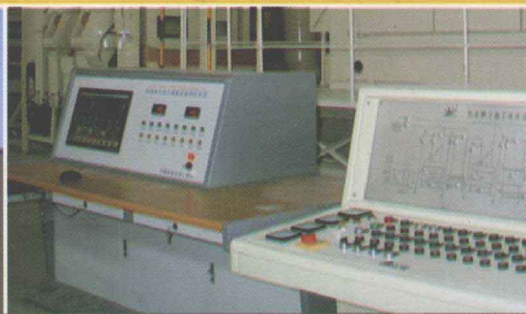


1000MW火力发电机组培训教材



KONGZHI SHEBEI XITONG JI YUNXING

控制设备系统及运行

文群英 潘汪杰 主编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

■ 1000MW火力发电机组培训教材

KONGZHI SHEBEI XITONG JI YUNXING

控制设备系统及运行

主 编 文群英 潘汪杰

参 编 刘 斌 杨 帆 张庆丰



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

本书是 1000MW 火力发电机组培训教材丛书的《控制设备系统及运行》分册。书中全面介绍了国产引进型 1000MW 超超临界单元机组的控制设备及系统的原理、结构、运行特性等。

本书可供设计院、发电厂、电力试验所、电力建设部门等从事 1000MW 发电机组热控专业设计、安装、调试、运行、检修的技术人员和管理人员阅读,可作为现场生产运行人员的培训资料和教材,也可供大型火电厂热控专业技术人员查阅和供相关专业的大中专师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

控制设备系统及运行/文群英,潘汪杰主编. —北京:中国电力出版社,2011.3

1000MW 火力发电机组培训教材

ISBN 978-7-5123-1450-4

I. ①控… II. ①文… ②潘… III. ①火电厂—控制设备—技术培训—教材 IV. ①TM621.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 030939 号

中国电力出版社出版、发行

(北京市东城区北京站西街 19 号 100005 <http://www.cepp.sgcc.com.cn>)

航远印刷有限公司印刷

各地新华书店经售

*

2011 年 8 月第一版 2011 年 8 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 26.25 印张 645 千字

印数 0001—3000 册 定价 66.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失

本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

编 审 委 员 会

主 任：陈 飞

副主任：胡念苏 范云滩 黄忠祥 罗家林
刘克兴

委 员：（以姓氏笔画为序）

马广平	王义平	王建梅	刘先斐
李 庆	李正奉	朱全利	汪文化
邹向群	陈志和	肖启标	杨 俊
周荣迁	周柏青	郑桂波	俞红梅
郝忠义	黄 梅	常 湧	喻亚非
熊立红	熊杨恒	蔡 锴	樊天竞
滕维忠			

前言

我国电力工业已经进入大电网、大机组、高电压、高自动化的发展时期。目前,以大容量和超临界技术为特征的火力发电机组被广泛采用,这对火力发电设备的制造和运行水平都提出了更高要求,生产运行人员和从事相关工作的技术人员也面临新的情况。

为帮助现场生产运行人员了解 1000MW 火力发电机组的结构、系统、运行等知识,编写了本套 1000MW 火力发电机组培训教材丛书,力求将我国目前在 1000MW 火力发电机组方面的最新成果展示给读者。丛书包括《电气设备系统及运行》、《锅炉设备系统及运行》、《水处理设备系统及运行》、《控制设备系统及运行》、《汽轮机设备系统及运行》五个分册。

本分册分为十六章,全面介绍了国产引进型 1000MW 超超临界单元机组的控制设备及系统方面的原理、结构、运行特性等。第一章主要介绍了超超临界单元机组的特点及热工自动化概述,第二至七章主要介绍了 Ovation 分散控制系统的系统构成、配置、特点等,第八、九章主要介绍单元机组协调控制系统(CCS)及超超临界单元机组协调控制,第十章主要介绍燃烧控制系统、汽温控制系统、给水控制系统、汽轮机旁路控制系统等机组自动控制系统,第十一章主要介绍炉膛安全监控系统(FSSS 或 BMS),第十二章主要介绍顺序控制系统(SCS),第十三章主要介绍辅助车间控制网络,第十四章主要介绍汽轮机数字电液控制系统(DEH),第十五章主要介绍汽轮机安全监视系统(TSI),第十六章主要介绍汽轮机危急遮断系统(ETS)。本书可供设计院、发电厂、电力试验所、电力建设部门等从事 1000MW 发电机组热控专业的设计、安装、调试、运行、检修的技术人员和管理人员阅读,可作为现场生产运行人员的培训资料和教材,也可供大型火电厂热控专业技术人员查阅和供相关专业的大中专师生参考。

本分册由武汉电力职业技术学院文群英、潘汪杰任主编,参加编写的还有武汉电力职业技术学院的刘斌、杨帆,以及华电集团华中分公司襄樊电厂张庆丰等。

本书在编写过程中,参阅了参考文献中列写的正式出版文献以及相关电厂、设计院和高等院校的技术资料、说明书、图纸等,特别是在收集资料的过程中得到粤电靖海电厂、中电投鲁阳电厂、华电国际邹县发电厂的大力支持,在此一并表示衷心感谢。

由于编者水平所限和编写时间紧迫,疏漏之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

2010 年 8 月

目 录

前言

第一章 超超临界单元机组的特点及热工自动化概述	(1)
第一节 超超临界单元机组的特点.....	(1)
第二节 超超临界单元机组热工自动化的内容及功能	(11)
第二章 Ovation 系统简介	(19)
第一节 Ovation 系统概貌	(19)
第二节 Ovation 系统的特点	(25)
第三节 某电厂 1000MW 单元机组 Ovation 系统的配置	(27)
第三章 Ovation 网络系统	(34)
第一节 概述	(34)
第二节 交换型快速以太网	(35)
第三节 工厂控制网和现场总线	(38)
第四章 Ovation 控制器	(42)
第一节 概述	(42)
第二节 Ovation 控制器硬件	(43)
第三节 Ovation 控制器的功能	(46)
第四节 Ovation 控制器的使用	(48)
第五节 Ovation 控制机柜	(60)
第五章 Ovation 输入输出子系统	(66)
第一节 概述	(66)
第二节 模拟量输入模块	(70)
第三节 RTD 输入模块	(74)
第四节 模拟量输出模块	(76)
第五节 触点输入模块	(79)
第六节 数字量输出模块	(81)
第七节 链接控制器模块 LC	(83)
第八节 时间顺序模块 SOE	(84)
第六章 Ovation 人机界面	(87)
第一节 概述	(87)
第二节 Ovation 操作员站	(87)
第三节 Ovation 工程师站	(100)
第四节 Ovation 历史站	(105)
第五节 Ovation 记录服务站 (LOG)	(108)

第七章 Ovation 软件系统	(110)
第一节 概述	(110)
第二节 Ovation 组态工具软件	(111)
第八章 单元机组协调控制系统	(119)
第一节 协调控制系统的基本概念	(119)
第二节 协调控制系统的组成与分析	(123)
第三节 单元机组负荷控制对象特性分析	(125)
第九章 超超临界单元机组协调控制	(130)
第一节 1000MW 超超临界机组控制系统的特点	(130)
第二节 负荷指令与压力指令运算回路	(134)
第三节 锅炉主控制器结构及功能分析	(146)
第四节 汽轮机主控制器结构及功能分析	(148)
第十章 机组自动控制系统	(151)
第一节 燃烧控制系统	(151)
第二节 汽温控制系统	(174)
第三节 给水控制系统	(191)
第四节 汽轮机旁路控制系统	(203)
第十一章 炉膛安全监控系统	(215)
第一节 概述	(215)
第二节 炉膛爆燃及其防止措施	(222)
第三节 FSSS 相关设备简介	(227)
第四节 FSSS 的逻辑控制系统	(240)
第五节 炉膛安全监控系统公用逻辑	(243)
第六节 燃油系统控制逻辑	(259)
第七节 煤层控制逻辑	(263)
第十二章 顺序控制系统	(269)
第一节 顺序控制技术	(269)
第二节 大型火电厂顺序控制系统概述	(277)
第三节 在 DCS 中实现的顺序控制	(282)
第四节 某电厂顺序控制系统分析	(288)
第五节 汽轮机连锁保护逻辑	(301)
第六节 机组大连锁控制	(303)
第十三章 辅助车间控制网络	(306)
第一节 概述	(306)
第二节 输煤程控系统	(309)
第三节 吹灰程序控制系统	(313)
第四节 化水系统程序控制	(322)
第十四章 汽轮机数字电液控制系统	(330)
第一节 概述	(330)

第二节	DEH 系统的组成及内容	(337)
第三节	DEH 的控制功能	(339)
第四节	DEH 的转速和负荷控制	(351)
第五节	DEH 的自动保护	(366)
第六节	DEH 的功能试验	(371)
第七节	DEH 的执行机构	(372)
第十五章	汽轮机安全监视系统	(375)
第一节	概述	(375)
第二节	TSI 系统的基本组成与工作原理	(381)
第三节	传感器系统	(382)
第四节	测点及传感器安装位置介绍	(383)
第五节	MMS6000 系统仪表	(388)
第六节	TSI 安装及调试	(395)
第十六章	汽轮机危急遮断系统	(397)
第一节	危急遮断系统的组成	(397)
第二节	某电厂 1000MW 机组的 ETS 系统分析	(400)
参考文献		(410)

第一章

超超临界单元机组的特点及 热工自动化概述

第一节 超超临界单元机组的特点

一、超超临界单元机组的特点

超超（超）临界火电机组是常规蒸汽动力火电机组的自然发展和延伸。当蒸汽压力提到高于 22.1MPa 时就称为超临界机组，如果蒸汽初压力超过 27MPa，则称为超超临界火电机组。由于超超（超）临界机组压力、温度等级的提高，对材质提出了更高的要求，因而超超（超）临界机组一般设计为直流炉型式而无汽包，制粉系统则有直吹式和中储式两种。超超（超）临界机组的控制具有以下一些特点。

（1）直流炉没有汽包环节。机组总的汽—水循环工质（水和水蒸气）质量与汽包炉相比大大下降，工质在机组内的循环速度上升，这就要求控制系统应更为严格地保持工作负荷与燃烧速率之间的关系。

（2）直流机组中，由于没有储能作用的汽包环节，直接做功的蒸汽质量与总的机组循环工质总质量（水和蒸汽）的比值很高。这就要求控制系统严格地保持机组的物料平衡关系，特别是：①燃烧速率与给水之间的平衡关系，即通常所说的燃水比；②燃烧速率与给煤、通风之间的平衡关系。这种平衡关系不仅是稳态下的平衡，而且应保持动态下的平衡。一旦失衡，产生的危险性要严重得多，因此必须给予重视。

（3）由于循环工质总质量下降，循环速度上升，工艺特性加快，这就要求控制系统的实时性更强，控制周期更短，控制的快速性更好。从汽轮机—锅炉（以下简称机—炉）协调控制的角度分析，要求协调控制更及时、准确。

（4）在直流炉工艺结构中，直吹式机组成为又一个控制难点。由于省略了煤粉中间的贮仓，从给煤、制粉、送粉环节开始，就已纳入机组燃烧系统的数学模型。燃烧系统本身就复杂，具有大的纯时延和滞后特性，形成难以控制的环节。对直吹式机组来说，由于增加了给煤、制粉工艺，纯时延及滞后特性进一步增加，动力学响应速度进一步下降，成为机—炉协调控制策略的要点。

对超超（超）临界直流炉直吹式机组，在进行控制系统配置和构造协调控制策略时，必须充分考虑下述问题。

1）如何提高控制作用的快速性。控制周期要短，实时性要好。反之，实时性不好，控制周期过长，再好的控制策略也难以达到预想的效果。

2）在协调控制中，将克服纯时延、大滞后环节和加速锅炉侧的动态响应，作为选择控制策略的一个依据。

3）不仅要注重稳态下的平衡关系，也必须注意瞬态下的物料平衡关系。

4) 适应多种机组运行方式：①机炉协调方式；②炉跟机方式；③机跟炉方式；④机炉手动方式。

5) 对大型机组要考虑参与调频及 RUNBACK 工况。

二、超超临界机组控制策略的特点

由于超超（超）临界机组的这些特点，因此在机组的控制策略设计上具有一些自身的特点。以下以几个典型控制系统予以介绍。

（一）协调控制系统

协调控制系统关键在于处理机组的负荷适应性与运行的稳定性这一矛盾。既要控制汽轮机充分利用锅炉蓄能，满足机组负荷要求，又要动态超调锅炉的能量输入，补偿锅炉蓄能，要求既快又稳。现代大型锅炉—汽轮机单元机组是一个多变量控制对象，机—炉两侧的控制动作相互影响，且机—炉的动态特性差异较大。超超（超）临界机组中的锅炉都是直流锅炉，做功工质占汽—水循环总工质的比例增大，锅炉惯性相对于汽包炉大大降低；超超（超）临界机组工作介质刚性提高，动态过程加快。超超（超）临界直流炉大型机组的这些特点决定了其协调控制从本质上区别于传统汽包炉，它需要更快速的控制作用，更短的控制周期，以及锅炉给水、汽温、燃烧、通风等之间更强的协同配合。

针对超超（超）临界直流炉大型机组协调控制的基本特点，在设计协调控制系统时，对传统协调控制进行了几点改进。

1. 锅炉、汽轮机之间功率平衡信号的选择

与汽轮机相比，锅炉系统动态响应慢、时滞大；对直流炉来说，合理地选择功率平衡信号，才能适应直流炉对快速控制的要求。因此功率平衡信号的选择，对整个机组动态特性的影响极大。

作为机—炉之间的功率平衡信号，理论上至少存在三种选择的可能性，它们的特性和差异如表 1-1 所示。

表 1-1 机—炉之间的功率平衡信号选择方案

需求信号	第一方案 机组负荷指令（MWD）	第二方案 汽轮机第一级压力（ p_1 ）	第三方案 机组实发功率（MW）
物理意义	机组负荷指令（MWD）代表了机组应发的功率，也代表了锅炉侧应提供的蒸汽功率	汽轮机第一级压力 p_1 可换算为汽轮机侧当前实际消耗的蒸汽量，也即锅炉侧当前应提供的蒸汽功率	当前的机组发电功率代表了当前机组承担的负荷，也即锅炉应产生的负荷功率
特点	机组为达到一定负荷应当需要的功率	当前发电汽轮机实际消耗的功率	机组的实发电功率
时间关系	时间上 MWD 信号出现最早	比 MWD 信号慢，相差一个锅炉侧时间常数 τ_B	比 p_1 信号慢，相差一个汽轮机/发电机时间常数 τ
控制策略思想	根据 MWD，控制锅炉侧，因此是一种前馈控制	依照实际的 p_1 （或 MW）信号出现后，再反馈到锅炉侧，因此是基于反馈的锅炉跟踪汽轮机设计	

从表 1-1 可知，用机组发电负荷指令（MWD）作为锅炉侧功率需求信号，从时间上比 p_1 信号早了一个锅炉时间常数 τ_B （含有主汽压时间常数、再热汽压时间常数、给水时间常数等，其中给水时间常数较小，余者较大，以燃烧环节为例，是以分钟为单位的量），

MWD 信号在快速性及时间上具有优势。

实发电功率 (MW) 比 p_1 信号更慢了一个汽轮机/发电机时间常数 τ (对 300MW 再热机组, 通常认为大约为 10s 左右)。与 τ_B 相比, τ 虽然小得多, 但也不是人们所希望的。前苏联及日本一般采用 MWD 信号。图 1-1 所示为前苏联设计的协调控制系统示意框图。

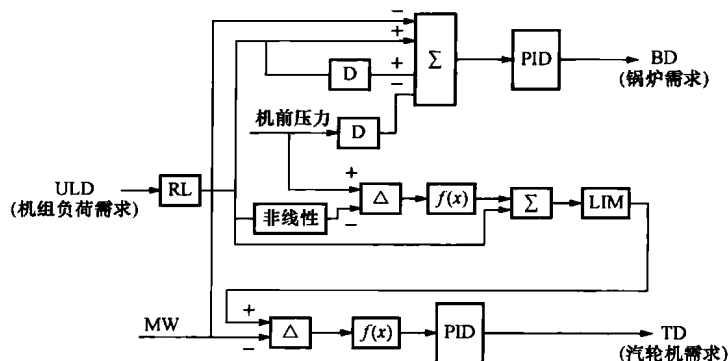


图 1-1 前苏联设计的协调控制系统示意框图

采用 MWD 信号后, 由于本质上是开环前馈控制, 对消除锅炉侧的内部扰动没有作用, 因此必须考虑克服锅炉内部扰动问题。

2. 锅炉内部扰动的克服

无论何种原因, 锅炉内部状态变量的扰动, 最后总要通过主蒸汽压力表现出来。机炉协调控制的一个目标, 就是稳定主蒸汽压力 p_1 , 使之与设定值 p_s 的偏差越小越好。将 $\Delta p = p_1 - p_s$ 偏差变量反馈到锅炉侧, 使主汽压调节回路发挥消除内扰的作用。

采用 MWD 指令前馈, 综合主汽压调节反馈以克服锅炉内扰的日立协调方案, 综述如下:

(1) 以 MWD 信号作为主功率平衡信号, 并行控制汽轮机侧和锅炉侧。对锅炉侧而言, MWD 信号即是基本的稳态功率前馈信号。

(2) 在 MWD 之上叠加主蒸汽压力调节分量, 形成锅炉负荷主指令 (BID), 用 BID 指令并行控制锅炉各子系统。

日立机组协调控制策略如图 1-2 所示。图中, 由 MWD 信号, 通过 FG 宏指令生成主蒸汽压力设定值, 适应了定压—滑压一定压工作的机组状态。MUL 为校正环节, 考虑了锅炉蓄能作用。实发电功率 MW 信号, 经主蒸汽压力偏差 Δp 的校正后形成 MW, 发挥了稳定主蒸汽压力的作用。HS/LS 及形成电路组成的环节, 起到了调节保护作用。无论何种原因, 主蒸汽压力偏差过大时, 利用汽机的调节作用, 达到安全保护的目的。

由图 1-2 可知, $BID = X_1 + X_2$ 。其中 X_1 为 MWD 信号, X_2 为主汽压调节器输出

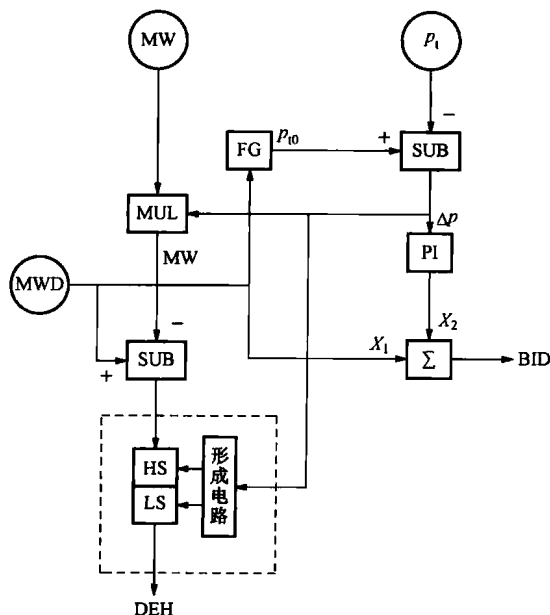


图 1-2 日立机组协调控制策略基本框图

信号。系统应调整成这种状态,即使 X_1 尽可能地逼近 BID,在此种参数的配合下,主汽压调节器 (PI) 处于小偏差状态,这样机组运行最稳定,动态特性最好。

图 1-1 所示的前苏联协调控制方案,则是简单地采用了主汽压力 p_1 的动态微分来抵消锅炉侧的内扰,虽可以发挥一定的作用,但未能考虑到主汽压力与额定(设定)值之间的偏差,例如主汽压力已低于设定值,主汽压力升高过程中,锅炉侧反而会减负荷,是其设计不合理之处。

3. 加速机组的动态过程——并行前馈控制法

与 P_1 信号相比,利用 MWD 信号进行锅炉/汽轮机侧的功率平衡,对直流炉快速控制和更好地进行协调控制是有力的。但是,还应在锅炉侧配合进一步的措施才能达到加速锅炉动态响应的目的。

原则上,工业过程控制策略可以划分为前馈、反馈两类。反馈是一种平衡、纠偏的手段,偏差发生了,进行纠偏调节达到理想状态点,也即先有偏差再控制。前馈则是一种根据需要进行直接的前向控制的概念,在时间上比反馈快一个节拍。前馈可以加快动态响应,反馈可以稳定工作状态。为加快锅炉的动态响应,稳定机组运行,必须合理地、混合地采用上述两种策略。

从功率、物料平衡的观点看,以并行前馈为主,给锅炉各子系统一个随负荷变化的合理的稳态工作点,再施以合理的 PID 单级或串级的反馈调节,发挥自动平衡、纠偏的作用。合理地调整并行前馈量,锅炉控制系统的实际工作点可以逼近理想工作点,使燃料、风、水、汽等物料、能量关系处于平衡点邻域,此时锅炉子系统的反馈调节器进入了小偏差调节状态,再调整各控制回路的参数,达到加快机组的动态响应过程。

并行前馈控制对稳定锅炉侧基本物料、功率平衡关系起着举足轻重的作用。在并行前馈的基础上,再施以反馈调节的锅炉控制方案如图 1-3 所示。

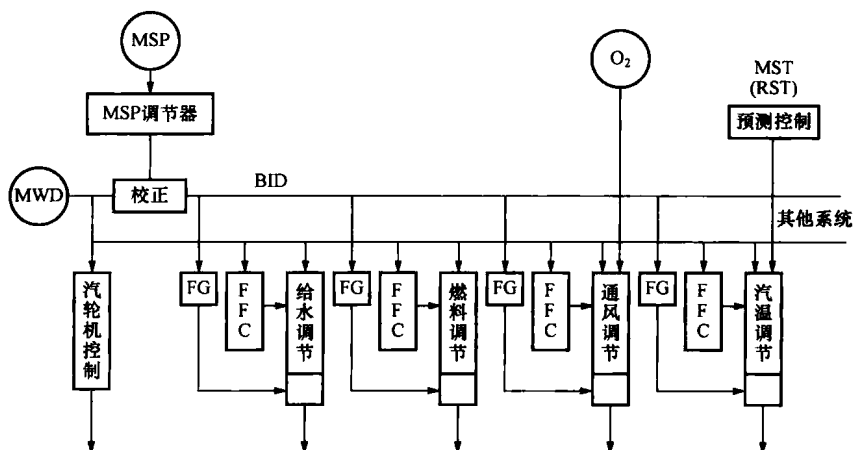


图 1-3 并行前馈控制方案框图
FG—静态前馈环节；FFC—动态前馈环节

前馈控制又可分为如下两类：

(1) 静态前馈。由锅炉负荷主指令 (BID)，通过各自的函数发生器宏指令 (FG)，并行地形成一套稳态的前馈信号,送到各子系统,建立一个稳态工作点。

(2) 动态前馈。当机组负荷变化时, 锅炉侧的纯时延和大滞后是影响机组动态响应的关键因素。为此, 根据 MWD 信号 (比 BID 更早) 生成一组动态前馈信号——锅炉动态加速信号 (BD), 分别作用到燃料、送风、给水、喷水减温等系统, 加速锅炉对负荷指令的响应速度, 起到先动作、早控制的作用。BD 指令在变负荷时具有强化微分环节的作用, 稳态负荷下不发生作用。锅炉动态加速指令工作原理如图 1-4 所示。

机组出力目标变化时, BD 指令以一定速率投入到燃料、通风、给水、减温喷水等系统, 加速各子系统动态响应。一般是加到各分系统的设定值上, 从而加大各分系统调节器的偏差, 使调节器更快速地调节实际值。在机组出力即将到达目标值时, BD 指令以一定的速率快速切除, 当机组出力达到目标值时, BD 指令完全切除。所以 BD 指令只在动态调节时起作用, 加强各调节器调节功能, 在稳态时不对系统产生任何影响。投入定时由锅炉实际的预期响应时间决定。

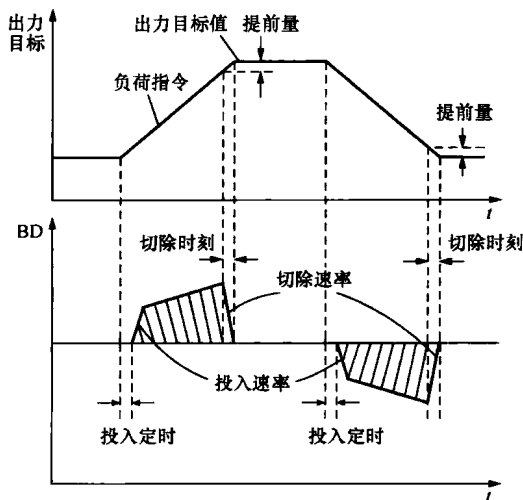


图 1-4 锅炉加速指令工作原理图

合理地采用前馈控制技术, 使锅炉输入能被控制得很接近于抵消扰动所需要的量, 而不完全依赖于反馈控制的缓慢调节, 引起系统的不稳定或过度积分。将静态/动态并行前馈方法与反馈调节控制结合起来, 对加速机组动态响应非常有利。

4. 引入非线性元件

引入限幅非线性元件的作用是限制起始控制过程中负荷变化对汽轮机调节门开度的影响, 保证机前压力偏差不会波动太大。当负荷指令增加时, 通过非线性元件暂时降低主汽压力的给定值, 汽轮机控制器发出开大汽轮机调节阀指令, 使输出功率 MW 迅速增加。反之, 当减负荷时, 增大汽压给定值, 汽轮机控制器发出关小调节阀的指令, 迅速减小输出功率 MW。非线性元件是一个双向限幅的比例器, 它可以输出与机组负荷偏差成比例的信号。当机组负荷偏差超过这个区域时, 非线性元件的输出不再变化, 即汽压给定值不再变化。这种机前压力定值的变化只限定在一定范围内, 以免汽压偏离给定值允许范围。非线性元件暂时改变机前压力的给定值, 能够使锅炉的蓄热得到充分利用。

5. 引入汽轮机压力校正

为了稳定机前压力, 协调控制系统在传统协调控制策略的基础上加入了汽轮机调节校正压力的概念。在传统协调控制策略中, 当机组运行在协调或锅炉跟随方式下时, 锅炉主调压力, 汽轮机主调负荷。华能某电厂却采用了锅炉调节负荷, 汽轮机同时调节压力和负荷的思路。当机组负荷指令变化时, 利用锅炉微小的蓄热能力, 汽轮机牺牲一部分主汽压力首先适应电网要求改变负荷, 当主汽压力高于或低于设定值 0.3MPa 时, 汽轮机由调节负荷自动转到调节机前压力和负荷, 但压力校正回路的作用强于负荷。当机前压力调节到设定值 0.3MPa 以内时, 汽轮机又自动转到调节负荷模式。所以当机前压力变化较大时, 协调控制系统能够迅速稳定机前压力, 保证了机组内部稳定运行。

6. 引入实发功率修正系数

当负荷变化时, 汽压偏差作为实发功率的修正系数对其进行修正, 将此修正输出与负荷指令比较产生汽轮机调节门控制指令, 改变汽轮机调节门开度从而改变汽轮机的实发功率来适应负荷指令的变化。汽压偏差信号同时送入到锅炉控制器, 加强对锅炉的调节作用, 以补充由于汽压变化引起的锅炉蓄热量变化所需附加的燃料量。引入的修正功率能够大大改善汽轮机控制特性。

该协调控制方法能够使机组具有较好的运行稳定性和较快负荷适应性, 解决了超超(超) 临界直流炉大型机组的协调控制问题。

(二) 给水全程控制系统

直流炉主蒸汽压力的变化是汽轮机负荷或锅炉出力的变化所引起的, 为了保持住锅炉出力和汽轮机所需的蒸汽量的平衡, 就应该稳住给水流量, 由于超超(超) 临界机组给水变成过热蒸汽是一次性完成的, 所以给水量就等于蒸发量。因此, 华能某电厂直流炉的出力首先由给水量来保证, 也就可以认为给水量是锅炉主调控节的根本, 不同给水量就对应不同的负荷。给水全程控制由升火给水调节、给水按流程分配调节和基本给水调节 3 部分组成, 控制对象包括 1 台电泵、1 台汽泵及锅炉甲乙侧给水调节阀门各 1 只。在锅炉升火启动分离器工作时, 由电泵控制给水压力保持在设定值, 而升火给水调节系统按甲乙侧流程分别控制该侧给水调节阀来保证本侧汽水流程的给水流量等于给定给水流量。在锅炉正常运行时, 锅炉主控指令作为锅炉给水流量需求信号, 通过调节汽泵同步器(电泵勺管) 使实际给水流量满足要求以适应锅炉负荷需要; 而按流程分配调节系统则根据两侧给水流量的偏差值, 调节给水调节阀, 使两侧流量达到平衡, 并且考虑到节流损失最小。甲、乙侧给水流程流量之和再加上减温水就是总给水量, 甲乙侧流量信号被分别送入燃料调节、送风调节、一次风调节、过热汽温调节、再热汽温调节等, 经函数变换后形成不同锅炉负荷下的调节定值, 保证了煤水比、风燃比, 使锅炉主控成为一个有机的整体。

(三) 中间点温度控制和过热汽温控制

超超(超) 临界直流锅炉正常运行时, 上辐射区 II 通道出口蒸汽温度处于微过热状态, 该点是反映燃料和水关系变化最灵敏的地方, 称之为中间点温度, 中间点温度还需根据锅炉热负荷、喷水量进行修正。锅炉运行中将中间点温度控制在一定范围内, 就可以认为锅炉汽水系统中的相变点界面被基本固定住, 从而使燃料和水保持一定比值关系, 也才能保证过热汽温在可控制范围内。根据经验数据, 中间点温度每变化 1°C , 低负荷时对过热汽温的影响达 10°C , 高负荷时对过热汽温的影响有 5°C , 因此超超(超) 临界机组直流锅炉调节的关键是保证煤水比, 控制住中间点温度(亦或采用焓值)。

煤水比控制回路通过控制进入炉膛的煤粉量来调节上辐射区 II 通道出口温度, 与机组负荷相适应, 控制框图如图 1-5 所示。该系统采用前馈信号和具有导前微分信号的双回路调节系统, 被调量为上辐射区 II 通道出口蒸汽温度。系统对实际给水流量进行了非线性修正, 即一定的锅炉负荷对应一定的中间点温度定值。系统采用下辐射区 III 通道出口蒸汽温度的微分信号作为导前微分信号, 来提前反应燃料、给水、风等扰动的影响, 减小被调量的动态偏差, 使燃水比为最佳。为减小系统投、切给粉机的扰动, 在投、切给粉机瞬间, 给在线给粉机减或加一个计算指令, 使给粉机总转数瞬间不变。

如果锅炉效率、燃料发热量、给水热焓均保持不变, 则过热蒸汽温度只决定于燃料量与

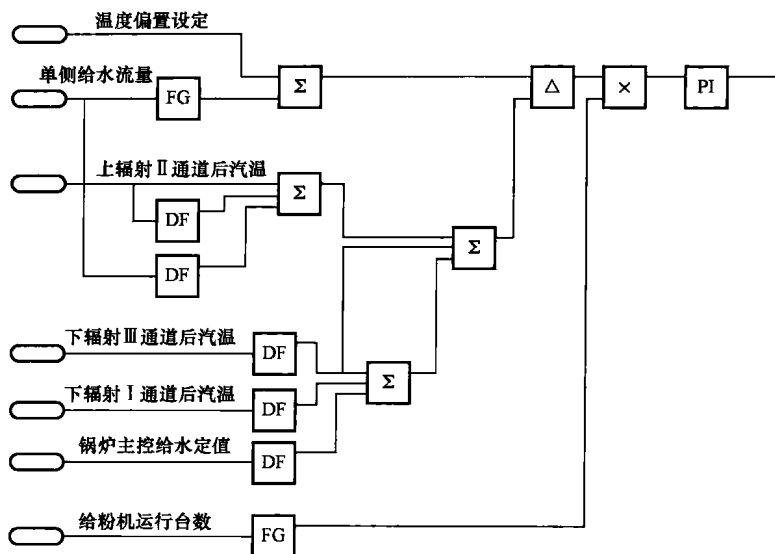


图 1-5 燃料（煤水比）控制框图

给水量比值，如果该比值保持一定，则出口过热蒸汽和给水的焓保持一定；如果该比值变化，则过热蒸汽温度就会波动。在实际运行中，要精确保证燃水比很困难，因为用给粉机转速来评定燃料量是比较粗略的，所以除了采用燃水比作为粗调以外，还要用屏后（一级喷水）汽温调节系统（见图 1-6）、锅炉出口汽温调节系统（二级喷水减温）（见图 1-7）、启动（点火）减温调节系统作为细调。屏后汽温调节系统采用导前微分信号的调节系统，并采用二级喷水前后温差进行动态校正，使机组在变负荷时仍能维持两级喷水量基本均匀。用一级喷水后温度作为导前微分信号以减小动态偏差。锅炉出口汽温调节系统也采用导前微分信号的调节系统，用二级喷水减温器出口蒸汽温度作为导前微分信号以减小动态偏差，使锅炉出口汽温等于给定值。启动减温调节系统的被调量是启动喷水减温器后主蒸汽温度，在启动时通过提高定值使主汽温度逐步升高，正常运行时退出。

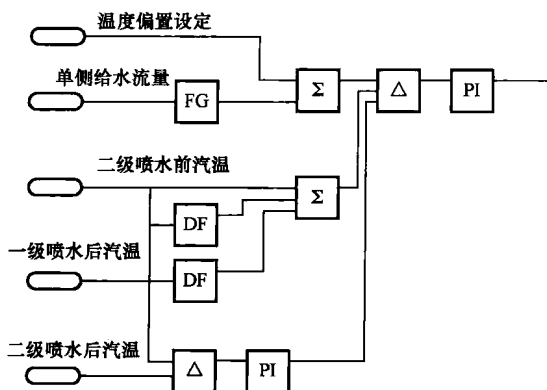


图 1-6 过热器一级喷水减温控制示意图

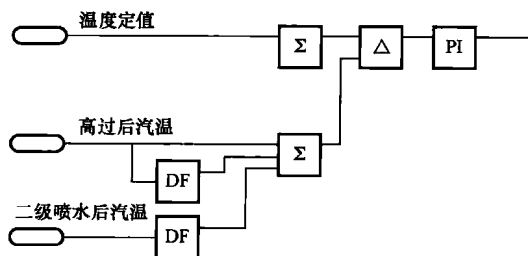


图 1-7 过热器二级喷水减温控制示意图

（四）锅炉启动分离器的控制

为了满足锅炉启动的需要，直流炉都设计有启动分离器系统，在启动过程中它起到了亚

临界机组汽包的作用,启动分离器在锅炉进入超超(超)临界前作为汽和水分离的界面,同时通过调节其入口阀门开度以保持顶出阀前压力恒定。当顶出阀前温度达到 $415\sim 420^{\circ}\text{C}$ 时,逐步切除启动分离器系统,工况转为带节流的直流工况,过热器升压至全压。此时,分离器进入完全干态,它在锅炉内只起一个汽水通道的作用。

启动分离器控制系统包括顶出阀前压力调节系统和启动分离器疏水调节系统。由于启动时顶出阀是关闭的,因此可通过调节分离器进口调节阀来控制顶出阀前压力。在此系统还引出调节器偏差信号至给水升火调节系统,以减小由于启动分离器进口调节阀的动作对启动过程中给水流量的影响,实现解耦作用,减少给水调节门的频繁动作。由于在启动过程中,闸阀前汽水回路保持全压。因此闸阀前温度的变化反映了锅炉热负荷的变化,随着热负荷的增加,闸阀前介质温度升高,分离器疏水量也会相应变化,使闸阀前介质温度始终高于分离器内压力下对应饱和温度 10°C 。因此,用闸阀前介质温度的非线性函数对应一定的疏水量(即阀位)来调整分离器疏水阀,使分离器疏水量在锅炉启动过程中保持一定的值,启动分离器的疏水排至锅炉点火扩容器。在闸阀前介质温度达到 415°C 后,分离器疏水阀完全关闭。

(五) 一次调频控制

1. 机组的动态特性

由于直流炉的蓄热很小,当汽轮机调节门开大时,主汽压力的下降幅度较大。如华能某电厂机组负荷为 204MW 和 254MW 时,调节门开度变化 $2\%\sim 3\%$ 引起的压力变化达 1.5MPa 以上,而且当机组的负荷降低时,相同的汽轮机调节门变化会引起蒸汽流量的变化越大,从而导致更大的汽压变化。

另一方面,尽管当汽轮机调节门开度变化时会引起主汽压力大幅度的变化,但与汽包炉不同,在调节门开启的起始时间里,主汽压力不会突降,主汽压力的变化始终是缓慢的,如当机组在 300MW 和 204MW 时,整个主汽压力的变化时间分别为 244s 和 350s 。当锅炉的给水流量指令(也是锅炉的负荷指令)增加时,主汽压力能较快地上升,这是华能某电厂锅炉采用中间粉仓式制粉系统的优点,基于机组的这一特点,在设计一次调频方案时,只要在快速改变汽轮机调节门开度的同时,也快速改变锅炉的给水流量指令,就有可能有效抑制主汽压力的变化。

2. 设计方案

基于以上超超(超)临界直流机组的动态特性,在一次调频的设计上采用了以下策略。

在锅炉侧,主要要加快锅炉主控指令的动作速度,确保在一次调频过程中能有效抑制由于汽轮机调节门动作而造成机前压力的波动。具体采用了 3 个措施:①功率总指令($P_0 + \Delta P_f$)经过比例微分(比例系数只能取 1)作为控制系统的设定值,加快了定值的动作速度;②在锅炉主控调节器上增加一次调频对给水流量指令的前馈信号,由于前馈采用了超前/滞后环节,可有效地加快给水流量指令的动作速度,以便弥补锅炉较大的惯性;③在控制回路中增加了机前压力的负向微分,从而使锅炉侧形成了导前微分信号的双回路系统,一方面可有效抑制锅炉侧的内扰,另外当由于汽轮机调节门变化引起机前压力变化时,通过负向微分可及时动作锅炉主控指令,有效抑制机前压力的进一步变化。

在汽轮机侧控制系统的设计中,尽管直流炉的蓄热能力较差,但还是必须要利用这部分的蓄热。因此,在汽轮机变压方式的基础上,增加了功率偏差信号作为汽轮机主控调节器的

入口信号, 这样在机组升、降负荷或一次调频动作 ($\Delta P_f \neq 0$) 时, 可先适当调整汽轮机调节门的开度, 加快功率响应的速度。通过调整比例系数 K , 可以调整机组蓄热的利用程度。

图 1-8 所示为当一次调频的功率校正量 ΔP_f 从 0% 变化到 -3%, 后又从 -3% 变化到 0 时, 控制系统的动态响应情况。当 ΔP_f 变化时, 控制系统能及时动作汽轮机调节门的开度, 加快机组的功率响应。同时, 锅炉也能快速调整给水流量指令, 不仅有效地抑制了机前压力 (仅变化了 0.22MPa), 而且进一步加快及确保了机组的功率响应。

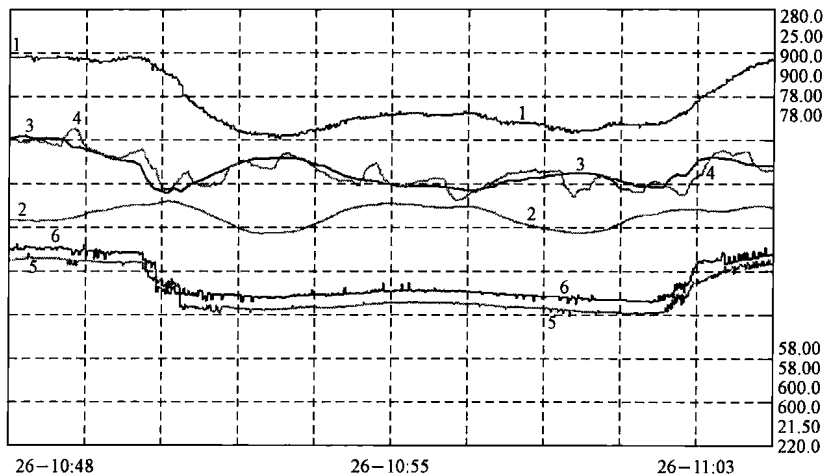


图 1-8 控制系统的动态响应情况

1—机组功率 (MW); 2—机前压力 (MPa); 3—给水流量目标值 (T/H);
4—给水流量 (T/H); 5—甲侧高调节门阀位 (%); 6—乙侧高调节门阀位 (%)

(六) 磨煤机控制

磨煤机控制系统是一个多变量、非线性、时变系统, 其控制思想如下:

- (1) 调节给煤量, 满足运行负荷的要求;
- (2) 调节磨煤机总风门挡板, 满足对一次风量的要求;
- (3) 调节热风、冷风挡板, 达到理想的磨煤机出口温度。

在这种控制方式中, 与给煤量一次风量的比值控制很重要。另外, 由于制粉、送粉系统的时间延迟和滞后较大, 为加快制粉、送粉系统的动态响应, 需利用中速磨排粉量对一次风量响应较快的特点, 通过改变一次风量将磨煤机中的存粉吹出, 适应快速改变负荷的要求。磨煤机一次风量调节控制方案如图 1-9 所示。在方案中采取了如下措施:

(1) 将实际给煤量与给煤指令比较, 求出偏差信号 $\Delta 1$, 直接控制给煤机转速, 改变给煤量, 反应迅速。

(2) 将给煤指令和磨煤机运行台数, 送入校正除法器宏指令 (DV), 形成给煤机控制的前馈信号 F , 加快磨煤机的动态响应。

(3) 磨煤机总负荷指令 S 经过函数发生器 FG1, 形成一次风量设定值信号 $S1$ 。

(4) $S1$ 信号与实际风量信号比较, 形成偏差信号 $\Delta 2$, 利用 $\Delta 2$ 信号调节一次风量。

(5) 为了利用排粉量对一次风量响应速度的特性, 设计了动态前馈回路。磨煤机负荷总指令 S 经过特殊的微分环节处理, 形成前馈信号, 送入一次风调节器。当负荷变化时, 动态前馈信号发挥作用; 稳态时, 此信号消失, 为零。