

大型亚临界无烟煤电站锅炉的开发设计

(哈尔滨锅炉厂有限责任公司) 陈济榕 高峰

摘要: 本文介绍哈尔滨锅炉厂有限责任公司开发设计的300 MW亚临界自然循环无烟煤锅炉的技术特点和运行业绩。着重论述为保证低挥发份煤种的着火、稳燃、燃尽和防止炉膛结焦、降低不投油稳燃负荷、减少NO_x排放量所采取的有效技术措施。特别是在燃烧器设计中,采用了哈锅与清华大学联合开发研制的,并获得国家创造发明专利金奖的“双一次风通道自稳式燃烧器”,该燃烧器具有明显的低负荷稳燃特性和优良的综合性能,使大型无烟煤锅炉的设计达到了一个新水平。与国外燃用无烟煤常用的“W”型火焰锅炉相比,该型锅炉具有钢材耗量少、NO_x排放量低等优点。该型锅炉的研制成功,为燃用我国储量丰富的低挥发份煤开辟了一条新路。

关键词: 无烟煤; 亚临界; 自然循环; 锅炉设计; 燃烧器

中图分类号: TK222

1 前言

我国的无烟煤、贫煤分布地区广,储量丰富,近年来开采量不断增加。哈锅多年来一直致力于燃用低挥发份煤种锅炉的开发研制工作,并且积累了丰富的经验。特别是在炉膛关键结构和热力数据的确定、燃烧器的选型以及锅炉与制粉系统的有机配合方面,形成了自己独特的技术特点,设计和制造了一批不同容量、多种型号性能优良的无烟煤、贫煤锅炉。其中较具代表性的,是安装在河南焦作电厂的6台配200 MW发电机组的HG-670/140-10型锅炉,这些锅炉成功地燃用了河南省地产的接近无烟煤的贫煤,且具有良好的经济性。

在总结以往劣质煤锅炉设计和消化吸收引进技术的基础上,哈锅自主开发了配300 MW发电机组的HG-1021/18.2-WM10型亚临界自然循环无烟煤锅炉。该型锅炉的最初两台安装在湖南石门电厂,首台机组于1996年1月,2号机组于同年12月相继投入商业运行,取得了良好的效果。随后湘潭电厂指名要求哈锅也为该电厂提供两台完全相同的锅炉,目前该电厂1号、2号机组也已投入运行。石门电厂二期扩建工程,又向哈锅订购了两台该型锅炉。由于该型锅炉技术先进,性能优良,1997年获得了国家级重点新产品奖。

2 锅炉概述

HG-1021/18.2-WM10型锅炉系亚临界压力一次中间再热自然循环锅炉,按燃用无烟煤和烟煤的不同比例混煤,并能单独燃用无烟煤的要求设计。锅炉以最大连续出力(MCR)为设计工况,相应机组电负荷为330 MW,锅炉出力为1021 t/h;以机组电负荷300 MW为额定工况,对应的锅炉出力为911 t/h。锅炉的主要设计参数见表1。

表1 锅炉主要设计参数

项 目	单 位	设计工况	额定工况
机组电负荷	MW	330	300
过热蒸汽流量	t/h	1021	911
过热蒸汽出口压力(表压)	MPa	18.2	17.28
过热蒸汽出口温度	℃	540	540
再热蒸汽流量	t/h	824.68	741.6
再热蒸汽进口压力(表压)	MPa	3.86	3.47
再热蒸汽出口压力(表压)	MPa	3.65	3.27
再热蒸汽进口温度	℃	321.8	316.7
再热蒸汽出口温度	℃	540	540
给水温度	℃	279	272

收稿日期: 1999-06-04

作者简介: 陈济榕(1941-),男,福建福州人,哈尔滨锅炉厂副总工程师、总设计师。邮编 150046

本锅炉整体呈倒 U 形布置。采用辐射加对流型过热器和再热器系统。一次汽采用两级喷水调温。二次汽以尾部烟气挡板为主要调温手段,并辅以事故喷水减温器。过剩空气量的调节对一、二次汽温调整也有一定作用。本锅炉应用哈锅亚临界自然循环锅炉设计的成功经验,在循环回路的划分、循环流速的取用、汽水分离装置的选择、上升管下降管规格数量的确定、内螺纹管的采用等方面,都经过详细的分析计算,对水循环系统进行了合理的设计。运行实践证明,本锅炉可在超压 5%(锅筒压力达 19.6 MPa)工况下长期可靠运行,确保水循环安全。

本锅炉采用单炉膛,四角布置组合式直流燃烧器,切向燃烧方式,配以钢球磨中储仓热风送粉系统。锅炉尾部布置有两台三分仓容克式空气预热器,可分别获得所需要的一、二次风温度。锅炉为全钢构架,半露天布置,并设有膨胀中心。锅炉可定压运行,也可滑压运行,当锅炉启动或低负荷运行时推荐采用滑压运行方式,以获得较高的经济性。锅炉配有全套自控和保护系统,可确保机组长期安全可靠运行。锅炉的总体布置见图 1。

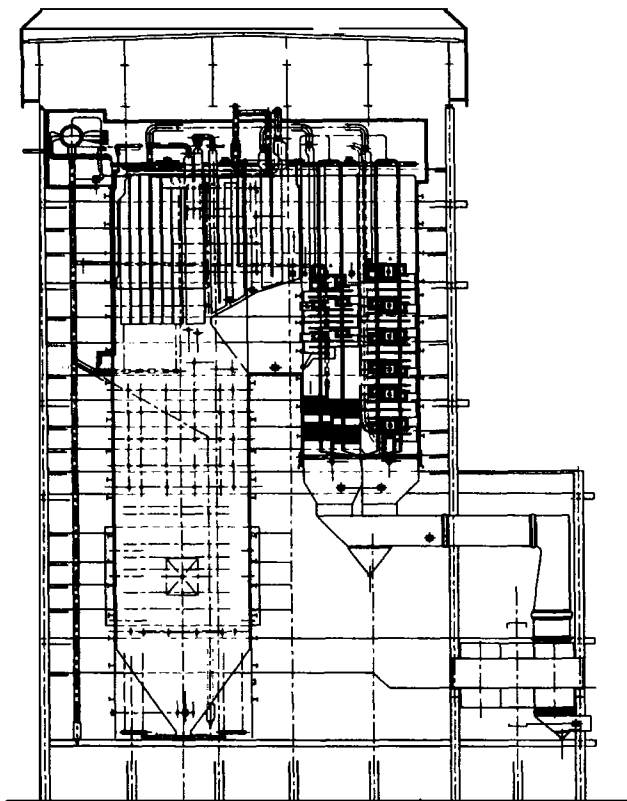


图 1 HG-1021/18.2-WM10 型锅炉

3 燃烧系统的设计特点

本锅炉按燃用晋东南无烟煤与黄陵烟煤的混煤设计。这两种煤及混煤的煤质分析见表 2。

表 2 煤质分析

项 目	符号	单 位	晋东南无烟煤	黄陵烟煤	1:1 混煤
收到基碳	Car	%	69.12	57.02	63.01
收到基氢	Har	%	2.8	3.38	3.09
收到基氮	Nar	%	0.97	0.84	0.91
收到基氧	Oar	%	3.11	4.8	3.95
收到基全硫	Sar	%	0.34	1.33	0.83
收到基灰	Aar	%	17.99	21.64	19.82
收到基水份	War	%	5.67	10.99	8.33
干燥无灰基挥发份	Vdaf	%	7.02	34.16	14.5
低位发热值	Qnet, ar	MJ/kg	25.5	21.7	23.6
灰变形温度	DT	°C	1300	1200	1245
灰软化温度	ST	°C	1500	1250	1365
灰熔化温度	FT	°C	> 1500	1320	1400

从表 2 可知,这是两种特性截然不同的煤。两种煤以 1:1 混合作为设计煤种,以 3:7 和 7:3 混合作为校核煤种,同时要求锅炉能适应单烧晋东南无烟煤或黄陵烟煤。用户的这些要求大大增加了锅炉设计的难度。为设计好该型锅炉,进行了反复的方案论证,并在热态试验台上做了燃煤试烧试验,同时对混煤的着火、燃尽、结焦等特性进行研究,为锅炉设计提供了依据。

根据混煤的燃烧特性,在本锅炉燃烧系统设计中,以强化着火、低负荷稳燃和促进燃尽为重点,同时对防止炉膛结焦、降低 NO_x 排放和减小炉膛出口烟温偏差也给予了充分的考虑。在设计中我们既保留了引进的 CE 公司技术的优点,更充分应用了哈锅长期积累的劣质煤锅炉设计的成功经验。

在强化燃料着火和稳定燃烧方面采取的措施有:燃烧器喷口相对集中布置,提高燃烧器局部区域的热负荷,加强各喷口火焰间的相互支持,这种结构已被哈锅许多燃用无烟煤的 200 MW 锅炉证明是非常有效的;采用双一次风通道自稳式燃烧器,确保在低负荷工况下火焰的稳定性;采用 WR 型宽调节比燃烧器,其浓相煤粉所需的着火热较少,易于着火和保持火焰的稳定。

为促进煤粒子的燃尽,采取了如下措施:设计了足够的燃尽高度,以保证煤粉在炉内必要的停留时间;采用着火性能好的双通道和 WR 组合式燃烧

器, 保证煤粉的及时着火, 防止出现着火延迟现象; 为尽量增加煤粒子在高温区的停留时间, 三次风以向下角度喷入炉内, 向下压火, 减小火焰上飘趋势; 增加后期配风和扰动, 促进碳和氧的接触, 使化学反应更加完全。

为防止炉膛结焦, 锅炉采用带大切角的正方形炉膛, 改善了射流两侧的补气条件, 防止气流偏斜; 采用较小的切园直径, 进一步减小了气流贴墙的可能性; 取用较大的上下一次风口中心距, 降低燃烧区域总体热负荷水平, 不出现温度尖峰。

在降低 NO_x 排放方面, 采用双通道燃烧器可使排放量降低 50 mg/m^3 左右; WR 型燃烧器属浓淡燃烧, 因其避开了生成 NO_x 较高的风煤比区间, 因而也有降低 NO_x 排放的作用; 主燃烧器区域的过量空气系数较小也是一个有利因素。

为减小炉膛出口烟温偏差, 设计时在核算气流正反切动量比和炉膛出口残余旋转强度的基础上, 采用了上二次风和三次风反切技术, 使炉膛出口烟气温趋于均衡。

另外, 在本锅炉的炉膛设计中, 采用了新型的卫燃带布置方式, 其特点是, 卫燃带避开高温区, 并呈品字形相间布置, 每块卫燃带间留有充分的冷却间隙防止爬渣。同时在炉膛水冷壁靠近燃烧器部位适当打上卫燃带, 以减少燃烧初期的热量损耗。这种卫燃带敷设方式既能促进炉温的提高, 有利于贫煤、无烟煤的着火和燃尽, 又不至于使炉膛产生严重的结焦而影响锅炉正常运行。石门电厂 300 MW 锅炉原设计在炉膛布置有一定面积的卫燃带, 这一设计已被哈尔滨电站设备成套所的试烧试验证明是合理的, 但后因种种原因未予实施。敷设这种卫燃带的湘潭电厂 300 MW 锅炉取得了很好的效果, 炉底渣和飞灰可燃物均小于 2%, 灰渣可进行综合利用。

上述技术措施各起作用又相辅相成, 使得本锅炉整个燃烧系统具有优良的综合性能。

4 独特的组合式燃烧器

本锅炉采用的组合式燃烧器具有鲜明的特色和优良的性能, 其结构见图 2。

燃烧器的三层油风室分别布置在上、中、下三个部位, 中间油风室在锅炉正常运行时可以关闭, 将燃烧器分成上下两组。下组两层一次风采用哈锅与清华大学合作开发研制的, 并获国家创造发明专利金奖的“双一次风通道自稳式通用煤粉主燃烧器”(以

下简称双通道燃烧器), 下部配以较大的底部风。上组三层一次风采用 CE 公司成熟的 WR 型燃烧器。最上部布置三次风喷口, 使之位于炉内温度较高处, 以促进其所带煤粉的着火和燃尽。

双通道燃烧器具有煤种适应性好, 自稳燃和自清洁能力强等特点。其原理见图 3。这种燃烧器煤种适应性好, 是因为调整腰部风的开度可以改变煤粉出口着火点的位置, 对于挥发份较高的煤种可开大腰部风, 对于挥发份较低的煤种则应关小腰部风。因此, 对于不同煤种可通过腰部风的调节获得较理想的着火点位置, 满足着火和稳燃的要求。

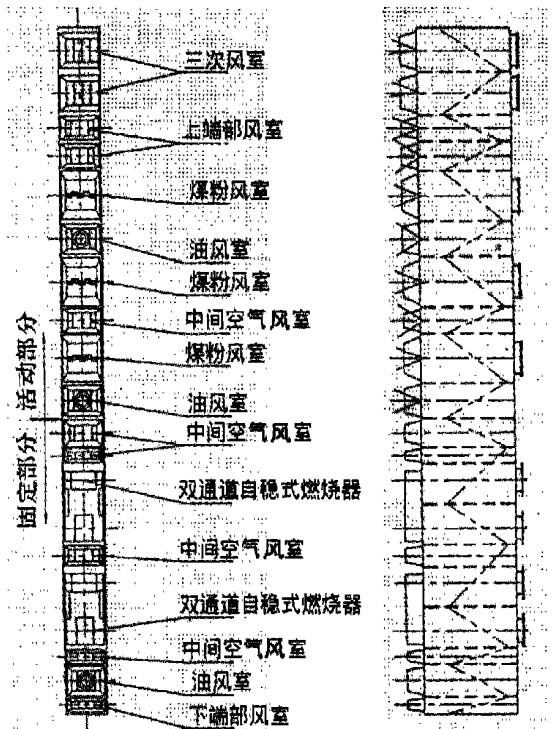


图 2 组合式燃烧器

双通道燃烧器的自稳燃能力强, 是因为双通道将一次风分成上下两股送入炉内, 在上下两股一次风中间留有较大的气流突扩空间, 实验发现, 上下一次风贴壁射流产生的充分开放的回流, 远大于对称布置或偏置射流产生的回流, 这样双通道燃烧器产生的强高温烟气回流对一次风粉的加热十分充分, 极大地改善了煤粉气流的着火条件, 从而使贫煤、无烟煤的燃烧稳定性得到根本改观。

双通道燃烧器的自清洁性, 主要是指它的 NO_x 排放量较低, 实炉测试表明, 安装两层共 8 只双通道燃烧器, 可使 NO_x 排放量降低 50 mg/m^3 左右。另一方面, 由于其内壁上下均有一次风射流的保护, 两

侧壁又布置了腰部风,因此可以防止燃烧器本身发生结焦现象。

组合式燃烧器的上组三层一次风,采用的是CE公司转让技术的WR型燃烧器,其特点这里不再赘述。两种燃烧器的有机结合,使得组合式燃烧器的功能更加完善,性能更加优良。例如双通道燃烧器的低负荷稳燃特性和可上下摆动的WR燃烧器在燃烧调整中的作用,就是其中值得一提的两个重要功能。

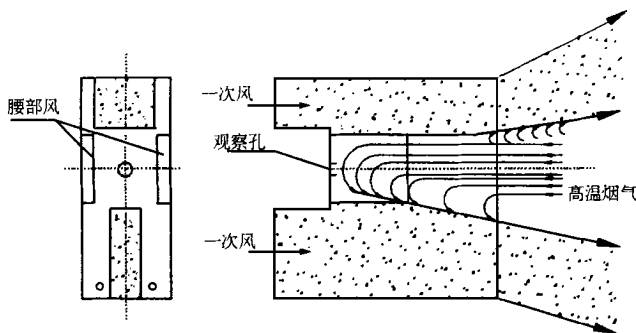


图3 双通道自稳式燃烧器原理图

5 锅炉运行情况简介

HG-1021/18.2-WM10型锅炉首台产品石门电厂1号炉于1996年1月顺利通过168小时试运行,正式交付生产。2号炉也于同年12月投运。由于种种原因,这两台锅炉几年来一直未能燃用设计煤种或校核煤种,而以当地的小窑煤代之。小窑煤的煤质与设计煤种相差甚远,可燃质挥发份一般只有11%左右,热值也较低约为1675 kJ/kg,而灰份则高达40%~50%。就是燃用这种难燃的煤,锅炉仍能正常运行,出力和参数都能达到设计要求,带满300 MW负荷,而且可以在42%MCR工况下不投油稳定运行,表现出极强的低负荷能力,证明了双通道燃烧器优良的稳燃性能,业主对此非常满意。

在燃用当地小窑煤的情况下,石门电厂300 MW锅炉运行初期,曾出现锅炉效率较设计值(91.7%)偏低的问题,实际效率约为89%~90%,与国内几台大型“W”火焰锅炉差不多。分析其原因,主要是煤质变化过大所引起的。煤的机械未完全燃烧损失 q_4 按下式计算:

$$q_4 = \frac{32866A_{ar}}{Q_{net,ar}} \times \left(\frac{C_{fh} \eta_{fh}}{100 - C_{fh}} + \frac{C_{lz} \eta_{lz}}{100 - C_{lz}} \right)$$

小窑煤灰份 A_{ar} 比设计煤种增加了一倍多,而低位发热值 $Q_{net,ar}$ 仅为设计煤种的2/3左右,从上式可以看出,若灰和渣含碳量不变,仅此即可使 q_4

上升2个百分点以上。另外,热值下降过多,引起制粉系统严重超负荷,只能以牺牲煤粉细度来带满出力,这就意味着飞灰含碳量 C_{fh} 和炉渣含碳量 C_{lz} 都必然升高,进而导致 q_4 升高。为使磨煤机出力能满足机组满发的要求,降低煤粉细度同时也意味着增加系统的通风量,即三次风量大增,这使得细粉分离器超负荷运行,三次风带粉量加大,不利燃尽的因素进一步增加。

根据以上分析,可得出这样的结论,石门电厂300 MW锅炉出现的锅炉效率偏低问题,完全是由于燃用小窑煤,煤质下降过多造成的,若燃用设计煤种,其效率完全可以达到设计值。

目前有关各方正在解决燃用小窑煤带来的问题,对锅炉本体和制粉系统进行一些必要的改造,包括按原设计敷设一定数量的品字形卫燃带等。

湘潭电厂两台HG-1021/18.2-WM10型锅炉也已相继投入运行。由于其燃用的煤种与设计煤种接近,加上如前所述按设计敷设了适量的卫燃带,因此该电厂300 MW锅炉不仅同样具有明显的低负荷稳燃特性,而且各项运行参数和技术指标都达到了设计值。

6 结束语

哈尔滨锅炉厂有限责任公司开发设计的HG-1021/18.2-WM10型亚临界自然循环无烟煤锅炉,在总结哈锅多年劣质煤锅炉设计经验和消化吸收引进技术的基础上,在锅炉整体,特别是燃烧系统的设计中采用了多项行之有效的先进技术,使大型无烟煤锅炉的设计达到了一个新水平。与国外燃用无烟煤常用的“W”型火焰锅炉相比,该型锅炉具有钢材耗量少、NO_x排放量低等优点。该型锅炉的研制成功,为燃用我国储量丰富的低挥发份煤开辟了一条新路。

参考文献

- [1] 傅维标,张恩仲等. 双通道通用煤粉主燃烧器. 中国电力, 1993, (8).
- [2] 薛德明,高飞. HG-1021/18.2-WM10型锅炉说明书. 哈尔滨锅炉厂有限责任公司 1994年.
- [3] 陈济榕,华洪渊. 300 MW亚临界锅炉的研制、改进与发展. 机械工业部 300 MW、600 MW火电机组引进技术文集, 1996年.

(渠源 编辑)

On the basis of the water wall thermodynamic test of a 600 MW boiler unit and through the use of a finite-element analytical method an analysis was conducted of the dynamic variation with heat transfer conditions of membrane water wall tube wall temperature distribution of a low-circulation ratio boiler. The analysis aims at identifying the underlying basic cause of water wall tube wall temperature fluctuations. The results of the analysis show that the basic cause leading to the fluctuations of the water wall tube wall temperature lies in the deterioration of in-tube heat transfer. In the course of a heat transfer deterioration taking place inside the tubes of a single-side heated water wall the temperature difference between the fire-facing tube inner and outer tube wall surface has a relatively small time-dependent fluctuation. However, the water wall peripheral temperature difference suffers a drastic fluctuation triggered by the wall temperature fluctuations of the fire-facing outer wall. **Key words:** water wall, temperature field, finite element

换热器性能的火用经济评价 = **Exergy-economic Evaluation of a Heat Exchanger Performance** [刊, 中] / Wu Shuangying (Chongqing University) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(6). — 437 ~ 440

Based on the exergy-economic analysis of heat exchanger heat transfer and flow process the author has come up with a heat exchanger performance evaluation index, the so-called η criterion, defined as the total cost per unit quantity of heat transferred. Furthermore, conducted was the exergy-economic analysis and optimization of three types of heat exchangers i. e., down-flow, cross-flow and counter-flow. The methods employed and results presented in this paper can serve as a guide during the performance evaluation of heat exchangers. **Key words:** heat exchanger, exergy-economic analysis, performance evaluation

三维温度场计算机可视化系统的研制与开发 = **Development and Fabrication of a Computer-based Visual System for Three-dimensional Temperature Fields** [刊, 中] / Zhang Shishuai, Luo Jun, Zhu Maoshu, et al (Central University of Science & Technology) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(6). — 441 ~ 442

Described in this paper is a computer-based visual system for the visualization treatment of a three-dimensional temperature field encountered in engineering thermophysics by the use of computer graphic and image techniques. The above-cited system includes a variety of modules, which are used for performing such functions as the model building of the three-dimensional temperature field, color mapping, setting-up of a visual model, extraction of a sectional plane, the setting of visual angle, etc. The system is developed and realized on a Windows 95 platform with the help of Visual C. **Key words:** three-dimensional temperature field, visual system, model building

大型亚临界无烟煤电站锅炉的开发设计 = **The Design and Development of a Large-sized Anthracite-fired Subcritical-pressure Utility Boiler with a Tangential firing System** [刊, 中] / Chen Jirong, Gao Feng (Harbin Boiler Co. Ltd.) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 1999, 14(6). — 443 ~ 446

The present paper describes the technical features and operational achievements of a 300 MW subcritical-pressure, natural-circulation and anthracite-fired boiler developed and designed by Harbin Boiler Co. Ltd (HBC). It focuses on some effective technical measures taken to ensure a good ignition, stable combustion and thorough burn-off, a stable combustion without relying on oil support even at low loads and complete combustion of low volatile coal as well as a slag-free operation and a reduction in NO_x emissions. With respect to the burner design a "self-stabilizing combustion technology incorporating double primary air channel" developed jointly by HBC and Qinghua University has been adopted. This item of technology was awarded a China National Golden Prize for outstanding creative and inventive patents. The marked flame stability at low loads and excellent overall performance provided by the above-cited technology have advanced the design of high-capacity anthracite-fired boilers to a new level. Such boilers with a tangential firing system enjoy the advantages of low steel consumption, low NO_x emission, etc. Their successful development has blazed a new trail for the utilization of low volatile coals, an abundant resource in China. **Key words:** anthracite, sub-critical, natural circulation, boiler design, burner

煤粉锅炉液化气点火装置的理论与实践 = **Theory and Practice of a Liquefied Petroleum Gas-based Ignition**