

锅炉设备

(供热通风专业试用)



湖南大学 重庆建筑工程学院 合编
太原工学院 西安冶金建筑学院

一九七六年三月

毛主席语录

思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。

大学还是要办的，我这里主要说的是理工科大学还要办，但学制要缩短，教育要革命，要无产阶级政治挂帅，走上海机床厂从工人中培养技术人员的道路。要从有实践经验的工人农民中间选拔学生，到学校学几年以后，又回到生产实践中去。

课程设置要精简。教材要彻底改革，有的首先删繁就简。

一个正确的认识，往往需要经过由物质到精神，由精神到物质，即由实践到认识，由认识到实践这样多次的反复，才能完成。

前 言

在毛主席革命路线指引下，在批林批孔和学习无产阶级专政理论运动的推动下，我国教育战线也呈现一派生气勃勃的革命景象，教育革命蓬勃开展，党的教育方针和毛主席的教育思想更加深入人心，教育革命不断取得新的成果。

今年六月，我们四院校遵照毛主席“课程设置要精简”、“教材要彻底改革”的教导，为总结经验，在西安举行了供热通风专业“锅炉设备”课程教材的交流和合编会议。会议自始至终是在西安冶金建筑学院党委和卫工系党总支的领导和组织下进行的。与会同志认真学习了毛主席关于理论问题的重要指示及马、恩、列、斯和毛主席的教育思想，并以此为指导，交流了教育革命和教材建设方面的经验，批判了旧的教育制度、教学方法和旧教材，进一步明确了新编的教材必须为无产阶级政治服务，必须为社会主义经济基础服务，必须为培养和造就千百万无产阶级革命事业接班人服务；必须贯彻理论和实际相统一、洋为中用和少而精等原则，符合认识论，适应开门办学的需要，便于自学。在此基础上，讨论拟定了教材编写原则和大纲，经一个月的紧张工作，全部脱稿。

本教材分为四篇，共十四章。第一篇，锅炉房设备，考虑结合参加锅炉房运行管理、安装检修劳动和现场参观进行教学；第二篇，锅炉燃烧计算及锅炉热平衡，考虑以参加锅炉热平衡的实测工作为中心进行教学；第三篇和第四篇，分别为锅炉改造及计算，和锅炉房设计，则考虑结合锅炉改造和锅炉房设计的实际工程任务进行教学。

在编写过程中，曾得到陕西省革命委员会锅炉改造小组、西安交通大学锅炉教研室等单位的大力协作和帮助，特致深切的谢意。天津大学供热通风专业革命师生对我们的编写工作也提供了很多宝贵意见，西安冶金建筑学院印刷厂工人师傅在百忙中为本教材的急需承担了繁重的印刷任务，在此一并致谢。

由于我们的马列主义、毛泽东思想水平不高，业务能力有限，加之时间紧迫，错误和不足之处一定很多，我们诚恳地希望同志们提出宝贵意见，以便在试用中及时改正。

湖南大学、重庆建筑工程学院
太原工学院、西安冶金建筑学院
《锅炉设备》编写组

一九七五年七月

目 录

第一篇 锅炉房设备

第一章 锅炉房设备组成及锅炉的特性	1
§ 1—1 概述.....	1
§ 1—2 锅炉房设备的组成及锅炉工作过程.....	2
§ 1—3 锅炉的基本特性.....	4
§ 1—4 锅炉的水循环.....	7
第二章 锅炉及辅助受热面	9
§ 2—1 立式锅炉.....	9
§ 2—2 卧式火管及水、火管锅炉.....	10
§ 2—3 水管锅炉.....	13
§ 2—4 热水锅炉.....	17
§ 2—5 蒸汽过热器.....	20
§ 2—6 省煤器及空气予热器.....	21
§ 2—7 锅炉安全附件及炉墙支架.....	23
§ 2—8 锅炉本体结构的一般问题.....	27
第三章 燃烧设备及其工作特性	31
§ 3—1 炉内燃烧过程.....	31
§ 3—2 手烧炉.....	33
§ 3—3 链条炉.....	36
§ 3—4 振动炉排和往复推动炉排.....	44
§ 3—5 抛煤机炉.....	45
§ 3—6 沸腾炉及煤粉炉.....	49
§ 3—7 燃油炉及燃用气体燃料炉.....	53
第四章 锅炉的水处理	57
§ 4—1 水中杂质存在的形式及水质指标.....	57
§ 4—2 水中杂质的危害及水质标准.....	60
§ 4—3 给水处理方法.....	62
§ 4—4 钠离子交换的设备及运行.....	67
§ 4—5 给水的除氧.....	71

§ 4—6 锅炉排污	73
第五章 锅炉房辅助设备系统	75
§ 5—1 锅炉房的汽水系统及其设备	75
§ 5—2 锅炉房的引、送风系统及其作用	77
§ 5—3 锅炉房消烟除尘的意义及途径	79
§ 5—4 工业锅炉房常用运煤除灰方法	80

第二篇 锅炉燃烧计算及锅炉热平衡

第六章 锅炉燃料	86
§ 6—1 燃料的成分	86
§ 6—2 煤的工业分析	89
§ 6—3 锅炉常用燃料	93
第七章 燃料的燃烧计算	98
§ 7—1 燃烧所需空气量	98
§ 7—2 燃烧生成烟气体量	100
§ 7—3 烟气特性	103
§ 7—4 空气和烟气的焓	110
§ 7—5 燃烧计算的近似方法	115
第八章 锅炉热平衡	123
§ 8—1 锅炉热平衡的组成	123
§ 8—2 锅炉效率	125
§ 8—3 机械不完全燃烧热损失	127
§ 8—4 化学不完全燃烧热损失	129
§ 8—5 排烟热损失	130
§ 8—6 散热损失和灰渣物理热损失	131

第三篇 锅炉改造及计算

第九章 锅炉改造	134
§ 9—1 锅炉改造的目的和意义	134
§ 9—2 确定改造方案时应注意的问题	137
§ 9—3 燃烧设备的改造及炉子的计算	145
§ 9—4 锅炉受热面及其布置	154
§ 9—5 锅炉水循环系统设计和汽水分离的方法	162
第十章 锅炉传热计算	169

§ 10—1	锅炉效率及燃料消耗量	169
§ 10—2	炉膛内的传热计算	171
§ 10—3	对流受热面传热计算	178
第十一章 锅炉受压元件强度计算		193
§ 11—1	锅筒圆筒形部分的强度计算	193
§ 11—2	椭圆形封头计算	197
§ 11—3	圆筒形联箱及其封头的强度计算	198
§ 11—4	加强孔的计算	201
§ 11—5	火管锅炉的管板计算	205

第四篇 锅炉房设计

第十二章 锅炉房设备选择		210
§ 12—1	锅炉房设计内容和原始资料	210
§ 12—2	锅炉房的热负荷	211
§ 12—3	锅炉型号与台数的选择	213
§ 12—4	锅炉房汽水系统设备选择计算	214
§ 12—5	水处理设备的选择计算	220
§ 12—6	运煤除灰设备选择计算	229
第十三章 锅炉通风设备选择计算		239
§ 13—1	通风阻力的计算	239
§ 13—2	锅炉烟道阻力计算	251
§ 13—3	锅炉风道阻力计算	255
§ 13—4	烟囱的设计计算	257
§ 13—5	引送风机的选择	260
第十四章 锅炉房的布置		266
§ 14—1	锅炉房位置的选择	266
§ 14—2	锅炉房对建筑上的要求	266
§ 14—3	锅炉房设备布置	268
附录 I 干饱和蒸汽表和过热蒸汽热焓		271
II 煤的工业分析方法		272
III 煤的发热量测定方法		278
IV 锅炉热平衡试验方法		283
主要参考资料		289

第一篇 锅炉房设备

第一章 锅炉房设备组成及锅炉的基本特性

在工业生产或生活用汽上,锅炉房常为不可缺少的一个部门。在研究锅炉房设备之前,先将工业锅炉房的任务、设备组成,锅炉的工作过程、基本特性等基本概念加以说明。

§ 1—1 概 述

锅炉房可以看成是一个生产车间,其任务就是安全可靠、经济有效地将燃料的化学能变为热能,将此热能传递给水,而产生蒸汽(或热水),以满足生产或采暖的要求。

工业生产上对于蒸汽的要求是多方面的,归纳起来可以分为两种情况:一种就是用蒸汽来带动热力机械以产生动力,如用于发电、汽轮机鼓风、行驶机车船舶、驱动农业排灌机械等等。用于这些方面的锅炉我们称为动力锅炉。另一种就是用于工业生产中加热、蒸煮和干燥,或用于厂房及生活用房的采暖通风和热水供应。用于后者的锅炉我们称为工业锅炉。

动力锅炉与工业锅炉在要求上有所区别,例如,为了提高热机的效率,动力锅炉所产生的蒸汽,其压力和温度都较高,容量也较大,并且日益趋向高压、高温和大容量方向发展。比如与我国自制12万5千瓩汽轮发电机组配套的国产再热式锅炉,蒸汽压力为140大气压,温度为550℃,每小时蒸汽产量达400吨。而工业锅炉则压力低,容量也较小,一般压力在13个大气压以下,每小时蒸汽产量在10吨以下,个别情况压力达到25大气压,每小时蒸汽产量20吨或30吨。当然,有时动力锅炉与工业锅炉很难截然划分。例如,有的小钢铁厂设有低压、小容量汽轮机带动鼓风机供高炉用气,或为了保证有第二电源,而设有低压、小容量汽轮发电机,同时生产上如焦化等还需要蒸汽。这个企业的锅炉房既供工业用汽和采暖用汽,又供动力用汽,但其锅炉(如常用13或25大气压,10或20吨/小时,饱和或过热蒸汽的锅炉)及锅炉房设备与一般工业锅炉房基本相同。

由于动力锅炉和工业锅炉的蒸汽压力、温度和锅炉容量不同,其相应的锅炉房设备也就不相同,一般而言,动力锅炉房设备系统较为复杂,但是在动力锅炉房用之有效的设备系统,在工业锅炉房因限于投资等各方向原因,常不适用。因此,工业锅炉房有其特殊问题要加以研究解决,本课程就是专门研究工业锅炉房的运行、设计,以及锅炉改造的。

工业锅炉在工业上的应用非常广泛,凡是有色、钢铁、化工、纺织、食品、机械制造、电器制造等等行业都要应用。但是,在解放前,由于帝国主义的侵略,和国民党反动派的

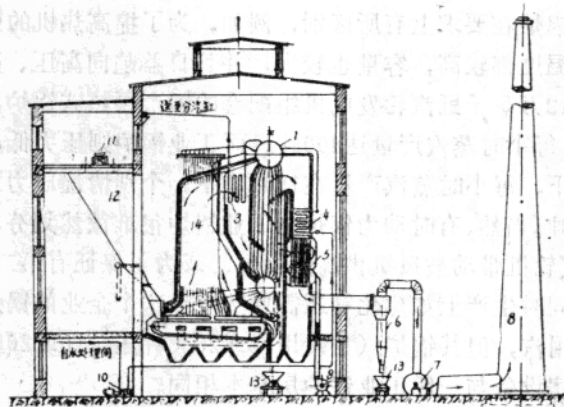
统治，我国基本上没有锅炉制造工业，当时仅有一些小型铁工厂，完全靠繁重的体力劳动用榔头来敲制锅炉，大部分锅炉都是国外进口。解放后，在党和毛主席的英明领导下，我国工业得到了迅速发展，相继兴建了很多锅炉厂。但是，在文化大革命前受修正主义路线的干扰，工业锅炉大都是按国外仿制，这些锅炉效率低，耗煤多，耗费钢材多，工人劳动强度大，对环境污染比较严重。

近年来，特别是经过了无产阶级文化大革命，广大工人阶级和革命技术人员，砸碎了反革命修正主义的精神枷锁，贯彻执行毛主席“自力更生，发奋图强”，“打破洋框框，走自己工业发展道路”的指示，和“抓革命，促生产，促工作，促战备”的伟大战略方针，深入开展“工业学大庆”的群众运动，一方面创造出不少新的锅炉产品，一方面在全国掀起了轰轰烈烈的锅炉改造工作，在省锅节煤、燃烧机械化、本体改造、消烟除尘、提高出力、和余热利用等方面都取得了显著的成绩。

“在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。”在毛主席革命路线的指引下，我国锅炉技术还在不断地向前发展。供热通风专业的学员，必须在理论与实际相统一的前提下，努力学习和掌握这方面的知识和分析问题、解决问题的能力，以适应社会主义建设的需要。

§ 1—2 锅炉房设备的组成及锅炉工作过程

保证锅炉房能安全可靠、经济有效地供给生产及采暖用蒸汽（或热水），除了锅炉本体而外，还必须装置象水泵、风机等辅助设备。因此，锅炉房设备可分为两大部分，即锅炉本体和辅助设备。现以图 1—1 所示的锅炉房为例，来叙述这两大部分的组成。



1—汽锅；2—链条炉排；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—皮带运
输机；12—煤斗；13—灰车；14—水冷壁。

图 1—1 锅炉房设备简图

（一）锅炉本体

锅炉本体是锅炉房中的主体设备，它主要包括：

1. 汽锅 1, 是由两个锅筒(又称汽包)和水管管束, 以及一些联箱和水冷壁管 14 组成的一个封闭的热交换器, 通过与烟气相接触的受热面, 其中的水被高温烟气加热而产生饱和蒸汽。

2. 炉子 2, 是工业锅炉中应用较为普遍的一种燃烧设备, 称为链条炉排。炉子除了燃烧设备而外, 还包括由炉墙包围的炉室空间。炉子的作用, 主要是使燃料不断能够经济有效地燃烧。

3. 蒸汽过热器 3, 是一种附加受热面, 其作用是使汽锅中产生的饱和蒸汽继续受热而成为过热蒸汽。

4. 省煤器 4, 是锅炉中常见的尾部受热面。它使给水未进入汽锅前在其中先得以予热, 从而也降低了排出烟气的温度, 减少排烟携带走的热量损失。

5. 空气予热器 5, 有的炉子由于燃烧的需要, 将供给燃料燃烧用的空气在空气予热器中加热。空气予热器一般在烟道尾部的最后, 也是利用排出烟气废热的一种附加受热面。

6. 仪表附件, 为了锅炉运行安全, 蒸汽锅炉必须装置安全阀、水位表及压力表, 产生过热蒸汽的锅炉, 还要设置温度表。阀门附件还有主汽阀、排污阀及给水逆止阀等。有的锅炉还有自动控制设备。

在锅炉本体中, 汽锅和炉子是最主要的部件, 其他附加受热面都是按照实际需要而增设的。比如, 工业锅炉一般很少设置蒸汽过热器, 而省煤器则是广泛增设的尾部受热面。

(二) 锅炉的辅助设备

辅助设备可以分为四个系统:

1. 运煤除灰系统。为保证燃料的运入和灰渣的排除, 锅炉房中专门设置一套运煤除灰设备。如图 1—1 中 11 为皮带运输机, 将煤送入煤斗 12, 煤靠自重从煤斗沿输煤管滑至炉排, 除灰用手推灰车 13。此外, 为了改善环境卫生, 减少从烟囱飞逸的烟尘的污染, 装有烟气除尘器 6。

2. 引、送风系统。为保证不断向炉子里供给燃料燃烧所需要的空气, 及不断将炉子里产生的烟气排除, 锅炉房中设有引、送风设备。空气由送风机 7 经过空气道而送入炉内; 烟气则经烟气道、引风机 9 以及烟囱 8 向外界排除。

3. 水—汽系统。包括水处理设备、水箱、水泵以及其连接管道和管道附件; 蒸汽管道及管道附件, 和分汽缸等设备。其作用是保证有合乎质量的给水送入锅炉, 及将锅炉产生的蒸汽向外输送。

4. 仪表控制系统。包括锅炉本体以外设置的安全或经济运行的仪表和控制设备, 如: 蒸汽流量计、水流量计、风压表、 CO_2 指示仪表、低水位计、高低水位报警器, 以及电气控制或自动控制系统等等。

辅助设备的种类很多, 即使相同型式及相同容量的锅炉房, 其辅助设备也往往各不相同。

(三) 锅炉的工作过程

锅炉工作过程包括三个同时进行着的过程:

1. 燃料燃烧过程 以图 1—1 所示锅炉为例, 从煤由煤斗加至链条炉排上开始, 煤

随着炉排转动，在炉内着火燃烧，最后灰渣由炉排的末端排除至灰车，这个整个过程称为燃料燃烧过程。在这个过程中，燃料燃烧而将其化学能转变为热能，我们希望这个转变越完全越好，也就是希望燃烧越完全越好。炉子是完成这个过程必不可少的设备，运煤除灰系统及引、送风系统，是保证实现这个过程的辅助设备系统。

2. 燃烧生成的烟气向工作介质传递热量的过程 燃料燃烧生成的烟气，在炉膛内主要以辐射的方式向水冷壁管中的流动着的水或汽水混合物传递热量。然后，烟气流过蒸汽过热器、汽锅对流管束、省煤器及空气予热器，主要以对流的方式向其中流动着的水、汽水混合物、蒸汽或空气传递热量。最后，温度较低的烟气离开锅炉，经烟囱排出。热烟气向锅炉中的工作介质传递热量的整个过程是在汽锅、蒸汽过热器、省煤器及空气予热器中实现的，而传递给工作介质的热量是锅炉中的有效被利用的热量。

3. 蒸汽的产生过程 经处理后的水经过给水系统送入省煤器，在省煤器中水一面流动，一面受热，而使水温不断升高。然后，水由省煤器流入汽锅，水在汽锅中不断循环流动，而成为汽水混合物，在汽锅的上锅筒中进行汽水分离，饱和蒸汽流经蒸汽过热器继续受热而成为过热蒸汽；水则再在汽锅内进行循环，再受热而继续产生蒸汽。这个整个过程称为蒸汽的产生过程，产生的蒸汽经过蒸汽管道系统不断向外输送。省煤器、汽锅、蒸汽过热器及为了安全运行而必须设置的安全阀、水位表及压力表等仪表附件，是实现这个过程的主要设备，水—汽系统为其主要辅助设备系统。

水及汽水混合物在汽锅中沿着一定回路不断循环流动就称为汽锅的水循环，其原理将于 § 1—4 中加以叙述。

§ 1—3 锅炉的基本特性

(一) 锅炉的基本特性

锅炉的特性，就是说明锅炉容量、蒸汽参数及经济性的指标，习惯上采用下述几项来表示：

1. 蒸发量，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”或“公斤/时”，工业锅炉一般从 0.2 至 20 吨/时。热水锅炉则用产热量来表征锅炉容量的大小，常用符号 Q 表示，单位为“大卡/时”。如管架式热水锅炉产品有 60 万、120 万、及 200 万大卡/时等。

2. 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（ $^{\circ}\text{C}$ ）。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，则需标明蒸汽（或热水）的压力和温度。工业锅炉最常见的为 5、8、13 公斤/厘米² 的饱和蒸汽。

3. 受热面蒸发率或发热率。受热面是指汽锅、蒸汽过热器及省煤器等与烟气接触的金属总表面积，也就是烟气与水或蒸汽进行热交换的表面，常用符号 H 表示，单位为“平方米”，废热锅炉的容量就是以其受热面大小来表示的。如 FR100 废热锅炉，即表示其受热面积为 100 米²。

每米² 锅炉受热面（以 H_0 表示锅炉受热面）每小时所产生的蒸汽量，就叫做锅炉的受

热面蒸发率，用 $\frac{D}{H_r}$ 表示，单位是“公斤/米²·时”。日常见到的锅炉运行参数不相同，为了便于比较，往往把锅炉的实际蒸发量 D 换算成标准蒸发量 D_1 （它的焓值为 640 大卡/公斤）。则锅炉受热面标准蒸发率就以 $\frac{D_1}{H_r}$ 表示。每米² 锅炉受热面每小时所能生产的热量，就叫做锅炉的受热面发热率，以 $\frac{Q}{H_r}$ 表示，单位为“大卡/米²·时”。工业锅炉 $\frac{D_1}{H_r} < 40$, $\frac{Q}{H_r} < 28000$ 。

受热面蒸发率或发热率越高，则锅炉所耗用的金属越少，锅炉结构也就越紧凑。小型锅炉常用它来表示锅炉的工作强度及经济指标。

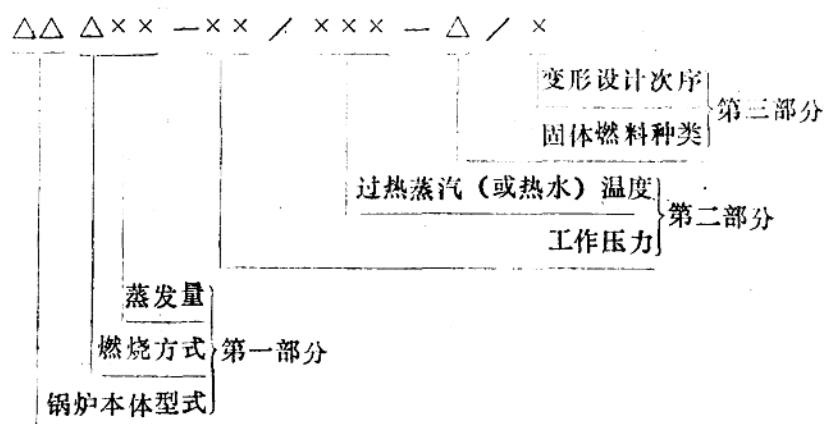
4. 锅炉的热效率，是指每小时被锅炉中的水或汽吸收的有效利用的热量，占每小时加入炉中燃料所具有的总热量的比值，以符号 η 表示。现在生产的工业锅炉，其热效率一般在 60~80% 左右。它是说明锅炉运行的热经济性指标，将于第二篇第八章中详加分析讨论。

有时为了概略说明或比较锅炉运行的热经济性，常用“煤汽比”（或称“煤水比”）来表明，就是说每加入炉内一公斤（或一吨）煤，能产生多少公斤（或吨）蒸汽。根据煤质及锅炉种类不同，正常运行情况下工业锅炉的煤汽比也不相同，一般而言约为 1:6 至 1:7.5 左右。

5. 锅炉的金属耗率及耗电量。锅炉不仅要求热经济性要高（即热效率要高），而且也要求金属材料用的少，运行中耗电量少，而往往这三方面互相制约。因此，衡量锅炉的经济性要从这三方面综合地考虑。金属耗率，就是锅炉每一吨额定蒸汽产量制造时所使用金属的吨数，现在生产的工业锅炉在 2~6 吨/吨左右；耗电率则为产生 1 吨蒸汽耗电的度数。

（二）锅炉型号表示方法

我国规定工业锅炉产品型号由三部分组成，各部分之间用短横线隔开。



型号的第一部分为三段，第一段以二个汉语拼音字母代表锅炉本体型式，其代号意义见表 1—1。

锅炉型式的汉语拼音字母代号

表 1—1

锅炉本体型式	代 号	锅炉本体型式	代 号
立式水管	L S (立、水)	单汽包纵置式	D Z (单、纵)
卧式内燃	W N (卧、内)	双汽包纵置式	S Z (双、纵)
卧式快装锅炉	K Z (快、纵)	热水锅炉	R S (热、水)
分联箱横汽包	F H (分、横)	废热锅炉	F R (废、热)
双汽包横置式	S H (双、横)	强制循环锅炉	Q Z (强、制)

第二段用一个字母代表燃烧方式，其代号见表 1—2。

燃烧方式汉语拼音字母代号

表 1—2

燃 烧 方 式	代 号	燃 烧 方 式	代 号
固定炉排	G (固)	推饲式	S (饲)
活动手摇炉排	H (活)	半沸腾炉	B (半)
链条炉排	L (链)	沸腾炉	T (腾)
抛煤机	P (抛)	煤粉炉	F (粉)
倒转炉排加抛煤机	D (倒)	旋风炉	X (旋)
振动炉排	Z (振)	燃 气	Q (气)
下饲式	A (下)	燃 油	Y (油)

第三段用阿拉伯数字表示蒸发量为若干吨/时（热水锅炉表示产热量，单位是 10^4 大卡/时；废热锅炉表示受热面，单位是米²）。

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）温度为若干摄氏度。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，中间以斜线分开。第一段以汉语拼音字母代表专用的固体燃料种类。大写汉语拼音字母 H、L、P、W、Z 分别代表褐煤、劣质烟煤、贫煤、无烟煤、甘蔗渣。所用固体燃料如为烟煤或同时可燃用几种燃料时，无第一段及斜线。第二段表示变形设计次序，用阿拉伯数字连续顺序编制。按原设计制造的工业锅炉，无第二段及斜线。

例如，图 1—1 所示锅炉为 SHL 20—13/350，即双汽包横置式链条炉排，20 吨/时锅炉，蒸汽压力为 13 表大气压，过热蒸汽温度为 350℃，燃用烟煤。

又如：KZL4—13—W，表示卧式快装链条炉排锅炉，4 吨/时、13 表大气压、饱和蒸

汽、适用无烟煤，按原设计制造。

SZY10—13/250—1，表示双汽包纵置式燃油，10吨/时、13个表大气压、250℃过热蒸汽，按第一次变形设计制造的锅炉。

§ 1—4 锅炉的水循环

水循环对锅炉安全运行具有很重要的意义。锅炉金属受热面处在高温条件下工作，如果没有连续不断流动的工质来冷却，则管壁温度会很快升高，当温度超过了管子金属的耐温极限时，管子就可能要爆破。因此，进行锅炉的设计（或改造）和运行时要充分考虑锅炉水循环的可靠性。

（一）水循环原理

什么是水循环？现以图 1—2 所示的简单系统来说明：此系统有上锅筒、下联箱和两根立管与之相联接，上锅筒的下半部及下联箱和两立管均充满水，现将左立管加热，右立管不加热，过一段时间后我们发现左立管内的水温开始升高，最后达到沸腾状态，产生蒸汽，变成汽水混合物，向上流动，接着下联箱内的水流入左立管，而右立管内的水向下流动；只要左立管不停止加热，汽水混合物就不断向上流动，而右立管内的水也就不断向下流动。这样，锅筒、下降管、下联箱及上升管便组成了一个循环回路，水和汽在回路里连续不断地循环流动，就叫水循环。究竟是什么原因造成这种现象呢？毛主席教导我们：“**我们看事情必须要看它的实质，而把它的现象只看作入门的向导，一进了门就要抓住它的实质，这才是可靠的科学的分析方法。**”原来左立管内的水加热变成汽水混合物，容重变轻了，而右立管内的水是冷的，容重较重，这样两管之间产生了容重差，也就是压力差，水就从右立管向左立管连续不断地流动。这种由于受热引起水的容重差而发生的循环流动，叫做自然循环。

自然循环流动的压力差有多大呢？可以通过下列公式来计算：

在 A—A 截面处（图 1—2），来自下降管的压力 P' 为：

$$P' = P_1 + h\gamma_s \quad \text{公斤/厘米}^2 \quad (1-1)$$

来自上升管的压力 P'' 为

$$P'' = P_1 + h\gamma_{s.}, \quad (1-2)$$

式中： P_1 ——锅筒内的蒸汽压力，公斤/厘米²；

h ——锅筒与下联箱之间的高差，厘米；

γ_s 、 $\gamma_{s.}$ ——分别为下降管中的水和上升管中的汽水混合物的容重，公斤/厘米³。

因为 $\gamma_s > \gamma_{s.}$ ，所以 $P' > P''$ 。

这样，压力差 ΔP 即为

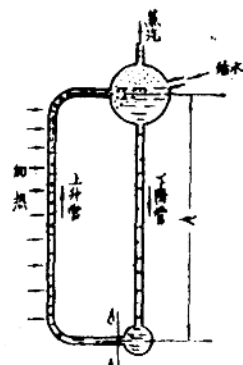


图 1—2 自然循环原理图

$$\Delta P = P' - P'' = h(\gamma_s - \gamma_{s,s}) \quad (1-3)$$

水循环流动就依靠这个压力差作为动力，这个压力差 ΔP 叫做循环流动压头。由上式可以看出，循环流动压头 ΔP 与 h 、 γ_s 、 $\gamma_{s,s}$ 有关。当 h 和 $(\gamma_s - \gamma_{s,s})$ 越大时， ΔP 也就越大。其中 h 与锅炉结构有关，对一台现成的锅炉来说， h 不能任意改变； γ_s 对锅炉来说，实际上就是饱和水的容重，它取决于锅炉的工作压力； $\gamma_{s,s}$ 与上升管的受热强度有关，受热越强，管内产生的蒸汽越多， $\gamma_{s,s}$ 就越小。综上所述可知：水循环回路的高差 h 越大，下降管不受热、上升管受热越强，则循环流动压头就越大，此时对受热管子工作的安全性也就越好。

(二) 水冷壁管的水循环

锅炉的水冷壁暴露在炉膛中吸收炉膛中高温火焰的辐射热，管子里有一部分水变成蒸汽，而下降管布置在炉墙外或者在炉墙中间，基本上不受热。这样，便形成了压差，水就从上锅筒经下降管流入下联箱，再经下联箱流入水冷壁管，最后，水冷壁管中的汽水混合物向上流入上锅筒，蒸汽穿出蒸发面到容汽空间，水留在容水空间，继续参加循环。

当锅炉负荷增加，炉子燃烧加强，炉膛温度增高，水冷壁管吸热增多，产生蒸汽也增加，汽水流动速度就愈大，循环就愈快。

流入水冷壁管中的水，实际上只有部分水变成蒸汽，而其余的水则继续参加循环。循环回路中的水流量 G 与所产生的蒸汽 D 之比，叫做循环倍率 K ，即：

$$K = \frac{G}{D} \quad (1-4)$$

循环倍率 K 这个数值表示，1 公斤的水在循环回路中要循环多少次才能完全变成蒸汽。显然， K 值越小，产生的蒸汽越多。但 K 值不能太小，否则，水冷壁管中汽化剩下的水量太少，不能很好的冷却管壁。一般工业锅炉的 K 值约为 20 左右，也即产生蒸汽 5 % 左右。

(三) 对流管束的水循环

整个对流管束都吸收烟气的热量，没有单独的不吸热的下降管。在这种情况下，对流管束中的水如何流动，那部分下降，那部分上升，要弄清这个问题，就要看那部分管子吸收的热量多，那部分管子吸收的热量少。根据烟气流动方向，在前面烟道的烟气温度高，传给管束的热量多，管束中产生的蒸汽多；在后面烟道的烟气温度低，传给管束的热量少，管束中产生的蒸汽少。这样，高温区管束中的汽水混合物的容重轻，水由下锅筒向上流入上锅筒；低温区管束中的水或汽水混合物的容重重，水由上锅筒向下流入下锅筒。结果就造成了低温区下降，高温区上升的水循环流动。

关于影响水循环的因素及改造锅炉时应考虑的问题，将于第三篇第九章中叙述。

第二章 锅炉及辅助受热面

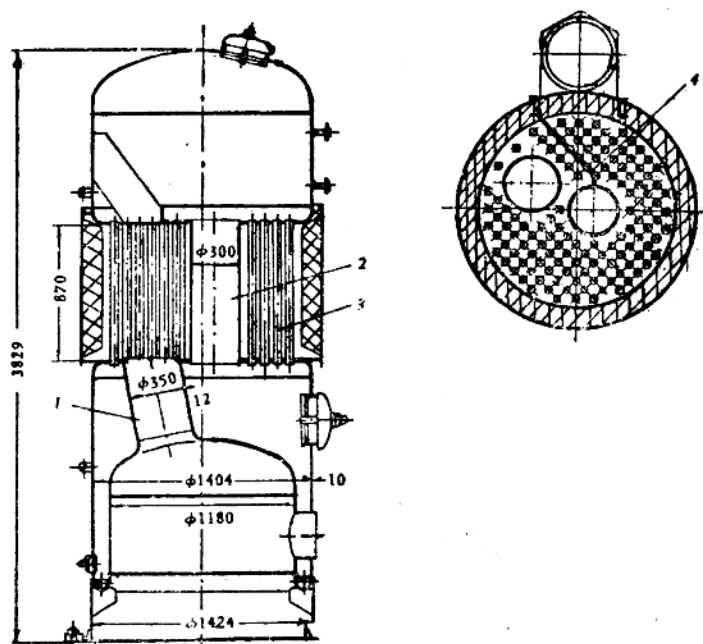
锅炉是由汽锅及燃烧设备组成，而过热器、省煤器及空气予热器，常称为锅炉的辅助受热面。锅炉的型式很多，本章将仅通过几种典型产品来介绍其结构及工作原理。现已停产的旧式锅炉，虽有些仍常见，但于本章一概不予介绍，这些锅炉都在需要改造之列，它们之间有些常见的，将于第三篇讲锅炉改造时一并叙述。锅炉的构造及其工作原理，本章则着重介绍汽锅部分，因为燃烧设备将于第三章详加介绍。

§ 2—1 立式锅炉

在容量为0.2~1吨/时以下的锅炉，目前产品多为立式锅炉。整个锅炉有个立放的锅筒，或称锅壳，炉膛位于锅壳的下部，炉排呈圆形，炉膛四周及顶部都是辐射受热面，也就是说这些受热面吸热主要是靠辐射换热。相应地，主要靠对流换热方式吸热的受热面，称为汽锅的对流受热面，当然辅助受热面也都是对流受热面。旧式立式锅炉的对流受热面都为烟管，或称火管，即

烟气在管内流动，水在管外。故旧式立式锅炉常被称为火管锅炉，最近的产品其对流受热面都是水管构成的，而烟气则在管外流动，称为立水管锅炉。

图2—1所示，为立式直水管锅炉，锅炉型号为：LSG0.7—8，是手烧炉排，适于烧烟煤。锅壳分为三部分：最下部分为炉膛，其周围为容水空间；最上部分的下半部为容水空间，上半部为容汽空间，蒸汽从顶部引出；中间部分为很多直水管，通过这些水管将上、下两部分容水空间连通。水管中



1—炉膛烟气出口管；2—下降管；3—对流排管；4—挡烟隔墙。

图2—1 LSG0.7—8锅炉（直水管）

有一根粗的($\phi 300$ 厘米)管子称为下降管。

烟气从炉膛向上流至水管外边,由于设立了挡烟隔墙,烟气只能在水管外横向冲刷管壁,并旋转,然后从烟囱排出。这样的布置,改善了水管的传热。锅壳内的水受热成汽水混合物从水管上升,在上部汽水分离,汽存于容汽空间而向外引出,水再经下降管向下流,而形成水循环。

这种锅炉水循环好,比同容量的其他锅炉热效率较高可达70%左右,水垢较易清除,换管方便。目前已系列化,蒸发量为0.4、0.7及1吨/时,个别有生产1.5吨/时的。

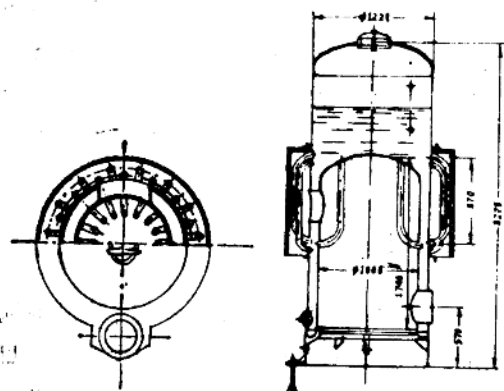


图2-2 LSG-0.4-8锅炉(弯水管)

图2-2所示为立式弯水管锅炉,型号为LSG0.4-8,手烧炉,适于烧烟煤。在炉胆内布置有16根 $\phi 51 \times 3.5$ 毫米的水冷壁管,所以其炉内辐射受热面较大。锅壳外有30根 $\phi 51 \times 3.5$ 毫米的耳形排管,叉排布置,其上下端都与锅壳外壁相连,成为锅炉的对流受热面。

炉膛烟气出口在侧边,烟气离炉膛后进入耳管横向冲刷,同时加热锅壳外壁,烟气绕锅壳半圈后,经出口烟箱进入烟囱。

这种锅炉水循环较好,热效率可达65%左右,除垢、清灰都较方便。但是辐射受热面太大,烧劣质煤(多水份多灰份的)不太有利。这种锅炉系列设计为0.2及0.4吨/时。

立式锅炉的结构紧凑,占地面积小,但是需要高度较大;安装方便,很少甚至不用炉墙;水容量较大,适应于变动负荷,但锅壳直径较大,则所需钢耗较大。

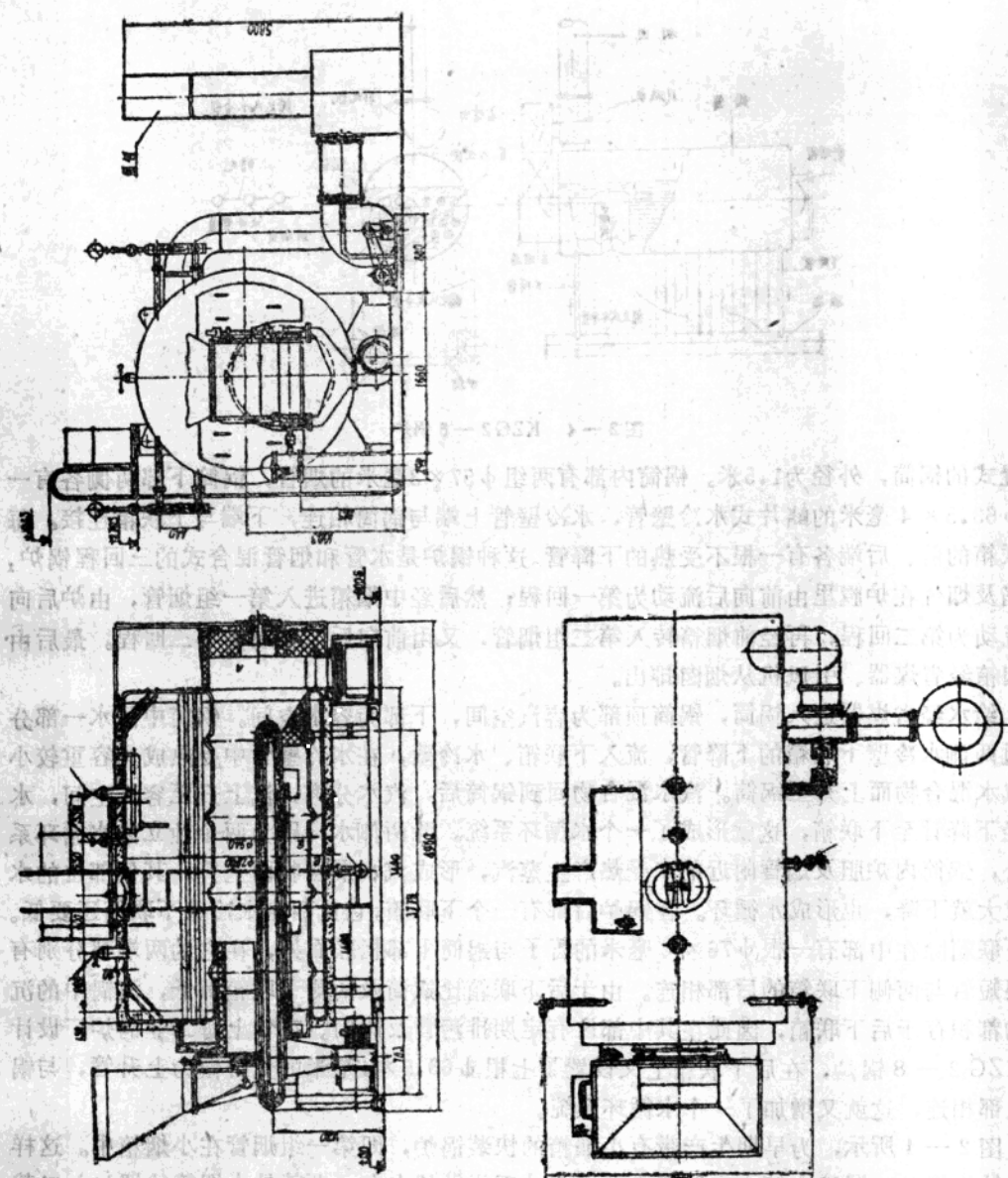
立水管锅炉的炉膛及炉排都在锅壳内部,称为内燃炉,内燃炉锅筒较大,若容量增加太大,则要求锅筒太大而不经济,故容量也就受了限制。若把炉膛改于锅壳外面,称为外燃炉,则锅筒可以减小。哈尔滨锅炉修造厂制造的“红心”号锅炉,就是立锅筒水管锅炉外燃炉,炉膛内加水冷壁,在立锅筒外壁装了很多耳管(与图2-2所示相似),做为对流受热面。

§ 2-2 卧式火管及水、火管锅炉

卧式锅炉是指锅筒横放的锅炉。容量在2~4吨/时左右的锅炉,多为单锅筒的卧式锅炉。现介绍几种典型产品:

1. 三回程卧式火管(又称烟管)锅炉。图2-3为三回程内燃卧式锅炉,链条炉,锅炉型号为WNL2-8-1,燃用烟煤。在卧放的锅壳内有一波形炉胆,称为火筒,火筒内有链条炉排。有送风机及引风机。火筒与锅壳之间都是容水空间,锅壳顶部为容汽空间。在火筒上的容水空间里,在左、右侧及上部各有一组烟管。在炉排以上火筒的内壁形成辐射受热面,而烟管则是对流受热面。

燃烧后的烟气在火筒内向后流动,冲刷火筒,为第一回程。烟气由后端流过左、右侧



的烟管向前流动为第二回程。烟气流至前端烟箱后，进入火筒上部的烟管又由前向后流动为第三回程。最后经引风机进入烟囱。三个回程中，烟气都是纵向顺着管子流动。

这种锅炉系列设计有 2 吨/时，8 及 13 公斤/厘米² 表压力两种；及 4 吨/时，13 公斤/厘米² 表压力。锅炉效率可达 73~75%。但是，烟管为胀接的容易泄漏；烟管的间距小，清垢困难；同时水平烟管易于积灰。

2. 卧式快装锅炉。图 2—4 为 KZG2—8 型快装锅炉构造示意图。锅炉上部有一个