

重型 F 级燃气轮机 IGV 开度对压气机效率的影响

方继辉, 王荣

(杭州华电江东热电有限公司, 浙江省 杭州市 310000)

Influence of IGV Opening Degree on the Compressor Efficiency of MITSUBISHI F4 Gas Turbine

FANG Jihui, WANG Rong

(Hangzhou Huadian Jiangdong NG Cogeneration Co., LTD, Hangzhou 310000, Zhejiang Province, China)

摘要: 压气机是燃气轮机的重要设备, 其性能的高低直接影响燃机最大输出能力及性能, 而压气机进口导叶(inlet guide vane, IGV)开度的变化, 对压气机的运行效率及性能实现具有重要影响。研究实际运行中燃机 IGV 开度的变化与压气机效率之间的关系, 对压气机运行特性分析, 机组运行效率及安全具有重要意义。对三菱 M701F4 燃机的压气机运行数据进行收集分析, 通过实际运行中的数据分析发现, 在外界环境压力及温度变化较小的情况下, IGV 开度对压气机效率的影响存在一定的动态变化关系。当 IGV 开度达到某一个值之前, IGV 开度对压气机的效率影响较大, 而对压气机出口压力及温度的影响相对较小; 随着 IGV 开度的增加, 其对压气机出口压力及温度影响逐渐加强, 直至 IGV 全开, 压气机出口压力及温度达到稳定。

关键词: 燃气轮机; 进口导叶(IGV)开度; 压气机

ABSTRACT: Compressor is an important equipment of gas turbine. The maximum output capacity and performance of the gas turbine is directly affected by the performance of the compressor. The change of inlet guide vane (IGV) opening degree has an important influence on the efficiency and performance for the compressor. The study of the relationship between the change of the IGV opening and the compressor efficiency is very important for compressor performance analysis, unit operation efficiency and safety. In this paper, the compressor operating data of MITSUBISHI M701F4 gas turbine was collected and analyzed. Through the analysis of the data in operation, we found that the influence of the opening degree of IGV on the compressor efficiency had a certain dynamic relationship when the changes of the ambient pressure and temperature were small. Before the opening degree of IGV reached a certain value, the opening degree of IGV had a greater influence on the compressor efficiency but had less influence on the outlet pressure and temperature of

compressor. With the increase of the opening degree of IGV, the influence on the outlet pressure and temperature of compressor was gradually strengthened until the opening degree of IGV was fully opened, and then the outlet pressure and temperature of compressor were stable.

KEY WORDS: gas turbine; opening degree of inlet guide vane (IGV); compressor

0 引言

为改善燃机压气机喘振特性, 提高燃气轮机启机及低负荷阶段的运行经济性及安全性能, 目前在运重型燃气轮机在压气机的入口大多设计了可变导叶调节系统, 通过不同负荷段进口导叶(inlet guide vane, IGV)叶片的角度调整, 使得进入燃机压气机动叶前的气流方向发生改变, 来调节机组空气进气流量。通过 IGV 开度变化, 对控制燃气轮机排气温度, 提高燃机及联合循环的总效率有着重要意义^[1-4]。IGV 开度的变化, 受外界大气环境压力、温度、燃机输出功率、排气温度等因素的影响, 同时, 其开度的变化, 对压气机的空气流量、压缩比、压气机效率产生直接影响, 进而对压气机运行状态会产生影响^[5-9]。本文从三菱 F4 级重型燃机变负荷运行过程中, 燃机 IGV 开度变化引起压气机运行状态变化入手, 研究 F 型重型燃机 IGV 开度与压气机效率的关系。

1 试验过程介绍

三菱 M701F4 重型燃气-蒸汽联合循环机组的燃机压气机为轴流式, 由 17 级组成, 设计工况

下压缩比为 18, 本实验数据取自燃机并网后某一时间段内机组变工况运行过程中的牵引力控制系统(traction control system, TCS), 取样设备为三菱燃机自带 TCS 自控仪表设备, 取点时间间隔为 1 min。试验过程中, 环境温度变化范围为 14.9~15.2 °C, 大气湿度变化范围为 51.7%~50.8%, 在此温度及湿度变化范围内, 考虑到仪表自身的精度问题, 温度及湿度的微小波动对压气机的效率影响可以忽略不计, 压气机的效率则主要受 IGV 开度的影响^[2,10-12]。压气机效率^[13]计算如下:

$$N_c = \frac{(p_2 / p_1)^{k/(k-1)} T_1 - T_1}{T_2 - T_1} \quad (1)$$

式中: p_2 为压气机排气口空气压力; p_1 为压气机进气口空气压力; T_1 为压气机进气口空气热力学温度; T_2 为压气机排气口空气实际热力学温度; k 值取常数 1.40。

2 IGV 开度对压气机效率的影响

IGV 的开度变化, 主要受到燃机负荷指令的控制, 同时压气机进气温度以及燃机排气温度则通过 IGV 开度函数进行系数修正, 最终得出 IGV 在当前负荷、大气温度下的开度信号。本实验阶段, 燃机处在负荷控制模式下, 外界环境温度变化较小, IGV 开度与压气机出口压力动态变化关系如图 1 所示; IGV 开度与压气机出口温度动态变化关系以及影响如图 2 所示; IGV 开度对压气机效率的影响动态变化曲线如图 3 所示。

通过图 3 可以看出, 压气机的效率与 IGV 的开度成非线性正比关系, 随着 IGV 开度的增加, 压气机效率也有所增加。当 IGV 开度在 20.58%~22.97% 变化时, 压气机效率基本维持在 82.5% 左右, 受 IGV 开度变化的波动影响较小; 当 IGV 开度在 22.97%~78.9% 变化时, 其开度的变化对压气机效率的影响较大, 压气机效率的变化幅度, 也表现出不同的变化特性。当 IGV 开度反馈小于 23% 时, 在 IGV 开度提高了 33.04% 时, 对应的压气机效率只增加了 2.01%; 当 IGV 开度大于 23% 时, 在 IGV 开度提高了 194.66% 时, 对应的压气机效率只增加了 6.71%。而当 IGV 开度达到 70% 以上时, 其开度在 70% 至全开范围内的变化, 对

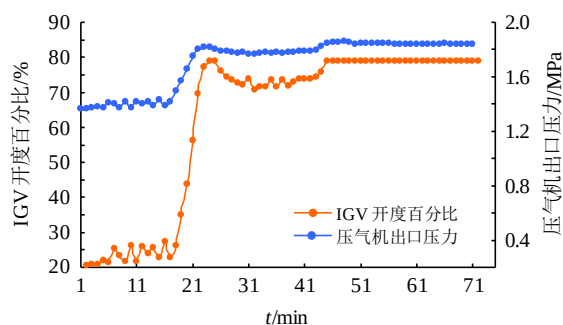


图 1 IGV 开度对压气机出口压力的影响

Fig. 1 Influence of IGV opening on the outlet pressure of compressor

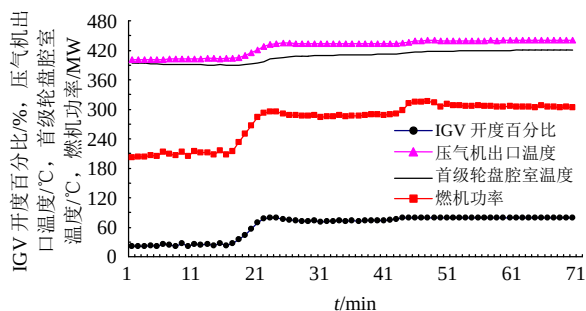
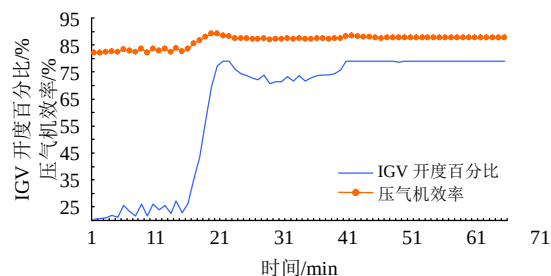
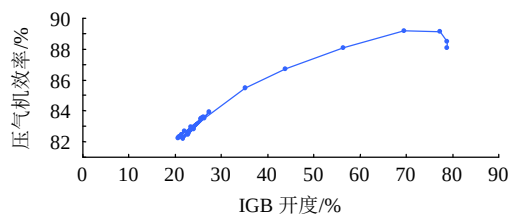


图 2 IGV 开度对压气机出口温度的影响

Fig. 2 Influence of IGV opening on the outlet temperature of compressor



(a) IGV 开度对压气机效率的影响变化关系



(b) IGV 开度变化与压气机效率的动态变化关系

图 3 IGV 开度对压气机效率的影响

Fig. 3 Influence of IGV opening on compressor efficiency

压气机的效率影响并不明显; 当 IGV 开度达到设计全开值 78.8% 附近以后, IGV 的开度继续增加反而会导致压气机的效率有所下降, 引起压气机效率下降的原因可能是压气机入口空气流入角度发生变化, 偏离了最佳切入角, 使得入口空气流

场发生扰动所致。

通过图1、图2中IGV开度与压气机出口运行参数的变化可以看出,当IGV开度小于22.97%时,压气机出口压力较低,在IGV开度提高了33.04%时,对应的压气机出口压力只增加了4.74%,增幅比为0.143,对应的压气机出口温度只增加了0.599%,增幅比为0.018;当IGV开度大于22.97%时,在IGV开度增加了194.66%时,对应的压气机出口压力增加了29.61%,增幅比为0.152,对应的压气机出口温度增加了9.21%,增幅比为0.047。压气机出口压缩比及出口温度的变化将影响到压气机的整体效率,IGV开度小于22.97%时,对压气机效率的影响并不大的原因,可能是进气质量流量相对较低,导致流经压气机的空气无法达到理想的压缩参数,进而限制了压气机效率的提升,而当压气机进气IGV开度大于22.97%时,进入压气机的空气流量随着IGV开度的变化显著增加,进而对压气机的效率产生明显影响,直至开度达到设定值,偏离设计角度后,IGV开度的增加会导致压气机效率有所下降。

3 结论

在非标准设计工况下,压气机内的气体流动变化是一个非常复杂的流场变化,规律相当复杂。对实际运行中三菱F4重型燃机变工况运行下的压气机效率变化研究发现,重型燃机压气机效率在IGV开度较小时,是一个动态变化参数,在环境温度、压力变化较小时,当IGV开度达到70%之前,IGV开度对压气机的效率影响较大,而对压气机出口压力及温度的影响相对较小,随着燃机功率的提升,IGV开度的增加对压气机效率影响逐渐减弱,直至IGV全开,压气机效率达到稳定,过度的开大IGV角度,反而会导致压气机效率下降。而随着燃机功率的提升,在环境温度、压力变化较小时,IGV开度的增加,对压气机出口压力及温度的影响逐渐加强,直至IGV全开,压气机出口压力及温度达到稳定。这一现象的发现,对重型燃机的运行模式选择及优化、重型燃机控制逻辑的优化与改进、燃机设计研究开发具有参考意义。

参考文献

- [1] 梁珊珊. M701F 燃气轮机压气机入口可变导叶机构介绍[J]. 东方电气评论, 2006, 20(3): 58-61.
- [2] 刘闯, 刘勇, 金仁瀚, 等. 大气温度和压力对9E型联合循环机组性能的影响[J]. 重庆理工大学学报(自然科学), 2016, 30(11): 84-90.
- [3] 刘展鹤. 重型燃气轮机现状与发展趋势[J]. 内燃机与配件, 2020(09): 241-242.
- [4] 刘石, 蔡笋, 邓小文, 等. 基于CRN方法的重型燃气轮机燃烧室排放研究[J]. 广东电力, 2019, 32(03): 37-44.
- [5] 朱欲晓, 赖伟彬. 燃气轮机机组空气进口导叶控制逻辑分析[J]. 广东电力, 2009, 22(4): 59-63.
- [6] 刘万琨. 燃气轮机压气机特性计算方法[C]//燃气轮机发电技术会议论文集. 北戴河, 2004.
- [7] 郑添, 王在华, 应光耀, 等. 燃气轮机叶片前缘冷却特性研究[J]. 浙江电力, 2019, 38(10): 89-93.
- [8] 李磊, 胡启迪, 汤卸明, 等. GT13E2燃气轮机燃烧室外缸裂纹维修处理的新方法[J]. 浙江电力, 2018, 37(07): 110-114.
- [9] Olkhovsky G G, Trushechkin V P. Prospects for increasing the efficiency of gas turbine and steam-gas units[J]. Power Technology and Engineering, 2013, 47(2): 119-124.
- [10] 陈坚红. 联合循环机组运行计划和负荷分配: 建模、启发式遗传算法求解和数据处理[D]. 杭州: 浙江大学, 2004.
- [11] 顾大为. 燃气-蒸汽联合循环机组变工况建模与模拟[D]. 沈阳: 东北大学, 2010.
- [12] 蒋峰, 孙文涛, 李兆明. 略谈影响燃气轮机性能的几个重要现场参数及性能提高途径[J]. 化学工程与装备, 2014(8): 150-153.
- [13] 焦树建. 燃气轮机与燃气-蒸汽联合循环装置[M]. 北京: 中国电力出版社, 2007: 67-83.

收稿日期: 2019-01-02.

作者简介:



方继辉

方继辉(1986), 男, 硕士, 工程师, 从事燃机运行、检修及日常技改管理工作, 359408527@qq.com.

(责任编辑 车德竟)