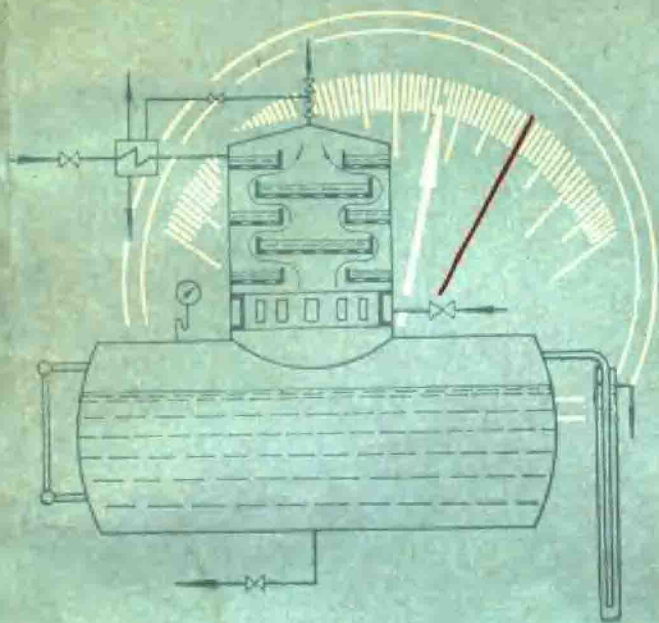




四川五局《工业锅炉安全运行基本知识》编写组

工业锅炉安全运行基本知识

国防工业出版社

内 容 简 介

本书主要介绍我国现有各类大中型锅炉的基本结构, 工作特点和辅助设备; 其次介绍水质处理, 锅炉维修以及排除故障的方法; 最后是介绍消烟除尘技术和除尘设备。

本书可做为培训司炉工人的教材, 也可供有关技术人员参考。

工业锅炉安全运行基本知识

四川五局《工业锅炉安全运行基本知识》编写组

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张 5¹³/₁₆ 145 千字

1981年2月第一版 1981年2月第一次印刷 印数: 00,001—43,000册

统一书号: 15034·2154 定价: 0.54元

前 言

建国以来，从事锅炉运行工作的同志，为改善管理，提高锅炉运行的安全性和经济性，做了大量的工作，积累了丰富的经验；由于林彪、“四人帮”的干扰破坏，合理的规章制度被废除，因而锅炉事故不断发生，燃料浪费和污染环境的情况非常严重；当前，全国人民同心同德为“四化”而努力奋斗。为了总结过去的经验教训，上级领导指示我们编写了这本书。本书的初稿曾做为教材，在司炉人员培训班上使用过，学员反映较好。

本书主要介绍我国现有各类锅炉的结构、工作特点和辅助设备，其次是介绍锅炉的维修及故障的排除，最后是介绍消烟除尘技术和除尘设备。

这本书可做为培训司炉工人的教材，也可供从事锅炉运行工作的有关领导人员和技术人员参考。由于我们水平所限，书中缺点错误在所难免，敬希读者批评指正。

四川五局《工业锅炉安全运行基本知识》编写组

目 录

第一章 基本知识	1
第一节 一些物理名称和概念	1
第二节 热的传播	6
第三节 水和水蒸汽的性质	8
第四节 锅炉水循环	10
第五节 燃料和燃烧	13
第六节 锅炉的热平衡	18
第七节 锅炉用的主要材料	21
第二章 锅炉结构	27
第一节 锅炉发展概况	27
第二节 锅炉的主要部件	30
第三节 立式横水管锅炉	42
第四节 LSG 型立式直水管锅炉	45
第五节 立式多横火管锅炉	46
第六节 HHH 型双横锅筒水管锅炉	48
第七节 SZP 型双锅筒纵置式锅炉	50
第八节 FHL 型分联箱横锅筒式锅炉	52
第九节 SHL 型链条炉排锅炉	56
第十节 KZG 型卧式快装锅炉	57
第十一节 煤粉锅炉	59
第十二节 天然气锅炉	68
第三章 锅炉辅助受热面	76
第一节 蒸汽过热器	76
第二节 省煤器	79
第三节 空气预热器	82
第四章 锅炉安全附件及附属设备	87

第一节	压力表	87
第二节	水位表	90
第三节	安全阀	94
第四节	阀门	97
第五节	高低水位警报器	101
第六节	给水设备	103
第七节	通风设备	108
第五章	锅炉的运行	110
第一节	升火	110
第二节	控制和调整	115
第三节	停炉	118
第四节	烘炉和煮炉	120
第六章	事故及故障处理	123
第一节	处理事故注意事项	123
第二节	事故及故障停炉	123
第三节	锅炉缺水	124
第四节	锅炉满水	126
第五节	汽水共腾	127
第六节	锅炉排管和水冷壁管的损坏	127
第七节	省煤器管损坏	129
第八节	过热器管损坏	130
第九节	水冲击	131
第十节	煤粉炉灭火	132
第十一节	链条炉排卡住	133
第十二节	电源突然中断	134
第七章	水质管理	135
第一节	水垢的形成	135
第二节	锅炉的腐蚀	137
第三节	炉水起沫与水质标准	139
第四节	炉外水处理方法	140
第五节	炉内水处理方法	147

第六节	水的物理处理和电化学处理	150
第七节	水的除氧	152
第八节	停用和备用锅炉的保养	154
第八章	锅炉的检查与修理	157
第一节	检修的目的和基本要求	157
第二节	检修前的检查	157
第三节	锅炉修理的一般方法	161
第四节	锅炉检修中的几项试验	163
第五节	锅炉检修后的验收	167
第九章	锅炉的除尘	168
第一节	概述	168
第二节	除尘器的分类	168
第三节	除尘设备的选用	169
第四节	工业锅炉常用除尘器	170

第一章 基本知识

第一节 一些物理名称和概念

一、温度和温度计

温度用来表达物体的冷热程度。在热力工程中，温度的单位有摄氏温度 ($t^{\circ}\text{C}$) 和绝对温度 ($T^{\circ}\text{K}$)。这两种温标中分度的方法是相同的，在水的冰点和沸点之间分为一百格，每格为一度。所不同的是：摄氏温标是把压力在 760 毫米汞柱下水的冰点定为 0°C ，水的沸点定为 100°C ；绝对温标是把摄氏温标的 -273°C 作为绝对温标的 0°K ，用绝对温度表示， 273°K 为水的冰点， 373°K 为水的沸点。所以它们之间的关系是：

$$T = (t + 273)^{\circ}\text{K}$$

式中 T —— 绝对温度；

t —— 摄氏温度。

测量温度的仪表叫做温度计。按照温度计的构造和测量原理的不同，可分为：

1. 玻璃温度计。包括：

- 1) 水银温度计——测量范围为 $-30\sim 700^{\circ}\text{C}$ 。
- 2) 酒精温度计——测量范围为 $-100\sim 75^{\circ}\text{C}$ 。

2. 热电偶温度计。它由热电偶和毫伏计组合而成，如图 1-1 所示。热电偶由两根不同的金属丝组成，其一端互相连接，称为“热接点”或“工作端”，另一端用导线与毫伏计相联，称为“冷接点”或“自由端”。在测量时由于双金属丝两端的温差而产生热电势，毫伏计测出热电势的大小，便可以决定热接点的温度。常用的热电偶有：

1) 铂铑-铂热电偶, 用来测量炉膛内高温烟气, 温度测量范围为 $900\sim 1300^{\circ}\text{C}$, 短期内可达到 1600°C 。

2) 低镍铬-镍铝合金热电偶, 测量上限为 900°C , 短期内可达 1300°C 。

3) 低镍铬-考铜热电偶, 测量上限 600°C , 短期可达 800°C 。

3. 电阻温度计。它是根据金属导体电阻随着温度而变化的特性制成的。它被广泛用来测量 $-120\sim 500^{\circ}\text{C}$ 范围内的温度。

4. 压力表式温度计。它是基于温度变化时工作物质体积变化或压力变化的原理制成的。它由温包、毛细管、压力表式温度计三个主要元件组成。适于测量 $0\sim 300^{\circ}\text{C}$ 的温度。

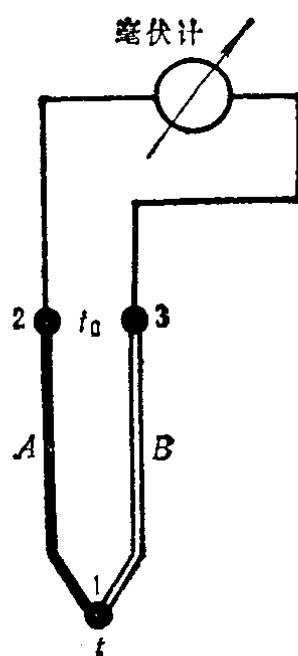


图1-1 热电偶温度计
1—热接点; 2、3—冷接点; A、B—不同材料的热电极。

二、热量

物体吸收或放出的热的多少, 叫做热量。物体由冷变热必吸热; 由热变冷必放热。对于等量同物质的物体, 温度高时含热量多, 温度低时含热量少。

热量的单位是卡或千卡(大卡)。1千卡=1000卡, 一千卡热量等于一公斤纯水在一个物理大气压下, 从 19.5°C 升到 20.5°C 所需要的热量。

三、比热

单位质量的物质温度升高 1°C 所需的热量叫做该物质的比热, 比热的单位是千卡/公斤·度(或卡/克·度)。

物质的比热与物体所处的物理过程有密切关系, 因此在给出物质的比热时, 应该注明是在什么条件下得出的。

四、热焓

对于一般蒸汽动力工程, 可以简单地认为, 热焓就是工作介质(简称工质)的含热量, 简称“焓”。例如在蒸汽锅炉内部, 水

表1-1 几种常用物质比热的数值

名 称	温 度 (°C)	比 热	名 称	温 度 (°C)	比 热
铝	16~100	0.21	石 棉		0.20
铁	18~100	0.11	木 炭		0.20
钢(1.25%碳)	10~13	0.12	玻 璃	10~50	0.16~0.20
黄 铜	20~100	0.09	汽 油	0~50	0.43~0.44
铅	18~100	0.031	润 滑 油	200	0.58
耐 火 砖	100~1000	0.20~0.27	酒 精	12~30	0.6
煤	20	0.31	水 银	0~100	0.033

被加热沸腾和过热，而同时保持其压力大致不变，则加热的热量全部用来提高蒸汽的热焓贮存于蒸汽之内。载热的蒸汽，可以通过一定的热力设备将热量转化为机械能或作加热、采暖之用。

五、热胀冷缩

热胀冷缩的现象，在日常生活中是很多的。许多物体有受热后膨胀、遇冷后收缩的特性，即，发生了体积的变化。但是，在某些实际问题中，只考虑某一个方向上长度的伸缩。比如铁路上的钢轨、输送蒸汽的管路，就只考虑钢轨和管路的长度变化和温度的关系。

锅炉各个部分，如锅筒、炉胆、炉管、炉墙等，从冷炉到烧热，都要发生膨胀。如果没有预先留出膨胀所需要的一定的位置，锅炉构件就会发生变形，导致渗漏和破坏。所以象卧式外燃回火管锅炉的搁脚下部都装有活动滚子，兰开夏锅炉的波浪形炉胆等，都是为了使锅炉受热和冷却时能自由伸缩。此外，水管锅炉安装时以及砌炉墙的耐火砖衬时，也需预留自由伸缩的位置。

固体受热，在长度方面所发生的伸长变化，叫做固体的线膨胀。温度由 0°C 升高到 1°C 时的伸长度与 0°C 时的线长度的比，就叫做线膨胀系数。物质不同，它的线膨胀系数也不同。

物体受热后长度的变化可由下式计算：

$$L_2 = L_1 [1 + \alpha (t_2 - t_1)]$$

式中 L_1 ——物体在 t_1 时的长度，米；
 L_2 ——物体在 t_2 时的长度，米；
 t_1 ——物体在膨胀前的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；
 t_2 ——物体在膨胀后的温度， $^{\circ}\text{C}$ ；
 α ——该物体的线膨胀系数。

六、压力

通常所说的压力，是指单位面积上承受多大的垂直方向的作用力。气体(包括蒸汽)、液体的压力，是容器内流体分子在不规则的运动中对容器壁冲击的结果。压力的单位用公斤力/厘米²表示。1公斤力/厘米²称为一个工程大气压，简称为一个大气压，折合成汞柱为 735.6 毫米，水柱为 10 米。

在物理学上大气压是指地球表面空气重力产生的压力，一个物理(标准)大气压=760 毫米汞柱=1.033 公斤力/厘米²。

压力可用绝对压力和表压力来表示。表压力是指容器(锅筒、管道)内部高于大气压力的部分，也就是压力表上读出的数值。绝对压力就是指作用在容器单位面积上的全部压力。它的大小等于表压力与大气压力的和，即：

$$P_{\text{绝}} = P_{\text{表}} + P_{\text{大气}} = P_{\text{表}} + 1$$

图 1-2 表示出绝对压力同表压力的关系。

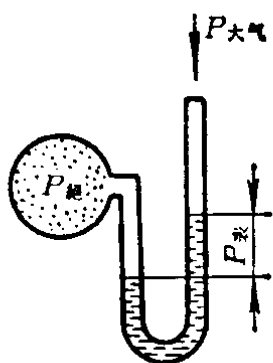


图1-2 表压力

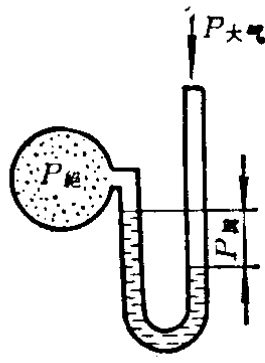


图1-3 真空

容器中绝对压力低于大气压力的数值，叫做真空，即通常所说的负压。真空就是大气压力与绝对压力的差，即：

$$P_{\text{真}} = P_{\text{大气}} - P_{\text{绝}}$$

$$P_{\text{真}} = P_{\text{大气}} - P_{\text{真}}$$

图 1-3 表示出绝对压力同真空的关系。真空的单位通常以毫米汞柱或毫米水柱来表示。1 毫米水柱 = 1 公斤力/米²。

有些旧锅炉上压力用英制单位(磅/英寸²)表示, 它与公制压力单位的换算关系为:

$$1 \text{ 公斤/厘米}^2 = 14.22 \text{ 磅/英寸}^2。$$

七、比容、重度

1. 单位重量的流体(液体或气体)所占有的体积叫做比容, 即:

$$U = \frac{V}{G}$$

式中 U ——比容, 米³/公斤;

V ——体积, 米³;

G ——重量, 公斤。

2. 单位体积的重量叫做重度, 即:

$$\gamma = \frac{G}{V} \text{ 或 } \gamma = \frac{1}{U}$$

式中 γ ——重度, 公斤/米³。

在液体中, 由于水在标准状态下的重度为 1, 因此液体与水的比重在数量上与该液体的重度是相等的。但是, 气体的比重是该气体与空气在标准状态下的重度之比, 由于空气的重度为 1.293 公斤/米³, 因此, 气体的重度和比重不能混淆, 它们在数值上也是不相同的。

八、流速与流量

流速是指流体质点在单位时间内通过的距离, 用 W 表示:

$$W = \frac{L}{t}$$

式中 W ——流体的速度, 米/秒;

L ——流体通过的距离, 米;

t ——流体通过的时间, 秒。

流量是指单位时间内通过某一横截面的流体数量。流量分为体积流量和重量流量。

体积流量用 Q_v 表示，常用单位是米³/时。如空气流量、烟气流量以及天然气流量都用体积流量来表示。

重量流量用 Q_G 表示，常用单位是公斤/时。如锅炉的蒸发量、给水量等都用重量流量表示。

体积流量与重量流量之间的关系是：

$$Q_G = Q_v \gamma$$

式中 γ ——流体的重度，公斤/米³。

流量的大小直接与流体的流动速度和它通过的横截面积的大小有关。即：

$$Q_v = 3600 W f$$

式中 Q_v ——体积流量，米³/时；

W ——流体的流动速度，米/秒；

f ——流体通过的截面积，米²。

第二节 热的传播

一般地说，两种温度不同的物体，在相互接近或接触时，温度高的物体总是将热量传递给温度低的物体，这种热量的传播称为传热。传热是一个复杂的过程，它与许多因素有关。

为了便于分析研究，一般把传热分为三种基本形式：辐射、对流和传导。这三种形式只是传热方法上的区别，而实际上这些现象往往是同时发生的。例如锅炉各部分的传热便是以上述三种方式同时进行的：热量首先由烟气用辐射和对流方式传给受热面，然后用传导方式经受热面到达工质（水、汽），最后工质又以对流方式来吸取热量。

一、辐射

辐射传热的主要特点，就是在传热过程中热源不需借任何媒介而直接向四周放射热量。在锅炉运行中，炉膛中的传热方式主

要是辐射。辐射传递的热量与炉膛内绝对温度的四次方成正比。炉膛内的温度是很高的，通过辐射传热，锅炉可以吸收到很大一部分热量，所以要增加锅炉蒸发量，应尽可能在炉膛中增加辐射受热面——水冷壁。

二、对流

依靠流体质点的流动，传播热量的过程叫做对流。在流体中（包括液体和气体）的主要传热方式是对流。流体的流动可以由外部作用引起（如利用风机、水泵等）；也可由局部加热造成流体内部温度不一致而引起。前者属于强制对流，后者属于自由对流。在锅炉运行中，燃料放出的热量由高温烟气传到固体壁（如锅筒、炉管等），再由固体壁传给锅内的水、汽，形成对流传热。

对流传热的基本方程式为：

$$Q = KH\Delta t$$

式中 Q ——受热面每小时吸收的热量，大卡/时；

K ——传热系数，大卡/米·时·°C；

Δt ——平均温差，°C；

H ——受热面积，米²。

三、传导

在同一物体中，自高温部分传热给低温部分，而物体中的质点没有相对移动，仅是能量的转移，这种现象叫做传导。由于各种物质材料不同，传热能力的大小也不一样。表示传导能力大小的数值，叫做热传导率或热传导系数。它的意义是：当固体壁厚度为 1 米，壁两侧的温差为 1°C 时，每小时通过 1 米² 面积上的热量。单位是：大卡/米·时·°C。

几种不同材料在常温下的热传导系数如表 1-2 所示。

从表 1-2 可以看出，水垢的热传导系数比钢材小，是钢材的 1/20~1/80，而烟灰的热传导系数是钢材的 1/400~1/800。因此，水垢和烟灰积存在锅壁或炉管壁上，便大大降低锅炉的出力，增加燃料消耗。此外，锅壁吸收的热量还会因水垢和烟灰的

隔热，使热量不能很快传给炉水而过热烧坏，以致造成爆管、鼓包或爆炸事故。所以锅炉的运行除加强水质管理外，还要做好定期检查，清除水垢、烟灰，以保证锅炉的安全经济运行。

表 1-2

材 料	热 传 导 系 数	材 料	热 传 导 系 数
银	350~360	砖 墙	0.4~0.6
紫 铜	300~320	耐 火 砖	0.9~1.2
黄 铜	75~100	锅 炉 水 垢	0.5~2.0
铝	175	烟 灰	0.05~0.1
铁、铸铁、碳钢	40~50	混 凝 土	1.10
石 棉	0.13~0.18		

第三节 水和水蒸汽的性质

一般的蒸汽动力工程都是用水作为工质，这是因为水具有一系列优点：自然界存在着大量的水，价格低，容易获得；水为无害液体；水的比热大，能储蓄较多的热量，而且膨胀能力也大，在膨胀时能对外界作较大的功。这些性质决定了水在动力工程中得到最广泛的应用。

锅炉内部将水加热变成蒸汽，这一物理变化是在压力不变的情况下进行的，称为“定压”过程。水在锅炉内的变化分成三个过程，可通过图 1-4 来说明这个问题。图中容器里有一个可移动的密封的活塞，且承受一不变载荷 P 。

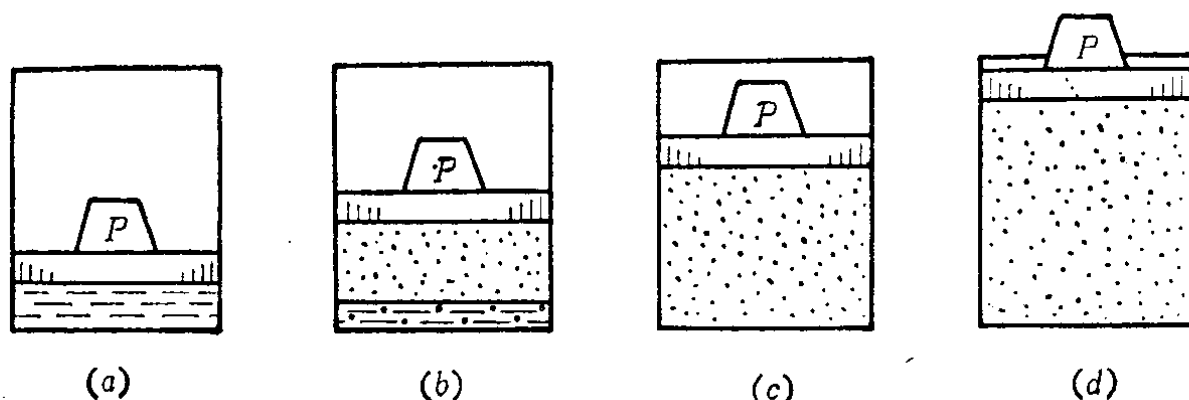


图1-4 水的汽化过程

一、水的加热阶段

在图 1-4 (a) 中, 当对容器内的水加热时, 水等压受热温度升高。当加热到一定温度时, 水开始沸腾, 人们把水开始沸腾时具有的温度称为沸点。沸点状态下的水称为饱和水。沸点随着容器内的绝对压力的大小而变化。在 1 个绝对大气压力下, 沸点为 99.09°C ; 2 个绝对大气压力下为 119.6°C ; 9 个绝对大气压力下为 179.6°C ; 14 个绝对大气压力下为 194°C ……等。水在加热到沸点以前, 它的比容几乎不变(略有增加)。

二、饱和蒸汽的产生

在图 1-4 (b) 中, 当水达到沸点后, 继续加热, 饱和水就开始汽化, 但其温度并不升高, 始终等于沸点温度。这是由于加热的热量全部用来改变饱和水的凝聚状态而变成蒸汽的缘故。不断加热的结果, 就使水不断蒸发直至完全变成蒸汽, 如图 1-4 (c) 所示。图 1-4 (b) 中的蒸汽还含有一定的水分, 称为湿饱和蒸汽; 图 1-4 (c) 中的蒸汽, 由于水分已全部蒸发, 称为干饱和蒸汽。一公斤湿饱和蒸汽内含有蒸汽重量的百分数, 叫做蒸汽的干度, 以“ x ”来表示。

饱和水完全变为蒸汽时, 容积要增加很多倍。如在 10 个绝对压力时, 饱和水的比容 $v' = 0.0011202 \text{米}^3/\text{公斤}$, 饱和蒸汽比容 $v'' = 0.1980 \text{米}^3/\text{公斤}$, 容积增大将近 200 倍。反之, 蒸汽凝结成水, 容积就要缩小很多。

一公斤定压下的饱和水完全蒸发成饱和蒸汽所吸收的热量称为“汽化潜热”, 用“ r ”来表示。汽化潜热的数值随压力的升高而降低。例如: 1 个绝对压力时, $r = 539.5 \text{大卡}/\text{公斤}$; 9 个绝对压力时, $r = 485.4 \text{大卡}/\text{公斤}$ 。当绝对压力升到 $225.65 \text{公斤}/\text{厘米}^2$ 时, $r = 0$, 这一压力称为“临界压力”, 对应的饱和温度为 374.15°C , 称为“临界温度”。在此临界状态下, 水与汽的界限也就消失了。

三、过热蒸汽的产生

在图 1-4 (d) 中, 干饱和蒸汽在等压下加热, 汽温升高, 比

容增大。汽温超过饱和温度的数值称为过热度，具有过热度的蒸汽叫做“过热蒸汽”。

使用过热蒸汽可以减少蒸汽输送过程中的热损失，过热蒸汽在热机中做功，可以提高机组运行的经济性。

第四节 锅炉水循环

一、概述

锅炉安全生产的基本条件之一是受热面的壁温不可达到危险的数值，而使金属强度急剧降低。只有在连续不断地洗刷受热面上附着的汽泡，并连续不断地以水冷却受热面的情况下，受热面的金属壁才能有充分的冷却，保持其强度不变。这种锅炉内部闭合系统中汽泡的不断产生和除去，水的连续流动冷却过程，叫做水循环。

水循环分为自然循环和强制循环两种。自然循环是由于锅炉受热面受热程度不同，工质（水或水汽混合物）的比重不同而产生压力差，从而使水或汽水混合物发生循环。强制循环是借助外界压力（如水泵）迫使水或汽水混合物发生循环流动。

二、水循环的原理

目前锅炉普遍采用自然循环的方式。其原理如图 1-5 所示。设在上下锅筒之间以沸水管连接，在左侧管子前方加热，管中汽泡不断增多，从而使左侧管中的水成了汽水混合物。右侧管中是充满了水的，未加热。由于左右两侧管中的工质比重不

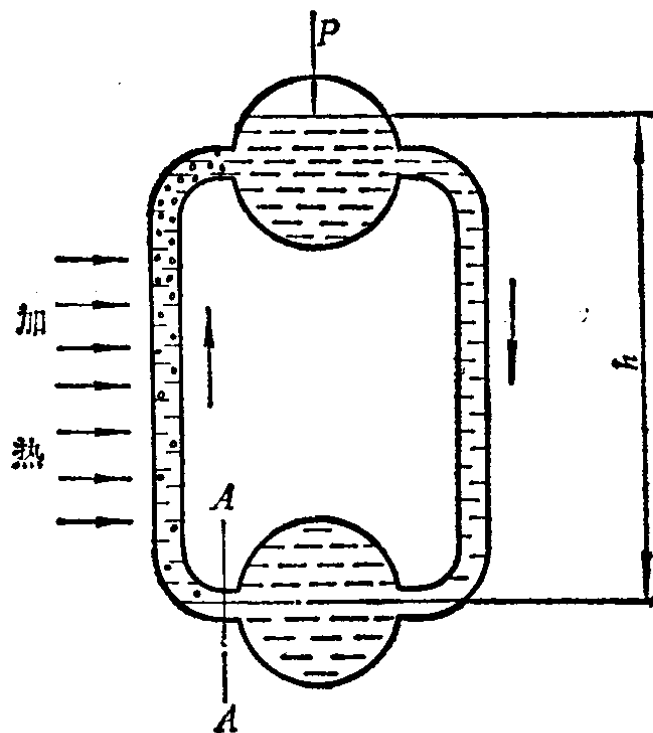


图1-5 水循环原理图

同，产生压差，造成左侧管中的水汽混合物上升，右侧管中的水下降。水在其中下降的管子叫下降管，汽水混合物在其中上升的管子叫上升管。水进入上升管的速度叫做循环速度。

进入沸水管的水量(G)与沸水管内同时产生的蒸汽量(D)的比值叫做循环倍率(K)，即：

$$K = \frac{G}{D}$$

这个数值说明，在一定的循环回路中，进入上升管中的炉水完全变成蒸汽需要循环的次数。也就是说，进入上升管的炉水完全蒸发需要有若干倍的水量在其中循环。在自然循环的锅炉中，循环倍率的数值一般在5~50的范围内，最大不超过200。

下面再分析一下，水是在怎样的压力下进入上升管的。假设锅筒内的蒸汽压力为 P (公斤/米²)，右侧下降管中水的比重为 $\gamma_{\text{水}}$ (公斤/米³)，左侧上升管中汽水混合物的比重为 $\gamma_{\text{汽水}}$ (公斤/米³)，上锅筒内的水平面到截面 $A-A$ 处的垂直距离为 h (米)，则在 $A-A$ 处受到左右两侧的压力为：

$$P_{\text{右}} = P + \gamma_{\text{水}} h \text{ (公斤/米}^2\text{)}$$

$$P_{\text{左}} = P + \gamma_{\text{汽水}} h \text{ (公斤/米}^2\text{)}$$

由于 $\gamma_{\text{水}} > \gamma_{\text{汽水}}$ ，很明显， $P_{\text{右}} > P_{\text{左}}$ ，因此下降管中的水柱迫使上升管中的汽水混合物流往上锅筒。上升管与下降管中的压力差可由下式表示：

$$\Delta P = P_{\text{右}} - P_{\text{左}} = h (\gamma_{\text{水}} - \gamma_{\text{汽水}}) \text{ (公斤/米}^2\text{)}$$

ΔP 值又称循环流动压头，由它来克服水及汽水混合物在循环流动途中所遇到的阻力，它就是使水与汽水混合物在锅炉中循环流动的原因。

三、水循环故障

锅炉的水汽循环一般在锅炉设计制造时已作过校正计算，因此锅炉在正常工作情况下，水循环是不会发生问题的。但在锅炉负荷有剧烈变化或有其它原因时，水循环有时会出现问题。