

复合喷动流态化烟气脱硫工艺中 一级气液区段脱硫特性研究

高继录, 高继慧, 陈晓利, 高建民

(哈尔滨工业大学 燃烧工程研究所, 黑龙江 哈尔滨 150001)

摘 要: 提出了一种新型半干法烟气净化工艺, 利用实时在线 SO_2 光谱分析系统对该工艺的一级气液主反应区段进行了脱硫特性的试验研究。详细分析了烟气流速和浆液雾化质量、烟气温度的影响, 并测量了 SO_2 浓度沿程变化情况。试验结果表明, 在优化的工况参数下, 所研究区段的脱硫效率可以达到 55% 以上; 循环灰浓度对该区段脱硫特性有 6% 的显著影响; 通过优化浆液给入方式可以提高脱硫效率 3% 左右; 浆液雾化质量对该区段脱硫效率也有 2%~3% 的明显影响, 最佳气液比为 0.15。

关 键 词: 烟气脱硫; 复合喷动; 气液反应; SO_2 测量; 单因素分离法

中图分类号: X701.3 文献标识码: A

符号说明

Ca/S —钙硫摩尔比;	g/l —雾化喷嘴气液比;
C_{ash} —循环灰浓度/ $\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$;	T_{rk} —脱硫塔入口烟气温度/ $^{\circ}\text{C}$;
C_{SO_2} —脱硫塔入口 SO_2 浓度 / $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$;	x_2 —二级浆液份额

引 言

近年来的研究表明, 通过对半干法烟气脱硫工艺过程及其设备的改进, 完全可能使半干法脱硫工艺在发挥节水优势的同时以低设备投入、低运行成本取得接近湿法的脱硫效率, 所以, 围绕该技术的研究也在不断走向深入^[1~4]。以烟气循环流化床为主的半干法脱硫工艺在我国也获得了广泛应用, 但目前仍然存在脱硫效率较湿法低、负荷适应性不强等问题^[5~8], 为了解决上述问题, 本文提出了新型复合喷动流态化烟气净化工艺。该工艺以烟气循环流化床脱硫技术为基础, 采用多级喷动塔体结构, 将烟

中的 SO_2 在塔内分级分段脱除。在一级塔内形成以液相离子反应为主的反应区段; 在二级塔内形成以高浓度固相含湿颗粒化学吸收、吸附过程为主的反应区段。一级塔内烟气流速较高, 一般为 7~8 m/s, 与常规烟气循环流化床工艺相比, 负荷适应性将得到显著改善, 脱硫塔运行安全性和稳定性得到加强。采用新型工艺后, 二级塔体的脱硫性能被大幅度改善, 因此, 高流化速度下一级塔体的脱硫特性变化将显著影响总体脱硫效果。所以, 本文将重点研究一级塔内脱硫特性并进行参数优化。

1 试验系统及方法

1.1 试验系统

复合喷动烟气净化工艺如图 1 所示, 包括模拟烟气发生系统、吸收剂制备和供给系统、污染物吸收系统、除尘引风系统和测量系统等 5 部分。试验所需热烟气由一台燃油热风炉制备, 燃烧产生的热量可将 1 000 m^3/h 的空气由 20 $^{\circ}\text{C}$ 加热到 200 $^{\circ}\text{C}$ 。燃烧加热后形成的高温烟气进入气体混合室, 与冷风混合, 并将其调整到试验所需温度, 形成模拟烟气。模拟烟气中的 SO_2 由装有液态 SO_2 的钢瓶提供, 流量由转子流量计控制。烟气量和烟气温度可以分别通过旁路调节阀和燃油量来控制调节。未处理烟气经过流化调整后进入一级塔体, 在一级塔体内进行以气、液吸收反应过程为主的烟气净化过程。从一级塔体出来的烟气(颗粒表面水分基本蒸发完毕)经过流化调整后进入二级塔体, 在二级塔体内布置有增强内循环构件, 形成低速流化、高浓度含湿颗粒的内循环, 进行以气固吸收反应和化学吸附过程为主的烟气净化过程。

收稿日期: 2007-10-11; 修订日期: 2007-10-31

基金项目: 国家“十一五”重点科技支撑计划资金资助项目(2006BA01B04)

作者简介: 高继录(1980-)男, 辽宁沈阳人, 哈尔滨工业大学硕士研究生

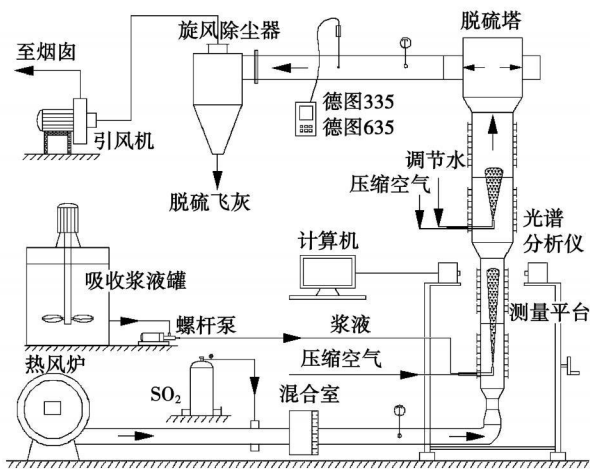


图 1 复合喷动流态化烟气净化工艺

1.2 实时在线 SO₂ 光谱分析测量系统

在以往试验研究中, SO₂ 测量多采用德图烟气分析仪, 受仪器性能限制, 无法进行实时在线测量脱硫塔内 SO₂ 脱除过程。哈尔滨工业大学刚刚开发出新型 SO₂ 光谱分析仪, 该仪器能够实现非接触实时在线测量烟气中 SO₂ 浓度^[9-10]。测量原理是根据一定波长紫外光照射光程内的 SO₂ 后, 在光谱特征分析的基础上根据光强衰减的程度计算得到光程内 SO₂ 的平均浓度。如图 2 所示, 氙灯发出的紫外光经过透镜汇聚后进入测量区域, 出来的光经透镜汇聚后进入摄谱仪中, 摄谱仪采集的数据送入计算机进行光谱分析和浓度计算。光谱法测量 SO₂ 浓度能够得到光线通过截面的线平均浓度, 比单点取样测量更能准确的代表截面平均浓度。该系统可以进行实时、在线和非接触测量, 不影响流场, 不受测量时间限制。研究者同时解决了反应器内温度变化、高粉尘浓度和水蒸气存在对测量结果的影响, 在恶劣的反应环境下可以获得较高精度的测量结果, 为本试验研究的顺利进行奠定了测量基础。

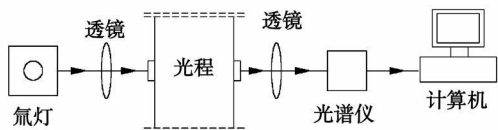


图 2 实时在线 SO₂ 光谱分析测量系统示意图

1.3 试验方法

试验研究采用因素分离法, 主要考察各影响因素对一级气液主反应区段脱硫特性的影响。试验用吸收剂采用新鲜生石灰, 纯度大于 80%, 在试验室

自行消化制备成吸收剂浆液, 消化温度控制在 90 °C 左右。在试验研究中, 水、浆液量、浆液浓度、SO₂ 浓度、雾化空气、烟气温度、烟气量及循环灰浓度等控制参数均可独立调整和测量。试验以标准工况为基础, 对各影响因素进行脱硫特性试验研究, 采用实时在线 SO₂ 光谱分析系统进行测量, 同时采用 testo335 烟气分析仪监测两端。

2 试验结果与分析

2.1 一级反应塔内流化速度对脱硫特性的影响

复合喷动流态化烟气净化技术的一级反应塔的核心反应过程仍然与基于喷雾干燥技术的烟气循环床脱硫工艺相类同。其气液主反应区段的脱硫特性取决于蒸发干燥过程和流动混合过程, 具体受脱硫塔喷动速度、空塔气速、烟气表观停留时间以及水和脱硫剂给入量和给入形态的影响。复合喷动工艺较常规烟气循环床提高了一级反应塔的喷动速度和空塔气速, 可有效增强该工艺的负荷适应性和运行稳定性, 本文就烟气速度对脱硫特性的影响进行了研究。如图 3 所示, 空塔气速为 5 和 8 m/s 的两组实验曲线, 烟气流化速度的适当提高对反应塔脱硫特性没有产生显著影响。该区段脱硫效率随着 Ca/S 摩尔比的变化趋势与常规结论一致, 当 Ca/S 摩尔比小于 1 时, 提供的吸收剂不能满足烟气中 SO₂ 反应的需要, 这时脱硫效率完全由吸收剂量所决定, 曲线的斜率较大; 当 Ca/S 摩尔比大于 1 时, Ca/S 摩尔比的增大意味着脱硫剂的总量和可供反应场点数量增加, 这时传质过程将对脱硫效率产生较大影响, Ca/S 摩尔比越大, 传质过程对脱硫效率影响越大, 脱硫效率增加的趋势逐渐减缓。

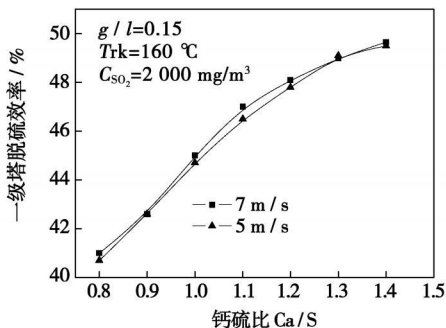


图 3 烟气流速对脱硫特性的影响

2.2 浆液雾化质量对一级反应塔脱硫特性的影响

在试验过程中发现, 改变雾化气液比, 会在改变

雾化效果的同时引起塔内扰动强度的变化,影响气液传质速度,进而影响脱硫特性。因此,通过单纯改变雾化装置的气液比无法考察雾化效果对脱硫特性的影响。为此,本文在脱硫塔内喷嘴的相近位置引入一股扰动气流,当气液比改变时,该扰动气流的空气量也相应改变,维持雾化气流和扰动气流对塔内流场的扰动强度总体效果不变,这样就可以通过试验分析出雾化质量对脱硫特性的影响,即总体考察雾化颗粒粒径以及力度分布对脱硫特性的影响。

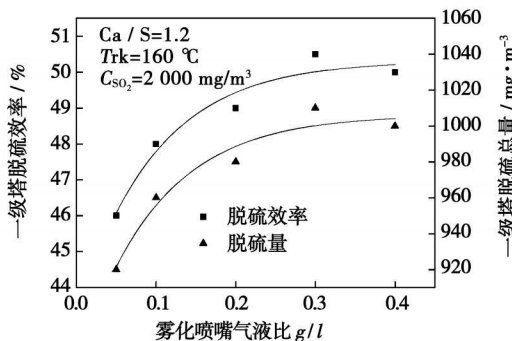


图4 浆液雾化质量对脱硫特性的影响

由图4可见,随着雾化气液比的增加,一级气液主反应区段脱硫总量和脱硫效率逐渐增加,当气液比为0.3左右时脱硫效率基本不再增加。分析认为,浆液雾化气液比的增大对脱硫效率有正反两方面的影响:一方面,气液比的增大,浆滴粒径减小使得总反应表面积增大,这对吸收反应是有利的;但是另一方面,浆滴粒径的减小,缩短了浆滴的干燥时间,使得二氧化硫吸收反应的液相离子反应时间相应减小,这对反应是不利的。综合两方面的影响,浆液雾化气液比存在一个最佳值。但是气液比大时系统能耗增加,运行经济性下降。因此,从试验结果可以看出,浆液雾化气液比取0.15左右较好。

2.3 烟气温度对一级反应塔脱硫特性的影响

在过去的研究中,烟气温度对脱硫特性的影响与近绝热饱和温度差总是互相关联,单纯考察温度对脱硫特性影响的研究很少,所以,本文通过试验设计重点研究独立的温度参数对脱硫特性的影响。由图5可见,随着烟气温度的升高一级气液主反应区段脱硫总量和脱硫效率逐渐下降,温度越高,下降幅度越大。分析认为,一方面随着入口烟气温度的升高, SO_2 气体分子的动能增大,气相传质阻力减小;另一方面浆滴蒸发的温压提高,蒸发驱动力增加,浆滴蒸发速度加快,浆滴干燥时间变短,该区段液相离子反应时间缩短。而液相离子反应存在时间对脱硫

特性的影响比二氧化硫气相传质带来的影响要大得多。因此,随着入口烟气温度的升高,脱硫效率是下降的,温度越高,下降的幅度越大。

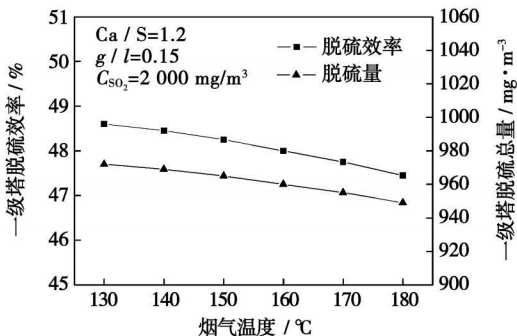


图5 烟气温度对脱硫特性的影响

2.4 入口 SO_2 浓度对一级反应塔脱硫特性的影响

由图6可见,随着入口二氧化硫浓度的增加,脱硫效率是逐渐下降的,而且入口二氧化硫浓度越大,脱硫效率下降的幅度越大。分析认为,在一级气液主反应区段,在进、出口烟气温度和 Ca/S 摩尔比相同的条件下,当进口二氧化硫浓度逐渐升高时,需要更多的新鲜石灰加入量,这会导致石灰浆液浓度的升高,因此,当雾化条件不变时,雾化浆滴中石灰的含量将逐渐升高,这也将导致浆滴中水分的减少。缩短了液相离子反应存在的时间,而液相离子反应时间对脱硫效率的影响非常显著,另外脱硫产物大量增加,也会限制传质过程,所以随着入口二氧化硫浓度的增加,脱硫效率是逐渐下降的,初始二氧化硫浓度越高,要达到较高的脱硫效率也越困难。

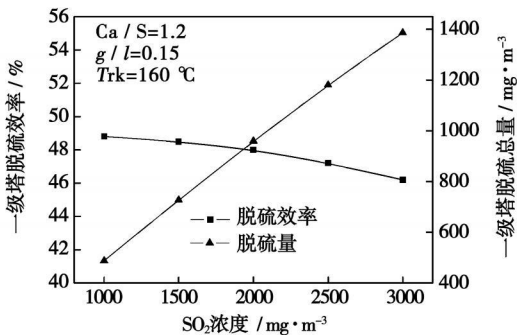


图6 入口 SO_2 浓度对脱硫特性的影响

2.5 循环灰浓度对一级反应塔脱硫特性的影响

在脱硫反应过程中,脱硫浆滴表面生成 CaSO_3 和 CaSO_4 ,随着反应的持续进行,反应产物逐渐增加,形成脱硫灰颗粒,在颗粒内部包裹了新鲜的脱硫剂和水分。颗粒表面致密的产物层严重阻碍了脱硫

反应的继续进行,使脱硫剂的利用率很低。而脱硫灰的循环利用就是使颗粒内部未反应的吸收剂随着碰撞破碎过程的进行重新参与脱硫反应,这样即可显著提高脱硫效率和脱硫剂的利用率。

图7给出一级塔体内不同脱硫灰浓度时,脱硫效率的变化情况。随着循环脱硫灰浓度的增加,脱硫效率逐渐提高,试验中当脱硫灰浓度达到 200 g/m^3 时,脱硫效率便提高了6%。分析原因在于,一方面,一级塔内烟气流速很高,大量脱硫灰在塔内的循环,增加了脱硫塔内流场紊乱程度。由于颗粒的剧烈湍动,彼此之间的无规则碰撞,大颗粒不断破碎,新鲜的脱硫剂表面不断暴露更新,可以继续和 SO_2 发生反应,提高了脱硫剂的利用率和脱硫效率,使得塔内实际Ca/S摩尔比远大于表观Ca/S摩尔比;第二方面,循环脱硫灰的剧烈脉动大大强化了气液反应区的传热传质特性,从而提高了脱硫效率;第三方面,石灰浆喷在脱硫灰颗粒表面上,在颗粒表面上形成一层浆液膜,大大增加了灰浆与烟气中 SO_2 接触的表面积,从而提高脱硫效率。

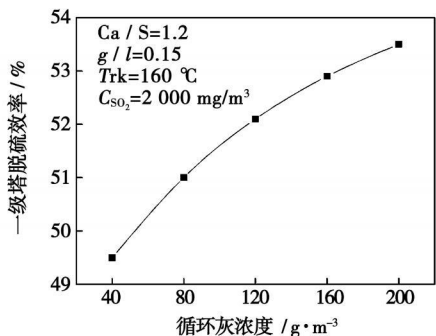


图7 循环灰浓度对脱硫特性的影响

另外,在试验中还发现,有脱硫灰参与循环时,反应塔内壁结垢大大减轻,系统可以运行在更低的近绝热饱和温度下,提高液态离子反应存在时间,而液态离子反应存在时间是决定脱硫效率高低的 key 因素。这样可以达到接近湿法的脱硫效率。因此,高倍率脱硫灰的循环利用不但可以强化传热传质过程和有效防止塔内结垢,而且可在很大程度上提高吸收剂利用率。

2.6 浆液分配比及二级浆液气液比对脱硫特性的影响

为了优化脱硫塔空间利用率,延长有效脱硫区段,提高脱硫效率和脱硫剂利用率,在一级气液主反应区段进行了两级喷浆的优化试验。重点考察两级喷浆的浆量分配比例和二级浆液雾化气液比对脱

硫特性的影响。

2.6.1 浆液分配比例对脱硫特性的影响

图8给出了两级喷浆时,不同浆液分配量对脱硫效率的影响,试验时二级浆液雾化气液比均为0.15。由图可见,随着第二级浆液量所占份额的增加,一级气液主反应区段脱硫效率先增加后减小,当第二级浆液量占喷入的总浆液量的40%左右时,该区段脱硫效率达到最高。分析认为,一方面,由于文丘里加速段的影响,一级塔内下部扰动强烈,并且二氧化硫浓度高,气液传质剧烈,该处喷浆脱硫效率较高;另一方面两级喷浆增加了烟气与浆液液滴的接触时间,脱硫塔内液态水存在区段延长,为离子反应和气液传质提供更大的反应空间。本文研究认为,当二级喷浆量占总喷浆量的40%时,脱硫效果最好,脱硫效率最高。

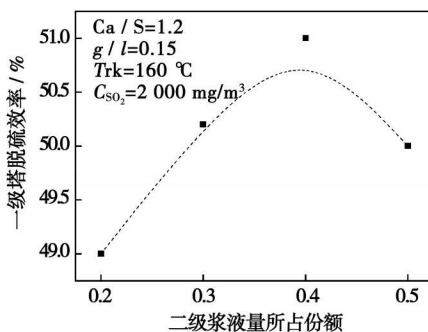


图8 二级浆液量所占份额对脱硫特性的影响

2.6.2 二级浆液雾化气液比对脱硫特性的影响

图9给出了第二级浆液雾化气液比变化时,一级塔体气液主反应区段脱硫效率的变化趋势。当气液比为0.4时,脱硫效率达到最大,气液比再增大时脱硫效率不再增加,反而开始减小。分析认为,气液比提高,双流雾化喷嘴的雾化粒径减小,雾化质量提高,小液滴能够有效提高气液接触表面积,同时高气液比可以强化喷嘴附近区域烟气的扰动,强化了反应过程中的传热、传质,因此随着气液比的增加,脱硫效率逐渐增大。但是,由于 SO_2 吸收和浆液液滴蒸发同时进行,因此雾化粒径不能无限制减小,否则当大部分液滴蒸发速率远大于 SO_2 传质速率时,将会出现“闪蒸”,即液滴瞬间蒸发,没有有效进行传质过程,这时脱硫效率会下降。从图可以看出,当气液比超过0.4时,一级塔内脱硫效率开始下降。为了保证脱硫塔运行安全性,浆滴到达一级塔体出口时,表明水分基本蒸发完毕,第二级浆液的雾化粒径要比第一级的小,因此第二级浆液的雾化气液比要

比第一级的高。考虑到运行经济性和安全性,建议二级浆液雾化气液比选择在0.2~0.3之间为宜。

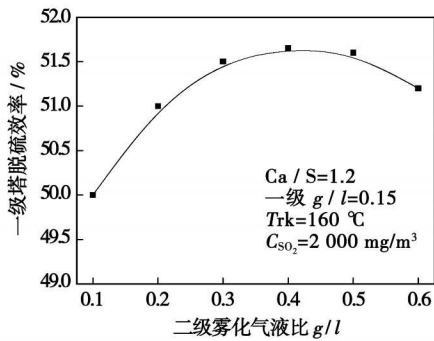


图9 第二级浆液雾化气液比对脱硫特性的影响

2.7 SO₂浓度的沿程分布特性

在以往的国内外脱硫试验研究中,由于试验条件所限,很少研究SO₂沿程脱除过程。本文在优化的工况下,测量了截面SO₂平均浓度的沿程分布特性,分析了SO₂沿程脱除过程和各截面间脱除份额分析。图10给出了SO₂浓度和相邻截面间脱除份额的沿程分布特性。可以看出,SO₂浓度沿塔体高度方向逐渐降低,浓度从入口的2 000 mg/m³,降低到880 mg/m³。相邻截面间SO₂脱除份额呈双峰分布,在两级喷嘴上方200 mm附近出现峰值。分析认为,一方面两级喷浆增加了烟气与浆液液滴的接触时间,脱硫塔内含液态水的空间增加,为离子反应和气液传质提供更大的空间;另一方面,两级浆液采用不同的雾化气液比,使浆滴粒径在塔内空间分布更加合理,提高了气液接触的表面积,而且提高系统运行稳定性;第三方面,雾化喷嘴附近雾化气流对烟气形成卷吸,加强了局部烟气的扰动,强化传质。

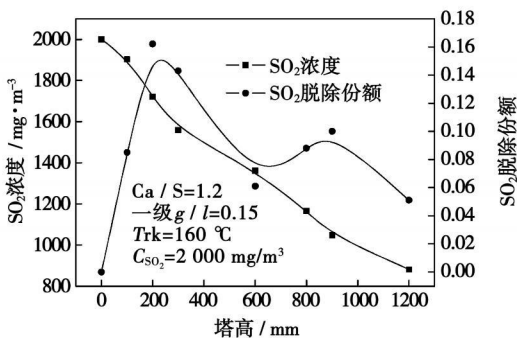


图10 SO₂浓度及脱除份额的沿程分布特性

由于优化了脱硫塔的空间利用效率,相同喷浆量时,塔内运行温度降低,离烟气露点温度接近,因而喷入的石灰浆滴的蒸发过程延长。这样塔内气、

液、固三相反应中将有较多的SO₂溶于浆滴的液膜之中,可与脱硫剂之间发生离子反应。而液态离子反应具有较高的反应速度,较气固间的化学吸附反应快很多。通过对SO₂浓度沿程分布特性的研究,使得对SO₂的脱除机理有了更加深入的认识,可为脱硫塔内的流场优化和后续的工程应用提供参考和借鉴。

3 结论

复合喷动流态化烟气净化工艺是在传统烟气循环流化床脱硫工艺基础上发展起来的新一代半干法烟气污染物净化技术。该技术将二氧化硫在脱硫塔内的脱除过程分级分段处理,有效提高了脱硫塔的空间利用效率和脱除效率;由于采用了多级喷动塔体结构,有效改善脱硫塔的负荷适应性。本文对其一级气液主反应区段的脱硫特性进行了试验研究。试验过程中采用单因素分离试验法,试验结论如下:

(1) 复合喷动工艺较常规烟气循环流化床提高了一级反应塔的喷动速度和空塔气速,可有效增强该工艺的负荷适应性和运行稳定性,烟气流化速度的适当提高对反应塔脱硫特性没有产生显著影响;

(2) 随着雾化气液比的增加,一级气液主反应区段脱硫总量和脱硫效率逐渐增加,当气液比为0.3左右时脱硫效率基本不再增加,考虑经济性,建议最佳气液比可取为0.15;

(3) 单纯考察温度对脱硫特性的影响,随着烟气温度的升高,一级气液主反应区段脱硫总量和脱硫效率逐渐下降,温度越高,下降的幅度越大;

(4) 随着入口二氧化硫浓度的增加,脱硫效率总体呈现下降趋势,且入口二氧化硫浓度越大,脱硫效率下降幅度越大。入口SO₂浓度为3 000 mg/m³与1 000 mg/m³相比,脱硫效率下降了2%;

(5) 随着循环脱硫灰浓度的增加脱硫效率逐渐提高,试验中当脱硫灰浓度达到200 g/m³时,脱硫效率跟没有脱硫灰循环相比时提高了6%;

(6) 浆液分两级给入时,第二级浆液所占份额为40%,雾化气液比为0.2~0.3时脱硫效果最好,比单级喷浆时脱硫效率提高了3%;

(7) 在最优试验工况下,测量了SO₂浓度沿程分布情况,SO₂浓度沿塔体高度方向逐渐降低,SO₂脱除份额呈双峰分布,在两级喷嘴上方200 mm附近出现峰值。

参考文献:

- [1] 高继慧, 吴少华, 马春元, 等. 3 000 m³/h 排烟循环流化床脱硫工艺中试实验研究[J]. 化学工程, 2002, 30(3): 39—42
- [2] 高建民, 秦裕琨, 高继慧, 等. 循环流化床脱硫塔内流场及气固分离效率数值模拟[J]. 热能动力工程, 2006, 21(5): 487—490
- [3] 高建民, 秦裕琨, 李广生, 等. 内循环多级喷脱硫塔内颗粒浓度[J]. 化工学报, 2006, 57(10): 2297—2302
- [4] 董 勇, 马春元, 王文龙, 等. 烟气脱硫循环流化床内的温度分布于干燥特性[J]. 热能与动力工程, 2005, 20(5): 492—496
- [5] 王乃华, 高 翔, 骆仲决, 等. 石灰浆液雾化喷嘴及其特性研究[J]. 热能动力工程, 2001, 16(93): 247—249
- [6] CHEN YEON CHU, SHYH JYE HWANG. Flue gas desulfurization in an internally circulating fluidized bed reactor[J]. Powder Technology, 2005, 154: 14—15.
- [7] LIU C F. A surface coverage model for the reaction of Ca(OH)₂ with SO₂ at low temperatures[J]. Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers, 2002, 33(4): 407—413.
- [8] LIN REN BIN, SHIH SHIN MIN. Characterization of Ca(OH)₂/fly ash sorbents for flue gas desulfurization[J]. Powder Technology, 2003, 131: 212—213.
- [9] XU F, LV Z, ZHANG Y G, et al. Concentration evaluation method using broadband absorption spectroscopy for sulfur dioxide monitoring [J]. Applied Physics Letters, 2006, 88(23): 1—3.
- [10] XU F, ZHANG Y G, SOMESFALEAN G, et al. Temperature-corrected spectroscopic evaluation method for gas concentration monitoring [J]. Applied Physics B 2007, 86: 361—364.

(编辑 滨)

新技术、新工艺

汽轮机叶片材料在焊接或高频电流处理后的性能分析

据《Теплоэнергетика》2008年4月号报道,在动力机械制造中,经常观察到由于水滴冲击侵蚀或固体粒子作用,汽轮机工作叶片和导向叶片叶身边狭窄段局部的磨损。在一些情况下,也发展成摩擦腐蚀和金属的裂缝侵蚀。

在电站条件下,可以利用焊接工艺修复已侵蚀磨损的汽轮机叶片。在使用钛合金时,由于这些焊接缺陷的焊缝原有的金属降低了疲劳强度,使用这些工艺将受到限制。

在用高频电流加热受到由于水滴冲击侵蚀而加速磨损的叶身边狭窄段并接下来在水中淬火的情况下,与未用高频电流处理的叶片金属比较,耐蚀性提高到2.7~3.0倍。这时,这种叶片的疲劳强度并未降低。

在用高频电流处理由合金BT6制造的叶片叶身时,在强化级和未经受加热的区域之间的过渡区内产生的弱化不会导致疲劳强度极限不允许的降低。

利用新的焊接工艺,成功修复了由含13%铬的不锈钢制成的长度为665和765mm的汽轮机低压缸末级已受到侵蚀磨损的工作叶片,也成功修复了由钛合金制造的已受到侵蚀磨损的叶片。

(吉桂明 供稿)

用于涡轮出口扩压器和排气管气动研究的试验台

据《Теплоэнергетика》2008年6月号报道,提高排气扩压器效率的必要性与把特殊形式的大功率固定式燃气轮机和汽轮机应用到基于使用有机燃料的燃蒸联合装置的电力和热能生产新工艺紧密相关。

用于涡轮出口扩压器和排气管气动研究的试验台与相应设备结合允许实现现代汽轮机和燃气轮机排气系统足够可靠的几何的、运动学的和动力学的模拟,并允许以足够的精度确定这些系统的综合特性。

应用涡轮末级作为进入扩压器的气流结构的发生器是得到能在很大程度上提高试验结果质量和精度的可靠数据的前提。

在试验台中使用的三维速度场和气流参数的测量方法为检验涡轮排气系统现代计算程序开辟了新的途径。

在试验优化涡轮扩压器或排气管结构时,确定级—扩压器系统综合特性的方法是有效和可靠的。

(吉桂明 供稿)

ness of three kinds of microchannels that the triangular channel enjoys a maximal thermodynamic effectiveness. **Key words:** microchannel, numerical simulation, heat transfer

石化污泥与煤混烧的流化床多环芳烃排放特性 = PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) Emission Characteristics of a Circulating Fluidized Bed Burning a Mixture of Petrochemical Sludge and Coal [刊, 汉] / ZHU Ge, ZHAO Chang-sui, LI Yong-wang, et al (Education Ministry Key Laboratory on Clean Coal Power Generation and Combustion Technology, Southeast University, Nanjing, China, Post Code: 210096) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(6). — 645 ~ 648

A systematic experimental study has been conducted of the PAH (Polycyclic Aromatic Hydrocarbon) emission characteristics of a circulating fluidized bed (CFB) burning a mixture of petrochemical sludge and coal. The test was performed on a CFB test device with a dense-phase zone whose cross section is $0.23\text{ m} \times 0.23\text{ m}$ and whose height is 7 m. It has been found that the PAH content of the sludge is far higher than that of coal. With an increase of the secondary air flow rate, the emissions of PAH from flue gas, fly ash and bottom slag show a conspicuous descending tendency. When excess air coefficient increases, PAH emission level will first go down and then up. An addition of lime stone can effectively suppress the generation of PAH. In case of an increase of Ca/S molar ratio, the emission level of the PAH will dramatically decrease. The emissions of PAH of lower molecular weight (LMW) predominate in various operating conditions. The emission amount of PAH from flying ash is way above that from the bottom slag. **Key words:** petrochemical sludge, circulating fluidized bed, hybrid combustion, polycyclic aromatic hydrocarbon (PAH)

1100 t/h 塔式炉水冷壁热负荷及变形趋势的数值模拟 = Numerical Simulation of the Thermal Load and Deformation Tendency of a 1100 t/h Tower Furnace Water Wall [刊, 汉] / DONG Chen, ZHOU Qu-lan, XU Tong-mo (College of Energy Source and Power Engineering, Xi'an Jiaotong University, Xi'an, China, Post Code: 710049), DOU Wen-yu (China Special Equipment Inspection Research Institute, Beijing, China, Post Code: 100013) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(6). — 649 ~ 654

By using a self-developed numerical simulation software, a numerical simulation was conducted of the hot-state aerodynamic field and combustion process in boiler No. 1 of Pucheng Power Plant. Moreover, the problem of water wall fracture tendency was explored proceeding from the distribution of water wall thermal loads. The numerical simulation results show that when the jet flow from burner nozzles rotates spirally upward, the furnace flame center will be located excessively high and the temperature deviation at the furnace outlet is comparatively big. When the jet flow from the burner nozzles rotates spirally downward, the furnace flame center will be located at the lower part of the furnace, and the furnace temperature distribution exhibits a relatively good uniformity. The thermal loads of the walls at four sides of the furnace have a very big difference, and the water wall has an uneven thermal expansion at the four corners, thus leading to a relatively big fracture tendency. After the rotating direction of the jet flow from the burner nozzles has been adjusted from upward to downward, the thermal load deviation between the wall surfaces will decrease and the possibility of any water wall fracture diminish. In addition, the thermal load deviation of each furnace wall itself is also very big. If hydrodynamic operating conditions deteriorate, a water-wall deformation may also result. **Key words:** swirling burner, numerical simulation, wall-surface thermal load, water wall fracture

复合喷动流态化烟气脱硫工艺中一级气液区段脱硫特性研究 = A Study of Desulfurization Characteristics of a First-grade Gas-liquid Section in the Process of Compound-sprouted Fluidized Flue-gas Desulfurization [刊, 汉] / GAO Ji-lu, GAO Ji-hui, CHEN Xiao-li, et al (Combustion Engineering Research Institute, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(6). — 655 ~ 660

The authors have presented a novel semi-dry-method of flue-gas purification process and conducted an experimental study of the desulfurization characteristics of a first-grade gas-liquid main reaction section in the above process by employing a

real-time on-line SO₂ spectrum analytic system. The influence of the following six factors on the desulfurization efficiency was analyzed in detail: flue gas flow speed, slurry atomization quality, flue gas temperature, SO₂ concentration at the inlet, circulating ash concentration and slurry feeding mode etc. In addition, the change of SO₂ concentration along the flow path was measured. The test results show that at optimized operating-condition parameters, the desulfurization efficiency in the section under investigation can be higher than 55%. The circulating ash concentration has a conspicuous influence assessed at 6% on the desulfurization characteristics of the section. Through an optimization of slurry feeding mode, the desulfurization efficiency can be enhanced by about 3%. The slurry atomization quality has also an obvious influence of about 2%~3% on the desulfurization efficiency of the section. **Key words:** flue gas desulfurization, compound spout, gas-liquid reaction, SO₂ measurement, single-factor separation method

煤粉热解组分析出特性的实验研究和 DAEM 模拟 = **Experimental Study and DAEM (Distributed Activation Energy Model) Simulation of the Precipitation Characteristics of Pulverized-coal Pyrolyzed Constituents** [刊, 汉] /ZHANG Yan-wen, YANG Jing-biao, CAI Ning-sheng (Education Ministry Key Laboratory on Thermal Sciences and Power Engineering, Tsinghua University, Beijing, China, Post Code: 100084) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(6). — 661 ~ 665

To study the precipitation characteristics of various pulverized-coal pyrolyzed constituents, a pyrolysis experimental study has been conducted of Baorixile-origin lignite and Baotou-origin bitumite on a TGA-FTIR (Thermogravimetric Analyzer-Fourier Transform Infrared Spectrum) dual-purpose test rig. CH₄, CO, CO₂ and HCN were measured along with an analysis of the precipitation of total volatile content and various constituents being simulated by using DAEM (Distributed Activation Energy Model). The results indicate that the curves of CH₄ precipitation concentration assume a symmetric single-peak distribution and those of CO, CO₂ and HCN precipitation concentration are irregular. The DAEM is applicable for the simulation of integrated volatile contents and can also perform a relatively accurate simulation and prediction of CH₄ precipitation, but not suitable for the simulation of CO, CO₂ and HCN. The precipitation temperature of CH₄, CO, CO₂ and HCN is mainly determined by various functional group's decomposition bond energy. Baorixile-origin lignite has a total volatile content higher than that of Baotou-origin lignite, but the content of CH₄ and HCN in the volatile matter, however, is lower than that of Baotou-origin bitumite. **Key words:** pulverized coal, pyrolysis, pyrolyzed gas constituent, pyrolysis precipitation, distributed activation energy model (AEM)

螺旋管式蒸汽疏水器的设计与试验研究 = **Design and Experimental Study of Spiral-tube Type Steam Traps** [刊, 汉] /ZHOU Gen-ming, CHEN Yu-ping, KONG Xiang-lei (College of Mechanical and Power Engineering, Jiangsu University of Science and Technology, Zhenjiang, China, Post Code: 212003) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(6). — 666 ~ 669

By adopting a wholly new approach, designed was a new type of efficient and energy-saving spiral-tube steam trap, serving either as a common steam trap or as a device for condensate water recovery. The authors have described in detail the structure and working principle of the steam trap in question. The latter has no moving parts, operates very reliably and is maintenance-free. A performance test has been conducted. The test results show that the steam trap under discussion can greatly reduce steam leakage rate. At a given load, it features a constant flow rate and a comparatively strong adaptability to load and steam pressure fluctuations, making it possible to operate properly even at a high back pressure. **Key words:** spiral tube, steam trap, steam leakage flow rate, adaptability, high back pressure

风力发电系统液力变速与传动应用技术研究 = **A Study of the Applied Technology of Hydraulic Speed Variation and Transmission for Wind Power Generation Systems** [刊, 汉] /DONG Yong, WANG Hong-jie, ZHOU Xu-qiang (College of Energy Science and Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin, China, Post Code: 150001) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. — 2008, 23(6). — 670 ~ 675