

工 业 锅 炉 原 理

金定安 曹子栋 俞建洪

西安交通大学出版社

前 言

为适应我国工业锅炉迅速发展、专业人才急待培养提高的需要，西安交通大学锅炉教研室组织编写了这本《工业锅炉原理》教材，供各类高等学校有关专业的专科、本科教学使用，也可供工业锅炉培训班教学使用。同时，本书还可供工业锅炉的安装、运行、检修等专业人员以及劳动、环保、工业锅炉房等部门的技术人员自学参考。

本书内容密切联系我国工业锅炉发展的实际，并注意介绍了近年来国内外工业锅炉的新技术。同时，为便于学习者掌握锅炉设计与各种计算方法，在有关章节附有设计及计算例题。此外，本书还充分反映了目前我国新制订的各种计算标准与热工测试标准。

本书由金定安（第二章，第三章1、2、3、4、5、8节，第四章，第九章），曹子栋（第一章，第六章，第七章，第八章，第十一章），俞建洪（第三章6、7、9、10节，第五章，第十章）编写，并由金定安担任主编；审稿工作由张永照，章燕谋，黄祥新担任。

限于作者的水平，本书的缺点和错误在所难免，恳请读者和专家批评指正。

目 录

前言	(I)
----------	-------

第一章 概论

1-1 锅炉工业概况	(1)
1-2 工业锅炉的工作过程	(2)
1-3 工业锅炉的本体结构	(3)
1-4 烟管锅炉	(6)
1-5 水管锅炉	(9)
1-6 快装锅炉	(15)

第二章 燃料及其热工计算

2-1 燃料的特性	(19)
2-2 燃烧所需空气量及燃烧产物烟气量	(37)
2-3 空气、烟气的焓值计算	(47)
2-4 锅炉运行中燃料的热损失	(48)
2-5 锅炉热效率及燃料消耗量	(56)

第三章 锅炉的燃烧设备

3-1 燃料燃烧的基本概念	(57)
3-2 手烧炉	(63)
3-3 链条炉	(72)
3-4 抛煤机炉	(87)
3-5 往复推动炉排炉	(93)
3-6 振动炉	(96)
3-7 沸腾炉	(102)
3-8 煤粉炉	(112)
3-9 燃油炉	(121)
3-10 燃气炉	(128)

第四章 锅炉受热面的结构布置及热力计算

4-1 辐射受热面的结构及布置	(136)
4-2 辐射受热面的传热计算	(140)
4-3 对流受热面的结构及布置	(153)
4-4 对流受热面的传热计算	(164)

4-5	各种对流受热面的计算方法	(182)
4-6	对流受热面的运行工况及参数选择	(187)
4-7	锅炉热力计算实例	(192)
第五章 锅炉的烟风阻力计算		
5-1	通风阻力计算原理和方法	(223)
5-2	烟道计算	(238)
5-3	风道计算	(241)
5-4	风机的选择	(243)
5-5	烟风阻力计算实例	(244)
第六章 工业锅炉用钢及受压元件的强度计算		
6-1	概述	(258)
6-2	金属材料的机械性能	(259)
6-3	安全系数与许用应力	(262)
6-4	承受内压未减弱的圆筒形元件的强度计算	(266)
6-5	被孔排减弱的圆筒形元件的强度计算	(273)
6-6	承受内压凸形封头的强度计算	(279)
6-7	承受内压的平端盖、平堵头及平板的强度计算	(282)
6-8	烟管锅炉的强度计算	(284)
6-9	孔的加强计算	(290)
6-10	锅炉受压元件强度计算实例	(296)
第七章 工业锅炉的水处理		
7-1	工业锅炉用水的指标	(301)
7-2	锅炉的给水处理	(305)
7-3	锅内水处理	(312)
第八章 工业锅炉的水动力学及汽水分离装置		
8-1	工业锅炉水动力学的基本概念	(315)
8-2	自然循环锅炉的水动力学	(316)
8-3	自然循环回路的工作特性	(318)
8-4	自然循环的可靠性	(328)
8-5	自然循环回路的设计原则	(331)
8-6	汽水分离	(332)
第九章 工业锅炉的热工试验		
9-1	热效率试验的方法	(339)
9-2	燃料与灰渣的分析	(348)

9-3 燃料燃烧产物的分析	(353)
9-4 锅炉的烟尘排放浓度测定	(358)
9-5 锅炉热效率试验实例	(360)
第十章 工业锅炉的除尘装置	
10-1 工业锅炉与环境保护	(366)
10-2 工业锅炉的除尘装置	(368)
10-3 工业锅炉除尘装置的选用	(377)
10-4 除尘装置性能	(380)
第十一章 热水锅炉	
11-1 热水采暖系统	(382)
11-2 热水锅炉的特点及基本型式	(386)
11-3 强制循环热水锅炉的水动力特性	(390)
11-4 自然循环热水锅炉的水动力特性	(397)
11-5 热水锅炉受热面的温度工况	(402)
参考文献	(411)

第一章 概 论

1-1 锅炉工业概况

锅炉是一种把煤炭、石油或天然气等能源中储藏的化学能转变为水或蒸汽的热能的重要设备。高温水和蒸汽的热能可以直接应用在生活和生产中，如空气调节、纺织、化工、造纸等领域，也可以再转换成其他形式的能，如电能、机械能等。随着水和蒸汽的热能应用范围的扩大，锅炉逐渐成为人类社会生产和生活各个领域不可缺少的动力机械。物质生产的飞速发展，能源的消耗量日益增加，人类社会就需要更多、更先进的能源转换设备，锅炉工业在国民经济中的作用和地位也就越来越重要。

现代锅炉可以看做是一个巨大的蒸汽发生器。煤炭、石油或天然气等燃料送入锅炉后，燃烧设备将其燃烧，燃料的化学能转变为燃烧生成物——烟气的热能。高温烟气通过多种传热方式把热能传递给水，水以蒸汽或热水的形式将热能供给工农业生产和人类的生活，或用来发电和作为驱动机械运动的动力。发电用的锅炉一般称为电站锅炉，而直接供给工农生产或驱动机械的锅炉则称为工业锅炉。

随着锅炉工业的发展，电站锅炉生产蒸汽的参数不断提高，如蒸汽的压力从中压、高压、超高压发展到亚临界压力和超临界压力；蒸汽的温度已达到 650°C ；蒸汽的产量已达到 2000t/h 以上。工业锅炉除单台锅炉的容量已从每小时生产几百公斤蒸汽发展到每小时生产几十吨蒸汽外，锅炉的性能也有了本质的变化。工业锅炉的效率已从 $20\sim 30\%$ 提高到 $70\sim 80\%$ 。原来繁重的手工操作，现在已实现了机械化和自动化。

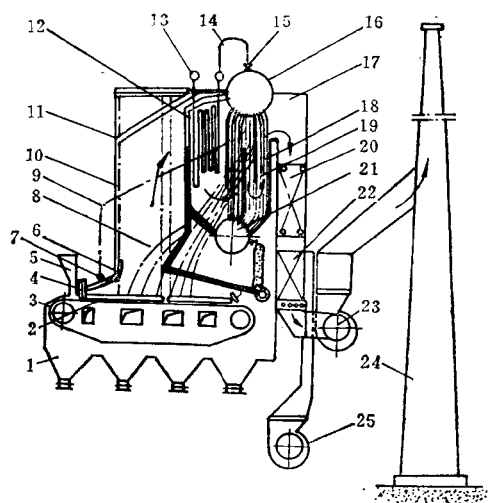
锅炉作为热能动力设备已有二百多年的历史了，但是，锅炉工业突飞猛进的发展却是近几十年的事情。国外的锅炉制造工业五十~六十年代发展最快，七十年代前后达到高峰。我国的锅炉工业是新中国成立后才建立和发展起来的，经过三十多年的努力，现在不但有技术力量雄厚的电站锅炉制造和研究基地，还有规模庞大的工业锅炉生产厂家。

国外的工业锅炉多以燃用石油和天然气为主。自七十年代初世界性的能源危机以来，由于石油和天然气燃料价格的高涨，煤炭资源又重新受到重视。但是，为防止环境污染，燃煤锅炉主要在净化燃烧产物技术上发展。国外工业锅炉的特点是平均单机容量大，热效率高，自动化控制程度完善，锅炉机组向快装或组装方向发展，结构紧凑，现场安装方便；制造厂多采用先进的制造工艺、装备及流水线，专业化程度和生产率都比较高。

我国的工业锅炉以燃用各种原煤为主，煤种的供应变化较大，因此锅炉实际运行热效率较低。单机容量平均只有 1.85t/h ，自动化控制程度低。制造厂较少专业分工，多为单件或小批量生产，生产所用机床设备的专用化程度提不高。生产率较低。近年来我国的锅炉科学工作者在吸收国外的先进技术的同时，结合国情认真总结经验，在锅炉设计等很多方面都有很大的进展，达到或接近了世界水平。制造工艺也在不断地更新，我国采用的锅炉制造标准已基本符合国际标准。

为了更好地适应国民经济现代化发展的需要,我国的工业锅炉制造业还必须进行重大的改革。发展工业锅炉技术,提高工业锅炉的效率和机械化、自动化水平,防止对环境的污染等均是目前我国工业锅炉方面的重大研究课题。

1-2 工业锅炉的工作过程



- 1-灰斗; 2-防焦箱; 3-链条炉排; 4-煤闸门; 5-煤斗;
6-前拱; 7-前墙水冷壁下集箱; 8-侧墙水冷壁管;
9-前墙水冷壁下降管; 10-前墙水冷壁管; 11-前炉墙;
12-过热器; 13-减温器; 14-饱和蒸汽引出管;
15-主蒸汽阀; 16-上锅筒; 17-转弯烟室; 18-对流管束;
19-对流管束烟道隔墙; 20-省煤器; 21-下锅筒;
22-空气预热器; 23-引风机; 24-烟囱; 25-鼓风机。

图 1-1 SHL-20-13 型工业锅炉简图

图 1-1 示出了一台 SHL-20-13 型工业锅炉的主要结构和工作过程。这台锅炉是以煤作为燃料的层燃炉。由输煤装置将原煤送入煤斗,煤斗中的煤可直接落在缓缓向前移动的链条炉排上,经过煤闸门进入燃烧室。在燃烧室中燃料燃烧的空气由炉排下的风室供给。燃料燃烧所产生的高温烟气以辐射放热的方式向燃烧室四周的水冷壁传递热量,然后经防渣管进入对流烟道。对流烟道是由烟墙隔成的。对流烟道中布置有过热器和锅炉管束等受热面。过热器的作用是把从锅筒中引出的饱和蒸汽加热成过热蒸汽。蒸汽的用途不同,对过热蒸汽温度的要求也不相同。过热器一般是由成排弯制成蛇形管的碳素钢或合金钢管组成,过热器管的直径约为 $\phi 30 \sim 50 \text{mm}$ 。锅炉管束是与上、下锅筒连接在一起的一簇管束,管内的水吸收烟气的热量而蒸发,产生的蒸汽在上锅筒中分离出来送至过热器,而未汽化的水继续在锅炉管束中循环。锅炉管束的钢管直径一般为 $\phi 50 \sim 70 \text{mm}$ 。

烟气在烟道中冲刷过热器和锅炉管束放出热量后,进入尾部烟道。尾部烟道内布置有省煤器和空气预热器等受热面。进入尾部烟道的烟气温度一般有 $400 \sim 500^\circ\text{C}$,省煤器和空气预热器是用来吸收这部分烟气热量的。省煤器是由成排的碳素钢管弯制而成,也有用铸铁管制造的。工业锅炉的给水温度比较低,一般在 $20 \sim 105^\circ\text{C}$ 之间。省煤器是用来加热锅炉给水的,它可以有效地吸收这部分烟气热量,降低烟气的温度。空气预热器也是由钢管制成的受热面。烟气在管内流过,空气在管外横向冲刷管束。送风机吸入的冷风在空气预热器中吸收一部分烟气的热量,加热到一定的温度送入炉排下的风室。放出热量后的较低温度的烟气经引风机和烟囱排入大气。排入大气的烟气温度越低,说明烟气的热量被吸收得越充分,燃料的热能被利用的程度就越高,锅炉的热效率就越高。

这台锅炉的水由锅炉给水泵升压,经省煤器送入上锅筒。上锅筒内的炉水经水冷壁下降管流到水冷壁下集箱,然后在水冷壁中吸热蒸发,由于水冷壁中的水含有蒸汽,汽水混合物的密度比下降管中的水轻,因而会向上升流动到上锅筒中,形成循环回路。在锅炉管束中也有同样的过程,炉水沿着受热弱的管子向下流入下锅筒,然后由下锅筒经受热强的管子变成汽水混合物再流到上锅筒,汽水混合物在上锅筒中被分离,蒸汽位于锅筒的上部,水处于锅筒的

下部，蒸汽就是在这种循环过程中产生的。

从上述的例子可以看出，锅炉的工作过程是由燃烧过程和传热过程组成的，众多和复杂的锅炉部件都是为了完成和强化这两个过程的。按照锅炉的工作过程可以把锅炉分成两大部分：锅炉本体和燃烧设备。

锅炉本体包括水冷壁、锅炉管束、过热器、省煤器和空气预热器等。它们都是各种型式的受热面。烟气的热能通过这些受热面传递给工质。锅炉本体的一侧处在高温烟气的条件下，因此要求它们的结构和材料要能承受高温和抵抗烟气的腐蚀；锅炉本体的另一侧是工质——水、蒸汽或空气，水和蒸汽在工作时都具有很高的压力，所以锅炉本体的主要部件还要具有一定的承压能力；另外锅炉本体还应具有良好的传热性能。

燃烧设备包括煤斗、煤闸门、链条炉排、风室及炉拱等。它们的作用是将燃料送入燃烧室，提供燃烧所需要的条件，完成燃料的燃烧过程。燃烧设备的型式主要取决于燃料的种类和燃烧方式。工业锅炉的燃烧方式主要是层式燃烧，煤成层置于炉排上燃烧。炉排可以是固定的，也可以是机械化移动的，如链条炉排等。燃烧设备要能适用于不同煤种的燃烧，保证燃料的及时着火和燃尽，还应有一定的燃烧强度，能给锅炉提供足够的可利用热能。

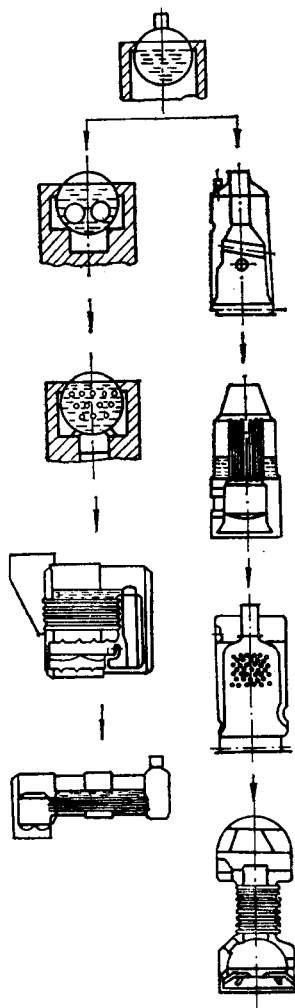


图 1-2 烟管锅炉发展示意图

1-3 工业锅炉的本体结构

如上所述，工业锅炉是由燃烧设备和锅炉本体两部分所组成。因此，工业锅炉的发展，除了其燃烧设备向机械化、大型化等方向发展外，一个很重要的方面是改进锅炉本体结构，强化受热面的传热能力，保证锅炉安全可靠的工作。工业锅炉的参数和容量的不断提高，也要求受热面有更强的传热能力，为此，工业锅炉的本体结构也必须不断地改进。

一、烟管锅炉的发展概况

锅炉本体的原始形式是一个圆柱形的锅筒，筒里盛有一定容量的水，筒体外面下部作为受热面和燃烧生成的高温烟气换热。这种原始型式的锅炉由于受热面积小，不能充分吸收高温烟气的热能，因此蒸汽的产量很低，不能满足工农业发展对热能的需要。为了提高蒸汽产量，充分利用高温烟气的热能，就需要扩大锅炉的受热面积，提高受热面的传热能力。

达到上述目的的一种途径是在筒体中水容积的空间内增设烟气通道，使高温烟气能够通过较多的受热面把热能传递给水，与此同时增加烟气的流程，提高烟气流动速度，从而提高烟气的放热系数。

图 1-2 示出了烟管锅炉发展过程的一些特点。最初是在锅筒的水容积内增加一个较大的大筒作为燃烧室，将燃烧设备从锅筒下部移入火筒内。炉排上的燃料燃烧后生成的高温烟气向火筒后部流去，流出火筒后的烟气沿着锅筒外壳的一侧折向前流，到达

锅炉前部再沿着锅筒另一侧烟道向后流，然后进入烟囱。后来是在锅筒水容积内装置两个火筒，两个火筒内都安装有燃烧设备，如图 1-3 所示，烟气从火筒流出后经锅筒外壳两个回程的烟道进入烟囱。这样就可以在同样大小锅筒的锅炉上增加了相当于一个火筒内表面积的受热面，同时由于烟气行程的增多，烟气流速提高，烟气向锅筒外壳的放热系数有所增大，使

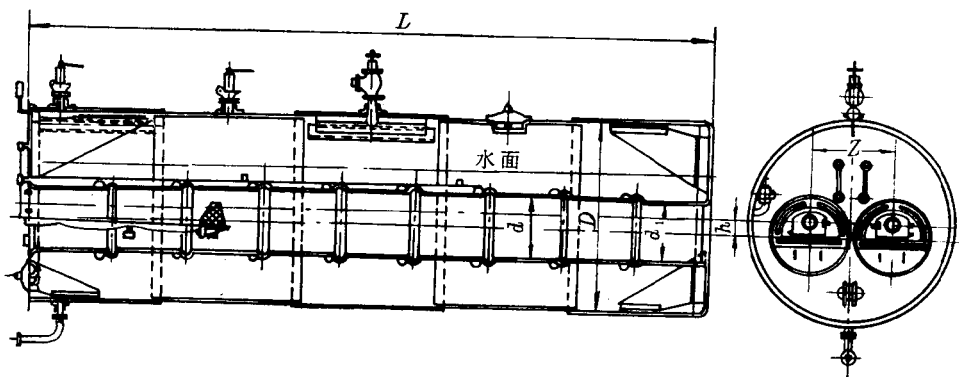
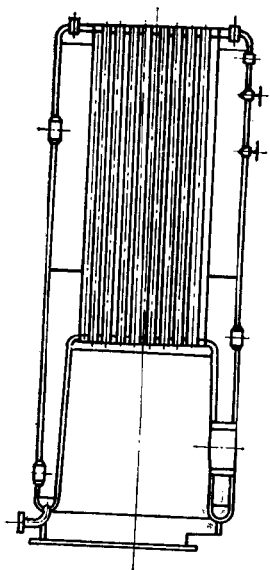


图 1-3 WSG 2-8 卧式双火筒锅炉

受热面能更有效地吸收烟气的热量。这种锅炉结构比较简单。为了保证火筒的热膨胀和强度，火筒制造成具有许多波纹的形式。

为了更有效地扩大锅炉水容积中的受热面积，又把较大直径的火筒改为小直径的烟管，燃烧设备置于锅筒外壳下部。烟管作为烟气的第一回程，锅筒外壳的两侧烟道作为第二回程。因为管内流过的是烟气，所以有“烟管锅炉”之称。这种型式的锅炉，锅筒都是横向放置，因此占地面积较大。



烟管锅炉的另一种型式是锅筒呈垂直放置，也叫做立式烟管锅炉。锅筒里面装有一直径稍小的内筒作为燃烧室，两个筒体之间为水夹层。内筒和外锅筒的顶部封头之间装有烟管，烟气在内筒里向上流过烟管进入烟囱，如图 1-4 所示。这种锅炉也是利用小直径烟管来扩大受热面积以提高锅炉的蒸汽生产能力。

烟管锅炉结构简单，制造方便，水质要求低，运行和维修都比较容易，所以是工业锅炉的一种发展型式。但是，由于烟管的增加受到水容积大小的限制，烟气纵向冲刷受热面放热系数小，受热面传热强度低，因而不能适应大容量工业锅炉发展的需要。目前除了一些小型燃油或天然气的工业锅炉仍采用外，燃煤的工

图 1-4 LHG 型立式烟管锅炉

二、水管锅炉的发展概况

扩大受热面，强化传热的另一种途径是在锅筒外部增加受热面，让烟气横向冲刷这些受热面。图 1-5 是水管锅炉发展过程的示意图。

水管锅炉是在锅筒外部引出两组集箱，集箱间用直钢管联接起来，集箱和锅筒里的水相

通，钢管内也充满着水，所以叫水管锅炉。锅筒外部有专门的燃烧室，高温烟气折转冲刷水管外部，把热量传给管内的工质。此时，锅炉受热面积的大小取决于水管面积的大小，这样

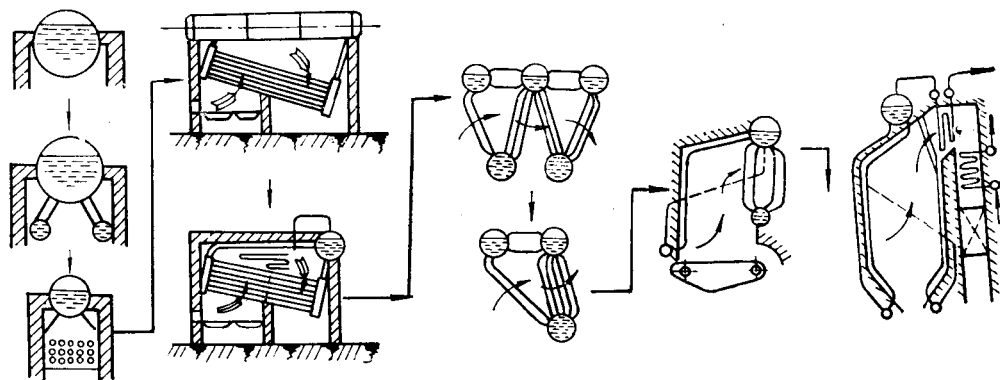


图 1-5 水管锅炉发展过程示意图

锅炉受热面的增加不再受复杂而笨重的锅筒大小的限制。

水管锅炉发展的特征是集箱和水管形状的发展。早期的水管锅炉是采用整集箱和直水管，水管呈水平或微倾斜布置，这样主要是便于和锅筒连接及制造。由于整块的方形集箱强度难以保证，后将整集箱改为分集箱，如图 1-6 所示。这样强度方面好一些，但集箱和集箱

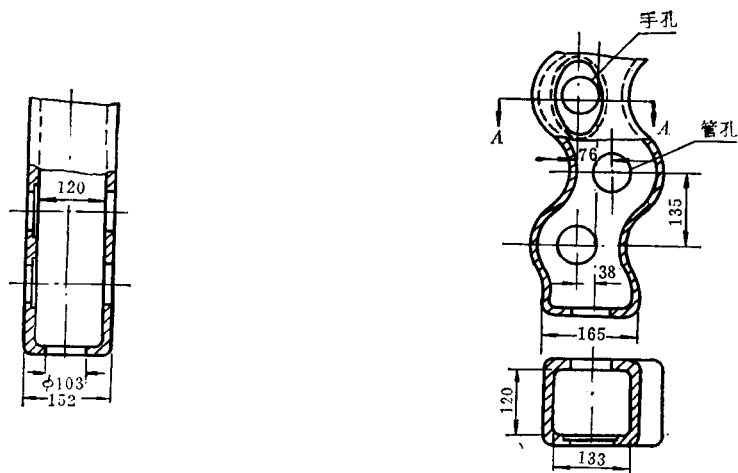


图 1-6 分集箱结构示意图

上的手孔加工复杂而且要求高，金属消耗量也比较大。另外，水平或微倾斜布置的水管，其中的汽水混合物容易呈分层流动状态，对水循环不利。近代的水管锅炉由于焊接技术和制造工艺水平的提高，同时为了改善其水循环，直水管都改为弯水管，垂直布置，方形集箱都由锅筒和圆形集箱代替，而且锅筒的数目逐渐减少。现代工业锅炉多采用双锅筒形式，锅筒间用弯水管连接形成对流管束。而电站锅炉多采用单锅筒、弯水管的形式。水管锅炉用弯水管作为受热面，摆脱了锅筒水容积空间的限制，大大增加了锅炉发展的自由度，能充分适应锅炉单台容量增大、蒸汽参数提高的发展要求，这在锅炉发展史上是一个重大的飞跃。工业

锅炉中，容量在 6t/h 以上的几乎都采用水管锅炉的型式，较小容量的工业锅炉由于水管锅炉更安全可靠，也在逐步向水管锅炉发展。水管锅炉相对水容积较小，水垢的相对沉积面积大，所以对锅炉给水品质要求较高，需要专门的水处理设备。在本体结构和制造工艺上，水管锅炉也比烟管锅炉复杂，材料消耗也较多，所以对很小容量（如 1t/h 以下）的锅炉，采用水管锅炉在技术经济指标上并不合理。

1-4 烟管锅炉

烟管锅炉中应用时间最早和历史最长的是 WSG 型卧式双火筒锅炉和 LHG 型立式横火管锅炉。这两种锅炉原来都是英国制造的，我国曾大量仿造过。六十年代以前我国的小型工业锅炉大都是这两种形式。

表 1-1 给出的是我国生产的 WSG 型锅炉主要结构尺寸和容量。WSG 型锅炉锅筒的长度和直径都比较大，为了减少接缝，须采用大型钢板制造。早期的 WSG 型锅炉的锅筒接缝采用铆接，焊接工艺提高后改为焊接。这种锅炉使用固定炉排，手工加煤除渣。锅炉的工作压力最高为 0.8MPa。

表 1-1 WSG 型锅炉的主要规格

锅筒长度 (mm)	锅筒外径 (mm)	火筒内径 (mm)	炉排面积 (mm)	受热面积 (mm)	蒸发量 (kg/h)
6100	1830	686	2.013	47.4	1300
7300	1982	762	2.573	62.7	1750
7930	1982	762	2.649	68.3	1900
8540	1982	762	2.972	73.8	2150
8540	2135	839	2.972	79.8	2260
9150	2135	839	3.251	85.9	2440
9150	2287	915	3.530	92.9	2725
9150	2440	991	3.701	100.8	3160
9150	2592	1067	3.808	107.8	3700
9150	2745	1144	4.078	114.3	4300

由表 1-1 可以看出，这种类型的锅炉单位面积的蒸发量一般约为 27 kg/(m²·h) 左右，钢材消耗量大，一台蒸发量为 2260kg/h 的 WSG 型锅炉需要耗费钢材 21.7 吨，相当于每吨蒸汽耗钢 10 吨左右。第二、第三回程的烟道中烟气纵向冲刷锅筒外壳，烟速很低，传热系数小，因此排烟沿高（约在 400℃ 以上）锅炉的热效率低，约 50% 左右，由于锅筒直径大，受材料强度的限制，锅炉的工作压力较低，一般不超过 0.8MPa。另外，火筒作为燃烧室，空间小，水冷程度大，燃烧室温度低，不利于燃料的着火和燃尽，不适于燃用劣质煤种。当然这种锅炉水平布置占地面积大，手工加煤、清渣劳动强度高，炉排的燃烧强度低。我国从七十年代起已不允许生产和使用这种型式的锅炉。

表 1-2 给出了我国生产的 LHG 型立式横火管锅炉的主要规格和性能。LHG 型锅炉如图 1-7 所示。这种型式锅炉的特点是，锅筒垂直布置，占地面积小，烟气的自生通风能力强。

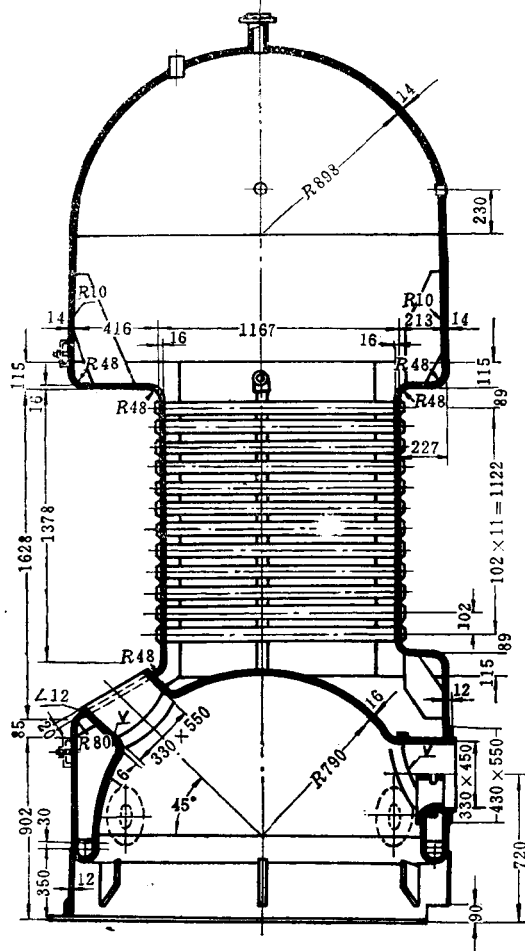


图 1-7 LHG 型立式横火管锅炉示意图

可以不用机械通风设备，安装和移动方便。但是这种锅炉燃烧室太小，水冷程度高，对燃料的燃尽不利；水平布置的火管容易沉积飞灰，降低了传热效果；锅炉烟气行程短，排烟温度高（可达 500℃），热效率低，一般只有 50% 左右。这种型式的锅炉容量的大小也是取决于锅筒的直径，因此单台锅炉蒸发量比较低，工作压力也不高（低于 1.0MPa），每吨蒸汽耗用钢材在 8 吨左右，所以这种型式的锅炉我国现在也不允许生产。

表 1-2 LHG 型立式横火管锅炉主要规格

锅筒外径 (mm)	锅炉高度 (mm)	受热面积 (m ²)	炉排面积 (m ²)	烟管尺寸		蒸发量 (kg/h)
				根数	外径(mm)	
915	2059	4.6	0.44	23	63	150
1144	2592	9.3	0.70	37	63	318

续表 1-2

锅筒外径 (mm)	锅炉高度 (mm)	受热面积 (m ²)	炉排面积 (m ²)	烟管尺寸		蒸发量 (kg/h)
				根数	外径(mm)	
1220	2745	10.2	0.79	42	63	377
1296	2897	12.9	0.86	58	63	455
1448	3126	17.6	1.09	74	63	623
1525	3431	20.4	1.16	84	63	690
1601	3583	23.2	1.30	92	63	800
1677	3736	27.9	1.56	102	63	980
1753	3965	32.5	1.74	123	63	1135
1830	4275	37.0	1.74	136	63	1180
1982	4275	41.6	2.09	143	63	1410
1982	4427	46.5	2.09	158	63	1500
2135	4580	55.7	2.49	173	63	1820
2287	4956	69.7	2.93	224	63	2180

为了改善手工加煤、除渣的笨重体力劳动，提高炉排面上的燃烧强度，烟管锅炉现已采用链条炉排等机械化燃烧设备和强制通风，如图 1-7 所示。为了方便锅炉启动时的点火和改善煤层的着火条件，在煤闸门后用耐火材料制成一引燃室，引燃室不布置受热面，可以提高煤层着火区的温度。锅炉后部装有出灰装置。火筒上部水空间布置有烟管，用烟箱隔成两个回程。最后烟气经引风机进入烟囱。由于燃烧设备还置于火筒内部，所以这种锅炉称作卧式内燃锅炉。图 1-8 所示的卧式内燃锅炉蒸发量为 4t/h，工作压力 1.3MPa（饱和蒸汽），

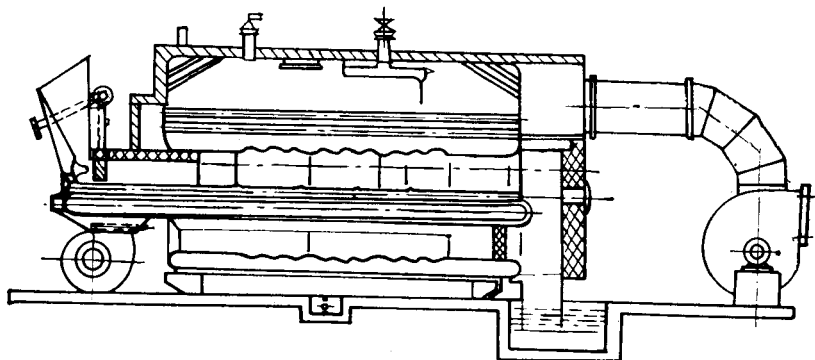


图 1-8 WNL 4-13-A 型卧式内燃三回程链条锅炉

受热面积 143.2m²，炉排有效面积 4.44m²，设计煤种为烟煤。锅炉有三个烟气回程，采用强制通风，烟气流速为 14m/s，烟管内传热系数有所提高。锅炉整体装运，移动和安装方便。锅炉总重约 18.6 吨，每吨蒸汽的钢耗量约为 4.7 吨。这种锅炉由于布置有火筒和烟管，水容积和蒸汽空间都比较小，对负荷变化的适应性较差。另外，锅炉的烟管一般是胀接在锅筒两端的平封头上，直烟管刚性大，胀接工艺不当，在运行中产生的热应力会使胀口泄漏；

其次是由于烟管处于饱和温度的水中，限制了排烟温度的降低，加上水平布置、纵向冲刷容易积灰；影响传热，烟管的金属利用率低。这些都是烟管本身的缺点。

立式烟管锅炉发展的结果，只保留了锅筒立式布置占地面积小和内锅筒作燃烧室等特点，烟管沿变为弯水管，烟气横向冲刷水管以提高受热面的传热能力，如图 1-9 所示。烟气

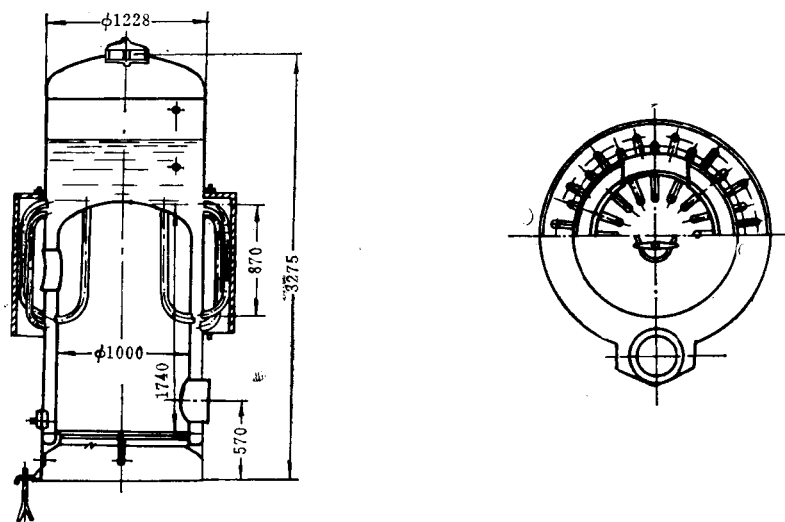


图 1-9 LSG 型立式弯水管锅炉

从烧燃室上部一侧引到锅筒外部的环形烟道中，分两路绕到锅筒的另一侧进入烟囱。环形烟道内布置有弯水管，吸收烟气的热量。这种锅炉按分类已不属烟管锅炉型式。

1-5 水管锅炉

水管锅炉的燃烧室是由水冷壁和炉墙构成的，它可以根据不同燃料烧燃条件的要求和锅炉参数对受热面的要求制成，而不受锅筒体积的影响。在水管锅炉的燃烧室内可以设置各种燃烧设备，可以燃用各种劣质燃料，有效地降低由于不完全燃烧而带来的热损失。

水管锅炉的锅筒内不布置烟管受热面，蒸汽和水的容积相对较大，对负荷变化适应能力强，上锅筒可以安装完善的汽水分离装置，蒸汽品质有保证。由于锅筒不受热，水冷壁管及锅炉管束可以和锅筒采用胀接，也可采用焊接，不会发生象烟管锅炉那样由于热应力引起接口的泄漏现象。

工业锅炉由于蒸汽工作压力比较低，所以工质的吸热多为蒸发吸热量，需要大量的蒸发受热面。水管锅炉的蒸发受热面多采用锅炉管束的型式。锅炉管束呈垂直布置，烟气横向冲刷，管壁不易积灰和污染，受热面的传热能力强。

水管锅炉的主要特征反应在锅筒的数目和布置方式，下面介绍的水管锅炉是几种比较典型的结构型式。

1. “D”型布置双锅筒纵置式锅炉

图 1-10 示出一台“D”型布置的双锅筒纵置式锅炉。锅炉上、下锅筒的轴线平行于炉排运动方向，所以称为“纵置式”。上、下锅筒直径均为 $\phi 1000 \times 14\text{mm}$ 。燃烧室四周都布置有水冷壁管，右侧墙水冷壁管直接和上锅筒相连，中间的倾斜段作为炉顶水冷壁；后墙水冷壁管由上、下集箱和上、下锅筒联接形成一个独立的水循环回路，后墙水冷壁上、下集箱间

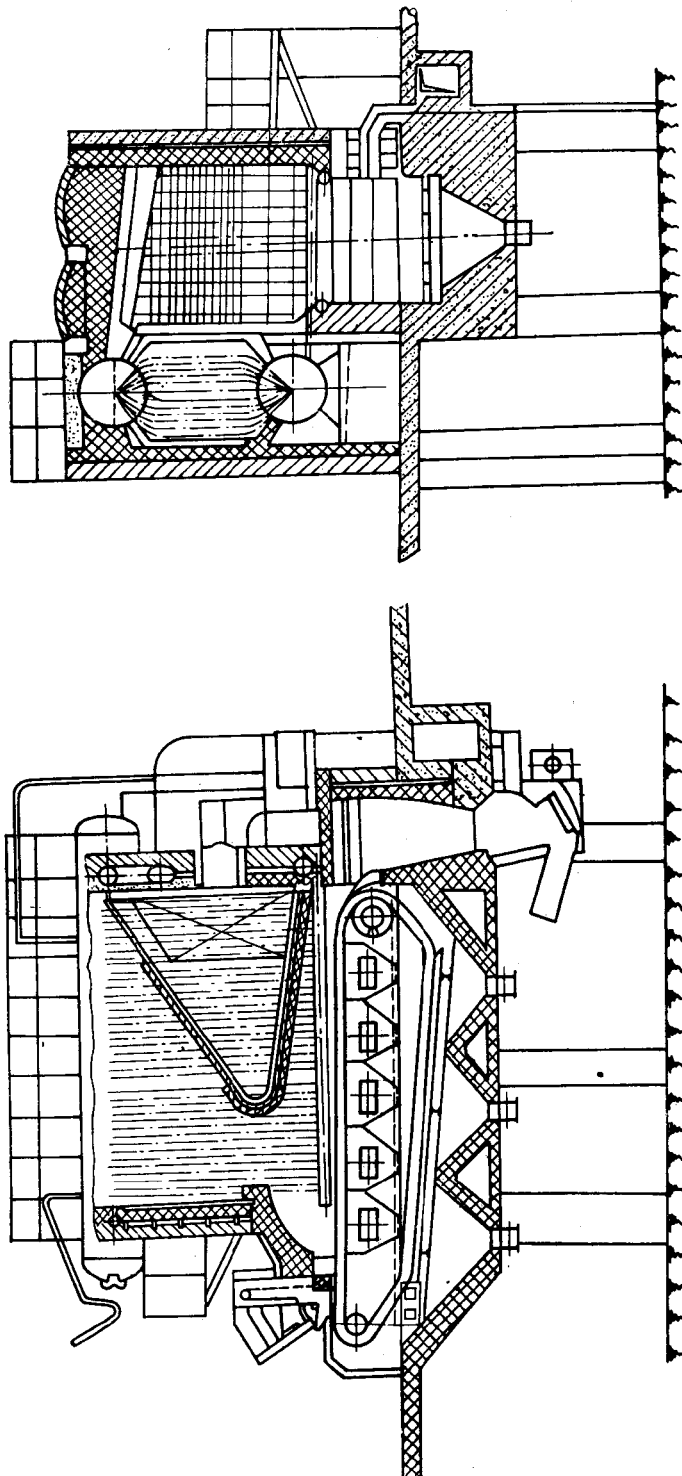


图 1-10 SZL10-13-P 型锅炉示意图

还引出一排后拱管，伸入燃烧室，后拱管上敷有耐火材料作为后拱。燃料燃烧后生成的烟气从燃烧室出来，在锅炉后部进入锅炉管束，经两个行程进入省煤器烟道，由引风机将烟气排入烟囱。省煤器为可卸式铸铁省煤器。燃烧设备为片式（或轻型）链条炉排。这种锅炉适用于燃用弱粘结性烟煤和贫煤。SZL 型锅炉的主要规格和性能见表 1-3。

表 1-3 SZL 型锅炉主要规格和性能

锅 炉 型 号	辐射受热 面积(m ²)	对流受热 面积(m ²)	过热器受热 面积(m ²)	省煤器受热 面积(m ²)	炉排面 积(m ²)	给水 温度 (℃)	锅炉 效率 (%)	外形尺寸(长 ×宽×高mm)
SZL2-25-A	9.6	55.6	/	27.8	2.65	20	80	5855×4770 ×4480
SZL2-13/400-A	10.66	75.5	9.7	30.8	3.6	20	72	
SZL4-13-P	27.1	90	/	30.8	4.0	60	80	6800×4500 ×4400
SZL10-13-P	49	246.8	/	69.8	10.4	60	80	10250×5500 ×5800

采用“D”型布置的主要特点是锅炉管束布置灵活，它可以通过调整上、下锅筒的中心距离和管子的节距与排数，既满足受热面面积的需要，又使烟气流速保持在经济合理的范围内。另外，其燃烧室的形状特别适于采用链条炉排等机械化燃烧设备。因为链条炉排为了保证燃料的充分燃尽需要有足够的长度，在炉排热强度一定时炉排的宽度显得比较窄，如SZL10-13-P 型锅炉炉排的长度约为 6.5m，而炉排的宽度仅有 2.03 m。而在锅炉一侧面向纵向布置的锅筒很容易使燃烧室布置成窄长的形状与炉排尺寸相适应。如果锅炉容量增大，燃烧室的水冷壁和锅炉管束在长度方向作些变化就能满足容量增大的要求，这为锅炉的标准化、通用化设计提供了溢好的条件。一些燃油锅炉也常采用这种结构型式，如图 1-11 所示。

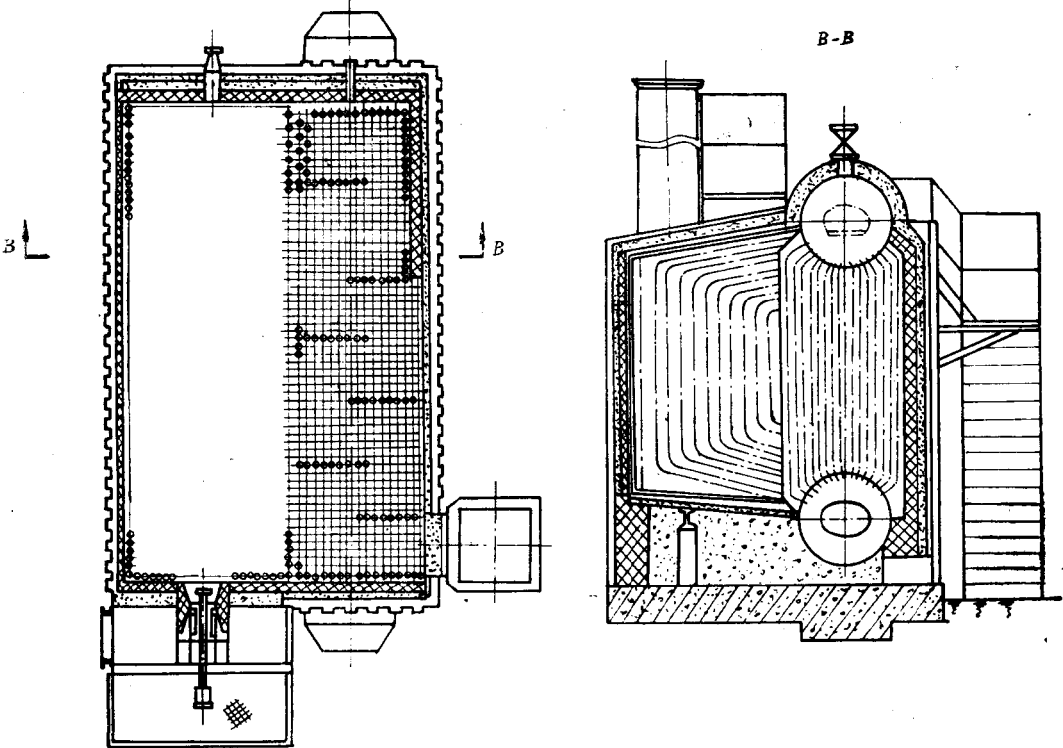


图 1 11 SZS6.5-13-Y 型燃油锅炉

2. “0”型布置的双锅筒纵置式锅炉

“0”型布置 SZL 型锅炉的典型结构如图 1-12 所示。这种型式的锅炉过去叫“ДКВ”型锅

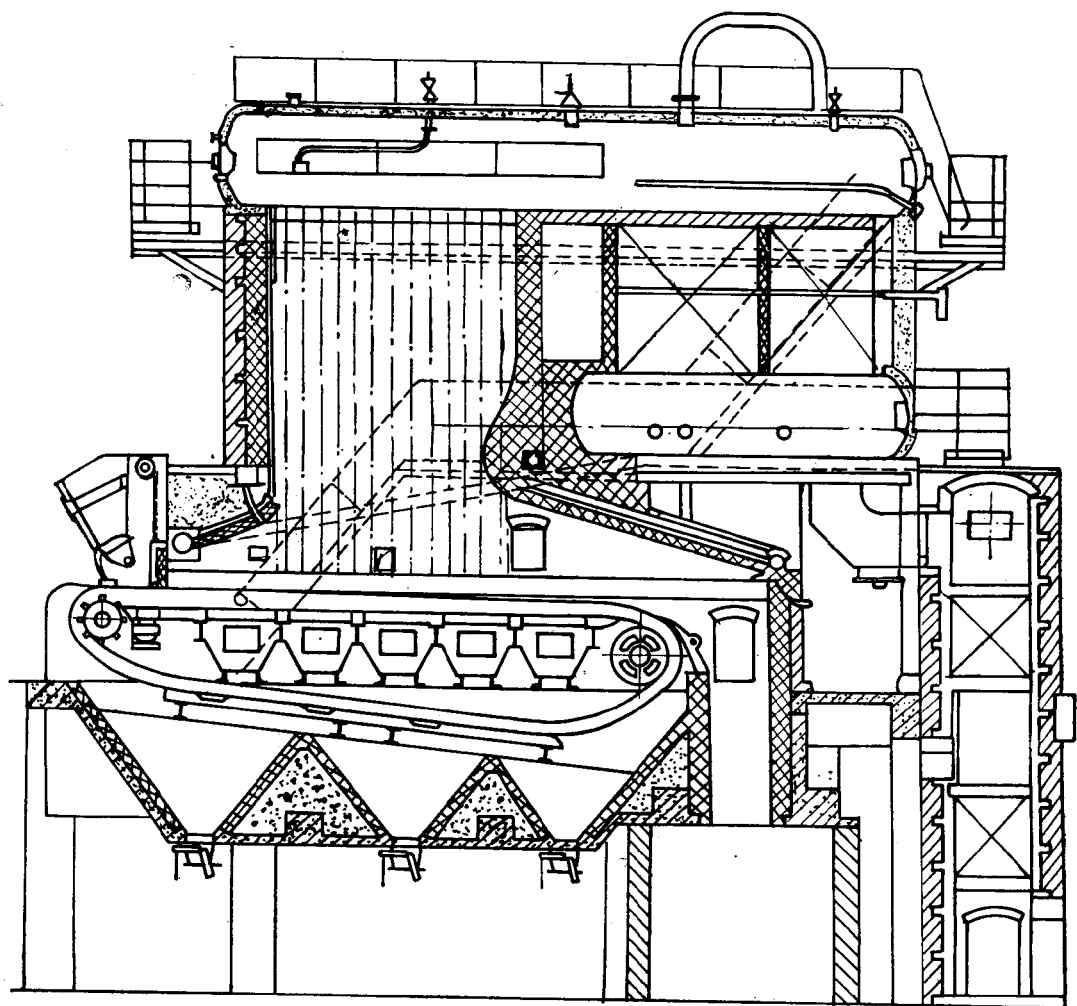


图 1-12 SZL6.5-13-A 型锅炉

炉，是苏联比斯克锅炉厂生产的工业锅炉型号。锅炉本体也是由上下锅筒、水冷壁和锅炉管束组成。上、下锅筒沿锅炉中心线纵向布置，上锅筒比较长，前端两侧引出两排水冷壁管，形成燃烧室；后部和下锅筒联接有许多水管，组成锅炉管束。上、下锅筒的直径均为 $\phi 1026 \times 13\text{mm}$ ，水管均为 $\phi 51 \times 3\text{mm}$ 。锅炉的宽度约 3m 左右，蒸发量不同仅在长度方向变化，锅炉的通用化和标准化程度很高。根据蒸汽参数的要求，可以在锅炉管束区装设对流式过热

器。主要的结构尺寸和性能列于表 1-4 中。

这种锅炉的特点是，上锅筒贯穿锅炉前后，长度太长，单件重量大，钢材耗量大。上锅筒前部下侧置于燃烧室中，在高温烟气的作用下，如果水质不良，锅筒底部将发生水垢沉积，容易使金属过热。我国有些生产厂家把上锅筒前部删去，改用集箱管作为两侧水冷壁的上集