

洗中煤和煤矸石的混合燃烧特性分析

沈炳耘¹, 荀 华², 韩建春²

(1. 内蒙古工业大学 能源与动力工程学院, 内蒙古 呼和浩特 010020; 2. 内蒙古电力科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘 要: 利用热分析法研究了洗中煤和煤矸石混合后的低热值混煤的燃烧特性, 对数据进行分析获得了其燃烧特性峰值温度、着火温度、燃尽温度、综合燃烧特性指数等特征参数, 通过动力学分析得到了活化能与频率因子等参数, 得出结论: 混合比对煤样的着火性能有很大影响和低热值混煤的燃烧过程服从 1.5 级的化学反应。

关 键 词: 低热值混煤; 热分析; 燃烧特性
中图分类号: TQ534 文献标识码: A

引 言

洗中煤和煤矸石作为低热值燃料, 是在煤炭开采和洗选加工过程中产生的固体废弃物。由于现有燃烧技术的局限性和低热值燃料的特点限制了其大规模利用, 而采用混合燃烧是有效提高其燃烧效果和燃烧效率的一种有效方法。通过对煤矸石和洗中煤混合燃烧动力学的研究, 了解低热值混煤燃烧机理, 可以有效地指导其燃烧过程。燃烧过程的研究方法有很多, 本研究主要通过热分析联用技术来研究本煤样的燃烧特性, 这将为低热值燃料的稳定燃烧提供有力的理论支持, 并对于低热值能源的利用和锅炉燃烧有一定的指导意义。

1 实验部分

1.1 实验样品及特性

选取某大型煤矿的洗中煤和煤矸石作为煤样并对其进行工业分析和元素分析, 数据如表 1 所示。

表 1 煤样的工业分析和元素分析

Tab. 1 Industrial and elementary analysis of coal samples

| 煤样 | 工业分析 / % | | | | 元素分析 / % | | | |
|-----|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| | A _{ad} | V _{ad} | FC _{ad} | C _{ad} | H _{ad} | N _{ad} | O _{ad} | S _{ad} |
| 煤矸石 | 58.62 | 38.14 | 23.92 | 30.11 | 2.43 | 0.55 | 5.17 | 0.41 |
| 洗中煤 | 24.27 | 23.31 | 49.04 | 55.36 | 2.75 | 0.86 | 4.36 | 0.62 |

1.2 实验仪器及方法

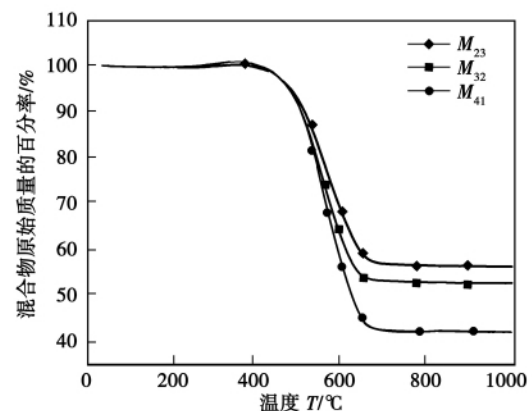
实验仪器采用 STA409PC 型热综合分析仪。实

验条件: 干燥空气作为载气; 升温速率 10 °C / m; 粒度 80 目; 煤样混合比(洗中煤: 煤矸石) 为 2:3、3:2 和 4:1; 样品用量 10 mg。

实验步骤: 准确称取确定质量的煤样放入坩埚中, 通入载气, 然后按 10 °C / m 的升温速率由室温升至 1000 °C 的终温; 在煤样受热进行燃烧反应的同时, 热分析仪自动绘制出样品的失重曲线和差示扫描曲线, 即 TG、DSC 曲线。

2 结果与讨论

混合煤样的 TG、DTG 和 DSC 曲线如图 1 ~ 图 3 所示。



M₂₃、M₃₂ 和 M₄₁ 分别为煤样混合比为 2:3、3:2 和 4:1

图 1 混煤燃烧 TG 图

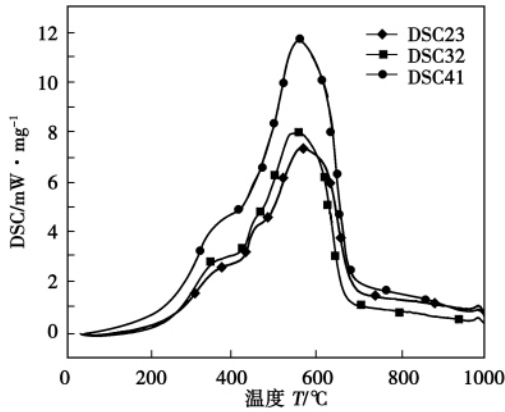
Fig. 1 TG drawing of blended coal combustion

2.1 曲线特性分析

2.1.1 TG 曲线分析

图 1 反映的是煤样燃烧的失重过程。从图 1 可知, 3 种混合比下的燃烧失重曲线走势大体相同, 只是燃烧结束的温度随着洗中煤含量的增加失重率向高温区移动, 但是移动幅度并不大。表 2 为根据 TG 曲线求出的不同混合物的特征温度。从表 2 可知,

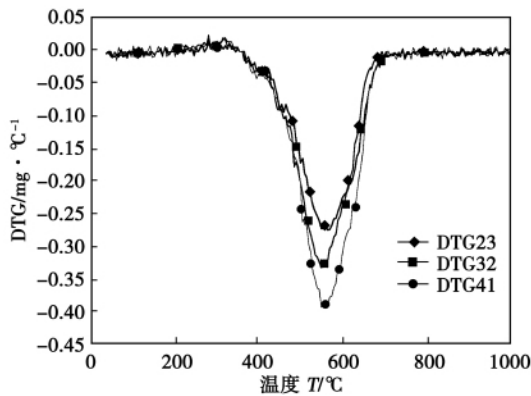
$T_{99\%}$ 、 $T_{95\%}$ 分别表示质量为原质量的 99% 和 95% 时的温度, 3 种混合比煤样的温度相差不大, 说明低热值燃料的混合比对初始燃烧温度影响不大的。反应结束时的质量随着洗中煤含量的增加而减少, 即 $M_{23} > M_{32} > M_{41}$ 。说明在燃烧试验中优质煤的比例越高, 燃烧反应越好。



纵坐标 DSC 为热流; DSC23、DSC32 和 DSC41 分别为混合比为 2:3、3:2 和 4:1 的煤样曲线

图 2 混煤燃烧 DSC 图

Fig.2 DSC drawing of blended coal combustion



DTG 为质量的变化对时间求等 dm/dt ; DTG23、DTG32、DTG41 分别为混合比 2:3、3:2 和 4:1

图 3 混煤燃烧 DTG 图

Fig.3 DTG drawing of blended coal combustion

表 2 煤样 TG 的燃烧特征温度和参数^[1]

Tab.2 TG combustion characteristic temperature and parameters of coal samples

| 煤研比 | $T_{95\%}/^{\circ}\text{C}$ | $T_{99\%}/^{\circ}\text{C}$ | $M_{1000^{\circ}\text{C}}/\%$ | $T_i/^{\circ}\text{C}$ | $T_f/^{\circ}\text{C}$ |
|-----|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------|------------------------|
| 2:3 | 480 | 425 | 56.24 | 471 | 654 |
| 3:2 | 480 | 435 | 52.66 | 474 | 634 |
| 4:1 | 479 | 429 | 41.93 | 488 | 648 |

2.1.2 DSC 曲线分析

图 2 反映了试样在整个燃烧过程中热量随时间或温度的变化规律。DSC 的峰值表示燃料放热的最大速率, 峰值越大, 放热最大速率就越大; 峰值是燃料中固定碳着火燃烧造成的失重过程。表 3 为混合煤样燃烧特性参数。由表 3 可知, 不同混合比煤样燃烧时放出的热量都是不一样的, 但分解放热量相差不大; 总热量从大到小的排列顺序为: 4:1 > 2:3 > 3:2。说明混合比对低热值燃料的燃烧影响不大, 对于混合煤样的 DSC 曲线放热量的大小受混合煤样间相互作用的影响。

表 3 混合物煤样的燃烧 DSC 曲线的特性参数^[2]

Tab.3 Characteristic parameters of the DSC combustion of blended coal samples

| 煤研比 | 燃烧开始温度 | 燃烧结束温度 | 峰温 | 热量 | 中心温度 | 峰值高度 |
|-----|--------|--------|-----|------------|---------|----------|
| 2:3 | 406 | 704 | 570 | 2286.07145 | 570.226 | 7.50293 |
| 3:2 | 386 | 677 | 560 | 2224.57307 | 560.023 | 8.14734 |
| 4:1 | 255 | 690 | 564 | 2766.47096 | 564.995 | 11.11402 |

2.1.3 DTG 曲线

图 3 表示燃料的燃烧速率, 由 TG 曲线求微商得到, DTG 曲线的峰值代表燃烧速率的最大值, 峰值越大, 则燃烧越猛烈。由图 3 知, 虽然混合比不同, 但煤样的燃烧特性趋势相似, 只是燃烧特性参数不同; 特别是 3 种煤样的峰值温度, 都具有在中温区移动的趋势; 但从 DTG 曲线的可知: 2:3 的峰值温度为 558 °C, 3:2 的为 550 °C, 4:1 的为 554 °C; 说明峰值温度变化相差很小, 但由于 4:1 的 DTG 曲线的峰值绝对值最大, 所以在燃烧过程中 4:1 煤样的燃烧最猛烈。

2.1.4 对比分析

从以上 3 图可看出 3 种比例煤样的 TG 曲线都只有一个较明显的失重过程, 失重过程是煤样中固定碳着火燃烧的过程; 由于煤样的灰分高, 其燃烧后仍然有大量的灰分残留。洗中煤和煤研石混合后, 其混合物的燃烧特性取决于两种物质在混合比。当洗中煤和煤研石的比例为 2:3 时, 其混合物的 TG 曲线有一个明显的失重过程, 相应地, DSC 曲线也只有一个明显的峰值。这个峰值主要是由煤样中的固定碳着火燃烧形成的; 而从 DSC 曲线也可以看出, 随着洗中煤含量的增多, 混合物中固定碳燃烧放出的热量要大于挥发分燃烧放出的热量; 这说明此时混合物的燃烧主要集中于中后期阶段。当洗中煤和煤研石的混合比例为 3:2 和 4:1 时, 其混合物的

燃烧特性开始发生一些变化,首先 3:2 混合物的变化不明显,虽然它的 DTG 曲线的变化显示它的燃烧比 2:3 时猛烈,但 DSC 图显示其能量的变化却不大,从试验数据可以看出这时的能量释放比 2:3 时还要稍微小一些,这可能是 3:2 的煤样中中煤和矸石相互作用对于燃烧过程在该比例时有一些抑制作用;而 4:1 的煤样的变化比较剧烈,从 DTG 图可以看出它的燃烧最剧烈,从 DSC 图可以看出它释放出的能量最大;这时的混合情况良好,混合物中的物质对于燃烧过程都有一定的促进作用。这些都说明混合物的燃烧特性并不是随着洗中煤的增多而向发热量多的方向发展,混合物中物质在燃烧时存在一定的相互作用,有时某种比例的物质间相互作用对燃烧特性有抑制作用。在实际生产中一定要对混合物的比例进行研究,避免出现对燃烧不利的抑制现象。

2.2 燃烧特征参数

2.2.1 DTG、DSC 峰值温度

DSC 是在控制温度变化情况下,以温度为横坐标,以样品与参比物间温差为零所需供给的热量为纵坐标所得的扫描曲线。利用 DTA 曲线分析的一些方法求取 DSC 曲线的特性值。DTG、DSC 峰值温度见表 4。

表 4 燃烧特性曲线 DTG、DSC 峰值温度

Tab.4 DTG and DSC peak value temperature of the combustion characteristic curves

| 样品名称 | DTG 曲线峰值温度/℃ | DSC 曲线峰值温度/℃ |
|------|--------------|--------------|
| 2:3 | 558 | 570 |
| 3:2 | 550 | 560 |
| 4:1 | 554 | 564 |

由于洗中煤和煤矸石的挥发分含量低,所以煤样中的挥发分含量也很低。对于煤样的 DTG、DSC 曲线都只有一个峰值,这是由于固定碳燃烧形成的。从表 3 和表 4 可以看出,在煤样中加入更多的洗中煤后,混合物的峰值温度并未明显提前,这说明洗中煤和煤矸石在燃烧时内部所含矿物质对煤样的燃烧特性有一定的影响,当混合比变为 4:1 时,洗中煤的影响较明显;并且随着洗中煤比例的增加,煤样的燃烧初始温度提前,燃烧过程变长。说明在燃烧时煤样中混合物的成分对混合物的燃烧特性有一定的影响,随着洗中煤比例的增加燃烧过程变长,燃烧比较彻底。

2.2.2 着火温度

着火是一个非常复杂的问题,一般采用 TG—DTG 方法来确定着火温度^[3],如图 4 所示。根据

TG—DTG 法求出各燃料的着火温度如表 5 所示。

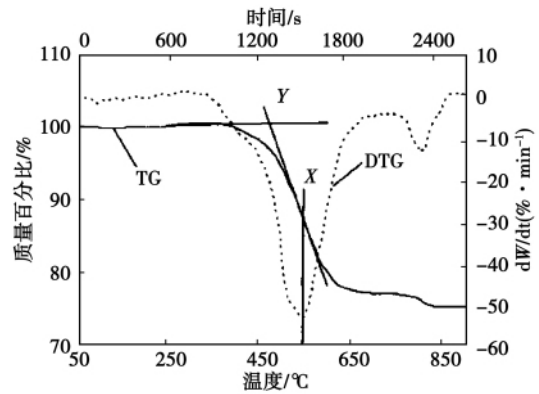


图 4 着火温度的定义

Fig.4 Definition of the ignition temperature

表 5 实验样品的燃烧特性参数

Tab.5 Combustion characteristic parameters of samples under test

| 样品名称 | 着火温度/℃ | 燃尽温度/℃ |
|------|--------|--------|
| 2:3 | 491 | 745 |
| 3:2 | 485 | 725 |
| 4:1 | 480 | 710 |

从表 5 可知,洗中煤和煤矸石混烧时,随着洗中煤比例的增加,着火温度会略有下降。在燃料燃烧的过程中,挥发分的析出特性直接影响燃料的着火燃烧,由图 3 和图 4 的曲线可知,洗中煤和煤矸石混烧时在较低的温度下即可剧烈释放挥发分,并且随着洗中煤比例的增加着火温度朝温度较低的方向移动。通常情况下,煤的着火温度会随着煤中挥发分的增高而降低,由于洗中煤和煤矸石中挥发分含量较低,所以洗中煤和煤矸石混烧时的着火温度较高,但比煤矸石燃烧的着火温度低。说明洗中煤和煤矸石混合燃烧时,着火更容易。

2.2.3 燃尽温度

将试样失重占总失重 99% 时对应的温度定义为燃尽温度^[3],各煤样的燃尽温度如表 5 所示。从表 5 可知,不同混合比的煤样的燃尽温度一般都在 700 °C 以上,并且在煤矸石中加入洗中煤后,燃尽温度有所降低,即随着洗中煤比例的增加燃尽温度向低温端移动,说明煤样的燃烧更为彻底。

从表 5 还可知,在混煤中随着洗中煤比例的增加,降低了煤样的着火温度和燃尽温度,改善了煤样的着火性能和燃尽性能;在煤矸石中加入洗中煤后,提高了煤矸石的燃尽温度,使其燃烧更加稳定,燃烧时间更长,提高了煤矸石的利用效率。

2.2.4 综合燃烧特性指数

综合燃烧特性指数全面反映了试样的着火和燃尽性能,越大说明试样的综合燃烧性能越好,则:

$$S_N = \frac{(dw/d\tau)_{\max} \cdot (dw/d\tau)_{\text{mean}}}{T_i^2 \cdot T_h} \quad (1)$$

式中: S_N —综合燃烧特性指数; $(dw/d\tau)_{\max}$ —最大燃烧速率, %/min; $(dw/d\tau)_{\text{mean}}$ —平均燃烧速率, %/min; T_i —着火温度, K; T_h —燃尽温度, K。实验试样综合燃烧特性指数如表 6 所示。

表 6 试验的综合燃烧特性指数

Tab. 6 Comprehensive combustion characteristic index of the test

| 样品名称 | $t_i/^\circ\text{C}$ | $t_h/^\circ\text{C}$ | $(dw/d\tau)_{\max}$ /% · min ⁻¹ | $(dw/d\tau)_{\text{mean}}$ /% · min ⁻¹ | S_N / min ⁻² · K ⁻³ |
|------|----------------------|----------------------|---|--|--|
| 2:3 | 491 | 745 | -273.8 | -44.92 | 2.828 33E-05 |
| 3:2 | 485 | 725 | -331.68 | -48.61 | 3.870 51E-05 |
| 4:1 | 480 | 710 | -393.37 | -59.52 | 5.815 89E-05 |

从表 6 可知,挥发分高就容易燃烧,着火性能就好;灰分低燃烧就比较彻底,燃尽特性就好。洗中煤和煤矸石混合后的 3 种煤样的综合燃烧特性指数都处于同一个数量级,但随着混合物中洗中煤比例的增加,混合物的燃烧特性指数越来越大。说明在煤矸石中加入洗中煤后能提高单一煤矸石的着火和燃尽特性,改善了煤矸石的燃烧性能,并且随着洗中煤比例的增大这种效果越来越明显。

3 燃烧动力学分析

关于燃料的燃烧机理一般从挥发份的燃烧与焦炭的燃烧来进行分析。本煤样混合物受热时,表面水分首先蒸发而变成干燥的燃料,接着就是挥发份的逐渐析出,当外界温度较高而又有足够的氧时,析出的挥发份就会燃烧,最后才是固定碳的着火和燃烧。因此,可以说低热值煤的燃烧过程是从挥发份的着火燃烧开始的,由于本煤样的挥发分都较低,所以挥发份的析出制约着煤样的燃烧过程,但当温度达到固定碳的燃烧时,燃烧才正式开始。低热值煤的固体碳的燃烧过程就是热分解反应过程,主要受

化学动力控制,其过程符合以下化学动力学方程^[4-6]:

$$\frac{d\alpha}{(1-\alpha)^n} = A \cdot \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) d\tau \quad (3)$$

式中: α —燃烧转化率, %; $a = (W_0 - W)/(W_0 - W_\infty)$; W_0 —试样初始质量; W —试样在温度 T 时的质量; W_∞ —试样燃烧最终质量; τ —时间, s; n —反应级数; R —气体常数, 8.31 J/(mol · K); E —表观活化能, kJ/mol; T —温度, K; A —频率因子, s⁻¹。

实验在恒速升温条件下进行,当升温速率为 k 时, $dT = kd\tau$, 式(3)可写成:

$$\int_0^a \frac{da}{(1-a)^n} = \frac{A}{k} \cdot \int_0^T \exp\left(-\frac{E}{RT}\right) dT \quad (4)$$

令 $\frac{E}{RT} = u$, 则 $du = \frac{E}{R} \frac{dT}{T^2}$, 故 $dT = -\frac{RT^2}{E} du$, 将此

关系代入式(4)可写成:

$$\int_0^a \frac{d\alpha}{(1-\alpha)^n} = \left(\frac{AR}{kE} - \frac{2AR^2T}{kE^2}\right) \cdot e^{-E/RT} \quad (\text{取前两项}) \quad (5)$$

对式(5)左边积分后两边取对数得:

$$\ln\left[\frac{1-(1-a)^{1-n}}{T^2(1-n)}\right] = \ln\left[\frac{AR}{kE}\left(1-\frac{2RT}{E}\right)\right] - \frac{E}{RT} \quad (n \neq 1) \quad (6)$$

$$\ln\left[\frac{-\ln(1-a)}{T^2}\right] = \ln\left[\frac{AR}{kE}\left(1-\frac{2RT}{E}\right)\right] - \frac{E}{RT} \quad (n = 1)$$

式(6)即著名的 Coats-Re dfern 积分式。Coats 等人认为,对大多数 E 值,在反应通常发生的温度范围内,表达式 $\ln\left[\frac{AR}{kE}\left(1-\frac{2RT}{E}\right)\right]$ 通常为常数。因此,当 $n \neq 1$ 或 $n = 1$ 时, $\ln\left[\frac{1-(1-a)^{1-n}}{T^2(1-n)}\right]$ 或 $\ln\left[\frac{-\ln(1-a)}{T^2}\right]$ 与 $\frac{1}{T}$ 呈线性关系。以不同的反应级数 n 来考核燃烧反应,确定 n , 并求出动力学参数。

通过对各种化学反应模型的试验分析,低热质煤混合燃烧的反应模型符合 1.5 级化学反应。根据实验结果,在不同的燃烧阶段用不同的直线进行拟合,就可以计算出煤样不同工况下的 X 、 Y 的值,进而确定出 a 、 b 值。用 a 、 b 值,可计算出反应活化能 E 和频率因子 A 的值,计算结果如表 7 所示。

表 7 燃烧的动力学参数

Tab. 7 Dynamic parameters of the combustion

| 样品名称 | 温度范围/ $^\circ\text{C}$ | 拟合方程 | 相关系数 | 频率因子/min ⁻¹ | 活化能/kJ · mol ⁻¹ |
|------|------------------------|------------------------|--------|------------------------|----------------------------|
| 2:3 | 471 ~ 654 | $y = -20459x + 10.644$ | 0.9871 | 8.58E+09 | 170.0961 |
| 3:2 | 474 ~ 634 | $y = -22253x + 13.127$ | 0.9874 | 1.12E+11 | 185.0114 |
| 4:1 | 488 ~ 648 | $y = -22605x + 13.124$ | 0.9867 | 7.70E+08 | 156.3531 |

活化能就是非活化分子转变为活化分子所需要吸收的能量。活化能越大,说明发生反应所需要吸收的能量越多,反应也就越困难,即着火性能差。由表 7 可知,不同比例煤样的活化能不一样,这说明煤样的着火性能受混合比中煤矸比的影响。从表中数据我们可以看出活化能的排序为 $E_{32} > E_{23} > E_{41}$,活化能并不是随着混合物中某种物质的增加而增加或减小而减小,这说明混合煤样的着火性能比较复杂,受两者所含化学物质的影响,但只要低热值燃料的配比合理,煤样的着火性能就会有大的提高。

4 结 论

利用热分析法对同一煤矿的洗中煤和煤矸石按 2:3、3:2 和 4:1 的混合煤样进行燃烧情况分析,得出了低热值混煤燃烧的一些特性,并得到其燃烧动力学方程和参数。研究结果表明:

(1) 低热值混煤燃烧主要发生在后期阶段,即固定碳着火和燃烧阶段,其放热量较高。

(2) 不同混合比的低热值煤样的综合燃烧特性指数都处于同一个数量级,但随着混合物中洗中煤比例的增加,混合物的燃烧特性指数越来越大。说明在煤样中提高洗中煤比例后,能改善煤样的着火和燃尽特性,并随着中煤比例的增大效果越明显。

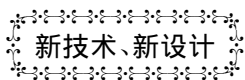
(3) 低热值混煤的燃烧过程服从 1.5 级的化学反应。不同比例煤样的活化能并不是随着混合物中某种物质的增加而增加,这说明洗中煤和煤矸石的

着火性能比较复杂,受两者所含物质的影响,但只要配比合理,混合煤样的着火性能就会有大的提高。

参考文献:

- [1] 陆 昌. 热分析质谱法[M]. 上海:上海科学技术文献出版社 2002.
LU Chang. Thermal analysis mass spectrometry [M]. Shanghai: Shanghai Science and Technology Literature Press, 2002.: 58-60.
- [2] 刘子如. 含能材料热分析[M]. 北京:国防工业出版社 2008.
LIU Zi-ru. Energetic material thermal analysis [M]. Beijing: National Defense Industry Press 2008. Beijing.: 2-7.
- [3] 冉景煜,牛 奔,张 力 等. 煤矸石综合燃烧性能及其燃烧动力学特性研究[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(15): 58-62.
RAN Jing-yu, NIU Ben, ZHANG Li. Comprehensive combustion characteristics and kinetic characteristics of coal gangue combustion [J] Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2006, 26(15): 58-62.
- [4] 姜秀民,李巨斌,邱健荣,等. 超细化煤粉燃烧特性的研究[J]. 中国电机工程学报 2000 20(6): 71-74.
JIANG Xiu-min, LI Ju-bin, QIU Jian-rong et al. Study of combustion characteristic of super fine pulverized coal [J]. Journal of China Electric Machinery Engineering 2000 20(6): 71-74.
- [5] VUTHALURU H B. Investigations into the pyrolytic behaviour of coal/biomass blends using thermogravimetric analysis [J]. Biore-source Technology 2004 92(2): 187-195.
- [6] GRAMMELIS P, BASINAS P, MALLIOPOULOU A et al. Pyrolysis kinetics and combustion characteristics of waste recovered fuels [J]. Fuel 2009 88: 195-205.

(陈 滨 编辑)



新技术、新设计

减少低压涡轮二次流损失的方法

《ASME Journal of Turbomachinery》2011 年 1 月刊叙述了利用轮廓成形端壁的好处,以及减少低压涡轮二次流损失的一种新流动机理。近年来,广泛应用轮廓成形端壁,更深入地了解了主流二次流减少的物理现象。

基于此,重新设计了低压涡轮典型的实心薄叶型直列叶栅端壁的几何形状。提供了试验数据,证明这个新解决方案。

根据这些数据,使用这种方法能使二次旋涡动能减少 72%,端壁混合损失减少 20%。

也提供了 CFD(计算流体力学)模拟,举例说明新端壁对二次流动的影响。此外,也阐明了主流二次旋涡动能和二次流动损失减少的流动机理。

(学 牛 摘译)

Thermal Energy & Power. – 2011 ,26(5) . – 561 ~ 565

The corrosion and fouling in tubes is one of main factors influencing the safe operation of a boiler. To study the corrosion and fouling process in boiler tubes at a high temperature and pressure , a plate-hanging test was performed under a certain operating condition. By making use of the SEM (scanning electron microscope) , EDS (energy spectrum analysis) and XRD(X-ray diffractometer) etc. analytic means and in combination with the weighing method , the authors have arrived at the following conclusions: the corrosion and fouling layer on metallic surfaces is divided into three layers , namely , oxidation , intermediate and fouling layer in turn. The corrosion and fouling process is also divided into three phases: oxide film formation period ,fouling fast growth period and stabilization period. An increase of the concentration can promote the corrosion and fouling speed of metals. An increase of the roughness has little influence on the corrosion but can accelerate the fouling. **Key words:** corrosion and fouling , layer division , reaction process , influencing factor

BP 神经网络与改进热力计算结合确定锅炉参数基准值 = **Determination of the Reference Values of Parameters of a Boiler By Combining the BP (back propagation) Neural Network With the Improved Thermodynamic Calculation** [刊 ,汉] LI Shao-hua , XU Fang , SONG Dong-hui , XU Le-fei (College of Energy Source and Power Engineering , Northeast University of Electric Power , Jilin , China , Post Code: 132012) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. – 2011 ,26(5) . – 566 ~ 570

Through analyzing the problems of the prevailing method for determining the reference values of operating parameters of a boiler , the authors presented a method for determining the reference values of parameters of a boiler by combining the BP neural network with the improved thermodynamic calculation. During the calculation , the BP neural network model was used to predict the reference value of the carbon content of the flyash and according to the operating load of the boiler a formulae for calculating the flue gas temperature at the outlet of the furnace was chosen. The method for determining the excess air factor in the “mountain – climbing theory” was used to determine the reference values of the key operating parameters. Finally ,with a HG1025/18.2-M boiler serving as an example ,the reference values of the operating parameters of the boiler were calculated at 50 % and 70% load , obtaining a conclusion that the excess air ratio at the outlet of the furnace will remarkably increase with a decrease of the boiler load and the carbon content of the flyash and the thermal loss due to the mechanical unburn-out combustion will markedly decrease. It has been proven that the method in question can reflect very well the influence of a change of the boiler load and coal quality characteristic parameters on the reference values of the operating parameters. **Key words:** boiler , target value , thermodynamic calculation

洗中煤和煤矸石的混煤燃烧特性分析 = **Analysis of the Blended Combustion Characteristics of a Washed Middle-quality Coal and Gangue with a Low Heating Value** [刊 ,汉] SHEN Bing-yun (College of Energy Source and Power Engineering , Inner Mongolia Polytechnic University , Huhhot , China , Post Code: 010051) ,

XUN Hua , HAN Jian-chun (Inner Mongolia Academy of Electric Power Science , Huhhot , China , Post Code: 010020) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011 ,26(5) . - 571 ~ 575

By making use of the thermodynamic analytic method , studied were the combustion characteristics of a coal with a low heating value obtained by blending a washed middle-quality coal with coal gangue. The characteristic parameters representing its combustion characteristics such as peak temperature , ignition temperature , burn-out temperature and comprehensive combustion characteristic indexes etc. were obtained by conducting an analysis of the data and such parameters as activation energy and frequency factor etc. were acquired by performing a dynamic analysis. The authors have concluded that the blending ratio exercises a very big influence on the ignition performance of the coal sample and the combustion process of the blended coal with a low heating value obeys a 1.5 grade chemical reaction. The research results are of major significance to optimizing the operation , saving fuels and reducing pollutant emissions. **Key words:** blended coal with a low heating value , thermodynamic analysis , combustion characteristics

镧钨阴极高温静电除尘器阴极放电与除尘特性 = **Cathode Discharge and Dust Removal Characteristics of a Lanthanum-tungsten Cathode High-temperature Electrostatic Precipitator** [刊 汉] XU Jin-jin (College of Energy Source and Environment , Southeast University , Nanjing , China , Post Code: 210096) , GU Zhong-zhu (College of Power Engineering , Nanjing Normal University , Nanjing , China , 210042) XI Xiao-li , YANG Jian-can (College of Material Science and Engineering , Beijing Polytechnic University , Beijing , China , Post Code: 100022) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. - 2011 ,26(5) . - 576 ~ 581

With Lanthanum-tungsten and lanthanum nitrate serving as the raw materials , prepared was the lanthanum-tungsten emission material. It has been found that the lanthanum-tungsten material is composed of La_2WO_6 and W , crystal particles are uniformly distributed and the escaping power needed is up to 2.88 eV. According to the experimental study of the emission characteristics , the emission current density of the material in question increased with an increase of the temperature and voltage and the former exercised a remarkable influence on the above-mentioned current density. The ion density in the charging zone of a lanthanum-tungsten cathode thermion emission type high-temperature static precipitator was more than $10^{15} \sim 10^{16}$ ions/ m^3 , more than two magnitude orders higher than that of a traditional corona type electrostatic precipitator(ESP) . The authors performed a study of the influence of the flue gas flow speed , voltage in the charging zone and dust particle diameter on the dust removal efficiency. When the particle diameter is below 10 μm , the dust removal efficiency will rapidly rise with an increase of the dust particle diameter. To increase the voltage in the charging zone can increase its ion density , leading to an increase of the charge number and thus improving the dust removal efficiency. When the flow speed is in excess of 1.2 m/s , the dust removal efficiency will quickly decline with an increase of the flow speed. **Key words:** lanthanum-tungsten cathode , thermion emission , electrostatic dust removal