

基于褐煤干燥技术的机炉热集成优化系统

方亚雄, 许 诚, 徐 钢, 杨勇平

(华北电力大学 国家火力发电工程技术研究中心 北京 102206)

摘 要: 在褐煤机组抽汽干燥系统的基础上, 结合锅炉尾部烟气余热利用技术, 提出了一种机炉热集成优化系统, 利用褐煤干燥时蒸发的尾气预热空预器入口空气, 同时在省煤器后的旁路烟道内加装两级烟水换热器, 加热部分凝结水, 节省汽轮机回热抽汽, 从而进一步提高机组效率。结合某 600 MW 超临界褐煤机组, 分析对比了常规抽汽干燥系统和机炉热集成优化系统的热力学特性和综合节能效果, 并初步探讨了优化系统的技术经济学性能。结果表明: 案例机组在优化系统下可降低供电煤耗 $4.3 \text{ g}/(\text{kW} \cdot \text{h})$, 按年运行 5 000 h 计算, 优化系统每年可减少标煤量 1.29 万 t, 年节约燃料费 700 余万元(按褐煤标煤 560 元/t 计), 静态投资回收期仅为 3.3 年, 经济效益显著。

关键词: 褐煤机组; 抽汽干燥; 烟气余热利用; 机炉热集成

中图分类号: TQ536 文献标识码: A

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.01.022

引 言

我国已探明的褐煤资源达 1 300 多亿 t, 占全国煤炭储量的 13%^[1]。近年来越来越多的电厂开始燃用价格较低的褐煤进行发电, 这降低了发电成本, 但也为机组运行带来了一些问题。褐煤属低质煤, 其水分大、能量密度低, 若直接参与燃烧, 由于其本身水分较高, 燃烧生成的烟气量偏大, 最终排烟温度升高, 导致排烟损失过大, 降低了锅炉效率, 影响机组运行的经济性。因此, 预干燥过程对褐煤的高效利用十分必要^[2-3]。

国外已经开展了大量的研究, 文献[4]用计算机仿真的方法研究了火电厂耦合不同干燥机的效率变化情况; 文献[5]分析对比了 25% 掺烧褐煤机组与褐煤干燥机组的经济性, 结果证明褐煤干燥机组

具有更好的经济性和较低碳排放量。国内对褐煤干燥的研究开展稍晚, 文献[6-8]对高水分褐煤的集成干燥技术进行了综述, 褐煤干燥特性的实验研究也逐步开展^[9-11]。文献[12]研究了利用烟气预干燥褐煤发电系统, 建立了热经济性分析模型, 并对烟气温度以及干燥机效率对节煤效果的影响进行了规律性评价。文献[12-13]利用抽汽干燥褐煤, 并对干燥尾气的工质和热量的回收利用进行了初步研究。总体而言, 就褐煤预干燥技术发展路线来看, 抽汽干燥因其干燥效率高, 干燥设备体积小, 安全性高, 干燥尾气易提取等优点, 是目前最有发展前景的褐煤火力发电机组的干燥方式; 而目前对于褐煤预干燥的研究内容则多集中在干燥原理和方法, 干燥后煤质特性等方面, 较少有研究关注褐煤干燥尾气与尾部烟气能量的综合梯级利用等问题。

有鉴于此, 本研究以常规褐煤电站抽汽干燥系统为基础, 结合锅炉尾部烟气余热利用技术, 创造性地提出了褐煤机组的机炉热集成优化系统, 实现了干燥尾气的高效利用, 提高了空气预热器入口空气温度, 同时节省了较高温度的回热抽汽, 增加了发电效率。

1 褐煤机组常规抽汽干燥系统

选取某典型 600 MW 超临界燃煤机组作为研究对象, 该机组采用 N600-24.2/566/566 型超临界中间再热凝汽式汽轮机和 SG-1910-25.4-M951 超临界压力直流锅炉; 锅炉直接燃用未干燥伊敏褐煤时, 排烟温度 148 ℃。汽轮机的热力特性数据如表 1 所示。

收稿日期: 2014-03-27; 修订日期: 2014-05-16

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助项目(973 计划)(2011CB710706); 国家自然科学基金资助项目(U1261210); 中央高校基金(2014XS35); 北京高等学校青年英才计划项目(71A1411127)

作者简介: 方亚雄(1990-), 男, 安徽桐城人, 华北电力大学工程硕士。

表 1 各级回热加热器的热力参数

Tab. 1 Thermal parameters of recuperative heaters at various stages

加热器	抽汽压力 P/MPa	抽汽焓 $H/\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$	抽汽流量 $/\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$	给水进口温度 $/\text{C}$	给水出口温度 $/\text{C}$
1号	6.01	3 045.2	25.45	252.7	275.2
2号	4.27	2 970.6	36.91	214.5	252.7
3号	2.15	3 427.4	20.62	183.2	214.5
4号	1.06	3 222.3	20.53	141.6	176.9
5号	0.43	2 998.5	24.20	101.2	141.6
6号	0.12	2 758.2	11.40	81.8	101.2
7号	0.06	2 645.9	15.12	58.5	81.8
8号	0.02	2 511.3	10.21	43.2	58.5

结合机组热力参数和干燥工艺要求,常规抽汽干燥系统构成如图 1 所示。汽轮机 5 号低压抽汽通过抽汽管道输送至干燥机,在干燥机中将其显热和汽化潜热传递给高水分褐煤,放热后凝结为同一压力下的饱和水,饱和水通过疏水泵连接至 6 号回热加热器疏水,进入汽轮机给水系统。湿煤仓中存储的高水分褐煤经磨煤机粉碎,被汽轮机抽汽加热,煤中水分大部分蒸发,干燥装置蒸发的水蒸汽和少量煤粉的混合物进入细粉分离器,分离下来的煤粉与干燥煤粉一起排入干煤磨煤机,最后经干煤磨煤机研磨后进入锅炉炉膛燃烧,分离后的尾气排空。

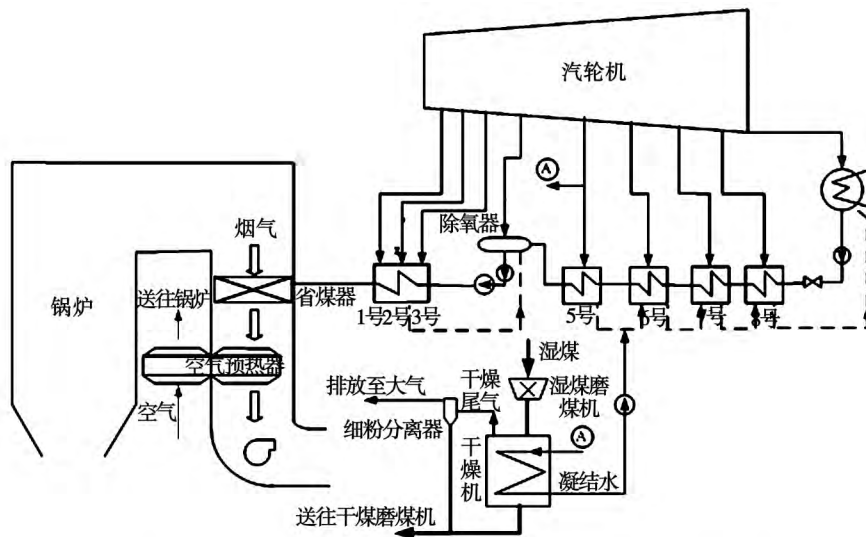


图 1 常规抽汽褐煤干燥系统简图

Fig. 1 Simplified drawing of the conventional steam extraction lignite drying system

机组采用抽汽干燥后,其干燥前后煤质主要参数如表 2 所示。可知,湿煤粉经干燥后,水分含量由 39.5% 降低至 15%,低位发热量由 11.51 MJ/kg 提高到 17.18 MJ/kg,热值相对提高 49%;排烟温度由 148 °C 降低至 130 °C,排烟损失显著下降,炉内燃烧效率和锅炉整体效率都有所提高。

2 褐煤电站机炉热集成优化系统

由上文分析可知,常规干燥系统抽取中压缸抽汽干燥褐煤,使其水分降低,发热量增加,提高了机组的热效率。然而,常规干燥系统也存在一些不足之处:干燥蒸发的大量水分直接排空,其携带的热量

没有得到回收,造成了一定浪费。

表 2 煤粉干燥前后煤质主要参数

Tab. 2 Main parameters of coal before and after the pulverized coal had been dried

参数	干燥前	干燥后
$M_{ar}/\%$	39.50	15.00
$A_{ar}/\%$	12.09	16.99
$C_{ar}/\%$	34.59	48.60
$H_{ar}/\%$	2.03	2.85
$O_{ar}/\%$	11.30	15.87
$N_{ar}/\%$	0.35	0.49
$S_{ar}/\%$	0.14	0.20
$Q_{net,ar}/(\text{MJ}\cdot\text{kg})^{-1}$	11.51	17.18

为进一步提高褐煤电站的效率,采用相变换热的前置式空预器回收干燥尾气的潜热,用以预热主空气预热器入口冷空气。而在烟气流量和最终热空气温度保持不变的条件下,空气预热器入口的空气温度提高会造成排烟温度升高。为合理利用排烟余热,在优化系统中,提出在省煤器后设置旁路烟道,通过减少主烟道内烟气流量来降低排烟温度;而在

旁路烟道中,增设烟水换热器用于加热部分给水和凝结水。总之,烟气在烟水换热器中放热,加热回热系统中部分给水和凝结水节省部分回热抽汽,节省的抽汽在汽轮机内继续做功,实现了在燃料量基本保持不变的条件下,机组做功增加、煤耗降低。基于褐煤干燥技术的机炉热集成优化系统(以下简称优化系统)如图 2 所示。

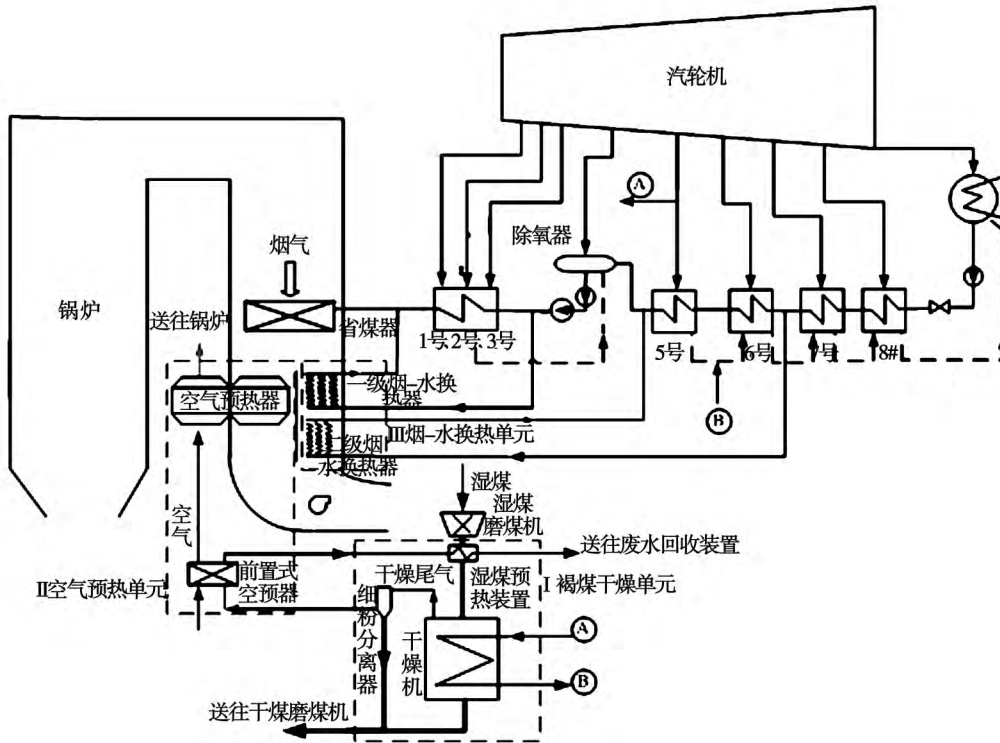


图 2 机炉热集成优化系统简图

Fig. 2 Simplified drawing of a steam turbine-boiler thermal integration optimization system

图 2 中,优化系统主要由褐煤干燥单元、空气预热单元和烟水换热单元 3 个部分组成。在褐煤干燥单元中,湿煤粉被预热后进入干燥机,干燥热源取自汽轮机 5 号抽汽,抽汽凝结放热后经 6 号疏水返回凝结水系统。而褐煤中蒸发的水分与常规系统不同,经细粉分离器净化后,进入空气预热单元的前置式空预器加热环境温度空气,放热后凝结为同压力下饱和水,送往湿煤预热装置预热磨煤机出口湿煤粉,最后由废水处理系统回收。预热后的空气在主空气预热器中被烟气继续加热至设定的热风温度后送往锅炉。在烟水换热单元旁路烟道中,烟气先后流经一级烟水换热器和二级烟水换热器,分别与 1 号-3 号高压加热器和 5 号-6 号低压加热器并联加

热部分给水/凝结水,最终烟温降至设计排烟温度后与主烟道烟气混合,进入尾部烟道之后的除尘及脱硫单元。

3 热力学分析

3.1 热力系统建模

结合案例电厂和褐煤干燥相关参数,采用 EB-SILON Pro 软件进行系统模拟分析,模拟过程假定:(1)常规系统与优化系统厂用电率 5.5%、管道效率 99% 保持一致;(2)汽机侧给水总流量不发生变化。(3)最终排烟温度(130 ℃)不变化。(4)干燥流程中主要参数及煤种干燥前后成分一致。具体参

数设置如表 3 所示。

表 3 褐煤干燥系统的关键参数设定
Tab.3 Setting of the key parameters
of the lignite drying system

参数	设定值
入口煤粉流量/kg·s ⁻¹	109.65
入口煤粉水分/%	39.5
出口煤粉温度/℃	102
出口煤粉水分/%	15
入口蒸汽温度/℃	266
入口蒸汽压力/MPa	0.43
干燥过程蒸汽压损/MPa	0.01

为保证烟水换热器面积设计合理,换热温差应保持在一定范围内,因此选取节点温差在 15℃以上,平均温差在 49℃以上;另外为防止尾部受热面低温腐蚀,同时也为了便于与常规机组比较,排烟温度也受到限制,最终出口排烟设定为 130℃。

3.2 模拟结果

系统主要热力学参数模拟结果,如表 4 所示,在褐煤干燥单元中,常规干燥系统与机炉热集成优化系统布置相同,从汽轮机 5 号回热加热器抽取蒸汽(0.43 MPa, 266℃)加热湿煤粉,凝结成饱和水(0.42 MPa, 125.4℃),干燥消耗的低压抽汽量为 40.7 kg/s,从煤粉中蒸发出的水分(31.6 kg/s)送入空气预热单元,经过除尘的干燥尾气在前置式空气预热器中加热环境温度的空气(25℃),使得空气预热器的入口空气温度升高到 86℃,尾气则凝结成饱和水,送往磨煤机之后的预热装置用以加热湿煤粉,预热后的空气在主空气预热器中被烟气继续加热。旁路烟道中,采用一级烟水换热器加热 3 号高压加热器之前的凝结水,将凝结水加热至省煤器入口水温 275℃,烟温降至 210℃;采用二级烟水换热器并联在 5 号和 6 号低压加热器两端,加热一部分 5 号和 6 号给水,从而节省了部分 5 号、6 号低压抽汽,同时出口烟气维持原排烟温度 130℃。

3.3 优化系统性能分析

图 3 给出了优化系统与常规系统汽轮机侧各级回热加热器抽气量变化,由图可知,在烟水换热单元中,烟气可在一级烟水换热器中代替抽汽加热 44 kg/s 的给水,在二级烟水换热器中代替抽汽加热 38 kg/s 的凝结水,这使得并联一级烟水换热器和二级

烟水换热器的 1 号、2 号、3 号高压加热器和 5 号、6 号低压加热器抽汽量明显减少,节省的抽汽得以在汽轮机内继续做功,从而机组出功得到显著增加。从图中还可发现,除氧器和 7 号、8 号低压加热器的抽汽量有小幅增加,这是由于一方面减少的抽汽最终都在凝汽器中凝结,增大了凝结水量;另一方面,由于前一级抽汽量减少导致疏水量减少,后一级中的疏水放热量也有所降低,为保证各级回热加热器出口水温不变,除氧器和 7 号、8 号低压加热器抽汽量略有增大。但易见,除氧器(DEA)和 7 号、8 号低压加热器的抽汽增加量远小于其它各级的抽汽降低值,而且前者蒸汽的温度、压力均明显低于后者,对于机组出功和效率的影响较小,整个机组的热力性能将主要受 1 号-3 号和 5 号-6 号抽汽的节省而得到明显提高。

表 4 热力学参数模拟结果

Tab.4 Simulation results of the thermodynamic parameters

参 数	优化系统	常规系统
干燥机		
干燥用蒸汽压力/MPa	0.43	0.43
干燥用蒸汽温度/℃	266	266
凝结水温度/℃	125	125
前置式空预器		
干燥尾气温度/℃	112	
干燥尾气压力/MPa	0.15	
干燥尾气流量/kg·s ⁻¹	31.6	
空气流量/kg·s ⁻¹	505	
空气预热器		
主烟道烟气流量/kg·s ⁻¹	505	617
进/出口空气温度/℃	86.3/325	25/325
进/出口烟气温度/℃	356/130	356/130
一级烟水换热器		
旁路烟道烟气流量/kg·s ⁻¹	112	
进/出口烟温/℃	356/210	
进/出口凝结水温度/℃	183/275	
加热凝结水量/kg·s ⁻¹	44	
二级烟水换热器		
进/出口烟温/℃	210/130	
进/出口凝结水温度/℃	82/141	
加热凝结水量/kg·s ⁻¹	38	
排烟温度/℃	130	130

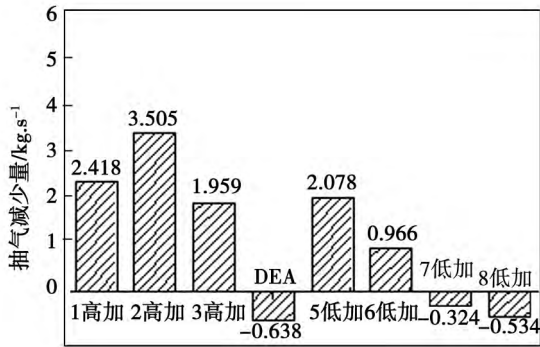


图 3 各级回热加热器抽气量变化

Fig. 3 Changes of the steam extracted to various recuperative heaters

新系统较常规系统新增了换热面积, 从而引起工质流动阻力的变化及辅机功耗的增加, 对此作如下考虑;

(1) 对于烟气阻力的变化, 体现在烟气在分割烟道两侧的压降与常规系统空预器处压降的差值;

(2) 对于空气阻力的变化, 体现在空气在优化系统空预器中的压降与常规系统空预器中压降的差值;

(3) 对于凝结水阻力的变化, 由于优化系统中烟水换热器及前置式空预器中凝结水体积流量较小, 水泵功耗变化量也较小, 因此可以忽略。

由流动工质压降变化 Δp_r 可计算出风机功耗变化 ΔP :

$$\Delta P = \frac{q_g \Delta p_r}{1000 \rho_g \eta_f}$$

式中: q_g —烟气或空气的流量 kg/s; ρ_g —烟气或空气的密度 kg/m³; η_f —风机效率, 一般取 0.85。

表 5 给出了常规系统与新系统热力参数的对比, 由分析结果可以看出, 案例电厂采用常规抽汽干燥系统时机组功率为 574 MW, 而采用优化系统时发电功率为 584.7 MW, 增加了 10.7 MW。这主要是因为干燥尾气的蒸汽潜热得到回收利用, 使得空气预热器入口空气温度升高, 所需烟气放热量减少, 减少的烟气热量在烟水换热器中被用于加热给水和凝结水, 节省了部分回热抽汽, 进而增加了机组做功。最终, 在保证出口排烟温度不变的情况下, 机炉热集成优化系统比常规抽汽干燥系统机组发电净效率上升 0.7%, 供电标准煤耗降至 280.9 g/(kW·h)。

h) 降低了 4.3 g/(kW·h), 节能效果显著。

表 5 热力性能参数

Tab. 5 Thermal performance parameters

参数	常规系统	优化系统	变化量
前置空预器换热量/MW	-	27.7	27.7
主空预器换热量/MW	151.6	123.9	-27.7
高温烟水换热器/MW	-	18.0	18.0
低温烟水换热器/MW	-	9.6	9.6
发电功率 P /MW	574.0	584.7	10.7
空气流动压降/Pa	229.4	1298.2	1068.8
烟气流动压降/Pa	331.1	499.2	168.1
新增设备厂用电耗/MW	-	0.6	0.6
供电电功率 P_{net} /MW	542.4	552.5	10.1
汽轮机有效利用热 E_{total} /MJ	2251	2258	7
机组发电净效率/%	43.1	43.8	0.7
供电标准煤耗 b^s /g·(kW·h) ⁻¹	285.2	280.9	-4.3

4 技术经济性分析

为了全面揭示机炉热集成系统的综合性能, 本研究在热力分析的基础上, 对优化系统进行了技术经济性分析, 与常规系统相比优化系统初投资将有所增加, 主要有两方面, 一方面是新增加的设备如两级烟-水换热器、前置式空预器、泵及管道等带来的额外投资, 另一方面, 在机炉热集成系统中, 空气预热器入口风温提高, 空气预热器内平均换热温差和换热量随之降低, 在换热系数变化不大的情况下, 空气预热器换热面积也需有所增加, 从而导致优化系统投资成本提升;

表 6 给出了对优化系统投资增加情况的估算, 相比于常规系统, 优化系统新增设备投资仅 2 100 余万元, 系统增加投资较低。

表 6 优化系统投资(万元)

Tab. 6 Optimized system investment

设备	优化系统
主空气预热器增加	396
前置式空气预热器	433
高温烟水换热器	332
低温烟水换热器	222
泵及管道	315
土建安装费用	425
总投资	2 123

计算静态投资回收年限 N :

$$N = C / (\Delta I - C_{O\&M}) \quad (1)$$

式中: C —总投资; ΔI —每年节约燃煤成本,此处按电厂年运行 5 000 h,标煤市场价格以 560 元/t 计; $C_{O\&M}$ —每年的设备运行和维护成本,假定每年的运行和维护成本一定,此处取一次性投资额的 4%^[14-15],计算经济性分析的评价指标如表 7 所示。

表 7 优化系统经济性分析的评价指标

Tab. 7 Indexes for evaluating the cost-effectiveness of the system optimized

项 目	优化系统
总投资/万元	2 123
年维护费用/万元·a ⁻¹	85
年节约燃料量/万吨·a ⁻¹	1.29
年节约燃料费/万元·a ⁻¹	722
静态回收年限/a	3.3

计算结果表明,与常规系统相比,优化系统年节约标煤 1.29 万 t,大大降低火电机组燃煤消耗量。在电厂年运行 5 000 h 负荷条件下,优化系统较常规抽汽干燥系统每年减少燃料成本可达 720 余万元(按标煤市场价格 560 元/t 计算)。在总投资 2 000 余万元的情况下,静态投资回收期仅为 3.3 a,实现了经济收益显著和降耗效果明显的双重目标。为今后大容量褐煤机组广泛应用提供了理论和实际的重要参考。

5 结 论

本研究结合锅炉尾部烟气余热利用技术,提出了一种基于褐煤抽汽干燥技术的机炉热集成优化系统,利用干燥尾气预热空气,减少了主空预器所需的烟气体量,即利用干燥尾气的较低品位热量节省了锅炉尾部烟道的较高品位烟气体量;同时在锅炉尾部烟道设置旁路烟道,利用烟气加热部分给水,从而利用较高品位的烟气热量节省了更高品位的抽汽能量,最终实现了空气预热过程和回热加热过程的能量梯级利用。基于典型 600 MW 褐煤机组参数,对比分析了常规抽汽干燥系统以及机炉热集成优化系统的热力学性能与技术经济性参数,结果表明,优化系统具有以下优点:

(1) 高效节能。在最终排烟温度 130 °C 不变的

情况下,案例电厂采用优化系统较常规系统节煤量可达 4.3 g/kW·h,在电厂年运行 5 000 h 负荷条件下,优化系统较常规抽汽干燥系统每年减少燃料成本近 1 000 万元,节能效果明显,若允许排烟温度在合理范围内进一步降低,系统收益将更为显著;

(2) 较好的经济性。在设备总投资 2 100 余万元,年维护费用为总投资额的 4% 的情况下,优化系统的静态投资回收年限仅为 3.3 a,回收成本较快;

(3) 可观的节水效果。干燥尾气加热空气后生成的凝结水经废水处理装置后可加以利用,制水量由干燥尾气流量估算可接近 100 t/h,节水性能优越;

(4) 减轻锅炉尾部低温腐蚀,改善锅炉运行工况。优化系统利用水蒸气预热环境温度的空气,提高了空预器进口空气温度,使得空预器管壁最低温度较常规系统有所提升,可有效降低北方电厂冬季空预器处发生的低温腐蚀的风险;在烟水换热单元,本文系统设计中管壁最低温度即二级烟水换热器入口水温高于 80 °C,基本避免了低温腐蚀现象。

参考文献:

[1] 邵俊杰. 褐煤提质技术及我国褐煤提质技术发展趋势初探[J]. 神华科技, 2009, 7(2): 17-22.
SHAO Jun-jie. Exploratory study of the development tendency of the lignite quality enhancement technology and the same technology in China[J]. Shenhua Science and Technology, 2009, 7(2), P17-22.

[2] 阎维平,马凯,李春启,等. 褐煤干燥对电厂经济性的影响[J]. 中国电力, 2010, 43(3): 35-37.
YAN Wei-ping, MA Kai, LI Chun-qi, et al. Effect of the lignite drying on the cost-effectiveness of a power plant[J]. China Electric Power, 2010, 43(3): 35-37.

[3] 汪寿健. 褐煤干燥成型多联产在工程实践中的应用和发展[J]. 化工进展, 2010, 29(8): 1379-1387.
WANG Shou-jian. Applications of lignite drying-based proven co-generation in engineering practice and its development[J]. Chemical Industry and Engineering Progress, 2010, 29(8): 1379-1387.

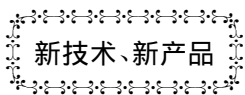
[4] Kakaras E, Ahladas P, Symopoulos S. Computer simulation studies for the integration of an external dryer into a Greek lignite-fired power plant[J]. Fuel, 2002, 81(5): 583-593.

[5] Michalis Agraniotis, Antonis Koumanakos, Aggelos Doukellis, et al. Investigation of technical and economic aspects of pre-dried lignite utilization in a modern lignite power plant towards zero CO₂ emissions[J]. Energy, 45(2012): 134-141.

[6] 常春祥,熊友辉,蒋泰毅. 高水分褐煤燃烧发电的集成干燥技术[J]. 选煤技术, 2006, 2(2): 19-21.

- CHANG Chun-xiang, XIONG You-hui, JIANG Tai-yi. Integrated drying technology for high water content lignite coal-fired power generation[J]. Coal Preparation Technology, 2006, 2(2), P19-21.
- [7] 万永周, 肖雷, 陶秀祥, 等. 褐煤脱水预干燥技术进展[J]. 煤炭工程, 2008(8): 91-93.
WAN Yong-zhou, XIAO Lei, TAO Xiu-xiang, et al. Advances in the lignite dewatering and predrying technology[J]. Coal Project, 2008(8): 91-93.
- [8] 田靖, 刘兵. 褐煤干燥技术进展及应用[J]. 煤化工, 2012(3): 1-5.
TIAN Jing, LIU Bin. Advances and applications of the lignite drying technology[J]. Coal Chemical Industry, 2012(3): 1-5.
- [9] 赵卫东, 刘建忠, 周俊虎, 等. 褐煤等温脱水热重分析[J]. 中国电机工程学报, 2009, 29(14): 74-79.
ZHAO Wei-dong, LIU Jian-zhong, ZHOU Jun-hu, et al. Thermogravimetric analysis of lignite coal dewatered at a constant temperature[J]. Proceedings of China Electric Machinery Engineering, 2009, 29(14): 74-79.
- [10] 田忠坤. 直管式气流干燥器干燥褐煤的试验研究[J]. 选煤技术, 2010, 3(3): 16-20.
TIAN Zhong-kun. Experimental study of a straight tube type air flow dryer to dry lignite coal[J]. Coal Preparation, 2010, 3(3): 16-20.
- [11] 李先春, 余江龙, 胡广涛, 等. 印尼褐煤干燥和水分再吸收特性的试验研究[J]. 现代化工, 2009, 29(S1): 5-7.
LI Xian-chun, YU Jiang-long, HU Guang-tao, et al. Experimental study of the drying and water content reabsorption characteristics of Indonesia-originated lignite[J]. Modern Chemical Industry, 2009, 29(S1): 5-7.
- [12] 李勤道, 刘明, 严俊杰, 等. 锅炉烟气预干燥褐煤发电系统热经济性计算分析[J]. 中国电机工程学报, 2013, 32(20): 14-19.
LI Qin-dao, LIU Ming, YAN Jun-jie, et al. Thermal cost-effectiveness calculation and analysis of a lignite power generation system with the flue gases from boilers predried[J]. Proceedings of China Electric Machinery Engineering, 2012, 32(20): 14-19.
- [13] 郭晓克, 刘明, 肖峰, 等. 带废热回收的预干燥燃褐煤发电系统理论研究[J]. 中国电机工程学报, 2012, 32(8): 44-49.
GUO Xiao-ke, LIU Ming, XIAO Feng, et al. Theoretical study of a predried lignite-fired power generation system with the waste heat being recovered[J]. Proceedings of China Electric Machinery Engineering, 2012, 32(8): 44-49.
- [14] 郭晓克, 肖峰, 严俊杰, 等. 高效褐煤发电系统研究[J]. 中国电机工程学报, 2011, 31(26): 23-31.
GUO Xiao-ke, XIAO Feng, YAN Jun-jie, et al. Study of an effective lignite-fired power generation system[J]. Proceedings of China Electric Machinery Engineering, 2011, 31(26): 23-31.
- [15] 傅秦生. 能量系统的热力学分析方法[M]. 陕西: 西安交通大学出版社, 2005.
FU Qin-sheng. Method for thermodynamically analyzing an energy system[M]. Shaanxi: Xi'an Jiaotong University Press, 2005.
- [16] 杨勇平, 许诚, 徐钢, 等. 空冷机组空气-烟气余热利用综合分析[J]. 动力工程学报, 2013, 33(11): 907-912.
YANG Yong-ping, XU Cheng, XU Gang, et al. Comprehensive analysis of the air-flue gas waste heat utilization in an air cooled unit[J]. Journal of Power Engineering, 2013, 33(11): 907-912.

(单丽华 编辑)



优化生物质为燃料的蒸燃联合装置参数

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2015.01.023

据《Энергетика》2013年11-12月刊报道,白俄罗斯国立技术大学的专家指出,固体生物质用作动力装置燃料将是小型动力工程的发展方向。

双循环发电装置将可以大幅度地提高生物质能源的利用率,并且与蒸汽动力装置比较,在燃料利用率保持在70%水平时,可使发电效率进一步提高。

最高发电效率首先由生物质燃烧条件限制的燃气轮机入口空气温度所决定。在此容许温度下,最佳空气流量系数为3.5-5.0,压气机压比为4.5-5.5。

(吉桂明 摘译)

tubesheets of a condenser it is reasonable and feasible to use the matrix displacement method to seek solutions to the mechanical model for tubesheets and beams. **Key Words:** condenser , tubesheet , beam , matrix displacement method

含 CO₂ 气流对 20 号碳钢冲蚀磨损性能影响的试验研究 = **Experimental Study of the Influence of a CO₂ contained Gas Flow on the Erosion and Wear Performance of 20 Carbon Steel** [刊 ,汉] ZHAO Xian-ping ,ZHU Chong-wu ,SUN Jian-rong ,PAN Wei-guo (College of Energy Source and Mechanical Engineering ,Shanghai University of Electric Power ,Shanghai ,China ,Post Code: 200090) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015 ,30(1) . -78 -80

Tube rupture of coal-fired boilers in thermal power plants arisen from the erosion and wear by flying ash is considered as a problem urgently to be solved in the sector. The authors studied the influence of a gas flow contained carbon dioxide on the erosion and wear performance of 20 carbon steel by using an experimental study method when the temperature is within a range from 250 °C to 450 °C and compared with the results of the test of the same kind previously made in the compressed air flow. The test results show that the wear and tear law of 20 carbon steel keeps unchanged after the carbon dioxide gas flow is added and the relative amount of steel worn and torn will first decrease and then increase with an increase of the temperature. At the same time ,due to the interaction of oxidized corrosion and erosion ,the erosion and wear amount of 20 carbon steel will conspicuously increase after an addition of carbon dioxide to the gas flow. **Key Words:** erosion and wear by flying ash ,CO₂ ,20 carbon steel ,coal-fired boiler

基于褐煤干燥技术的机炉热集成优化系统 = **Lignite Drying Technology-based Turbine-boiler Thermal Integrated System** [刊 ,汉] FANG Ya-xiong ,XU Cheng ,XU Gang ,ZHANG Chen-xu ,YANG Yong-ping(College of Energy Source and Mechanical Engineering ,Shanghai University of Electric Power ,Shanghai ,China ,Post Code: 200090) ,SONG Xiao-na (College of Energy Source and Mechanical Engineering ,Shanghai University of Electric Power ,Shanghai ,China ,Post Code: 200090) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015 ,30(1) . -81 -87

On the basis of the conventional steam extraction drying system for lignite-fired units ,proposed was a type of turbine-boiler thermal integration and optimization system in combination with the flue gas waste heat utilization technology for use in the tail portions of boilers. The steam exhausted from the drying of the lignite was utilized to pre-

heat the air at the inlet of the air preheater and at the same time two stages of flue gas-water heat exchanger were additionally installed in the bypass flue gas duct after the economizer to heat a part of condensate water to save the amount of steam extracted from the steam turbine into the recuperator, thus further enhancing the efficiency of the unit. With a 600 MW supercritical lignite-fired unit serving as an example, through adopting the software Epsilon Pro, the authors analyzed and contrasted the thermodynamic characteristics and comprehensive energy saving effectiveness of the conventional steam extraction drying system and turbine-boiler thermal integration and optimization system with their cost-effectiveness performance of the optimization system being preliminarily explored. It has been found that the exemplary unit can reduce the power supply coal consumption rate by 4.3 g/(kW·h) if the optimization system is adopted when compared with the case if the conventional system is adopted. Therefore, the optimization system can cut down the standard coal consumption quantity of more than 12 900 tons each year as calculated according to the operation time duration in each year having 5 000 hours, thus annually saving the fuel expenses of more than RMB 7 million yuan (calculated as per the standard coal price of RMB 560 yuan/ton) and the static investment payback period being only 3.3 years, boasting outstanding economic benefits. **Key Words:** lignite-fired unit, steam extraction drying, flue gas waste heat utilization, turbine-boiler thermal integration

GMRES 算法在声学法重建三维温度场中的应用 = **Applications of the GMRES Algorithm in Reconstructing a Three-dimensional Temperature Field by Using the Acoustic Method** [刊, 汉] AN Lian-suo, RU Yan-dan, SHEN Guo-qing, WANG Ran (College of Thermal Energy, Power and Mechanical Engineering, North China University of Electric Power, Beijing, China, Post Code: 102206) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2015, 30(1). -88-94

In the measurement of the temperature field in the furnace of a boiler by using the acoustic method, the reconstruction algorithm is regarded as the key to reconstructing the temperature field in the furnace while in the reconstruction algorithm based on the pixel segmentation, to accurately and quickly seek the solutions to the TOF (time of flight) time matrix equation is deemed as the focal work and difficult point. For a problem to seek solutions to the large-sized sparse matrix equation, the generalized minimal residual method (GMRES) can achieve a relatively good result, especially for a problem to seek solutions to the large-sized sparse non-symmetrical matrix equation. The authors applied the GMRES algorithm in the reconstruction of the three-dimensional temperature field in the furnace of a boiler and utilized the Matlab software to simulate and reconstruct on a microcomputer the two kinds of three-dimensional ideal temperature field model, i. e. single peak symmetrical and single peak biased. It has been found that the algorithm in question enjoys a high reconstruction precision and a quick speed, applicable for the recon-