

关于舰船锅炉的改进趋向

龚三省

(武汉海军工程学院)

[提要] 本文根据英美各国在舰用锅炉方面的结构特点,提出今后我国如果独立设计舰用锅炉可以借鉴的几个方面。过去所袭用的苏联五十年代产品有其可取的一面,但由于三十年来船用锅炉的改进(尤其是工艺上的改革),看来设计还应提高一步。

主题词 船用锅炉 改进

从我国国情看,至少近十年到十五年内还不可能在大型舰船上实现燃气化。到目前为止国外航海除用核动力外,还是以蒸汽动力为主。汽轮机装置单轴功率可达55.2MW,这是目前燃气轮机所不能比拟的。英国六十年代曾宣布舰船动力全燃气化,至八十年代初期却认为这是一种失误,承认搞单一动力政策决非所宜。还发表不少论文论述新型汽力装置用于舰船的可能性。结合我国国情由于电力工业的发展,200MW汽轮机组已研制成熟。所以,如果要在2000年以前建造大型舰艇,其动力装置的选用,还应以蒸汽动力为主要方案。

作为船舶推进的汽力装置,锅炉是其主要能源设备。三十多年来船用锅炉也在不断发展。本文拟对目前国外船用锅炉方面的一些改进作一扼要介绍。以免继续袭用苏联五十年代的产品作为蓝本。具体的改进有下列几个方面:

一、炉膛容积热负荷 q_v (kw/m^3)出现下降趋势

五十年代设计的舰用锅炉 q_v 值达到 $(5\sim 6)\times 10^6/\text{m}^3\text{h}$ 。其后果是炉膛出口烟气温度高达 1600°C 左右,并使燃烧设备的布置带来困难。而且由于炉膛出口烟气温度太高,没有充分发挥炉膛辐射吸热的作用,对重量尺寸反而不利。尽管辐射受热面和管径 d 成正比,而对流受热面要比它大 π 倍,可是辐射吸热量却和炉内平均温度四次方成正比。即使炉膛排烟温度达到 1200°C ,也还是辐射传热较为强烈。因此,新型船用锅炉一方面积极提高炉膛水冷程度,充分发挥辐射传热作用,而另一方面则力图减轻非直接产汽部分(如耐火砖壁)的重量。例如,英国Forster Wheeler工厂的ESD型系列锅炉。从单纯D型的炉膛容积 40m^3 ;辐射受热面积 46.5m^2 ,先是减少到ESD I和ESD II型的 23.5m^3

本文收到日期:1987年9月8日

和 31.6m^2 。之后的 ESD III型却又相应地提高到 46m^3 和 66m^2 ，当结果是 ESD III型蒸汽量比前者增加 11t/h 。

随着炉膛和辐射受热面的增大，降低了辐射受热面的吸热率，提高其工作可靠性，同时还使火焰离受热面的距离加大，减少了受热面结焦的可能性。

二、采用膜式水冷壁提高炉膛水冷度

一开始，用膜式水冷壁提高炉膛水冷度的措施在船用锅炉上仅仅用于炉底，以替代耐火砖，防止熔渣渗入。现在膜式水冷壁的采用，可以明显减少水冷壁集箱上手孔的数目，早期船用水管锅炉上的水冷壁采用密管子排列。管距为 $S = d_w + c(\text{mm})$ 。这里 d_w 为管子外径， c 为安装间隙。这些管子在集箱和筒身上的连接用胀接，所以近筒身处就得将一错成两列。对于小直径的集箱，需要开设相应数目的手孔才能胀接。现在改用膜式水冷壁，直接焊在集箱上的短接管上即可。炉膛采用膜式水冷壁，气密性好，可以省去水冷壁后的耐火砖衬，而只需贴敷一层绝热层。此外，这种结构还能显著提高水管的刚性。

采用膜式水冷壁也带来一些不便，一旦发生爆管不易进行堵管，这就要求提高水质，以防止结垢、腐蚀等引起爆管事故。

三、采用相应的燃烧设备

过代从单个喷油量大而数目少，发展为采用大量小喷油器，其目的是为了提提高炉膛容积热负荷，充分利用炉膛空间，雾化油滴在炉内停留时间的缩短，就要求增加雾化细度，小喷油器在这方面显然比大喷油器有利。五十年代的燃烧技术水平只能采用多个宽而短火焰的离心式喷油器。六十年代以来，平流式配风器、蒸汽离心式喷油器以及“Y”型喷油器的出现，拉长了燃烧火炬，就要求油滴在炉膛内有足够的行程，以保证雾化油滴能充分完全燃烧。因此又回到采用大容量的喷油器。以便克服采用多个小容量喷油器使燃烧系统复杂化的弊端。现在广泛采用顶燃式，将燃烧设备布置在炉膛顶部。它比起前壁、前后壁、或侧壁燃烧在受热面同样热负荷下有利于提高单个喷油器的喷油量。图1为平流式配风器的特性，将85%的助燃空气直接输入火焰，使火焰后面还有相应的扰动，实现低氧燃烧。比五十年代常用的离心式喷油器加上旋流式配风器，能使 α 从 $1.1\sim 1.2$ 下降到 1.05 甚至 1.03 ，效果十分显著，首先是提

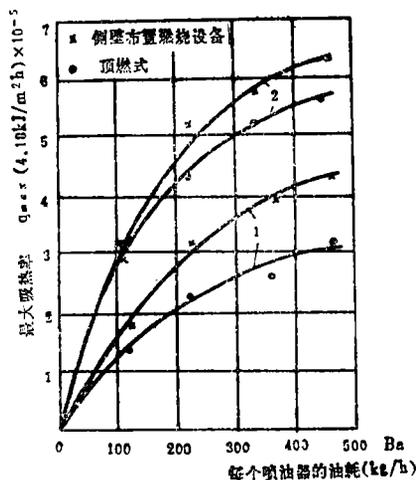


图1 顶燃式和侧壁布置燃烧设备时油耗和炉内吸热率关系曲线
1. 接通一个喷油器 2. 接通三个喷油器

高炉膛和高温烟气区域的平均温度，增强传热。其次是有利于提高锅炉效率。其三是节省风机功率从而提高整个装置的效率。

当然，采用顶燃式也有其不利之处，例如，点火前的扫气工作。这就要在锅炉设计中保证能使炉膛顶部可燃气体充分排除，以免发生冷爆现象。

旋转油环式喷油器和超声雾化喷油器也常有采用。前者省水、噪音小、可调性好，但结构复杂，维护保养要求高；后者雾化细，结构简单，比单纯蒸汽雾化省水，可是噪音大，谐振器易结焦。它们总的优点是雾化细、调节幅度大，适用于船舶锅炉。

四、受热面的布置

七十年代以来由于蒸汽参数的提高，蒸发所需热量（即汽化热）相对减少，经济器和过热器的吸热量相对增加。因此，在Babcock & Wilcox工厂采用所谓MR型(Marine Rdiant)锅炉，Forster Wheeler工厂的ESD IV型锅炉、嗣后苏联的KB-80/80型锅炉基本式样都类似，见图2。

这种锅炉也可称作竖井式锅炉，系顶燃式炉膛，全水冷壁。利用中间水冷壁下端叉开管列形成垂采管，烟气通过它进入与炉膛并列的对流通道。蒸发受热面由炉膛辐射受热面和对流通道内的周围水冷壁组成。过热器和经济器则用蛇形管组成。一般沿烟气流程首先是过热器的第一段，然后是第二段。两段之间可接上减温器，以便控制过热蒸汽温度。之后是中间过热器（如果有的话）、经济器和空气预热器等。两段过热器的第一段用顺流，第二段用逆流，可以降低过热器受热面材料温度，又不致使温压过低。

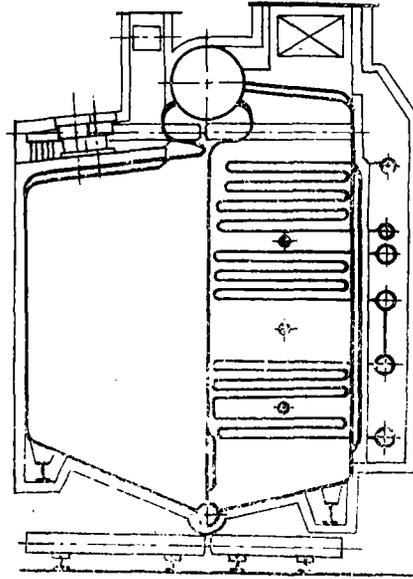


图2 竖井式锅炉

过热器采用蛇形管结构，横向插入烟气流通道。尽管小弯头数目要增多，但可以减轻高温下管子挠度，便于支撑固定。

经济器布置于烟气低温区域。受热面通常为环状肋片管式、棘状管等扩展式受热面，而螺旋肋片管式在辅锅炉上用得较普遍。鳍片式管也常采用，至于膜式鳍片管未见采用，因为船上条件所限，不易修理或更换。

锅炉各受热面设置有吹灰器。停炉渣渣时尚可利用吹灰器作为压力水流的喷淋设备。锅炉在主要部位还留出进入检查、维修的空间。

受热面管子和集箱、筒身的连接尽可能采用焊接短管接头。这在过热器中尤为重要，可以避免胀接在高温下发生松弛现象。

由于炉膛容积与定性尺寸是立方关系，而受热面积仅仅成平方关系，所以对蒸汽产量较大锅炉，其尺寸就较大，只能装于大型船舶。美国 Combustion Eng'g 公司的

V2M9型锅炉(见图3)设计成沉降炉膛,结构上有所创新。它不仅利用大炉膛的空间,而且缩短了对流管束的高度,有利于提高烟气流速,强化对流传热,并减少烟气流线以外的受热面积。其燃烧设备采用切向布置。燃烧器布置在炉膛四角,喷出的火焰中心线相切于直径为0.6m的圆,使炉内形成整个螺旋圈式的上升火焰,这也是一种增加雾化油滴行程的办法,而且也加强火焰的扰动。据介绍其空气过剩系数 α 可以低到1.03。对于尺寸限制较严的舰艇,在不能采用大炉膛锅炉时,可以采用Forster Wheeler的DSD型(Double Superheater D)和Babcock & Wilcox的M21型锅炉。它们属于高度上有限制的发展型D型锅炉。其蒸汽产量可达到147~115t/h,参数为6.1~8.3MPa, 516~538℃,两台炉就足够满足单轴36.8~44.13MW(5000~6000马力)的主机之需。这种锅炉的特点是顶燃式,全水冷炉膛。因炉膛尺寸受限制,所以有一定数量的对流蒸发管束。其过热器置于进炉三列水管之后,以求得较平稳的过热蒸汽温度特性,图4为M21型锅炉。

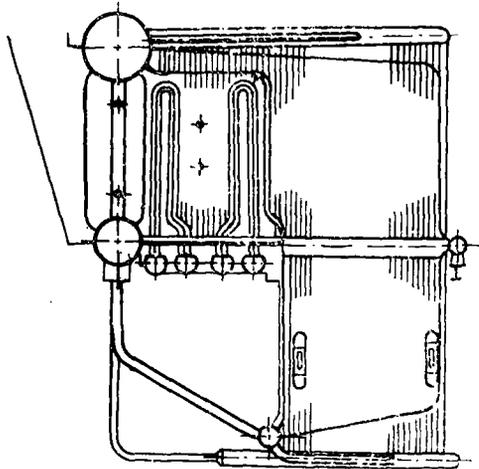


图3 V2M9型锅炉

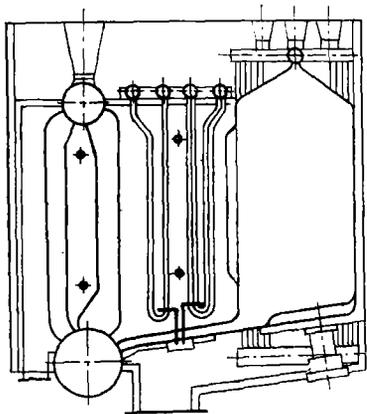


图4 Babcock & Wilcox的M21型锅炉

五、过热器的布置问题

五十年代的船用锅炉大都采用外部立式或是内部卧式过热器。前者主要用于低参数的锅炉上;后者常用于负荷变化幅度较大的舰船锅炉上。也有因为卧式过热器不易排干而不得不用内部立式过热器。可是这给对流受热面的布置带来不少麻烦。往往要用两个水管。如苏联的KBГ-25型锅炉,布置上显得不够紧凑。现在新型锅炉过热器除用蛇形管单独布置在对流通道中外(如MR型),在发展型D型锅炉中,虽然也用内部立式,但却用双集箱式,过热器分成几段,每段受热面减少,毋需大直径的集箱。同时,根据运行经验,过热器受热面外侧积灰较严重,因此将管子布置成顺列,加大管距,利用焊接代替胀接,使集箱尺寸明显缩小。采用两个集箱,加上焊接管头对开孔的加强作用,两个集箱的重量还是比一个胀接用的筒身(内直径至少450mm以上)要轻得多。利用单环管式比起苏联KB-76型锅炉可省去一个上部集箱。立式过热器的最大优点是便于排干,

对停用时保养、防止过热器管内部腐蚀起决定作用。

过热器的布置往往与过蒸汽温度的调节有关、以往过热器为了避免低负荷时过热蒸汽温度下降太多,就尽可能布置于高烟温区,但还不能作到过热蒸汽温度保持不变。于是出现各种实现调节的方法:

1. 过热器分段布置

第一段置于高烟温区,第二段置于低烟温区、两段之间加入一个表面式减温器。控制流经减温器的蒸汽量,混合旁通蒸汽量,以达到调节过热蒸汽温度的目的。但这种方式引汽管较多。在M21和DSD型锅炉中就是如此。

2. 利用过热蒸汽加热空气预热器作为减温器

在ESD I型锅炉中曾采用过。显然这不太理想,因为减温器尺寸太大。

3. 两段过热器之间安装注射式减温器

其结构简单,但对水质要求比给水高得多,否则会引起汽轮机汽流通道中积聚盐垢。

4. 利用兼用烟道式。

这在以往国外舰船锅炉上用得较多。一方面过热器可以靠近炉膛布置,另一方面可在受热面后装设档烟板,利用其开度来调节烟气量,从而调节过热蒸汽温度。但是档烟板可靠性差,苏联KB—76型锅炉采用兼用烟道式,过热器布置在近炉膛七列管之后,未用烟气档板控制烟气流量。锅炉负荷从100%下降到25%时过热蒸汽温度下降85℃以上。这种布置方式还带来检修中间破管的困难。有时不得不拆去一定数量的管子才能更换已损坏的管子。

在竖井式锅炉中也有将对流烟气通道再用中间水冷壁将它分隔为前后两个通道的。控制两个通道出口处的烟气档板来调节过热蒸汽温度。这对装有中间过热器时尤常采用。

5. 采用双炉膛锅炉

将炉膛分隔成主、辅两个。其中主炉膛(也称内炉膛)为保证锅炉一定的蒸汽产生量,而辅炉膛(也称外炉膛)燃烧设备较少,只是在要求保证过热蒸汽温度时才使用。尽管辐射对流式过热器可在变工况下保持过热蒸汽温度不变,但在高参数锅炉中难以采用。到目前为止高温合金奥氏体钢材作为过热器受热面也不宜超过700℃,何况在点火升汽阶段,需要用外界汽源来冷却受热面。这都增加了系统的复杂性。美国海军动力主锅炉规范中建议不采用辐射式过热器。所以双炉膛锅炉也只能利用小容量喷油器点燃于辅炉膛,而辅炉膛采用全水冷,过热器却是远离燃烧设备的。这种主辅炉膛结构对保证良好燃烧不利。

六、从整个动力装置来看大型船用锅炉已趋向采用中间过热蒸汽

例如, *Babcock & Wilcox* 生产的 *MRR* 型 (*Marine Radiant Reheater*) *Forster wheeler* 的 *ESDR* 型、川崎的 *UFR* 和 *UTR* 型等锅炉都采用中间过热蒸汽。据介绍在主机为 14.78MW (20000 马力) 时可节油 6~7%。在一般远途港口间的大型油轮和定期班轮都装有中间过热器, 将高压汽轮机的排汽再次加热后送入中压或低压汽轮机作功。中间过热器通常置于对流通道之中。这类中间过热器的设计要计及主机倒车等无汽通入工况如何保证冷却问题。办法是或利用烟气档板控制烟气量, 或通入助燃空气加以冷却等等。但在舰用锅炉上恐难适用, 因为它增加装置的复杂性, 降低其工作可靠性。尺寸上它也不利于布置。

七、经济器从布置来看鳍片式最紧凑

环片 (尤其用硅铝合金作环片时) 宜装在烟气温度较低区域, 但难于清除受热面积灰。尽管安装吹灰器, 也难以 100% 都吹到。两组经济器中间应留出便于清洁检修的空间。有的采用棘状管。

空气预热器在民用船舶锅炉上为了追求高效率才采用, 一般热效率可达 93% 左右。烟气式空气预热器受热面两侧介质都是气体, 体积庞大。从提高装置热效率出发, 也有利用主机抽汽加热助燃空气的蒸汽式空气预热器。现在国外趋向于采用再生式回转空气预热器, 利用烟气通过低速旋转的蓄热器, 旋转速度为 3~8r/min。蓄热器用重叠的波形板做成, 烟气流经其一半时将其加热, 当它转过半圈后进入空气侧, 则将热量传给空气。这种空气预热器的优点是紧凑、重量轻, 但是转动要有间隙, 就不可能消除漏泄。一般有 10% 以上空气漏入烟道。

八、锅炉自动控制技术具有飞跃改进

在燃烧、给水、加药处理锅水等各方面都有了自动处理设备, 包括自动报警、紧急情况自动熄火等等。这里不再作更多的介绍。

综上所述, 船用锅炉改进的新趋向为:

1. 采用顶燃式低氧燃烧的大容量新型燃烧设备;
2. 膜式水冷壁的全水冷炉膛, 甚至对流的烟气通道亦用膜式水冷壁全冷;
3. 管子和筒身、集箱的连接用焊接替代过去惯用的胀接;
4. 用高压水流受热面代替过去的人工清洗;
5. 调节过热蒸汽温度采用简便可靠的方法;
6. 一般船用锅炉趋向于用竖井式, 舰艇锅炉宜采用 *DSD* 或 *M21* 型;
7. 自动化程度不断提高, 实施无人炉舱和驾驶台操纵。

结合我国情况, 上述几点并非高不可攀, 只要下定决心充分利用陆用电站锅炉生产

经验,关键性设备搞些技术引进,用不到五~八年就可以拿出比较理想的产品,肯定比单一燃气的推进动力要快得多。另外,不应墨守陈规沿袭五十年代苏联模式,而应搞出具有当代水平的产品。

参 考 文 献

[1] James H. Milton, Roy M. Leach. "Marine Steam Boilers", 1981

On Trends in Marine Boiler Improvement

Gong Sansheng

(Wuhan Naval Engineering Institute)

Abstract

On the basis of the structural characteristics of marine boilers of US, UK and other countries, the author focuses on some aspects of boiler design which can be used to our advantage when tackling marine boiler design on our own. Though Soviet boilers of the 50's we once used have their strong points, in view of marine boiler developments during the last 30 years, there exists the possibility of going a step further in refining our design especially in manufacturing technology.

Key words: marine boiler, improvement

新技术新产品信息

R88—20 RPY型燃烧器 阻力小,仅130~150毫米水柱,流速高,混合强烈,雾化粒度细。改造时不用更换风机等辅助设备。燃料适用范围广(原油、重油、渣油、天然气和高含蜡高粘度燃油),燃烧稳定,无烟燃烧调节范围大,调节比可达1:8。经济效益明显,可使锅炉效率提高4~6%,现已在100余台锅炉上使用,不到一个采暖期可收回全部改造费用。现有2t/h, 4t/h, 6t/h油炉燃烧器系列。并以承担用户特种要求设计专用燃

油、燃气燃烧器。

R88—21 SAT—25型双色水位表 是一种直读式新型水位表,颜色鲜明,界面清晰准确,视读简易。满水显全绿色,无水显全红色,红绿分界面即为水位线。运行人员能在远距离(60米)监视水位、可应用于锅炉和存贮器以监视水位。工作压力 $P \leq 25 \text{kgf/cm}^2$; 介质温度 $t \leq 225 \text{C}$, 影屏高度 200mm, 外形尺寸 $325 \times 120 \times 255$, 重量 14.8kg。1987年9月15日通过省级技术鉴定,达到国内同类产品水平。产品销售。

(如需以上技术请与本编辑部联系)