

2023 年 CIMC “西门子杯”中国智能制造挑战赛

智能制造工程设计与应用类赛项：流程行业自动化方向

初赛 赛前练习对象说明

一、工艺对象

依据样题中的反应器工艺描述，我们需要关注：

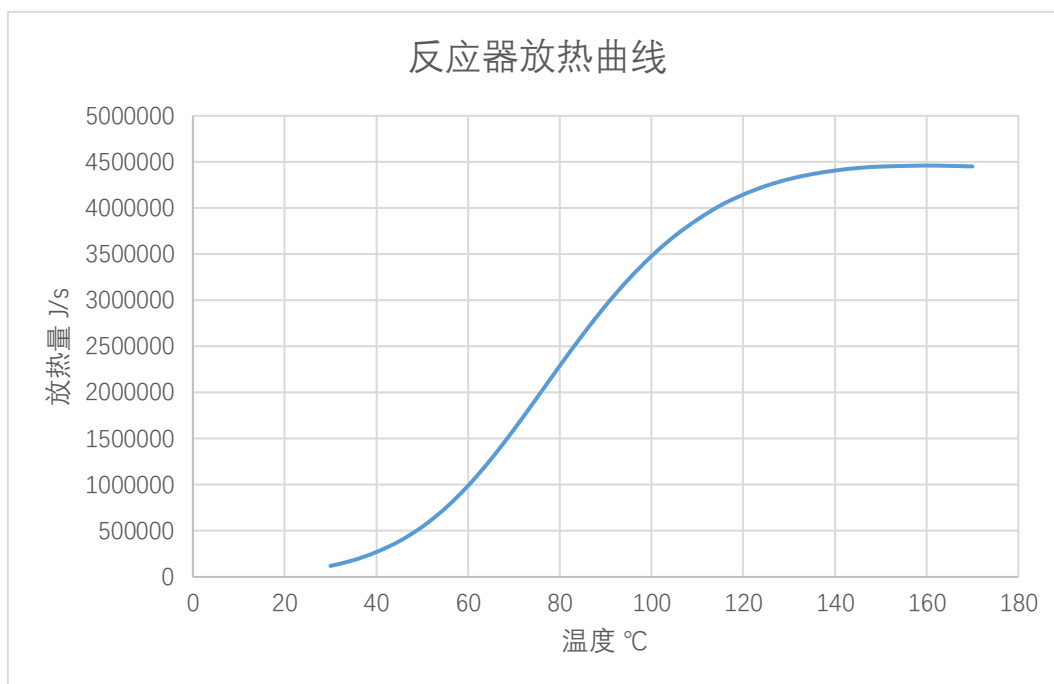
- 1) 如何优化反应器的进料量、进料配比、反应温度、反应器液位，使反应器出口物料中组分 D 的质量分数达标，且越高越好。
- 2) 保证反应器安全稳定生产。物料初始温度是 20℃，需要进加热蒸汽使物料尽快到达合适的反应温度。同时，反应器内的化学反应是强放热反应，需及时关闭加热蒸汽，并调控冷却水进水量，使反应器内温度稳定，避免由于温度过高导致物料汽化，发生反应器爆炸事故。
- 3) 此外，开车阶段需注意控制反应器内轻组分（组分 A）的含量，否则有可能在尚未达到设定的反应温度时，就出现物料汽化的现象，

为了更高效地解决以上问题，下面给出一种示例工况下的反应器放热曲线、反应速率曲线、反应器出口处组分 D 质量分数-温度曲线、反应器移热曲线，以及不同配比、不同液位、不同进料流量下的曲线对比，以供参考。

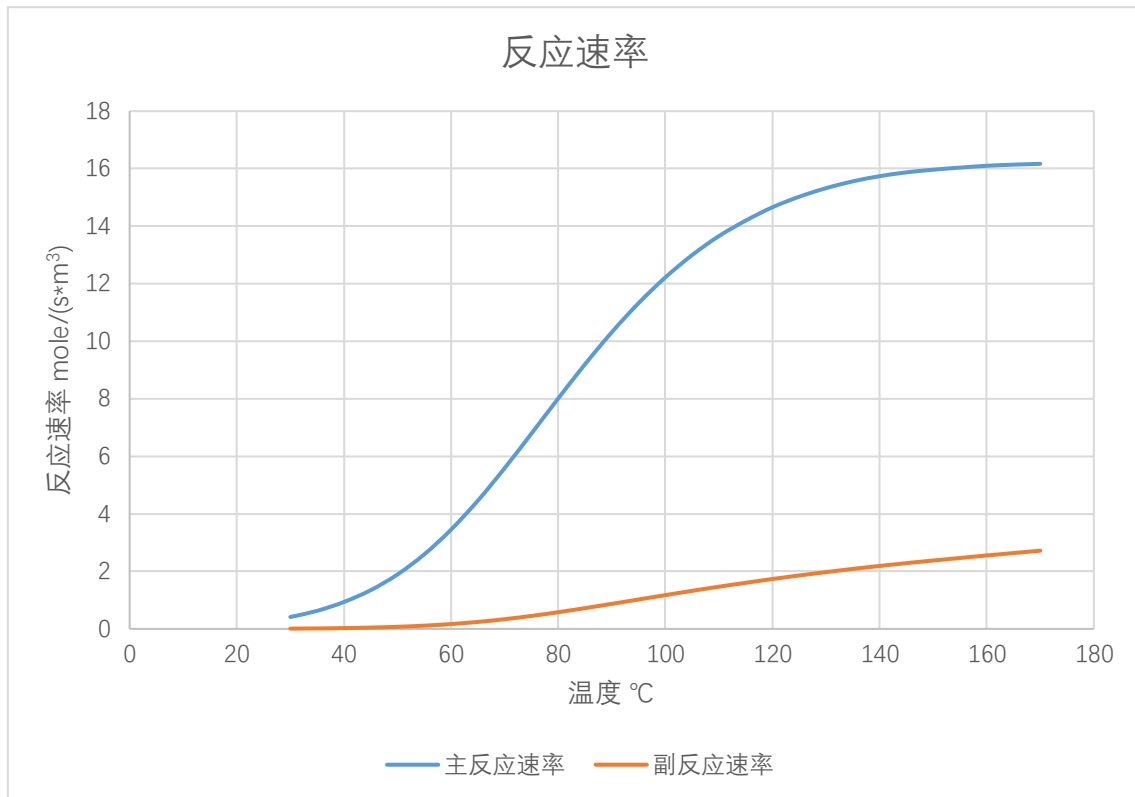
1.1 示例工况

液位控制在 50%，A、B 物料流量之比为 1:1，A+B 与 C 的比例为 13:1（ $F_A=4.000\text{kg/s}$ ， $F_B=4.000\text{kg/s}$ ， $F_C=0.615\text{kg/s}$ ）。

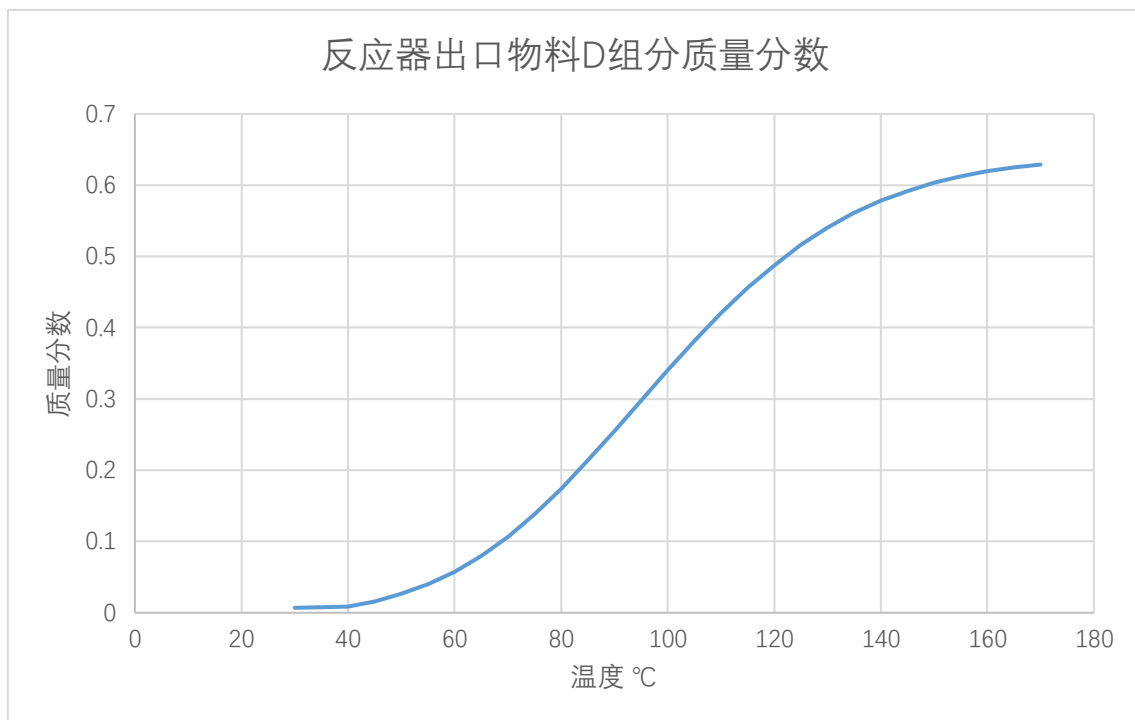
（1）反应器放热曲线（横轴-温度/℃，纵轴-放热量/ $\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$ ，横轴是将反应温度控制在该数据点维持不变，纵轴对应数值即是等到反应进行到稳态时，记录的该反应温度下的放热量。）



(2) 反应速率曲线 (横轴-温度/ $^{\circ}\text{C}$, 纵轴-反应速率 $\text{mole}/(\text{s}\cdot\text{m}^3)$, 横轴是将反应温度控制在该数据点维持不变, 纵轴对应数值即是等到反应进行到稳态时, 记录的该反应温度下的主、副反应的反应速率。)

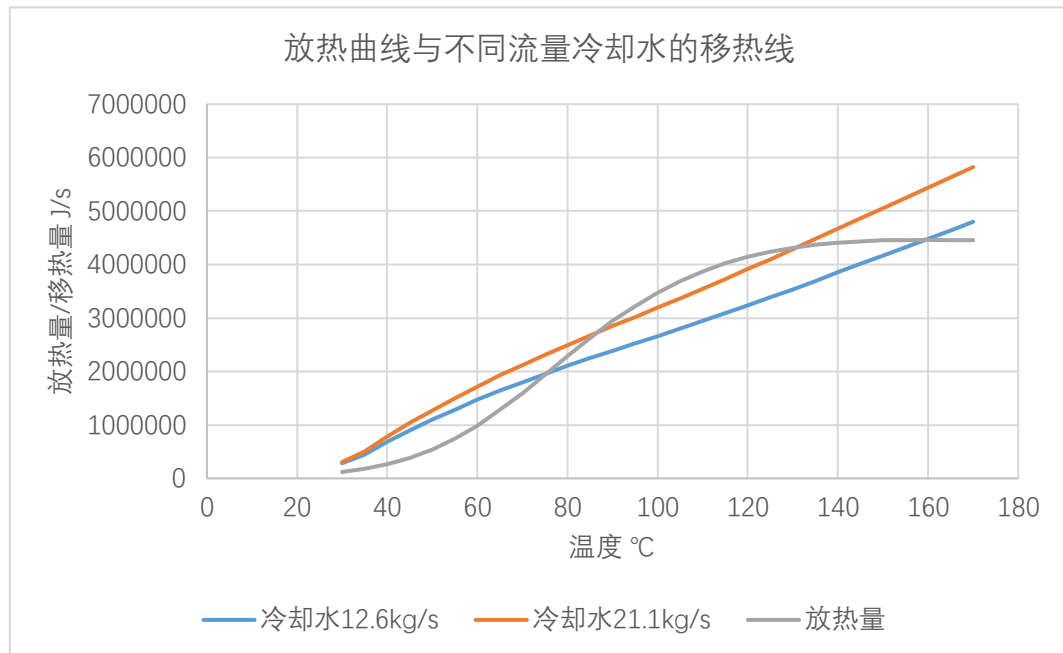


(3) 反应器出口处 (不是闪蒸) 的组分 D 质量分数-温度曲线 (横轴-温度/ $^{\circ}\text{C}$, 纵轴-组分 D 质量分数)



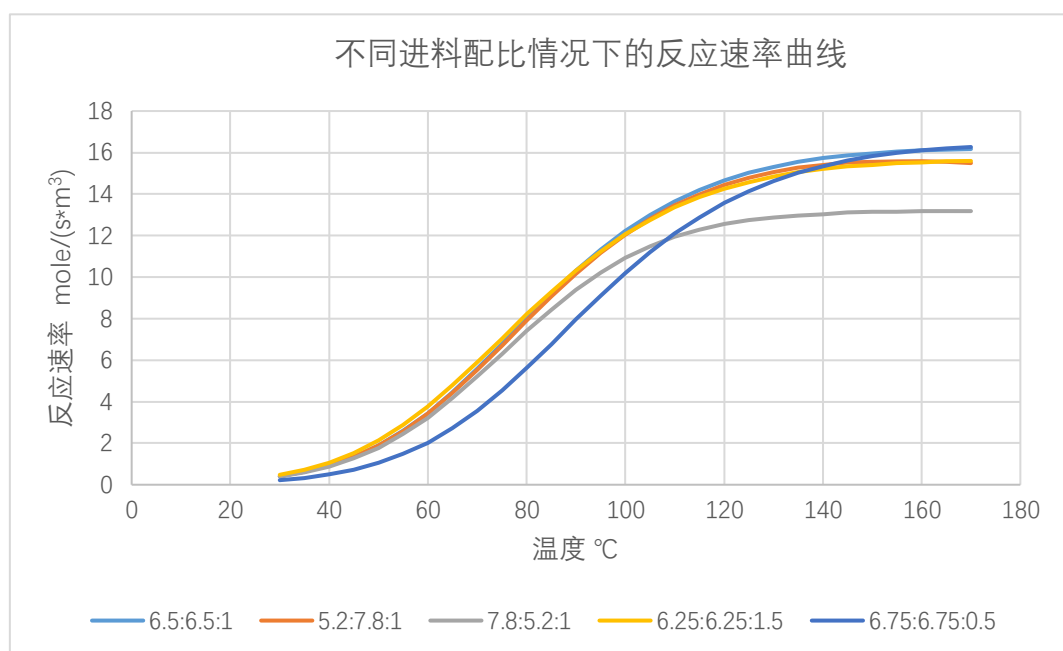
(4) 放热/移热-温度曲线（横轴-温度/ $^{\circ}\text{C}$ ，纵轴-放热量/移热量 $\text{J}\cdot\text{s}^{-1}$ ）

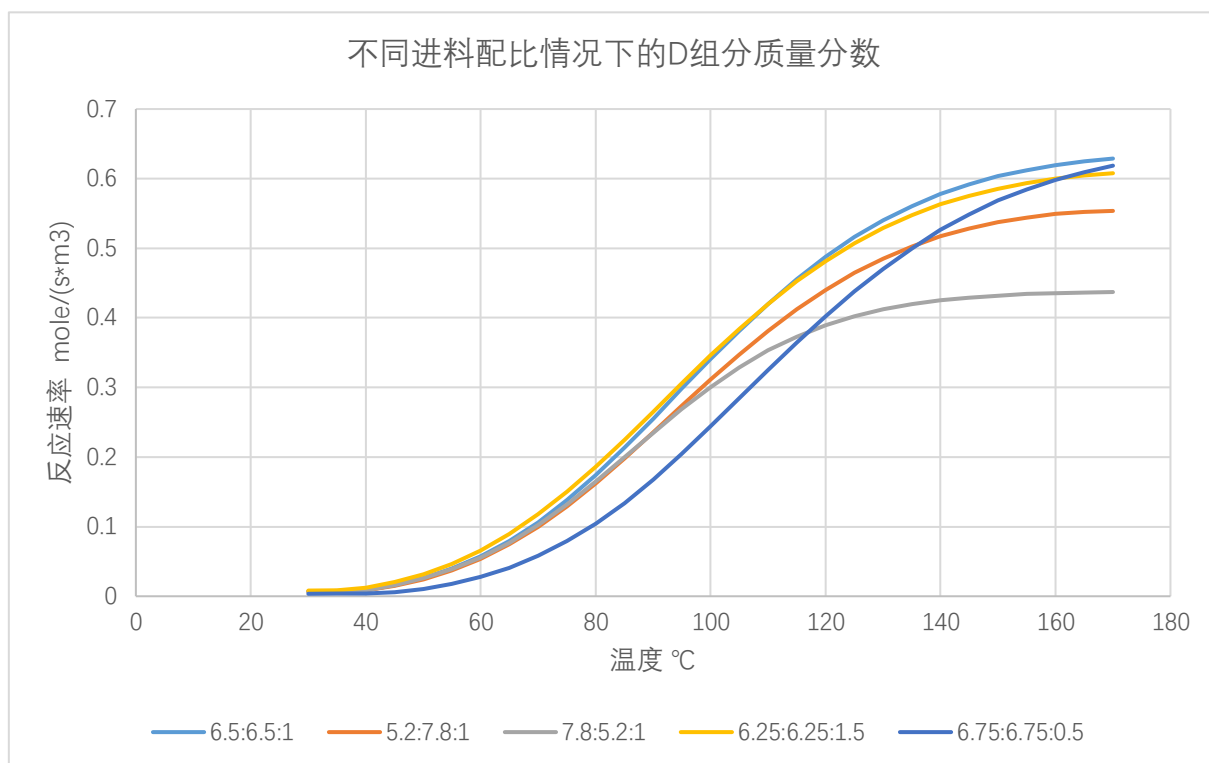
如下图所示，横轴是将反应温度控制在该数据点不变，纵轴即是在该温度下反应进行到稳态时，反应器内由于化学反应产生的放热量（灰色线条），反应物料和冷却水由于热交换产生的传热量+入口物料到达该反应温度所吸收的热量（蓝色、橙色线条）。因此，在放热曲线和移热曲线的交点处，反应器内物料温度能够维持不变。



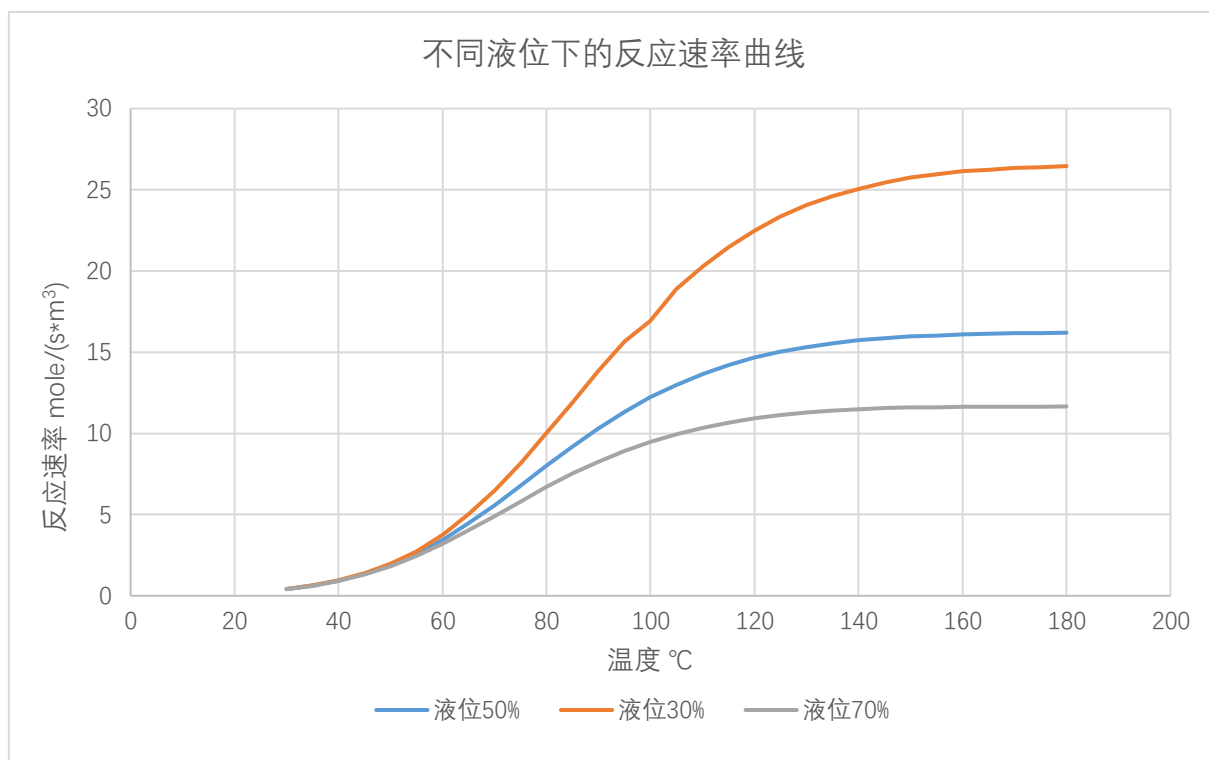
1.2 反应器稳态特性

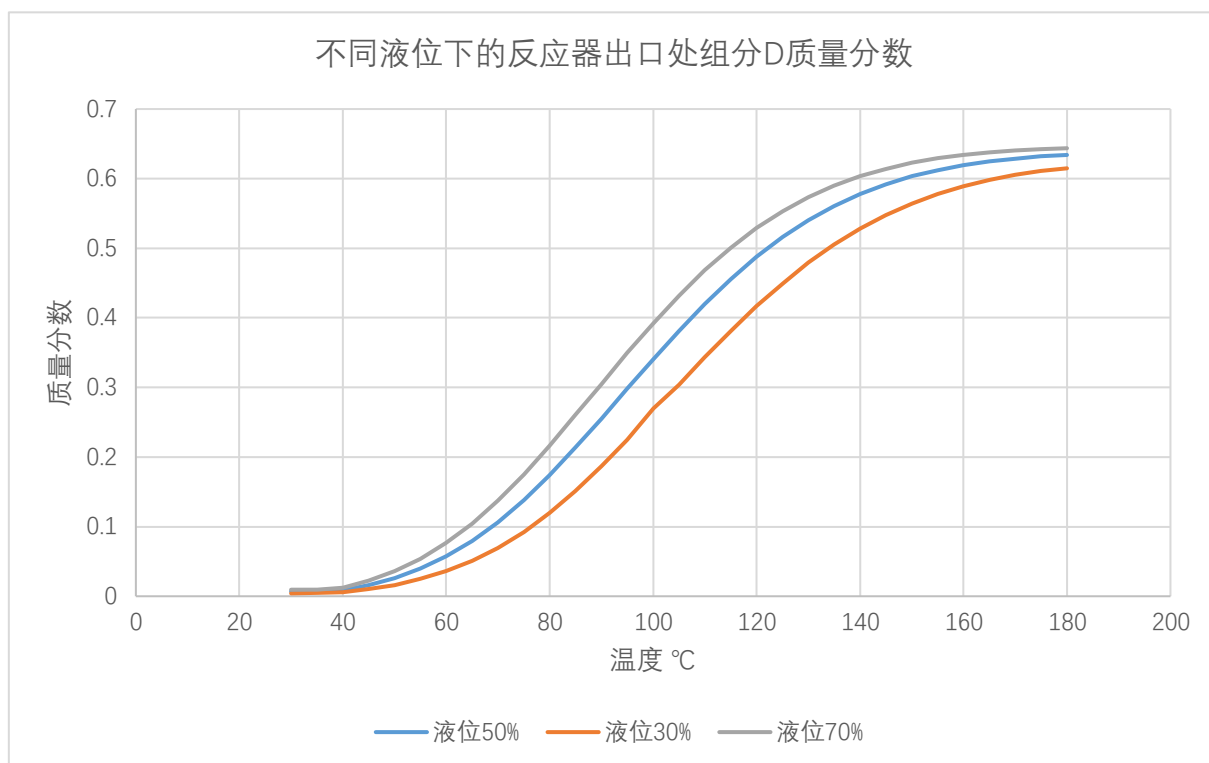
- 1) 反应条件：液位控制在 50%，反应器进料总流量 8.615 kg/s，改变 A、B、C 物料流量比例，如下图所示，A、B、C 物料质量流量比例分别为 6.5:6.5:1、5.2:7.8:1、7.8:5.2:1、6.25:6.25:1、6.75:6.75:1。



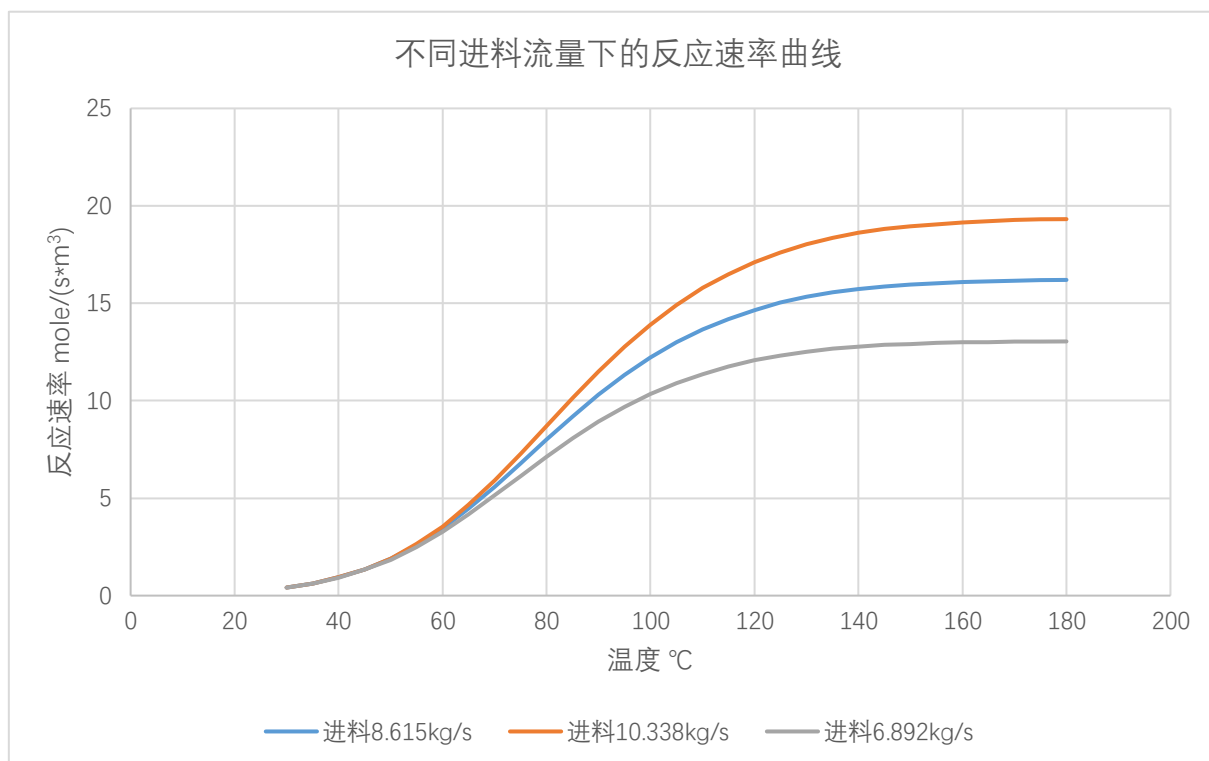


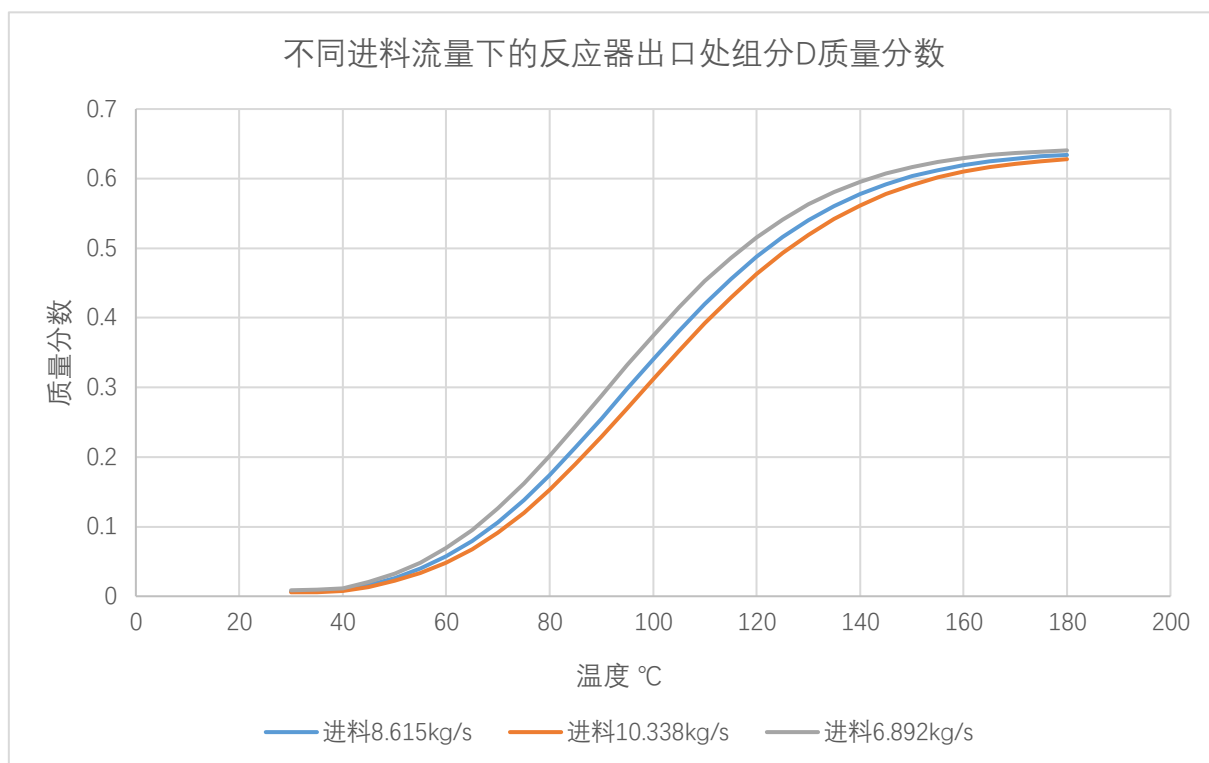
- 2) 反应条件：A、B、C 物料质量流量比例分别为 6.5:6.5:1，反应器进料总流量 8.615kg/s，反应器液位分别控制在 50%、30%、70%





- 3) 反应条件：反应器液位控制在 50%，A、B、C 物料质量流量比例分别为 6.5:6.5:1，反应器进料总流量分别是 8.615kg/s、10.338kg/s、6.892kg/s





二、开车步骤

- (1) 初始化检查，工况处于开车前状态，确认所有阀门和机泵均处于关闭状态。
- (2) 打开原料 A 进料阀，启动原料 A 输送泵 P101；打开原料 B 进料阀，启动原料 B 输送泵 P102，原料 A、B 按照一定比例进入混合罐 V101。
- (3) 混合罐 V101 达到一定的液位时，打开罐底阀门，混合原料(A+B)进入反应器 R101，打开 XV1105，打开催化剂 C 管线阀门，启动催化剂输送泵 P103，催化剂 C 与混合原料 (A+B) 按一定配比从反应器 R101 顶部加入。
- (4) 当反应器 R101 达到一定液位时，打开反应器 R101 夹套加热蒸汽管线阀门及凝结水管线阀门，关闭 XV1105，进行升压操作，夹套通入加热蒸汽使反应器物料升温诱发反应。
- (5) 当反应物料达到活化温度后，关闭反应器 R101 夹套加热蒸汽管线阀门及凝结水管线阀门，停止进加热蒸汽。原料 A、B 在催化剂 C 作用下进行化学反应，生成产品 D 及副产物 E，并放出大量热能。
- (6) 当反应器 R101 液位持续升高达到一定液位时，打开反应器 R101 底部管线阀门，反应生成物进入闪蒸罐 V102 进行闪蒸。
- (7) 当反应器 R101 温度达到一定生产工艺值时，打开反应器 R101 循环冷却水上水管线阀门，冷却水通过内盘管进入反应器吸收热量，以控制反应器 R101 温度，并为此反应温度在可反应范围内。
- (8) 在反应生成液进入闪蒸罐 V102 后，V102 达到一定的液位时，启动真空泵 P104，打开闪蒸罐顶部排空阀门，闪蒸罐开始抽真空并维持在一定真空度。

（9）当闪蒸罐维持稳定后，打开冷凝器 E102 循环冷却水上水管线阀门，冷凝器 E102 投用。关闭闪蒸罐顶部排空阀门，打开闪蒸物料进入冷凝器 E102 管线阀门，闪蒸罐顶部物料经冷凝器冷凝后进入冷凝罐 V103。

（10）当冷凝罐 V103 达到一定液位时，启动 A 循环泵 P106，打开 A 物料循环管线阀门，A 物料进入混合罐 V101 进行循环使用。

（11）当闪蒸罐 V102 达到一定的液位时，启动 D 输送泵 P105，打开闪蒸罐底部产品 D 混合物管线阀门，产品 D 混合物进入下游分离工序，以提纯产品 D。

（12）开车过程完成后，投入自动控制系统，使工艺过程平稳运行，并保证满足工艺生产要求。

附录一 工艺参数、设备数据及物性数据

1 工艺参数

工艺参数表			
序号	工艺说明	单位	工艺参数
1	混合罐 V101 液位	%	20~70
2	反应器 R101 液位	%	20~70
3	闪蒸罐 V102 液位	%	20~70
4	冷凝罐 V103 液位	%	20~70
5	反应器 R101 温度	℃	130~170
6	闪蒸罐 V102 温度	℃	100~140
7	冷凝罐 V103 温度	℃	20~100
8	反应器 R101 压力	kPa	130~150
9	闪蒸罐 V102 压力	kPa	30~101
10	产品 D 纯度	%	≥75

2 设备数据

设备数据表			
序号	位号	名称	设备参数
1	R101	反应器	型式：立式、夹套、内盘管；内径：1m，高度：3m； 操作介质：A、B、C、D、E； 设计压力：250kPa，设计温度：180℃；
2	V101	混合罐	型式：立式；内径：0.6m，高度：3m；操作介质：A、B； 设计压力：120kPa，设计温度：100℃；
3	V102	闪蒸罐	型式：立式；内径：0.8m，高度：3m； 操作介质：A、B、C、D、E； 设计压力（最高/最低）：250kPa/20kPa；设计温度：180℃；
4	V103	冷凝罐	型式：卧式；内径：0.5m，长度：2m； 操作介质：A、少量 B+C+D+E；

			设计压力：250kPa，设计温度：160℃；
5	E102	冷凝器	型式：列管式、卧式； 内径：0.4m，长度：3m，换热面积：100m ² ； 操作介质：管程：A、少量 B+C+D+E，壳程：循环冷却水； 设计压力：管程：150kPa，壳程：250kPa； 设计温度：管程：150℃，壳程：100℃；
6	P101	A 进料泵	操作介质：原料 A；扬程：30m； 出口压力：313kPa；操作温度：20～25℃；
7	P102	B 进料泵	操作介质：原料 B；扬程：25m； 出口压力：307kPa；操作温度：20～25℃；
8	P103	C 输送泵	操作介质：催化剂 C；扬程：20m； 出口压力：293kPa；操作温度：20～25℃；
9	P104	真空泵	操作介质：A、少量 B+C+D+E；抽气量：5000m ³ /h；
10	P105	D 输送泵	操作介质：产品 D 混合物；扬程：20m； 出口压力：227kPa；操作温度：100～140℃；
11	P106	循环泵	操作介质：A、少量 B+C+D+E；扬程：25m 出口压力：279kPa；操作温度：20～100℃；

3 物性数据

物性数据表					
序号	名称	分子量 g/mol	密度 kg/m ³	沸点℃	汽化潜热 J/mol
1	A	36	720	105	7513
2	B	24	840	120	14369
3	C	72	980	150	10817
4	D	84	910	135	15356
5	E	60	880	140	12608
6	H ₂ O	18	1000	100	44848
7	F	108	1100	132	34562

附录二 IO 变量地址表

ProfibusDP 通讯 IO 变量地址列表							
序号	位号	说明	单位	仪表 下限	仪表 上限	类型	地址
1	FI1106	产品D混合物流量	kg/s	0	40	模拟量输出	IW+0
2	FI1101	原料A流量	kg/s	0	12	模拟量输出	IW+2
3	FI1102	原料B流量	kg/s	0	12	模拟量输出	IW+4
4	FI1103	原料混合进料流量	kg/s	0	30	模拟量输出	IW+6
5	FI1104	催化剂C流量	kg/s	0	3	模拟量输出	IW+8
6	FI1105	反应生成液流量	kg/s	0	40	模拟量输出	IW+10
7	FI1107	闪蒸罐V102顶部物料出口流量	kg/s	0	5	模拟量输出	IW+12
8	FI1201	反应器R101循环上水流量	kg/s	0	60	模拟量输出	IW+14
9	FI1202	反应器R101加热蒸汽流量	kg/s	0	3	模拟量输出	IW+16
10	FI1203	冷凝器E102循环上水流量	kg/s	0	20	模拟量输出	IW+18
11	LI1101	混合罐V101液位	%	0	100	模拟量输出	IW+20
12	LI1102	反应器R101液位	%	0	100	模拟量输出	IW+22
13	LI1201	闪蒸罐V102液位	%	0	100	模拟量输出	IW+24
14	TI1101	混合罐V101温度	℃	0	100	模拟量输出	IW+26
15	TI1102	取消	℃	0	100	模拟量输出	IW+28
16	TI1103	反应器R101温度	℃	0	200	模拟量输出	IW+30
17	TI1104	闪蒸罐V102温度	℃	0	200	模拟量输出	IW+32
18	TI1105	物料E102冷凝后温度	℃	0	200	模拟量输出	IW+34
19	TI1201	反应器R101循环回水温度	℃	0	200	模拟量输出	IW+36
20	TI1202	反应器R101加热蒸汽凝结水温度	℃	0	200	模拟量输出	IW+38
21	PI1101	冷凝罐V103压力	kPa	0	250	模拟量输出	IW+40
22	PI1102	反应器R101压力	kPa	0	250	模拟量输出	IW+42
23	PI1103	闪蒸罐V102压力	kPa	0	250	模拟量输出	IW+44
24	FI1108	循环物料流量	kg/s	0	5	模拟量输出	IW+46

25	LI1202	冷凝罐V103液位	%	0	100	模拟量输出	IW+48
26	TI1203	冷凝罐V103温度	℃	0	200	模拟量输出	IW+50
27	AI1101	产品D纯度	%	0	100	模拟量输出	IW+52
1	FV1106	闪蒸罐V102底部产品D混合物管线阀门	%	0	100	模拟量输入	QW+0
2	PV1101	闪蒸罐V102顶部循环物料管线阀门	%	0	100	模拟量输入	QW+2
3	FV1101	原料A管线阀门	%	0	100	模拟量输入	QW+4
4	FV1102	原料B管线阀门	%	0	100	模拟量输入	QW+6
5	FV1103	混合罐V101底部混合进料管线阀门	%	0	100	模拟量输入	QW+8
6	FV1104	催化剂C管线阀门	%	0	100	模拟量输入	QW+10
7	S1101	变频真空泵P104频率	%	0	100	模拟量输入	QW+12
8	FV1105	反应器R101底部反应生成液管线阀门	%	0	100	模拟量输入	QW+14
9	PV1102	闪蒸罐V102顶部抽真空阀门	%	0	100	模拟量输入	QW+16
10	FV1108	循环物料管线阀门	%	0	100	模拟量输入	QW+18
11	FV1204	冷凝器E102冷却水管线阀门	%	0	100	模拟量输入	QW+20
12	FV1201	反应器R101循环上水管线阀门	%	0	100	模拟量输入	QW+22
13	FV1202	反应器R101加热蒸汽管线阀门	%	0	100	模拟量输入	QW+24
14	FV1203	反应器R101循环回水至界区管线阀门	%	0	100	模拟量输入	QW+26
1	HS1106	循环泵P106开关				数字量输入	Q+2.0
2	XV1101	抑制剂F管线阀门				数字量输入	Q+2.1
3	XV1102	冷凝罐V103排气阀				数字量输入	Q+2.2
4	HS1105	产品D混合物输送泵P105开关				数字量输入	Q+2.3
5	XV1105	反应器R101顶部放空管线开关阀				数字量输入	Q+2.4
6	HS1101	原料A进料泵P101开关				数字量输入	Q+2.5
7	HS1102	原料B进料泵P102开关				数字量输入	Q+2.6
8	HS1103	催化剂输送泵P103开关				数字量输入	Q+2.7
9	HS1104	真空泵P104开关				数字量输入	Q+3.0

Ethernet 通讯 IO 变量地址列表							
序号	位号	说明	单位	仪表 下限	仪表 上限	类型	地址
1	FI1106	产品D混合物流量	kg/s	0	40	模拟量输出	DB1.DBW2
2	FI1101	原料A流量	kg/s	0	12	模拟量输出	DB1.DBW4
3	FI1102	原料B流量	kg/s	0	12	模拟量输出	DB1.DBW6
4	FI1103	原料混合进料流量	kg/s	0	30	模拟量输出	DB1.DBW8
5	FI1104	催化剂C流量	kg/s	0	3	模拟量输出	DB1.DBW10
6	FI1105	反应生成液流量	kg/s	0	40	模拟量输出	DB1.DBW12
7	FI1107	闪蒸罐V102顶部物料出口流量	kg/s	0	5	模拟量输出	DB1.DBW14
8	FI1201	反应器R101循环上水流量	kg/s	0	60	模拟量输出	DB1.DBW16
9	FI1202	反应器R101加热蒸汽流量	kg/s	0	3	模拟量输出	DB1.DBW18
10	FI1203	冷凝器E102循环上水流量	kg/s	0	20	模拟量输出	DB1.DBW20
11	LI1101	混合罐V101液位	%	0	100	模拟量输出	DB1.DBW22
12	LI1102	反应器R101液位	%	0	100	模拟量输出	DB1.DBW24
13	LI1201	闪蒸罐V102液位	%	0	100	模拟量输出	DB1.DBW26
14	TI1101	混合罐V101温度	℃	0	100	模拟量输出	DB1.DBW28
15	TI1102	取消	℃	0	100	模拟量输出	DB1.DBW30
16	TI1103	反应器R101温度	℃	0	200	模拟量输出	DB1.DBW32
17	TI1104	闪蒸罐V102温度	℃	0	200	模拟量输出	DB1.DBW34
18	TI1105	物料E102冷凝后温度	℃	0	200	模拟量输出	DB1.DBW36
19	TI1201	反应器R101循环回水温度	℃	0	200	模拟量输出	DB1.DBW38
20	TI1202	反应器R101加热蒸汽凝结水温度	℃	0	200	模拟量输出	DB1.DBW40
21	PI1101	冷凝罐V103压力	kPa	0	250	模拟量输出	DB1.DBW42
22	PI1102	反应器R101压力	kPa	0	250	模拟量输出	DB1.DBW44
23	PI1103	闪蒸罐V102压力	kPa	0	250	模拟量输出	DB1.DBW46
24	FI1108	循环物料流量	kg/s	0	5	模拟量输出	DB1.DBW48
25	LI1202	冷凝罐V103液位	%	0	100	模拟量输出	DB1.DBW50
26	TI1203	冷凝罐V103温度	℃	0	200	模拟量输出	DB1.DBW52

27	AI1101	产品D纯度	%	0	100	模拟量输出	DB1.DBW54
1	HS1106	循环泵P106开关				数字量输入	DB2.DBX0.0
2	XV1101	抑制剂F管线阀门				数字量输入	DB2.DBX0.1
3	XV1102	冷凝罐V103排气阀				数字量输入	DB2.DBX0.2
4	HS1105	产品D混合物输送泵P105开关				数字量输入	DB2.DBX0.3
5	XV1105	反应器R101顶部放空管线开关阀				数字量输入	DB2.DBX0.4
6	HS1101	原料A进料泵P101开关				数字量输入	DB2.DBX0.5
7	HS1102	原料B进料泵P102开关				数字量输入	DB2.DBX0.6
8	HS1103	催化剂输送泵P103开关				数字量输入	DB2.DBX0.7
9	HS1104	真空泵P104开关				数字量输入	DB2.DBX1.0
1	FV1106	闪蒸罐V102底部产品D混合物管线阀门	%	0	100	模拟量输入	DB2.DBW2
2	PV1101	闪蒸罐V102顶部循环物料管线阀门	%	0	100	模拟量输入	DB2.DBW4
3	FV1101	原料A管线阀门	%	0	100	模拟量输入	DB2.DBW6
4	FV1102	原料B管线阀门	%	0	100	模拟量输入	DB2.DBW8
5	FV1103	混合罐V101底部混合进料管线阀门	%	0	100	模拟量输入	DB2.DBW10
6	FV1104	催化剂C管线阀门	%	0	100	模拟量输入	DB2.DBW12
7	S1101	变频真空泵P104频率	%	0	100	模拟量输入	DB2.DBW14
8	FV1105	反应器R101底部反应生成液管线阀门	%	0	100	模拟量输入	DB2.DBW16
9	PV1102	闪蒸罐V102顶部抽真空阀门	%	0	100	模拟量输入	DB2.DBW18
10	FV1108	循环物料管线阀门	%	0	100	模拟量输入	DB2.DBW20
11	FV1204	冷凝器E102冷却水管线阀门	%	0	100	模拟量输入	DB2.DBW22
12	FV1201	反应器R101循环上水管线阀门	%	0	100	模拟量输入	DB2.DBW24
13	FV1202	反应器R101加热蒸汽管线阀门	%	0	100	模拟量输入	DB2.DBW26
14	FV1203	反应器R101循环回水至界区管线阀门	%	0	100	模拟量输入	DB2.DBW28

注：Ethernet 通讯的地址列表，基于设置—DB1 存放仪表数据、DB2 存放阀门等执行机构的数据；