

关于船用锅炉的尺寸重量特性

龚三省 (海军工程学院)

〔摘要〕 针对船用锅炉的特点,论述了炉膛高温辐射传热的有效性,在一定条件下,船用锅炉炉膛的尺寸有所增加,而受热面的重量反而可以减少。

关键词 船用锅炉 炉膛 尺寸重量 炉膛出口烟气温度

尺寸和重量是锅炉主要的两大性能指标,二者关系密切。一般情况,尺寸庞大的设备,其重量也大,船用锅炉(尤其舰用锅炉)总是力争减少这一重要指标。

例如船用锅炉尺寸的大小首先取决于炉膛的尺寸。炉膛的沿革从耶罗式水管锅炉一直到近代的辐射式锅炉(MR型),至此有了显著的变化。原来耶罗式水管锅炉的梯形断面炉膛要装备很多耐火砖,这些重量虽不是产汽元件,但,是不可缺少的元件。苏联船用锅炉利用了圆筒形断面的炉膛,去掉了炉底。近年来,我们曾尝试采用耐火纤维砖来替代普通的耐火砖(其比重可由1.8降到0.2—0.3),而且还会带来许多好处(如升汽快;保温性能好,可延长加汽间隔时间;锅炉工作时散热少,提高炉温,有利于燃烧,既节省油料又改善炉舱工作条件)。虽然耐火纤维砖费用高,但抗热冲击性能远比普通耐火砖好,可节省日常运行中耐火砖的维修费用,值得大力推广。早现50年代,苏联舰用锅炉采用圆筒形炉膛已省去了炉底,其炉膛烟气出口温度仍高达1600℃左右,这样从锅炉尺寸特性来看是有益的。然而必须看到从烟气高温区的对流传热,尽管在同样的结构下,对流受热面按 $\pi \cdot d \cdot L$ 计算,而辐射受热面按投影面积来计算只有 $d \cdot L$,

这里 d 是管子外径, L 是管长。两者相比,增大对流特性就不一定是到合理的。

因为辐射传热与炉内温度绝对值的四次方成正比,说明高温时辐射受热面之有效。然而随着温度的下降,辐射受热面所传的热量将迅速减少。如果单纯追求缩小炉膛尺寸(当然是要求炉内能保证燃烬雾化油滴为前提的),提高炉膛出口烟气温度,这样,对流传热区域尽管受热面积增大 π 倍,其传热反不如辐射传热效果好。或者说,应该在炉内充分吸收的辐射热量未能达到目的,烟气进入了对流管束反而降低了吸热量。

英国福斯特惠勒工厂所生产的ESD—I型锅炉发展到现在的ESDⅢ型锅炉,其炉膛尺寸逐渐增加(见表1),炉膛出口烟气温度逐渐下降。

表1 福斯特惠勒厂ESD各型锅炉特征^{〔1〕}

特 性	ESD—I	ESD—II	ESD—III
蒸汽产量t/h	34	34	45
过热蒸汽温度℃	450	450	510
工作压力 MPa	4.10	4.10	6.35
给水温度 ℃	115	115	140
排烟温度 ℃	154	154	172
受热面相对面积%			
水冷壁	3.8	3.7	9.0
蒸发管束	7.6	5.37	4.5
经济器	54.8	53.4	57.5

收稿日期 1991-01-15

本文联系人 龚三省 男 65 武汉 430033

特 性	ESD-I	ESD-II	ESD-III
蒸汽过热器	12.8	14.32	13.5
空气预热器	21.0	20.6	15.5
炉膛容积 m^3	23.5	23.5	46
辐射受热面积 m^2	31.6	31.6	96

如果按苏联船用锅炉炉内热计算的经验公式可知:

炉膛受热面的吸热率为

$$q_{\text{辐}} = 4.17 \times 4.186 \left[\left(\frac{T_{\text{出炉}}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_{\text{壁}}}{100} \right)^4 \right] \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \quad (1)$$

一般 $T_{\text{壁}}$ 只有 300°C (573K)左右,相对比较低,所以也可以认为

$$q_{\text{辐}} = 4.17 \times 4.186 \left(\frac{T_{\text{出炉}}}{100} \right)^4 \text{ kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \quad (2)$$

如果 $T_{\text{出炉}} = 1400 + 273 = 1673\text{K}$, $q_{\text{辐}} = 4.17 \times (16.73)^4 = 0.3267 \times 10^6 \text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) = 1.3678 \times 10^6 \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。近炉第一列对流管束的总传热系数设为 $K = 60 \text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C}) = 251.2 \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{C})$, 则近炉对流管束第一列管的对流吸热率为

$$q_{\text{对}} = K \Delta t = 251.2 \times (1400 - 200) = 0.301 \times 10^6 \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \quad (3)$$

即使计及受热面积要大 π 倍,得

$$q_{\text{对}}' = \pi q_{\text{对}} = 0.301 \pi \times 10^6 = 0.946 \times 10^6 \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) \quad (4)$$

$q_{\text{对}}'$ 与 $q_{\text{辐}}$ 两者相比,显然辐射受热面积有效得多。这就要求充分利用炉膛受热面积,大幅度地增加炉膛的水冷度,因而膜式水冷壁的兴起决不是偶然的。当然用膜式水冷壁还可以使炉膛部分双层外壳改成单层外壳,节省大量耐火材料的重量。

目前较新式的船用锅炉水冷度已达到92%以上,甚至因为锅炉参数的提高,汽化热所需的热量相应减少,以至干脆不用对流管束出现所谓全辐射式受热面的MR型锅炉。从对此计算来看,炉膛出口烟气温度保持 1180°C 是适宜的。此时 $q_{\text{辐}} = 4.17 \times (14.53)^4 = 0.1859 \times 10^6 \text{kcal}/(\text{m}^2 \cdot \text{h}) = 0.7783 \times 10^6 \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$, 而 $q_{\text{对}}' = 251.2 (1180 - 200) \pi = 0.7734 \times 10^6 \text{kJ}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$ 。如果炉膛出口烟气温度高于 1180°C ,则在总的吸热量要求不变条件下,炉膛辐射受热面积就显得不足,没有充分利用炉膛辐射传热的优势,相对的对流受热面要增多,这样锅炉的重量就会增加。因此,在锅炉尺寸特性上有所得益,而在重量特性方面反而不见得有利。要想扩展辐射受热面积 $H_{\text{辐}}$,可以说它是和定性尺寸 l 的平方成正比,但是炉膛的容积 $V_{\text{炉}}$ (决定锅炉体积大小的基本因素)却与定性尺寸 l 的平方成正比。所以,体积的增加要比辐射受热面积的增加快,这从表1中的数据可以看出。

但是实际上主锅炉炉膛出口烟气温度一般取得比 1180°C 要高些。例如ESD-III型锅炉的炉膛出口烟气温度取为 1374°C ,这是因为还要计及部分负荷的炉膛出口烟气温度不宜过低,否则会对燃烧完全性不利。当然取得过高,将会多耗金属;取得过低,锅炉尺寸会增加过大,且可能导致炉温太低影响燃烧完全。

参 考 文 献

- 1 James H Milton, Roy M Leach. Marine steam boilers. Butterworths, 1980

(孙显辉 编辑)

On the Dimensions and Weight Characteristics of Marine Boilers

Gong Sanxing

(Navy Engineering Academy)

Abstract

Taking account of the special features of marine boilers, this paper has discussed the effectiveness of high-temperature radiation heat transfer in a boiler furnace. The author has found that under certain conditions there exists a possible weight reduction of heating surfaces even with an increase in boiler furnace volume.

Key words: *marine boiler, boiler furnace, dimensions, weight, flue gas temperature at furnace outlet*

{ ~ ~ ~ }
{ 简讯 }
{ ~ ~ ~ }

LM6000型燃气轮机销售信息

据“Gas Turbine World”1990年11—12月号报道,美国CE公司1990年11月初通报,该公司的电力生产部门将在全世界销售用于电力生产的LM6000型燃气轮机。设计并销售第一套LM6000型燃气轮发电机组箱装体的Stewart & Stevenson公司将成为GE销售的全部LM6000型发电设备唯一的配套者和供应者。GE公司将负责售后服务。

S&S公司将满足对迄今为止已销售的全部LM6000的承诺并将对其销售和服务直接负责。已经确信,在1992—1993年内S&S公司将把已订购的39台LM6000型燃气轮发电机组箱装体交付给用户。LM6000型燃气轮机在ISO条件下燃用天然气时的额定输出功率为42.4 MW,热耗为8 757 kJ/(kW·h),简单循环的热效率约为41%。

高效率的燃蒸联合循环电站

据“Gas Turbine World”1990年11—12月号报道,Stewart & Stevenson公司对于以新型LM6000燃气轮机作为基本负荷发动机的单发动机和双发动机联合循环成套设备的技术规范表明,在ISO条件下基本负荷热效率,单燃气轮机联合循环为53.3%,双燃气轮机联合循环为53.7%。其相应的热耗分别为6 750kJ/(kW·h)和6 700kJ/(kW·h)。单燃气轮机成套设备基本负荷输出功率为54.1 MW,其中燃气轮机功率为42.1 MW,利用燃气轮机排气,不燃烧的余热锅炉产生蒸汽,驱动12 MW的汽轮发电机。

双燃气轮机成套设备是2+1动力装置设计,ISO条件下的额定功率为108.8 MW,其中燃气轮机功率为84.2 MW,一台汽轮机提供24.6 MW。

(吉桂明 供稿)