第十讲化工过程单元设计（2）

田文德
青岛科技大学化工学院
TEL: 0532-84022026
Email: tianwd@qust.edu.cn

精馏塔的设计

❖精馏是多级分离过程，即同时进行多次部分冷凝和部分汽化的过程，可使混合液得到几乎完全的分离。为满足工业上连续化高纯度分离要求，精馏塔在工业上的应用非常 广泛，尤其是板式塔。而确定板式精馏塔理论版层数就成了精馏塔设计的关键，本节针对多元精馏问题介绍利用**Aspen**进行简捷设计、简捷核算、严格核算和塔板设计的过程。
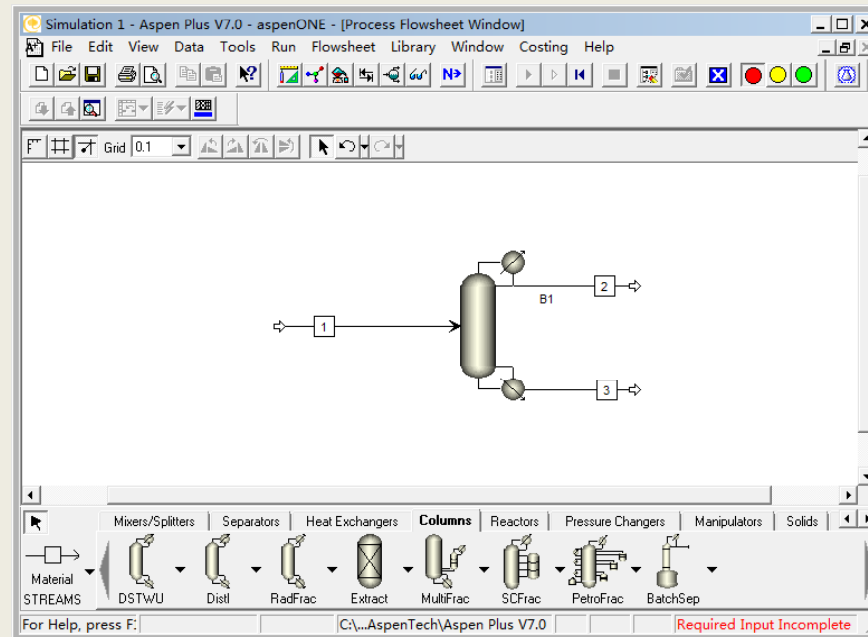
多元简捷法

❖ **Aspen**中的**DSTWU**模块用**Winn-Underwood-Gilliland**简捷法进行精馏塔的设计，根据给定的加料条件和分离要求计算最小回流比、最小理论板数、给定回流比下的理论板数和加料板位置。
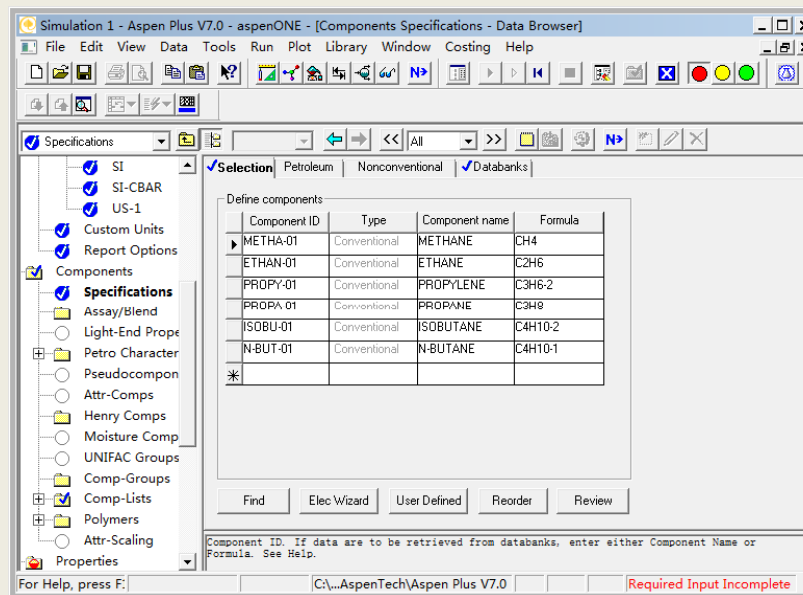
模拟实例

❖设计一个脱乙烷塔，从含有**6**个轻烃的混合物中回收乙烷，进料组成、各组分的相对挥发度和对产物的分离要求模拟中会给出，泡点进料。试用简捷法计算所需的理论版层数，并分析回流比对理论板数的影响。
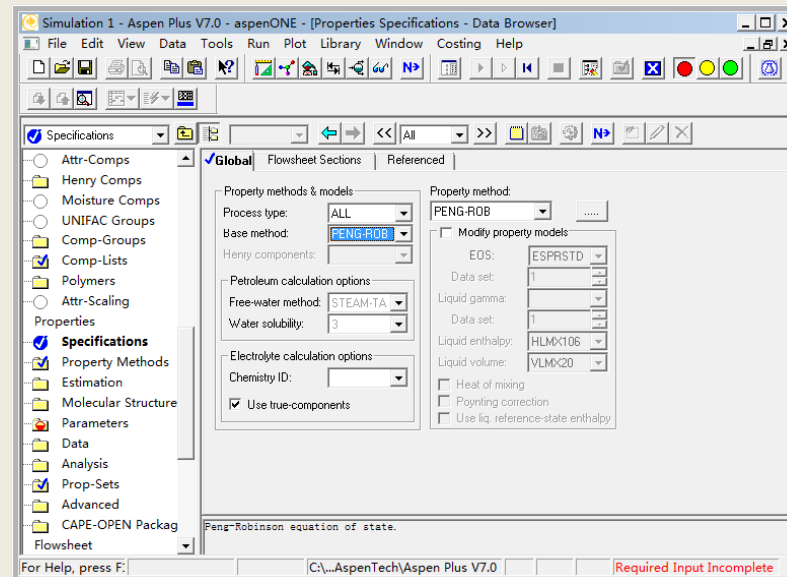
搭建流程图

指定组分

※输入各组分，如图:

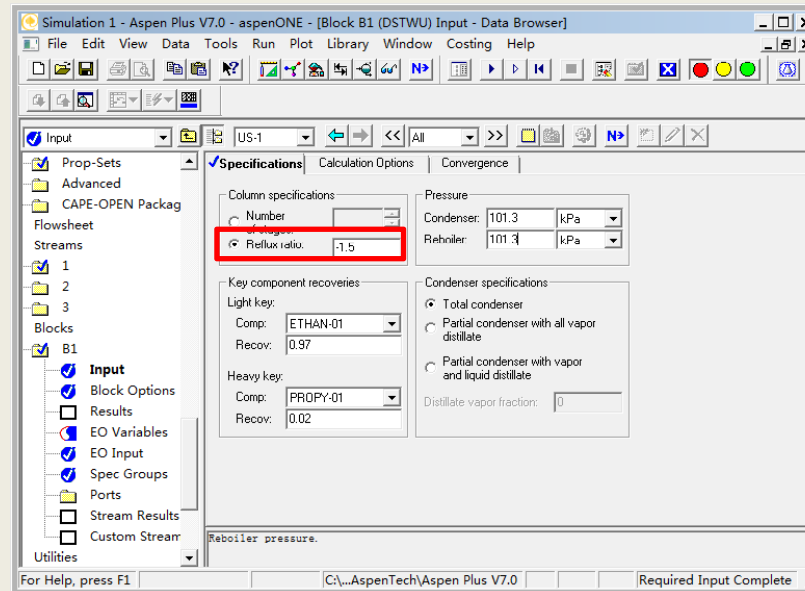# 指定热力学方法

※选择**PENG-ROB**即**PR**方程，如图:
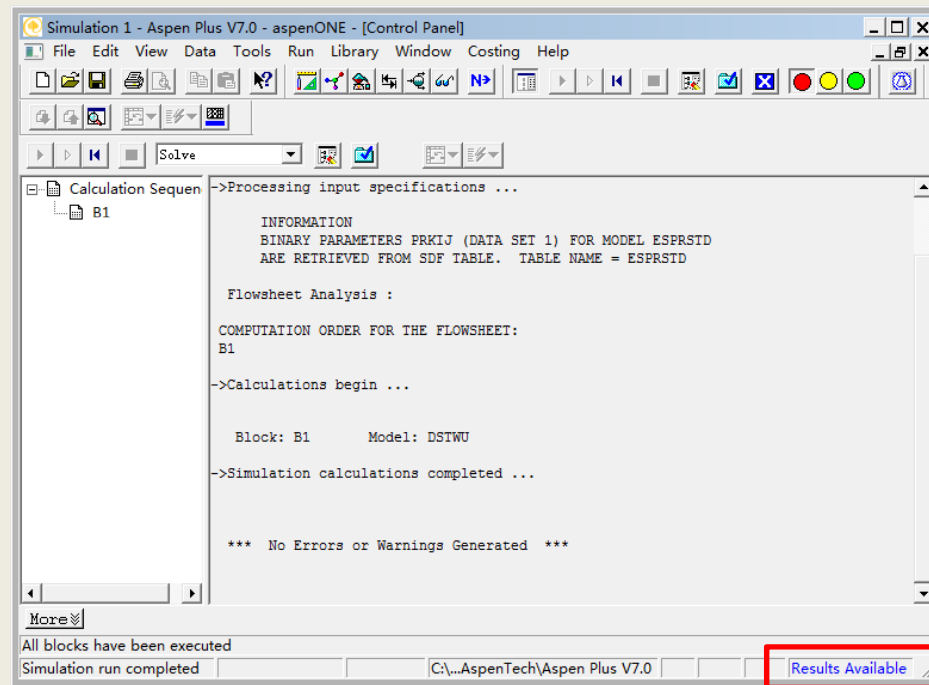
查看二元交互参数

输入进料物流数据

※输入物流**1**的参数，如图:

输入塔B1参数

※ 输入回流比系数**1.5**，冷凝器和再沸器的操作压力位常压，轻组分乙烷的回收率为**0.97**，重组分丙烯的回收率为**0.02**，回流比文本框中，若输入正值，表示真实的回流比；如果输入负值。则表示真实回流比与最小回流比的比值，如图:
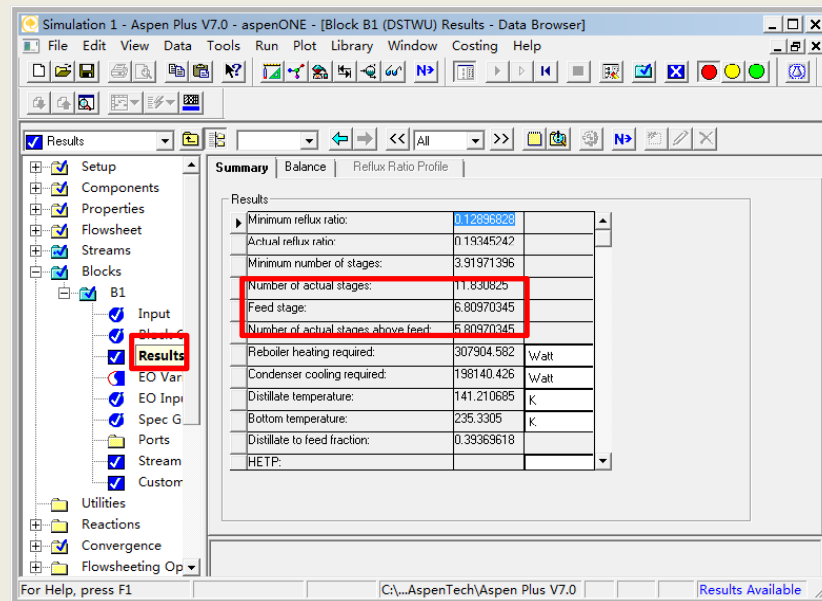
运行模拟

查看模拟结果（1）

※该塔所需的理论板数为**11.8**，在第**6.8**块板处进料，如图:

塔板和填料设计

※**Aspen**软件中的**RadFrac**模块同时联解物料平衡、能量平衡和相平衡关系，用逐板计算方法求解给定塔设备的操作结果。该模块用于精确计算精馏塔、吸收塔的分离能力和设备参数。通常，采用简捷法得到塔设备参数，还要用**RadFrac**模块进行严格的核算计算，并对塔板和填料进行设计。

塔板类型

※五种塔板供选用：
- ➢ 泡罩塔板
- ➢ 筛板
- ➢ 浮阀塔板
- ➢ 弹性浮阀塔板
- ➢ 条形浮阀塔板

散堆填料类型

※ 五种典型的散堆填料：
- 拉西环
- 鲍尔环
- 阶梯环
- 矩鞍环
- 超级环

规整填料类型

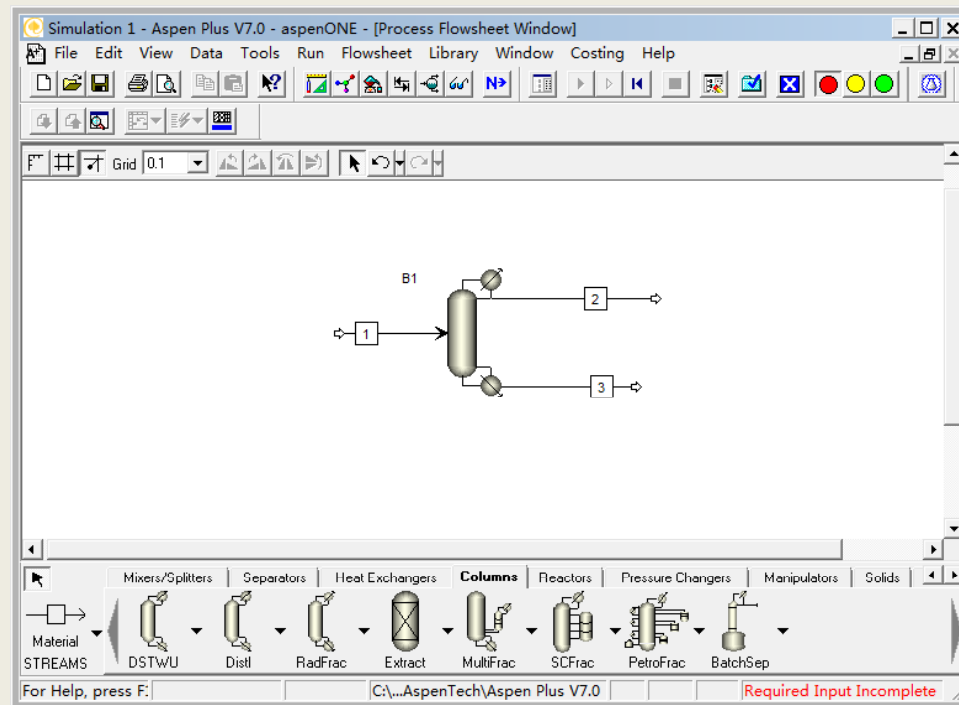※五种典型的规整填料：
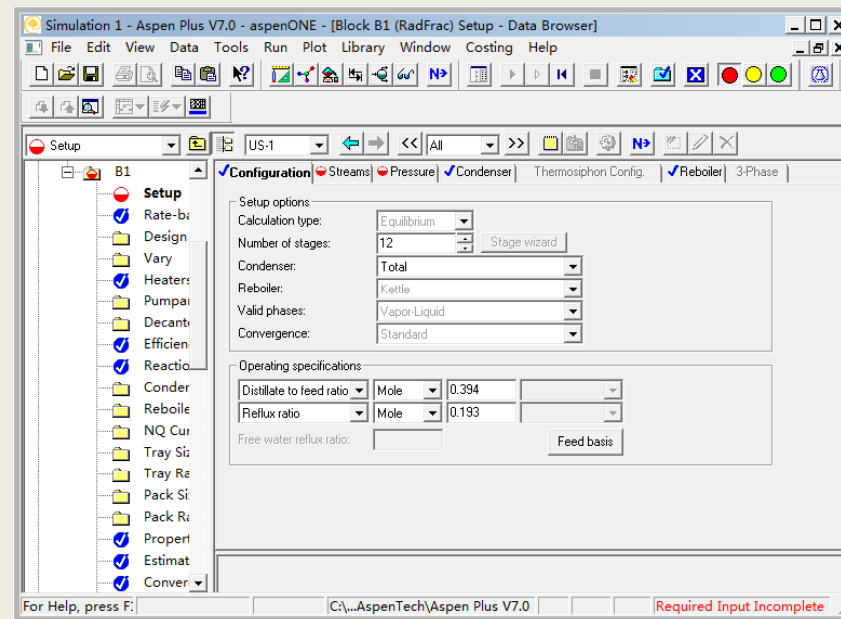- 带孔板波填料
- 带孔网波填料
- 带缝板波填料
- 陶瓷板波填料
- 格栅规整填料

RadFrac模型

※其可以设定实际塔板的板效率。用户可选用蒸发效率或默弗里效率，并选择指定单块板的效率、单个组分的效率、或塔短的效率。
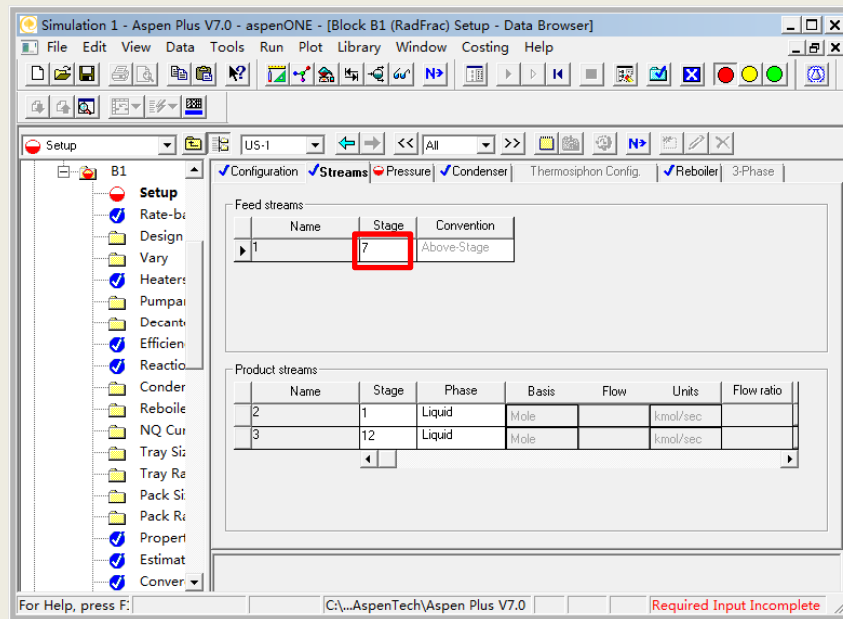
※针对上例简捷计算的结果，假设全塔的默弗里效率为**0.5**，进行严格计算，并设计塔板和填料。

搭建流程图

指定塔B1参数（1）
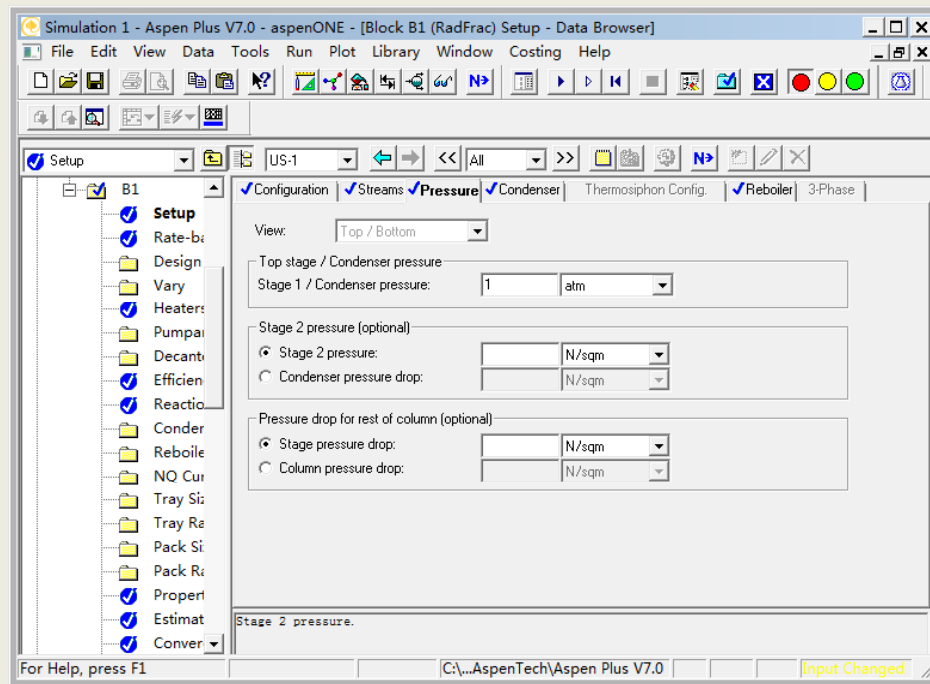
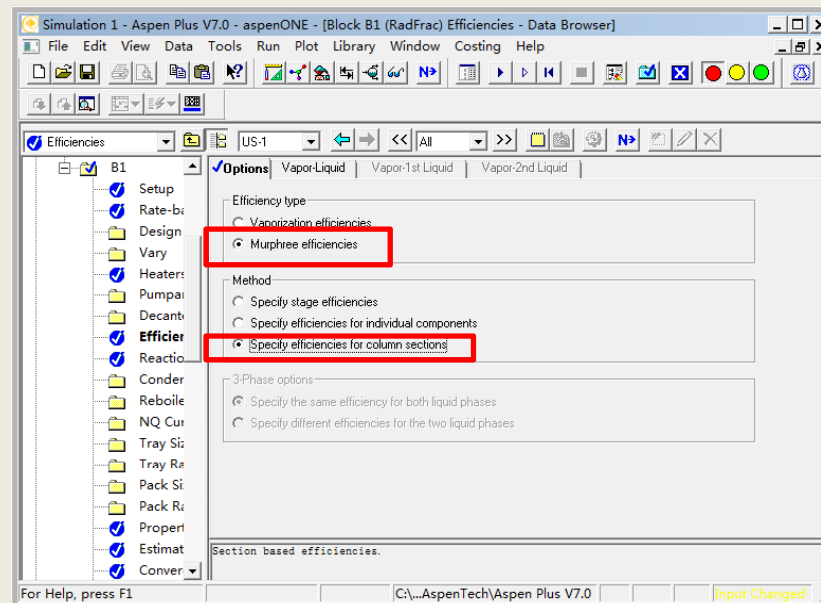※输入理论板数为**12**，全凝器，回流比为**0.193**，产品与进料的流量比为**0.394**，如图:

指定塔B1参数（2）

※指定进料版位置为**7**，如图:

指定塔B1参数（3）

※指定塔的操作压力位常压，如图:

指定塔B1参数（4）
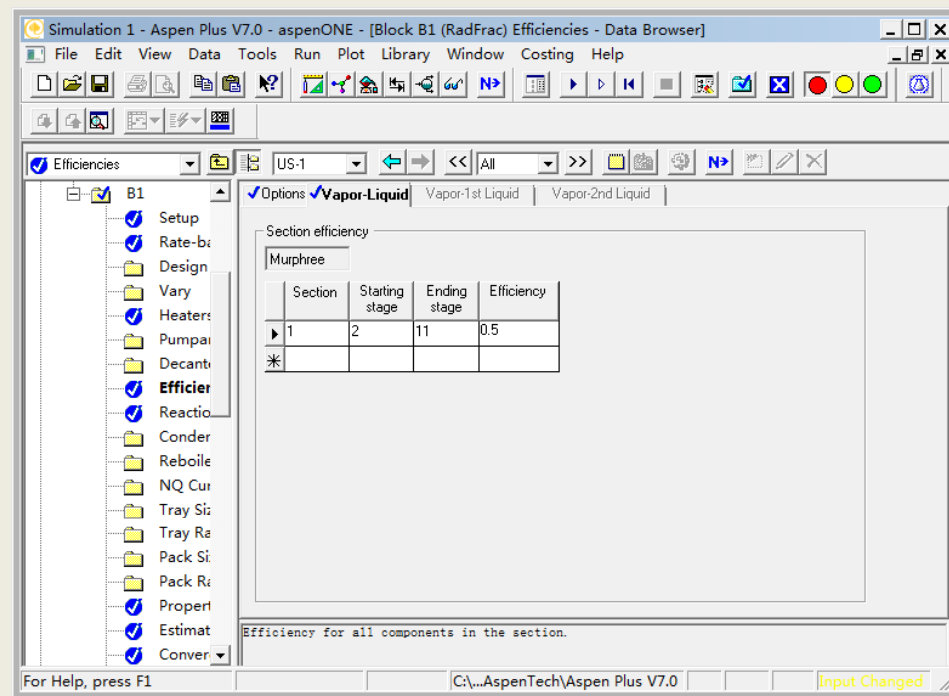
※在**B1**的**Efficiencies**的**Options**标签下指定效率类型为默弗里效率，并通过塔段来输入该效率，如图:

指定塔B1参数（5）

※在**Vapor-Liquid**标签下，新建一个塔段**1**，指定其开始和结束塔板分别为**2**和**11**，并输入效率**0.5**，如图:
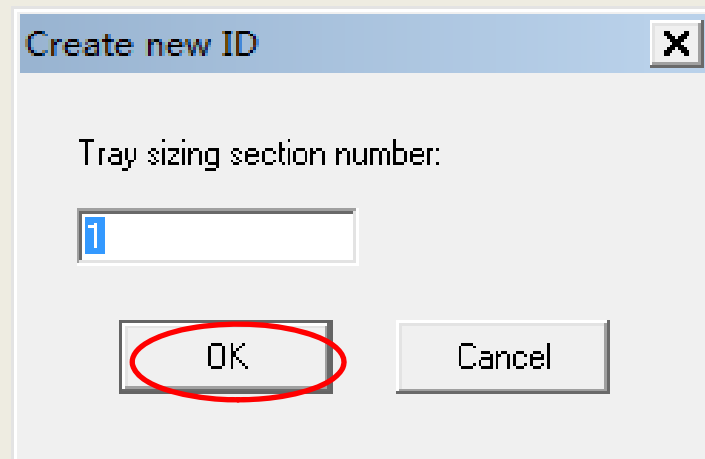
指定塔B1参数（6）

※在**Tray Sizing**下新建一个塔板设计模块，如图:
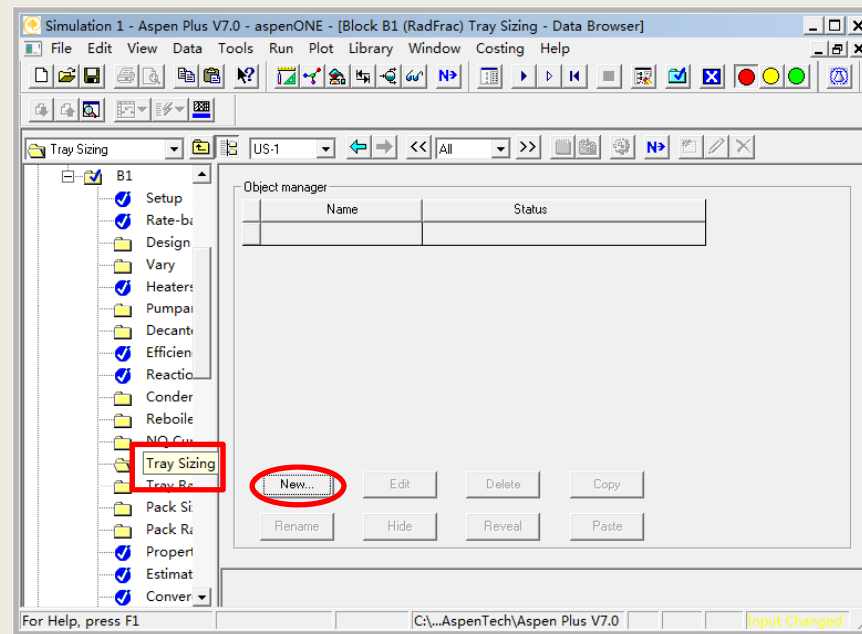
指定塔B1参数（7）

※点击上图的 **NEW**，出现下图对话框，采用默认的**ID**如图:

指定塔B1参数（8）
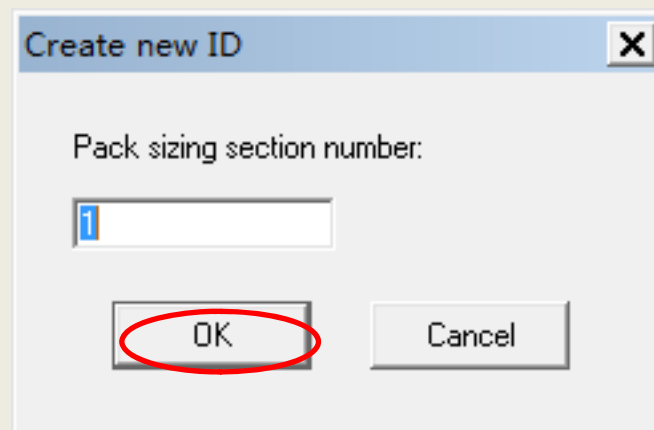
※点击上图的**OK**，输入塔板范围为**2至11**，
塔板类型选为**Sieve**（筛板），如图:
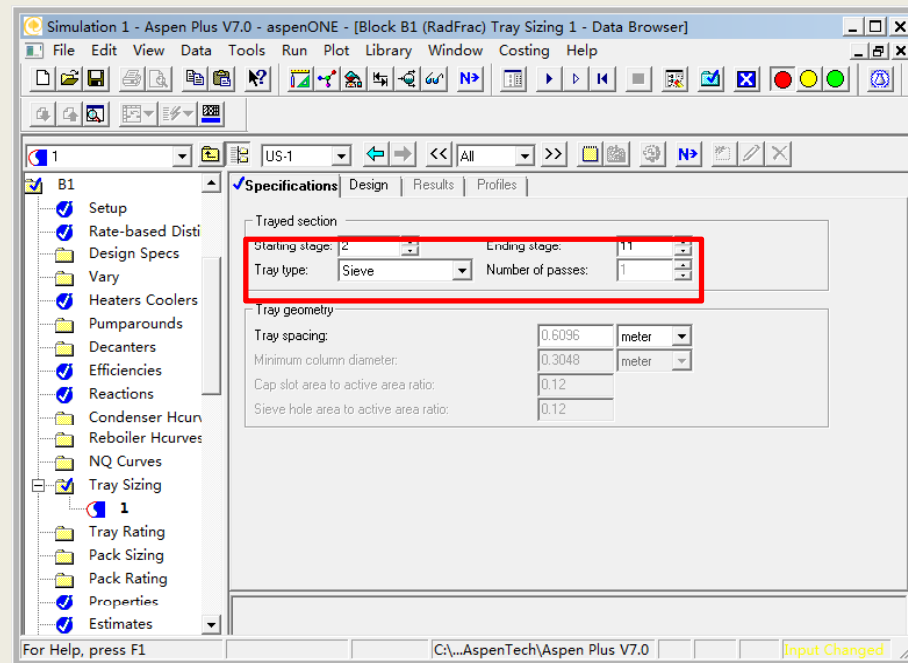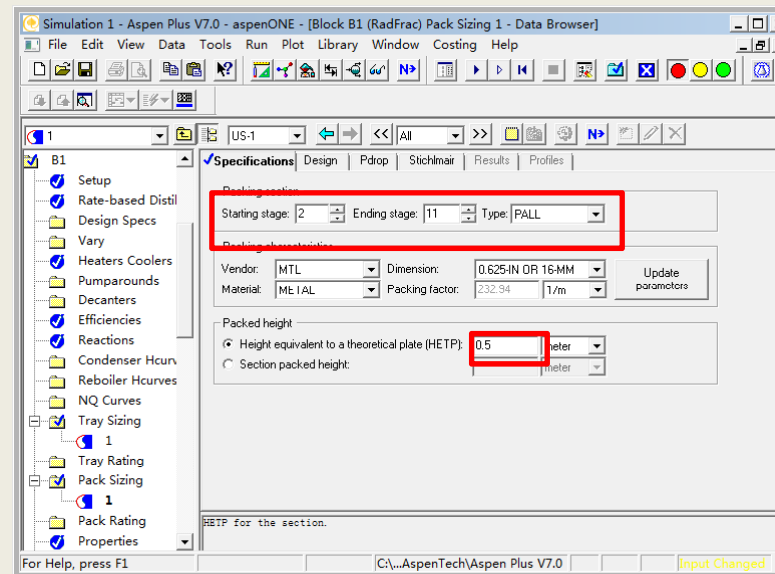
指定塔B1参数（9）

※在**Pack Sizing**下新建一个填料设计模块，如图:
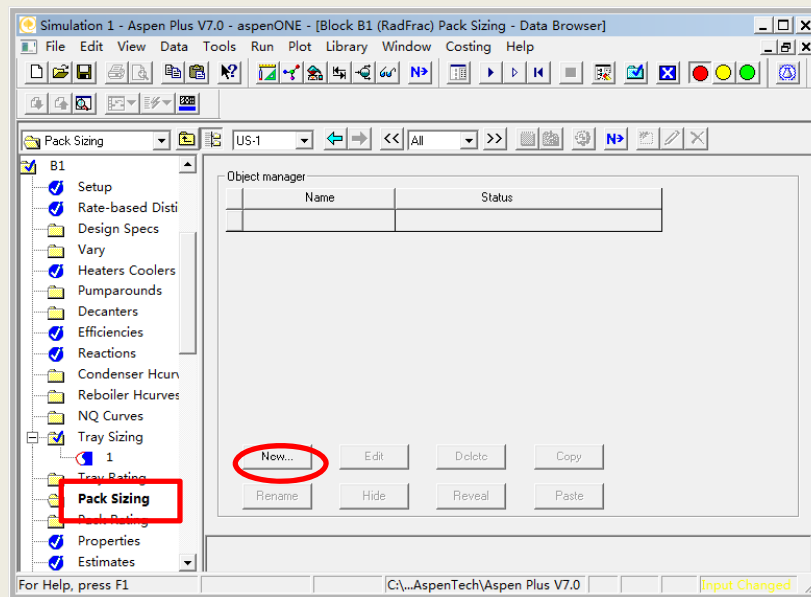
指定塔**B1**参数（**10**）

※点击上图的 **NEW**，出现下图对话框，采用默认的**ID** 如图:

指定塔**B1**参数（**11**）

※点击上图的**OK**，输入塔板范围为**2**至**11**，
填料类型为鲍尔环，等板高度为**0.5**，
如图:

运行模拟
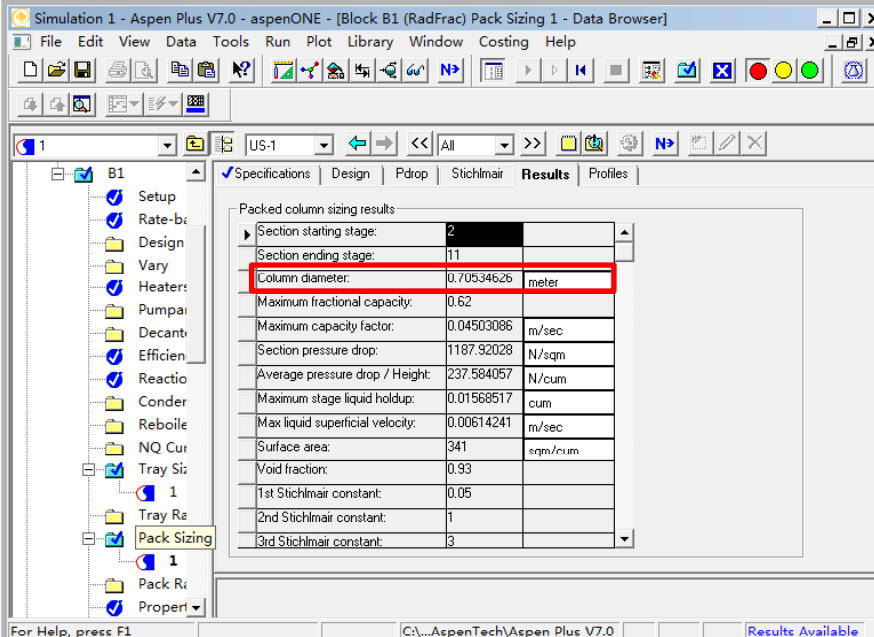
查看模拟结果（1）

※采用筛板的塔径为**0.593**米　如图:
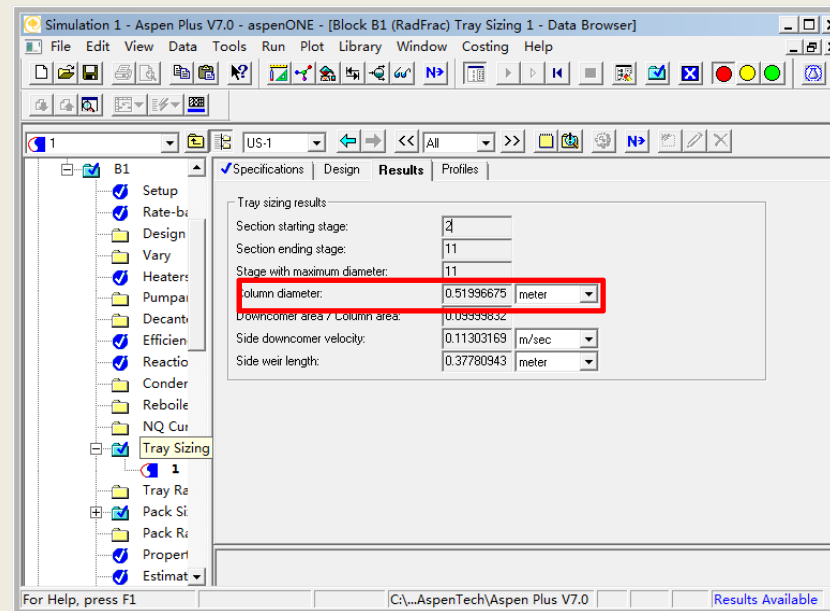
查看模拟结果（**2**）

※采用鲍尔环填料的塔径为**0.711**米，如图:

查看模拟结果（**3**）

※点击**B1**的 **Profiles**，可以查看各块塔板上与温度有关的数据，如图**:**

反应器的设计

※化学反应器是整个化工工艺流程的核心，是实现化学物质转化的必要工序。反应器的设计一般包括下列内容：

➤ 根据反应过程的化学基础和生产工艺的基本要求，进行反应器的选型设计

➤ 根据化学反应与有关流体力学、热量、质量传递过程综合宏观反应动力学，计算反应器的尺寸

➤ 反应器的机械设计、稳定分析等

全混流反应器

※全混流反应器是一类在化工生产中广泛采用的反应器，一般用于大规模连续化生产。在这种反应器中，反应物料连续加入，釜内物料连续排出。原料加入后立即与釜内物料均匀混合，釜内各处的温度、浓度等参数保持均一，并与出口物料的对应参数相同。由于釜内物料容积大，所以当进料条件发生波动时，釜内反应条件不会发生很大变化，故而操作稳定性好，安全性高。
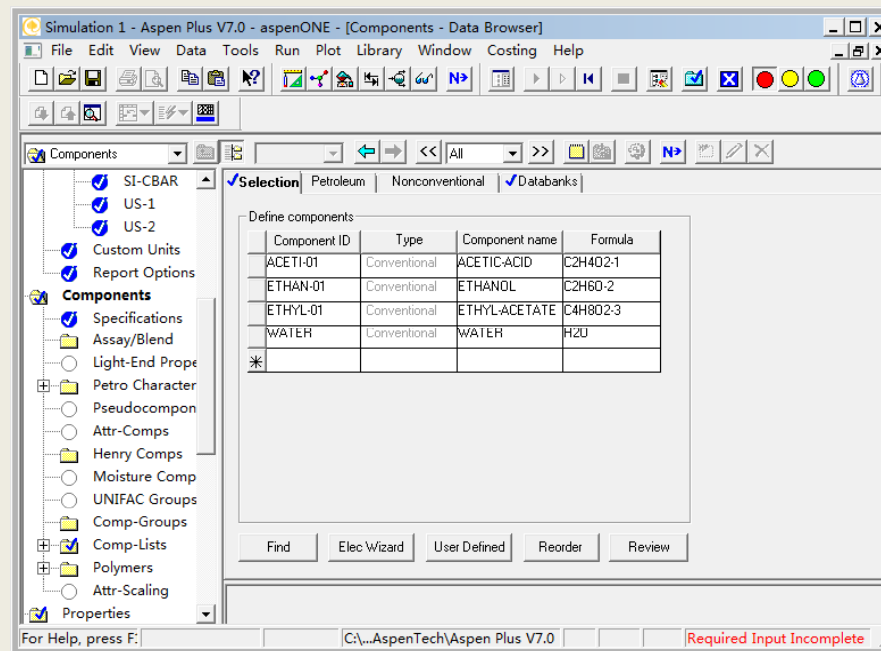
模拟实例

※【例】现需要进行乙酸乙酯反应，进料温度为**110℃**，压力位230Kpa，流量为100Kmol/h，组成为乙酸0.3，乙醇0.3，水0.4（摩尔分数），采用全混流反应器进行上述反应，试计算乙酸转化率为**0.15**时，所需的反应器体积。

搭建流程图
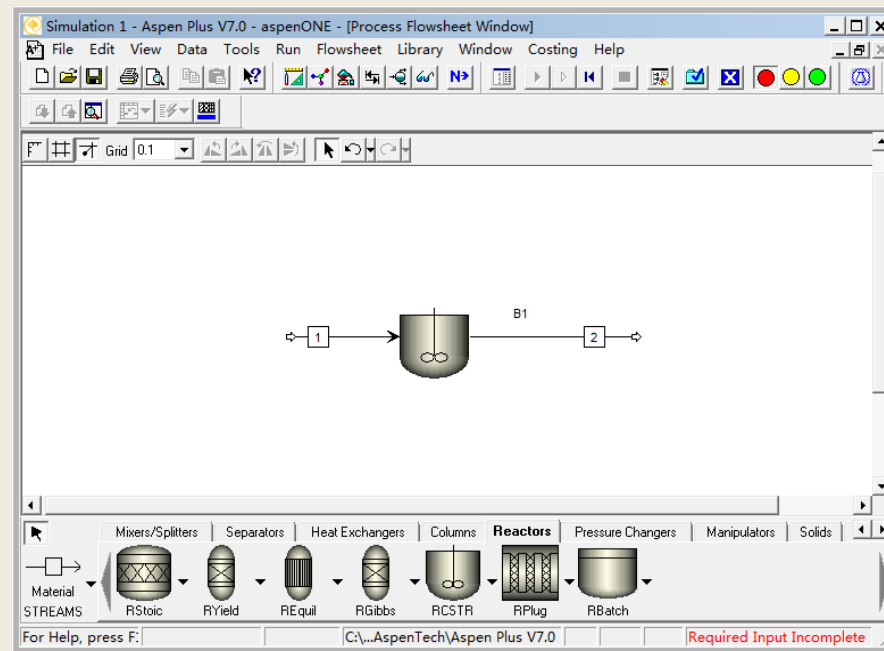
指定组分

※输入组分乙酸，乙醇，乙酸乙酯，水，如图：

指定进料物流参数

※输入物流**1**的参数，如图:
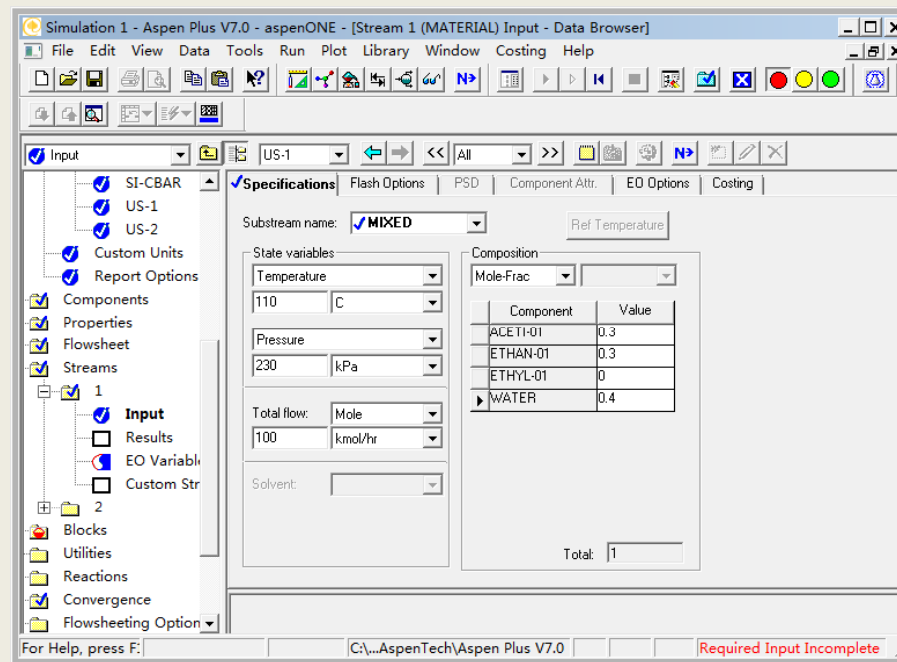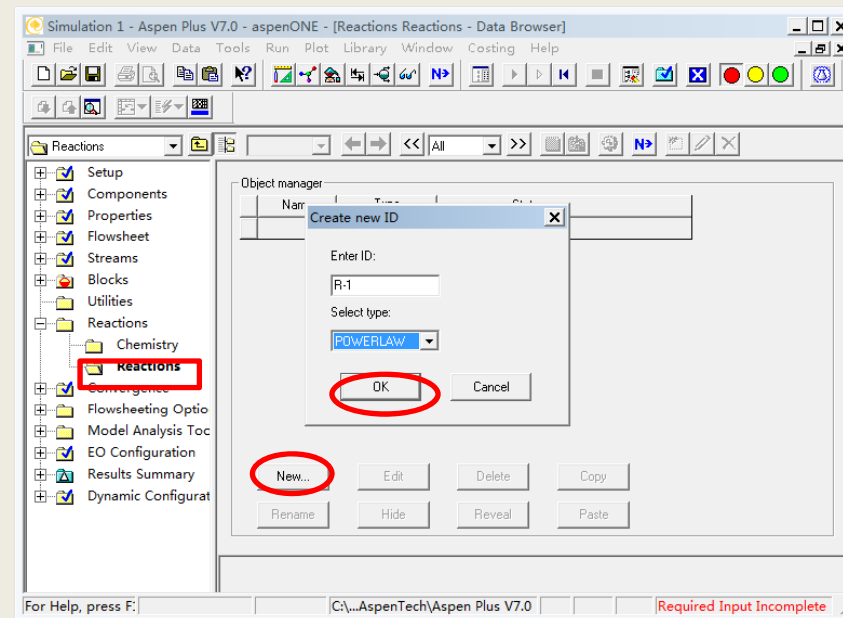
新建反应组（**1**）

※点击**NEW**按钮，新建一个**POWERLAW**类型的反应组**R-1**，如图:

新建反应组（**2**）

※输入乙酸酯化正反应，如图:

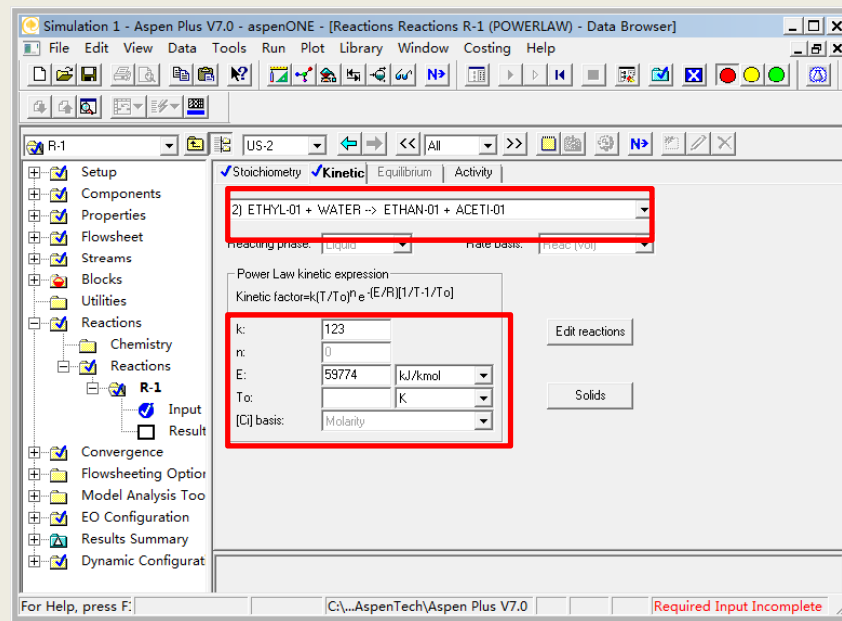# 新建反应组（**3**）

※输入乙酸酯化逆反应，如图:

新建反应组（**4**）

※反应添加完毕，如图:

输入动力学参数（1）

※输入乙酸酯化正反应的动力学参数，如图:
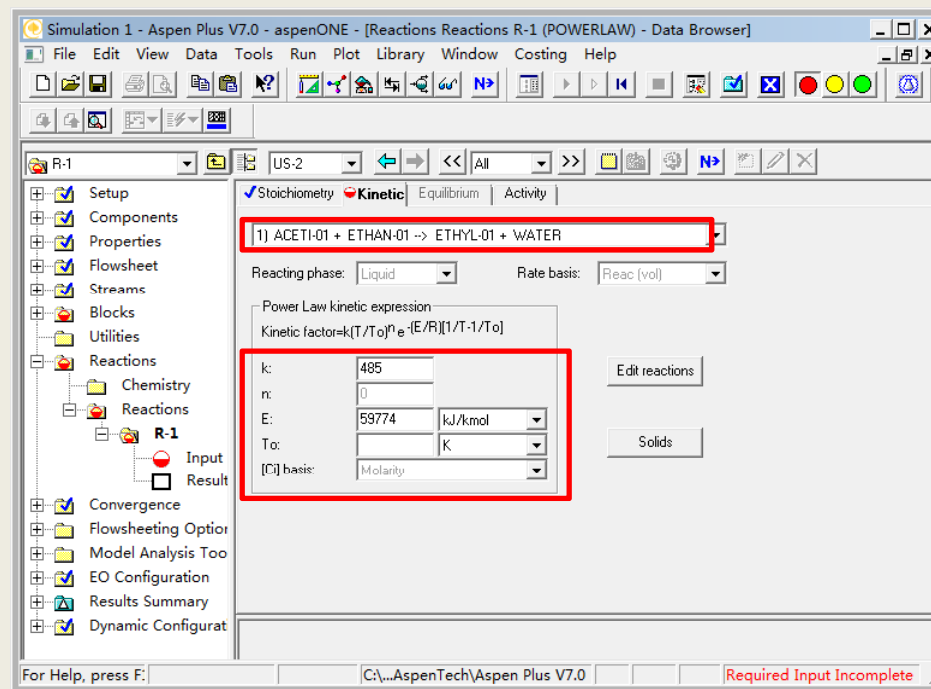
输入动力学参数（**2**）

※输入乙酸酯化逆反应的动力学参数，如图:

指定**B1**参数

※设置反应器的压力、绝热反应、有效相态、体积，如图:
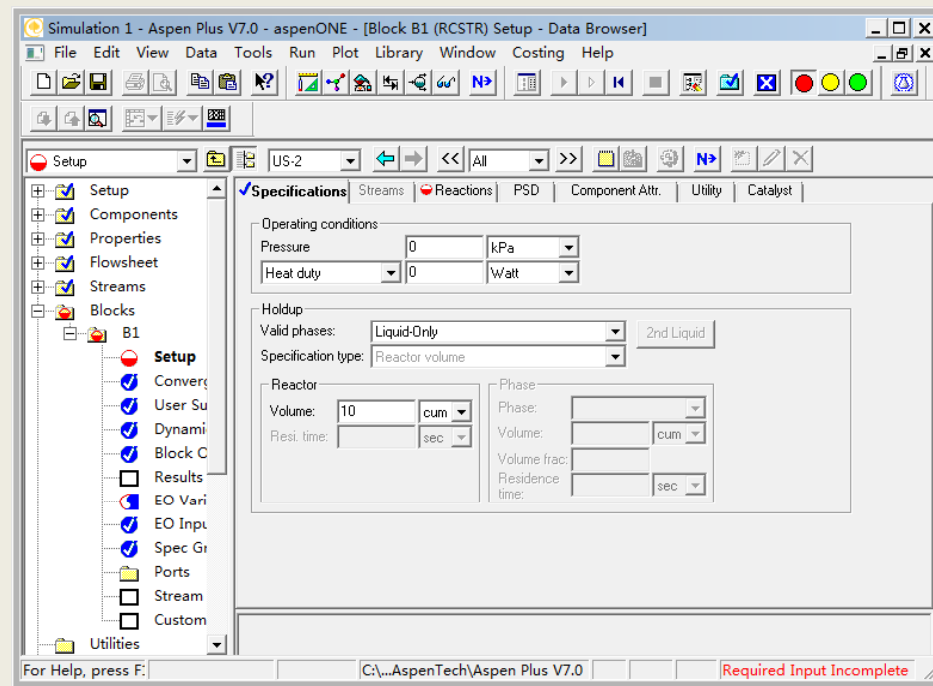
将反应组加入到反应器中
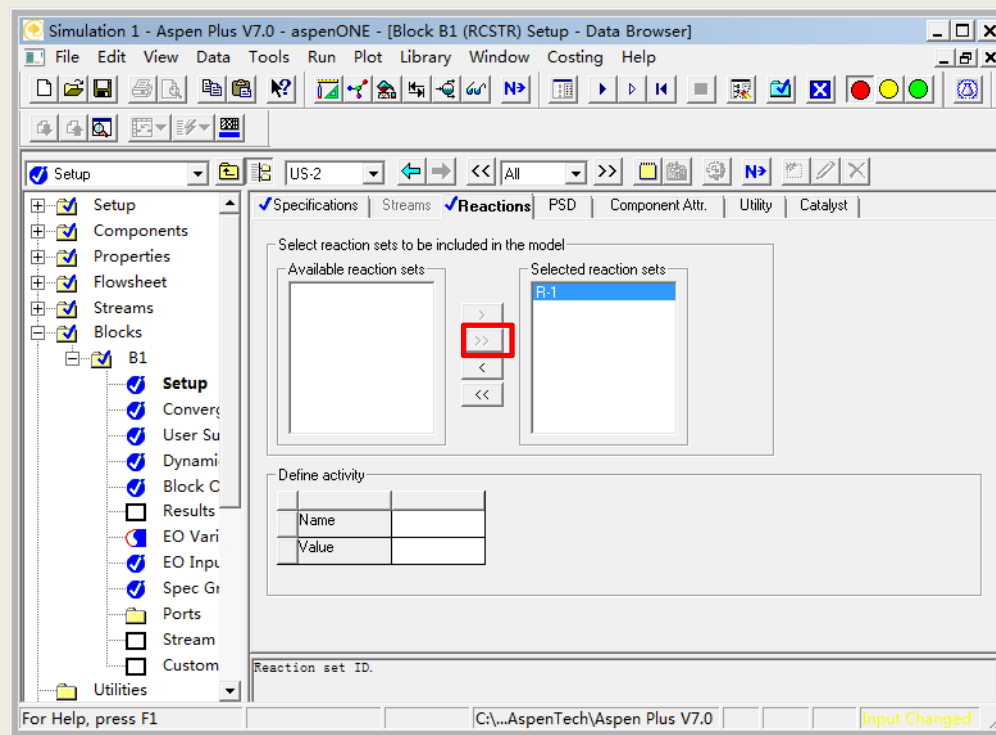
新建设计规定（1）
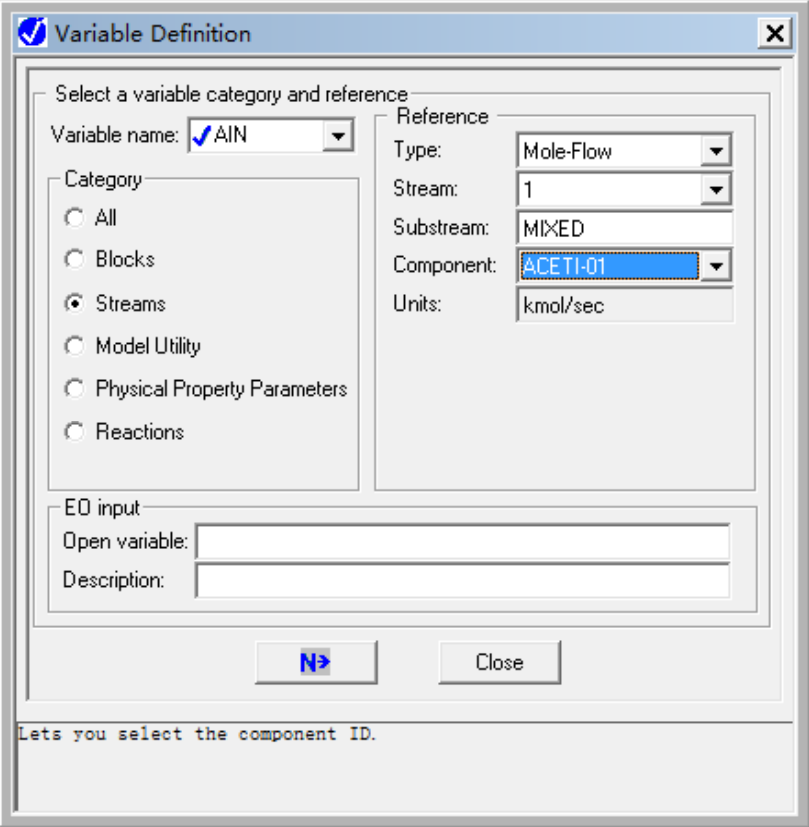
※新建设计规定，采用默认的**ID**，如图：
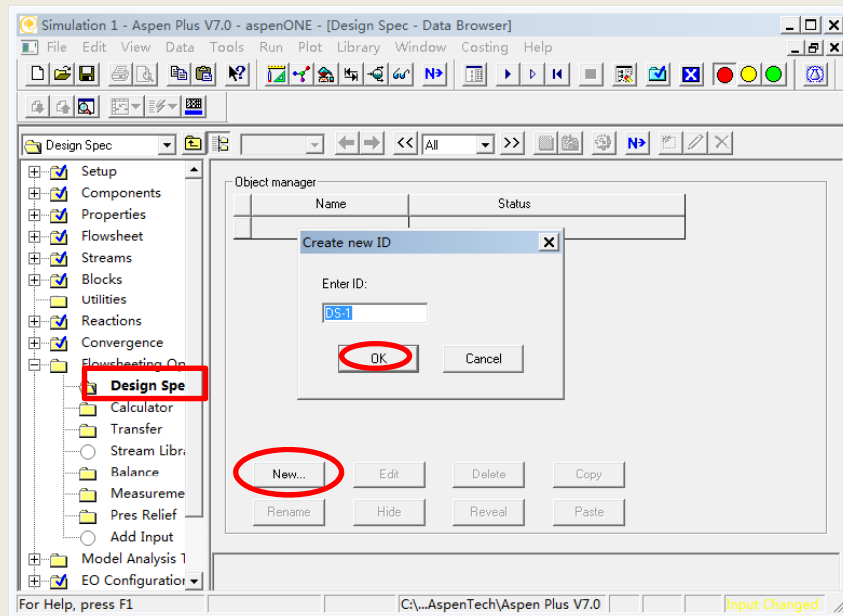
新建设计规定（**2**）

※定义变量**AIN**表示乙酸在进料中的摩尔流量，如图:

新建设计规定（**3**）

※定义变量**AOUT**表示乙酸在进料中的摩尔流量，如图:

新建设计规定（**4**）

※变量定义完成后，如图:
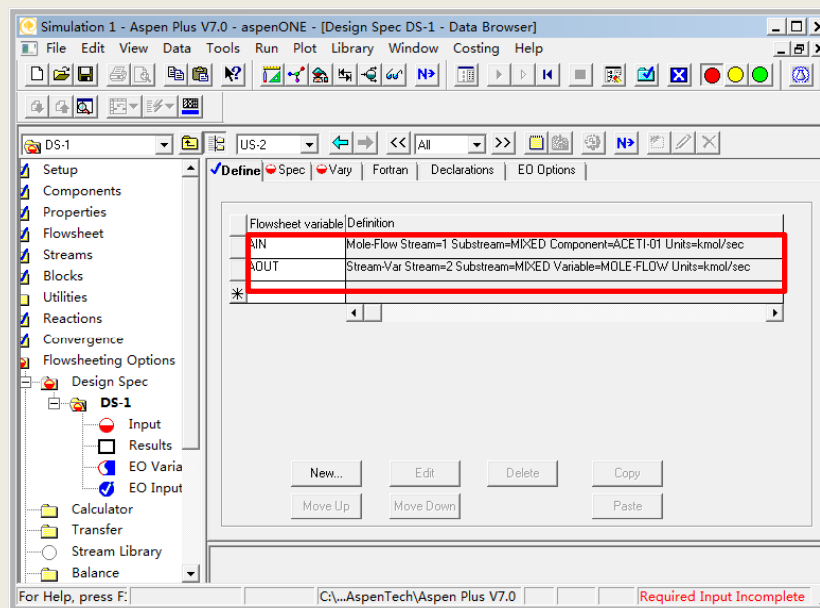
新建设计规定（**5**）

※此语句用来定义乙酸的转化率**XA**，如图:
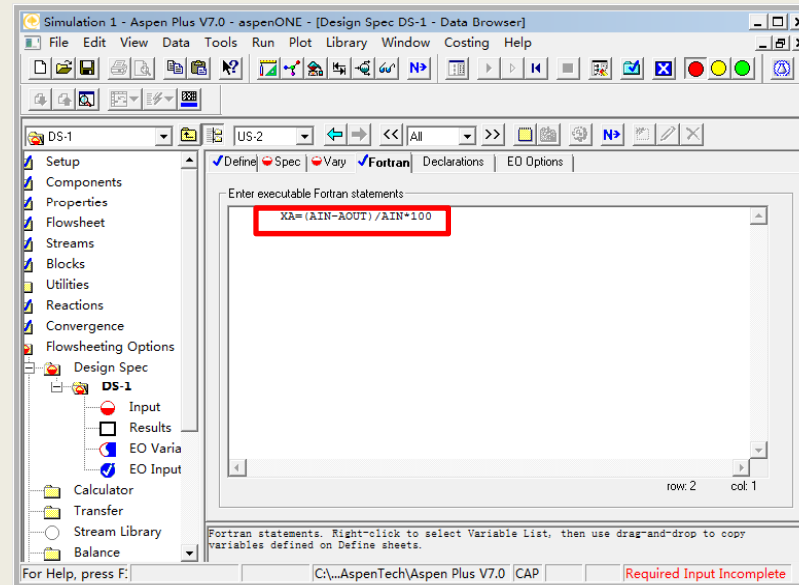
新建设计规定（**6**）

※指定**XA**的目标值及误差，如图:
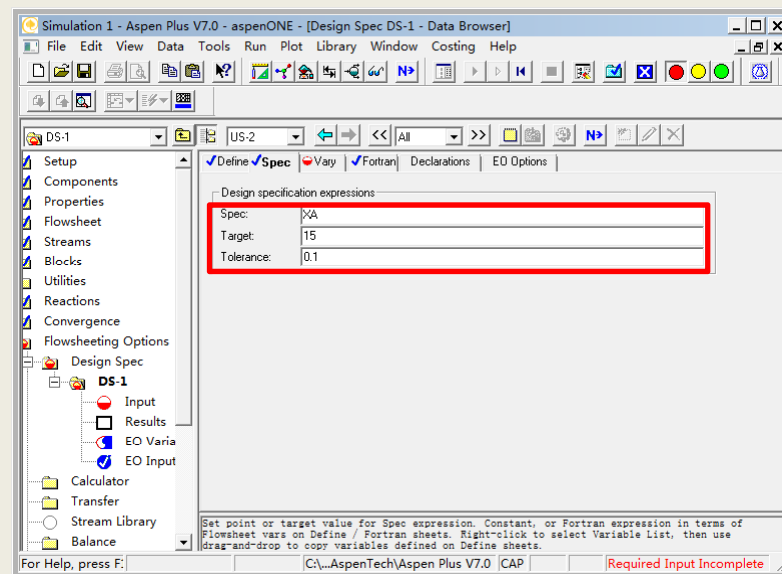
新建设计规定（**7**）

※指定调整变量**B1**模块的体积，调整范围为**5-15m³**，如图:
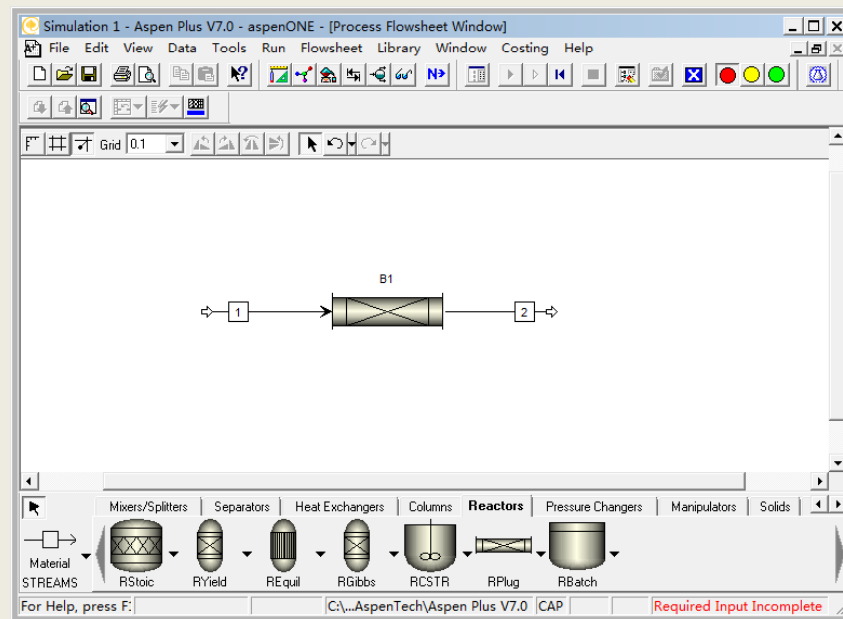
运行模拟

查看模拟结果

※反应器的体积为**10.1m³**，如图:

平推流反应器

※工业中长径比大于**30**的管式反应器可视为平推流反应器。物料在反应器中像活塞一样向前流动，无轴向扩散。在定太条件下，反应器内的各种参数，如温度、浓度、反应速率等，只沿物料流动的方向变化，同一截面上的参数相同。因此，可取反应器内的某一微元体积进行物料衡算和热量衡算，从而得到给定转化率下的反应器体积或给定反应器体积情况下的出口转化率。
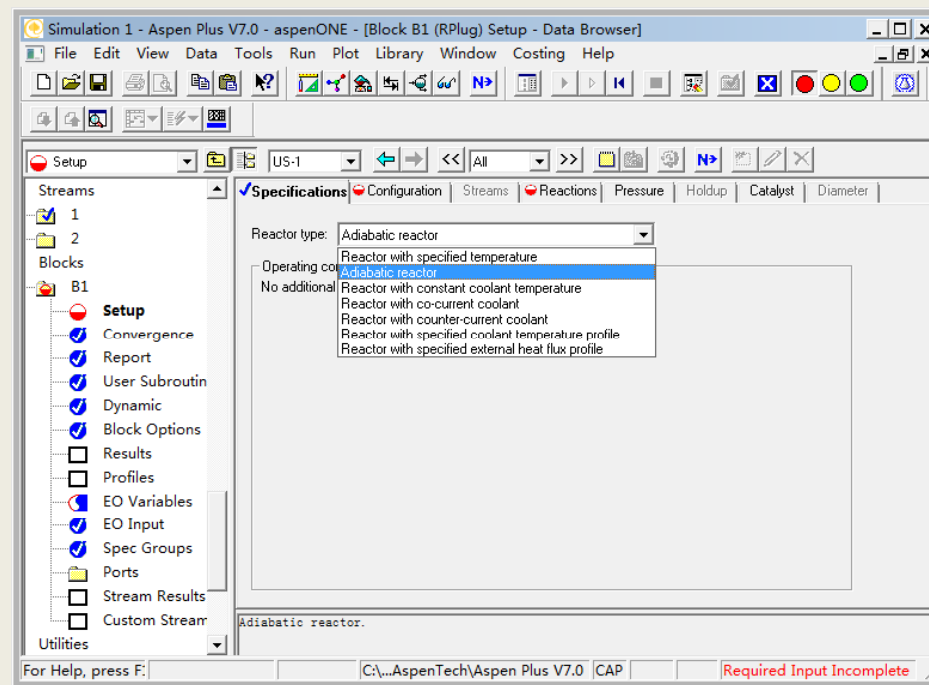
模拟实例

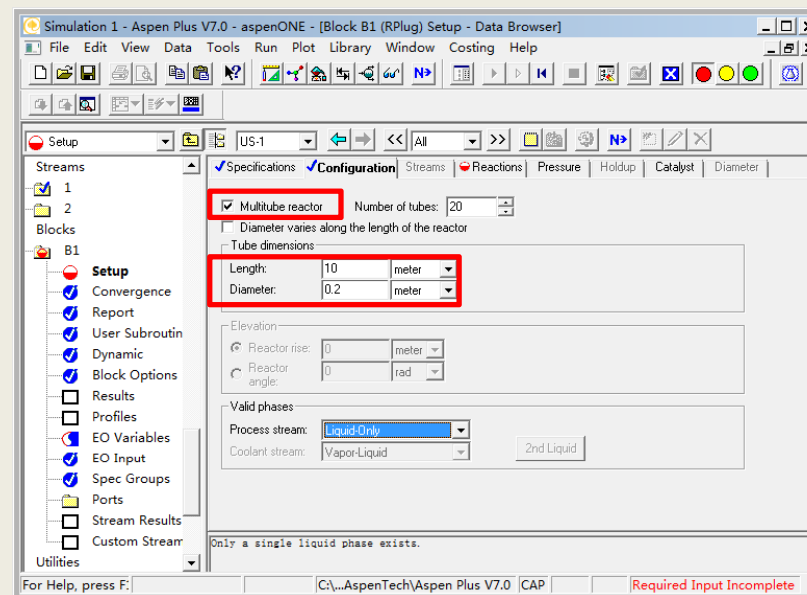※ 上例的反应器变为平推流反应器进行，试计算乙酸转化率为**0.15**时所需的反应器体积，搭建流程图，如图:
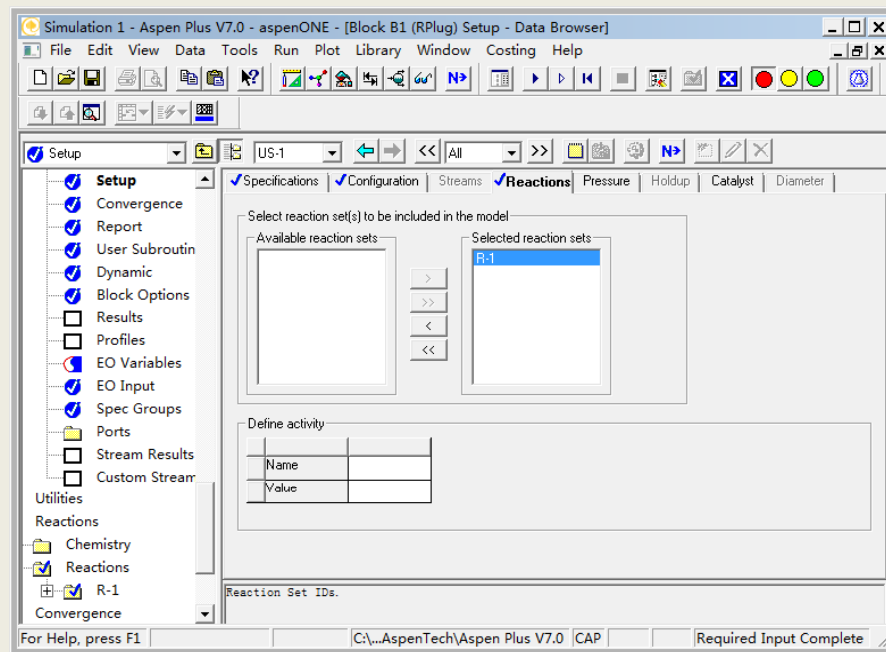
指定模块**B1**参数（**1**）

※指定反应器的计算类型为绝热反应器，如图:

指定模块**B1**参数（**2**）

※选中列管反应器，输入管子根数，管长，管径，
有效相态，如图:

指定模块B1参数（3）

※将反应组添加到反应器中，如图:

指定模块B1参数

※选择待调节变量为反应器**B1**的列管直径，调节范围为**0-0.5m**，如图:

运行模拟
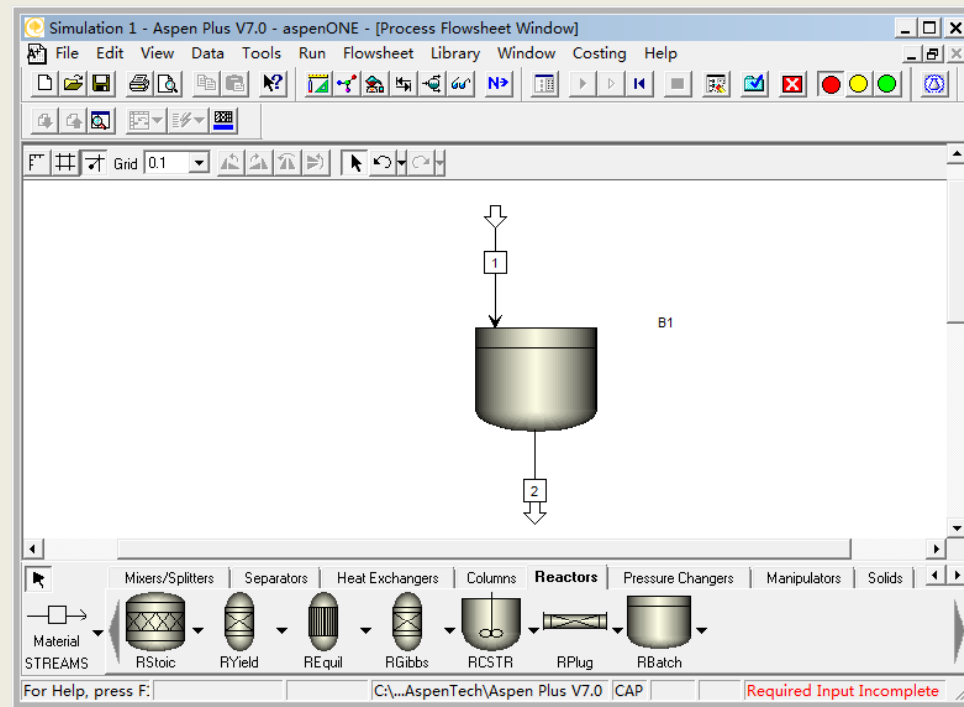
模拟结果
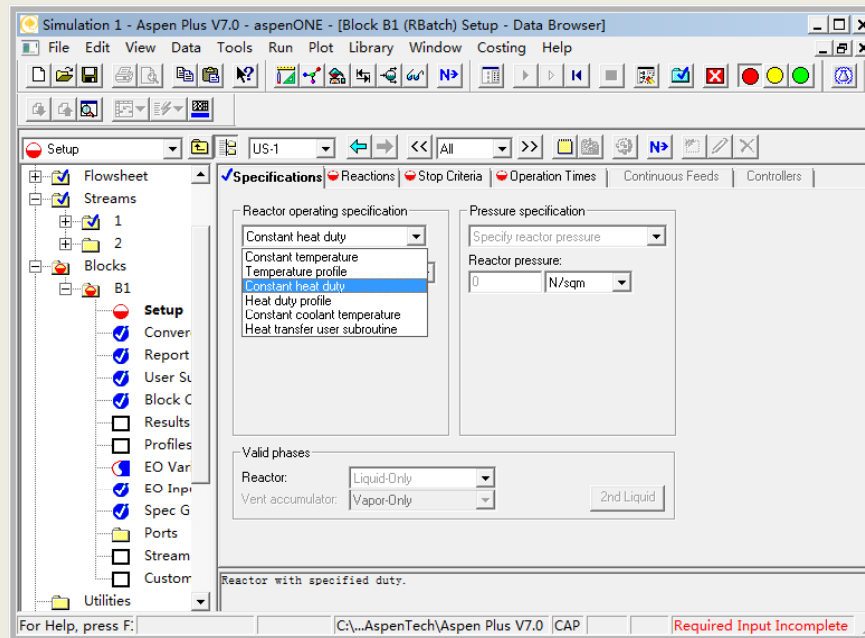
※ 如果模拟结果正确的情况下，在达到相同转化率时，平推流反应器的所需要的体积要稍小一些。

间歇流式反应器

※ 在**Aspen**中，专门用于模拟间歇釜式反应器的模块是**Rbatch**。该模块自动根据加料和辅助时间提供缓冲罐，实现与连续过程的连接。它可以在已知化学反应式、动力学方程和平衡关系的情况下，计算所需的反应器体积和反应时间，以及反应器热负荷。
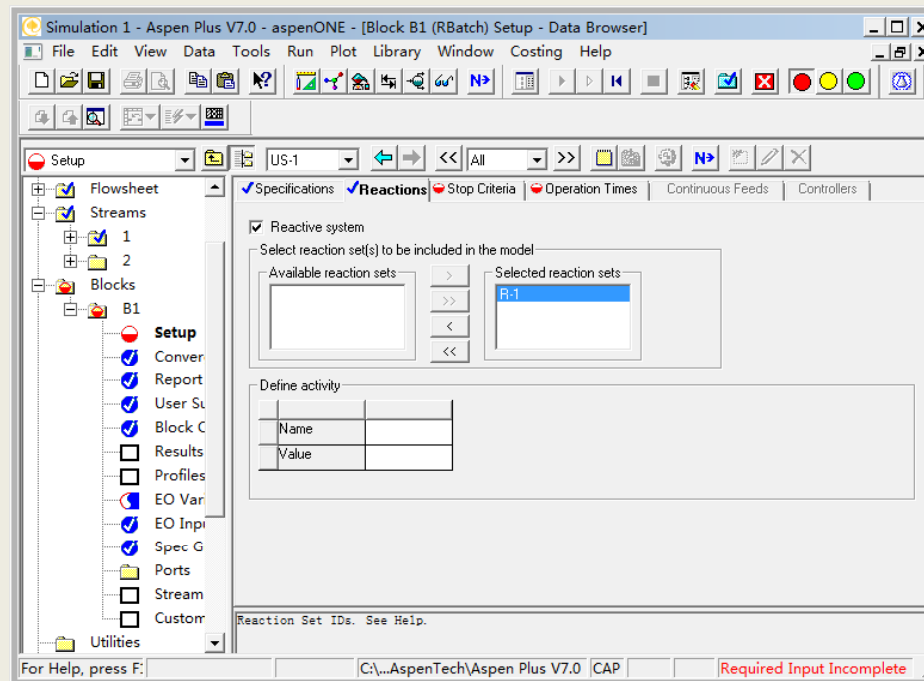
搭建流程图

指定模块**B1**参数（**1**）
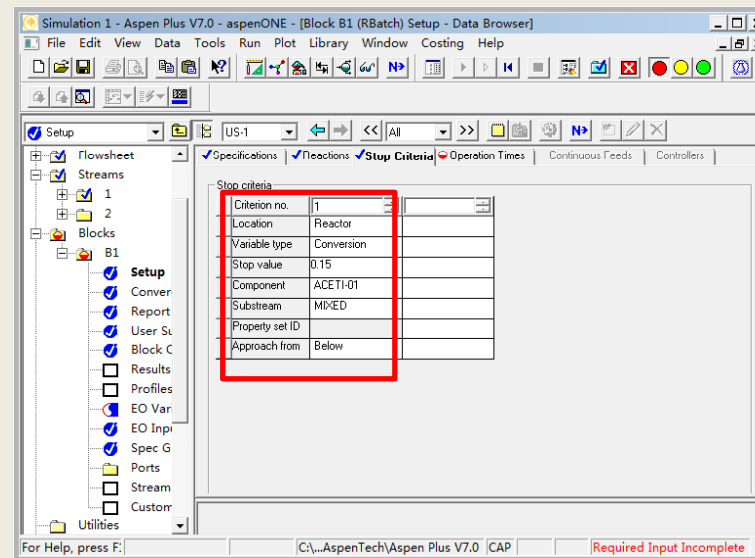
※指定操作模式为**Constant heat duty**，由于默认的热负荷为**0**，所以该模式实质为绝热反应，如图:
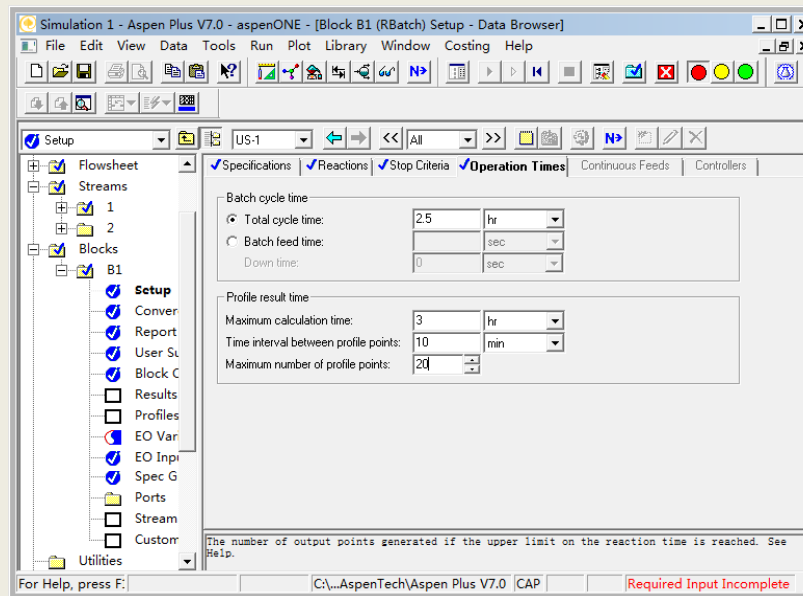
指定模块B1参数（2）

※将反应组添加到反应器中，如图:

指定模块**B1**参数（**3**）

※ 添加一个新反应器终止准则，并在**Location** 中选择**Reactor**，**Variable type**中选择转化率，**Component**中选择乙酸，**Approach from**中选择**Below**，含义为：反应器中的乙酸转化率达到**0.15**时终止反应器，该转化率是由小到大变化的。

指定模块B1参数（4）
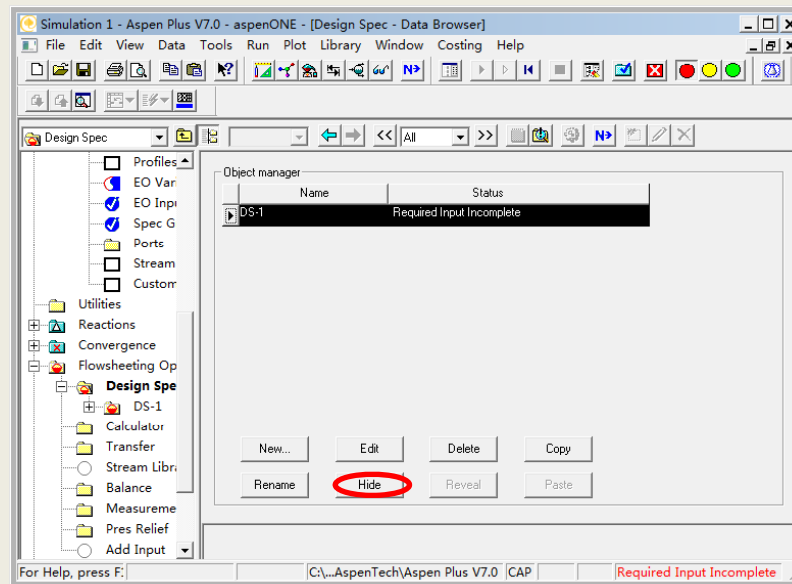
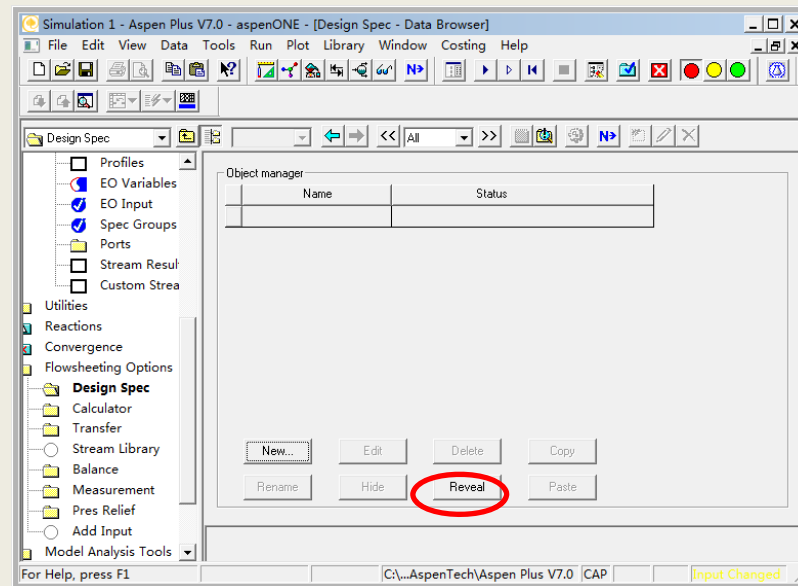※ 输入反应器的操作周期是**2.5h**（包括加料、反应、卸料、清洗等步骤），模块的最大计算时间是**3h**（如果终止判据未满足，每隔**10min**显示一次计算结果），如图:
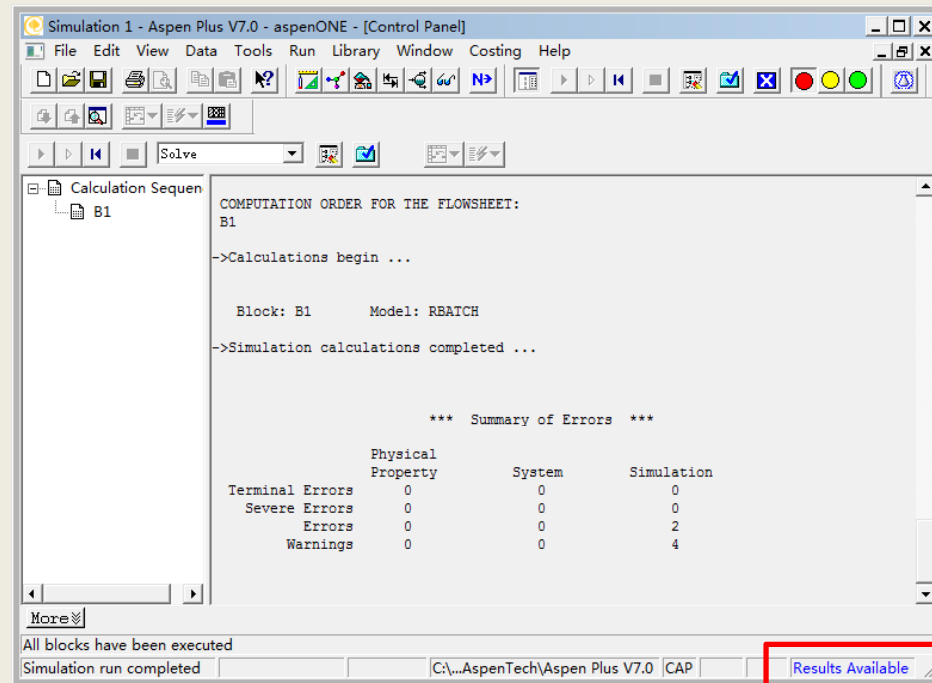
隐藏设计规定（1）

※选中设计规定**DS-1**，如图:

隐藏设计规定（**2**）

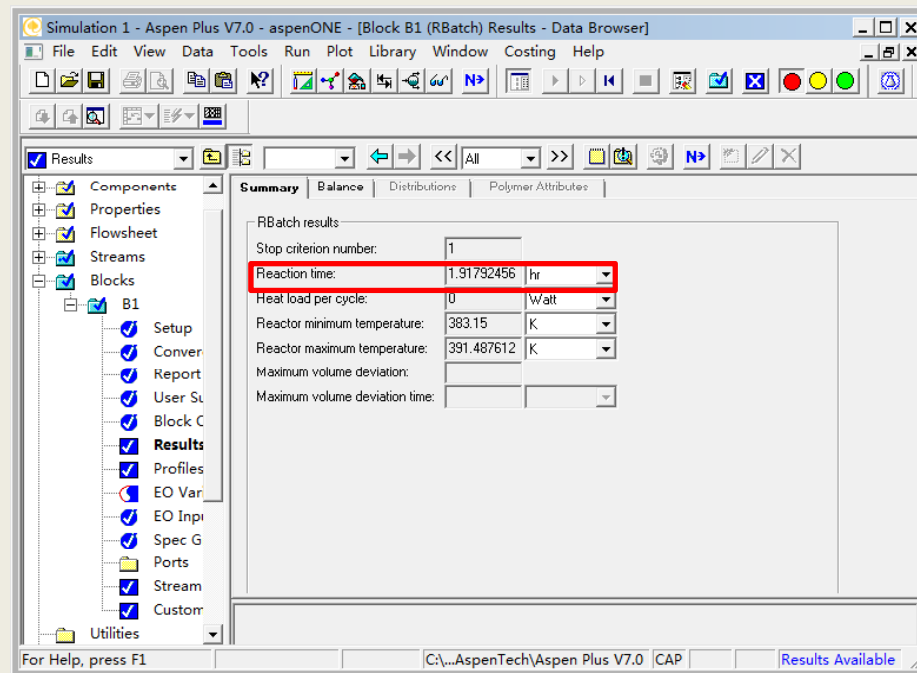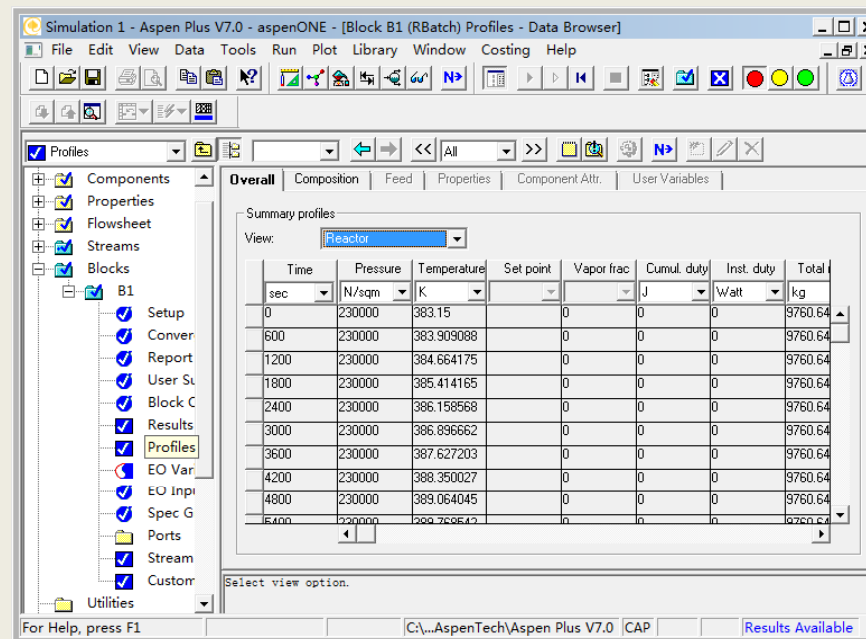※点击上图的**Hide**，原设计规定被隐藏，恢复点击
Reveal，如图：

运行模拟

查看模拟结果（1）

※反应时间为**1.9h**，如图：

查看模拟结果（**2**）

※在**Profiles**标签下，可以查询间歇反应这一非稳态过程的变化，如图：

绘图（1）

※进行如图所示的操作：
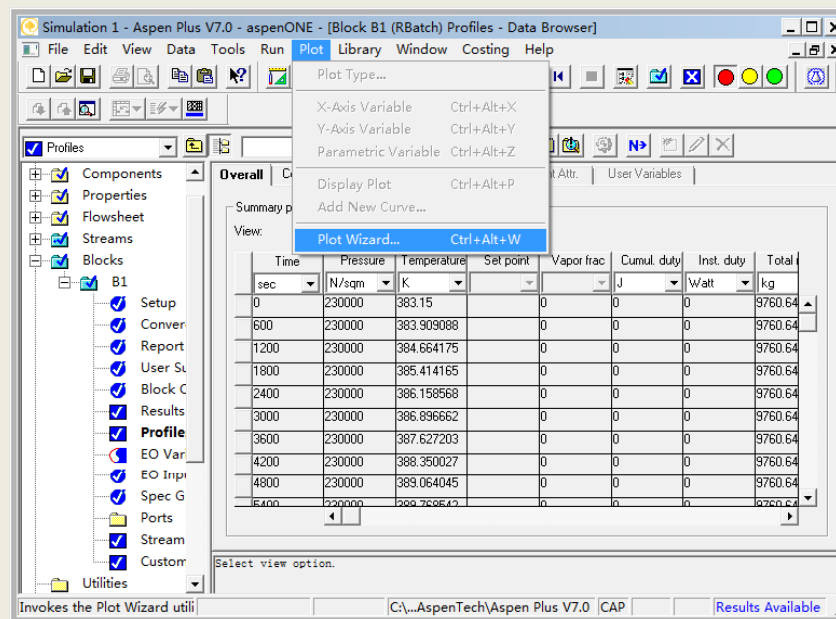
绘图（**2**）

※出现下图对话框：
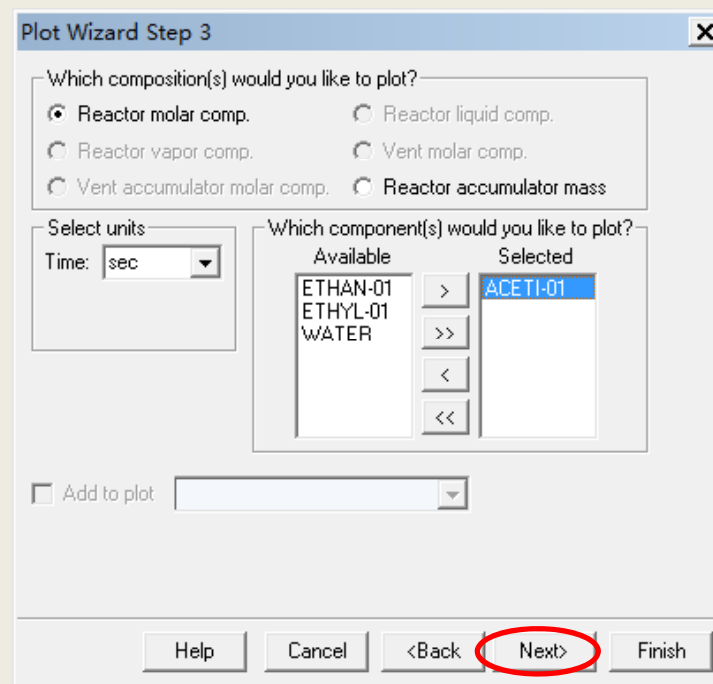
绘图（**3**）

※单击上图**Next**，出现下图窗口，选择所需要绘制的图形：
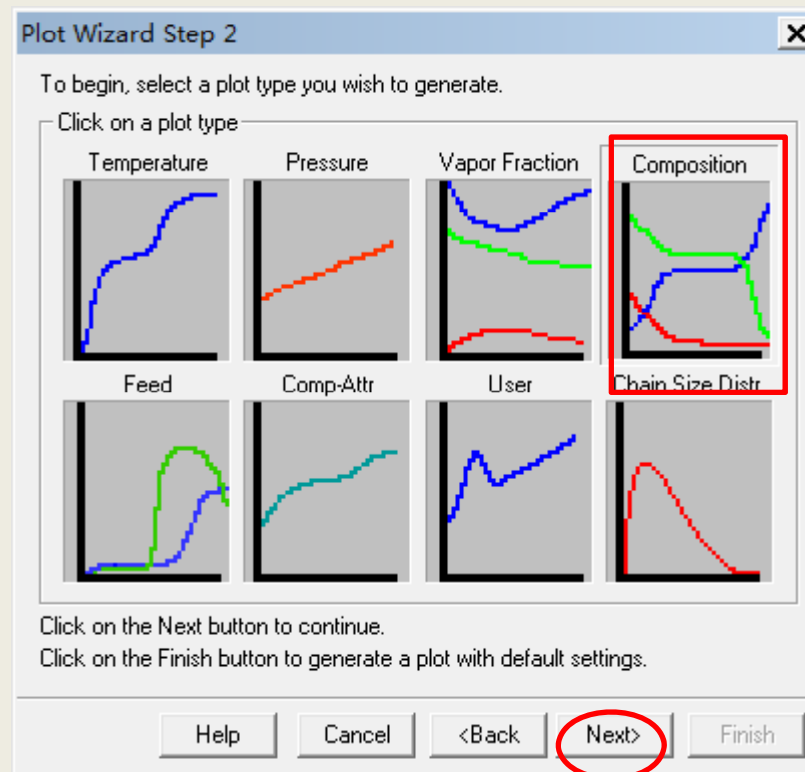
绘图（**4**）

※单击上图**Next**，出现下图窗口，选择所
需要绘制图形组分，图中选择乙酸：

绘图（**5**）

※单击上图**Next**，出现下图窗口，采用默认模式即可，如图：

绘图（**6**）

※单击上图**Finish**，出现下图为乙酸浓度变化图：
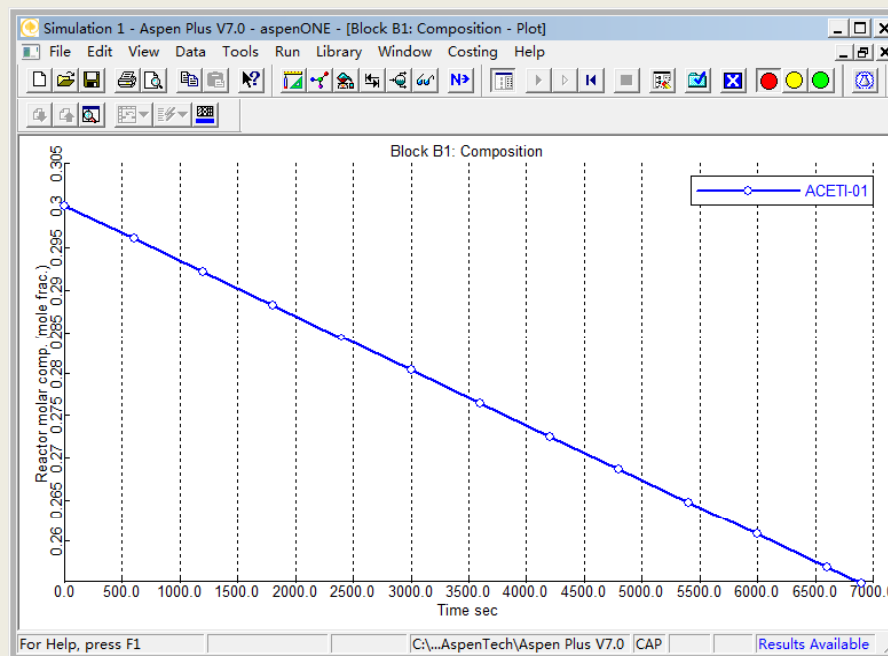
绘图（**7**）

※点击图中任意位置，出现该位置的坐标，如图：
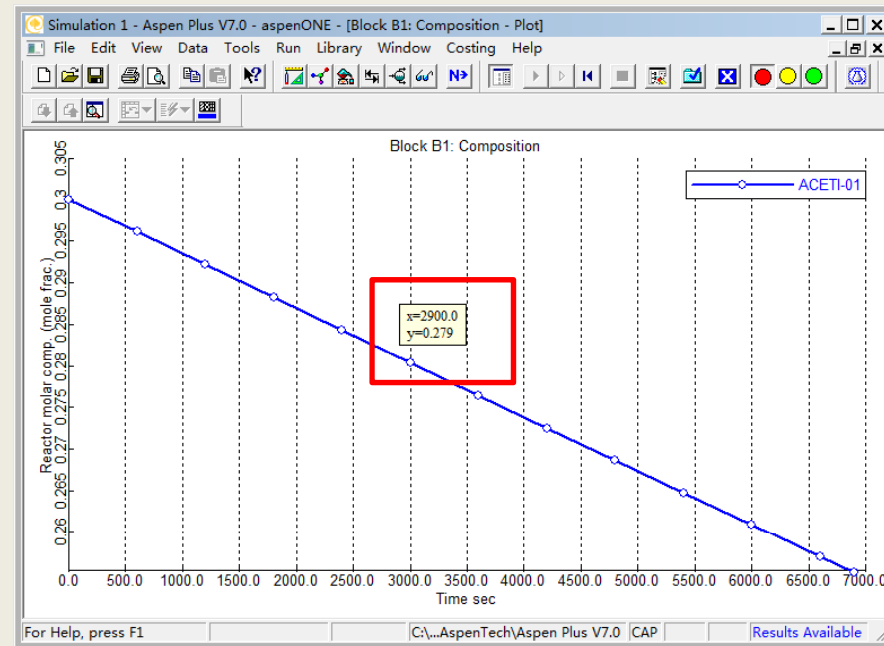
模拟完毕

※图中显示各物流的压力与温度，如图：

结束