

目录

第 1 章 反应器设计创新	1
第 2 章 分离技术与节能降耗技术创新	6
第 3 章 高效塔板的使用	11
第 4 章 高效催化剂的使用	12
第 5 章 工艺路线创新	13
第 6 章 环保技术创新	14
第 7 章 安全仪表系统 SIS 设计	17

第 1 章 反应器设计创新

通过六个步骤，实现了丙烷脱氢反应器从无到有的完整设计。设计思路如下：

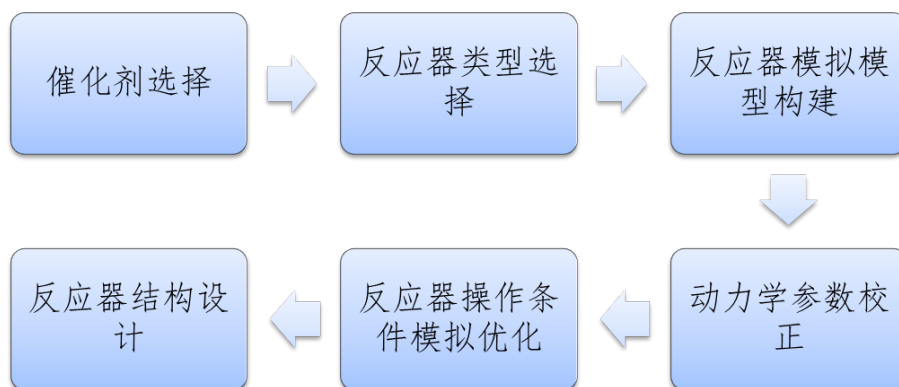
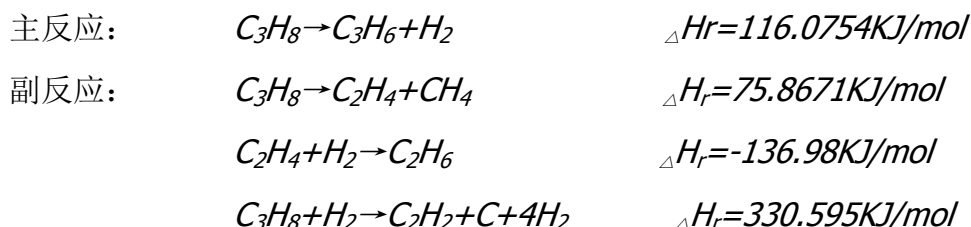


图 1-1 反应器设计思路

其中，反应器模拟模型的构建是通过 Polymath 实现的。

1. 以目标产物丙烯的摩尔分率作为分析变量

丙烷脱氢的主副反应如下：



可以看出，丙烷脱氢是一系列的平行连串反应。对于复合反应，我们不能单纯的考虑关键反应物丙烷的转化率，也要关注目标产物丙烯的选择性和收率。所以本次设计以目标产物丙烯在混合气体中的摩尔分率为分析变量，分别找到丙烷和丙烯的最优转化率和选择性。

2. 催化剂结焦

本项目采用 UOP 公司的 Oleflex 生产工艺，装置为绝热式径向移动床反应器，催化剂是该公司自主研发高活性、高选择性的 Pt-Sn/Al₂O₃。由于反应条件是高温，会导致丙烷深度脱氢，并且

石化年产 25 万吨丙烯项目

在高温下 C-C 键裂解反应在热力学上比 C-H 键裂解更有利，这也加剧了碳 (C) 在催化剂表面沉积导致 Pt-Sn/Al₂O₃ 催化剂失活。

本次设计采用张新平《丙烷脱氢氧化制丙烯过程的模型化与优化》的动力学模型及参数，考虑结焦量对反应速率的影响，通过 Polymath 对反应器进行模拟和优化，最终得到合适的反应器尺寸。

结焦动力学方程摘录如下：

$$\frac{dC}{dt} = k_{1c} * (C_{\max} - C_m)^2 + k_{2c}$$

$$C = C_m + C_M$$

$$C_m = C_{\max}^2 * \left[\frac{k_{1c} * t}{1 + C_{\max} * k_{1c} * t} \right]$$

$$C_M = k_{2c} * t$$

$$k_{1c} = k_{01c} * \exp\left(\frac{-E_{a1c}}{R} * \left(\frac{1}{t} - \frac{1}{tm}\right)\right)$$

$$a = (1 - a_1 * C_m) + a_2 * C_m * \exp\left[-a_3 * \frac{C_M}{C_m}\right]$$

$$a_1 = a_{01} * \exp\left(\frac{-E_{a1}}{R} * \left(\frac{1}{t} - \frac{1}{tm}\right)\right)$$

部分动力学参数如下：

表 1-1 动力学参数表

石化年产 25 万吨丙烯项目

参数	数值
k_{01}	0.5242 mmol/(g.min.bar)
K_{01}	3.46
E_{a1}	34.57 kJ/mol
ΔH	-85.817 kJ/mol
k_{02}	0.00465 mmol/(g.min.bar)
E_{a2}	137.31 kJ/mol
k_{03}	0.000236 mmol/(g.min.bar)
E_{a3}	154.54 kJ/mol
α_{01}	948.92 g cat/g coke
$E_{a\alpha 1}$	9.61 kJ/mol
α_2	399 g cat/g coke
α_3	40.07
k_{01C}	234 g coke /g cat.min
k_{02C}	1.45E-6 g coke /g cat.min
E_{a1C}	38.43 kJ/mol
E_{a2C}	125.51 kJ/mol
C_{max}	1.04E-3 g coke /g cat

Polymath 程序模拟与优化如下 (R201) :

石化年产 25 万吨丙烯项目

```

d(m1)/d(t) = 2 * r * 3.14 * l * 3800000 * ((1 - m1) * a * r1 - m1 * r2 + (2 - m1) * r3) / Nt
d(m2)/d(t) = 2 * r * 3.14 * l * 3800000 * (-m2 * a * r1 + (1 - m2) * r2 - m2 * r3) / Nt      #物料衡算
d(m3)/d(t) = 2 * r * 3.14 * l * 3800000 * (-m3 * a * r1 - m3 * r2 + (1 - m3) * r3) / Nt
d(t)/d(t) = 2 * 3.14 * r * l * 3800000 * (-Hr1 * a * r1 - Hr2 * r2 - Hr3 * r3) / (Nt * Cp)      #热量衡算
N1 = Nt * m1
N2 = Nt * m2
N3 = Nt * m3
Nt = ND / (1 - m1 - m2 + m3)      #反应气总量沿管长的变化mol/min
y1 = (y10 * (1 - m1 - m2 + m3) / (y10 + y20 + 2 * y30 + y40)) - m1 - m2
y2 = ((y20 + y30) * (1 - m1 - m2 + m3)) + m1 - m3
y4 = ((y40 + y30) * (1 - m1 - m2 + m3)) + m2 - m3
Hr1 = (116.0754 + 39.484 * 10 ^ (-3) * t - 46.4 * 10 ^ (-6) * t ^ 2 + 222.346 * 10 ^ (-10) * t ^ 3 - 53.4505 * 10 ^ (-13) * t ^ 4) * 10 ^ 3
Hr2 = (75.8671 + 34.496 * 10 ^ (-3) * t - 68.45 * 10 ^ (-6) * t ^ 2 + 508.3 * 10 ^ (-10) * t ^ 3 - 144.916 * 10 ^ (-13) * t ^ 4) * 10 ^ 3      #主副反应反应热
Hr3 = (-136.98 - 24.679 * 10 ^ (-3) * t + 6.5835 * 10 ^ (-6) * t ^ 2 + 1380177 * 10 ^ (-10) * t ^ 3 - 61.259 * 10 ^ (-13) * t ^ 4) * 10 ^ 3
a = (1 - a1 * Cm) + a2 * Cm * exp(-a3 * CM / Cm)
a1 = a01 * exp(-9.61 * 10 ^ 3 * (1 / t - 1 / tm) / R)
a01 = 948.92
a2 = 399
a3 = 40.07
Cm = (1.04 * 10 ^ (-3)) ^ 2 * (k1c * t) / (1 + 1.04 * 10 ^ (-3) * k1c * t)      #动力学方程参数
CM = k2c * t
k1c = 234 * exp(-38.43 * 10 ^ 3 * (1 / t - 1 / tm) / R)
k2c = 1.45 * 10 ^ (-6) * exp(125.51 * 10 ^ 3 * (1 / t - 1 / tm) / R)
r1 = k1 * (Pc3h8 - Pc3h8 * Ph2 / Keq) / (1 + Pc3h6 / K1)
Keq = exp(16.858 - 15394 / t + 148728 / t ^ 2) * 101.325
K1 = 351 * exp(85.817 * 10 ^ 3 * (1 / t - 1 / tm) / R) * 101.325
k1 = 9.75 * 10 ^ (-5) * exp(-34.57 * 10 ^ 3 * (1 / t - 1 / tm) / R)
k2 = 2.95 * 10 ^ (-8) * exp(-137.31 * 10 ^ 3 * (1 / t - 1 / tm) / R)
r2 = k2 * Pc3h8
r3 = k3 * Pc2h4 * Ph2
k3 = 1.66 * 10 ^ (-9) * exp(-154.54 * 10 ^ 3 * (1 / t - 1 / tm) / R)
Pc3h8 = P * y1      #各物质的压力
Ph2 = P * y2
Pc3h6 = P * m1
Pc2h4 = P * y4
Cp = Cp1 * y10 + Cp2 * y20 + Cp3 * y30 + Cp4 * 0.013
Cp1 = (-5.338 + 310.239 * 10 ^ (-3) * t - 164.64 * 10 ^ (-7) * t ^ 2 + 346.908 * 10 ^ (-10) * t ^ 3) * 10 ^ 3      #各物质的比热容
Cp2 = (29.062 - 0.82 * 10 ^ (-2) * t + 1.9903 * 10 ^ (-6) * t ^ 2) * 10 ^ 3
Cp3 = (8.181 + 161.465 * 10 ^ (-3) * t - 400.71 * 10 ^ (-7) * t ^ 2 + 694.209 * 10 ^ (-10) * t ^ 3) * 10 ^ 3
Cp4 = (5.084 + 225.639 * 10 ^ (-3) * t - 999.265 * 10 ^ (-7) * t ^ 2 + 133.106 * 10 ^ (-10) * t ^ 3) * 10 ^ 3
y10 = 0.485
y20 = 0.496
y30 = 0.006
y40 = 0
P = 101.325      #反应压力: kpa
l = 6      #催化剂床层长度,m
ND = 64869.711      #反应器总的进料量,mol/min
tm = 793
R = 8.314
m1(0) = 0.013
m2(0) = 0
m3(0) = 0.006
r(0) = 0.6
r(t) = 0.9
t(0) = 866

```

图 1-2 Polymath 模拟与优化程序

丙烯摩尔分率沿反应器径向的变化:

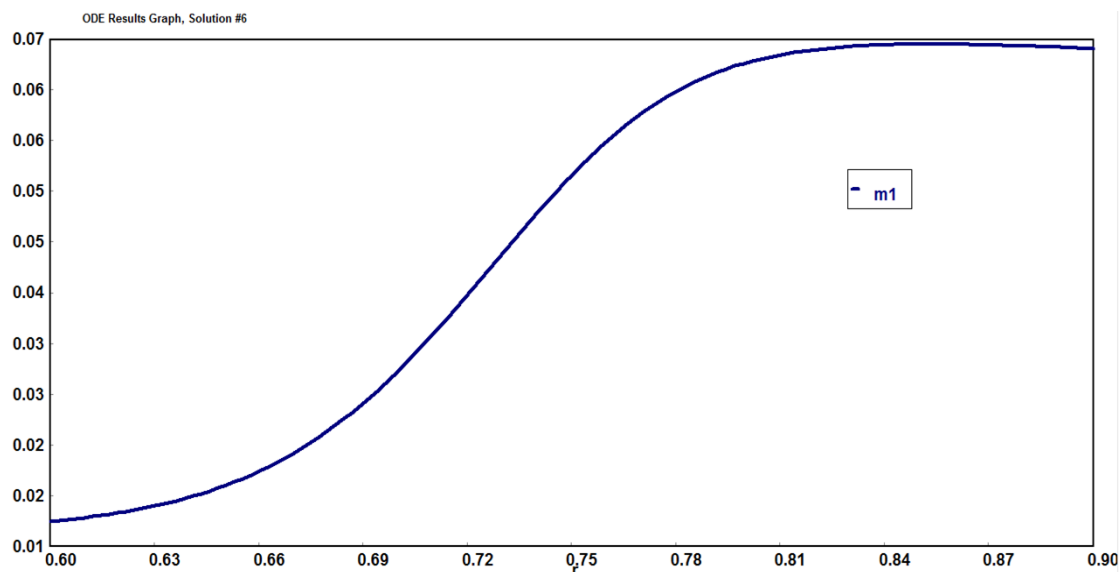


图 1-3 丙烯摩尔分率沿反应器径向的变化

得到各反应器的尺寸如下：

表 1-2 各反应器尺寸

反应器位号	气体出口内径/mm	反应器内径/mm	催化剂床层厚度/mm	催化剂床层长度/m	材料
R201	1200	2400	400	6	0Cr18Ni9
R202	1200	2400	340	6	0Cr18Ni9
R203	1200	2400	340	6	0Cr18Ni9
R204	1200	2400	420	6	0Cr18Ni9

经过优化的反应器模型可使丙烷的单程转化率可达 38%，丙烯总的选择性可达 90%，总的收率可达 70%，年产可达 25 万吨，满足设计要求。经过计算催化剂的结焦量是 $C=0.00195802\text{gcoke}/(\text{molcat})$ ，这为实时监测催化剂的失活程度及工业废渣的量化提供了重要依据。

$$\text{结焦浓度计算公式: } C = \int_{t_0}^{t_1} C(T_1) + \int_{t_1}^{t_2} C(T_1) + \dots + \int_{t_{n-1}}^{t_n} C(T_n)$$

3. Aspen 中使用平推流反应器模拟移动床

催化剂为小颗粒球形催化剂，易磨损，为达到年产量 25 万吨，我们采用四台串联径向移动床反应器，床层压降小，返混小，故在 Aspen 中采用平推流反应器（PFR）模拟。

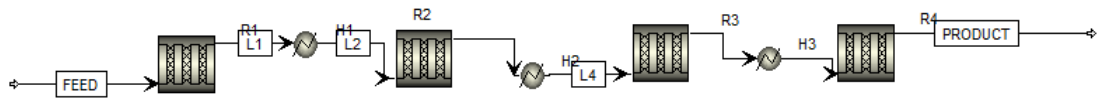


图 1-4 反应器的 Aspen 模拟

第 1 章 分离技术与节能降耗技术创新

1. 热泵精馏

通过外加功将能量自低位传至高位的系统成为热泵系统。热泵是以消耗一定量的机械功为代价，把低温位热能温度提高到可以被利用的程度。由于所获得的可利用能量远远超过输入系统的能量，因而可以节能。

本项目采用塔底液体闪蒸式热泵精馏。

塔底液体闪蒸式热泵精馏是以塔底液体为工质，塔底液体经减压阀减压闪蒸降温后，与塔顶气相换热、汽化，然后经压缩机压缩到与塔底温度、压力相同的状态后送入塔底，塔顶气相冷凝后作为回流。

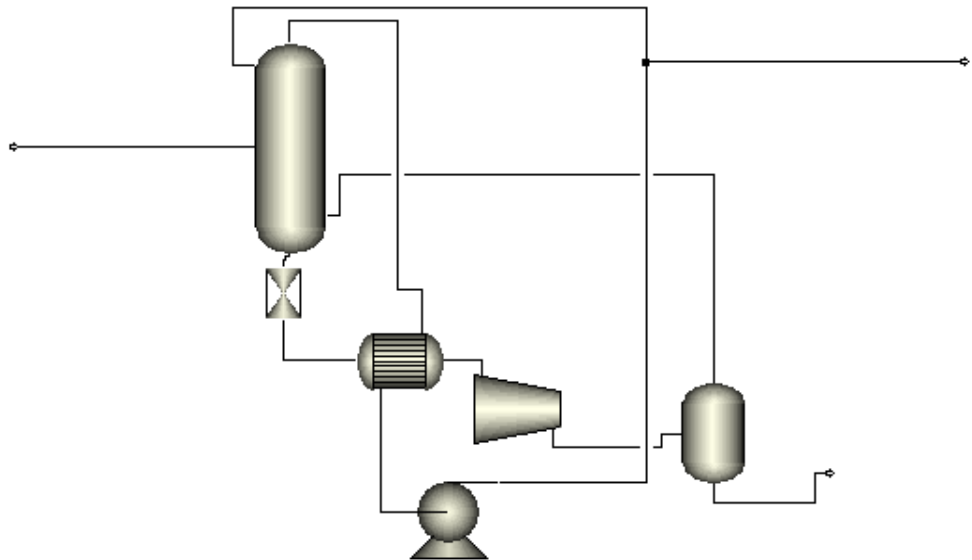


图 2-1 热泵精馏模拟

热泵精馏没有冷凝器和再沸器，其 streams、泵和压缩机的参数设置如下：

Configuration		Streams		Pressure		Condenser		Thermosiphon Config.		Reboiler		3-Phase	
Feed streams													
Name	Stage	Convention											
L-HUI	155	On-Stage											
V-HUI	1	Above-Stage											
C3	110	Above-Stage											
Product streams													
Name	Stage	Phase	Basis	Flow	Units	Flow ratio	Feed specs						
QV	1	Vapor	Mass		kg/hr		Feed basis						
LI	155	Liquid	Mass		kg/hr		Feed basis						

图 2-2 streams 界面设置

Specifications		Calculation Options		Flash Options		Utility	
Model							
<input checked="" type="radio"/> Pump				<input type="radio"/> Turbine			
Pump outlet specification							
<input checked="" type="radio"/> Discharge pressure:		0.755		MPa			
<input type="radio"/> Pressure increase:				MPa			
<input type="radio"/> Pressure ratio:							
<input type="radio"/> Power required:				kW			
<input type="radio"/> Use performance curve to determine discharge conditions							
Efficiencies							
Pump:				Driver:			

图 2-3 泵的参数设置

Specifications | Calculation Options | Power Loss | Convergence | Integration Parameters | Utility

Model and type
 Model: Compressor Turbine
 Type:

Outlet specification
 Discharge pressure:
 Pressure increase:
 Pressure ratio:
 Power required:
 Use performance curves to determine discharge conditions

Efficiencies
 Isentropic: Polytopic: Mechanical:

图 2-4 压缩机的界面设置

Summary | Balance | Parameters | Performance | Regression | Utility Usage

Compr results

Compressor model:	ASME isentropic	
Phase calculations:	Vapor phase calculation	
Indicated horsepower:	9540.06708	kW
Brake horsepower:	9540.06708	kW
Net work required:	9540.06708	kW
Power loss:	0	kW
Efficiency:	0.72	
Mechanical efficiency:	1	
Outlet pressure:	0.775	MPa
Outlet temperature:	34.1833135	C
Isentropic outlet temperature:	24.519936	C
Vapor fraction:	1	
Displacement:		
Volumetric efficiency:		

图 2-5 压缩机计算结果

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

<https://d.book118.com/798130073004006075>