

# 传导干燥与对流干燥能耗与干燥成本对比分析

杨大成 赵敏刚 刘彩娟

(石家庄工大化工设备有限公司)

河北省石家庄市和平东路 500# 工大科技楼 邮编 050031)

**摘要:**干燥作业是各行业中能耗比较大的处理方法之一,有资料报道,我国干燥能耗大约占全部工业能耗的 12%左右,这对我国这样能源相对不足的国家来说,发展节能型干燥技术,是一个重要而又长期的任务。

一般来说,传导干燥比对流干燥节能 20~50%以上,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。本文建立了一种定量的能耗及干燥成本综合对比分析方法,可方便迅速的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,降低用户干燥成本,具有重要意义。

干燥作业是各行业中能耗比较大的处理方法之一,有资料报道,英国各行业干燥能耗大约占全部工业能耗的 8%,而我国大约达到 12%左右<sup>[1]</sup>,因而,对我国这样能源相对不足的国家来说,发展节能型干燥技术,是一个重要而又长期的任务,是我们干燥行业从业者义不容辞的责任。国家“十一五”发展规划中曾规定,到“十一五”期末,我国万元 GDP 能源消耗要比“十五”末降低 20%,这是对全国各行各业制定的指标,同样也是给干燥行业制定的节能目标,如何挖掘现有干燥设备节能潜力,推广节能先进技术,是我们实现这一目标的唯一途径。

桐荣曾指出<sup>[2]</sup>,对流干燥的热效率在理论上达不到 100%,只有 30~60%左右,而传导干燥在理论上可达到 100%,实际装置中可达到 60~80%,这就是说,传导干燥比对流干燥节能 20~50%以上,然而,现行应用比较广泛的干燥设备中,传导干燥大约只占四分之一左右,很明显,这是一个很有挖掘潜力的节能空间,同时也是一个比较挑战性的任务,必须在不断完善现有传导干燥技术同时,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,可方便迅速的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 72%,干燥后含水 $\leq 1\%$ ,热源为表压  $0.45\text{kg/cm}^2$  蒸汽,物料耐温  $290^\circ\text{C}$ ,产量  $100\text{kg/h}$ ,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。

### 1.1 传导干燥耗能<sup>[1]</sup>

$$(1) \text{ 干燥热量 } Q_{di} = \Delta w[r + C \times t_{out}] + P_d(C_m + W_{d1})(t_{out} - t_{in}) \\ = 168954.004 \text{ kcal/h}$$

$$(2) \text{ 热风加热热量 } Q_h = M.C_g.(T_{in} - T_0) \\ = 17001.9913 \text{ kcal/h}$$

$$(3) \text{ 总热量 } Q_{ti} = 1.1Q_{di} + Q_h \text{ (取干燥过程中热损失 10\%)} \\ = 202851.396 \text{ kcal/h}$$

$$(4) \text{ 蒸汽消耗 } G_i = 1.1Q_{ti} \div r_g \text{ (取蒸汽传输中热损失 10\%)} \\ = 441.330 \text{ kg/h}$$

$$(5) \text{ 单位水蒸发能耗 } K_i = 799.974 \text{ kcal/kg 水}$$

### 1.2 对流干燥耗能

$$(1) \text{ 干燥热量 } Q_{dc} = \Delta w[r_w + C(T_w - T_0)] + P_d(C_m + W_{d1})(t_{out} - t_{in}) \\ = 152692.059 \text{ kcal/h}$$

$$(2) \text{ 热风质量流量 } M = 1.1Q_{dc} / [C_g(T_{in} - T_{out})] \\ = 13605.611 \text{ kg/h}$$

$$(3) \text{ 总热量 } Q_{tc} = M.C_g.(T_{in} - T_0) \\ = 403107.037 \text{ kcal/h}$$

$$(4) \text{ 蒸汽消耗 } G_c = 1.1Q_{tc} \div r_g \text{ (取蒸汽传输中热损失 10\%)} \\ = 877.013 \text{ kg/h}$$

$$(5) \text{ 单位水蒸发能耗 } K_c = 1589.711 \text{ kcal/kg 水}$$

以上各符号含义及中间参数计算，见表 1

表 1. 传导干燥与对流干燥能耗计算的 Excel 表:

一 原始参数:						
1	处理量	$P_{in}$	=	353.573	kg/h	
2	产量	$P_{out}$	=	$P_{in} \times (1-w_0) \div (1-w_1)$	100.000	kg/h
3	绝干料量	$P_d$	=	$P_{in} \times (1-w_0)$	99.000	kg/h
4	物料含水	$w_0$	=	0.720	kg/kg	
5	产品含水	$w_1$	=	0.010	kg/kg	
6	干基含水	$W_{d1}$	=	$w_1 \div (1-w_1)$	0.0101	kg/kg
7	给料温度	$t_{in}$	=	20.000	℃	
8	物料比热	$C_m$	=	0.300	kcal/kg.℃	
9	环境温度	$T_0$	=	20.000	℃	
10	环境湿度	$X_0$	=	0.015	kg/kg	
11	热载体温度	$T$		表压 0.45MPa	150.000	℃
12	蒸汽汽化热	$r_g$	=	505.600	kcal/kg	
二 传导干燥能耗:						
1	排料温度	$t_{out}$	=	110.000	℃	
2	排气温度	$T_{out}$	=	90.000	℃	
3	总蒸发量	$\Delta w$	=	$P_{in} - P_{out}$	253.573	kg/h
4	蒸发潜热	$r$	=	545.398	kcal/kg	

5	干燥热量	$Q_{di}$	$= \Delta w \times [r + C_{t_{out}}] + P_d \times (C_m + W_{d1}) \times (t_{out} - t_{in})$	$=$	168954.004	kcal/h
6	热风温度	$T_{in}$		$=$	90.000	°C
7	排汽露点	$t_d$		$=$	70.000	°C
8	排汽湿度	$X$		$=$	0.276	kg/kg
9	质量流量	$M$	$= \Delta w \div (X - X_0)$	$=$	971.542	kg/h
10	加热热量	$Q_h$	$= M \times C_g \times (T_{in} - T_0)$	$=$	17001.9913	kcal/h
11	热损失	$\lambda$		$=$	0.100	
12	总热量消耗	$Q_{di}$	$= 1.1Q_d + Q_h$	$=$	202851.396	kcal/h
13	水蒸发单耗	$k$	$= Qt \div \Delta w$	$=$	799.974	kcal/kg 水
14	蒸汽耗量	$G_i$	$= 1.1Qt \div r_g$	$=$	441.330	kg/h
<b>三 对流干燥能耗:</b>						
1	排料温度	$t_{out}$		$=$	75.000	°C
2	排风温度	$T_{out}$		$=$	90.000	°C
3	给风温度	$T_{in}$		$=$	140.000	°C
4	空气湿比热	$C_g$	$= 0.24 + 0.46 \times X_0$	$=$	0.247	kcal/kg °C
5	空气湿比容	$\rho_{x0}$	$= (0.773 + 1.244X_0) \times (273 + T_0) \div 273$	$=$	0.850	m <sup>3</sup> /kg
6	湿球温度	$T_w$		$=$	42.500	°C
7	总蒸发量	$\Delta w$	$= P_{in} - P_{out}$	$=$	253.573	kg/h
8	蒸发潜热	$r_w$		$=$	573.004	kcal/kg
9	干燥热量	$Q_{dc}$	$= \Delta w [r_w + C(T_w - T_0)] + P_d (C_m + W_{d1}) (t_{out} - t_{in})$	$=$	152692.059	kcal/h
10	质量流量	$M$	$= Q_d \times 1.1 \div [C_g \times (T_{in} - T_{out})]$	$=$	13605.611	kg/h
11	总热量	$Q_c$	$= M \times C_g \times (T_{in} - T_0)$	$=$	403107.037	kcal/h
12	排气湿度	$X_1$	$= X_0 + \Delta w \div M$	$=$	0.034	kg/kg
13	排气露点	$T_s$		$=$	34.361	°C
14	水蒸发单耗	$\xi$	$= Q_t \div \Delta w$	$=$	1589.711	kcal/kg 水
15	蒸汽耗量	$G_c$	$= 1.1Q_t \div r_g$	$=$	877.013	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2、表3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2. 桨叶干燥机选型表

序号	设备名称	型号	材质	功率	台数	单价	总价
				kw		¥	¥
1	给料器		304	3	1	12000	12000
2	空气过滤器		Q235A		1	1000	1000

序号	设备名称	型号	材质	功率	台数	单价	总价
				kw		¥	¥
3	干燥机主机	GDSG-30	304	30	1	396000	396000
4	翅片式换热器	SRZ5x5D	Q235A		2	1000	2000
5	布袋除尘器	MC-12	304	0.75	1	21000	21000
6	排风机	9-19 No4A	Q235A		3	3000	3000
7	配套管路				1	5000	5000
8	电器控制柜				1	15000	15000
总计				36.75			455000

表 3. 旋转闪蒸干燥机选型表

序号	设备名称	型号	材质	功率	台数	单价	总价
				kw		¥	¥
1	给料器		304	3	1	12000	12000
2	空气过滤器		Q235A		1	2000	2000
3	干燥机主机	GDX-1200	304	15	1	210000	210000
4	翅片式换热器	SRZ15x7D	Q235A		8	2500	24000
5	布袋除尘器	MC-120	304	0.75	1	100000	100000
6	排风机	9-26 No9D	Q235A		30	18000	18000
7	配套管路				1	25000	25000
8	电器控制柜				1	15000	15000
总计				48.75			402000

### 3 干燥成本测算及成本分析

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,(计算过程见 Excel 图表 4),采用传导干燥方法节省的干燥费用,用 1.608 年即可收回全部投资,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,蒸气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,只有这样,整个干燥行业才能完成“十一五”规划确定的,能源消耗降低 20%的奋斗目标。

表 4. 干燥成本计算的 Excel 表:

(一) 传导干燥成本					
蒸气单价	a		=	0.085	¥/kg
电费单价	b		=	0.700	¥/度
设备价格	E <sub>i</sub>		=	455000.000	¥
装机功率	M <sub>i</sub>		=	36.750	kw
厂房价格	H <sub>i</sub>	= 50m <sup>2</sup> x1000 元	=	50000.000	¥
人工数	W <sub>i</sub>		=	1.000	

	贷款利率	$\theta$		=	0.060	/年
1	蒸气费	$S_i$	=	=	37.513	¥/h
2	电费	$P_i$	=	=	25.725	¥/h
3	设备折旧	$e_i$		=	9.286	¥/h
4	厂房折旧	$h_i$		=	0.476	¥/h
5	人工费	$w_i$		=	7.000	¥/h
6	贷款利息	$I_i$		=	3.900	¥/h
7	管理费	$O_i$		=	6.712	¥/h
	干燥成本	$C_i$		=	90.612	¥/h
<b>(二) 对流干燥成本</b>						
	设备价格	$E_c$			402000.000	¥
	装机功率	$M_c$			48.750	kw
	厂房价格	$H_c$	100m <sup>2</sup> x1000		100000.000	¥
	人工数	$W_c$			1.000	人/班
1	蒸气费	$S_c$			74.546	¥/h
2	电费	$P_c$			34.125	¥/h
3	设备折旧	$e_c$			8.204	¥/h
4	厂房折旧	$h_c$			0.952	¥/h
5	人工费	$w_c$			0.048	¥/h
6	贷款利息	$I_c$			3.446	¥/h
7	管理费	$O_c$			9.706	¥/h
	干燥成本	$C_c$			131.027	¥/h

#### 4 结论

采用本文能耗及干燥成本对比分析方法,可方便迅速的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.刘登瀛、曹崇文. 探索我国干燥技术的新型发展道路. 2005 中国干燥设备需求趋势预测高峰论坛暨业务洽谈会. 北京. 2005
- 2.桐荣良三(秦霁光等译).干燥装置手册.上海科学技术出版社. 1983