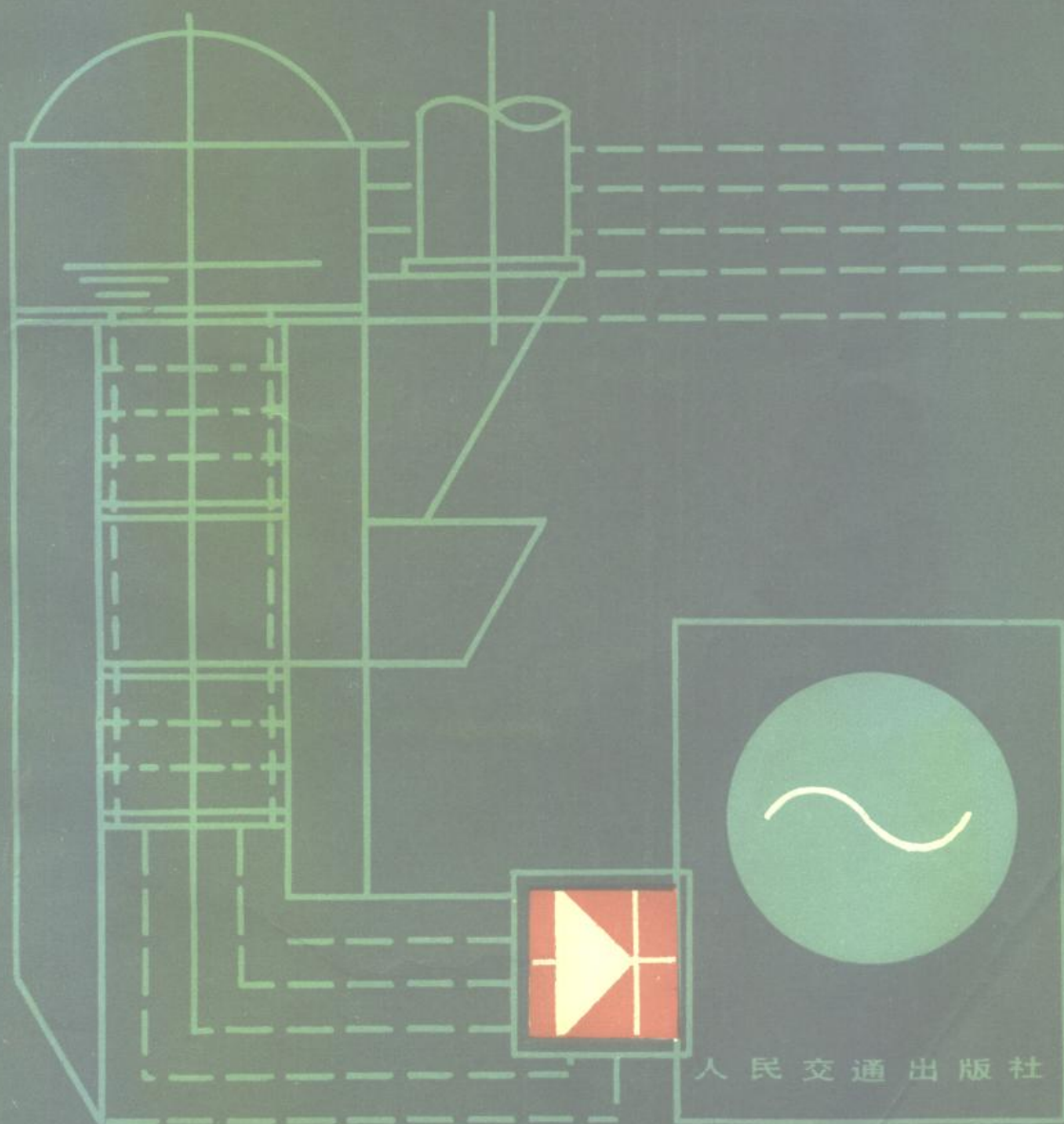


船舶辅助锅炉及自动控制

高才革 编著



人民交通出版社

214395

船舶辅助锅炉及自动控制

Chuanbo Fuzhu Guolu ji Zidong Kongzhi

高 才 苹 编 著

人 民 交 通 出 版 社

船舶辅助锅炉及自动控制

高 才 苹 编著

人民交通出版社出版
新华书店北京发行所发行
各 地 新 华 书 店 经 售
人民交通出版社印刷厂印

开本: 787×1092 1/32 印张: 9.5 插页: 1 字数: 194 千

1985年3月 第1版

1985年3月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—3,050册 定价: 1.60 元

内 容 提 要

本书主要讲柴油机船舶的辅助锅炉和废气锅炉。对锅炉的基础知识、辅助锅炉类型、燃烧装置和燃烧技术、运行管理等作了深入浅出的叙述，并结合我国的船舶实际，对辅助锅炉的结构特点、自动控制原理及运行中的常见故障作了详细的分析。国内外辅助锅炉的自动控制是本书的重点。

本书主要供轮机管理人员及有关大专院校师生阅读，也可供修造船厂、辅机配套厂的技术人员及陆用型锅炉运行管理人员参考。

前 言

随着船舶自动化程度的日益提高，船舶辅助锅炉一般都实现了自动控制。为了保证辅助锅炉经济地、安全地运行，必须掌握它的结构特点、自动控制原理和故障排除方法。辅助锅炉的自动控制是实现机舱自动化不可缺少的环节。它的正常运行与否，与船舶的安全和日常生活有着密切的联系。特别是近些年来，我国的海运事业有了迅速的发展，船舶的数量有很大增长，辅助锅炉的类型众多。为便于轮机管理人员及技术人员掌握这方面的专业知识，编者对国内外各种辅助锅炉的资料和运行管理经验加以总结，整理成册，献给祖国的海运事业。

在本书的编写过程中，曾得到海运部门及有关同志的支持和帮助，特别是上海海运管理局的仇光中同志，对编写工作给了有益的指导，在此深表谢忱。

由于编者水平有限，书中定有不妥或错误之处，欢迎读者批评指正。

交通部上海船舶运输科学研究所

高才苹 1983年10月

目 录

第一章 锅炉基础知识.....	1
§1 蒸汽的性质.....	1
一、温度.....	1
二、压力.....	1
三、蒸汽的种类.....	2
四、水蒸汽表.....	2
五、水蒸汽线图.....	3
六、 $i-p$ 线图.....	3
七、水蒸汽的焓.....	3
§2 锅炉的传热与水循环.....	4
一、导热.....	4
二、对流.....	5
三、辐射.....	6
四、锅炉的传热状况.....	6
五、锅炉的水循环.....	7
§3 锅炉的性能.....	8
一、锅炉的蒸发量.....	8
二、炉膛容积热负荷.....	8
三、锅炉效率.....	9
四、锅炉的各种热损失.....	10
第二章 辅助锅炉的种类与构造.....	11
§1 烟管锅炉.....	11
一、卧式烟管锅炉.....	11
二、立式烟管锅炉.....	15
§2 水管锅炉.....	17
一、短直水管锅炉.....	18
二、长直水管锅炉.....	19
三、角管锅炉.....	22
四、双锅筒水管锅炉.....	24
§3 强制循环锅炉.....	25
一、国产强制循环辅助锅炉.....	26
二、克兰顿蒸汽发生器.....	28
三、KSK蒸汽发生器.....	29
§4 废气锅炉.....	31

一、立式烟管废气锅炉.....	31
二、指形管式废气锅炉.....	33
三、强制循环废气锅炉.....	33
§5 燃油-废气联合式锅炉	36
第三章 燃料及燃烧装置	38
§1 燃油特性对燃烧的影响.....	38
一、闪点和粘度对燃油预热温度的影响.....	38
二、残炭对喷燃器积炭的影响.....	41
三、灰分、水分和含硫量的影响.....	41
§2 燃烧理论.....	41
一、燃烧机理.....	42
二、完全燃烧与不完全燃烧.....	43
三、燃烧的理论空气量与过量空气系数.....	44
四、理论燃烧温度和燃烧室出口温度.....	45
五、燃烧状态的判定.....	45
六、烟气分析.....	45
§3 燃烧装置.....	47
一、燃油系统.....	47
二、喷燃器的构造与性能.....	48
三、调风机构.....	57
§4 燃油的使用与燃烧技术.....	59
一、使用燃油的注意事项.....	59
二、燃烧开始前的准备试验.....	59
三、燃烧操作注意事项.....	59
第四章 辅助锅炉的系统及附件	62
§1 蒸汽、给水、凝水系统.....	62
一、蒸汽管路.....	62
二、凝水管路.....	62
三、给水管路.....	63
四、排污管路.....	64
§2 辅助锅炉的附件.....	65
一、阀.....	65
二、水位计.....	67
三、压力表.....	69
四、安全阀.....	69
第五章 辅助锅炉的自动控制	71
§1 辅助锅炉的自动控制概况.....	71
一、小型辅助锅炉的自动控制.....	71
二、大容量辅助锅炉的自动调节装置.....	72
三、废气锅炉的自动控制.....	77

§2 辅助锅炉水位自动控制装置	78
一、给水泵双位控制方式	78
二、给水泵连续运转方式	79
§3 辅助锅炉燃烧自动控制装置	81
一、压力调节器	81
二、比例压力调节器及电动比例操作器	81
三、回油调节阀	83
四、主电磁阀	84
五、点火变压器及点火电极	85
六、火焰监视器	85
七、程序控制器	87
§4 燃烧程序控制	88
一、位式控制	88
二、全自动比例控制	92
§5 安全保护与故障分析	95
一、安全保护	95
二、故障分析	96
§6 国内辅助锅炉自动控制实例	96
一、全自动比例控制实例	96
二、全自动双位控制实例	100
§7 国外辅助锅炉自动控制实例	103
一、水位监测	103
二、燃烧控制系统	111
三、两种日本辅助锅炉的自动控制	117
第六章 炉内气体爆炸事故分析	120
§1 炉内气体爆炸事故实例	120
§2 形成爆炸混合气体的条件	122
§3 炉内气体爆炸事故的防止	123
第七章 辅助锅炉的日常管理	126
§1 锅炉的冷炉点火与升汽	126
一、点火前的准备	126
二、点火升汽法	126
§2 运行时的管理	127
一、水位监视	127
二、燃烧状态监视	128
三、保持蒸汽压力	128
四、给水及炉水品质的管理	128
五、燃油的管理	132
六、自动控制及保护装置的维护保养	132
§3 锅炉的停用	132

§4 锅炉内外部检查与清洁.....	133
一、内外部清洁的必要性.....	133
二、内外部的检查.....	133
三、水垢的清洗.....	134
四、外部吹灰.....	135
§5 使用中产生故障的措施.....	136
一、水位表玻璃破损.....	136
二、锅炉本体损伤.....	136
三、过热变形.....	137
四、炉水异常减少.....	137
五、炉水异常增加.....	137
六、烟管及水管的破损.....	137
§6 国外辅助锅炉维修保养要点.....	138
附录 饱和蒸汽表.....	139
参考文献.....	142

第一章 锅炉基础知识

锅炉是一种将水加热使之产生蒸汽的设备。它至少应有炉膛、传热的蒸发受热面和使蒸汽从炉水中分离出来的空间——汽水分离空间——三个组成部分。但是，为了满足外界的不同要求，三部分的结构型式和相互位置是多种多样的，因此也就构成了各种型式的锅炉。

在蒸汽动力装置的船舶上，锅炉是主要设备之一。水在锅炉里加热变成蒸汽之后，去推动蒸汽往复机或蒸汽轮机。除此之外，还用少量蒸汽驱动各种辅机，也供给燃油预热、油舱加热及生活需要。

在内燃动力装置的船舶上，也必须安装一台或几台辅助锅炉。它的主要任务是供主机暖缸、燃油加热及生活需要。对油轮来说，需要大量的蒸汽来加热货油及油舱清洗用水，也用驱动货油泵和甲板机械，因此就必须有一台或几台大容量的辅助锅炉。

另外，在一些柴油机船的排气管上还装有废气锅炉，利用柴油机高温排气的热量来产生蒸汽，既可节省燃料，又能起排气消音作用。

目前，在我国的远洋、沿海及内河的柴油机船舶上都普遍使用燃油辅助锅炉，其中大部分都采用了自动控制系统，工作时无需设专人特别照管。

§1 蒸汽的性质

一、温 度

温度有摄氏温度、华氏温度和绝对温度。我国和大多数国家都采用摄氏温度；英、美等国用华氏温度；在热力学计算中用绝对温度。

它们之间的相互换算按下列公式进行

$$t = \frac{5}{9}(t_F - 32) \quad ^\circ\text{C} \quad (1-1)$$

$$t_F = \frac{9}{5}t + 32 \quad ^\circ\text{F} \quad (1-2)$$

$$T = t + 273 \quad ^\circ\text{K} \quad (1-3)$$

式中： t ——摄氏温度 ($^\circ\text{C}$)；
 t_F ——华氏温度 ($^\circ\text{F}$)；
 T ——绝对温度 ($^\circ\text{K}$)。

二、压 力

单位面积上所受的力称压力，通常用公斤力/厘米² (kgf/cm^2) 表示。

压力一般又以表压力和绝对压力两种方法表示，两者之差别是由于选择的基准点不一样，如图 1-1 所示。

表压力是以一个标准气压作为基准点，它是相对压力。普通压力表的读数就是相对于一个标准气压的相对压力，即表压力。绝对压力是以完全真空作为基准点，它与表压力相差一个标准气压，即

$$\text{绝对压力} = \text{表压力} + \text{标准气压}$$

标准气压的数值为 1.033 kgf/cm^2 ，或 760 mmHg 。在一般工程计算中为了方便，取近似值 1 kgf/cm^2 为标准气压。

绝对压力用于热力学计算，例如蒸汽表、蒸汽线图上标明的压力就用绝对压力。

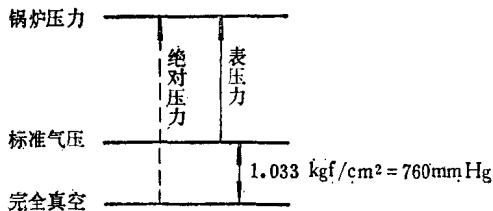


图1-1 压力的表示方法

三、蒸汽的种类

烧杯里倒入水，在标准气压下加热时水温就逐渐上升，当水温达到 100°C 时水就开始沸腾，并产生蒸汽。在产生蒸汽的过程中，水温保持 100°C 不变。水从 0°C 升高到 100°C 所吸收的热量，用来升高水温，叫做显热。 100°C 的水变成 100°C 的蒸汽，也同样需要吸收热量，这部分热量用来产生蒸汽，称为潜热或汽化热。

水在密闭容器里加热，同样也发生上述现象。向密闭容器里注入水，并在一定的压力下加热，水温上升到一定温度时开始沸腾，并温度保持不变，这个温度称沸点。达到沸点的水称饱和水，那时候的压力称为饱和压力，那时候的温度称为饱和温度。饱和压力与饱和温度之间存在一定的对应关系，一定的饱和压力决定了一定的饱和温度。根据这种关系，可以列出水蒸汽表（见附录）。

水在饱和压力和饱和温度下产生的蒸汽叫饱和蒸汽。如果饱和蒸汽中还含有少量水的滴子，就叫湿饱和蒸汽；如果饱和蒸汽中不含水滴子，就叫干饱和蒸汽。若 1 kg 湿饱和蒸汽中含有 $x \text{ kg}$ 干饱和蒸汽，则 x 称为蒸汽的干度， $(1-x)$ 称为蒸汽的湿度。

如果对干饱和蒸汽继续加热，蒸汽的温度就要升高，这样的蒸汽叫过热蒸汽，相应的蒸汽温度称为过热蒸汽温度，它与相同压力下饱和温度之差称为蒸汽的过热度。

随着压力的升高，水的沸点和比容也提高；从另一方面看，压力越高，蒸汽的比容却越小。当达到某一压力时，水在沸点的比容等于干饱和蒸汽的比容，水和蒸汽的状态差别就消失，这一点就称为临界点。这点的压力称为临界压力 (225.65 kgf/cm^2)，对应的温度称为临界温度 (374.15°C)。

四、水蒸汽表

在热力工程上，广泛采用水蒸汽作为热机和热交换器的工质，设计计算中经常需要水蒸汽的各种参数。

以压力为自变量，表示与饱和温度、饱和水焓、饱和蒸汽焓、汽化热、水的比容与水蒸汽比容之间关系的表称为水蒸汽表，从表中可以查得不同压力下的各种水蒸汽参数，见附录。

如果要查的蒸汽压力不是表中正好有的数值，则可用两个相临压力之间的插入法查得。

五、水蒸汽线图

以水蒸汽的焓 i 为纵坐标，以水蒸汽的熵 s 为横坐标，表示水蒸汽各种状态参数的曲线图称为水蒸汽线图，如图 1-2 所示。

图中饱和蒸汽线以下的是湿饱和蒸汽，上面的为过热蒸汽。利用水蒸汽线图，可以很方便地查得水蒸汽的各种热力参数。

例 1 压力 30kgf/cm^2 、温度 350°C 的过热蒸汽各种参数的查法：先在图上找到压力 30kgf/cm^2 、温度 350°C 的两根曲线的交点 A ，然后可从图上查得过热蒸汽的比容 v_1 、焓 i_1 、熵 s_1 。

例 2 压力 20kgf/cm^2 、干度 95% 的湿饱和蒸汽各种参数的查法：先在图上找到压力 20kgf/cm^2 、干度 95% 的两根曲线的交点 B ，然后由 B 点得到湿饱和蒸汽的焓 i_2 、比容 v_2 、熵 s_2 。

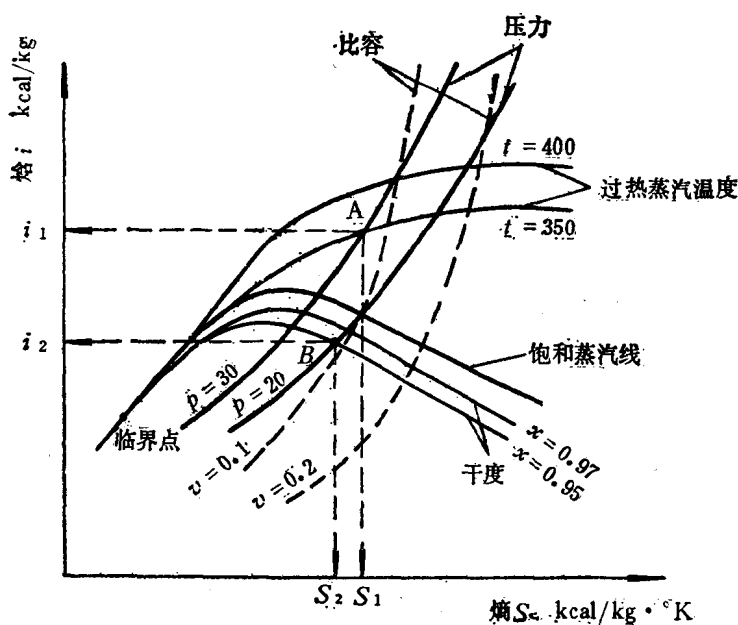


图1-2 水蒸汽线图

六、 i - p 线图

图 1-3 表示了各种压力下饱和水和饱和蒸汽的焓。曲线 AC 称饱和水线， BC 称干饱和蒸汽线， C 点称临界点。 AC 与 BC 之间的垂直高度表示各种压力下的汽化热 r ，随着压力的增加， r 渐渐减小，到 C 点为零。 AD 为饱和温度曲线。

七、水蒸汽的焓

湿饱和蒸汽的焓按下式计算：

$$i_w = i' + x(i'' - i') = i' + xr \quad \text{kcal/kg} \quad (1-4)$$

干饱和蒸汽的焓按下式计算：

$$i'' = i' + r \quad \text{kcal/kg} \quad (1-5)$$

过热蒸汽的焓按下式计算：

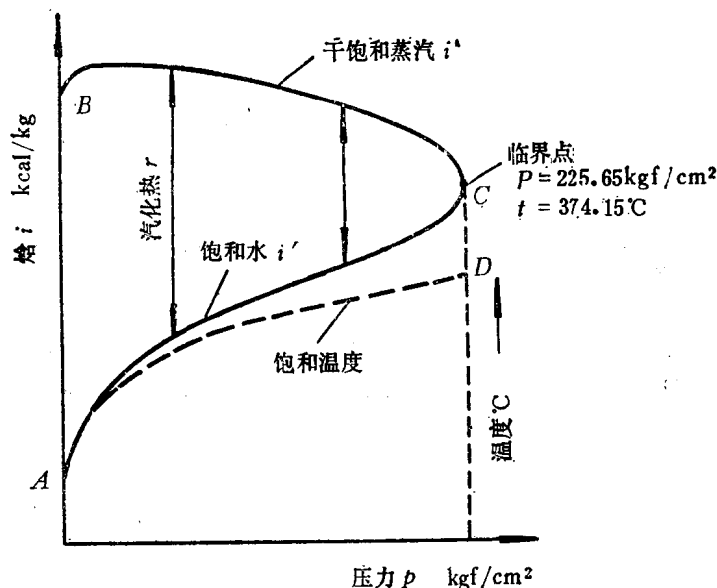


图1-3 i - p 线图

$$i_s = i'' + c(t_s - t) \quad \text{kcal/kg} \quad (1-6)$$

上述式中: i' ——饱和水焓, kcal/kg;

x ——蒸汽干度;

r ——汽化热, kcal/kg;

c ——过热蒸汽比热, kcal/(kg·°C);

t_s ——过热蒸汽温度, °C;

t ——饱和温度, °C。

§2 锅炉的传热与水循环

燃料和空气在锅炉的炉膛里混合燃烧以后, 放出大量的热。然后通过一个复杂的热交换过程, 把热量传给锅炉里的水。与此同时, 由于锅炉的水循环, 不断地把热量从受热面带走, 并产生蒸汽。

在研究锅炉里的热交换过程时, 人们常常把它划分为三种传热的基本形式——导热、对流和辐射。

一、导 热

手持铁棒的一端, 把它的另一端放在火里加热, 这一端也会慢慢的热起来, 最后变得烫手。这种热量由物体的高温部分向低温部分传递的现象称导热。

导热现象是指由于物体各部分的直接接触、弹性波的作用、分子、原子及自由电子的扩散所引起的能量交换。它在固体、液体和气体中都能发生。

物体导热性能的好坏可以用导热系数来表示。导热系数是指1m²面积上, 当1m厚的物体

的两个面上温差为1℃时,1h内从高温面向低温面移动的热量,其单位为kg/m·h·℃(图1-4)。

锅炉中几种有关物质的导热系数列于表 1-1。从表中可以看到, 作为锅炉受热面材料的碳钢其导热系数很大, 而它内部的水垢和外面的积灰其导热系数很小, 因此它们对锅炉受热面的导热有很大的影响。

表1-1 几种物质的导热系数[Kcal/(m·h·°C)]

名 称		导 热 系 数 λ
碳 钢		40~60
铜		300~340
砖		0.4~0.7
石 棉 板		0.15~0.18
水 垢 层	硫酸钙为主要成分	0.5~2.0
	硅酸盐为主要成分	0.2~0.4
	碳酸盐为主要成分	0.4~0.6
灰 粒		0.05~0.1
油 脂		0.05~0.1
蒸 汽		0.033~0.12
水		0.48~0.59

锅炉受热面依靠导热把热量从高温侧传递到低温侧, 其传递的热量可用下式计算:

$$Q = \frac{(t_1 - t_2) F}{\frac{\delta}{\lambda}} \quad \text{kcal/h} \quad (1-7)$$

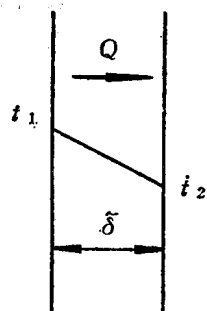


图1-4 平壁的导热

式中: t_1 ——受热面高温侧温度, °C;
 t_2 ——受热面低温侧温度, °C;
 F ——受热面面积, m^2 ;
 δ ——受热面厚度, m;
 λ ——导热系数, $\text{kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

二、对 流

对流是指物体的各部分发生相对运动而引起的热量转移。对流传热只能在气体和液体中发生。

水和空气的传热主要靠对流, 它们的导热能力很小。它们在加热时, 加热部分由于受热膨胀而比重减小, 这部分物质就要自然上升。没有加热的部分, 由于比重大而要自然下降。这种热的部分上升, 冷的部分下降的周而复始的过程称为对流。

流体和固体直接接触时相互间的热交换过程称为对流换热。在这个过程中, 对流和导热同时发生作用。对流换热可用下式计算:

$$Q = \alpha F (t_1 - t_2) \quad \text{kcal/h} \quad (1-8)$$

式中: α ——对流传热系数, $\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$;
 F ——热交换面积, m^2 ;
 $(t_1 - t_2)$ ——流体与换热表面之间的温度差, °C。

放热系数的大小表示对流换热的强度。它的数值等于单位时间内流体和表面之间的温度差为1℃时, 通过单位面积所传递的热量。

三、辐 射

太阳光照到物体的表面，物体的温度就会慢慢升高，这种传热叫做辐射。辐射是一种以电磁波来传递能量的过程，它与导热和对流有本质上的不同，并且伴随着能量的二次转换过程——热能先转变成辐射能，然后辐射能再转变为热能。

物体的辐射能力可用下式表示：

$$E = C \left(\frac{T}{100} \right)^4 \text{ kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \quad (1-9)$$

式中：C——物体的辐射系数，它的数值取决于物体的性质、表面情况和表面温度，单位为 $\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{K}^4)$ ；

T——物体表面的绝对温度， $^\circ\text{K}$ 。

锅炉的炉膛温度很高，高达1000 $^\circ\text{C}$ 以上，由于辐射传热与温度的四次方成正比，因此炉膛内的辐射热量是很大的。

四、锅炉的传热状况

燃料在炉膛里燃烧放出的热量，经过一个复杂的传热过程后再传给锅炉里的水。在这个过程中，导热、对流和辐射三种方式同时发生，可以用图 1-5 说明。

图1-5(a)是锅炉炉膛里的传热状况，由导热、对流和辐射三种方式组成。第一步是炉膛里的高温烟气通过辐射和对流把热量传给管壁；第二步是管壁的导热，把热量从烟气侧传到炉水侧；第三步是管壁与炉水之间的对流换热，把热量传给炉水。

图1-5(b)是锅炉对流受热面的传热状况：由于烟气温度较低，忽略了烟气的辐射以后，由对流和导热二种方式组成。烟气通过对流把热量传给受热面管壁，经过管壁的导热把热量从高温侧传到低温侧，然后再通过对流，管壁把热量传给炉水。

在锅炉的实际运行过程中，受热面的管子表面并不是清洁的，它的外表面有一层烟灰，内表面有一层水垢，如图 1-6 所示。虽然烟灰和水垢的厚度很小，但因它们的导热系数很小，严重地影响着传热效果，传热计算时必须加以考虑。管子壁一般比较薄，可以作为平板来看待，传热系数可用下式确定

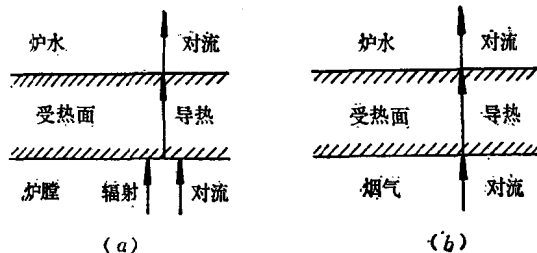


图1-5 锅炉的传热状况
(a)炉膛辐射受热面 (b)对流受热面

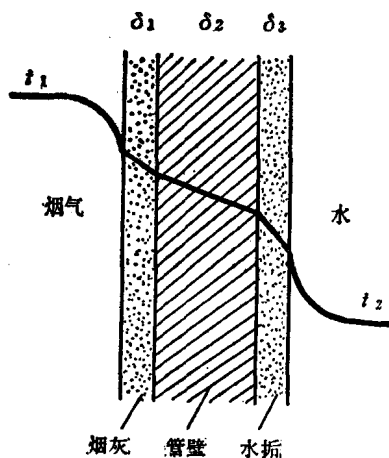


图1-6 通过管壁的传热

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_1}{\lambda_1} + \frac{\delta_2}{\lambda_2} + \frac{\delta_3}{\lambda_3} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad \text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}) \quad (1-10)$$

式中: α_1 ——烟气对管壁的放热系数, $\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$;

δ_1 、 δ_2 、 δ_3 ——分别为烟灰、管壁、水垢的厚度, m ;

λ_1 、 λ_2 、 λ_3 ——分别为烟灰、管壁、水垢的导热系数, $\text{kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$;

α_2 ——管壁对炉水的放热系数, $\text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$ 。

在实际计算中, 由于管壁厚度 δ_2 仅为 $0.002 \sim 0.005 \text{m}$, 而 λ_2 为 $40 \sim 60 \text{kcal}/(\text{m} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$, 所以 δ_2/λ_2 的数值甚小, 可以忽略不计。烟灰和水垢的热阻值一般来之于实验数据, 二者之和统称为受热面的污垢系数 ε , 于是上式可以写成

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \varepsilon + \frac{1}{\alpha_2}} \quad \text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$$

对流受热面的传热可用下式计算

$$Q = K \Delta t H \quad \text{kcal}/\text{h} \quad (1-11)$$

式中: Δt ——烟气和被加热介质之间的平均温差, $^\circ\text{C}$;

H ——对流受热面面积, m^2 。

五、锅炉的水循环

锅炉的水冷壁管与对流管束受到高温烟气的辐射和包围, 大量的热量经过管壁传给炉水, 使它加热、汽化。管壁温度介于烟气与炉水温度之间, 不过只比炉水温度稍高一些, 这是因为炉水对金属管壁有良好的冷却作用。管壁把热量传给炉水后, 在管壁上要形成小的汽泡, 如图 1-7 所示。这种汽泡必须及时离开, 并让汽水混合物把热带走, 才能保证炉水对管壁的有效冷却。如果形成的汽泡不走, 停留在管壁上, 由于水蒸汽与管壁之间的热交换远比水差, 管壁就不能得到良好的冷却, 会造成过热而烧坏。为了使汽水混合物及时的离开受热面, 必须建立可靠的水循环。锅炉的水循环有自然循环和强制循环两种类型。

图 1-8 是自然循环的简单回路。由上下两个筒和两组管束组成。左边的管束受到高温烟

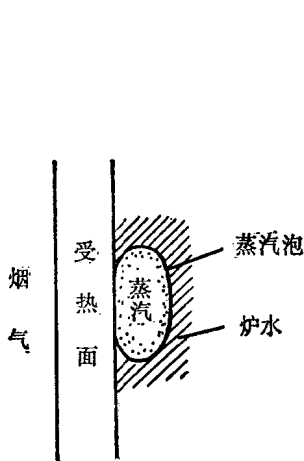


图1-7 受热面管壁上形成的蒸汽泡

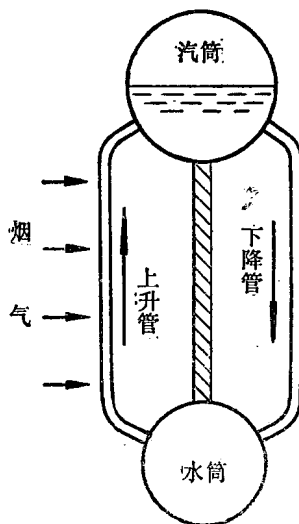


图1-8 自然循环回路简图

气的加热,管中产生蒸汽,称上升管。右边管束被低温烟气加热或不加热,里面不产生蒸汽,称下降管。由于左边管子里形成了汽水混合物,比重较小。右边管子里是饱和水或接近于饱和状态的水,比重较大。由于两边管子里流体的比重不同,左边管内的汽水混合物就自然上升,右边管子里的水就自然下降,回路中的水和汽水混合物就产生了自然循环。以这种循环形式工作的锅炉称为自然循环锅炉。

如果在锅炉的水回路中加入循环水泵,使水在外力的驱动下产生运动,这种水循环称为强制循环。强制循环锅炉又分为多次强制循环锅炉和直流锅炉两种。

水循环对锅炉的经济性与可靠性有直接的影响,良好的水循环给锅炉带来下列优点:
(1)蒸发受热面可有效地吸收烟气的热量,提高锅炉效率;(2)可以防止受热面的过热,提高锅炉的工作可靠性;(3)有利于各部分温差的减少,降低热应力;(4)可以缩短锅炉的升汽时间。

§3 锅炉的性能

一、锅炉的蒸发量

蒸发量 锅炉在单位时间里产生的蒸汽量称为蒸发量或蒸汽产量,习惯上又称为锅炉的容量。

换算蒸发量 由于各种锅炉的蒸汽压力、过热蒸汽温度、给水温度等参数的不同,相互间很难进行比较。为了便于比较,又引出了换算蒸发量或折算蒸发量的概念。这是把锅炉的实际蒸发量换算到标准气压下的饱和蒸汽产量,可用下式表示:

$$D_e = \frac{D(i_1 - i_2)}{539} \quad \text{kg/h} \quad (1-12)$$

式中: D ——锅炉的实际蒸发量, kg/h;
 i_1 ——饱和蒸汽或过热蒸汽的焓, kcal/kg;
 i_2 ——给水的焓, kcal/kg;
 539——标准气压下水的汽化热, kcal/kg;

$\frac{i_1 - i_2}{539}$ ——蒸发系数,表示换算蒸发量与实际蒸发量之比。

换算蒸发率 锅炉的换算蒸发量与蒸发受热面面积之比称换算蒸发率,用下式表示:

$$e = \frac{D_e}{F} \quad \text{kg/(m}^2 \cdot \text{h)} \quad (1-13)$$

式中: D_e ——换算蒸发量, kg/h;
 F ——蒸发受热面面积, m²。

由于各种锅炉的结构不同,它们的换算蒸发率也不同。烟管锅炉一般为 20~30kg/(m²·h),水管锅炉为 30~100kg/(m²·h)。

二、炉膛容积热负荷

炉膛容积热负荷 锅炉炉膛里单位容积在单位时间内产生的热量称为炉膛容积热负荷。它可用下式计算: