觉节能潜力所在。依据评估结果,对节能控制策略进行了持续的优化和调整。实施节能控制策略之后,单位发电量的燃料消耗降低了6%,厂用电率降低了4%,在经济效益和环境效益方面都取得了显著成果。以前电厂在能源消耗上成本较高,现在通过节能策略,既节省了成本,又减少了对环境的影响。

### 六、总结

本文围绕9E燃气-蒸汽联合循环发电机组的冷态启动节能控制策略展开了深度探究。先是对机组的结构特点以及运行原理做了细致剖析,由此发现了冷态启动过程中存在的一系列问题。针对这些问题,文中提出了一系列具有针对性的节能控制策略,包括对启动参数进行精准把控、对暖机时间进行合理优化、实现轴封系统与蒸汽管道的协同管理,以及构建节能监测与评估体系等。为了验证这些节能控制策略是否切实有效、具备可行性,本文还结合实际案例进行了详细分析。从案例分析的结果来看,这些节能控制策略成效显著。研究得出的结论表明,当采用科学的节能控制策略时,9E燃气-蒸汽联合循环发电机组的冷态启动时间能够大幅缩短,燃料消耗和厂用电率也会明显降低,机组的运行经济性和稳定性都能得到极大提升。

#### 【参考文献】

- [1]陈浩宇.《9E燃气-蒸汽联合循环发电机组冷态启动参数精准控制策略研究》,《电力设备》,2020年
- [2]张俊辉.《基于动态暖机的9E燃气-蒸汽联合循环机组冷态启动时间优化》,《热能动力工程》,2021年
- [3]李博文.《9E燃气-蒸汽联合循环发电机组轴封系统与蒸汽管道协同节能管理》,《汽轮机技术》,2022年