

# 某 300 MW 机组给水加氨控制系统失调原因分析及对策

陈宝义,包春雨,俞秀生  
(淮北国安电力有限公司,安徽 淮北 235106)

**摘要:**以某 300 MW 机组锅炉给水加氨自动控制系统为例,介绍了该控制系统的基本组成和工作原理,分析了引起给水加氨控制系统失调的主要原因,并采取变增益三区段非线性 PID 和积分模糊控制(IFC)算法,利用 PLC 进行编程控制,实践证明取得了较好的应用效果。

**关键词:**给水加氨;自动控制;原因分析;模糊控制

**中图分类号:**TK223.7

**文献标志码:**B

**文章编号:**1009-0665(2012)03-0076-03

锅炉给水 pH 是火力发电厂水汽监督指标中最为重要的一项,其合格与否,也是决定整个热力系统能否安全运行的关键环节之一。目前,大多数电厂加药自动控制系统都不能正常投用,仅凭手工调节加氨量来实现给水 pH 的调节,严重影响机组的安全运行和企业自动化水平的提高。这就对从事加药自动控制系统维护人员提出了一个新问题,即如何能让加药自动控制系统得以切实投用,充分发挥自动调节系统的潜能,保证电厂中热力系统的安全运行,使企业的投资得到应有的回报。以某 300 MW 机组的锅炉给水加氨自动控制系统为背景,将该系统的部分硬件和软件进行了改造和调整,以期实现加药自动控制系统的正常投运。

## 1 给水加氨控制系统的组成及工作原理

通过对给水加氨,可以消除热力系统中的  $\text{CO}_2$ , 提高给水 pH,防止热力系统酸性腐蚀。经验证明<sup>[1]</sup>,一般给水 pH 调节到 8.5~9.2 为宜,对应含氨量应在 1.0~2.0 mg/L 以下。

在一定温度下 pH 与氨的含量,以及氨的含量与水的电导率之间存在对应关系<sup>[2]</sup>,因此,可以用检测电导率的方法间接测定氨的含量。

给水加氨自动控制系统的组成如图 1 所示。

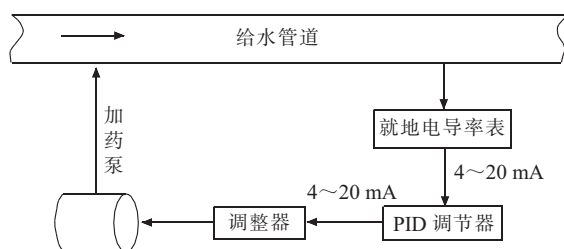


图 1 给水加氨自动控制系统的组成

在自动调节系统中,就地电导率仪表间接测量出系统管道中氨的含量,并输出对应氨含量的 4~20 mA 电流信号进入 PID 调节器,比较运算后再输

出 4~20 mA 指令电流信号至加药泵的行程调节机构或变频器,从而改变加药泵的行程或变频器的输出频率,以达到调节加氨量、控制给水 pH 的目的。调整器目前主要分为行程调节和变频调节二种,一般根据各厂的实际情况进行选择。

## 2 给水加氨控制系统的现状及原因分析

### 2.1 系统现状

该 300 MW 机组的给水加氨自动控制系统于 2000 年开始投入运行。运行中频繁出现 pH 失调现象,现场维护人员反复进行处理和调整都不能有效解决,一度终止运行,改为人工手动调节。经现场调查发现,主要存在以下 2 个现象:一是就地电导率仪表的测量值变化幅度大,远超出相应水质 pH 的变化幅度,且毫无规律可循。二是 PID 调节器出现超调或失调,造成给水 pH 频繁超出控制范围,反复修改 PID 参数均无效。

### 2.2 原因分析

#### 2.2.1 加氨和取样装置不规范

现场检查发现,造成电导率仪表测量值不规则波动的原因是加氨和取样装置不规范,主要是给水管道内的加氨和取样管没有均布装置,造成加氨出现偏流,取样没有代表性,采集到的实际样品浓度变化无规律,随机性较大。通过现场加装均布装置,这一问题得到了解决。规范的加氨和取样装置如图 2 所示。

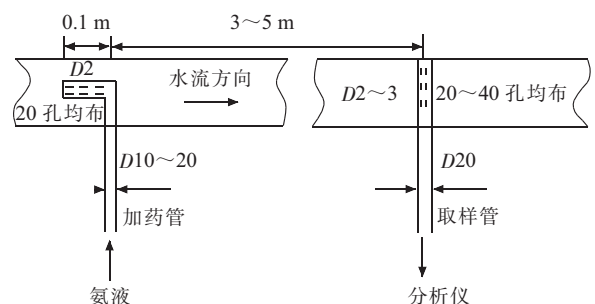


图 2 加氨管和取样管安装示意图

### 2.2.2 系统反应严重滞后

给水 pH 值的控制过程是典型的非线性控制过程,加之主控过程涉及长距离的液体传输和反应器中化学反应包含长时间的潜伏期,导致系统具有严重的时滞性。对于 pH 的调节,国内外多采用传统的 PID 算法,但由于反应过程中,中和点附近的高增益使得传统的 PID 控制器的参数调整非常困难,因为控制器只能采用很小的比例增益,否则系统不稳定,而比例增益过小,又使系统的动态特性变坏。这是热力系统安装位置及化学反应特性所造成,要想实现 PID 的有效调节,必须采用其他辅助方法加以克服。

## 3 几种 pH 值控制方法

### 3.1 常规 PID 控制

按偏差的比例、积分和微分线性组合进行控制的方式,就是 PID 控制<sup>[3]</sup>。一个常规的 PID 控制系统如图 3 所示,其中  $r$  为参考输入信号, PID 表示控制器, P 为被控对象模型,  $d$  为干扰量,  $e(k)$  为系统误差,  $u(k)$  为控制量,  $\text{pH}(k)$  为被控过程输出量。

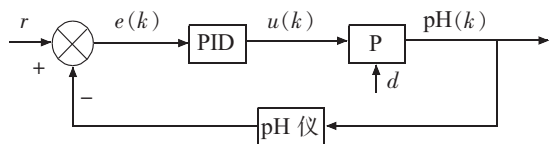


图 3 典型 pH 值控制系统

可见,常规 PID 控制中的比例作用实际上是一种线性放大或缩小作用,很难适应加氨过程中被控对象非线性的特点。

### 3.2 变增益三区段非线性 PID 控制

将 pH 值变化过程按照拐点分为 3 个区段,1 个高增益区,2 个增益系数不同的低增益区,高增益区控制器采用较低的增益,在不同的低增益区控制器采用不同的高增益,以满足系统期望的性能指标要求。此外,为防止积分饱和采用带死区的 PID 控制算法和带输出限幅的 PID 控制算法。

#### 3.2.1 带死区的 PID 控制

采用常规的 PID 控制易产生积分饱和现象,使控制量过大。而采用带死区的 PID 控制,则会降低计量泵的调节量频繁变化,减小 pH 值的波动。当误差较小时,即进入死区后,调节器的输出为积分器在此以前的内容,实际上这时的闭环调节作用已经消失,控制输出不会发生变化。误差较大时恢复其控制作用。

#### 3.2.2 带输出限幅的 PID 控制

由于长期存在偏差或偏差较大时,计算的控制量有可能出现饱和而溢出。如果执行机构已达到极限位置仍然不能消除偏差时,由于积分的作用,控制

量继续增大或减小,而执行机构已无相应的动作。当出现积分饱和时,势必使超调量增加,控制品质变坏。作为防止积分饱和的办法之一,就是对控制量限幅,同时停止积分作用。

### 3.3 模糊控制 IFC 算法

模糊控制的基本原理如图 4 所示,它的核心部分是模糊控制器,如图中虚线框中部分所示。模糊控制器的控制规律由计算机的程序实现。控制算法可概括为以下 4 个步骤:(1) 根据本次采样得到的系统输出值,计算出输入变量;(2) 将输入变量的精确量变为模糊量;(3) 根据输入变量(模糊量)及模糊控制规则,按模糊推理合成规则计算控制量(模糊量);(4) 由上述得到的控制量(模糊量)计算精确的控制量。

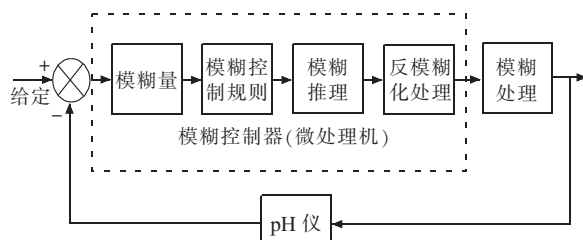


图 4 模糊控制原理

## 4 对策实施

### 4.1 利用 IFC 算法进行数据采集滤波处理

该控制系统中滤波程序的基本原理为:在周期时间内连续取 5 个采样值,并求出其平均值  $\bar{X}$ :

$$\bar{X} = (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5) / 5 \quad (1)$$

采集当前值,并求出差值  $\Delta = X_i - \bar{X}$  (采集值与平均值的差)。

若  $\Delta$  的绝对值  $> 0.2$ ,则舍弃  $X_i$ ,取  $\bar{X} = 0.2$  为根据实际情况设定的信号波动的范围值;若  $\Delta$  的绝对值  $\leq 0.2$ ,则即  $X_1$  出栈,  $X_2$  替换  $X_1$ ,  $X_3$  替换  $X_2$ , 依次递推,用当前采样的  $X_6$  替换  $X_5$ ,然后用这 5 个新的数值,再进行比较。如此周而复始的执行这段程序就可以实现滤波的功能。

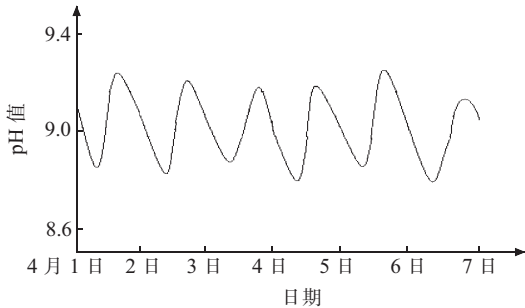
### 4.2 根据实际情况修改 PLC 控制程序

利用 PLC 强大的编程和控制功能<sup>[4]</sup>,将滤波后的 pH 值变化过程按照拐点分为 3 个区段,1 个高增益区,2 个增益系数不同的低增益区(根据所控制的 pH 最佳给定值,结合系统加氨与取样点的安装位置、管道长短等因素综合选取),编写条件控制程序,在高增益区控制器采用较低的增益,在不同的低增益区控制器采用不同的高增益,并设置 PID 的死区和输出限幅条件,从而满足系统期望的性能指标,输出合适的控制信号(对应变频器的频率)至现场交流

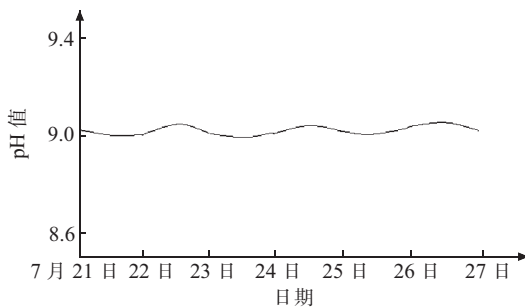
变频器,进而控制加氨泵电机的转速,达到稳定调节系统 pH 的目的。

## 6 运行情况

该 300 MW 机组给水加氨自动控制系统改造前后给水 pH 的周历史曲线如图 5 所示。



(a) 改造前给水 pH 周历史曲线



(b) 改造后给水 pH 周历史曲线

图 5 改造前后给水 pH 对比

改造后的给水加氨自动控制系统自 2010 年 7 月份投入运行以来,给水 pH 基本能维持在 9.0~9.1 之间,完全达到控制要求。

## 5 结束语

实践证明,基于可编程序控制器的给水加氨自动控制系统,可通过灵活的编程手段,满足加氨系统的自动调节,达到很好的效果,从而解决了加氨自动系统极易失调以及手动控制难以保证水质指标稳定的困难,减轻了运行人员的工作强度,提高了设备自动化水平。

### 参考文献:

- [1] 初立杰.电厂化学[M].北京:中国电力出版社,2006.
- [2] 薛凤莲.自动加氨技术的研究与合同应用[J].东北电力技术,2004(8):27-29.
- [3] 金以慧.过程控制技术[M].北京:清华大学出版社,1993.
- [4] 刘志远.可编程序控制器原理及在电厂中的应用[M].北京:中国电力出版社,1999.

### 作者简介:

陈宝义(1962),男,安徽淮北人,工程师,从事电厂生产、技术管理工作;  
包春雨(1971),男,安徽淮北人,工程师,从事电厂热控技术管理工作;  
俞秀生(1971),男,安徽淮北人,工程师,从事电厂程控仪表维护工作。

## Analysis and Solution for Failure of Feed Water Adding Ammonia Control System of 300 MW Power Plant

CHEN Bao-yi, BAO Chun-yu, YU Xiu-sheng

(Huaibei Guoan Electric Power Co.Ltd., Huaibei 235106, China)

**Abstract:** Serving as an example, the feed water adding ammonia control system in one 300 MW power plant is analyzed in this paper. The system constitution as well as the operation principle of this control system is introduced. Having analyzed the main causes, PLC control strategy employing variable-gain three regions nonlinear PID and IFC algorithm is utilized, and better field application effects are achieved.

**Key words:** feed water adding ammonia; automatic control; cause analysis; fuzzy control

## 核电厂的组成

核电厂由核岛(主要是核蒸汽供应系统)、常规岛(主要是汽轮发电机组)和电厂配套设施(BOP)三大部分组成。

以压水堆核电厂为例,核燃料被放置在反应堆压力容器内。当发生链式反应时,一次冷却剂流经压力容器被燃料组件加热,通过一回路管道进入蒸汽发生器,使其二次侧的水变成蒸汽,驱动汽轮发电机组发电。一次冷却剂然后经冷却剂泵打回压力容器,成为一个封闭回路,即一回路。

在蒸汽发生器二次侧生成的蒸汽经核汽轮机做功后,在主凝汽器内被冷凝成水,经逐级加热并由给水泵送回蒸汽发生器,形成另一封闭回路,成为二回路。

主凝汽器所需的循环冷却水,由泵房提供。核电厂的汽轮机所需的冷却水量较常规火电厂大,所以大都建在海边或大江、大河的岸边。一般核电厂的冷却水流过凝汽器后直接排回水域(一次通过方式)。

反应堆厂房(即安全壳)是密封的。核电厂所有带有强放射性的关键设备都安装在此厂房内。在发生核电厂严重事故时(如主管道破裂事故)可以将泄露出来的放射性物质包容在厂房内。