

船用燃油废气组合锅炉的研制

曾乃琳

(中国船舶工业总公司柴油机研究所)

〔摘要〕 为节约能源,研制了HD-B & W5L35MC型船用柴油机的燃油废气锅炉。对新设计的锅炉进行了炉胆结构强度模拟试验,传热、阻力热风洞模拟试验,平台试验和陆上鉴定试验。此组合辅锅炉具有占地小、费用省、管理方便等优点。年节油可达500吨。该炉已装于5000吨级客货轮上使用,亦可做工业锅炉用于油田及宾馆。

关键词 余热锅炉 研究 设计

1 组合锅炉的主要设计参数

CZG1600/550-0.7型组合锅炉为立式圆柱形锅炉。其主要设计参数详见表1。

表1 主要设计参数

序	名称	单位	数值
1	设计压力	MPa	0.9
2	工作压力	MPa	0.7
3	蒸汽温度	°C	饱和
4	蒸发量	kg/h	2150
	其中燃油部份:	kg/h	1600
	废气部份:	kg/h	550
5	耗油量	kg/h	130
6	废气最大阻力	kPa	≤19.6
7	筒体内径	mm	1500
8	筒体最大高度	mm	6714
9	受热面面积	m ²	100
	其中燃油部份	m ²	30
	废气部份	r	70
10	锅炉干重	t	9.9
11	锅炉湿重	t	14.3

2 主要部件结构特点

本体结构紧凑,将废气锅炉和燃油锅炉组合在一个立式筒体中。采用全焊接结构,上部

收稿日期 1990-05-09

受热面由废气产生蒸汽,下部受热面由燃烧器产生蒸汽。两个受热面有一个共同的蒸汽空间。

2.1 燃油部分

2.1.1 全水冷的炉胆, 锅炉筒身通径为 $\phi 1500\text{mm}$, 为了保证充分可靠的燃烧, 适当增加了炉胆的容积, 增加辐射传热, 炉胆的容积热负荷为 $3.474 \text{ MJ}/(\text{h} \cdot \text{m}^3)$ 。炉胆为筒形(见图1)。

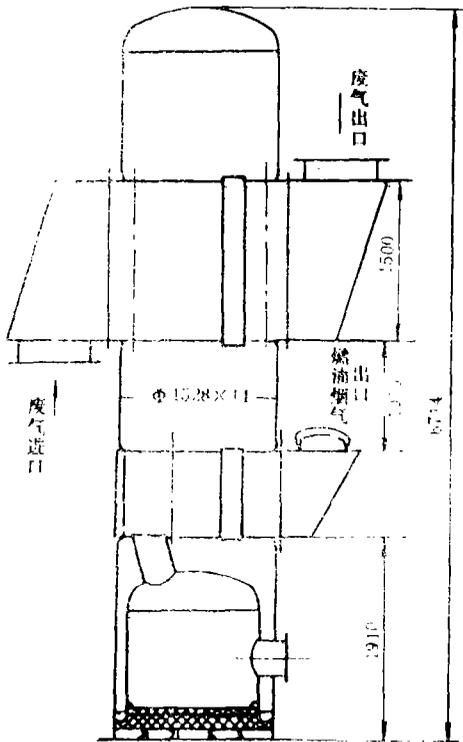


图 1 船用燃油废气组合锅炉结构示意图

2.1.2 炉胆出口烟管设计成弓形, 与一般的圆管相比能更合理地布置受热面。在第一排对流管上焊有鳍片, 引导高温烟气较均匀地冲刷对流管束, 防止烟气短路, 弓形边的蒸发管束布置成膜式水冷壁。

2.1.3 封底采用U型圈, 单项试验表明, 平板封底也是安全可靠的, 但考虑“船规”和工业锅炉标准, 本炉仍采用U型圈, 它可补偿角焊缝热膨胀时的应力。

2.1.4 烟箱采用铰链活动护板式, 沿圆周等分成五块, 由里向外安装了耐火砖65 mm, 石棉板10 mm, 弧形钢板6 mm, 空气夹层40 mm。保证外壁温度低于 60°C 。这种护板结构保证了密封和绝热, 又便于检修和清灰维护。

2.2 废气部份

废气锅炉部份是由上、下两个平封头管板和200根 $\phi 51 \times 3$ 管子及72根厚壁管组成, 管孔呈三角形排列, 上筒身内部装有锅壳式汽水分离器, 给水管匀布在下降管上方, 上部筒身外装有两个水位表和水位传感器。

为保持废气部分受热面的清洁, 还设有蒸汽(或压缩空气)吹灰器。

2.3 全自动燃烧器

2.3.1 燃烧器采用西德 Weishaupt 公司生产的MS7Z型产品, 燃烧器为组装机, 其风机和油泵由一个电动机驱动, 并与其它部件组装成一个整体, 燃烧系统(见图2)。

电磁阀3和8为电气双联, 燃油泵投入运行时这两只阀就全开, 第一只喷油器投入运行时, 电磁阀6按指令启闭, 保持回油管压力小于 0.8 MPa 。此时电磁阀9处于关闭状态, 工作油压为 2.5 MPa 。当电磁阀9开启时, 第

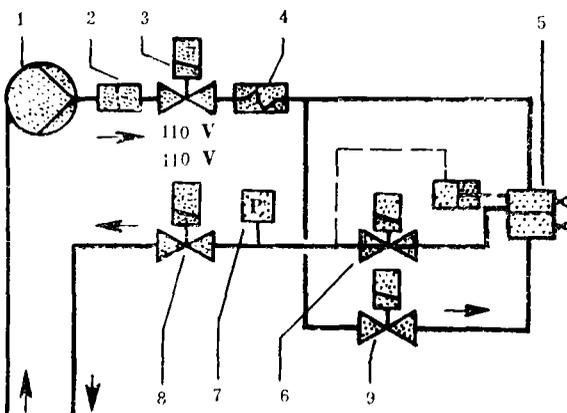


图 2 燃烧系统图

- 1. 油泵 2. 过滤器 3. 电磁阀(常闭) 4. 加热器
- 5. 喷油器 6. 电磁阀(常开) 7. 压力开关
- 8. 电磁阀(常闭) 9. 电磁阀(常闭)。

二个喷油器投入工作。负荷再继续增加时,进油压力可提高至3 MPa。

点火前的扫气,点火、喷油、燃烧皆为连续工作式。

2.3.2 燃烧器配有全自动控制箱,箱内程序按给定的不同工况运用单级或双级喷油器来完成。自动控制系统还具有水位、蒸汽压力和应急燃烧切断的功能。见表2。

表2 锅炉自动水位指示和报警 (mm)

水位过高报警	+100
高水位指示	+80
停给水泵	+50
正常水位	0
开给水泵	-50
给水泵切换	-80
低水位指示	-90
过低水位报警	-105
报警切断燃烧器	-130

表3 蒸汽压力自动控制燃烧 (MPa)

低蒸汽压力报警	0.4
I号喷燃器启动	0.55
I号喷燃器启动	0.6
I号喷燃器关闭	0.7
高蒸汽压力报警	0.73

2.3.3 锅炉燃烧自动控制

因故熄火,自动切断燃油并报警。

燃油压力过低燃油自动切断并报警。

3 课题实验研究

为了保证产品可靠,在设计上赶上国外同类型产品水平,进行了如下几项单项实验:

炉胆结构强度模拟试验

传热、阻力热风洞模型试验

两个课题试验获得了大量数据为产品设计提供了可靠的依据。

3.1 炉胆及底座结构强度试验

CZG 组合锅炉烟道成弓形,炉胆工作时内外壁温度差可达100℃,在弓形烟管和炉胆椭圆封头过渡区会产生较大机械应力和热应力,其强度计算国内没有可靠的理论计算公式。为此制造了一个1:2的模拟体进行冷态、热态试验,用实验方法确定其应力。

3.1.1 冷态试验是用空气加压,试验压力为0.7~1.3 MPa。试验表明:在弓形管孔周中部应力最大, $\sigma_1 \sim \sigma_2 = 124.6$ MPa,平板底圈的应力为22.6 MPa,经多次加载发现其重复性及线性都较好,光弹应力分析与应变片电测数据相符,

3.1.2 热态应力测量表明,在气压0.775 MPa,壁温<280℃时,有一测点最大应力值为166.5 MPa其余均在100 MPa以下。

20g钢板抗拉强度为410.0 MPa,屈服点为250 MPa,试验应力值均低于材料许用值,因此炉胆结构强度是安全可靠的。

3.2 热风洞传热阻力试验

废气管束和进出口烟箱的阻力对柴油机工作的影响较大,其阻力不仅影响排气流通能力,还直接影响增压器的工作,为此制造了三个试验件进行热风洞吹风试验。

进出口烟箱的线型及结构对气流阻力影响较大,限于当时试验条件,在热风洞试验中对

此项没有进行多方案的试验分析，减少阻力可在进出口烟箱加装导流片以改善气流的涡流影响。

为了获得可靠的设计依据，根据实验的相似准则，制造了传热阻力的试验件，根据试验条件、确定了各项试验参数，在热风洞中进行模化试验，试验数据汇总见表4。

表 4 试验数据汇总表

序号	1	2	3	4	5	6
名称	空气流量	空气流速	热交换量	对数温差	空气阻力	传热系数
单位	kg/h	M/s	$\times 10^7$ J/h	$^{\circ}\text{C}$	Pa	$\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ (大卡/米 ² ·时·度)
1	4 879	21.69	9.67	75.9	1 578	1.9×10^2 (163.1)
2	4 456	19.82	9.31	75.67	1 226	1.83×10^2 (157.5)
3	4 099	18.23	8.71	75.68	1 089	1.71×10^2 (147.4)
4	3 637	16.18	7.83	75.58	755	1.54×10^2 (132.6)
5	3 004	13.14	6.78	74.34	530	1.36×10^2 (116.8)
6	2 696	12.04	6.16	74.24	363	1.24×10^2 (106.3)

试验数据以 $Nn = C \cdot Re^n$ 的指数函数形式表示，试验件的定性尺寸已定，可将试验数据整理为：

$$K = C_1 \cdot w^{n_1} \quad \lg K = \lg C_1 + n_1 \cdot \lg w$$

$$\Delta P = C_2 \cdot w^{n_2} \quad \lg \Delta P = \lg C_2 + n_2 \cdot \lg w$$

在双对数坐标上即为两条直线，经试验得到传热系数和阻力计算公式为

$$\text{传热系数 } K = 16.665w^{0.741}$$

$$\text{气阻力 } \Delta P = 0.093w^{2.408}$$

4 平台试验和陆上鉴定试验

首台 CZG 组合锅炉已在1986年 8 月完成平台交船试验，10月完成航行时废气部份的试验，该船当年已交付使用。CZG组合锅炉的陆上鉴定试验于1987年 4 月完成。主要测试数据如下：

工作压力	0.65 MPa
蒸汽温度	饱和温度
燃油部份蒸发量	1 720 kg/h
废气部份蒸发量	579 kg/h
烟气阻力废气部份	800 Pa
给水温度	54 $^{\circ}\text{C}$
锅炉效率	80%

可见锅炉主要参数均达到或超过设计指标。

5 结 论

自行设计的CZG组合锅炉是建立在单项试验课题试验研究的基础上，部份管束成功地采

用了鳍片管膜式受热面和圆筒式炉胆,因而在直径偏小的条件下成功地达到了设计要求的蒸发量,与国外同类产品相比达到和超过了国外同类产品的指标。

主要部件壁温正常,小于 280°C ,运行安全可靠,以5L35MC柴油机为主机当应用余热利用后每台每小时可节省燃油约50kg,全年按5000小时计算,每条船两台锅炉可共节油 2×250 吨/年,即年节油500吨。

该组合锅炉不仅船舶可使用,亦可做工业锅炉用于油田及宾馆。

参 考 文 献

- 1 丁树冬,华进等.CZG型船用组合锅炉压力试验研究报告.上海船用柴油机研究所科技报告,1986,8
- 2 曾乃林,刘全福,陈宏志.CZG型船用组合锅炉传热试验研究报告.1986,3

Development of a Marine Packaged Fuel Oil-Waste Gas Fired Boiler

Zeng Nailin

(Diesel Engine Research Institute Under CSSC)

Abstract

In an effort to save energy resources, the author has developed a fuel Oil-waste gas fired boiler for HD-B & W 5L35MC marine diesel engine. Structural strength simulation test of the boiler furnace, heat transfer and resistance simulation test in a hot air wind tunnel as well as platform and land-based evaluation test were conducted for the newly-designed boiler. The said auxiliary boiler has the following merits: small space requirement, cost-effectiveness and easy management, etc. With an annual oil saving of 500 tons this type of boiler has been installed on 5000-ton passenger cargo vessels. It can also be employed as an industrial boiler for use in oil fields and guest houses.

Key words: Waste-heat boiler, study, design