

TRT静叶调整顶压控制系统改进和应用

薛建智

西宁特殊刚股份有限公司

【摘要】在TRT的实际应用中,电液位置伺服控制系统本身存在一些缺陷。此外,该系统还受现场工况等因素影响,导致高炉炉顶压力调节波动较大,压力调节滞后。为解决这一问题,采用前馈-反馈控制技术对TRT高炉炉顶压力自动控制方案进行了改进。同时上位程序判断高炉顶压异常,旁通阀也参与顶压控制。改进后,液压伺服系统的跟踪性能得到改善。

【关键词】TRT电液伺服控制;前馈-反馈控制

【DOI】10.12252/j.issn.2096-6261.2021.12.545

在稳定高炉顶压的调节系统中,采用了前馈反馈控制系统,不但克服了静叶液压伺服控制器本身的一些不足,而且稳定了高炉炉顶压力,更利于高炉生产。该控制理论应用于环保节能的发电系统,具有一定的新意,也具有工程实际意义。

一、TRT工艺简述

高炉煤气余压透平发电装置简称TRT,是国内外公认的冶金企业重大节能装置。西钢集团现有两台TRT,其利用两座高炉炉顶的余压和余热,把煤气导入透平膨胀机,将压力转化为机械能,驱动发电机发电。其主要的工艺系统包括透平主机系统、煤气管道及大型阀门系统、润滑油系统、液压伺服控制系统、发电系统和自动控制系统工艺简高炉煤气经重力除尘、煤气净化,一部分经减压阀组,另一部分经TRT透平做功进入煤气管网。其中减压阀组和TRT为顶压调节系统装置,正常生产时,高炉减压阀组全关。在保证TRT静叶调节高炉顶压稳定的前提下,充分利用煤气资源产生尽量多的电能;当TRT发生重大故障时,在保证高炉顶压稳定的前提下,能及时安全地从煤气管网中退出。因此对于TRT的控制,关键是顶压的平稳控制,顶压的控制主要是通过静叶、旁通阀来实现的。静叶、旁通阀是液压伺服驱动的闭环系统。主要控制设备包括伺服控制器、伺服阀、反馈传感器、油动机等(带有油路闭锁电磁阀。通过对电磁阀的得失电控制可以实现旁通阀和静叶液压系统的闭锁、快速开关等操作)。

二、TRT装置的实用意义

高炉煤气余压透平发电装置(Top Gas Pressure Recovery Turbine,简称TRT),是利用高炉炉顶煤气的余压余热,把煤气导入透平膨胀机,使压力能和热能转化为机械能,驱动发电机发电的一种能量回收装置。

1. 能量回收。高炉煤气经过洗涤和除尘后,经过减压阀组,将170 kPa左右的压力减压到需要的水平送至用户,减压过程高炉煤气余压未被利用。通过TRT机组,可以将煤气余压

转换成电能。

2. 更好的控制顶压。通过TRT机组的静叶开度来调整高炉顶压,效果优于使用减压阀组控制。稳定的顶压可以使高炉更加易于控制,对生产有着积极的作用。

3. 降低噪声。减压阀组全部关闭,煤气由透平通过,减压阀组的噪声和振动做功的形式转化为电能而得以降低。

三、静叶调整顶压电液伺服控制系统

1. 系统介绍。静叶的电液伺服系统控制回路如图1所示。

图1中,位移传感器(角位移传感器或线位移传感器)用来测量实际的位置信号,并将其转换为对应电流。PIC控制信号和位置反馈信号送入控制器内,在控制器内部对控制信号和反馈信号加以比较,所得差值反映了指令预期位置与实际位置之间的差距,差值经过比例积分运算处理和放大后,产生一个驱动电液伺服阀的电流信号。在伺服阀的控制下,动力油作用于伺服阀油缸,带动静叶角度或阀门达到预期位置,从而实现位置调节的目的。同时,伺服控制器还送出一路电流信号到PLC系统进行位置指示。静叶的电液伺服控制系统是控制领域中一个重要的组成部分,具有功率大、响应快、精度高等特点,在国民经济的各个领域得到了广泛的应用。目前,大多数电液位置伺服仍然采用PID控制,它具有结构简单、稳定性好、可靠性高等优点。

2. 控制算法。伺服控制器的控制算法采用比例积分(增量式PID)控制器,其公式如下:

$$u(t) = K_p \left[e(t) + \frac{1}{T_i} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_d \frac{de(t)}{dt} \right]$$

式中: K_p —比例放大系数; T_i —积分时间; T_d —微分时间。由PLC系统给定电液伺服装置的阀位开度给定值,和由现场位置传感器输出的阀位信号比较后产生的偏差进行比例、积分、微分运算,并输出标准的4~20mA电流驱动电液伺服阀。比例控制能迅速反应误差,从而减小稳态误差,但不能消除稳态误差积分控制从而消除稳态误差。因此PI控制器可以使系统进入稳态后无稳态误差。在数字计算中,PID控制的实现采用数值逼近的方法。当采样周期相当短时,用求和代替积分,用差商代替微商,使PID算法离散化。描述连续一时间PID算法的微分方程变为描述离散一时间PID算法的差分方程。

3. iSA电液伺服控制器简介。iSA控制器是专门用于阀门电液执行机构控制,按照控制功能的要求配置有模拟量输入输出通道、数字量输入输出通道和专门的比例阀控制通道,并且内部配置有增加其运行可靠性的硬件看门狗和存储故障数据的存储器。其主要控制功能如下: 1) 远程位置调节功

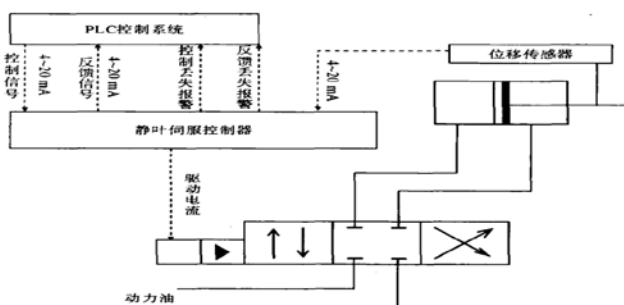


图1 伺服控制系统结构

能。接受远程4~20 mA位置控制信号和位置反馈信号，输出比例阀驱动电流，控制执行器到达要求的位置。2) 本地位置调节功能。通过专配的红外遥控器，使ISA内部产生位置控制信号，与位置反馈信号比较后输出比例阀驱动电流，控制执行器到达要求的位置。3) 锁位功能。当出现以下情况时，ISA控制器可控制执行机构及阀门处于锁位状态，当信号恢复后，自动退出锁位状态：①信号丢失。远程控制状态时，远程输入信号≤3.6 mA；②反馈丢失。角位移传感器输出信号≤3.6 mA；③跟踪丢失。输入信号与阀门反馈信号的差值在规定时间内（跟踪时间）内始终大于设定值（跟踪带宽）。4) ESD功能。ESD功能用于控制阀门在紧急状态时快速打开。电液位置伺服系统是典型的机电液偶合系统，存在某些弊端，如：非线性、不确定性、时变性、外界干扰和交叉偶合干扰，另外电液位置伺服系统还受到诸如油液黏度、温度、现场工况等多种“软”参量因素的影响；为此采用前馈—反馈控制系统及其他措施对TRT的高炉顶压的调节做适当的改进。

四、PLC控制系统程序设定

自动控制系统采用施耐德PIC控制系统，编程软件采用CONCEPT 2.6，监控上位机软件采用iFIX 3.5. 实现了TRT机组从开机、升速到并网发电的整个过程控制。高炉顶压控制中，静叶控制程序采用了前馈—反馈控制系统来完善电液位置伺服系统在实际应用中的不足。

1. 前馈—反馈控制系统。反馈控制是基于被控量的偏差进行的，没有偏差也就不存在反馈控制。当被控对象呈现大延迟（如含有较大的容积延迟或纯延迟）或所受干扰较多，干扰频率较高，要求系统快速反应实现控制目的时，反馈控制系统的控制效果往往不够理想。与反馈控制相比，前馈控制很好地弥补了反馈控制的一些缺点。前馈控制是针对扰动量及其变化进行控制的。前馈控制的特点是：开环控制、很强的补偿局限性、反应迅速和只能用于可测的干扰。如果控制系统各环节稳定，则控制系统必然稳定。但若系统中有一个环节不稳定，或局部不稳定，系统就不稳定。另外，系统的控制精度取决于构成控制系统的每一部分的精度，所以对系统各环节精度要求较高。前馈控制实际是利用同一干扰源经过干扰通道和前馈通道对系统的作用的叠加来消除干扰的影响。因此，固定的前馈控制只对相应的干扰源起作用，而对其他干扰没有影响。而且，在工程实际中，影响生产过程的原因多种多样，系统随时间、工作状态、环境等情况的变化，也会发生变化甚至表现出非线性，这些都导致不可能精确确定某一干扰对系统影响的程度或数学描述关系式。因此，前馈控制即使对单一干扰也难以完全补偿。在前馈控制系统中，信息流只向前运行，没有反馈问题，因此相应提高了系统反应的速度。当扰动发生后，前馈控制器及时动作，对抑制被控制量由于扰动引起的动静态偏差比较有效。这非常有利于大迟滞系统的控制。反馈控制是针对系统全部干扰进行补偿，是在被控制量“变化了”的基础上的“滞后补偿”；而前馈控制则是针对系统的某种特定干扰而进行的补偿，是在被控制量“未变化前”提前进行的“超前补偿”。而实际系统的干扰情况往往非常复杂，对所有干扰因素采用前馈控制是不可能的，在要求精度较高时，完全采用反馈控制又难以实现

系统的控制要求。此时，采用前馈和反馈的优点组成控制系统——前馈—反馈复合控制系统实现控制过程的高精度控制要求。采用前馈信号接在反馈控制之后，采用前馈—反馈控制思想，检测高炉顶压测量值的变化率，以此来补偿传统意义上的PID输出值，补偿静叶控制的输出；

$$\Delta P = P(i) - P(i-1) \quad (i=1,2,\dots)$$

式中：P(i)为当前时刻压力采样值；P(i-1)为前一时刻压力采样值。根据TRT静叶静态调整高炉顶压的趋势，判断ΔP的极性，选择合适补偿系数，以加权的方式补偿PID的输出信号。

$$f(t) = \begin{cases} a_j \times \Delta P & \Delta P > 0 \\ b_j \times \Delta P & \Delta P < 0 \end{cases} \quad (j=1,2,\dots)$$

将f(t)的输出算法做为旁路输入，代入BIAS值，和传统的PID控制输出加权处理。简易控制模式如图2所示。

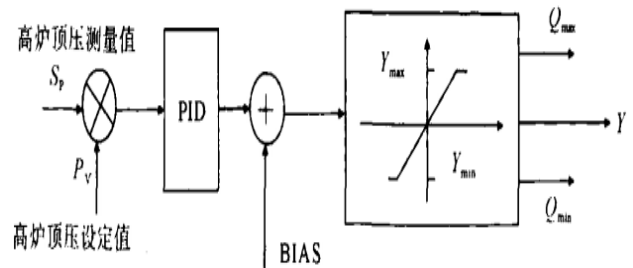


图2 简易的控制模型

2. 其他相应改进。1) 加入顶压异常判断信号。在顶压异常的情况下，使旁通阀参与顶压调节控制。快开旁通阀通过执行顶压异常时的PID调节，打开一定角度卸压，维持顶压稳定；待炉顶压力恢复正常值，且至少一个旁通阀全关到位后，顶压恢复正常，控制权返还给静叶，继续由静叶进行调节。2) 针对ISA具有信号丢失自动锁位的功能，在静叶、旁通阀控制中加入了锁位信号判断功能。在指令或反馈信号因接触问题，瞬间断开又恢复的情况下，PLC系统一旦接收到“锁位信号”后，控制内部闭锁信号输出，并对该“锁位信号”连续检测，以防止控制设备误动作。3) 在顶压投入下，加入控制阀门缓慢回关动作，并时刻检测高炉顶压动态值，保障高炉顶压稳定。

3. 改进后的效果。该控制系统投入前后，高炉顶压测量值围绕顶压设定值波动以及TRT静叶动作趋势。改造后，顶压调节更加稳定，TRT静子动作更加缓和。

总之，稳定高炉炉顶压力的调节系统中，采用前馈反馈控制系统，既克服了静叶液压伺服控制器本身的一些缺点，又稳定了高炉炉顶压力，更有利于高炉的黄牛生产。此控制理论在环保节能发电系统中的应用具有一定的新思路和实际工程意义。

参考文献

[1]曲峰林, 张青. 液压伺服系统的预测函数控制及其仿真研究[J]. 计算机仿真, 2008, 25(11): 325-327, 334.
 [2]周文胜, 苏然, 周西涛, 等. TRT静叶调整顶压控制系统改进和应用[J]. 青岛理工大学学报, 2010, 31(5): 77-81.