

基于主汽压动态特性的机组协调预测控制研究

Research on predictive coordinated control strategy based on main steam dynamic characteristics

马亮
MA Liang

(华电漯河发电有限公司,河南 漯河 462000)
(Huadian Luohe Power Generation Company Limited, Luohe 462000, China)

摘 要:针对火电机组协调控制时存在主蒸汽压力(以下简称主汽压)波动大的问题,研究了一种基于主汽压预测的机组协调控制策略,并将其应用在 330 MW 机组上。建立了火电机组的主汽压模型,根据 330 MW 机组数据确定了模型参数,并对模型进行了验证。将该模型用于预测机组主汽压,可由当前负荷指令和燃烧指令预测出主汽压变化趋势。预测主汽压与当前主汽压间的差值可反映入炉燃料量的未来需求,在协调控制策略中用该差值动态修正锅炉侧的入炉燃料量,以克服锅炉惯性,减少主汽压波动。实际运行结果表明:采用该控制策略后,其主汽压波动小于原控制策略,同时机组负荷波动也减小。

关键词:火电机组;预测控制;主汽压;协调控制;模型

中图分类号:TP 273 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-1951(2019)06-0057-04

Abstract: There are great fluctuations on main steam pressure of thermal power units in coordinated control. A coordinated control strategy based on main steam pressure prediction is researched and applied to a 330 MW unit. Based on data of the 330 MW unit, parameters of the derived main steam pressure model is determined and the model is verified. Taking the main steam pressure model as prediction model, the trend of main steam pressure can be predicted based on current load instruction and combustion instruction. As the deviation between predictive main steam pressure and the current one is the energy of coal as fire in need, the deviation is employed to correct the energy of coal as fire taking coordinated control strategy, in order to overcome the inertia of furnaces and reduce main steam pressure fluctuations. The practical operation shows that the control strategy can decrease the fluctuation of main steam pressure and load.

Keywords: thermal power unit; predictive control; main steam pressure; coordinated control; model

0 引言

随着新能源的接入,电网调度对火电机组自动发电量控制(AGC)的要求也将进一步提高。由于火电机组锅炉的大惯性、大迟延和非线性特性,使得常规的各种协调控制策略在调节机组负荷的同时,往往会出现主蒸汽压力(以下简称主汽压)大幅波动的现象,这影响机组的安全、稳定运行^[1-3]。如何在调负荷的同时保证主汽压的稳定,是当前亟待研究解决的问题。

为此,有研究提出首先建立机组的模型,在模型基础上做进一步的控制策略优化研究方法^[4-15],目前研究工作多在机组模型和控制策略仿真研究上,

工程应用不多。此外,也有研究提出先进的控制策略以改善主汽压控制效果^[16-18],如根据增量式观测器 IFO-K Δ x 的状态空间描述,将 IFO-K Δ x 状态反馈与常规比例-微分-积分(PID)相结合,并提出了“正踢”和“反踢”的概念,在克服锅炉时滞和惯性方面取得较好效果。也有在 PID 基础上创新出的先进控制方法^[19-23],如设计出非线性机炉协调控制器并将其转化为基于反推 PID 方法的协调控制器;将对角递归神经网络与 PID 控制方法相结合,实现了对变量控制系统的优化控制;将微分几何法进行非线性解耦 PI 调节律结合的思想引入到控制系统的设计中。这些先进的控制算法为主汽压的控制提供了较为新颖的思路。

本文先建立机组预测模型,再在模型基础上做控制策略研究。为此,研究建立了 330 MW 机组主

汽压模型,并将该模型作为机组主汽压预测模型,在此基础上提出了一种基于主汽压预测的机组协调控制策略,并在 330 MW 机组上实际应用。实际运行结果表明:该控制策略能有效减少机组主汽压波动,同时机组在调节负荷动态过程中,其负荷波动幅度也减小。

1 机组汽压模型

研究机组为 330 MW 热电联产机组,汽轮机为双缸双排汽、一次中间再热纯凝式汽轮机,锅炉为亚临界控制循环汽包炉。

由于机组各环节理论建模已在相关文献^[4-12]中有详细介绍,并且笔者已在相关文章中推导过本文机组的实际模型^[24],在此直接引用。

1.1 主汽压模型

由文献[24]可得出 330 MW 机组主汽压数学模型由下面各环节的方程联合构成。

制粉系统环节方程

$$105 \frac{dq_{m3}}{dt} = -q_{m3} + e^{-21s} q_{m0}, \quad (1)$$

式中: q_{m3} 为磨煤机输出的煤粉量; q_{m0} 为输入燃料指令; s 为函数的自变量。

锅炉吸热量环节方程

$$3 \frac{dQ_w}{dt} = 2.149 q_{m3} - Q_w, \quad (2)$$

式中: Q_w 为锅炉有效吸热量。

锅炉能量平衡方程

$$2037.2 \frac{dp_d}{dt} = -0.260643 p_t \mu_t + Q_w, \quad (3)$$

式中: p_d 为汽包压力; p_t 为主汽压; μ_t 为汽轮机调节阀开度。

汽轮机能量平衡方程

$$16.5 \frac{dP_e}{dt} = -P_e + 0.260643 p_t \mu_t, \quad (4)$$

式中: P_e 为机组输出电功率。

过热器差压特性方程

$$p_t = p_d - 0.00038 Q_w^{1.4}. \quad (5)$$

1.2 机组汽压模型验证

根据上述数学模型,在机组分散控制系统(DCS)中利用逻辑功能块构建出汽压模型,如图 1 所示^[24]。图 1 中: k_1 为燃料增益; k_2 为过热器阻力系数; k_t 为汽轮机动态时间; C_b 为锅炉蓄热系数。

该模型输入为燃料指令和机组负荷,输出为主汽压。为了验证该模型的准确性,调阅负荷从 300 MW 变化到 280 MW,主汽压从 16.3 MPa 变化到 15.3 MPa 的相关历史记录,将机组实际运行数据与

模型输出数据进行比对,结果如图 2 示。

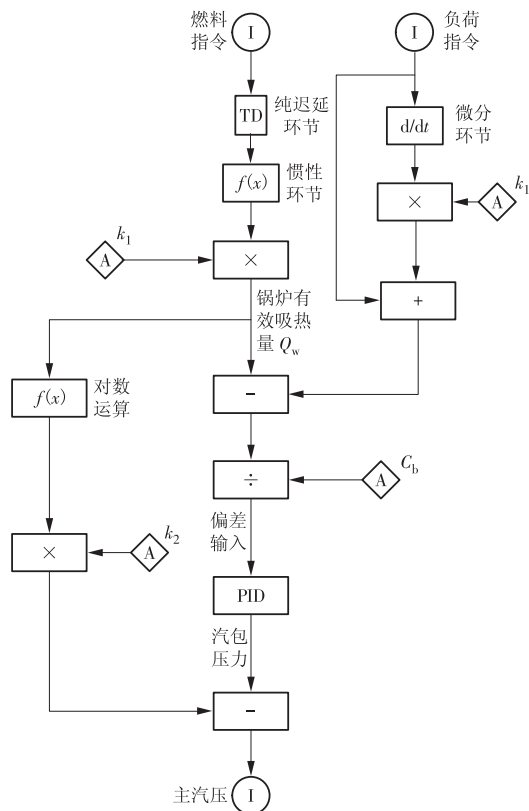


图 1 在 DCS 上构建汽压模型

Fig. 1 Steam pressure modeling on DCS

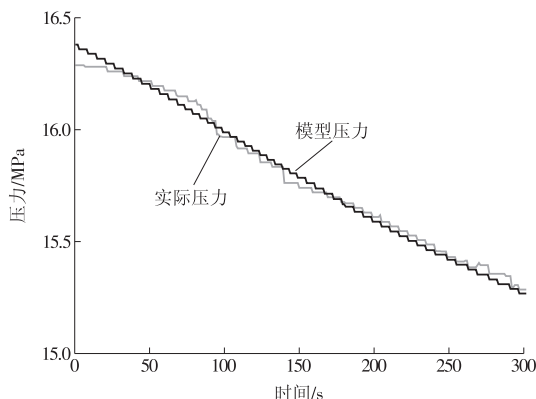


图 2 模型主汽压与实际压力比较

Fig. 2 Comparison of main steam pressures from modeling and measuring

从图 2 可以看出,模型的主汽压与实际压力具有很好的吻合性,动态偏差较小,说明汽压模型具有较好的准确性。

2 预测模型及协调控制策略

原机组采用以锅炉跟随方式为基础的协调控制系统,虽然锅炉侧采用了汽轮机调节级压力比修正的前馈信号,但在主汽压调节方面还是有滞后性,因此机组投入 AGC 运行时主汽压依然波动大。

实际运行结果表明:当机组负荷改变时,必须根

据机组动态特性超调改变燃料量,使锅炉燃烧释放的能量快速跟上负荷的变化要求,实现能量动态平衡。为了保证调负荷的同时,维持主汽压的稳定,在协调控制中引入主汽压预测(其协调控制策略如图 3 所示),目的是根据当前负荷指令和燃烧指令,通过主汽压预测模型,计算出主汽压预测值,主汽压预测值与当前主汽压值的偏差代表当前产生的能量与所需能量的差值,该差值输入到锅炉主控制器中来动态修正入炉燃料量需求。通过此能量差实现对燃料量的超前控制来实现主汽压的平稳。

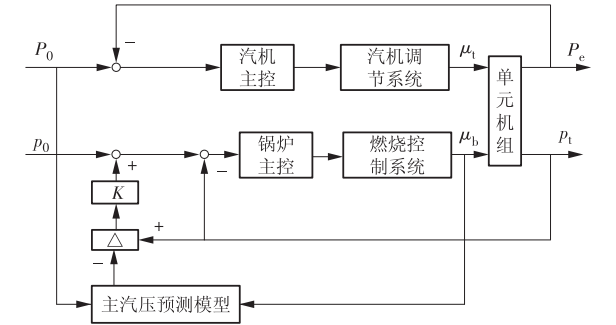


图 3 基于主汽压预测的协调控制策略
Fig. 3 Coordinated control strategy based on the main steam pressure prediction

图 3 中的主汽压预测模型与上述主汽压模型略有不同。由于本控制策略是以锅炉跟随为基础的协调控制策略,因此认为机组能够快速响应机组负荷指令,故用机组负荷指令近似替代式(4)中的机组负荷,由此构建了主汽压预测模型。

图 3 中: P_0 为实际负荷指令; p_0 为主汽压给定值; μ_b 为锅炉燃烧率指令; K 为修正系数,根据本文机组情况,取值为 0.8。

将主汽压预测模型应用于协调控制策略中,通过改造前后机组运行工况的变化来验证实际效果。图 4、图 5、图 6 分别为机组负荷由 250 MW 升至 300 MW 过程中,燃料量变化、主汽压变化、机组负荷跟踪曲线的对比图。

从以上对比分析可以看出,基于主汽压预测的控制策略要优于常规控制策略。

(1) 机组燃料量指令超前输出,根据负荷指令和当前实时燃料量,利用预测模型能够超前预测出主汽压的变化趋势,从而超前、准确、快速地改变燃料量,减少了常规控制策略下的燃料频繁波动,有利于锅炉的稳定燃烧。

(2) 变负荷过程中,主汽压较为平稳,波动幅度较小。原有的以锅炉跟随为基础的协调控制策略,在负荷指令变化时,机侧调节阀开度变化快速响应负荷需求,炉侧要等到主汽压变化才会改变燃料量,加上锅炉固有的大惯性、大延迟,导致主汽压波动较

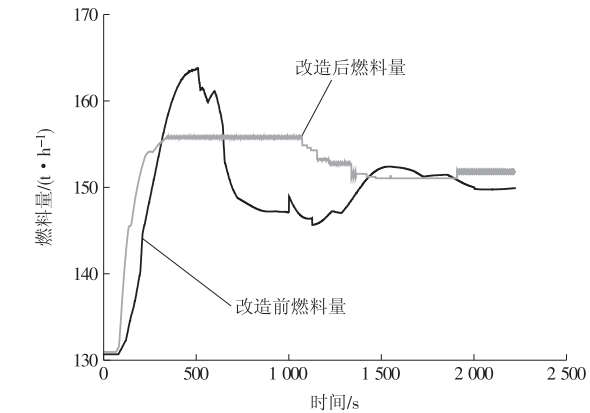


图 4 燃料量输出对比曲线
Fig. 4 Comparison curve of coal output

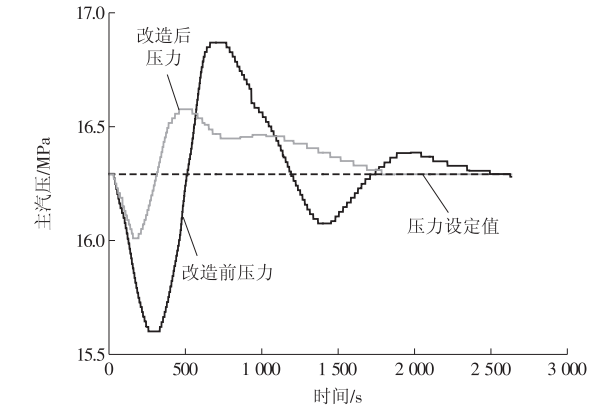


图 5 主汽压对比曲线
Fig. 5 Main steam pressure comparison curve

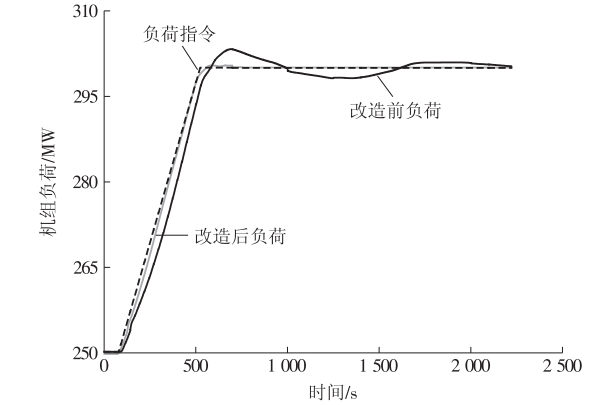


图 6 机组负荷对比曲线
Fig. 6 Unit load comparison curve

大,难以稳定,影响机组的安全、稳定运行。而采用基于主汽压预测的控制策略,在负荷指令变化时能够超前预测主汽压的变化趋势,超前精准调节燃料量,因而可以避免主汽压往复、频繁波动,达到平抑主汽压波动的效果。

(3) 负荷跟踪及时、平稳。在原有的以锅炉跟随为基础的协调控制策略中,当机组负荷指令变化时,虽然机侧通过调节阀动作能够较快响应负荷需求,但实际上是利用锅炉自身蓄热,如果不能及时改

变燃料量,总的负荷率不变,会引起机组负荷的往复波动。在基于主汽压预测的控制策略中,能够利用预测模型,计算出锅炉的能量需求,从而超前、准确地改变燃料量,及时弥补锅炉的能量变化。一方面提高响应速度,快速跟踪负荷指令,另一方面负荷波动较小,变化平稳。

3 结束语

通过机理分析及机组相关的实际运行数据,建立了机组主汽压模型。将主汽压模型适当改变构成了主汽压预测模型,并将其引入到实际机组协调控制策略中。控制结果表明:在机组变负荷过程中,由于根据机组动态特性提前调整入炉燃料量,使得燃料量波动较小,在机组变负荷的同时保证了主汽压的稳定,取得了较好的控制效果。

参考文献:

- [1] 刘吉臻,邓拓宇,田亮. 负荷指令非线性分解与供热机组协调控制[J]. 中国电机工程学报,2016,36(2):446-452.
- [2] 谢谢. 基于电网 AGC 性能指标的单元机组协调控制系统研究[D]. 北京:华北电力大学,2012.
- [3] 黄焕袍,武利强,韩京清,等. 火电单元机组协调系统的自抗扰控制方案研究[J]. 中国电机工程学报,2004,24(10):168-173.
- [4] 田亮,曾德良,刘吉臻,等. 简化的 330 MW 机组非线性动态模型[J]. 中国电机工程学报,2004,24(8):180-184.
- [5] 曾德良,赵征,陈彦桥,等. 500 MW 机组锅炉模型及实验分析[J]. 中国电机工程报,2003,23(5):149-152.
- [6] 田亮. 单元机组非线性动态模型的研究[D]. 保定:华北电力大学,2005.
- [7] 田亮,曾德良,刘鑫屏,等. 500 MW 机组简化的非线性动态模型[J]. 动力工程,2004,24(4):522-525.
- [8] 曾德良,刘吉臻. 汽包锅炉的动态模型结构与负荷/压力增量预测模型[J]. 中国电机工程学报,2000,20(12):75-79.
- [9] 刘吉臻,田亮,曾德良,等. 660 MW 机组负荷-压力非线性特性的分析[J]. 动力工程,2005,25(4):533-536,540.
- [10] 刘长良,牛玉广,刘吉臻,等. 用于控制系统研究的 330 MW 机组锅炉动态模型[J]. 系统仿真学报,2001,13(S1):59-61,68.
- [11] 刘吉臻,王琪,田亮,等. 供热机组负荷-压力简化模型及特性分析[J]. 动力工程学报,2012,32(3):192-196,228.
- [12] 韩忠旭,周传心,朱泽磊. 考虑回热系统影响的汽包炉单元机组协调控制对象数学模型[J]. 中国电机工程学报,2009,29(35):15-21.
- [13] 韩忠旭,齐小红,刘敏. 单元机组的实用非线性数学模型及应用[J]. 中国电机工程学报,2006,26(1):58-65.
- [14] 韩忠旭,张智,齐小红. 机炉协调多变量受控系统线性增量形数学模型分析[J]. 中国电机工程学报,2005,25(7):24-29.
- [15] 韩忠旭,高春雨,齐小红,等. 对一种火电机组数学模型的剖析[J]. 中国电机工程学报,2006,26(24):125-130.
- [16] 韩忠旭,王毓学,曲云,等. 基于增量式函数观测器的状态反馈在平凉 4×300 MW 单元机组中的应用[J]. 中国电机工程学报,2004,24(12):233-237.
- [17] 韩忠旭,张智,刘敏,等. 北仑 1 和 2 号 600 MW 单元机组协调控制系统的设计与应用[J]. 中国电机工程学报,2006,26(18):126-132.
- [18] 韩忠旭,周传心,张伟,等. 超临界机组协调控制系统设计新方法及其工程应用[J]. 中国电机工程学报,2009,29(8):75-81.
- [19] 韩璞,魏乐. 锅炉-汽轮机单元协调控制的反推 PID 方法[J]. 中国电机工程学报,2010,30(2):17-22.
- [20] 王爽心,杨辉,李亚光. 协调控制系统神经网络 PID 优化控制与仿真研究[J]. 中国电机工程学报,2007,27(35):96-101.
- [21] 卓旭升,周怀春. 一种火电机组系统非线性控制方法的实用仿真研究[J]. 中国电机工程学报,2005,25(20):94-99.
- [22] 房方,谭文,刘吉臻. 机炉协调系统的非线性输出跟踪控制[J]. 中国电机工程学报,2005,25(1):147-151.
- [23] 陈彦桥,刘吉臻,谭文,等. 模糊多模型控制及其对 500 MW 单元机组协调控制系统的仿真研究[J]. 中国电机工程学报,2003,23(10):199-203.
- [24] 马亮. 火电机组负荷-压力模型的建立与分析[J]. 华电技术,2016,38(5):22-26,60.

(本文责编:白银雷)

作者简介:

马亮(1986—),男,山东即墨人,工程师,工学硕士,从事火电厂热工自动化方面的工作(E-mail:18639507053@163.com)。