

高等学校教学用书

燃烧工程

郑琼姣 编

煤炭工业出版社

高等学校教学用书

燃 烧 工 程

郑琼姣 编

煤炭工业出版社

内 容 提 要

本书系统地阐述了燃料燃烧理论及其在炉内的燃烧过程。全书共九章,内容包括燃烧基本理论、锅炉的工作原理、锅炉燃料的物理化学性能及成分、各种燃料的燃烧计算、热平衡与效率、燃烧化学动力学、各种射流的扩散与混合以及气体燃料、液体燃料和固体燃料在各种不同炉型中的着火及燃烧过程。书中介绍了国内外新工艺、新技术的研究水平及进展。

本书为高等院校煤化工、煤综合利用、热能工程等专业的教学用书,也可供有关的工程技术人员参考。

责任编辑 黄 维

高 等 学 校 教 学 用 书

燃 烧 工 程

郑 琼 姣 编

煤炭工业出版社 出版

(北京安定门外和平里北街21号)

煤炭工业出版社印刷厂 印刷

新华书店北京发行所 发行

开本 $787 \times 1092\text{mm}^{1/16}$ 印张 12 $^{1/8}$

字数286千字 印数1—2,120

1988年3月第1版 1988年3月第1次印刷

ISBN 7-5020-0072-0/TD·68

书号 2984

定价2.65元



前 言

本书是根据煤化工专业“燃烧工程”课程的教学大纲编写的。在编写过程中结合煤炭系统的特点，详细阐述燃烧理论、燃料的燃烧、着重介绍了低热值燃料在沸腾炉内的燃烧及传热特性、沸腾炉工作原理及锅炉结构、以及国内外沸腾燃烧的经验及存在问题。并对煤粉燃烧作了简单介绍。

由于水平所限，书中难免会有不少缺点和错误，恳请读者批评指正。

编 者

一九八六年八月

目 录

第一章 概论	1
第一节 燃料的燃烧	1
第二节 锅炉的一般工作原理	5
第三节 锅炉房设备	9
第四节 锅炉的基本特性和安全性指标	11
第二章 燃料	14
第一节 固体燃料	15
第二节 液体燃料	28
第三节 气体燃料	29
第三章 燃料燃烧计算	32
第一节 概述	32
第二节 固体和液体燃料的燃烧计算	34
第三节 气体燃料的燃烧计算	39
第四节 过量空气系数 α 的选择	42
第五节 根据烟气分析调整过量空气系数	44
第六节 空气和烟气的焓	51
第四章 热平衡与效率	55
第一节 锅炉的热平衡	55
第二节 锅炉热效率	57
第三节 锅炉各项热损失	59
第四节 燃烧设备的热平衡	73
第五节 沸腾层的烟气侧热平衡	75
第五章 燃烧化学动力学	82
第一节 化学反应速度	82
第二节 影响化学反应速度的诸因素	89
第三节 可燃气体的燃烧反应机理	92
第六章 扩散与混合	98
第一节 运动气流中的扩散	98
第二节 直流射流的扩散与混合	103
第三节 平面射流和圆形射流的扩散与混合	106
第四节 环形射流和同心射流的扩散与混合	109
第五节 平行于主气流的射流的扩散与混合	111
第六节 横向射流的扩散与混合	113
第七节 旋转射流的扩散与混合	114
第七章 气体燃料的着火与燃烧	121
第一节 着火的热力条件	121

第二节	点燃过程	124
第三节	着火极限	125
第四节	火焰的传播	128
第五节	预混火焰与扩散火焰	134
第六节	煤气燃烧方法与火焰稳定	136
第八章	液体燃料的燃烧	140
第一节	雾化	140
第二节	油滴的燃烧	144
第三节	油雾的燃烧过程	145
第四节	燃油完全燃烧的措施	147
第九章	固体燃料的燃烧	149
第一节	煤的燃烧	149
第二节	火床燃烧	154
第三节	煤粉燃烧	161
第四节	沸腾燃烧	164
参考文献		188

第一章 概 论

第一节 燃 料 的 燃 烧

各种燃料中的可燃成分虽有不同，但基本都是由碳、氢、硫、一氧化碳及碳氢化合物等所组成。固体和液体燃料主要有碳、氢、硫等可燃成分；气体燃料有一氧化碳、氢、甲烷、硫化氢和烃类等可燃成分。燃料中的可燃成分与氧气相遇，发生强烈化学反应的过程叫做燃烧。燃烧过程的特点是：反应进行的非常迅速，并伴随有发光放热的现象。所以，概括地说，燃烧就是可燃质与氧发生的一种发光放热的高速化学反应。

燃料燃烧，生成了燃烧产物（烟气）并放出热量。热量的一部分消耗在加热新燃料，使其温度迅速达到着火温度，其他部分热量则被炉中受热面内流动的工质（水、气水混合物或饱和蒸气）所吸收。

燃料能否完全燃烧，并放出全部热量是与燃烧炉的结构特点、采用的燃烧方式以及燃烧过程中的风量调节、运行方式等有关。现重点讨论燃料在工业锅炉内的燃烧过程。

一、燃烧方式

固体燃料煤在工业中的燃烧方式，一般可分为层燃式、室燃式（或称悬浮式）和沸腾式三种。有些炉子的燃烧方式介于上述三种燃烧方式之间，例如，在层燃炉中采用风力抛煤机或机械抛煤机时，有不少微细煤粒被抛在燃料层上方的空间燃烧，该炉子的燃烧方式就属于半悬浮燃烧或火炬-层燃方式。

1. 层燃方式

在层燃炉中只燃烧固体燃料。图 1-1 为层燃炉的工作原理图。将燃料送到固定的或移动的炉篦上，形成厚度均匀的燃料层，空气通过炉篦上的孔缝隙由下向上流动，空气与燃料之间没有相对运动，大部分燃料是在炉篦上燃料层中燃烧。被吹至燃烧室空间的部分细屑煤粒和燃料层中燃料放出的挥发分，以及焦炭在燃烧时，周围所形成未燃完的可燃气体，在燃料层上部的炉子空间燃烧。

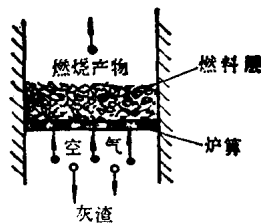


图 1-1 层燃原理

根据层燃炉的炉排结构特点，层燃炉可分为燃料层不动（固定炉排）、燃料层在炉排上移动（振动炉排和翻转炉排）和燃料层与炉排一起移动（链条炉排）三种，如图 1-2 所示。

上述各种层燃炉，其燃用的固体燃料采用 0~30mm 小块状，燃烧所需要的空气均由炉篦下送入。因此，燃料在层燃炉中的燃烧速度，就取决于燃料块的表面积和送入空气的速度。燃料块愈小，其表面积愈大，燃烧反应进行得就愈快。但过多的细屑煤粒除增大空气的流通阻力，影响空气的供给外，还易被烟气带走，增加了燃烧热损失；故燃料粒径的大小，对层燃炉的燃烧是有很大影响的。此外，空气的流速对燃烧速度也有影响，如提高空气流速，可以加快燃料的燃烧速度，但风速过大，可将部分燃料吹起，使燃料层的稳定性

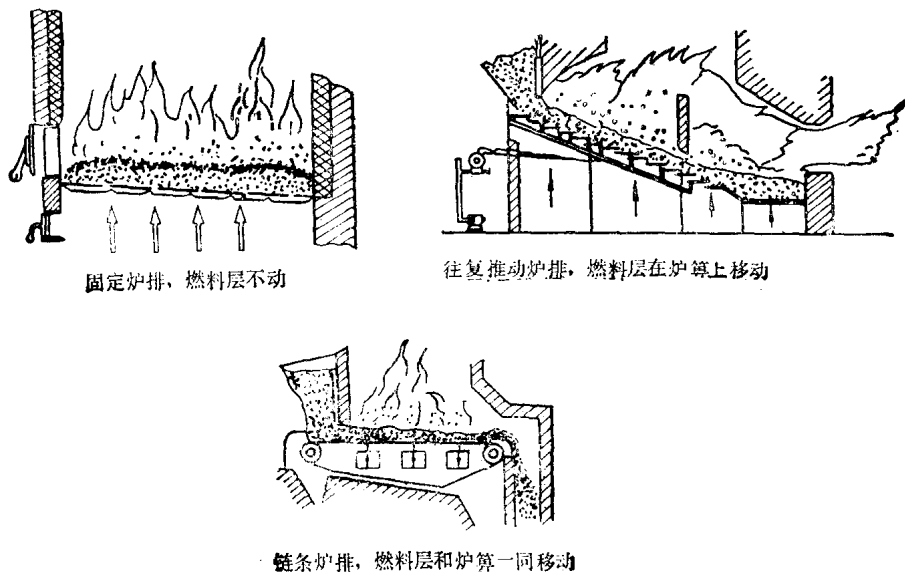


图 1-2 层燃炉分类

遭到破坏。

工业锅炉的蒸气负荷经常是变动的，燃烧所需的燃料量也相应随之变动，所以可用改变空气供应速度和送入炉排上的煤量来适应负荷的需要。

层燃式在中小型动力装置和工业锅炉中占有重要地位。其主要优点是热惰性大（即燃料供给与鼓风之间协调性发生偏差时，敏感性差）；对燃烧技术要求不高，在防止燃料未飞出的情况下，可用增大鼓风的办法来助燃。其缺点是不适用于大型动力装置，也不能实现完全机械化和自动化。

2. 室燃方式

燃料随气流喷入燃烧室内，呈悬浮状态燃烧。

气体燃料不必预热即可直接送入炉内燃烧；液体燃料须通过雾化器，将其雾化成细雾状油滴后，送入炉内燃烧。雾化除了增大油滴与空气的接触面积外，又可使油雾粒不易由气流中分离出来，所以油滴在炉内得以充分而完全的燃烧。固体燃料则应将其磨制成极细的煤粉后，由空气送入炉内燃烧。

根据炉内气流情况，室燃方式又可分为火炬燃烧方式与旋风燃烧方式。

1) 火炬燃烧方式

燃料与空气的混合物送入炉内后呈火炬形式燃烧，如图1-3所示。燃料与空气之间几乎没有相对运动。采用这种燃烧方式的炉子称为室燃炉。燃用煤粉的室燃炉称为煤粉炉；燃用液体、气体燃料的称为燃油炉、燃气炉。煤粉炉按其排渣方式，又分为固态排渣炉和液态排渣炉。

采用火炬燃烧方式时，燃料在炉内的停留时间很短（约3~4s），炉内没有富裕的燃料量，因此，该炉只能燃用极细粉状或雾状的燃料。燃料和空气应有稳定的供应，并能调节灵活，适于锅炉负荷的需要。

2) 旋风燃烧方式

旋风燃烧方式是在圆柱形筒体（立式或卧式）内进行旋涡燃烧如图 1-4 所示。空气及燃料沿切线方向送入炉内，在高速旋转的气流带动下，使燃料向前流动，并进行燃烧。由于离心力的作用，燃料颗粒沿着炉子内壁运动，最后由炉子的一端排出。燃料颗粒与气流之间有很大的相对运动，一方面加强了空气与颗粒表面的接触，另一方面使燃烧的产物易于脱离燃料表面，因此，旋风炉内的热强度很高。

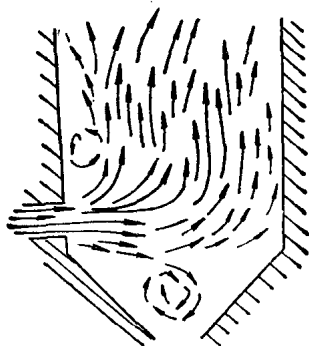


图 1-3 火炬燃烧方式

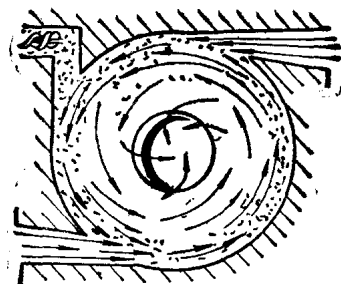


图 1-4 旋风燃烧方式

旋风燃烧方式中，具有较薄的运动的燃料层。因燃料在炉子中逗留的时间较长，故可采用较粗的燃料粒。由于气流带动燃料粒在炉内运动，气流作用到燃料粒上的力，应大于燃料粒本身的重量。采用旋风燃烧方式的炉子称为旋风炉。

室燃方式适用于大型动力装置。其主要优点是不易结渣、设备费用随负荷上升得慢，对负荷变化的适应性好，由于燃料粉末的表面积大，又处于悬浮状态下燃烧，故气化效率比层燃式高；同时可燃用高灰分、高水分的劣质煤、无烟煤屑、不结焦的瘦煤等，还可实现全部机械化与自动化。虽然其制粉系统庞大需消耗较多的电能，燃烧时烟气又带走大量飞灰，使飞灰损失增加，但其优点还是主要的。尤其涡流燃烧的旋风炉，燃烧过程强烈、热强度大、设备紧凑。所以室燃方式具有非常广阔的发展前途。

3. 沸腾燃烧方式

它是一种新型的燃烧方式，如图 1-5 所示，这种燃烧方式是将燃料破碎成直径为 0~8mm 的颗粒送入炉内，压力较高的空气从下面穿过布风板，将燃料层吹起。布风板上面的炉膛为倒锥形向上扩大，当燃料被吹起后，因炉膛内风速的减小，故燃料颗粒又落到截面较小的沸腾层上，沸腾风速又使燃料颗粒重新被吹起，因此，造成燃料颗粒在炉膛空间来回翻腾和互相碰撞，如沸腾的液体，并形成一定厚度的沸腾层（800~1300mm）。由于燃料和空气的相对运动速度很大，使沸腾层内物料的混合大大加强。新燃料与燃烧着的燃料接触和碰撞，不断加热点燃。灰渣象水流那样通过溢流管流出。

沸腾燃烧的主要优点是单位面积布风板上的热强度大，燃料颗粒不断的在流体动力作用下混合、碰撞，有利于破坏颗粒的外层灰壳，阻碍燃料的粘结和结渣；因其处于低温燃烧（850~1000℃），能抑制硫化物及氮氧化合物的生成量，减轻大气污染。此外，由于其具有燃烧强烈、传热率高的特点，所以能燃用低热值燃料，如煤矸石、石煤、油页岩、褐煤、低质烟煤、低质无烟煤等。这些低热值燃料资源非常丰富，遍布全国各地，因此有利于沸腾燃烧技术的应用与推广，为低热值燃料应用开辟了一条广阔的途径。

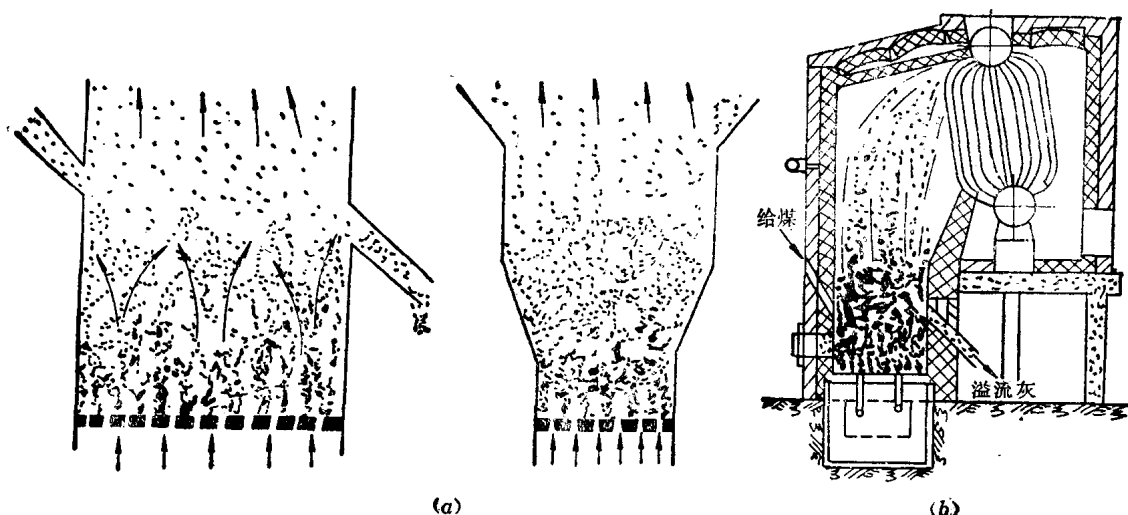


图 1-5 沸腾燃烧方式

a—沸腾燃烧时煤粒运动示意图；b—沸腾燃烧炉

目前，我国许多矿区已大量使用沸腾燃烧锅炉，燃用本矿区的煤矸石等低热值燃料，节约大量优质燃料。沸腾炉渣还可综合利用，如作为制作各种建筑材料的掺合料等。

二、燃烧工况

燃烧时为使可燃成分与氧化剂能充分接触，需要经过一个物质的扩散、混合过程。通常是将扩散、混合到完成燃烧化学反应的整个过程称为燃烧过程。燃烧过程是一个复杂的化学和物理的综合过程。

为完成预定的燃烧过程，需要一定的时间和空间。燃烧所需的全部时间 τ 包括：燃料与空气混合达到分子间接触所需要时间 τ_{mix} 与燃烧化学反应所需时间 τ_{che} ，如不考虑这两个过程的重叠，则燃烧所耗总时间为上述二个过程所耗时间之和，即

$$\tau = \tau_{mix} + \tau_{che} \quad (1-1)$$

燃料与空气的混合可以通过层流扩散，也可以通过湍流扩散，因此扩散混合时间就为：

$$\tau_{mix} = \frac{1}{\frac{1}{\tau_M} + \frac{1}{\tau_t}} \quad (1-2)$$

式中 τ_M ——层流扩散所需时间；

τ_t ——湍流扩散所需时间。

采用不同的燃烧过程时，上述两种时间所占的比例也不同。 τ_{mix} 主要受分子扩散速度的制约，而 τ_{che} 主要受化学反应速度的制约，因此，根据对燃烧过程起制约的因素，可将燃烧工况划分为：

1) 动力燃烧

当燃用固体燃料燃烧温度很低时，其化学反应速度较慢，混合速度大于化学反应速度，即 $\tau_{che} \gg \tau_{mix}$ ，则燃烧过程的速度主要取决于化学反应速度， $\tau \approx \tau_{che}$ ，这时的燃烧工况属于动力燃烧或称燃烧过程处于“动力燃烧区”。预先混合好的煤气-空气混合物的燃烧就属于这种燃烧。

2) 扩散燃烧

当温度很高时,其化学反应速度很快,混合速度远低于化学反应速度,即 $\tau_{mix} \gg \tau_{che}$,则燃烧过程的速度取决于混合速度, $\tau \approx \tau_{mix}$,此时的燃烧工况就属于扩散燃烧或称燃烧过程处于“扩散燃烧区”。如燃料与空气是分别送入燃烧室,边混合边燃烧的过程就属这种工况。

3) 过渡燃烧(或称中间燃烧)

当化学反应速度与混合速度很接近时,即 $\tau_{che} \approx \tau_{mix}$,则燃烧过程的速度取决于化学反应速度和混合速度,此时的燃烧工况就属于过渡燃烧或称燃烧过程处于“过渡燃烧区”。

三、燃料燃烧的必要条件

无论采用哪种燃烧方式,燃料在炉内燃烧时都应使燃料中的可燃物质(碳、氢、硫、碳氢化合物)成分燃尽,使燃料的全部潜在热量都释放出来,达到完全燃烧。当燃烧炉排出的烟气中还有一氧化碳、氢等可燃成分,或排出的灰渣中还有未燃尽的煤粒或焦末时,则燃烧就不完全。燃烧不完全将造成燃料的浪费与热量损失。为使燃料能均匀而完全地燃烧,必要的条件是:

(1) 要有一定的空气量 燃烧一定量的燃料,需要有一定量的空气。如空气供应不足,势必造成有一部分可燃物,因缺氧而未能进行燃烧反应而随烟气离开燃烧室,造成燃烧损失;但如空气过量,也会使排烟量过大,而引起损失增加。故燃烧所需要的空气量,必须控制在合理的范围内。

(2) 要有一定的温度 燃料只有达到一定温度(即燃料的着火点)时才能着火燃烧。各种燃烧炉都应提供着火热,例如层燃炉炉排上的燃料层,对新进入的燃料加热;链条炉内的炉拱,对刚进入炉子的新燃料,也反射一部分热量等都有利于燃料着火。此外,炉内还应维持一定的温度,使燃料着火后能迅速稳定地燃烧。因温度愈高,燃烧愈强烈。对于层燃炉炉内温度一般维持在 $1200 \sim 1500^\circ\text{C}$;室燃炉其炉内温度应在 1300°C 以上为好;而对于沸腾炉,由于其燃烧特点,炉内温度一般为 1000°C 左右。

(3) 燃料与空气充分混合 燃料燃烧时,仅有足够的空气是不够的,还需要使空气与燃料能充分接触和混合,才能使燃烧过程进行得完善。如煤粉炉把燃料磨成粉末;燃油炉把油喷成雾状;以及手烧炉加强拨火等都是为了增加燃料与空气的接触面积。

某些先进的燃烧设备,除了提高炉子的机械化、自动化程度外,在解决燃料与空气的充分混合方面也有着显著的成效。

(4) 要有足够的燃烧时间 燃料燃烧时,需要一定的空间和时间以保证其完全燃烧。如层燃炉需要有一定的炉箅面积;室燃炉需要有一定的炉膛高度与容积等。

第二节 锅炉的一般工作原理

为了解燃料在锅炉内的燃烧过程,应首先对锅炉的一般工作原理进行介绍:

锅炉,其主要组成部分是汽锅与炉子。燃料在炉内燃烧,将其本身的化学能转化为燃烧产物的热能,高温的燃烧产物通过汽锅壁受热面与锅内的水进行热交换,将水加热为热水或使之汽化为蒸气。热水与蒸气可直接作为采暖通风或生活等所需热量的载热体,蒸气也可直接用于工业,供生产过程中加热的需要,如炼油、橡胶、纺织、印染、造纸等工业,使用于这方面的锅炉称之为采暖工业锅炉。蒸气可经原动机(蒸气机或汽轮机),使

热能转变为机械能,以行驶机车船舶等,使用于这方面的锅炉称为船舶锅炉。也可经由汽轮发电机组把热能转变为电能,以供给交通运输及轻重工业所需的原动力,使用于这方面的锅炉称之为动力锅炉。

由于运行经济及安全等方面的需要,锅炉陆续增添了一系列的辅助或附属装置,构成了庞大而复杂的综合体——锅炉设备。

动力锅炉由于提高热机效率上的要求,所产生的蒸气压力及温度都较高,尤其是配合汽轮发电机组用的锅炉,更是日益向高温、高压、大容量的方向发展。

工业及采暖用锅炉,主要是用它所生产的蒸气或热水,作为载热体而放出热量,因而除工艺上有特殊要求外,从安全及卫生技术的观点而言,所生产的蒸气或热水,其压力及温度都不宜过高。此外,锅炉的容量也无须过大,一般不超过20t/h,蒸气压力在1.5MPa以下。这些小型蒸气锅炉也同样可以用作小容量的动力设备,目前有一些煤矿,为了就地燃用本矿区所生产的低热值燃料,采用沸腾炉发电,建立自备电厂。

一、锅炉的分类与参数系列

由于各种生产工艺的要求不同,如蒸气量多少、压力大小、温度高低、燃烧方式以及结构型式等的差异,我国锅炉的分类标准也不一样,目前对锅炉的分类,大约有以下几种:

1) 根据锅炉用途分 有采暖锅炉、工业锅炉、船舶锅炉、电站锅炉等。

2) 根据锅炉蒸发量大小分

(1) 小型锅炉: 蒸发量 $D < 25\text{t/h}$;

(2) 中型锅炉: 蒸发量 $D = 25 \sim 75\text{t/h}$;

(3) 大型锅炉: 蒸发量 $D = 76 \sim 1000\text{t/h}$;

(4) 特大型锅炉: 蒸发量 $D > 1000\text{t/h}$ 。

3) 根据锅炉工作压力分

(1) 低压锅炉: 工作压力在1.5MPa以下, 蒸气温度在400℃以下;

(2) 中压锅炉: 工作压力为1.6~5.9MPa, 蒸气温度为400~450℃;

(3) 高压锅炉: 工作压力为6~13.9MPa, 蒸气温度为460~540℃;

(4) 超高压锅炉: 工作压力为14~16MPa, 蒸气温度为540~555℃;

(5) 亚临界压力锅炉: 工作压力为16.7~17MPa, 蒸气温度为540~570℃。

4) 根据其它方法分

(1) 根据安装的型式分: 有立式锅炉和卧式锅炉等。

(2) 根据燃料及燃烧方式分: 有层燃炉、煤粉炉、旋风炉、沸腾炉、燃油炉、燃气炉和原子能锅炉等。

(3) 根据水循环系统分: 有自然循环锅炉、强制循环锅炉和复合循环锅炉等。

(4) 根据炉水和烟气的流道分: 有水管锅炉、烟管锅炉和烟水管混合布置的锅炉等。

为使锅炉产品规格化,并能科学地排列,从而使制造及使用部门有依据的进行制造和配套使用,促进动力工业的生产,并使各种辅机能配套生产,必须规定锅炉的蒸气参数系列。根据我国当前工业动力和电力生产的需要,促进电力和锅炉工业的发展,制订了锅炉参数系列。目前所用的锅炉容量参数系列如表1-1所示。

二、锅炉的一般工作原理

锅炉是一种生产蒸气的换热设备,因此,锅炉也可称为蒸气发生器。由于锅炉本身的

表 1-1 锅炉的容量、参数系列

气压, MPa	气 温, ℃	给水温度, ℃	容 量, t/h	功 率, kW
0.5	饱 和	20	0.05, 0.1, 0.2	
0.8	饱 和	20	0.4, 0.7, 1.0, 1.5 2, 4	
1.3	饱 和 250 300 350	20, 60, 105	1, 2, 4, 6, 6.5, 10, 20	1500, 3000
2.5	饱 和 400	20, 60, 105	1, 2, 4, 6, 6.5, 10, 20	1500, 3000
3.9	450	150, 170	35, 65, 75, (120), 130	6000, 12000
10	510 540	215	220, (230), 410	50000, 100000
14	540/540 555/555	240	400, 670	125000 200000
17	570/570 540/540	260	1000	300000

性能, 它具有下列特点:

(1) 可靠性要求高, 如锅炉一旦发生事故而停炉, 将使工厂及电厂临时中断生产及供电, 影响较大。

(2) 金属耗量和体积大, 生产周期长, 锅炉产品不能在锅炉厂内整装试运行, 这给鉴定和提高产品质量带来困难。

现以SHL10-13/350型锅炉 (即双锅筒横置式、链条炉) 为例, 如图1-6所示, 简要地介绍锅炉的基本组成和工作原理。

汽锅是由上锅筒、下锅筒、对流管束、水冷壁、下降管和集箱等组成的一个封闭汽水系统。燃烧装置由煤斗、燃烧室、炉排、除渣板、送风系统等组成。

为了保证锅炉的正常运行和安全, 锅炉还必须装设安全阀、水位表、高低水位报警器、压力表、主气阀、排污阀、逆止阀等。还需有用来消除受热面上积灰以利传热的吹灰器, 以提高锅炉运行的经济性。

锅炉的工作包括三个同时进行着的过程: 燃料的燃烧过程、烟气向管内工质传热的过程以及水的汽化过程。现分述如下:

1. 燃料的燃烧过程

图1-6为链条炉排炉, 该炉是应用较为普遍的一种燃烧设备。燃烧室设置在汽锅的前下方, 燃料由炉前加煤斗借自重下落到炉排面上, 炉排经电动机, 通过变速齿轮箱减速后, 由链轮带动, 犹如胶带输送机, 将燃料带入炉内。燃料一面燃烧, 一面随炉排向后移动, 最后烧尽成灰渣; 在炉排尾端翻过除渣板 (或称老鹰铁) 后排出。燃烧所需要的空气是由风机送入炉排的风室中, 向上穿过炉排到达燃料层, 进行燃烧反应形成高温烟气, 此过程

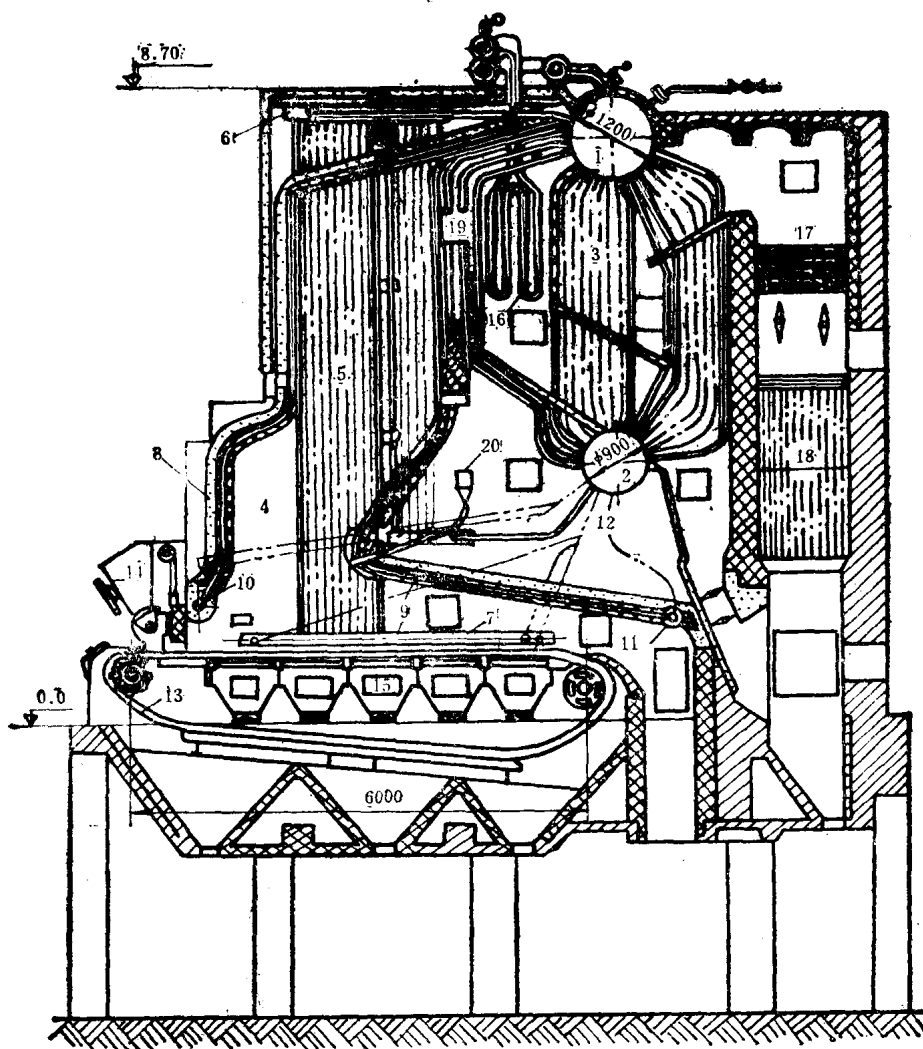


图 1-6 SHL10-13/350型锅炉

1—上锅筒；2—下锅筒；3—对流管束；4—炉膛；5—侧墙水冷壁；6—侧墙水冷壁上集箱；7—侧墙水冷壁下集箱；8—前墙水冷壁；9—后墙水冷壁；10—前墙水冷壁下集箱；11—后墙水冷壁下集箱；12—下降管；13—链条炉排；14—加煤斗；15—风室；16—蒸气过热器；17—省煤器；18—空气预热器；19—烟窗及防渣；20—二次风管

就是燃料的燃烧过程。燃烧过程进行得完善与否，是锅炉正常工作的根本条件。为使锅炉燃烧能持续进行，必须连续不断地供应燃料、空气，并及时排出烟气、灰渣。为此，就需要配备送、引风设备和运煤出渣设备。

2. 烟气向管内工质传热的过程

在燃烧室内的四周墙面上，都布置有一排水管，称为水冷壁。燃料燃烧产生的高温烟气与水冷壁进行强烈的辐射与对流换热，将热量传递给管内的水。继而烟气受引风机、烟囪的引力而向炉膛上方流动，炉膛出口处布置一组垂直放置的蛇形管受热面，与蒸气过热器，烟气由炉膛出口后直接冲刷蒸气过热器，使过热器内由汽锅产生的饱和蒸气在其中受烟气加热而变为过热蒸气。烟气流经过热器后，又通过胀接在上、下锅筒间的对流管束，在管束间设置了折烟墙，使烟气曲折地呈“S”形横向流动，以对流换热方式将热量传

递给管束内的工质；从而烟气的温度沿途逐渐降低，最后进入尾部烟道，并与省煤器和空气预热器内的工质再次进行热交换后，以较低烟温排出锅炉。省煤器实际上是给水预热器，它和空气预热器一样，都设置在锅炉尾部烟道，通称为尾部受热面，以降低排烟温度，提高锅炉的经济性。

3. 水的气化过程

水的气化过程，主要包括水循环和气水分离过程。锅炉用水在炉外经过滤、软化、除氧后作为锅炉给水，由给水泵加压送至省煤器进行预热后，送入汽锅。

锅炉工作期间，水和气水混合物在锅炉蒸发受热面的回路中不断流动，这就是汽锅的水循环。为了保证水循环和进行输导分配的需要，在锅炉炉墙外设置有不受热的下降管，上锅筒内的水通过下降管不断地向水冷壁进口联箱供水，水冷壁内的水吸热后产生蒸气，成为气水混合物。由于气水混合物的重度比水小，它就会上升进入汽锅，在汽锅内，借助于装设其中的气水分离装置，将气与水分开，故锅的上部为气，下部为水。上部的饱和蒸气被引至过热器继续加热，下部的水（包括经省煤器进入汽锅的水）则由下降管再进入水冷壁内加热。水冷壁出口处气水混合物的含气率（按重量）大约在5~25%的范围内。小容量低参数的锅炉，含气率较小，大容量高参数的锅炉则含气率较大。因此，对于一定量的水，必须在汽锅、下降管和水冷壁等组成的回路内，多次循环后才能全部蒸发。

对于设置有多排并密集布置的对流管束的锅炉，其特点是整个管束都吸收热量，没有独立的不受热的下降管。在这种情况下，对流管束中工质的流动是向上或向下将取决于管子的受热情况。根据烟气流动方向，烟道前部烟气温度较高，为高温区段；烟道后部烟气温度较低，为低温区段。位于低温区段的对流管束因受热较弱，产生的蒸气较少，工质的重度较大；而位于高温区段的对流管束，相应地受热就较强，因此工质的重度较小，于是重度大的工质就往下流入下锅筒，而重度小的向上流入汽锅，这就形成了锅炉水的循环。这种借助于水和气水混合物重量压差而流动的方式称为自然循环。汽锅中的水循环除保证了水的气化，也保证了金属受热面能与高温烟气相接触而不致被烧坏，所以维持良好的水循环是锅炉长期安全可靠运行的必要条件，而汽锅中的气水分离装置则是保证蒸气质量和蒸气过热器可靠工作的必要装置。

第三节 锅炉房设备

锅炉房中除锅炉本体外，还须设置水泵、风机、水处理等一系列辅助设备，以保证锅炉房的生产过程能持续不断地正常进行，并达到经济、安全、可靠地运行。

锅炉本体和它的辅助设备，总称为锅炉房设备。如图1-7所示，简介如下。

一、锅炉本体

通常将锅炉的基本组成部分称为锅炉本体，它包括、汽锅、炉子、蒸气过热器、省煤器和空气预热器。后三者受热面又称为锅炉附加受热面，工业锅炉除工厂生产工艺上有特殊要求外，一般较少设置蒸气过热器，而省煤器则是广泛设置的尾部受热面。

二、锅炉房的辅助设备

锅炉房的辅助设备，由以下几个系统组成：

1) 运煤、除灰系统 其作用是为锅炉运入燃料和排出灰渣，如图1-7所示。煤由煤场经胶带输送机11送入煤仓12，而后借助自重下落，通过炉前小煤斗落在炉排上。燃料燃尽

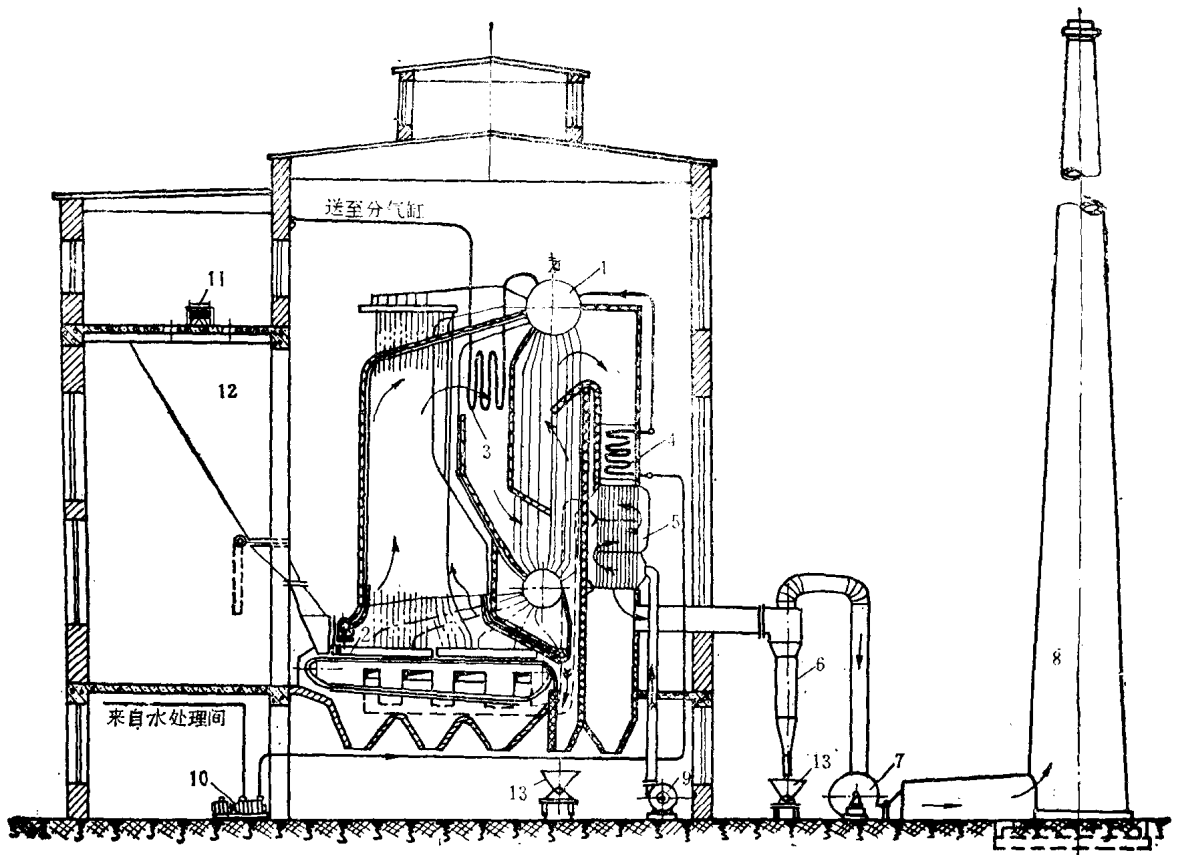


图 1-7 锅炉房设备图

1—锅筒；2—链条炉排；3—蒸气过热器；4—省煤器；5—空气预热器；6—除尘器；7—引风机；
8—烟囱；9—送风机；10—给水泵；11—胶带输送机；12—煤仓；13—灰车

后的灰渣，则由灰斗放入灰车13或用机械出渣机送出。

2) 送、引风系统 送风机9是给炉子送入燃烧所需要的空气，引风机7和烟囱8从锅炉引出燃烧产物——烟气，以保证燃烧正常进行，并使烟气以一定的流速冲刷受热面，以便得到良好的对流传热效果。为了减少烟尘污染，改善环境卫生，锅炉还设有除尘器6，同时要求保持一定的烟囱高度。除尘器收集的飞灰，可由灰车13送走。

3) 水、气系统（包括排污系统）汽锅内具有一定的压力，因而给水须借助给水泵10提高压力后送入。此外，为保证给水质量，避免汽锅及受热面管子内壁结垢或被腐蚀，锅炉房还设有软化及除氧设备，并需要有一定容量的水箱来储存给水。锅炉的污水，因其具有相当高的温度和压力，须排入排污减温池或专设的扩容器，进行膨胀减温。锅炉生产的蒸气经分汽缸由管子送至用户。

4) 热工仪表及控制系统 除了锅炉本体上装有的仪表外，为监督锅炉安全、经济运转，还装有蒸气流量计、水量表、烟温计、风压计、排烟二氧化碳指示仪、记录仪等常用仪表。电站锅炉房采用自动调节装置，对给水、蒸气压力进行自动调节以及烟、风闸门远距离操纵或遥控装置，以便更科学地监督锅炉运行。

第四节 锅炉的基本特性和安全性指标

锅炉的基本特性是表征锅炉的生产能力、蒸气参数、制造成本及运行的经济性等方面的指标:

一、容量(或额定蒸发量)

指蒸气锅炉的最大、长期连续蒸发量。常以每小时所生产的蒸气的吨数来表示。单位是t/h, 符号为 D 。

二、蒸气(或热水)参数

锅炉蒸气的参数, 是指锅炉出口处蒸气的压力(表压力)和温度。一般设计的锅炉出口蒸气压力和温度就称为额定压力和额定气温。对生产饱和蒸气的锅炉, 只需标明蒸气压力; 对生产过热蒸气(或热水)的锅炉, 则需标明压力和蒸气(或热水)温度。蒸气压力和温度是表示蒸气质量的指标。

三、锅炉热效率

锅炉热效率是表示锅炉运行的热经济性的一个指标。它是指每小时送入炉内的燃料全部、完全燃烧所发出的热量被有效利用的程度。也就是用来产生蒸气的热量占送入炉内总热量的百分数, 以符号 η 表示。对工业锅炉, $\eta = 60 \sim 80\%$, 将在第四章中详细讨论。

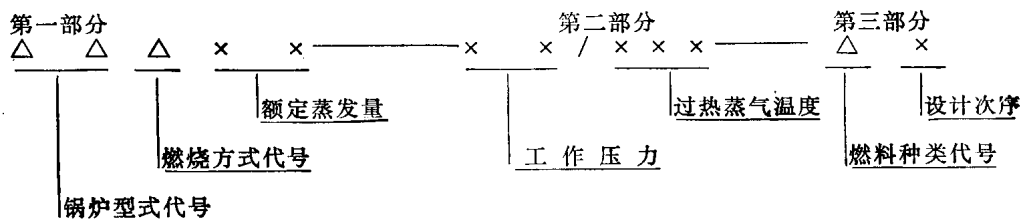
为了概略地反映或比较锅炉运行的热经济性, 常用“煤气比”或“煤水比”表示。就是指每一公斤燃煤, 能产生多少公斤蒸气或水。

四、钢材消耗率及耗电率

钢材消耗率是锅炉成本的一个重要经济指标, 即锅炉单位容量所用的钢材重量。锅炉的容量愈小, 蒸气参数愈高, 则钢材消耗率愈大。燃料的性质和锅炉的类型对锅炉钢材消耗率也有影响。以气体燃料最为有利, 其次为油, 煤是最差。目前生产的工业锅炉的钢材消耗率为 $2.5 \sim 6\text{t/t}$ 。耗电率是指产生1吨蒸气耗用电的度数 J/t 。耗电率还包括与锅炉本体配套的辅机和磨煤机、破碎机、筛煤机等辅助设备的耗电量。锅炉不仅要求热效率高, 也要求钢材消耗率低和运行耗电率低, 它们是相互制约的, 因此, 衡量锅炉总的经济性应综合考虑, 切忌片面性。

五、锅炉型号表示方法

我国目前工业锅炉的型号由三部分组成, 各部分之间用短横线相连, 如下所示:



型号的第一部分表示锅炉型式、燃烧方式和额定蒸发量。共分三段: 第一段用两个汉语拼音字母代表锅炉型式, 其意义见表1-2; 第二段用一个汉语拼音字母代表燃烧方式, 其意义见表1-3; 第三段用数字表示额定蒸发量t/h。

水管锅炉有快装、组装和散装三种型式。为了区别快装锅炉与其他两种型式, 在型号的第一部分的第一段用K(快)代替锅筒数量代号, 组成KZ(快、纵)、KH(快、横)