Experiment on Dewatering and Drying of Lignite

Buwei Ma[1], Zhenxin Zhao[1]，Yaoling Wang[1]，Shuquan Zhu[2]

[1] *Department of Chemistry and Chemical Engineering, Henan University of Urban Construction, Pingdingshan, Henan, China*

[2] *School of Chemistry & Environmental Engineering, China University of Mining & Technology (Beijing), Beijing, China*

Email: zzx@hncj.edu.cn

Abstract: The essay takes lignite in Inner Mongolia as its object, takes 10.5% oxygen gas as the drying medium to conduct a serial experiments of fluid bed drying. All prove different Fractions of critical fluidization velocity of lignite, drying cabinet (200℃~240℃),drying time(5~8min) and drying characteristics of Fluidized bed. By dewatering and drying experiment of all fractions of lignite, it gives equation $M = Ae^{-Bx}$ which shows that there is a close relationship among drying methods, drying medium temperature and wind speed. From the energy point of view, the moisture is controlled in about 5% is appropriate to the dehydration and drying of lignite.

Keywords: lignite; dewatering; drying； fluidized bed

褐煤的干燥脱水实验研究

马步伟 [1]，赵振新 [1]，王要令 [1]，朱书全 [2]

1 河南城建学院化学与化学工程系，平顶山市，河南，中国 467044

2 中国矿业大学（北京）化学与环境工程学院 北京 100083

Email: zzx@hncj.edu.cn

摘　要：本文以内蒙古褐煤为研究对象，以含氧量 10.5%左右的烟气为干燥介质，进行了系列流化床干燥实验，确定了不同粒级褐煤的临界流化风速，干燥温度（200℃~240℃），干燥时间（5~8min），探讨了褐煤的流化床干燥机理。从能耗来看，对褐煤的脱水干燥水分控制在 5%左右为宜。通过全粒级褐煤的干燥脱水实验，得到方程 $M = Ae^{-Bx}$，其干燥规律与干燥介质温度和风速有密切关系。

关键词：褐煤；脱水；干燥；流化床

1 引言

褐煤是一种变质程度较低的煤种，机械强度较低，容易风化粉碎，自燃倾向强，水份含量高，不易化学加工，难以洗选和储存，造成单位能量的运输成本较高，长距离输送经济性差，使得褐煤的开采和利用受到很大限制。多年来全国褐煤的产量均不到全国原煤产量的 4.5%。由于褐煤碳氢含量低，氧含量高，水份含量一般含量在 30%～40%，有的高达 50%以上，作用燃料直接使用，经济性有限，不仅燃烧效率低，浪费巨大，而且温室气体的排放量也很大，污染严重[1]。因此降低水分、提高能量密度便成为褐煤加工利用的关键问题之一。研究表明，将水分高、热值低的褐煤脱水处理后，可以显著降低煤炭水分，提高发热量，增加产品适用性，防止煤炭自燃[2]。本文利用小型流化床干燥实验分析了褐煤的脱水干燥特性。

2 实验装置、实验流程

2.1 煤样的选择

本试验的样品是经制样后的内蒙古褐煤，在制样过程中有部分水分蒸发。制备后的煤样密封保存备用。研究的目的是模拟试验线干燥设备，考察褐煤在不同粒度、介质和温度下的动静态脱水提质改性特性。

2.2 实验流程如图 1。

褐煤的脱水干燥、高效利用受到广泛重视，降低水分、提高能量密度成为褐煤加工利用的关键问题之一。目前，煤的干燥脱水技术很多，大致可以分为机械脱水、蒸发脱水和非蒸发脱水三类[3]。流化床作为一种高效换热器，传热效率高、换热面积大、占地小、能耗低、操作简便等优点，在化工、冶金、煤炭等领

域得到广泛应用。图 1 为本实验装置流程。

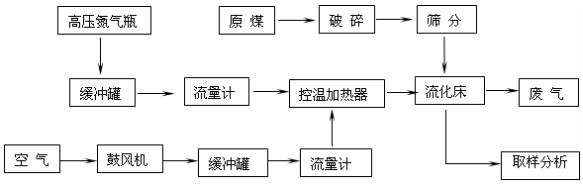

图 1 实验装置流程

Fig. 1 Experiment setting flow

2.3 实验装置如图 2。

流化床干燥适用于无凝聚作用的散粒状物料的干燥，颗粒直径从 30um~6mm，设备简单，生产能力大，热效率高，对于除去物料中的非结合水分，热效率可达 70%左右，对于除去物料中的结合水分时，热效率为 30%~50%[4]。本实验装置如图 2 所示。

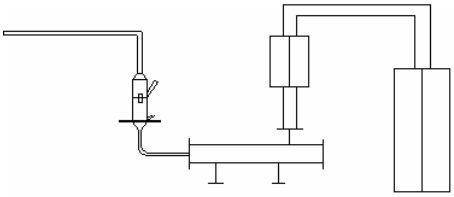

图 2 实验装置

Fig.2 Experiment device

3 实验步骤

3.1 褐煤的静态干燥脱水

将一定量的全粒级褐煤煤样放入烘箱中间歇干燥，保持烘箱温度 120℃恒定不变，每隔一段时间将样品取出进行称重，得到干燥不同时间下褐煤的干基湿含量。

3.2 实验所需褐煤煤样的粒度筛分

采用 800 复合破碎机进行原煤破碎，所得煤样的粒度分布见表 1。

表 1 原料煤粒度分布

Table1 Granularity distributing of raw coal

粒级（mm）	>3	2-3	1.25-2	0.5-1.25	<0.5	0.5-3
占总量百分比（%）	5.56	14.6	19.2	26.9	33.0	100

由上表 1 可以看出，采用 800 复合破碎机进行原煤破碎，所得煤样的粒度符合流化床干燥要求的粒度分布。

3.2 褐煤不同粒级的流态化实验

将一定量不同粒级的煤样置于流化床内，由小到大调节风量，观察煤粒的流态变化，当达到良好流化时测量计算煤粒的流化风速。全粒级煤粒临界流化风速为 36m^3/h，0.50-1.25mm 粒级煤粒临界流化风速为 20m^3/h，1.25-2.00mm 粒级煤粒临界流化风速为 40m^3/h，2.00-3.00mm 粒级煤粒临界流化风速为 50m^3/h。

4 结果与分析

4.1 褐煤的静态干燥脱水特性

为了分析褐煤的脱水机理，在恒定的干燥条件下（即保持干燥介质的温度、湿度、流动速度不变），进行褐煤的干燥实验。

实验表明，没有热气流强迫对流换热，煤样的干燥速度很慢（见表 2）。当干燥介质的温度、湿、流动速度等因素恒定的情况下，褐煤的干基湿含量随干燥时间的延长而降低。但是褐煤的失水速率并不是匀速的，而是随着干燥时间的延长和煤样干基湿含量的降低，褐煤的干燥速率下降。脱去最后 5%的煤样的结构水所消耗的时间与脱去前面 28%的水分所用的时间相当，此时空气将一部分热量供给煤样升温。从能耗来看，褐煤的干燥脱水，水分控制在 5%左右为宜。

表 2 120℃下煤样的静态干燥

Table2 Static dryness of coal under 120℃

干基湿含量/%	烘干时间 /min				
	10	20	30	60	120
33.61	24.21	12.01	5.21	0.61	0.41

4. 2 全粒级褐煤的流化床动态干燥脱水特性

4.2.1 褐煤流化床干燥过程机理

褐煤挥发分高，活性强，易燃易爆。本试验以 N_2:Air=1:1 的混合气体作为干燥介质，氧含量控制在 10.5%。

煤样在流化床干燥过程中，煤粒在床中迅速充分混合，在悬浮状态下与干燥介质接触，蒸发干燥面积大，介质对物料进行传导换热，对流换热，强化煤粒干燥的传热传质。干燥过程主要分预热、初期、中期、

978-1-935068-37-2 © 2010 SciRes.

后期四个阶段，不同时期床内情况如下图 3 所示[5]。

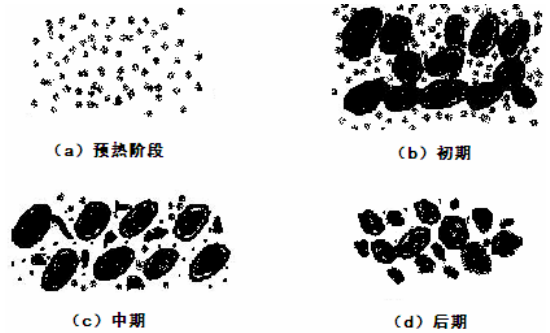

图3 煤样流化床干燥的四个阶段

Fig.3 Four drying phases using flowing bed for sample

4.2.2 干基湿含量

实验选取全粒级（0.5-3mm）的褐煤煤样进行实验。图 4 给出了不同干燥温度下褐煤物料干基湿含量与干燥时间的关系曲线。

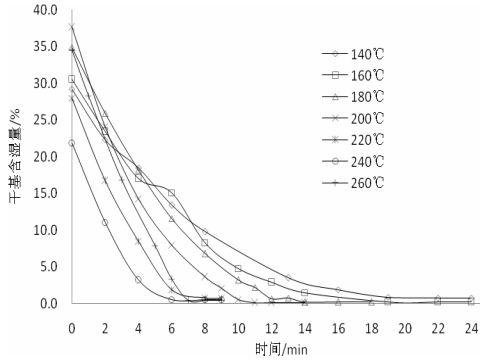

图4 全粒级（0.5~3.0mm）褐煤不同温度下的干燥特性曲线

（N_2:air[体积比]为1:1；临界流化速率为38m^3/h）

Fig4 drying characteristic curves at different temperatures

（N_2:air[V] =1:1; critical flow rate =38m^3/h）

从图 4 可以看出，在风量恒定的情况下，不同温度条件下，煤样的流化床干燥过程都有一段褐煤干基湿含量快速下降的区域。在此阶段，随着干燥时间的增加，煤样干基湿含量迅速降低，主要是去除煤中外在水分。之后，干燥曲线趋于平缓，煤样干基湿含量降低速率变慢，在此阶段，干燥去除褐煤中的内在水分和剩余的外在水分。

由图 4 分析，在本实验条件下，当干燥温度小于 200℃温度范围（140℃、160℃、180℃和 200℃），达到煤样临界干基湿含量的时间随干燥温度升高而减小，去除煤样外在水分达到煤样临界干基湿含量所用的时间最少为 8min。当干燥气流温度超过 200℃时，物料的干燥速率明显加快。煤样临界干基湿含量之前处于快速干燥区，煤样的干基湿含量随时间的延长迅速降低，之后为慢速干燥阶段，煤样的干基湿含量下降趋缓，直至达到完全干燥。

煤粒干燥是一个复杂的非稳态传热、传质过程。不仅受干燥介质的温度、湿度、流速等的影响，而且因煤粒的内部结构、物理化学性质及外部形状的不同而存在着明显的差异。许多学者通过对不同物料的研究，总结出了几种常用的经验、半经验干燥数学模型，用以定量地描述物料的干燥规律。笔者在处理本试验干燥试验数据时，采用了单项扩散模型 Page 方程[6]。

$$M = Ae^{-Bx} \quad (1)$$

式中 M——煤粒的水分；x——干燥时间（min）

分析图 4 的曲线，研究发现每一条曲线基本上都符合函数 $y = e^{-x}$ 的形式。通过数据拟合褐煤煤样的干燥方程，得到了褐煤的干燥实验模型，各实验工况的干燥常数 A、B 列于表 3 中。

表 3 全粒级褐煤煤样的干燥实验模型及参数

Table3 Dryness model and parameters of full particle sample

干燥温度(℃)	140	160	180	200	220	240	260
A	32.4	43.8	59.4	77.5	34.4	20.1	57.1
B	0.16	0.24	0.33	0.49	0.44	0.44	0.56
R	0.98	0.96	0.94	0.90	0.97	0.91	0.89

表 3 中 A 和 B 是与时间无关的常数，对于不同的工况 A 与 B 值各不相同，由此可以得出 A 和 B 是介质气体温度和风速的函数。依据褐煤的干燥数学模型，可以对实际生产起到重要的指导作用。在生产工况稳定的情况下，可以通过抽样检查求得干燥到最终水分所需要的时间，避免干燥时间过长而造成燃料及电力的浪费，或者干燥时间不够致使煤样水分达不到要求。

4.2.3 含湿量比

由图 4 可以看出，煤样达到完全干燥状态，所需要的时间不仅与干燥时间有关，而且与煤样初始湿含量及煤样的平衡湿含量直接相关，当煤样初始湿含量较高时，以同样温度干燥到相同湿含量，所需要的干燥时间较长，拟合曲线不是很方便。为此，需要进一步进行归一化处理，引入含湿量比 MR，定义为：

$$MR = \frac{X_d - X_e}{X_0 - X_e} \quad (2)$$

中：MR---含湿量比

X_0----初始湿含量（%）

X_d----干基湿含量（%）