

鍋 炉 及 鍋 炉 房 设 备

同济大学供热通风教研室

一九七八年四月

目 录

Tk 22
1919
2

第一章 锅炉及锅炉房设备的基本知识

- § 1—1 概述..... 1
- § 1—2 锅炉的基本构造和工作过程..... 2
- § 1—3 锅炉基本特性的表示..... 5
- § 1—4 锅炉房设备的组成..... 8

第二章 燃料及燃烧计算

- § 2—1 燃料的化学成分及其分类..... 11
- § 2—2 煤的燃烧特性分析..... 15
- § 2—3 锅炉燃料..... 18
- § 2—4 燃料的燃烧计算..... 21
- § 2—5 锅炉运行时烟气量和过量空气系数的测定及计算..... 31
- * § 2—6 气体燃料及燃烧计算..... 37

第三章 锅炉的热平衡

- § 3—1 锅炉热量的平衡关系..... 41
- § 3—2 锅炉热效率..... 43
- § 3—3 固体不完全燃烧热损失..... 44
- § 3—4 气体不完全燃烧热损失..... 47
- § 3—5 排烟热损失..... 49
- § 3—6 散热损失..... 50
- § 3—7 其他热损失..... 52
- § 3—8 燃料消耗量及蒸发率..... 53

第四章 供热锅炉及其附加受热面

- § 4—1 锅炉型式发展简况..... 58
- § 4—2 蒸汽锅炉的典型型式..... 59
- § 4—3 热水锅炉..... 69
- § 4—4 锅炉附加受热面..... 71
- * § 4—5 锅炉安全附件及炉墙..... 78

第五章 燃烧设备

- § 5—1 手烧炉..... 86
- § 5—2 机械或风力抛煤机炉..... 90

§ 5—3	链条炉	92
§ 5—4	往复推饲炉排炉	100
§ 5—5	振动炉排炉	102
§ 5—6	沸腾炉	103
§ 5—7	煤粉炉	109
§ 5—8	燃油炉及燃气炉	114
§ 5—9	炉子工作强度指标	123

第六章 锅炉水循环及汽水分离

§ 6—1	自然水循环的基本概念	127
§ 6—2	供热锅炉汽水分离	131

第七章 锅炉本体的热力计算

§ 7—1	炉内传热的特点	138
§ 7—2	炉内传热计算	147
§ 7—3	对流受热面传热计算的基本知识	151
§ 7—4	对流放热系数	157
§ 7—5	辐射放热系数	170
§ 7—6	灰污系数、有效系数和利用系数	173
§ 7—7	平均温差	175
§ 7—8	对流受热面传热计算的方法提要	179
	例题 SHL 10—13/350 型锅炉热力计算	185

*第八章 锅炉设备的通风计算

§ 8—1	通风的作用和方式	209
§ 8—2	通风计算的目和原理	210
§ 8—3	锅炉烟道的阻力计算	233
§ 8—4	风道的阻力计算	238
§ 8—5	风机的选择及自然通风时烟囱高度的决定	240

*第九章 锅炉受压元件的强度计算

§ 9—1	三向应力状态和第三强度理论简介	244
§ 9—2	元筒体元件的应力分析及强度计算	245
§ 9—3	孔对元件强度的影响	247
§ 9—4	锅筒筒体的强度计算	248
§ 9—5	元筒形集箱的强度计算	253
§ 9—6	管子的强度计算	255
§ 9—7	凸形封头计算	256
§ 9—8	孔的加强计算	262

§ 9—9 平端盖(平封头)	269
§ 9—10 锅炉钢材的许用应力与安全系数	271

第十章 供热锅炉水处理

§ 10—1 概述	279
§ 10—2 水中的杂质和水质指标	280
§ 10—3 离子交换的软化原理	282
§ 10—4 离子交换的软化和除碱系统	287
§ 10—5 固定床离子交换	290
* § 10—6 移动床及流动床离子交换	295
§ 10—7 水的沉淀软化处理	298
§ 10—8 其它水处理方法简述	301
§ 10—9 水的除氧	307
§ 10—10 锅炉的排污及排污量计算	310

第十一章 运煤、除灰渣和除尘

§ 11—1 锅炉房运煤和除灰渣系统	312
§ 11—2 除尘	327

第十二章 锅炉房布置

§ 12—1 锅炉的选择	332
§ 12—2 锅炉房位置的选择	333
§ 12—3 锅炉房的建筑	334
§ 12—4 锅炉房设备布置	335
§ 12—5 锅炉房的布置举例	336
§ 12—6 锅炉房的汽水系统	342

*第十三章 锅炉热工检测和控制

§ 13—1 热工检测	347
§ 13—2 自动调节	354
§ 13—3 自动保护	359

注：凡有*号的章节及段落，课内不作讲授，供参考。

第一章 锅炉及锅炉房设备的基本知识

§ 1-1 概 述

锅炉房是供热之源。锅炉及锅炉房设备的任务，在于安全可靠、经济有效地把燃料的化学能转化为热能，进而将热能传递给水，以生产热水或蒸汽。

蒸汽，不仅在绝大多数动力机械中作为工质，将热能转变成机械能以产生动力，用于发电、锻压、行驶机车船舶、驱动农业机械等等。蒸汽（或热水）还广泛地作为工业生产和采暖通风等方面所需热量的载热体，供应诸如炼油、橡胶、化工、纺织印染以及造纸一类行业的加热、蒸煮和干燥工艺的需要，满足工厂、住宅、学校、医院等建筑物的采暖、通风和热水供应的需要。通常，我们把用之于动力、发电方面的锅炉，叫做动力锅炉；把用于工业及采暖方面的锅炉，称为供热锅炉。

为了提高热机的效率，动力锅炉所生产的蒸汽，其压力和温度都较高，且日趋向高压、高温和大容量方向发展。比如，与30万千瓦汽轮发电机组相配套的国产锅炉，每小时蒸汽产量就有1000吨，蒸汽压力为170大气压，过热蒸汽温度高达555℃。而与本专业紧密相关的供热锅炉，除生产工艺上有特殊要求外，所生产的蒸汽（或热水）均不需过高的压力和温度，容量也无需过大。无论是工业用户，还是采暖用户，对蒸汽一般都是利用其热能——蒸汽凝结而放出汽化潜热，因此除很少单位采用过热蒸汽外，大多数供热锅炉都是生产饱和蒸汽的。

随着社会生产的发展，锅炉设备日益广泛地应用于现代工业的各个部门，已成为发展国民经济的重要热工设备之一。从量大面广这个角度来看，除电力以外的各行各业中，运行着的主要是中、小型低压锅炉。因此，如何进一步改进完善这类锅炉以及提高它们的热效率，有着特别重要的现实意义。这类中小型、低压锅炉，恰恰是本专业工作范围中所经常碰到的，也正是我们所要学习研究的对象。

毛主席教导我们：“无产阶级认识世界的目的，只是为了改造世界，”所以，怎样组织锅炉的经济运行、千方百计地节约燃料和使用地方性劣质燃料、挖掘原有设备的潜力——在安全生产的前提下提高锅炉蒸汽产量以及进一步减轻司炉工人的劳动强度等等，都将是我们将面临的艰巨而光荣的任务。

“革命就是为了解放生产力”，解放后在党的正确领导下，在毛主席的革命路线指引下，我国工农业生产突飞猛进，人民生活不断提高，对动力和蒸汽热能的需要量也随之日益增长，有力地促进着我国锅炉制造工业的飞跃发展。但是，在黑暗的旧社会，由于帝国主义侵略和国民党反动派的统治，我国基本上没有自己的锅炉制造工业。当时，仅有一些小型铁工厂，完全依靠繁重的体力劳动，以“榔头敲制锅炉”。就拿这些敲制出来的小容量低压锅炉来说，用的主要材料——钢板和无缝钢管等还得依赖国外进口。“一唱雄鸡天下白”，是

共产党和毛主席领导中国人民推翻了三座大山。从此，昔日的奴隶成了主人，下定“在自力更生的基础上光复旧物的决心”，开创了“独立自主”地发展我国工业体系的道路。锅炉工业同其他现代工业一样，得到了迅速发展。在短短几年内，不仅相继兴建了一些大型锅炉制造厂，同时在党的“两条腿走路”的正确方针指导下，在全国各地建立或扩建了许多中、小型锅炉厂，生产着大量工业及采暖用的锅炉，以满足国民经济全面发展的需要。

阶级斗争的胜利，并不意味着阶级斗争的结束。英明领袖华主席指出：“无产阶级专政的一个重要任务，就是迅速发展生产力，实行技术革新和技术革命，创造比资本主义更高的生产力。这是巩固无产阶级专政，防止资本主义复辟，进而消灭阶级，向共产主义过渡的必不可少的条件之一。”而刘少奇、林彪特别是“四人帮”这伙党内资产阶级的典型代表，为了篡党夺权，复辟资本主义，他们总是竭力反对党的基本路线和社会主义建设总路线，推行一条极右的反革命修正主义路线，干扰和破坏毛主席的革命路线，他们丧心病狂，以破坏革命来破坏生产，以破坏生产来破坏革命，致使我国工业生产发展和科学技术事业遭受极大的干扰，拖了国民经济发展的后腿，同世界科学先进水平本来正在缩小的差距又拉大了，锅炉行业也不例外。我们必须遵循华主席“抓纲治国”的战略决策，彻底揭批“四人帮”的反革命修正主义路线，高举毛主席的伟大旗帜，以大庆为榜样，自力更生，艰苦奋斗，破除迷信，解放思想，加强科学研究，把节约燃料、提高锅炉出力、燃用地产劣质煤以及消烟除尘为目的锅炉技术改造持续、广泛地进行下去，为使我国供热锅炉在设计制造，运行和热工管理等各方面赶上和超过世界先进水平而努力战斗，为在本世纪内实现四个现代化的宏伟目标作出我们应有贡献。

§ 1-2 锅炉的基本构造和工作过程

由于蒸汽用途很广，各行各业对锅炉容量和蒸汽参数的要求差别很大，同时全国各地使用燃料也不相同，因此蒸汽锅炉也相应有着多种不同类型，如用于火力发电厂的动力锅炉、供给采暖及工业用汽的供热锅炉以及机车锅炉、船用锅炉等等。但是，就它们的基本构造、工作原理和附件设置的情况而言，大体上都是一致的。

锅炉，最根本的组成是汽锅和炉子两大部分。燃料在炉子里进行燃烧，将它的化学能转化为热能；高温的燃烧产物——烟气则通过汽锅的受热面将热量传递给汽锅内温度较低的水，水被加热、进而沸腾汽化，生成蒸汽。现在我们以 SHL10—13/350 型锅炉（即双锅筒横置式链条炉）（图 1—1）为例，简要地介绍锅炉的基本构造和工作过程。

前已提到，锅炉由汽锅和炉子两部分组成。汽锅的基本构造是包括锅筒（又称汽包）、管束、水冷壁、集箱和下降管等组成的一个封闭汽水系统。炉子的基本构造是包括煤斗、炉排、除渣板、送风装置等组成的燃烧设备。

锅炉的工作过程包括三个同时进行着的过程：燃料的燃烧过程、烟气向水的传热过程和水的汽化过程。现分述如下：

一、燃料的燃烧过程

由图 1—1 所示，锅炉的炉子设置在汽锅的前下方，是供热锅炉中应用较为普遍的一种燃

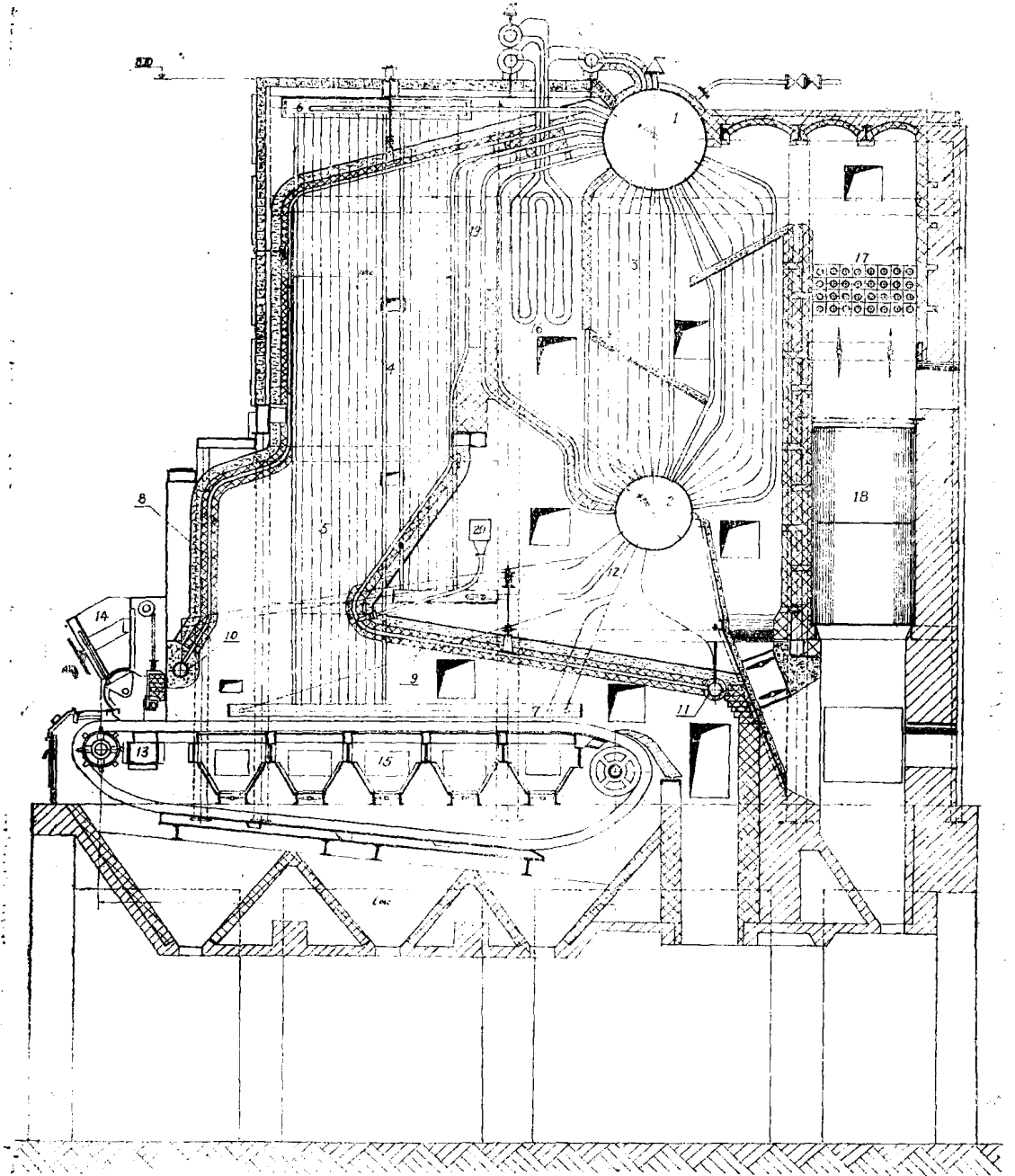


图 1-1 SHL 10-13/350 型 锅 炉

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

烧设备，称为链条炉排。燃料在加煤斗中借自重下落到炉排面上，炉排借电动机通过变速齿轮箱来带动，犹如皮带运输机将燃料带入炉内。由于炉内保持着高温，以及炉拱的作用，使燃料着火燃烧。燃料一面燃烧，一面向后移动；燃烧需要的空气是由风机送入炉排腹中五个

风仓后，向上穿过炉排到达燃料层，而后进入炉膛。燃料最后烧尽形成的灰渣在炉排末端翻过除渣板（俗称老鹰铁）后排出，这整个过程称为燃烧过程。燃烧过程进行得完善与否，是锅炉正常工作的根本条件。要保证良好的燃烧必须要有高温的环境，必需的空气量和空气与燃料的良好混合。当然为了锅炉燃烧的持续进行下去，还得连续不断地供应燃料、空气和排出烟气、灰渣，做到推陈出新，新陈代谢。为了完成这个要求，就需配备送、引风设备和运煤出渣设备。

二、烟气向水的传热过程

由于燃料的燃烧放热，炉内温度很高。在炉膛的四周墙面上，都布置了一排水管，俗称水冷壁，高温烟气与水冷壁进行强烈的辐射换热，将热量传递给管内工质。继而烟气受引风机或烟囱的引力而向炉膛上方流动。烟气出烟窗（炉膛出口）并掠过防渣管后，就冲刷蒸汽过热器，后者是一组垂直放置的蛇形管受热面，使汽锅中产生的饱和蒸汽在其中受烟气加热而得到过热。烟气流经过热器后又进入对流管束，它是上、下锅筒间胀接的一束水管，在管束间设置了折烟墙使烟气呈“S”形曲折地横向冲刷对流管束，再次以对流换热方式将热量传递给管束内的汽水工质。沿途降低着温度的烟气最后进入尾部烟道，与省煤器和空气预热器内的工质进行热交换后，以经济的较低烟温排出锅炉。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（低温）烟道，以降低排烟温度提高锅炉效率，节约燃料，故称省煤器。

从上可见，整个高温烟气的流动过程，也就是烟气向受热面内的工质进行的放热过程，因此，如何组织好传热是关联到能否充分有效地利用燃料释放出来的热能。

三、水的汽化过程

它是蒸汽的产生过程，主要包括水循环和汽水分离过程。经过水处理的锅炉给水是由水泵加压先流经省煤器而得到预热，然后进入上锅筒中。锅水在低温区的对流管束中下降，进入下锅筒；在高温区的对流管束中，水的汽化较为强烈，形成的汽水混合物重度较轻，上升运动进入上锅筒。下锅筒中锅水，一部分通过下降管进入各水冷壁的下集箱，水冷壁因吸收炉内高温辐射热，使管内工质汽化，重度减小而上升流动。在二侧水冷壁中，上升的汽水混合物在上集箱中汇总，而后由汽水引出管导入上锅筒；在前、后水冷壁中，汽水混合物则直接通入上锅筒。

借助在上锅筒内设置的汽水分离设备，以及在上锅筒本身空间中的重力分离作用，使汽水混合物得到了分离；蒸汽在上锅筒顶部引出后进入蒸汽过热器中去，而分离下来的水仍回落到上锅筒下半部的水平空间内，再次流向下锅筒中去。如此，自然地形成了一定的水循环流动，这种锅炉也就是常见的所谓自然循环锅炉。

汽锅中水及汽水混合物沿着一定回路不断地循环流动称汽锅的水循环，它保证了与高温烟气相接触的金属受热面得到冷却而不会被烧坏，是锅炉能长期安全可靠运行的必要条件。而汽水混合物的分离设备则是保证蒸汽品质和蒸汽过热器可靠工作的必要设备，关于它们的工作原理和结构将在§4—4节中加以叙述。

此外，为了保证锅炉正常工作和安全，蒸汽锅炉还必须装设安全阀、水位表、高低水位警报器、压力表、主汽阀、排污阀、逆止阀等。还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。

§ 1-3 锅炉基本特性的表示

我们对锅炉的基本构造及其工作过程已有了初步的认识，“但是，尤其重要的，成为我们认识事物的基础的东西，则必须注意它的特殊点，就是说，注意它和其他运动形式的质的区别。”锅炉的基本特性，就是为我们区别各类锅炉构造、燃用燃料、燃烧方式，容量大小、参数高低以及运行经济性等特殊本质而提供了依据。

一、蒸发量

是指蒸汽锅炉每小时所生产的额定蒸汽量，以表征锅炉容量的大小。蒸发量常用符号 D 来表示，单位是吨/时，供热锅炉蒸发量一般从 0.2 到 35 吨/时。

采暖用热水锅炉则用产热量来表征容量大小，常用符号 Q 来表示，单位是 10^4 千卡/时，目前生产的热热水锅炉容量有 10、60、120、 200×10^4 千卡/时几种。

产热量与蒸发量之间的关系，可由下式表示：

$$Q = D(i_q - i_{0s}) \times 10^3 \quad \text{千卡/时}$$

式中： D ——锅炉的蒸发量，吨/时

i_q, i_{0s} ——分别为蒸汽和给水的焓，千卡/公斤。

对于热水锅炉 $G = G(i_{s''} - i_{r,s}) \cdot 10^{-4} \quad 10^4 \text{ 千卡/时}$

式中： G ——热水锅炉每小时送出的水量，公斤/时；

$i_{r,s}, i_{s''}$ ——锅炉进、出口热水的焓，千卡/公斤。

二、蒸汽（或热水）参数

锅炉产生蒸汽的参数，是指锅炉出口处蒸汽的额定压力（表压力）和温度。对生产饱和蒸汽的锅炉而言，一般只标明蒸汽压力；对生产过热蒸汽（或热水）的锅炉，则需标明压力和蒸汽（或热水）温度。

供热锅炉的容量参数，既要满足工厂生产工艺上对蒸汽的要求，又要便于锅炉房的设计、锅炉配套设备的供应以及锅炉本身的标准化的，因而要求有一定的锅炉参数系列。上海工业锅炉研究所综合了各方面的意见，推荐以下的参数系列：

蒸发量 吨/时	出口蒸汽压力(表大气压)						
	5	8	13		25		
	出口蒸汽温度(°C)						
	饱和	饱和	饱和	250	350	饱和	400
0.2	△						
0.5	△	△					
1		△					
2		△	△			△	
4		△	△			△	
6 (6.5)		△	△	△	△	△	△
10			△	△	△	△	△
20			△	△	△	△	△
35			△	△	△	△	△

三、受热面蒸发率、受热面发热率

锅炉受热面是指汽锅和附加受热面等与烟气接触的金属表面积，也即烟气与水(或蒸汽)进行热交换的表面积。受热面的大小，工程上是将被烟气加热的一侧来计算的，用符号 H 表示，单位为米²。例如SHL 10-13/350-P型锅炉的辐射受热面 $H_f = 34$ 米²，对流受热面 $H_d = 247$ 米²；蒸汽过热器受热面 $H_{gr} = 45$ 米²；省煤器受热面 $H_{sm} = 94.4$ 米²；空气预热器受热面 $H_{kv} = 170$ 米²。

每平方米受热面每小时所产生的蒸汽量，就叫做锅炉受热面的蒸发率，用 D/H_0 （公斤/米²·时）表示，但各受热面所处的烟气温度水平不同，它们的受热面蒸发率也有很大的差异。例如，炉内辐射受热面的蒸发率会达80左右；又如对流管束受热面的蒸发率就只有20~30。因此，对整台锅炉的总热面而言，这个指标只反映蒸发率的一个平均值。日常见到的锅炉，其运行参数都不尽相同，为了便于比较，往往把锅炉的实际蒸发量 D 换算为标准蒸发量 D_{bz} ，（它的焓值为640千卡/公斤）。如此，受热面标准蒸发率就以 $\frac{D_{bz}}{H_0}$ 来表示了，其换算的公式如下：

$$\frac{D_{bz}}{H_0} = \frac{Q}{640 H_0} = \frac{D(i_q - i_{qs})}{640 H_0}, \text{ 公斤/米}^2 \cdot \text{时。}$$

热水锅炉则采用受热面发热率这个指标，即每平方米受热面每小时能生产的热量，用符号 Q/H_0 表示，单位为千卡/米²·时。

一般供热锅炉的 $D/H_0 < 30 \sim 40$ 公斤/米²·时；热水锅炉的 $Q/H_0 < 20000$ 千卡/米²·时。

受热面蒸发率或发热率越高，则表示传热好，锅炉所耗金属量少，锅炉结构也紧凑。这指标常用来表示锅炉的工作强度，但还不能真实反映锅炉运行的经济性；如果锅炉排出的烟气温度很高， D/H_0 值虽大，但未必经济。

四、锅炉的热效率

锅炉的热效率是指每小时为汽锅中的水和蒸汽有效利用的热量与同时间内所燃用的燃料在炉子中应放出热量的百分比，以符号 η_0 表示。它是一个能真实说明锅炉运行的热经济性指标，将在第三章中专门予以分析讨论。目前生产的供热锅炉，其热效率一般在60~80%左右。

有时为了概略反映或比较锅炉运行的热经济性，常用“煤汽比”或“煤水比”来表示，就是指每一公斤燃煤，能产生多少公斤蒸汽。由于煤质好坏和锅炉种类不同，工业锅炉运行时的煤水比差别很大，在第三章中将予叙述。

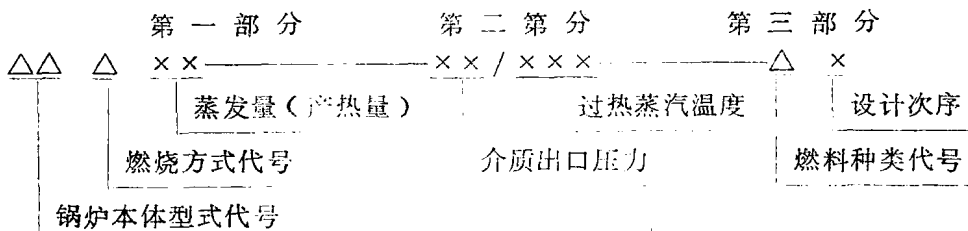
五、锅炉的金属耗率及耗电率

锅炉不仅要求热效率高，而且也要求金属材料耗量低，运行中的耗电量少；但是，这三方面常常是相互制约的。因此，衡量锅炉的总的经济性应从这三方面综合考虑，切忌片面性。金属耗率，就是锅炉每吨蒸汽所耗用金属材料的重量（吨），目前生产的供热锅炉这个指标为2~6吨/吨，耗电率则为产生一吨蒸汽耗用电的度数（千瓦·时）；耗电率计算时，除了锅炉本体配套的辅机外，还涉及到磨煤机，破碎机、筛煤机等辅助设备的耗电量。

六、锅炉型号中表示方法

工业锅炉由于受热面结构型式，燃烧方式，蒸发量，出口工质参数，设计用的燃料种类以及设计次序的不同，而采用不同的型号以兹识别。

我国工业锅炉型号由三部分组成，各部分之间用短横线相连，如下表所示：



型号的第一部分表示锅炉型式，燃烧方式和蒸发量。共分三段：第一段用两个汉语拼音字母代表锅炉本体型式，见表 1—1、1—2；第二段用一个汉语拼音字母代表燃烧方式（废热锅炉无燃烧方式代号）见表 1—3；第三段用阿拉伯数字表示蒸发量为若干吨/时（热水锅炉以产热量表示， 10^4 千卡/时；废热锅炉以受热面表示，单位为米²）。

火 管 锅 炉 表 1—1

锅 炉 本 体 型 式	代 号
立 式 水 管	<i>LS</i> (立、水)
立 式 火 管	<i>LH</i> (立、火)
卧 式 内 燃	<i>WN</i> (卧、内)

水 管 锅 炉 表 1—2

锅 炉 本 体 型 式	代 号
单 锅 筒 立 式	<i>DL</i> (单、立)
单 锅 筒 纵 置 式	<i>DZ</i> (单、纵)
单 锅 筒 横 置 式	<i>DH</i> (单、横)
双 锅 筒 纵 置 式	<i>SZ</i> (双、纵)
双 锅 筒 横 置 式	<i>SH</i> (双、横)
纵 横 锅 筒 式	<i>ZH</i> (纵、横)
强 制 循 环 式	<i>QX</i> (强、循)

燃 烧 方 式 代 号 表 1—3

燃 烧 方 式	代 号	燃 烧 方 式	代 号
固定炉排	<i>G</i> (固)	下饲式炉排	<i>A</i> (下)
活动手摇炉排	<i>H</i> (活)	往复推饲炉排	<i>W</i> (往)
链条炉排	<i>L</i> (链)	沸腾炉	<i>F</i> (沸)
抛煤机	<i>P</i> (抛)	半沸腾炉	<i>B</i> (半)
倒转炉排加抛煤机	<i>D</i> (倒)	室燃炉	<i>S</i> (室)
振动炉排	<i>Z</i> (振)	旋风炉	<i>X</i> (旋)

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）和*KL*（快、立）三个型式代号。对纵横锅筒式也用*KZ*（快、纵）型式代号，强制循环式用*KQ*（快、强）型式代号。

型号的第二部分表示蒸汽（或热水）参数，共分二段，中间以斜线分开。第一段用阿拉伯数字表示额定工作压力为若干表大气压；第二段用阿拉伯数字表示过热蒸汽（或热水）温度为若干。生产饱和蒸汽的锅炉，无第二段和斜线。

型号的第三部分由二段组成，第一段以汉语拼音字母代表锅炉燃用燃料的种类，见表 1—4 所示。第二段表示锅炉设计次序，用阿拉伯数字连续顺序编制，如原型设计，则无第二段。

表 1—4

燃 料 品 种	代 号	燃 料 品 种	代 号
无 烟 煤	W (无)	油	Y (油)
贫 煤	P (贫)	气	Q (气)
烟 煤	A (烟)	木 柴	M (木)
劣质烟煤	L (劣)	甘 蔗 渣	G (甘)
褐 煤	H (褐)	煤 矸 石	S (石)

举例：SHL 10-13/350-W，表示双锅筒横置式链条炉排，蒸发量为 10 吨/时、出口蒸汽压力为 13 表大气压、出口过热蒸汽温度为 350℃、适用于无烟煤、按原型设计制造的锅炉。

WNG 1-8-A，表示卧式内燃、固定炉排，蒸发量为 1 吨/时、蒸汽压力为 8 表大气压、饱和温度和适用于烟煤、按原型设计制造的锅炉。

QXS 120-8/130-Y，表示强制循环室燃热水锅炉，产热量为 120×10^4 千卡/时，热水出口温度为 130℃、压力为 8 表大气压，燃油，按原型设计。

由于锅炉至今尚未完全标准化，故按同一型号表示的锅炉，各厂的设计可能不尽相同，在具体结构、尺寸等方面仍有区别。

§ 1-4 锅炉房设备的组成

如前所述，锅炉房是供热之源。它在工作时，源源不断地产生蒸汽（或热水），供应用户的需要；工作后的冷凝水（或称回水），又被送回锅炉房，与经水处理后的补给水一起，再进入锅炉继续受热、汽化。为此，锅炉房中除锅炉本体以外，还必须装置有象水泵、风机、水处理等等一类辅助设备，以保证锅炉房的生产过程能循环不息地正常运行，达到安全可靠、经济有效地供热。

锅炉本体和它的辅助设备，总称为锅炉房设备。现按图 1—2，分别来认识、概括这两大部分的组成。

一、锅炉本体

在 § 1—2 节，已经介绍了锅炉的基本构造，通常又将构成锅炉的基本组成部分合称为锅炉本体，即包括：汽锅、炉子、蒸汽过热器、省煤器和空气予热器。一般常将后三者受热面总称为锅炉附加受热面，其中省煤器和空气予热器常装设在锅炉尾部烟道内，又称为尾部受热面。供热锅炉除工厂生产工艺上有特殊要求外，一般较少设置蒸汽过热器；而省煤器则是广泛增设的尾部受热面。

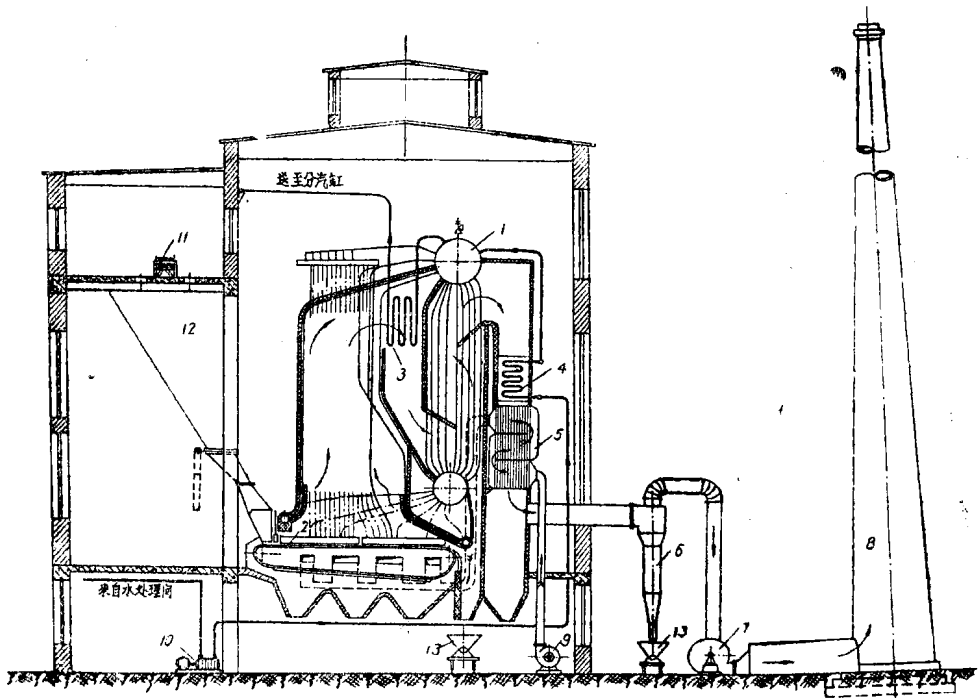


图 1-2 锅炉房设备简图

1—汽锅；2—链条炉排炉；3—蒸汽过热器；4—省煤器；5—空气予热器；6—除尘器；7—引风机；
8—烟囱；9—送风机；10—给水泵；11—运煤皮带运输机；12—煤仓；13—灰车。

二、锅炉的辅助设备

它包括以下几个组成部分：

1. 通风、除尘设备 为了给炉子送入空气和从锅炉中排出烟气，以保证炉内燃料燃烧过程的正常进行、使烟气有足够流速冲刷受热面而进行良好换热，锅炉必须装置通风设备——送风机9、引风机7、此外，为了改善环境卫生、减少锅炉向大气飞逸出烟尘的污染，锅炉房必须装设除尘器6和足够高度的烟囱8。

2. 给水设备 汽锅内具有一定压力，因而给水须借水泵10提高压力后压入汽锅。此外，锅炉房必须有一整套水处理（如软化、除氧等）设备，以保证锅炉给水的品质，使锅炉汽锅内壁能基本不结水垢以利于管壁的冷却和传热，并减少金属内壁的氧腐蚀。为了锅炉安全连续运行，还必须储存一定的给水量——水箱等。

3. 管道 为供应锅炉给水、蒸汽的输送分配以及汽锅内污水的排放等等而敷设了给水管道，蒸汽管道和排污管道。分汽缸是将锅炉房蒸汽分送到各用户的蒸汽分配设备。

4. 运煤、除灰设备 为保证燃料的运入和灰渣的排除，锅炉房中还专门设置一套运煤、除灰设备，如图中11即为送入煤仓12的皮带运输机及排除灰渣用的灰车13。

5. 仪表和控制设备 除了锅炉本体上装有的仪表以外，为锅炉安全、经济运行而设置的仪表和控制设备，如蒸汽流量计、水流量表、烟温计、风压计、排烟二氧化碳指示仪和低水位计等。在有些工厂锅炉房中还设置给水自动调节装置、烟、风闸门远操或遥控装置，甚至还有气动、电动的自动控制系统，更加科学切实地监督锅炉的良好运行。

以上所述，是锅炉房设备的基本组成，还有其他的次要设备，不再赘述。“对具体情况作具体分析”，针对某一锅炉房，设备的配置则要根据锅炉容量、型式、燃料特性与燃烧方式，以及水源水质等多方面的因素，本着因地制宜、因时制宜来决定取舍，不能一概而论。

“因为一切客观事物本来是互相联系和具有内部规律的”，因此使我们有可能对上述锅炉房中设备的工作过程进行归纳总结而成如下四个系统：(1) 运煤出灰系统；(2) 送、引风系统；(3) 水、汽系统(包括排污系统)；(4) 仪表控制系统。

锅炉房工艺布置设计工作，就是环绕这四个系统而进行的。

第二章 燃料及燃烧计算

燃料是锅炉的粮食，是锅炉源源不断生产蒸汽（或热水）的热能来源。因此，我们必须了解燃料的组成、特性以及分析这些特性在燃烧过程中所起的作用。从而指导我们的运行管理工作及设计、改炉工作，以提高燃烧技术，针对不同性质的燃料，设计或改造出性能良好的炉型，使每一公斤燃料的能量最大限度地放出光和热，为社会主义建设事业服务。正如毛主席教导的“人们为着要在自然界里得到自由，就要用自然科学来了解自然、克服自然和改造自然，从自然里得到自由”。

此外，燃料的燃烧计算，也为锅炉的热力计算、空气动力计算以及选择送、引风机等提供可靠的科学依据。

§ 2-1 燃料的化学成分及其分类

作为锅炉的燃料主要是煤，在有条件的地方也燃用重油或天然气。这些燃料都是有机体的碳化物或碳氢化合物，在高温下能与空气中的氧发生燃烧反应，放出大量的热能。

组成锅炉燃料（对煤和油来说）的基本成份有碳（*C*）、氢（*H*）、硫（*S*）、氧（*O*）、和氮（*N*）等元素。此外还包含一定数量的水份（*W*）和灰份（*A*）。应该说明的是，燃料不是这些成份的机械混合物，而是一种极为复杂的化合物。

一、燃料中各化学成份的特性

1. 碳 它是燃料的主要可燃成份。一公斤碳完全燃烧时，能放出 8100 千卡的热量。与其他可燃成份比较，碳元素的着火温度较高，因此，燃料中含碳量越多（如无烟煤）在炉子中就越不容易着火燃烧。燃料中的碳不是以单质形态存在的，而是与氢、氧、氮、硫等组成复杂高分子有机化合物。在煤中，它的含量随成煤年代的增长而相对增加，占可燃物质的百分比在 50~95% 范围内变动。

2. 氢 它是燃料中另一个重要的可燃成份。一公斤氢完全燃烧所能放出的热量要比碳约高 4.5 倍，同时也易于着火燃烧，因此含氢量较多的燃料（如重油、天然气）不仅发热量大，而且也易着火燃烧。但是事物都是一分为二的。氢含量多的燃料，特别是重碳氢化合物多的燃料，在燃烧过程中容易析出碳黑而冒黑烟造成大气污染。燃料中的氢，当其中一部分和氧化合成稳定的氧化物（例如水），它是不参加燃烧放热的，只有存在于可燃化合物中的氢才能燃烧放热。燃料中氢的含量：煤约 2~8%，石油约 12~13%。

3. 硫 它是燃料中的一种有害成份。虽然它在燃烧时放出热量（约为碳的 $\frac{1}{3.6}$ ），但其燃烧产物是 SO_2 和 SO_3 气体，当与烟气中的水蒸汽相遇能化合成亚硫酸 H_2SO_3 和硫酸

H_2SO_4 蒸汽，这种气体一旦凝结在锅炉金属部件上（如省煤器、空气予热器）就起着严重的腐蚀作用，另外当这种气体排出烟囱到大气中，会对人体和动、植物带来危害。在固体燃料中有两种硫：一种是可燃有机硫 S_r ；另一种是不可燃化合硫 S_b （如 $FeSO_4$ 、 $CaSO_4$ 、 $MgSO_4$ 等高氧化合物），几乎不能再进行氧化，故不能参加燃烧，因此这部分硫被归纳到灰分中去。煤中，硫约占可燃成分的 0~8%。

4. 氮及氧 它们是燃料中的内部杂质，不能燃烧。由于它们的存在，使燃料中可燃成份降低，从而降低了燃料燃烧时所放出的热量，煤中含氮一般较少，不超过 1~2%，在大气压下，氮不进行氧化，在烟气中呈游离状态。而氧的含量随燃料的种类不同而异，变化范围较大，最多可达 40%。

5. 水份 它是燃料中的主要杂质之一。由于它的存在，不仅降低了燃料中可燃成份的百分比含量，而且在燃烧过程中它因汽化，而吸收一部分热量，降低了炉膛温度，使燃料着火困难，故越湿的燃料越难着火。同时由于这些水份燃烧后都变成烟气中的水蒸汽，将大量热量带走，因而降低锅炉效率。各种固体燃料的水份，含量变化很大，可以从 5% 到 60% 以上。液体和气体燃料中的水份，一般都很少。

6. 灰份 它是夹杂在燃料中的不可燃烧的矿物质，也是燃料的主要杂质。燃料中灰份多了，可燃成份就相应减少了。灰份多的燃料，燃烧较困难，同时锅炉出灰量大，操作复杂而繁重，大量灰灰从烟囱飞出，将污染周围环境。此外、燃用灰份多的燃料时，受热面上容易积灰。若灰熔点过低，还会造成炉排和炉内受热面上结渣，破坏锅炉正常的燃烧和传热过程。烟气中携带灰粒多，尤以烟气流速较高时，会对锅炉的金属表面产生磨损，降低锅炉寿命。各种燃料的灰份相差很大。液体、气体燃料含灰很少，固体燃料可达 50~60%，即使同一种煤，它们的灰份也有较大的差别。

二、燃料成份的几种表示方法

在进行燃料分析时，对固体和液体燃料的组成成份是用重量百分数来表示，而气体燃料一般是用体积百分数来表示。

众所周知，燃料的水份和灰份是随着开采、运输和贮存的条件不同而变化很大，而燃料中的碳、氢、硫、氧和氮的绝对含量则不变的。所以，为了更加确切地说明燃料的特性，评价和比较各种燃料，我们将燃料的分析结果用应用基、分析基、干基和可燃基（基是计算基数的意思）等四种，表示燃料在不同条件下各种成份含量的重量百分数组成。

下面以煤为例进行叙述：

煤的应用基就是进入锅炉房准备燃烧的，也就是拿炉前应用的煤分析所得的它的各成份的重量百分数。用角码“ y ”表示。其表达式如下：

$$C^y + H^y + S^y + O^y + N^y + A^y + W^y = 100 \quad \% \quad (2-1)$$

燃料中的水份是经常变动的，特别是各种煤的水份变化较大。煤的水份含量与煤的品种、开采、运输和贮存方法以及气候条件等因素有关。

煤中的水份，通常由外水份 W_w 和内水份 W_n 两部分组成。内水份又称固有水份，是吸附或凝聚在煤炭内部一些毛细孔中的水份。外水份是在开采、运输、贮存及洗选过程中煤炭表面留存的水份。外水份和内水份的总和称为全水份即应用基水份。当煤在一定温度、湿度下（即在实验室条件下，温度为 20℃、相对湿度为 60%）进行风干后剩余下来的水份称为分

析基水份，它包括全部内水份和部分外水份。

煤的分析基就是炉前应用的煤经风干后（即燃料中水份为分析基水份）分析所得的组成成分的重量百分数。用角码“f”表示，其表达式如下：

$$C^f + H^f + S^f + O^f + N^f + A^f + W^f = 100 \% \quad (2-2)$$

即使同一种煤，水份一变，其他各成份也随着变化。为了表示同一种燃料比较稳定的成分含量，可采用干基来表示煤的成分。煤的干基就是炉前应用的煤的全水份烘干后（即除了水份以外的）分析所得的组成成分的重量百分数。用角码“g”来表示，其表达式如下：

$$C^g + H^g + S^g + O^g + N^g + A^g = 100 \% \quad (2-3)$$

由于煤的含灰量变化很大，它与开采、贮存等因素有关，为更能表征燃料特性的稳定组成，可采用可燃基来表示煤的成份。煤的可燃基就是炉前应用的煤扣除水份和灰份之后其他各组成成分的重量百分比。用角码“r”来表示。

$$C^r + H^r + S^r + O^r + N^r = 100 \% \quad (2-4)$$

这四种“基”的组成可汇总如下图：

C	H	O	N	S		A	W		
				S _r	S _{b,r}		W _n	W _w	
可燃基成份 $C^r + H^r + O^r + N^r + S^r = 100 \% \rightarrow$									
干基成份 $C^g + H^g + O^g + N^g + S^g + A^g = 100 \% \rightarrow$									
分析基成份 $C^f + H^f + O^f + N^f + S^f + A^f + W^f = 100 \% \rightarrow$									
应用基成份 $C^y + H^y + O^y + N^y + S^y + A^y + W^y = 100 \% \rightarrow$									

显然，上述四种“基”的表示方法，是要根据具体情况和不同需要来加以选用的。如煤矿的煤质资料常以可燃基作为基数。灰分以干基灰分 A^g 表示。水份则以应用基水份 W^y 表示。在锅炉的热力计算中，都是采用应用基成份来计算、比较和分析的。

在生产实践中，煤的成份常需要一种基换算成另一种基，如把煤矿所给出的可燃基成份换算成锅炉炉前使用应用煤的应用基成份。

例如，已知可燃基含碳量 C^r ，求应用基含碳量 C^y 。

C^r 是 C^y, H^y, S^y, O^y, N^y 五种成份作为计算基数的百分比，即

$$C^r = \frac{C^y}{C^y + H^y + S^y + O^y + N^y} \times 100 = \frac{C^y}{100 - A^y - W^y} \times 100 \%$$

移项以后

$$C^y = C^r \times \frac{100 - A^y - W^y}{100} \%$$

可燃基的其他成份都可用相仿的方法换算到相应的应用基成份，它们的换算系数都是 $\frac{100 - A^y - W^y}{100}$ 。

燃料的其他各种“基”之间的换算系数，可用类似的方法求出。现将不同基的成份的换算系数，列表 2—1 中：