

[制造·使用·改进]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2014.02.025

用于陆地工业的增压锅炉设计改进

吴伟强, 洪建沣

(浙江工业大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310014)

摘 要:增压锅炉节能环保的优点使其具有良好的陆地工业应用前景。针对制造成本和技术要求高的缺点,提出使用罗茨风机代替附加汽轮机的工作方案;改用锅壳式布置形式,降低增压锅炉炉膛出口烟温。研究结果表明以上改进措施可以大幅降低增压锅炉生产成本,提高锅炉的承压及密封效果,解决耐高温材料限制。

关 键 词:增压锅炉;陆地工业;罗茨风机;锅壳

中图分类号:TK229

文献标志码:A

文章编号:1005-2895(2014)02-0099-03

Improved Design of Supercharged Boiler Based on Application of Terrestrial Industry

WU Weiqiang, HONG Jianfeng

(College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

Abstract: The advantages of energy saving and environmental protection make the supercharged boiler having good application prospects of terrestrial industry. Aiming at solving the weakness of production cost and high demand of techniques, the work programme of using roots blower was put forward to instead of steam turbine, and changed to shell boilers and reduced the flue gas temperature of furnace outlet. The results show that these improvements can greatly reduce the production cost of supercharged boiler, and improve the boiler's pressure bearing and sealing effect, and also can solve the limitation of high temperature resistant materials.

Key words: supercharged boiler; terrestrial industry; roots blower; boiler shell

随着我国经济的高速发展,能源短缺和环境污染问题日益凸显。为此,国家在《国民经济和社会发展规划第十一个五年规划纲要(2006—2010年)》中首次将节能减排列为约束性指标,在“十二五”规划纲要中再次将节能减排作为重点内容,要求在未来五年单位GDP能耗下降16%、二氧化碳排放降低17%、二氧化硫和氮氧化物排放量分别下降8%和10%。而工业锅炉是高耗能设备之一,能源消耗和污染物排放均居全国工业行业第二,每年消耗的能源约占我国能源消耗总量的25%左右,2011年我国工业锅炉排放烟尘160.1万吨,排放二氧化硫718.5万吨,排放氮氧化物271万吨,是我国大气污染的主要来源之一。因此,降低工业锅炉能耗、减少工业锅炉污染物排放是落实节能减排政策的重要措施。而舰船用增压锅炉具有质量轻、体积小、经济性好、安全可靠等优点,文中对增压锅炉在

陆地上的应用进行探讨,为工业锅炉的发展提供一种新的思路。

1 增压锅炉概述

1.1 国内外研究进展

传统的增压锅炉主要应用于大型船只。20世纪30年代位于瑞士的布朗鲍维利公司研发了世界首台增压锅炉——“维洛克斯”型锅炉,但因为结构上存在较多的缺点,未能进行后续的改进研究及应用。

美国于1956年开始研制舰用增压锅炉,60年代先后有50台福斯特-惠勒自然循环增压锅炉应用于DE1040和DE1041护卫舰。此型号自然水循环增压锅炉具有开停机机动性好、质量和体积较小、运行经济、维护修理简便等优点。此后,美国又研制了改进型D形炉膛增压锅炉,效率达到了85%,但质量体积较大,受此限制未能在舰船上推广应用。现开始开展增

收稿日期:2014-01-17;修回日期:2014-01-27

作者简介:吴伟强(1995),浙江绍兴人,男,本科,主要研究方向为高效传热设备及技术。E-mail:ho4145576@qq.com

压锅炉在陆地电厂中应用的相关工作^[1]。

前苏联特种锅炉制造设计局早在 20 世纪 50 年代末就开始研制舰船用自动化增压锅炉,将空气压力提升至 0.3 MPa,可提供 6.4 MPa, 470 ℃ 的蒸气。1961 年起,苏联海军大型水面舰船广泛使用了此型号增压锅炉,随着运行经验及工艺技术的提高,前苏联又设计了大量改进型增压锅炉,技术及性能愈发完善。其中 KBF2, KBF3 和 KBF4 三种改进型的舰船用增压锅炉被批量生产并广泛应用。这系列增压锅炉采用了外部增压过热器,及与非增压锅炉的部件相同的标准元件,结构简单,体积比非增压锅炉小,生产工艺简单、水循环安全可靠。但也存在以下缺点:整套锅炉装置的经济性不高、处于低负荷工况时蒸气的过热温度较低^[2]。

我国对增压锅炉的研究起步较晚。从 1954 年开始对其进行了相关研究,主要包括轴流式和径流式涡轮增压器。其中,我国最早自行设计研制的一款径流式涡轮增压器由求新造船厂与船舶产品设计处两家单位协作生产,较早研制的一款轴流式涡轮增压器是由新中动力厂生产。同时一些工业基地城市(比如哈尔滨、武汉和西安等)也开展了针对增压锅炉以及涡轮增压机组的设计和试验研究工作^[3]。其中,哈尔滨锅炉厂生产出小型陆用电站型增压锅炉,华中工学院也开展过小型增压锅炉试验样机的建造和试验的研究工作。

1.2 增压锅炉工作过程

增压锅炉与普通工业锅炉的最大区别在于其利用压气机代替鼓风机向锅炉炉膛输送助燃空气,其炉膛中燃料的燃烧过程和烟气在炉膛受热面中的换热过程是在高于大气压力下进行的,一般达到 0.2 ~ 0.5 MPa^[4],大大提高了炉膛容积热负荷,强化了炉膛与对流受热面的传热,钢铁消耗量和锅炉体积大大减小,节约了鼓风机的耗电。其具体工作过程为:经过换热后的烟气进入并驱动涡轮机,涡轮机直接带动压气机将空气压缩至表压 0.2 MPa^[5],沿空气通道进入炉膛并与燃料混合,保证燃料高质量燃烧。燃料燃烧产生的热量经过炉膛和对流管束后被大量吸收,烟气经过净化后流向涡轮机,膨胀做功后的烟气仍具有较高的温度,所以通过经济器将热量进一步吸收后排出。

涡轮机的功率大小主要取决于锅炉负荷的变化,图 1 为根据 65 吨增压锅炉绘制的涡轮增压机组功率变化曲线图。其以接近满负荷作为功率平衡点,当功率不足时通过附加汽轮机功率补偿,当功率过剩时通过烟气挡板来调节涡轮机功率。通常将常运行的高负荷工况设为涡轮增压器功率平衡点^[6]。

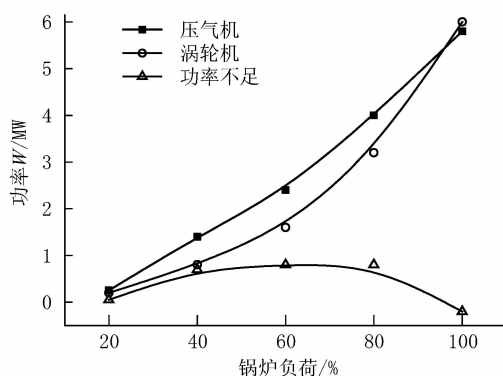


图 1 锅炉负荷对涡轮增压机组功率影响

Figure 1 Influence of boiler load on the turbocharger power

2 增压锅炉的陆地应用改进

由于舰船的特殊要求,如锅炉的启动要快,舰船空间及载重有限所以锅炉体积尽可能小,质量尽可能轻等,使得增压锅炉在舰船有着很好的应用。而国内外对增压锅炉的陆地应用研究工作虽都早已展开,但因运行成本,长时间使用的可靠性以及材料的限制等没能最终推广开来,然而这些年随着材料、技术的提高,涡轮增压燃烧技术在车辆的发动机和小型柴油发电机领域被广泛的使用^[7],其技术已经较为成熟,所以在此提出增压锅炉的陆地工业应用,探讨工作流程与锅炉结构的设计。

图 2 为此次设计的陆地工业用增压锅炉系统流程图,考虑到汽轮机价格高昂,且汽轮机与涡轮增压器之间的轴连接需要协调汽轮机与涡轮增压器厂家进行研发预留接口,需要投入大量时间与资金,不利于推广应用,所以提出选用罗茨风机代替附加汽轮机,在增压锅炉启动时与增压机组功率不足时提供补充助燃压缩空气。

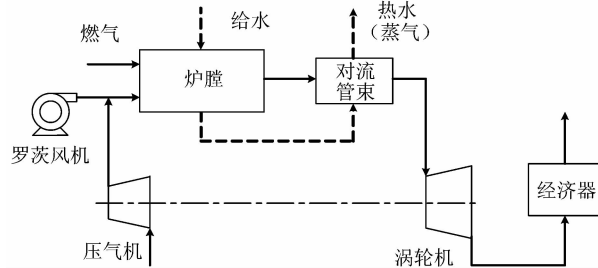


图 2 陆地工业用增压锅炉系统流程图

Figure 2 The system flow chart of supercharged boiler for terrestrial industry use

根据《锅炉机组标准计算方法》^[8]绘制图 3 对流受热面烟气放热系数与增压比的关系,从图中可以看到,对流放热系数与辐射放热系数均随压力升高而增

大,且对流放热系数的增加幅度远大于辐射放热。传统增压锅炉主要用于舰船,要求锅炉体积尽量小,而增压对流传热的强化远大于辐射传热的强化,所以传统增压锅炉炉膛容积热负荷为 $13 \sim 18 \text{ MW/m}^3$,炉膛出口烟气温度的约 $1\,600 \sim 1\,800 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[9],比工业锅炉高出约 30%,通过对流受热面来吸收更多的热量,但为防止受热面的结渣和保证锅炉运行的安全性,这一炉膛出口温度将对锅炉材料的要求更高,这不符合技术经济性,建议仍按工业锅炉的常设炉膛出口烟温进行设计。在布置形式上传统增压锅炉选用水管式,高温高压烟气在管外流动,这对锅炉的密封性要求更高,而锅壳式锅炉烟气在管内流动,且承压主要来自于管外工质,当提高烟气压力时承压效果更好。体积方面通过热工计算 65 t 增压锅炉与普通 20 t 工业锅炉大致相当,大大减小了体积与钢铁消耗量。

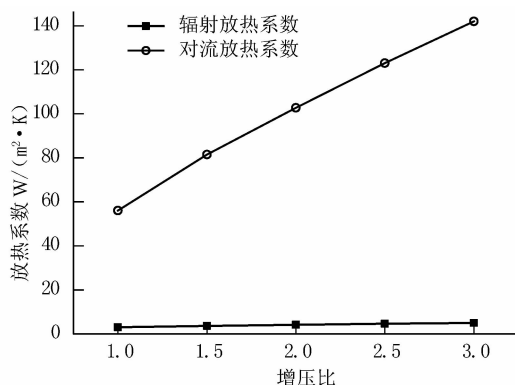


图3 增压比对烟气放热系数的影响
Figure 3 Influence of pressure ratio on the flue gas's heat transfer coefficient

(上接第 98 页)

经搅拌器改进后,反应釜内的轴向循环效果得到明显提升,反应釜中心区域的速度远大于原结构,并且在液面附近位置形成了明显的轴向循环,有利于消除反应釜内液面中心区域的物料沉积现象。

参考文献:

- [1] WANG Feng, WANG Weijing, MAO Zaisha. Numerical study of solid-liquid two-phase flow in stirred tanks with rushton impeller (I) formulation and simulation of flow field [J]. Chinese Journal of Chemical Engineering, 2004, 12(5): 599-609.
- [2] 王乐勤,杜红霞,吴大转,等. 多层桨式搅拌罐内混合过程的数值模拟[J]. 工程热物理学报, 2007, 28(3): 418-420.
- [3] 马青山,王英琛,施力田,等. 多层搅拌桨流动场的测量与数值模拟[J]. 化工学报, 2003, 54(12): 1661-1666.
- [4] KASAT G R, KHOPKAR A R, RANADE V V. CFD simulation of liquid-phase mixing in solid-liquid stirred reactor [J]. Chemical

3 改进措施

20 世纪 60 至 80 年代,增压锅炉因具有质量轻、体积小、经济性好、安全可靠等优点,被广泛应用于舰船上。为使增压锅炉更好的推广到陆地工业上,提出以下 2 个改进措施:

1) 利用罗茨风机来代替附加汽轮机,降低了增压锅炉的制造成本;

2) 改用锅壳式布置形式,降低锅炉炉膛出口烟温,改善承压及密封效果,解决传统增压锅炉受热面的耐高温材料限制(虽然会增加增压锅炉体积,但相比普通工业锅炉,体积仍大大减小)。

参考文献:

- [1] ZININ V I, KOLESNITCHENKO A G. The main high pressure marine boilers with gasturbine supercharging for the Naval Forces ships steam turbine plants application (the experience and the development perspectives) [C]. Moscow: The Proceeding of International Marine Engineering Conference Moscow, 1996: 1-11.
- [2] 刘长和. 船用增压锅炉技术的新进展[J]. 热能动力工程, 1999, 14(4): 241-245.
- [3] 韩静. 船用增压锅炉热平衡及动态仿真研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2006.
- [4] 李章, 张宁, 刘祥源, 等. 船用增压锅炉装置[M]. 北京: 海潮出版社, 2000.
- [5] 刘顺隆. 船舶涡轮机原理[M]. 哈尔滨: 哈尔滨船舶工程学院出版社, 1990.
- [6] 薛敏. 增压锅炉热力性能校核计算及动态性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2007.
- [7] 董志民, 郑存义, 陈凯. 涡轮增压器的基本构造与工作原理及使用维护[J]. 汽车运用, 2008, 5(23): 37-38.
- [8] 全苏热工研究所, 中央锅炉透平研究所. 锅炉机组热力计算——标准方法(1973)[M]. 上海: 上海工业锅炉研究所, 2001.
- [9] 沈志刚, 邹积国, 姜任秋, 等. 增压锅炉机组重要热工参数的选择[J]. 热能动力工程, 2003, 18(1): 27-29.
- [10] Engineering Science, 2008(63): 3877-3885.
- [5] FRADETTE L, TANGUY P A, BERTRAND F, et al. CFD phenomenological model of solid-liquid mixing in stirred vessels [J]. Computers & Chemical Engineering, 2007, 31(4): 334-345.
- [6] 马青山, 聂毅强, 包雨云, 等. 搅拌槽内三维流场的数值模拟[J]. 化工学报, 2003, 54(5): 612-618.
- [7] 王春林, 马庆勇, 李婷婷, 等. 搅拌浆液池固-液两相流搅拌的数值模拟[J]. 排灌机械, 2007, 25(6): 38-41.
- [8] 陈红生, 何雄志. 结晶罐搅拌流场及传热过程的数值模拟[J]. 轻工机械, 2010, 28(4): 26-29.
- [9] 陈涛, 吴大转, 杜红霞, 等. 低密度固体颗粒与液体搅拌混合过程的数值模拟研究[J]. 工程热物理学报, 2010, 31(2): 271-274.
- [10] CHEN Tao, WANG Leqin, WU Dazhuan. Investigation of the mechanism of low-density particle and liquid mixing process in a stirred vessel [J]. The Canadian Journal of Chemical Engineering, 2012, 90(4): 925-935.
- [11] 王凯, 冯连芳. 混合设备设计[M]. 北京: 机械工业出版社, 2000.