

PG9371FB 型燃气轮机清吹时间优化探究

石强

广东粤电新会发电有限公司

DOI:10.32629/etd.v7i1.22210

[摘要] 燃气轮机固定时长清吹模式容易产生能耗大等问题,造成发电量损失较高,存在余热锅炉工况变化不一致以及电网调峰迟缓等问题。通用9FB型燃机,结合燃机机组清吹系统结构和原理,从流量测算、转速调节、工况适配三个方面建立动态清吹优化模式,改变传统的单纯固化清吹逻辑,通过建立不同工况的清吹模型,联动不同运行参数来调节风机状态,并辅之以技术、人员、试验、制度各种保障措施,实现防爆安全条件下精简无效清吹时长。该清吹模式可以减少厂用电和热能消耗量,稳定设备运行工况,提升机组启停效率以及电网调峰灵活性,具有良好的应用与推广价值。

[关键词] 燃机; 清吹时间; 优化

中图分类号: TM611 **文献标识码:** A

Optimization of Purge Duration for the PG9371FB Gas Turbine

Qiang Shi

Guangdong Yuedian Xinhui Power Generation Co., Ltd.

[Abstract] The fixed-duration purge mode used for gas turbines tends to result in excessive energy consumption and substantial power generation losses, while also causing inconsistencies in heat recovery steam generator operating conditions and slow response to grid peak regulation requirements. Taking the General Electric 9FB gas turbine as an example, and based on the structure and operating principles of the gas turbine purge system, this study establishes a dynamic purge optimization mode from three aspects: flow rate calculation, rotational speed adjustment, and operating-condition adaptation. The traditional fixed purge logic is replaced by purge models for different operating conditions, with different operating parameters coordinated to regulate fan operating states. In addition, various supporting measures involving technology, personnel, testing, and management systems are implemented to reduce ineffective purge duration while ensuring explosion-proof safety. This purge mode can reduce auxiliary power and thermal energy consumption, stabilize equipment operating conditions, improve unit start-up and shutdown efficiency, and enhance the flexibility of grid peak regulation, demonstrating good potential for application and promotion.

[Key words] gas turbine; purge duration; optimization

引言

新型电力系统背景下,燃气轮机具有启停灵活、响应快速等优点成为电网调峰中的重要主力机组。随着燃机联合循环机组的运行频次逐年提升,传统固定制式的清吹流程仍沿用单一运行参数,不能适应冷热态的不同启停场景实际置换需求。冗余的清吹流程增加了机组启停能耗和设备机械损失,扰乱了余热锅炉稳定工况,影响机组在并网与调峰时的迅速响应。为兼顾机组安全和经济运维,贴近精细化发电管理的实践要求,开展燃机清吹时间优化研究,对提高机组运行效率,降低机组损耗具有重要意义。

1 PG9371FB型燃机清吹系统概述

PG9371FB型燃机在珠三角区域重要的能源供应单位有广泛应用,其燃机在保障机组安全、稳定、高效运行中发挥着重要的作用。首先需要向空气供应装置提供用于清吹所用到的压缩空气,一般来说清吹所用到的压缩空气都是由燃机压气机排气所供给;然后利用清吹阀门对空气进行流动,这样就确保了使用清吹时间和设置具有合适的位置;最后通过管道将空气输送到燃机和炉膛,从而达到全面的清吹效果。最终控制系统对整个清吹过程进行精确地监测和调节,这样也能够保证所做操作的准确性和可靠性^[1]。

2 PG9371FB型燃机清吹现存主要问题分析

2.1 清吹时间过长致发电损失问题

PG9371FB型燃机在调峰启停过程中,由于清吹时间太长,出现非有效运行时段是影响机组发电效益提升的主要问题。(1)由于对于清吹逻辑参数的设置较为保守,导致清吹总时间明显超过了实际安全需求,与同类型优化机组相比存在严重时间冗余;(2)处于一个较长的清吹惰转状态而不能并网,导致单次启停中有效发电时间被极大压缩,造成巨大的发电量损失;(3)经济效益流失严重,清吹期间除了无电能产出外还多花费了宝贵辅助蒸汽和厂用电资源,增加启停机成本。(4)不利于适应电网变化,过长的清吹时间导致机组对负荷变化做出迅速反应的能力受到限制,增加面临电网调度考核扣分风险^[2]。

2. 清吹能耗高造成资源浪费现象

PG9371FB型燃机在清吹阶段消耗能量大,浪费能源严重影响了机组节能降耗^[3]。(1)辅助蒸汽消耗较多,在清吹过程中需要不断输入高品质蒸汽进行管路吹扫工作,长时间的操作引起了蒸汽用量远超设计标准,热能浪费严重;(2)厂内电价居高不下,整个厂区在清吹期间都必须保持辅机系统持续运转,使得辅机无效功耗增加,导致启停阶段用电成本上升很快;(3)燃气管网压力损耗大,在清吹工艺的过程中,天然气被排放,或是经由排气带走等方式直接散落而无法成为有效能源,这造成了宝贵燃料资源的直接流失;(4)介质综合利用率低,现有的清吹工艺对于高温高能的介质并未实现回收利用,将其在清吹后直接排放到空气当中,没有挖掘出该类型介质潜在的热能利用价值。

3 PG9371FB型燃机清吹时间优化方案设计

3.1 基于空气流量的清吹时间计算

在PG9371FB型燃机清吹时间优化方案中,计算基于空气流量的清吹时间是一个重要的步骤。准确地计算出清吹时间对于确保燃机的安全运行以及提高燃机能效有着非常重要的意义。(1)精确测量燃气轮机在进行清吹过程中所使用的空气流量。这就要求本文使用专业的测量设备来进行测量,以保证数据的准确性,并且通过对不同工况下空气流量的监测,为后续的清吹时间的计算奠定了可靠的依据。(2)结合燃气轮机、余热锅炉实际的空间体积,了解它们的容积大小,明确需要置换的空气量,根据空气流量来确定清吹所需要的时间。(3)考虑清吹空气置换倍率。置换倍率反映的是清吹的彻底程度,在合理置换倍率的情况下可以保证清吹的效果达到安全的标准。(4)分析燃气轮机的运行参数。燃气轮机的运行状态会影响着它的空气流量和清吹效果,综合以上几方面参数,从而使得清吹时间更加精准;(5)根据以上的数据和因素,利用科学的计算公式,进行清吹时间的计算。经过精确的计算,找到一个既保证安全又提升效率的清吹时间,为PG9371FB型燃机的优化运行提供了强有力的支持^[4]。

3.2 考虑工况差异的清吹时间动态优化

在PG9371FB型燃机清吹时间优化方案中,考虑工况差异的动态优化是提高燃机运行效率和安全性的一项重要举措。(1)对不同的工况进行分类。PG9371FB型燃机可能有多种启动工况,例如冷态、温态、热态等等,在每一种情况下燃机内部的温度、压力以及残余可燃气体浓度都有所区别;需要把它们细致地划

分出来,才能为之后的清吹时间的优化做准备。(2)收集关于不同工况下的数据。包括:不同工况下燃气轮机、余热锅炉的实际空间体积、清吹转速时的空气流量、清吹空气置换倍率等。只有掌握了不同工况下的数据,才能对其精准的优化。(3)建立基于工况的清吹时间计算模型。结合收集到的数据,使用科学的方法来建立一个计算模型,使得清吹时间能随着工况的变化而变化。

4 基于空气流量的清吹时间优化方案探索

4.1 术语和定义

(1)清吹倍率:在整个清吹过程中,需置换急备的清吹容积。(2)清吹容积:需清吹部分的容积。(3)清吹流量:燃气轮机在23.5%TNH时燃气轮机尾部的烟气流量。

4.2 计算公式

这些数据和清吹时间有着如下关系:

$$\text{清吹流量} \times \text{清吹时间} = \text{清吹容积} \times \text{清吹倍率}$$

由此我们可以看出,在清吹流量一定的情况下,清吹倍率和清吹容积越小,那么清吹时间越小。

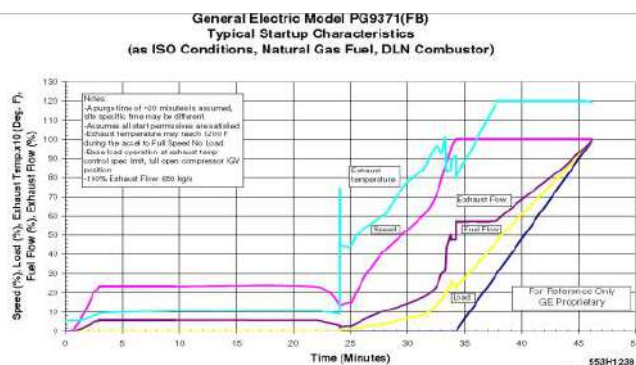
4.3 优化方案

4.3.1 清吹倍率的确定

根据美国消防协会编订的NFPA 85-2019《锅炉与燃烧系统的危险等级标准》,其中第8部分8.8.4.2.1.1条规定了燃气轮机对尾部烟道的清吹倍率为5倍、清吹时间为不少于5min的要求(即对于余热锅炉和燃气轮机排气系统)。

4.3.2 清吹流量的确定

根据该燃气轮机典型启动曲线计算清吹流量,下图为9FB燃气轮机标准状况下DLN2.6+燃烧系统的典型启动曲线。



从曲线中可以看出清吹时转速是23.5%额定转速,从图中的烟气流量曲线可以知道在23.5%额定转速下的空气流量大约等于最大烟气流量的10.3%,而最大烟气流量为650kg/s,所以清吹时的空气流量为66.95kg/s,在15℃的标准大气压力下空气密度 $\rho=1.22\text{kg/m}^3$,则清吹时空气流量为: $54.877\text{m}^3/\text{s}$ 。

4.3.3 清吹容积的确定

根据美国消防协会编订的NFPA 85-2019《锅炉与燃烧系统的危险等级标准》,其第8部分中8.8.4.2.1.2条规定了余热锅炉和燃气轮机排气系统清吹容积规定:“从燃气轮机进口到烟气温低于燃料自燃点56℃”。在任何情况下,清吹容积应不小于燃

气轮机出口到第一层蒸发器出口的部分(没有余热锅炉时,则延伸到烟囱出口)。

查资料可知,天然气主要成分甲烷的自燃点是537℃,余热锅炉正常运行时,高压二级过热器入口烟温是588℃,高压蒸发器进口烟温450℃,所以烟气温度低于甲烷自燃点56℃(481℃)处在锅炉受热面模块二和模块三之间。

最后,在最大达的安全裕量下,并且不计燃气轮机内部容积较小的情况下,确定了计算的清吹容积V是过渡段和模块一进口到模块三出口炉膛容积之和^[5]。并计算出整个炉膛容积的标准清吹时间为参考,得到了合适的清吹时间。

4.4以燃气轮机出口至模块三出口为清吹容积的清吹时间

下图为余热锅炉本体简图,锅炉宽度D=12.8m,锅炉长度(模块一至尾部膨胀节)L=23m,膨胀节至模块一长度L1=12.15m,锅炉高度H=20.3m,烟囱内径d=7.5m,烟囱高度h=80m。

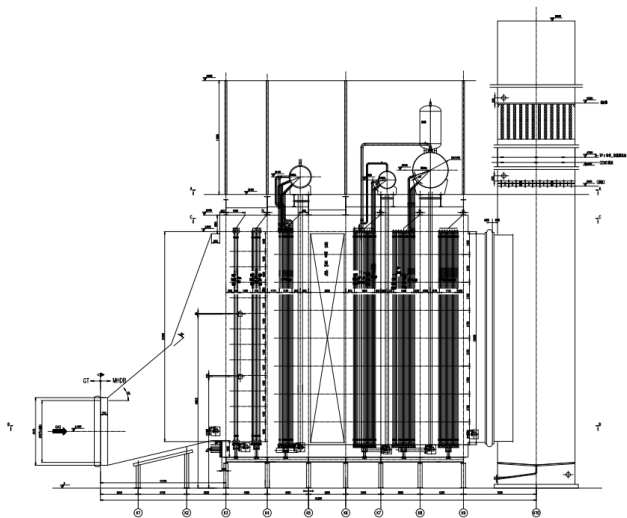
由于膨胀节至模块一部分为不规则形状,所以此容积可以粗略计算为长方体的一半。则计算公式为:

$$\text{过渡段} V_1 = DHL_1 / 2 = 1578.528 \text{ m}^3$$

$$\text{模块一进口至模块三出口炉膛容积} V_2 = (4+4)DH = 2078.72 \text{ m}^3$$

$$\text{清吹容积} V = V_1 + V_2 = 3657.248 \text{ m}^3$$

$$\text{根据公式,算的的清吹时间} T = 5V / 54.877 = 5.55 \text{ min}.$$



4.5以整个炉膛容积为清吹容积的清吹时间

锅炉的宽度D=12.8m;锅炉长度(从模块一直到最后一个膨胀节)L=23m;膨胀节到模块一的距离L1=12.15m,锅炉的高度H=20.3m、烟囱内径d=7.5m、烟囱高度h=80m。

由于膨胀节至模块一部分为不规则形状,所以此容积可以粗略计算为长方体的一半。则计算公式为:

$$\text{过渡段} V_1 = DHL_1 / 2 = 1578.528 \text{ m}^3$$

$$\text{锅炉本体容积} V_2 = DHL = 5976.32 \text{ m}^3$$

$$\text{炉膛内管屏容积} V_3 = 244 \text{ m}^3 \text{ (水压试验容积)}$$

$$\text{炉膛容积} V = V_1 + V_2 - V_3 = 7310.848 \text{ m}^3$$

$$\text{根据公式,算的的清吹时间} T = 5V / 54.877 = 11.1 \text{ min}.$$

原则上3.59 min即可满足正常燃气轮机联合循环启动清吹时间的要求,再考虑到实际清吹流量和容积的计算误差,为保有足够的安全裕量。并且,咨询9FA燃机技术人员后,横琴热电9FA燃机清吹时间更改为11min,9FB燃机优化后的清吹的时间可选为11.5min。

5 结语

未来可以进一步研究PG9371FB型燃机清吹精细化优化,依托机组长期运行数据,进一步完善不同启停工况下动态清吹计算模型,细化风速、时长匹配参数。结合智能化监测技术,搭载可燃气体实时检测模块,形成自适应的智能清吹调控体系,全程实现清吹流程全自动精准调控,并继续健全相关运维和管理制度,加强对多工况试运行的校验,逐步推广标准化优化过程,在减少机组能耗及设备损耗方面有所增益,持续提高燃机启停效率与电网调峰响应水平,为同类型联合循环机组节能优化积累经验。

[参考文献]

- [1]王新保,席建忠.基于改进小波变换的燃机电厂燃机故障信号自动化增强研究[J].电子设计工程,2025,33(24):53-57+64.
- [2]杨明禹.基于物联网的电厂燃机设备检修方法研究[J].中国新技术新产品,2024(19):60-62.
- [3]潘汇丰.电厂燃机运行优化与经济性分析[J].中国科技期刊数据库工业A,2024(5):0129-0132.
- [4]徐惠蕊,高驰.某电厂燃机发电机定子绝缘故障分析及处理[J].电力设备管理,2023(20):60-62.
- [5]潘爱西.节能减排背景下燃机发电厂节能技术研究[J].中国设备工程,2025(16):232-234.

作者简介:

石强(1987—),男,天津市人,大学本科,热能动力中级工程师,研究方向:燃气轮机。