

文章编号: 1671-251X(2010)01-0058-03

# 新型 SMITH 预估控制算法在主汽温控制系统中的应用研究

白雄怀<sup>1</sup>, 王文兰<sup>2</sup>

(1. 内蒙古能源发电投资有限公司电力工程技术研究院, 内蒙古 呼和浩特 010020;  
2. 内蒙古工业大学电力学院, 内蒙古 呼和浩特 010080)

**摘要:** 大机组汽温控制对象具有大延时、大惯性的特性, 采用常规和简单的控制方式难以取得满意效果。文章介绍了 一种应用新型 SMITH 预估控制算法调节火电厂主汽温控制系统的设计方案, 阐述了新型 SMITH 预估控制算法的原理、系统控制策略及结构, 并在软件环境下对该系统与采用传统 SMITH 预估控制算法的控制系统进行了仿真比较。仿真结果表明, 基于新型 SMITH 预估控制算法的主汽温控制系统能够克服大滞后、大惯性的系统特性, 具有较强的抗内、外干扰和对象变化适应能力。

**关键词:** 主汽温控制; SMITH 预估控制算法; Bailey 自校正; 仿真

中图分类号: TP273

文献标识码: A

## 0 引言

SMITH 预估控制是 SMITH O J M 于 1957 年提出来的一种能够有效克服系统大滞后、大惯性的控制方法, 其性能优于常规 PID 控制, 广泛应用于石油、化工、冶金、火力发电等热工控制过程。SMITH 预估控制方法基于古典控制理论, 其基本设计思想是将被控对象的动态特性分解为一个纯延时环节和一个惯性环节, 将 2 个环节串联构成一个

收稿日期: 2009-09-10

作者简介: 白雄怀(1974-), 男, 内蒙古呼和浩特人, 硕士, 工程师, 现主要从事电厂热工控制系统方面的研究工作。E-mail: w\_wenlan@163.com

**B** 代表矿山作业人员安全生产综合素质的评判结果, 它表明矿山作业人员安全生产综合素质“好”的比例为 63%, “一般”的比例为 21%, “差”的比例为 12%, “不合格”的比例为 4%。

## 3 结语

应用模糊综合评判方法对矿山作业人员的安全生产综合素质进行评判, 可将定性分析和定量评价相结合, 并应用层次分析法的原理确定各因素的权重, 能够合理地反映出矿山作业人员的安全生产综合素质, 便于煤矿企业根据评价结果采取相应措施, 提高矿山作业人员安全生产的综合素质。该方法简

SMITH 预估器, 由于所构成的数学模型能够预估控制器的输出对控制变量可能产生的影响, 从而使控制作用提前, 进而改善调节效果。SMITH 预估控制器是按修正后的反馈变量而不是按实际过程变量进行控制的, 如果所构造的数学模型与过程相匹配, 控制器将获得理想的调节效果。但在实际应用中, SMITH 预估控制具有以下缺点: 必须依赖于精确的对象数学模型, 抗内、外干扰能力差; 在对象模型失配时会造成控制品质恶化; 当控制系统中含有零极点时, 易产生稳态偏差。

汽温控制一直是火电厂模拟量控制系统的难点, 这主要是因为汽温控制对象具有大延时、大惯性、非线性和时变性的特点, 采用常规和简单的控制

单易行, 具有较强的可操作性和实用性。

## 参考文献:

- [1] 张景林, 催国璋. 安全系统工程[M]. 北京: 煤炭工业出版社, 2002.
- [2] 杨纶标, 高英仪. 模糊数学原理及应用[M]. 广州: 华南理工大学出版社, 2005.
- [3] 赵焕臣, 许树柏, 和金生. 层次分析法——一种简易的新决策方法[M]. 北京: 科学出版社, 1986.
- [4] 王海勇, 梁 锋. 模糊数学在作业人员综合素质测评中的应用[J]. 安全与环境工程, 2003(1).
- [5] 许树柏. 实用决策方法——层次分析法原理[M]. 天津: 天津大学出版社, 1988.

规律难以获得较好的调节效果。为了克服温度控制系统的纯滞后性、大惯性环节的缺点,本文采用ABB Bailey公司的新型SMITH预估控制算法进行汽温控制。实践证明,该算法可有效提高控制品质,具有较好的鲁棒性和负荷跟踪性能。

## 1 ABB Bailey公司的SMITH预估控制算法

ABB Bailey公司生产的INFI-90 DCS系统提供了4个与SMITH预估控制策略相关的功能模块:FC160、FC152、FC153和FC154。

功能模块FC160是SMITH预估控制器(Inferential Smith Controller, ISC),它可以根据预先给定或在线辨识的对象模型实现SMITH预估控制。功能模块FC152为对象模型参数估计器,它采用最小二乘线性回归算法辨识对象数学模型,该数学模型为带有纯滞后时间的一阶差分模型。功能模块FC153为对象模型参数转换器,它将FC152辨识的差分模型参数转换为对象增益、滞后时间和惯性时间常数。功能模块FC154为自适应参数修正器,其主要作用是根据第三变量(如负荷、主气流量等)自动修正FC160模块中指定的对象模型参数。

图1为SMITH预估控制器的结构框图,被控对象的动态模型采用了带死区的一阶惯性环节,其中 $\tau$ 为滞后时间。

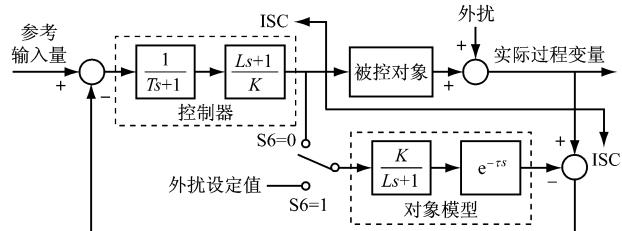


图1 SMITH预估控制器的结构框图

图2(a)为图1的简化原理图,将图2(a)作等效变换,设等效调节器为 $R(s)$ ,则如图2(b)所示。

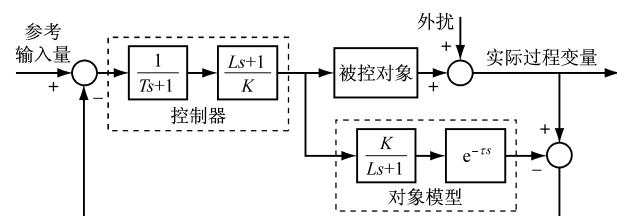
等效调节器 $R(s)$ 可按式(1)求出:

$$\frac{R(s)}{1 + R(s) \cdot \frac{K}{Ls+1}} = \frac{Ls+1}{K(Ts+1)} \quad (1)$$

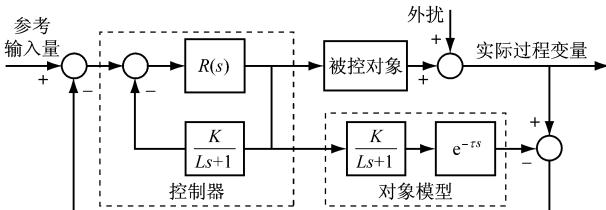
则有:

$$R(s) = \frac{L}{KT} \left(1 + \frac{1}{Ls}\right) \quad (2)$$

可见,FC160与传统SMITH预估器在结构原理上是相同的,控制规律为PI,比例系数为 $\frac{1}{KT}$ ,其



(a) SMITH预估控制器简化原理图



(b) SMITH预估控制器的等效原理图

图2 SMITH预估控制器原理图

中 $K$ 为比例系数, $T$ 为时间常数,积分时间常数为 $L$ 。当FC160单独使用时,它仅相当于传统SMITH预估控制器。

FC160有多种使用方法:当FC160单独使用时,对象模型参数由其规格参数确定;当FC160与FC152、FC153配合使用时,对象模型参数由FC152在线辨识,并经过FC153转换;当FC160与FC152、FC153、FC154配合使用时,FC154根据第三变量自动修正指定的对象模型参数。

## 2 ABB Bailey自校正主汽温控制策略

主汽温控制系统按二级喷水控制,一级喷水调节阀控制屏式过热器出口温度,二级喷水阀控制末级过热器出口温度。一级、二级调节系统均为串级汽温调节系统,副调以减温器下游温度为被调量,主调采用ABB Bailey公司的SMITH预估控制器,控制最终的二级过热器出口温度。考虑到汽温控制对象的大惯性特点,主控制回路采用了ABB Bailey公司的SMITH预估控制器。实践证明,在汽温控制中采用SMITH预估控制算法,对于抑制超调是非常有效的。SMITH预估控制器可以根据搭设的数学模型预先估计出所采用的控制动作对过程变量的可能影响,而不必等到过程变量有所反应后再去校正所采取的控制动作,从而达到提高调节效果的目的。SMITH预估控制器跟踪主蒸汽流量的变化,将其作为控制参数的自动调整变化量,并且参考副调节回路的变量当前值,SMITH预估控制器的输出经限幅回路运算后,作为过热器入口温度的设定值。副调节器采用PID运算规律,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, 主汽温达设定值前不提前喷水。

### 3 Bailey 自校正主汽温控制系统结构

图 3 为 Bailey 自校正主汽温控制系统结构图。当 FC160 与 FC152、FC153、FC154 配合使用时, 由于其对象模型参数是在线辨识的, 等效 PI 调节器的比例系数、积分时间是在线调整的, 所以它具有自校正特性。当工况发生变化时, 自动进行对象模型的辨识、转换和修正; 当工况稳定时, 保持模型参数。因此, FC160 与 FC152、FC153、FC154 配合组成的控制系统, 除具有传统 SMITH 预估控制器克服大惯性、大滞后的特性外, 还具有较强的抗内、外干扰能力和对象变化适应能力。

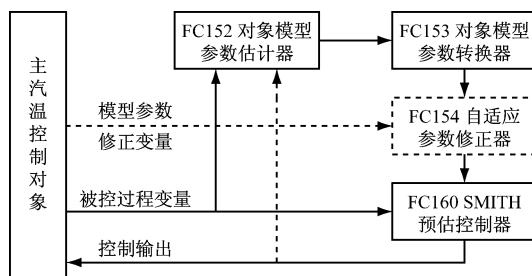


图 3 Bailey 自校正主汽温控制系统结构图

### 4 仿真研究

以下对某电厂 600 MW 超临界机组中 Bailey 自校正主汽温控制系统进行仿真研究, 并与传统 SMITH 预估控制系统进行比较。仿真结果如图 4、图 5 所示。

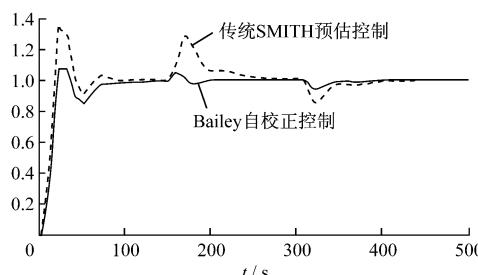


图 4 在内、外扰动下的仿真曲线

从图 4 可看出, 系统在  $t=150$  s 和  $t=300$  s 时分别加入内、外扰动, Bailey 自校正主汽温控制系统与传统 SMITH 预估控制系统相比, 具有恢复时间快、振动幅度小的特点。仿真结果表明, Bailey 自校正主汽温控制系统具有很强的抗干扰能力, 其控制

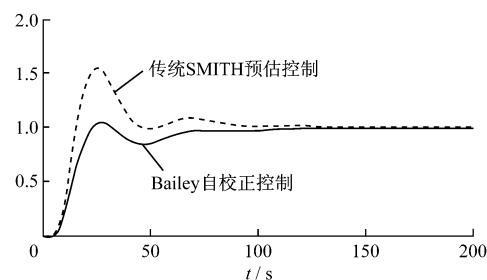


图 5 主汽温数学模型变参数仿真曲线

品质较传统 SMITH 预估控制有很大改善。

为验证 Bailey 自校正主汽温控制系统的鲁棒性, 将主汽温控制系统的负荷工况点由原来的 37% 负荷变为 50% 负荷, 因此, 主汽温导前区和惰性区的数学模型参数也发生了变化。从图 5 可看出, 变参数控制时, Bailey 自校正主汽温控制系统与传统 SMITH 预估控制系统相比, 具有快速、平稳、无差跟踪的特性, 具有更强的鲁棒性。

### 5 结语

本文将新型的 SMITH 预估控制算法应用于火电厂主汽温控制系统中, 克服了传统 SMITH 预估控制对大惯性、大延迟对象调节品质差、抗干扰性弱、鲁棒性弱的缺陷。仿真结果表明, 采用 Bailey 自校正主汽温控制系统具有较好的鲁棒性和抗干扰性, 提高了系统的控制品质, 适用于象主汽温控制系统这样存在大干扰、大延迟、时变性、不确定性和非线性的复杂热工对象。

#### 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.
- [2] 金以慧. 过程控制 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1993.
- [3] 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.
- [4] 刘红波, 李少远, 贾磊. 基于自整定和模糊自校正技术的改进 Smith 预估控制系统 [J]. 系统仿真学报, 2004, 16(9): 2086-2090.
- [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, 2002.
- [6] 何杰, 英锐男, 盛占石. 用于时滞不确定系统的自适应 Smith 预估器 [J]. 江苏理工大学学报: 自然科学版, 2001(3).
- [7] 自建云, 杨晋萍. 火电厂顺序控制与热工保护 [M]. 北京: 中国电力出版社, 2009.