

PG9171E燃机余热锅炉的改造设计

(深圳南山热电有限公司) 叶剑飞 张晓泓
(哈尔滨七〇三研究所) 陈起铎 王艳滨

[摘要] 本文介绍大型燃机余热锅炉的改造设计。该改造设计重量轻,尺寸小,效益高,成本低,技术上有所创新。其设计观点来自工程实践,对设计燃机余热锅炉具有指导意义。

关键词 燃气轮机 余热锅炉 改造设计

中图分类号 TK229.929

表1 PG9171E燃机余热锅炉窄点温差和欠热数据

名称	单位	受热面 洁净	受热面 严重污染
燃用燃料	—	重油	重油
锅筒蒸汽压力	MPa	4.53	4.64
饱和温度	°C	259.1	260.6
蒸发管束出口烟温	°C	285.3	275.3
锅炉实际窄点温差	°C	26.2	14.7
设计推荐窄点温差	°C	8~12	8~12
省煤器出口水温	°C	246.5	246.8
省煤器出口欠热	°C	12.6	13.8
设计推荐欠热值	°C	5~12	5~12

1 前言

深圳南山热电公司是我国最大的燃机电厂之一。公司拥有5台哈尔滨七〇三所设计的国内自行研制的余热锅炉,以及1台由美国Deltak公司生产的PG9171E燃机余热锅炉。

PG9171E燃机是当代大型工业燃气轮机,PG9171E燃机余热锅炉是当代大型燃机余热锅炉。南电公司此台锅炉设计参数为186 t/h, 4.56 MPa, 480°C。为降低燃油成本,公司将燃机改烧重油。由于原锅炉系按燃用轻油设计,其锅炉受热面与燃用重油不相匹配。长期燃用重油时,受热面污染严重,标志余热锅炉设计合理性的锅炉窄点温差和省煤器出口水温欠热等指标,严重偏离正常数值,致使锅炉蒸汽产量大幅度下降。

为此,公司提出对该余热锅炉进行改造的设想。本文介绍该锅炉改造的可行性分析和改造设计方案。

2 锅炉现状

该余热锅炉型式为卧式烟道翅片管受热面双压自然循环立式水管锅炉。锅炉在燃用重油工况下,无论是受热面洁净,还是受热面严重污染,其锅炉窄点温差和省煤器出口水温欠热,均不尽如人意。具体数据见表1。

导致窄点温差和欠热数据不佳的原因在于该锅炉的受热面不足,不能适应燃用重油要求。该锅炉受热面排数为:过热器8排,蒸发管束18排,省煤器10排,且全部采用传热不良的顺列布置。纵观国内外按重油设计的余热锅炉,在烟速相当之下,采用错列布置,蒸发管束也多在2排以上,省煤器在1排以上。两相对比,该锅炉受热面不足显而易见。

3 增设受热面的可能性

提高蒸汽产量有两个途径:其一是采用优良的灰灰设备;其二是增设更多的锅炉受热面。

该锅炉由于蒸发管束和省煤器受热面不能适应燃用重油需要,故增设上述两部件的受热面,成为改造设计的焦点。

Deltak公司的设计极为紧凑,管排之间没有布置受热面的地位。唯其锅炉受热面之前和之后,尚有

若干地位可供布置受热面,使改造设计成为可能。

续表 2 改造设计的结构特性

名 称	单 位	原锅炉蒸发管束	增设蒸发管束
横向节距与管径之比	—	1.99	2.41
纵向节距	mm	109	67
管间间隙	mm	12.2	14
每排管数	—	64	82/80
管子排数	—	18	6
烟道名义宽度	m	6.966	6.966
烟道实际宽度	m	6.566	6.566
翅片管计算长度	m	12.89	12.89
烟气流动截面	m ²	34.8907	44.7515
每排管受热面	m ²	1420.99	1050.46
管束受热面	m ²	25 578	6303
每排管金属重量	kg	10 115	6035

3.1 低压锅炉之后

此处有大约 500 mm 地位,它至少可以布置 1 组排的低温省煤器。排烟温度可以下降到 165℃ 左右,既充分回收余热,又不致烟气结露,使锅炉设计更臻完善。在锅炉蒸汽质量提高之后,省煤器欠热增大,布置低温省煤器作用更显突出。

国外自然循环余热锅炉不乏设计布置低温省煤器先例。深圳美视电厂由荷兰进口的余热锅炉就是如此。哈尔滨七〇三所为苏州苏达热电公司设计的余热锅炉也是这样。

低温省煤器具有烟气露点腐蚀之虞,常采用 ND 钢提高抗腐能力,延长设备寿命。但 ND 钢价格较贵。

对该锅炉而言,因省煤器进口水温为 144℃,偏高,设置低温省煤器的收效不大,仅可降低排烟温度 2~3℃,提高蒸汽产量 1~1.5 t/h。

3.2 过热器之前

此处有大约 450 mm 地位,如将过热器前移 450 mm,则可腾出 450 mm 的原过热器地位布置蒸发受热面。

450 mm 的地位可以布置两组共 6 排的蒸发管束。其作用不仅可使锅炉窄点温差趋于合理,而且更在于可以大幅度提高锅炉蒸汽产量。

鉴于此处进行锅炉的拆装及安装相对容易,工作量相对不大,并且收益显著,故选择其为锅炉改造设计的首选方案。

4 改造设计

4.1 改造设计结构特性:见表 2

表 2 改造设计的结构特性

名 称	单 位	原锅炉蒸发管束	增设蒸发管束
管径	mm	50.8×3.5	32×3
排列型式	—	顺列	错列
翅片高度	mm	19	15.5
翅片厚度	mm	1.3	1
翅片节距	mm	5.2	5
翅片净距	mm	3.9	4
横向节距	mm	101	77

4.2 改造设计效果

表 3 改造设计对蒸汽产量的影响

名 称	单 位	燃用重油		燃用轻油净管
		污管	净管	
环境温度	℃	28.9	15	15
锅炉烟气流量	kg/s	383.63	407	407
改造前蒸汽产量	kg/h	170 000	180 500	186 500
改造后增加蒸汽产量	kg/h	8 495	5 554	6 733
改造后蒸汽总产量	kg/h	178 495	186 054	193 233

4.3 不采用原锅炉结构的原因

由于原锅炉结构管径大,尺寸大,在有限的空间地位下,不可能布置较多受热面,故我们认为改造设计不宜采用原来的大直径结构。

众所周知,锅炉管径大小对锅炉重量尺寸指标具有决定性的影响。管径愈小,传热愈好,重量尺寸愈小。同时,管径愈小,在同样传热效果之下,烟气阻力也愈小;而在同样烟气阻力之下,管径愈小,则可取得较好的传热效果。设计资料表明,锅炉管径减小二分之一,锅炉重量可减少三分之二。这就是说,当锅炉管径采用 Φ5×3.5 吋的锅炉重量为 100%,则管径 Φ3.8×3 吋为 67%,管径 Φ3.2×3 吋为 50%,管径 Φ2.5×2.5 吋为 33%。可见锅炉管径对锅炉重量影响之大。

现代舰船自然循环锅炉选用 Φ3.2×3 或 Φ2.5×2.5 吋的管径,强制循环锅炉甚至选用更小的管径。燃机自然循环锅炉也有条件选用小管径,理由是:其一,用于发电的大型燃机余热锅炉,通常具有良好的给水品质;其二,锅炉管束自然循环高度高,水循环

条件好,小管径不会导致水循环恶化;其三,烟气温度低,即使因管径小而导致个别管子结垢堵管,也无烧坏管子之弊。

基于上述,本改造设计采用小管径,而不采用大管径的原结构。

4.4 水循环系统的改造设计

由于原第 4 至第 6 组蒸发管束在锅炉改造后成为第 4 至第 6 组,其每组集箱的上部 6 根大直径连通管截面裕量变成不恰当地过于增大。利用它们作为新增设的 4 组集箱的上连通管,可以避免锅筒另行开孔及焊后热处理。经详细计算,原有连接管截面可以满足锅炉改造后的水循环可靠性要求。

4.5 锅炉钢架的载荷分析

现锅炉有两组钢架,钢架中的横梁和立柱的结构尺寸完全相同。本改造设计只改造其中一组的钢架内的受热面。根据详细的载荷计算,欲改造的此组比不改造的另一组载荷少 66 t,而改造设计增加的载荷仅为 42 t,改造后此组载荷仍然比另一组载荷少 24 t。由此可见,现有钢架的横梁和立柱在锅炉改

造后承受载荷的强度问题不大。

5 结论

(1)本改造设计具有如下特点:

- a) 重量轻。每排翅片管金属重量由原来的 10115 kg 减至 6035 kg,重量减小 40.34%。
 - b) 尺寸小。相邻翅片管的纵向节距由原来的 109 mm 减至 67 mm,锅炉长度方向尺寸节省 38.53%。
 - c) 成本低。由于每排翅片管金属耗量减少 40.34%,故设备成本相应减少 40.34%。
- (2)锅炉水循环系统改造工艺可行。
- (3)现有钢架承受载荷的强度问题不大。

参考文献

- 1 Jason Makansi. Combined-cycle power plants. Power. 1990(6)
- 2 陈起铎等.国内首制 PG536 蒸汽回注燃气轮机余热锅炉.热能动力工程. 1992.9(5)
- 3 陈起铎等.燃气轮机余热锅炉的设计特点.热能动力工程. 1995.9(5)

新材料

M CrAlY 涂层

据“Turbomachinery International”1997年11-12月号报道,Hickham 工业公司最近推出了一种用于燃气轮机叶片的新颖涂层。

M CrAlY 涂层是一种保护涡轮叶片(动叶和静叶)免受高温腐蚀和氧化的新材料。它是一族包含镍、钴和铁等金属与铬、铝和钇熔成合金的涂层。

可以采用几种不同的方法来喷镀 M CrAlY 涂层。通常应用真空等离子喷镀(VPS)过程和低压等离子喷镀(LPPS)过程。其它一些方法,如电子束物理蒸汽沉积(EBPVD)过程以及最近提出的镀敷和高压高速氧燃料(HP-HVOF)过程也可供应用。

HP-HVOF 过程通过把粉末喷入超音速燃料(火焰)中进行镀层。粉末被加热到塑性状态并在燃气流中被加速。半溶化的粉末粒子以高速冲击基层并展平。这些粉末粒子的连续成层就形成了镀层。HP-HVOF 过程能够产生低氧化、致密以及粘结性能良好的镀层。借助于应用 8 轴线机器人系统来涂敷 M CrAlY 涂层,可使镀层厚度保持在 7 到 10 密耳(1 密耳 = 0.0254 mm)之间。

(思娟 供稿)

新机组

Mercury 50 先进涡轮系统

据“Diesel & Gas Turbine Worldwide”1998年1-2月号报导,在美国能源部提供资金支持的“先进涡轮系统”计划下,经过几年的研制工作,Solar 透平公司将推出新颖的 Mercury 50 型回热式燃气轮机。

Mercury 50 是一型紧凑、单轴工业燃气轮机,以回热循环优化了运行性能。以天然气作为燃料,ISO 条件下该燃机的额定功率为 4.5 MW,热耗率为 8750 kJ/(kWh),热效率超过 41%。

先进设计的关键特点之一是使用了 Solar 公司的一次表面回热器技术,回热器效率高达 90%。回热器显著增加了燃气轮机循环的效率,是燃机高效率的关键。

2 级轴流反动式涡轮,设计的涡轮进口温度为 1160°C。

Mercury 50 使用了先进部件效率的压气机,10 级轴流压气机的压比为 9.1:1 压气机采用了三维、宽弦叶型,用于高的级负荷并使叶片数减少 40%。预期 2000 年 Mercury 50 可供应用。

(思娟 供稿)

流化床锅炉水冷绞龙冷渣器的试验研究 = **Experimental Study of a Water-cooled Spiral Conveyance Type Ash Slag Cooler for a Fluidized Bed Boiler** [刊,中]/Chen Hanping, Lu Jidong (Central China University of Science & Engineering) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 264~266

On the basis of the industrial operation and testing of a water-cooled spiral conveyance type ash slag cooler an analysis is conducted of the movement pattern of ash slag particles in the water-cooled spiral conveyer, and a formula for calculating the ash slag transport quantity given along with a heat transfer factor. Moreover, an analytical exploratory study of the ash slag transport and heat transfer characteristics has brought forth a number of useful conclusions and provided a major basis for the research and development, design improvement and wide application of such ash slag coolers. Key words water-cooled spiral conveyer, particle movement, ash slag transport, heat transfer characteristics

流化床气固传热特性的实验研究 = **Experimental Study of a Fluidized Bed Gas/Solid Heat Transfer Characteristics** [刊,中]/Ai Yuanfang, et al (Southern China Polytechnical University) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 267~270

An effective heat transfer factor has been derived through a simple analysis of fluidized bed gas/solid heat transfer characteristics and on the basis of the gas temperature profile of a steady-state operating condition active region. The experimental results are in good agreement with traditional empirical values. This justifies the rationality of the gas/solid heat transfer characteristics analysis and the feasibility of calculating a fluidized bed gas/solid effective heat transfer factor, thus providing helpful guidance for the study of fluidized bed gas/solid heat transfer characteristics. Key words fluidized bed, temperature profile, gas/solid heat transfer characteristics, effective heat transfer factor

PG9171E燃机余热锅炉的改造设计 = **Modification Design of a Heat Recovery Boiler for PG9171E Gas Turbine** [刊,中]/Ye Jianfei, Zhang Xiaohong (Shenzhen Nanshan Cogeneration Power Co. Ltd.) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 271~273

This paper describes the modification design of a heat recovery boiler for a large-sized gas turbine. The design features low weight, small physical size, fine cost effectiveness, low cost and innovative technology. Derived from engineering practices these design approaches can serve as a guide during the design of heat recovery boilers for use on gas turbines. Key words gas turbine, heat recovery boiler, modification design

热力系统数学模型自由度分析 = **Degree of Freedom Analysis of a Mathematical Model for a Thermodynamic System** [刊,中]/Zhou Yuyang, Hu Niansu, Fan Tianjing (Wuhan University of Water Resources and Electrical Power) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 274~276, 279

By utilizing the conception of the degree of freedom the authors have performed a systemic analysis for a thermal power plant thermodynamic system, presenting a method for evaluating the degree of freedom of a physical stream unit model and structure model as well as for determining decision variables. The above-cited method can be employed for the numerical characteristics analysis of on-line flow sheet analog calculation. Key words thermodynamic system, degree of freedom, flow sheet simulation

旋流燃烧器壁温计算数学模型 = **A Mathematical Model for Calculating the Wall Temperature of a Swirl Burner** [刊,中]/Sun Zhigao, Zhang Yongfu (Southeastern University) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 1998, 13(4). - 277~279

A brief description is given of a mathematical model for the axial wall temperature profile of a swirl burner. The use of this model allows one to evaluate the relationship between the burner outlet wall temperature and furnace temperature. The rationality of the mathematical model has been verified through a number of tests. Key words burner, wall temperature, radiation, mathematical model