

TS

超临界直流锅 炉基础理论

- **1 概述**
 - **1.1 名词定义**
 - **1.2 超临界直流炉的特点**
- **2 超临界直流锅炉的典型结构**
 - **2.1 蒸发受热面**
 - **2.2 启动系统**

1.1 名词定义

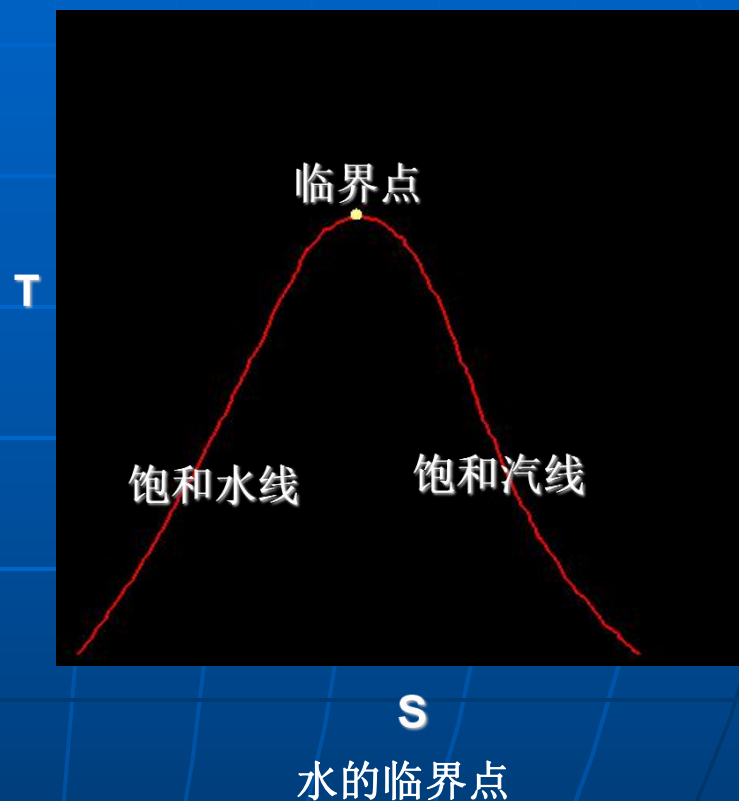
➤ 临界点、超临界、直流炉的定义

✓ 临界点：水在加热过程中存在一个状态点。

(1) 低于临界点压力，从低温下的水加热到过热蒸汽的过程中要经过汽化过程，即经过水和水蒸汽共存的状态；

(2) 如果压力在临界压力或临界压力以上时，水在加热的过程中就没有汽水共存状态而直接从水转变为蒸汽。

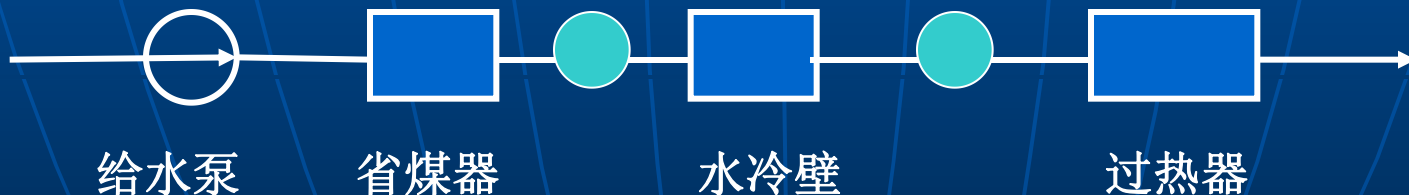
临界点的主要影响参数是压力，水的临界点压力为22.115MPa, 对应的温度374.15°C。



1.1 名词定义

- ✓ 超临界：当流体的压力和温度超过一定的值（临界点）时，流体会处于一种介乎于液态和气态的中间态，称为超临界态。对锅炉来说，主蒸汽压力超过（大于）临界点压力（22.12MPa）的工况
- ✓ 直流锅炉：工质依靠给水泵的压头一次通过加热、蒸发、过热各受热面而加热成为具有一定温度及压力的过热蒸汽。

给水流量 G = 蒸发量 D



1.2 超临界直流炉的特点

➤ 超临界直流炉的主要特点

✓ 热效率高，节约燃料

朗肯循环热效率随主蒸汽压力、温度的升高而提高，超临界压力机组比亚临界机组热效率提高2—3%，而超超临界机组的热效率比常规超临界机组的高4%左右。

在超超临界机组参数范围的条件下主蒸汽压力提高1MPa，机组的热耗率就可下降0.13%~0.15%；主蒸汽温度每提高10℃，机组的热耗率就可下降0.25%~0.30%；再热蒸汽温度每提高10℃，机组的热耗率就可下降0.15%~0.20%；在一定的范围内，如果增加再热次数，采用二次再热，则其热耗率可较采用一次再热的机组下降正1.4%~1.6%。

1.2 超临界直流炉的特点

✓取消汽包，能快速启停

与自然循环锅炉相比，直流炉从冷态启动到满负荷运行，变负荷速度可提高一倍左右。

✓水泵压头高

水冷壁的流动阻力全部要靠给水泵来克服，这部分阻力约占全部阻力的25%~30%。所需的给水泵压头高，既提高了制造成本，又增加了运行耗电量。

✓金属耗量少

锅炉本体金属消耗量最少，锅炉重量轻。一台300MW自然循环锅炉的金属重量约为5500t~7200t，相同等级的直流炉的金属重量仅有4500t~5680t，一台直流锅炉大约可节省金属2000t。加上省去了汽包的制造工艺，使锅炉制造成本降低

1.2 超临界直流炉的特点

✓ 需要专门的启动系统

直流锅炉启动时约有30%额定流量的工质经过水冷壁并被加热，为了回收启动过程的工质和热量并保证低负荷运行时水冷壁管内有足够的重量流速，直流锅炉需要设置专门的启动系统，而且需要设置过热器的高压旁路系统和再热器的低压旁路系统。加上直流锅炉的参数比较高，需要的金属材料档次相应要提高，其总成本不低于自然循环锅炉。

✓ 需要汽水分离器

系统中的汽水分离器在低负荷时起汽水分离作用并维持一定的水位，在高负荷时切换为纯直流运行，汽水分离器作为通流承压部件。

✓ 需要较高的质量流速

为了达到较高的质量流速，必须采用小管径水冷壁。这样，不但提高了传热能力而且节省了金属，减轻了炉墙重量，同时减小了锅炉的热惯性。

1.2 超临界直流炉的特点

✓ 热惯性小

水冷壁的金属储热量和工质储热量最小，即热惯性最小，使快速启停的能力进一步提高，适用机组调峰的要求。

但热惯性小也会带来问题，它使水冷壁对热偏差的敏感性增强。当煤质变化或炉内火焰偏斜时，各管屏的热偏差增大，由此引起各管屏出口工质参数产生较大偏差，进而导致工质流动不稳定或管子超温。

✓ 流动阻力大

为保证足够的冷却能力和防止低负荷下发生水动力多值性以及脉动，水冷壁管内工质的重量流速在MCR负荷时提高到 $2000\text{kg}/(\text{m}^2\cdot\text{s})$ 以上。加上管径减小的影响，使直流锅炉的流动阻力显著提高。

1.2 超临界直流炉的特点

✓ 汽温调节

汽温调节的主要方式是调节燃料量与给水量之比，辅助手段是喷水减温或烟气侧调节。由于没有固定的汽水分界面，随着给水流量和燃料量的变化，受热面的省煤段、蒸发段和过热段长度发生变化，汽温随着发生变化，汽温调节比较困难。

✓ 容易发生水动力不稳定

低负荷运行时，给水流量和压力降低，受热面入口的工质欠焓增大，容易发生水动力不稳定。由于给水流量降低，水冷壁流量分配不均匀性增大；压力降低，汽水比容变化增大；工质欠焓增大，会使蒸发段和省煤段的阻力比值发生变化。

✓ 水冷壁可灵活布置

水冷壁可灵活布置，可采用螺旋管圈或垂直管屏水冷壁。采用螺旋管圈水冷壁有利于实现变压运行。

1.2 超临界直流炉的特点

✓ 热偏差影响大

超临界压力直流锅炉水冷壁管内工质温度随吸热量而变，即管壁温度随吸热量而变。因此，热偏差对水冷壁管壁温度的影响作用显著增大。

✓ 存在传热恶化的可能

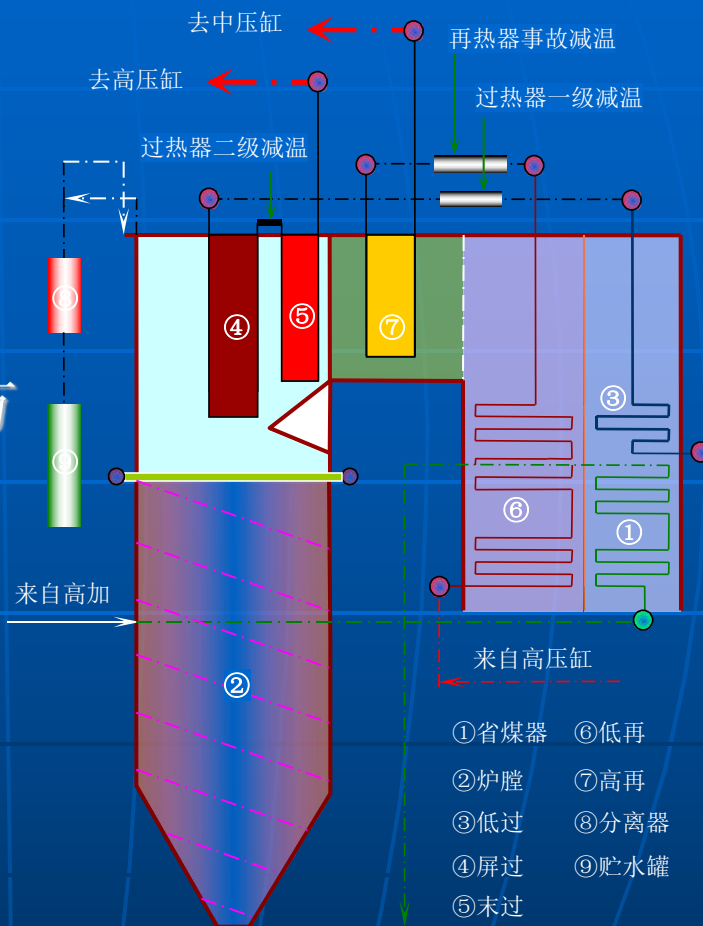
变压运行的超临界参数直流炉，在亚临界压力范围和超临界压力范围内工作时，都存在工质的热膨胀现象。在亚临界压力范围内可能出现膜态沸腾；在超临界压力范围内可能出现类膜态沸腾。

TS2 超临界直流锅炉的典型结构

➤ 锅炉典型结构

大型超临界煤粉锅炉的整体布置主要采用Π型布置和塔式布置，也有T型布置方式。

Π型布置是传统普遍采用的方式，烟气由炉膛经水平烟道进入尾部烟道，在尾部烟道通过各受热面后排出。其主要优点是锅炉高度较低，尾部烟道烟气向下流动有自生吹灰作用，各受热面易于布置成逆流形式，对传热有利等。



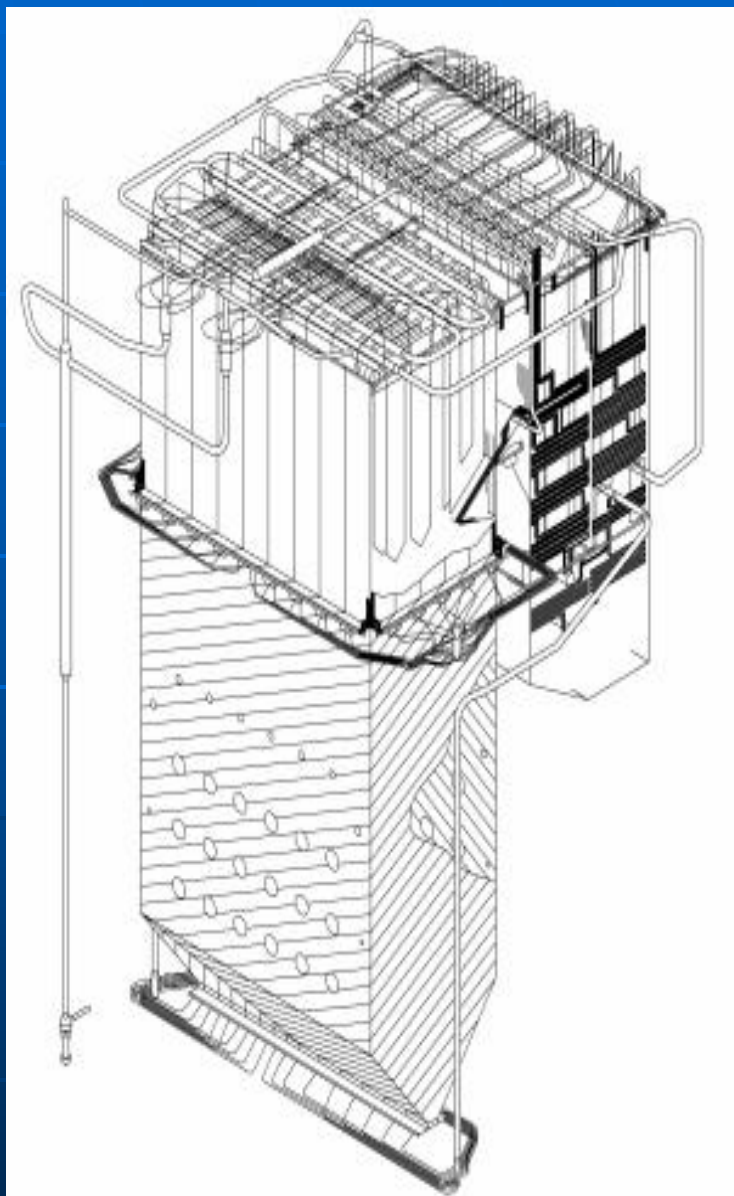
2.1 蒸发受热面

- 早期直流锅炉蒸发受热面的形式：
 - ✓ 本生型：蒸发受热面型式为多次垂直上升管屏
 - ✓ 苏尔寿型：蒸发受热面型式为多行程迂回管屏
 - ✓ 拉姆辛型：蒸发受热面型式为水平围绕管屏

- 现代直流锅炉蒸发受热面的主要型式
 - ✓ 垂直+内螺纹管
 - ✓ 垂直+螺旋光管.
 - ✓ 垂直+螺旋内螺纹管

2.1 蒸发受热面

- ✓ 水冷壁的构造
 - 对于超临界变压运行锅炉，螺旋管圈水冷壁是首先应用于超临界变压运行锅炉的水冷壁型式。
 - 炉膛水冷壁采用螺旋管圈+垂直管圈方式【即下部炉膛的水冷壁采用螺旋管圈，上部炉膛的水冷壁为垂直】，保证质量流速符合要求。
 - 水冷壁采用全焊接的膜式水冷壁
 - 水冷壁采用一次中间混合联箱来实现螺旋管至



2.1 蒸发受热面

螺旋管圈水冷壁炉管现有两种型式，一种是光管，另一种是内螺纹管。后者是为了强化传热、防止传热恶化。可使水冷壁运行更安全，更可靠。但是，内螺纹管水冷壁的成本将增加**10%—15%**。

采用螺旋管水冷壁具有如下的优点：

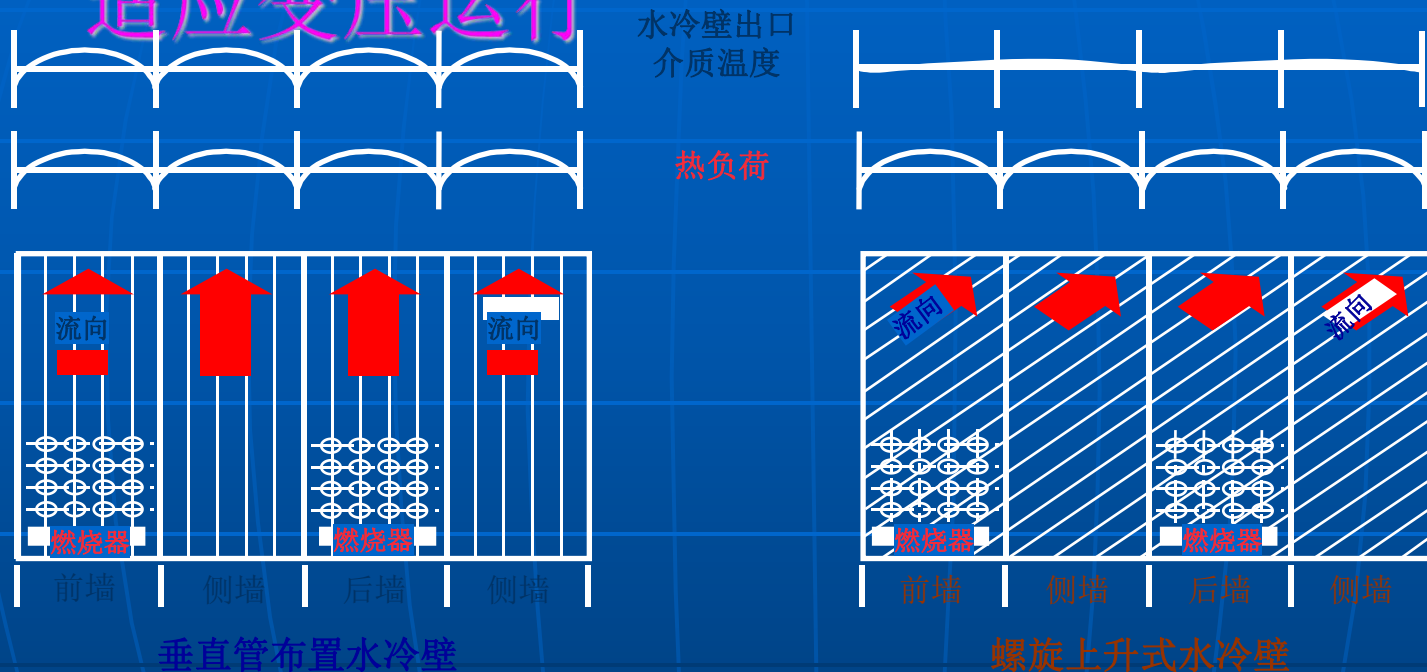
- 1) 蒸发受热面采用螺旋管圈时，管子数目可按设计要求而选取，不受炉膛大小的影响，可选取较粗管径以增加水冷壁的刚度；
- 2) 螺旋管圈热偏差小，工质流速高，水动力特性比较稳定，不易出现膜态沸腾，又可防止产生偏高的金属壁温；
- 3) 无中间混合联箱，不会产生汽水混合物不均匀分配的问题；
- 4) 可采用光管，不必有制造工艺较复杂的内螺纹管，而可实现锅炉的变压运行和带中间负荷的要求。

2.1 蒸发受热面

- 5) 不需在水冷壁入口处和水冷壁下集箱进水管上装设节流圈以调节流量;
- 6) 螺旋形管圈对燃料的适应范围比较大, 可燃用挥发分低、灰分高的煤;
- 7) 能变压运行, 快速启停, 能适应电网负荷的频繁变化, 调频性能好。

2.1 蒸发受热面

内螺纹螺旋管圈水冷壁：管间吸热偏差小，
适应变压运行



螺旋管在盘旋上升的过程中，每根管子都经过炉膛下部高热负荷区域的整个周界，途经宽度方向不同热负荷分布的区域。因此，螺旋管的每个管子，以整个长度而言，热偏差很小

2.2 启动系统

➤ 启动系统

✓ 作用

- 1) 锅炉给水系统和水冷壁及省煤器的冷态和温态水冲洗，并将冲洗水通过扩容器和疏水箱排入循环水出口或凝汽器。
- 2) 满足锅炉冷态、温态、热态和极热态启动的需要，直到锅炉达到30%BMCR最低直流负荷，由湿态运行转入干态运行为止。
- 3) 只要水质合格，启动系统可完全回收部分工质及其所含的热量。
- 4) 锅炉转入直流运行时，启动系统处于热备用状态，一旦锅炉渡过启动期间的汽水膨胀期，即通过给水泵进行炉水再循环。在最低直流负荷以下运行，贮水箱出现水位时，将根据水位的高低自动打开相应的水位调节阀，进行炉水再循环。
- 5) 启动分离器系统也能起到在水冷壁出口集箱与过热器之间的温度补偿作用，均匀分配进入过热器的蒸汽流量。

启动系统由如下设备和管路组成：

- 2只汽水分离器及其引入与引出管系统。
- 一只立式贮水箱。
- 由贮水箱底部引出的疏水总管。
- 通往扩容器的疏水管，装有传动装置的水位调节阀及截止阀。
- 启动系统暖管管路
- 到锅炉过热器喷水管道及喷水旁路。在锅炉干态运行时，由于暖阀管道一直有水进入，因此分离器贮水箱中的水位在升高，在暖管管路上设有调节阀，该调节阀主要用于控制进入疏水管路中的暖管水流量，使之与贮水箱中的蒸发量相匹配，避免因暖管流量的引入造成贮水箱水位过高；另外，开启喷水旁路管道也可降低贮水箱水位。

2.2 启动系统

➤ 分离器

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。我厂采用此这种

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。

2.2 启动系统

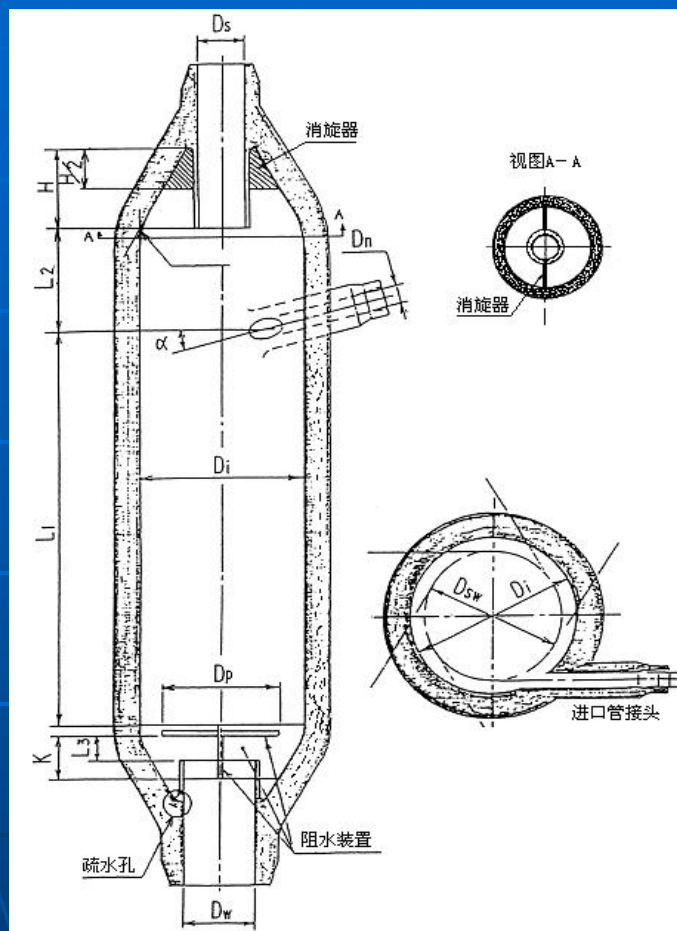


图1 启动分离器结构简图

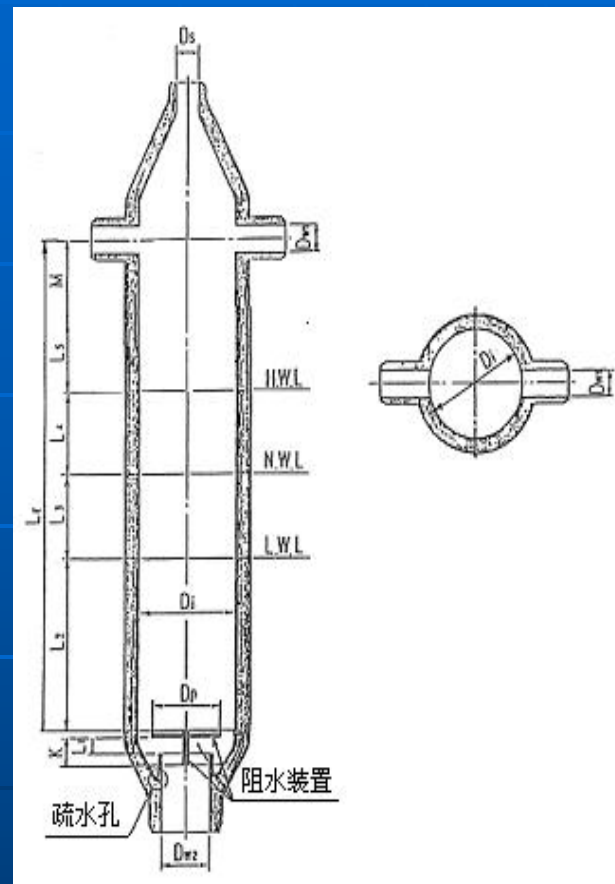


图2 启动分离器储水罐结构简图

我厂启动系统简介：

启动分离器为立式筒体，共2只，布置在锅炉前部的上方，从水平烟道侧包墙和管束出口集箱出来的介质经6根下倾 15° 的切向引入管在分离器的顶端引入，在直流负荷下汽水混合物在分离器内高速旋转，并靠离心作用和重力作用进行汽水分离。在分离器内的中部偏上位置布置有脱水装置，其作用是消除介质旋转和向下的动能，使分离器及与之相连的贮水箱中的水位稳定。在分离器的底端布置有水消旋器并连接一根出口导管，将分离出来的水引至贮水箱；在分离器的上端布置有蒸汽消旋装置并也连接1根出口导管，将蒸汽引至顶棚过热器入口集箱。每只分离器通过两根吊杆悬吊在锅炉顶板上。贮水箱数量为1只，也是立式筒体，外径为 $\phi 762\text{mm}$ ，壁厚为 120mm ，筒身有效高度约为 19.736m ，在其下部共有2根来自分离器的径向连接管分两层引入分离器的疏水。贮水箱和2只分离器平行、并联布置，因此分离器和分离器出水管都提供一定的有效贮水容积，使得贮水箱的体积相对减小。由于贮水箱和分离器并联可能因相互间的压力不均衡而引起各自的水位波动，因此在贮水箱上部引出2根 $\phi 76 \times 14$ 的压力平衡管与分离器相连来保持压力的平衡。