

CPS 评价体系下循环流化床机组协调控制方法研究

黄元生¹, 张利君¹, 钟敏²

(1.华北电力大学, 河北 保定 071003; 2.哈尔滨工业大学, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:针对循环流化床机组的大延迟、大惯性特性,提出了在电网 CPS 评价体系下循环流化床机组的协调控制方法。首先是从电网性能评价指标 CPS 出发,分析 CPS 指标中区域控制误差 ACE 的形成特点;然后根据循环流化床机组的运行特性,揭示循环流化床机组实现源网双赢炉机网协调控制的可行性;接下来设计基于锅炉能量状态的开关控制器和基于 CPS 标准的最优控制器,实现炉机网的协调控制;最后通过仿真实验,验证了文中提出的控制方法不仅更好地满足了电网对于机组的考核要求,而且兼顾了锅炉整体能量状态改善了主汽压的控制,达到了循环流化床机组和电网双赢的控制效果。

关键词:炉机网协调控制;CPS 标准;循环流化床机组

中图分类号:TK227.1

文献标志码:A

文章编号:1000-2758(2019)03-0621-07

自 20 世纪 20 年代以来,电网安全性在激烈的市场竞争中始终处于重中之重的位置。电网稳定性不仅体现了系统发电、用电的功率平衡,而且是电力系统安全运行的一个非常重要的参数。随着电力系统的大规模发展,电网的稳定性比过去更加重要,始终保持电力系统频率稳定是保障电网安全稳定运行的重要指标^[1-3]。当电网负荷波动时,为了保障电网安全,发电机组普遍采用以炉跟机为主的协调控制方式,导致主汽压力波动剧烈,给锅炉的安全稳定运行造成了巨大的威胁^[4-6]。

随着电网考核指标由 A1/A2 指标发展为 CPS 指标,如果能够结合电网需求,在锅炉能量高的时候多发功率,能量低的时候少发,不仅能为电网多做贡献,而且也有利于机组运行,实现源网双赢。循环流化床机组固有特点决定了其燃烧过程时间最长可达几十分钟,机组响应大延迟、大惯性的特性意味着循环流化床机组具有更大的储能能力^[7-9],锅炉能量在动态调节过程中不可避免存在能量高和能量低的情况。因此,基于此思想,开展 CPS 指标体系下循环流化床机组炉机网协调控制研究,实现循环流化床机组源网双赢,具有重要的实际意义。

1 循环流化床机组模型

循环流化床机组与一般火电机组在锅炉结构上有较大差异,主要体现在锅炉受热面布置方式上,如图 1 所示。

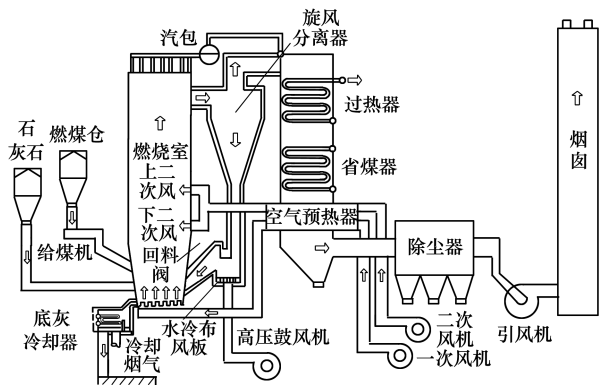


图 1 CFB 锅炉示意图

在机组运行过程中,大量的燃料颗粒随烟气排出炉膛后,在分离器内实现分离,最终送回炉膛后重新燃烧。在循环流化床机组燃烧过程中,CFB 锅炉

吸热主要来源于床料中大量未燃烬碳,由于这些未燃烬碳是不循环的,所以热量的释放存在较大的惯性,煤完全燃烧时间需要几十分钟,这与普通煤粉锅炉差别较大,主要原因在于床温较低以及进入炉膛的煤颗粒较大,导致整体燃烧过程更加复杂,因此循环流化床锅炉呈现大延迟、大惯性状态^[10-12]。

1.1 给煤系统动态模型

炉内碳颗粒燃烧只要分为以下过程:①碳颗粒被加热至床温;②挥发成分析出后燃烬;③碳颗粒进一步加热至着火点;4)炉内循环燃烧。从质量守恒出发,进入炉膛的燃料可能出现 3 种状态:①立即进行燃烧;②储蓄在床料中等待燃烧;③一部分在飞灰和炉渣中。因此对炉膛燃料量进行建模

$$\frac{dB}{dt} = W_c X_c - R_c - W_{PZ} X_{c,p} - W_{FL} X_{c,f} \quad (1)$$

式中, B 为炉内即燃碳量,单位为 kg ; W_c 为进入锅炉燃料量,单位为 kg/s ; X_c 为收到基中碳的质量分数; R_c 为炉内碳的燃烧速率,单位为 kg/s ; W_{PZ} 为排渣速率; $X_{c,p}$ 为底渣含碳量; W_{FL} 为飞灰流动速率; $X_{c,f}$ 为飞灰含碳量。

根据上述质量守恒方程炉膛放热量公式如(2)式所示

$$\begin{aligned} Q_B &= K_1 V_{\text{air}} B \\ Q_r &= Q_B + Q_V \end{aligned} \quad (2)$$

式中, Q_B 为即燃碳燃烧释放热量, K_1 为模型整体系数, V_{air} 为总风量, Q_r 为锅炉燃烧总放热量, Q_V 为挥发分燃烧热量。在炉膛热量公式推导过程中,是以给煤量直接进入炉膛作为计算起始点,而实际在 CFB 锅炉燃烧指令下达给燃料控制系统时,是需要通过给煤机、输送皮带等物理环节实现的,而上述过程在研究中被验证可以用纯延迟环节表示;而 CFB 锅炉特点燃料是不需要考虑磨煤机过程,因此 CFB 锅炉给煤系统动态系统如(3)式所示

$$W_c = W'_c e^{-\tau s} = k_g u_B e^{-\tau s} \quad (3)$$

式中, W_c 为进入锅炉的燃料量,单位为 kg/s ; W'_c 为燃料量指令,单位为 kg/s ; u_B 为锅炉主控输出的燃料量指令,为一标么值; k_g 为单位燃料量指令对应的燃料量;结构延迟时间 τ 主要取决于 CFB 锅炉物理结构,建模中一般取 30 s 左右。

1.2 锅炉能量平衡模型

在汽水系统特性上,CFB 机组与煤粉汽包炉基本一致。锅炉蓄能主要体现在汽包以及管道内储存的水中。本文采用以汽包压力为集总参数模型的结

构,CFB 锅炉能量平衡方程可如(4)式表示

$$C_b \frac{dp_d}{d\tau} = -K_3 p_1 u_T + \eta Q_r = -K_3 p_1 + \eta Q_r \quad (4)$$

式中, C_b 为汽水测蓄能系数, kJ/MPa ; p_d 为汽包压力, MPa ; p_1 为主蒸汽压力,单位为 MPa ; K_3 为汽轮机增益,单位为 $(\text{MW/MPa})\%$; u_T 为汽轮机调门开度($\%$); p_1 为汽机调节级压力,单位为 MPa ; η 为锅炉吸热效率,为有效吸热量与燃料燃烧放热量之比。

过热器与再热器中蒸汽流量没有发生明显变化,且两者相对容积较小,变化主要体现在蒸汽过热度的升高中,其蓄能可以仅考虑其压降特性,压差与汽包压力、主蒸汽压力和锅炉有效吸热量之间存在物理联系。过热器差压特性可以描述为

$$p_t = p_d - K_2 (K_1 r_B)^{1.5} \quad (5)$$

式中, K_1 为燃料量增益, K_2 为过热器阻力系数;多项式系数在工程中一般取 1.5。

1.3 汽轮机动态模型

针对火电机组汽轮机,采用动态变负荷实验等方法可以获得汽轮机详细的动态特性。根据以往研究结果以及实验数据综合分析,如(6)式所示,调节级压力 p_1 和机组输出功率 N_E 基本呈现一阶小惯性关系。

$$K_t \frac{dN_E}{dt} = -N_E + K_3 p_1 u_T \quad (6)$$

式中, N_E 为机组功率, MW ; K_t 为汽轮机动态时间, $10 \sim 30 \text{ s}$ 。

2 电网考核评价指标的演变

在电网性能考核评价指标上,A 标准于 1973 年提出,由于其对系统控制性能的评价便于实施考核因此广泛使用于北美电网。A1 标准成为过零标准,要求各控制区域 ACE 在任一 10 分钟的时间段内至少经过零点一次;A2 标准为一致性标准,要求规定 ACE 在 10 分钟时间段内幅值须保持在阈值以内。然而由于 A1、A2 标准在实施过程中会导致区域内参与 AGC 机组频繁进行无效的反向调节,随着电网规模的发展和电网性能评价指标的更新,逐渐被 CPS 标准取代。

CPS 标准适用性广,其对电网内频率质量的评价十分明确,适用于控制目标为频率的各种电网。CPS 考核标准主要分为两部分:CPS1 和 CPS2。根据现阶段国内各电网运行情况,CPS1 指标直接影响

电厂在电网考核中的奖惩情况。CPS1 指标定义如下

$$CPS1 = \left(2 - \text{AVG} \left\{ \frac{1}{\varepsilon_{T_1}^2} \left\{ \frac{ACE}{-10 B} \right\}_{T_1} \right\} \times \left\{ \Delta F \right\}_{T_1} \right) \times 100\% \quad (7)$$

在(7)式中,ACE称为区域控制偏差,根据ACE具体定义, $ACE = \Delta P + K\Delta f$,是由发电机组机械输出功率 ΔP 和电网频差 Δf 两者的线性函数。在CPS标准的CPS1指标是考虑区域控制偏差(ACE)和频率偏差的关系。在计算结构中,采用 $ACE \times \Delta f$ 的正负对控制方向进行指导,当 $ACE \times \Delta f < 0$ 时,电网频率偏低而机组出力偏高,或者电网频率偏高而机组出力偏低,区域电网频差的变化趋势为逐渐减小;当 $ACE \times \Delta f > 0$ 时,电网频率偏高而机组出力偏高,或者电网频率偏低而机组出力偏低,区域电网频差的变化趋势为逐渐增大。从CPS标准及指标定义可以看出,CPS1指标的值直接反映了机组发电状态对整体电力系统运行的安全性和稳定性做出的贡献。

如果针对ACE指标进行优化即可实现既满足机组对机组出力和频差的要求,又能满足电网考核评价指标。根据前文介绍,CPS标准CPS1指标与系统状态变量输出功率和电网频差密切相关,同时考虑ACE以及 Δf 。如果可以利用CPS1指标作为

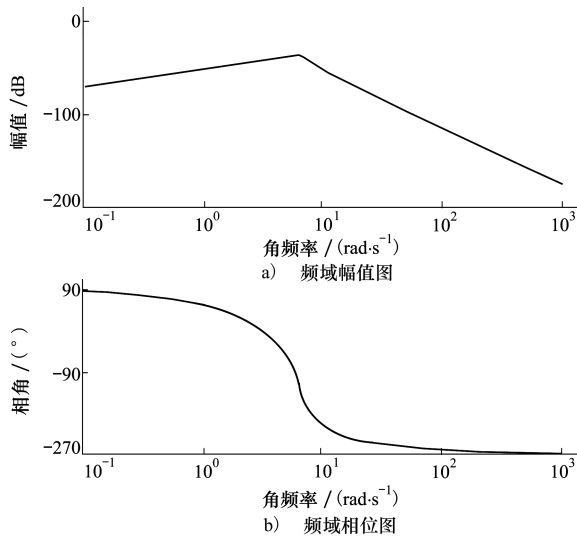


图2 电网频率对阀门开度指令伯德图

我们认为幅值减小至10%时为信号衰减,从图中可知电网频率可以响应汽机阀门开度指令频率范围在0.1~20 rad/s之间,即频率响应区间为0.016~3.2 Hz,而主汽压响应的阀门开度信号的频率范围

其优化目标,那么机组调节代价与电网考核指标均可实现量化,进而构建控制性能指标以及控制约束,最终实现两者的综合优化。

3 循环流化床机组源网双赢炉机网协调控制可行性分析

由于汽轮机调门开度既能够控制调节汽轮机的功率输出,又会导致锅炉侧的主蒸汽压力造成波动,因此汽机阀门开度是连接锅炉、汽轮机和电网三者的桥梁。从系统宏观分析可知,汽轮机阀门开大,机组出力增加,电网频率上升,同时会使得锅炉侧须能减少,主蒸汽压力下降;汽轮机阀门关小,出力减少,电网频率下降,并造成主蒸汽压力下降。而从系统频率特性分析的角度上来看,一方面是电网频率响应汽机阀门开度指令的闭环频率特性;另一方面是主汽压响应阀门开度指令的闭环频率特性,即二者分别响应哪一个频段的阀门开度信号,从而分析出汽机阀门开度在炉机网整体协调控制的影响和意义。

如图2和图3所示,分别为电网频率和主蒸汽压力对汽机阀门开度指令响应的闭环伯德图。

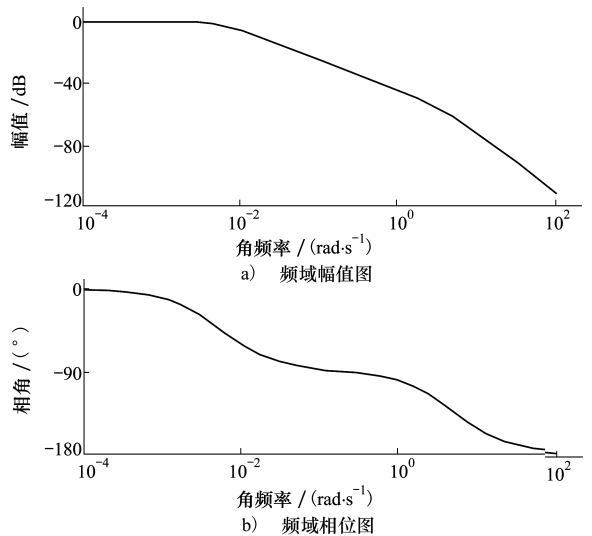


图3 主汽压力对阀门开度指令伯德图

为0~0.06 rad/s,即频率响应区间为0~0.01 Hz。

可以看出电网频率和主蒸汽压力响应阀门开度的频段是完全错开的;从控制理论角度分析,由于响应频段不同,所以不同频段内二者不会相互影响,即

可通过调节阀门开度控制方式同时控制电网频率和主蒸汽压力。换言之,当将集结锅炉、汽轮机和电网三者的循环流化床机组进行整体优化,从控制理论角度可以设计优化控制器以同时满足电网频率的控制需求和主蒸汽压力稳定目的。

4 基于 CPS 指标的炉机网协调控制器设计

4.1 考虑锅炉能量状态的开关控制器设计

综合考虑汽轮机的能量需求和锅炉的能量存储来设计锅炉对外输出能量的速率,即可在满足电网性能考核指标的基础上,同时兼顾锅炉安全稳定运行的状态,实现源网双赢的局面。在锅炉蓄能较多的情况下,如果电网功率需求变大,则可通过开大汽轮机高调门,加快锅炉能量的释放,以实现功率的快速调整;在锅炉蓄能较低时,如果电网功率需求也较低,则可通过关小汽轮机高调门,减少锅炉能量释放速度,快速增加锅炉蓄能。上述 2 种基本变负荷工况下的相应操作均可在稳定电网频率的前提下,保障主蒸汽压力的稳定。

根据上述假设的 2 种基本情况,考虑构造考虑锅炉能量状态的开关控制器,利用对锅炉的状态判断以及汽机功率需求进行实时切换,尽可能使得锅炉的状态在满足电网功率需求的同时,保障自身的安全稳定。由于 CFB 锅炉惯性极大的特点,使得其炉内蓄能的变化相对电网频率状态变化的速度要慢得多,所以,对于在某一时刻下的锅炉能量状态,可能同时存在电网频率偏高或偏低相冲突情况,并且由于汽轮机一次调频对锅炉主蒸汽压力的影响较小,所以当出现阀门指令相冲突的情况时,将频率调节任务完全交由汽轮机自身和 AGC 系统。

设计出不同主蒸汽压差和电网频差下阀门指令的控制逻辑,主要分为以下 3 大类工作状态:

状态 1 当主蒸汽压力偏差为正且频率偏差为正,说明锅炉蓄能较大且汽轮机有功率需求,此时应开大阀门释放蓄能;

状态 2 当主蒸汽压力偏差为负且频率偏差为负,说明电网需求低,此时应关小阀门为锅炉蓄能;

状态 3 其余状态下应不给予阀门开关指令。

从设计的开关控制器逻辑中可以看出,对于状态 1 和状态 2,阀门开度变化 Δu 与主蒸汽压力偏差

的符号一直保持相同,与电网频率偏差 Δf 的符号保持相异,表明主蒸汽压力偏差和电网频率偏差的变化方向与阀门开度指令密切相关,当其中二者偏差的符号相同则需要动作阀门开度,当两者偏差的符号不同则不需要动作阀门开度指令,通过前文分析可知,电网频率与主蒸汽压力响应阀门指令的频段几乎是错开的,因此,可以综合考虑将 ΔP_i 和 Δf 作为控制参量,对阀门开度指令进行方向性控制,根据上述分析结果设计的考虑锅炉能量的开关切换控制律如下:

当 $\Delta P_i \times \Delta f \leq 0$ 时

$$\Delta u = -K_1 \Delta f + K_2 \Delta P_i$$

否则

$$\Delta u = 0$$

其中参数 K_1, K_2 通过试凑法初步整定。

4.2 基于 CPS 标准的最优控制器设计

上述设计的考虑锅炉能量状态的开关控制器结构和相关参数是根据物理概念构造出来的,没有理论的、系统控制理论方法来原因,具体参数的调整需要去进行试凑,过于依赖先验知识。为了更加系统可靠、有理论支撑地进行控制器设计,需要定义性能指标及相应目标函数。下面是基于 CPS 标准的最优控制器设计过程。

CPS 标准作为电网性能考核评价指标,是控制目标。但 CPS 指标与 A1、A2 指标不同,它不对 ACE 做硬性要求,而是指导电网的调整方向。

在 CPS 标准当中,CPS1 的值主要取决于其中的 CF 值:

$$CF = \frac{\sum ACE_{AVE-\min} \cdot \Delta f_{AVE-\min}}{-10Bn\epsilon_1^2} \quad (8)$$

在(8)式中,如果假定区域控制偏差 ACE 和频差 Δf 采样周期位一分钟,由于其他参数始终为常值,因而得出 CPS1 值是 $d = ACE \times \Delta f$ 项,又:

$$ACE = \Delta P_e + K \Delta f \quad (9)$$

由此可得:

$$d = \Delta P_e \times \Delta f + K \Delta f^2 \quad (10)$$

又因为:

$$CPS1 = (2 - CF) \times 100\% \quad (11)$$

根据 CPS 的指标要求,CPS1 值的目标值为 2,故希望 CF 的值为负值或者是尽可能小的正值。

如前所述,汽轮机调节阀门同时控制着锅炉、汽轮机以及电网,通过优化阀门控制可以实现三者的综合优化调整;根据 Bode 图分析可以看出,电网频

率频差、主汽压差对阀门开度变化指令的频域区间基本错开,因此根据控制原理,通过对阀门控制方式的优化对锅炉和电网两者同时进行优化调节是可行的,因此炉机网的协调控制最终就体现在对汽机阀门开度指令的控制优化上面。

即我们可以确定线性二次型最优性能指标函数为

$$J = \int (a_1 \Delta f^2 + a_2 \Delta P_e \Delta f + a_3 \Delta p_1^2 + Q_2 u^2) dt \tag{12}$$

基于上式构造的线性二次型最优性能指标函数,利用线性二次型最优控制器设计方法,可完成基于 CPS 标准的炉机网协调最优控制器设计。

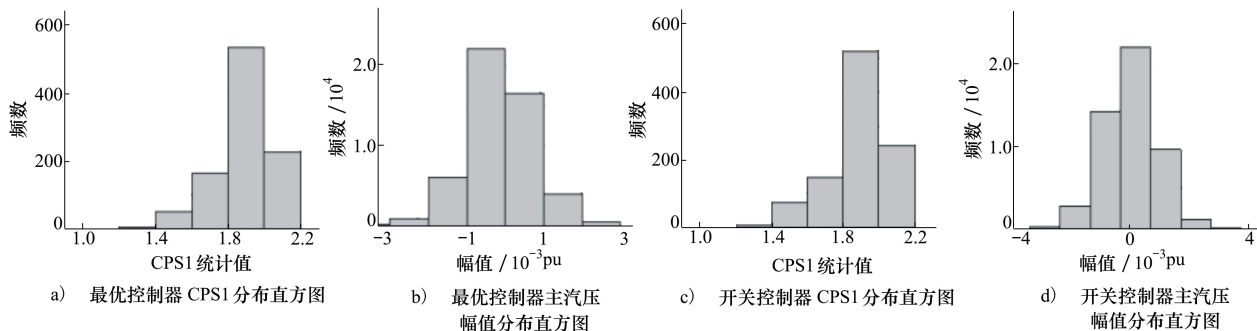


图 4 开关控制器与最优控制器的 CPS 参数及主汽参数对比图

基于 CPS 标准的线性二次型最优控制器与基于锅炉能量状态的开关切换控制器在仿真中 CPS1 指标均处于理想水平,根据频数统计可以看出两者对 CPS1 指标的有利率均较高,大部分 CPS1 指标在 1.8~2.2 区间内;而该最优控制器控制产生的主蒸汽压力波动范围([-0.002 0.002])与基于锅炉能量状态的开关切换控制器导致的主蒸汽压力波动范围([-0.003 0.003])相比较要更小,换言之,与基于锅炉能量状态的开关切换控制器相比较,基于 CPS 标准的最优控制器的控制效果更佳。

5.2 源网双赢控制器与传统控制器对比实验

基于上述对于不同控制器性能的仿真实验分析,我们通过研究时域曲线的变化进一步对两者的性能进行比较。图 5 与图 6 分别展示了开关切换控制器与线性二次型最优控制器与不加控制器的机组模型效果分析,参数包括主蒸汽压力波动和 CPS1 值统计值的时域曲线,2 种控制器参数设置与上述

5 仿真实验

5.1 开关控制器和最优控制器对比实验

上文基于不同的控制思想设计了 2 种面向循环流化床机组的炉机网协调控制器,即考虑电网频率状态且着重兼顾锅炉能量状态而设计的开关切换控制器和基于 CPS 标准设计的线性二次型最优控制器。

我们进行相关仿真实验,以分析 2 种不同类型控制器性能。最优控制器参数不同变量系数经过试凑后选择 $a_1 = 250, a_2 = 30, a_3 = 250$,开关控制器的反馈增益系数选取为 $K_1 = 100, K_2 = 100$ 。上述 2 种控制器仿真后的相关参数的幅值统计分布直方图如下所示。

实验相同。如图 5 所示,无论是开关切换控制器还是线性二次型最优控制器,CPS1 值的滑动统计曲线明显处于上部,主蒸汽压力波动也得到了明显抑制,且 2 种控制器鲁棒性较强。

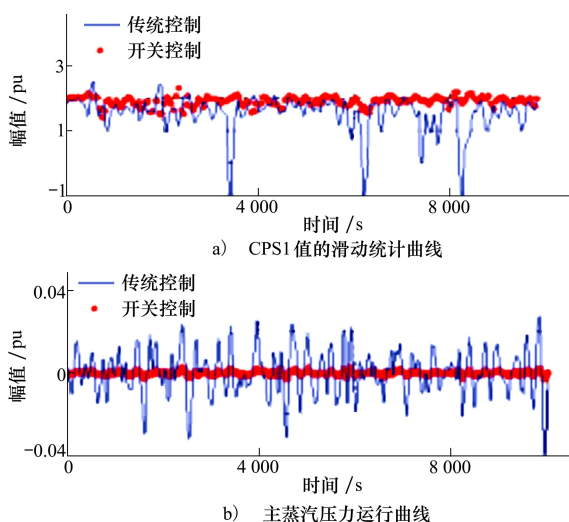


图 5 开关控制与传统控制的系统时域曲线对比

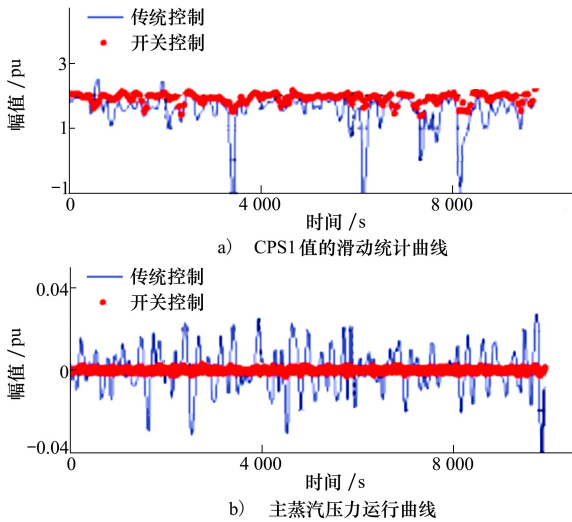


图 6 LQR 控制与传统控制的系统时域曲线对比

5.3 小结

通过上述分析对比可知,开关控制器和最优控制器分别应用在循环流化床机组模型上都能取得较好的控制效果,从 CPS1 直方图中的统计数据可以直接看出,两者效果均较为理想,但是开关控制器相关参数需要根据经验对其进行试凑,参数不同则性能有所差异;最优控制器是从理论出发进行设计,效果较好但是计算过程较为复杂,两者皆有利弊。

6 结 论

本文从 CPS 标准出发,分析了实现源网双赢的炉机网协调控制的可能途径,为解决汽轮机对电网功率调度指令的快速响应以及满足 AGC 考核指标

同发电机组频繁参与功率调节导致的机组运行安全问题之间的矛盾,进行了一些研究,并得到如下结论:

1) 通过对循环流化床机组模型的系统频率特性进行分析,具体包括电网频率和锅炉主蒸汽压力两者对汽机阀门开度的闭环特性,分析其 Bode 图发现电网频率和锅炉主蒸汽压力各自响应汽机阀门开度指令的频段几乎是分开的,这为通过汽机阀门指令同时优化对电网频率和主蒸汽压力进行控制来实现炉机网协调控制提供了可能。

2) 从循环流化床机组实际情况出发,根据锅炉侧能量状态和汽机的理想运行状态,满足电网考核指标同时着重考虑到锅炉侧的运行情况,设计了基于锅炉能量状态的开关切换控制器,依据主汽压差和电网频差正负综合判断阀门开启方向;并且在循环流化床机组模型上仿真实验表明,在该开关切换控制器的作用下,系统能满足电网 CPS 标准要求且其锅炉侧的主蒸汽压力波动得到了很好的抑制。

3) 依据电网性能考核评价指标 CPS 标准,首先分析在 CPS 标准中 CPS1 指标的 $ACE \times \Delta f$ 对优化机组调节方式具有指导作用,在设计基于 CPS 标准的线性二次型最优控制器指标函数中将主蒸汽压力偏差融合如优化目标中。在循环流化床机组模型上的仿真实验表明,在最优控制器的作用下,电网性能得到改善的同时锅炉的主蒸汽压力也得到了很好的抑制。

4) 开关控制器相关参数需要根据经验对其进行试凑,参数不同则性能有所差异;最优控制器是从理论出发进行设计,效果较好但是计算过程较为复杂。

参考文献:

- [1] 郭钰峰,徐志强,于达仁. 汽轮机调节原理[M]. 北京:机械工业出版社,2010
GUO Yufeng, XU Zhiqiang, YU Daren. Governing Principle of Steam Turbine[M]. Beijing, Machinery Industry Press, 2010 (in Chinese)
- [2] CAI Jingwen, SUN Liying. Direct Fuzzy Backstepping Control for Turbine Main Steam Valve of Multi-Machine Power System[C] // International Conference on Information Science & Control Engineering, 2015: 702-706
- [3] SAHU B K, PATI S, MOHANTY P K, et al. Teaching-Learning Based Optimization Algorithm Based Fuzzy-PID Controller for Automatic Generation Control of Multi-Area Power System[J]. Applied Soft Computing, 2015, 27(suppl 1): 240-249
- [4] LAW Y W, ALPCAN T, PALANISWAMI M. Security Games for Risk Minimization in Automatic Generation Control[J]. IEEE Trans on Power Systems, 2015, 30(1): 223-232
- [5] 于达仁,郭钰峰. 电网一次调频能力的在线估计[J]. 中国电机工程学报,2004,24(3): 59-63
YU Daren, GUO Yufeng. Online Estimation of Primary Frequency Modulation Capability of Power Grid[J]. Chinese Journal of

- Electrical Engineering, 2004, 24(3): 59-63 (in Chinese)
- [6] 徐衍会,王珍珍,翁洪杰. 一次调频与动态稳定协调优化[J]. 电力自动化设备, 2012,7(3):139-143
XU Yanhui, WANG Zhenzhen, WENG Hongjie. Coordination and Optimization of Primary Frequency Modulation and Dynamic Stability[J]. Power Automation Equipment, 2012, 7(3): 139-143 (in Chinese)
- [7] 李金晶,李燕,吕俊复,等. 循环流化床锅炉热惯性分析[J]. 热能动力工程,2009,24(5):609-613
LI Jingjing, LI Yan, LYU Junfu, et al. Thermal Inertia Analysis of Circulating Fluidized Bed Boiler[J]. Thermal Power Engineering, 2009, 24(5): 609-613 (in Chinese)
- [8] 李增勃,李晓宏,胡金余,等. 影响循环流化床流化的因素[J]. 化工管理,2019(1):181-182
LI Zengbo, LI Xiaohong, HU Jinyu, et al. Factors Affecting Fluidization in Circulating Fluidized Bed[J]. Chemical Industry Management, 2019(1): 181-182 (in Chinese)
- [9] 李斌,李建锋,吕俊复,等. 我国大型循环流化床锅炉机组运行现状[J]. 锅炉技术,2012,43(1):22-28
LI Bin, LI Jianfeng, LYU Junfu, et al. Current Operation Status of Large Circulating Fluidized Bed Boiler Units in China[J]. Boiler Technology, 2012, 43(1): 22-28 (in Chinese)
- [10] 刘吉臻,洪烽,吕游,等. 循环流化床锅炉床温动态模型[J]. 中国电机工程学报,2016,36(8):2168-2174
LIU Jizhen, HONG Feng, LYU You, et al. Temperature Dynamic Model of CFB Boiler Bed[J]. Chinese Journal of Electrical Engineering, 2016,36(8):2168-2174 (in Chinese)

Study on Coordination Control of Subcritical Circulating Fluidized Bed Units with Win-Win Source Network

HUANG Yuansheng¹, ZHANG Lijun¹, ZHONG Min²

(1.North China Electric Power University, Baoding 071003, China;
2.Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: Aiming at the large delay and inertia characteristics of circulating fluidized bed units, a coordinated control method of circulating fluidized bed units under the CPS evaluation system of power grid is proposed. Firstly, starting from the power grid performance evaluation index CPS, the formation characteristics of regional control error ACE in the CPS index are analyzed. Then, according to the operation characteristics of circulating fluidized bed units, the feasibility of realizing the boiler-turbine-grid coordinated control system is revealed. Then, the switch controller based on the energy state of the boiler and the optimal controller based on CPS standard are designed to realize the boiler network. Finally, through simulation experiments, it is verified that the proposed control methods not only meets the requirements of power grid for unit evaluation better, but also takes into account the overall energy state of the boiler to improve the control performance of main steam pressure, and achieves the win-win control effect of circulating fluidized bed units and power grid.

Keywords: coordination control of furnace and machine network; CPS standard; subcritical circulating fluidized bed unit