

超临界机组给水和汽温控制系统

2.直流锅炉的主要型式和调节特点

2.1 直流锅炉的主要型式

工程热力学中将水的临界状态点参数定义为：压力 22.115MPa，温度 374.15℃。当水的状态参数到达临界点时，汽化潜热为 0，汽水密度差也为 0。因此超临界压力下水变成蒸汽不再存在汽水两相区。超临界压力火电技术由于参数本身的特点决定了超临界压力锅炉只能采用直流锅炉。

直流锅炉出现的初期，水冷壁有三种相互独立的结构型式：即本生型、苏尔寿型和拉姆辛型。随着锅炉向高参数、大容量化的开展，按照采用膜式水冷壁和实现变压运行的要求，现代直流锅炉的水冷壁结构型式演变为一次垂直上升管屏、屡次垂直上升和下降管屏、螺旋围绕上升管屏和垂直内螺纹管管屏 4 种型式。前两种型式的受热面大多用于带根本负荷的机组，实践证明不适合滑压运行，和我国厂网分开竞价上网的根本政策不相符，故根本不予考虑。后两种型式的受热面各有优缺点。

1) 螺旋管圈水冷壁是德国、瑞士等国为适应变负荷运行的需要而开展的。水冷壁管沿锅炉内壁四周倾斜上升。其优点是：(1) 工作在炉膛下辐射区的水冷壁同步经过炉膛受热最强的区域和受热最弱的区域；(2) 水冷壁的工质在下辐射区一次性沿着螺旋管圈上升，没有中间联箱，工质在比容变化最大的阶段防止了再分配；(3) 不受炉膛周界的限制，可灵活选择并联工作的水冷壁管子根数和管径，保证较大的质量流速。

螺旋管圈的这些优点，使得水冷壁能够工作在热偏差最小和流量偏差最小的良好状态。因此，其水动力稳定性较高，不会产生停滞和倒流，可以不装节流圈，最适合变压运行。

由于螺旋管圈水冷壁需要专门的悬吊钢架，所以，一般仅布置在炉膛折焰角下部的下辐射区，而在炉膛上辐射区使用垂直管屏。

由于炉膛上部的热负荷降低，只要维持足够的质量流速，管内发生传热恶化的可能性不大，管壁温差也随着减小，因而采用垂直管屏也不会造成膜式壁的破坏。当然，上辐射区水冷壁入口的流量分配不均匀或上辐射区热偏差增大时，也会出现管壁超温破坏的现象。

螺旋管圈水冷壁的主要缺点：(1) 水冷壁及其悬吊结构复杂，制造、安装及维修工作量大，流动阻力大；(2) 管带宽度随锅炉容量提高而增大，管带盘旋圈数减少，热偏差增大。

2) 超临界压力锅炉水冷壁采用垂直内螺纹管管屏型式是日本三菱公司和美国 CE 公司合作研发的一种炉型。内螺纹管具有良好的传热和流动特性，内螺纹外表的槽道可破坏蒸汽膜的形成，故直到较高含汽率也难以形成膜式沸腾，而维持核态沸腾，从而抑制金属温度的上升。内螺纹管的金属温度在锅炉低负荷时可抑制得很低，设计采用 1500-2000kg/(m²·s)的质量流速是平安没有问题的。在滑压运行时没有汽水混合物分配不均的问题，适用于滑压运行，能实现高负荷变化率和快速启停运行。各管壁之间温差较小，可采用膜式水冷壁，具有平安可靠的优点且质量流速降低，阻力损失减少，可节省输送动力。对于燃煤机组，灰渣容易脱落，使炉膛水冷壁积灰结渣减少。该炉型设计结构简单，炉膛易于支吊，安装工作和焊接工作量少，可靠性高，便于检修。

2.2 直流锅炉的调节特点

没有水位调节问题，但要控制蒸发段

直流锅炉的主要特点是汽水流程中不设置汽包，给水泵强制一定流量的给水进入炉内，一次性地通过省煤器、水冷壁、过热器。他的循环倍率始终为 1，与负荷无关。

在直流锅炉中，给水加热成蒸汽一次完成，汽水通道可看作由加热段、蒸发段、过热段三局部组成。其中蒸发段是汽、水混合物，随着管道的往后推移，工质由饱和水逐渐被加热成饱和蒸汽。三段受热面没有固定的分界线，随着给水流量、燃烧率的变化前、后移动，使三段受热面的吸热量分配比例及与之有关的三段受热面面积的比例却发生了变化。但蒸发段的前移会使过热汽温偏高，蒸发段后移那么引起汽温偏低，甚至品质下降，这对机组运行极为不利，所以要控制蒸发段的位置。一般来说，要控制蒸发段出口的微过热汽温 θ_1 ，假设 θ_1 偏离规定值，那么说明由于燃烧率与给水比例不当致使蒸发段发生移动，应及时调节燃烧率和给水流量。

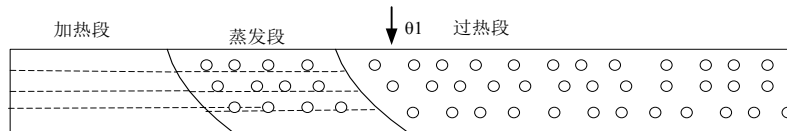


图 2-1 直流锅炉各受热段示意图

直流锅炉的工质是一次地通过各受热面的，而三段受热面面积又不是固定不变的。所以当燃水比失调后，三段受热面吸热量比例发生变化，对出口汽温影响很大，对蒸汽压力和流量的影响方式也较为复杂。。

当给水流量变化破坏了原来的平衡状态时，例如给水流量减少了，那么蒸发段向锅炉汽水流程入口方向流动，汽水流程中各点工质的焓值都有所提高。工质焓值上升是由两个原因引起的：一是因为受热面吸热量不变，而工质流量减少，引起流经本区的工质焓值上升；另一个原因是工质焓值随工质流过的受热面面积而增加。所以离锅炉出口越近，工质的焓增越大，汽温变化也越大。

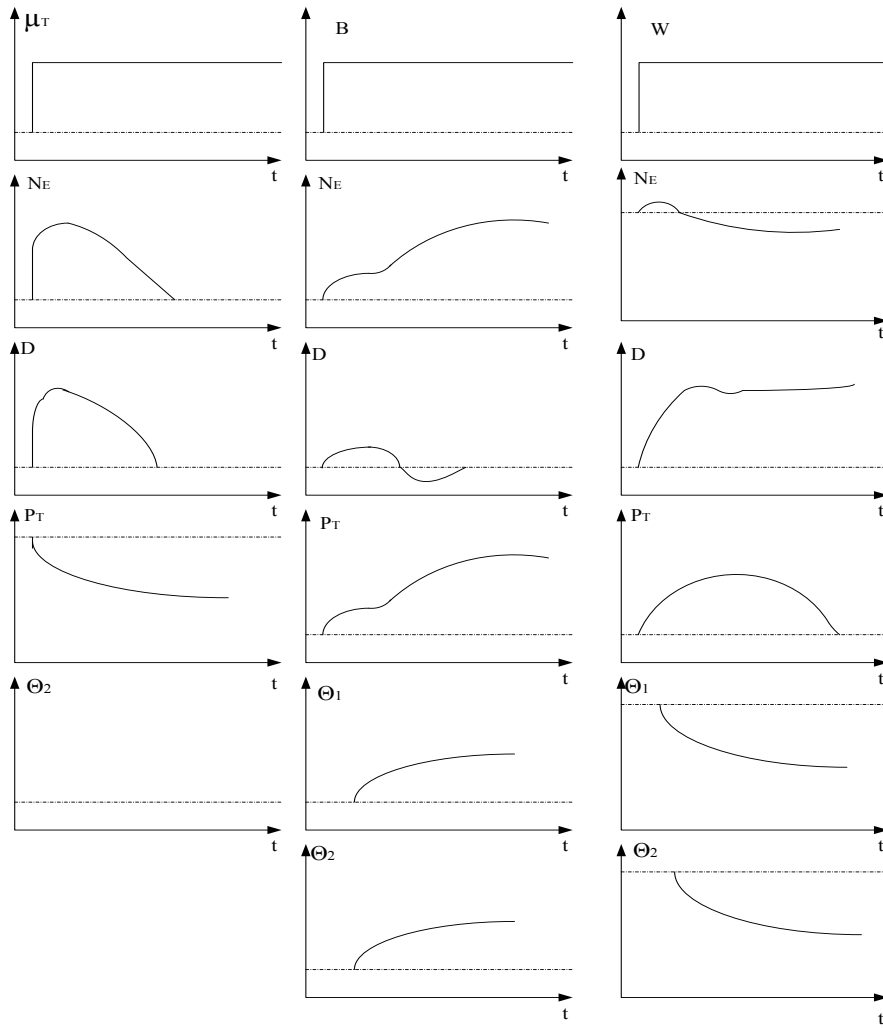
直流锅炉动态特性分析

汽轮机调节汽阀的扰动，对直流锅炉是一种典型的负荷扰动。当调节汽阀阶跃开大时，蒸汽流量 D 和机组输出功率 N_E 立即增加，随即逐渐减少，并恢复初始值，汽轮机阀前压力 P_T 一开始立即下降，然后逐渐下降至新的平衡压力。由于直流锅炉的蓄热系数比汽包锅炉小，所以直流锅炉的汽压变化比汽包锅炉大得多。当负荷扰动时，过热汽温 T_2 近似不变，这是由于给水流量和燃烧率保持不变，过热汽温就根本保持不变。

燃烧率扰动是燃料量、送风量和引风量同时协调变化的一种扰动。当燃烧率 B 阶跃增加时，经过一段较短的迟延时间，蒸汽流量 D 会暂时向增加方向变化；过热汽温 T_2 那么经过一段较长的迟延时间后单调上升，最后稳定在较高的温度上；汽压 P_T 和功率 N_E 的变化也因汽温的上升而最后稳定在较高的数值。

当燃烧率不变而给水流量增加时，一开始由于加热段和蒸发段的伸长而推出一局部蒸汽，因此蒸汽流量 D 、汽压 P_T 、功率 N_E 几乎没有迟延的开始增加，但由于汽温 T_2 的下降，最后虽然蒸汽流量 D 增加，而输出功率 N_E 却有所减少；汽压 P_T 也降至略高于扰动前的汽压，过热汽温 T_2 那么经过一段较长的迟延时间后，最后稳定在较低的温度。

给水和燃料复合扰动时的动态特性是两者单独扰动时的动态特性之和，由图 2-3 可知，当给水和燃料按比例变化时，蒸发量 D 立即变化，然后稳定在新的数值上，过热汽温那么保持在原来的数值上（额定汽温）。这就是说明严格控制煤水比是直流炉参数调节的关键。



a

b

c

图 2-2 直流锅炉动态特性示意图

a—汽机调节汽阀扰动 b—燃料率扰动 c—给水流量扰动

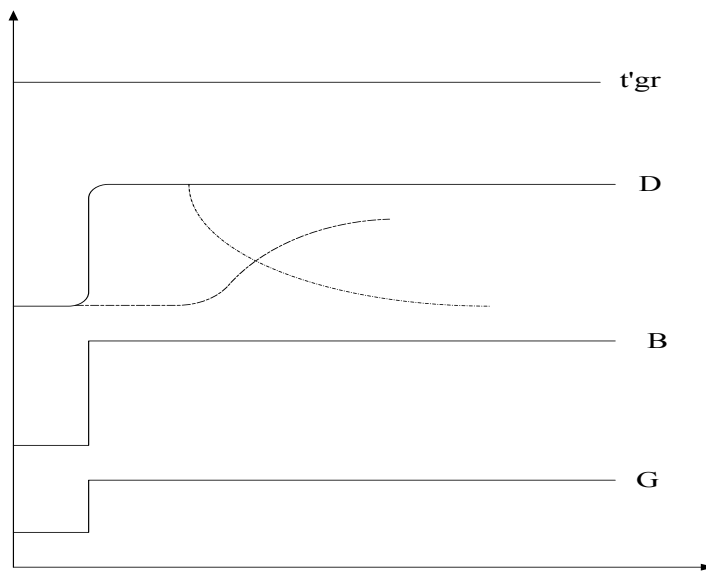


图 2-3 燃料与给水比例增加时的动态特性

3. 超临界机组的给水控制系统

直流锅炉是多变量控制系统，直流锅炉的控制任务与汽包锅炉有很大差异，对于直流锅炉不能象汽包炉那样，将燃料、给水、汽温简单地分为3个控制系统，而是将给水量与燃料量的控制与一次汽温控制紧密地联系在一起，这是直流锅炉控制最突出的特点。

3.1 汽水分离器水位控制

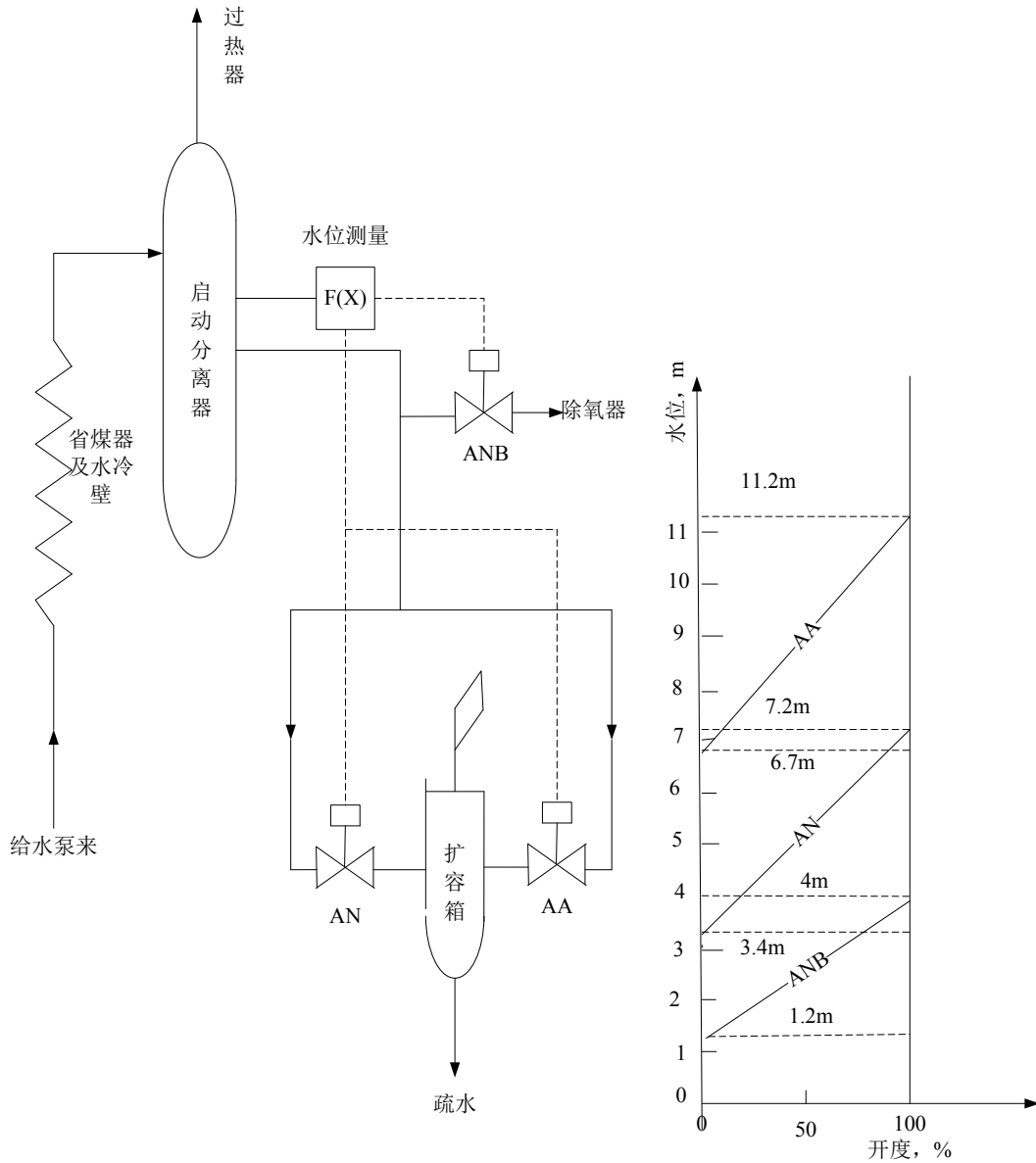


图 3-1 汽水分离器水位控制原理图及三个阀的开度曲线

超临界机组一般采用内置式汽水分离器，以石洞口二厂超临界压力直流锅炉为例。该锅炉启动点火前，进入分离器的流量保持最低运行负荷 37%MCR 下的 644t/h，参数为除氧器的参数。点火后随燃料量投入的增加，进入分离器的公质压力、温度和干度不断提高，汽水混合物在分离器内实现分离。蒸汽进入过热器系统，饱和水通过汽水分离器排入除氧器或疏水扩容器实现工质回收。分离器的正常水位由 AA 阀、AN 阀和 ANB 阀来控制，此时分离器的运行为湿态运行。这时给水控制方式为**分离器水位及最小给水流量控制**。当水冷壁出口（进入分离器）工质的干度提高到干饱和蒸汽后，汽水分离器已无疏水，变成蒸汽联箱用，锅炉就切换到 37%MCR 下的干态运行（纯直流运行）。此后进入分离器的流量随着负荷上升而不断增加，蒸汽温度不断提高，直至 MCR 负荷。当分离器切换到干态运行后

给水控制的任务由分离器水位控制转变为与燃料量控制配合控制中间点温度及给水流量控制。

分离器疏水系统有 AA、AN 与 ANB 三个控制阀。AA 阀的最大通流面积为 150cm^2 ，AN 阀为 51.1cm^2 ，ANB 阀为 31.65cm^2 。AA 阀可保证工质膨胀峰值流量的排放。AN 阀可辅助 AA 阀排放疏水。AA 阀关闭，AN 与 ANB 阀共同控制分离器水位。通过 ANB 阀疏水排入除氧器，可回收工质和热量。

水位 1.2m 时 ANB 阀开，4m 时开足。水位 3.4m 时 AN 阀开，7.2m 时开足。水位 6.7m 时 AA 阀开，11.2m 时开足。三阀开度有一定的重叠度，这有利于水位稳定。ANB 阀回收工质和热量，故首先开此阀，ANB 阀开足后水位还无法控制时开 AN 阀，随后再开 AA 阀。AA 与 AN 阀疏水排入扩容器，造成热损失。

AN 阀动作还受到除氧器压力的限制，除氧器压力大于 1.45MPa 时阀联锁保护自动关闭，只有当除氧器压力降低到 1.1MPa 以下时才允许重新开启。

在启动过程中分离器压力和温度是变化的，这对测量水位带来误差，使三个阀门不能正确地动作。因此，水位信号经过一个 $F(X)$ 的压力温度修正，然后分别去控制三个液压控制阀。图 3-1 所示为水位控制原理图及三个阀的开度曲线。

3.2 给水流量的控制

直流锅炉的给水是在给水泵压头作用下，顺序地通过加热区、蒸发区和过热器，一次性地给水全部变为过热蒸汽，其循环倍率等于 1。在直流锅炉中，给水变为过热蒸汽是一次完成的。这样，锅炉的蒸发量不仅取决于燃烧率，同样也决定于给水流量。因此，为了满足负荷变化的需要，给水控制和燃烧率控制是密切相关而不能独立的。而且当给水流量和燃烧率的比例变化时，锅炉的各个受热面的分界就发生移动。

超临界机组中的给水流量控制回路是控制锅炉出口主蒸汽温度的一个最根本的手段。由于超临界机组采用直流锅炉，而在直流锅炉中，给水流量的波动将对机组负荷、主蒸汽压力和主蒸汽温度等机组运行重要过程参数均产生较大影响。由于机组负荷和主蒸汽压力已设计有其它控制手段，而一旦给水控制回路如果工作欠佳的话，将导致煤水比动态失调。而这时锅炉出口主蒸汽温度仅靠喷水减温控制是无法满足机组运行对主蒸汽温度的要求。

因此，给水流量调节回路起到了控制锅炉总能力平衡（保持适当的煤水比）并维持汽水别

分离器出口蒸汽温度在一定范围内变化的作用。

沁北电厂锅炉给水控制系统中，采用两台分别带 50% 负荷的汽动给水泵作为正常负荷下的供水，一台带 30% 负荷的典当给水泵作为其动机带低负荷或当两台汽动给水泵中有一台故障是作为备用泵使用。

给水流量指令形成回路如图 3-2 所示。

省煤器入口的给水流量指令由前馈信号和主调节器 PID 输出的校正信号两局部叠加而成。前馈信号主要实现锅炉的煤水配比，前馈信号为锅炉主指令信号经动态延时块 $F(t)$ 后给出省煤器入口给水流量指令的根本值。该值先经过一个滤波环节，目的是为了补偿燃料量和给水流量对水冷壁出口连箱给谁温度的动态特性差异（给水流量对水冷壁出口连箱给水温度的影响比燃料量要快得多）。为了防止总燃料量信号快速波动对给水系统的影响（如一台磨煤机跳闸后快速启动另一台磨煤机），该值应经过一个速率限制（由模拟量延时块

DELAY 来实现），最后加上水冷壁出口联箱给水温度的微分信号形成给水流量指令的前馈

信号。给水流量设计值的另一局部是主调节器 PID 输出，它根据水冷壁出口联箱给水温度和水冷壁出口联箱给水温度设定值之间的偏差进行 PID 运算后得到。

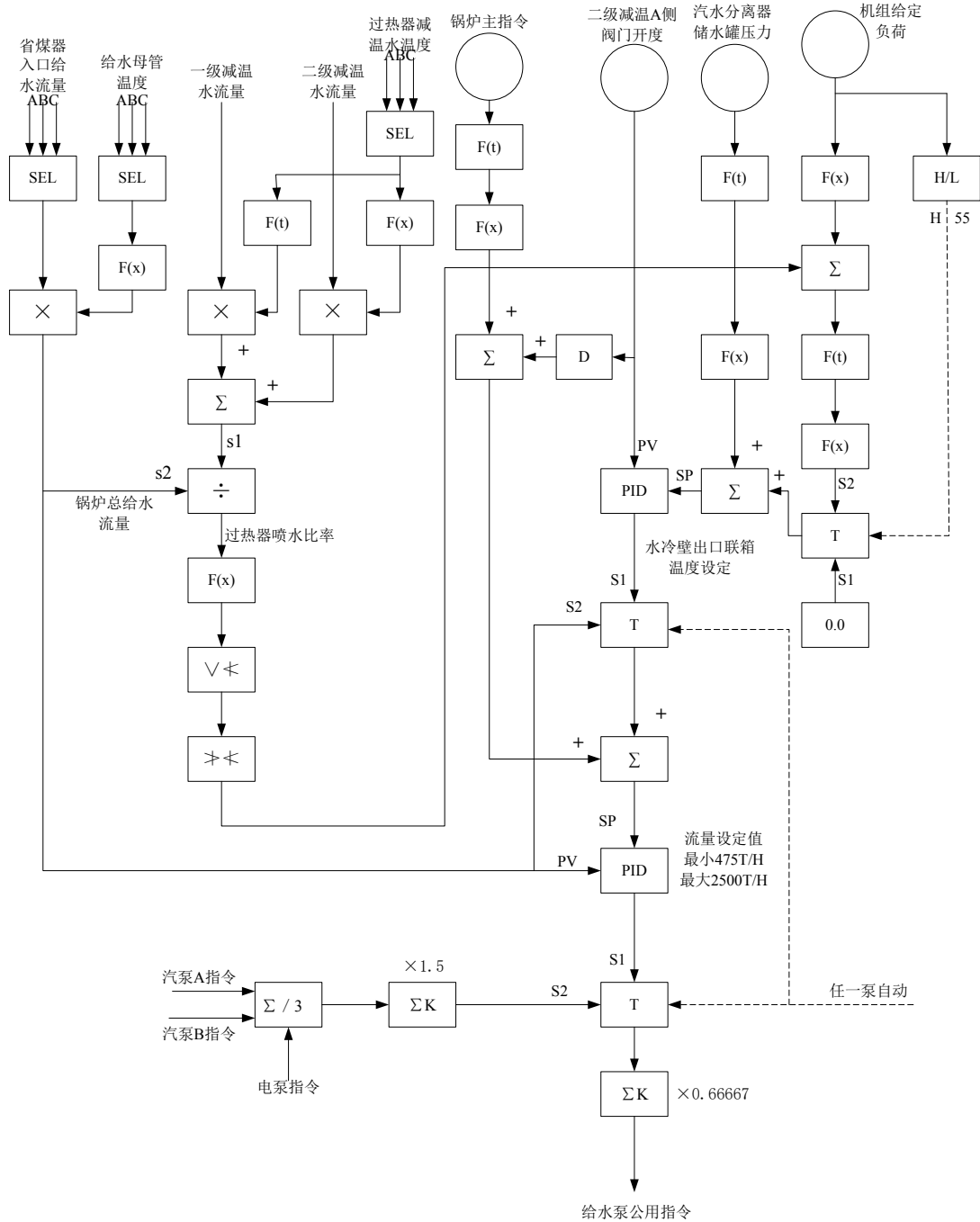


图 3-2 给水流量指令形成回路

通常水冷壁出口联箱给水温度的设定值由以下三局部组成：

- (1) 根据汽水分离器储水罐压力信号经函数发生器后给出水冷壁出口联箱给水温度设定值的近似值。为了消除汽水分离器储水罐压力信号的高频波动，设定了一个滤波环节。
- (2) 在上述近似值根底上再加上过热器喷水比率的修正信号，这个修正信号由过热器喷水比率和其设定值的偏差形成。过热器喷水比率的设定值由机组负荷给定负荷信号经函数发生器后给出，过热器喷水比率测量值由过热器喷水的总量除以锅炉总给水量求得。过热器喷水总量为一级和二级过热器喷水量之和。锅炉总给水量为省煤器入口流量加上过热器喷水总量减去分离器疏水量，各流量信号均经过温度校正以求得测量值的准确。

为了消除机组给定负荷信号和过热器喷水比率信号的高频扰动

，该修正信号还需要经过一个滤波环节。同时为了防止该修正信号动态波动较大而引起分离器的干、湿态切换，过热器喷水比率信号还需经过速度限制和最大幅度值限制。例如在石洞口二厂，最大幅度设置在正负 4 度之间。加上这个修正信号的目的是为了保证机组运行的警觉性并使过热器喷水保持在最合理流量。

(3) 运行人员可根据机组的实际运行情况，在画面上手动对水冷壁出口联箱给水温度进行偏置。

水冷壁出口联箱给水温度设定值的后两局部只有当机组负荷大于 55% 时才起作用。当机组负荷小于 55% 时，水冷壁出口联箱给水温度设定值仅仅是汽水分离器储水罐压力的函数。

实际上，给水流量控制回路仅当锅炉运行在纯直流（干态分离器）工况下才能对锅炉出口的主蒸汽温度起到粗调的作用。为了保证锅炉本身的平安运行，要求在任何工况下省煤器入口给水流量不低于 35% MCR 的值。当锅炉在低负荷下运行（湿式分离器）时，多余的给水流量经分离器疏水阀进行再循环控制。

给水流量串级控制的主调节器控制水冷壁出口联箱给水温度在其设定值上，副调节器那么根据锅炉总给水量测量值和测量设定值的偏差输出给水泵控制指令，分别调节三台给水泵的转速来满足机组负荷变化的需求。

不同的锅炉采用不同的控制策略，CE 锅炉采用控制给水流量来响应锅炉负荷的变化，见图 3-3。该给水控制系统的主控局部为给水流量与锅炉负荷指令之间偏差的 PID 调节加上前馈控制，该前馈信号由三局部相加组成：锅炉负荷指令的比例、微分（PD），给水泵再循环阀门位置信号的函数，给水旁路阀门位置信号的函数，由两台汽动给水泵的转速控制来实现流量的控制。在启、停和低负荷时用给水旁路阀来控制给水流量，为给水流量和锅炉负荷指令之间偏差的 PID 调节加上锅炉负荷指令的前馈信号（PD）；当给水流量增加到某一定值后，主给水阀开启，给水旁路阀关闭，系统切换到汽泵转速控制的正常运行方式。

汽压调节的任务是调节锅炉出力使之与负荷相适应。对于汽包锅炉，锅炉出力的变更是依靠对燃料的燃烧调节（改变燃料量）来到达的，由于汽包有一定的储水容积，而与给水量无直接关系，而给水量按水位进行调节。但对于直流锅炉，其产汽量直接由给水量而定， $G=D$ ，因而燃料量变化，不能直接引起锅炉出力的变化，只有变动给水量才会引起锅炉蒸发量的变化。

显然，当调节给水量以保持压力稳定时，必然引起过热汽温的变化，必须校正过热汽温，也即给水调压，燃料配合给水调温，抓住中间点，喷水微调，这是直流锅炉运行调节的根本原那么。

3.3 给水泵最小流量控制系统

当汽动给水泵 A、汽动给水泵 B 或电动给水泵 C 运行时，为了保证给水泵的平安，在任何工况下都不允许通过给水泵的流量低于最小允许流量。因此，当锅炉负荷很低时，为了保证给水泵出口有足够的流量（应大于泵的最小流量），给水泵应该保证在最低转速下运行。这时，给水泵出口多余的水那么经过与给水泵并联的再循环控制阀又流回到给水泵入口。如图 3-4 为给水泵最小流量控制回路。

给水泵最小流量控制回路为一单回路控制系统。汽动给水泵 A、汽动给水泵 B 和电动给水泵 C 的再循环流量控制系统互相独立，结构完全相同，下面以汽动给水泵 A 再循环流

量控制系统为例加以说明。

汽动给水泵 A 最小允许流量可由运行人员在操作画面上手动设定。为了防止设定值的阶跃突变对控制系统的冲击和运行人员误将设定值操作到合理范围之外，该设定值应经过速率限制和上、下限限制。

系统自动时，汽动给水泵 A 最小允许流量设定值和汽泵 A 入口流量测定值的偏差经 PID 调节器进行比例积分运算，其输出作为汽泵 A 再循环阀门的开度控制指令。汽泵 A 入口流量测量值还需经过汽泵 A 入口给水温度的修正。

给水泵最小流量控制系统仅工作在给水泵汽动和低负荷阶段；锅炉给水流量只要大于最小流量定值，给水再循环调节阀就关闭。最小流量给水再循环调节阀常设计为反方向动作，即控制系统输出为 0 时，阀门全开；输出为 100% 时，阀门全关。这样在失电或失去气源时，阀门全开，可保证设备的平安。

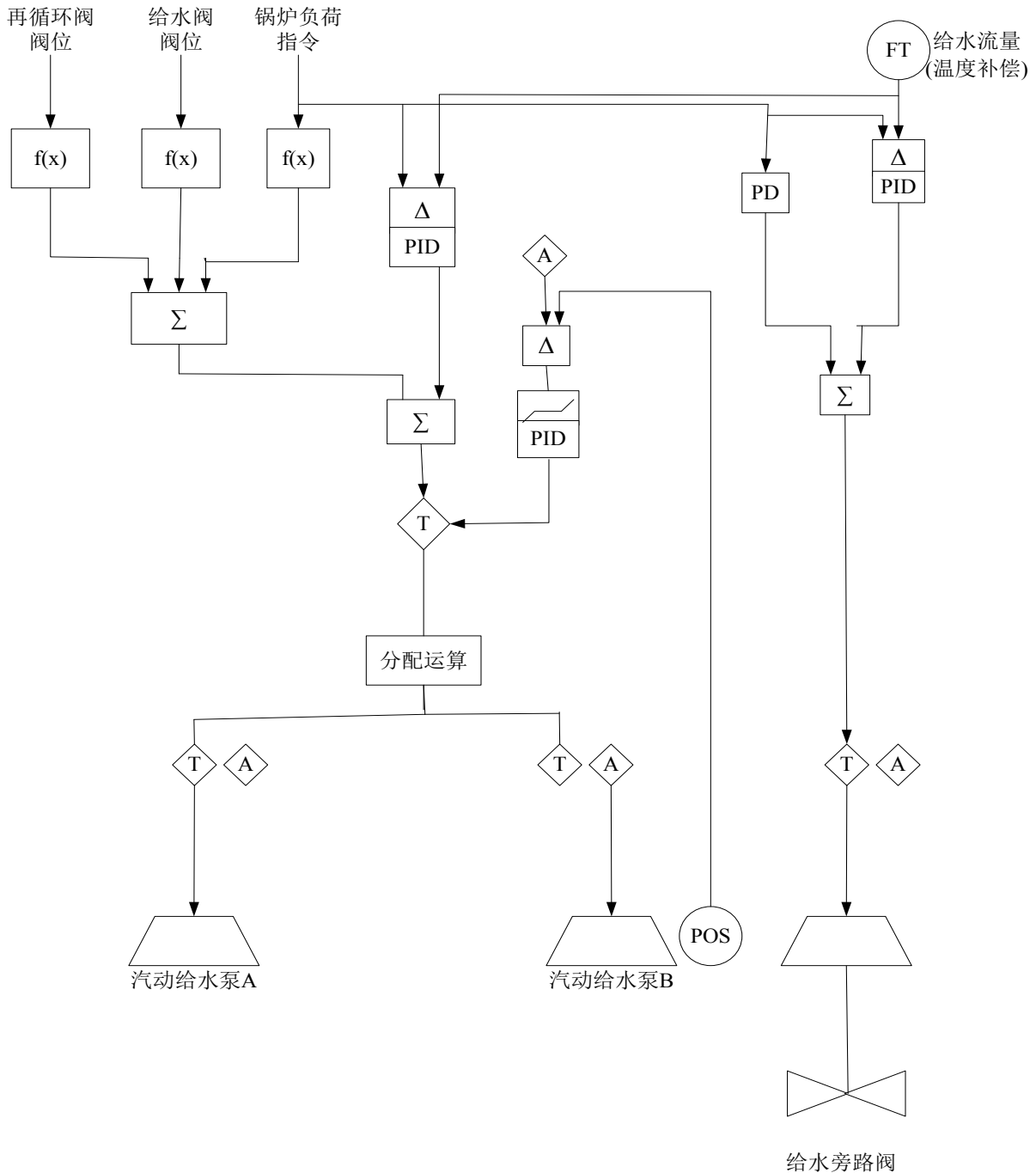


图 3-3 CE 直流锅炉给水控制系统原理图

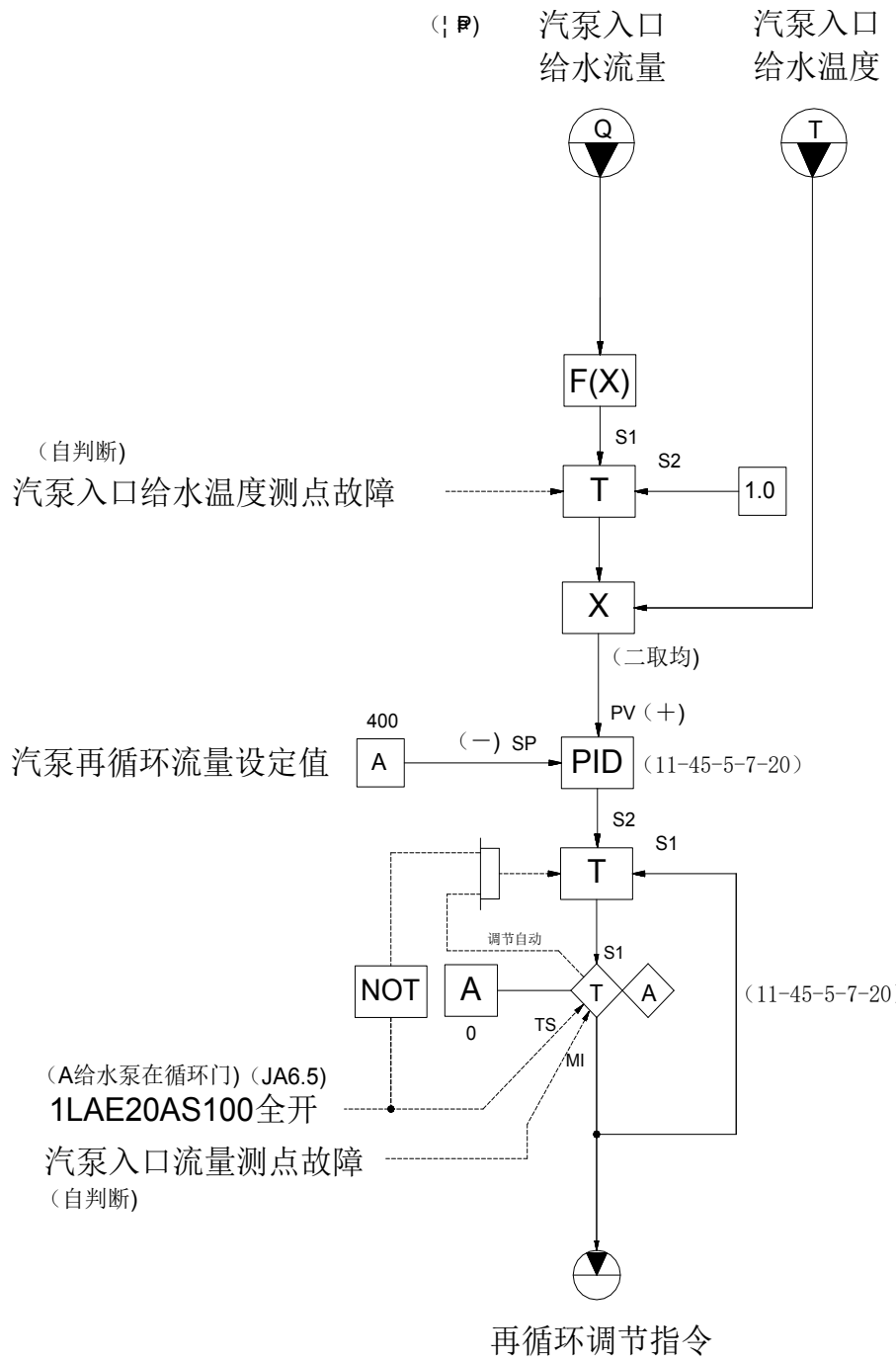


图 3-4 给水泵最小流量控制回路

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：<https://d.book118.com/208013070102007006>