

传导干燥与对流干燥的能耗与成本对比分析

张继军^{1,2}, 杨大成², 赵敏刚², 刘彩娟²

(1. 河北工业大学 化工学院, 天津 300130; 2. 石家庄工大化工设备有限公司, 河北 石家庄 050031)

摘要:干燥作业是各行业中能耗较大的处理方法之一,我国干燥能耗约占全部工业能耗的12%。传导干燥比对流干燥节能20%—50%,但传导设备往往耗用金属材料较多,结构较复杂,主机造价较高,用户有时会因不能综合分析对比,只因主机投资较大,放弃节能产品的选用。文中利用通用的Excel程序,建立了一种定量的能耗及干燥成本综合对比分析方法,可方便迅速地对不同干燥方法定量比较,给出节能对投资的回报率,从而优选出节能干燥设备,对推动节能产品的应用、降低干燥成本具有重要意义。

关键词:节能;干燥成本;传导干燥;对流干燥

中图分类号:TQ 051.892

文献标识码:A

文章编号:1005-9954(2008)12-0063-03

Contrastive analysis of energy consumption and cost of indirect and direct drying

ZHANG Ji-jun^{1,2}, YANG Da-cheng², ZHAO Min-gang², LIU Cai-juan²

(1. School of Chemical Engineering and Technology, Hebei University of Technology, Tianjin 300130, China;

2. Shijiazhuang Gongda Chemical Engineering Equipment Co., Ltd., Shijiazhuang 050031, Hebei Province, China)

Abstract: As a high-energy-consumption treatment process, drying operation accounts for 12% of the energy consumption in all industries of China. The indirect drying can save energy 20%-50% compared with the direct drying, however the indirect drying equipment has some shortcomings, such as more metal materials consumed, complicated structure and higher cost of equipment. Without a comprehensive contrast, the customer may abandon the adoption of energy saving product just because of its higher price. A contrastive analysis method for quantificational energy consumption and drying cost was established by using Excel program, which can make a quantificational contrast to different drying methods, so that the energy saving equipment can be selected. It is important for the application of energy saving product and the diminution of drying cost.

Key words: energy saving; drying cost; indirect drying; direct drying

干燥作业是各行业中能耗比较大的处理方法之一。英国各行业干燥能耗大约占全部工业能耗的8%,我国大约达到12%。对流干燥的热效率在理论上达不到100%,只有30%—60%;而传导干燥在理论上可达到100%,实际装置中可达到60%—80%,即传导干燥比对流干燥节能20%—50%^[1]。然而,现行应用比较广泛的干燥设备中,传导干燥大约只占1/4,这是一个很有挖掘潜力的节能空间,须在不断完善现有传导干燥技术的同时,加强推广宣传力度,克服用户因缺少专业知识,无法横向对比,不管能耗和干燥成本的粗放型设备选型方法。为此,本文建立了一种定量的能耗及干燥成本对比分

析方法,可方便迅速地对不同干燥方法定量比较,优选出节能干燥设备。

1 能耗计算

传导干燥和对流干燥都有很多种具体的干燥设备形式,如传导型有盘式干燥、桨叶干燥、管束干燥等;对流型有流化床、气流、旋转闪蒸、喷雾干燥等。每种形式结构原理不同,工艺计算也不同,但所有传导型设备的传热和能耗形式基本相同,因此可以忽略各设备品种之间的差异,只用统一的传导干燥测算模式,来预估各种传导设备的能源消耗,而传热系数等差异,会在设备选型时体现出来,实践证明,这

种简化计算的精度,在工程范围内是可行的。不同对流设备的传热和能耗形式也基本相同,也可以采用上述方法处理。下边举例说明该方法的能耗计算。

需干燥的物料靛蓝,膏状,含水质量分数 72%,干燥后含水质量分数 ≤ 1%,热源为表压 0.45 MPa 的蒸汽,物料耐温 290 °C,产量 100 kg/h,希望选择高效节能设备。

按经验,该物料可用传导型的桨叶干燥机、耙式干燥机和对流型的旋转闪蒸干燥机、通风带式干燥机干燥,其中耙式和通风带式效率相对较低,只对桨叶和旋转闪蒸进行比较。以下为传导干燥与对流干燥能耗计算对比(利用 Excel 程序)。

(1) 原始参数

处理量 $q_{in} = q_d \times (1 + w_{d1}) = 353.571 \text{ kg/h}$; 产量 $q_{out} = 100.000 \text{ kg/h}$; 绝干料量 $q_d = q_{out} \times (1 - w_1) = 99.000 \text{ kg/h}$; 物料含水质量分数 $w_0 = 0.720$; 物料干基含水率 $w_{d1} = w_0 \div (1 - w_0) = 2.571 \text{ kg/kg}$; 产品含水质量分数 $w_1 = 0.010$; 产品干基含水率 $w_{d2} = w_1 \div (1 - w_1) = 0.0101 \text{ kg/kg}$; 给料温度 $t_{in} = 20.000 \text{ °C}$; 物料比热容 $c_m = 1.254 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{°C)}$; 环境温度 $t_0 = 20.000 \text{ °C}$; 环境湿度 $X_0 = 0.015 \text{ kg/kg}$; 空气湿比热容 $c_g = 1.01 + 1.88 \times X_0 = 1.038 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{°C)}$; 空气湿比容 $\rho_{s0} = (0.773 + 1.224 X_0) \times (273 + t_0) \div 273 = 0.853 \text{ m}^3/\text{kg}$; 热载体温度(表压 0.45 MPa) $t = 150.000 \text{ °C}$; 蒸汽汽化热 $r_g = 2110.900 \text{ kJ/kg}$; 水的比热容 $c = 4.183 \text{ kJ/(kg} \cdot \text{°C)}$ 。

(2) 传导干燥能耗

排料温度 $t_{out} = 110.000 \text{ °C}$; 排气温度 $t_{out1} = 90.000 \text{ °C}$; 总蒸发量 $\Delta q = q_{in} - q_{out} = 253.571 \text{ kg/h}$; 蒸发潜热 $r = 2279.764 \text{ kJ/kg}$; 干燥热量 $Q_{di} = \Delta q \times$

$(r + ct_{out}) + q_d \times (c_m + w_{d2}) \times (t_{out} - t_{in}) = 703517.875 \text{ kJ/h}$; 热风温度 $t_{in1} = 90.000 \text{ °C}$; 排汽露点 $t_d = 70.000 \text{ °C}$; 排汽湿度 $X = 0.276 \text{ kg/kg}$; 质量流量 $q_m = \Delta q \div (X - X_0) = 971.536 \text{ kg/h}$; 加热热量 $Q_h = q_m \times c_g \times (t_{in1} - t_{01}) = 70592.242 \text{ kJ/h}$; 热损失 $\lambda = 0.100$, 总热量消耗 $Q_t = 1.1Q_d + Q_h = 844461.905 \text{ kJ/h}$; 水蒸发单耗 $k = Q_t \div \Delta q = 3330.278 \text{ kJ/kg}$; 蒸汽耗量 $G_s = 1.1Q_t \div r_g = 441.854 \text{ kg/h}$ 。

(3) 对流干燥能耗

排料温度 $t'_{out} = 75.000 \text{ °C}$; 排风温度 $t'_{out} = 90.000 \text{ °C}$; 给风温度 $t'_{in1} = 140.000 \text{ °C}$; 湿球温度 $t_{w1} = 42.500 \text{ °C}$; 总蒸发量 $\Delta q = q_{in} - q_{out} = 253.571 \text{ kg/h}$; 蒸发潜热 $r_w = 2395.157 \text{ kJ/kg}$; 干燥热量 $Q_d = \Delta q [r_w + c(t_w - t_0)] + q_d (c_m + w_{d2}) (t'_{out1} - t_{in1}) = 638089.074 \text{ kJ/h}$; 质量流量 $q_m = Q_d \times 1.1 \div [c \times (t'_{in1} - t'_{out1})] = 13524.046 \text{ kg/h}$; 总热量 $Q_t = q_m \times c_g \times (t'_{in1} - t_{01}) = 1684555.170 \text{ kJ/h}$; 排气湿度 $X_1 = X_0 + \Delta q \div q_m = 0.034 \text{ kg/kg}$; 排气露点 $t_s = 34.361 \text{ °C}$; 水蒸发单耗 $\xi = Q_t \div \Delta q = 6643.327 \text{ kJ/kg}$; 蒸汽耗量 $G_c = 1.1Q_t \div r_g = 877.830 \text{ kg/h}$ 。

2 设备选型及投资估算

通过选型计算(计算过程略),2种不同干燥方法的成套设备分别如表1,2所示,很明显,尽管桨叶干燥机主机价格较高,电机功率较大,但由于排气量远远小于旋转闪蒸干燥机,配套设备简单,总价格和装机功率与旋转闪蒸干燥机相差不大。当然,本例题作为例子,可能有其特殊性,大多数情况下,传导干燥机总投资可能会高于对流干燥更多一点,但总干燥成本可能会远小于对流干燥,必须在测算出总干燥成本后,才能决定最终的取舍。

表 1 桨叶干燥机选型表

Table 1 Selected model of paddle dryer

序号	设备名称	型号	材质	功率/kW	台数	单价/元	总价/元
1	给料器		304	3	1	12 000	12 000
2	空气过滤器		Q 235 A		1	1 000	1 000
3	干燥机主机	GDSG-30	304	30	1	396 000	396 000
4	翅片式换热器	SRZ5 × 5D	Q 235 A		2	1 000	2 000
5	布袋除尘器	MC-12	304	0.75	1	21 000	21 000
6	排风机	9-19 No4A	Q 235 A	3	1	3 000	3 000
7	配套管路				1	5 000	5 000
8	电器控制柜				1	15 000	15 000
总计				36.75			455 000

表2 旋转闪蒸干燥机选型表
Table 2 Selected model of spin flash dryer

序号	设备名称	型号	材质	功率/kW	台数	单价/元	总价/元
1	给料器		304	3	1	12 000	12 000
2	空气过滤器		Q 235 A		1	2 000	2 000
3	干燥机主机	GDX-1200	304	15	1	210 000	210 000
4	翅片式换热器	SRZ15 × 7D	Q 235 A		8	2 500	24 000
5	布袋除尘器	MC-120	304	0.75	1	100 000	100 000
6	排风机	9-26 No9D	Q 235 A	30	1	18 000	18 000
7	配套管路				1	25 000	25 000
8	电器控制柜				1	15 000	15 000
总计				48.75			402 000

3 干燥成本测算及成本分析

(1) 传导干燥成本

蒸汽单价为 0.085 元/kg, 电费单价为 0.700 元/(kW·h), 设备价格为 455 000.000 元, 装机功率为 36.750 kW, 厂房价格为 50 000.000 元 (50 m² × 1 000 元/m²), 人工数为 1 人/班, 贷款利率为每年 0.060, 蒸汽费为 37.513 元/h, 电费为 25.725 元/h, 设备折旧为 9.286 元/h (折旧 7 a, 7 000 h/a), 厂房折旧为 0.476 元/h (折旧 15 a, 7 000 h/a), 人工费为 7.000 元/h, 贷款利息为 3.900 元/h, 管理费为 6.712 元/h (上述各项总和的 8%), 干燥成本为 90.612 元/h。

(2) 对流干燥成本

设备价格为 402 000.000 元, 装机功率为 48.750 kW, 厂房价格为 100 000.000 元 (100 m² × 1 000 元/m²), 人工数为 1.000 人/班, 蒸汽费为 74.546 元/h, 电费为 34.125 元/h, 设备折旧为 8.204 元/h, 厂房折旧为 0.952 元/h, 人工费为 0.048 元/h, 贷款利息为 3.446 元/h, 管理费为 9.706 元/h, 干燥成本为 131.027 元/h。

经计算, 传导和对流干燥的干燥成本分别为 90.612 元/h 和 131.021 元/h, 采用传导干燥方法节

省的干燥费用, 用 1.608 a 即可收回全部投资, 对投资的回报率为每年 62.176%, 可见, 对这种物料来说, 选用传导干燥方式是最好的选择。

从成本构成分析, 蒸汽加电费占干燥成本的比例, 传导和对流式分别为 69.8% 和 82.9%, 而设备费只占干燥成本的 10.2% 和 6.1%, 可以认为, 能耗的大小是干燥设备选择的决定因素。因此, 在选用干燥设备时, 除了保证必要的产品性能外, 有必要对可能入选的多种干燥方式, 进行能量消耗和干燥成本的综合分析。

4 结论

采用本文能耗及干燥成本对比分析方法, 可方便迅速地对不同干燥方法定量比较, 从中优选出节能干燥设备, 对推广先进节能干燥方法、降低干燥行业整体能耗指标具有重要意义。

将计算过程设计成 Excel 程序, 使用方便迅速, 可以有效避免计算误差, 结果一目了然, 加深了用户对节能效果的理解和印象。

参考文献:

- [1] 桐荣良三. 干燥装置手册[M]. 秦霁光, 王志洁, 常国琴, 译. 上海: 上海科学技术出版社, 1983.

工程建设项目信息

- 山西聚源甲醇工程在山西建设, 由中国华泰工程公司承担初步设计。
- 山东将建设中日合资山东杰富意 40 万 t/a 焦油加工改造项目, 由中国华泰工程公司承担初步设计和详细设计。
- 浙江杭州鑫高药业股份有限公司满洲里 3 万 t/a 活性炭项目拟在东北满洲里建设, 由浙江省天正设计工程有限公司 (原浙江省石油化工设计院) 承担初步设计。
- 义马气化厂 20 万 t/a 醋酸项目在河南义马建设, 由上海化工设计院有限公司承担详细设计。
- 安徽临泉 15 万 t/a 甲醇工程拟在临泉建设, 兰州航天石化工程公司 (原甘肃省石油化工设计院) 承担详细设计。