

陶永明/主编

锅壳式燃油燃气锅炉 原理与设计

THEORY AND DESIGN OF OIL/GAS FIRED SHELL BOILERS



苏州大学出版社
Soochow University Press

锅壳式燃油燃气锅炉原理与设计

主 编 陶永明

苏州大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

锅壳式燃油燃气锅炉原理与设计 / 陶永明主编. —
苏州: 苏州大学出版社, 2021.11
ISBN 978-7-5672-3591-5

I. ①锅… II. ①陶… III. ①锅壳锅炉 — 燃气锅炉 —
理论②锅壳锅炉 — 燃油锅炉 — 理论③锅壳锅炉 — 燃气锅炉
— 设计④锅壳锅炉 — 燃油锅炉 — 设计 IV. ①TK229

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 133415 号

锅壳式燃油燃气锅炉原理与设计

Guokeshi Ranyou Ranqi Guolu Yuanli yu Sheji

主编 陶永明

责任编辑 肖 荣

苏州大学出版社出版发行

(地址: 苏州市十梓街1号 邮编: 215006)

广东虎彩云印刷有限公司印装

(地址: 东莞市虎门镇北栅陈村工业区 邮编: 523898)

开本 787 mm×1 092 mm 1/16 印张 15 字数 356 千

2021 年 11 月第 1 版 2021 年 11 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5672-3591-5 定价: 45.00 元

图书若有印装错误,本社负责调换

苏州大学出版社营销部 电话: 0512-67481020

苏州大学出版社网址 <http://www.sudapress.com>

苏州大学出版社邮箱 sdcb@suda.edu.cn

前言

随着我国国民经济的发展、环保要求的提高和能源消费结构的升级,锅壳式燃油燃气锅炉越来越多地被用于工业和民用领域。与燃煤水管锅炉相比,锅壳式燃油燃气锅炉有其独特的结构形式、燃烧系统和传热元件,但锅壳式燃油燃气锅炉和燃煤水管锅炉一样,也存在着节能、安全、环保等方面的要求。合理的设计是保证锅壳式燃油燃气锅炉的热效率 and 安全性,并使其满足排放标准的前提。

本书系统地介绍了锅壳式燃油燃气锅炉的结构、工作原理和设计计算等方面的内容,同时介绍了燃烧、换热、节能及减排方面的新动向、新技术。

本书可以作为能源与动力工程专业和建筑设备与环境工程专业本科生的教学用书,也可供相关专业人员参考。

本书的出版得到了苏州大学教务部和能源学院的支持。在编写过程中,得到了相关友人和家人的帮助与鼓励,谨在此表示衷心的感谢!

限于编者水平,书中难免有不足之处,敬请读者批评指正。



目 录

Contents

第一章 概 述	001
第一节 锅壳式燃油燃气锅炉的基本构造、工作过程、特点和要求	001
第二节 锅壳式燃油燃气锅炉的基本特性	002
第三节 锅壳式燃油燃气锅炉的参数系列与型号编制	004
第二章 类型和结构	007
第一节 不带外置换热器的传统型锅壳式燃油燃气锅炉	007
第二节 带外置换热器的节能型锅壳式燃油燃气锅炉	010
第三节 锅壳式燃油燃气过热蒸汽锅炉	012
第四节 中间热媒式热水锅炉	016
第三章 油气燃料	019
第一节 燃油和燃气的化学成分	019
第二节 燃油	020
第三节 燃气	021
第四章 燃烧器	025
第一节 油燃烧器	025
第二节 燃气燃烧器	030
第五章 燃烧计算	038
第一节 燃烧所需的空气量计算	038
第二节 燃烧生成的烟气量计算	039
第三节 烟气和空气的焓	041
第四节 燃烧计算举例	042
第六章 热平衡	047
第一节 热平衡的概念	047
第二节 输入锅炉系统的热量	048
第三节 热损失	049



第四节	锅炉系统的有效利用热量	053
第五节	热效率和燃料消耗量	054
第六节	锅炉的热效率和燃料消耗量计算举例	054
第七章	炉膛的传热计算	056
第一节	炉膛的结构设计	056
第二节	借鉴标准方法的炉膛传热计算方法	062
第三节	其他炉膛传热计算方法简介	066
第四节	炉膛传热计算举例	070
第八章	对流受热面的传热计算	074
第一节	对流受热面的结构	074
第二节	对流受热面的传热计算方程	078
第三节	传热系数的计算	079
第四节	对流换热系数	082
第五节	辐射换热系数	088
第六节	流体流速的计算和烟气流速的选择	089
第七节	对流传热温差	091
第八节	对流受热面传热计算步骤	092
第九节	烟管(光管)传热的简易计算方法	093
第十节	对流受热面传热计算举例	094
第九章	烟风阻力计算	102
第一节	概述	102
第二节	烟管的阻力计算	103
第三节	节能器和烟气冷凝器的阻力计算	104
第四节	其他阻力计算	110
第五节	对烟气阻力计算的说明	118
第六节	烟气阻力计算举例	119
第十章	受压元件强度计算	122
第一节	材料和强度计算的基本参数	122
第二节	承受内压圆筒形元件的强度计算	124
第三节	承受外压圆筒形元件的强度计算	133
第四节	有拉撑(支撑、加固)的平板和管板强度计算	141
第五节	拉撑件和加固件	146
第六节	承压平端盖及盖板的强度计算	151

第七节	下脚圈	154
第八节	孔的补强	155
第九节	锅壳式锅炉的强度计算举例	160
第十一章	锅壳式燃油燃气锅炉的安全配置	193
第一节	安全阀	193
第二节	防爆措施	195
第三节	水质和排污	197
第四节	蒸汽锅炉的汽水分离和水位	201
第十二章	天然气锅炉的烟气潜热回收	208
第一节	概 述	208
第二节	间壁式烟气冷凝器的传热计算方法	209
第三节	天然气锅炉烟气余热回收及烟气冷凝器设计计算举例	211
附 录		216
参考文献		229



第一章

概 述

第一节 锅壳式燃油燃气锅炉的基本构造、工作过程、特点和要求

锅壳式燃油燃气锅炉也叫火管锅炉,如图 1-1 所示是一种典型的锅壳式燃油燃气锅炉的基本结构。其本质上是一种圆筒形锅炉,整个锅炉有一个大圆筒(锅壳),水在圆筒内,充满整个空间(热水锅炉),或者占据大部分空间(蒸汽锅炉)。水中可设置火筒(通常叫炉胆)和烟管,燃料在炉胆内燃烧,形成火焰和高温烟气,并通过炉胆向锅壳中的水放热。烟气离开炉胆后经过回燃室进入烟管,进一步向锅壳中的水放热,水吸热后温度升高到一定程度后离开锅炉(热水锅炉),或者被加热成蒸汽(蒸汽锅炉),烟气通过烟囱排出。

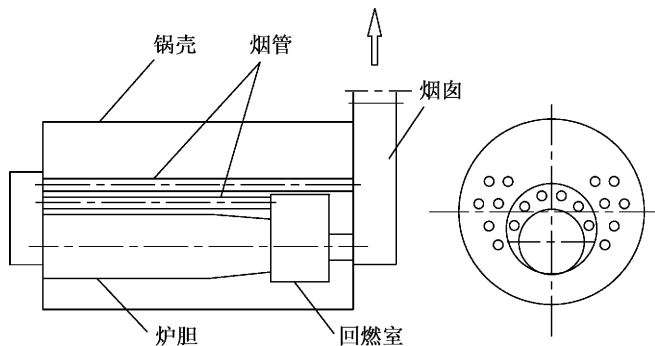


图 1-1 典型的锅壳式燃油燃气锅炉的基本结构

锅壳式燃油燃气锅炉的特点是围护结构简单,结构紧凑,适合做成快装锅炉,对水处理要求较低,水容积较大,对负荷变化的适应性强。加上燃油燃气锅炉容易实现自动化运行,十分适合中低压锅炉,因此作为工业锅炉和采暖锅炉得到了广泛的应用。特别是随着国家对环保要求的不断提高和能源消费结构的不断升级,锅壳式燃油燃气锅炉的应用必将越来越广泛。

虽然燃油与燃气的着火和燃尽比煤要容易得多,但采用良好的燃烧器,合理配风,以及保证炉内适当的温度水平仍然重要。锅壳式锅炉最大的问题是锅壳内布置受热面的空间有限,如何充分换热,将排烟温度控制在合理的水平,对锅炉运行的经济性至关重要。随着国家对锅炉节能的要求越来越高,传统的锅壳式锅炉也在朝增设锅外换热器的方向发展,以有效降低排烟温度。

如果设计、制造和运行不当,锅壳式燃油燃气锅炉容易出现管板开裂漏水、炉内爆炸性

燃烧等安全事故,对此类问题应高度重视,必须在每个环节严格把关,以确保锅壳式燃油燃气锅炉的安全运行。

第二节 锅壳式燃油燃气锅炉的基本特性

锅壳式燃油燃气锅炉的基本特性指锅壳式燃油燃气锅炉的容量、工作压力、工作温度、热效率和排放性能等,这些也是用户最为关心的。

一、容量

锅壳式燃油燃气蒸汽锅炉的容量用额定蒸发量 D 表示。额定蒸发量 D 表示锅炉在额定蒸汽压力、蒸汽温度、规定的锅炉效率和给水温度下,连续运行时所必须保证的最大蒸发量,单位为 t/h 。锅壳式蒸汽锅炉的容量国外已经做到 $50 t/h$ 以上,我国目前一般不超过 $20 t/h$ 。在生产运行中,锅炉的实际蒸发量一般不等于其额定蒸发量,而是与锅炉的负荷相适应。额定蒸发量对应于额定负荷。当负荷降低时,锅炉蒸发量下降,转为低负荷下运行。比如,当额定蒸发量为 $10 t/h$ 的锅炉运行于 $5 t/h$ 时,称其在 50% 负荷下运行。

锅壳式燃油燃气热水锅炉的容量以额定热功率 Q 表示,其单位为 MW 。

$$Q=0.0002778G(h''_{rs}-h'_{rs}) \quad MW \quad (1-1)$$

式中: h'_{rs} 、 h''_{rs} ——锅炉进、出热水的焓, kJ/kg ;

G ——锅炉每小时送出的水量, t/h 。

蒸汽锅炉的热功率可以根据蒸发量来计算:

$$Q=0.0002778D(h_q-h_{gs}) \quad MW \quad (1-2)$$

式中: h_q 、 h_{gs} ——蒸汽和给水的焓, kJ/kg ;

D ——锅炉的蒸发量, t/h 。

根据式(1-2)可以推算, $1 t/h$ 的蒸汽锅炉对应的热功率大约为 $0.7 MW$ 。

二、蒸汽(热水)参数

锅壳式燃油燃气蒸汽锅炉的额定工作压力和温度是指过热器出口集箱主蒸汽阀出口处的过热蒸汽压力和蒸汽温度,对于无过热器的锅炉,可用主蒸汽阀出口处的蒸汽压力和温度来表示;热水锅炉的额定工作压力和温度是指热水出水阀处的热水压力和温度。压力的单位是 MPa ,温度的单位为 $^{\circ}C$ 。

锅炉给水温度是指进入节能器的水温,对无节能器的锅炉是指进入锅炉锅壳筒体的水温。

三、经济性指标

锅壳式燃油燃气锅炉的技术指标主要包括经济性指标和排放性能指标。经济性指标主要用锅炉的热效率来表示,热效率越高,送入锅炉的热量中被有效利用的部分就越多。

原国家质检总局办公厅于 2016 年 11 月 14 日印发的《锅炉节能技术监督管理规程》(TSG G0002—2010)第 1 号修改单^{[1][2]}规定了燃液体燃料、燃天然气工业锅炉产品额定工况下热效率目标值和限定值,见表 1-1。

表 1-1 燃液体燃料、燃天然气锅炉产品额定工况下热效率目标值和限定值

燃料品种		燃料收到基低位发热量 $Q_{\text{net,ar}}$ (kJ/kg)	锅炉热效率(%)	
			目标值	限定值
液体燃料	轻油	按燃料实际化验值	96	90
	重油			
天然气			98	92

以轻油、重油以外的液体燃料为燃料的锅炉热效率指标,限定值应当达到锅炉设计热效率,目标值按照表 1-1 中液体燃料热效率目标值执行。

以天然气以外的气体燃料为燃料的锅炉热效率指标,限定值应当达到锅炉设计热效率,目标值按照表 1-1 中天然气热效率目标值执行。

四、排放性能指标

燃油燃气锅炉排放的污染物主要有烟尘、硫氧化物、氮氧化物、CO 和各种 $C_m H_n$ 等。

《锅炉大气污染物排放标准》(GB 13271—2014)^[3] 要求新建燃油燃气锅炉大气污染物排放浓度限值如表 1-2 所示。

表 1-2 新建燃油燃气锅炉大气污染物排放浓度限值

污染物项目	限值(mg/m ³)		污染物排放监控位置
	燃油锅炉	燃气锅炉	
颗粒物	30	20	烟囱或烟道
二氧化硫	200	50	
氮氧化物	250	200	
烟气黑度(林格曼黑度,级)	≤1		烟囱排放口

重点地区锅炉执行的大气污染物特别排放限值如表 1-3 所示。

表 1-3 新建燃油燃气锅炉大气污染物排放浓度限值(重点地区)

污染物项目	限值(mg/m ³)		污染物排放监控位置
	燃油锅炉	燃气锅炉	
颗粒物	30	20	烟囱或烟道
二氧化硫	100	50	
氮氧化物	200	150	
烟气黑度(林格曼黑度,级)	≤1		烟囱排放口

地方省级人民政府可以制定严于上述标准的地方污染物排放标准。例如,北京从 2017 年 4 月 1 日起,城区燃气锅炉 NO_x 排放要求控制在 30 mg/m^3 以下,该指标接近美国加州的超低氮排放要求,欧洲国家也只要求排放限值达到 100 mg/m^3 。

随着国家对锅炉排放的要求越来越严,锅炉排放性能已经不是次要的性能指标,而是变



成了锅炉能否获得生产和运行许可的门槛,因此必须予以高度重视。

第三节 锅壳式燃油燃气锅炉的参数系列与型号编制

锅壳式燃油燃气锅炉属于工业锅炉,其参数系列与型号编制方法遵从工业锅炉的有关规定。

一、参数系列

锅壳式燃油燃气蒸汽锅炉的额定参数应选用表 1-4 中所列的参数,锅壳式燃油燃气热水锅炉的额定参数应选用表 1-5 中所列的参数。表中标有符号“△”处所对应的参数宜优先选用,表中未列的额定参数由供需双方协商确定。

表 1-4 锅壳式蒸汽锅炉额定参数系列

额定蒸发量 (t/h)	额定蒸汽压力(表压)(MPa)											
	0.1	0.4	0.7	1.0	1.25		1.6	2.5				
	额定蒸汽温度(°C)											
	饱和	饱和	饱和	饱和	饱和	250	350	饱和	350	饱和	350	400
0.1	△	△										
0.2	△	△	△									
0.3	△	△	△									
0.5	△	△	△	△								
0.7		△	△	△								
1		△	△	△								
1.5			△	△								
2			△	△	△			△				
3			△	△	△			△				
4			△	△	△			△		△		
6				△	△	△	△	△	△	△		
8				△	△	△	△	△	△	△		
10				△	△	△	△	△	△	△	△	△
12					△	△	△	△	△	△	△	△
15					△	△	△	△	△	△	△	△
20					△	△	△	△	△	△	△	△

注:① 锅炉设计时的给水温度分 20 °C、60 °C、104 °C 三挡,由设计单位结合具体情况确定;

② 本表摘自《工业蒸汽锅炉参数系列》(GB/T 1921—2004)^[4]。锅壳式燃油燃气蒸汽锅炉的容量一般不超过 20 t/h,因此 25 t/h 及以上的锅炉参数未列出。

表 1-5 锅壳式热水锅炉额定参数系列

额定 热功率 (MW)	允许工作压力(表压)(MPa)											
	0.4	0.7	1.0	1.25	0.7	1.0	1.25	1.0	1.25	1.25	1.6	2.5
	额定出水温度/进水温度(°C)											
	95/70			115/70			130/70		150/90		180/110	
0.05	Δ											
0.1	Δ											
0.2	Δ											
0.35	Δ	Δ										
0.5	Δ	Δ										
0.7	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ							
1.05	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ							
1.4	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ							
2.1	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ							
2.8	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
4.2		Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
5.6		Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
7.0		Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
8.4				Δ		Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
10.5				Δ		Δ	Δ	Δ	Δ	Δ		
14.0				Δ		Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	
17.5						Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	
29						Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ	Δ

注:本表摘自《热水锅炉参数系列》(GB/T 3166—2004)^[5]。锅壳式燃油燃气热水锅炉的容量一般不超过 29 MW,因此 46 MW 及以上的锅炉参数未列出。

二、型号编制

按照《工业锅炉产品型号编制方法》(JB/T 1626—2002)^[6]标准的规定,锅壳式燃油燃气锅炉的产品型号由三部分组成,各部分之间用短横线相连,如图 1-2 所示。

● 型号的第一部分表示锅炉和燃烧设备的型式,共分三段;第一段用两个汉语拼音字母代表锅炉的本体型式,对于锅壳式燃油燃气锅炉来说,WN 表示卧式内燃,WW 表示卧式外燃,LH 表示立式火管,LW 表示立式无管;第二段用一个汉语拼音字母代表锅炉的燃烧设备,由于锅壳式燃油燃气锅炉都是室燃炉,因此统一为字母 S;第三段用阿拉伯数字表示蒸

汽锅炉的额定蒸发量为若干 t/h 或热水锅炉额定热功率为若干 MW。

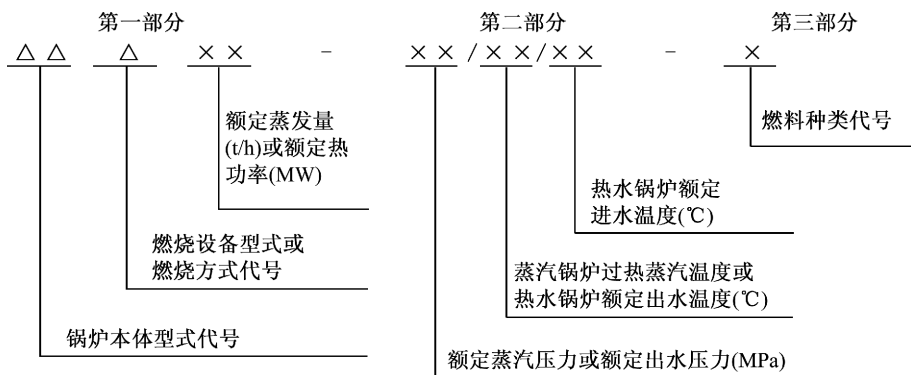


图 1-2 锅壳式锅炉产品型号表示法

● 型号的第二部分表示介质参数。对于蒸汽锅炉，分两段，中间以斜线(/)相连，第一段用阿拉伯数字表示额定蒸汽压力为若干 MPa；第二段用阿拉伯数字表示额定过热蒸汽温度为若干 $^{\circ}\text{C}$ ，蒸汽温度为饱和温度时，型号的第二部分无斜线和第二段。对于热水锅炉，分三段，中间也以斜线(/)相连，第一段用阿拉伯数字表示额定出水压力为若干 MPa；第二段和第三段分别用阿拉伯数字表示额定出水温度和额定进水温度为若干 $^{\circ}\text{C}$ 。

● 型号的第三部分表示燃料种类。以汉语拼音字母代表燃料种类，Y 表示燃油，Q 表示燃气。如同时使用油气燃料，主要燃料放在前面，中间以顿号隔开。

锅壳式锅炉如为蒸汽和热水两用锅炉，以锅炉的主要功能来编制产品型号，但在锅炉的名称中应写明“汽水两用”字样。

例如，WNS15-1.25-Q 表示锅壳式、卧式、内燃、室燃，额定蒸发量为 15 t/h，额定蒸汽压力为 1.25 MPa，蒸汽温度为饱和温度 194 $^{\circ}\text{C}$ （由压力确定），燃气的饱和蒸汽锅炉；WNS 4.2-1/115/70-Y、Q 表示锅壳式、卧式、内燃、室燃，额定热功率为 4.2 MW，额定工作压力为 1.0 MPa，出水温度为 115 $^{\circ}\text{C}$ ，进水温度为 70 $^{\circ}\text{C}$ ，燃油或燃气两用，以燃油为主的热水锅炉。

当产品本体型式、燃烧设备型式或燃烧方式超出标准规定时，企业可自行编制产品型号。



第二章

类型和结构

锅壳式燃油燃气锅炉按照不同的标准可以分为不同的类型。例如,根据产品的性质,可以分为蒸汽锅炉和热水锅炉,蒸汽锅炉可以进一步分为饱和蒸汽锅炉和过热蒸汽锅炉。根据锅炉的总体布置可以分为立式和卧式两大类。

按照受热面的布置方式,锅壳式燃油燃气锅炉可以分为不带外置换热器的传统型和带外置换热器的节能型两大类。

传统的锅壳式燃油燃气锅炉将炉胆和烟管等所有的换热器都置于锅壳筒体内,锅炉围护结构简单、紧凑。但随着国家对工业锅炉,特别是对燃油燃气锅炉热效率的要求越来越高,传统的锅壳式燃油燃气锅炉已经很难将排烟温度降低到合理的水平。通过在锅壳外增加节能器和烟气冷凝器等换热器,可以摆脱锅壳空间的限制,将排烟温度降低到更低的水平,此外对于生产过热蒸汽的锅炉来说,采用外置过热器也使得锅炉的结构布置更为灵活。

第一节 不带外置换热器的传统型锅壳式燃油燃气锅炉

传统型锅壳式燃油燃气锅炉分为立式和卧式两大类。立式蒸汽锅炉容量一般在 1.0 t/h 以下,蒸汽压力一般在 1.0 MPa 以下。立式热水锅炉的容量可达 1.4 MW。

立式锅炉的特点是结构简单、安装操作方便、占地面积小。

图 2-1(a)是燃烧器顶置式两回程套筒式无烟锅壳锅炉,内外套筒之间是工质。一般容量在 0.5 t/h 以下内筒采用平直炉胆,0.5 t/h 以上内筒采用波纹与平直组合炉胆。炉胆形状和第一回程的火焰形状相匹配,可得到完全展开式火焰,有利于燃烧。火焰沿炉胆旋转下行,通过高温烟气的辐射和强烈旋转的对流向内筒壁面放热。外筒外侧整个高度上均匀地焊有肋片作为扩展受热面,烟气从侧面或下部沿整个外筒进入外筒外侧,冲刷外筒壁面及扩展受热面进行对流放热,较好地利用了烟气余热,而且对流受热面烟气阻力不大。该锅炉对水质要求较低,没有水管锅炉爆管的危险,可以制成蒸汽和热水锅炉,亦可制成汽水两用炉。

图 2-1(b)为中心回焰加烟管的三回程锅炉。第一回程火焰沿炉胆中心从上往下,然后烟气折转向上,再从上面进入烟管向下流动。这种锅炉的火焰也可以自由伸展,有利于燃烧。由于第二回程使炉内对流换热增强,炉膛综合辐射对流换热比较强。烟管内设置扰流子或采用强化传热式烟管。由于烟管的阻力且增加了一个烟气行程,这种锅炉对燃烧器的背压有一定的要求。

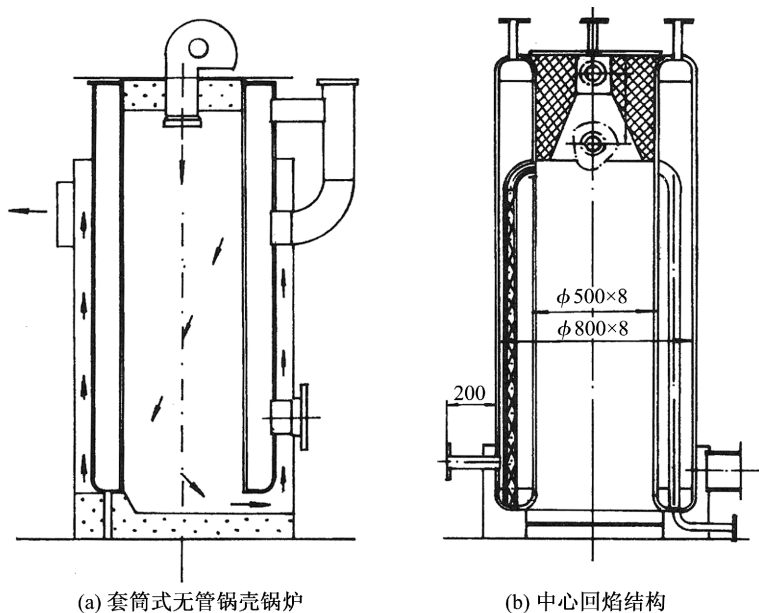


图 2-1 两种传统立式锅壳式燃油燃气锅炉形式

从理论上讲,小型立式锅壳式锅炉要想达到较高的热效率,必须具有特殊设计的燃烧器以强化炉膛内和温度的四次方成正比的辐射换热,增强对流换热份额,采用较大的辐射换热面积,这样才能最大限度地降低炉膛的出口烟温。对流受热面一般只能采用烟风阻力较低的异形受热面或直接采用光管管束,因而不能期望在对流受热面中产生较大的降温,排烟温度相对较高。对蒸汽锅炉而言,热效率一般在 85% 左右;对热水锅炉而言,热效率一般在 87% 以上。随着我国对燃油燃气工业锅炉热效率要求的不断提高,而且取消了不同容量锅炉的热效率限定值的差异(见第一章第二节),给小型立式锅壳式锅炉的生产和应用带来了很大的挑战。

卧式锅壳式燃油燃气锅炉容量一般在 1 t/h 以上,其最大容量可达 20~25 t/h,国外已经做到 50 t/h。工作压力可以达到 1.6~2.5 MPa,热负荷小(蒸发量不超过 15 t/h 或热功率不超过 12 MW)的锅炉一般采用单炉胆布置,热负荷大(蒸发量在 15~30 t/h 之间或热功率在 12~24 MW 之间)的锅炉一般采用双炉胆布置。

卧式锅壳式燃油燃气锅炉主要结构型式有干背式、湿背式之分,以及顺流燃烧和中心回焰燃烧之分。

图 2-2(a)为干背式结构。炉前的燃烧器(图中未画出)向炉胆内喷出燃料和空气燃烧生成高温烟气并向炉胆放热,烟气从炉胆出口进入后烟箱并折转进入第二回程的烟管。干背式锅炉的后烟箱虽然由耐火砖制成,但依靠空气来冷却,工作条件极差。当锅炉容量不大时,炉内热负荷相对较低,炉胆出口烟温不高,对后烟箱的破坏不大。但是随着锅炉容量的增大,炉胆的相对面积减少,炉胆出口烟温变高,后烟箱则容易损坏,锅炉需要经常停炉修理,大大降低了锅炉的可用性。经过计算认为,这一结构不适合容量为 1.0 t/h 以上的锅炉。

图 2-2(b)是全湿背式顺流燃烧式结构。这种湿背式结构与干背式结构相比,其最大的

不同是后烟箱(通常称为回燃室,也叫转向室)完全浸没在锅水中,受到水的冷却作用,其工作条件大为改善。但回燃室结构复杂,生产和装配困难,焊缝数量多,焊接工作量大,制造成本高,对锅炉厂的生产设备和生产技术要求都高。现在我国多家燃油燃气锅炉制造厂都能生产这种结构的锅炉。目前 2 t/h 以上,直至 12 t/h,15 t/h,20 t/h 的燃油燃气蒸汽锅炉一般都是这类锅炉。

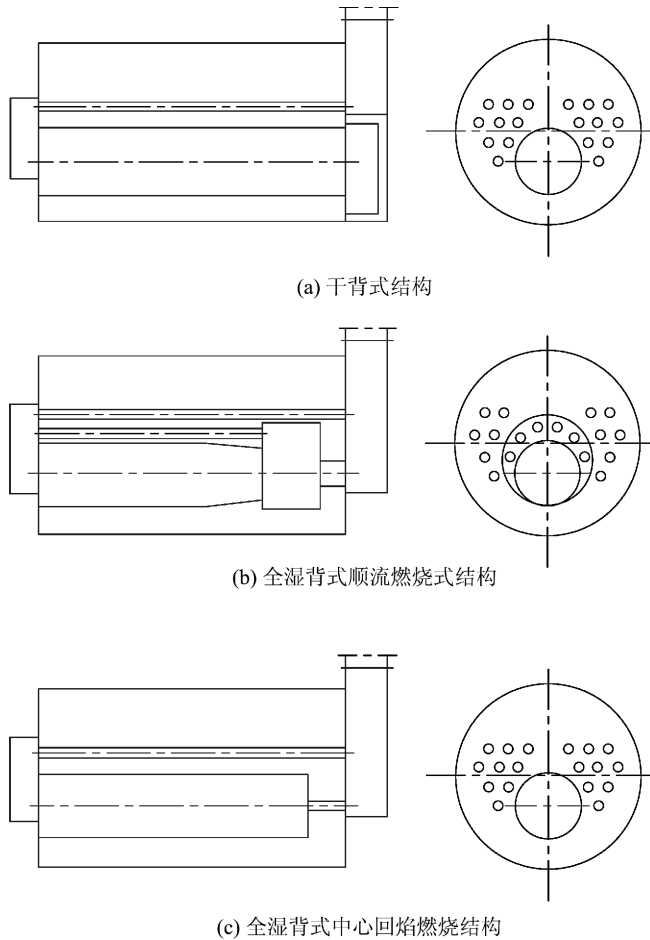


图 2-2 传统卧式锅壳式锅炉的三种常见结构

但在实际运行中发现,这种锅炉的回燃室前管板受高温作用容易产生裂纹,欧洲较早发现了这一问题,但他们始终无法解决,特别是锅壳式燃气热水锅炉,因燃烧热负荷高,高温管板处极易发生过冷沸腾,造成传热恶化,使前管板温度过高,成为锅壳式燃气锅炉的天生缺陷。因此,除大部分制造商仍坚持炉胆加回燃室的结构外,一部分生产中小型燃气锅炉的欧洲制造商开始放弃回燃室结构,如图 2-3 所示为欧洲锅炉制造厂采用的大直径导烟管结构的换热容器。

另一种放弃回燃室以解决管板裂纹的方法是采用中心炉胆回燃结构,图 2-2(c)是全湿背式中心回焰燃烧结构。这种锅炉结构简单,制造工艺要求较低,但前烟箱处烟气温度相比

全湿背式顺流燃烧式结构的锅炉要高,国外一般采用异形浇注的耐火层予以保护。

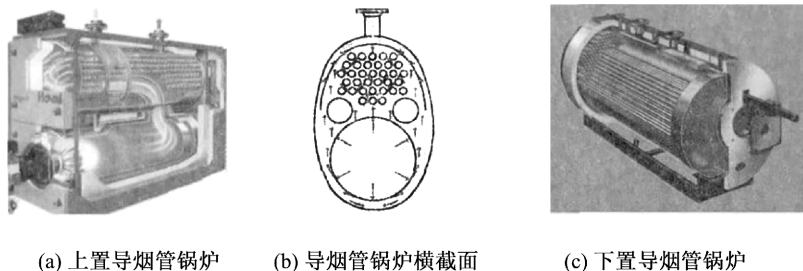


图 2-3 采用导烟管的锅炉

无论是采用导烟管还是采用中心回焰结构的锅炉,由于第二回程的换热有所减少,需要切实强化第三回程的换热来控制排烟温度。

第二节 带外换热器的节能型锅壳式燃油燃气锅炉

传统的锅壳式燃油燃气锅炉的烟气回程一般不超过 3 个回程,虽然通过采用强化传热的烟管可以有效地降低排烟温度,锅炉热效率可以达到 90% 左右,但要进一步提升热效率,则必须布置更多的受热面,通过采用更大的锅壳筒体直径,以获得更大的空间来容纳更多的烟管显然是不合适的,特别是当要回收天然气锅炉烟气中水蒸气的部分汽化潜热时,需要很多的额外受热面,锅壳的空间是远远不够的。更现实的办法是通过在锅壳外增加节能器和烟气冷凝器等换热设备来实现这一目标,如图 2-4 所示。

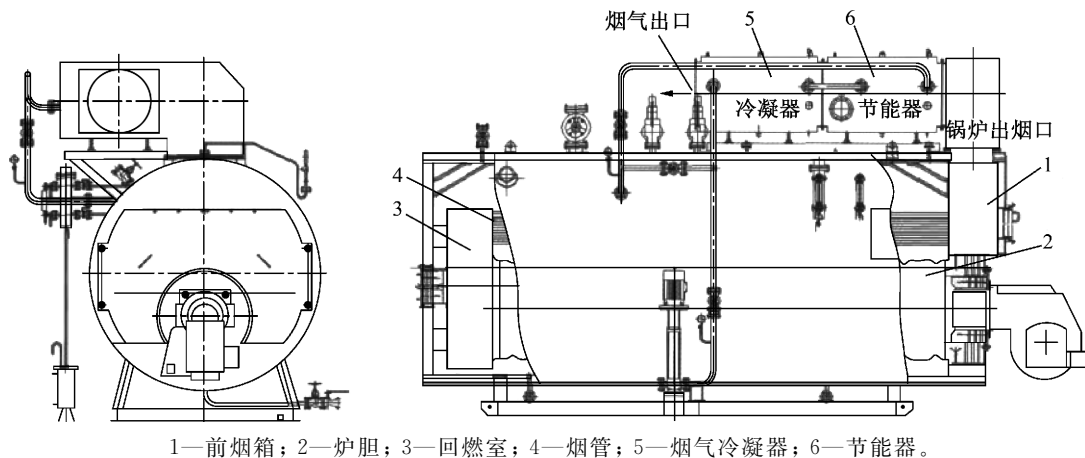


图 2-4 带节能器和烟气冷凝器的锅壳式燃油燃气锅炉

该锅炉^[7]就是在传统的锅壳式锅炉(主要由锅壳、炉胆、回燃室、前烟箱、烟管等构成)的基础上增加了节能器和烟气冷凝器。锅内部分采用两回程结构:炉胆部分采用波形炉胆,有效地吸收了炉胆受热产生的轴向膨胀,同时还增大了受热面积,破坏了层流边界层;为了强化烟管的传热,在烟管内插入螺旋形扰流条,螺旋线能使管内部分烟气旋转,靠近烟管壁面烟气流体在扰流条的凸出部分发生分离,随后又重新冲击烟管壁面,增强了烟气紊流,提高