

联合循环机组变工况性能分析

刘忠源¹, 李炜², 陈友良², 黄小光², 自平洋²

¹江苏华电昆山热电有限公司

²华电电力科学研究院有限公司

【摘要】燃气轮机是一个高度复杂的系统, 为了提高燃气轮机的运行经济性, 对燃气轮机的性能分析研究显得尤为重要。本文通过分析进气参数对燃气轮机及联合循环性能的影响, 分析联合循环机组部分负荷运行特性, 基于仿真模型对某 F 级机组实际运行数据进行分析, 计算变负荷对燃气轮机系统、底循环以及联合循环机组的性能影响, 获取机组在部分负荷下的性能参数变化情况, 为机组变工况设计与性能优化提供参考。

【关键词】燃气轮机; 性能诊断; 变工况分析

【基金项目】浙江省“万人计划”科技创新领军人才(项目编号, 2019R52037)

【收稿日期】2022 年 11 月 12 日 **【出刊日期】**2022 年 12 月 23 日 **【DOI】**10.12208/j.jeea.20220071

Off Design Performance Analysis of Combined Cycle Units

Zhongyuan Liu¹, Wei Li², Youliang Chen², Xiaoguang Huang², Pingyang Zi²

¹Jiangsu Huadian Kunshan Thermal Power Co., Ltd

²Huadian Electric Power Research Institute

【Abstract】 Gas turbine is a highly complex system. In order to improve the operating economy of gas turbine, it is particularly important to analyze the performance of gas turbine. This paper analyzes the influence of inlet air parameters on the performance of gas turbine and combined cycle, analyzes the partial load operation characteristics of combined cycle units, analyzes the actual operation data of a class F unit based on the simulation model, calculates the impact of variable load on the performance of gas turbine system, bottom cycle and combined cycle units, and obtains the change of performance parameters of the unit under partial load, It provides reference for off design and performance optimization of units.

【Keywords】 gas turbine; Performance diagnosis; Off design analysis

引言

燃气轮机作为发电、天然气管线动力、舰船动力等领域的核心设备, 其性能优劣决定着机组的经济性。目前, 针对燃气轮机的性能计算分析基本上建立在稳定负荷性能试验上, 这在一定程度上可以了解燃气轮机及联合循环的性能。然而, 燃气轮机是一个高度复杂的系统, 为了准确了解燃气轮机的运行性能, 充分分析变工况条件下机组整体经济性能, 对燃气轮机的变工况运行特性进行研究就显得

尤为重要。

本文基于仿真模型对某 F 级机组实际运行数据进行分析, 计算变负荷对燃气轮机系统、底循环以及联合循环机组的性能影响, 获取机组在部分负荷下的性能参数变化情况, 为机组变工况设计与性能优化提供参考。

1 进气温度影响分析

燃气轮机是恒体流量的动力设备, 流过的空气质量取决于空气密度, 气温越高密度越低, 致使

作者简介: 刘忠源(1971-)男, 汉族, 江苏常州, 工程师, 主要从事电厂检修和基建管理工作; 李炜(1988-)男, 汉族, 河南漯河, 硕士, 工程师, 燃气轮机节能; 陈友良(1985-)男, 汉族, 山东郓城, 华硕士, 高级工程师, 数字化燃机电厂关键技术应用研究; 黄小光(1974-)男, 汉族, 湖南浏阳, 博士, 高级工程师, 研究发电设备故障预警诊断及运行优化等数字化智能运维技术及工程应用; 自平洋(1990-)男, 汉族, 山东枣庄, 硕士, 工程师, 燃气机组节能。

吸入压气机的空气质量流量减少, 机组的做功能力随之变小, 即说明燃气轮机带载能力会随环境温度升高而下降。同时随着吸入空气的热力学温度升高, 压气机的耗功量也会升高, 两者成正比关系, 此时燃气轮机的净出力减小。在燃气轮机的实际运行中, 随着大气温度的升高, 燃气轮机出力和效率都会有所下降。

如图 1 所示, 随着环境温度的升高, 燃气、汽机和联合循环的最大发电功率均随之降低。其中在 0℃时, 燃气、汽机和联合循环的最大发电功率分别为 ISO 条件下的 1.070、1.035 和 1.058 倍, 在 35℃时最大发电功率分别为 ISO 条件下的 0.850、0.919、0.874 倍。

2 进气压力影响分析

大气压力的变化直接影响空气的比热容, 进而影响进入压气机的空气质量流量和输出功率。当大气压力增加时, 空气的比热容下降, 其质量流量增加, 从而增加了机组的输出功率。也就是说, 随着大气压力的降低, 空气将变得稀薄, 在压气机吸入空气容积流量不变化的前提下, 燃气轮机的进气质量流量将会相应减少, 因而导致燃气轮机的功率下降。

如图 2 所示, 相对于 ISO 工况的标准大气压, 随着环境压力从 0.973bar 升高到 1.028bar, 燃机最大发电功率从 95.43% 增加到 103.81%, 联合循环相对最大发电功率从 96.23% 增加到 103.14%。

3 大气湿度影响分析

燃气轮机吸入的空气中含有水分, 水分的多少可用相对湿度来衡量。相对湿度指空气中水汽压与饱和水汽压的百分比, 即湿空气的绝对湿度与相同温度下可能达到的最大绝对湿度之比, 也可表示为湿空气中水蒸气分压力与相同温度下水的饱和压力之比。

大气湿度的变化会对燃气轮机的性能及其工作特性有一定的影响, 其物理本质是湿度使进入燃气轮机的空气的物理性质发生了变化燃气轮机的进气在常温常压下仍可以视为理想气体。但热物理性质(定压比热 C_p 、气体常数 R 等)与干空气不同, 对发动机热力过程产生的影响不可忽略。

混有水蒸气的湿空气比干空气的气体常数和比热容大, 使得燃气发生器的出口气流速度增大, 导

致燃气轮机的输出功率增大。当混入湿空气的湿度增加时含水量也随之增加, 其密度下降, 通过燃烧室中的空气流量减少, 相对湿度越大时参加燃烧的空气量相对减少得就越多, 向燃烧室喷入的燃油量也相对减少得多, 从而导致机组的功率下降, 这是湿度对功率产生影响的两个方面。

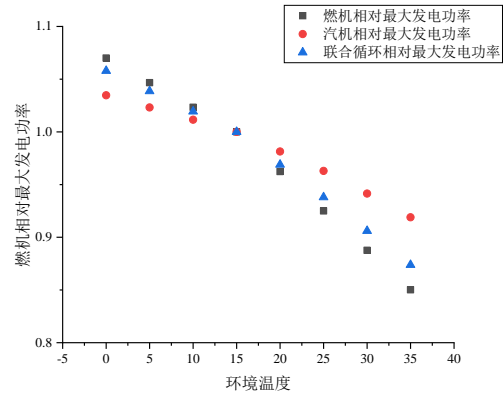


图 1 环境温度对做功能力的影响

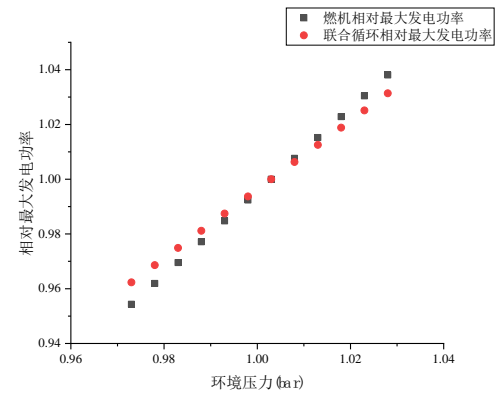


图 2 环境压力对做功能力的影响

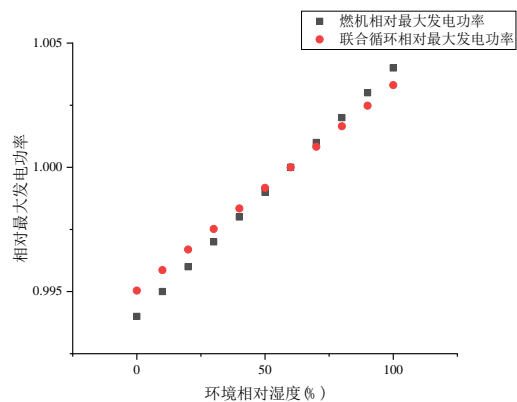


图 3 环境湿度对做功能力的影响

如图 3 所示, 相对于 ISO 工况下的 60%湿度, 环境湿度每增加 10%燃机最大发电功率增加 0.10%左右, 空气湿度从 0%升高到 100%, 将导致燃机最大发电功率从 99.40%增加到 100.40%, 联合循环最大发电功率从 99.50%增加到 100.33%。

4 燃气轮机变工况运行特性分析

燃气轮机在实际运行过程中, 由于负荷需求、环境改变以及机组性能衰退等原因不可能一直处于标准工况下。在外界负荷和大气温度等因素变化时, 燃气轮机的功率 P、转速 n 和效率 η 等参数都相应变化, 使燃气轮机处在偏离设计工况的变工况下运行, 这时燃气轮机各个参数的变化情况、运行的安全性以及启动和加载性能等, 统称为燃气轮机变工况性能。在变工况的情况下, 燃气轮机的效率自然会受到一定程度的影响。

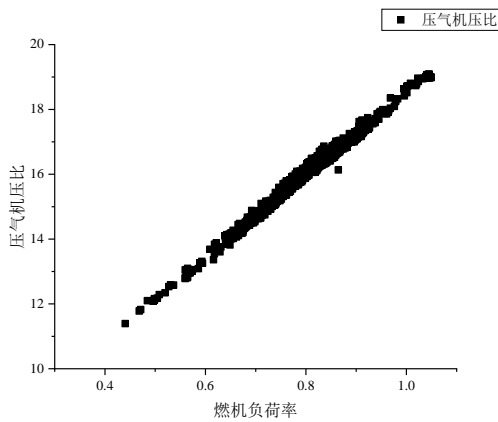


图 4 变工况压比变化情况

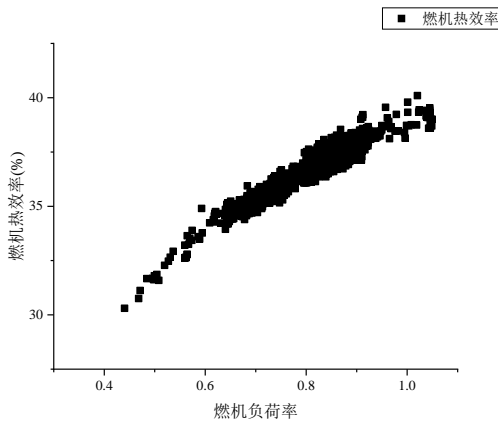


图 5 变工况燃机效率变化情况

如图所示为变负荷条件下燃气轮机性能变化情况。随着负荷率从 100%降低到 44%左右, 压气机压

比从 19 降低到约 11.4, 燃机效率从 40.1%降低至 30.3%。上述燃气轮机变工况性能变化情况反映了在不同燃机负荷率下对应的运行特性, 揭示了燃气轮机变工况下典型热力参数的变化规律, 为机组的日常运行监测提供一定的参考。

5 底循环变负荷运行特性

底循环在联合循环机组中包括余热锅炉和蒸汽轮机系统, 承担回收利用燃气轮机排气余热的的作用。在变负荷条件下, 流经余热锅炉的燃气参数会发生变化, 导致其传热性能发生改变, 其产生的蒸汽参数也会随之变化, 从而进一步影响蒸汽轮机运行特性, 最终对整个机组特性造成影响。基于历史运行数据和仿真模型, 对底循环的变负荷运行特性进行统计分析, 结果如下所示。

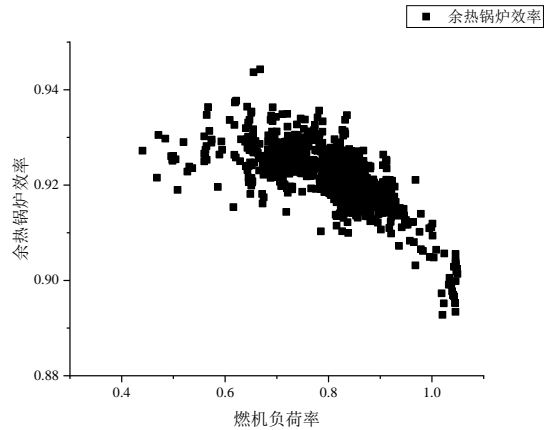


图 6 变工况余热锅炉效率变化情况

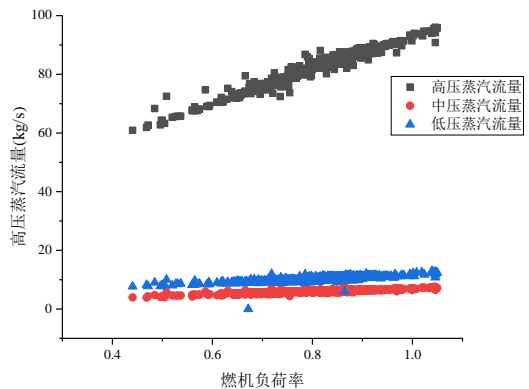


图 7 变工况蒸汽流量变化特性

如图所示为变负荷条件下底循环蒸汽压力与流量变化情况。随着负荷率从 100%逐渐降低, 余热锅炉效率有所上升, 蒸汽压力、蒸汽流量近似呈线性

下降。上述结果反映了在不同工况下汽机部件与余热锅炉的性能变化规律, 能够为汽机与余热锅炉状态的评估提供参考。

6 联合循环系统变负荷运行特性

如图所示为变负荷条件下联合循环系统效率性能变化情况。为分析在一定的边界条件下联合循环效率波动情况, 首先选取典型工况进行分析。选取从 100% 到 60% 负荷率中每间隔 5%±1% 的运行数据进行分析(如 100% 工况数据包括负荷率 99%~101% 的数据), 分析联合循环效率的波动情况, 如图 8 所示。由于供热对联合循环效率存在较大影响, 在一定负荷率下联合循环效率存在较大波动, 以 100% 工况为例, 联合循环效率最高为 58.21%, 最低为 51.01%, 波动达 7.10%。

考虑供热影响, 选取供热量波动范围在 20000kW, 即 20MW 以内的数据分析在各个工况下联合循环效率波动情况, 如图 9 所示。由图中数据可以看出, 在 100% 负荷的情况下, 联合循环效率最大为 58.21%, 最小为 57.07%, 相差 1.13%, 这反映了在不考虑部件性能衰退的情况下, 在 100% 负荷率下机组控制优化所具有的潜力。各工况联合循环效率波动情况统计如表 1 所示。

表 1 分析结果反映了联合循环机组在变工况下的性能变化规律, 同时在不同工况下性能的波动情况反映了机组的控制优化潜力, 能够服务于机组的

运行状态评估, 同时为机组的运行优化提供参考。

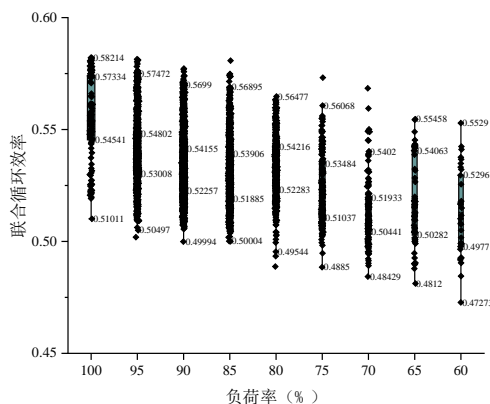


图 8 不同负荷下联合循环效率波动情况

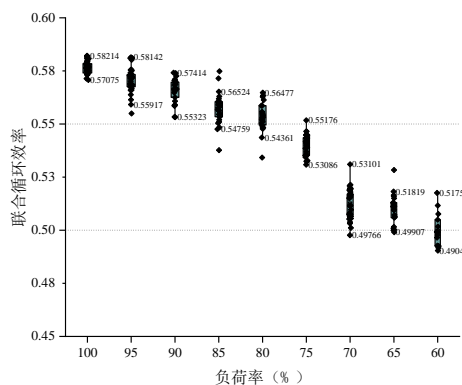


图 9 供热波动 20MW 内不同负荷下联合循环效率波动情况

表 1 供热波动 20MW 内不同负荷下联合循环效率波动情况统计

负荷率	最大效率	最小效率	效率波动范围	供热波动范围
100%	58.21%	57.07%	1.14%	0~20MW
95%	58.14%	55.92%	2.22%	20~40MW
90%	57.41%	55.32%	2.09%	0~20MW
85%	56.52%	54.76%	1.76%	20~40MW
80%	56.48%	54.36%	2.12%	20~40MW
75%	55.18%	53.09%	2.09%	40~60MW
70%	53.10%	49.77%	3.33%	80~100MW
65%	51.82%	49.91%	1.91%	80~100MW
60%	51.76%	49.04%	2.72%	80~100MW

7 结论

通过重型燃气轮机及联合循环系统变工况特性分析, 获取非设计工况下环境参数和机组运行状态

的改变对系统性能的影响规律, 在一定边界条件下机组性能波动情况。通过改变环境温度、热负荷等边界条件, 利用联合循环机组变工况模型计算得到

机组的热耗变化, 分析了环境因素对机组热耗的影响。基于所建立的 F 级燃气轮机及联合循环仿真模型, 开展了系统变工况特性分析, 获取了典型系统的非设计工况特性规律, 为运行经济性分析、运行策略制定和变工况设计提供基础, 为燃气轮机及联合循环的运行优化提供支撑。

参考文献

- [1] 韩朝兵. 燃气-蒸汽联合循环机组的能效监测及经济性诊断[D]. 南京: 东南大学, 2015..
- [2] 贡文明,李炜, 李明.燃气-蒸汽联合循环机组在线性能试验研究 [J].华电技术, 2019,41 (9) :25-28.

- [3] 何怀昌, 李晓东, 罗肖, 等.基于大数据的燃气-蒸汽联合循环机组性能分析及诊断系统[J]. 热力发电, 2020. 49(11): 14-19.
- [4] 吴为彪.460MW 联合循环供热机组热效率与经济性分析 [J].应用能源技术, 2017,4 (7) :26-29.
- [5] 李志鑫.S109FA 燃气-蒸汽联合循环机组发电热耗率影响因素分析[J].华电技术, 2018,40 (9) :66-69.

版权声明: ©2022 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



OPEN ACCESS