

1 直流锅炉的启动系统



(一)、直流锅炉启动过程的主要问题

- 无汽包，启动一开始就必需不间断地向锅炉送进给水，有必要设置专门的回收工质与热量的系统。
- 直流锅炉启动必须与汽轮机的启动密切配合。
- 汽水的热膨胀问题
- 再热器保护



(二)、启动系统的作用

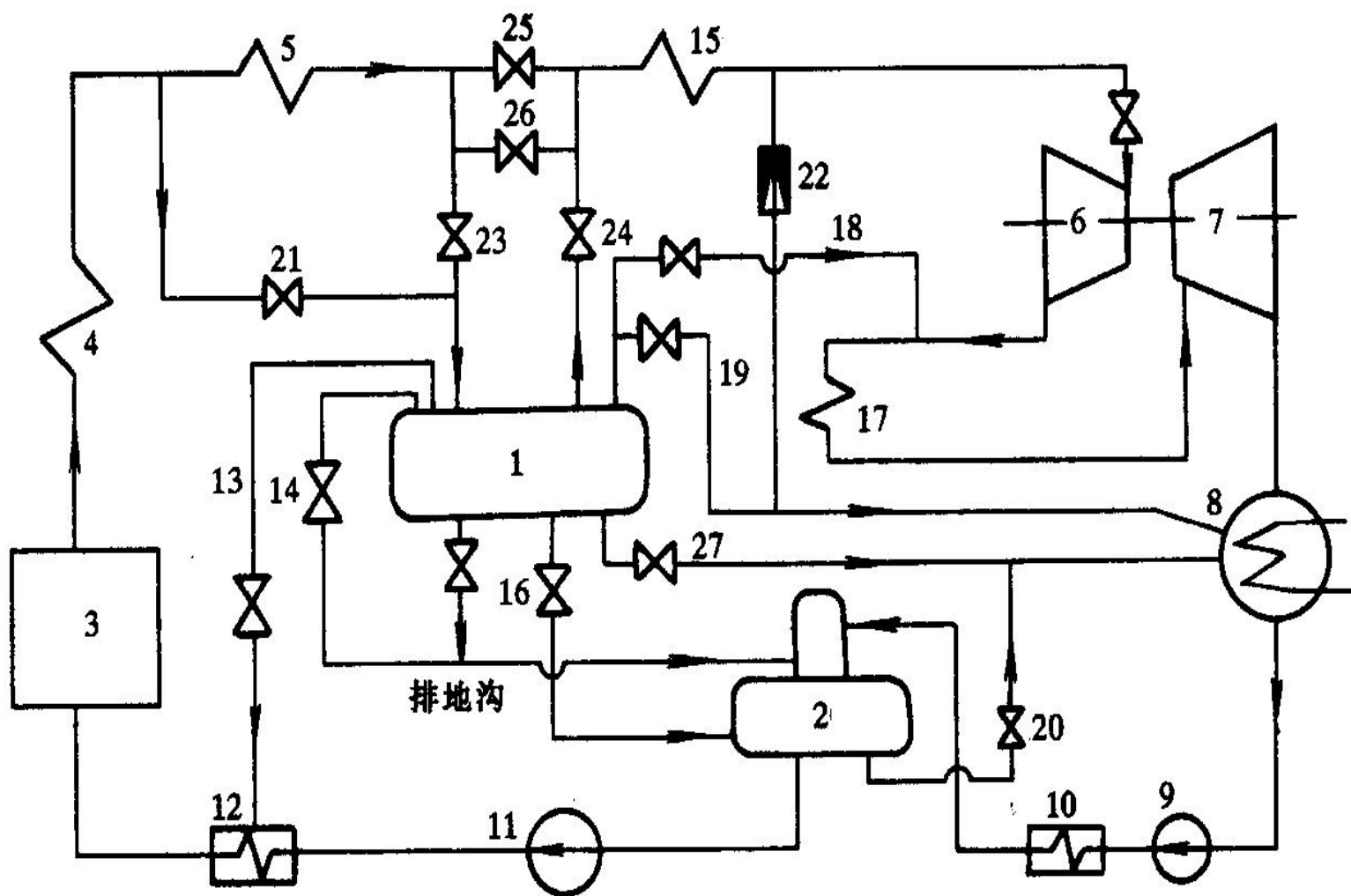
- 建立启动压力和启动流量
- 回收工质和热量
- 实现锅炉各受热面之间和锅炉与汽轮机之间工质状态的配合。



汽水分离器有内置式和外置式两种。

内置式分离器在启动完毕后，并不从系统中切除而是串联在锅炉汽水流程内，因此它的工作参数(压力和温度)要求比较高，但控制阀门可以简化。

外置式分离器在锅炉启动完毕后与系统分开，工作参数(压力和温度)的要求可以比较低，但控制阀门要求较高。



1000t/h直流锅炉外置式启动旁路系统



- 汽的出路有：去过热器、去再热器、去高压加热器、去除氧器，去凝汽器。
- 水的出路有：去除氧器、去凝汽器、去地沟。水的回收途径与水质指标有关：水含铁量小于 $80\mu\text{g/L}$ 回收入凝汽器，回收工质，但热量损失了；水中含铁量大于 $1000\mu\text{g/L}$ 排入地沟不回收。回收入除氧器水箱与回收入凝汽器比，前者水阻力小得多，节省给水泵电耗。



- 借助分进调节门21或23的节流，可使启动分离器的压力低于锅炉本体（指分离器之前的受热面）的压力，这样，本体保持高的启动压力有利于水动力稳定并减小工质的膨胀量，而启动分离器内的压力（即输出蒸汽的压力）则可灵活地根据汽轮机进汽参数要求和工质排放能力加以调节。

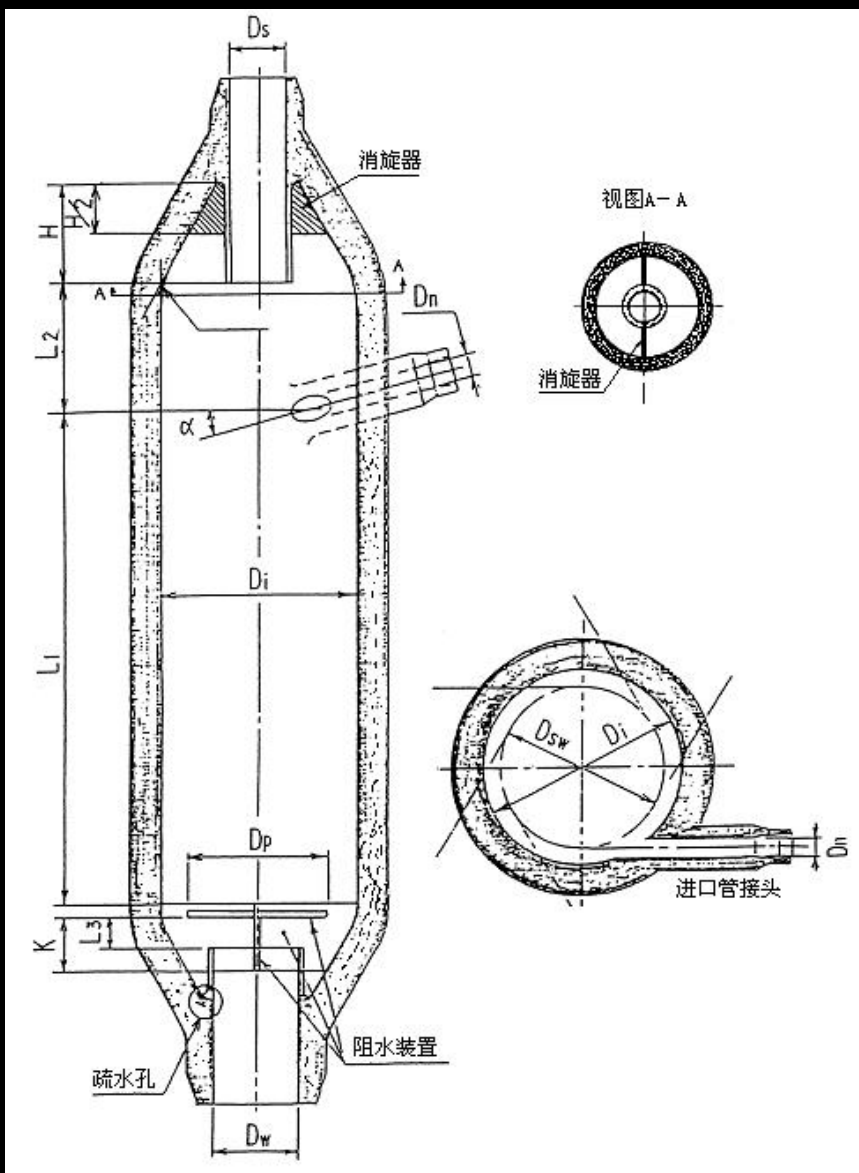


一般在（35%~37%）MCR负荷以下，由水冷壁进入分离器的为汽水混合物，分离器出口蒸汽直接进入过热器，疏水通过疏水扩容器回收工质或通过除氧器回收工质和热量。当负荷大于（35%~37%）MCR负荷时，分离器中全部是蒸汽，呈干态运行。此时内置式分离器相当于一个蒸汽联箱，必须承受锅炉全压，这是与外置式分离器的最大不同点。



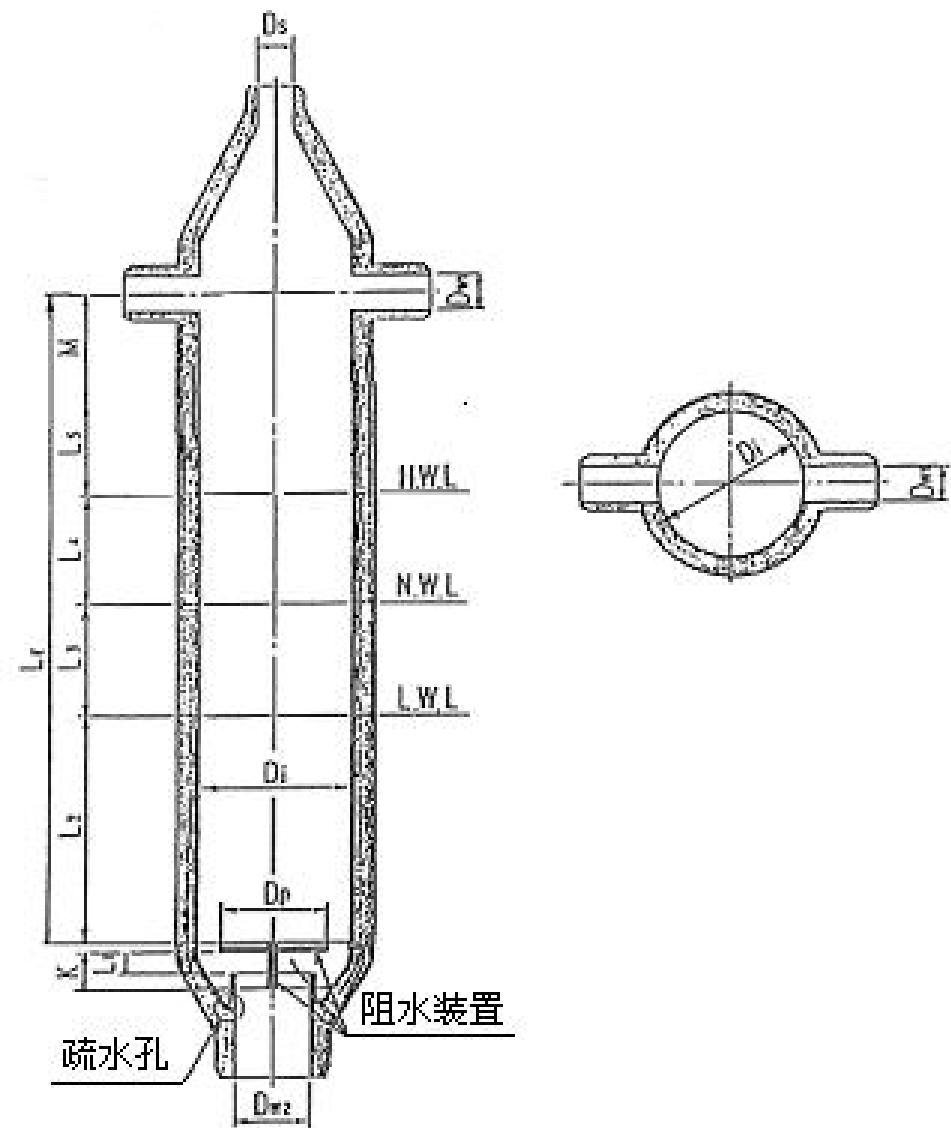
疏水控制阀（AA、AN、ANB阀）用于控制分离器水位和疏水的流向。锅炉湿态运行时，分离器水位由ANB阀自动维持，当水位高于ANB阀的调节范围时（如工质膨胀），再相继投入AA、AN阀参与水位调节。AA阀的通流量设计可保证工质膨胀峰值流量的排放。

汽水分离器



- **位置：**炉前，垂直水冷壁混合集箱出口
- **筒身：**
- **内件：**消旋器、阻水装置
- **封头：**锥形，上下各**1**
- **引入管：****6**根，切向向下
倾斜15°
- **引出管：**汽（上部）、水
（下部）各**1**根
- **数量：****2**只/ 台炉

汽水分离器贮水罐



- 筒身:
- 内件: 阻水装置
- 封头: 锥形, 上下各**1**
- 引入管: **2**根
- 引出管: 汽(上部)、水(下部)各**1**根
- 数量: **1**只/台炉, 考虑水位控制的稳定性



(一)汽水分离器作用

- (1) 组成循环回路，建立启动流量
- (2) 实现进入的汽水混合物的汽水两相分离，使分离出来水的质量和热量得以回收，并由它作为提供过热器、再热器暖管和汽机冲转带负荷的汽源
- (3) 对于内置式分离器而言，在启动时它能起到固定蒸发终点的作用，这样使汽温、给水量、燃料的调节成为互不干扰的独立部分
- (4) 它是提供启动和运行工况下某些参数的自动控制和调节信号的信号源(即作为中间点温度)

2. 超临界锅炉启停



2. 1 超临界直流锅炉启动特点

2. 1. 1 启动前清洗

直流锅炉除了对给水品质要求严格以外，启动阶段还要进行冷水和热水的清洗，以便确保受热面内部的清洁和传热安全。



2. 1. 2 启动流量的建立

直流锅炉启动时，由于没有自然循环回路，所以直流锅炉水冷壁冷却的唯一方式是从锅炉开始点火就不断地向锅炉进水，并保持一定的工质流量，以保证受热面良好的冷却。该流量应一直保持到蒸汽达到相应负荷（称启动流量），然后随负荷的增加而增加。

启动流量的选择，直接关系到直流锅炉启动过程的安全经济性。



2. 1. 3 启动前的工质膨胀

点火以后，随着炉膛热负荷的增加，水冷壁的工质温度逐渐升高，在不稳定加热过程中，中部某点工质首先汽化，体积突然增大，引起局部压力突然升高，急剧地将后面的工质推向出口，造成锅炉排出量大大超过锅炉给水量，这种现象（称工质膨胀）将持续一段时间，直至出口为湿饱和蒸汽时为止。



如膨胀量过大，将使锅炉内的工质压力和启动分离器水位都一时难以控制。

影响工质膨胀的因素主要有启动流量、给水温度、燃料的投入速度等。启动流量越大，膨胀量越大；给水温度越低，膨胀到来越迟，膨胀量越小；投入的燃料量大，投燃料速度快，工质先达到沸点的位置在炉膛下辐射区，膨胀点后的存水量就多，总的膨胀量大；同时局部压力升高快，因而瞬时的最大排出量也愈大。

2. 2 直流锅炉的冷态启动

2. 2. 1 锅炉的启动准备

2. 2. 2 循环清洗

点火前先进行冷态循环清洗。锅炉进水至分离器内有水位出现，控制清洗水量为启动流量。清洗分低压系统和高压系统两步进行。

低压系统清洗路线为凝汽器—凝结水泵—低压加热器—除氧器—凝汽器（或地沟）；

高压系统清洗路线为凝结水泵—低压加热器—除氧器—给水泵—高压加热器—省煤器—水冷壁—启动分离器—扩容器—疏水箱—凝汽器（或地沟）。

含铁量小于**100ug/L**时结束清洗，锅炉点火。





2. 2. 3 锅炉点火、升温升压

维持启动流量为35%MCR，锅炉总风量大于35%，高压旁路控制方式置启动位置，锅炉可点火。零压点火后，启动分离器内最初无压，随着燃料量的增加，当启动分离器中有蒸汽时，即开始起压。随着继续增加投入燃料量，分离器内的压力逐渐升高，由启动分离器 and 高温过热器出口集箱的内外壁温差控制直流锅炉的升压速度。



2. 2. 4 工质膨胀控制

控制燃料投入速度不宜过快、过大，调节分离器各排放通道的排放量，以防止水冷壁超压和启动分离器水位失控。

对外置式分离器的系统，冷态启动时水冷壁压力高出分离器压力许多，工质膨胀时燃烧率已较高，分离器的产汽量超过冲转所需要的耗汽量，故汽轮机冲转在膨胀之前进行（但热态启动仍是膨胀后冲转）。这样既有利于协调蒸汽参数、减小启动热损失，又可避免低温再热器因旁路容量限制了蒸汽流量而引起管子超温。

2. 2. 5 汽轮机冲转、暖机带初负荷

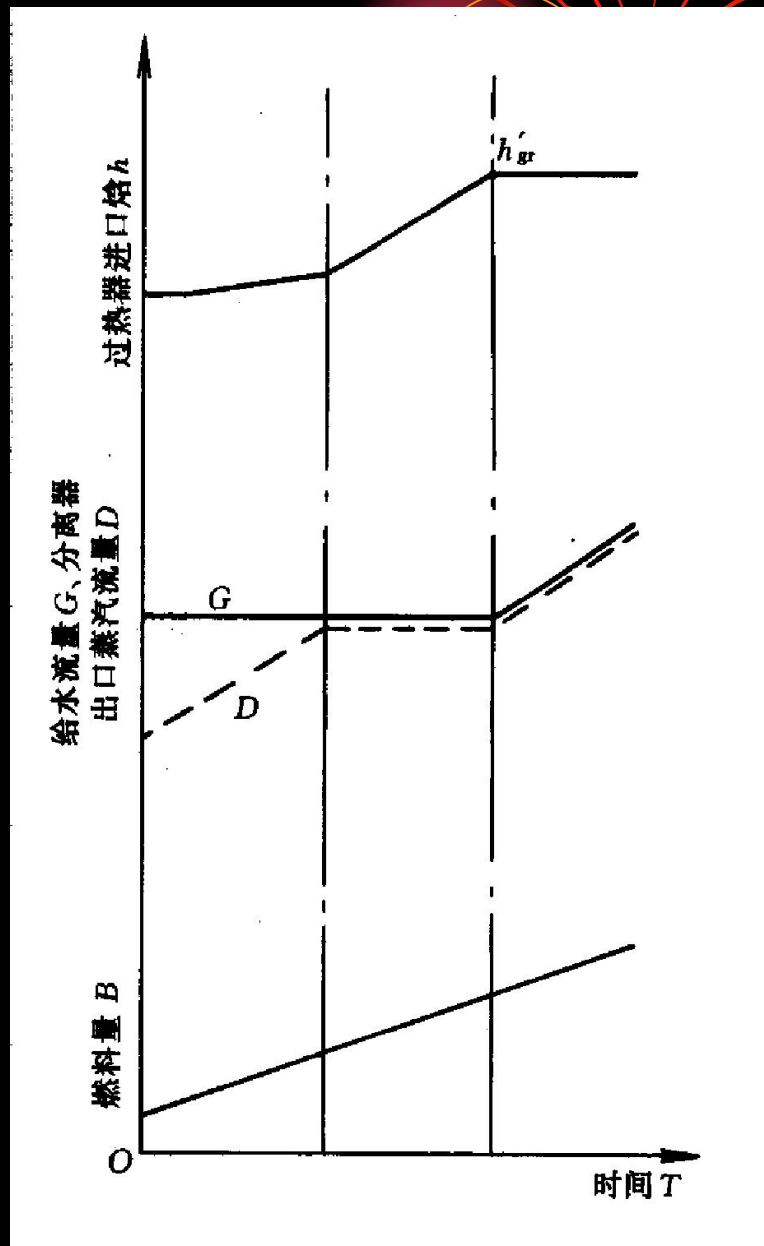
调节燃料量，锅炉继续升温升压。当汽压、汽温均达到冲转参数时便可冲转汽轮机、并网、带初负荷。此过程锅炉的汽压由高压旁路控制保持不变，再热汽压力由低压旁路控制。在高压、低压旁路全关以后，锅炉的蒸发段仍为湿态，继续增加燃料量将使分离器进汽量增加，分离器水位下降。

随着燃料量的继续增加，分离器水位继续下降，ANB阀继续关小，直到全关为止。此时分离器完成从湿态至干态的转变，成为一个微过热蒸汽的通道。



干湿态转换■

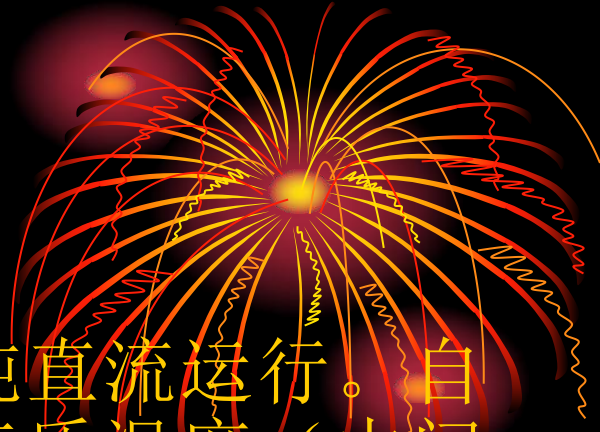
在给水量保持不变下首先增加燃料量，这样过热器的进口焓随之上升，当过热器入口焓值上升到设定值时，随燃料量的进一步增加，中间点温度控制参与调节使给水量增加，从而过渡到煤水比例调节，维持汽温恒定。



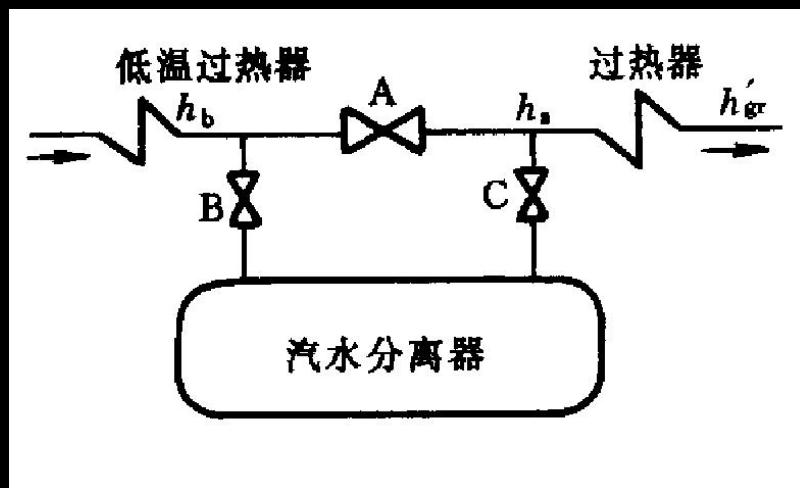
2. 2. 6 升负荷至额定值

在负荷升至37%MCR后，转入纯直流运行。自动控制由分离器水位控制转变为工质温度（中间点温度）控制。此后，进入分离器的流量随燃烧率的逐渐增大而不断增加，蒸汽压力、温度不断提高，在约70%MCR后转入超临界压力运行，直至MCR负荷，启动过程结束。

对外置式分离器系统，转入纯直流运行时要进行切除分离器的操作，切分后分离器退出运行，锅炉继续升温升压升负荷至额定值。



所谓等焓切分，是指在切除分离器时应该达到等焓条件，即低过出口的工质焓必须与分离器出口的蒸汽焓相等。如果等焓切分过程掌握得不好，如低温过热器出口的汽水焓值低于分离器出口焓值时切分，将使过热器入口焓被较低的蒸汽焓所代替，引起过热器出口温度迅速降低。此时为恢复过热汽温势必追加燃料量，容易使前屏等过热器金属超温。



等焓切分示意



2. 3 锅炉的停运

直流锅炉的正常停炉至冷态，也经历停炉前准备、减负荷、停止燃烧和降压冷却等几个阶段。与汽包炉相比，主要的不同是，当锅炉燃烧率降低到30%左右时，由于水冷壁流量仍必须维持启动流量而不能再减，因此在进一步减少燃料、降负荷过程中，包覆管出口工质由微过热蒸汽变成汽水混合物。为了避免前屏过热器冲水，锅炉必须投入启动分离器运行，使进入前屏过热器的仍是干饱和蒸汽，多余的水则疏掉，保证前屏过热器的安全。

停炉保护:

- (1) 锅炉停用时间少于2天, 不采取任何保护方法;
- (2) 锅炉停用时间3~5天, 对省煤器、水冷壁及汽水分离器采用加药湿态保护, 对过热器部分采用干燥后充氮保护;
- (3) 停炉时间超过5天的, 省煤器、水冷壁、汽水分离器和过热器系统均采用热炉放水干燥后充氮保护, 或充气相缓蚀剂保护。



冬季停炉后的防冻：

- (1) 检查并投入有关设备的电加热或汽加热装置，由热工投入热工仪表加热装置；
- (2) 备用锅炉的人孔门、检查门、挡板等应关闭严密，防止冷风侵入；
- (3) 锅炉各辅助设备和系统的所有管道，均应保持管内介质流通，对无法流通的部分应将介质彻底放尽，以防冻结；
- (4) 停炉期间，应将锅炉所属管道内不流动的存水彻底放尽。



2. 4 注意事项

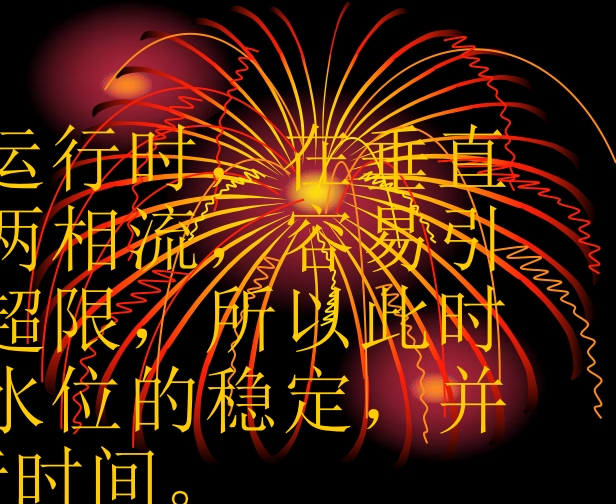
锅炉点火初始阶段，由于炉膛温度极低，如何使油燃烧器着火稳定、燃烧完善，特别是对重油，良好的燃烧更为重要。

在升温升压过程中应严密监视汽水分离器和对流过热器出口集箱的应力余度不超过限额，特别在极态启动时。

在锅炉启动过程中，尤应加强对空气预热器热点检测的监视，发现报警应及时到现场检查，并坚持按规定每班对预热器的吹灰工作，防止预热器再燃烧事故的发生。

在汽水分离器入口汽温第一次达到饱和温度时，锅炉有一个汽水膨胀过程，此时要注意汽水分离器和除氧器的水位控制，防止水位超限。

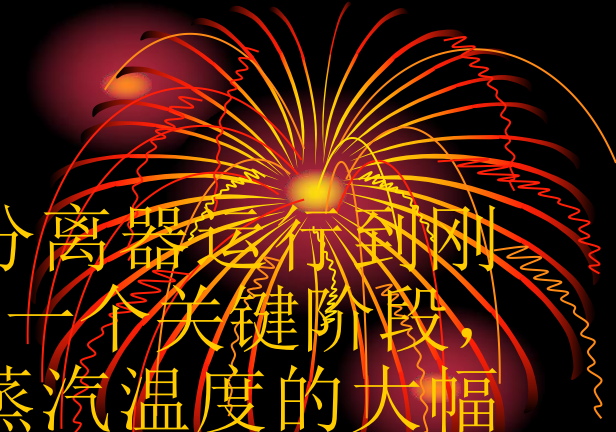




锅炉在湿态与干态转换区域运行时，在垂直水冷壁和后墙吊管中有可能产生两相流，容易引起水力不均匀性而造成管壁温度超限，所以此时要注意保持燃料量和汽水分离器水位的稳定，并尽可能缩短锅炉在这个区域的运行时间。

锅炉转入纯直流运行，其启动旁路退出后，回收水箱的水位逐渐降低，此时应防止由启动系统漏入空气，降低凝汽器的真空而影响机组的正常运行。

直流锅炉启动过程中存在汽水的热膨胀问题，热膨胀不但会导致水冷壁内的水动力不稳定，还会导致过热器出口的蒸汽达不到额定参数，甚至出现蒸汽带水，危及机组安全运行。



外置式分离器直流锅炉从带分离器运行到刚转入纯直流运行时是燃烧率控制的一个关键阶段，该阶段控制不当，很容易引起主蒸汽温度的大幅度波动。这是因为“切分”前燃料量的过多或过少，由于启动分离器的存在，对过热汽温的影响并不十分严重。一旦分离器切除进入纯直流运行，如果燃料量不能立即与当时的给水量相一致，即煤水比失调时，将造成主蒸汽温度的较大变化。因此，当启动分离器切除后，应保持给水流量不变，迅速调整燃料量，保持恰当的燃料量与给水量比例，控制适当的中间点温度，并辅以减温水调节维持主蒸汽温度稳定。



3. 锅炉启停中的热应力控制

在机组启停及加减负荷的过程中，机组中所有受热部件都将发生变化。这种温度的变化如果是不均匀的，或者是急剧的，将会使金属的受热与非受热的部分温差过大而产生热应力，尤其是对一些厚壁部件，影响更大。过大的热应力会使部件产生变形、裂纹，以致损坏。所以对大机组来说，热应力的控制是非常重要的。



对直流锅炉来说，在启停和变负荷过程中，最应重视的是汽水分离器及末级过热器出口联箱。后者是处于高温高压下并且温度变化十分敏感的厚壁部件，前者虽然所受的温度并不是最高的，但在锅炉受热受压的部件中，其金属壁最厚。为此，在汽水分离器及末级过热器出口联箱金属壁上应安装内外壁温度测点，外壁温度直接取自金属表面，内壁温度则在金属壁上打一深至 $2/3$ 处的孔，将此温度代表金属内壁温度。测量出金属内外壁的温差，并以此代表其热应力。

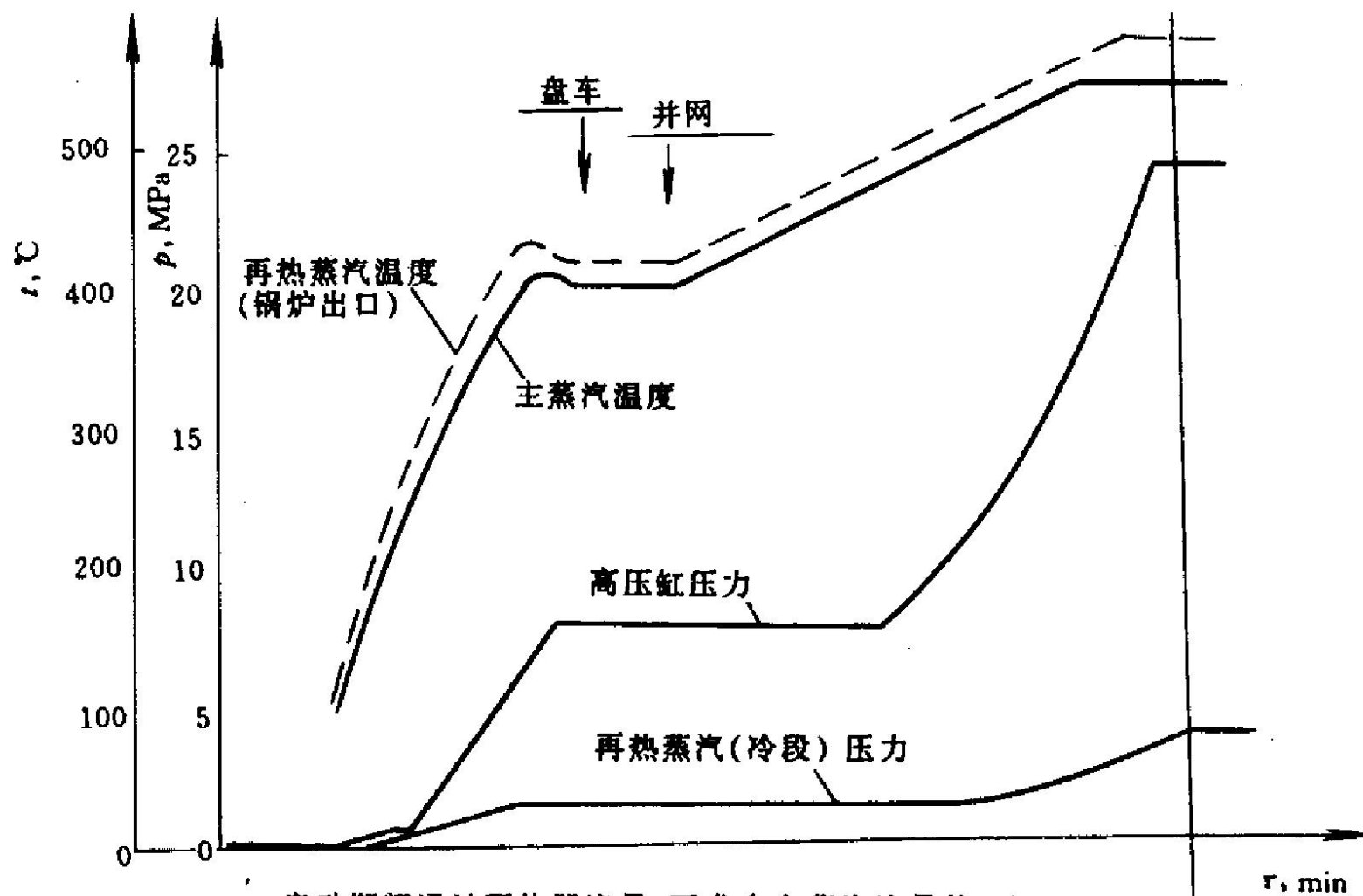


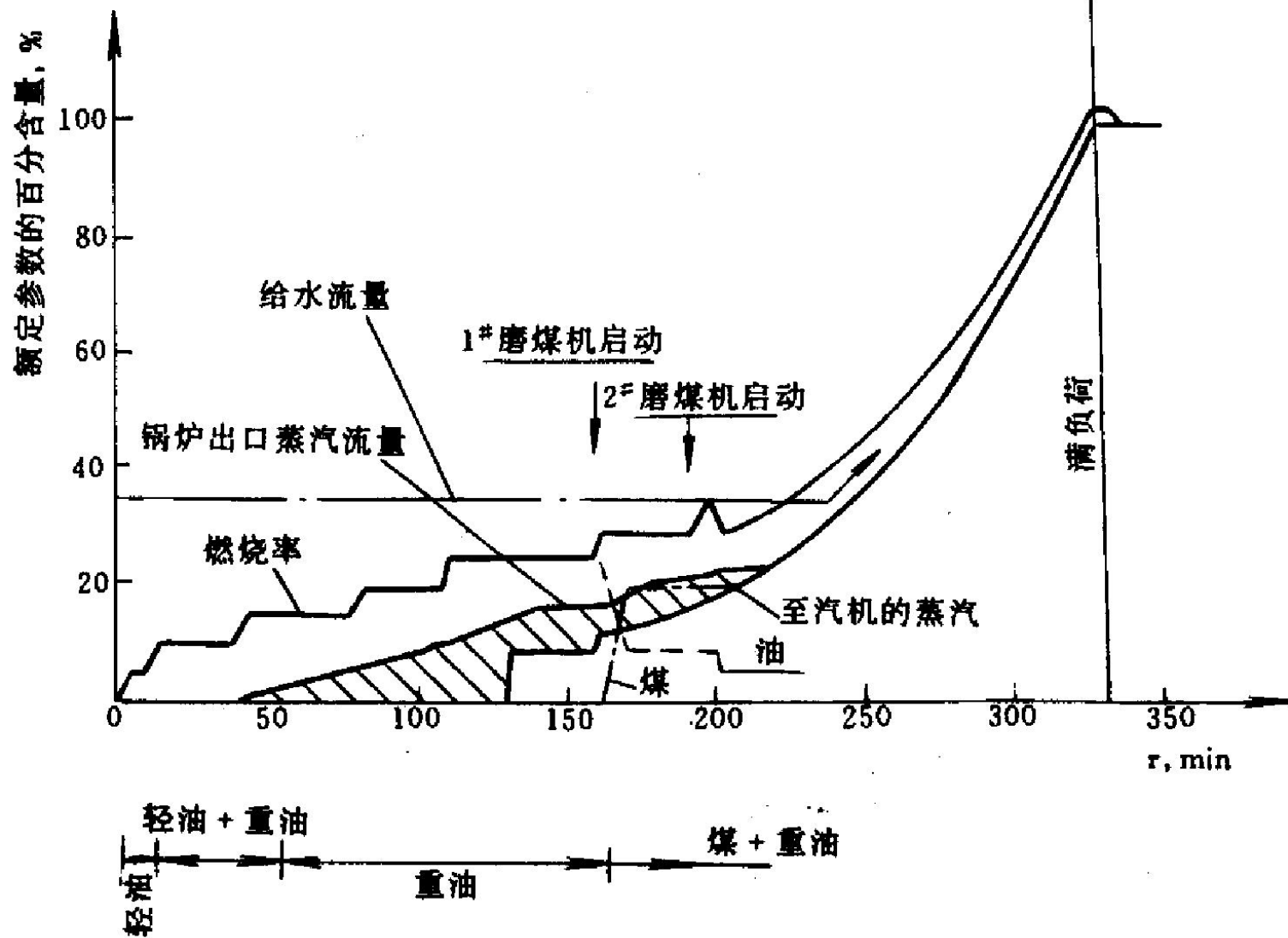
4. 超临界锅炉启停特性及影响启动速度的主要因素

4. 1 启动特性

4. 1. 1 冷态启动特性

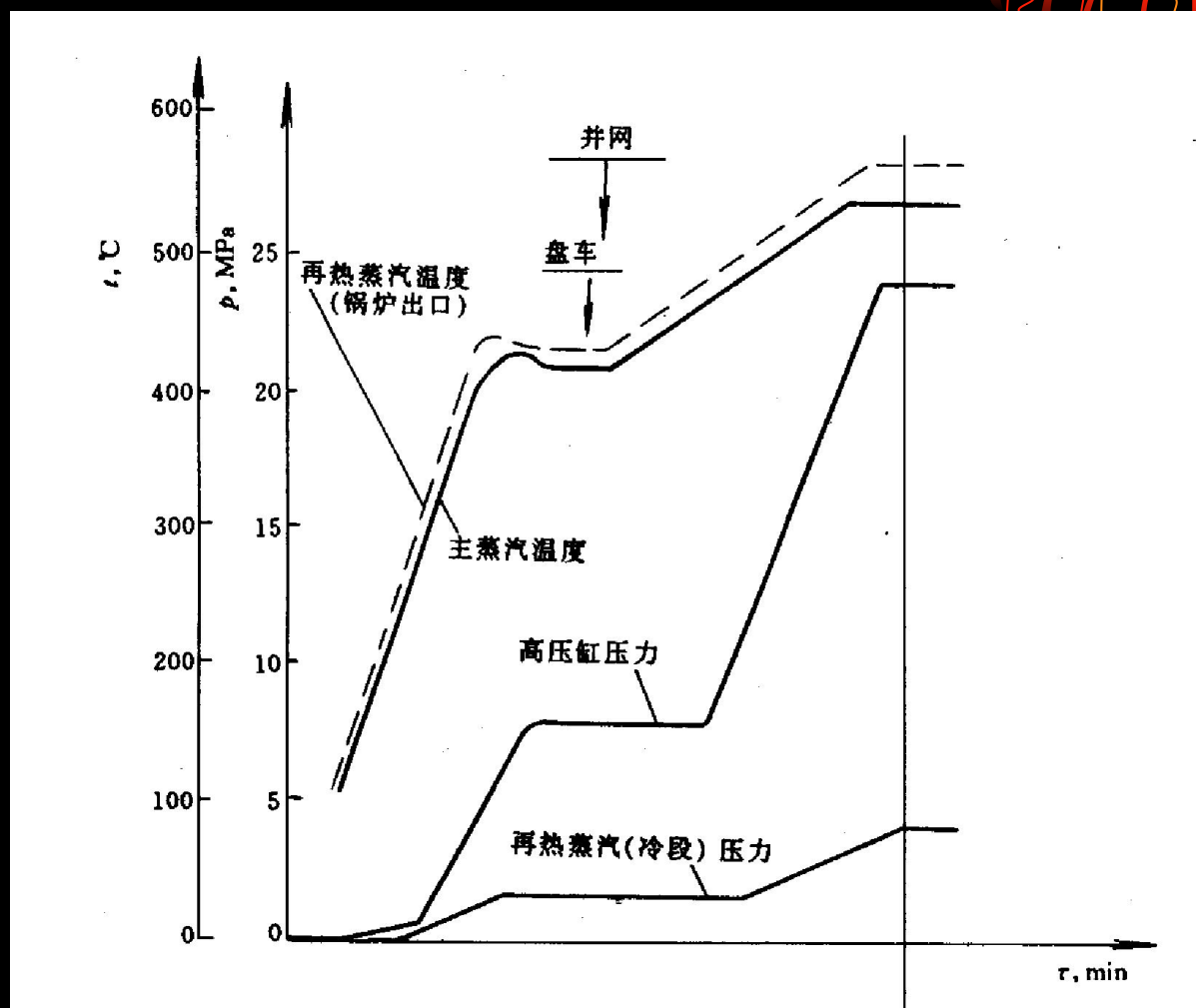
启动分离器的金属温度低于 100°C 为冷态启动



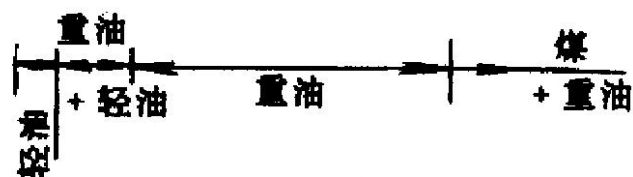
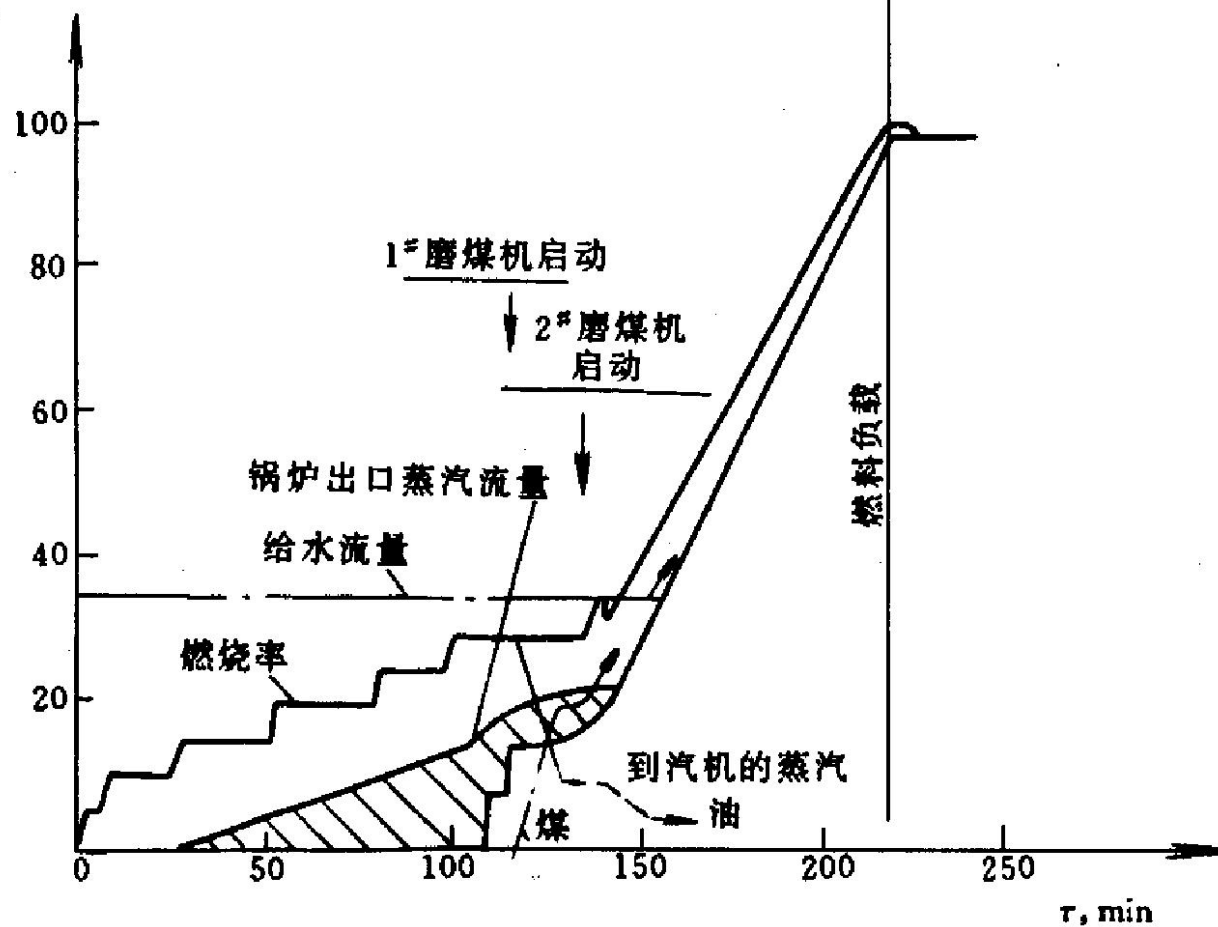


4. 1. 2 温态启动特性

机组启动至上一次停用的时间间隔大于5小时，启动分离器的金属温度高于100℃为温态启动

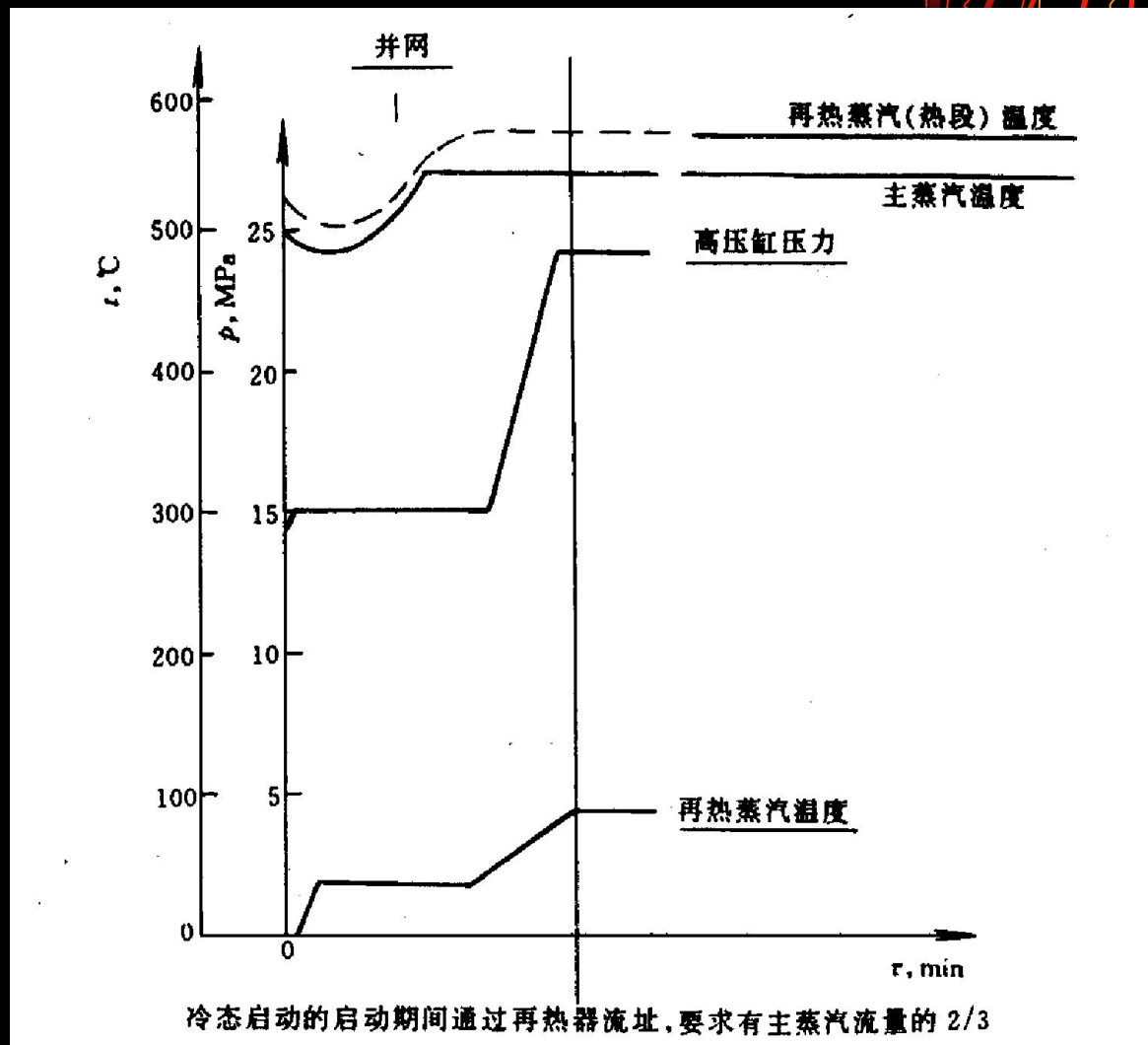


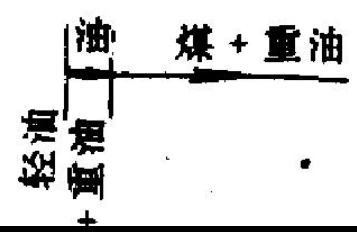
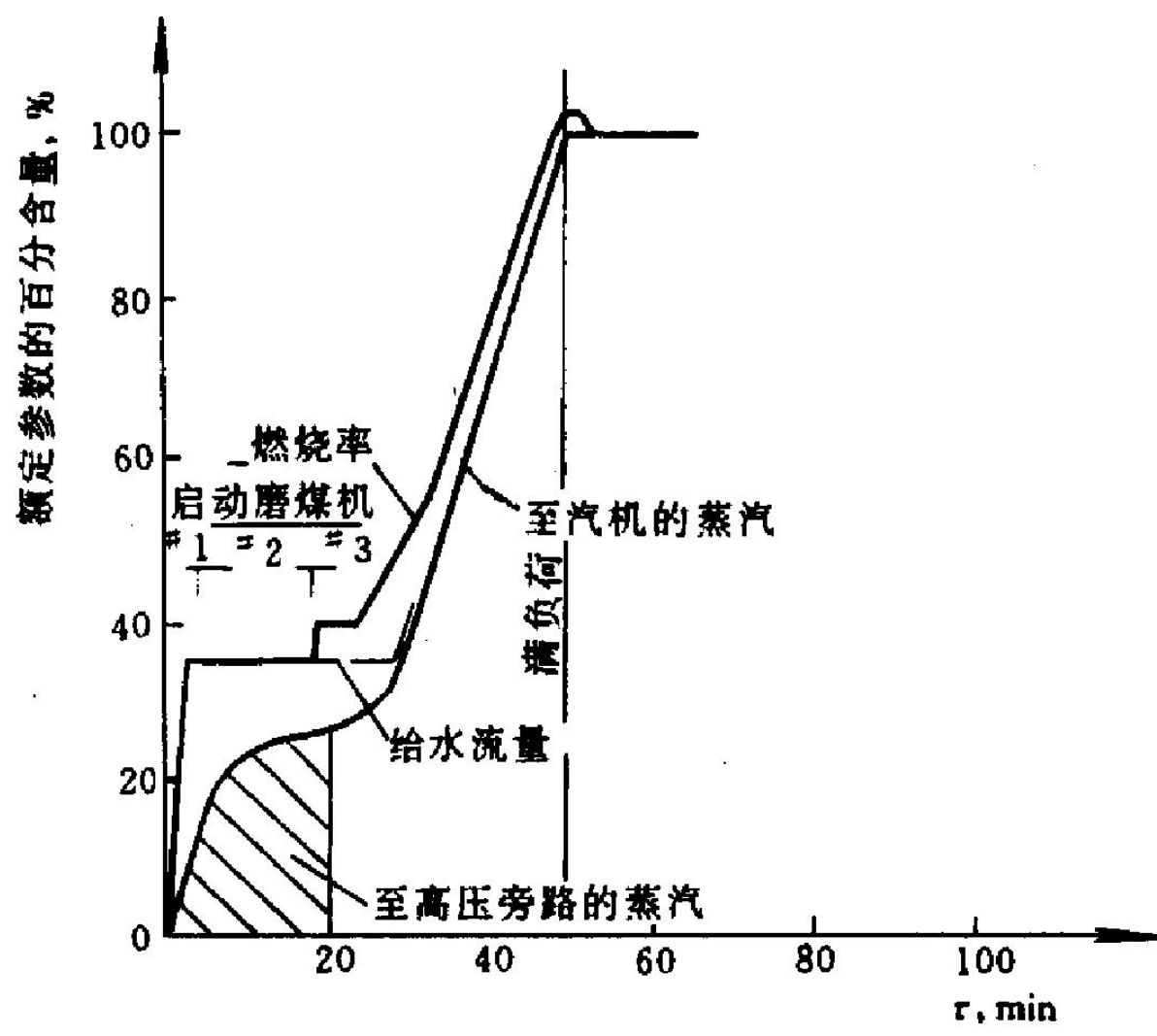
额定参数的百分含量, %



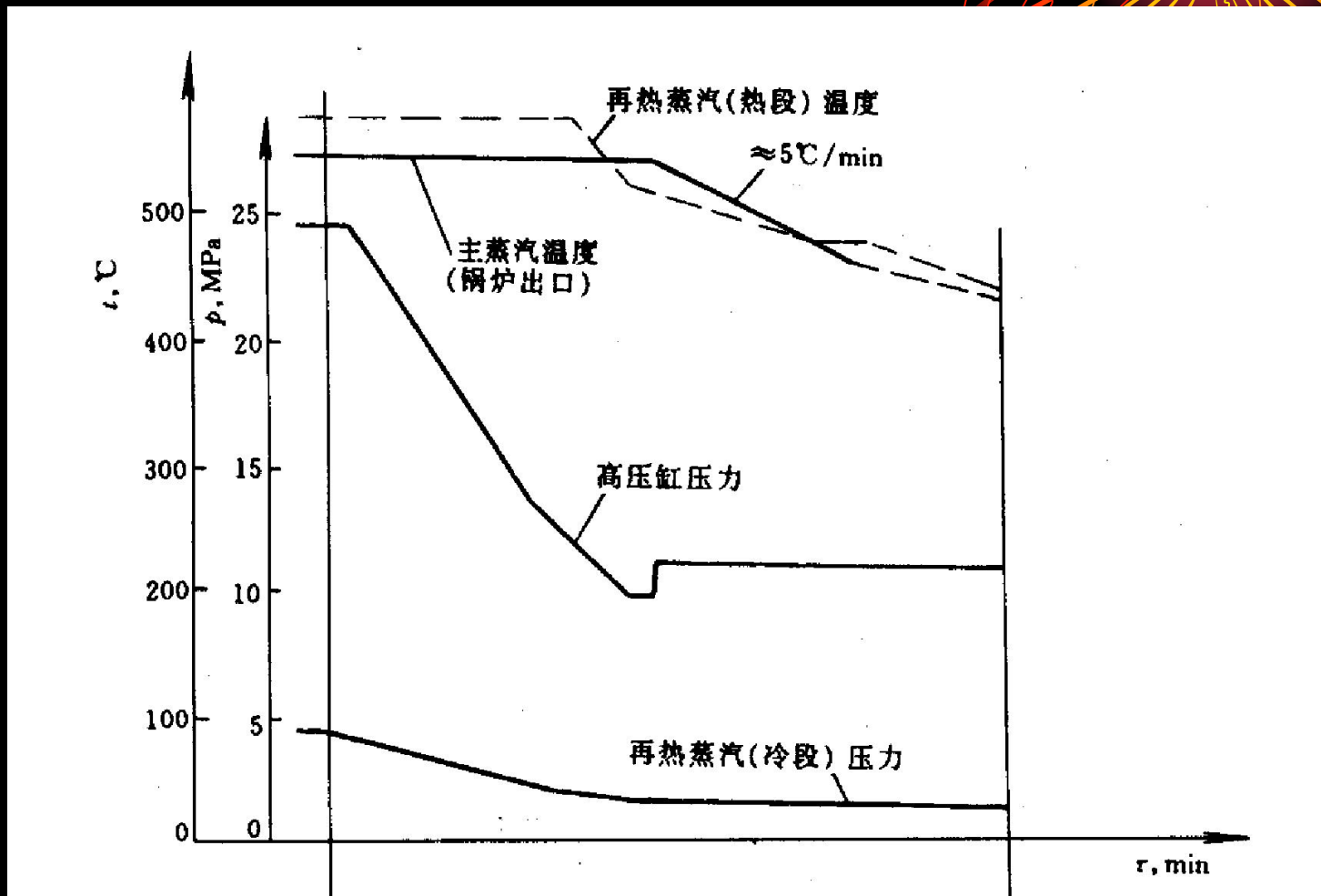
4. 1. 3 热态启动特性

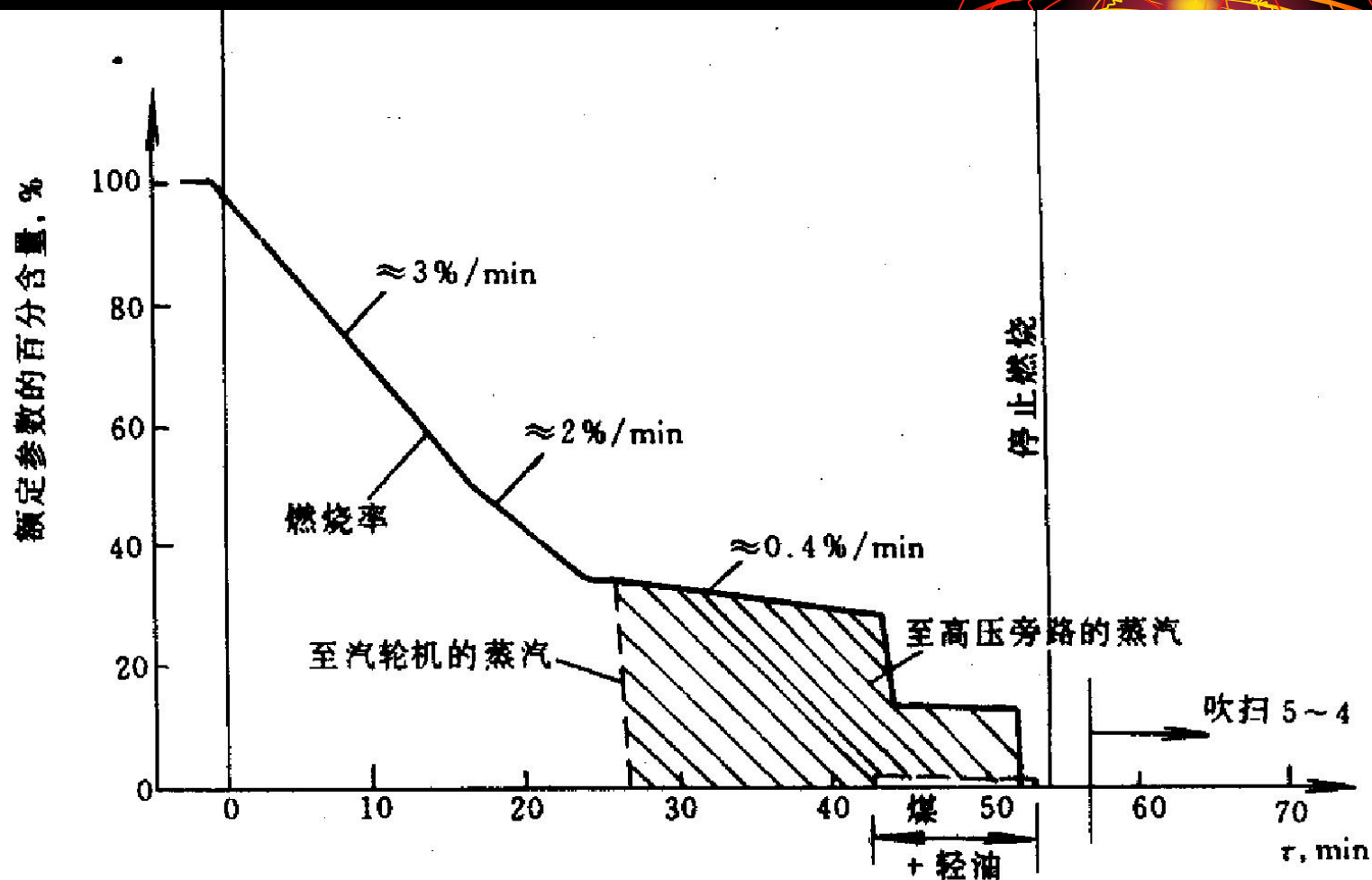
机组启动至上一次停用的时间间隔少于5小时, 分离器压力大于4MPa时, 为热态启动。





4. 2 停运特性







4. 3 影响启动速度的主要因素

对于直流锅炉，启动分离器是厚壁部件，其对升温升压过程的影响与汽包相似。但由于壁厚比汽包小，且启动初水冷壁安全较好（建立了启动流量），所以升压速度可比汽包炉快一些。

启停速度和变负荷速度受汽水分离器和过热器出口集汽联箱的热应力限制，但主要限制因素是汽轮机的热应力和胀差。