

船用增压锅炉技术的新进展

(哈尔滨七〇三研究所) 刘长和

【摘要】 简要叙述舰用增压锅炉的工作原理、结构设计、性能参数、研制过程及运行经验, 列举了改进锅炉的设计使其更臻完善的总体布置方案。

关键词: 锅炉; 增压锅炉; 设计研制;

中图分类号: TK229.92

1 前言

蒸汽动力装置被用作大型舰船(导弹战舰、航空母舰等)的主动力装置。舰用主锅炉是蒸汽动力装置中的一个主要设备, 在蒸汽动力装置中具有举足轻重的地位。它不仅构成了舰船的主推进装置, 而且在航母中, 即使是使用核动力的航母多数也要用锅炉为蒸汽弹射器提供蒸汽去弹射舰载固定翼飞机起飞。

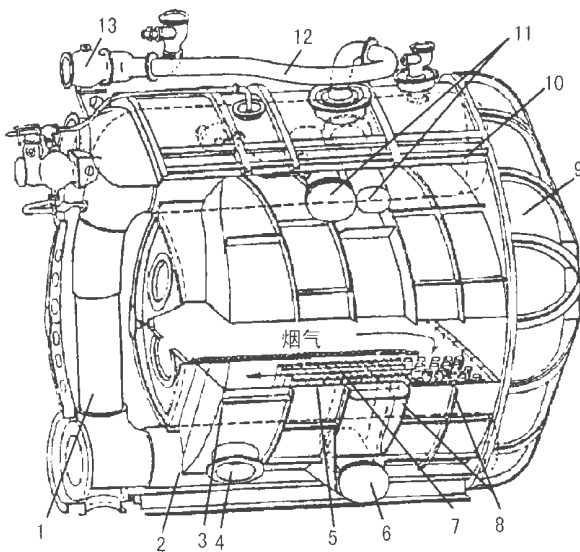
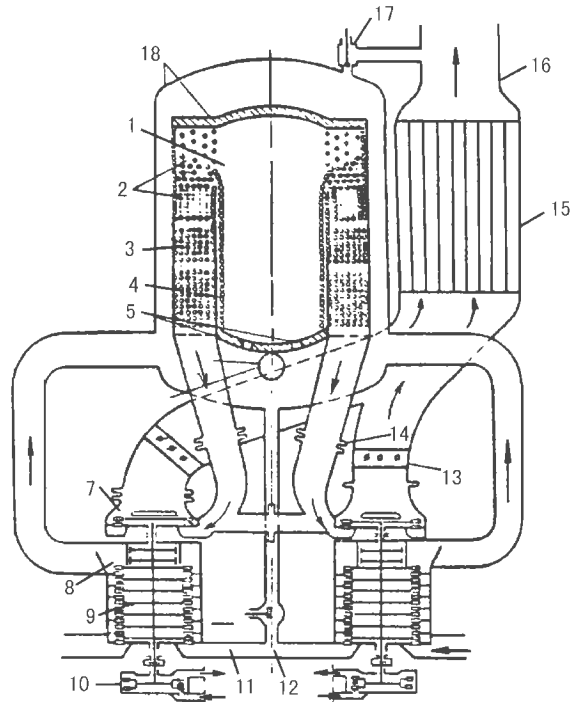


图1 “舒拉尔”型增压锅炉的外形图

2 增压锅炉的研制

新结构主蒸汽锅炉的建造一直沿着具有高可靠性、高运行寿命、小的重量尺寸特性和良好的可维护性锅炉的研制道路前进。同时也高度重视提高锅炉及整个动力装置的经济性。



1—炉膛 2—蒸发管束 3—蒸汽过热器管束 4—护板 5—送风口
6—下降管 7—烟气轮机 8—压气机不返回的节气门 9—压气机
10—汽轮机 11—压气机平衡通路 12—空气旁通阀 13—分配器
14—膨胀接头 15—水经济器 16—烟囱 17—安全阀 18—锅炉壳体

图2 “舒拉尔”型增压锅炉的系统图

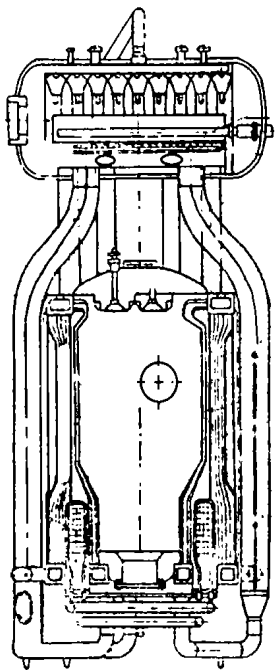


图3 美国福斯特—惠勒型自然循环回焰式舰用增压锅炉

在保证可靠性的条件下,是通过增加锅炉内的热负荷及提高热交换强度从而达到减少锅炉的重量尺寸特性。最早的增压锅炉是30年代由瑞士布朗鲍维利公司研制的“维洛克斯”型锅炉,但由于结构上一系列缺点,而未得到进一步的应用。法国海军早在40年代就把他们研制的“舒拉尔”型增压锅炉用于海军战舰上(图1、2)。

美国于1956年开始研制舰用增压锅炉,1963年装于护卫舰,总计50台。锅炉型式如图3所示。锅炉特性为:蒸汽产量57 t/h,过热蒸汽压力8.24 MPa,过热蒸汽温度

510℃,炉膛容积热负荷14.54 MW/m³,炉内烟气表压2.5 MPa,锅炉干重28 t。

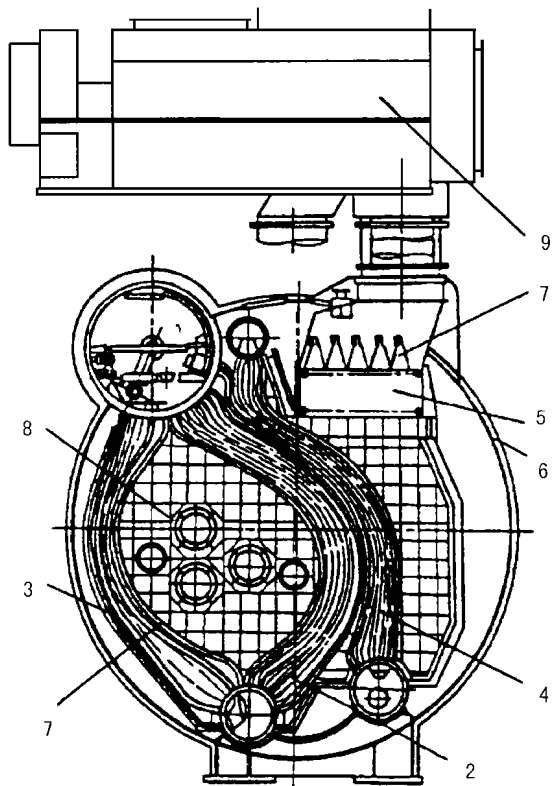
60年代末,前苏联特种锅炉制造设计局(СКБК)研制并在试验台上试验了自动化舰用主增压锅炉。该锅炉的蒸汽参数为6.4 MPa和470℃,锅炉壳体内部的空气被增压到表压0.2 MPa,该压力是由为锅炉专门建造的涡轮增压装置(THA)所保证的。

从1961年起这种增压锅炉就已在海军舰船上运行。至今,约300台以上以重油为燃料的舰用增压锅炉已建造并处于运行中。

3 增压锅炉工作原理

所谓增压锅炉是指参与燃烧的空气带有0.2~0.4 MPa压力下进入炉膛,使锅炉的燃烧增强了许多。燃烧的增强使炉膛容积热负荷大大提高,强化了炉膛内传热,以及对流受热面的传热,提高了锅炉热效率。锅炉体积大大减小,每吨蒸汽耗钢量大大降低,锅炉的体积也小了许多,占地面积也小了许多。这些特点,正适合于船用锅炉。以KBI3型作为例子,详细说明其工作原理。增压锅炉进入炉膛的空气的压力是靠专用的增压机组而实现的。经过换热后的烟气从经济器排出后经过烟气净化器,直接进

入增压机组的烟气轮机并驱动烟气轮机。烟气轮机直接带动压气机,进入压气机的空气经压缩增压到表压0.2 MPa,并沿空气通道供入锅炉壳体(该壳体是按双层设计的,可承受锅炉满负荷下压气机发出的空气最大压力)。经过壳体之间的空间,空气通过空气导向装置进入锅炉炉膛并与喷油嘴雾化的燃料混合,从而保证重油高质量的燃烧,见图4。



1—水冷壁管 2—对流管束 3—下降管
4—蒸汽过热器 5—经济器 6—锅炉壳体
7—气动力净化装置 8—炉膛设备 9—涡轮增压装置

图4 具有涡轮增压装置的KBI3型增压锅炉

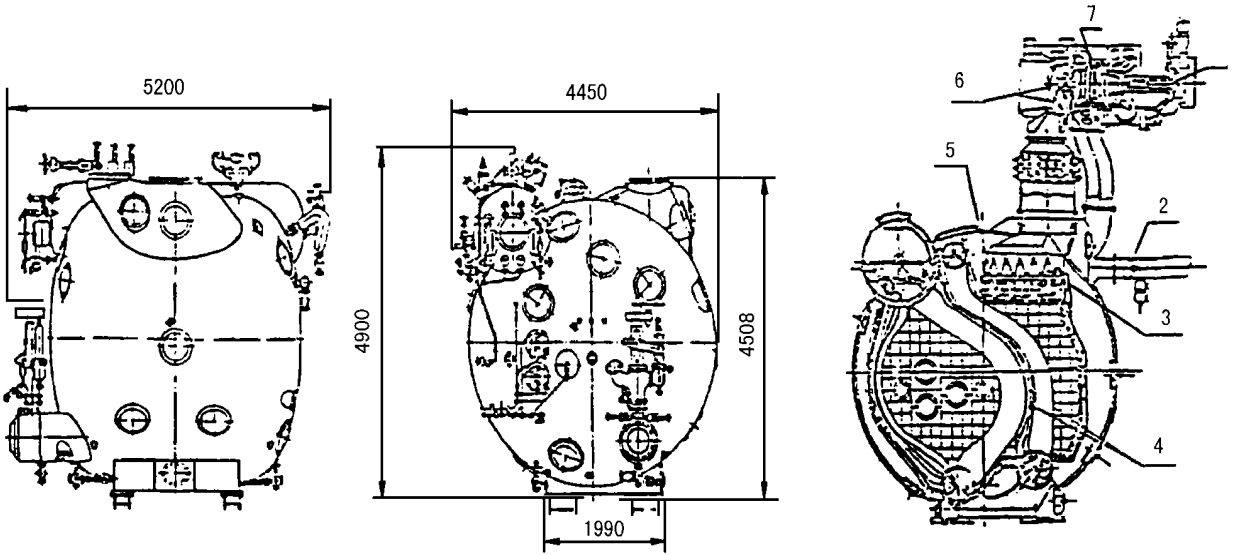
重油燃烧产生的热量经过炉膛受热面以及对流受热面被大量吸收。烟气排出经济器进入烟气净化装置除去固体颗粒,然后流向烟气轮机,烟气在烟机中膨胀做功后排入烟囱。

烟气轮机功率的大小取决于锅炉负荷和外部空气的温度。当烟机功率不足时可以由补充安装的汽轮机功率补偿,当烟机的功率过剩时可以通过空气调节挡板的开度来进行调整。通常船用增压锅炉中,只以70%的锅炉负荷作为压气机与烟气轮机功率的平衡点。

4 增压锅炉的结构

增压锅炉的结构设计重要问题在于正确处理锅炉本体、增压机组及经济器在烟气系统中的相对位置,也就是说如何处理烟气循环中空气——烟气压力、温度在本体各部件中的分布情况。这一问题将

决定整个增压锅炉装置的重量尺寸、运行的可靠性、机动性及经济性。前苏联特种锅炉制造设计局(СКБК)研制的КВГ3型增压锅炉结构紧凑、布置较为合理、其布置形式见图5。



1—THA 的辅助汽轮机 2—保护系统的空气挡板 3—烟气净化装置 4—蒸汽过热器 5—经济器 6—烟气轮机 7—涡轮压气机

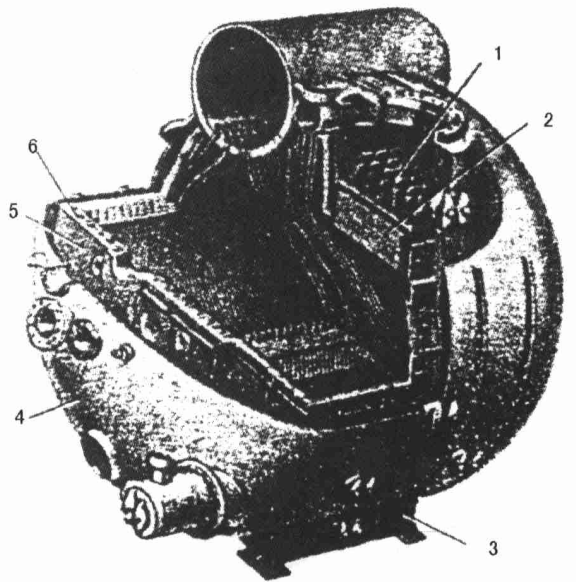
图5 KBG3型增压锅炉

КВГ3型增压锅炉是采用立式布置具有单侧烟气通道的双锅筒锅炉。锅炉内部布置有立式过热器和经济器。锅炉的蒸汽形成部分由一个循环回路组成,该回路包含一排整体的水冷壁和多排上升对流传管束。水的下降是沿整个锅炉长度布置水冷壁后的不受热的下降管。回路的全部管子均接到上下锅筒。

双集箱立式蒸汽过热器沿锅炉整个长度布置在对流传管束之后,由11排管子组成,称为后置式过热器。前两排管子接合到锅炉的上锅筒直接把饱和蒸汽引入到过热器下集箱。其它几排管子均与过热器的上下集箱相连。蒸汽在过热器内走过三个行程。

水冷壁管和对流管束内形成的蒸汽,从上锅筒通过专门的装置导入蒸汽过热器的前两排管进入过热器的下集箱。过热后的蒸汽通过装在蒸汽过热器下集箱的主停汽阀供给汽轮机。

预热给水的经济器是卧式双室光管结构,由一排并联接入的盘管组成。每根盘管由利用模压三通接头彼此在进出口处并联连接的两个平焊盘管组成。锅炉给水通过加热后进入锅炉。锅炉壳体是双层圆筒壳体。



1—烟气净化装置 2—经济器 3—支承座

4—外壳 5—内壳 6—耐火砖砌层

图6 KBG3型增压锅炉的轴侧视图

烟气净化装置安装在经济器烟气出口的短管内。烟气净化装置做成分段气动栅栏形式,以便捕

获烟气流中的固体粒子。锅炉燃烧器采用双面布置,前后墙各安装3个喷燃器。涡轮增压机组安装在锅炉的顶部。

图6表示了KBГ3型锅炉的轴侧视图。

锅炉控制完全自动化,具有良好的动态特性。热态时50秒内就可使蒸汽负荷从5t/h增加到100t/h,在30秒内使负荷从100t/h急降到5t/h。同时锅炉的其它参数保持在允许偏差的范围内,而报警保护系统均不会产生动作。

5 增压锅炉的改进

随着运行和制造经验的积累,俄罗斯圣彼得堡特种锅炉制造设计局为提高其工艺性和可靠性,对增压锅炉的设计和结构进行了改进。已设计了十多种锅炉的改进方案,即KBH98/64、KBH98/64-1、KBH98/64-2、KBH98/64-3、KBH98/64TМ等。

表1 增压锅炉的技术参数

参数	KBГ3	KBГ2M	KBГ4	KBГ4-1
蒸汽产量 t/h	100	119	115	115
锅筒压力 MPa	6.4	3.9	6.47	6.37/3.82
主停汽阀后压力 MPa	6.0	3.4	6.18	6.28/3.63
过热蒸汽温度 °C	470	300+10	470	320/300
重油耗量 (对100%负荷) kg/h	8660	9000	9950	8630/8640
负荷调节范围 %	5~100	5~100	7~100	6~100
锅炉效率 %	82	82	82	84
炉膛单位容积热负荷 MW/m ³	17.5	15.9	13.5	11.6
每公斤蒸汽金属耗量 kg/kg	0.375	0.334	0.456	0.434
蒸发管束水冷壁管外表面最大温度 °C	358*	322*/278**	352*	336*
蒸发管束平均热负荷 MW/m ²	0.112	0.128	0.09	0.076
蒸汽过热器管壁外表面最大温度 °C	569*	432*/406**	567*	424*
蒸发管束过热器管子材料牌号	12×1MΦ	12×1MΦ	12×1MΦ	12×1MΦ
受热面使用寿命 h	50000	50000	50000	50000
烟气-空气通道阻力 Pa	32628	38715	39500	28118
经济器水阻力 MPa	0.4	0.597	0.48	0.336
锅炉外形	宽度 mm	4450	4450	5050
	高度 mm	4900	5390	5848
	长度 mm	5200	5250	5880
锅重	干重 t	37.5	39.8	52.5
	湿重 t	40.8	43.8	57.5

注: *——计算值 **——根据试验台上的测量结果。

现有四种改型的舰用增压锅炉KBГ2M、KBГ3、KBГ4、KBГ4-1,处于批量生产中,它们的设计是成功的,结构作了一定改进,改进内容包括:

- (1). 管子部分是由耐腐蚀的钢制成。
- (2). 炉衬是由能确保使用寿命的新型耐火砖制成。
- (3). 金属构件采用空气冷却。
- (4). 改进了锅筒内部零件的结构。
- (5). 应用了电子控制系统。

这些锅炉的参数列于表1。

90年代俄罗斯特种锅炉制造设计局正在进行改进增压锅炉的工作。其目的是使安装在现代军舰上的船用增压锅炉参数明显改进,以便提高锅炉效率,从而提高整个动力装置的经济性和可靠性。

为提高经济效率已考虑了下列基本措施:

- (1)在较大负荷变化的前题下提供恒定的过热蒸汽温度。
- (2)改进蒸汽的初参数。
- (3)增加锅炉的热效率。

KBГ6型锅炉(图7)的设计是保证改进过热参数锅炉的首批尝试之一。

具有自然循环的KBГ6型锅炉不同于常规的增压锅炉,它的蒸汽过热器安装在对流管束的中间(4排对流管束的前面),通过特殊的三通接头进行连接。蒸汽过热器的位置更靠近炉膛,称为内置式过热器,这就允许根据负荷改进过热蒸汽参数,从而可以提高巡航工况动力装置经济性,降低巡航工况动力装置油耗率。

在研制新型的KBГ6M型锅炉(图8)时,考虑了KBГ6型锅炉的设计经验。

KBГ6M型是具有组合循环的增压锅炉。其上下锅筒间的对流管束和炉膛水冷壁部分为自然循环,而一部分蒸发受热面及经济器均为强制循环,即:这部分蒸发受热面的汽水混合物由给水泵的压力供到锅炉锅筒。由涡轮增压装置把空气供入锅炉。

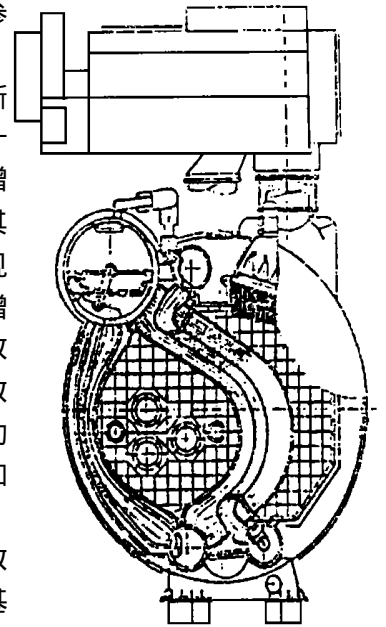


图7 具有涡轮增压装置的KBГ6型增压锅炉

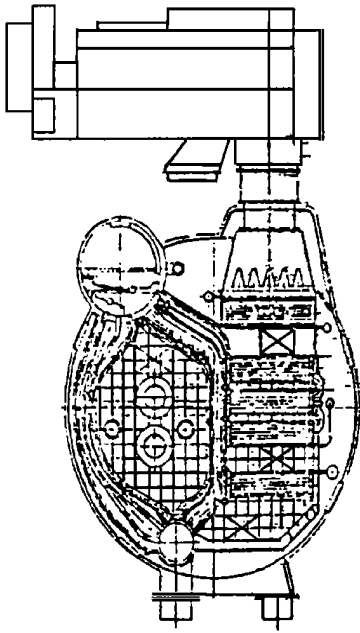


图 8 具有涡轮增压装置的 KBG6M 型增压主锅炉

KBG6M 型锅炉由下列部分组成:

——炉膛, 布置有整体的水冷壁(左侧、右侧)和面墙(正面和后面)。

——在每个面墙上安装有两个燃烧器。

——水冷壁管在顶部接到上锅筒, 在底部接合到水筒。

——把炉膛和锅炉对流管束分隔开的右侧水冷壁布置成使烟气通过凝渣管排入尾部受热面。

- 蒸汽过热器由两个盘管管束组成。
- 经济器由一个盘管管束组成。
- 形成蒸汽的对流受热面由一个盘管管束组成。

锅炉对流管束布置在尾部受热面中, 烟气净化装置安装在其出口处。烟气依次通过蒸汽过热器、蒸发受热面管束和经济器。

给水进入经济器, 通过形成蒸汽的蒸发受热面管束, 然后以 0.48 含汽量进入锅炉锅筒。饱和蒸汽沿连接管供入蒸汽过热器, 然后供到船舶汽轮机。

经济器为逆流布置, 对流管束、过热器均为顺流布置。节流装置安装在蒸汽形成管束盘管入口处。

蒸汽初参数为 6.4 MPa 和 470 °C, 具有组合循环的 KBG6M 型锅炉在整个负荷范围内提供恒定的蒸汽温度, 并保证增加主要运行状态下动力装置的效率。

KBG6、KBG6M 型锅炉不要求研制新的材料。蒸汽过热器适用于船舶锅炉的 12×1MΦ 钢制造。基于 KBG6M 型锅炉设计, 已经完成了具有改进蒸汽参数的锅炉设计和计算工作。

KBG3、KBG6、KBG6M 型锅炉技术特性的比较示于表 2。

依据 8 MPa 和 515 °C 改进的蒸汽初参数, 具有组合循环的增压锅炉在宽广的负荷范围内提供过热蒸

表 2 具有烟气轮机增压的增压锅炉参数

参 数	数 值					
	KBG3		KBG6		KBG6M	
负荷 %	100	20	100	20	100	20
蒸汽产量 t/h	100	20	100	20	100	20
主停汽阀后蒸汽压力 MPa	5.98	3.44	5.98	3.44	5.98	3.44
主停汽阀后蒸汽温度 °C	470	350	470	420	470	485
锅炉效率 η %	82	89	82	90.5	82	88.2
燃油耗量 kg/h	8700	1530	8700	1547	8700	1600
排烟温度 °C	520	240	515	226	525	270
锅炉背压 kPa	32.3	3.9	32.4	3.9	36.1	4.9
过剩空气系数 α	1.15	1.24	1.15	1.24	1.15	1.24
炉膛容积热负荷 MW/m ³	17.5	3.6	16.6	2.82	15.8	2.7
锅炉质量 t	37.5		37.5		38	
单位质量金属耗量 kg/kg	0.375		0.375		0.38	

汽恒定的温度, 并保证增加主要运行状态下锅炉装置的效率。为配合具有改进参数锅炉的设计, 开展了新型材料的研制工作, 以便得到用于蒸汽过热器管子的耐热材料, 使之能经受设计的壁温 620 °C 以及管子最高耐热温度 650 °C。

6 结论

综上所述:

(1) 60 年代到 80 年代研制的带烟气轮机增压的船用主锅炉重量尺寸小、效率高、可靠性高、良好的可维护性和动态特性, 是应用于舰船蒸汽动力装置中理想的锅炉。

(2) 增压锅炉设计和研制的改进工作主要集中在改进其蒸汽初参数(研制相应的耐高温材料), 以便进一步提高锅炉及整个动力装置的效率, 并进一步提高其可靠性。

参考文献

- [1]. Zinin V I, Kolesnitchenko A G etc. The main highpressure marine boilers with gasturbine supercharging for the Naval Forces ships steam turbine plants application (the experience and the development perspectives). The Proceeding of Intemational Marine Engineering Conference Moscow 1996, page 8:1 ~ 11.
- [2]. Дульский В И, Бюзна П С, и т д. Применение лавных котла альных высоконапорных котлов в стационарной энергетике. Теплоэнергетика, 1996(11):56 ~ 60.

(复 编)

船用增压锅炉技术的新进展 = **New Developments in Marine Supercharged Boilers** [刊, 中] / Liu Changhe (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

A brief description is given of the working principles, construction design, performance parameters of naval supercharged boilers as well as their research and development history and operating experiences. Also proposed is a more advanced overall layout scheme based on an improved boiler design. **Key words:** boiler, supercharged boiler, design, research and development

核态池沸腾中气泡生长和脱离的动力学特征 —— 气泡动力学研究回顾 = **Dynamic Characteristics of Bubble Growth and Detachment in the Course of Nucleate Boiling - Part I: A Review of Bubble Dynamic Study in Nucleate Boiling** [刊, 中] / Yang Chunxin, Wu Yuting, Yuan Xiugan (Beijing Aeronautical and Aerospace University), Ma Chongfang (Beijing Industrial University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

This paper presents a systematic review and analysis of the research progress of bubble dynamics over the past fifty years. Some deficiencies in the study of bubble growth and detachment have been identified with the orientation of future development conducive to a further in-depth study of the bubble dynamics being pinpointed. **Key words:** nucleate boiling, bubble, detachment diameter, detachment frequency, overview

燃气轮机进气用蒸发式冷却器中的气水分离技术实验研究 = **An Experimental Study of the Gas/Water Separation Technology for a Gas Turbine Inlet Air Evaporative Cooler** [刊, 中] / Lin Feng, Li Weishun, et al (Harbin No. 703 Research Institute) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

Proceeding from the aim of enlarging engineering applications the authors have conducted an experimental study of the characteristics of a novel plant-mesh pad type gas/water separator developed by No. 703 Research Institute on its own. Meanwhile, performance evaluation was made of corrugated-plate inertial-grade gas/water separators commonly used in industries nowadays under certain specific conditions. The results thus obtained are of practical value for facilitating engineering applications. **Key words:** evaporative cooler, gas/water separation, large water droplet separator

燃油喷嘴气液两相流雾化特性研究 = **A Study of the Two-phase Flow Atomizing Characteristics of Oil Spray Nozzles** [刊, 中] / Li Guangjun, Wang Xinjun, Xiang Yu, et al (Xi'an Jiaotong University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

With air and water serving as working media a detailed experimental study was conducted of the atomizing characteristics of a two-phase flow atomizing nozzle with the help of a Malvern particle size analyzer. During the study measurements were made of the particle size distribution of atomized liquid particles formed after having passed the spray nozzles under different inlet pressure ratio conditions of the gas/liquid two-phase flow. Discussed and analyzed in detail was the influence on the nozzle atomizing effectiveness of the gas/liquid two-phase pressure and the gas and liquid feeding mode. As a result, determined was the variation relationship between the gas/liquid two-phase flow rate and gas/liquid two-phase pressure in the course of nozzle atomizing process as well as the optimum atomizing principles. In addition, the nozzle atomizing mechanism has also been discussed. **Key words:** spray nozzle, gas/liquid two-phase flow, atomizing characteristics, liquid particle size distribution

煤粉浓缩器阻力特性的试验研究 = **An Experimental Investigation of the Resistance Characteristics of Pulverized Coal Concentrators** [刊, 中] / Shi Liming, et al (Qinghua University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -1999, 14 (4). -

By the use of an approximation simulation method a study was conducted of two types of pulverized coal concentrator without guide plates with respect to the variation of their mound-body and louver resistance characteristics with the change of structural parameters. The test results show that with the increase in mound-body inclined surface length there is an increase in the resistance factor. The louver resistance factor increases with an increase in the blade inclined angle or blade width. The variation of blade spacing ratio has a fairly significant effect on fluid flow. A relatively small flow resistance is