

发电领域燃气轮机燃烧调整方法研究

曹炼博,刘志坦,王 凯,李玉刚

(国电环境保护研究院有限公司,南京 210023)

摘 要: 燃烧调整是发电领域燃气轮机检修服务中的重点工作之一,也是中国“十三五”期间“两机重大专项”研究内容的一部分。燃烧调整问题可视为多目标最优化问题,存在可控参数与边界参数、边界参数与总体稳定裕度的二级平衡关系,确定相关变量的相互关系从而保证各级参数的平衡和稳定是进行精细化燃烧调整的关键。不同燃气轮机的燃烧调整方法因燃烧室结构和燃烧原理不同而产生差异,文章总结了三菱公司 M701F 燃气轮机和 GE 公司 DLN1.0 燃烧器燃烧调整方法,对我国燃烧调整发展方向进行了展望。

关 键 词: 发电领域;燃气轮机;燃烧调整;三菱 M701F;DLN1.0

中图分类号:TK477

文献标志码:A

文章编号:1009-2889(2021)02-0031-07

中国电力结构由“煤电”向“气电”转变是大势所趋。截至 2018 年底,中国的原煤探明储量为 138 819 百万吨,为美国的 55.5%,俄罗斯的 86.6%,而同期中国燃煤发电占国内发电比例却高达 66.5%,远高于欧美等国家平均水平^[1]。综合而言,我国虽然燃煤发电量全球领先,但原煤资源储量相对而言并不丰富,“中国是煤炭产销大国”的这一传统论断也并不确切,中国电力结构目前也正处于一种过度依赖煤电的不平衡状态。为加快能源结构转型升级,中国采取了多项举措大力发展天然气等清洁能源。在天然气产储方面,中国已探明有大量的页岩气和可燃冰储量,但受限于开采能力和开采成本,中国天然气供需缺口明显,天然气对外依存度偏高,天然气价格也常年处于较高水平,中国燃气发电占比仅为国内发电总量的 3.2%,远低于 23.2% 的世界平均水平^[1]。

近年,在全球建设绿色低碳能源工程的倡议下,中国加快了能源结构调整步伐,页岩气和可燃冰采储关键技术攻关、“煤改气”和“生物气”等大量气化改造项目的建成,将全面推动国内天然气产业进步,促进燃气发电领域蓬勃向好发展。

1 燃气轮机燃烧调整的重要性

燃气轮机作为现代热动力装置中最先进的设备之一,被喻为机械工业皇冠上的明珠。1939 年瑞士研制出第一台发电式燃气轮机至今,燃气轮机在发电、航空、航海等领域得到了广泛应用,伴随着燃气轮机技术和工业水平的不断进步,燃气轮机在材料、工艺、冷却等方面的不断突破,燃气轮机的整体性能和可靠性得到了显著提升。

在经济全球化的形势下,各大燃气轮机制造厂家之间的竞争十分激烈。当前,一台具有较大市场竞争力的发电型燃气轮机需要同时满足输出功率大、效率高、污染低、尺寸小、寿命久、集成化程度高、成套性能好、制造成本低、易拆卸、易维修、燃料适应性强等诸多要求,这些苛刻的要求,也同时推动着发电领域燃气轮机向着极限和极致的方向发展。

燃气轮机燃烧室的原理和结构十分复杂,涉及气体动力学、燃烧学、化学动力学、热力学、传热学、排放污染控制、声学等多个学科和领域的知识。包括燃烧调整在内的关于燃烧室的研究是重点和难点问题,为建立合适的燃烧模型,必须将理论知识与大量实践经验和数据结合。同时,燃气轮机燃烧过程对于环境条件、燃料热值、华白指数、负荷工况变化

收稿日期:2020-12-25 改稿日期:2021-01-19

作者简介:曹炼博(1991—),男,云南昭通人,硕士,主要从事燃气轮机发电领域研究工作,E-mail:lianbo.cao@chnenergy.com.cn。

等十分敏感,由于外部环境和机械损耗等原因引起的细微变化会产生燃烧振荡、回火、熄火等现象。因此,燃气轮机实际运行过程中的限制因素众多且限制区间狭窄,要求进行细致而精确的控制。燃烧过程对氮氧化物(NO_x)排放区间、一氧化碳(CO)排放区间、温度控制区间、贫燃和熄火极限区间、冷/热振荡峰值、各负荷不同温度基准模式切换节点等都有严格而精确的要求,综合考虑各因素的平衡问题也是燃烧调整的核心问题。例如,降低 NO_x 将降低火焰稳定度并增加 CO 和燃烧动力性,而降低燃烧动力性将增加 NO_x 和火焰的稳定度。如图 1 所示,为使燃气机组在运行中同时满足各项要求,实际燃料当量比可调范围被限制在十分狭小的区间内^[2]。

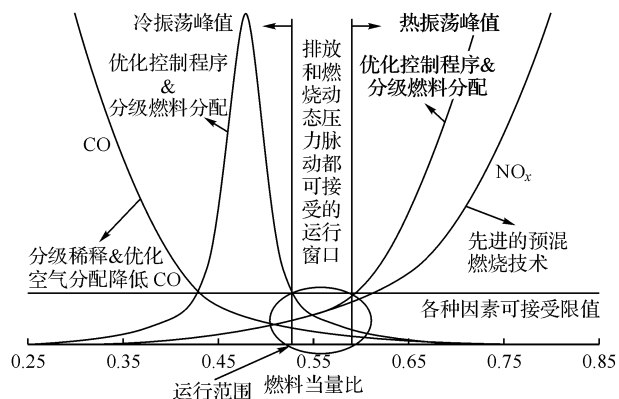


图 1 燃烧室狭窄的燃料当量比区间

2 燃烧调整技术路线

2.1 燃烧调整控制目标层次分解

燃烧调整实际是涉及多因素多水平的平衡(最优化)问题,理论上在燃气机组投产运营后,通过对台架试验和运行数据进行收集后采用回归分析等方法进行多目标优化,可以实现各项参数指标的精准控制。但是,事实上由于各因素间关系复杂,部分因素敏感程度高,且许多关系尚未厘清,因此目前尚不能建立一套十分完备的数学模型量化所有因素的相对关系。也正因受限于此,虽然目前诸多燃气轮机厂家均设计了自动燃烧调整系统(如 GE 公司 Oplex Autotune 系统,三菱公司 A-CPFM 系统,西门子公司 A-SMC 稳定裕度控制器),但在燃气机组实际运行过程中,尤其在环境温湿度、天然气组分等外部因素有较大变化的情况下,还需要工程师人为介入,对燃烧稳定裕度进行更为精细的变更,方能满足燃气轮机运行要求。

按照燃烧调整参数的目标层次性可以对燃烧调

整过程进行层级划分。如图 2 所示,在燃烧调整过程中,第一级关系需要确定边界参数对稳定裕度的影响,第二级关系需要确定燃烧调整可控参数对边界参数的影响。

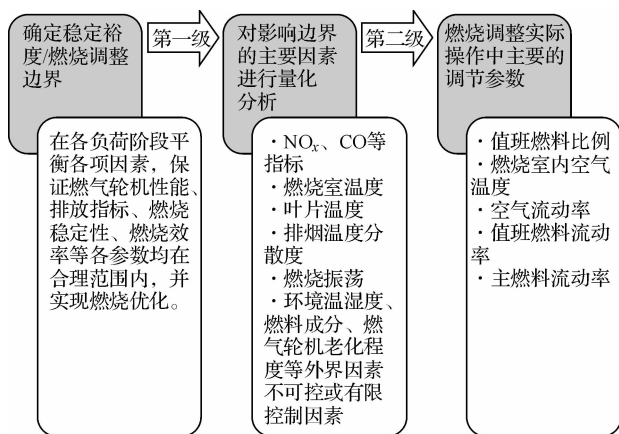


图 2 燃烧调整控制目标层次

2.2 各层级关键因素分析

目前,确认第一级关系,主要依据燃烧调整工程师的现场经验,通过测试导致机组排放超标、温度超限、燃烧振荡或其他触发燃气轮机自动减负荷条件,确定燃气轮机稳定燃烧的裕度;确认第二级关系,除基于理论和试验数据对相关参数敏感度进行分析,确定相应调节参数的优先级外,也需要结合燃烧调整现场具体情况进行个性化分析。

在第一级层次中,根据不同机型特点并结合当地气象环境条件、政策法规等,对不同燃气电厂的燃气轮机设定不同的参数边界。如叶片温度、燃烧振荡等参数指标的合理区间因燃气轮机等级、燃烧室形式不同而出现差异。以 NO_x 排放为例,现国家标准规定的 NO_x 排放限值为 50 mg/m^3 ,而北京地方法规为 30 mg/m^3 ,因此燃烧调整工程师在实际操作中必须考虑边界条件的差异,设置不同的 NO_x 裕度以满足不同地域不同环境条件下燃气轮机的个性化需求。在具体燃烧调整过程中,燃烧调整工程师通过试探不同燃烧模式下的稳定裕度边界和限制条件,对燃烧控制参数进行优化。在第一层级中,由于燃烧调整对环境温湿度、燃料成分、燃气轮机老化程度等外界因素不可控或控制能力有限(仅可采用 IGV 控制优化、天然气加热等方法),因此对此类参数需要加强参数的状态监控,预估季节和环境变化,确定合理裕度范围^[3-5]。

第二层级关系实际是研究可操作参数对边界参数的关系,通过对不同可操作参数的敏度分析,可划

分出优先级,并进行控制路线最优化选择。由于在燃气轮机设计制造安装完成后,设计中设定的许多参数已无法变更,且燃烧调整的基本原理就是调整燃气轮机各负荷阶段燃烧室不同空间区域的空燃比,因此实际燃烧调整操作中能够控制的参数比较有限。总体而言,第二层级的研究其实更偏向理论,燃烧室流量等的研究应该在设计研究和台架试验阶段即建立了比较完整的模型。基于理论研究、经验公式、仿真分析、台架试验等建立各参数的预估模型后,再根据大量实际运行燃气轮机的燃烧调整和优化结论,可以进一步校准和完善参数控制模型^[6-7]。例如,韩国电力研究所通过对某 5.25 MW 工业燃气轮机燃烧室进行台架试验确认 NO_x、CO、喷嘴温度

(T_n)、燃烧室斜面温度(T_d)、燃烧室尾部气体平均温度(T_e)与值班燃料比例、燃烧室内空气温度、空气流动率、值班燃料流动率、主燃料流动率的敏度关系,即第二层级关系。该试验的试验示意图如图 3 所示,主要控制参数的敏度分析结果如表 1 所示。

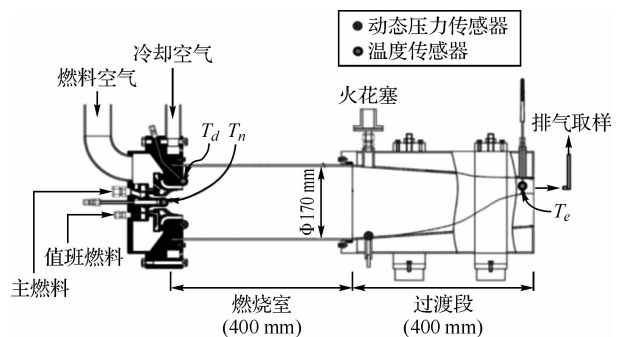


图 3 某 5.25 MW 工业燃气轮机燃烧室试验示意图

表 1 某 5.25 MW 工业燃气轮机燃烧室主要控制参数敏度分析结果

控制参数	氮氧化物排放浓度		一氧化碳排放浓度		喷嘴温度		燃烧室斜面温度		燃烧室尾部气体平均温度	
分析指标	敏度排序	相对敏度	敏度排序	相对敏度	敏度排序	相对敏度	敏度排序	相对敏度	敏度排序	相对敏度
值班燃料比例	1	+100%	4	+12.9%	2	34.3%	5	+0.3%	5	-1.0%
燃烧室内空气温度	4	+25.9%	5	+1.3%	1	+100%	3	+82.1%	4	+26.1%
空气流动率	2	-86.6%	1	-100%	3	-25.9%	1	-100%	2	-77.7%
值班燃料流动率	3	+52.9%	2	+35.3%	4	+20.9%	4	+39.0%	3	+60.4%
主燃料流动率	5	-4.9%	3	+32.2%	5	+1.7%	2	+86.5%	1	+100%

3 燃烧调整方法概述

在燃气轮机发电领域,因厂家设计理念、不同机型的燃烧器结构形式、逻辑控制方法等差异,各主机厂家针对特定机型制定了专用的燃烧调整规范。在此,以 GE 公司 9E 燃气轮机 DLN1.0 燃烧器和三菱 M701F 燃气轮机燃烧室为例对燃烧调整方法进行概述。

3.1 GE 公司 DLN1.0 燃烧器燃烧调整方法

DLN1.0 燃烧器结构简图如图 4 所示。燃烧室有两区:一级区是燃料与空气的预先混合区(非燃烧区);二级区是燃烧区。燃烧室的燃烧反应主要在二级区进行,而二级区获得高效且稳定的燃烧状态需要满足以下三个要素:1) 形成引火炬(主要由二级喷嘴实现);2) 在引火炬和主级气流内表面之间形成强制扰动(主要由旋流器实现);3) 在一级区出口的主级气流外表面上形成稳定火焰区(主要由文丘里组合件等实现)。一般而言,这三方面因素在燃烧器设计阶段已融合整机设计理念,因此非同型号零部件的替换常常会导致燃气轮机整体性能

的巨大差异,在燃烧调整过程中燃烧调整工程师的主要工作也是针对不同燃烧模式下的相关控制参数进行微调^[8-10]。

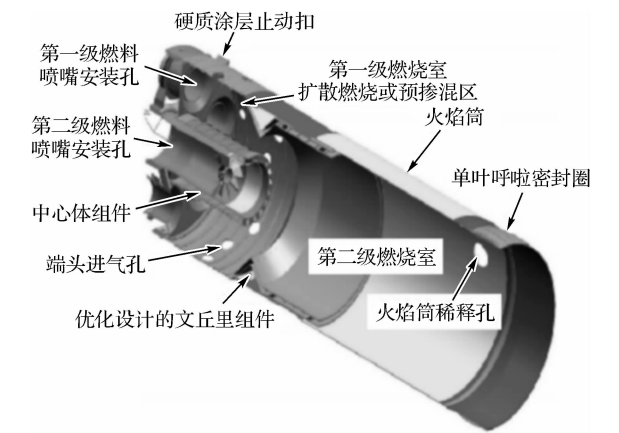


图 4 DLN1.0 燃烧器结构简图

为了实现燃气轮机在不同工况下实现性能的优化,DLN1.0 燃烧有 8 种燃烧模式,见表 2,8 种燃烧模式之间的切换严格遵循逻辑上的因果关系。GE 公司在燃烧调整准则中,对每一种燃烧模式下主要参数(燃烧压力脉动、排气分散度、污染物排放浓度

等)进行了预测,并就控制参数调节范围、各喷嘴流量优化方案和调整步骤等进行了规定。

表 2 DLN1.0 燃烧模式列表

燃烧模式	中文名称	英文名称	英文简称	逻辑名称
模式 1	扩散贫贫模式	EXTENDED LEAN – LEAN MODE	EXT_LL	L83LLEXT
模式 2	预混稳定模式	PREMIX STEADY STATE MODE	PM_SS	L83FXP2
模式 3	预混切换模式	PREMIX TRANSFER MODE	PM_XFER	L83FXP1
模式 4	二次切换模式	SECONDARY TRANSFER MODE	SEC_XFER	L83FXS1
模式 5	负荷恢复模式	SECONDARY LOAD RECOVERY MODE	SEC_REC	L83FXS3
模式 6	贫贫(负) 燃烧模式	LEAN – LEAN MODE NEGATIVE UNLOAD TO DROP OUT	LL_NEG	L83FXL1N
模式 7	贫贫(正) 燃烧模式	LEAN – LEAN MODE POSITIVE PERMISSIVE TO LOAD	LL_POS	L83FXL1P
模式 8	初始燃烧模式	PRIMARY MODE	PRIMARY	L83FXP

DLN1.0 燃烧器燃空比控制模块逻辑图如图 5 所示,该 PM – SS – SPL – RF 功能模块实际上是一个分段选择函数。其中:TTRF1 为燃烧器温度基准;FXSP 为一级区燃料百分比;FXSP2 = FSRP/(FSRP + FSRS),FXSP2 被赋值后送往下一步的功能模块;FXKSPMMX 为 FXSP 的最大值;FXKSPMMN 为 FXSP 的最小值。

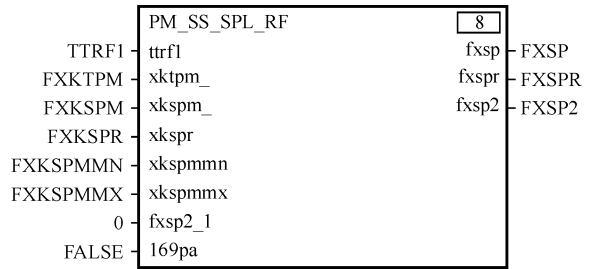


图 5 一级和二级燃空比控制逻辑

分配到每个燃烧器燃料喷嘴的燃料流量与燃烧温度基准(TTRF1)等参数满足以下函数关系:

$$FXSP = FXKSPM[i] + \frac{[FXKSPM[i + 1] - FXKSPM[i] \times [TTRF1 - FXKTPM[i]]]}{FXKTPM[i + 1] - FXKTPM[i]}$$

(1)

式中:FXSP 为一级区燃料量百分比;FXKTPM 为参考温度阵列常数;FXKSPM 为分配阵列常数。

如表 3 所示,某电厂燃烧调整过程中考察了燃气轮机基本负荷工况下一级燃料比例对 NO_x 的影响,在 TTRF1 保持稳定的情况下(即燃气轮机温控状态下),通过测试不同 FXKSPM[3] 比例与 NO_x 关系,根据比例合理调节燃烧器的燃烧空燃比,可以将 NO_x 排放浓度稳定地控制在限值范围以内^[11]。

表 3 某电厂燃气轮机基本负荷工况燃烧调整参数情况

测试点	负荷/MW	燃烧温度 基准/°F	烟气中氮氧化物浓度/ (μL · L ⁻¹))	烟气中氧气 含量/%	1 号燃气调节阀 (VGC1) 阀位反馈/%	2 号燃气调节阀 (VGC2) 阀位反馈/%
FXKSPM[3] = 81%	131.5	2 078.9	9.70	14.8	40.7	22.8
FXKSPM[3] = 82%	130.2	2 078.6	9.05	14.8	41.2	21.7
FXKSPM[3] = 83%	130.7	2 077.1	9.00	14.8	41.8	20.8
FXKSPM[3] = 84%	130.2	2 078.5	9.40	14.8	42.3	19.6
FXKSPM[3] = 85%	130.4	2 079.5	9.85	14.8	42.7	18.48
FXKSPM[3] = 83%	130.4	2 078.7	9.10	14.8	41.8	20.8
FXKSPM[3] = 82%	129.4	2 078.7	9.00	14.8	41.2	21.8
FXKSPM[3] = 81%	130.0	2 078.7	9.50	14.8	40.7	22.8
FXKSPM[3] = 80%	130.2	2 078.7	10.6	14.8	40.4	23.9
FXKSPM[3] = 79%	130.3	2 078.7	12.3	14.8	40.0	25
FXKSPM[3] = 78%	130.4	2 078.7	14.6	14.8	39.4	26
FXKSPM[3] = 77%	130.6	2 078.7	17.8	14.8	39.1	27.3
FXKSPM[3] = 83%	129.7	2 078.7	9.20	14.8	41.76	20.7
FXKSPM[3] = 82%	130.3	2 078.7	9.05	14.8	41.36	21.9

3.2 三菱 M701F 燃气轮机燃烧调整方法

三菱 M701F 燃气轮机的燃烧系统有其独到的技术和优点。其中,燃烧室旁路阀是三菱燃气轮机的一个最主要的创新点。通过利用值班燃烧喷嘴和旁路

阀,能对燃气轮机旁路空气量和燃烧室内的空燃比进行单独调节,更有利于在各工况条件下形成稳定的火焰,保障燃烧室内的燃烧情况更加稳定和高效^[12]。

M701F 燃气轮机燃料分配控制逻辑如图 6 所示。

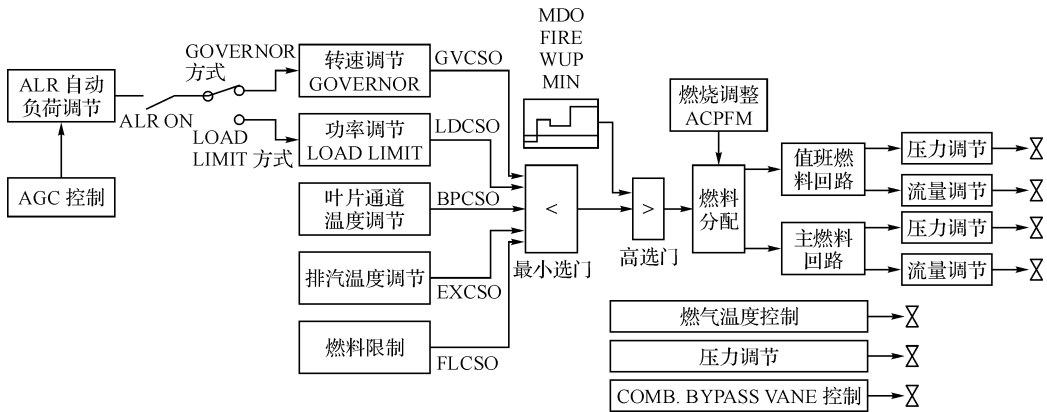
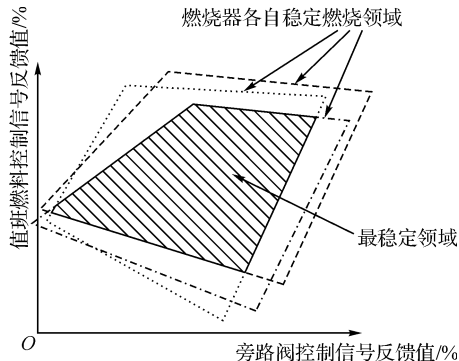


图 6 M701F 燃气轮机燃料控制逻辑框图

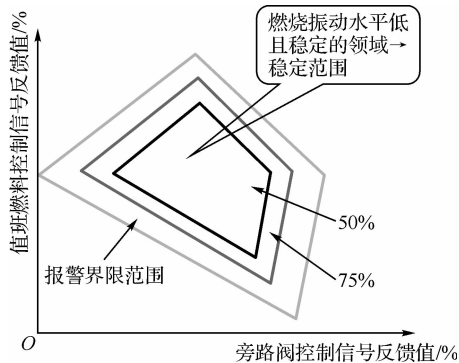
如图 7 所示,燃烧调整工程师根据燃烧器各自的燃烧稳定领域以及燃烧振动水平确定燃气轮机不同裕度下的稳定燃烧区域。如图 8 所示,某 M701F 燃气轮机在负荷 146.8 MW 工况下,通过对旁路阀控制信号 (BYCSSO) 和值班燃料阀控制信号 (PLCSSO) 进行波动性试探,确认燃烧稳定裕度和边界的最终结果,各坐标轴上黑点位置的数值即为燃烧调整摸索确认的 PLCSSO、BYCSSO 边界。其中,图中值班燃料上边界表示:当 PLCSSO 增加 +1.2 偏置后,振动频段 HH2、燃烧器编号 #7、振动值由 0.6 kPa 升至 0.9 kPa。以同样方法摸索燃气轮机加减负荷后各阶段的裕度极限,可建立图 9 所示的燃气轮机负荷与值班燃料控制信号反馈值关系曲线和图 10 所示的燃气轮机负荷与旁路阀开度反馈值关系曲线。

在燃烧调整过程中,很容易发生燃烧振动现象,目前,针对 M701F 燃气轮机阀门的调整顺序主要还是依据燃烧调整工程师的现场经验。如发生低频振动,应优先考虑增加值班燃料比例;除 HH4 以外的高高频振动,关小旁路阀比减少值班燃料比例对燃烧稳定的效果会更加明显。同时,燃烧压力波动还受到燃料成分、压气机进气温度等外部条件的影响。例如,当天然气中甲烷成分降低时,燃料热值将增加,燃烧温度升高,火焰上移,根据甲烷成分对燃烧振动的影响,4 400 Hz 和低频的振动将降低,对应边界扩大,270 Hz 的振动增加,对应的燃烧稳定边界缩小;如果压气机进气温度增加,则低频振动降低,对应边界扩大。

M701F 燃气轮机燃烧调整按如图 11 所示步骤进行^[13]。一般地,在燃气轮机 50% 负荷以下燃烧调整工程师只需检查压力波动和 BPT 偏差情况,而 50% 以上负荷需要确认典型负荷到满负荷工况下的燃烧温度裕度。整个裕度确认完成后,最后需要进行负荷摆动试验,以便对各负荷阶段的参数设置情况及反应灵敏性进行检验。



(a) 根据各燃烧器稳定燃烧领域确定的最稳定领域



(b) 根据燃烧振动水平确定的稳定裕度区间

图 7 各燃烧器燃烧稳定区域的确认

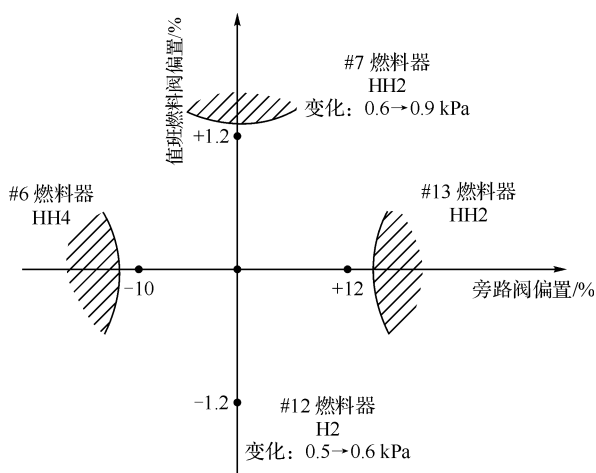


图8 M701F 燃气轮机在负荷 146.8 MW 工况下燃烧稳定边界的确认

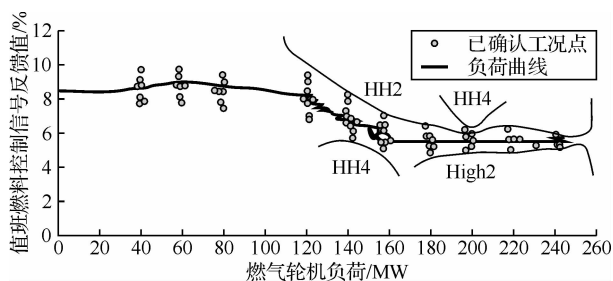


图9 燃气轮机负荷与值班燃料控制信号反馈值的关系

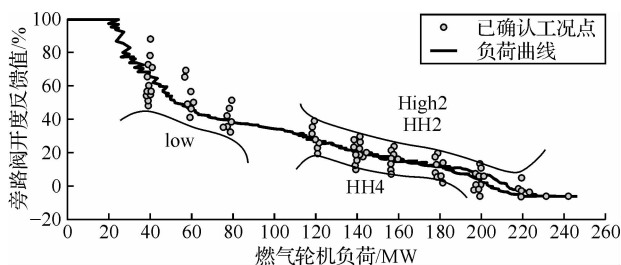


图10 燃气轮机负荷与旁路阀开度反馈值关系

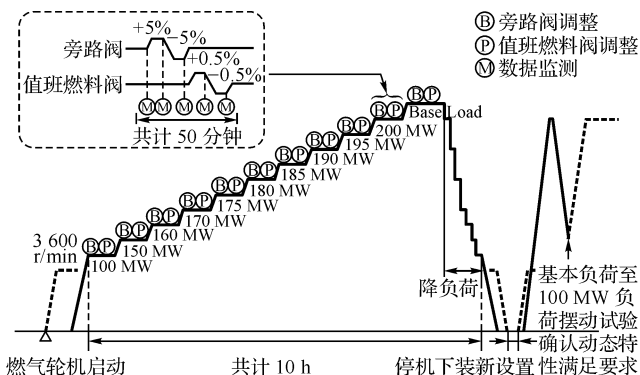


图11 M701F 燃气轮机燃烧调整过程示意图

总体而言,GE 公司和三菱公司燃气轮机的燃烧调整方法在本质上没有区别,均是通过摸索不同负荷阶段受相关因素影响的边界区域和分级分区燃

料配比关系来确定裕度空间。而在燃烧调整的实际执行过程中,燃烧调整的步进和偏置量选取与燃烧室结构形式、控制逻辑相关,由于三菱燃气轮机设计了旁路阀,通过控制 PLCSO 和 BYCSO 两种方式进行燃烧调整,其可调范围和控制能力更强。

4 总结与展望

(1) 在全球环境保护和绿色可持续发展的形势下,中国电力结构由“煤电”向“气电”进行能源结构转型是大势所趋,天然气发电领域将获得更多关注。燃气轮机燃烧调整等技术攻关属于我国“两机重大专项”科研任务的一部分,将为我国突破外企技术壁垒,推动燃气轮机国产化进程做出巨大贡献。

(2) 燃气轮机燃烧调整可以看作多目标优化过程,同时可以分解为可控参数与边界参数、边界参数与总体稳定裕度的二级平衡关系的确认问题。我国由于缺乏燃气轮机设计经验,在第二层级(可控参数与边界参数关系确认)方面较为薄弱,国内燃气轮机技术人员虽然初步掌握了燃烧调整的方法,但是在燃烧机理、数值量化控制、试验数据总结提炼、燃烧调整经验积累等方面仍不够深入。因此,为全面提升国内燃烧调整技术储备,还应加强燃气轮机台架试验、仿真计算以及各类燃气轮机运行和控制数据的研究。

(3) 发电领域燃气轮机燃烧调整在商务领域还有许多关系需要厘清。由于目前燃气轮机的设计制造仍由外商垄断,因此在国内企业涉入燃烧调整后,应充分考虑燃气机组运维过程中的责任分担问题。此外,也需要政府出台相关政策对国内企业进行扶持,充分协调各方利益关系。

参考文献:

- [1] BP 世界能源统计年鉴 2019 版[EB/OL]. (2019-07-30) [2020-11-20]. https://www.bp.com/content/dam/bp/country-sites/zh_cn/china/home/reports/statistical-review-of-world-energy/2019/2019srbook.pdf.
- [2] 李忠义,崔耀欣,虎煜. 燃气轮机燃烧调整和自动燃烧调整技术探讨[J]. 热力透平,2015,44(3):183-187.
- [3] KELSALLA G, TROGER C. Prediction and control of combustion instabilities in industrial gas turbines[J]. Applied Thermal Engineering, 2004, 24(1):1571-1582.
- [4] OH J, KIM M, YOON Y. The tuning methodology of a GE 7FA + e DLN-26 gas turbine combustor[J]. Applied Thermal Engineering, 2012, 36(1):14-20.
- [5] JOGANSSON R, THUNMAN H, LECKNER B. Sensitivity analysis

of fixed bed combustion model [J]. Energy Fuels, 2007, 21 (3): 1493-1503.

[6] LEE M C, CHUN J H, PARK W S, et al. The combustion tuning methodology of an industrial gas turbine using a sensitivity analysis [J]. Applied Thermal Engineering, 2013, 50(1): 714-721.

[7] PARK S, CHOI G M, TANAHASHI M. Demonstration of a gas turbine combustion-tuning method and sensitivity analysis of the combustion-tuning parameters with regard to NOx emissions [J]. Fuel, 2019, 239: 1134-1142.

[8] 柴志红, 刘志勇, 万洪军, 等. PG9171E 型燃气轮机 DLN1.0 燃烧调整技术分析 [J]. 燃气轮机技术, 2015, 28(3): 53-61.

[9] 黄素华, 史佩钢, 荆迪, 等. 燃机干式低 NO_x 燃烧动态压力监测、分析及调整 [C]//中国电机工程学会年会论文集. 2013.

[10] 马文德. 9E 燃气轮机 DLN 1.0 燃烧系统预混切换过程熄火跳闸故障的分析与处理 [J]. 燃气轮机技术, 2016, 29(3): 49-52.

[11] 姜红卫. 论 DLN-1 型燃烧器的燃烧调整 [J]. 中国设备工程, 2018(18): 101-102.

[12] 杨勇, 艾松, 贾文. 燃气轮机燃烧室燃烧稳定性分析 [J]. 东方电气热评, 2012, 26(101): 25-29.

[13] 毛丹, 诸粤珊. 三菱燃气轮机燃烧调整分析 [J]. 热力透平, 2009, 38(3): 156-160.

Research of Gas Turbine Combustion Tuning Methodology in the Field of Power Generation

Cao Lianbo, Liu Zhitan, Wang Kai, Li Yugang

(Guodian Environmental Protection Research Institute Co., Ltd., Nanjing 210023, China)

Abstract: Combustion tuning is one of the key tasks in the maintenance service of gas turbines in the field of power generation, and it is also part of the research on the “two major special projects” in China during the “13th Five-Year Plan” period. The combustion adjustment problem can be regarded as a multi-objective optimization problem. There is a two-level equilibrium relationship between controllable parameters and boundary parameters, and boundary parameters and overall stability margin, determining the interrelationship of related variables to ensure the balance and stability of various parameters is the key to carry out refined combustion tuning. The combustion tuning methods of different gas turbines are different due to the different combustion chamber structures and combustion principles. The article summarizes the combustion tuning methods of Mitsubishi M701F gas turbine and GE company DLN1.0 combustion, and prospects the development direction of China’s combustion tuning.

Key words: power generation field; gas turbine; combustion tuning; Mitsubishi M701F; DLN1.0

(上接第 67 页)

Analysis and Treatment of Abnormal Cavitation for Water Ring Vacuum Pump in a Power Plant

Wen Wenzhong

(Shenzhen Nanshan Power Co., Ltd., Guangdong Shenzhen 518052, China)

Abstract: During commissioning of the plant, cavitation of the water ring vacuum pump was caused due to the high vacuum degree of the condenser in a power plant with high vibration and noise, which seriously endangered the long-term stable operation of the pumps and plant. After fault phenomenon analyze, corresponding solution was put forward to eliminate the cavitation. It was proved finally that the solution successfully eliminated the vibration and noise, ensured the unit operation reliability and economy. The solution could also be used as good reference for similar problems of other water ring vacuum pumps in different power plants.

Key words: water-ring vacuum pump; cavitation; working principle; vacuum