

天津翔悦

天津翔悦密封材料有限公司



弗莱希波·泰格  
金属波纹管有限公司



温州环球阀门制造有限公司



北新集团建材股份有限公司

## 直接能量平衡法协调控制在合肥发电厂#3机组(125MW)DCS

常赞

合肥发电厂热工分场 (230041)

### 1、协调控制系统的技术功能

随着我国国民经济的不断发展和电力系统运营体制改革的逐步深入,中、大容量机组的运行方式也逐步发生变化,过去这些机组常常只带基本负荷,而现在则需要根据电网的频率偏差和中央调度所对它的负荷需求指令参与电网的调峰、调频,甚至在机组的某些主要辅机和局部发生故障的情况下,仍要维持机组运行。对于在电网中参与调频、调峰的机组,其运行方式要求为:机组负荷变化的范围要大,能够稳定运行的最低负荷要低,在整个负荷变化的范围内有良好的负荷适应能力,即能承担较高的负荷变化率;其主要运行参数如主蒸气压力,在负荷变化过程中相对稳定,以保证机组在整个负荷变化范围内有较高的稳定性和安全性,从而保证机组有较高的效率。要满足这些要求,即取决于单元机组的主机锅炉、汽轮机发电机组和主要辅机(送风机、引风机、给水泵、磨煤机)的运行和控制性能,还取决于单元机组控制系统的设计。单元机组在处理负荷要求并同时维持机组主要运行参数的稳定这两个问题时,是将机炉作为一个整体来看待的。然而汽机、锅炉又是相对独立的,它们通过各自的调节手段,如汽轮机调节阀开度、锅炉燃烧率,满足电网负荷的要求及主参数的稳定,但它们的能力不尽相同,主要表现在锅炉调节的相对滞后,如果在设计控制系统时能充分考虑它们的差异,采取某些措施(如引入某些前馈信号、协调信号),让机炉同时按照电网负荷的要求变化,接收外部负荷的指令,根据主要参数的偏差,协调地进行控制,这样的控制系统称为协调控制系统。

协调控制系统是由负荷指令处理回路和机炉主控制回路、及主压力设定回路三部分组成。负荷指令处理回路接收中调指令、司炉指令和频率偏差指令,通过选择和计算,再根据机组主辅机运行情况,发出机组实际负荷指令,送给机炉主控制回路,改变调节阀的开度和锅炉燃烧率。机前压力设定回路,由运行人员选择定压/滑压运行方式,经幅值和变化率处理后形成合适的机前压力设定点,保证机组处于稳定、经济的运行工况。系统示意图如下:

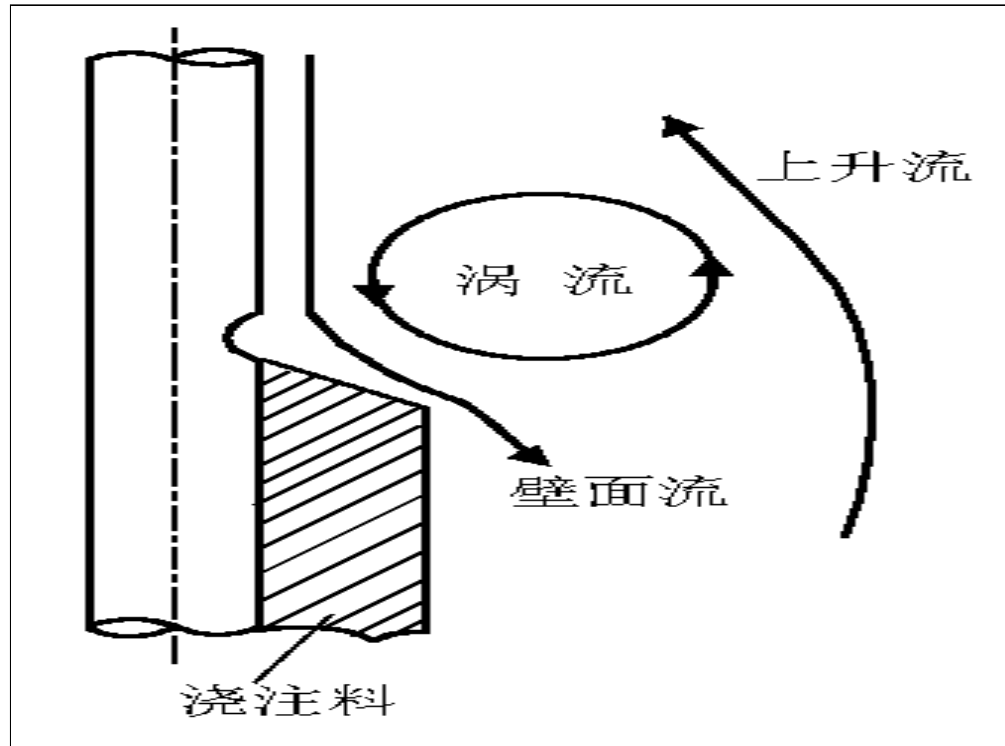


图1 协调系统示意图

## 2、#3机组协调控制系统的设计方案

单元机组负荷控制任务之一就是保证汽机锅炉之间能量供求关系的平衡，为了改善控制的性能，在功率反馈、主汽压力回路的基础上增设前馈回路以使机炉之间能量关系在将要失去平衡或者不平衡刚发生的时候，即可按照机炉双方的特性采用适当的前馈信号，使能量的失衡限制在较小的范围以内，分为指令信号间接平衡和指令系统直接平衡法两种。合肥发电厂#3机组是国产125机组，过去采用常规模拟仪表控制，控制精度低，负荷适应性差，设备维护量大，该机组于2000年年底进行了DCS、DEH改造，汽机原液调调节系统改为高压抗燃油电液调节系统，可直接接收机炉主控制回路的调门开度指令，满足电网对负荷的需求，从而使机组协调控制的实现成为可能。我们在设计这套控制系统的时候采用的是直接能量平衡法(DEB)。

直接能量平衡法的主要特点是采用能量平衡信号 $P_s \times P_1 / P_t$ 取代功率给定信号，作为控制回路的前馈信号，其中 $P_1$ 为汽机调速级（第一级）后压力，直接反映的是进汽流量也就是机组负荷， $P_t$ 为机前压力也就是自动主汽门前压力， $P_s$ 为机前压力设定值， $P_1 / P_t$ 与汽机调节阀开度成正比，，无论什么原因引起的调节阀开度变化，该值都能作出灵敏的反映，所以无论在静态或动态， $P_s \times P_1 / P_t$ 可以表征定压运行或滑压运行等不同运行工况下汽机的能量输入（亦即汽机对锅炉的能量需求），从而调节锅炉的风 / 煤输入指令。燃煤机组的燃料量如采用给粉机转速或给煤率等信号来直接测量，易受制粉系统延迟、煤质变化等诸多干扰的影响、必须进行BTU动态校正。在燃煤汽包锅炉DEB协调控制系统中，无论是直吹式或中间粉仓制粉系统，都采用热量信号作为燃料量反馈，因而提供了一个在稳态或动态工况下都适用的燃煤量工程测量方法。

$$DQ = D + K_b \times DP_b / D_t \quad (1-1)$$

式中 $D$ 为蒸汽流量， $P_b$ 为锅炉汽包压力， $K_b$ 为锅炉蓄热系数。它表示汽包压力每下降一个MPa，所释放出来的热量。因此可以通过试验的方法求出 $K_b$ ：试验时保证燃料量不变，在 $t = T_0$ 时刻改变汽机调节阀开度 $\mu t$ ，记录蒸汽流量 $D$ 和汽包压力 $P_b$ 的变化曲线，如图1.2所示。

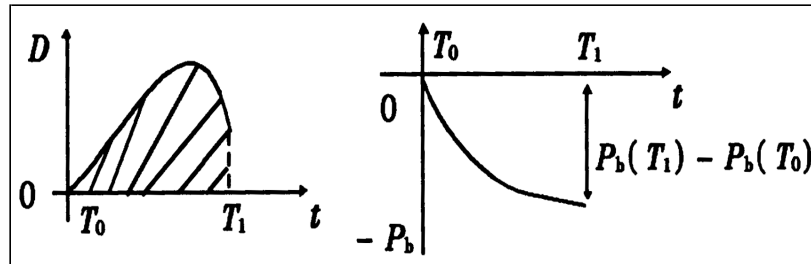


图1.2扰动下 $D$ 、 $P_b$ 响应曲线

将公式 $D_Q=P_1+K_b \times DP_b / Dt$ 以增量形式表示，令燃料变化量为0，则可得

$$\Delta D + K_b \times dP_b / dt = 0 \quad (1-2)$$

对上式由 $T_0$ 至 $T_1$ 时刻积分并移项，得

$$K_b = \frac{A}{P_b(T_1) - P_b(T_0)} \quad (1-3)$$

$A$ 为蒸汽流量曲线阴影部分面积。因为调级压力 $P_1$ 直观反映了进入汽轮机的蒸汽流量，可以用 $P_1$ 代替实测蒸汽流量 $D$ 。

DEB协调控制系统将能量平衡信号 $P_s \times P_1 / P_t$ 和热量信号 $P_1 + K_b \times dP_b / dt$ 直接引入锅炉燃料调节器，调节器入口偏差为：

$$\begin{aligned} ef &= (P_s \times P_1 / P_t) - (P_1 + K_b dP_b / dt) \\ &= P_1 \times (P_s - P_t) / P_t - K_b dP_b / dt \\ &= ep \times P_1 / P_t - K_b dP_b / dt \end{aligned} \quad (1-4)$$

式中： $ep = P_s - P_t$ 为机前压力偏差。

燃料PID调节器的控制作用是使输入偏差 $ef$ 为零，由于机组带负荷后， $P_1 / P_t$ 不为零。也就是控制作用总是使 $ep$ 为零，即 $P_1 - P_t = 0$ 。这说明DEB协调控制系统的燃料调节器固有保持机前压力等于给定值的能力。无需机前压力闭环校正回路。动态过程中的 $dP_d / dt$ ，在机前压力偏离设定点时， $P_b$ 和 $P_1$ 的变化方向相同，还可以起到加速燃料调节的作用，而当机前压力趋近设定点时， $dP_d / dt$ 为负值，提供了过程阻尼，又具有防止机前压力已过调的稳定作用。直接能量平衡协调控制系统同时还设有能量平衡信号的动态前馈：

$(P_s \times P_1 / P_t) \times [d(P_s \times P_1 / P_t) / dt]$ ，用以补偿机前压力设定点变化或负荷变化时锅炉蓄能的变化和机、炉动态响应的差异。定压运行时，动态前馈补偿了负荷变化时要求改变汽包压力所需的锅炉蓄能变化。负荷不变时，则补偿机前压力定值提高所需的锅炉附加蓄能。而在滑压运行时，更要补偿负荷和机前压力二者同时变化时，要求汽包压力变化所需的更多的锅炉附加蓄能。下面对我厂#3机组的协调系统作具体介绍。

### 3、#3机组协调系统的具体介绍

#### 3.1 机组指令回路

协调控制系统的机组指令回路接受电网中调AGC或本机运行人员负荷指令信号，参与电网负荷自动调度和电网调频，使机组负荷能及时反映电网负荷的需要，也就是满足对电网供电数量(功率)与供电质量(频率、电压)的要求，而反映电网与用户间能量供求关系最直接的指标就是电网频率，因此系统设计了调频功能，使得机组功率能随电网频率变化而变化。AGC指令、本机给定指令、频差校正指令综合起来再经机组实时能力识别限幅后输出机组的实际负荷指令。具体参见附图1。图说明：运行人员根据RTU指令在CRT上进行功率输入，经内部模块处理后与AGC指令进行无扰切换选择，无扰切换输出的值称为目标负荷指令；目标负荷指令经机组出力最大、最小限制后，再进行负荷闭锁判断、变化速率限制、负荷迫升/迫降判断、限制，最后输出的为实际负荷指令。在DEH非遥控状态下，实际负荷指令跟踪发电机实发功率。

##### 1) 中调AGC指令

AGC指令是机组最高一级的运行方式。协调控制系统与AGC的联系信号有：

AGC (ADS) 指令

AGC投入

AGC故障

AGC闭锁增

AGC闭锁减

系统具有以下联锁保护功能：

AGC信号变化率限制

AGC指令幅值限制

AGC断信号联锁保护

AGC甩负荷联锁保护

当出现ADS故障时，联锁保护将机组指令回路由AGC远方给定方式切换为本机给定方式。在ADS故障信号消失，且ADS信号正常时，才允许运行人员投入AGC远方给定方式。

## 2) 运行人员给定

由运行人员根据RTU负荷调度指令在操作员站协调系统主控画面上本机给定，同时还可以设定机组指令的高、低限值及负荷变化率等。

## 3) 频差信号校正

频差校正功能投入的前提是机组运行在“协调控制”方式下，在其它运行方式下将自动切除。

4) 机组实际功率指令是根据运行人员设定、机组各辅机的运行状况、各主要运行参数的偏差等限制机组的实际出力，使机组在其辅机或子控制回路局部故障及出力受限情况下的机组实际负荷指令与机组静态、动态调节能力相符合。机组目标符合指令经限幅处理后形成机组实际负荷指令。在正常工况下，实际指令等于目标指令，在异常工况下，机组目标指令跟踪实发功率，或跟踪实际负荷指令。对机组的目标指令的限幅处理有两种：

### A 运行人员设定限值及指令保持

机组指令的预制限幅信号包括有运行人员设置的功率上限、功率下限和负荷变化率；当机组运行在“协调控制”方式下，运行人员可在选择“指令保持”中断负荷变化过程，保持届时机组出力。

### B 实时能力识别限幅

负荷闭锁增BLOCK INCREASE

负荷闭锁减BLOCK DECREASE

负荷迫升RUN UP

负荷迫降RUN DOWN

自动减负荷RUN BACK

## 3.2 机炉主控系统

机炉主控系统设计有协调控制、锅炉基本、汽机基本、手动方式等四种不同级别的运行方式，以适应机组不同运行工况的需要。机组可定压、亦可滑压运行，两者之间切换为无扰的，不需要切到手动再切换。各运行方式均可由运行人员在 CRT上进行选择或由故障及限制条件通过联锁保护逻辑自动切换到安全允许的运行方式。控制系统的完整性设计保证系统在部分子回路切除自动或在其它受限制情况下均能在安全允许的运行方式下稳定运行，无需修改系统组态或整定参数。具体参见附图2、3。

### 1) 协调控制方式

“协调控制”方式是机组最高级别的运行控制方式。我厂采用的是以汽机基本为基础的DEB直接能量平衡协调控制系统。此时汽机侧闭环调功，锅炉侧闭环调压。

### 2) “汽机基本”方式

“汽机基本”（BF）运行方式是协调控制系统在汽机侧局部故障或受限制工况（不能投自动）下的一种辅助运行方式，“汽机基本”的基本模式是锅炉侧自动调节机前压力（闭环），汽机手动调节功率（开环）。汽机调门开度可以在DEH的操作上（当DEH在“本机”方式）或MCS的汽机主控操作器上手操。“汽机基本”方式的特点是机组对电网的负荷响应较快；能够充分利用锅炉蓄能。缺点为运行稳定性较差。这是因为在机组负荷变化时，锅炉

蓄能的利用（释放）要以牺牲压力（降低）为代价，且锅炉响应及慢，动态过程压力波动大。同时因机炉间的相互影响，燃料扰动（增加）时压力、功率都上升，而为保持原有功率的汽机调门动作（关小），使压力有所波动（增加）。为减少变负荷过程中的压力动态偏差，“汽机基本”系统在锅炉侧也设计采用了DEB前馈控制。

### 3) “锅炉基本”方式

“锅炉基本”（TF）方式是协调控制系统在锅炉侧局部故障或受限制工况时（不能没自动）的另一种辅助运行方式，“锅炉基本”的基本模式是汽机自动调压（闭环），锅炉手动调节功率（开环）。

MCS的锅炉主控操作器 BM (Boiler Master) 手动。“锅炉基本”方式的特点是机组运行稳定。因为汽机调压的动态响应比锅炉调压快，不论负荷变化或燃料扰动，压力波动都较小。而缺点是负荷响应较慢，不仅未能利用锅炉蓄能，在负荷变化（如增加）时，还需要补充锅炉附加蓄能。而且因机炉间的相互影响，燃料扰动时机组功率波动也较大。如燃料增加时，功率、压力都上升，而为维持机前压力恒定的汽机调门动作，会使功率更方。波动（增加）。对燃煤机组这个缺点比较突出，单纯的“锅炉基本”系统对电网干扰较大。

### 4) 手动方式

当汽机和锅炉侧都出现故障或控制回路尚未完成调试整定时，协调主控系统处于手动方式。在手动方式下，汽机侧DEH“本机”手操，或汽机主控手动，锅炉主控及锅炉各子回路也手动。

## 3.3 机组出力运算及事故处理逻辑

### 1) 负荷闭锁增逻辑条件

送风量指令与它的实际值之间的偏差大于第一高值报警值 $H_1$ 。

给水量指令与它的实际值之间的偏差大于第一高值报警值 $H_1$ 。

燃料量指令与它的实际值之间的偏差大于第一高值报警值 $H_1$ 。

功率指令与它的实际值之间的偏差大于第一高值报警值 $H_1$ 。

机前压力定值与它的实际值之间的偏差大于第一高值报警值 $H_1$

运行给水泵处于自动状态且勺管指令已达到上限

甲乙送风机都在自动状态且勺管指令已达到上限

甲乙引风机都在自动状态且勺管指令已达到上限

给粉层操有一层为自动状态且燃料PID输出指令已达到上限。

以上任一条件满足时，产生负荷增闭锁逻辑即机组负荷只能减少不能增加。

### 2) 负荷迫降逻辑条件

运行给水泵处于自动状态且勺管指令已达到上上限，给水流量指令与实际给水流量偏差已达到第二高值 $H_2$

甲乙送风机处于自动状态且勺管指令已达到上上限，送风量指令与实际送风量偏差已达到第二高值 $H_2$

给粉层操有一层为自动且燃料PID输出指令已达到上上限，燃料量指令与实际燃料量偏差已达到第二高值 $H_2$

以上条件任一满足时，产生负荷迫降逻辑即机组负荷强迫下降。

### 3) 负荷降闭锁逻辑

运行给水泵处于自动状态且勺管指令已达到下限

给粉层操有一层为自动状态且燃料PID输出指令已达到下限。

给水量指令与它的实际值之间的偏差大于第一低值报警值 $L_1$ 。

燃料量指令与它的实际值之间的偏差大于第一低值报警值 $L_1$ 。

功率指令与它的实际值之间的偏差大于第一低值报警值 $L_1$ 。

机前压力定值与它的实际值之间的偏差大于第一低值报警值 $L_1$

以上任一条件满足时，产生负荷减闭锁逻辑即负荷只能增加，不能减少

### 4) 负荷迫升逻辑

运行给水泵处于自动状态且勺管指令已达到下下限，给水流量指令与给水流量实际值之间偏差已达到第二低值 $L_2$ 。

给粉层操有一层为自动且燃料PID输出指令已达到下下限，燃料量指令与实际燃料量偏差已达到第二低值 $L_2$ 。

以上条件任一满足时，产生负荷迫升逻辑即机组负荷强迫上升。

这套控制系统上来后效果比较理想，充分利用DEH控制精度高的优点使负荷打点合格率达到100%，但也有不尽人意的地方主要是主汽压力的波动比较大，同时带动了主汽温度的波动，使得减温水的调节更加频繁，这主要是汽机、锅炉两侧热惯性的差异造成的，因为汽机调门任何微小的变化都会对机前压力造成大的波动，因此要满足负荷需求只能牺牲主汽压力的稳定。

#### 4、参考文献

1. 张玉铎、王满镓，热工自动控制系统
2. 李遵基，热工过程控制系统
3. 和利时公司，协调系统在合肥电厂的应用

文章作者： 常赞

发表时间： 2002-09-28 00:00:00

[\[关闭窗口\]](#) [\[打印文章\]](#) [\[回到顶端\]](#)