

超(超)临界

机组集控运行

诀 读本

胡振凡 编著



中国电力出版社
www.cepp.com.cn

超(超)临界 机组集控运行 口诀读本

胡振凡 编著



中国电力出版社

www.cepp.com.cn

内 容 提 要

本书采用“口诀”形式,以超(超)临界参数火电大机组为背景,展示了热力过程运行设备系统在运行人员、热工人员和自动监测、控制、保护设备的相互配合下完成机组的启动、停止、正常运行和事故状态下的运作关系。书中的插图、注释与口诀内容一一对应。

本书的前半部分介绍了 320MW 超临界机组和 600MW 超超临界机组的机组协调和锅炉自动控制、汽轮机数字电调的控制关系组态,接着对机组的热工保护、顺序控制进行展示;后半部分主要是热工保护、顺控、自动调节各方面的现场调整试验。最后一章对热工监督管理的内容进行了简要介绍。

本书可作为从事热力过程集中控制的运行人员和现场维护检修的热控专业工作人员的简明培训读本,对于其他工业部门涉及自动控制、保护连锁、过程检测工作的人员具有很好的参考作用。

图书在版编目(CIP)数据

超(超)临界机组集控运行口诀读本/胡振凡编著. —北京:
中国电力出版社, 2009
ISBN 978-7-5083-8931-8

I. 超… II. 胡… III. 火力发电-发电机-机组-集中控制-运行 IV. TM621.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 091601 号

中国电力出版社出版、发行
(北京三里河路 6 号 100044 <http://www.cepp.com.cn>)
航远印刷有限公司印刷
各地新华书店经售

*

2009 年 8 月第一版 2009 年 8 月北京第一次印刷
850 毫米×1168 毫米 32 开本 19.5 印张 517 千字
印数 0001—3000 册 定价 37.00 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



前 言

赵（赵）临界机组集控运行口诀读本

随着技术装备水平和对节能、环保要求的提高，300、600MW 容量的超临界、超超临界火电机组已成为主力机组。控制系统完成了向网络计算机控制系统的跨越。对热力过程系统的运行控制已演变为炉—机—电集中控制。在运行中各自动控制系统对来自工艺过程的扰动和出现的问题进行应对性处理。但是，有些应对性处理没有达到设备系统的运行要求。造成运行参数的不稳定或达不到预想的结果。要提高控制质量，运行人员就要尽量掌握热力系统运行中的状态变化，并由运行人员和热工人员共同完善控制系统，提高克服内、外扰的能力，实现控制系统与设备系统真正意义上的特性配合。这就需要认识、掌握控制系统与受控设备之间的关系。在熟悉、掌握系统运行过程的同时，我们还要熟悉、分析、掌握设备系统的控制组态，把两者之间联系成一个整体。

本书内容的前半部分（第一～第五章）以介绍机组协调、锅炉控制、汽轮机电调系统等控制关系图为主，也加入了汽轮机侧辅机系统简介和辅机顺控的内容。书的后半部分遵循现行的电力行业标准（DL）和国家计量检定（JJG）规程，介绍了机组的安全保护、连锁控制、顺序控制、自动调节系统及其试验。专门用一章篇幅介绍了现场测量一次仪表的检定和就地执行机构的测试。

本书的第一、二、四、五、六、十章内容已在《电厂自动化》季刊上分别发表。这次成书，对上述内容进行了调整和修改。

本书以“口诀”的形式出版，面向生产现场，配以插图和必要的注释，用经过归纳的短句，浅显地讲述了控制过程，以引起读者学习、掌握的兴趣。当然，由于文体的局限，有的句子需要琢磨和进一步理解。希望书中的注释能起到帮助理解内容的作用。

本书内容虽然是针对火力发电厂大机组的自动控制和检测，但对于其他行业，如石油、化工、冶金等也具有参考借鉴作用。因为在自动控制、保护连锁、顺序控制、参数测量诸方面都是相通的。

限于作者水平，书中疏漏与不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

作者 胡振凡

目 录

前言

第一章 火电燃煤单元机组协调负荷控制	1
第一节 单元机组协调负荷控制要点.....	1
第二节 锅炉跟踪(炉跟机)方式调负荷.....	7
第三节 汽轮机跟踪(机跟炉)方式调负荷	11
第四节 机炉协调方式调负荷	13
第五节 协调控制的基本功能、原则方案	17
第六节 机组的监视控制——DCS 系统	22

第二章 320MW 超临界机组协调和锅炉

自动调节系统	32
第一节 主线(框)图概述	32
第二节 负荷指令形成和管理	53
第三节 锅炉负荷主调节单元	58
第四节 锅炉燃料调节	64
第五节 锅炉给水调节	71
第六节 锅炉送风调节	89
第七节 锅炉一次风压力调节	96
第八节 锅炉引风调节.....	100
第九节 过热蒸汽温度调节.....	104
第十节 再热蒸汽温度调节.....	109

第三章 600MW 超超临界机组的机炉协调和

锅炉自动控制系统.....	114
---------------	-----

第一节	运行方式和总体介绍·····	114
第二节	机组协调控制级·····	131
第三节	锅炉的给水流量控制·····	152
第四节	锅炉的燃料量控制·····	158
第五节	锅炉的送风控制·····	168
第六节	锅炉的引风控制·····	173
第七节	锅炉过热蒸汽温度的喷水控制·····	176
第八节	锅炉的再热蒸汽温度控制·····	189
第四章	汽轮机数字式电液控制系统·····	198
第一节	汽轮机冷态启动·····	198
第二节	数字式电液控制系统框图简介·····	212
第三节	汽轮机启动-速度工况控制·····	219
第四节	汽轮机阀位工况控制·····	230
第五节	汽轮机功率工况控制·····	235
第六节	投入直流和反切直流工况控制·····	239
第七节	保持压力和协调工况控制·····	246
第八节	汽轮机数字式电液控制系统的保护功能·····	251
第九节	汽轮机数字式电液控制的液压伺服系统·····	256
第十节	汽轮机数字式电液控制系统的相关试验·····	272
第五章	汽轮机侧辅机功能组的自动控制·····	294
第一节	汽轮机侧辅机功能组系统·····	295
第二节	汽轮机侧辅机功能组的自动调节和顺控启动·····	335
第六章	机组顺控启动及相关设备的连锁和保护·····	378
第一节	机组顺控、保护连锁简介·····	378
第二节	机组冷态启动的顺序控制·····	382
第三节	连锁控制和保护的基础部件·····	391
第四节	机组和功能组保护连锁的作用及保护 动作信号的选取·····	399
第五节	机组的减负荷保护·····	412

第六节	锅炉炉膛安全监控和锅炉机组的安全 保护条件·····	417
第七节	汽轮机安全监视和汽轮发电机组的保护条件·····	425
第八节	炉、机、电大连锁保护·····	437
第七章	热工测量一次仪表、就地执行机构的试验·····	441
第一节	热工测量一次仪表的试验和开关量信号 控制器的校准·····	441
第二节	就地执行机构的调校测试·····	476
第八章	热工保护和顺序控制的现场试验·····	486
第一节	热力过程安全保护系统的试验·····	487
第二节	顺序控制试验举例·····	518
第九章	热力过程自动调节系统的现场调整试验·····	537
第一节	分散控制系统的试验·····	538
第二节	热工自动调节系统的投运调试·····	554
第十章	热工技术监督·····	592
第一节	热工技术监督简介·····	592
第二节	热工装置建设和改造施工监督·····	595
第三节	热工装置运行监督·····	598
第四节	热工检修与维护监督·····	600
第五节	热工计量监督·····	603
第六节	热工技术监督管理·····	605
附录一	英文缩写释义·····	609
附录二	SAMA 图算法图例 ·····	611
参考文献	·····	612
后记	·····	613



第一章

火电燃煤单元机组协调负荷控制

本章内容梗概： 本章作为全书内容的总序，主要介绍了火电燃煤单元机组协调负荷控制的要点和锅炉-汽轮机之间的三种协调方式。使读者了解单元机组在不同的协调方式下锅炉-汽轮机之间的动态配合关系，以及协调控制系统的基本功能、构成方案，并且对实现机组整体协调控制的载体——分散控制系统进行了简单的介绍。

第一节 单元机组协调负荷控制要点

国家繁荣又兴盛，经济建设必飞腾。
能源供给须保障，电力工业作先行。
电能固有一特性，供需随时要对应。
电厂并列入电网，共保功频得稳定。
电网调频又调峰，发电遥调施自控。
根据潮流和盈亏，功率频率做调整。
电网调度送指令，调控机组发电能，
要求尽快来实现，电能供需得平衡。
火力发电厂系统，高度自动高效能。
适应调电之要求，稳定热力之过程。
锅炉燃烧产热能，蒸汽轮机内做功，
发电机组被驱动，动能连续变电能。
蒸汽供需若平衡，主汽压力必稳定。

解决两者间矛盾，机炉协调投运行。
研究机炉间协调，探索其中之奥妙。
针对系统作分析，抓住要点并记牢。
掌握设备及系统，熟悉运行之特性，
清楚控制有要求，明确配合与协同。
单元机组投运行，一炉一机相对应。
机炉之间动配合，协调控制即构成。
机组协调控制级，包括机炉主控制器。
基础控制煤水风，系统相关各辅机。
现场就地执行级，执行命令返信息。
热力过程投自控，节约能源高效率。
控制策略系炉型，动态关系看扰动。
制粉直吹 大迟缓，汽机快速做反应。
适应用电调波峰，兼顾运行需稳定。
具体解决有办法，三种协调来完成。

69

注 释:

【单元机组协调负荷控制】 将锅炉-汽轮发电机组作为一个整体进行控制，通过控制回路协调锅炉与汽轮发电机组在自动状态下的工作，给锅炉、汽轮机的自动调节系统发出指令，以适应负荷变化的需要，尽最大可能发挥机组调频、调峰的能力。它直接作用的执行级是锅炉燃烧控制系统和汽轮机控制系统。

单元机组：单元制机组。每台或每两台锅炉直接向一台汽轮机供汽，汽轮机驱动发电机所发出的电功率直接经升压变压器送往电力系统，组成了炉机电纵向联系的独立单元。相邻机组之间有辅助蒸汽系统存在特殊情况下的相互支援关系。

【电厂并列入电网，共保功频得稳定】 为提高供电的可靠性，通过变换和传输来协调发电、用电的关系，把各种能源的发电厂并列运行到电力网。使并列在电力网之内的发电机组共同承

担保发电与用户之间的功率（供需对应关系的）平衡和把整个电网频率保持在额定值范围内的任务（职能）。

电网：电力网。在发电和用电之间属于输送和分配的中间环节。

功率：物理学中指做功的速度。这里指发电机发出的有功功率值，可理解为单元机组在单位时间内的能量输出。汽轮发电机组的能量输出是每小时以 MW 为单位的电功率。

频率：每秒钟交流电变换电流方向的次数（往复变化循环数）。

【调频】 调整频率。通过调整电网内发电机组输出功率的大小，尽量使电网频率恢复为 50Hz 的调整作用，也是汽轮机调速系统感受电网频率变化所做出的反应。

【调峰】 电网调度要求发电机组针对每天 24h 内用电量和年度、季节用电量变化的高峰和低谷而进行的负荷调整作用。负荷：这里指电力负荷，国民经济各部门（包括工业、农业、交通运输等）以及人民生活的用电，也指发电机组对电力负荷的承担量。

【发电遥调施自控】 电网发电自动控制对发电机组实施的负荷调整作用。

遥调：电力系统远动经由电力系统的通信通道对被调度对象实行遥信、遥测、遥控、遥调功能中的一种。

【潮流和盈亏】 潮流：电网的局域联络线电能的输送（流动）。在发电区域和用电区域之间提供或吸收能量的动态反映。

盈亏：电力供需的不平衡。

【电网调度送指令，调控机组发电能】 负责电网发电控制的管制部门和人员，根据电网运行情况发出的发电厂应承担电网电力负荷变化所进行的发电量调整的命令，也指进行电网发电控制的实施运作。

【电能供需得平衡】 电力系统的供需关系应该是发电量和用电量总保持相等（即所说的平衡，标志是保持频率为 50Hz）。但

客观上总在变化,变化规律大致是两种:每天昼夜的峰谷差和季节变化带来的用电量不同。当然还有电网内提供或消耗电能的某一方工作状态的变化。电网调度要根据各发电机组所能承担的电网负荷变化量来调整电能的供需平衡。所谓“调电”也是为达到这个目的。

【火力发电厂系统,高度自动高效能】 利用化石燃料的燃烧热量,在锅炉中转变成高温、高压蒸汽推动汽轮机,从而带动发电机发出电能的电厂,因能量转换、传递、高速旋转过程的连续、集中性,而设置了热力过程的相当完善的多功能、高投入率的自动控制系统,保障了火力发电厂的高效能运行。

【稳定热力之过程】 火力发电的能量转换过程简单称为“热力过程”。对火力发电机组运行的要求是不仅要尽量满足电力系统的调电要求,还要稳定能量转换的整个过程,而且稳定热力过程系统是首要的。

【蒸汽供需】 在火力发电的热力生产过程中,燃料在锅炉炉膛中燃烧释放出化学能,把水加热成额定参数状态的过热蒸汽。由蒸汽驱动汽轮机高速旋转,汽轮机带动发电机发出电能。

高温、高压蒸汽在能量转换过程中作为能量转换的工质。锅炉和汽轮机之间的“蒸汽供需”关系实质是能量的传递和吸收、转换关系。

【主汽压力必稳定】 当锅炉和汽轮机两者在能量供需之间处于平衡时,则能量传递介质的主汽压力就是稳定的。

主汽压力:锅炉出口的新蒸汽压力值。

【机炉协调】 作为具体进行机组协调控制的一种运行方式,在这种运行方式下,单元机组的锅炉和汽轮机同时接受主控指令,两者同时调整功率和锅炉出口汽压,锅炉和汽轮机同时采用闭环控制。此种方式的特点是充分利用锅炉蓄能,使机组负荷响应较快,汽压也较稳定。

【明确配合与协同】 掌握热力过程的机炉协调运行关系,非常重要的一点是明确设备系统之间相互配合(包括制约)协同的

动作关系。

【单元机组投运行，一炉一机相对应】 对于单元制机组，锅炉与汽轮发电机组之间大多数是一对一的设置构成关系。

【机组协调控制级】 承担单元机组锅炉与汽轮机的总体控制，进行不同层次的投运、监督、操控和管理，协调各功能组关系的自动控制组合。

“协调控制级”不仅具有自动调节功能，还具有逻辑判断功能。当设备系统发生问题时，发出必要的连锁保护自控指令，保证机组安全。

在正常运行中，根据负荷调度命令和单元机组所能承担的负荷量，对汽轮机和锅炉的自动控制系统发出控制指令，使机组输出功率适应外界负荷的需要。

【机炉主控器】 同时接受“机组协调控制级”发出的单元机组负荷指令，以适应机炉之间共同调整负荷的较恰当方式。它分别控制汽轮机和锅炉的运行状态，进行重要运行参数的自动控制。汽轮机主控制器和锅炉主控制器简称为“机炉主控器”。

【基础控制煤水风】 锅炉能保持正常的连续运行，其最重要和基础的问题是保持和控制好运行中煤-水比例、煤-风比例（及相关参数）的配合关系。

【系统相关各辅机】 构成热力过程系统的某一具体功能作用环节（实现某一重要功能）的配套设备集合。

【执行级】 对于火电大机组自动控制系统的设置分为三级：中央（协调）控制级、功能组级和执行控制级。执行控制级执行上两级发出的控制命令，并把执行控制命令的情况反映给发出命令的控制系统。

执行控制级简称为“执行级”。

【执行命令返信息】 执行控制系统针对系统运行要求发出的控制命令，执行控制动作并送回设备状态信号。把就地设备，如泵、风机、阀门等执行控制指令后的状态信号，以及热力系统的运行参数信号送给自动控制系统，作为自动控制系统发出控制指

令的根据。

【控制策略系炉型】 设计火力发电厂热力生产过程的控制策略从整体看,首先是根据锅炉的制粉设备、燃烧系统特点、水-汽系统循环形式等,来确定设计调节系统的整体框架,再根据具体系统的设置特点考虑(锅炉蓄热能力、主汽压力允许变化的幅度、速率和重要参量的传递时间等)针对性的控制关系。

控制策略:针对设备系统、工艺过程、工程的进展要高质量的控制,针对系统特性采用的控制关系。

系炉型:控制策略的设计因设备形式不同而存在一定的差异。对于火电大机组自动控制系统,主要是针对锅炉的燃烧系统、给水系统、减温系统、旁路系统的不同特点来设计的。

【动态关系看扰动】 通过对自动调节系统在切为“手动”方式时,人为加入(单位)扰动量,再把调节系统切回“自动”方式,来观察在动态过程中和结束后被调量或系统恢复的状态。它用以检验调节系统的性能及设定参数的准确性。

扰动:引起被调量变化的作用,可使系统在一定程度上失去平衡。但有时须人为加入扰动,即通过对某一控制系统进行定量扰动,来观察控制系统的响应效果(消除干扰的性能好坏)。

【制粉直吹】 锅炉制粉系统没有煤粉储存设备,直接用一次风经燃烧器把煤粉吹进炉膛,燃烧放热。

【大迟缓】 受控参数在调节作用进行后经过一定时间才反映变化的现象。由于直吹式制粉系统在改变负荷要求时先改变给煤机转速,增加的煤量在磨煤机里制成煤粉,吹入炉膛燃烧。经燃烧放热,使蒸汽流量变化,再把热能变成动能,进而变成电能。这样的能量转换过程从动量改变开始到形成结果(达到目的要求)经过了明显的迟延过程(约为5min),这种现象称为大迟缓。但在负荷变动中,由于一次风的快速跟进,吹动磨煤机内存煤粉,减小了迟缓程度。

【汽机快速做反应】 在机组负荷调节的动态过程中,锅炉和汽轮机适应外界负荷变化的速度明显不同。用汽轮机高压蒸汽调

节阀改变开度来部分适应负荷变化可在较短时间内完成；而锅炉的能量转换过程有较大的迟缓。所以说在适应外界负荷变化的速度上是“汽机快速做反应”。

【适应用电调波峰】 见本节中“电能供需得平衡”的注释。

【三种协调】 热力生产过程接受负荷调度的带负荷要求，结合本机组的负载能力为使锅炉、汽轮机之间达到能量供需平衡的具体实施控制过程的三种配合方式。

第二节 锅炉跟踪（炉跟机）方式调负荷

一种方式炉跟机，机侧调整电功率。

调阀动作汽压变，锅炉随控燃烧率。

定压运行炉跟踪，汽轮机组控电能。

增减负荷发指令，控制调阀先执行。

适量调节油动机，限变开度调进汽。

负荷偏差趋减少，发电负荷跟上去。

适应负荷调蓄能，蓄能需要快补充，

锅炉蓄能本有限，汽压势必波动。

压力反馈起作用，限制开度求稳定，

限制汽压多变化，不准过分用蓄能。

汽压变化被限定，发电负荷缓慢升。

无奈燃烧跟得慢，速度放缓才可行。

复合变压炉跟踪，负荷同样由机控。

调动蓄能加负荷，暂开调阀增电能。

锅炉随之先调风，磨内积粉被吹动。

动态速增燃烧率，汽压增加阀回动。

滑压过程三阀开，负荷压力增上来。

曲线拐点在九成，负荷加大阀再开。

上述道理行得通，直流锅炉难执行。

蓄能作用相对小，汽压汽温都波动。
汽包锅炉有蓄能，负荷变化略缓冲。
调整煤水控负荷，不应过量用蓄能。
允许负荷小变动，一次调频可投用。
负荷变化莫过快，汽压少变来执行。
锅炉跟踪机调功，机侧少变炉稳定。
汽机负载能力减，功率稳定来运行。



注 释:

【炉跟机】 即锅炉跟踪方式。汽轮机控制功率（开环），锅炉自动控制汽压（闭环），使锅炉的负荷（汽压）适应汽轮机负荷变化的需要。此种方式可以充分利用锅炉蓄能，负荷响应快，也是由于汽轮机侧局部故障导致不能全自动控制时的一种辅助运行方式。

这种运行方式也称为“炉跟随”。

开环：开环控制。若系统的输出量不被引回来对系统的控制部分产生影响，这种控制系统称为“开环控制系统”。

闭环：闭环控制。若系统的输出量通过反馈环节返回来作用于系统的控制部分，形成闭合的控制环路，这种控制系统就是“闭环控制系统”，也称为“反馈控制系统”。

【机侧调整电功率】 在锅炉跟踪的运行方式下，汽轮发电机组在接受到调度命令时，先小量增减负荷，进行电功率调整（先在主汽压力变化的允许范围内满足一部分调整负荷要求）。

【调阀】 向汽轮机供汽的节流调节阀，本文中特指汽轮机高压缸进汽调节阀。

【燃烧率】 锅炉燃煤发挥热效率所得到的热负荷量。具体的反映就是锅炉的燃煤强度：容积热负荷和断面热负荷。

【定压运行】 汽轮机在不同工况运行时，依靠调节进汽调节阀开度来改变机组功率，而汽轮机前的主蒸汽压力维持不变。

【油动机】 驱动汽轮机进汽截止阀、调节阀的液压执行机构

(油缸及错油阀等)。

【适应负荷调蓄能】 由于需要较快增加机组负荷，而靠增加燃料获得新水平上的机组功率较慢，因此直接适当开大汽轮机调节阀（降低了主蒸汽压力），从而得到一定量的负荷增加。增加的负荷量是靠调动锅炉蓄能得到的。

蓄能：锅炉运行中燃料燃烧放热，使工质和受热面金属等都积蓄了热能。在机组负荷变化导致蒸汽压力降低时，工质就降压汽化，迅速蒸发出一部分蒸汽，同时受热面金属放热也蒸发出一部分蒸汽。因此在降压时锅炉具有附加蒸发蒸汽的能力。

【压力反馈】 闭环调节的压力信号反馈输入。

【限制开度】 在负荷调节的动态过程中，限制汽轮机高压进汽调节阀开度的较大变化，防止汽轮机前蒸汽压力变得过低。把汽轮机前蒸汽压力的变化限制在允许限定的范围内。

【复合变压】 又称滑压-定压联合运行方式。在这种运行方式下，高负荷时定压运行，约 90% 负荷以下为滑压运行；有的在极低负荷时仍为定压运行的方式。

滑压运行（变压运行）：单元机组的一种运行方式。在变压运行方式下不仅主汽阀全开，高压调节阀也要保持全开或部分全开（对于高压缸设四个调节阀的汽轮机，全开三个调节阀，关闭一个调节阀，总开度约 90%）。机组负荷的变动要靠锅炉出口蒸汽压力的改变（温度基本不变）来实现。

【暂开调阀增电能】 如果采用“锅炉跟踪”方式调负荷，就要在增加负荷时，直接先略开大高压缸进汽调节阀。这样及时增加负荷，降低了蒸汽压力。这个压力降低所形成的偏差要求锅炉增加热负荷，以补充缺失的主汽压力。待锅炉补充上来汽压后，如果负荷不再要求增加，调节阀就要关回一部分行程。

【锅炉随之先调风】 锅炉接受指令增加负荷，要先增加进炉膛的空气量，以保证燃烧的过量空气系数，并增加吹动煤粉。