

火电厂主汽温的西门子控制策略应用研究

王文兰¹,孔昭东²,刘剑恒³

(1. 内蒙古工业大学 电力学院, 内蒙古 呼和浩特 010080; 2. 内蒙古电力科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 3. 内蒙古惠丰集团, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要: 汽温控制一直是火电厂模拟量控制系统的难点, 主要是因为汽温控制对象具有大延迟、大惯性、非线性和时变性等特点, 采用常规和简单的控制规律难以获得较好的调节效果。针对以上特点, 提出采用西门子公司主汽温度控制策略控制主汽温。该策略是一个具有导前温度信号的双回路汽温调节系统, 内回路采用导前温度为反馈信号, 通过计算进入过热器的蒸汽具有的焓值, 来确定喷水减温阀出口温度的设定值。动态时系统输出与主汽温相等, 从而改善了主汽温调节对象的动态特性。通过电厂实际数据的测试, 证明了该控制策略具有抗干扰能力强、对惯性和延迟适应能力强的优点, 系统具有良好的控制品质。

关键词: 主汽温; 西门子控制策略; PTn 模块; 焓值

中图分类号: TM 714

文献标识码: B

文章编号: 1006-6047(2011)03-0139-03

0 引言

主汽温控制系统的任务是维持过热器出口汽温在允许范围内, 并且使过热器温度不超过允许的工作温度。过热蒸汽温度是锅炉运行质量的重要指标之一。过热蒸汽温度过高, 可能造成过热器、蒸汽管道和汽轮机的高压部分金属损坏, 影响安全运行; 过热蒸汽温度过低, 会引起电厂热耗上升, 降低全厂热效率。所以, 在锅炉运行中, 必须保持过热汽温稳定在给定值附近^[1-3]。

主汽温被控对象具有大时滞、大惯性的特点, 目前关于汽温控制策略的研究很多, 也提出了很多方法, 例如自适应控制、模糊控制、自抗扰控制等^[4-7]。但是, 这些方法主要应用于仿真或者针对个案进行研究。为了提高控制精度, 本文采用西门子公司主汽温度控制策略。该策略的主要特点是: 通过计算进入过热器的蒸汽具有的焓值, 来确定喷水减温阀出口温度的设定值, 使系统具有良好的控制品质, 同时主汽温随负荷而改变以适应不同运行工况下过热器温度对象动态特性的变化。该策略在火电厂中更具有工程实用性和普遍性。

1 西门子主汽温控制系统特点分析

1.1 控制系统特点分析

西门子公司汽温控制策略如图 1 所示, 这是一个具有导前温度信号的双回路汽温调节系统。由于引入了导前汽温微分信号, 可以改善单回路系统的调节品质。由汽温被调对象的动态特性可知, 导前汽温可以提前反映扰动, 取其微分信号引入调节器后,

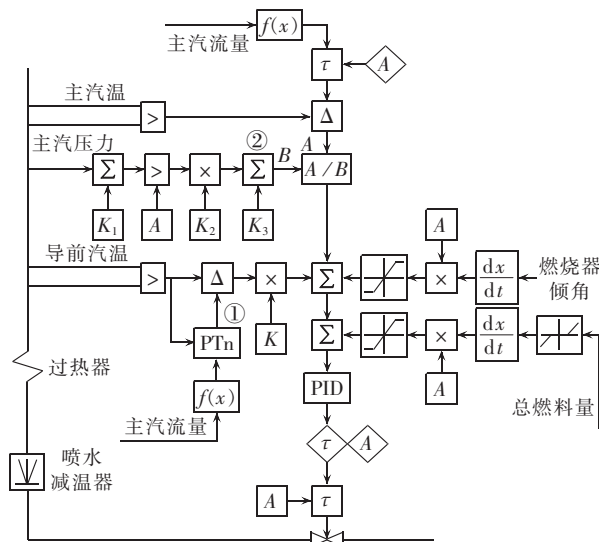


图 1 西门子主汽温度控制策略

Fig.1 Siemens control strategy of main steam temperature

由于微分信号动态时不为零而稳态时为零, 所以动态时可使调节器的调节作用超前, 稳态时可使过热器出口汽温等于给定值, 从而改善调节品质^[8]。与典型的具有导前微分信号的双回路汽温调节系统不同的是, 西门子公司汽温控制策略中内回路采用 $(1-PTn)$ 的传递函数为反馈信号。

图 1 所示的回路①相当于一个实际微分环节, 动态时使 PTn 模块的输出近似与主汽温相等, 从而改善了主汽温调节对象的动态特性; 稳态时回路①输出为零, 使过热器出口汽温等于给定值。回路②的作用是根据过热器的运行工况, 对控制器的参数进行增益调整。引入的总燃料量微分前馈信号和燃烧器倾角微分前馈信号, 是为了改善烟气侧扰动下控制系统的响应。

调节器采用 PID 运算规律,对于抑制超调是非常有效的。当机组在低负荷工作或机组跳闸时,过热器喷水阀联锁关闭,主汽温达设定值不提前进行喷水。

1.2 控制原理介绍^[9]

西门子主汽温控制系统的原理图如图 2 所示,图中省略了前馈回路,仅对闭环回路进行分析。

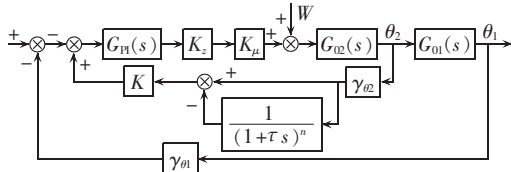


图 2 西门子主汽温度控制策略原理框图

Fig.2 Schematic diagram of Siemens control strategy

图中, $\gamma_{\theta 1}$ 为主汽温变送器传递函数; $\gamma_{\theta 2}$ 为导前汽温变送器传递函数; $G_{01}(s)$ 为惰性区对象传递函数; $G_{02}(s)$ 为导前区对象传递函数; $G_{PI}(s)$ 为主调节器传递函数; K_s 、 K_μ 为执行机构、调门传递函数; W 为减温水流量扰动; θ_1 为主汽温; θ_2 为导前汽温; K 为一阶惯性环节的放大系数; τ 为一阶惯性环节的时间常数; n 为一阶惯性环节的对象阶数。

对原理图 2 作等效变换,因为 $\gamma_{\theta 1}=\gamma_{\theta 2}$,只要满足下式^[10]便可以将图 2 简化为图 3(等效变换过程略):

$$G_{01}(s) = \frac{K}{(1+\tau s)^n} \quad (1)$$

则系统由原来的双回路控制系统简化为单回路控制系统。

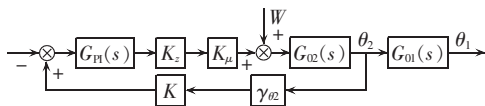


图 3 西门子主汽温度控制策略简化图

Fig.3 Simplified diagram of Siemens control strategy

1.3 PTn 模块的整定

为了便于对汽温控制系统进行整定,西门子公司给出了 PTn 模块的拟合参数表,本文选择对象阶数 $n=5$,如表 1 所示^[11]。表中, T_u 为锅炉减温水流量的线性函数; T_g 为锅炉负荷(主汽流量)的线性函数。

表 1 PTn 模块的拟合参数

Tab.1 Fitting parameters of PTn module

n	T_u/T_g	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5
5	0.34	$0.0451T_g$	$0.2165T_g$	$0.2165T_g$	$0.2165T_g$	$0.2165T_g$
	0.36	$0.0880T_g$	$0.2101T_g$	$0.2101T_g$	$0.2101T_g$	$0.2101T_g$
	0.38	$0.1309T_g$	$0.2041T_g$	$0.2041T_g$	$0.2041T_g$	$0.2041T_g$
	0.40	$0.1738T_g$	$0.1980T_g$	$0.1980T_g$	$0.1980T_g$	$0.1980T_g$
	0.41	$0.1954T_g$	$0.1954T_g$	$0.1954T_g$	$0.1954T_g$	$0.1954T_g$

做减温水阶跃扰动试验,得出主汽温和二级减温水出口汽温(导前汽温)的阶跃响应曲线,再由主汽温和导前汽温响应曲线估算出惰性区的传递函数,如式(1)所示。

可用特性参数 T_u/T_g 表征汽温控制对象动态特

性的好坏, T_u/T_g 越大,控制对象越难以控制。所以,可用 T_u/T_g 估算惰性区传递函数的阶数,并按表 1 设定各一阶惯性环节的时间常数 τ ,将各环节串联,可得到图 1 中 PTn 模块的传递函数。各一阶惯性环节的时间常数 τ 随 T_g 而变, T_g 则是锅炉负荷(主汽流量)的线性函数。由于负荷扰动时,主蒸汽流量和烟气量的变化是沿着整个过热器管路对汽温产生影响,因此汽温反应较快。如某电厂 600 MW 机组通过试验得出^[12]:

二级减温控制系统

$$T_g = 150 - 0.5D \quad (2)$$

一级减温控制系统

$$T_g = 300 - D \quad (3)$$

式(2)(3)中, D 为主蒸汽流量,0~100%。

1.4 变增益回路的整定

在不同运行工况下,减温水流量扰动下汽温控制对象的动态特性存在着较大的差异。因此,为了获得较好的调节效果,应在不同工况下进行试验,采用变参数调节。图 1 中内回路②的作用,就是根据过热器的运行工况,对控制器的参数进行增益调整。

图 1 中除法模块 A/B 的输出信号 B 由回路②给出,西门子公司给出了变增益回路的经验整定方法,见文献[13]。例如,设二级减温器后汽温 470℃,根据文献[13],则图 1 中回路②中各系数可以设定为

$$K_1=7, K_2=0.012, K_3=1.02$$

1.5 根据焓差变化进行变增益控制^[14]

主蒸汽的焓值,代表着锅炉产生的每 1 kg 蒸汽应具有的热值。由主汽压力定值与主汽温度定值查蒸汽表,可以得出主蒸汽最终具有的焓值。根据焓差变化进行变增益控制(如图 1 所示,对控制器的参数 K 进行增益调整),是近年来西门子在汽温控制中更多采用的方法。

图 1 中回路②的作用,是根据过热器的运行工况,对控制器的参数进行增益调整。根据减温水作用的区域,取导前汽温作为焓差计算的汽温参数,汽压参数则取主汽压力信号,输入焓值计算表^[15],便得出汽温每变化 1℃ 的焓差值。根据焓差值,由 K_2 、 K_3 构成了关于增益调整 B 的线性函数, B 值的下限为 K_1 。

2 实际投运效果

以下将西门子公司主汽温度控制策略对某火电厂 600 MW 机组进行现场投运,并与具有导前微分信号的双回路汽温调节系统进行比较,试验曲线如图 4 所示。

图 4 中虚线为一台 600 MW 机组具有导前微分信号的双回路汽温调节系统定值扰动试验曲线,试验扰动量为 5℃,过渡过程衰减率 $\psi=0.8$,稳态时间为 40 s,但调节过程稳态偏差太大,为 2℃,不满足主汽温度控制系统品质指标的要求。图 4 实线为西门子主汽温控制定值扰动试验曲线,试验扰动量为 5℃,过渡过程衰减率 $\psi=0.75\sim 0.9$,稳态时间

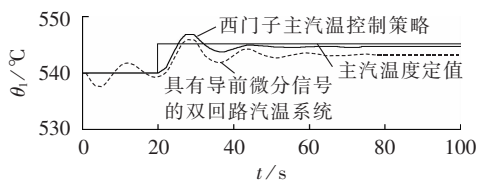


图4 主汽温度定值扰动试验

Fig.4 Experiment of main steam temperature setting disturbance

为30 s,调节过程稳态偏差为0.5℃,满足主汽温度控制系统品质指标的要求。

从某火电厂600 MW机组现场投运效果来看,西门子主汽温度控制策略比一般具有导前微分信号的双回路汽温调节系统具有更好的调节品质,由于仅对过热汽温惰性区的传递函数构造数学模型,所以受对象特性变化的影响较小,定值扰动时汽温波动较小,系统恢复稳定的时间较短。如果在以上情况下略微调整参数,其控制品质还会进一步改善。所以总体而言,采用西门子主汽温度控制策略对模型的不确定因素和扰动均有很好的适应能力,其控制品质要远优于具有导前微分信号的双回路汽温调节系统。

3 结论

针对调整PID参数的控制策略一直难以解决主汽温波动大、超调的问题,本文采用西门子主汽温度控制策略,对控制器的参数进行增益调整,使过热器出口汽温等于给定值,克服了具有导前微分信号的双回路汽温调节系统对大惯性大延迟对象调节品质差、抗干扰性弱的缺点。通过实际电厂600 MW机组试验测试数据表明,西门子主汽温度控制策略具有较好的鲁棒性和抗干扰性,提高了系统的控制品质,同时汽温波动较小。

参考文献:

- [1] 边立秀. 热工控制系统[M]. 北京:中国电力出版社,2002:95-98.
- [2] 李遵基. 热工控制系统[M]. 北京:中国电力出版社,2002:63-66.

- [3] 张玉铎,王满稼. 热工自动控制系统[M]. 北京:中国电力出版社,2002:95-98.
- [4] 毕贞福. 火力发电厂热工自动控制实用技术[M]. 北京:中国电力出版社,2008:47-48.
- [5] 刘红波. 先进控制技术在大型火力发电机组中的应用研究[D]. 沈阳:东北大学自动化学院,2002.
- LIU Hongbo. Research and application of advanced control technology in large-capacity thermal power generating units [D]. Shenyang:North East University,2002.
- [6] 刘禾,白焰,李新利. 火电厂热工自动控制技术及应用[M]. 北京:中国电力出版社,2008:104-110.
- [7] 潘立登. 过程控制技术原理及应用[M]. 北京:中国电力出版社,2007:110-114.
- [8] 方崇智. 过程辨识[M]. 北京:清华大学出版社,2000:146-149.
- [9] 何同祥,刘吉臻,牛玉广,等. 过热汽温 Smith 串级控制系统及参数整定[J]. 华北电力大学学报:自然科学版,1998(4):71-74.
- HE Tongxiang,LIU Jizhen,NIU Yuguang,et al. Superheated steam temperature Smith cascade control system and parameter tuning [J]. Journal of North China Electric Power University:Natural Science Edition,1998(4):71-74.
- [10] 王文兰. 控制系统 Matlab 仿真与设计[M]. 内蒙古:内蒙古教育出版社,2009:36-40.
- [11] 金以慧. 过程控制[M]. 北京:清华大学出版社,2000:313-319.
- [12] 韩曾晋. 自适应控制[M]. 北京:清华大学出版社,1995:259-260.
- [13] 朱北恒. 火电厂热工自动化系统试验[M]. 北京:中国电力出版社,2006:221-222.
- [14] SAKAMOTO N,MASUBUCHI M,KAWATA S. Variable-structure control using the ideal a fictitious set point temperature tracking control of a batch reactor process[J]. Control Engineering Practice,1998,6(9):1151-1158.
- [15] WARDLE A P,HEATCHOCK S M. The self-tuning control of multicomponent distillation columns[C]//Proceeding of the International Conference on Intelligent Control on Intelligent Control and Instrumentation. Singapore:[s.n.],1992:317-322.

(编辑:李玲)

作者简介:

王文兰(1972-),女,内蒙古呼和浩特人,副教授,硕士,研究方向为事计算机控制在热工过程中的应用(E-mail: w_wenlan@163.com);

孔昭东(1972-),男,内蒙古呼和浩特人,高级工程师,硕士研究生,从事工商管理专业的研究;

刘剑恒(1973-),男,内蒙古呼和浩特人,从事计算机应用研究。

Siemens control strategy of main steam temperature in power plant

WANG Wenlan¹,KONG Zhaodong²,LIU Jianheng³

(1. Electric Power College,Inner Mongolia University of Technology,Hohhot 010080,China;

2. Electric Power Engineering Research Institute,Hohhot 010020,China;

3. Inner Mongolia Huifeng Group,Hohhot 010010,China)

Abstract: As the object of temperature control in thermal power plant has big delay,large inertia, nonlinearity and time-variability,the regulating effect of conventional and simple control law is poor. Siemens control strategy is thus adopted in the control of main steam temperature,which is a dual-loop regulation system. The inner loop applies the temperature before differentiation as the feedback signal and the calculated enthalpy of the steam entering into the superheater is used as the outlet temperature setting of spay-type attemperator valve. The dynamic system output is same as the main steam temperature to improve the dynamic characteristics of the controlled object. Test with actual plant data demonstrates that,the introduced control strategy has better adaptability to inertia and delay,with great anti-interference capability and excellent system control quality.

Key words: main steam temperature; Siemens control strategy; PTn module; enthalpy value