

不同煤种低温干燥特性的实验研究

高正阳,杨维结,阎维平

(华北电力大学 能源动力与机械工程学院 河北 保定 071003)

摘要:利用热天平对4种不同煤样进行了等温干燥脱水实验,实验表明:对于同一煤样,温度升高会导致煤样干燥速率增大。不同煤样、不同温度的干燥速率曲线趋势基本一致,经历升速干燥阶段、恒速干燥阶段和降速干燥阶段。对干燥实验数据使用薄层干燥模型理论中的15种不同模型进行数据拟合,计算并比较不同模型的相关系数从而确定了Yagcioglu模型为等温干燥最为适宜的机理模型。在最佳干燥机理模型的基础上进行动力学分析,在相同干燥温度条件下,干燥速率常数 k 随着煤样含水量增加而减少,而在同一煤样中, k 则呈现出随着干燥温度升高而增加的趋势。4种煤样在低温情况下等温干燥的表观活化能分别为 $E_{CZ} = 37.40$ kJ/mol、 $E_{TS} = 28.41$ kJ/mol、 $E_{DF} = 53.52$ kJ/mol和 $E_{HV} = 33.53$ kJ/mol。

关键词:热重分析;煤干燥;干燥动力学;机理方程;活化能

中图分类号:TK16 文献标识码:A

DOI:10.16146/j.cnki.rndlgc.2016.12.010

引言

原煤干燥是提高煤炭综合利用效率的有效措施。试验表明,煤干燥处理可以不同程度上的节约燃煤量和提升火电厂的经济性^[1~2]。此外,原煤经过干燥处理后,可节约运输成本,减少CO₂排放量^[3]。煤干燥处理成为了降低原煤水分、提高原煤能量密度的关键环节。然而,干燥是一个高能耗的过程,在热空气作为干燥介质的流化床干燥中,则热量消耗提高至3.1~4.0 MJ/kg^[4]。在进行煤干燥处理时必须考虑燃煤干燥所带来的附加经济价值能否大于其干燥成本^[5]。对于燃煤火电厂,利用其废热如锅炉排烟、冷凝水等途径来解决煤炭干燥中的能源消耗,而这些来自火电厂锅炉排烟或冷凝水的废热温度低,能量品质较差,因此要充分高效地利

用这些废热,则需要探寻原煤与水分的相互作用以及在低温条件下表现的干燥特性^[6]。

对于低温条件下干燥特性的研究主要通过实验手段实现,获得煤干燥过程中的各种参数,如煤的物料特性、干燥动力学参数和热质传递系数等,进而获得合理的干燥机理模型,从而为后期的煤干燥工艺设计与选择提供参考^[7]。对于低温条件下煤干燥机理的研究,国内外学者进行了大量的实验研究,研究主要集中在不同粒径及不同干燥温度和压力对煤粉干燥特性的影响^[8~10]。但目前所涉及的煤种多限于褐煤,对于不同煤种干燥机理的对比研究不够深入,且实验数据拟合采用的理论模型较少。针对4种不同煤样进行等温干燥脱水实验研究,采用大量的经典理论模型拟合实验数据,得出最为适宜的干燥机理模型,并进行动力学分析得出了4种不同煤样的干燥表观活化能。此外,还分析了等温条件下不同含水量煤种和不同温度对煤样干燥特性的影响。

1 实验介绍

1.1 实验装置和方法

热天平实验采用德国耐驰的综合热分析仪(NETZSCH STA 409PC),顶部加样式天平,温度最高可达1550℃;升温速率最高可达50℃/min;样品质量:0~18g;分辨率:2μg。

称取一定质量(20mg左右)的煤粉样品,装入直径为51.5mm氧化铝空坩埚,置于氮气流量40mL/min的热天平室中,进行等温热重分析。

等温热重分析:设定为空气(N₂:O₂=79:21),控制为100mL/min,分别对样品在40、50和60℃下进行等温脱水干燥,样品加热时间为120min。

最终得到各样品的TG(热重)曲线,本实验采

收稿日期:2015-10-27; 修订日期:2015-12-16

基金项目:中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(10MG19)

作者简介:高正阳(1972-),男,河北保定人,华北电力大学副教授,博士。

通讯作者:杨维结(1990-),男,河北保定人,华北电力大学博士研究生。

用四极质谱仪, 质谱型号为 QMS403D, 实验采用的 TG-MS (热重-质谱联用) 仪器如图 1 所示。



图 1 TG-MS 联用实验台

Fig. 1 TG-MS combination test bench

1.2 样品制备

原煤样品分别采集自 4 个不同电厂的入炉煤, 分别标记为潮州 (CZ) 入炉煤, 台山 (TS) 入炉煤, 大方 (DF) 入炉煤, 河源 (HY) 入炉煤, 电厂原煤经小型

破碎机破碎后, 利用标准筛筛分, 选取粒度为 0.075~0.09 mm 的煤样作为实验对象, 装入密封袋中保存, 尽量减少实验之外的水分损失, 其工业分析和元素分析如表 1 所示。

由挥发分含量分类 4 种煤样可依次分为褐煤、烟煤、无烟煤和烟煤; 由工业分析可得 4 种煤样的含水量由大到小的顺序为: CZ 煤样、TS 煤样、HY 煤样和 DF 煤样。由含水量分类 4 种煤样依次可分为高全水分煤、中高全水分煤、特低全水分煤和中等全水分煤。

2 燃煤等温加热脱水的研究

2.1 不同干燥温度的分析

CZ 煤样、TS 煤样、DF 煤样和 HY 煤样在 40、50 和 60 °C 下的热重曲线如图 2 所示。

表 1 样品的工业/元素分析

Tab. 1 The industrial / elemental analysis of samples

样品	工业分析 / %				$Q_{gr, ad}$ /kJ · kg ⁻¹	元素分析 / %				
	M_{ad}	A_{ad}	V_{ad}	FC_{ad}		S_{ad}	C_{ad}	H_{ad}	N_{ad}	O_{ad}
CZ 煤样	24.36	3.24	37.06	35.64	20 660	0.13	52.36	3.22	0.68	16.01
TS 煤样	11.38	9.90	29.20	49.52	24 060	0.42	60.68	3.35	1.02	13.25
DF 煤样	3.68	38.68	7.48	50.16	18 530	1.61	49.77	1.89	0.65	3.72
HY 煤样	9.61	12.23	29.06	49.10	24 600	0.82	61.42	3.58	0.88	11.46

由图 2 分析可得, 随温度的升高, 样品达到稳定状态时的重量相应减少, 但 DF 煤样在 40、50 和 60 °C 加热中达到稳定状态时重量基本一致。与其它煤样的干燥特性不同, 也表明水分在 DF 煤样的赋存状态与在其它 3 种煤样中不同。其它 3 种煤样的热重曲线表明在恒定的低温度范围内 (如 40、50 和 60 °C), 虽然样品干燥过程已经结束, 但煤样中仍会存在一定质量的水分无法在此温度条件下蒸发出去, 只有通过提高加热温度才可能使之进一步脱除。而这一实验现象符合许多关于褐煤干燥文献中的结果^[11-12]。

2.2 不同含水率的分析

由样品的热重曲线, 可以得到样品含水率为:

$$X = \frac{W - W_0}{W_0} \quad (1)$$

式中: W —某一时刻样品质量, mg; W_0 —样品在某一等温干燥条件下所达到的恒定质量, mg, 对应该干燥温度条件下的“干燥状态”^[11]。因此, 对式 (1) 进

行微分, 可得到样品干燥速率为:

$$-\frac{dX}{dt} = \frac{-dW/dt}{W_0} \quad (2)$$

CZ 煤样、TS 煤样、DF 煤样和 HY 煤样在不同温度下干燥速率随样品含水率的变化关系如图 3 所示。

由图 3 分析可得, 同一含水率下 4 种煤样的干燥速率曲线随着干燥温度升高而变陡, 说明温度升高使得煤样内干燥速率的变化趋势加强, 即煤样内的水分脱除作用更加剧烈。此外, 可以发现不同煤样、不同温度的干燥速率曲线趋势基本一致, 经历升温干燥阶段 (预热阶段)、恒速干燥阶段和降速干燥阶段。但是在不同煤样中, 这些干燥阶段表现出不同变化: 在 CZ 煤样、TS 煤样和 HY 煤样 3 个含水率较高的样品中, 这 3 个阶段能明显区分, 而在 DF 煤样中, 升温干燥阶段和恒速干燥阶段很短, 干燥过程几乎一开始就进入到降速干燥阶段。同时, 随着温度的升高, 不同煤样干燥速率曲线中的恒速干燥阶段有缩小的趋势, 这与王涛等人的研究结论一致^[13]。

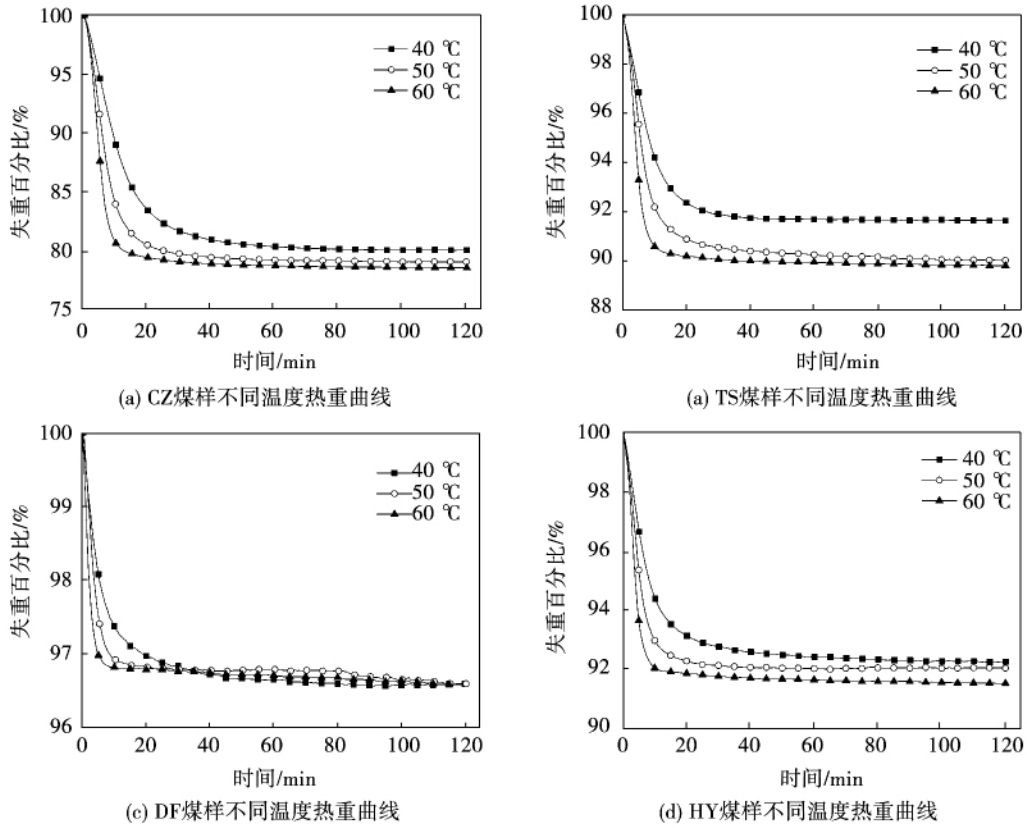


图 2 不同煤样不同温度热重曲线

Fig. 2 TG curves of different coal samples at different temperatures

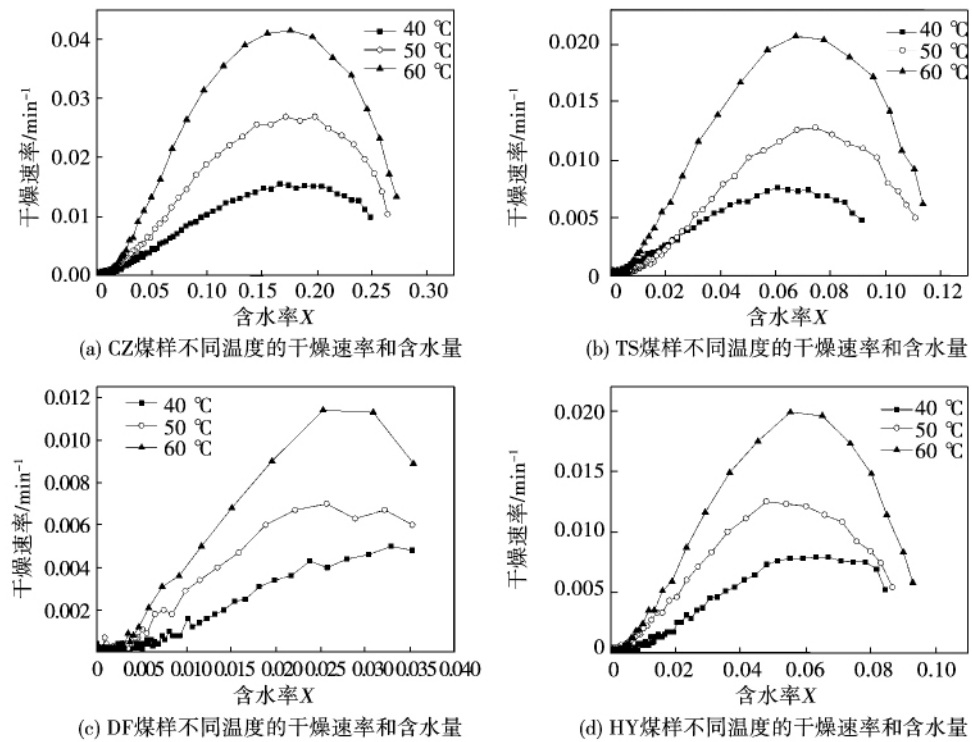


图 3 不同煤样不同温度的干燥速率和含水率

Fig. 3 Drying rate and moisture content of different coal samples at different temperatures

3 基于薄层干燥模型的燃煤等温干燥动力学研究

薄层干燥动力学是通过对干燥曲线进行数学模拟从而建立得到薄层干燥方程,是研究深层干燥的基础^[14-15]。国内外研究者已经提出许多数学模型来描述干燥过程,其模型一般可分为理论方程、半理论方程、半经验方程和经验方程。常见的薄层干燥方程如表 7 所示^[12-16]。

为此引入无量纲变量水分比 M_R ,是某时刻 t 样品中的自由水分含量 X 与干燥脱除水的总含量之比,如下式:

$$M_R = \frac{X - X_f}{X_0 - X_f} \quad (3)$$

式中: X_0 、 X_f 一样品湿物料初始干基湿含量和平衡干基湿含量, X_f 与 X 、 X_0 相比很小,可以忽略,因此式(3)简化为:

$$M_R = \frac{X}{X_0} \quad (4)$$

因此干燥速率 R_D 的表达式如式(5)所示:

$$R_D = - \frac{dM_R}{dt} \quad (5)$$

表 2 常见的薄层干燥方程^[12-16]

Tab. 2 Common thin layer drying equations

研究者及模型名称	薄层干燥方程
Henderson 等人, 单项扩散模型	$M_R = a \exp(-kt)$
Yagcioglu 等人	$M_R = \alpha_1 \exp(-kt) + \alpha_2$
Sharaf-Eldeen 等人, 两项扩散模型	$M_R = \alpha_1 \exp(-k_1 t) + \alpha_2 \exp(-k_2 t)$
Karathanos 等人, 三项扩散模型	$M_R = \alpha_1 \exp(-k_1 t) + \alpha_2 \exp(-k_2 t) + \alpha_3 \exp(-k_3 t)$
Lewis 模型	$M_R = \exp(-kt)$
Lemus 等人	$M_R = \exp(\alpha + kt)$
Chandra 等人	$M_R = \alpha_1 / [1 + \alpha_2 \exp(kt)]$
Page Page 模型	$M_R = \exp(-kt^n)$
Overhults 等人, 修正 Page I	$M_R = \exp[-(kt)^n]$
Wang 等人, 修正 Page II	$M_R = a \exp(-kt^n)$
Hii 等人	$M_R = \alpha_1 \exp(-k_1 t^n) + \alpha_2 \exp(-k_2 t^n)$
Midilli 等人	$M_R = \alpha_1 \exp(-kt^n) + \alpha_2 t$
Wang 等人经验模型	$M_R = 1 + \alpha_1 t + \alpha_2 t^2$
Lemus 等人经验模型	$M_R = \alpha_1 + \alpha_2 t^{1/2}$
Geometric 等人	$M_R = at^{-n}$

注:表中 t 为干燥时间, min。 k k_1 k_2 k_3 n α α_1 α_2 和 α_3 均为模型中的经验常数。

薄层干燥模型适用于 20 mm 以下的物料完全暴露在相同实验环境下的干燥过程^[17]。将图 2 和图 3 中的 CZ 煤样热重曲线的实验数据带入薄层干燥模型中,对 CZ 煤样不同温度下的等温干燥过程进行拟合,得到的结果如表 3 所示。

表 3 薄层干燥模型对 CZ 煤样不同温度下等温干燥过程拟合参数

Tab. 3 Thin layer drying model for CZ coal sample isothermal fitting parameters of isothermal drying process at different temperatures

薄层干燥模型	拟合参数 R^2		
	40 °C	50 °C	60 °C
单项扩散模型	0.996 71	0.991 84	0.981 10
Yagcioglu 等人	0.996 93	0.991 93	0.981 24
两项扩散模型	0.998 59	0.997 13	0.994 09
三项扩散模型	0.999 93	0.999 70	0.998 40
Lewis	0.992 40	0.982 89	0.962 21
Lemus	0.996 89	0.991 84	0.981 10
Chandra 等人	0.997 36	0.994 82	0.992 76
Page 模型	0.996 04	0.993 53	0.991 50
修正 Page1	0.996 67	0.994 12	0.991 76
修正 Page2	0.997 41	0.994 77	0.992 05
Hii 等人	0.999 96	0.999 58	0.999 36
Midilli 等人	0.997 33	0.994 16	0.990 25
Wang 等人	0.783 35	0.608 15	0.468 23
Lemus 等人	0.645 62	0.486 98	0.376 08
Chandra 等人	0.786 27	0.782 85	0.817 72

从表 3 可得,薄层干燥模型的 R^2 平均值大多比等温干燥动力学模型的大,说明薄层干燥模型拟合精度较高。同时还可以看出薄层干燥模型中理论方程、半理论方程、半经验方程的 R^2 平均值全部大于 0.96,大部分达到 0.99 以上,而经验方程的 R^2 平均值则较小,基本可以认为其不能准确拟合 CZ 煤样的等温干燥过程。其中,三项扩散模型和 Hii 等人提出的模型分别是理论方程、半理论方程、半经验方程中 R^2 平均值最大的,拟合精度最高的模型。而其它的诸如 Yagcioglu 等人提出的模型、两项扩散模型、Page 模型等的 R^2 平均值都大于 0.98,也具有非常高的表达精度。考虑模型的复杂程度及表达精度来看,选取 Yagcioglu 等人提出的模型作为 4 种煤样的不同温度下等温干燥的干燥方程,其拟合结果如表

4 所示。

表 4 Yagcioglu 等人提出的模型对煤样等温干燥过程拟合参数

Tab.4 Coal sample fitting parameters in isothermal drying process based on Yagcioglu model

Yagcioglu 等人提出的模型	拟合参数 R^2		
	40 °C	50 °C	60 °C
CZ 煤样	0.996 95	0.991 94	0.981 24
TS 煤样	0.996 72	0.987 53	0.988 69
DF 煤样	0.981 35	0.974 49	0.965 11
HY 煤样	0.992 26	0.990 01	0.976 58

由表 4 可得 ,Yagcioglu 等人提出的模型对不同煤样不同温度下的样品等温干燥过程的拟合程度均较好 ($R^2 > 0.96$) ,说明此模型可以较好地表现煤样低温下的等温干燥过程 ,其中 DF 煤样的等温干燥过程拟合程度在 4 个煤样中最低 ,可能由于 DF 煤样中主要水分的赋存状态与其它煤样不一样导致的。故本文中应用 Yagcioglu 等人提出的模型 $M_R = a_1 \exp(-kt) + a_2$ 对不同煤样不同温度下的样品等温干燥过程进行非线性拟合 ,求得煤样干燥过程中的干燥动力学参数 k 如表 5 所示。

表 5 在 Yagcioglu 等人提出的模型下不同温度不同煤样的等温干燥过程的 k 值

Tab.5 Reaction rates k of different coal samples under isothermal drying process with Yagcioglu model at different temperatures

Yagcioglu 等人提出的模型	k 值		
	40 °C	50 °C	60 °C
CZ 煤样	0.088 87	0.142 96	0.210 34
TS 煤样	0.122 63	0.149 46	0.236 77
DF 煤样	0.136 31	0.301 78	0.466 61
HY 煤样	0.126 05	0.200 77	0.272 66

由表 5 数据和工业分析 4 种煤样含水量大小可得 ,在相同干燥温度条件下 k 随着煤样含水量增加而减少。在 60 °C 下 ,含水量从 DF 煤样中的 3.61% 到 CZ 煤样中的 24.16% k 的减少趋势明显 ;在同一煤样中 k 则呈现出随着温度升高而增加的趋势。这也表明 k 是干燥过程中与温度、含水量相关的特征常数。文献 [18] 指出随着煤阶的升高 ,煤孔表面积降低 ,而煤表面固水能力或吸附水的数量与煤孔表面积和氧含量的乘积密切相关。煤中氧含量降

低、煤孔表面积减少都会导致煤表面吸附水分子减少或其固水能力减弱 ,干燥速率增加 ,表现为 k 增加 ,这也解释了 DF 煤样中的参数 k 比其它煤样大。利用不同温度下做 $\ln k \sim 1/T$ 的关系曲线 ,如图 4 所示。

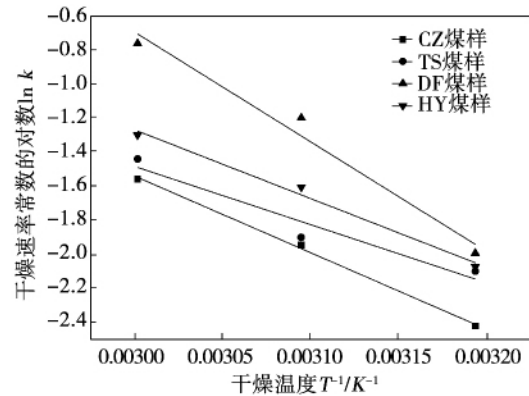


图 4 $\ln k \sim 1/T$ 的关系曲线

Fig.4 Relationship Curve of $\ln k \sim 1/T$

由图 4 分析可得 :线性相关系数 R^2 大于 0.98 ,由拟合直线的斜率计算得到 4 种煤样在低温情况下等温干燥的表观活化能为 $E_{CZ} = 7.40 \text{ kJ/mol}$ 、 $E_{TS} = 28.41 \text{ kJ/mol}$ 、 $E_{DF} = 53.52 \text{ kJ/mol}$ 和 $E_{HY} = 33.53 \text{ kJ/mol}$ 。活化能越大 ,代表化学反应越难进行 ,而在干燥机理中 ,表观活化能越大即干燥开始进行时所需的能量越大 ,能量品质要求越高。这说明了若不限制干燥时间 ,在低温干燥中的相同能量品质条件下 ,DF 煤样的干燥效果最差。此外 ,含水量越高 ,也不代表干燥效果越好 ,而是存在一个最适宜干燥的含水量 ,使得煤样在低温环境下干燥效果达到最优。

4 结 论

通过 4 种煤样在热天平空气气氛下的干燥试验 ,分析含水量和干燥温度对煤样干燥特性的影响 ,采用薄层干燥模型对煤样的等温干燥过程进行数学解析 结论如下 :

(1) 等温干燥过程中 ,不同煤样、不同温度的干燥速率曲线趋势基本一致 ,经历升速干燥阶段 (预热阶段)、恒速干燥阶段和降速干燥阶段。随着煤样干燥温度升高 ,恒速干燥阶段有缩小的趋势。在恒定的低温度范围内 (如 40、50 和 60 °C) ,虽然样品干燥过程已经结束 ,但煤样中仍会存在一定质量

的水分无法在此温度条件下蒸发出去,只有通过提高加热温度才可能使之进一步脱除。

(2) 等温干燥过程中, Yagcioglu 等人提出的模型对不同煤样不同温度的等温干燥过程非线性拟合的相关度较高,且模型简单,适于工程应用。在相同干燥温度条件下,干燥速率常数 k 随着煤样含水量增加而减少,而在同一煤样中 k 则呈现出随着温度升高而增加的趋势。模型计算得到 4 个煤样在低温情况下等温干燥的表观活化能分别为 $E_{CZ} = 37.40$ kJ/mol、 $E_{TS} = 28.41$ kJ/mol、 $E_{DF} = 53.52$ kJ/mol 和 $E_{HY} = 33.53$ kJ/mol。

参考文献:

- [1] 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, 2012, 32(20): 14-19.
LI Qin-dao, Liu Ming, YAN Jun-jie, et al. Thermal economic calculation and analysis for boiler flue gas pre-dried lignite-fired power generation system[J]. Proceedings of the CSEE, 2012, 32(20): 14-19.
- [2] 高正阳,李晋达,范元周,等. 褐煤预干燥对锅炉传热特性及运行经济性的影响[J]. 动力工程学报, 2014, 34(3): 182-188.
GAO Zheng-yang, LI Jin-da, FAN Yuan-zhou, et al. Influence of lignite dryness on heat transfer and operation economy of power boilers[J]. Power Engineering, 2014, 34(3): 182-188.
- [3] TAHMASEBIA, YU J, HAN Y, et al. Thermogravimetric study and modeling for the drying of a Chinese lignite[J]. Asia-Pacific Journal of Chemical Engineering, 2013, 8(6): 793-803.
- [4] AZIZM, KANSHA Y, TSUTSUMI A. Self-heat recuperative fluidized bed drying of brown coal[J]. Chemical Engineering and Processing: Process Intensification, 2011, 50(9): 944-951.
- [5] RAOZ ZHAO Y, HUANG C, et al. Recent developments in drying and dewatering for low rank coals[J]. Progress in Energy and Combustion Science, 2015, 46: 1-11.
- [6] 方亚雄,许诚,徐钢,等. 基于褐煤干燥技术的机炉热集成优化系统[J]. 热能动力工程, 2015, 30(1): 81-87.
FANG Ya-xiong, XU Cheng, XU Gang, et al. Lignite drying technology-based turbine-boiler thermal integrated system[J]. Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2015, 30(1): 81-87.
- [7] 杨晓毓,邵徇. 褐煤蒸发脱水机理的研究进展[J]. 煤质技术, 2014(01): 38-42+46.
YANG Xiao-yu, SHAO Xun. The research progress of evaporating dehydration mechanism of lignite[J]. Coal Quality Technology, 2014(01): 38-42+46.
- [8] 杨景标,张彦文,蔡宁生. 煤热解动力学的单一反应模型和分布活化能模型比较[J]. 热能动力工程, 2010, 25(3): 301-305+358.
YANG Jing-biao, ZHANG Yan-wen, CAI Ning-sheng. A comparison of a single reaction model with a distributed activation energy one based on coal pyrolysis kinetics[J]. J Engineering Thermal Energy & Power, 2010, 25(3): 301-305+358.
- [9] 熊程程,向飞,吕清刚. 褐煤干燥特性的实验研究[J]. 化学工程, 2011, 39(8): 74-78.
XIONG Cheng-cheng, XIANG Fei, LV Qing-gang. Experimental study on drying characteristics of lignite[J]. Chemical Engineering (China), 2011, 39(8): 74-78.
- [10] 郑星,欧阳聪聪,叶子铭,等. 褐煤热压脱水实验研究[J]. 洁净煤技术, 2014, 20(6): 52-55.
ZHENG Xing, OUYANG Cong-cong, YE Zi-ming, et al. Experimental study of hot-pressing dehydration of lignite[J]. Clean Coal Technology, 2014, 20(6): 52-55.
- [11] 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. Investigation on the isothermal dewatering of brown coal by thermo balance[J]. Proceedings of the CSEE, 2009, 29(14): 74-79.
- [12] PUSATS, AKKOYUNLU M T, ERDEM H H, et al. Drying kinetics of coarse lignite particles in a fixed bed[J]. Fuel Processing Technology, 2015, 130: 208-213.
- [13] 王涛,于才渊,孟敏. 基于薄层干燥模型的褐煤干燥动力学研究[J]. 干燥技术与设备, 2011, 9(3): 110-110.
WANG Tao, YU Cai-yuan, MENG Min. Technical and economic analysis on fuel gas wet desulfurization based on limestone-gypsum method[J]. Drying Technology and Equipment, 2011, 9(3): 110-110.
- [14] 林琳. 甲烷气氛下褐煤干燥及动力学研究[D]. 大连: 大连理工大学, 2013.
LIN Lin. Drying and kinetics of lignite under methane atmosphere[D]. Dalian University of Technology, 2013.
- [15] 王宝和. 干燥动力学研究综述[J]. 干燥技术与设备, 2009, 7(1): 51-56.
WANG Bao-he. Review of drying kinetics[J]. Drying Technology and Equipment, 2009, 7(1): 51-56.
- [16] ALLARDICED J, EVANS D G. The brown-coal/water system: Part 1, The effect of temperature on the evolution of water from brown coal[J]. Fuel, 1971, 50(2): 201-210.
- [17] 姜瑞勋,李爱民,王伟云. 脱水污泥薄层干燥特性及动力学模型分析[J]. 中国环境科学, 2009, 29(1): 22-25.
JIANG Rui-xun, LI Ai-min, WANG Wei-yun. Thin layer drying characteristics and kinetics model of dewatered sludge[J]. China Environmental Science, 2009, 29(1): 22-25.
- [18] MEYERSR A. Coal structure[M]. Netherlands: Elsevier, 2012.

(单丽华 编辑)

neering ,Shanxi University ,Taiyuan ,Shanxi ,China ,Post Code: 030013) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(12). - 56 ~61

In power plant ,the energy consumption of wet flue gas desulfurization (WFGD) system accounts for 1% - 2% of plant electric consumption. The gypsum cyclone is an important equipment in dewatering system of WFGD. Air core is a special phenomenon in solid-liquid cyclone. The flow field in gypsum cyclone was simulated with Fluent. The results indicate that: two air backflows form a whole air core and the movement of air wastes energy provided by gypsum pump. And the air core will disappear partly or wholly by inserting a solid central rod in cyclone. The corresponding experiments were carried out ,and results illustrated that both production capacity of gypsum cyclone and solid content in under flow increase apparently with a central solid rod. The energy consumption of gypsum cyclone in a power plant with the capacity of 4×600 MW was calculated and compared ,and it was concluded that with the conical central solid rod the energy consumption of the gypsum pump is reduced about 13.41% and the " fish-hook" phenomenon is improved effectively. **Key words:**energy saving ,air core ,central solid rod ,gypsum cyclone

不同煤种低温干燥特性的实验研究 = **Experimental Investigation of Low-temperature Drying Characteristics of Different Coals** [刊 ,汉] GAO Zheng-yang ,YANG Wei-jie ,YAN Wei-ping (School of Energy and Power Engineering ,North China Electric Power University ,Baoding ,China ,Post Code: 071003) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 31(12). - 62 ~67

The isothermal dehydration experiments of four different coal samples were conducted by heat balance ,and the experiments indicated that the drying rate will increase with temperature for the same coal sample. The drying rate curves of different coal samples or different temperatures were basically the same ,including speed-up drying stage , constant speed drying stage and speed-down drying stage. Data fitting was performed according to fifteen different models in the theory of thin layer drying. Yagcioglu model was selected as the most appropriate model for isothermal drying procedure through calculating and comparing the correlation coefficients of different models. Based on the optimal drying mechanism model ,the dynamic analysis was carried out. The results showed that the drying rate constant k decreases as the moisture content increases at the same drying temperature ,and it increases with the drying temperature for the same coal sample. For the four coal samples ,the apparent activation energy of isothermal drying at low temperature was $E_{CZ} = 37.40$ kJ/mol , $E_{TS} = 28.41$ kJ/mol , $E_{DF} = 53.52$ kJ/mol and $E_{HY} = 33.53$ kJ/mol , respectively. **Key words:**TGA ,coal drying ,drying kinetics ,mechanism equations ,activation energy

扩压器前缘开槽结构对离心鼓风机性能及流场压力脉动的影响 = **Effects of Slotted Structure at Leading**