

三菱 M701F 燃气轮机控制系统简析

毛 丹, 诸粤珊

(深圳市广前电力有限公司 前湾燃机电厂, 广东 深圳 518054)

摘要: 分别介绍三菱 M701F 燃气轮机控制系统的主要控制方式: 自动负荷调节、转速控制、负荷控制、温度控制、进口可调导叶控制, 简要分析控制系统的构成、逻辑、功能和特点。

关键词: 燃气轮机; 负荷控制; 温度控制; 进口可调导叶控制

中图分类号: TK323

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2008)06-0076-04

Analysis on Control System for Mitsubishi M701F Gas Turbine

Mao Dan, Zhu Yueshan

(Qianwan Gas Turbine Power Plant, Shenzhen Guangqian Electric Power Limited Company, Shenzhen Guangdong 518054, China)

Abstract: Mitsubishi M701F gas turbine, which use DIASYS netmation control system, includes some main controlling methods, such as auto load regulation, speed control, load control, blade path temperature control, exhaust temperature control, IGV control. The composition, logic, function and its characteristics of this controlling system will be briefly analyzed.

Key words: gas turbine; load control; temperature control; IGV control

深圳前湾燃机电厂燃气-蒸汽联合循环机组 DCS 使用由三菱提供的 DIASYS Netmation 控制系统, 其控制系统主要包括以下几种控制方式, 分别为: 自动负荷调节、转速控制、负荷控制、温度控制、进口可调导叶控制等。

1 三菱 M701F 燃气轮机控制系统

1.1 燃气轮机主控制系统

燃气轮机主控制系统逻辑图如图 1 所示^[1]。

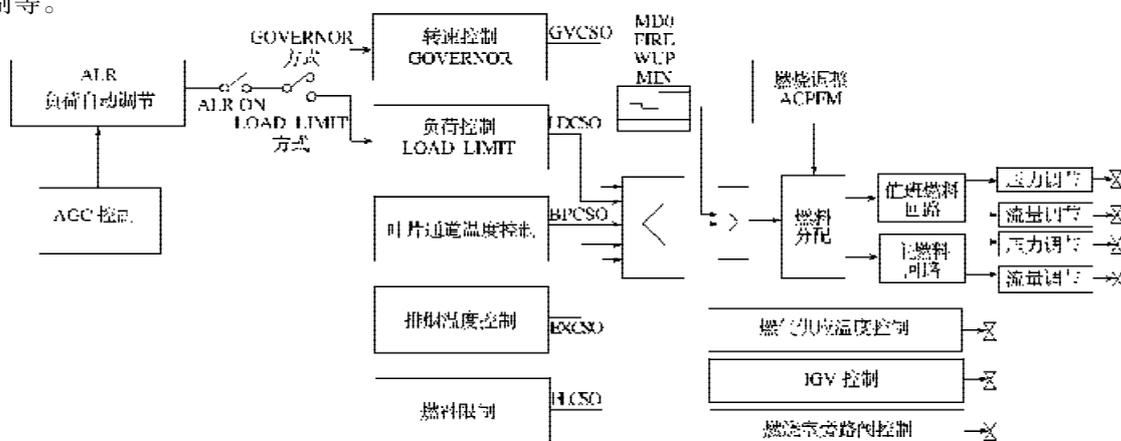


图 1 三菱 M701F 燃气轮机主控制系统框图

Fig. 1 The main control system diagram of Mitsubishi M701F gas turbine

收稿日期: 2008-07-28

作者简介: 毛 丹 (1981-), 男, 浙江桐乡人, 深圳市广前电力有限公司前湾燃机电厂职员, 主要从事燃机电厂运行控制工作; 诸粤珊 (1981-), 女, 湖南益阳人, 深圳市广前电力有限公司前湾燃机电厂职员, 主要从事电厂信息资讯工作。

1.2 各子系统简述

1.2.1 自动负荷调节

转速控制方式和负荷控制方式均可接受自动负荷调节的指令信号。

自动负荷调节的输出作为机组功率设定值送到转速控制方式和负荷控制方式回路。在“自动负荷调节MAN”方式下,其目标功率可以手动给定或机组跟踪机组工况自动给定;在“自动负荷调节AUTO”方式下,自动负荷调节目标功率跟踪中调EMS来的目标负荷指令信号,也就是AGC控制方式。

在自动负荷调节“ON”模式,机组负荷是闭环无差调节的,在没有进入温度控制模式下,若机组实际负荷比自动负荷调节功率设定值低,则自动增加转速控制方式的SPSET值或负荷控制方式的LDCSO值;若机组实际负荷比自动负荷调节目标功率设定值高,则自动降低转速控制方式的设定值或负荷控制方式方式的LDCSO值。

1.2.2 转速控制

转速控制方式控制逻辑图如图2所示。

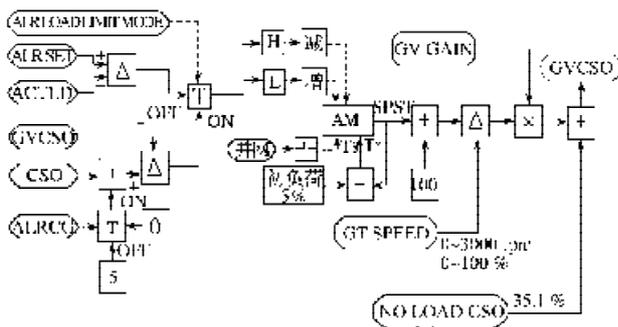


图2 转速控制方式逻辑图

Fig. 2 Logic diagram of governor control mode

在自动负荷调节为ON且转速控制方式下,将其输出设定值与实际功率相比较。若两者不等,则改变转速设定值,使机组实际功率与自动负荷调节设定值相等,同时,负荷控制的功率设定值加上+5%的偏差。当电网频率突然快速下降时,负荷控制会限制负荷的快速增加。

采用纯比例P控制回路(不等率4%)进行转速自动调节。在机组并网前,额定转速下进行自动同期调节或进行空负荷时的转速调节;机组并网后,若机组在转速控制方式下运行,通过改变转速设定值来改变机组转速。在自动负荷调节ON模式下,转速设定值由自动负荷调节的负荷设定值与机组实际功率信号比较后得到,转速控制输出GVCSO使机组实际负荷始终等于自动负荷调节设定值,机组负荷实际上为闭环无差调节。在自动负荷调节OFF模式下,转速设定值由运行人员手动设定,此时机组具有一次调频功能。这种方式下,机组负荷由控制转速来实现。当电网频率

下降太快,使GVCSO的输出快速增加5%时,则控制转换到负荷控制方式下,限制负荷的快速增加,如图3所示。频率稳定在d点时,负荷由D点以一定的速率慢慢升到E点。

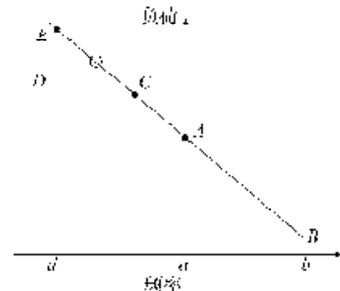
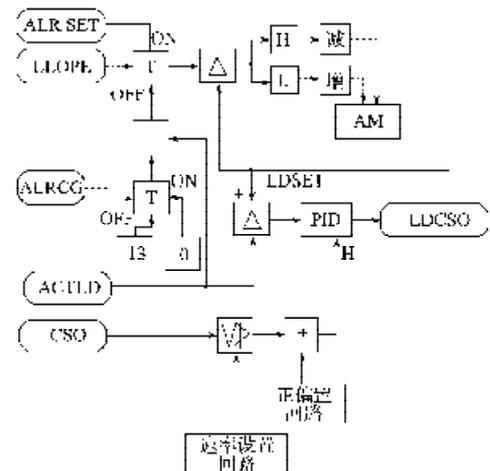


图3 转速控制时的调频工作模式

Fig. 3 Frequency modify mode under governor control

1.2.3 负荷控制

负荷控制逻辑图如图4所示。



1.并网前,速率 unlimited; 2.正常情况下,速率为5%/min(燃机负荷的函数); 3.当燃机负荷达到允许最大负荷的95%时,速率为0.2%/min

图4 负荷控制方式逻辑图

Fig. 4 Logic diagram of load limit control mode

负荷控制方式是与转速控制方式互斥的模式,负荷控制方式为功率闭环无差调节,机组功率设定值为LDSEI(LOAD SET)。

负荷控制方式下,转速控制方式则处于跟踪状态,即转速控制的输出跟踪控制信号CSO加上5%。当电网频率以很快的速度上升造成转速控制的输出GVCSO减少超过5%时,机组控制信号输出CSO会暂时切换到转速控制的GVCSO输出,当电网频率一直都上升使GVCSO减少超过5%并持续超过6s时,转速控制会参与调频作用,CSO不会切换到GVCSO。这种模式下,机组对电网的调频作用意义不大,可以说,这种模式下机组是没有一次调频功能的。

在自动负荷调节ON模式下,负荷控制的目标功

率设定值为自动负荷调节的负荷设定值 ALR SET, 此时机组是否具有一次调频功能取决于自动负荷调节 ON 模式是否具有调频功能。在自动负荷调节 OFF 模式下, 负荷控制的功率设定值由运行人员手动设定, 此时机组具有一次调频功能。

这种方式为机组并网后负荷保持在一个常数不变的情况下使用, 机组一次调频基本上不起作用, 但当电网频率升得太快引起 GVCISO 下降超过 5% 时, 则机组负荷会相应地减少。而在电网频率下降时, 机组负荷是不会改变的。如图 5 所示, 当电网频率稳定在 d 点时, 负荷由 D 点按一定的速率慢慢汇到 E 点。

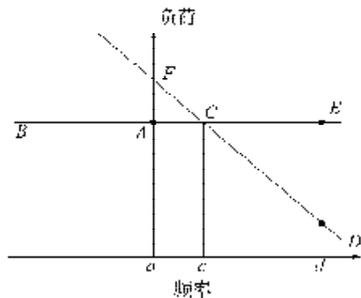


图 5 负荷控制时的调频工作模式

Fig. 5 Frequency modify mode under load limit control

1.2.4 温度控制^[2,3]

温度控制逻辑图如图 6 所示。

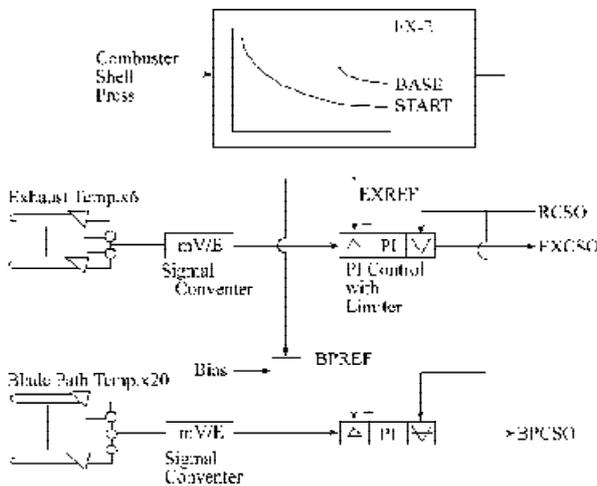


图 6 温度控制逻辑图

Fig. 6 Logic diagram of temperature control

温度控制的主要作用是限制最大燃料量, 以保证在启动阶段和带负荷时燃气轮机叶片入口烟温在一个安全值上, 防止超温损坏叶片。

一般情况下, 燃机透平进气温度 T_3 越高, 燃机的功率和效率越高, 因此机组希望在尽可能高的 T_3 温度下安全运行, 但如果 T_3 超出了合理的范围, 将会对燃气轮机的安全运行造成威胁, 因此在燃机运行过程中必须严格监控 T_3 的变化, 保证 T_3 不超过规定的限定值。

但 T_3 的温度都非常高, 三菱 M701F 燃气轮机为 1400 °C 左右, 要直接测控非常困难。在大气温度不变的稳定工况下, T_3 和排气温度 T_4 的变化趋势是相同的, 而 T_4 远低于 T_3 , 且 T_4 温度场也因燃气经过透平做功时有混合而比较均匀, 因此可以通过测量燃气轮机的排气温度 T_4 来间接反映透平前温度 T_3 的大小。

为反映变化的大气温度, 要用大气温度或压气机出口压力等参数来修正 T_4 。当大气温度增高时, 压气机出口压力降低, 为使 T_3 为常数, T_4 温度增高。相反, 当大气温度降低时, 压气机出口压力升高, 则 T_4 温度降低。

三菱 M701F 采用压气机出口压力作为修正参数, 为使 T_3 为常数, 排气温度 T_4 和压气机出口压力之间有一条关系曲线, 这就是温控基准线。

M701F 的温度控制具体分为两类, 叶片通道温度限制控制和排气温度限制控制。相应的温度测点也分为两类: 叶片通道温度测点 (20 个) 和排气温度测点 (6 个), 都是环型均匀布置。

压气机出口压力有 3 个测点, 取中值后作为温控基准线函数的输入, 温控基准函数的输出则做为排气温度 T_4 的参考基准值 (EXREF)。

EXREF 加上 1 个偏差量 (BLADE PATH BIAS) 即作为叶片通道温度的参考基准值 (BPREF)。因为叶片通道温度在排气温度的上游, 其温度参考基准应该比排气温度参考基准高, 这个偏差值大约为 15 °C。

温度控制系统分别根据 2 个温度参考基准值与相应测量值的实际偏差值 X , 输入到有高低值限制的 PI 调节器, 各自的输出则分别为 BPCISO 和 EXCSO。

温度控制按图 6 中逻辑设定的 2 组曲线进行, 一组曲线用于机组启动阶段的温度控制, 另一组用于负荷调节的控制, 2 组曲线自动切换。

带负荷时, 由于设定值远大于测量值, 造成温度控制 PI 的输出达到 100%, 当出现超温时, PI 的输出会减少, 但由于太慢, 不适用于超温保护, 逻辑设定值对温度控制 PI 的高限进行动态限幅, 使其的高限为 CSO+5%, 这样当出现超温时, 最短的时间内温度控制就起作用。

1.2.5 进口可调导叶控制

进口可调导叶控制逻辑图如图 7 所示。在机组运行的整个过程中进口可调导叶控制控制所实现的具体功能阐述如下^[4]。

进口可调导叶控制在启机过程中的动作顺序如图 8 所示, 进口可调导叶控制的最小开度为 34°, 最大开度为 -5°。低转速时, 轴流压气机易发生喘振, 造成压气机出口压力产生很大的波动。轴流式压气机在低转速工况下的稳定工作范围很窄, 即轴流式压气机在启停时防止发生喘振的安全裕量比较小。

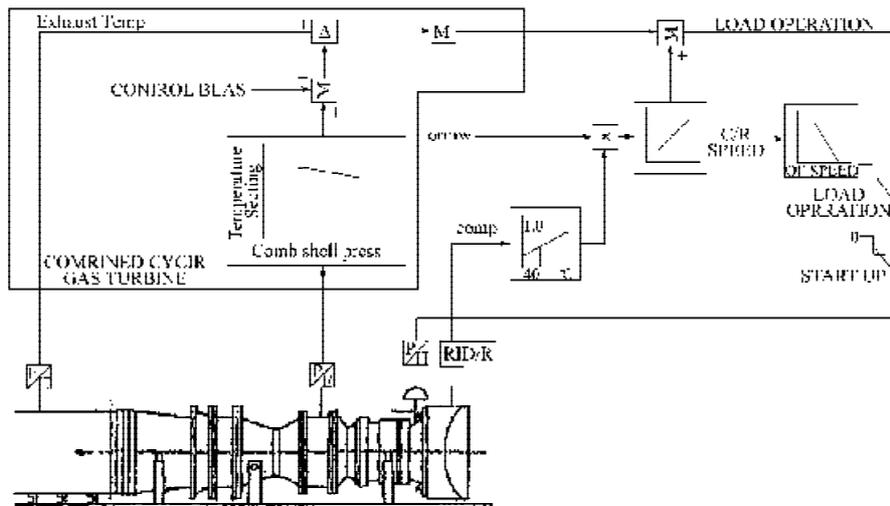


图7 进口可调导叶控制逻辑图

Fig. 7 IGV control logic diagram

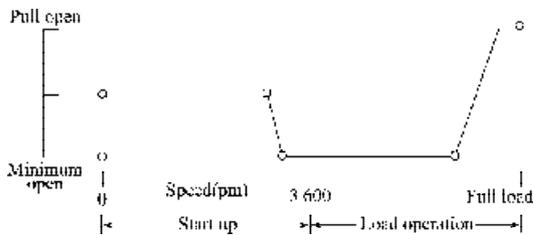


图8 启机过程中进口可调导叶动作顺序图

Fig. 8 IGV action diagram during start procedure

通过调节进口可调导叶控制的角度和防喘抽气调节进口空气流速，可以有效防止喘振的发生。启动令发出（L4 master on），进口可调导叶控制即打开到中间开度，以减小空气流量，防止机组喘振。根据燃机的转速调节进口可调导叶控制的角度，在发出启动令且 $n < 2745$ rpm 时，进口可调导叶控制位于中间开度（39.5%， 19° ），以减小进气流量，扩大压气机的稳定工作范围，防止喘振的发生。当机组转速 > 2745 rpm 时，进口可调导叶控制关闭到最小开度。带负荷运行时，进口可调导叶控制的开度控制由两部分组成。一部分为根据压气机进气温度和GT的负荷进行的负荷前馈控制（进口可调导叶控制开度控制的）；另一部分为根据燃机排气温度进行的闭环反馈控制，闭环反馈控制器的输出为排气温度平均值与排气温度参考值之差经PI控制器后的输出。在燃机负荷 < 108 MW 时，保持最小开度不变，以维持较高的燃机排烟温度，提高联合循环的整体效率。若负荷继续增加，则进口可调导叶控制逐渐打开，到燃机负荷等于 243 MW 时达到最大开度，之后即使负荷继续增加，进口可调导叶控制开度也保持不变。负荷调节时，进口可调导叶控制的偏转角度为前馈控制器输出与反馈控制器输出之和，如图7中带负荷操作时的控制逻辑图。

前馈控制可提高控制系统对负荷变化的响应速度，闭环反馈控制可保证合适的排气温度，防止排气

温度过高，二者结合提高了控制的速度和精度。

上述可见，三菱M701F机组的进口导叶控制系统既能在启停时较好地防止机组喘振，又能在带负荷阶段调节燃机排气温度，提高联合循环的效率，具有一定的安全性和合理性^[5]。

2 结语

三菱M701F燃气轮机的几种控制方式在机组启停过程中按机组状态不断切换，轮流控制机组安全运行。此控制系统稳定且高效，在许多方面与其它厂商的燃气轮机的控制系统有相互印证借鉴之处，可为广大技术人员提供参考。

参考文献：

- [1] 胡静, 归一数, 单英. 9FA级燃气轮机主要控制系统分析[J]. 燃气轮机发电技术, 2005, 7(3/4): 173-175.
- [2] 黄建伟. 三菱M701F型燃气轮机温度控制[J]. 燃气轮机发电技术, 2005, 7(3/4): 194-195.
- [3] 张文辉, 李颖. 燃气轮机温度控制与性能试验[J]. 燃气轮机发电技术, 2005, 7(3/4): 153-156.
- [4] 刘旭光, 刘洪臣. 独特的蒸汽透平空压机调速和导叶控制系统[J]. 石油化工自动化, 2000(5): 44-45.
- [5] 杨顺虎. 燃气蒸汽联合循环发电设备及运行[M]. 北京: 中国电力出版社, 2004.
- [6] 席亚宾. 三菱燃机低NOX燃烧室特点与燃烧控制[C]//2007年中国电机工程学会年会论文集. 深圳: 出版社不详, 2007: 起止页码不详.
- [7] 包俊军. 9FA燃气轮机辅机设备电气控制系统的特点[J]. 燃气轮机发电技术, 2005, 7(3/4): 225-227.

(责任编辑: 张亦静)