

燃气轮机小管径自然循环余热锅炉

陈明, 马云翔, 王艳滨, 陈起铎

(哈尔滨·第七〇三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036)

关键词: 燃气轮机; 余热锅炉; 自然循环; 小管径

中图分类号: TK229.92 文献标识码: B

1 引言

余热锅炉是联合循环电站不可或缺的主要设备, 它与燃气轮机、蒸汽轮机发电机组一起, 并称为联合循环电站的三大主设备。

传统的燃机余热锅炉按蒸发器水循环方式分为强制循环锅炉和自然循环锅炉两种。强制循环锅炉需要设置强制循环泵, 工作可靠性和制造工艺性较差; 自然循环锅炉则在重量尺寸指标和启动性能指标上稍微逊色。从世界各国采用的锅炉型式来看, 西欧多为强制循环锅炉, 美国多为自然循环锅炉。国内外权威人士多数推荐优先采用自然循环锅炉。日本正在制造的近 40 台大型燃机余热锅炉, 全部采用自然循环型式。

本文作者在船用锅炉技术基础上, 自行研制成功燃气轮机小管径自然循环余热锅炉。在船用锅炉、工业锅炉, 以及各种领域的余热锅炉中, 小管径自然循环锅炉应用日益广泛。本文分析燃机小管径自然循环余热锅炉的性能特点。

2 工作安全可靠

小管径通常指的是 $\Phi 38 \times 3$ 、 $\Phi 32 \times 3$ 、 $\Phi 29 \times 2.5$

或 $\Phi 25 \times 2.5$ 的管径。按照陆用锅炉的设计经验, 自然循环锅炉蒸发器的管束不宜采用上述小管径, 否则锅炉水循环工作不可靠。根据船舶锅炉的设计经验, 上述论点只适用于高压锅炉或超高压锅炉, 而对锅炉蒸汽压力低于 9.81 MPa 的锅炉, 由于汽水两相介质比重之差 $\gamma' - \gamma''$ 较大, 只要给水品质符合要求, 锅炉水循环具有一定的高度, 采用小管径完全可以保证锅炉水循环工作安全可靠。本文作者对许多不同型式的船舶锅炉进行水循环计算, 其计算结果为上述观点作了佐证。

燃机余热锅炉蒸汽压力一般不高于 9.81 MPa, 烟气温度的般也不高于 600 °C, 加之锅炉自然循环高度远远高于船舶锅炉, 故采用小管径的燃机自然循环余热锅炉, 其水循环条件要比船舶锅炉优越得多, 水循环工作无疑更加安全可靠。本文作者采用小管径设计的近 30 台燃机余热锅炉, 从未发现水循环事故。燃机小管径自然循环锅炉则因其诸多设计特点, 日益得到广大电力专家的认可和好评。

3 质量轻, 尺寸小

小管径的传热效果优于大管径。光管如此, 螺旋翅片管更是如此。因为翅片高度 h 在 ≤ 16 mm 以内为相对有效翅片高度, 这就使得小管径螺旋翅片管的全部受热面, 均属于高效率受热面; 而大直径螺旋翅片管, 则因其翅片高度 h 较大, 许多受热面的

收稿日期: 2002-07-31

作者简介: 陈明(1962-), 男, 黑龙江哈尔滨人, 哈尔滨·第七〇三研究所研究员。

4 结论

(1) 中小型锅炉烟气湿法脱硫除尘具有投资少, 效率高等优点, 如果工艺不当, 将严重影响设备寿命和系统的安全运行。

(2) 合理地选择系统工艺, 可以消除脱硫除尘后烟气温度低带来的问题

参考文献:

- [1] 陈金玉, 王助良. 三相流化床气体净化装置鉴定文件[R]. 南京: 江苏省科委, 1999.
- [2] 王助良. 三相流化床气体净化技术及其应用研究[J]. 上海环境科学, 1996 15(10): 19-21.
- [3] 雷仲存. 工业脱硫技术[M]. 北京: 化学工业出版社, 2001.

(辉 编辑)

传热效果较差。故此,对采用螺旋翅片管作为受热面的燃机余热锅炉而言,小管径的作用尤其明显。

采用小管径的主要效果是使锅炉重量减轻,尺寸减小。根据船舶锅炉设计资料介绍,锅炉管径减小二分之一,锅炉重量可减少三分之二。可见锅炉管径对锅炉重量影响很大。

强制循环锅炉与自然循环锅炉相比,其重量尺寸指标优异,正是由于采用小管径之故。如果采用同样管径,强制循环锅炉的优点便不存在,不但没有优点,反而多出一个强制循环泵。这说明决定锅炉重量指标的因素,并不在于锅炉的循环方式,而在于其传热元件,在于其管径的大小。

锅炉尺寸,即占地面积的大小,也同样取决于受热面管径的大小。

下面分析影响两种燃机余热锅炉占地面积的因素。图1为强制循环锅炉,图2为自然循环锅炉。

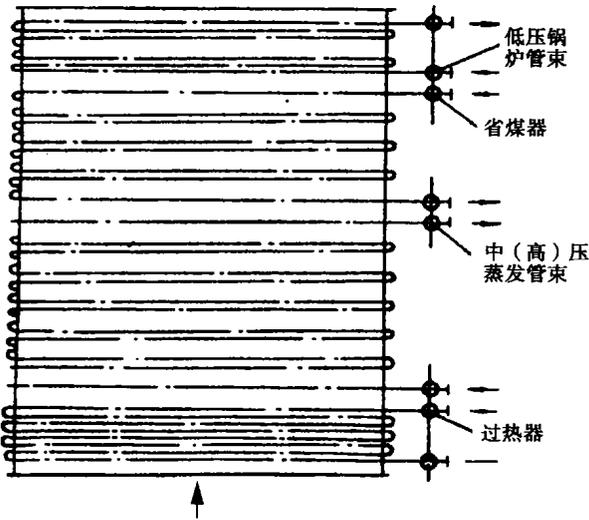


图1 双压强制循环余热锅炉

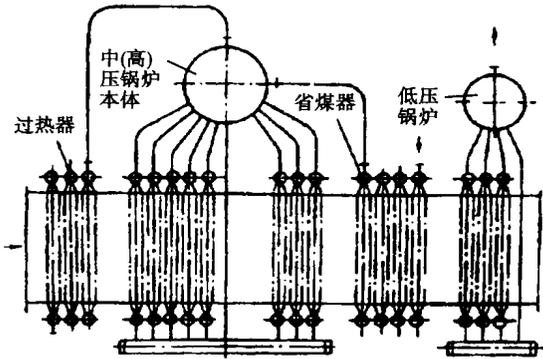


图2 双压自然循环余热锅炉

烟道截面加上构架、护板与平台扶梯。而由图2可知,自然循环锅炉的占地面积为锅炉烟道宽度乘锅炉长度,再加上构架、护板与平台扶梯,与锅炉烟道截面没有直接联系。对同一燃机而言,其余热锅炉烟道截面取决于烟速大小,与采用何种锅炉基本无关;各种型式锅炉的烟道截面大小大致相同。因此,强制循环锅炉的占地面积与构架、护板和平台扶梯的设计有关;而自然循环锅炉的占地面积除上述因素外,更与锅炉长度的大小密切相关。国外自然循环锅炉一般采用 $\Phi 51 \times 3$ 管径,因其管径大,纵向节距大,锅炉长度很长,再加上主烟囱的占地面积,自然循环锅炉的占地面积就比强制循环锅炉大。小管径自然循环锅炉则不同,其管径小,管束按错列排列,纵向节距小,加之锅炉总管排数少,锅炉总长度明显缩短。即使加上主烟囱占地面积,小管径自然循环锅炉的占地面积也不会比强制循环锅炉大。深圳美视电厂有两台余热锅炉:一台是从荷兰进口的自然循环锅炉,长度为9.5 m;另一台是七〇三研究所设计的小管径自然循环锅炉,长度仅为6.5 m;两相对比,占地面积差别明显。

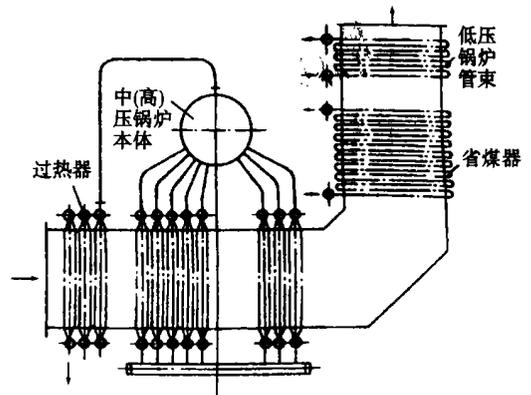


图3 两种循环方式兼有的余热锅炉

深圳南山热电公司的5、6号余热锅炉,是显示小管径自然循环锅炉占地面积小的另一应用实例。锅炉如图3所示。该锅炉因布置位置有限,七〇三研究所设计成两种循环方式兼有的锅炉型式,使两台锅炉合理地布置在极其有限的空间之内。结构布置如此紧凑的锅炉设计,在国内外同类产品中很难见到。此两台锅炉于1995年研制成功,至今运行情况良好。

由上所述,质量轻、尺寸小是小管径自然循环锅炉最为突出的特点。

由图1可知,强制循环锅炉的占地面积为锅炉

4 蒸汽产量大, 余热利用率高

由于管径小, 传热元件传热优良, 小管径自然循环锅炉比较容易通过增加受热面布置, 取得较高的经济性指标。采用小管径设计的燃机余热锅炉, 蒸发器窄点温差小, 省煤器接近点温差小, 锅炉排烟温度低, 因此锅炉蒸汽产量大, 余热利用率高。

运行实践表明, 采用小管径设计的燃机余热锅炉, 蒸汽产量比较容易达到并超过规定值。深圳南山热电公司的 5、6 号锅炉, 规定蒸汽产量为 53 t/h, 实际达到 60 t/h 以上, 扣除燃机温控线调高的因素, 锅炉蒸汽产量也大大超过规定值。另外, 从排烟温度的变化也足以反映锅炉的余热利用率大小。原设计上述两台锅炉的排烟温度为 163.5 °C, 但实际运行值却下降到 150 °C 左右, 锅炉余热利用率显著提高。

5 启动快, 机动性好

小管径的锅炉, 其容水量小, 金属和保温材料等的热惯性都较小, 加之小管径热应力小, 热膨胀性能良好, 锅炉的启动速度快, 机动性能优越。

锅炉运行规程常以锅筒上下壁或内外壁温差不高于 50 °C 作为启动速度的运行标准。实际上, 燃机余热锅炉的锅筒一般都布置于锅炉烟道之外, 锅筒外壁不受热, 并且锅炉蒸汽压力不高, 锅筒壁厚相对不厚, 上述的 50 °C 温差对锅炉的启动速度影响不大。真正影响启动速度的因素是锅炉容水量和锅炉热惯性。无疑, 对采用船用锅炉技术设计的小管径锅炉而言, 在启动速度和机动性能方面, 拥有船用锅炉固有的不可比拟的优越性。

国内目前对燃机余热锅炉规定的启动速度为: 冷态(0.3 MPa 以下): 40 min; 热态(2 MPa 以下): 20 min。这个指标不高。这里的“冷态”不是真正的冷态。须知从常温常压至 0.3 MPa, 实际上还需要 30 min。这样的规定对用户是不利的, 指标太差, 启动速度近乎没有要求。

小管径燃机余热锅炉的启动速度(达到额定压力)为: 冷态(无压): 50 min; 热态(1 MPa): 20 min。或者是: 冷态(0.3 MPa 以下): 25 min; 热态(2 MPa 以下): 10 min。

6 烟气和蒸汽阻力小

烟气阻力的大小对燃机功率的高低具有相当的影响。一般烟气阻力每提高 980 Pa, 燃机功率下降 0.6%~0.8%。

烟气阻力取决于烟气速度和管排数等因素。在同样烟气速度之下, 烟气阻力与管排数成正比。

小管径在传热方面的优异性能为减少锅炉各部件的管排数创造了有利条件。由于小管径传热优良, 每排管束的受热面吸热量大幅增加, 使各部件的管排数比国内外其它燃机余热锅炉的管排数明显减少。国内某电厂的两台同参数燃机余热锅炉, 一台是采用小管径设计, 一台是按常规的管径设计, 由于管排数量不同, 两台锅炉的烟气阻力差别明显。

蒸汽阻力的大小对蒸汽产量的高低有较大的影响。蒸汽阻力愈小, 在同样的过热蒸汽压力之下, 锅筒的蒸汽压力就愈低, 锅筒的饱和温度也就愈小。此时, 窄点温差增大, 传热温压增高, 蒸发器的传热量随之增加, 从而使锅炉蒸汽产量提高。

蒸汽阻力取决于蒸汽速度、蒸汽比重和沿程阻力系数。在同样蒸汽速度之下, 蒸汽阻力与沿程阻力系数成正比。

蒸汽速度与蒸汽流通截面有关。对同容量同参数的过热器而言, 由于蒸汽流通截面与管径平方成正比, 小管径过热器的总流通截面, 无疑大大小于大管径过热器。蒸汽速度相同, 流通截面也相同。总流通截面愈小, 在相同的流通截面之下, 蒸汽流程数愈少, 蒸汽沿程的阻力系数也就愈小。小管径过热器因总流通截面较小, 而使其蒸汽流程数较少, 沿程阻力系数下降, 蒸汽阻力减小, 锅炉蒸汽产量提高。通过对国内某电厂的两台同参数燃机余热锅炉对比, 也是采用小管径设计的锅炉过热蒸汽阻力较低, 锅筒蒸汽压力较小, 蒸汽产量较高。

7 兼具两大流派锅炉优点, 避免二者固有缺点

国际上的燃机余热锅炉分为两大流派, 一派是西欧的强制循环型, 另一派是以美国为代表的自然循环型。强制循环型以重量尺寸指标和启动性能指标占优, 而自然循环型以可靠性和制造性见佳, 两型锅炉各有利弊。

小管径自然循环锅炉兼具两大流派锅炉优点, 避免二者缺点。它因采用小管径, 而具有强制循环锅炉传热好、重量轻、尺寸小和启动快等优点; 它又因采用自然循环, 而具有不设强制循环泵和可靠性与制造性良好等优点。

国外船用大中型齿轮传动形式的发展现状

范 威, 毕晓煦, 吉桂明

(哈尔滨·第七 0 三研究所, 黑龙江 哈尔滨 150036)

摘 要: 介绍了国外船用大中型齿轮传动形式技术发展现状, 并论述了 GT、CODOG、COGOG、COGAG、COGAS 装置的传动形式及气垫登陆艇功率三支传动系统的结构特点, 指出了齿轮传动系统中的功率叠加、功率分支、横向交叉连接、自动同步离合器和液力偶合倒车等技术均是齿轮传动装置传动形式的发展和应用趋势。

关 键 词: 船用传动装置; 齿轮传动; 传动形式

中图分类号: U664.2

文献标识码: B

1 前 言

不同形式的动力装置用于实现船舶各种运行和性能要求。从推进非战斗船只(如补给船)的中速柴油机装置到推进巡逻艇、高速水翼艇、气垫登陆艇、护卫舰、驱逐舰的 GT、CODOG、CODAG、COGOG、COGAG、COGAS 装置, 大部分使用变距桨。齿轮传动装置提供交替使用和并车使用功能, 自动同步离合器及其它型式的离合器使这些推进装置工作状态十分良好。现简述国外各种齿轮传动形式的现状及发展、应用趋势。

2 闭锁轮系结构

20 世纪 50 年代的齿轮传动系统具有复杂的铸

钢壳体, 由于高功率与高转速比的要求, 重量超过 80 t, 尽管保证了刚性, 但已不适应低重量性能要求。为满足尺寸、重量、齿宽限制要求, 运用了“闭锁轮系结构”的负荷分支设计, 某结构形式见图 1。

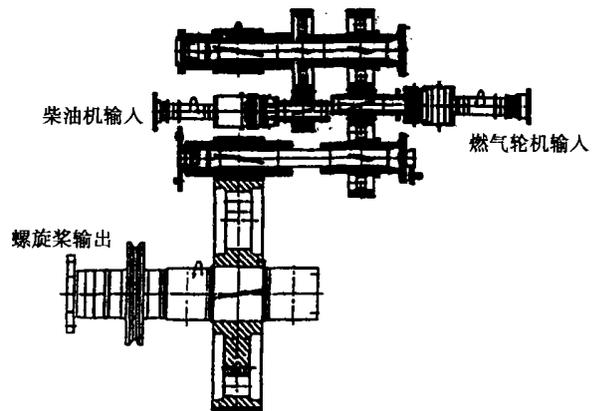


图 1 闭锁轮系结构

输入小齿轮的扭矩被分配到平行布置的两个一级减速大齿轮, 连接第一级减速大齿轮与第二级减速小齿轮的柔性轴平坦的扭转回弹特性使转角可调, 从而得到相等的负荷分支。与开式的两级齿轮传动轮系比较, 闭锁轮系结构的尺寸和重量大大减小。

收稿日期: 2001-10-10; 修订日期: 2002-10-20

作者简介: 范 威(1973-), 男, 黑龙江克东人, 哈尔滨·第七 0 三研究所翻译。

参考文献:

- [1] JASON MAKANSI. Combined cycle power plants[J]. *Power*, 1990(6): 91-126.
- [2] 陈起铎. 补燃式余热锅炉[J]. *热能动力工程*, 1991, 6(3): 157-162.
- [3] 陈起铎. 国内首制 PG5361 蒸汽回注燃气轮机余热锅炉[J]. *热*

能动力工程, 1992, 7(5): 230-234.

- [4] 陈起铎. 燃气轮机余热锅炉的设计特点[J]. *热能动力工程*, 1995 10(5): 283-290.
- [5] 王仁东, 陈起铎. 燃气轮机余热锅炉的型式选择[J]. *锅炉技术*, 2001(6): 1-3.

(辉 编辑)

Electron-emission type of high-temperature and high-pressure electrostatic precipitation represents an innovative technology for purifying flue gases. Through dynamic tests the performance of thermal electron emission at a cathode and its poisoning characteristics under various conditions are explored. The dust removal performance of and practical benefits attainable from an electron emission-based high-temperature and high-pressure electrostatic precipitator are analyzed and discussed. Furthermore, the usage prospects of the above technology in various industrial sectors are also discussed. **Key words:** electron emission, electrostatic precipitation, flue gas, high-temperature and high-pressure

深圳西部电厂 4 号机组海水脱硫系统监测分析 = **Monitoring and Analysis of a Seawater Desulfurization System for Plant No. 4 of Shenzhen West Power Station** [刊, 汉] / WU Lai-gui (Shenzhen West Electric Power Co. Ltd., Shenzhen, China, Post Code: 518052) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 200—202

The technological design of a seawater desulfurization system for plant No. 4 of Shenzhen West Power Station is described in detail. The flue gas parameters (SO_2 content, temperature) and water quality parameters (SO_3^{2-} , SO_4^{2-} , pH, DO and COD, etc.) under various operating conditions as well as before and after desulfurization were monitored and investigated along with an analysis of their variation mechanism. Furthermore, the variation of the contents of deleterious substances, such as heavy metals in seawater, were also monitored and analyzed both prior to and after desulfurization. **Key words:** seawater desulfurization, absorption, desulfurization efficiency, water quality restoration, heavy metal

湿式烟气脱硫除尘系统工艺的研究 = **A Study of the Wet-process Flue-gas Desulfurization and Dust Removal Technology** [刊, 汉] / WANG Zhu-liang, CHEN Jin-yu, WEN Jing-ping, et al (College of Energy and Power Engineering under the Jiangsu University, Zhenjiang, China, Post Code: 212013) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 203—204, 205

An exploratory study was conducted of the problems existing in a flue-gas desulfurization system. On the basis of the current usage situation overseas proposed is a flue-gas desulfurization and dust removal system suited for coal-fired boilers operating in China. Some specific cases of usage are cited to illustrate the technological merits of the recommended desulfurization system. **Key words:** desulfurization, flue gas, system technology, boiler

燃气轮机小管径自然循环余热锅炉 = **Gas-turbine Natural-circulation Heat Recovery Boiler with Tubes of Small Diameter** [刊, 汉] / CHEN Ming, Ma Yun-xiang, WANG Yan-bin, et al (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 205—207

国外船用大中型齿轮传动形式的发展现状 = **Recent Advances in the Development of Marine large and Medium-sized Gear Transmission Modes Worldwide** [刊, 汉] / FAN Wei, BI Xiao-xu, JI Gui-ming (Harbin No. 703 Research Institute, Harbin, China, Post Code: 150036) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2003, 18(2). 208—211

The status quo of technical development of marine large and medium-sized gear transmission modes worldwide is described. Listed are the construction features of a variety of power transmission schemes employed for GT (gas turbine), CODOG (combined diesel or gas), COGAG (combined gas and gas), COGAS (combined gas and steam) units as well as triple power distribution transmission systems of air-cushion landing craft. It is noted that techniques involving power superimposition, power distribution, transverse crisscross connections, automatic synchronizing clutches, and astern running through the use of a hydraulic coupling, etc all represent the development and application trends of the power transmission systems of geared drive units. **Key words:** marine power transmission device, gear transmission, power transmission mode