

百万超超临界机组全程给水自动控制分析

庄伟 汪勇 康磊 朱潘鑫 胡骑

(上海发电设备成套设计研究院有限责任公司 上海 200220)

摘要:近年来,我国一直大力发展超临界、超超临界燃煤机组,百万超超临界机组的数量与总容量都高居世界首位,而且火力发电机组的能效水平得到持续提高,新建超超临界燃煤机组的实际运行水平已达到世界领先。给水控制贯穿整个机组运行过程,是直流锅炉协调和汽温控制的核心,全程给水自动控制的特点和优势在于,其启动、运行、转换控制方式都是自动的,无需人工干预,可以确保机组高效、安全、节能运行。本文概述了百万超超临界燃煤机组全程给水自动控制系统,阐释了其具体特点和逻辑设计,最后分析了投用效果,证明可以有效实现全程给水自动控制。

关键词:百万超超临界;燃煤机组;给水;全程自动控制

1 系统概况

超超临界技术是提高火电机组的能效水平、减少燃煤发电污染物以及温室气体排放最有效的技术。超超临界机组采用直流锅炉,其显著特点就是没有汽包,因此调节灵敏,启停快速,但是其运行情况相对复杂,对于给水品质的要求比较高,对于自动控制系统的要求也比较高。给水控制是超超临界锅炉控制的难点与核心,要求在低负荷时给水流量满足最低要求,在直流运行时保证合适的燃水比,以满足机组蒸汽流量需求,维持机组安全运行。给水系统的控制设备包括启动系统、汽动给水泵组、主给水管路电动门组、主给水旁路调节阀组、前置泵、高压加热器等,如图1所示。给水系统涉及到4个工作阶段:锅炉上水和冲洗阶段、升温升压阶段、炉水循环阶段、直流运行阶段。全程给水自动控制一方面实现了过程调节和顺序控制的有机契合,另一方面实现了模拟量自动调节回路无扰自主切投。

2 全程给水自动控制系统的特点

2.1 锅炉上水的主要特点及控制方式

锅炉上水有3种方式,分别为电动给水泵、汽泵A的前置泵、汽泵B的前置泵。由于炉水循环泵(BCP)是非常精密的进口炉水泵,为防范水中的杂质进入轴承电动机内,在上水前需要确认炉水循环泵已注水完毕。若选择给水

泵上水方式,需设计给水旁路阀与匀管自动配合。若给水旁路阀流量自动,匀管就需投入差压自动控制,以确保上水压差约为1.5MPa。在选定了上水方式后,就可启动电动给水泵或者前置泵进行顺序控制。待除氧器水温正常、汽水分离器水位正常之后,才启动循环清洗功能。

2.2 锅炉冷热态冲洗主要特点及控制方式

直流锅炉的受热面容易结垢腐蚀,产生氧化皮,导致锅炉爆管。这就对锅炉的给水提出了非常高的要求,在上水与启动阶段,需要实施冷态冲洗、热态冲洗,用除盐水(冲洗水的pH值为9.0~9.6)冲洗水汽系统,具体为水冷壁、省煤器、除氧器、过热器、高低压加热器等,以清除锅炉受热面与管道存在的盐类、杂质。冷态冲洗是用冷水对锅炉进行冲洗,打开冷水调节阀,维持一定的流量,出口调整阀保持一定的开度,直到储水箱底部出口排水水质合格,锅炉冷态冲洗结束。热态冲洗是在冷态冲洗完成之后,锅炉点火,确保分离器入口温度约为200℃,对锅炉进行热态冲洗,直到储水箱排水水质合格,锅炉热态冲洗结束。

2.3 自动并退泵的主要特点及控制方式

百万超超临界机组的汽轮机配置了2台50%容量的汽动给水泵,并泵是指在机组高负荷运行时2台汽动给水泵并列运行,退泵则是在机组低负荷运行时解列至单台运行,机组在启动时也是1台给水泵运行。百万超超临界机组水泵手动并泵操作复杂,而且给水泵并泵、退泵往往导致给水流量波动,而自动并退泵的目的在于减轻运行人员的劳动强度,实现一键式给水泵并泵或退泵操作,避免锅炉给水流量发生波动以及主蒸汽温度大幅度变化,从而保障机组的安全可靠运行。

2.4 给水主旁路阀门切换主要特点及控制方式

给水旁路调节把省煤器入口流量作为被调量,采用单回路控制方式,设定值一般是33%锅炉最大连续蒸发量(BMCR)。当机组负荷低于15%BMCR的时候,利用给水旁路调节阀调整给水流量;随着负荷增加,再循环流量不断减小,旁路调节阀开度不断增大;等到其开度为75%~80%的时候,主给水电动阀开启,而且切换到串级控制回路;等到主阀完全开启的时候,旁路调节阀缓慢关闭,

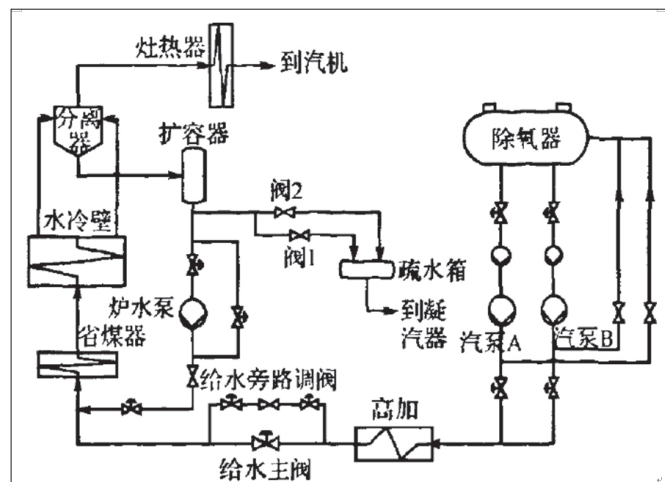


图1 给水系统流程示意图

完成了从旁路到主路的切换,由给水泵自动调整给水流量。当锅炉负荷降到 20% ~ 30% BMCR 的时候,旁路调节阀自动开到 100%,主给水电动阀自动关到 0%,从而实现从主路到旁路的切换。

2.5 锅炉干湿态转换主要特点及控制方式

超超临界直流锅炉在启停过程中有一个干态、湿态转换的过程,这是一个关键控制点,需要保证平稳顺畅地度过。如果干湿态交替转换,就会导致工况发生很大变化,不但延误启停过程,而且可能导致过热器进水,甚至发生机组跳闸事故。在开机过程中,当机组负荷升到 260 ~ 300MW 的时候,稳定给水流量,随着锅炉总燃料的增加,储水箱水位逐渐下降到零,360 调节阀逐渐关小至全关,过热度出现而且逐渐升高,则锅炉由湿态转入干态运行。当机组负荷下降到 300 ~ 260MW 的时候,逐渐减少燃料量,储水箱水位逐渐上升,锅炉过热度逐渐消失,则锅炉由干态转入湿态运行。

3 给水全程自动逻辑设计的实现

3.1 全程给水控制策略基本框架

全程给水自动控制是百万超超临界燃煤机组非常重要的子系统,包括给水流量控制、分离器水位控制、中间点温度控制。在机组启动以及升负荷的各个阶段,给水控制回路有所不同,控制对象也不相同。因此,为了实现全程给水自动控制,需要设计好各阶段、各系统的切换方案。

在升负荷过程中,水质参数不断升高,等到水质参数、机组负荷达到一定标准,汽水分离器的运行状况也会发生变化。所以,可以把 T (水质参数温度)、F (机组负荷)、P (蒸汽压力) 作为切换给水控制回路的指标,并设 $P_1 < P_2 < P_3$, $T_1 < T_2 < T_3$ 。

如果机组负荷小于 $F_1=15\%$,且 $T < T_1$, $P < P_1$,利用切换开关 T1 回收至凝汽器循环通道,V2-2 (疏水调节阀) 控制分离器水位。

如果机组负荷升至 $F_1=15\%$ 到 $F_2=25\%$ 之间,且 $T_1 \leq T < T_2$, $P_1 \leq P < P_2$,利用切换开关 T1 回收至除氧器循环通道,关闭 V2-2 调节阀,V2-1 (疏水调节阀) 控制分离器水位。

如果机组负荷升至 $F_2=25\%$ 到 $F_3=29\%$ 之间,且 $T_2 \leq T < T_3$, $P_2 \leq P < P_3$,利用切换开关 T2 回收至再循环通道,关闭 V2-1 调节阀,V1 (循环水调节阀) 控制循环水流量。

如果机组负荷升至 $F_3=29\%$ 到满负荷之间,且 $T_3 \leq T$, $P_3 \leq P$,利用切换开关 T3 选择给水泵,关闭 V1 循环水调节阀,给水泵控制中间点温度。如图 2 所示:

3.2 全程给水控制程序设计

3.2.1 全程给水过程锅炉给水流量控制策略

为了确保水冷壁的安全性,超超临界直流锅炉运行于湿态时,必须保持一定的锅炉启动流量。利用 Alstom 技术策略,锅炉的启动流量决定于启动循环泵的出口调门。为此,根据以下因素来设定水冷壁的最小流量:

①省煤器进口流量与 15s 内流量偏差的积分值,利用函数关系对应 31% ~ 36% 锅炉最大连续蒸发量。

②如果分离器出口焓值比最小基准焓值小,且主蒸汽

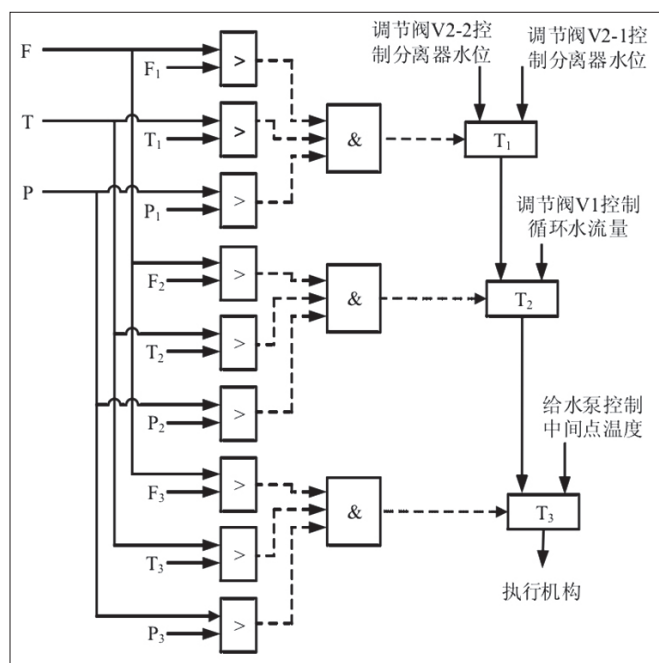


图 2 超超临界机组全程给水自动控制切换逻辑框架

温度在 520℃ 以下,则发出信号“降低温度设定”,启动流量减小到 33% 锅炉最大连续蒸发量。

③手动设定的启动流量。

④如果分配箱进口温度超出储水箱压力允许,水冷壁流量就在原设定值上增加 10% 锅炉最大连续蒸发量;此外,如果分疏箱水位偏低,会导致其下的启动循环泵进压不足,因此分疏箱需维持最低水位,若分疏箱实际水位降到最小设定值 2m 以下,调门就会不受流量影响而渐渐关小。

3.2.2 全程给水过程分离器水位控制策略

直流锅炉没有汽包,代之以内置式汽水分离器,分离器水位频繁变化会导致锅炉工质升温过程紊乱,测量参数出现误差,结果送风、送煤机构错误运行,所以,在超超临界燃煤机组全程给水自动控制中,分离器水位控制是非常重要的环节。在开机及低负荷(负荷小于 25% BMCR)运行的时候,汽水分离器运行于湿态模式,给水流量影响分离器的液位,需适当控制分离器储水箱水位,使分离器维持一定的水位,这样可以减缓汽压的变化速度,维持锅炉的最小流量,并且确保工质具备一定的蓄热能力;在机组正常运行的过程中,汽水分离器运行于干态模式,其里面没有水,只是一个蒸汽通道,其出口温度被作为中间点温度。汽水分离器水位控制可分为 3 个阶段:

①从启动至 15% 负荷阶段,此阶段需要大流量的供水,由 V2-2 调节阀控制分离器水位。

②从 15% 至 25% 负荷阶段,在此阶段水质参数好转,由 V2-1 调节阀控制分离器水位。

③从 25% 至 29% 负荷阶段,水质参数进一步好转,炉内水循环,由 V1 调节阀控制分离器水位,直到进入干态模式。

3.2.3 全程给水过程中间点温度控制策略

为了确保锅炉稳定工作，需确保水煤比平衡，这是满足机组蒸汽流量需求的基础，也是保障机组安全运行的前提。水煤比参数是否正确，可以借助蒸汽焓值变量表现出来。要想有效控制蒸汽流量，需要寻找一个最佳的变量与测量点，也就是中间点，其能够准确反映主蒸汽温度以及燃料量的变化。中间点温度控制的结构简单，组态容易实现，因此在超超临界机组中得到了广泛应用。一般汽水分离器的出口温度被设为机组的中间点温度，在干态模式下，中间点温度由给水流量、锅炉负荷指令的前馈信号进行控制。锅炉主控指令经过惯性滤波、函数转换，变成给水流量目标值，作为给水控制的基本指令，再经过中间点温度、一级减温器出入口温差调节器校正，最终生成给水流量指令。

4 全程自动给水控制投用效果分析

在投用全程给水自动控制系统后，取得了良好的控制效果。图 3 是在 AGC 试验中机组的主参数变化曲线：目标负荷值 846.581，选择功率 846.800MW；总给煤量为 335.205t；总给水流量为 2307.09t；AGC 反馈值 846.059MW；主蒸汽温度 593.491℃；主汽压力设定值 23.397kPa；选择后主汽压力 23.316kPa。经严格测试发现，无论负荷高低，AGC 实际负荷速率都可以达到 1.5 BMCR/min。在机组启动初期，就算把给水调节阀自动关到 8%，给水流量依然偏大。伴随燃料量增加，主蒸汽压力不断增大，省煤器入口给水流量方恢复到 645t/h 启动流量。伴随主蒸汽压力增大，A 给水泵转速加快，给水调节阀开度变大，由于分离器出口温度修正，给水流量始终保持在 645t/h 左右。在机组启动后期，分离器出口温度上升，锅炉转入干态运行，在此过程中出口温度平稳升高，给水自动控制正常。在 B 给水泵并泵期间，给水泵转速正常，给水调节阀自动控制正常，给水流量控制稳定。

5 结语

我国发电供热用煤约占煤炭生产总量的 50%，而且 90% 的二氧化硫排放来自于煤电，可见，调整火电结构，

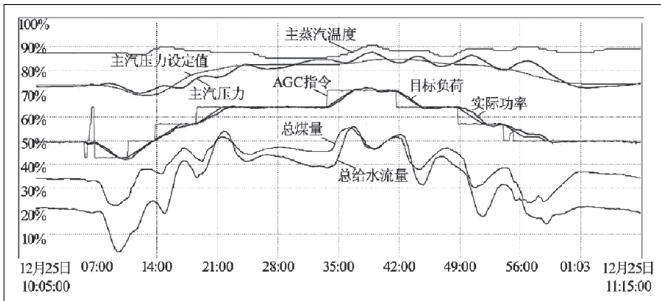


图 3 在 AGC 试验中机组的主参数变化曲线
实施节能降耗，具有非同寻常的意义。当前百万超超临界燃煤机组是发电行业的主流技术，而全程给水自动控制是超超临界锅炉控制的核心。因此，有必要继续深入研究给水控制，这对于推动电力行业可持续发展，打造环保、清洁、节能的社会具有重要意义。

基金资助：国家电力投资集团有限公司统筹研发经费支持项目 (TC2019HD10)。

参考文献：

[1] 郑艳秋. 直流锅炉干湿态转换原理及自动控制系统 [D]. 北京：华北电力大学,2019.
[2] 黄金添,郭航.1050MW 机组给水系统自动调节 [J]. 中国高新区,2018(06):18-19.
[3] 安子健. 东方锅炉 1000MW 超超临界机组自动控制系统改进设计 [D]. 秦皇岛：燕山大学,2019.
[4] 吴鲁东,张晓东.1050MW 超超临界机组给水控制系统优化 [J]. 华电技术,2016,38(02):41-43.
[5] 毛求福,马永光,彭钢. 基于 ACO 的超临界给水系统模糊内模控制研究 [J]. 电力科学与工程,2018,34(10):49-55.
[6] 白永刚,庄伟,孙惠,等.600MW 燃煤机组给水泵自动并退过程控制策略 [J]. 发电设备,2020,34(03):200-205,214.
作者简介：庄伟 (1988.09-), 男, 汉族, 湖南永州人, 硕士研究生, 工程师, 研究方向：火电厂主辅机控制与智慧电厂建设。

