

# 一、工业锅炉水位控制系统构成

## 1、物位测量的基本概念和分类

- 物位测量的范围：是液位、料位、界位的总称。
- 物位测量传感器的分类：连续式物位传感器、开关式物位传感器（也叫物位开关）。

# 物位测量的主要方法和分类

基于力学原理	静压式 (液位)	连通器式
	差压式	
	压力式	
	浮力 (液位)	
基于相对变化原理	重锤式 (粉末)	
	声学式	超声波物位计
	微波式	
基于某强度性物理量随物位升高而增加的原理	激光式	
	核辐射式	
	电气式	电阻式 电感式 电容式

# 汽包水位测量的背景知识

## 汽包水位测量的重要性

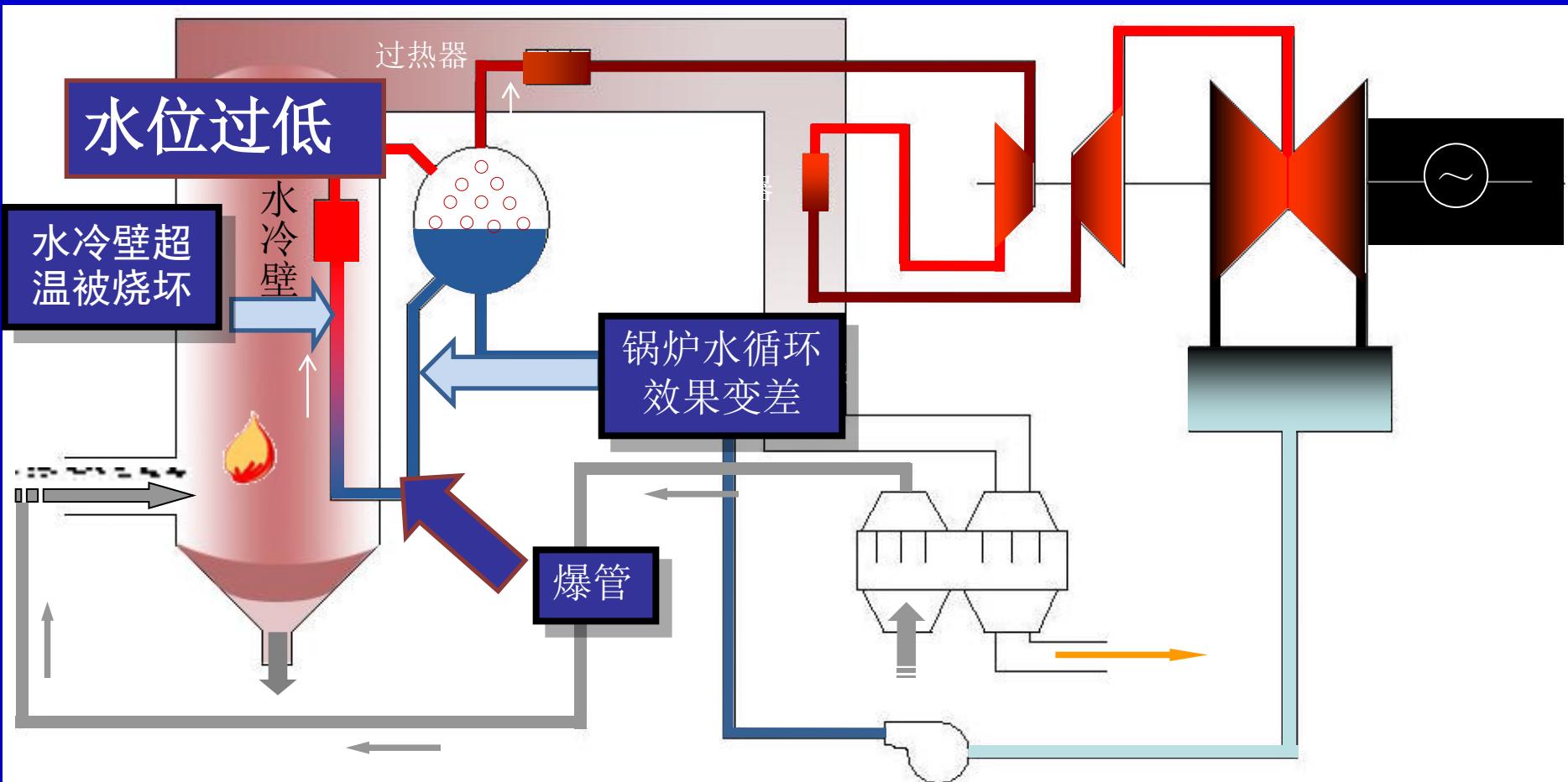


图1 火电厂生产流程

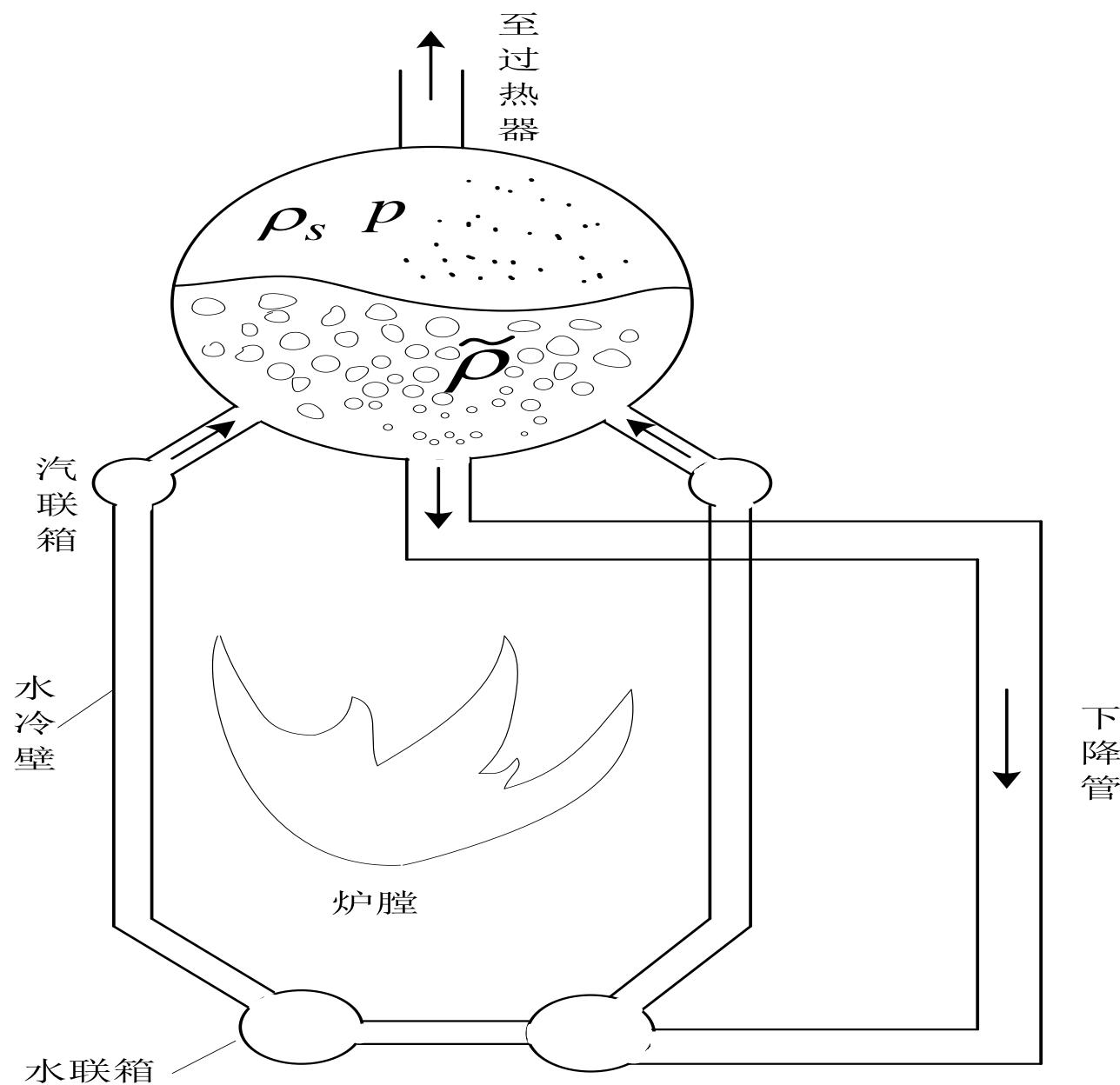
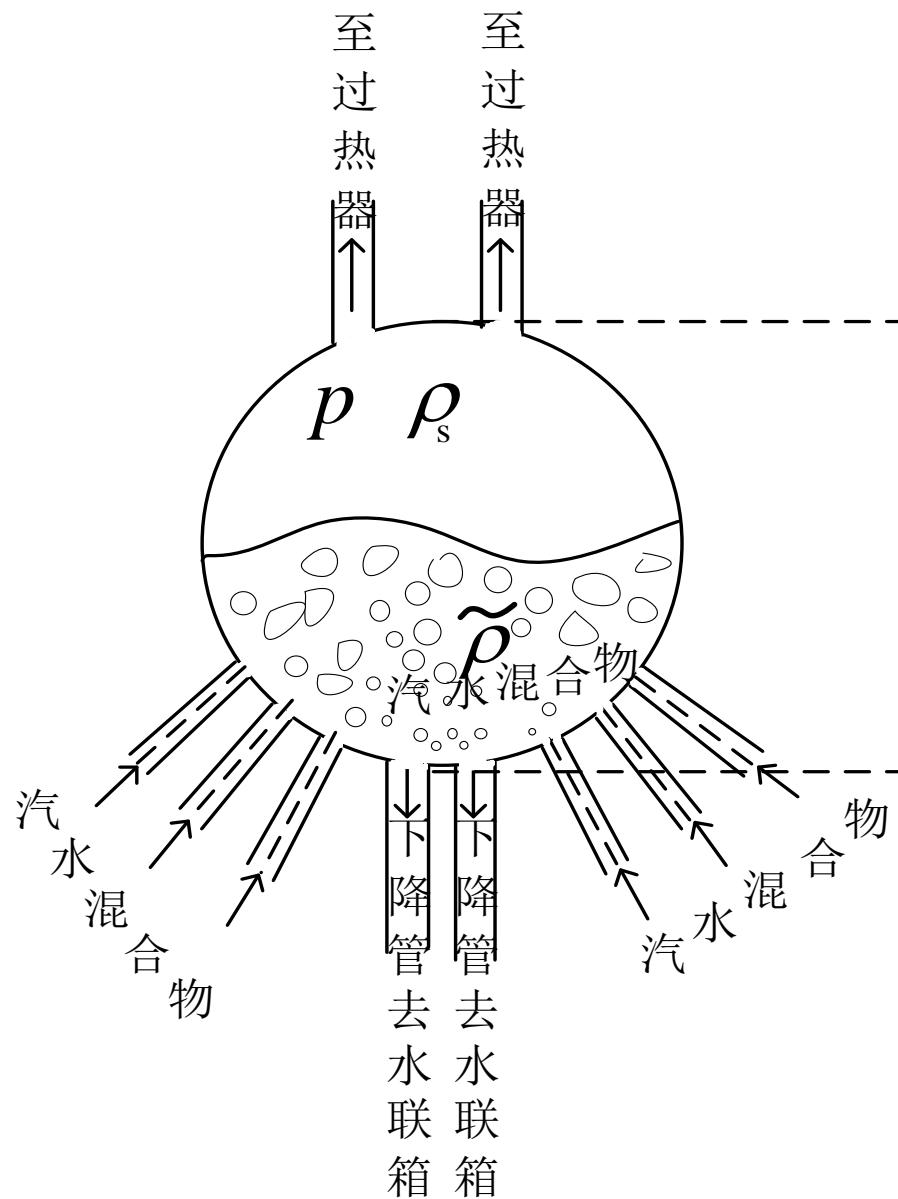
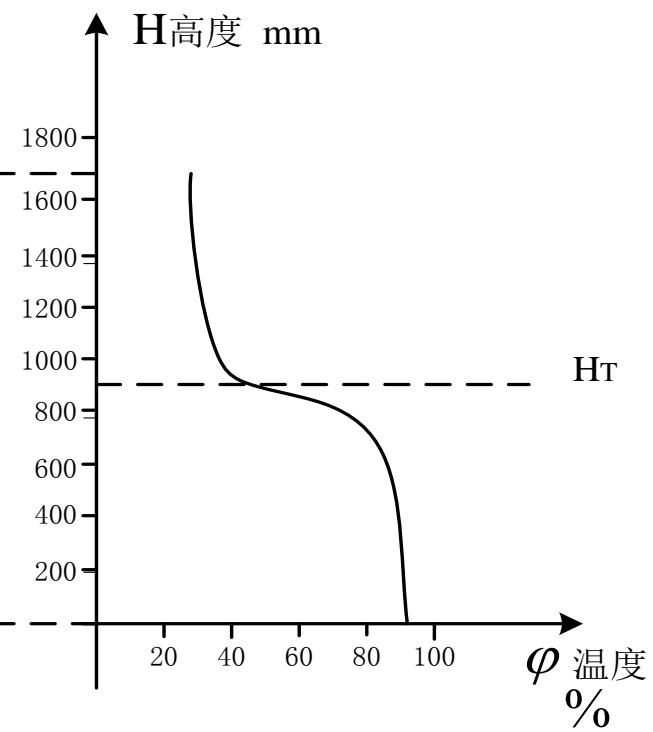


图1.汽包内工质循环示意图



(a) 汽包内汽水分布示意图



(b) 汽包内温度分布曲线

图2. 锅炉汽包实际水位示意图

## 2、电厂的水位测量

电厂的水位测量：汽包、除氧器、凝汽器、高低压加热器等。



为什么火电厂中汽包水位的测量难度最大？

汽包中汇集了具有高温、高压的沸腾水和饱和蒸汽，汽包内壁也布置了不对称的上升管和下降管，在机组参数(负荷、汽压、汽温)的不断变化中，汽包内的汽和水的两相物质很难有个稳定的界面。

## 汽包水位的名称有三种：

◆ 实际水位：汽包内每根垂线上取出汽水混合物湿度变化率最大的这个点，然后由无数个这样的点所连成的液面。

实际应用中，目前尚未能测出这种实际水位。

◆ 重量水位实际上是将水位上、下联管间的测量段的汽水混合物密度，折合成汽包工作压力下饱和水密度时相应的水位，称为“重量水位”。

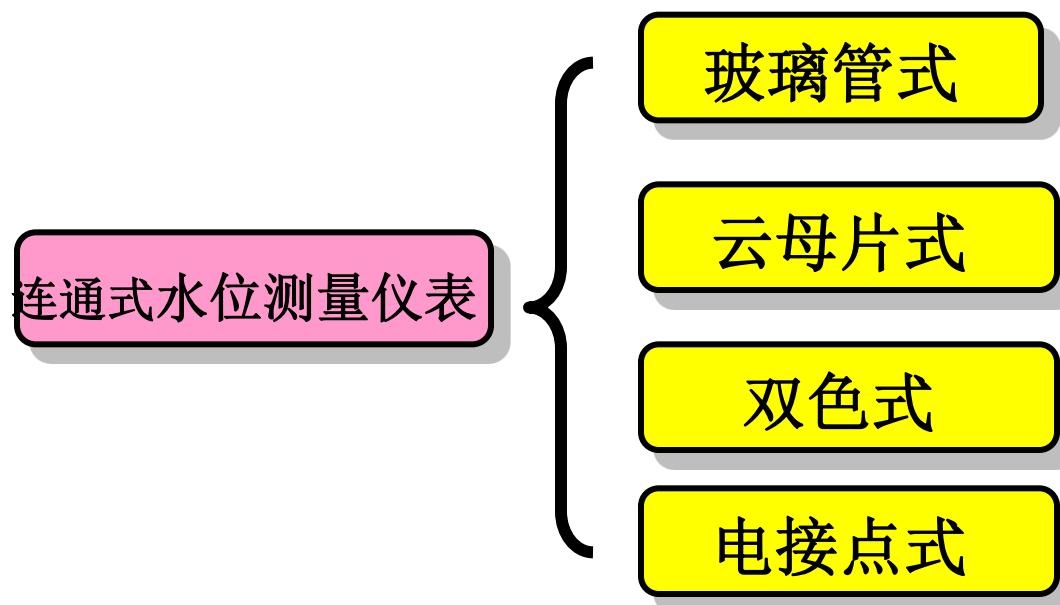
之所以称为“重量水位”，是因为此时此境的水位最理想地表征锅炉运行中所包含的蓄水量（重量）水位。也表征着锅炉蒸汽负荷量（输出）与给水流量（输入）的平衡程度。

◆ 指示水位：无论哪种水位计所测出的汽包水位值都称为指示水位。

设计和制造出某种水位计，能使指示水位值等于重量水位值，方可确保锅炉说为的正常运行。

## 二、连通器式水位测量仪表

连通式水位测量仪表的种类

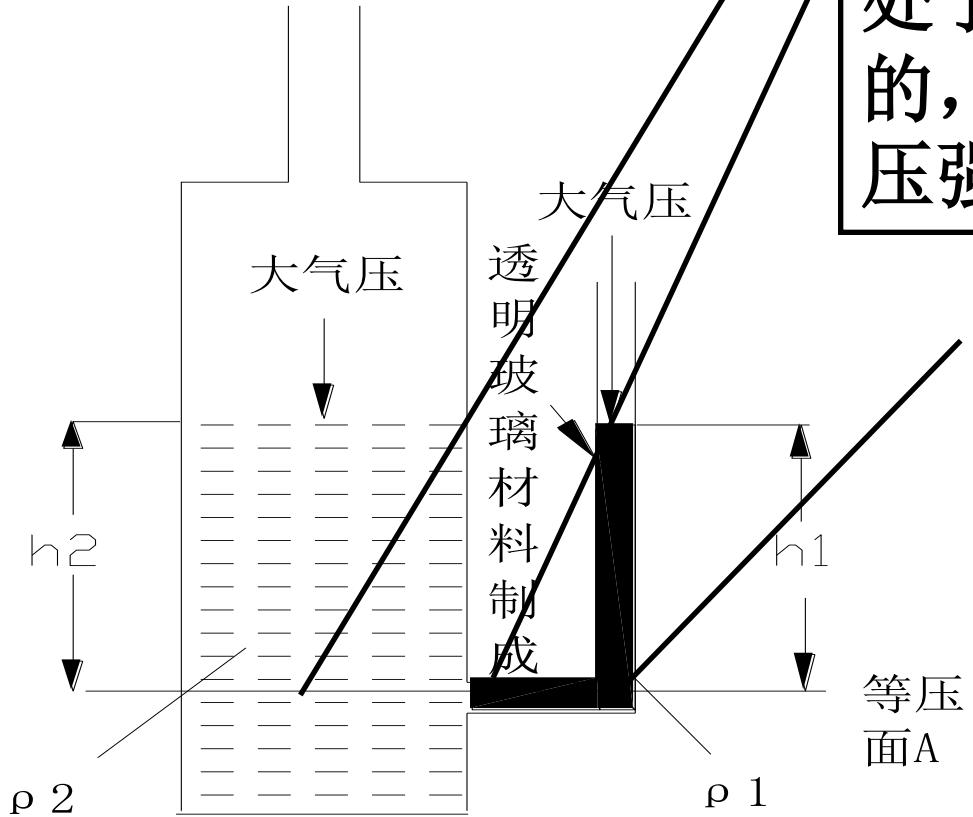


# 1、玻璃管式



➤ 玻璃管式水位计测量的优点？能用于汽包水位就地指示吗？

# 常压锅炉玻璃管水位计原理：



$$\text{该面上压强} = \rho_2 h_2 g + p_0$$

处于连通，状态参数相同的，且在同一水平面上的压强相等。

$$\text{该面上压强} = \rho_1 h_1 g + p_0$$

锅炉内大气压和玻璃管内大气压相同，只要两者密度相同（温度相同）， $h_1 = h_2$



玻璃管液位计

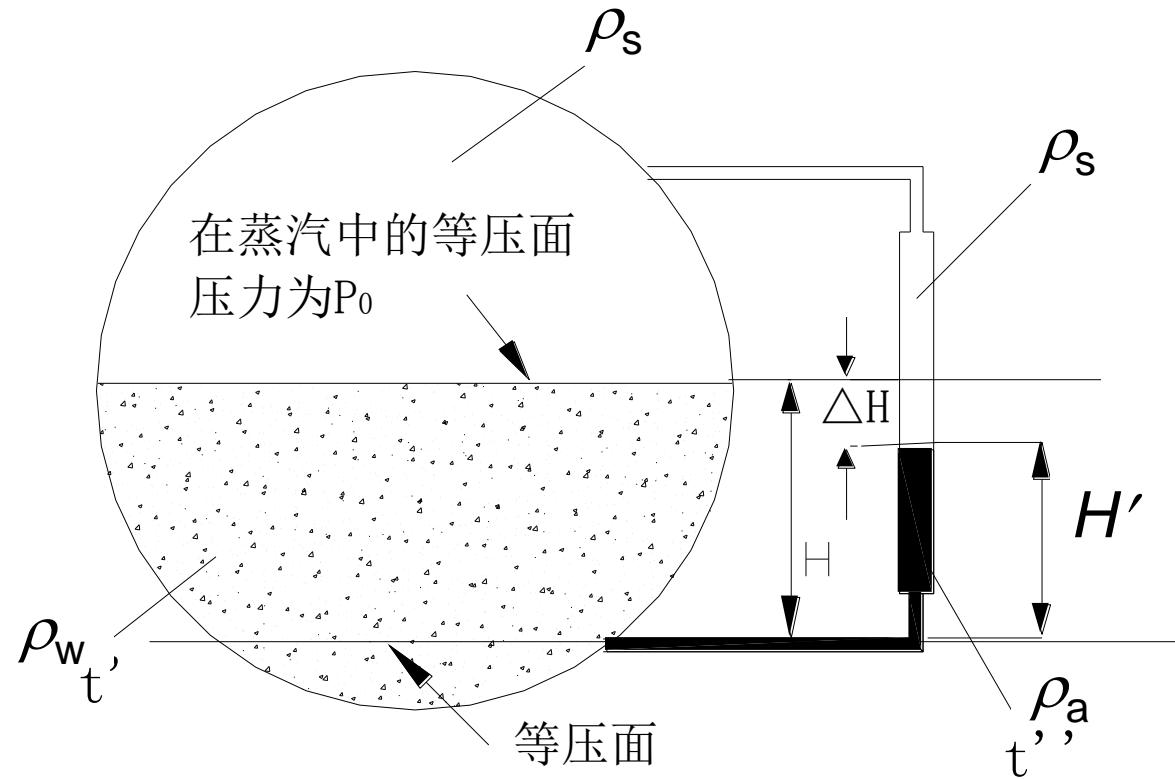
## 2、云母水位计

云母水位计是连通式水位计中使用最早、结构最简单、运行最可靠的水位显示装置。它只能用连通管在汽包附近适当位置就地安装，属于就地式仪表。在过去仪表不发达的年代，主要靠这种仪表监视汽包水位。

现在，随着仪表的发展和更新，通过摄像机将云母水位直接传递到控制室，作为水位的参考信号供运行人员分析使用。



## ➤列写云母水位计实际水位和示值水位关系式？



$$H = \frac{\rho_a - \rho_s}{\rho_w - \rho_s} H'$$

$H$ 是汽包实际的重量水位

$H'$ 是云母水位计的指示值

$\rho_a$ 是云母水位计的水平均密度

$\rho_w$ 是饱和水密度

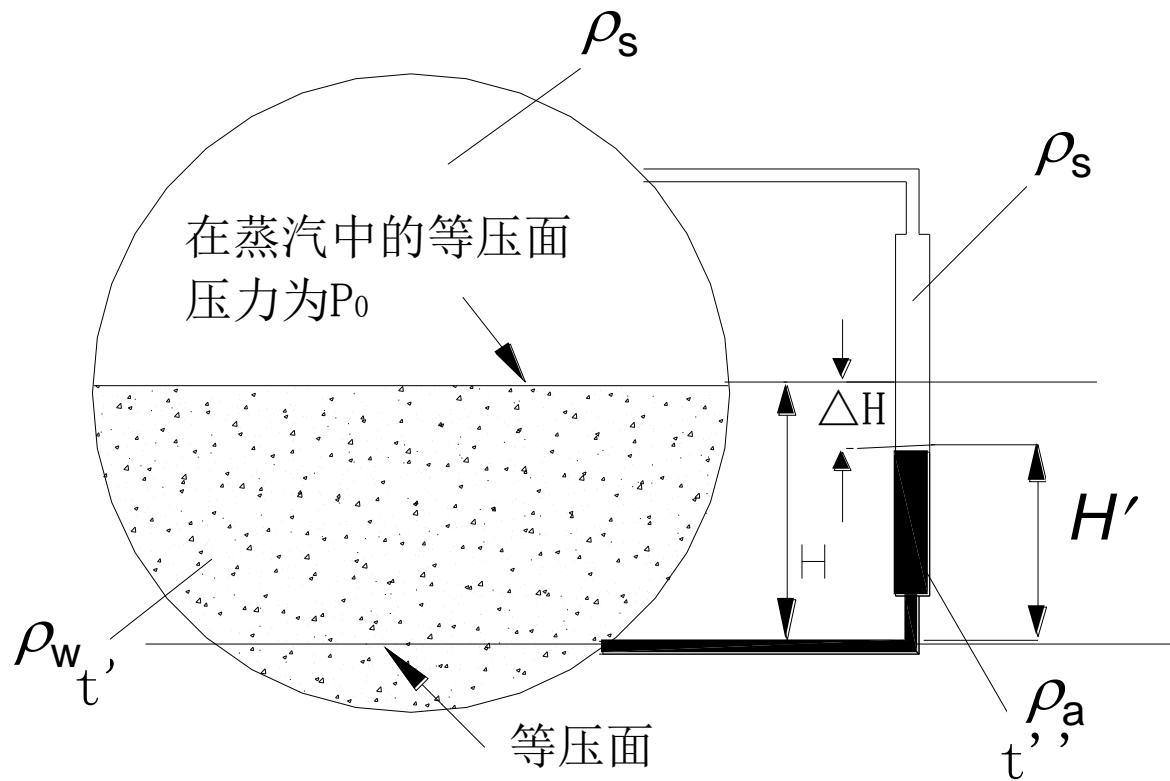
$\rho_s$ 是饱和蒸汽密度

一般情况下，有

$\rho_a > \rho_w > \rho_s$

故有  $H' < H$

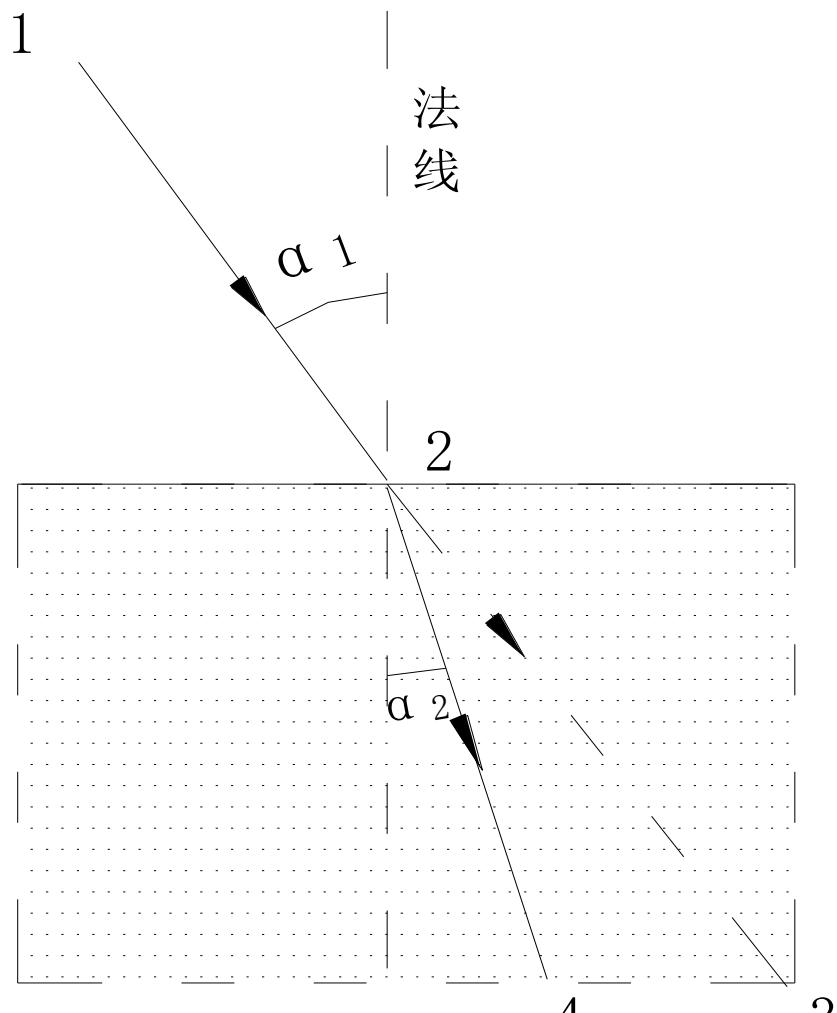
# 云母水位计



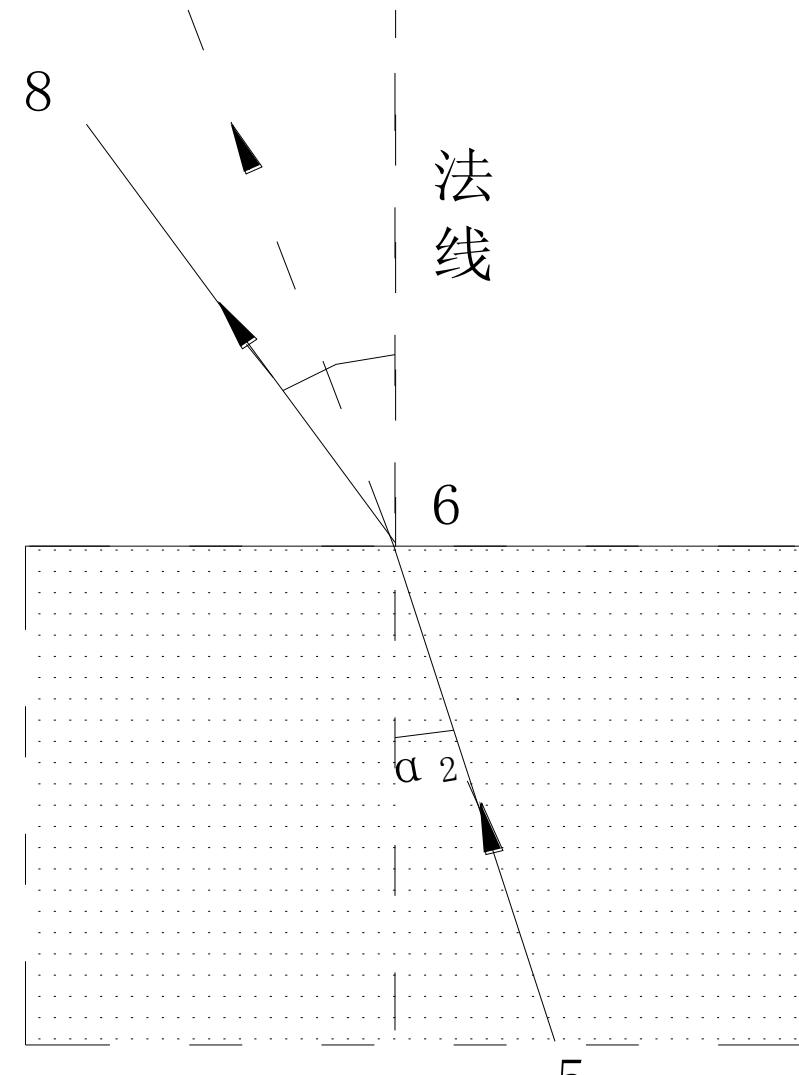
主要特点：  
显示直观，维修方便，价格便宜。  
玻璃不能承受汽包的高温高压。

### 3、双色水位计

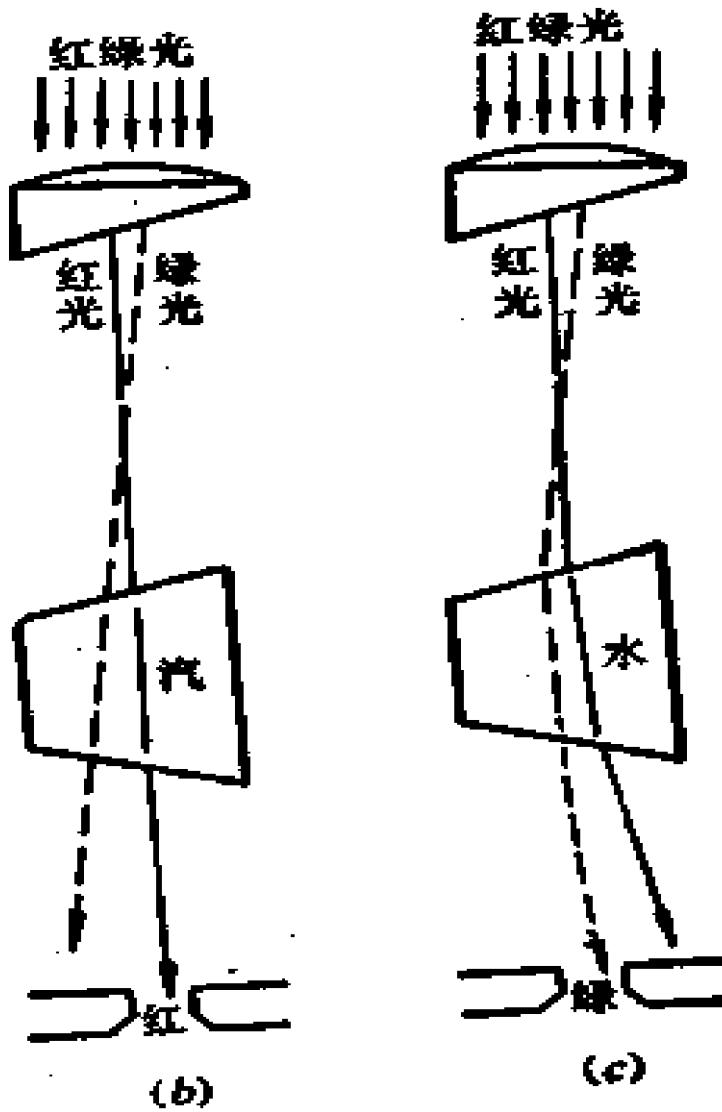
- 改进了云母水位计的结构，辅以光学系统，利用光从空气进入蒸汽或水产生不同的折射，使汽水分界面显示成红、绿两色的分界面，显示清晰，并有利于电视远传
- 双色水位计的优点：显示清晰、结构简单、水位图像还可用视频信号远传到控制室，因此应用越来越广泛。



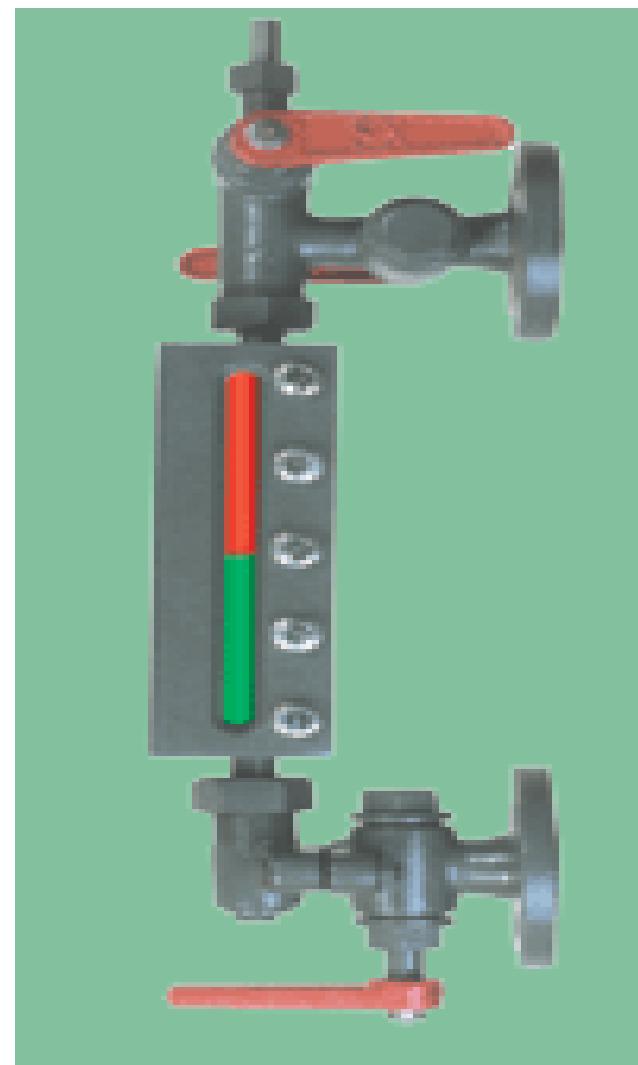
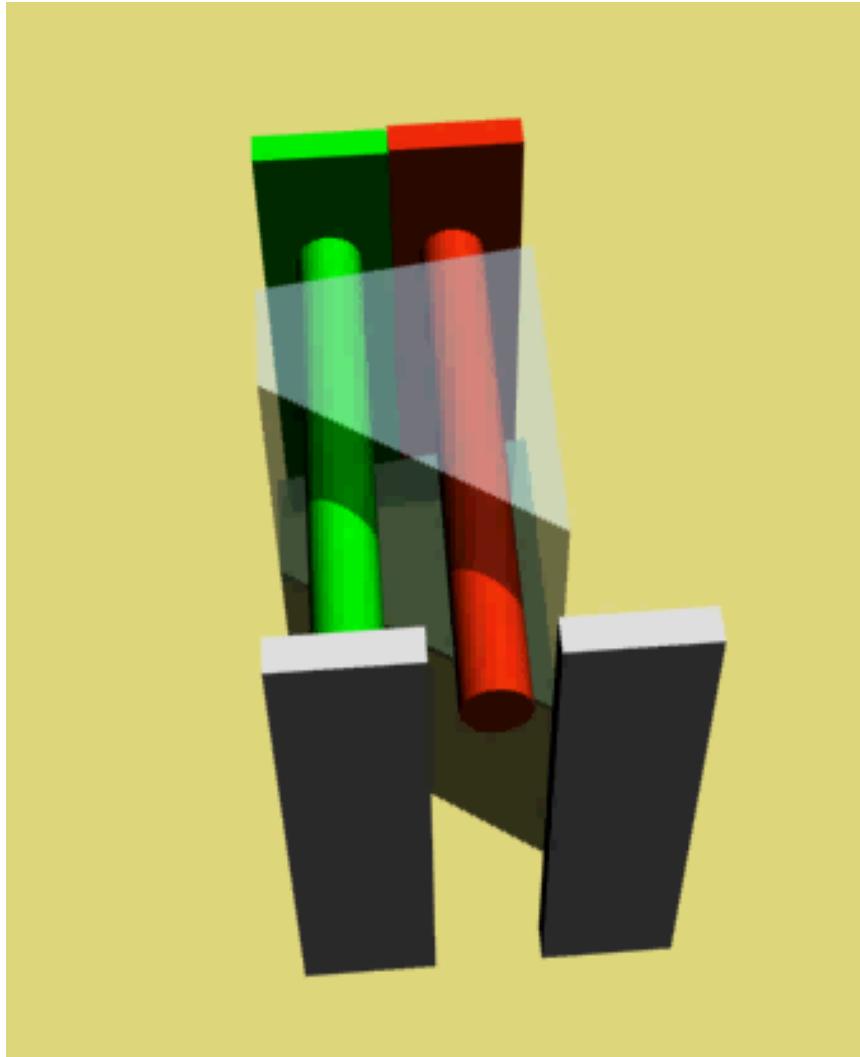
(a) 光线由光疏到光密投射



(b) 光线由光密到光疏投射



双色水位计显示效果：汽红水绿，即蒸汽在缝隙处显示红色，饱和水在缝隙处显示绿色。



双色水位计显示效果：汽红水绿，即蒸汽在缝隙处显示红色，饱和水在缝隙处显示绿色。

## 多窗式双色水位计：

- 超高压锅炉的双色水位计沿水位计高度开多个圆形窗口，减小玻璃板受力。
- 缺点：盲区。小窗之间有一小段不透明，看不见水位分界面。

## 4、电接点水位计

电接点水位计主要用于各种汽包水位的监控及高、低压加热器、除氧器、蒸发器、直流锅炉启动分离器、水筒等的水位测量。

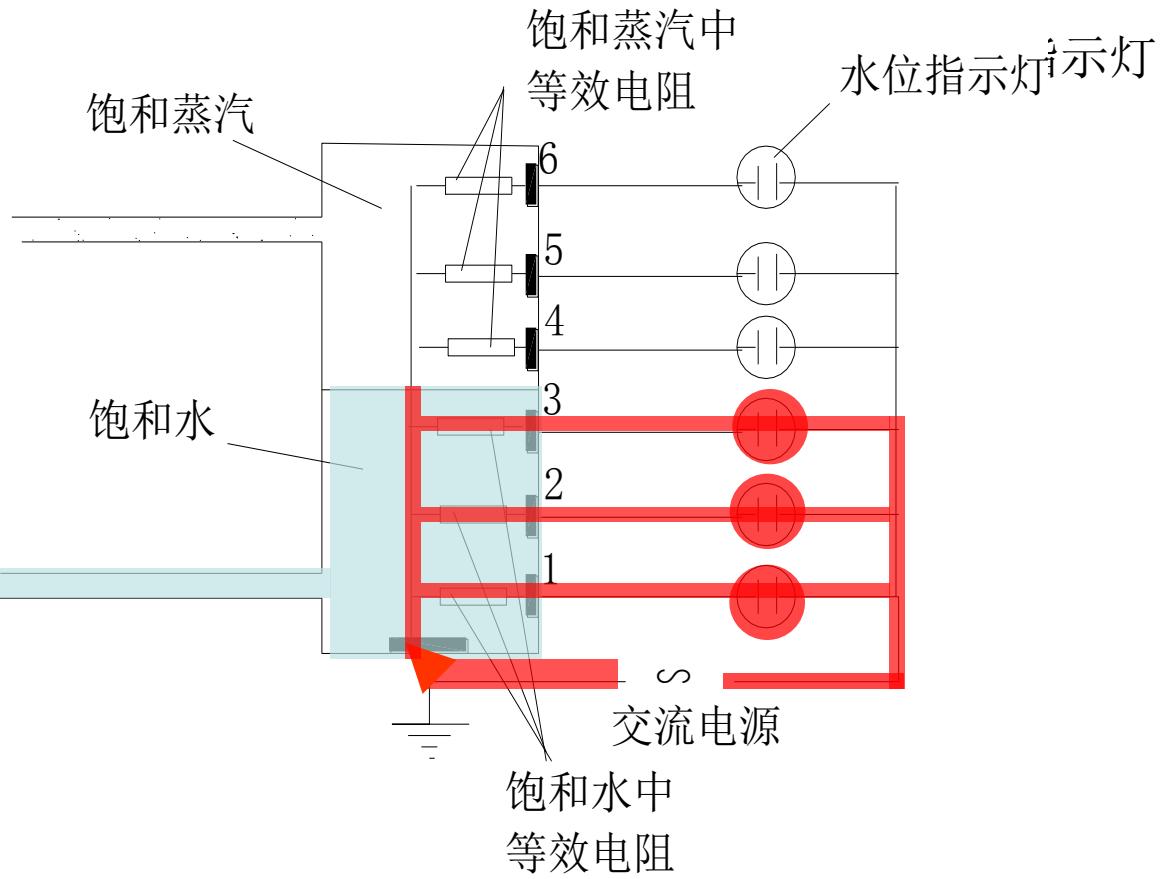
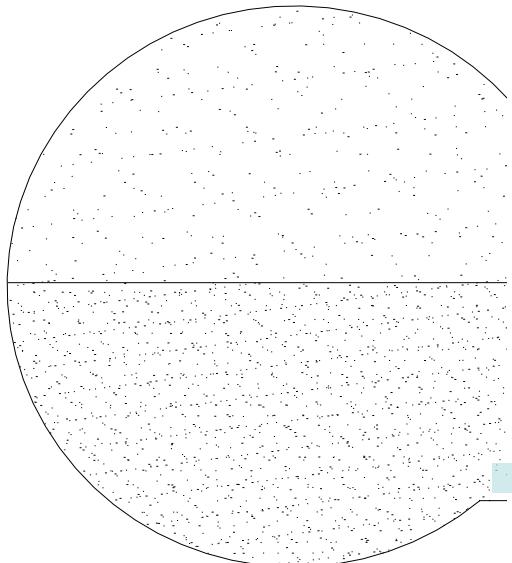
### 1. 测量原理

电接点水位计的水位检测是利用水和蒸汽的电阻率明显不同的特性来实现水位和电信号之间转换。实验证明，在 $360^{\circ}\text{C}$ 以下的纯水，其电阻率小于 $10^4\Omega \cdot \text{m}$ ，而蒸汽的电阻率大于 $10^6\Omega \cdot \text{m}$ （**数据说明同样体积水的电阻仅为同样体积蒸汽电阻的1%左右**）。

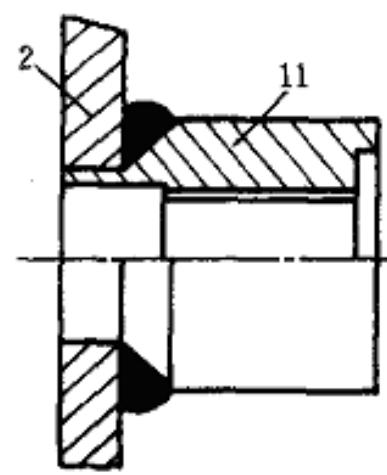
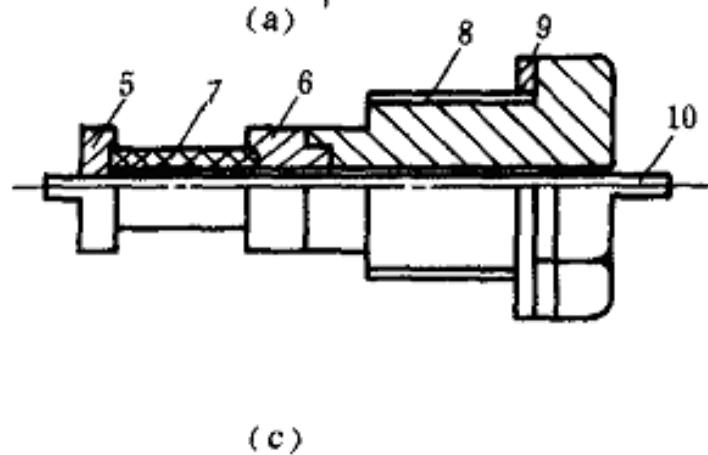
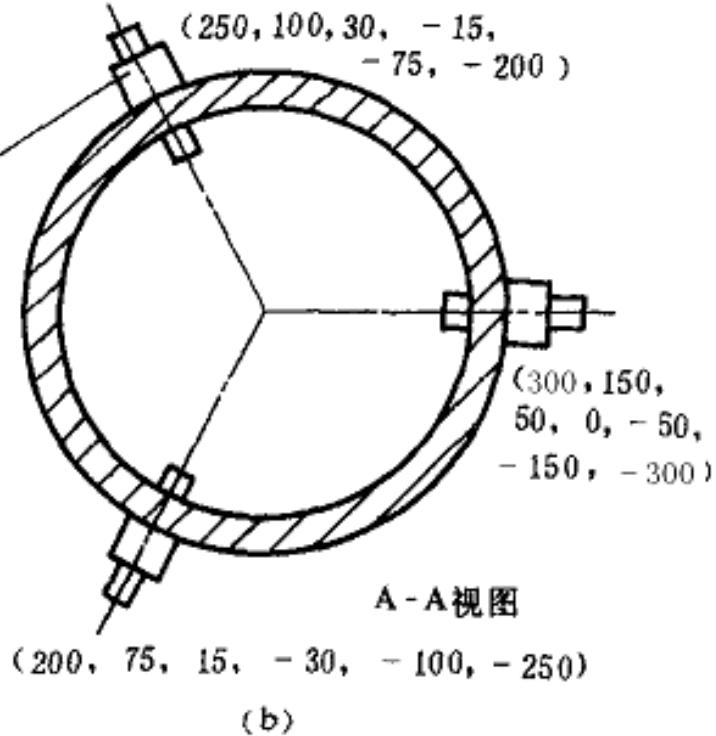
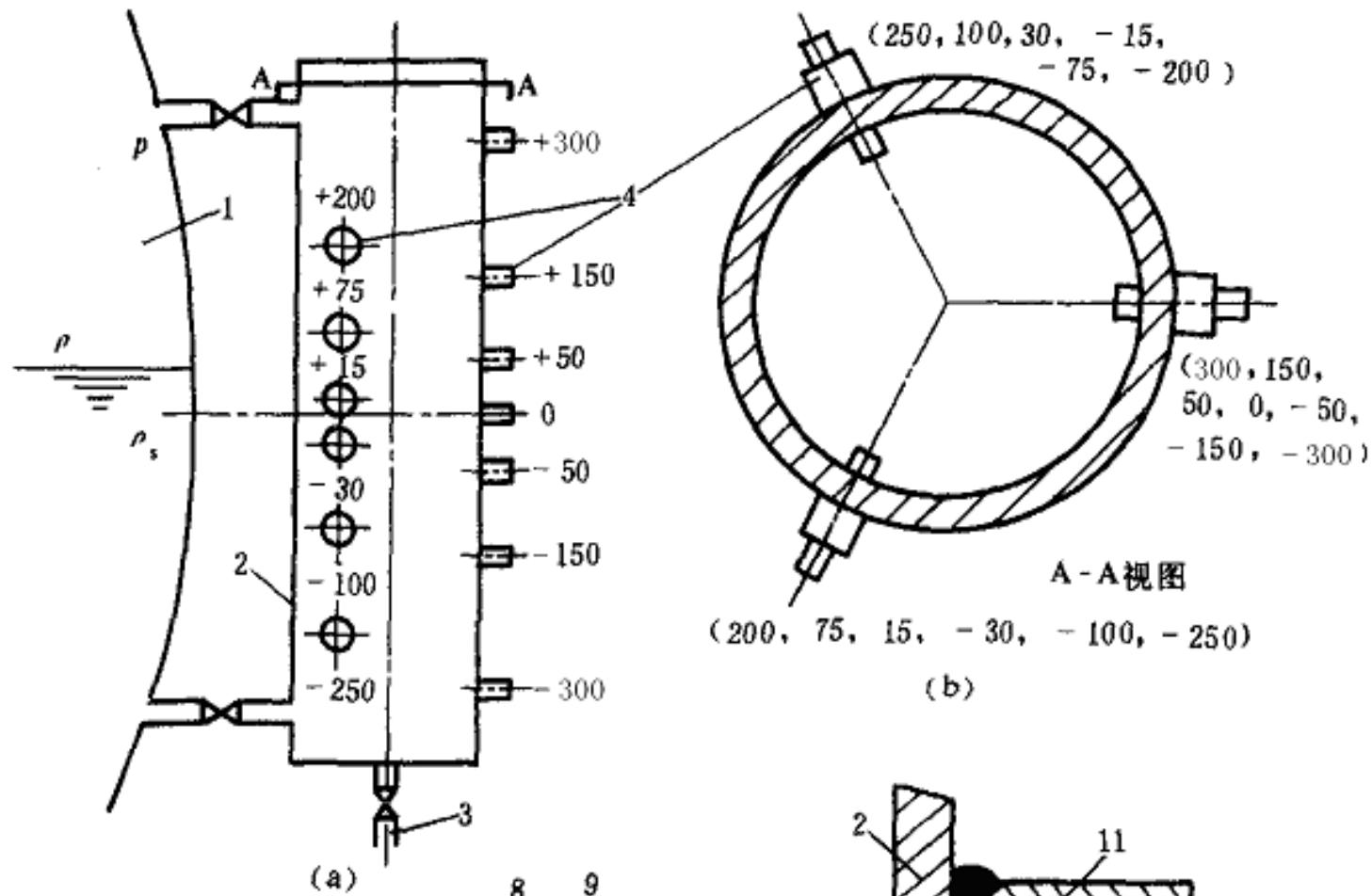
电接点水位计是将汽包内水位转换成相应电接点的通断状态，然后通过电信号远传来指示水位的。

电接点水位计由水位传感器和显示仪表两部分组成。

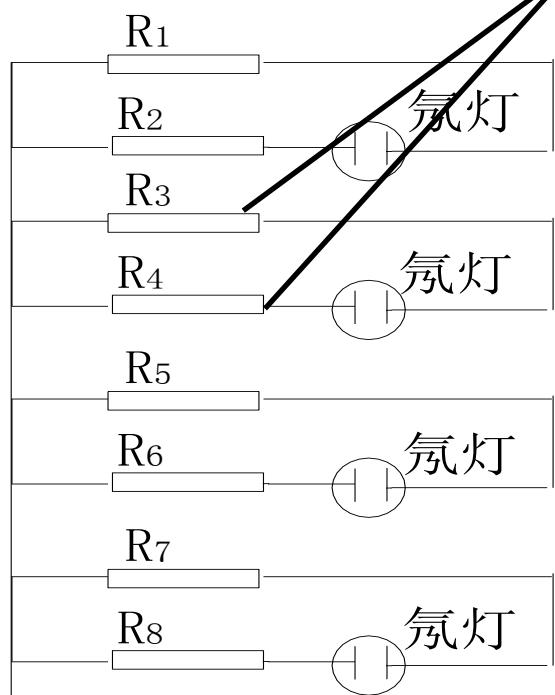
电接点水位计由测量桶、若干电接点、信号电缆、电源及显示器等组成。



利用与受压容器相连通的测量筒上的电接点浸没在水中与裸露在蒸汽中的电导率的差异，通过显示指示灯来显示液位的。



当接点淹没在蒸汽中时，  
由于蒸汽电阻大对应氖  
灯不发光。

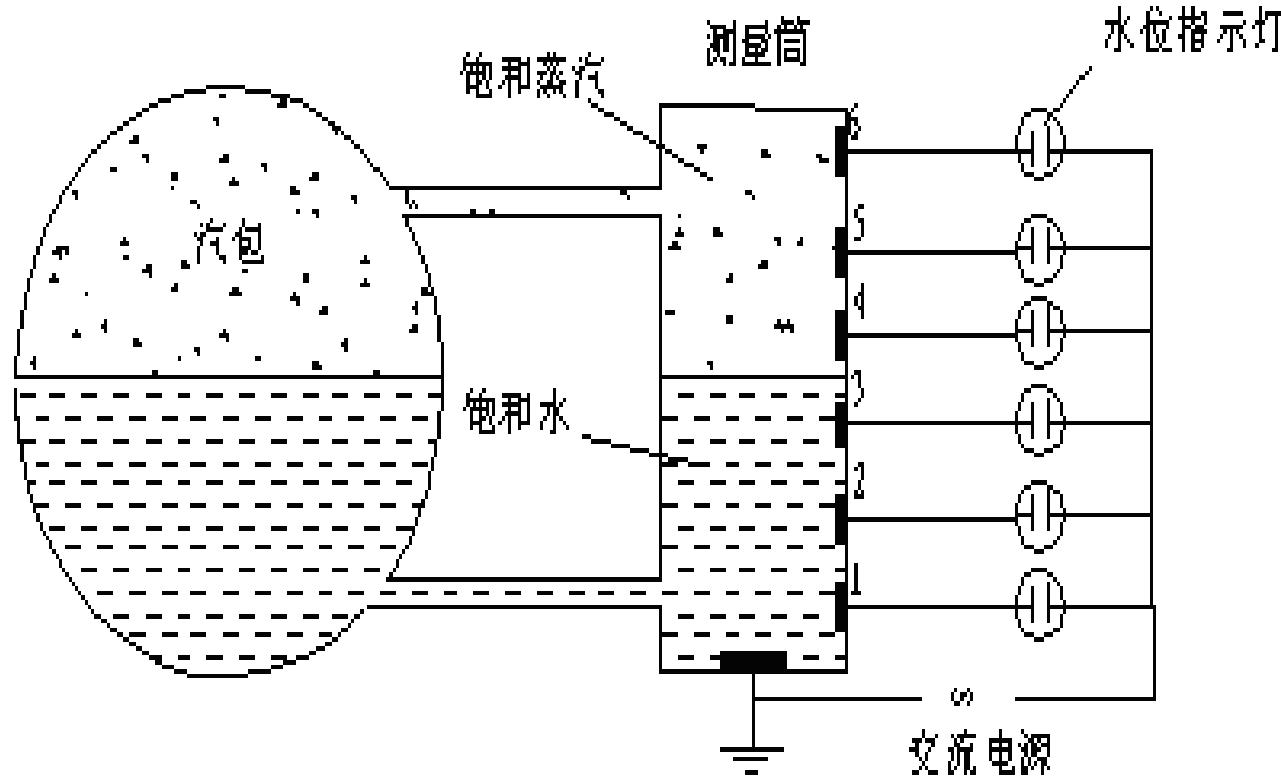


当氖灯没有击穿点亮时  
防治氖灯误点亮

当水将两个接点连通时，  
由于水的电阻小，而对  
应氖灯被点亮。

饱和蒸汽

饱和水



电接点水位计的输出信号变化带有阶跃性，接点之间的水位变化不能反映，**有死区**，



为了避免极化现象，采用交流供电。

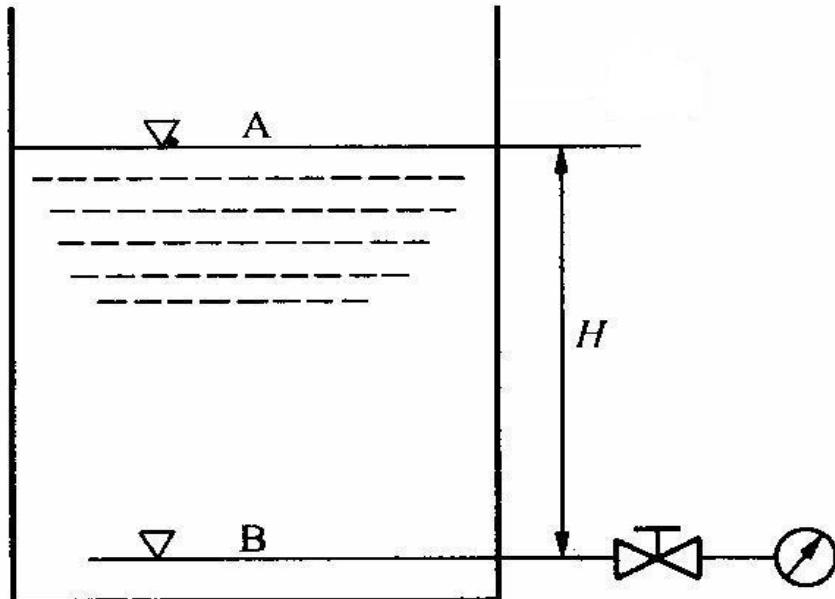
采用交流电源可能带来的问题？

### 三、连通器式水位误差分析

- 1、当连通器式水位计与被测容器的液体温度有差别时，连通器式水位计显示的液位低于容器中的液位，此误差还会随着容器内压力的改变而变化。
- 2、所有连通器式水位计都会因散热引起误差。

# 四、差压式水位计

## 1、压力式水位计



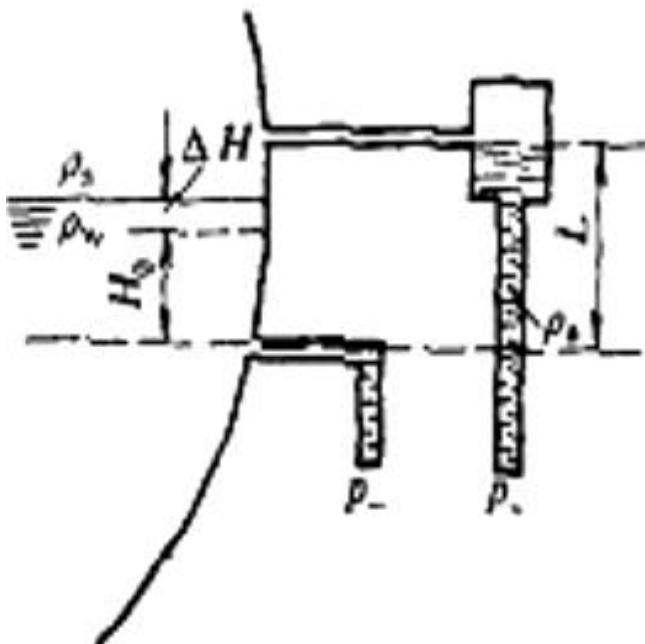
直接在底部容器安装一块压力表，利用底部压力与液位的关系来测量液位。

问题：这种压力式水位计能直接测量汽包水位吗？

## 2、差压式水位计的结构

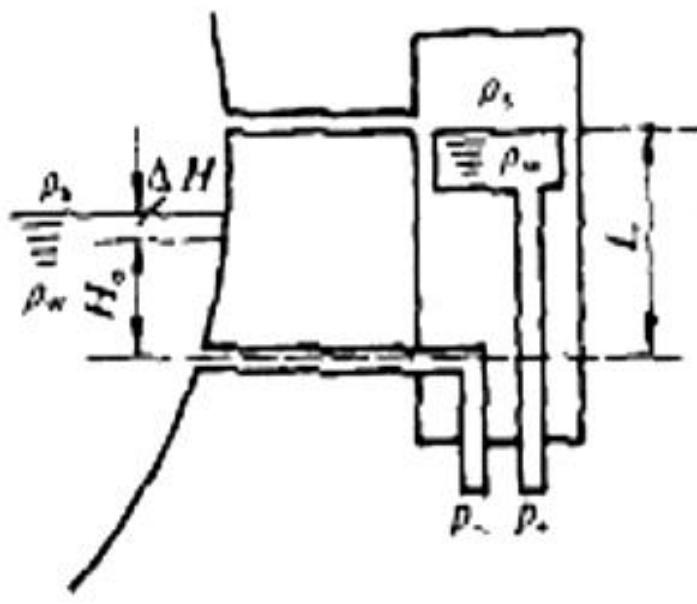
- 由水位平衡容器（水位检测元件）、差压变送器和显示或控制仪表三部分组成。
- 平衡容器的作用：将水位转换成压差。



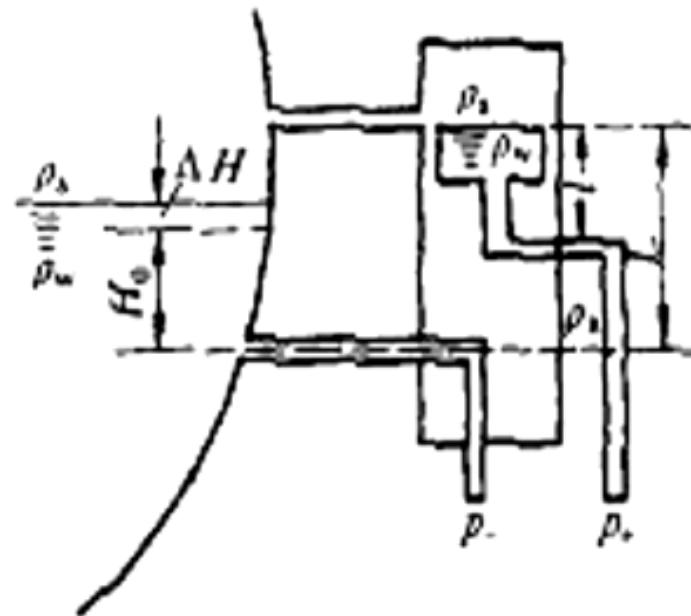


(a) 为单室平衡容器,  
 (b) 为双室平衡容器,  
 (c) 为结构补偿式双室平衡容器。

(a)

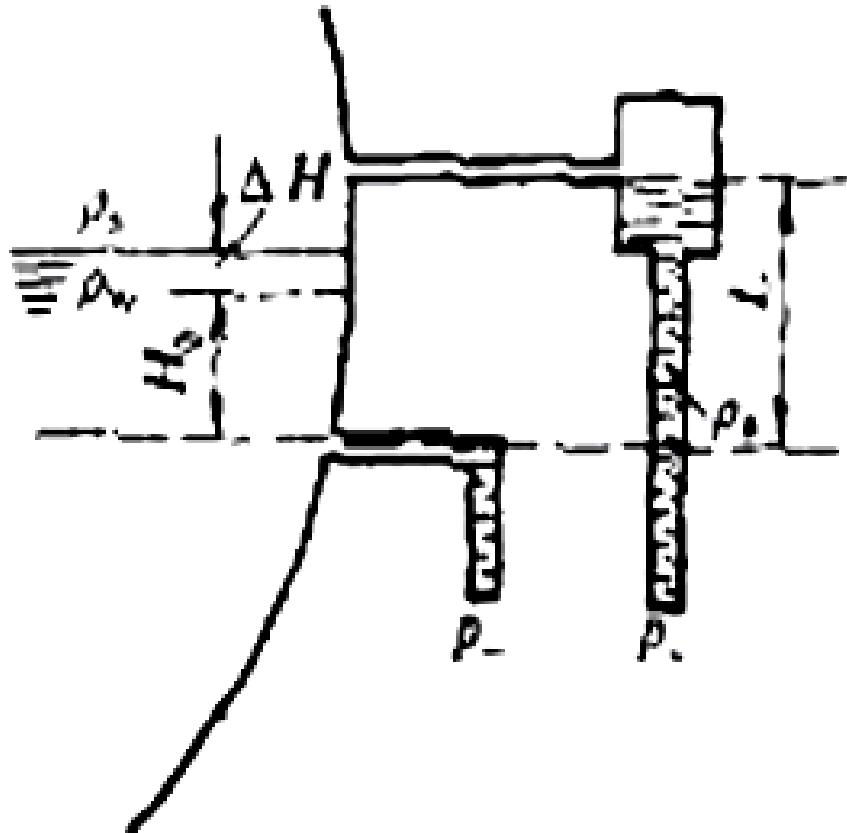


(b)



(c)

### 3、单室平衡容器

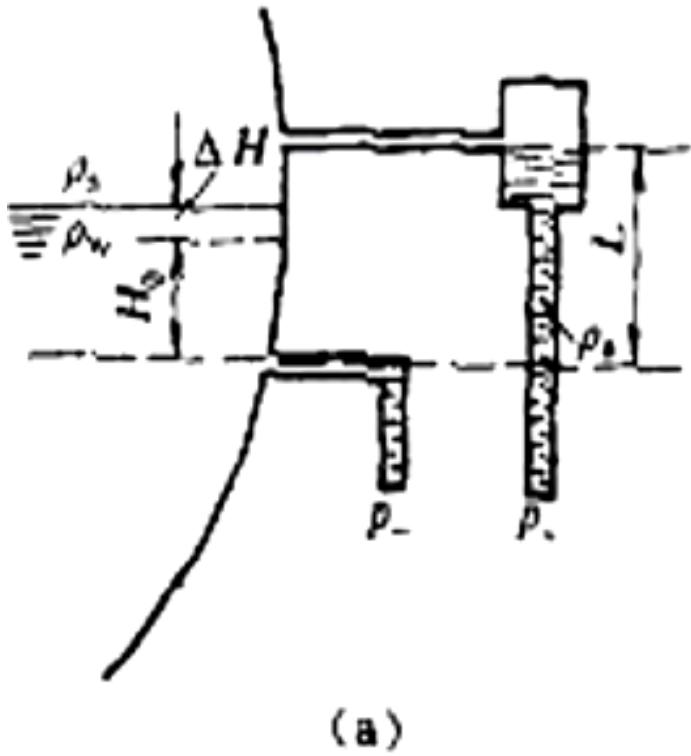


(a)



►任务：推导水位压差关系式。

►问题：压差和水位关系成正比还是反比？压差变化是否代表水位变化？



(a)

$$\Delta p = p_+ - p_-$$

$$\Delta p = L\rho_a g - (H_0 + \Delta H)\rho_w g - (L - H_0 - \Delta H)\rho_s g$$

$$= L(\rho_a - \rho_s)g - H_0(\rho_w - \rho_s)g - (\rho_w - \rho_s)g\Delta H$$

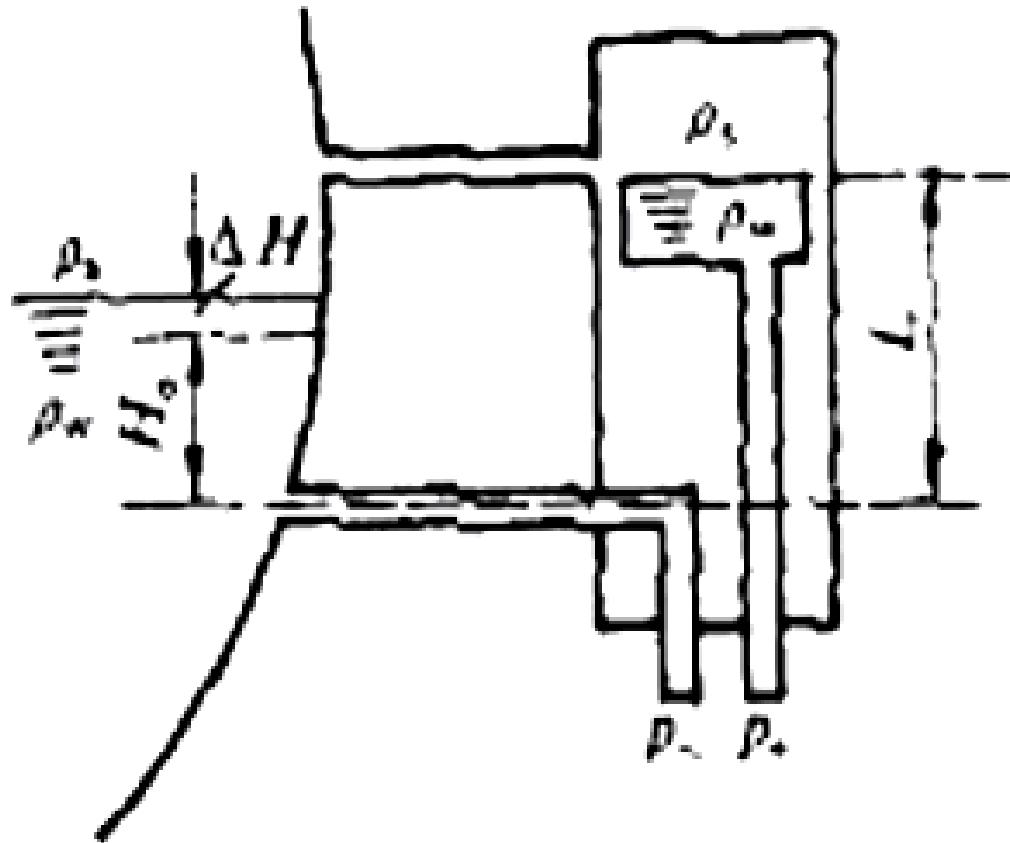
$H \uparrow \Rightarrow \Delta p \downarrow$  线性，负斜率

由上式容易看出：输出的差压信号受汽包压力和平衡容器侧水柱温度的影响。

$$\delta_{\Delta p} = L(\Delta\rho_a - \Delta\rho_s)g - H_0(\Delta\rho_w - \Delta\rho_s)g - (\Delta\rho_w - \Delta\rho_s)g\Delta H$$

误差原因：平衡容器水柱温度和汽包压力的变化。

## 4、双室平衡容器

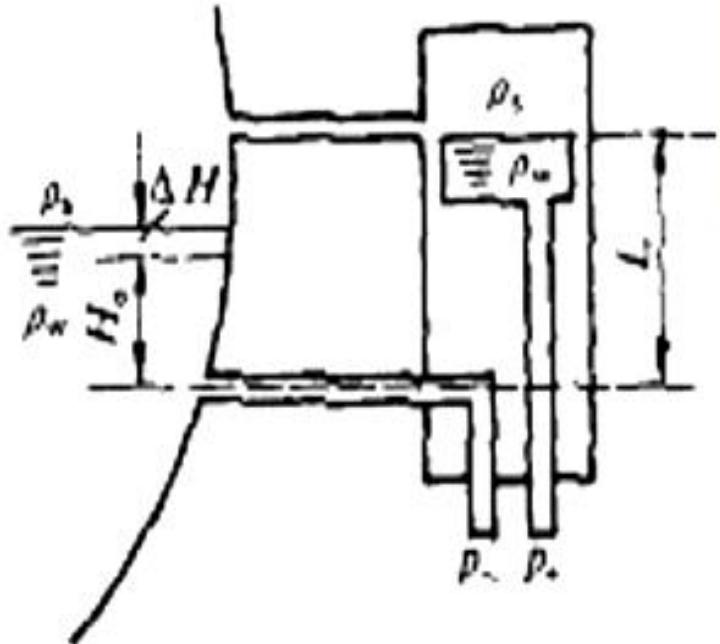


(b)



►任务：推导水位压差关系式。

►问题：压差和水位关系成正比还是反比？压差变化是否代表水位变化？



$$\Delta p = (L - H_0 - \Delta H)(\rho_w - \rho_s)g$$

$$H \uparrow \Rightarrow \Delta p \downarrow$$

线性，负斜率

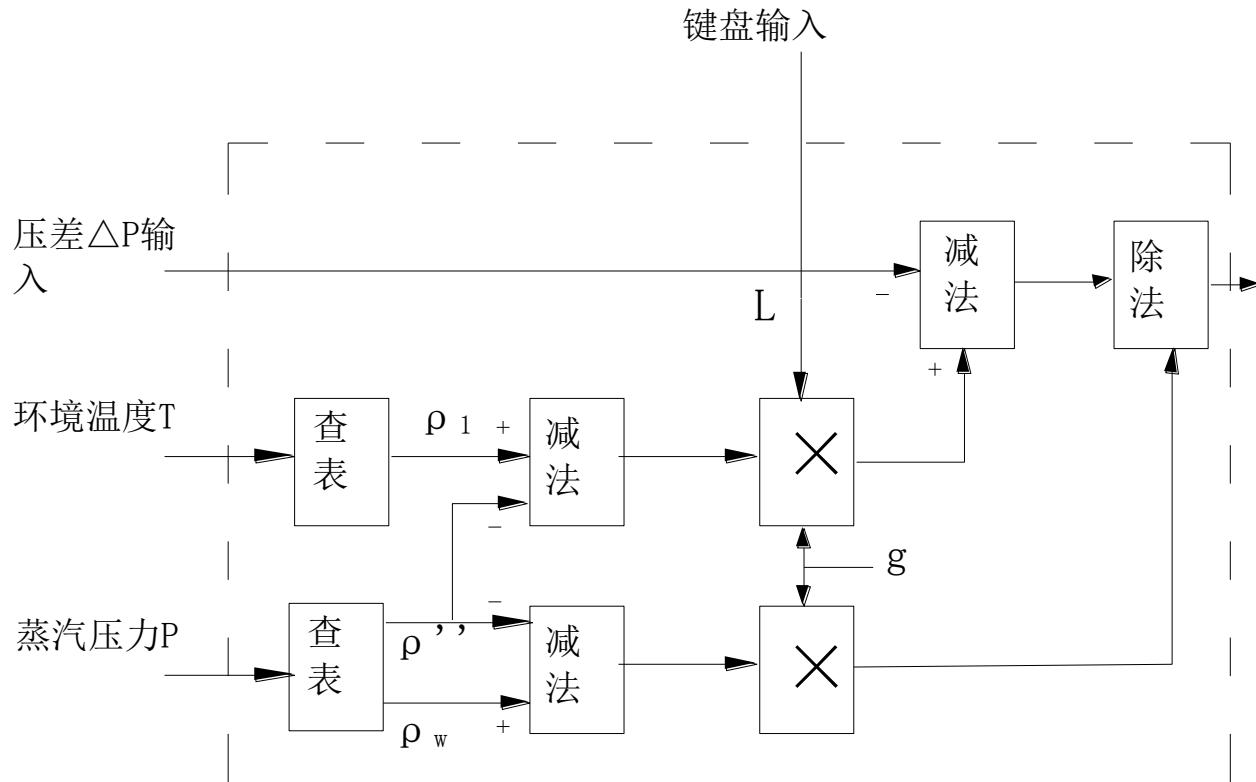
汽包压力变化时，输出仍受压力的影响(水位不变时)。  
不同水位时压力影响所产生的误差是不同的，在不变的情况下，汽包压力的变化所产生的输出误差为

$$\delta_{\Delta p} = (L - H_0 - \Delta H)(\Delta\rho_w - \Delta\rho_s)g$$

误差原因：汽包压力的变化

## 4、智能水位计

水位测量方程肯定是正确的，只是由于使用上出现问题（只能输入一个参数），如果所有参数都能输入，这和一般的接方程一样，结果肯定是没有误差的。但在计算机仪表产生前，输入多个参数是不可能的。而且有些参数是不能直接输入的，例如蒸汽密度等，只能靠压力来查表。但现在计算机仪表都可以作到。



双室平衡容器智能水位运算原理图

锅炉汽包水位对于锅炉的安全运行极为重要。

云母水位计

指示直观，  
但监视不便

差压式水位计

远距离监视，  
但示值受汽包压力变化影响较大

电接点水位计

示值受汽包压力变化影响较小；  
指示水位较接近重量水位，  
指示不连续,有死区

# 物位检测复习总结

- ◆ 了解物位检测的基本概念；
- ◆ 掌握静压式液位计的量程迁移计算；
- ◆ 了解超声波、电容式、射线式物位计的工作原理；
- ◆ 了解锅炉汽包水位的基本概念；
- ◆ 掌握云母水位计的工作原理；
- ◆ 掌握差压水位计的工作原理；
- ◆ 掌握电接点水位计的工作原理及优缺点；