

氯乙烯合成过程的热力学分析*

张 夏 平

(化工与生化工程系)

摘 要

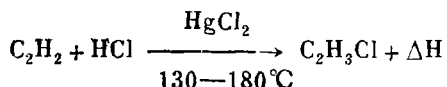
本文在氯乙烯合成过程佣**分析的基础上,提出散热佣价换算因子的概念;导出包括反应佣的佣价计算普遍式及佣经济保温工程计算简便修正公式,以氯乙烯反应器为例进行保温工程计算,并评价其经济效益。

一、前 言

聚氯乙烯是我国塑料工业产量最大的品种之一,至今80%的氯乙烯是由电石法制取的。由乙炔和氯化氢合成氯乙烯的反应过程中产生大量反应热,为提高其利用率,有人提出对反应器进行保温^[1-2],但其经济效益如何看法不一。为提高保温工程的经济效益,目前国内外一般是从经济角度来确定最佳保温层厚度^[3-5],但只是以热力学第一定律为根据评价散热能耗的经济价值,确定热价时只是按焦耳论价,没有考虑不同品位热能在质量上的差别,难于得到合理的结论。如何将佣分析观点应用于保温工程设计,在国内外已引起普遍重视^[6],国内正处于研究开发阶段^[7-8],但对于涉及化学反应佣的佣价计算,尚未见文献报导。为摸清氯乙烯合成过程的能耗分布情况及进行佣经济保温工程计算,于1986年对某厂的氯乙烯合成装置进行能量查定及佣分析,在佣衡算基础上,提出涉及化学反应佣的佣价计算普遍式及佣经济保温工程计算的简便修正公式,对反应器进行佣经济保温计算,并评价其经济效益。

二、氯乙烯合成过程的热力学分析

氯乙烯合成反应是在管式反应器中进行



生产流程见图1。原料气 C_2H_2 和 HCl 经混合、冷冻、脱水、预热至70—80℃后进入两道反应

本文1987年6月15日收到。

*本文于1987年3月在杭州召开的中国化工学会化工热力学学术论文报告会上宣读并收入汇编。

**包括以下所有“佣”、“含”字均分别为“焓”、“焓”代用字。

器,在装载有催化剂的列管中进行反应,气体产物经后处理进入气柜、反应热由冷却水带走。本文取两道反应器及冷却水循环装置为系统进行能量查定和熵分析,分析方法如下。

熵流的计算:原料气及气体产物的熵值计算,包括物理熵 E_{ph} 及化学熵 E_{ch} ^[9-10]。由于反应器压力较低,故气体均作为理想的混合气体处理:

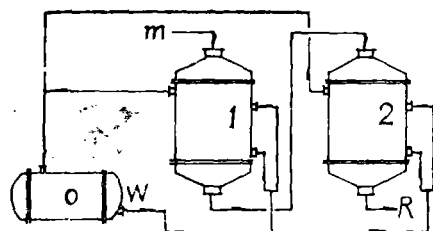


图1 氯乙烯合成工艺流程简图
O—热水槽; 1, 2—转化器; m—原料气;
R—产物; W—热水

$$E_{ph} = \sum X_i \left\{ \int_{T_0}^T \left(1 - \frac{T_0}{T} \right) C_p dT + \int_{P_0}^P \left[V - (T - T_0) \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \right] dP \right\}$$

$$= \sum x_i \left\{ \left[A(T - T_0) + \frac{B}{2} (T^2 - T_0^2) + \frac{C}{3} (T^3 - T_0^3) + \frac{D}{4} (T^4 - T_0^4) \right] \right.$$

$$\left. - T_0 \left[A \ln \frac{T}{T_0} + B (T - T_0) + \frac{C}{2} (T^2 - T_0^2) + \frac{D}{3} (T^3 - T_0^3) \right] + RT \ln \frac{P}{P_0} \right\} \quad (1)$$

$$E_{ch} = \sum x_i [b_{ich}^0 + RT_0 \ln a_i] \quad (2)$$

选取的平衡基准态为 $T^0 = 298.15\text{K}$ 、 $P^0 = P_0 = 1.013 \times 10^5\text{Pa}$ 及龟山秀雄—吉田邦夫基准物体系,但测定时环境温度 T_0 为 286.15K ,故需对化学熵进行校正。

熵损计算:氯乙烯合成过程,包括流体流动、传热及化学反应等过程,其熵损可分别按以下关系式计算:

流动不可逆熵损

$$dD_f = T_0 dS = - \frac{T_0 V}{T} dP \quad (3)$$

热的不可逆熵损

$$dD_o = T_0 dS = T_0 \left(- \frac{T_0 - T_w}{T_g \cdot T_w} \right) dQ \quad (4)$$

化学的不可逆熵损

$$dD_R = T_0 dS = - T_0 \sum - \frac{\mu_i}{T} \nu_i d\varepsilon \quad (5)$$

熵衡算方程:根据本文所取系统进行熵衡算,实际过程的系统总熵收入 ΣE^+ 应等于系统总熵支出 ΣE^- 与总熵损 ΣD 之和,即

$$\Sigma E^+ = \Sigma E^- + \Sigma D \quad (6)$$

或

$$E_{ph}^+ + E_{ch}^+ + \Delta E_R + E_{H_2O}^+ = E_{ph}^- + E_{ch}^- + E_{H_2O}^- + \Sigma D$$

$$\Sigma D = D_{in} + D_{out} \quad (7)$$

于是

$$\Delta E_{ph} + \Delta E_{ch} + \Delta E_R = \Delta E_{H_2O} + D_{in} + D_{out} \quad (8)$$

熵效率定义式:氯乙烯合成系一反应过程,一般可定义过程普遍熵效率 η_1 来反映总熵的利用率。

$$\eta_1 = \frac{\sum E^-}{\sum E^+} = \frac{E_{ph}^- + E_{ch}^- + E_{H_2O}^-}{E_{ph}^+ + E_{ch}^+ + E_{H_2O}^+ + \Delta E_R}$$
 (9)

但由于该合成过程的反应佣皆转化为反应热由冷却水带出，因此，该冷却水佣的利用就是反应佣的利用，故定义目的佣效率 η_2 表示冷却水净增加的佣值，与进入反应器的净佣值的比。

$$\eta_2 = \frac{\Delta E_{H_2O}}{\Delta E_{ph} + \Delta E_{ch} + \Delta E_R}$$
 (10)

1986年对某厂氯乙烯合成装置的测定数据见表 1，佣分析结果如下：

1. 查清了氯乙烯合成过程的能耗分布(见图 2、3)。由表 2 知，含衡算的热效率为 55.7%，散热损失为 41.74%，认为散热是该过程主要的能耗所在，但佣分析结果表明：过程的目的佣效率为 23.03%，总不可逆佣损达 76.97%，其中散热佣损占 7.41%，内部不可逆佣损占 69.56%(见表 3)。可见合成过程的能量利用率较低，在该厂工艺条件下，内部不可逆佣损

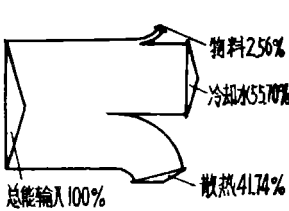


图 2 氯乙烯合成过程能流图

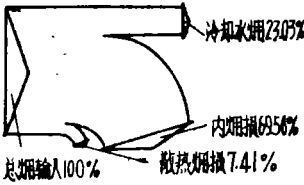


图 3 氯乙烯合成过程佣流图

表 1 氯乙烯合成过程的物料衡算

项 目	输 入		输 出	
	Kmol·h ⁻¹	%	Kmol·h ⁻¹	%
C ₂ H ₂	82.59	47.08	0.82	0.88
HCl	88.21	50.29	6.07	6.51
H ₂ O	0.22	0.13	0.22	0.24
O ₂	0.18	0.10	0.18	0.19
H ₂	2.49	1.42	2.49	2.67
N ₂	1.72	0.98	1.72	1.84
C ₂ H ₂ Cl			81.39	87.27
EDC			0.37	0.40
小计	175.41	100.00	93.26	100.00

工 艺 条 件		
冷却水流量(kg·h ⁻¹)	365 × 10 ³	365 × 10 ³
温 度 (°C)	70—80	120
压 力 (Pa)	1.24 × 10 ⁵	1.15 × 10 ⁵
反应温度 (°C)	130—180	

表2 氯乙烯合成过程热量衡算(单位: $\times 10^4 \text{kJ}\cdot\text{h}^{-1}$)

项 目	物 料	反应热	冷却水	散 热	小计	热效率(%)
输 入	46.47	828.57	13613.05		14488.09	97.15
输 出	67.66		14074.56	345.87	14488.09	
净 输 入		828.57			828.57	55.70
净 输 出	21.19		461.51	345.87	828.57	

是主要能量损失, 散热佣损次之, 而含衡算法不能计算内部不可逆佣损, 不能客观且全面地进行本过程的用能分析。

2. 内部不可逆佣损为 $3.38 \times 10^6 (\text{kJ}\cdot\text{h}^{-1})$, 其中化学的不可逆佣损占84.65%, 是主要的损失。由于该化学反应推动力较大, 反应进行较为迅速, 导致化学反应及扩散混合的不可逆性较大。

热的不可逆佣损根本原因是由于不同温度的反应气体和产物的混合及传热温差造成的必须选择合适的传热温差以减少佣损, 并使传热速率符合工艺要求, 由于反应气体进出口压差较小, 流动佣损较小, 可以忽略。

表3 氯乙烯合成过程佣衡算表(单位: $\times 10^4 \text{kJ}\cdot\text{h}^{-1}$)

项 目	输 入		输 出		净输入	净输出
	70 °C 1.24 × 10 ⁵ Pa	%	120 °C 1.15 × 10 ⁵ Pa	%		
物理佣 E_{ph}	11.60	0.46	10.63	0.43		
物理佣差 ΔE_{ph}					0.96	
化学佣 E_{ch}	236.55	9.49	227.97	9.14		
化学佣差 ΔE_{ch}					8.85	
反应佣 ΔE_R	476.79	19.12			476.79	
热载体佣 $E_{\pi_2 o}$	1768.71	70.93	1890.71	75.41		
热载体佣差 $\Delta E_{\pi_2 o}$						112.00
外部不可逆佣损 $D_{e, i}$			36.05	1.45		36.05
内部不可逆佣损 $D_{i, i}$			338.29	13.57		338.29
总 计	2493.65		2493.65		486.34	486.34
普通佣效率(%)			84.99			
目的佣效率(%)						23.03

内部不可逆佣损

化学不可逆佣损	286.38	84.66
热的不可逆佣损	48.61	14.37
流体流动不可逆佣损	3.31	0.98

应用焓衡算方程直接计算内部不可逆焓损,和应用焓损公式(3—5)分别计算内部不可逆焓损结果相一致(见表3),並由此校核冷却水用量。

3. 操作条件的变化对焓分析结果有一定影响(图4)。随着操作温度、压力的增加,反应物和产物的物理焓值皆增加。但净变化值不大,且物理焓值只是化学焓值的0.1—0.2%。对焓分析结果影响极小。

4. 惰性气体的化学焓只占化学焓值的0.5%。其含量的波动对扩散焓及物理焓虽有所影响,但它不参与反应,故焓值净变化很小,对焓分析结果基本不影响。

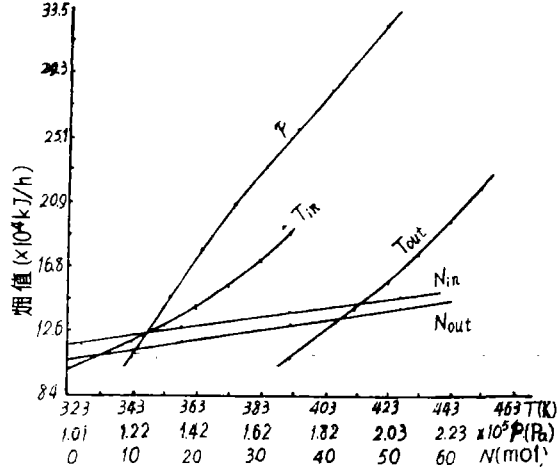


图4 操作条件对焓值的影响
P—压力; T_{in} , T_{out} —进出料温度; N_{in} , N_{out} —惰性气体摩尔数

三、反应器焓经济保温工程的计算

焓分析结果表明,欲提高合成过程的焓效率,首先应降低内部不可逆焓损,尤其是降低化学的不可逆焓损,但是在目前工艺条件还难于实现。因此,本文先从减少散热焓损入手。探讨反应器进行保温的投资与收益。经测定得知反应器出口的冷却水温度为102—105℃,属于低品位热源,但数量较大,水温比福州地区温泉水温度(约90℃)还高。如果使用得当是可以发挥经济效益的。

本文在进行合成过程焓分析的基础上,采用以经济性为主要约束条件的优化计算方法,推导出下述两个公式,并将公式应用于氯乙烯反应器保温工程计算。

1. 焓经济保温工程计算公式的提出

根据反应器操作时,其散热焓的年费用 S_H 可随保温层厚度的增加而减少,其保温工程费用 S_I 却随保温层厚度的增加而增加,两项费用之和等于总年费用 S 。于是:

$$S = S_I + S_H = \frac{\pi}{4} (D^2 - D_0^2) ANL + \frac{10^{-6} CH (T - T_0) (1 - \frac{T}{T_0}) L}{\frac{1}{2\pi\lambda} (\ln \frac{D}{D_0} + \frac{2\lambda}{aD})} \quad (11)$$

当以最小总年费用为目标函数时,所决定的就是最佳保温层厚度。

当 $\frac{dS}{dD} = 0$ 时可求得

$$D \ln \frac{D}{D_0} = 2 \times 10^{-3} \sqrt{\frac{CH\lambda(T-T_0)(1-\frac{T}{T_0})}{AN}} \sqrt{1 - \frac{2\lambda}{aD} - \frac{2\lambda}{a}} \quad (12)$$

$$\frac{2\lambda}{aD} = 0$$

$$D \ln \frac{D}{D_o} = 2 \times 10^{-3} \sqrt{\frac{C H \lambda (T - T_o) (1 - \frac{T_o}{T})}{A N}} - \frac{2 \lambda}{\alpha} \quad (13)$$

本文定义散热佣价换算因子 θ

$$\theta = \frac{C}{B} (1 - \frac{T_o}{T}) \quad (14)$$

并将 θ 与热价 B 的乘积代入式(11)、(13), 可得

$$S = \frac{\pi}{4} (D^2 - D_o^2) A N L + \frac{10^{-3} B \theta H (T - T_o) L}{\frac{1}{2 \pi \lambda} (\ln \frac{D}{D_o} + \frac{2 \lambda}{\alpha D})} \quad (15)$$

$$D \ln \frac{D}{D_o} = 2 \times 10^{-3} \sqrt{\frac{B H \theta \lambda (T - T_o)}{A N}} - \frac{2 \lambda}{\alpha} \quad (16)$$

式(15)、(16)是本文进行佣经济保温工程计算的基本公式。在使用本公式时, 首先要确定 θ , 关键在于确定佣价 C 。但在一般热工设备计算中只考虑物理过程的佣, 而涉及反应过程的反应器一般均伴有反应佣, 因此, 本文根据佣价值平衡, 导出包括反应佣价值 $C_R \Delta E_R$ 的佣价计算普遍式

$$C E_{out} = \sum C_{in} E_{in} + C_R \Delta E_R + C_f \quad (17)$$

式(17)可用于求算包括各种类型的化学反应过程的佣价。由于冷却过程是该合成工艺所要求, 因此, 其设备费用可摊入聚氯乙烯成本中, C_f 可视为零。本文根据合成过程的佣平衡算结果, 应用于式(17)求解在该工艺条件下的 θ 为 0.526。

当已知 θ 时只须将 $B \theta$ 代入含经济保温计算公式及其计算机程序中的 B 。便可以进行佣经济保温工程的有关计算, 而毋需重新编制计算机程序。因此, 它可方便地在设计部门推广应用。

进行保温工程计算时, 由于保温层的导热系数是保温层外表面温度的函数, 表面温度与保温层的工程费用均为保温层厚度的函数, 且有关的保温材料价格、自然条件可因时因地而异, 因此欲求最佳保温层厚度, 必须以最小总年费用为目标函数编制计算机程序, 然后输入各种保温材料性能参数、价格, 佣价或热价等数据。即可得到所要求的佣或含经济保温层厚度, 总费用, 经济效益及各种经济、工艺数据, 从而优选保温材料。本文采用牛顿法编制程序, 可迅速收敛得出结果。

2. 佣经济保温工程计算公式(简称“佣经济法”)的验证

本文采用在一定的佣价及保温材料价格下, 逐步改变工艺条件, 提高热流体温度至 505℃ 进行计算, 将计算结果绘制成热流体温度变化对保温层厚度、经济效益、单位散热量的保温工程费用及表面温度与相应的散佣量、散热量的影响曲线, 并与含经济保温工程计算(简称“含经济法”)结果比较进行验证。结果如下:

(1) 由于热流体温度提高, 其能级增高, 佣经济保温层厚度将逐渐增加, 接近并最后超过含经济保温层厚度; 相应的经济效益在热流体温度较低时“佣经济法”低于“含经济法”, 当热流体温度增高时, 将超过“含经济法”(图 5)。

(2) “佣经济法”的单位年散热量的保温工程投资费用, 随热流体温度的增加而增

加。因为热流体的能级增加应增加投资费,但是“含经济法”的相应计算值反而略有降低(图5)。说明“含经济法”不考虑热能在质量上的差别是不合理的。

(3) 计算得出保温层的表面温度皆在允许范围内,表面温度值与相应的散热量,散佣量,随热流体温度的增高而变化的规律与上述结论一致(图6)。

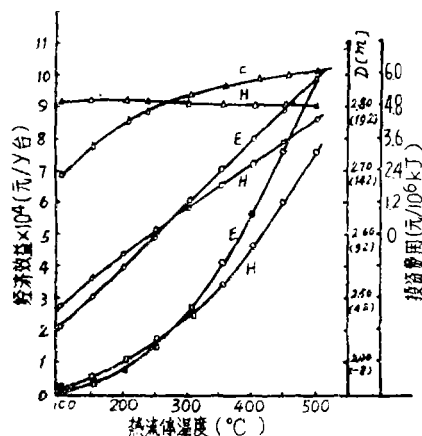


图5 保温层厚度、投资费用、经济效益与热流体温度的关系

—经济效益; \circ —保温设备外径(括号内列出保温厚度mm); \triangle —单位散热量投资费用; H —“含经济法”; E —“佣经济法”

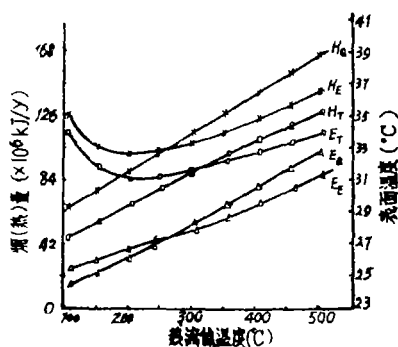


图6 散佣(热)量、表面温度与热流体温度的关系

E_0, E_s —“佣经济法”散热量, 散佣量
 H_0, H_s —“含经济法”散热量, 散佣量
 H_T, E_T —表面温度

由上述结论表明, 佣经济保温工程计算由于考虑了热能在质量上的差别, 所得的结果比含经济保温工程计算更符合生产实际情况, 可应用于实际生产设备的保温工程设计计算。

3. 反应器保温工程的计算

应用本文导出的公式(16—17)其计算结果如下:

(1) 对反应器保温可减少80—85%的散热佣损, 其经济效益取决于能源和保温材料的相对价格。在一定的佣价, 保温工程费用及氯乙烯生产工艺条件下, 对反应器保温具有一定的经济效益(表4、5)。当保温材料采用岩棉, 由于导热系数很小, 所需保温层厚度及相应的保温工程投资费用小, 虽然单价比较高, 但是在可能出现的佣价波动范围内, 皆能得到较好的经济效益。

保温材料采用水泥膨胀珍珠岩或水玻璃膨胀珍珠岩等等, 虽然价格比岩棉低, 但因导热系数比岩棉大, 保温层厚度、保温工程费用反而高, 当佣价(热价)较低时

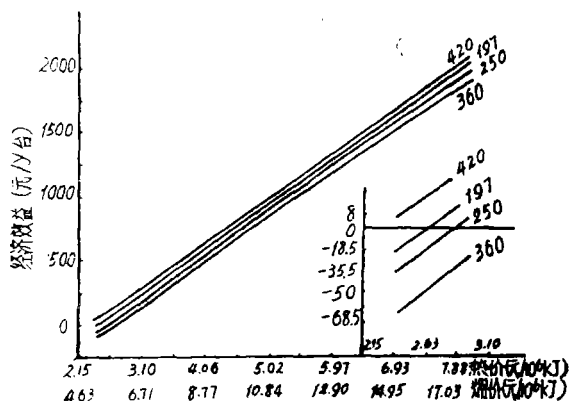


图7 经济效益随热(佣)价变化的关系

420—岩棉; 197, 250—水泥膨胀珍珠岩, 360—水玻璃膨胀珍珠岩。

将出现亏损,这时不宜对反应器保温(图7)。

表4 反应器经济保温工程计算结果

项目	单位	优 化 计 算 结 果									
热 价	元(10°KJ) ⁻¹	2.39	3.58	4.87	5.28	5.83	6.38	6.93	7.50	8.05	8.31
佣 价	元(10°KJ) ⁻¹	5.16	7.79	10.53	11.39	12.59	13.73	14.98	16.17	17.39	17.99
保温材料 价格	元·m ⁻³	岩棉 420									
保护层 价格	元·m ⁻²	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
保温层 厚度	mm	7	12	15	18	20	22	24	25	27	28
保温层外 表面温度	°C	47.6	38.6	35.3	33.5	32.4	31.4	30.7	30.1	29.5	29.3
保温后散 热量	10°KJ(y) ⁻¹	274.65	177.10	135.65	123.93	113.46	103.83	96.72	90.43	84.99	82.90
保温后散 佣量	10°KJ(y) ⁻¹	61.55	39.86	30.56	28.05	25.54	23.45	21.77	20.52	19.26	18.42
保温工程 费用	元(y) ⁻¹	228.6	242.7	253.9	259.8	265.1	271.0	276.2	281.2	286.2	288.6
年佣损费	元(y) ⁻¹	319.7	308.1	327.4	317.5	320.9	321.4	325.0	328.8	332.7	334.6
总年费用	元(y) ⁻¹	548.3	550.8	581.3	577.3	586.1	592.4	601.2	610.0	618.9	623.2
经济效益	元(y) ⁻¹	8.0	453	832.2	1038	1227	1422	1613	1804	1996	2090
保温工程 费与年散 热量之比	元(10°KJ) ⁻¹	0.83	1.37	1.87	2.10	2.34	2.60	2.87	3.10	3.37	3.49

表5 反应器含经济保温工程计算结果

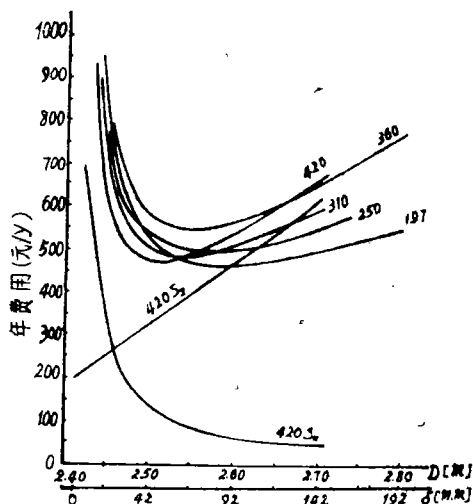
项	目	单位	优 化 计 算 结 果									
热	价	元(10°KJ) ⁻¹	2.39	3.53	4.87	5.28	5.83	6.33	6.93	7.50	8.05	8.31
保温材料价格	元·m ⁻³				岩棉	420						
保护层价格	元·m ⁻²		34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
保温层厚度	mm		16	25	33	35	39	42	44	47	50	51
保温层外表面 温度	°C		35.2	30.2	28.1	27.6	27.0	26.6	26.2	25.9	25.6	25.5
保温后散热量	10°KJ(y) ⁻¹		134.81	91.69	71.18	66.99	61.55	57.73	54.43	51.50	48.57	47.73
保温后散佣量	10°KJ(y) ⁻¹		30.14	20.52	15.91	15.67	13.82	12.93	12.14	11.72	10.89	10.83
保温工程费用	元(y) ⁻¹		254.3	280.2	302.9	303.5	318.8	327.1	335.3	343.2	351.0	354.7
年佣损费用	元(y) ⁻¹		328.1	328.0	347.0	353.1	359.7	367.9	376.1	384.2	392.2	396.0
总年费用	元(y) ⁻¹		582.4	608.2	649.9	662.7	678.5	695.1	711.5	727.4	743.2	750.7
经济效益	元(y) ⁻¹		897	1765	2577	2365	3356	3746	4141	4534	4934	5128
保温工程费与 年散热量之比	元(10°KJ) ⁻¹		1.89	3.06	4.25	4.63	5.16	5.66	6.19	6.69	7.21	7.45

表4.5说明:热价及保温材料价格采用某厂1987年的统计数字,并适当考虑价格波动;某厂:18(元/t蒸汽);福州热电站:19(元/t蒸汽);厦门热电站:29(元/t蒸汽);岩棉:420(元/m³);水玻璃膨胀珍珠岩:360(元/m³);水泥膨胀珍珠岩(1986):197(元/m³), 250(元/m³).

(2) 当保温材料价格一定时,随着佣价的增加,经济效益将线性上升(图7).在该氯乙烯生产工艺条件下,应用“佣经济法”计算的经济效益约为“含经济法”的三分之一,因为冷却水的能级较低,“佣经济法”考虑其热能的质量较差,经济效益应该较低是现实的(见表4、5).

(3) 当佣价一定时,保温工程费用、散热佣价值与总年费用随保温层厚度的变化关系曲线(图8)表明,最小总年费用主要决定于保温材料的价格与其保温性能,主要是导热系数的大小.优选保温材料的顺序应是:岩棉、水泥膨胀珍珠岩、微孔硅酸钙和水玻璃膨胀珍珠岩.

应用“含经济法”进行类似的保温计算,其最小总年费用比“佣经济法”的结果高约10—20%,(表4、5).但是优选保温材料的顺序,两种方法基本一致,因此,在该厂生产条件下,反应器采用岩棉保温是合适的,经济上是有效益的.



四、结 束 语

氯乙烯合成过程的热力学分析查清了过程的能耗分布,指出其用能效率不高的主要原因是内部佣损大,其次是外部散热佣损.

本文提出散热佣价换算因子的概念,在佣衡算的基础上,导出包括反应佣的佣价计算普遍式及佣经济保温工程计算的简便修正公式.经验证并以氯乙烯反应器为例进行保温工程计算,优选保温材料及评价其经济效益.结果表明:佣经济保温工程计算比含经济保温工程计算的结果更符合生产实际情况,上述方程可以应用于其它反应设备的佣经济保温工程计算,极易在设计部门推广应用,具有一定的实用价值.

图8 年费用随保温层厚度变化曲线
 S_1 —保温工程费用; S_H —散热佣损费用;
 420—岩棉; 197, 250—水泥膨胀珍珠岩;
 360—水玻璃膨胀珍珠岩; 310—微孔硅酸钙

符 号 说 明

ΔE_R 为反应佣 (KJ/mol); T_L, T_H 为高低温物流温度 (K); μ_i 为组分*i*的化学位; ν_i 为化学计量数; ϵ 为反应进度; D, D_0 为保温前后设备或管道外径 (m), 本文 $D_0 = 2.416$ (m); A 为保温工程费 (元/Y); N 为资金偿还率 (%); H 为年工作时间, (h/Y); λ 为导热系数 (KJ/m.h.°C); α 为给热系数, (KJ/m².h.°C); C_d' 为设备费用总和; L 为长度 (m); $E_{i,1}, E_{i,2}$ 为除反应佣 ΔE_R 外, 进出计算佣价 进出所取系统各流股的佣值 (KJ/mol).

参 考 文 献

- 〔1〕张润滨, 我厂3万吨/年聚氯乙烯扩建工程余热利用与工业水复用, 聚氯乙烯, 5 (1983).
- 〔2〕周石来, 转化余热利用, 聚合一水多用、经济效益显著, 聚氯乙烯, 4 (1984).
- 〔3〕唐趾祥, 管道、设备绝热层厚度计算, 化工设计与开发, 1 (1982).
- 〔4〕姜中山, 管道保温经济厚度的计算, 石油炼制, 11 (1984).
- 〔5〕Koenig, A.R., Chemical Engineering, 87, 18 (1980), 125.
- 〔6〕Wepfer, W.J. et al, Trans. A.S.M.E. J. Eng. Industry, 101, 4 (1979), 427—433.
- 〔7〕华贲、陈安民, 炼厂散热的实用计算和侧经济分析, 石油炼制, 2 (1984).
- 〔8〕陈安民, 流体输送的经济管径和经济保温厚度, 石油炼制, 10 (1986).
- 〔9〕何耀文, 化工新技术, 中国化工学会教委会出版, (1983).
- 〔10〕龟山秀雄、吉田邦夫, 標準エクセルギーについて, 化学工学, 43, 7, (1979).

Thermodynamic Analysis of Vinyl Chloride Synthesis

Zhang Xiaping

Abstract

This paper poses, based on exergetic analysis of vinyl chloride synthesis, the concept of scaling factor of heat emission exergy value. It introduces two formulae of which one is a generalized formula for calculating exergy value including reaction exergy value; another is a convenient revised formula for calculating exergetic economic insulation work in engineering. It takes vinyl chloride reactor as an example to calculate exergetic economic insulation work in engineering and evaluates its economic benefits.