

HYSIM 软件与有效能 计算程序*

(续 四)

王友安

(扬子石油化工设计院, 南京, 210048)

7 流体输送过程

7.1 流体输送过程的能量特征

流体输送过程是任何化工流程中都不可缺少的过程。其特征是在过程中不发生流量、组分的变化。压力变化是该过程的最基本的特征。

HYSIM 软件内有关流体运输的单元包括: 压缩机(包括透平机)、泵、阀门及管段。前二者属升压过程, 由外界提供能量, 物流有效能增加。其余属减压过程, 但透平机对外界送功, 系自发过程, 过程的推动力为物流自身的有效能减小。

过程的能量平衡: 由(1-10)式, 我们可不考虑位能的变化和外界主要是功的转换, $Q=W$:

$$dH + d(\mu^2/2) = -dw \quad (7-1)$$

根据热力学关系式:

$$dH = TdS + Vdp \quad (7-2)$$

上两式汇总:

$$TdS + Vdp + d(\mu^2/2) = -dw \quad (7-3)$$

上式中, $d(\mu^2/2)$ 为物流动能的变化, Vdp 可看成过程的可逆轴功, TdS 为过程的不可逆功损

失, dW 为过程的实际功耗。

对于阀门过程、管段过程(绝热)且和外界无功、热的交换, $dQ=0$, 则有:

$$TdS + Vdp + d(\mu^2/2) = 0 \quad (7-4)$$

7.2 气体压缩过程

程序名称: CMPEX. HCL

化工过程中的气体压缩过程是由压缩机完成的。有多种压缩机, 其中以往复式、离心式为主。HYSIM 软件中的压缩过程系指离心压缩过程。但其二者的计算原理是接近的。

7.2.1 压缩过程及压缩功

我们在研究该过程中仅考虑压缩机本体, 将轴功及原动机效率看成是 1。外界推动力是由轴(原动机)提供的。

功率的计算:

在已知气体压缩机入口流的状态(T, P, F, X_i)和出口压力(或压缩比), HYSIM 软件会计算出所需压缩功率及出口流的状态。

对于理想气体的绝热过程:

$$W_{\text{理}} = \int_1^2 dP/\gamma$$

* 收稿日期: 1996-05-05。

$$=F * [k/(k-1)][RT_1[P_2/P_1]^{k/(k-1)-1}]$$

$$=F * [k/(k-1)] * R(T_2-T_1) \quad (7-5)$$

式中, k 为绝热指数, 按混合规律: $k = \sum_{i=1}^{n_{\text{COMP}}} k_i * X_i$

n_{COMP} 为混合物组分数,

FW 单位为 kg/h 和 kg · m/h。

对于多变过程:

$$W_{\text{理}} = \int_1^2 dP/\gamma$$

$$= F * [m/(m-1)] * P_1 V_1 * [(P_1/P_1)^{(m-1)/m} - 1]$$

$$= F * [m/(m-1)] R(T_2 - T_1) \quad (7-6)$$

式中, m 为压缩指数。 m 取决于绝热指数 k 以及多变效率 $\eta_{\text{多变}}$ 。

实际上, 所处理的过程都是实际气体, 应用实际气体的状态方程来计算。

如果给出了压缩机的效率曲线, 则可更准确地计算出所需功率及出口物流的状态。

由于是绝热, 其过程功耗等于过程初终焓差:

$$W = -\Delta H = H_2 - H_1 \quad (7-7)$$

H_2 可求。 T_2 亦已知。 出口流体状态确定。

过程的目标能

$$EX_{ob} = (H_1 - H_2) - TO(S_1 - S_2)$$

有效能损失:

$$\Delta EX = W + (H_1 - H_2) - TO(S_1 - S_2)$$

$$= TO(S_1 - S_2) \quad (7-8)$$

内耗能

物流压缩过程中, 由于流体的紊流、摩擦而使机械能转化为热量, 使物体温度上升, 内能增加。这也是一种功能转换。将外界的功转化为物流所内含的能, 我们称之为内耗能。在(7-3)式中 TdS 一项:

$$TdS = -Vdp - d(mu^2/2) - dW \text{ 则}$$

$$TdS_{\text{不可逆}} = dW_{\text{不可逆}} - dW_{\text{可逆}}$$

在压缩过程, 外界提供的能量要大于理论功,

多余的能量由于不可逆因素而变成内耗能。通常, 压缩过程的效率皆小于 1.0。

内耗能用 F 表示。则:

$$dF = TdS \quad (7-9)$$

在一个变温的过程中, 取积分:

$$F = \int_{T_1}^{T_2} TdS$$

在本软件中, 计算时, 将压缩机入口状态到出口状态之间取 20 个间隔:

$$T_1 T_2 \cdots T_i \cdots T_{20}$$

$$dS = S_{i+1} - S_i \text{ 则有}$$

$$F = \sum_{i=1}^{20} T_i \Delta S_i \quad (7-10)$$

温度越高, 内耗能越大, 熵增越大, 内耗能也越大。

等熵效率与多变效率

由以上分析已知, 任何一个压缩过程不可能是等熵效率为 100% 的绝热过程。随着过程的可逆程度的不同, 在相同的入口条件下, 存在着不同的 P_2 和 T_2 。因此, 有着不同的 H_2 。

设 H_{2s} 为等熵效率为 1 时的终态焓, 则有:

$$W_{\text{轴}} = (H_1 - H_{2s}) / \eta_{\text{等熵}} \quad (7-12)$$

即:

$$\eta_{\text{等熵}} = (H_1 - H_{2s}) / (H_1 - H_2) \quad (7-13)$$

H_{2s} 的计算:

生成压缩过程等熵效率为 100% 的压缩终点状态物流 STREAMo:

其物流组成同进口物流, 压力同实际上出口压力, 熵值同进口物流, 对此物流进行性质计算, 而生成的物流温度则为等熵压缩的出口温度, 其焓值即为 H_{2s} 。因此, 已知压缩过程初、终状态时可立即计算出其过程的实际的等熵效率。

等熵效率计算程序段: 见图 7-1。

程序中有关变量的说明:

cmpn 本程序所处理的压缩机个数(段数);

cmpnamei 第 i 个压缩机名(每段压缩机名);

instream 压缩机入口物流名;

```
CALCULATION of ISOentropic Efficiency
0 count sto
while count rcl 1 + dup count sto empn rcl >= do
  empname count rcl %1.0f fmt + rcl
  dup 1 attached dup entropy swap f swap str ssn sto
  dup flow swap f swap str fin sto
  instream sto
  ? attached dup outstream sto press swap f swap str pis sto
  calcwork1 destin sto
  1 icomp sto
  0 icomp sto
  while icomp rcl 1 + dup icomp sto ncomp rcl >= do
    name icomp rcl comp molire feed instream rcl str
    name icomp rcl comp destin rcl spec
    word1
    destin rcl dup empty swap press swap spec
    dup empty swap entropy swap spec
    empty swap temp swap spec
    pout rcl press destin rcl spec
    sis rcl entropy destin rcl spec
    fin rcl flow destin rcl spec
    destin rcl prop
    energy feed destin rcl str
    energy feed instream rcl str dup d -
    energy feed outstream rcl str
    u - / dup count rcl %1.0f fmt effiso + sto
    %1.0f fmt 9 split drop count rcl %1.0f fmt effisofrm + sto
    word1
  endwhile
endwhile
outstream      压缩机出口物流名;
effiso         等熵效率。
其它变量名同英文含义。
程序简单说明：这整段是个大循环，每次循环计算一段压缩机的等熵效率。
```

图 7-1 等熵效率计算程序段

4~7 行，取出每段压缩机入口流的熵 sin 、流量 fin 、出口流压力 $pout$ ；
8~13 行，将出口压力、入口的熵、流量置于等熵压缩的出口物流上；
14~18 行，将压缩机入口流的组分浓度置于等熵压缩出口物流上；
19~24 行，对等熵压缩出口物流进行状态方程计算，并进行等熵效率的计算。

同样，当指定压缩过程的等熵效率时，可立即由初状态计算出终状态。

对于多变过程的压缩功，在指定多变功率 $\eta_{多变}$ 后，计算出压缩系数 m ，再计算多变功 W ：

$$[(m-1)/m] = [(k-1)/k] / \eta_{多变} \quad (7-14)$$

7.2.2 透平膨胀过程及膨胀功

从理论上讲，膨胀过程是压缩过程的反过程。

其等熵效率 $\eta_{等熵} = (H_1 - H_2) / (H_1 - H_{2s})$

而绝热膨胀功为：

$$W = -\Delta H = H_1 - H_2 \quad (7-16)$$

7.2.3 计算举例

例 1 某乙烯装置裂解气压缩机(5 段)，计算结果如表 7-1：

表 7-1 裂解气压缩机有效能分析计算表 *10⁴kJ/h

段数	压缩机名	EX 入口	EX 出口	DEX	焓差 ΔH	DEX/ $\Delta H\%$	EFF * 等熵 %
1	GB201	4.20	13.48	9.28	11.21	82.75	79.2
2	GB201	10.68	19.52	8.84	11.16	79.21	75.10
3	GB201	17.25	25.79	8.54	11.21	76.12	71.50
5	GB201	30.55	38.45	7.90	10.41	75.85	70.90

$$* EFF_{等熵} = (H_s - H_{in}) / (H_{out} - H_{in})$$

H_s 系等熵效率为 100% 时出口物流的焓值。

从表中可见，在压缩过程的等熵效率小于 100% 时，过程的有效能增加量要低于过程的焓增加量。压缩机功耗要大于有效能的增加值。显然，在等熵效率低于 1.0 时，内散能的作用使得压缩功率增高。仅在过程的等熵效率等于 100% 时，其过程的有效能增加量才等于过程的焓增加量(也等于系统向过程提供的能量，设轴功率为 100%)。

例 2 某乙烯装置丙烯压缩机蒸汽透平机(2 段)，计算结果如表 7-2：

表 7-2 丙烯压缩机蒸汽透平机有效能分析计算表 *10⁴kJ/h

段数	透平机名	EX 入口	EX 出口	DEX	焓差 ΔH	DEX/ $\Delta H\%$	EFF * 等熵 %
1	TB501	70.92	49.06	21.86	17.48	79.97	69.03
2	TB501	33.31	7.29	26.02	18.00	69.18	67.07

$$* EFF_{等熵} = (H_{out} - H_{in}) / (H_s - H_{in})$$

从表中可见，在膨胀过程中，等熵效率小于 1.0 时，过程有效能的减小高于过程的焓增加。

7.2.4 程序框图

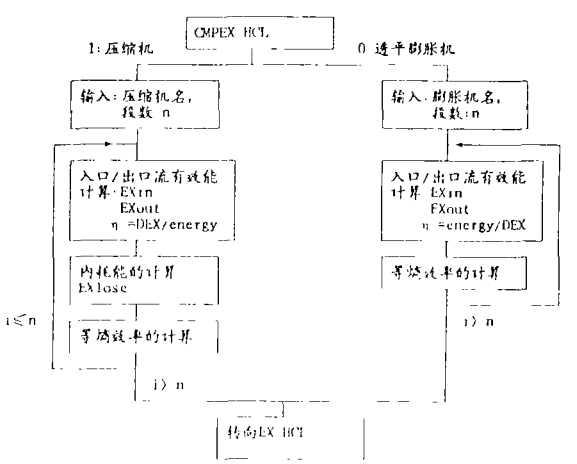


图 7-2 压缩机(透平机)有效能分析计算程序框图

7.3 泵过程

程序名 PMEX. HCL

7.3.1 泵单元模块功能

HYSIM 软件主要处理的是液体离心泵。建立泵单元时,用户仅须填入入口物流名及出口压力,单元运转时,可立即计算出出口物流温度及出口物流的状态,并进行性质计算。同时计算出泵功率。

$$W=[(P_{\text{出}}-P_{\text{入}})*F]/[D_{\text{密度}}*\eta]$$

7.3.2 泵过程的有效能分析

泵过程有效能损失:

由于是绝热过程: $W=H_2-H_1$

有效能效率:

$$\eta=DEX/W$$

液体由于压缩升温,内能升高,其耗散的能量:

$$L=\int_{T_1}^{T_2}\Delta S_TdT$$

$$=\sum_i\Delta S_T*T \quad (7-18)$$

7.3.3 计算举例

表 7-3 列出了乙烯精馏塔回流泵的有效能。

表 7-3 乙烯装置乙烯精馏塔回流泵有效能分析

项 目	有 效 能
出入口焓差	18256.064
入口 EX	58524399.0
出口 EX	58537023.0
出/入口△EX	12624.898
有效能损失	5631.1661
内耗功	4548.1786
动力能	18255.425
效率	0.717485

7.4 阀门节流过程

程序名称 VLEX. HCL

7.4.1 绝热节流

流体通过阀门时,与外界不产生热的交换。则有:

$$\Delta EX=(H_1-H_2)-TO(S_1-S_2)-W$$

$$TO(S_1-S_2)-W \quad (7-19)$$

假设流体通过阀门时,也未做功,则有:

$$HX_{\text{泵}}=TO(S_1-S_2) \quad (7-20)$$

由于 $W_{\text{泵}}=0$,所以本过程的热效率总为零。

7.4.2 计算举例

(略)

7.5 管段过程

HYSIM 软件中管段过程用于计算在一定管段条件下(管长、管径、管内流体介质、物性、流体状态、管线安装条件及管表面的散热状态等)管内流体状态变化的模块。

7.5.1 管段的有效能分析计算

管段过程是入/出口组成不变的过程,其特征是压力降低,属自发的过程。其推动力是物流自身有效能的损失。

有效能损失关系式:

$$\Delta EX=EX_1-EX_2-EX_Q$$

$$=(H_1-H_2)-TO(S_1-S_2)-EX_Q \quad (7-21)$$

$$EX_Q=Q*TO(T_2-T_1)/(T_2*T_1)$$

7.5.2 计算举例

(略)

HYSIM software and efficient computing programm

Wang Youan

(Yangzi Petrochemical Design Institute, Nanjing, 210048)