

蒸汽管回转褐煤干燥及传热特性

余学海¹, 廖海燕¹, 翟剑萍², 詹仲福³, 赵旭³

- (1. 神华国华(北京)电力研究院有限公司, 北京 100025;
2. 北京国华电力有限责任公司, 北京 100025;
3. 天华化工机械及自动化研究设计院, 甘肃 兰州 730060)

摘要: 采用蒸汽管回转式干燥装置进行褐煤干燥传热实验研究, 获得不同工况下的传热特性。实验表明: 相同转速下, 给煤量从 79.04 kg/h 增加到 132.5 kg/h, 传热系数从 35.94 W/(m²·K) 增加到 36.83 W/(m²·K) 后下降为 33.34 W/(m²·K); 相同煤样条件下, 也存在最佳干燥机转速, 当转速从 0.5 r/min 增加到 3.7 r/min 过程中, 传热系数先增大后下降。通过对工业用褐煤干燥装置进行传热性能测试, 获得了放大装置的传热系数。结合因次分析方法和褐煤干燥传热关联数学模型, 研究分析了影响干燥传热系数的相关因素。根据实验数据和工程测试数据获得了褐煤干燥传热模型的关键参数, 其中 a, b, c 系数值分别为 0.036, 0.14 和 19.77。该模型起到了经验放大和工业验证的作用, 对工程设计和计算具有一定的借鉴意义。

关键词: 褐煤干燥; 传热特性; 关联模型; 工业应用; 实验

中图分类号: TD849+.2; TK173

文献标识码: A

文章编号: 1006-6772(2013)01-0052-03

Lignite drying with steam tube rotary dryer and its heat transfer characteristics

YU Xue-hai¹, LIAO Hai-yan¹, ZHAI Jian-ping², ZHAN Zhong-fu³, ZHAO Xu³

(1. Shenhua Guohua (Beijing) Electric Power Research Institute Co., Ltd. Beijing 100025, China;

2. Beijing Guohua Electric Power Co., Ltd. Beijing 100025, China;

3. Tianhua Research Institute of Chemical Machinery and Automation Lanzhou 730060, China)

Abstract: The steam tube rotary was used to test heat transmission characteristics of lignite under different drying conditions. The results show that, remaining the rotational speed constant, when the coal feed increase from 79.04 kg/h to 132.5 kg/h, the heat transfer coefficient first increase from 35.94 W/(m²·K) to 36.83 W/(m²·K), then reduce to 33.34 W/(m²·K). Adopting the same coal samples, the heat transfer coefficient first increase, then decrease when the rotational speed raise from 0.5 r/min to 3.7 r/min, that means there is an optimal rotational speed. The tests provide data foundation for the calculation of heat transmission coefficient. Its influencing factors are also investigated using dimensional analysis methods and heat transfer correlation mathematical models. The key parameters of heat transmission model a, b, c is 0.036, 0.14 and 19.77. The model provides reference for relevant engineering design.

Key words: lignite drying; heat transfer characteristics; association models; industrial application; application

煤的干燥可选用直接干燥或间接干燥方法, 常见的干燥工艺有蒸汽管回转干燥、热风型转筒干燥和气流干燥等^[1-2]。蒸汽管回转干燥是采用低温蒸汽(饱和或过热)进行间接加热干燥; 热风型转筒干

燥机的结构形式与蒸汽管回转干燥机类似, 只是筒体内部没有蒸汽换热管, 而是直接采用高温热风(烟气)与湿煤接触换热, 而气流干燥是采用热风(烟气)将湿煤边吹送边干燥。蒸汽管回转干燥机与传

收稿日期: 2012-10-15 责任编辑: 白娅娜

基金项目: 神华集团科技创新项目技术开发类课题(SHGF-10-10)

作者简介: 余学海(1983—), 男, 四川宜宾人, 硕士, 工程师, 主要从事煤气化、褐煤干燥、直接空冷等洁净煤技术研究工作。

引用格式: 余学海, 廖海燕, 翟剑萍, 等. 蒸汽管回转褐煤干燥及传热特性[J]. 洁净煤技术, 2013, 19(1): 52-54.

统的直接传热干燥机相比,具有产品质量易于保证、热利用率高、污染小、便于回收溶剂等优点^[3-4]。采用蒸汽管回转干燥机进行褐煤干燥实验,研究褐煤干燥传热特性,构建传热关联模型,并进行经验放大和工业应用验证。

1 实验条件

1.1 干燥原理及实验流程

蒸汽管回转干燥机实验流程如图1所示。

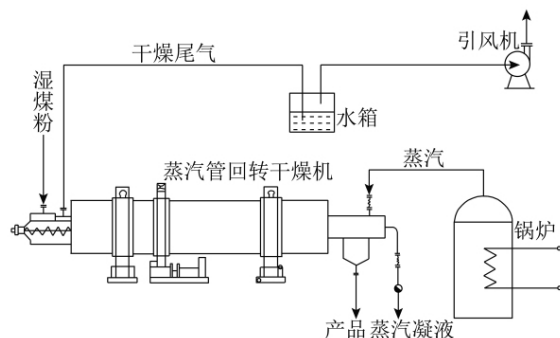


图1 蒸汽管回转干燥机实验流程
将高水分的颗粒状褐煤均匀加入蒸汽管回转

干燥机,煤粉在干燥机进料螺旋的输送下与蒸汽管回转干燥机干燥热管充分接触进行热交换,煤粉中的水分不断蒸发。煤粉随干燥机筒体旋转,当到达蒸汽管回转干燥机出口时从卸料口排出,被蒸发的水蒸汽及夹带的粉尘随尾气进入后续除尘系统。尾气除尘系统采用湿法除尘工艺,从蒸汽管回转干燥机尾部排出的尾气进入湿式除尘器,经洗涤后采用引风机排空。

1.2 实验方法

采用蒸汽管回转干燥机进行不同粒度、不同煤量下的干燥实验,研究干燥设备的传热特性^[5-6]。实验原料为某高水分褐煤,通过取样分析,实验取样平均水分为53.20%。实验采用饱和蒸汽温度为150℃,室内干球温度为8℃,干燥机直径700mm,长度3500mm,换热面积9.16m²。实验物料加料量和干燥机转速随工况变化,褐煤粒度均小于40mm。

2 传热计算

根据上述实验方法,得到了褐煤干燥实验结果,见表1。

表1 蒸汽管回转干燥机实验结果

编号	给煤量/(kg·h ⁻¹)	原料水分/%	干燥后水分/%	蒸汽温度/℃	进料温度/℃	出料温度/℃	转速/(r·min ⁻¹)
1	138.63	53.10	47.03	150	17.60	41.83	3.7
2	132.50	53.10	45.54	150	17.50	46.50	0.9
3	100.05	53.65	37.39	150	14.50	47.50	0.9
4	79.04	53.56	35.08	150	15.00	50.00	0.9
5	69.67	54.19	40.24	150	17.00	50.00	0.5
6	68.73	52.16	41.32	150	18.15	47.44	1.8

根据换热机理,蒸汽管回转干燥机的传热主要是饱和蒸汽通过圆形蒸汽管与高水分褐煤进行换热,饱和蒸汽凝结属于相变传热,放出的热量依次经过凝液层、污垢层、蒸汽管壁层传递到褐煤表面,再传到褐煤颗粒内部,从而使褐煤水分蒸发^[7-8]。整个传热过程一般包括凝结热阻、污垢热阻、管壁热阻以及褐煤的传热热阻,且以串联形式连接,其中热阻最大的是褐煤的传热热阻,而凝结热阻、污垢热阻、管壁热阻对总热阻的影响很小^[9-10]。

结合实验数据,经过热质平衡计算得到实验机的传热系数,见表2。由表2可知,对于给定的干燥设备和褐煤,影响干燥传热特性的主要因素有干燥机转速、给煤量、褐煤粒度等。结合表1、表2可知,相同转速下,给煤量从79.04kg/h增加到132.50kg/h,传热系数先从35.94W/(m²·K)增加到36.83W/(m²·K)后下降为33.34W/(m²·K),这说明随着给煤量的增加,干燥机填充率增加,蒸汽

干燥管与褐煤颗粒接触有效面积增大,干燥效率提高。但当干燥管和褐煤充分接触后,进一步增加煤量,传热系数将减小。干燥过程中,相同煤样条件下,也存在最佳干燥机转速。当转速从0.5r/min增加到3.7r/min,传热系数先增大,而当转速超过一定值后,部分物料将随筒壁一起转动,传热系数将会下降。此外,当煤粉粒径增大时,干燥机传热系数会降低。相同质量的煤颗粒,粒径越大,换热表面积越小,传热热阻越大,传热效果越差。

表2 实验机的传热系数 W/(m²·K)

编号	1	2	3	4	5	6
传热系数	31.59	33.34	36.83	35.94	32.29	36.74

根据实验机的传热系数进行放大工业用褐煤干燥装置实验,在工程应用中的实际测试数据见表3。由表3可知,实验煤样和工业应用的同是高水分褐煤,但物料的比热容、堆密度略有差别,干燥机转速、筒体直径等参数与实验样机相比有放大,因此

工业应用现场测试的传热性能略高于实验样机的 计算传热性能。

表3 工业用褐煤干燥装置测试传热系数

编号	进料量/ (t·h ⁻¹)	原料水分/ %	干燥后水分/ %	进口蒸汽温度/ ℃	出口凝液温度/ ℃	干燥机转速/ (r·min ⁻¹)	出料温度/ ℃	计算传热系数/ (W·(m ² ·K) ⁻¹)
1	80.78	62.12	49.84	335	150	2.01	51.70	41.79
2	81.39	62.20	49.50	335	144	2.01	57.83	42.70

3 褐煤干燥传热模型的构建

研究表明影响蒸汽管回转干燥传热系数的因素较多,有定性尺寸、密度、比热、导热系数、颗粒粒度等参数,其中最主要的还是物料特性。对于不同的物料很难提出一个通用的计算公式,但对于特定物料,如褐煤,虽然煤质特性有差异,但变化相对较小,采用因次分析方法对蒸汽管回转干燥机的总传热系数进行关联分析将更有意义。影响传热系数的相关物理量可用如下函数关系表示^[11-13]:

$$f(a, \delta, \rho_b, \lambda_s, n, \dots) \quad (1)$$

进行因次分析可得到如下关联式,即

$$a = c \left(\frac{\delta^2 \rho_b C_s}{\lambda_s} \right)^a n^b \quad (2)$$

式中 a 为传热系数, W/(m²·K); C_s 为褐煤的比热容, kJ/(kg·K); ρ_b 为物料堆密度, kg/m³; δ 为干燥机直径, m; λ_s 为物料导热系数, W/(m·K); n 为主轴转速, r/min; a, b, c 为无因次系数。

$$\ln P = \frac{\delta^2 \rho_b C_s}{\lambda_s} \quad \text{对式(2)两边取自然对数,得} \quad (3)$$

$$\ln a = \ln c + a \ln P + b \ln n$$

系数 a 与物料特性(密度、导热系数、比热容)、干燥机几何尺寸等参数有关;系数 b 仅与干燥机转速有关。在实际工程应用中干燥机几何尺寸固定不变,褐煤特性会随煤质变化而变化,在煤源稳定的情况下变化较小,系数 a, b 对总传热系数的影响也相对较小。系数 c 相当于总传热系数模型公式的校正因子,因此系数 c 的大小对总传热系数有较大影响^[7,9]。

根据实验样机获得的实验数据和工业用干燥装置的测试数据,对式(3)进行联合求解,获得褐煤干燥传热中 a, b, c 数值分别为 0.036, 0.14 和 19.77。则式(2)为

$$a = 19.77 \left(\frac{\delta^2 \rho_b C_s}{\lambda_s} \right)^{0.036} n^{0.14} \quad (4)$$

公式(4)适用于高水分褐煤,由于拟合了工业应用装置的测试数据,起到了经验放大和工业验证的作用,对工程设计和计算具有一定的借鉴意义。

4 结 论

- 1) 通过褐煤干燥实验研究,获得了褐煤在不同给煤量和不同转速下的干燥传热系数;
- 2) 对工业用褐煤干燥装置进行了传热性能测试,获得了相同物料的放大装置的传热系数;
- 3) 对影响干燥传热系数的因素进行了分析,根据实验数据和工程测试数据获得了褐煤干燥传热数学模型的关键参数,对工程设计和计算具有一定的借鉴意义。

参考文献:

- [1] 邱传耕,吕舜.低温干燥对褐煤性能的影响[J].煤炭加工与综合利用,2008(4):26-28.
- [2] 曾钦,李军,王慧香,等.内蒙古褐煤干燥特性的实验研究[J].洁净煤技术,2011,17(2):57-59.
- [3] 蒋斌,李胜,高俊荣,等.褐煤干燥技术发展及应用现状[J].洁净煤技术,2011,17(6):69-72.
- [4] 陶建红.褐煤干燥特性研究[J].洁净煤技术,2010,16(4):67-69.
- [5] 赵旭,应洪山,岳永飞.HDPE蒸汽管回转干燥机的工艺计算[J].化工机械,2000,27(1):20-22.
- [6] 王海锋,朱书全,任红星,等.通辽褐煤在流化床干燥器中的干燥特性研究[J].选煤技术,2007(4):43-47.
- [7] 岳永飞,孙中心,刘永忠.蒸汽管回转干燥机传热系数研究[J].石油化工设备,2008(2):8-11.
- [8] 贺华波.用颗粒热传递模型计算旋转管排式干燥机的传热系数[J].轻工机械,2006,24(1):51-53.
- [9] 吕新宇,王猛,杨欢,等.间接换热式列管回转干燥机传热系数的研究[J].常州大学学报:自然科学版,2010,22(2):38-41.
- [10] 邢召良.大型蒸汽列管回转干燥机干燥PTA传热机理的研究[D].天津:天津大学,2008.
- [11] 桐荣良三.干燥装置手册[M].王志洁,常国琴,译.上海:上海科学技术出版社,1987:82-85.
- [12] Garside, John. Novel on-machine drying techniques[J]. Paper Technology, 1995, 38(5):40-45.
- [13] 吴静,李选友,刘相东.间接换热式列管回转干燥机CFD模型的确定[J].石油和化工设备,2007(3):25-27.