

文章编号: 1004-8774(2015)01-0001-06

# 锅炉结构创新与锅炉性能改善

李之光 梁耀东 王叶福 张仲敏 何丽娅 刘立波  
(辽宁盛昌绿能锅炉公司 北京之光锅炉研发中心 北京 102600)

摘要: 着重介绍了锅炉结构创新带来的明显效益: 创新型组合螺纹烟管锅炉与目前常用各型水管锅炉相比, 高度下降约 1/3、钢耗下降 30% ~ 40% , 另外, 对流受热面制造、安装明显简易, 尤其方便检修。

关键词: 组合螺纹烟管锅炉; 对流受热面; 锅炉高度; 锅炉钢耗  
中图分类号: TK229 文献标识码: A

## The Improvement of Performance Brought by Innovation of Boiler Structure

LI Zhi-guang , LIANG Yao-dong , WANG Ye-fu ,  
ZHANG Zhong-min , HE Li-ya , LIU Li-bo  
( Liaoning Shengchang Boiler Co. Ltd. ,  
Zhi-guang Boiler Research Center , Beijing 102600 , China)

**Abstract:** Compared with the traditional water-tube boilers , the combined corrugated fire-tubes boiler newly developed in China has great advantages such as the height of boiler dropped about one third , steel consumption decreased by at least 30% to 40% , convenience for manufacture , perfection of convective heating surface.

**Key words:** combined corrugated fire - tubes boiler; convective heating surface; height of boilers ; steel consumption of boilers



第一作者: 李之光 (1931 - ) , 教授, 长期从事锅炉强度、相似与模化教学、科研, 锅炉创新工作, 主持新型水火管锅壳锅炉、组合螺纹烟管锅炉、中度冷凝式内燃油一气锅炉等的研究与开发。发表专著 10 部, 论文 50 余篇。

### 0 引言

我国自行设计开发工业锅炉约 60 载, 但至今工业锅炉炉型“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”。我国工业锅炉结构需要创新, 使其性能大幅度提高。

如果说产品性能提高 10%、20% 是较好的改进, 那么当产品性能提高 30% 甚至 40% 或更高, 则无疑应属于重大突破。

我国新开发的组合螺纹烟管锅炉<sup>[1~4]</sup> (见图 1) 与目前我国常用的各型水管锅炉相比, 在锅炉高度与钢耗方面有重大突破。另外, 此型锅炉对流受热面制造、运输、安装较简易, 特别是方便维修。

### 1 对流受热面变革的重要意义

锅炉本体由辐射受热面(炉膛内)与对流受热面(对流烟道内)两部分组成。

锅炉对流受热面的吸热量大于炉膛辐射受热面, 尤其对流受热面的平均烟温远低于炉膛辐射受

热面, 依传热原理, 对流受热面积远大于辐射受热面, 对流受热面的钢耗也必然大于辐射受热面, 见表 1。因此, 对流受热面的改革尤为重要。

目前, 常用典型水管锅炉的对流受热面型式主要有: 排管式、蛇形管式与旗面管式(如图 2、图 4、图 6)。采用这三类对流受热面锅炉的一个共同特点是: 锅炉皆明显高大。其原因在于: 这三类对流受热面的结构都不够紧凑, 同时, 传热系数一般也较低 [约 40 W/(m<sup>2</sup>·℃)] , 其后部一般还需要再布置温压较大的空气预热器或省煤器才能将排烟温度 (t<sub>排烟</sub>) 降至标准要求的程度 (尽管常用煤种并不需要预热空气)<sup>[5]</sup>。图 2、图 4、图 6 中增补尾部受热面; 由于对流受热面较多, 对流烟道一般皆向高处发展, 炉膛高度也必然跟随增加 (下宽上窄)。另外, 这些对流受热面都需要炉墙包围, 冷空气漏入量与散热损失也较大; 这些对流受热面清理积灰都较困难, 如不设置吹灰装置, 出力与效率必然会逐渐下降; 况且检修也很繁杂。

收稿日期: 2014-11-20

表1 锅炉对流受热面与辐射受热面对比

| 锅炉炉型       | 型号                      | 受热面积/m <sup>2</sup> |   |
|------------|-------------------------|---------------------|---|
|            |                         | 辐射                  | 对流  |
| 双锅筒横置式水管锅炉 | SHL 29—1.25/150/90—A II | 179.9               | 815.2 + 340.1 <sup>①</sup> + 117.5 <sup>②</sup> |
| 双锅筒纵置式水管锅炉 | SZL 10—1.25—A II        | 28.9                | 235 + 122 <sup>①</sup> + 41 <sup>③</sup>        |
| 单锅筒横置式水管锅炉 | QXL 58—1.6/150/90—A II  | 230                 | 1 515 + 972 <sup>③</sup>                        |
| 角管式锅炉      | DHL 70—1.6/130/70—A II  | 409.75              | 2 097 + 1 052 <sup>④</sup>                      |
| 组合螺纹烟管锅炉   | ZLL 58—1.25/130/70—A II | 305                 | 1 192 <sup>⑤</sup>                              |

注: ①铸铁省煤器; ②铸铁空气预热器; ③钢管空气预热器; ④螺纹烟管空气预热器; ⑤螺纹烟管。

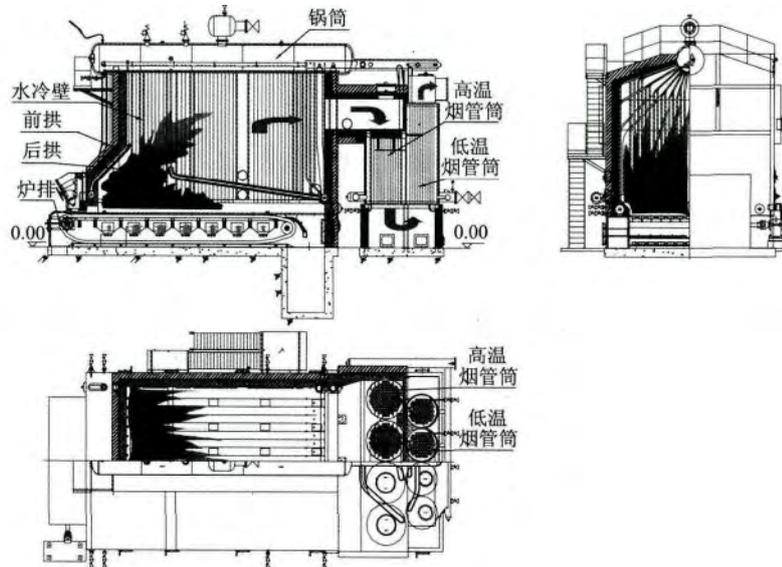


图1 组合螺纹烟管锅炉

近几年新开发的组合螺纹烟管锅炉,正是针对上述问题在对流受热面上进行变革与创新的结果,采用高效传热模块式组合螺纹烟管筒,传热系数明显提高[约 $80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ]以及结构改变等原因,使锅炉性能发生重大变化,明显优于目前常用各型水管锅炉。

## 2 热水锅炉对比

以目前常用的29 MW、58 MW、70 MW较大容量热水锅炉为例,首先对锅炉高度与钢耗进行对比。锅炉高度与锅炉房投资、运行维护相关;锅炉钢耗关系到锅炉成本,还间接涉及炼钢的能耗与对环境的影响。因此,锅炉高度与钢耗属于锅炉重要性能指标。

### (1) 与双锅筒横置式水管锅炉对比

双锅筒横置式水管锅炉示意图如图2。

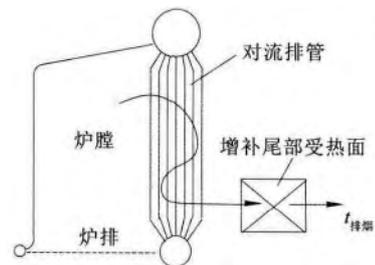
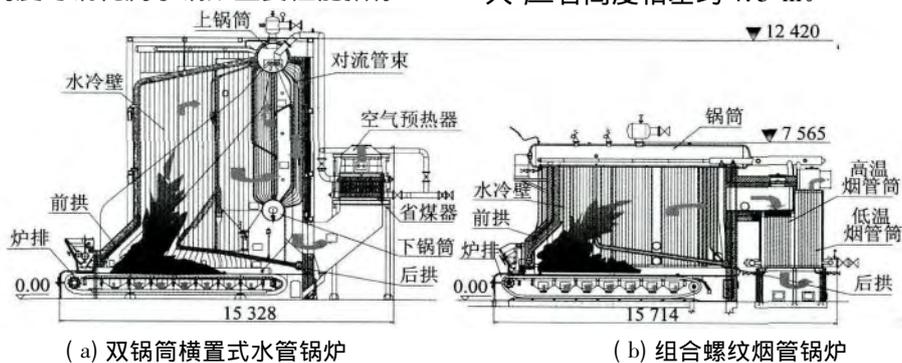


图2 双锅筒横置式水管锅炉示意图

①高度:由图3可见,29 MW双锅筒横置式水管锅炉的高度比同功率组合螺纹烟管锅炉明显偏大,二者高度相差约4.5 m。



(a) 双锅筒横置式水管锅炉

(b) 组合螺纹烟管锅炉

图3 29 MW双锅筒横置式水管锅炉与组合螺纹烟管锅炉的高度对比

② 钢耗: 钢耗对比见表 2。由表 2 可见 29 MW 双锅筒横置式水管锅炉的钢耗要比组合螺纹烟管锅炉增加约 60%; 此外, 还增加铸铁件( 铸铁省煤器与铸铁空气预热器) 约 24 t。

表 2 29 MW 双锅筒横置式水管锅炉与组合螺纹烟管锅炉钢耗对比

| 炉型         | 锅炉型号                    | 钢耗/t    |           |           |
|------------|-------------------------|---------|-----------|-----------|
|            |                         | 受压件     | 结构件       | 受压件 + 结构件 |
| 双锅筒横置式水管锅炉 | SHL 29—1.25/150/90—A II | 52.8    | 41.9      | 94.7      |
|            |                         | 外加铸铁省煤器 | 外加铸铁空气预热器 | 外加铸铁件     |
| 组合螺纹烟管锅炉   | ZLL 29—1.0/115/70—A II  | 10.6    | 13.5      | 24.1      |
|            |                         | 43.06   | 16.39     | 59.45     |

注: 压力为 1.25 MPa 或 1.0 MPa 对总钢耗的影响很小。

(2) 与单锅筒横置式水管锅炉对比

单锅筒横置式水管锅炉一般应用大量蛇形管受热面, 见图 4。

① 高度: 由图 5 可见, 58 MW 单锅筒横置式水管锅炉高度明显偏大, 二者高度相差约 6.5 m。

管锅炉高度明显偏大, 二者高度相差约 6.5 m。

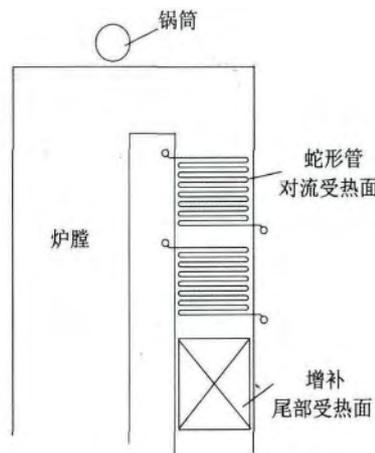
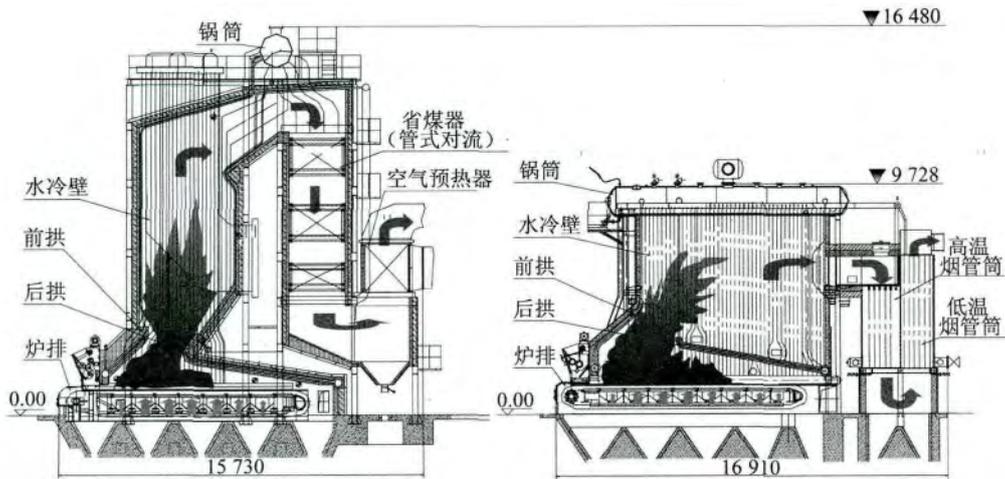


图 4 单锅筒横置式水管锅炉示意图



(a) 单锅筒横置式水管锅炉

(b) 组合螺纹烟管锅炉

图 5 58 MW 单锅筒横置式水管锅炉与组合螺纹烟管锅炉的高度对比

② 钢耗: 钢耗对比见表 3。由表 3 可见 58 MW 单锅筒横置式水管锅炉的钢耗要比组合螺纹烟管锅炉增加约 70%。

表3 58 MW 单锅筒横置式水管锅炉与组合螺纹烟管锅炉的钢耗对比

| 炉型         | 锅炉型号                    | 钢耗/t  |     |           |
|------------|-------------------------|-------|-----|-----------|
|            |                         | 受压件   | 结构件 | 受压件 + 结构件 |
| 单锅筒横置式水管锅炉 | DHL 58—1.25/115/70—A II | 118.9 | 110 | 228.9     |
| 组合螺纹烟管锅炉   | ZLL 58—1.25/115/70—A II | 100   | 32  | 132       |

(3) 与角管式锅炉对比

角管式锅炉一般应用旗式对流受热面,见图6。

① 高度:如图7,70 MW 角管式锅炉高度明显

偏大,二者高度相差约4 m。

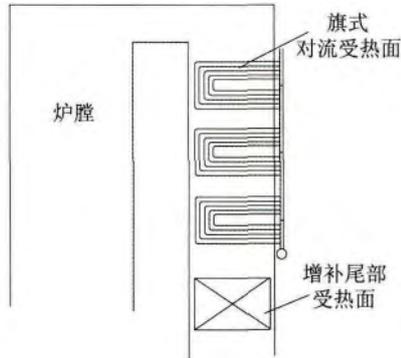


图6 角管式锅炉示意图

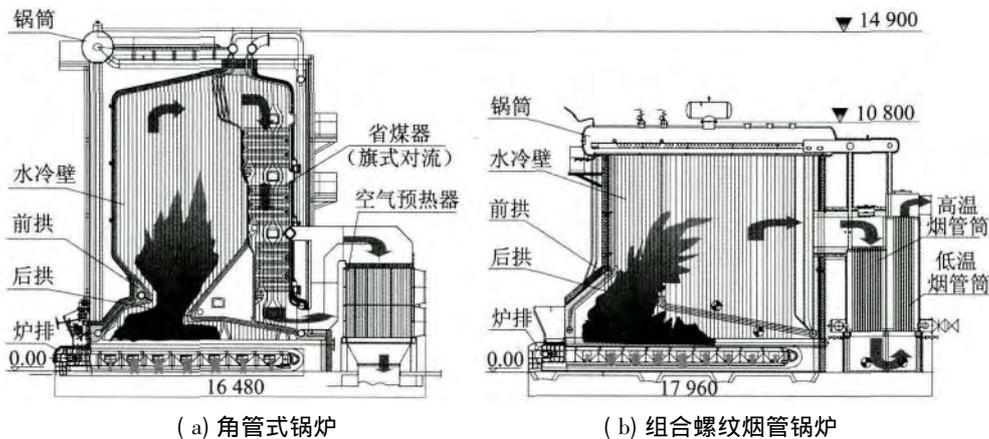


图7 70 MW 角管式锅炉与组合螺纹烟管锅炉的高度对比

② 钢耗:钢耗对比见表4。由表4可见,70 MW 角管式锅炉的钢耗要比组合螺纹烟管锅炉增加约40%。

角管式锅炉的钢耗要比组合螺纹烟管锅炉增加约

表4 70 MW 角管式锅炉与组合螺纹烟管锅炉的钢耗对比

| 炉型       | 锅炉型号                  | 钢耗/t  |       |           |
|----------|-----------------------|-------|-------|-----------|
|          |                       | 受压件   | 结构件   | 受压件 + 结构件 |
| 角管式锅炉    | DHL 70—1.6/130/70—AII | 134.0 | 80.0  | 214       |
| 组合螺纹烟管锅炉 | ZLL 70—1.0/130/70—AII | 115.0 | 38.00 | 153       |

注:压力为1.0~1.6 MPa的总钢耗与压力关系不明显。

### 3 蒸汽锅炉对比

以目前常用的20 t/h中等容量蒸汽锅炉为例,进行对比。由图8对比可见,组合螺纹烟管锅炉的高度明显偏低。应该指出,双锅筒横置式水管蒸汽锅炉的长度较短,因为炉膛与尾部对流受热面之间

无通道,见图8(a),另外,锅炉宽度略有增加。

锅炉高度、金属耗量对比见表5。由表5可见,组合螺纹烟管蒸汽锅炉的高度与金属耗量皆优势明显。

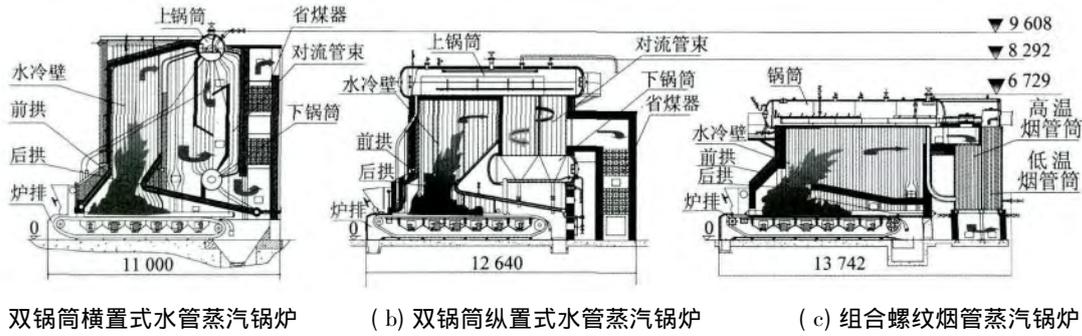


图 8 20 t/h 蒸汽锅炉高度对比

表 5 20 t/h 蒸汽锅炉高度、金属耗量对比

| 炉型                        | 高度/mm | 高度对比 | 金属总耗量/kg | 金属总耗量对比 |
|---------------------------|-------|------|----------|---------|
| 组合螺纹烟管蒸汽锅炉 <sup>①</sup>   | 6 729 | 1.0  | 36 943   | 1.0     |
| ZLL 20—1.25—A II 型        |       |      |          |         |
| 双锅筒纵置式水管蒸汽锅炉 <sup>②</sup> | 8 292 | 1.23 | 47 547   | 1.29    |
| SZL 20—1.25—A II 型        |       |      |          |         |
| 双锅筒横置式水管蒸汽锅炉 <sup>③</sup> | 9 608 | 1.43 | 75 000   | 2.03    |
| SHL 20—1.25—A II 型        |       |      |          |         |

注: ①受压件 27 300 kg 结构件 9 643 ,总计 36 943 kg;

②受压件 33 587 kg( 本体 20 569 kg 铸铁省煤器 13 018 kg) 结构件 13 960 kg ,总计 47 547 kg;

③铸铁省煤器约 15 000 kg。

#### 4 组合螺纹烟管锅炉的综合性能

对有代表性的 29 MW( 40 折算蒸吨级) 热水型与 20 t/h 蒸汽型组合螺纹烟管锅炉进行了严格验

证。能效、环保测试结果表明,各项热力性能皆达到或优于设计指标,能效测试结果见表 6。

表 6 组合螺纹烟管锅炉能效测试结果<sup>①</sup>

| 额定出力   | 测试出力 | $t_{py}/^{\circ}\text{C}$ | $\alpha_{py}$ | $q_2/\%$ | $q_3/\%$ | $q_4/\%$ | $q_5^{②}/\%$ | $q_6/\%$ | $\eta/\%$         |
|--------|------|---------------------------|---------------|----------|----------|----------|--------------|----------|-------------------|
| 29 MW  | 28.3 | 151                       | 1.62          | 7.57     | 0.2      | 5.7      | 0.8          | 0.77     | 82.3 <sup>③</sup> |
| 20 t/h | 20.7 | 160                       | 1.59          | 6.62     | 0.11     | 8.55     | 0.8          | 0.99     | 83.1              |

注: ①29 MW 测试结果见文献[2] 20 t/h 测试结果见中国特种设备检测研究院网站锅炉定型产品能效信息。

②该锅炉尾部为散热面积明显小的烟管筒,而且烟管筒外壁温度低,故散热损失较常规锅炉小。

③考虑测试水温修正后的值。

由于不同容量的该型热水与蒸汽锅炉的热力工作原理相同、结构相似,根据工程经验与相似规律,将试验锅炉容量放大 5 倍(放大比、相似倍数为 5)是可行的,即该型热水锅炉的容量至少可达 140 MW( 200 折算蒸吨级) 蒸汽锅炉至少可达 100 t/h。

近几年热水型、蒸汽型、压力相变型组合螺纹烟管锅炉的制造、安装、运行经验充分验证了原设计数据的准确性,故以下所述综合性能不仅显示其优越性,而且更具实践基础。

(1) 尽管锅炉高度比水管锅炉的高度明显下降,但炉膛容积足够大。

组合螺纹烟管锅炉炉膛特点是上下截面大致相同(见图 3、图 5、图 7 与图 8),炉膛容积足够大,炉膛容积热负荷颇低,约 130 kW/m<sup>3</sup>( II 类烟煤,标准

推荐为 230 ~ 350 kW/m<sup>3</sup>);相当于燃气与颗粒在炉内停留时间近 4 s( 燃尽仅需要 1 ~ 2 s<sup>[6]</sup>)。

(2) 除钢耗比水管锅炉低得多(见表 2、表 3、表 4、表 5) 耐火绝热材料等也明显减少。

(3) 易于模块化组合,工厂化制造比重大。

(4) 制造安装简易,施工周期短;尤其检修容易得多。

(5) 尾部受热面( 螺纹烟管筒) 无需炉墙包围。

(6) 螺纹烟管烟速较高,不易积灰,如积灰,也较易清理。

(7) 由于烟管筒漏风、散热与积灰均较少,锅炉热效率较高。

(8) 由于炉膛内粉尘重力分离与高低温烟管筒下部粉尘惯性分离效果显著,锅炉原始排尘浓度颇

低。

(9) 高温管板安全性有完备可靠的保护措施<sup>[4]</sup>。

(10) 热水锅炉炉膛水冷壁采用回水引射混合循环,无需停电保护措施。

(11) 蒸汽锅炉采用水平流动重力分离,蒸汽湿度明显下降(低于1%)。

(12) 燃煤与燃生物质锅炉可通用(后者前拱增设二次风)。

(13) 锅炉采用自身支撑结构。

(14) 烟管筒的焊缝与排污阀门相对较多。

### 5 螺纹烟管应用应注意的问题

组合螺纹烟管锅炉是在燃煤新型水火管锅壳锅炉成功应用螺纹烟管三十年基础上发展起来的<sup>[7]</sup>。长期实践表明,螺纹烟管应用必须注意以下事项:

(1) 螺纹高度必须严格满足设计要求,如偏小,锅炉排烟温度将上升。

(2) 高温管板管端与焊缝平齐,烟管与管板间隙必须消除,否则在水质欠佳情况下,可能引起管板与管端损坏。

(3) 螺纹烟管设计平均烟速约为 20 m/s,低于 50% 负荷运行后,应对烟管后部进行清灰。

组合螺纹烟管锅炉采用螺纹烟管并未给制造、安装、运行带来任何特殊要求。

以上要求并不难做到,但是仍有少数工厂未按要求执行。未执行上述要求所引发的问题,不能归咎于采用螺纹烟管。至今我国工业锅炉中采用螺纹烟管对流受热面的新型水火管锅壳锅炉所占比重较大,螺纹烟管已经在我国工业锅炉尤其在 40 蒸吨及以下中小容量锅炉中成功应用 30 年。

### 参考文献

[1]李之光,梁耀东,刘峰,等.工业锅炉现代设计与开发[M].北京:中国质检出版社、中国标准出版社,2011.

[2]李之光,傅友红,梁耀东,等.组合螺纹烟管锅炉结构与性能[J].工业锅炉,2014(3):1-8.

[3]李之光,傅友红,梁耀东,等.组合螺纹烟管锅炉性能与安全可靠性[J].中国特种设备安全,2014(3):8-13.

[4]徐甫,梁耀东,李之光,等.组合螺纹烟管锅炉制造安装运行需要关注的问题[J].中国特种设备安全,2014(4):35-38.

[5]TSG G0002—2010 锅炉节能技术监督管理规程[S].

[6]冯俊凯.锅炉原理及计算 第三版[M].北京:科学出版社,2003.

[7]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.

## 广告索引

|          |                    |
|----------|--------------------|
| 封面       | 瑞士瑞特力燃烧器股份公司       |
| 封二       | 北京西山圣通风机有限公司       |
| 封三       | 利雅路热能设备(上海)有限公司    |
| 封底       | 斯派莎克工程(中国)有限公司     |
| 前插 1     | 欧科中国 CEB 上海代表处     |
| 前插 2     | 意大利百得有限公司上海代表处     |
| 前插 3     | 意大利 CIB 优尼瓦斯股份有限公司 |
| 前插 4     | 江苏双良锅炉有限公司         |
| 前插 5     | 德国麦克斯威索有限公司        |
| 前插 6     | 上海市特种设备监督检验技术研究院   |
| 前插 7     | 奥林(中国)有限公司         |
| 前插 8     | 宜宾市信通电子器材厂         |
| 前插 9     | 卡尔冬斯贸易(上海)有限公司     |
| 前插 10、11 | 西门子(中国)有限公司        |
| 前插 12    | 杭州伯勒计算机技术有限公司      |
| 前插 13    | 浙江澳太机械制造有限公司       |
| 前插 14    | 北京英翔博瑞耐火材料科技有限公司   |

|          |                    |
|----------|--------------------|
| 前插 15    | 博世热力科技(北京)有限公司     |
| 前插 16    | 无锡顺盟科技有限公司         |
| 前插 17    | 安阳方快锅炉有限公司         |
| 前插 18、19 | 西安交大思源科技股份有限公司     |
| 前插 20    | 德图仪器国际贸易(上海)有限公司   |
| 前插 21    | 格兰富水泵(上海)有限公司      |
| 前插 22    | 山东四海水处理设备有限公司      |
| 前插 23    | 镇江威孚锅炉有限公司         |
| 前插 24    | 2015 上海国际锅炉展       |
| 前插 25    | 柘科燃烧工程有限公司         |
| 前插 26    | 上海大田阀门管道工程有限公司     |
| 中插 1     | 上海昱真科贸发展有限公司       |
| 中插 2、3   | 扎克能源技术设备(上海)有限公司   |
| 中插 4     | 天津市中平燃器设备有限公司      |
| 黑白插页     |                    |
|          | 上海久星导热油股份有限公司(P45) |
|          | 九江电通电器有限公司(P58)    |