



高炉煤气余压回收透平发电监控系统

寇宏波, 白瑞祥, 代如静

(天津科技大学电子信息与自动化学院, 天津 300222)

摘要: 根据高炉煤气余压回收透平发电 (TRT) 的分散控制和集中管理的基本工艺控制要求, 设计了由工控机 (IPC) 和可编程控制器构成的分布式监控系统, 并重点详述了 TRT 中对高炉炉顶压力的控制策略. 运行实践表明, 监控系统能够满足 TRT 自动控制的基本要求和实现信息化管理的需求.

关键词: 高炉余压透平发电; 可编程控制器; 监控系统; 模糊 PID 控制

中图分类号: TP273.4 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-6510(2011)03-0055-04

A Monitor and Control System for the Top Gas Pressure Recovery Turbine of Blast Furnace

KOU Hong-bo, BAI Rui-xiang, DAI Ru-jing

(College of Electronic Information and Automation, Tianjin University of Science & Technology,
Tianjin 300222, China)

Abstract: According to technological control requirements in decentralized control and centralized management of the top gas pressure recovery turbine of blast furnace, with the performance of computers being improved and a good environment of central control room, a distributed supervisory and control system composed of industrial personal computer (IPC) and programmable logical controller (PLC) was devised. The control strategy focused on the top gas pressure control of blast furnace was elaborated. The practice has proved that the monitoring system can fully meet the basic control requirements of TRT and achieve demands of information management.

Keywords: pressure recovery turbine of blast furnace; programmable logical controller; monitor and control system; fuzzy PID control

高炉煤气余压回收透平发电 (TRT)^[1]是利用高炉炉顶的余压余热, 将高炉煤气导入透平机膨胀做功, 驱动发电机发电的一种二次能量回收装置, 是冶金行业重点推广应用的节能环保型新技术. TRT 技术的应用能有效地改进现有高炉生产工艺, 在其正常运行时替代减压阀组, 稳定高炉炉顶压力. TRT 在实际应用中却存在着投入产出比低、生产效率低的问题. 制约 TRT 发展的主要因素是其造成高炉炉顶压力波动: 压力过高时, 炉内煤气气流分布不均, 引起崩料, 严重时损坏设备; 压力过低时, 炉内煤气体积增大, 气流压力损失增大, 煤气流速上升, 使“炉喉”磨损严重. 因此, 作为能量回收的 TRT 设备, 投入运行的先决条件是保证炉顶压力稳定. 而目前受控制

系统落后及操作、管理水平等的影响, 导致 TRT 作业率较低.

随着微处理器技术和计算机网络的高速发展, 依据控制功能将微处理器分散配置并采用上位机实现显示和控制的分布式控制系统 (DCS) 成为 TRT 中普遍采用的控制方式. 西门子 S7 系列 PLC^[2-3]由于其可靠性高、抗干扰能力及系统扩展能力强, 并可采用 PROFIBUS 总线技术及 WinCC 友好的人机界面, 成为 TRT 控制中常用的系统设备. 通过 DCS 系统的核心部分 (连续控制功能) 来保持高炉炉顶压力的稳定, 其控制算法一般使用常规 PID 控制, 但对于具有非线性、大滞后的炉顶压力, 系统难以达到满意的控制效果. 本文采用常规 PID 和模糊控制相结合的控制

收稿日期: 2010-11-17; 修回日期: 2011-02-24

作者简介: 寇宏波 (1977—), 男, 山东苍山人, 硕士研究生; 通信作者: 白瑞祥, 教授, bairuixiang@tust.edu.cn.

算法^[4-5], 达到了较好的控制效果.

1 TRT的工艺流程

荣程钢厂高炉煤气余压发电的主机系统工艺流程如图 1 所示. 高炉煤气经过净化设施(重力除尘器和二文脱水器等)净化后, 在减压阀组前将高炉煤气引出, 经 TRT 装置的入口电动蝶阀、快速切断阀后接至透平机入口, 推动透平机膨胀做功, 带动发电机发电. 透平机背压排气口排出的低压煤气进入低压煤气管网系统. 煤气减压阀组和旁路快开阀作为透平机旁路系统, 当 TRT 出现重大故障而需要紧急停机时, 在关闭快速切断阀的同时, 打开旁路快开阀疏通煤气, 从而保证高炉的正常运行.

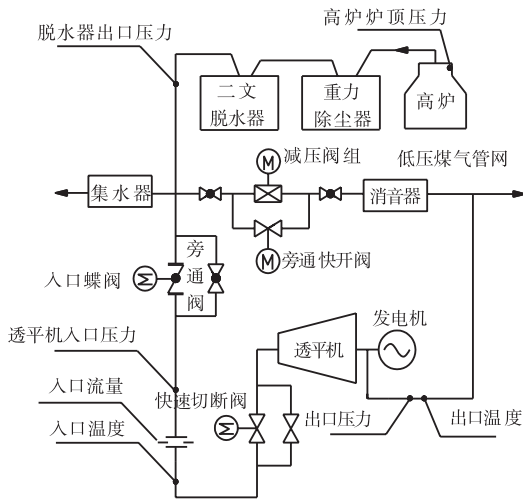


图 1 TRT 系统工艺流程图

Fig.1 Technique flowchart of TRT system

透平机进出口压力、温度、入口流量、透平机转速及发电功率等重要过程参数在中央控制室显示. PLC 控制装置实现减压阀组运行、透平机的静叶控制等功能. 检测和控制信号均由计算机系统集中管理.

TRT 与通常发电系统相比, 具有其特殊性: 它是高炉生产的辅助系统, 发电机的出力不能按用电负荷的需要进行调节, 其首要任务是保证高炉炉顶压力的稳定. 高炉炉顶压力靠透平机的可调静叶和减压阀组共同协调控制, 实现由 TRT 控制炉顶压力: 在高炉生产正常即高炉炉顶压力检测正常时, 由透平机静叶接受计算机来的控制信号进行炉顶压力调节; 高炉压力过大时, 打开减压阀组, 此时透平机静叶调节正常进行, 由二者协调控制高炉炉顶压力, 采用将模糊控

制和常规 PID 相结合的参数自整定模糊 PID 控制策略, 实现对炉顶压力的调节.

2 TRT 监控系统构成

2.1 系统组成

根据系统的工艺流程和控制要求, 采用具有先进控制算法的参数自整定模糊控 PID 控制器和分散控制、集中管理的分布式冗余控制系统. 系统配置如图 2 所示, 系统由网络部分、工作站和控制器 3 部分组成. 系统网络由冗余网、数据交换机以及操作员站、工程师站、历史站、控制器等节点构成; 根据站的使用功能不同, 工作站可分为数据库服务器、工程师服务器、操作员站、历史报表站及其他功能站; 控制中心采用西门子 S7-400H 控制器, 采用冗余方式提高可靠性和安全性. PLC 通过工业以太网与上位工作站相连, 通过冗余 PROFIBUS-DP 总线实现 DP 主站 (CPU) 和从站 (分布式 I/O) 间的数据交换.

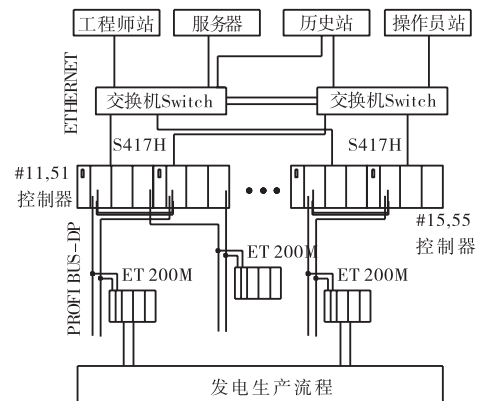


图 2 系统配置图

Fig.2 System layout

2.2 系统硬件配置

2.2.1 监控层

系统监控层配置 4 台研华 610H 工控机(各配置两块 CP1613 工业以太网卡)作为工作站, 使用两台 Cisco C3524 交换机, 实现双机热备功能.

2.2.2 设备控制层

控制层采用 5 对冗余 S7-400H PLC 控制器, 通过冗余 PROFIBUS-DP 总线连接 10 个 ET 200 M 过程站实现数据采集控制. 每套冗余 S7-400H PLC 控制器具体配置包括:

- (1) 1 个安装机架 UR2-H.
- (2) 1 对电源模块 PS 407 10A, 提供 PLC 所需

24V、5V 电源及外部负载需要的电源。

(3) 1 对冗余中央处理单元 CPU 417-4H。

(4) 两块通信处理器 CP 443-1, 实现 PLC 与上位机之间的通信。

(5) 4 个同步子模板, 通过光纤连接到两个控制器, 实现主、备用控制器间的数据发送和接收及切换。

(6) 分布式冗余 I/O 设备 ET 200M 采取切换式 DP 从站的方式, 如图 2 所示。在控制器所属系统中, 信号模块成对安装在带有有源底板总线的分布式 I/O 设备 ET 200M 中, 此种方式下, 即使连接 I/O 从站的 CPU 故障, 也不会影响 I/O 模块的可用性。其主要配置包括: 1 对冗余接口模块 IM 153-2; 数字量输入模块 SM421, 16 点输入, 单独隔离; 数字量输出模块 SM422, DO 16×DC 24V/2A, 16 点输出, 隔离为两组; 模拟量输入模块 SM431, AI 8×14 位, 8 点输入, 可测量电压、电流; 模拟量输出模块 SM432, AO 8×13 位, 8 点输出, 模块部分与 CPU 光电隔离。

(7) 必备的附件, 如 PROFIBUS 屏蔽电缆, 光纤电缆及网络连接器等。

2.3 系统软件

系统软件主要包括操作系统软件、用于对可编程控制器进行组态和编程的软件 STEP7 及人机接口组态软件 WinCC6.2 三部分。

操作系统软件以 Windows XP 操作系统为平台, 在操作系统中运行监控软件后, 不需要人的参与或监控就可以指挥系统模块活动、管理多用户多任务环境以及管理系统文件的软件包。

2.4 通信与网络的实现

上位机与 PLC 之间的通信采用工业以太网 (industrial ethernet) 及 TCP/IP 通信协议, 使用冗余网卡 CP1613 实现工作站与网络的连接, 通讯处理器 CP443-1 连接 PLC 与工业以太网。PLC 主、从站间采用现场总线 PROFIBUS-DP 网络进行通信, 实现现场设备向 PLC 提供过程值和消息以及也向现场设备发布命令的任务; DP 协议是 Siemens 公司推出的一种标准通信协议, 具有快速、周期性传输数据等特点, 其通信介质使用 PROFIBUS 总线电缆 (屏蔽双绞线电缆)。

3 监控系统的软件设计

3.1 软件系统简介

按软件对应的硬件系统分为现场控制软件、网络

通信软件和工作站软件三种。现场控制软件 STEP7 通过用户控制程序处理过程数据、控制运算和输出、响应中断等自动化任务。控制程序结构如图 3 所示, 程序采用结构化编程方式, 将控制对象分解为能够反映过程工艺、功能或可反复使用的功能组, 由相应的逻辑块 (OB, FC, FB) 等来表示。

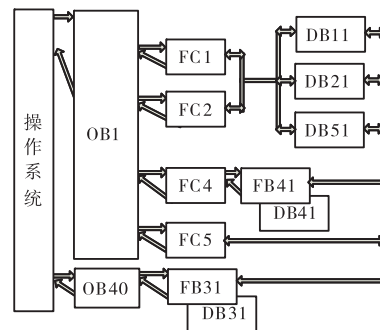


图 3 程序分层结构

Fig.3 Program hierarchy

系统组织块 OB1 是操作系统与应用程序的接口, 由操作系统调用, 用于循环处理主程序, 通过 OB1 调用逻辑块来实现整个控制任务。OB1 完成接收高炉主控单元允许 TRT 启动等指令, TRT 系统手/自动控制模式转换, 启动/停止 TRT 的控制程序等功能。FC1 对透平机入口流量、压力和温度等重要过程参数进行数据采集和处理, 与共享数据块 DB11、DB21 数据交换, 通过上位机的确认, 为运行人员监视 TRT 运行状态提供必要的参数显示和报警信号, 为调节装置提供过程参数及为连锁和保护提供信号。DB51 为上位设定数据块, 设定透平机转速、透平机进口压力等闭环控制的给定值。FC2 功能块顺序控制减压组、入口蝶阀等的开启/关闭等。FC4 为高炉炉顶压力控制子程序, 接收上位机发送的模糊 PID 控制器参数值, 并调用标准功能块 FB41 及其背景功能块 DB41, 维持炉顶压力的稳定。FC5 为 TRT 系统保护子程序, 当高炉炉顶压力、透平机转速等参数过高时, 停止 TRT 系统的运行, 切换至旁路。

通过工作站组态软件 WinCC 的组态, 实现工作站与 PLC 的连接与通信、对系统中的各种资源 (如设备、标签变量、画面等) 进行配置和编辑、处理数据报警和系统报警、生成各种报表的和打印, 历史数据的存储和查询、人机接口控制等功能, 为现场设备维护人员提供了详细资料。图 4 为 TRT 主机系统监控画面。

网络通信软件应用于 PC 机、控制设备、网络适

配器和通信线路等,此处采用内嵌于 STEP7 中的 SIMATIC-NET 软件实现网络组态和通信.

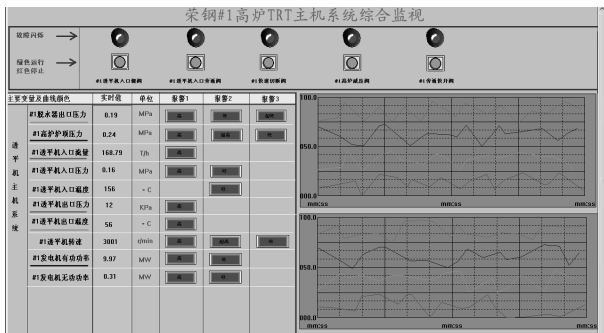


图4 TRT综合监视画面 Fig.4 Comprehensive monitor screen

3.2 控制算法

整个生产工艺中,包括许多数字量(如泵和风机的启停及电动阀门的状态反馈等)的逻辑控制和涉及模拟量的控制回路(如温度的远程显示和压力、流量等的PID控制等).对于逻辑控制,采用常规信号模块实现其功能,而对于模拟控制回路则通过闭环控制 FM455C 功能模块实现传统PID控制.标准功能块 PID-CS (FB31)将 FM455 与控制程序相连,可以修改参数、设定点和控制输出值. FB31 模块中的PID控制算法见式(1).

$$\mu(n) = K_p \left\{ e(n) + \frac{T}{T_i} \sum_{i=0}^n e(i) + \frac{T_D}{T} [e(n) - e(n-1)] \right\} \quad (1)$$

式中: $\mu(n)$ 为控制量输出值; K_p 为控制器的比例放大系数; $e(n)$ 为控制偏差; T_i 为积分时间常数; T_D 为微分时间常数; T 为采样周期.

TRT 中的高炉炉顶压力控制系统带有很强的惯性与时滞性.传统PID控制虽然结构和算法简单,稳态精度高,然而,其控制方法是根据被控对象的数学模型建立起来的,并且控制器参数 K_p 、 K_i 和 K_D 不能实现自动调节.由于炉顶压力控制对象的复杂性,其精确的数学模型往往无法获得.将模糊理论应用于控制系统设计,具有不依赖于被控对象的数学模型和适用于非线性系统的优点,对于许多无法精确建立数学模型的复杂系统能获得较好的控制效果.采用模糊理论设计的高炉炉顶压力控制算法,通过内嵌于 WinCC 中的 VBS 全局脚本编辑器实现参数自整定模糊PID (fuzzy-PID) 控制,其结构原理如图5所示.

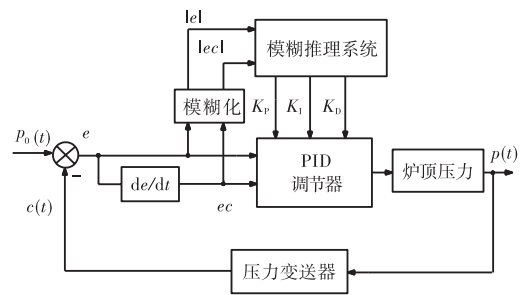


图5 参数自整定模糊PID控制原理图 Fig.5 Structure principle of fuzzy PID controller

3.3 仿真实验

结合现场工艺设备的特性和运行数据,采用具有纯滞后的一阶惯性环节作为炉顶压力的数学模型,其传递函数为

$$G(s) = \frac{15}{260s + 1} e^{-120s}$$

在 Matlab 工具中,采用衰减曲线法整定得到PID调节器初始参数 $K_p = 5.6$, $K_i = 40$ 和 $K_D = 1.2$,系统仿真结果如图6所示.比较曲线可知,相对于传统的PID控制, fuzzy-PID 控制具有响应速度加快,超调量减小、过渡时间大大缩短等良好的动态特性和鲁棒性.

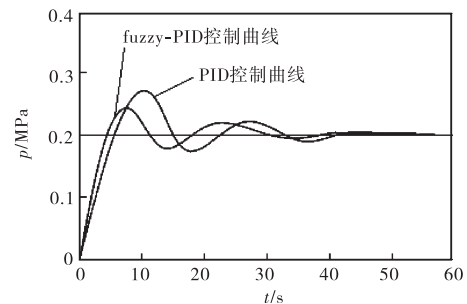


图6 炉顶压力响应曲线 Fig.6 Furnace top pressure response curve

4 结 语

本系统通过在荣程钢厂的运行,实现了高炉煤气余压回收透平发电的监视和自动调节等基本要求.分布式控制系统的采用,为生产操作人员和工程维护人员创造了高效率的工作环境和条件,减小了劳动强度;系统冗余方式的运用,提高了设备运行的可靠性及工程维护的管理水平;参数自整定模糊PID控制算法的应用,加快和改善了系统的响应速度及动态特性,表现出良好的控制性能.

(下转第73页)