

300MW级火力发电厂培训丛书

集控运行

山西漳泽电力股份有限公司 编



中国电力出版社
CHINA ELECTRIC POWER PRESS

300MW级火力发电厂培训丛书

集控运行

山西漳泽电力股份有限公司 编



中国电力出版社

CHINA ELECTRIC POWER PRESS

内 容 提 要

20 世纪 80 年代开始, 国产和引进的 300MW 级火力发电机组就陆续成为我国电力生产中的主力机组。由于已投入运行 30 多年, 涉及机组运行、检修、技术改造和节能减排、脱硫脱硝等要求越来越严, 以及急需提高实际运行、检修人员的操作技能水平, 组织编写了一套《300MW 级火力发电厂培训丛书》, 分为《汽轮机设备及系统》《锅炉设备及系统》《热控设备及系统》《电气设备及系统》《电气控制及保护》《集控运行》《化学设备及系统》《输煤设备及系统》《环保设备及系统》9 册。

本书为《300MW 级火力发电厂培训丛书 集控运行》, 共四篇二十章, 主要包括锅炉运行中的调整、风烟系统运行、制粉系统运行、炉水循环泵运行、燃油系统运行、汽轮机运行、给水泵运行、旁路系统运行、加热器运行、汽轮机附属设备与系统运行、电气运行、单元机组启动和停运、单元制机组的控制方式与联锁保护、单元制机组的试验、单元制机组事故处理。

本书既可作为全国 300MW 级火力发电机组集控设备系统运行、检修、维护及管理生产人员、技术人员和管理人员等的培训用书, 也可作为高等院校相关专业师生的参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

集控运行/山西漳泽电力股份有限公司编. —北京: 中国电力出版社, 2015. 5

(300MW 级火力发电厂培训丛书)

ISBN 978-7-5123-7185-9

I. ①集… II. ①山… III. ①火力发电-集中控制-运行
IV. ①TM611

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 025325 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>)

北京丰源印刷厂印刷

各地新华书店经售

*

2015 年 5 月第一版 2015 年 5 月北京第一次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 17 印张 395 千字

印数 0001—3000 册 定价 51.00 元

敬 告 读 者

本书封底贴有防伪标签, 刮开涂层可查询真伪
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

前言

随着我国国民经济的飞速发展,电力需求也急速增长,电力工业进入了快速发展的新时期,电源建设和技术装备水平都有了较大的提高。

由于引进型 300MW 级火力发电机组具有调峰性能好、安全可靠性能高、经济性能好、负荷适应性广及自动化水平高等特点,早已成为我国火力发电机组中的主力机型。国产 300MW 级火力发电机组在我国也得到广泛使用和发展,对我国电力发展起到了积极的作用。

为了帮助有关工程技术人员、现场生产人员更好地了解 and 掌握机组的结构、性能和操作程序等,提高员工的业务水平,满足电力行业对人才技能、安全运行以及改革发展之所需,河津发电分公司按照山西漳泽电力股份有限公司的要求,在总结多年工作经验的基础上,组织专业技术人员编写了本套培训丛书。

《300MW 级火力发电厂培训丛书》分为《汽轮机设备及系统》《锅炉设备及系统》《热控设备及系统》《电气设备及系统》《电气控制及保护》《集控运行》《化学设备及系统》《输煤设备及系统》《环保设备及系统》9 册。

本书为《300MW 级火力发电厂培训丛书 集控运行》,共四篇二十章,主要内容包括锅炉运行中的调整、风烟系统运行、制粉系统运行、炉水循环泵运行、燃油系统运行、汽轮机运行、给水泵运行、旁路系统运行、加热器运行、汽轮机附属设备与系统运行、电气运行、单元机组启动和停运、单元制机组的控制方式与联锁保护、单元制机组的试验、单元制机组事故处理。

本书由山西漳泽电力股份有限公司河津发电分公司原耀斌主编,其中第一章由贾震编写,第二章由贺东编写,第三章由李顺院编写,第四章由张向前、闫子刚编写,第五章由解晓辉编写,第六章由胡学军编写,第七章由贺赐乾编写,第八章由李俊华、郑红旗编写,第九章由曹启宏编写,第十章由武雁来、胡明明编写,第十一章由卫志敏编写,第十二章由王顺社编写,第十三章由胡高强编写,第十四章由张艳芳编写,第十五章由王震编写,第十六章由冯尚勋编写,第十七章由郑红旗编写,第十八章由郑红旗、陈莹编写,第十九章由郑红旗、孙超编写,第二十章由肖峰编写。

由于编者的水平、经验所限,且编写时间仓促,书中难免有疏漏和不足之处,恳请读者批评指正。

编者

2015 年 4 月

目 录

前言

第一篇	锅炉运行	1
第一章	锅炉运行中的调整	3
第一节	锅炉简介	3
第二节	锅炉燃烧调整	7
第三节	汽温调整	16
第四节	汽压调节	19
第五节	汽包水位调节	21
第二章	风烟系统运行	27
第一节	送风机运行	27
第二节	引风机运行	31
第三节	空气预热器运行	35
第三章	制粉系统运行	41
第一节	磨煤机运行	41
第二节	给煤机运行	51
第三节	一次风机运行	53
第四章	炉水泵运行	58
第一节	炉水泵启动	58
第二节	炉水泵运行操作	59
第五章	燃油系统运行	62
第一节	燃油系统监视与操作	62
第二节	燃油系统运行调整	63
第二篇	汽机运行	69
第六章	汽轮机运行	71
第一节	汽轮机简介	71
第二节	汽轮机运行监视与检查	73
第三节	润滑和控制油系统运行	76
第四节	密封油系统运行	82

第七章 给水泵运行	86
第一节 电动给水泵运行	86
第二节 给水泵汽轮机和汽动给水泵运行	89
第八章 旁路系统运行	95
第一节 旁路系统的作用	95
第二节 旁路系统运行	97
第九章 加热器运行	101
第一节 回热加热器运行	101
第二节 凝汽器系统运行	105
第三节 除氧器运行	109
第十章 汽轮机附属设备与系统运行	112
第一节 循环水系统运行	112
第二节 汽轮机轴封和真空系统运行	115
第三节 轴冷水系统运行	118
第四节 定子冷却水系统运行	120
第五节 压缩空气系统运行	122

第三篇 电气运行 125

第十一章 发电机运行	127
第一节 发电机简介	127
第二节 发电机运行与维护	130
第三节 发电机励磁系统	136
第十二章 电气系统接线方式及配电装置	143
第一节 220kV 系统接线	143
第二节 6.3kV 厂用电系统	148
第三节 400V 厂用电系统	154
第十三章 变压器运行	158
第一节 变压器运行及事故处理	158
第二节 变压器分接头调整	159
第三节 变压器冷却装置	161
第十四章 电动机运行	167
第一节 电动机启动与调速	167
第二节 电动机运行及故障处理	169
第三节 变频装置运行	171
第十五章 直流及交流不停电电源 (UPS) 系统运行	176
第一节 直流系统运行	176
第二节 UPS 系统运行	183
第十六章 柴油发电机运行	187

第一节	柴油机启动·····	187
第二节	柴油发电机运行与维护·····	189
第四篇	集中控制 ·····	193
第十七章	单元机组启动和停运 ·····	195
第一节	单元机组启动·····	195
第二节	单元机组停运·····	204
第三节	机组停运后保养·····	210
第十八章	单元制机组的控制方式与联锁保护 ·····	213
第一节	单元制机组控制方式介绍·····	213
第二节	350MW 机组 FCB/RB 功能的实现 ·····	217
第三节	机组的联锁保护·····	219
第十九章	单元制机组的试验 ·····	236
第一节	锅炉试验项目·····	236
第二节	汽轮机试验项目·····	238
第三节	电气试验项目·····	244
第二十章	单元制机组事故处理 ·····	249
第一节	机组综合性事故处理及预防·····	249
第二节	锅炉事故处理·····	254
第三节	汽轮机事故处理·····	256
第四节	电气事故处理·····	261
参考文献 ·····		265



第一篇

锅 炉 运 行



第一章

锅炉运行中的调整

第一节 锅炉简介

一、350MW 机组锅炉简介

某电厂 350MW 机组（1、2 号机组）锅炉采用 1205t/h MB-FRR 亚临界、一次中间再热、单炉膛、平衡通风、固态排渣、辐射、强制循环汽包型燃煤露天锅炉，该炉为倒 U 形布置，设计燃用洗中煤与原煤以 3 : 2 比例混合的煤种。

燃烧器布置于炉膛四角，采用四角切圆燃烧方式，假想切圆直径为 $\phi 1470\text{mm}$ 、 $\phi 1327\text{mm}$ ，整组燃烧器为一、二次风间隔布置。为降低 NO_x 的生成，采用了 PM (pollution minimum) 煤粉燃烧器，对煤粉进行浓淡分离，在燃烧器顶部分别布置了一层 OFA 喷嘴和两层 AA (additional air) 风喷嘴。整组燃烧器可上下摆动 25° 。锅炉自下而上设有 A、B、C、D 4 层共 16 只煤粉燃烧器及 AB、CD 两层共八只油枪，每只燃烧器（油和煤）均装有独立的火焰检测器。油枪采用蒸汽雾化，最大出力为 30% BMCR，供锅炉启动及稳定燃烧的使用，每只油枪均配有高能电子点火器。

锅炉水循环的设计采用了强制循环锅炉技术，在炉膛的高热负荷区使用了抑制膜态沸腾性能优异的内螺纹管。三台炉水泵的流量 $2050\text{m}^3/\text{h}$ ，两台泵运行可带 100% BMCR。

蒸发受热面采用膜式水冷壁结构，以保证炉膛严密性。采用无缝钢管和内螺纹管，炉膛四壁的管子外径均为 $\phi 45.0\text{mm}$ 。水包代替全部下联箱，前后水冷壁下部组成内 80° 的 V 形炉底。水冷壁上联箱有 40 根 $\phi 168.3\text{mm}$ 的导汽管与汽包相连，4 根 $\phi 406.4\text{mm}$ 的集中下降管汇集于 $\phi 508\text{mm}$ 的炉水泵入口联箱。为了控制每根水冷壁管的流量以及相应的出口含汽率和膜态沸腾的裕度，确保水冷壁的安全，每根水冷壁管均装有不同孔径的节流孔板。

汽包筒体长 15.84m，总长度 18.04m，上半部分内径为 1669mm，下半部内径为 1675mm。由于采用炉水泵后循环系统各部分允许有较高的阻力，汽包内设有夹层结构并使用高效旋风分离器，这样，汽包长度大大缩短且汽包上下壁温一致，金属耗量减少，启停速度加快。

为提高主蒸汽、再热蒸汽温度对燃烧器摆角变化的敏感性，大部分过热器和再热器布置在高烟温区，在炉膛上部前墙和上部侧墙布置了壁式再热器。这样使锅炉结构简化、汽



温特性平坦。

设有三级过热器，一级过热器位于尾部烟道省煤器的上方，二、三级过热器布置于炉膛顶部高烟温区。过热汽温采用二级喷水减温控制，减温器分别布置于二级过热器入口及出口，二级过热器出口至三级过热器入口进行一次交叉，以减少左右侧汽温偏差。

设有三级再热器，一级再热器为壁式再热器布置在炉膛上部，二级再热器布置于炉膛折焰角上方，三级再热器置于水平烟道，位于后墙悬吊管与后墙屏之间。为减小再热蒸汽的流动阻力和压降，二、三级再热器之间无联箱。再热蒸汽温度通过改变燃烧器摆角来调节，再热器入口设有喷水减温器作为事故备用。

炉顶及尾部烟道敷设了轻型炉墙，采用悬吊结构，设置了包覆过热器，所有包覆过热器均采用了膜式结构，以提高锅炉密封性能。

所有受热面采用顺列布置，为防止结渣和积灰，前后屏过热器分别采用了 2088mm 和 522mm 的特宽节距，烟气温度较高的二、三级再热器和过热器也采用了较宽的节距。整个对流受热面还布置了 20 台吹灰器。

省煤器为顺列逆流非沸腾式 H 形鳍片管省煤器，布置于尾部烟道内。垂直悬吊管用于承受省煤器及一级过热器的全部重量。H 形鳍片省煤器则从第一排开始均为鳍片管，每排起始鳍片距离炉墙位置相同，鳍片从上至下在同一垂线上。每排管屏两端安装有密封板，和最后一个鳍片紧紧靠住，各排安装完成后，各密封板连成一体，形成密封，使导流板下方区域烟气与主烟道烟气分别流动，不混合扰流。

锅炉配有 2 台 50%BMCR 容量、三分仓受热面转子转动的空气预热器。转子直径 10.8m，高度 2.6m，整个转子用径向隔板分成 48 个扇形框架。空气预热器冷端采用耐腐蚀的考登钢制成的双波纹板，可进行更换，热端采用碳素钢，空气预热器的二次风入口还装有暖风器，以防止空气预热器冷端腐蚀。每台空气预热器的低温烟气侧装有一台摆动式吹灰器。两台炉还配备了一套固定式水洗装置，可实施冲洗水的升压、加热和加药处理，对预热器及其他受热面进行彻底的水冲洗，提高运行经济性。空气预热器配有一台电动机，作为正常时驱动电动机，一台气动电动机作为事故备用。电动、气动电动机均装于空气预热器上轴承顶部。空气预热器二次风侧还装有火警探头。空气预热器烟、风侧均配有消防水管，供空气预热器发生火灾时使用。

制粉系统采用正压冷一次风直吹式，一次风机采用两台 60%容量高效离心式风机，接于送风机出口。原煤仓采用钢制结构的圆筒仓，内衬不锈钢板，出口漏斗为圆锥形。

给煤机为 EG-2690 型电子称重式皮带给煤机，实现高精度煤量称量（0.5 级），采用正压密封式、无级变速，同时给煤机还设有断煤信号和自校验装置。

每台锅炉配有四台 FW-D11D 型的双进双出钢球磨，磨制设计煤种时，四台磨煤机运行可带 120%BMCR。

风烟系统按平衡通风设计，送风机与一次风机采用串接系统，每台炉配 $2 \times 50\%$ 容量动叶可调轴流式送风机和 $2 \times 50\%$ 容量变频离心式引风机。送风机设有独立的控制/润滑油系统。



二、300MW 机组锅炉简介

某电厂 300MW 机组（3、4 号机组）采用 HG-1056/17.5-YM21 型亚临界、一次中间再热、平衡通风、全钢架悬吊结构、全露天布置（运转层以下封闭）、固态排渣、自然循环汽包燃煤型锅炉，该炉为单炉膛 II 形布置。

燃烧器采用四角切圆燃烧方式，逆时针旋转的假想切圆直径为 $\phi 880\text{mm}$ 。整组燃烧器为一、二次风间隔布置，四角均等配风。为降低 NO_x 的生成、减少烟温偏差、防止炉膛结焦，采用了水平浓淡煤粉燃烧器，对煤粉进行浓淡分离。在燃烧器顶部分别布置了两层 OFA 喷嘴反向切入，实现分级送风和减弱烟气残余旋转。整组燃烧器可上下摆动 30° （除两层 OFA 喷嘴外）。锅炉采用三台双进双出钢球磨煤机，锅炉自下而上共布置有 AA、AB、BC、BD、CE、CF 六层（每台磨煤机带两层一次风喷口）共 24 只煤粉燃烧器及 AB、CD、EF 三层共 12 只油枪，每只燃烧器（油和煤）均装有独立的火焰检测器。油枪采用蒸汽雾化，最大出力为 30%BMCR，供锅炉启动及稳定燃烧使用，油枪均配有高能电子点火器。整个炉膛布置 42 只墙式吹灰器。

锅炉水循环的设计采用了自然循环锅炉技术，炉膛采用全焊接的膜式水冷壁结构，以保证炉膛严密性。为确保炉水循环的安全，水循环系统采用大的流通截面，以减少系统阻力。炉膛四壁的管子外径均为 $\phi 63.5\text{mm}$ 。水冷壁上联箱有 98 根 $\phi 159\text{mm}$ 的导汽管与汽包相连，4 根 $\phi 559\text{mm}$ 的集中下降管通过 72 根 $\phi 159\text{mm}$ 的供水管与水冷壁的下联箱相连。为了控制每根水冷壁管的流量以及相应的出口含汽率和膜态沸腾的裕度，系统设计了 28 个水循环回路，并进行了精确的水循环计算，在炉膛的高热负荷区及部分上炉膛水冷壁使用了抑制膜态沸腾性能优异的内螺纹管，确保了水循环的安全。在 BMCR 工况下，炉水平均重量流速达 $1030\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ，炉水循环倍率达 4.4。

汽包筒体长 18 000mm，总长度 20 184mm，内径为 1778mm，外径为 2148mm。为避免炉水和进入汽包的给水与温度较高的汽包壁直接接触，以降低汽包壁温差和热应力，水冷壁引出的汽水混合物从汽包侧面引入，省煤器引出的给水从汽包下面引入。汽包内壁上半部与饱和蒸汽接触，下半部与炉水接触，存在一定的温差，在启停时需对汽包上下壁温差进行监视。汽包内部设置有 84 台轴流式旋风分离器和立式百叶窗，确保了汽水品质合格。

为增加过热器与再热器的辐射特性，并起到切割旋转烟气流，减少进入过热器炉宽方向烟温偏差的作用，在炉膛上部布置壁式辐射再热器和大节距的分隔屏、后屏过热器。这样主蒸汽、再热蒸汽温度对燃烧器摆角的变化较敏感，使锅炉结构简化、汽温特性平坦。

过热器由末级过热器、后屏过热器、分隔屏过热器、低温过热器、后烟道包墙和顶棚过热器五个主要部分组成，均沿炉宽方向布置。末级过热器位于水冷壁排管后方的水平烟道内，后屏过热器位于炉膛上方折焰角前，分隔屏过热器位于炉膛上方，低温过热器位于尾部烟道内，后烟道包墙和顶棚过热器部分由侧墙、前墙、后墙及顶棚组成，形成一个垂直下行烟道；后烟道延伸包墙形成了一部分水平烟道；炉膛顶棚管形成了炉膛和水平烟道部分的顶棚。后屏过热器出口至末级过热器入口进行一次交叉，以减少左右侧汽温偏差。过热器采用二级三点喷水，第一级喷水减温器位于低温过热器出口集箱到分隔屏入口集箱



的大直径连接管上，第二级喷水减温器位于过热器后屏出口集箱和末级过热器入口集箱之间的大直径连接管上。减温器采用笛管式，设计喷水量为 BMCR 工况下主蒸汽流量的 10%，其中一级减温器设计喷水量为总喷水量的 67%，二级减温器设计喷水量为总喷水量的 33%。

再热器由末级再热器、屏式再热器、墙式辐射再热器三个主要部分组成。末级再热器位于炉膛折焰角后的水平烟道内，在水冷壁后墙悬吊管和水冷壁排管之间。屏式再热器位于过热器后屏和水冷壁悬吊管之间。墙式辐射再热器布置在水冷壁前墙和水冷壁侧墙靠近前墙的部分。后屏再热器出口至末级再热器入口进行一次交叉，以减少左右侧汽温偏差。再热器减温器数量为两个，安装在冷再入口管道上。再热蒸汽温度通过改变燃烧器摆角来调节，再热器入口设有喷水减温器作为事故备用。

省煤器布置在锅炉尾部竖井后烟道下部，在锅炉宽度方向由 86 排顺列布置的水平蛇形管组成。在省煤器入口集箱端部和集中下降管之间连有省煤器再循环管。锅炉停止上水时，防止省煤器中的水汽化。

各级过热器和再热器采用蒸汽冷却的定位管和吊挂管，保证运行的可靠性。各级过热器和再热器均采用较大直径的管子，降低了过热器和再热器的阻力，同时降低了管子的烟气侧磨损。各级过热器、再热器之间采用单根或数量很少的大直径连接管相连接，对蒸汽起到良好的混合作用，以消除偏差。各集箱与大直径连接管相连处均采用大口径三通。整个对流受热面布置了 30 台吹灰器。

锅炉配有两台 60% BMCR 容量，三分仓受热面转子转动的空气预热器。转子直径 9.97m，高度 2.885m，整个转子用径向隔板分成 48 个扇形框架。空气预热器冷端采用耐腐蚀的考登钢制成，可进行更换，热端采用低碳素钢制成，空气预热器的二次风入口还装有暖风器，以防止空气预热器冷端腐蚀。

为减少空气预热器泄漏造成压力下降、效率降低，采用半模式、双密封制造技术。

每台空气预热器的高、低温烟气侧各装有一台伸缩式吹灰器，低温烟气侧为单枪管吹灰器，高温烟气侧为双枪管吹灰器，其中一个枪管用于空气预热器吹灰，另一个枪管用于空气预热器停运后的水冲洗。空气预热器配有两台电动机，均装于空气预热器上轴承顶部，正常时一台运行，一台备用。空气预热器二次风侧还装有火警探头，空气预热器烟、风侧均配有消防水管，供空气预热器发生火灾时使用。另外，空气预热器装有失速监测报警装置。

锅炉采用正压直吹式制粉系统，一次风机采用两台 60% 容量高效离心式风机，原煤仓采用钢制结构的圆筒仓，内衬不锈钢板，出口漏斗为圆锥形。

给煤机为 CS2024HP 型电子称重式皮带给煤机，实现高精度煤量称量（0.5 级），采用正压密封式、无级变速，同时给煤机还设有断煤信号和自校验装置。

每台锅炉配有三台 FW-D11D 型的双进双出钢球磨，磨煤机只设容量备用，不考虑台数备用。设计煤粉细度 R90 取 15%。

磨煤机专门设置两台 100% 容量的密封风机，作为磨煤机筒体和热风挡板的密封风，正常时密封风机一台运行，一台备用。

风烟系统按平衡通风设计，每台炉配 $2 \times 50\%$ 容量动叶可调轴流式送风机和 $2 \times 50\%$



容量静叶可调轴流式引风机。送风机设有独立的控制/润滑油系统。引风机电动机轴承设有独立的润滑油站。另外，引风机设有两台轴承冷却风机。

第二节 锅炉燃烧调整

一、燃料量调整

(一) 350MW 机组燃料量的自动调节

350MW 机组磨煤机主控制器 (MILL MASTER) (简称磨主控) 有两种运行方式, 即“手动”和“自动”方式。手动方式下, 运行人员改变磨主控指令, 以改变投入自动的磨煤机一次风调整挡板开度, 增减燃料量; 自动方式下, 磨主控指令是燃料量给定值 (剔除油量后) 与实际燃料量相比较, 经过 PI 调节得出的。投入自动的磨煤机一次风调整挡板可以接收磨主控给定的指令, 改变开度以调整燃料量, 而未投自动的磨煤机靠手动调整开度。

磨主控投自动的条件: 未发生 FCB, 送风量控制自动, 磨煤机一次风调整挡板投自动个数不小于 2, 未发生 MFT, 燃油主控制器不在自动方式, 机组初压调节器未动作, 各磨煤机一次风流量信号正常。

自动条件下磨主控指令的生成: 炉主控 MW 指令经过函数计算, 转化为炉侧的燃料量指令, 该指令经过风量交叉限制, 再减去当前燃油量后, 作为磨煤机主控器的给定值 (单位: t/h), 它与实际煤流量相比较, 经过 PI 调节器, 得出每台磨煤机的出力给定值 (即磨主控的 DEM, 单位: t/h), 送至投自动的磨煤机控制回路。每台投自动的磨煤机均有自身的闭环控制回路, 磨主控下达的指令在回路中与实际出力比较, 经过 PI 调节, 得出该磨的一次风调整挡板开度指令, 调整挡板接到指令, 产生动作, 调整磨煤机出力, 进而调整实际煤量。

磨煤机实际出力的测量: 每台磨煤机均有两个一次风流量测量装置, 布置在磨煤机入口风道上, 通过测量进入磨煤机的一次风量, 来计算磨煤机的实际出力。需要说明的是, 磨煤机出力不单与进入磨煤机的一次风流量有关, 还与磨煤机内部煤位、磨煤机入口的风温有关。因此, 磨煤机一次风流量经过这两个影响因素的修正, 才能计算出磨煤机的实际出力。磨煤机一次风流量信号是燃烧调整回路中至关重要的信号, 正常运行中每台磨煤机选择两个流量信号之一参与调整, 并且两个信号投入“联锁”。如果 A、B 信号偏差大, 或参与调整的信号超限, 回路会“报警”或自动选择另外一个信号参与调整。

投自动时, 磨煤机主控器的指令上限设定为 49.5t/h, 下限设定为 18t/h。手动状态下可以人为在此范围内调整。运行中也可以通过给每台磨煤机出力设偏置的办法改变投自动的磨煤机之间出力分配, 偏置改变的是磨煤机出力的设定值, 可设定范围为 -10~10t/h。

(二) 300MW 机组燃料量的自动调节

300MW 机组燃料主控的任务是将锅炉指令转化为磨煤机调门开度指令, 实现燃料的自动调整。总燃料量指令为锅炉指令和二次风量信号二者间选最小值构成, 这样加负荷时锅炉指令增加, 但总燃料量指令不会立即增加, 只有当二次风量先增加后, 总燃料指令才



会增加,从而实现先加风后加煤的控制要求。

(三) 磨煤机调整过程中的注意事项

350、300MW 机组锅炉均为正压直吹式制粉系统,由于直吹式制粉系统无中间煤粉仓,它的出力大小将直接影响到锅炉的蒸发量。当锅炉负荷变动不大时,可通过调节运行磨煤机的出力来解决。对于双进双出钢球磨煤机,当负荷变化时,则总是磨煤机入口一次风调整挡板首先开大,通风量首先变化,运行磨煤机的出力增加,磨煤机内存煤减少,给煤量根据煤位下降情况作出相应的调节,这种调节方式可以使制粉系统的出力对锅炉负荷做出快速的响应。磨煤机入口一次风调整挡板开度到 60% 以上时,通过继续开大一次风调整挡板增加制粉系统出力的作用将大幅下降,在一次风机出力有调节余度的情况下,350MW 机组锅炉可以通过给一次风压设定值置正偏差,300MW 机组锅炉则通过提高一次风压设定值,以提高一次风压的方法增加制粉系统出力。

当锅炉负荷有较大变动时,需启动或停止一套制粉系统。降负荷时,当各磨煤机出力均降至某一最低值时,应停止一台磨煤机,以保证其余各磨煤机在最低出力以上运行;加负荷时,当各磨煤机出力上升至其最大允许值时,则应增投一台新磨煤机。确定磨煤机的启动或停运时机,必须考虑到制粉系统运行的经济性、燃烧工况的合理性(如燃烧均匀),必要时还应兼顾汽温调节等方面的要求。运行中为降低磨煤机的制粉单耗,在满足接带负荷需要的前提下,应尽可能减少磨煤机的运行台数。规定 350MW 机组锅炉在计算煤流量小于 120t/h 或给煤机入口煤流量小于 145t/h 的情况下,保持三台磨煤机运行。300MW 机组锅炉在给煤机入口煤流量小于 130t/h 的情况下,保持两台磨煤机运行。

各运行磨煤机的最低允许出力,取决于制粉系统运行经济性和燃烧器着火条件恶化(如煤粉浓度过低)的程度,所以一定要树立不是运行磨煤机台数越多锅炉燃烧越安全的概念。低负荷工况下,各台磨煤机的出力均很低,除了会增加磨煤机的制粉单耗,还会使各煤粉管路的煤粉浓度过低,火嘴集中度下降,反而不利于着火,锅炉的稳燃性能下降。300MW 机组锅炉由于煤粉管道的一次风速较低,发生煤粉管道堵塞的可能性增加,所以运行中应根据煤质情况、负荷接带及锅炉燃烧工况,合理确定磨煤机的运行台数。

二、风量调整

(一) 350MW 机组锅炉风量调整

运行中通过调整送风机的动叶,实现对送风量的控制。正常运行中送风量的大小直接影响炉内燃烧的安全和经济性,因此送风量调整在燃烧调整过程中至关重要。

1. 送风量指令生成

机组的燃料量指令经过函数运算,乘以送风量比率(air flow ratio),再接收(燃料量)交叉限制,形成了送风量指令。它与实际送风量相比较后,经过 PI 调节器,得出了每台送风机的动叶控制指令,从而实现送风量的控制。

2. 锅炉烟气含氧量设定

为保证燃烧更经济,锅炉烟气含氧量必须控制在合理的范围。一般随着机组负荷的升高,锅炉燃料量的增加,炉内温度升高,燃烧更为强化,单位燃料完全燃烧所需的风量会逐渐减少,烟气含氧量设定值逐渐降低。机组根据锅炉的燃料量指令,给出烟气含氧量的



设定值，函数关系见表 1-1（X 代表燃料指令，Y 代表含氧量设定值）。

表 1-1 350MW 机组烟气含氧量设定值与负荷对应关系

X (t/h)	0.0	69.7	85.5	114.7	140.6	154.2
Y (%)	6.42	6.42	6.0	5.44	4.2	4.2

3. 送风量比率的得出

烟气含氧量设定值与氧量实际值相比较，经过 PI 调节器，得出送风量比率。当实际氧量低于设定值，该比率增加，作用于送风量指令回路，从而使送入炉内的风量增加，反之亦然。需要说明，送风量比率控制回路是有一定延时性，氧量及其设定值的变化不会很快改变送风量比率。当机组加负荷时，燃料量指令会先增加，在送风量比率未发生变化前，送风量设定值受燃料量指令增加单方面作用于控制回路，很快的增加送风量，实现粗调的目的。当负荷相对稳定后，风量比率值会在氧量及其设定值的调整下，缓慢改变，从而调整风量，保证最佳过量空气系数和最佳含氧量，实现细调的目的。

4. 运行人员调整送风量的方法

(1) 直接改变送风机动叶开度来改变送风量，它是最直接最迅速的方法，但应注意：如果将两台送风机动叶同时切手动，则机组会退出协调方式，转为机跟踪方式。

(2) 通过改变送风量比率来改变送风量，此操作对送风量改变也是较直接的，可以短时间改变风量。

(3) 通过设定氧量定值偏差改变送风量，由于回路有一定延时，此操作办法改变送风量速度相对较慢。

需要特别说明的是，调整燃料量热值和磨煤机主控手、自动之间的转换操作等会导致 BM 值的变化，由于燃料量指令直接由 BM 值经过函数运算得出，所以上述操作会影响到风量的短时变化，应该引起注意。

5. 烟气含氧量的测量

装设在空气预热器出口的四个烟气含氧量测点送至控制回路，A 侧两个测点平均值与 B 侧两个测点平均值之间选小值，作为实际烟气含氧量。运行中应关注含氧量四个测点显示值是否正常，比如是否偏离其他测点过大、是否与当前送风量相匹配，以保证其参与风量控制时的正确和安全。

6. 实际送风量的测量

实际送风量是通过装设在两个送风机出口的差压变送器来测量的，且它的值需要经过风温的修正，因此要注意送风机出口风温度测点的正确性，因为它会影响到风量调整，影响到机组的运行方式（风量信号显示异常，直接导致风量控制退出自动）。

7. 风量、燃料量之间的交叉限制

风量控制回路里，加入燃料量对风量的最低值限制（经过函数关系得出），以保证风量不会过度降低；而在燃料量控制回路里，加入风量对燃料量的最高值限制，以保证燃料量不会增加过大，此即为燃料量、风量交叉限制。它能够保证燃烧的稳定性、经济性。运行人员可以通过改变送风机出力偏差（FDF BIAS）来适当改变两台送风机动叶的开度值，实现送风机之间的出力再分配。偏差向正值增加，则 A 送风机出力减小，B 送风机出力



增加,偏差可以在 $\pm 10\%$ 范围内改变,对应两侧风机挡板开度偏差最大 20% 。

(二) 300MW 机组锅炉风量调整

1. 300MW 机组送风控制回路介绍

送风控制系统功能是根据燃料指令按 PI 调节规律调节送风机动叶开度,使送风机向锅炉提供适当的风量。

总风量指令由锅炉指令、燃料量和 40% 最小风量三者间选最大值构成,这样降负荷时锅炉指令下降,但总风量指令不会立即下降,只有当燃料量下降后,风量指令才会下降,从而可实现先减煤后减风的控制理念。上述三者中的最小风量能保证锅炉总风量不小于安全稳定燃烧所要求的最低风量。

2. 氧量修正回路

被调量为总风量,保持合适的氧量数值就能保证有足够的过剩空气,为此还设有氧量修正回路,即由氧量调节回路的输出来修正锅炉指令信号。

通过调节氧量修正系数控制烟气中的含氧量保持最佳值,从而保证最佳空燃比,使锅炉达到最高的热效率。氧量修正系数既可以手动设定,也可以投自动。投自动时,设定值为主蒸汽流量(代表负荷),通过一个函数块后算出对应负荷下的最佳氧量值,该氧量设定值与空气预热器入口烟气含氧量比较后形成一个氧量偏差,该偏差信号通过 PI 计算后得出氧量修正系数,去修正送风机的风量指令。氧量修正系数高限为 1.2 ,低限为 0.8 。但 300MW 机组锅炉由于空气预热器入口的氧量测量装置可靠性较差,运行中氧量修正回路无法正常投入,运行中不可完全参照空气预热器入口氧量值进行锅炉总风量的控制,而应按照给定的风量曲线进行总风量的调整,防止锅炉缺氧燃烧。

三、一次风压调节

(一) 350MW 机组锅炉一次风压控制

调整磨煤机制粉出力,是通过调整各磨煤机入口一次风流量控制挡板开度来实现的,显然为了使燃烧控制系统的燃料流量调节快速、有效,并具有良好的线性,就要求一次风机出口风压能根据磨煤机的出力进行相应的调整。

一次风机出口的一次风压给定值,在机组未并网时定值为 5.9kPa ,机组并网后,依据四台磨煤机实测的燃煤量,取最大函数值($5.9\sim 11.8\text{kPa}$)作为给定值。在上述给定值的基础上运行人员在 LCD 上手动给定一次风机出口压力偏差,此偏差值叠加到上述设定值上。当 PAF 风压控制退出“自动”时,给定值以 $5\text{kPa}/\text{min}$ 速度切至实际空气预热器出口一次风压值。

一次风机出口风压测点设置在空气预热器出口的一次风管上,每侧设两个测点。运行人员可以任选其一作为本侧的测量值,此选择操作可在 LCD 上进行。逻辑上选取两侧测量值中较小值作为调节值。

上述给定值与测量值比较后,获得偏差,经 PI 调节器计算后,即获得一次风机入口调节挡板指令(当风机工频运行或转速手动时)或变频器转速指令(变频自动、入口挡板自动备用)。当两台一次风机入口调节挡板都未投入自动时,PI 调节器的输出跟踪 B 一次风机入口调节挡板的开度指令。