

基于多模控制的减温减压集控装置研究

秦振华 陈定千 张凌宇

中国船舶集团有限公司第七〇三研究所无锡分部

DOI:10.32629/etd.v6i5.16865

[摘要] 本文主要研究一种基于多模控制的减温减压集控装置。集控装置包括就地控制柜、远程集控台、PLC控制柜及相关附件。集控装置提供就地手动/自动和远程手动/自动四种控制模式,并采取措施实现控制模式的无扰动切换。集控装置通过集控操作台与PLC控制程序的软硬件配合,实现多路并联减温减压系统的远程集控;并针对用户负荷突变特性,采用与负载控制联动、两路并行调节、变参数PID算法的综合控制策略,较好地调和了控制系统的快速性和稳定性。

[关键词] 减温减压; 无扰动切换; 自动集控; 负荷突变

中图分类号: TM714 文献标识码: A

Research on Multi-mode Control-Based Temperature and Pressure Reduction Integrated Control Device

Zhenhua Qin Dingqian Chen Lingyu Zhang

Wuxi Division of N0.703 Institute of CSSC

[Abstract] This paper primarily investigates a temperature and pressure reduction centralized control device based on multimode control. The device includes a local control cabinet, a remote centralized control console, a PLC control cabinet, and related accessories. It offers four control modes: local manual/automatic and remote manual/automatic, with measures implemented to achieve seamless mode switching. The device achieves remote centralized control of a multi-channel parallel temperature and pressure reduction system through the coordination of the centralized control console and the PLC control program's hardware and software. Additionally, to address user load surge characteristics, a comprehensive control strategy combining load control linkage, dual-channel parallel regulation, and variable-parameter PID algorithms is adopted, effectively balancing the responsiveness and stability of the control system.

[Key words] temperature and pressure reduction; disturbance-free switching; automatic centralized control; load abrupt change

引言

减温减压器常用于调节蒸汽母管的压力和温度。一般通过调节减压调节阀和减温水调节阀的开度,保证出口压力和温度匹配用户(如汽轮发电机组)蒸汽需求。^[1]汽轮发电机组瞬态特性试验中,机组负荷极短时间内在满载与低载之间往复变化^[2],常规的减温减压控制柜依靠手动或仪表控制容易产生控制滞后或超调,导致蒸汽母管压力剧烈变化,严重的可能触发蒸汽母管安全阀动作。因此,本文提出一种基于多模控制的减温减压集控装置,能够远程集中控制多路并联减温减压系统,提供多种控制模式并实现无扰动切换,采用多种控制策略确保负荷突变时系统控制的快速性和稳定性。

1 系统原理与组成

减温减压集控装置主要包括:就地控制柜、PLC控制柜、集

控操作台以及相关附件。

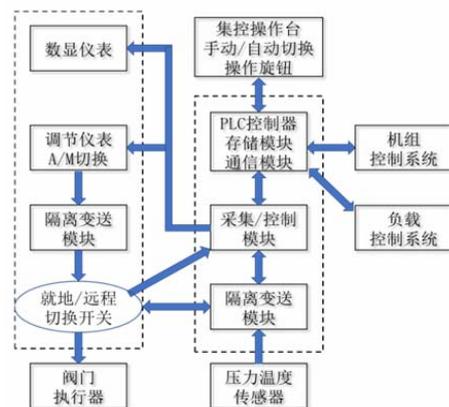


图1 集控装置系统原理图

1.1 就地控制柜

就地控制柜作为减温减压器的常规控制装置, 布置于减温减压系统附近, 一般按一路一柜出厂配置, 在集控装置内保留其作为现场巡检和应急处置的备份控制柜。

就地控制柜配置数显仪表、调节仪表、隔离变送模块以及切换开关等。数显仪表用于显示减温减压器进出口压力、温度; 调节仪表自动或手动地输出阀位控制信号, 经隔离变送模块和切换开关后输出至阀门执行器; 切换开关为Y形连接, 用于阀位控制信号的就地/远程切换。

1.2 PLC控制柜

PLC控制柜是集控装置的核心控制柜, 布置在减温减压系统附近。PLC控制柜配置PLC控制器、存储模块、通信模块、采集/控制模块、隔离变送模块以及相关附件, 具体功能如下^{[3][4]}:

(1) PLC控制器按双路热备配置, 控制程序根据控制设定和反馈信息, 结合控制算法及外部信息, 输出阀位控制信号;

(2) 通信模块基于Modbus TCP通信协议与集控操作台以及外部的机组控制系统、负载控制系统进行网络通信;

(3) 采集/控制模块用于采集传感器信号、系统及外部状态信号等, 并输出阀位控制信号至阀门执行器;

(4) 隔离变送模块包括隔离栅、中间继电器等, 用于传感器信号、系统及外部状态信号以及阀位控制信号的隔离变送, 其中传感器信号一分二同步传输至就地控制柜。

1.3 集控操作台

集控操作台是集控装置的主要操作界面, 布置在控制室。集控操作台按三路一台配置, 配套监控程序对指定回路进行控制, 集控操作台之间可以互为备份。

集控操作台配置工控机、显示屏、切换开关、操作旋钮、高速计数模块以及通信模块等, 具体功能如下:

(1) 工控机运行监控程序, 用于显示减温减压系统、集控装置以及汽轮发电机组的运行状态与参数, 下出口压力、温度设定值, 在线调整PLC控制算法参数;

(2) 每一路减温减压器配置一个切换开关和两个操作旋钮, 切换开关用于手动/自动控制模式的切换, 操作旋钮用于手动调整阀位或参数设定值, 配套增量型旋转编码器实现无级相对调节;

(3) 高速计数模块用于采集操作旋钮旋转时的脉冲输出, 并通过通信模块传输至PLC控制器, 避免信号直传的环境干扰。

2 控制模式与切换

集控装置具有四种控制模式: 就地手动, 就地自动, 远程手动, 远程自动。集控装置通过切换开关以及软硬件配合, 实现了四种控制模式的无扰动切换, 操作人员可以根据系统状态及任务需求择优选取控制模式。

2.1 就地手动/自动控制模式

就地手动/自动控制模式依赖就地控制柜的调节仪表实现。调节仪表具有“A/M”切换键和增减按钮, 手动控制时增减按钮按百分位改变阀位控制信号; 自动控制时增减按钮改变出口压力或温度的设定值, 调节仪表内置的PID算法根据设定值与反馈

偏差, 计算输出阀位控制指令。

2.2 远程手动控制模式

就地控制柜的切换开关打到远程位, 集控操作台的切换开关打到手动位, 操作人员旋转操作旋钮时, 内置的增量型旋转编码器跟随转动, 从而输出与旋转方向和旋转幅度相关的脉冲。^[5]高速计数模块定周期采集脉冲输出, 并将脉冲计数值通过通信模块传输至PLC控制器。PLC控制程序根据初始时刻的脉冲计数 N_0 和当前周期的脉冲计数 N_k , 结合初始时刻的阀位反馈 U_0 , 按公式(2-1)计算当前的阀位控制信号:

$$U_k = U_0 + \frac{N_k - N_0}{K_m} \quad (2-1)$$

K_m 系数初始设定为编码器半圈脉冲数, 即旋转一圈时阀位控制信号变化2%。

2.3 远程自动控制模式

集控操作台的切换开关打到自动位, 操作人员既可以直接在监控程序界面输入参数设定值, 也可以通过操作旋钮微调参数设定值。以出口压力设定值的手动微调为例, 根据上一周期的压力设定值 P_{k-1} 、脉冲计数值 N_{k-1} 以及当前周期的脉冲计数值 N_k , 按公式(2-2)计算当前周期的压力设定值:

$$P_k = P_{k-1} + \frac{N_k - N_{k-1}}{K_d} \quad (2-2)$$

式中 K_d 系数根据汽轮发电机组额定参数调整, 一般可设置为旋转一圈出口压力设定值变化0.4MPa。

监控程序将参数设定值下发至PLC控制程序, 结合对应参数的当前反馈值, 按增量式PID算法计算阀位控制信号:

$$U_k = U_{k-1} + K_p(e_k - e_{k-1}) + K_i e_k + K_d(e_k - 2e_{k-1} + e_{k-2}) \quad (2-3)$$

2.4 控制模式切换

控制模式切换时, 应采取措施实现无扰动切换, 避免阀门执行器的剧烈动作。

(1) 就地手动/自动切换。就地手动/自动控制模式集成在调节仪表中, 按“A/M”切换键, 自动转手动时, 仪表的阀位设定值强制等于切换时的阀位反馈值; 手动转自动时, 仪表的参数设定值强制等于切换时的参数反馈值。这两种情况都可以保证切换初期阀门执行器基本不动作。

(2) 任意转远程手动/自动。监控程序的阀位/参数设定值在不工作时始终跟踪其当前反馈值。因此, 当任意控制模式切换至远程手动控制模式时, 根据公式(2-1)切换初期的阀位设定值等于切换时的阀位反馈; 当任意控制模式切换至远程自动控制模式时, 根据公式(2-3)切换初期的阀位增量为零; 两种情况也都可以保证切换初期阀门执行器基本不动作。

(3) 远程转就地。当就地/远程切换开关处于远程位时, 切换开关将调节仪表的强制远程输入端短接, 调节仪表的阀位设定值跟踪当前阀位反馈; 当切换开关打到就地位时, 调节仪表的强制远程输入端断开, 默认恢复手动控制模式, 阀位设定值强制等于切换时的阀位反馈, 从而实现远程转就地的无扰动切换。

3 综合控制算法

对多路并联的减温减压系统, 减温减压集控装置通常运行在远程控制模式, 由集控操作台和PLC控制程序软硬件配合, 针对机组稳定运行和负荷突变两种工况, 分别匹配对应的控制策略和算法参数, 共同完成减温减压系统的远程集控。

3.1 稳定运行控制

机组稳定运行期间, 集控装置选择一路或两路减温减压器作为基础负荷, 采用手动控制模式将基础负荷调整至机组负荷的60%~80%; 另外选择一路减温减压器作为变动负荷, 采用自动控制模式, 由PLC控制程序根据预设的控制算法及参数, 自动控制减压调节阀和减温水调节阀的阀位, 确保系统出口参数满足要求。

综合考虑多种智能PID算法的应用方案与效果, 控制程序采用变参数增量式PID算法, 结合相关预设阈值, 实现以下综合控制策略^{[6][7]}:

(1) 在设定值与反馈值偏差大于预设阈值 E_1 时, 采用高 K_p 、低 K_i 、零 K_d 的PID算法, 快速调节参数逼近设定值;

(2) 在偏差小于预设阈值 E_1 时, 采用低 K_p 、适量 K_i 和 K_d 的PID算法, 使参数稳定趋于设定值, 抑制控制超调;

(3) 在偏差进一步小于预设阈值 E_2 时, 关闭PID算法, 避免阀门执行器高频动作。

3.2 负荷突变控制

汽轮发电机组瞬态特性试验要求机组负荷极短时间内在满载与低载之间往复变化, 上述稳定运行期间适用的控制算法难以快速响应负荷急剧变化, 容易产生控制滞后或超调, 影响系统的安全运行。

针对负荷突变特性, 集控装置特别采用与负载控制系统联动、两路并行调节的控制策略, 一路通过前馈控制在负荷突变初期快速响应负荷变化, 另一路通过变参数PID算法保证系统出口参数符合要求。

具体地, 集控装置选择一路减温减压器作为基础负荷(如降至空载则不需要)、两路减温减压器作为变动负荷。变动负荷中流量较大的一路减温减压器设定为与负载控制系统联动, 集控装置接收到负荷突变信号时, 按照预设的负荷-阀位特性图表, 直接控制其减压调节阀至预设阀位。另一路减温减压器设定为精确调节, 按照3.1所述的变参数PID算法, 将系统出口参数平稳、精确地调节至要求值附近。特别地, 接收到负荷突变信号后, 控制程序在预设时间(默认3秒)内关闭精确调节回路的PID算法, 以抑制控制超调失稳。

图2表明, 集控装置采用与负载控制系统联动、两路并行调节、变参数PID算法的综合控制策略, 在负荷突变时较好地调和了控制系统的快速性和稳定性, 系统出口参数保持稳定, 保

障了蒸汽母管和机组的安全稳定运行, 以及瞬态特性试验的顺利完成。

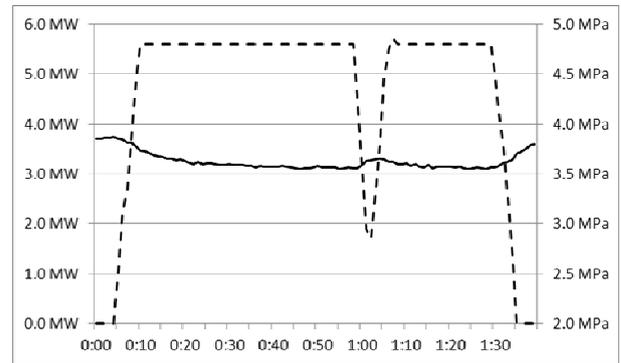


图2 瞬态特性试验蒸汽压力-负荷曲线
(虚线—机组负荷, 实线—出口压力)

4 结束语

本文针对多路并联减温减压系统, 提出了一种基于多模控制的减温减压集控装置。文章重点研究了四种控制模式及其无扰动切换, 以及机组稳定运行和负荷突变时的控制策略与算法参数。试验表明, 集控装置能够在负荷突变时较好地保持系统出口参数稳定, 有力地保障了系统安全运行与试验顺利完成。集控装置的控制算法参数经由试验调试不断调整, 未来需进一步研究控制算法参数的自适应调整, 优化集控装置对不同流量特性的减温减压器和不定机组负荷突变的控制效果。

【参考文献】

- [1]宋洁, 郑倩月. 减温减压器的机理及现场应用[J]. 化学工程与装备, 2021, (06): 201-203.
- [2]吴帆, 关磊, 秦振华. 汽轮发电机组试验监控系统设计[J]. 机械与电子, 2017, 35(09): 54-57+61.
- [3]王雪艳. 基于PLC和工控机的监控系统设计[J]. 煤炭技术, 2012, 31(01): 63-64.
- [4]袁文波, 洪波, 尤万方, 等. S7-PLC基于Modbus/TCP协议通信研究[J]. 计算机工程与设计, 2014, 35(02): 736-741.
- [5]徐忱, 范玲. 旋转编码器原理及应用[J]. 黑龙江科技信息, 2007, (17): 58.
- [6]王威, 杨平. 智能PID控制方法的研究现状及应用展望[J]. 自动化仪表, 2008, (10): 1-3+7.
- [7]杨智, 朱海峰, 黄以华. PID控制器设计与参数整定方法综述[J]. 化工自动化及仪表, 2005, (05): 1-7.

作者简介:

秦振华(1989--), 男, 汉族, 江苏盐城人, 硕士研究生, 高级工程师, 研究方向: 热工测量与控制。