

印染企业节能的主攻方向

程 维 昌

(上海工程技术大学纺织学院)

【摘要】 本文应用能量传递-转换模型及能量传递-转换焓 Exergie 效率定义式为基础^[1], 对上海丽新印染厂进行热平衡测试和焓平衡计算, 按最大焓损失发生部位, 最小单元焓效率及最大单元贡献因子确定节能主攻方向, 指出只有掌握了节能主攻方向的全面信息才能作出科学决策。

一、节能的主攻方向

当今印染企业大多以热平衡为基础来指导节能工作, 不能真正表达出系统(企业)的节能质量水平, 只有通过焓平衡才能定量地求出每个单元机焓损失的绝对值, 相对值和在整个系统中焓值的比重, 才能掌握节能的全面信息。讨论如下:

1. 薄弱环节焓分析法: 对一个系统中各单元机进行焓平衡, 寻出能量传递-转换不可逆性大, 即焓损失最大、次大的单元机, 依次给予改善。根据上海丽新印染厂焓流程图^[2], 设进入单元机焓流中比热为常数, 则物料的焓流值为

$$E_i = C_p [T - T_u] - T_u \ln(T/T_u)] \text{kJ/kg} \quad (1)$$

式中: T 为物料(织物、水、水蒸汽等)的操作温度($^{\circ}\text{K}$); T_u 为环境温度($^{\circ}\text{K}$)。

对单元机 i 作焓平衡得

$$\dot{E}^* = \dot{E}^- + \dot{E}_{irr} \quad (2a)$$

故单元机 i 焓损失为

$$\dot{E}_{irr} = (\dot{E}_{cs}^* + \dot{E}_{gn}^-) - (\dot{E}_{cs}^- + \dot{E}_{gn}^+) = \Delta E_{cs} - \Delta E_{gn} \quad (2b)$$

式(2a)、(2b)中: \dot{E}^* 、 \dot{E}^- 分别为单元机 i 输出、输入的焓流总量(kj/s); \dot{E}_{cs}^- 、 \dot{E}_{gn}^+ 分别为单元机 i 系统的成分消耗的焓和收益的焓。

将各单元机分别算出 \dot{E}_{irr} 值, 列入表 4 第 9 列, 从中摘出薄弱焓损失最大的前三位单元机于表 1。

表 1 焓损失最大的前三位单元机情况

机号	机名	焓损失(%)	评价
23	平幅练漂机	30.68	最劣
19	松式绳洗机	23.13	稍次
7	2°平洗车机	4.26	

薄弱环节焓分析法是确定节能主攻的一种, 但此方法有时分析评价最劣或稍次的单元机在本系统中却

往往不是主攻方向, 所以引入单元焓效率法。

2. 单元焓效率法: 本方法是将整个系统视为由各个单元机独立组成的子系统, 每个单元机本身具有独立、明确的热量传递任务(目的), 为评价每个单元机热力学完善性, 引入能量传递-转换模型及能量传递-转换焓效率定义式, 即单元焓效率 η_i 。

$$\eta_i = \frac{\text{能量传递-转换中收益的焓}}{\text{能量传递-转换中消耗的焓}} = \frac{\dot{E}_{gn}^- - \dot{E}_{cs}^*}{\dot{E}_{cs}^- - \dot{E}_{gn}^+} \quad (3)$$

$i = 1, 2, \dots, N (N = 26)$

收益焓和消耗焓, 这两项具体内容有一定随机性, 为使单元焓效率具有正确性, 对分子、分母规定两个约定: (1) 一股物料焓流的输入和输出值指同一股物料(组分相同、物料平衡)的输入和输出值; (2) 若输入值 < 输出值, 则认为该股物料焓流的成分为收益焓, 若输入值 > 输出值, 则认为该股物料焓流的成分为消耗焓, 从上面看出以能量观点考察系统中发生这一股焓流传递转换到另一股焓流的过程及两个约定可唯一确定该系统的单元焓效率 η_i 。印染系统各单元机均由二股焓流进行换热, 冷流为 $\dot{E}_{gn}^- > \dot{E}_{cs}^*$, 热流为 $\dot{E}_{cs}^- > \dot{E}_{gn}^+$, 且热流通过单元机后不再利用, 直接排放到环境中, 所以 $\dot{E}_{cs}^- = 0$ 。

将各单元机分别算出焓效率 η_i 列入表(4)第 10 列, 从中摘出单元焓效率最小的前三位单元机于表 2。

表 2 焓效率最小的前三位单元机

机号	机名	单元焓效率(%)	评价
10~11	1°、2° 蒸化机	3.93~4.58	最劣
23	平幅练漂机	15.47	稍次
19	松式绳洗机	15.88	

3. 最大贡献因子法: 用 1、2 方法确定节能主攻方向都是孤立地考察各部位的焓损失或各单元的热力学完善性, 而事实上各部位或单元之间存在着相互

依赖又相互制约的关系，所以不能孤立地考察单元机，而应该从单元机之间的纵横联系中考察它在实现系统总体功能上所处地位或所作贡献，由此确定节能会更合理。

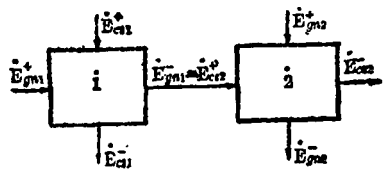


图1 转化系统焓流结构图

将系统焓流图^[2]简化为两个单元所组成的焓流系统图1(图中1为锅炉, 2为

整个耗能系统单元机), 这样的系统结构中单元机之间连接上存在不同焓流成分间的转化, 它的结构特征数学描述为

$$E_{ca,i}^- = E_{gn,i+1}^+, E_{gn,i}^- = E_{ca,i+1}^+, i \neq j (i, j = 1, 2, \dots, N-1) \text{ 且 } 1 \leq i \pm j \leq N, \text{ 当 } E_{ca,i}^- < E_{gn,i-1}^+ \text{ 则系统焓效率为}$$

$$\eta_{ca} = \Delta E_{gn,N} / \Delta E_{ca,1} + (E_{gn,1}^+ - E_{ca,2}^-) + (E_{gn,2}^+ - E_{ca,3}^-) + \dots + (E_{gn,N-1}^+ - E_{ca,N}^-) \quad (4a)$$

式(4a)中 a_i 定义为*i*个单元机与第一个单元机消耗焓之比值, 列入表5第6列中则

$$\eta_{ca} = a_2 \eta_2 / [a_1(1 - \eta_1) + a_2] \quad (4b)$$

对整个系统而言, 有 $\eta_{ca} = f(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_n)$, 由于该系统已定, 函数形式一定, 在给定参数 a_i 时, 则

$$d\eta_{ca} = e_1 d\eta_1 + e_2 d\eta_2 + \dots + e_i d\eta_i + e_n d\eta_n \quad (4c)$$

式(4c)中, $e_i = (\partial f / \partial \eta_i)$ 称为单元*i*的贡献因子。

因单元机之间的连接点无焓流成分转化, 其系统焓效率与单元焓效率间呈线性关系, 可推广为

$$\eta_{ca} = a_i \eta_i / \sum a_i \quad (4d)$$

贡献因子亦可推广为

$$e_i = (\partial f / \partial \eta_i) = a_i / E_{ca,i} \quad (5)$$

最大贡献因子可确定该单元机为节能主攻方面, 将各单元机分别计算出贡献因子, 列入表(4)第11列

表3 最大贡献因子的前三位单元机

机号	机名	最大贡献因子	评价
23	平幅练漂机	0.3368	作用大
19	松式绳洗机	0.07427	稍次
22	扩容蒸发器	0.07204	

中, 从中摘出最大贡献因子的前三位单元机于表3。

从表4中可得出三个基本结论:

(1) 据表1~3和4可知, 印染企业节能主攻方向首先应是汽蒸练漂部位, 因为汽蒸练漂的平幅练漂机, 松式绳洗机和扩容蒸发器的贡献因子最大, 在总体功能上处于举足轻重的地位, 应优先给予解决。

(2) 染色或印花固态部位-蒸发机, 虽然该单元机的贡献因子不是最大, 但单元焓效率是整个系统中最小, 焓损失在系统中也较大, 也是节能不可忽视的部位。

(3) 用能量传递-转换模型及能量传递转换焓效率定义式得到系统节能全面信息, 结果与该企业^[2]中实际生产情况符合, 说明本方法可推展到其他企业。

丽新印染厂系统节能全面信息汇总表4。

二、印染企业节能途径和方法

1. 提高系统焓效率

节能主攻方向的平幅练漂机、松式绳洗机、扩容蒸发器。平洗机及烘干机等都有大量冷凝水、废热水自行排放环境, 冷凝水温在100~110℃, 废热水温在65~80℃, 热量损失占进入单元机热量60~70%, 如能将在中一部分热量回用, 则系焓效率将显著提高^[2]。图2(c)为未回收热能的供、耗能系统, $E_{gn,1}^+ = E_{ca,2}^-$ 且 $E_{ca,2}^- = 0$, 锅炉1的焓效率为11%, 耗能系统的焓效率为27.41%, 全系统的焓效率为4.76%。图2(b)

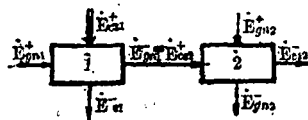


图2 a 未回收热能的供、耗能系统

点划线所示, 从2耗能系统中将一部分冷凝水回到锅炉1中, 由于工艺不同, 不同单元机蒸汽量不一, 回用有一定难度。在试验中取

冷凝水排出量的25~30%, 取下限量2500千克/小时, $E_{ca,2}^- > E_{gn,1}^+$ 则锅炉焓效率由11%提高到18.6%, 全系统的焓效率为6.81%。图2(b)虚线所示从2耗能系统单元内的废热水通过换热器3与软水热交换, 废水计划

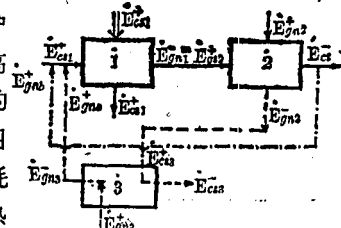


图2 b 回收冷凝水废热水的供、耗能系统

温度从60~70℃下降到35℃, 软水温度从28℃上升到45~65℃, 回入预热水箱进入锅炉2, $E_{gn,2}^+ = E_{ca,3}^-$ $E_{ca,3}^- = E_{gn,1}^+$ 耗能系统(包括换热器)焓效率由27.41%

表 4

单元机 i	单元机 名称	总能耗 kJ/h ($\times 10^{-6}$)	热效率 (%)	ΔE_{ca} (kJ)	ΔE_{on} (kJ)	a_i	炯损失 E_i		单元炯效 率 η_i (%)	贡献因子 e_i
							kJ ($\times 10^{-3}$)	(%)		
1	1*拉幅车	0.1447	46.83	1246.77	1163.77	1	0.083	0.02	93.34	0.00236
2	2*拉幅车	0.3437	8.15	3289.50	2980.9	2.6384	2.991	0.61	90.6	0.00624
3	7*上装车	0.8863	64.39	7636.45	3194.42	6.1250	4.442	0.91	41.83	0.01448
4	6*上装车	0.9360	49.32	9892.93	2448.76	7.9348	7.444	1.521	24.75	0.01876
5	As打底车	0.9858	70.58	9435.66	2306.7	7.5681	7.129	1.411	24.45	0.01789
6	3*平洗机	3.143	66.58	26032.01	13732.75	20.88	12.30	2.5131	52.75	0.04935
7	2*平洗机	2.306	62.05	29250.63	8368.38	23.48	20.88	4.266	28.61	0.05550
8	衬布烘燥机	0.997	46.52	9543.87	5506.6	7.6549	4.037	0.82	57.70	0.01809
9	兰布车	1.721	77.18	9056.57	1160.59	7.2640	7.896	1.61	12.81	0.01717
10	1*蒸化机	0.8395	33.10	9743.64	382.9	7.8151	9.361	1.91	3.93	0.01847
11	2*蒸化机	0.9466	28.87	10984.88	503.54	8.8100	10.481	2.14	4.58	0.02082
12	1*印花机	1.293	31.97	12473.69	5767.79	10.00	6.706	1.37	46.24	0.02364
13	2*印花机	1.045	27.63	9998.34	6199.45	8.0194	3.799	0.78	62.00	0.01896
14	1*烘燥机	0.859	56.28	7402.68	2087.97	5.9375	5.315	1.09	28.21	0.01403
15	2*烘燥机	0.712	68.82	6817.05	3213.04	5.4678	3.604	0.74	47.13	0.01293
16	3*烘燥机	0.771	66.14	6647.80	3344.38	5.3320	3.303	0.67	50.31	0.01260
17	4*烘燥机	0.8072	63.22	6954.63	3344.38	5.5781	3.613	0.73	48.09	0.01318
18	5*烘燥机	0.898	54.31	7670.54	2087.97	6.1523	5.583	1.14	27.22	0.01454
19	松式绳洗机	0.712	65.59	134505.76	21306.13	6.0374	113.20	23.13	15.80	0.07427
20	双层丝光机	3.722	61.05	16308.99	1184.1	13.081	15.12	3.09	7.26	0.03092
21	氯氧双漂机	3.346	36.48	28831.50	12174.9	23.1250	16.66	3.40	42.23	0.05466
22	扩容蒸发器	2.352	73.47	38001.35	21352.2	30.4798	16.65	3.40	56.19	0.07204
23	平幅练漂车	3.443	55.36	177664.4043	27485.8	142.4997	150.18	30.68	15.47	0.3368
24	调 色	2.387	80	31890.52	6964.78	25.58	24.93	4.09	21.84	0.05046
25	采 暖	1.340	80	18759.13	4096.97	15.05	14.66	3.00	21.84	0.03557
26	生 活	1.424	80	24386.87	5326.09	19.56	19.06	3.89	21.84	0.04623

企业总能耗 $26.94 \times 10^6 \text{kJ/h}$, 锅炉总能耗 $26.94 \times 10^6 \text{kJ/h}$

提高到29.91%，全系统炯效率为7.61%。如将冷凝水、废热水在耗能系统综合回用，则系统炯效率可提高到8.74%。表5为不同回收能量方式的效益比较。

综合回用冷凝水和废热水时，还需要设一个污水

表 5 不同回收能量方式的效益比较

回收方法	余热流率 (千克/小时)	全系统炯 效率(%)	节油 (%)	效益 (万元/年)
未回收	0	4.76		
冷凝水回收	2500	6.81	1.12	1.2
废热水利用	18427	7.61	10.55	9.86
综合回用	19677	8.74	11.10	12.0

注：燃油价0.02万/吨；以年耗量5500~6500吨，全年开工以7200小时计算。

回收系统以保持、水量、水温、水质一定。

2. 节约能源杜绝浪费

(1) 平幅练漂机、松式绳洗机等设备在操作时需大量热水，常规是用饱和蒸汽与水在单元机内直接加热，但同时系统中其他单元机上又有大量冷凝水排放，显然是不合理的。如将冷凝水直接或汇合到热水锅炉，再送需用热水的单元机，就能杜绝浪费。

(2) 改进工艺^[1]，采用低温染色、重型轧车、低温给液、泡沫整理工艺、低温焙烘等都能提高热、炯效率，降低能级平衡系数而达到合理节能的目的。

参 考 资 料

- [1] 杨东华,《炯分析和能级分析》, 科学出版社, 1986.
- [2] 王 松、孙启佳,《上海丽新印染厂热炯平衡计算书》, 上海工程技术大学纺织学院, 1987.