

文章编号:1004-8774(2014)03-0001-08

# 组合螺纹烟管锅炉结构与性能

李之光<sup>1</sup>, 傅友红<sup>2</sup>, 梁耀东<sup>1</sup>, 徐甫<sup>2</sup>, 刘峰<sup>1</sup>, 王叶福<sup>1</sup>  
(1. 之光锅炉研究所, 北京 102600; 2. 盛昌锅炉公司, 北京 102600)

**摘要:**详细介绍了最新研发出的组合螺纹烟管锅炉的结构特点,即钢耗大幅下降、集成度高、制造安装简易、锅炉容量与压力不受限制等,全面论述了其独特结构——立式烟管筒有关技术问题。

**关键词:**组合螺纹烟管锅炉; 结构; 性能; 立式烟管筒

中图分类号:TK229 文献标识码:A

## The Structure and Features of the Combined Corrugated Fire-tube Boiler

LI Zhi-guang<sup>1</sup>, FU You-hong<sup>2</sup>, LIANG Yao-dong<sup>1</sup>,  
XU Fu<sup>2</sup>, LIU Feng<sup>1</sup>, WANG Ye-fu<sup>1</sup>  
(1. Zhiguang Boiler Research Institute, Beijing 102600, China;  
2. Shengchang Boiler Co. Ltd, Beijing 102600, China)

**Abstract:** Details the introduction of the structural features and significant advantages of the combined corrugated fire-tubes boiler newly developed in China, such as the lowest steel consumption, the higher integration, the easiest manufacturing & erection, boiler capacity & pressure are no restricted and so on, as well as the analysis associated with technical problems of vertical fire-tubes drum.

**Key words:** combined corrugated fire-tube boiler; structure; features; vertical fire-tubes drum

### 0 前言

我国数量最多的三种工业锅炉系列中,“除具有中国特色的水火管锅炉外,其它不管是水管锅炉还是内燃式锅炉,其基本型式与国际上流行的型式大同小异。目前仍占相当大比例的水火管锅炉,经过研究改善技术进一步完善,仍将是我国工业锅炉的主要型式之一”(引自第三届中国工业锅炉节能减排国际论坛会议资料《中国工业锅炉节能减排面临的挑战与对策建议》)。

这种完全由国人自行开发的水火管锅炉,经过结构变革、技术完善,现已出现第三代产品——组合螺纹烟管锅炉。

第一代水火管锅炉(1965年始创<sup>[1]</sup>)的突出特点:外置炉膛便于燃煤、锅炉尺寸较小便于快装;但容量较小(一般 $\leq 10$  t/h)、对水质要求较严。现已被第二代取代。

第二代水火管锅炉——新型水火管锅壳锅炉(1983年始创<sup>[2]</sup>)的突出特点:采用螺纹烟管使锅炉容量增大(但 $\leq 100$  t/h)、钢耗下降、锅炉高度较小、对水质的适应性较强。现正广泛应用。

第三代水火管锅炉——组合螺纹烟管锅炉(2010年始创<sup>[3]</sup>)的突出特点:仅由炉膛(辐射受热面)与多个模块式螺纹烟管筒(对流受热面)组成,使容量大增(可达200 t/h或更大)、压力不受限制、钢耗大幅度下降、制造安装明显简易、大容量锅炉高度明显减小、对水质的适应性较强。由于组合螺纹烟管锅炉优点突出,将是新型水火管锅壳锅炉的有力竞争者。

### 1 组合螺纹烟管锅炉的结构

组合螺纹烟管锅炉(非锅壳式)是在我国大量应用并积累相当丰富经验的新型水火管锅壳锅炉基础上,发展起来的一种崭新锅炉炉型。

经过三十年实践考验过的新型水火管锅壳锅炉的以下成熟技术措施仍保留应用于组合螺纹烟管锅



第一作者:李之光(1931-),教授,长期从事锅炉教学、科研工作,特别是锅炉强度、相似与模化、锅炉创新研究工作,主持新型水火管锅壳锅炉、组合螺纹烟管锅炉、中度冷凝式内燃油(气)锅炉等的研究与开发。发表专著10部,论文50余篇。

收稿日期:2013-12-02

炉中:①高效传热的螺纹烟管;②热水型回水引射混合循环;③蒸汽型简单高效汽水分离、自然循环;④节省钢材的自身支撑。

组合螺纹烟管锅炉本体由锅筒、炉膛(水冷壁辐射受热面)与烟管筒(螺纹烟管对流受热面)组成,见图1。烟管筒见图2。

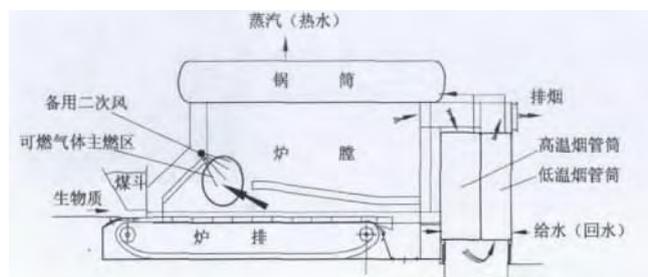


图1 燃煤与燃生物质通用组合螺纹烟管锅炉示意图

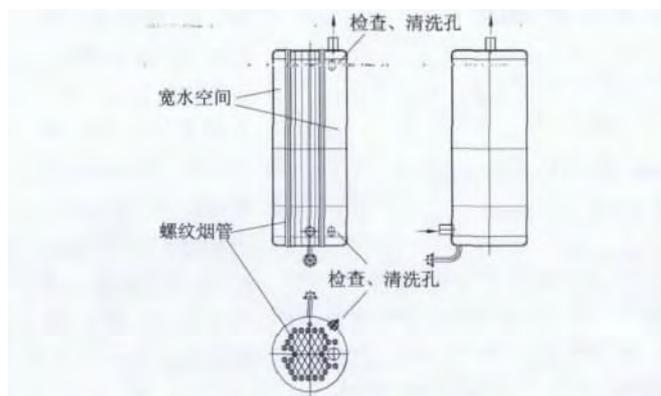


图2 螺纹烟管筒示意图

各种容量热水与蒸汽锅炉皆采用图1所示结构型式,区别主要在于炉膛尺寸不同、烟管筒数量与尺寸不同、热水型与蒸汽型的锅内设备有差异。

## 2 组合螺纹烟管锅炉的性能特点

组合螺纹烟管锅炉设计、制造、安装实践与运行测试结果充分表明,这种新开发的产品具有以下两大突出优点与其它一些性能特点。

### 2.1 两大突出优点

#### (1) 钢材消耗显著下降

由于采用高效传热螺纹烟管、自身支撑结构等措施,并经过精心优化设计,使锅炉受热面分配合理、水流程合理,钢耗也显著下降。

钢水比是锅炉的重要性能指标之一,它直接涉及锅炉成本与工艺量,也间接关系到炼钢对环境的污染与能源的消耗。一些代表性锅炉的钢耗与钢水比见表1。由表1可见,组合螺纹烟管锅炉的钢耗比水管锅炉下降30%~40%。

#### (2) 制造、运输、安装明显简便

锅炉仅由炉膛辐射受热面与较小直径较短螺纹烟管筒对流受热面两部分组成,后者集成度高、结构简单,易于组合集成,单件最大重量减小,使制造、运输、安装明显优于新型水火管锅壳锅炉,更优于其它炉型。

表1 代表性锅炉的钢耗与钢水比对比

炉型	锅炉型号	钢耗/t			钢水比 (吨耗钢量/锅炉蒸吨)			受压件+结构件平均值的对比(倍数)
		受压件	结构件	受压件+结构件	受压件	受压件+结构件	受压件+结构件的平均值	
组合螺纹烟管锅炉	ZLL 4—1.25	5.44	1.80	7.24	1.36	1.81	1.65	1.00
	ZLL 2.8—0.7/95/70	4.97	1.81	6.78	1.24	1.69		
	ZLL 10—1.25	12.6	4.40	17.0	1.26	1.7		
	ZLL 20—1.25	22.8	9.6	32.4	1.14	1.62		
	ZLL 29—1.0/115/70	43.06	16.39	59.45	1.08	1.49		
	ZLL 70—1.0/130/70	115.0	38.00	153.00	1.15	1.53		
ZLL 91—1.6/150/90—A II	171.3	49.40	220.7	1.32	1.70			
新型水火管锅壳锅炉 <sup>①</sup>	DZL 4—1.25	7.30	2.70	10.00	1.83	2.52	1.96	1.19
	DZL 2.8—0.7/95/70	5.60	2.18	7.78	1.41	1.94		
	DZL 10—1.25	15.60	3.90	19.50	1.56	1.95		
	DZL 20—1.25	29.70	9.10	38.80	1.49	1.94		
	DZL 29—1.0/115/70	54.30	11.6	41.6	1.36	1.65		
	DZL 70—1.25/130/70	139.0	35.40	174.40	1.39	1.74		

续表 1 代表性锅炉的钢耗与钢水比对比

炉型	锅炉型号	钢耗/t			钢水比 (吨耗钢量/锅炉蒸吨)			受压件 + 结构件平均值的对比(倍数)
		受压件	结构件	受压件 + 结构件	受压件	受压件 + 结构件	受压件 + 结构件的平均值	
单锅筒	DHL 20—1.25	32.0	30.0	62.0	1.6	3.1		
横置	DHL 58—1.25/115/70—A II	118.9	110	228.9	1.38	2.86	3.00	1.82
水管锅炉	DHL 70—1.25/130/70—A II	161.8	143.2	305	1.62	3.05		
双锅筒	SHL 29—1.0/115/70—A II	59.2	46.5	105.7	1.48	2.64		
横置	SHW 46—1.25/115/70—H	136	77	213	2.09	3.28	2.84	1.72
水管锅炉	SHW 84—1.25/130/70—A II	222	90	312	1.85	2.6		
双锅筒纵	SZL 20—1.25	33.0	23.0	56.0	1.65	2.8		
置水管	SZL 20—1.25	32.7	16.9	49.6	1.64	2.48	2.26	1.37
锅炉 <sup>②</sup>	SZL 14—1.0/115/70—A II	24	6	30	1.2	1.5		
角管 锅炉	DHL 20—1.25	35.0	26.0	61.0	1.75	3.05		
	DHL 29—1.6/115/70—A II	64.34	38.327	102.67	1.609	2.567		
	DHL 46—1.6/130/70—A II	98.84	60.51	159.352	1.521	2.452	2.51	1.52
	DHL 58—1.6/130/70—A II	117.9	70.267	188.229	1.475	2.353		
	DHL 70—1.6/130/70—A II	134.0	79.849	213.897	1.34	2.139		

注:(1)①容量不宜大于 100 t/h 压力不宜高于 2.5 MPa;②长短锅筒型 容量不宜大于 40 t/h。其它炉型的容量与压力不受限制。

(2) 钢水比指单位容量(1 t/h 或 0.7 MW)所消耗的钢材重量(t)。蒸汽锅炉 1 t/h 与热水锅炉 0.7 MW 的热容量基本相同 0.7 MW 可表示为 1 蒸吨(折算)。

(3) 压力为 1.0~1.6 MPa 的总钢耗与压力关系不大。组合螺纹烟管锅炉大容量仍采用一般水冷壁,如改用膜式水冷壁,对上述总钢耗的影响并不明显。

## 2.2 其它性能特点

### (1) 容量与压力不受限制

组合螺纹烟管锅炉由于取消大直径锅壳而采用多个较小直径组合螺纹烟管筒,使锅炉容量与压力参数可明显增大与提高。

### (2) 大容量锅炉高度明显低于其它炉型

新设计的 58 MW 组合螺纹烟管锅炉的高度仅 10 m(0 米标高至锅筒出口法兰的高度),比同容量新型水火管锅壳锅炉约低 2 m,而大容量新型水火管锅壳锅炉与同容量其它型锅炉相比,是较低的;70 MW 组合螺纹烟管锅炉的锅炉高度仅 11 m(0 米标高至锅筒出口法兰的高度)。116 MW 组合螺纹烟管锅炉的高度仅 12 m(0 米标高至锅筒出口法兰的高度),甚至比 29 MW 单横锅筒水管锅炉还低 2.5 m。

大容量组合螺纹烟管锅炉高度明显偏低,会给锅炉房建筑投资带来相当大的效益。

### (3) 安全可靠充分保证

①此型锅炉的烟管筒直径明显小于同容量锅炉的锅壳,烟管筒又立式布置,则高温管板易于可靠绝热,一般不存在高温管板开裂问题。

②因螺纹烟管筒直径较小且为立式布置,下部积垢区域较小,有利于排污。螺纹烟管筒的下部烟

温不超过 350 ℃,即使下管板内壁积存污物,管板也不可能产生裂纹。

③此锅炉(热水型)采用回水引射技术,不仅保证了正常运行时的安全水速,也具有停电自身保护功能。

### (4) 磨损、积灰的可能性减小

①由于取消八字烟道,炉膛上部空间增大,烟气中灰尘重力沉降效果增强,从而减小烟管磨损的可能性。

②烟管双回程使各回程的烟气出入温度差值不是很大,烟气速度的差值也不是很大,有利于防止入口磨损与出口积灰。

### (5) 锅炉热效率有所提高

尾部受热面——螺纹烟管筒的漏风量小于水管锅炉,排烟损失减小;螺纹烟管筒的筒外壁温较低,散热损失下降。

### (6) 锅炉原始排尘浓度有所降低

此型锅炉除炉拱上部大空间重力沉降灰尘以外,又增加组合烟管筒下部烟气 180°转弯惯性分离灰尘,锅炉原始排尘浓度明显降低。

### (7) 适于燃烧生物质与油、气

这种结构锅炉对于燃烧挥发分较高与灰熔点较

低的生物质燃料更适宜,因为炉膛空间较大,便于燃尽可燃气体,另外,烟管也易于清除灰渣。这种结构锅炉也便于燃烧油、气燃料。

### 2.3 因螺纹烟管筒数量较多而带来的缺点

①因受压件焊缝总长度增加,探伤工作量相对增加;

②排污阀门与排污管路增多。

## 3 组合螺纹烟管锅炉示例

已投运的组合螺纹烟管锅炉有:29 MW 热水型、10 t/h 蒸汽型、5.6 MW 压力相变热水型、4 t/h 蒸汽型,均已进入第二年运行。以下介绍代表性热

水型与蒸汽型锅炉及其水动力、汽水分离特点。

### 3.1 热水锅炉

(1)已投运的29 MW 组合螺纹烟管锅炉(ZLL 29—1.0/115/70)总图见图3。

29 MW 组合螺纹烟管锅炉水动力系统(各种容量热水型皆相同)见图4。供热系统回水进入各烟管筒下部,向上强制流动并汇集进入锅筒内的进水分管,经喷口与被引射的锅水一并进入炉膛各回路下降管(混合循环)以提高水冷壁上升管流速。热水由锅筒顶部进入供热系统。

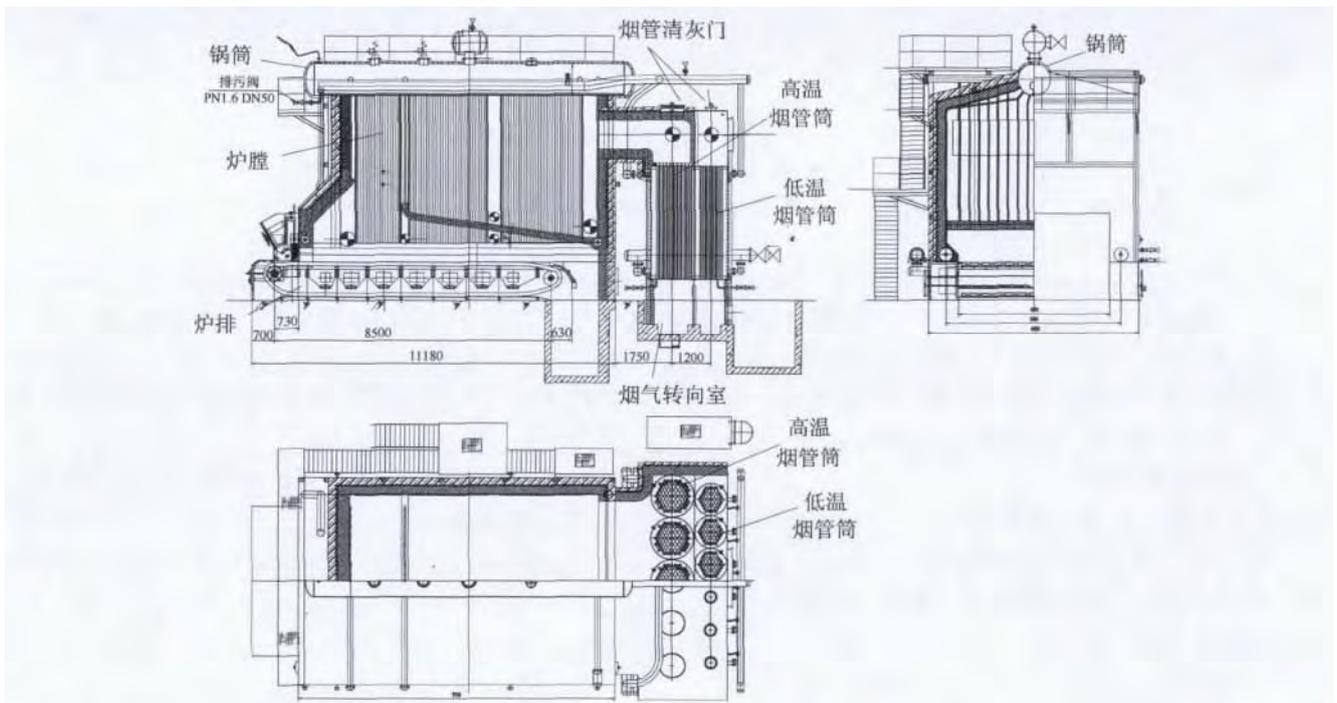


图3 29 MW 热水型组合螺纹烟管锅炉结构

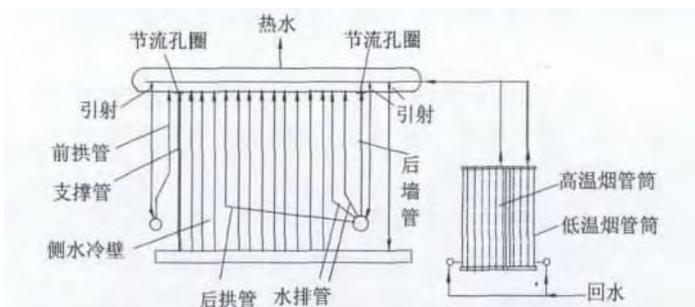


图4 组合螺纹烟管热水锅炉水动力系统示意图

29 MW 组合螺纹烟管锅炉炉膛内除水冷壁、前后拱管、后墙管外,还设置2排稀疏水排管,使炉膛出口烟温降至约900℃,使辐射与对流受热面之和匹配合理——折算蒸发率达 $49(\text{kg/h})_{\text{折算}}/\text{m}^2$ (每平方米受热面的折算产汽量),钢耗见表2。与参数相同的其它炉型相比,锅炉钢耗最少。

表2 29 MW 组合螺纹烟管锅炉钢材重量统计

受压件/t					结构件/t								总计/t	钢水比 吨耗钢量/ 锅炉蒸吨 (折算)	
锅筒	水冷系统	螺纹管筒	仪表	小计	锅内装置	后烟箱	平台扶梯	绝热保温	回转室钢架	集箱与预焊件	支座	炉门			构架与护板
2.65	10.87	29.09	0.45	43.06	0.17	1.39	1.31	0.32	3.09	0.76	0.38	8.98	16.39	59.45	1.49

高温烟管筒:φ1 300 mm × 10 mm ,高度 3 500 mm ,  
每个重量 3.6 t ,共 5 个;低温烟管筒:φ1 000 mm ×  
10 mm ,高度 3 500 mm ,每个重量 2.13 t ,共 6 个。  
锅炉高度(0 米标高至锅筒出口法兰)7.865 m。

ZLL 29—1.0/115/70—A II 型组合螺纹烟管锅  
炉能效与环保测试结果(由辽宁锅炉产品性能质量  
监督检验中心测试)见表 3 与表 4。各项数据皆优  
于相关规范与标准的规定值。

表 3 ZLL 29—1.0/115/70—A II 组合螺纹烟管锅炉能效测试结果

序号	项目	符号	单位	设计值	测试值	规范标准限定值、推荐值
1	锅炉出力	$Q$	MW	29	28.24	$\frac{28.24}{29} \times 100\% = 97.4\%$ ,规范(2)要求 实际出力为设计值的 97% ~ 105%
2	排烟温度	$t_{py}$	°C	163	151.2	规范(1)要求 $\leq 170$
3	排烟处过量空气系数	$\alpha_{py}$		1.5	1.62	规范(1)要求 $< 1.65$
4	燃料收到基低位发热量	$Q_{net,ar}$	kJ/kg	17 693	17 655	规范(1) ,二类烟煤的热值范围为 17 700 ~ 21 000
5	锅炉介质循环流量	$G$	kg/h	554 000	551 000	
6	锅炉进口介质温度	$t_{js}$	°C	70	30.75	标准(4)规定 $t_{es} - t_{js}$ 测试值与设计值之 差不宜大于 $\pm 5^\circ\text{C}$ ,对于燃煤锅炉 ,出水 温度与额定温度相差 $-15^\circ\text{C}$ 时 ,热效率 数值下降 1% ;不足或大于上述温度时 , 按比例折算
7	锅炉出口介质温度	$t_{es}$	°C	115	74.85	
8	燃料消耗量	$B$	kg/h	7 205	6 692.42	
9	入炉冷空气温度	$t_{lk}$	°C	20	22.4	
10	排烟热损失	$q_2$	%	7.8	7.57	
11	气体未完全燃烧热损失	$q_3$	%	0.5	0.2	
12	固体未完全燃烧热损失	$q_4$	%	8	5.7	
13	散热损失	$q_5$	%	1.0	0.8	
14	灰渣物理热损失	$q_6$	%	0.822	0.77	
15	反平衡效率	$\eta_2$	%	81.9	84.96	$100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6) = 100 -$ $(7.57 + 0.2 + 5.7 + 0.8 + 0.77)$ $84.96 - 2.68$ (其中 2.68 为按标准(4) 的要求进行的效率折算值
16	考虑水温较低的折算热效率	$\eta_{zs}$	%	81.9	82.28	$- (\frac{115 - 74.85}{15})\% = -2.68\%$ 规范(1)要求 $> 80$ (限定值)

注 (1) 特种设备安全技术规范 TSG G0002—2010 《锅炉节能技术监督管理规程》;  
(2) 特种设备安全技术规范 TSG G0003—2010 《工业锅炉能效测试与评价规则》;  
(3) 工业锅炉设计计算方法 《层状燃烧及流化床燃烧工业锅炉热力计算方法》;  
(4) 国家标准 GB/T 10180—2003 《工业锅炉热工性能试验规程》。

表 4 ZLL 29—1.0/115/70—A II 组合螺纹烟管锅炉环保测试结果

序号	项目	单位	测试值	规范标准限定值、推荐值
1	烟气平均温度	°C	152	
2	过量空气系数	-	1.62	
3	烟尘平均排放浓度	mg/m <sup>3</sup>	55	
4	折算烟尘排放浓度	mg/m <sup>3</sup>	49.5	符合标准[1] II 时段一类区限值 80 mg/m <sup>3</sup> 的要求
5	烟尘排放量	kg/h	2.36	
6	二氧化硫平均排放浓度	mg/m <sup>3</sup>	36	
7	折算二氧化硫排放浓度	mg/m <sup>3</sup>	32.4	符合标准[1] II 时段全部区限值 900 mg/m <sup>3</sup> 的要求
8	二氧化硫排放量	kg/h	1.54	
9	烟气黑度(林格曼级)	-	<1	符合标准[1]的要求

注 (1) 国家标准 GB 13271—2001 《锅炉大气污染排放标准》。

(2)已完成设计待投产的91MW组合螺纹烟管锅炉(ZLL 91—1.6/130/70—A II)总图见图5。

91 MW组合螺纹烟管锅炉炉膛内除水冷壁、前后拱管、后墙管外,还设置2排稀疏水排管,使出口烟温降至约900℃,使辐射与对流受热面匹配接近合理——折算蒸发率达45.6(kg/h)折算/m<sup>2</sup>(每平方米受热面的折算产汽量),钢耗见表1。与参数相同

的其它炉型相比,锅炉钢耗最少。

锅炉高度(0米标高至锅筒出口法兰)约12 m,长度约19 m,宽度约13 m。

高温螺纹管筒:直径1 700 mm,高度4 m,数量7个;低温螺纹管筒:直径1 400 mm,高度5.4 m,数量7个。

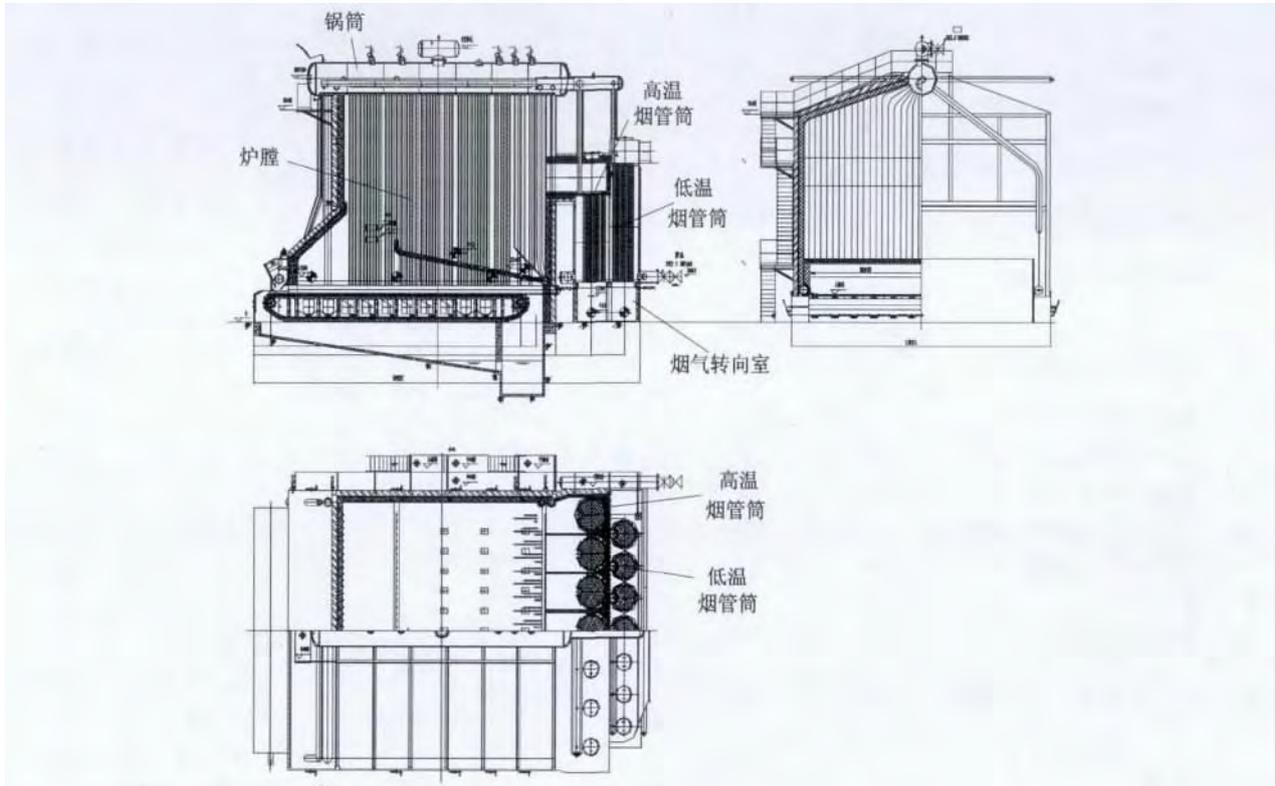


图5 91 MW组合螺纹烟管锅炉

### 3.2 蒸汽锅炉

已投运的10 t/h组合螺纹烟管锅炉(ZLL 10—1.25—A II)总图见图6。该锅炉的锅内设备见图7,各种容量组合螺纹烟管蒸汽锅炉皆采用这种筒易高效汽水分离设备。

该锅炉结构特点:

(1)蒸发筒汽水混合物引出管进入后封头水位以下,向前延伸至锅筒前部,变为水下多孔管。锅炉水冷壁前部与蒸发筒的产气量之和约占锅炉全部蒸发量的80%,蒸汽在向后水平运动中进行有效重力分离,试验证实可获得湿度颇低(<1%)的蒸汽<sup>[4]</sup>。

(2)省煤器筒出口的给水引入锅筒后部水下,利用给水的欠热使水位有效降低;相对增加汽空间高度,也减少外部管路长度。

(3)蒸汽由水位最低的锅筒后部经蒸汽引出罩引出。

## 4 螺纹烟管筒技术问题

采用螺纹烟管筒对流受热面(简称“烟管筒”)是组合螺纹烟管锅炉的主要结构特征。锅炉对流受热面的吸热量多于炉膛辐射受热面,而且平均烟温明显低于炉膛,钢耗与问题皆多于炉膛辐射受热面,因此,锅炉变革创新首要应从对流受热面着手。

组合螺纹烟管锅炉是在新型水火管锅壳锅炉之后发展起来的具有结构创新特征的换代技术,前者的烟管筒技术问题,可利用后者三十年来所积累的有关螺纹烟管与锅壳的研究成果与丰富实践经验并做必要的深入分析论证加以解决。

对于水火管锅壳锅炉与组合螺纹烟管锅炉,螺纹烟管受热面的一个十分重要且必须注意的共性问题,是烟管的螺纹高度必须严格保证,否则,排烟温度必然上升,影响锅炉热效率。

基于理论分析、试验研究、优化设计与运行实践,螺纹烟管筒可能出现的以下各种问题均已充分考虑并得到较好解决。

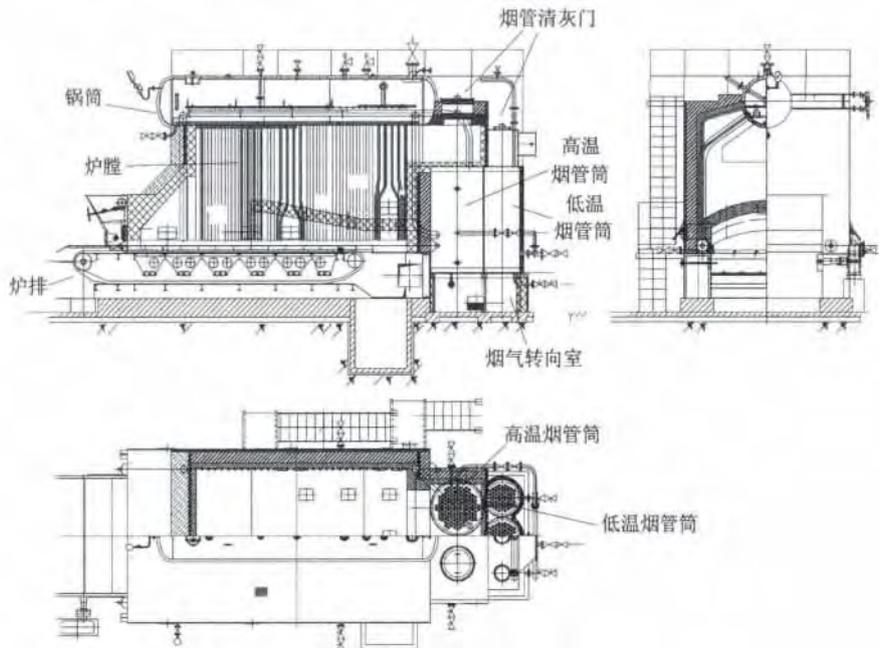


图6 10 t/h 蒸汽型组合螺纹烟管锅炉结构

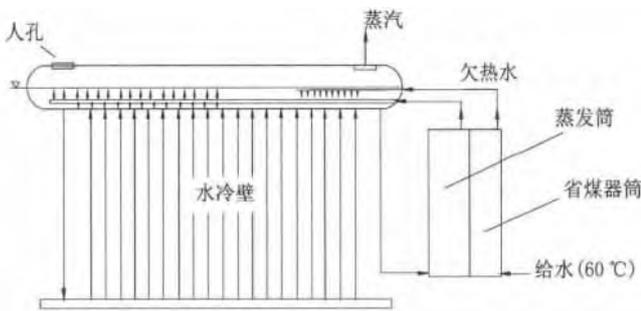
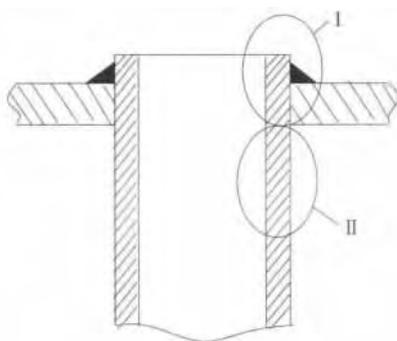


图7 简易高效汽水分离设备

### 4.1 高温烟管筒入口管端部位与烟管入口区段 (如图8) 的安全可靠性



I—入口管端部位(管头与管孔) II—烟管入口区段

图8 应关注部位示意图

#### (1) 入口管端部位可靠性

组合螺纹烟管锅炉高温烟管筒入口烟温约 900 °C ,而卧式内燃锅炉高温管板入口烟温(回烟室温度)国内外一般为 1 000 ~ 1 050 °C 或更高,尽管管板外壁未铺设耐火隔热层,当管端结构严格满足锅炉强度标准要求<sup>[5~7]</sup>,而且锅水水质也能满足锅

炉水质标准要求时,管板长期运行安全可靠,国内外皆如此。但是,我国目前一些工厂的工艺与监检欠佳,不得不采取补充防范措施(第二道防线)来确保高温烟管筒入口管端的可靠性。

实践经验证实,高温管板外壁铺设耐火隔热层是保护管板颇为有效的措施。高温烟管筒的上部为水平管板,很易铺设耐火隔热层。计算分析表明,隔热层厚度 30 ~ 50 mm 足够,并利用 1 ~ 2 mm 厚、100 ~ 150 mm 长的 1 000 °C 耐热钢套管或耐热陶瓷套管,由隔热层入口插入烟管内壁,用以保护烟管入口段,也使隔热层各孔的边缘不可能脱落。耐热陶瓷套管还可防磨。

#### (2) 烟管入口区段可靠性

假如高温烟管筒上部形成气(汽)垫,计算分析表明,烟管壁温因气(汽)体放热系数要比水或汽水混合物低得多,将达到 650 ~ 700 °C ,于是烟管壁必然会出现高温烟气氧化脱皮现象、高温外压使管径蠕变缩小或使管壁向内失稳变形。

按热力设备相似理论建立模型进行的模型试验<sup>[8]</sup>与运行实践表明,立式烟管筒上部不可能形成气(汽)垫。

热水型:模型试验表明:烟管筒充水过程中,无论充水速度快慢,筒内空气皆能由上部出水管顺利排出。说明即使水中解析出气体(极少量),也完全能够随水排出,不可能形成空气垫。

蒸汽型:以前多种模型试验观察表明,低压锅炉设备汽水混合物的向上冲力与扰动性颇大。烟管筒

的烟管各处产生的汽水混合物必然冲向烟管筒上部并由引出管排出,不存在汽水分离条件,不可能形成蒸汽垫。

以上不可能形成气(汽)垫的最有力证明,是多台组合螺纹烟管锅炉的立式烟管筒运行至今,烟管入口区段无一处出现上述的高温烟气氧化脱皮现象、高温外压使管径蠕变缩小或使管壁向内失稳变形现象。

#### 4.2 热水锅炉高温烟管筒烟管束上部汽化的防止

热水锅炉高温烟管筒内烟管束外圈烟管与筒内壁之间形成的“宽水空间”(见图2)的宽度,要比烟管节距明显偏大,计算分析表明,回水由筒的下部进入后,大部分经“宽水空间”基本不加热而旁通流向外水管,仅少部分水进入烟管束加热,这就导致了管束上部产生汽化现象。可在烟管筒内采用筒易导向隔板加以改进。尽量少用管束内多个孔板导向,以避免孔板上积存污物,并导致烟管污物积存段的壁温上升。经模型试验和实际运行,采用简单隔板措施,上部沸腾现象完全消失。

#### 4.3 烟管外壁介质氧化腐蚀与烟管内壁烟气露点腐蚀问题

##### (1) 烟管外壁介质氧化腐蚀

蒸汽型组合螺纹烟管锅炉的低温烟管筒(省煤器)因立式布置,水中析出的极少量气体会随水一并向上流出,实践证实,烟管外壁氧化现象一般不会发生。模型试验也表明,水中小气泡会随水一并流向出水管。当然,有关规程对大容量锅炉除氧的要求,应认真执行。

热水型组合螺纹烟管锅炉的烟管筒内水速高于蒸汽型低温烟管筒(省煤器)10~20倍,更不会出现烟管外壁停留小气泡现象。

##### (2) 烟管内壁烟气露点腐蚀

我国数十万台锅壳锅炉长期运行实践表明,烟管内壁的烟气露点腐蚀问题并不普遍发生。

热水型水火管锅壳锅炉一般不设置尾部受热面。烟管壁温接近周围锅水温度(因锅水放热系数要比烟气大数十倍),一般为50~70℃,则锅壳内烟管束中下几排烟管壁温已低于露点温度。但大量锅炉并未出现因露点腐蚀而缩短寿命现象。这与我国大量锅炉用燃料的含硫量一般偏低有关——烟煤一般皆为低硫煤,天然气、生物质的含硫量更是低得多。

蒸汽型水火管锅炉锅壳中的水温较高,为饱和温度,则烟管壁温皆超过100℃,明显高于热水锅炉,因而,一般更不会存在低温烟气露点腐蚀问题。

基于上述水火管锅壳锅炉烟管内壁烟气露点腐

蚀基本不存在情况,也无需担心组合螺纹烟管锅炉烟气露点腐蚀问题。

如锅炉燃用高硫燃料,对低温烟管筒(省煤器)可能出现低温烟气露点腐蚀问题,应给予专门关注,例如采用价格不高的ND钢螺纹烟管受热面。

#### 4.4 积灰与磨损问题

##### (1) 积灰

锅炉调试期间,可能遇到很低负荷,也有可能在低于一半负荷下运行,此时由于烟管筒后部烟速较低(小于5~6 m/s),会逐渐积灰。燃烧生物质时,也可能于高温烟管筒的烟气入口处结渣。在上述情况下,可利用正对烟管筒上部的检查孔(烟管清灰门)与进入高温烟管筒与低温烟管筒下部的烟气转向室进行清理。可见,烟管筒清除积灰结渣要比排管、蛇形管、旗片U形管较为容易。

##### (2) 磨损

高温烟管筒的烟气入口处烟速较高,在灰的硬度偏高、又经常在满负荷下运行时,则有可能磨损。在烟管入口加装套管即可解决此问题。

#### 4.5 烟管筒不设置人孔问题

锅壳锅炉烟管束的内部是无法观察与接触到的,当烟管为错排布置时尤其如是。一般是通过人孔进入锅壳内部,观察管板附近烟管束的外圈烟管状态,由于其内部情况与此基本相同,则烟管束的内部情况也就间接得知了。

组合螺纹烟管锅炉的烟管筒仅设置多个检查孔(清洗孔),可观察到管板附近烟管束的外圈烟管状态。

烟管筒下部设置检查孔是必需的,因需要定期检查下管板内壁污物积存情况,必要时可清洗污物。



#### 参考文献

- [1]张达康. 快装锅炉今昔谈[J]. 江苏锅炉, 1990, (4): 11-15.
- [2]李之光, 李柏生. 新型锅壳锅炉原理与设计[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [3]李之光, 梁耀东, 牛全正, 等. 工业锅炉现代设计与开发[M]. 北京: 中国标准出版社, 2011.
- [4]李志宏, 刘复田, 李之光, 等. 新型水火管蒸汽锅炉汽水分离特点与效果[J]. 工业锅炉, 2010(6): 25-27.
- [5]GB/T 16508—1996 锅壳锅炉受压元件强度计算[S].
- [6]BS 2790 Specification for shell boilers of welded construction (1989) [S].
- [7]李之光. 锅炉强度标准应用手册(增订版)[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [8]李之光. 相似理论与模化(理论及实用)[M]. 北京: 国防工业出版社, 1982.