

# 国外工业锅炉和船舶锅炉

陈起铎 孙绍敬 林秉刚 李维根 (哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所)

**〔提要〕**本文论述国外工业锅炉和船舶锅炉的发展情况。介绍国外在提高锅炉容量和蒸汽参数、改进锅炉结构型式、改善锅炉效率、完善燃烧设备以及采用先进自控系统等方面的技术成就。

**主题词** 工业锅炉 船舶锅炉

## 一、前言

锅炉工业在世界各主要工业国家中,都占有重要的位置。其历史悠久,经久不衰,技术水平随着近代科学技术的发展而不断发展和提高。

工业锅炉是锅炉工业的重要组成部分,是生产上和生活上不可缺少的热动力设备。近年来,国外工业锅炉发展很快,在锅炉结构性能、锅炉效率、金属耗量、燃烧技术、环境保护和自动控制等方面,都达到较高水平。

船舶锅炉是船舶蒸汽动力装置主要的能源设备。国外船舶蒸汽动力一直在积极发展中,新型船舶锅炉不断涌现,技术水平日益提高。日本至今仍强调以蒸汽动力为主。美苏则坚持蒸燃同时并举,而一度推行燃气政策的英国,也已承认单一动力政策决非所宜。显然,船舶蒸汽动力至今仍具有强大生命力。根据我国国情,要在2000年以前建造大型军舰,其动力装置的选用,还是以蒸汽动力具有较大的现实性和竞争力。

工业锅炉和船舶锅炉虽然型式各异,但其发展方向却都不外乎是:提高锅炉容量和参数,改进锅炉结构型式,改善锅炉效率,完善燃烧设备,采用先进的自控系统等几个方面。

## 二、提高锅炉容量和参数

提高锅炉蒸汽初参数是提高整个动力装置循环效率的最有效途径。陆用锅炉和船用锅炉无不如此。目前,世界上电站锅炉最大容量达 $13 \times 10^5$ 千瓦,采用的超临界蒸汽参数达 $650^\circ\text{C}$ 和 $34.3\text{MPa}$  ( $350\text{kg/cm}^2$ ),蒸汽产量达 $4000\text{t/h}$ 。

工业锅炉也在不断提高蒸汽参数和走向大型化。随着集中供热和热电联供生产方式的推广应用,要求发展高中参数的大中容量工业锅炉,逐步取代小而分散的小型锅炉。这是提高热力系统循环效率,取得节能高效的根本途径。目前工业锅炉生产量最多的苏美日等国,平均单炉容量为 $5 \sim 14\text{t/h}$ ,并且生产 $400\text{t/h}$ 以上的高中压工业锅炉。而我国工业锅炉产量超过日本与苏美相当,却只局限于生产 $< 2.45\text{MPa}$  ( $25\text{kgf/cm}^2$ )和 $< 20\text{t/h}$ 的小型锅炉,而且70%以上为 $\leq 4\text{t/h}$ 的低压小容量锅炉,平均单炉容量不到 $2.5\text{t/h}$ ,远远落后于世界水平。

船舶锅炉蒸汽参数在稳定中提高。虽然船舶锅炉蒸汽参数的提高,受到设备费用增加和运行管理复杂的限制,但为力图降低动力装置总耗油率,蒸汽参数总的趋势还是在不断提

高。五十年代船舶蒸汽动力装置的标准参数为4.14MPa(42kgf/cm<sup>2</sup>)和454℃,六十年代提高到5.86MPa(60kgf/cm<sup>2</sup>)和510℃。七十年代,随着美国大批舰用锅炉的建造,将其蒸汽参数8.28MPa(84.5kgf/cm<sup>2</sup>)和510℃定为新的标准参数。据报导,美国此一标准参数的舰用机组,单机功率,35 000PS配用两台D型锅炉,总油耗率为243g/PS<sub>h</sub>,达到相当先进的水平,在舰用动力装置中,完全可以与燃气轮机装置相匹敌。直到八十年代,瑞典建造的商船蒸汽动力装置,其蒸汽参数更是提高到12.35MPa(126kgf/cm<sup>2</sup>)和600℃,单机功率27000PS,装置油耗率为175g/PS<sub>h</sub>,而日本的船舶锅炉,其参数也达到14.22MPa(145kgf/cm<sup>2</sup>)和545℃,蒸汽产量230t/h,单机功率80000PS,装置油耗下降到168.2g/PS<sub>h</sub>,达到前所未有的高水平。

### 三、改进锅炉结构型式

早期的锅炉多为火管锅炉和水火管锅炉结构。近代锅炉发展为水管锅炉结构。水管锅炉具有许多火管锅炉无法比拟的优越性:传热好,布置容易,重量尺寸小,锅炉效率高。因此,水管锅炉取代火管锅炉已成为近代锅炉结构型式必然的发展方向。

事实上,国外工业锅炉中,水管锅炉早就占居统治地位。美国工业锅炉大多是水管锅炉,锅筒内燃烧的回火管锅炉原创于美国,现已淘汰不用。苏联90%以上为水管锅炉。日本火管锅炉比例不到20%。我国水管锅炉只占总蒸吨数的30%,而有60%是水火管锅炉。水火管锅炉虽然具有制造容易,安装方便和成本较低的优点,但其锅炉效率、安全可靠性和受热面清灰条件等都远不如水管锅炉。现在我国已将研制新型高效水管锅炉系列列为国家重点科研项目,作为今后工业锅炉的发展方向。

提高工业锅炉整装化和组装化程度,也是国外工业锅炉努力追求的目标。苏联10t/h以下锅炉均可整装出厂,20~35t/h锅炉采用组装。美国一般在36t/h以下即可组装出厂。我国工业锅炉整装化程度较低,现在正从4t/h发展至6t/h和10t/h,逐步形成整装化的水管锅炉系列。

值得一提的是,在近代锅炉中,新型先进的炉膛膜式受热面结构,受到广泛的采用。这种结构具有增加辐射受热面,提高炉膛水冷度,减轻炉膛重量尺寸,减少材料费、安装费和维护管理费等一系列优点。

近代船舶锅炉的结构型式基本上可分为两大类,一类是苏联的圆形炉膛锅炉,另一类是美英日的D形炉膛锅炉。圆形炉膛锅炉的特点是:炉膛容积热负荷高,结构紧凑,重量尺寸小,采用双面燃烧的小容量燃烧器。D形炉膛锅炉的特点则是:辐射受热面发达,炉膛出口温度较低,过热器设计较为容易,多采用大容量燃烧器。两种锅炉特点不同,各有千秋。其共同的设计难点都在内置式过热器的设计上。圆形炉膛锅炉过热器的设计不但结构布置困难,而且由于锅炉炉膛出口温度高,对过热器管材的要求也相对较高;而传统的D形炉膛锅炉过热器多为卧式环管结构,其支撑吊挂比较困难,且残水不易放干。

近年来,船舶锅炉的结构型式不断发展创新。在传统的D形炉膛锅炉基础上,改进发展而成的改进型D形锅炉,能较好地克服内置式过热器的上述弊端。

#### 改进型D形锅炉具有以下特点:

1. 炉膛受热面采用膜式水冷壁结构。这不但对增加辐射受热面、提高炉膛水冷度和降低

炉膛出口烟气温度有利,而且对改善过热器工作条件、减少对流受热面和降低炉内烟气阻力也有利。

2. 内置式过热器采用立式环管结构。这是改进型D形炉膛独具的特点。其过热器结构简单,吊挂方便,制造容易,且水易放干。

3. 采用大容量燃烧器,并将其布置于锅炉顶墙或前墙。其优点是:在船舶变工况下,锅炉具有较小的过量空气系数;燃烧器数量少,燃油系统可以简化;便于燃烧自动控制。缺点是要求较高的风压。

美国改进型D形锅炉蒸汽产量为115~147t/h,参数为6.1~8.3MPa(62~84.5kgf/cm<sup>2</sup>),是近代先进的船舶锅炉型式。它对设计大型舰船主锅炉,很有参考借鉴价值。

#### 四、改善锅炉效率

锅炉产品是一次能源的最大用户。节能高效是评价锅炉产品的首要指标。提高锅炉产品的热效率,对工业锅炉和船舶锅炉都具有头等重要的意义。

国外先进工业锅炉的热效率一般为80~85%,而我国现有282个规格的工业锅炉,其平均设计效率仅为74.5%。两相对比,相差悬殊。

下表为ДКВ系列锅炉效率同我国JB2816—80《工业锅炉产品技术条件》规定指标的比较。

标准名称	锅炉容量 t/h	锅炉效率			
		烟煤	无烟煤	褐煤	油、气
苏联ДКВ	2.5~6.5	76~82	70~72	75~77	88~89
	10~20	83.5~85	70.6~80.3	77.2~80.2	90.6~92.7
	≤35	84.7~90.3	/	84~89.4	88.6~92.1
中国 JB2816—80	≤1	56~64	50~58	60	80
	2	70~72	54~60	66	80
	4~6	72~74	57~68	71	84
	≥10	74~78	60~73	75	85

由表中可看出,在相等容量和相当燃料品种的条件下,苏联锅炉效率指标约比我国规定的锅炉效率指标高5~10%。

国外先进工业锅炉之所以具有如此高的锅炉效率,关键在于其固体不完全燃烧热损失 $q_4$ 非常之低。其他各项热损失国内国外相差无几。

固体不完全燃烧热损失 $q_4$ ,由炉渣热损失 $q_4^{i,z}$ ,漏煤热损失 $q_4^{i,m}$ ,烟道灰热损失 $q_4^{i,h}$ 和飞灰热损失 $q_4^{i,f}$ 等所组成,其大小取决于燃料状况、燃烧设备和燃烧技术的优劣。燃油锅炉 $q_4=0$ ,先进的燃煤锅炉 $q_4$ 损失也很小。国外某燃煤工业锅炉,锅炉效率82.2%,其 $q_4^{i,z}=1.64%$ , $q_4^{i,m}=0.122%$ , $q_4^{i,h}=0.276%$ , $q_4$ 损失达到相当先进水平。

我国燃煤工业锅炉 $q_4$ 损失很大。据对近几年开发的50台0.5~20t/h工业锅炉调查,最大的 $q_4=21.7\sim26.7%$ ,最小的 $q_4=2.46\sim3.31%$ , $q_4$ 损失偏差很大。总的看来, $q_4$ 损失已成为我国燃煤锅炉最大的热损失。

国外先进工业锅炉的 $q_4$ 损失一般居于第二、第三位。例如英国罗比公司的一台燃煤锅

炉,其排烟损失 $q_2 = 14.5\%$ ,而 $q_4$ 损失却只有 $2.038\%$ 。

国外燃煤锅炉 $q_4$ 指标的先进,主要有两个原因。其一是燃煤通常要经过专门的筛分选配处理,使其成为颗粒度配比都有一定规格的商品煤,然后提供锅炉燃用,使锅炉的燃料状况趋于合理;其二是具有先进的燃烧设备和燃烧技术,确保锅炉燃烧情况良好。

现代船舶锅炉多为燃油锅炉。提高锅炉效率,对降低动力装置油耗率,增加船舶续航力和载货量,都有重要意义。由于其他各项热损失较小,船舶锅炉效率的高低主要决定于排烟热损失的大小,即表现在排烟温度上。对于不设置尾部受热面的锅炉,排烟温度降低的极限是蒸汽的饱和温度。进一步降低排烟温度就需要装设经济器或空气预热器,蒸汽参数愈高,经济器的作用就愈大。船舶锅炉全负荷的锅炉效率一般较低,要达到 $88\sim 90\%$ 的效率,必须同时装设经济器和空气预热器。经济器出口烟温降低的极限是锅炉给水温度。现代船舶锅炉标准给水温度为 $119^\circ\text{C}$ 。在更高的给水温度条件下,例如在 $149\sim 232^\circ\text{C}$ 下,装设空气预热器就很有必要。对装有管式空气预热器的锅炉,其排烟温度通常为 $143\sim 160^\circ\text{C}$ ,锅炉效率达到 $88\sim 88.5\%$ ;对装有回转式空气预热器的锅炉,排烟温度可降至 $116\sim 127^\circ\text{C}$ ,而锅炉效率达到 $89.5\sim 90\%$ 。此时,排烟温度的降低主要是受到烟气低温腐蚀的限制。

船舶锅炉要求较小的重量尺寸,一般只装经济器。苏联舰用KBT57锅炉( $52\text{t/h}$ , $28\text{kgf/cm}^2$ 和 $370^\circ\text{C}$ , $10\ 000$ 马力)和KBT76锅炉( $76\text{t/h}$ , $64\text{kgf/cm}^2$ 和 $450^\circ\text{C}$ , $18\ 000$ 马力)都是如此。

但现代舰用锅炉要求重量尺寸和经济指标二者兼具,否则便难于同其他型式动力相竞争。为此,现代舰用锅炉全负荷工况锅炉效率应在 $78\%$ 以上,而巡航工况则应达到 $88\sim 90\%$ 。

商船锅炉经济性指标更加重要,因此通常是经济器和空气预热器同时装用,力求提高锅炉效率。六十年代在典型蒸汽参数为 $5.86\text{MPa}$  ( $60\text{kgf/cm}^2$ )和 $510^\circ\text{C}$ 的舰用锅炉上,普遍装设空气预热器,排烟温度降到 $110^\circ\text{C}$ ,锅炉效率提高到 $90\sim 91\%$ 的高水平。由于易腐蚀、难吹灰等原因,管式空气预热器已不常用,而更多采用的是回转式空气预热器。

## 五、完善各种燃烧设备

工业锅炉的燃烧设备多种多样。有链条炉排、往复炉排、振动炉排、下饲炉排、固定炉排、双层炉排等层状燃烧炉排;有悬浮燃烧的煤粉炉和沸腾炉燃烧设备;有悬浮燃烧和层状燃烧相结合的抛煤机链条炉排燃烧设备;还有油炉和气炉的燃烧设备;等等。特点各有千秋,用途各有不同。

链条炉排是工业锅炉应用最广泛的燃烧设备。这种炉排的炉膛常设置有前后拱或二者之一,利用拱反射热给煤层加热改善燃烧。前拱同时起烟气紊流作用,使大量挥发气体与空气混合,避免不完全燃烧。1954年美国在链条炉排上喷射二次风,有利于挥发物的燃烧。早期的链条炉排沿炉排底部只用一个风室统一送风,燃烧情况不佳。美国后来改进为将炉排分隔为若干个分室,采用分段送风。经此改进,风量可以按需分配,燃烧情况大为改观,煤种适应范围大为扩大。目前我国正抓紧配风调风的试验研究。

抛煤机链条炉排在我国并不引人注目,但在美国却认为它比单纯的链条炉排更为优越。当烟气排尘量限制不严时,链条炉排因飞灰携带量少,配上简单的除尘器即可。而当烟气排尘量要求严格时,则宁可采用抛煤机链条炉排配以先进的除尘器(如电式除尘器或布袋式除

尘器)。因为后者具有炉排宽度小、不必设置点火拱以及变负荷性能良好等优点。同时,抛煤机链条炉排还可用来燃烧各种固体废物燃料。工厂废物、市政垃圾、木屑、树皮以及其他各种燃料,都可单独或与煤混合在这种燃烧设备上成功燃烧。此外,同其他燃烧设备相比,此型炉排尚有投资少、耗电小的特点。

振动炉排是国外风靡一时的另一种先进的工业锅炉燃烧设备。它是为了减轻固定炉排拔火劳动强度而发展起来的一种层燃机械炉排。西德斯坦谬公司的水冷振动炉排技术居世界领先地位,曾先后向美国、日本、土耳其等国出售过专利。我国郑州锅炉厂正在引进该公司的振动炉排锅炉。

振动炉排有空冷和水冷之别。空冷振动炉排一则由于炉排通风截面的限制,空气冷却效果不佳,再则由于炉排本身不移动,煤在炉排上跳跃前进,它既不象固定炉排那样有灰渣层的保护,也不如链条炉排那样能得到周期性冷却,因此往往因为炉排冷却条件恶化而破坏正常燃烧情况。水冷振动炉排则不同。它设计成水冷管屏炉排结构,水冷管屏管内通以锅水,不但使炉排得到充分冷却,而且使炉排成为锅炉受热面的组成部分,提高了锅炉蒸汽产量。水冷管屏的前后集箱分别用上升管和下降管与上锅筒相连接,振动源使水冷管屏炉排产生间隙性振动,从而保证振动炉排安全可靠工作,实现燃料的完全燃烧。

国外经验表明,振动炉排燃烧技术已经完全成熟。它历经五十年的发展完善,从带有铸铁炉排片的炉排结构,改进为先进的水冷管屏炉排,废弃了铸铁炉排片,从根本上解决了振动炉排的共振、偏振、停滞、倒跑、漏风、飞灰严重、噪声大、调试困难等一系列弊端,特别是解决了振动炉排经常烧损这一致命缺陷,已经成为一种结构简单、重量轻、效率高、成本低、飞灰量少、维护简单、调节比大(10:1)的先进燃烧设备。美国从西德引进后,运行效果很好。我国正在总结经验,抓紧这一燃烧设备的研制。

往复炉排在外国工业锅炉中,其地位并不那么突出,但在我国却是仅次于链条炉排的第二位燃烧设备。它是适应燃用低质煤需要而发展的。因其排烟含尘量低、结构简单、操作方便、燃料适应性广,而获得广泛应用。运行中一直存在高温区炉排烧损和漏煤两大难题。国外采用耐热铸铁炉排片,解决了炉排烧损问题。如丹麦采用Cr 0.72~1%耐热铸钢,捷克、波兰采用Cr15~30%高铬耐热铸铁,耐热性能和机械性能具佳,大大提高炉排寿命。我国主燃区炉排片采用中硅耐热铸铁和铝硅系球铁RQTSi-4.5,其耐热和机械性能尚好,取得成效。

下饲式炉排应用不多,但美国却做了不少研究工作。下饲式炉排把新煤送到正在燃烧着的煤层下部,自上而下燃烧。美国产品在结构上分水平式和重力式两种。水平式给煤从平行地面的煤槽进入炉膛,炉排设计成单槽或双槽;重力式给煤槽口有25°倾斜度,炉排为多槽式。

水平下饲炉排的给煤是用绞龙(容量较小)或用活塞(容量较大)将煤送至煤槽。煤充满煤槽后,被挤至煤槽上部,满出槽口,形成燃料床。空气通过煤槽的两侧风口和侧边炉排风孔送入。当煤槽内的煤向上移动时,热量从火床自上而下传递,使煤中析出的挥发物燃烧。之后,上移的新煤和正在燃烧的煤层接触着火,并逐渐取代原有煤层。煤移至设置于两侧的翻转炉排时,被完全燃烬,成为灰渣后翻落入灰坑。为防止冒黑烟,特别是在低负荷下,煤层上部火焰区需供以二次风。

重力下饲炉排的给煤是用重力将煤送至每个煤槽,并逐渐移至煤槽后部,从煤槽挤出。

任何下饲炉排对燃料的要求都不高,适于燃用多种煤,而水平式适于燃用易燃烟煤。煤灰的软化温度不宜太低,以免炉排结渣。煤层厚度不一,变化范围为200至600mm。

沸腾炉是近二十年来兴起的一种新型燃烧方式。沸腾床是用高压风机把空气从火床下面吹入,使床中保持沸腾状态。在向上空气流的作用下,煤的颗粒在床中悬浮燃烧,床中颗粒间互相滑动形成沸腾状或流态化。美国采用投入石灰石和煤混合燃烧的办法,在沸腾床内脱硫,降低 $\text{SO}_2$ 含量。美国还认为沸腾床温度以控制在 $870^\circ\text{C}$ 为宜,以能提高石灰石利用率,充分发挥其脱硫作用。为此,美国在沸腾床中布置有锅炉蒸发管或过热器管,借以带走床中燃料燃烧产生的热量,保持 $870^\circ\text{C}$ 温度。据报导,沸腾炉 $\text{SO}_2$ 和 $\text{NO}_x$ 等有害气体的排放指标,优于现有的任何一种燃烧设备。它适于燃用高碳煤和各种劣质煤。由于它对燃料要求不高,在燃烧各种废料方面,包括油页岩、石油焦、生物燃料等,有着十分光明的前景。

我国对沸腾炉的研究较早,主要用于燃烧劣质燃料,如煤矸石、石煤、褐煤、油页岩、劣质无烟煤等,并已取得成功经验,在此不加赘述。

船舶锅炉的燃烧设备,主要是燃油燃烧器。最初应用的是大喷油量的燃烧器。之后,随着锅炉参数容量的提高,为减小炉膛尺寸,提高炉膛容积热负荷,改而采用喷油量小而数量较多的燃烧器,以便提高雾化质量,减小雾化粒度,充分利用炉膛空间,缩短油滴停炉时间。五十年代苏联的船舶锅炉大多如此。六十年代以来,平流式调风器、蒸汽离心式喷燃器、Y型蒸汽喷燃器和大调节比机械回油喷燃器的出现,促使大容量燃烧器的重新采用。美国海军研制的机械回油喷燃器,油压在 $6.86\text{MPa}$  ( $70\text{kgf/cm}^2$ )下,喷油量达 $1800\text{kg/h}$ ,通过油压在 $1.96\sim 6.86\text{MPa}$  ( $20\sim 70\text{kgf/cm}^2$ )的变化。并调节回油压力,可以调节喷油量,使喷油量调节范围达到10:1甚至更大。大容量燃烧器适于D形炉膛锅炉使用。它可布置于锅炉顶墙或前墙。其优点是:一,在各种工况下,特别是在低负荷下具有较小的过量空气系数,因而具有良好的经济性。如采用平流式配风器,还可以实现低氧燃烧,将过量空气系数降低到1.05甚至1.03。二,燃烧器数量少,燃油系统大为简化,运行管理和检查修理都比较方便。三,便于实现燃烧自动控制。其缺点是要求较高的风压。

蒸汽式喷燃器具有结构简单、制造容易、雾化良好、调节范围大、维护管理方便等一系列优点,只是因其需要高达5%喷油量的蒸汽耗量,耗水量大,不利于在船舶锅炉上使用。

旋转油杯式喷燃器和超声雾化喷燃器在国外应用甚多。前者省汽、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、比蒸汽喷燃器省汽,但噪音大,谐振器易结焦。其共同优点是雾化良好,调节幅度大,比较适用于船舶锅炉。

## 六、采用先进的自控系统

国外先进的工业锅炉,普遍具有先进的自控仪表设备,自控水平很高。水位自动报警和水位自动调节,早就普遍采用,并且一般都配有燃烧工况检测仪表,对燃烧进行自动或半自动调节,微机处理,数量控制。采用燃烧自动控制可使锅炉燃烧效率提高5%以上。日本工业锅炉90%以上采用自动控制。我国工业锅炉只装置自动给水控制,其他控制几乎没有。上海四方锅炉厂已从美国引进一套先进的自控设备,借以提高我国工业锅炉的自控水平。

国外现代船舶锅炉都具有很高的自动化水平。给水、燃烧、油温、油压、风量、风压、过热蒸汽温度等的调节,均已实现全自动化。近年来,许多先进船舶锅炉采用电子计算机,实

现远距离集中控制。日本1972年建造的“乌取丸”海船锅炉，是船舶锅炉实现全自动化的良好范例。该船舶采用一台电子计算机对导航装卸和动力系统进行统一集中的控制。其效果极为显著，不但可以保证锅炉安全可靠工作，缩减人员编制，而且可以改善锅炉的经济性能。

## 七、结 论

1. 国外工业锅炉和船舶锅炉的蒸汽参数以及容量都在不断上升和提高。
2. 工业锅炉向着水管锅炉结构型式发展，并不断提高整装和组装化程度。船舶锅炉在D形炉膛锅炉基础上，结构型式有所改进和创新。
3. 减少固体不完全燃烧损失 $q$ ，是提高工业锅炉效率的关键所在。而降低排烟温度则是提高船舶锅炉效率的主要途径。
4. 工业锅炉燃烧设备多种多样，特点各异，用途不一，抛煤机链条炉排和水冷振动炉排是国外业已发展成熟的燃烧设备，值得我国借鉴。船舶锅炉燃烧器趋向于采用平流式调风器和大容量、大调节比的喷燃器。
5. 国外工业锅炉和船舶锅炉都具有很高的自控水平。

## 参 考 文 献

1. Пущкин Н.И.: Судовые паровые котлы (1965)
2. James H. Milton, Roy M. Leach: Marine Steam Boilers (1981)
3. 《蒸燃动力参考资料汇编(锅炉专辑)》哈尔滨船舶锅炉涡轮机研究所情报室(1987)

## 新产品新技术信息

**№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，无人显全红色，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 $t \leq 225^\circ\text{C}$ ，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。

**№R88—22 催化裂化再生烟气能量回收工程设计** 该项节能技术具有明显的经济效益，可降低装置的单位能耗、提高商品率。该工程投资的年平均盈利率不低于50%，投资的净回收期不超过二年。1981年以来，先后为哈尔滨、吉林、天津、林源、沧州等炼油厂进行了能量回收工程设计，效果显著。对该工程的再生烟气系统、蒸汽发生系统、热工仪表及自控系统、电气、土建等方面设计合理，特别对该工程配套的主要设备：第三级多管式旋风分离器、烟气轮机、传动齿轮、轴流式压气机、余热锅炉、蒸汽轮机等设备能全部配套设计。服务方式：提供总体及全部配套设计、技术咨询。

(如需以上技术或产品请与编辑部联系)

marine prime mover with the steady-state error constants of six systems being provided, which can serve as useful reference data to marine and electrical engineers.

*Key words:* marine engines, speed governing system, analysis.

**MIA-01-CC Chen's Cycle Co-generation Power Plant..... Wen Xueyou (21)**

**A Study on the serious Corrosion Found on a Marine Main**

**Superheater.....Gong Sanxing (26)**

*Abstract*

The chief causes of serious corrosion found in a marine main boiler superheater are analysed. It has been pointed out that the boiler operation in conformity with the thermal calculations drawn up by the boiler design bureau is justified and is to be recommended.

*Key words:* corrosion of marine boiler superheater, steam wetness

**The Present Status of Industrial and Marine Boiler Development in**

**Foreign Countries.....Cnen Qiduo, Sun Shaojing,**

**Lin Binggang, li weigen (31)**

*Abstract*

This paper gives a brief description of the industrial and marine boiler development in some foreign countries. Presented in some detail are the technical achievements as regards the enhancement of boiler capacity and steam parameters, improvement of boiler design and efficiency, upgrading of firing equipment and the use of advanced automatic control systems, etc.

*Key words:* industrial boilers, marine boilers.

**Aerodynamic Design of a Low pressure Compressor**

**.....Ju shili, Li Fei, Zhao Yousheng (38)**

*Abstract*

By adopting a test-based two-dimensional method coupled with three-dimensional verification calculations a high-quality lowpressure compressor with characteristics capable of satisfying preset technical requirements has been successfully designed. The test results of the compressor as a whole have shown that the compressor without any further adjustment can attain all design objectives in respect of flow rate, pressure ratio and efficiency. With operating points being optimized it is possible to achieve an even better performance. The compressor features good working characteristics when operating at low load conditions, a relatively wide range of stable operation and an uniform outlet flow field.

*Key words:* low pressure compressor, aerodynamic design.

**Boundary Element Method for the Solution of Subsonic Compressible**

**Plane Cascade Flow Fields by Use of Equivalent Cascades**

**..... Lin Chengxian, Liao Aixian (44)**