



“十二五”职业教育国家规划教材
经全国职业教育教材审定委员会审定



中等职业教育改革创新示范教材



中等职业教育化学工艺专业系列教材

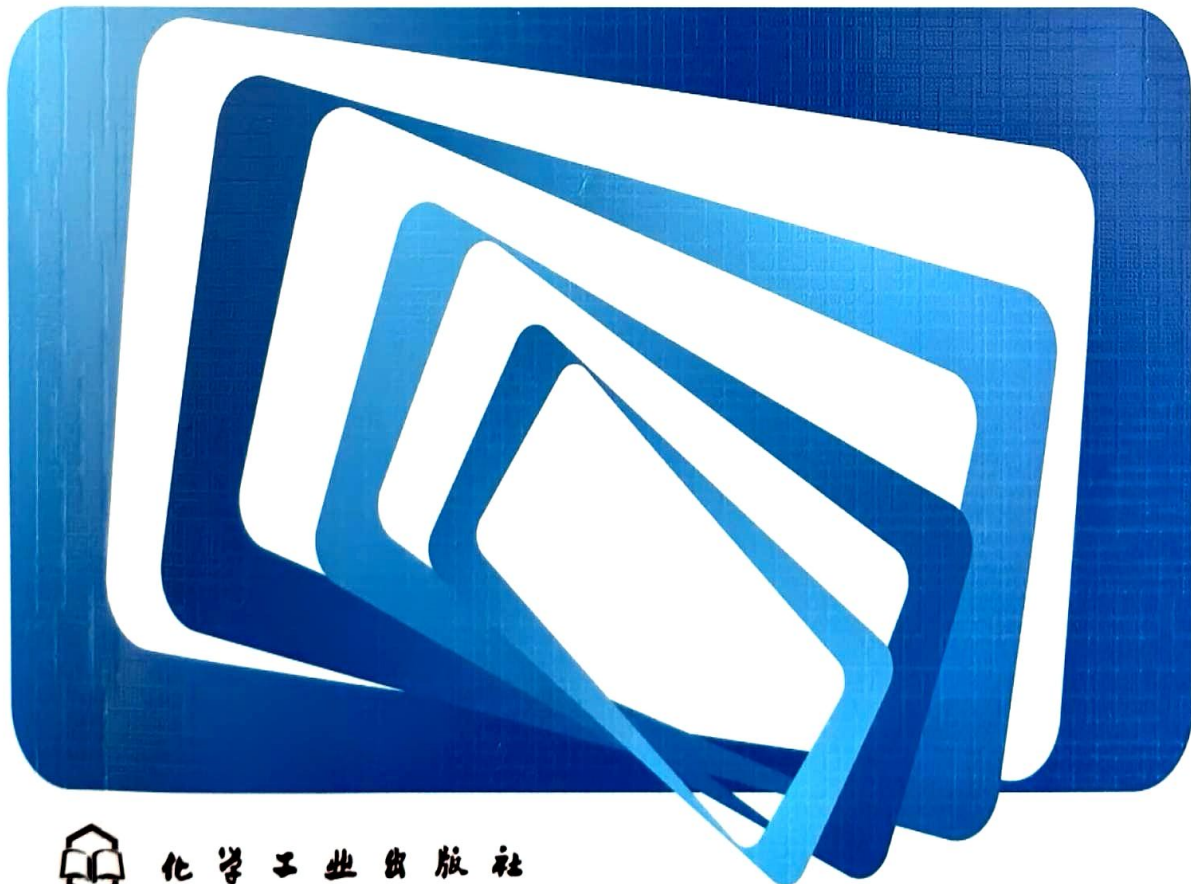
获中国石油和化学工业
优秀教材奖
一等奖

化学工艺概论

第三版

章红 严小丽 陈晓峰 编著
李平辉 主审

HUAXUE GONGYI GAILUN



化学工业出版社

目 录



单元一 了解化工企业

- 项目一 认识化学工业 /2
 - 任务一 认识化学工业的地位、作用及发展 /2
 - 任务二 了解化学工业的分类及特点 /7
 - 任务三 了解化学工业的责任与关怀 /9
 - 任务四 理解绿色化工与循环经济 /12
- 项目二 了解化工企业组织部门结构 /15
 - 任务一 了解化工企业部门的分类 /15
 - 任务二 了解化工企业主要部门的职能 /17
- 项目三 了解化工企业文化 /19
 - 任务一 理解化工企业文化的内涵 /19
 - 任务二 了解化工企业文化的内容与作用 /21
 - 任务三 了解企业“7S”管理制度 /22
- 项目四 培养化工生产人员的职业素养 /26
 - 任务一 了解相关的法律法规 /26
 - 任务二 掌握基本的职业道德 /28
 - 任务三 能合作完成任务 /30
 - 任务四 能与他人交流与沟通 /31
 - 任务五 明确从业人员的职业定位 /32

单元二 熟悉化工生产过程

- 项目一 掌握化学化工基本知识 /38
 - 任务一 认识化学与化学反应 /38
 - 任务二 了解化工生产过程的基本规律 /40
 - 任务三 了解化学变化的特征 /42

- 项目二 认识化工生产原料及产品 /46
 - 任务一 了解化工生产主要原料 /46
 - 任务二 认识化工典型产品 /55
- 项目三 熟悉化工生产的工艺过程 /58
 - 任务一 熟悉化工生产过程 /58
 - 任务二 了解化工过程的评价指标 /63
 - 任务三 掌握影响化工生产的主要因素 /68
- 项目四 了解化工生产的操作规程 /74
 - 任务一 熟悉生产岗位操作规程 /74
 - 任务二 熟悉化工生产工艺规程 /76
 - 任务三 熟悉安全技术规程 /76
- 项目五 了解质量检测与过程控制 /80
 - 任务一 了解质量检测过程 /80
 - 任务二 熟悉过程控制 /82

单元三 了解化工机械及设备

- 项目一 了解化工装置常用材料 /90
 - 任务一 了解化工材料的主要性能 /90
 - 任务二 了解化工常用材料的种类 /93
- 项目二 熟悉化工管路 /97
 - 任务一 知道管路标准化知识 /97
 - 任务二 认识管子及管件 /99
 - 任务三 了解化工管路的保温与涂色 /104
- 项目三 认识化工生产设备 /108
 - 任务一 认识动设备 /108
 - 任务二 认识静设备 /110

单元四 识读化工图样

- 项目一 具有化工识图的基本能力 /116
 - 任务一 了解化工图样的分类及作用 /116

任务二	掌握制图标准的一般规定	/117
任务三	掌握正投影及其基本性质	/120
任务四	熟练阅读和绘制投影图	/122
项目二	识读化工工艺流程图	/126
任务一	了解化工工艺流程图的种类	/126
任务二	识读和绘制工艺流程示意图	/127
任务三	识读物料流程图 (PFD)	/130
任务四	识读带控制点的工艺流程图 (PID)	/136
项目三	识读化工管道图	/144
任务一	识读管道单线图	/144
任务二	识读管道轴测图	/148
项目四	识读化工设备图	/155
任务一	了解化工设备的分类	/156
任务二	掌握化工设备图包括的内容	/157
任务三	识读化工设备图	/160
参考文献		/169

知识窗

我们为何错读化学（摘录）

——上海大学教授 浦家齐

近些年来，化学的名声实在不太好。在一些人的心目中，化学品简直成了“毒药”的同义词，以至于英文中竟多了一个“Chemophobia”（化学恐惧症）的新词。因为有人相信，凡是采用了化学手段的东西一概都是对人体有毒的，而所有的天然物对于人体都一定是安全的。何以见得？黄曲霉素是纯粹的天然物，它存在于变质的谷物中，是重要的致癌因素之一；用来烧烤食物的木炭是天然物，可木炭中的苯并芘也是致癌物质。所以说，化学品一定有害，天然物一定安全，是毫无科学根据的。而且，说到底宇宙万物都是化学物质，是纯天然物还是化学合成物并不是一条最终鉴别安全与否的界线。事实上在几十年前，埋藏于人们生活中的隐患远比许多人记忆中的多得多。

当前所暴露的环境污染问题和食品、日用品的安全性问题，从技术的层面来检讨，一方面是由于社会需求增长太快，以致对于各种技术行为可能产生的负面影响未加周密评估；另一方面是由于社会上部分人无节制的欲望导向，使技术发展偏离了正常轨道。有人认为社会应该杜绝一切含有有害化学成分的产品，事实上这不但不可能，也没有必要。一个必须正视的历史事实是，近几十年化学工业特别快速的发展，首先是因为我们这个地球上人口特别快速的生长。如果离开了化学纤维，离开了化肥和农药，那么耕地的不足和随之而来的物资短缺，恐怕早就到了即使发放布票和粮票也难以维系的地步了。

任务二 了解化工生产过程的基本规律

化工生产从原料开始到制成目的产品，要经过一系列化学和物理的加工处理步骤，这一系列加工处理步骤称之为“化工生产过程”。

1. 熟悉化工生产过程

世界上的化工产品成千上万，但几乎所有化工产品的生产过程都是由三

个基本环节组成，见图2.1化工生产过程示意图。

- (1) 原料预处理 使初始原料、辅料通过处理达到化学反应所需要的状态和规格。
- (2) 化学反应 使原料（反应物）在反应设备内进行化学反应，生产新的物质。
- (3) 产物分离 将产物、未反应的原料、副产物等进行分离提纯。

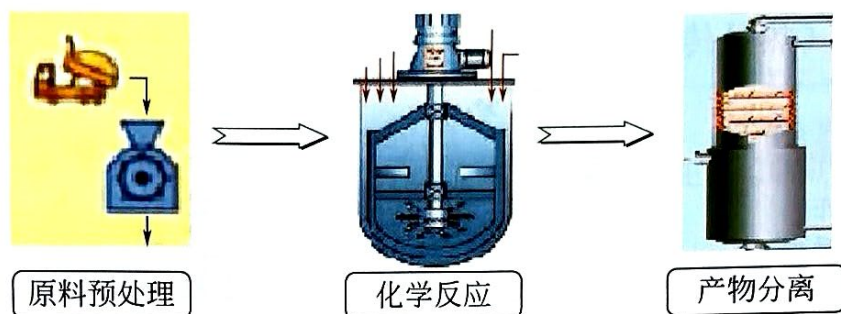
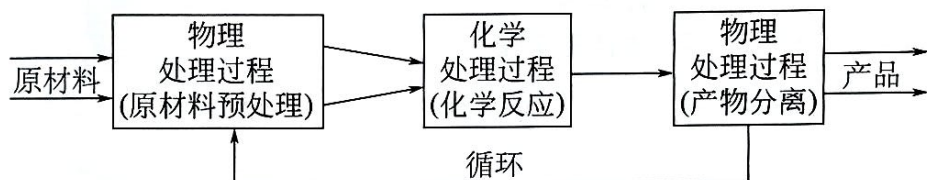


图2.1 化工生产过程示意图

2. 了解单元操作与单元反应

原料预处理、化学反应、产物分离这三个环节都是由若干个单元操作和单元反应构成的。



一般来说，原料预处理和产物分离主要由单元操作组成，化学反应步骤主要由单元反应构成。

(1) 单元操作 具有物理变化特点的基本加工过程。

单元操作发生的过程虽然多种多样，但从本质上一般分为三种，即通常所说的“三传”，见图2.2化工单元操作的三种传递过程。

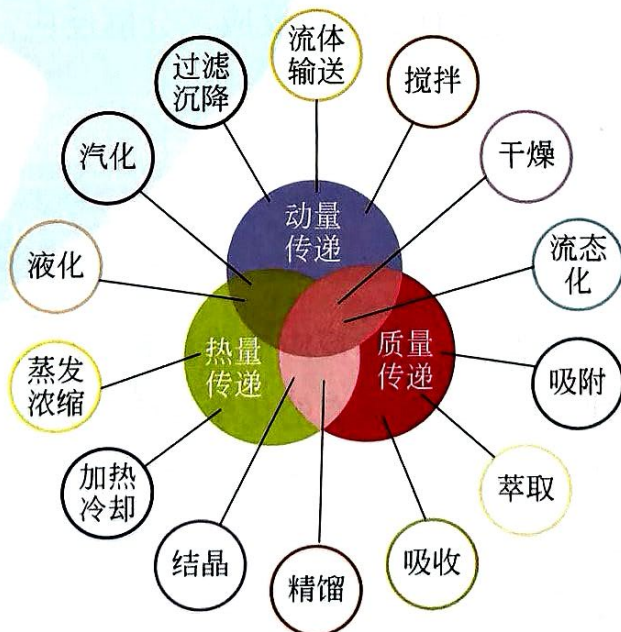
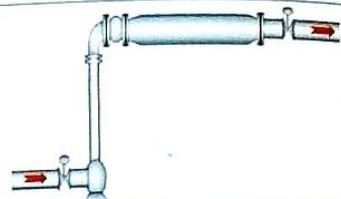


图2.2 化工单元操作的三种传递过程

流体流动过程（动量传递）

涉及了流体流动及流体和与之接触的固体间发生的相对运动。

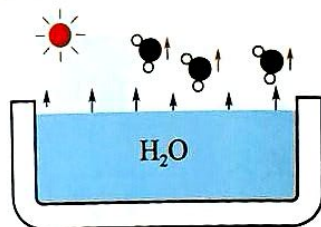
例如流体输送、沉降、过滤、搅拌及固体的流态化等。



传热过程（热量传递）

涉及传热的基本规律以及主要受这些基本规律支配的若干单元操作。

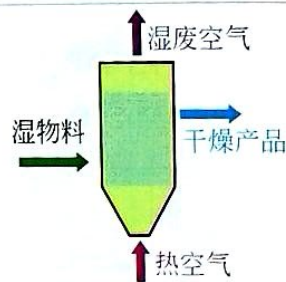
例如蒸发、热交换等。



传质过程（质量传递）

涉及物质通过相界面迁移过程的基本规律，以及主要受这些基本规律支配的若干单元操作。

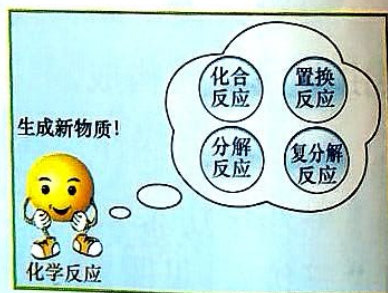
例如液体的蒸馏、气体的吸收、固体的干燥及结晶等。



(2) 单元反应（化学反应） 具有化学变化特点的基本加工过程。

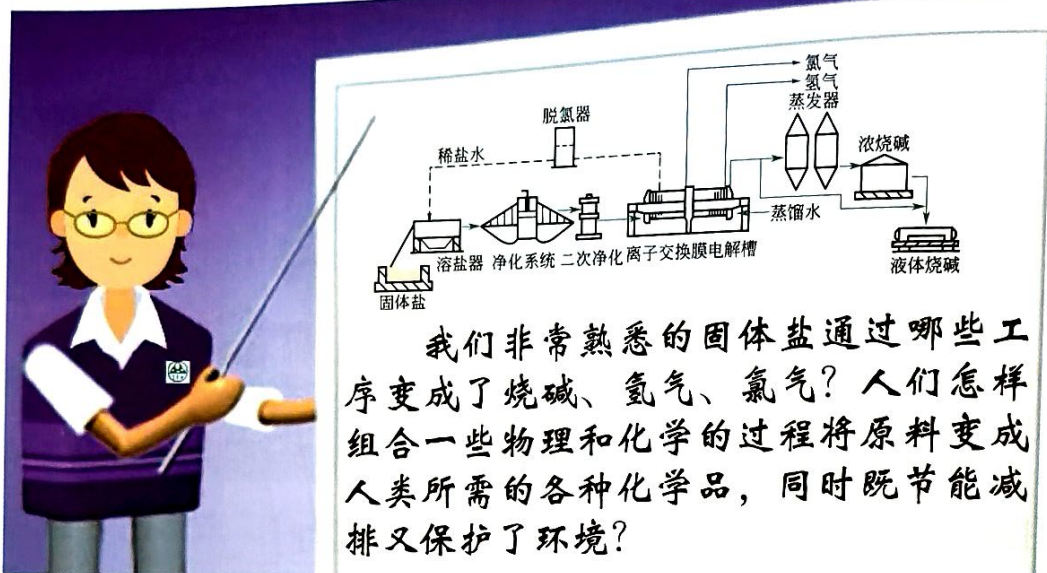
化学反应是一种或几种物质经由化学变化转化为新物质的过程，而且总是伴随着能量的变化。它是化工生产的核心部分，决定着产品的收率，对生产成本有着重要影响。

化学反应的种类很多，主要有：化合反应，分解反应，置换反应，复分解反应，聚合反应，加成反应等。



项目三 熟悉化工生产的工艺过程

(Familiarity with process of chemical production)



我们非常熟悉的固体盐通过哪些工序变成了烧碱、氢气、氯气？人们怎样组合一些物理和化学的过程将原料变成人类所需的各种化学品，同时既节能减排又保护了环境？

任务一 熟悉化工生产过程

1. 熟悉化工生产的工序

无论何种化工产品的生产，都会按照一定的规律组成生产系统，这个系统必定由化学工序和物理工序构成，也就是说物料只有通过化学和物理的加工方法才能转化成合格的化工产品。

- (1) 化学工序（单元反应） 由单元反应组合而成的相关过程称为化学工序。
- (2) 物理工序（单元操作） 由单元操作组合而成的相关过程称为物理工序。

2. 认识化工生产过程的组成

化工生产过程的表现形式是由若干个单元操作和单元反应串联组成的一套工艺流程，通过三个主要步骤，将化工原料制成化工产品，如图2.8所示。

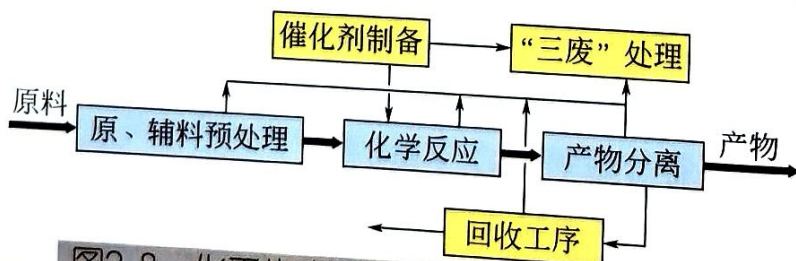


图2.8 化工生产过程中各工序的组合方式

(1) 原、辅料预处理 原、辅料预处理目的是使初始原、辅料达到反应所需要的状态和要求。

例如，固体的研磨、过筛；液体的加热或汽化；催化剂的配制等。

(2) 化学反应 化学反应的目的是完成由原料到产物的转变，是化工生产过程的核心。

例如，氧化反应、裂化反应、聚合反应、加成反应等。

(3) 产物分离 产物分离的目的是获取符合规格的产品，回收利用副产物，循环使用原料。

例如，精馏、吸收、萃取、结晶等。

(4) 其他工序

回收工序 对未反应的原料、溶剂、添加剂、反应生成的副产物等分别进行分离提纯，精制处理后加以回收利用称为回收工序。

“三废”处理 “三废”处理是对生产过程中产生的废液、废气、废渣进行处理，综合利用，保护环境等。

3. 了解化工生产的操作方式

(1) 间歇操作 图2.9为间歇操作示意图。

特点 间歇操作属于非稳态操作，温度、压力和组成等随时间变化。

间歇操作优点：生产过程比较简单，投资费用低；品种切换灵活；生产的灵活性较大，变更工艺条件方便。

通常适用于小规模的生产或者生产不同的产品（多元化生产）。

间歇操作缺点：非生产时间消耗较多；设备利用率不高；过程自动化程度低；产品质量的波动较大；劳动强度较大。

适用范围 间歇操作主要应用于小批量、多品种的精细化学品生产或反应时间较长的生产过程。例如染料、胶黏剂、日用化学品的生产等。

(2) 连续操作 图2.10为连续操作示意图。

特点 连续操作特点是连续过程为稳态操作，生产条件不随时间变化。当生产处于开车、停车或出现操作故障时，属非稳态操作。

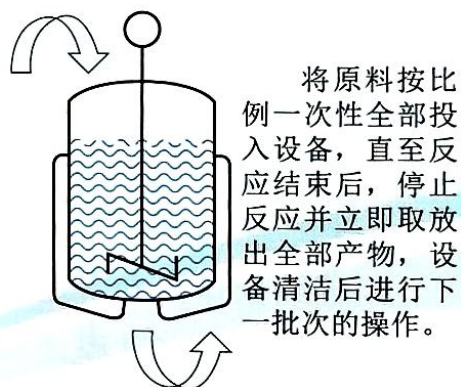


图2.9 间歇操作示意图

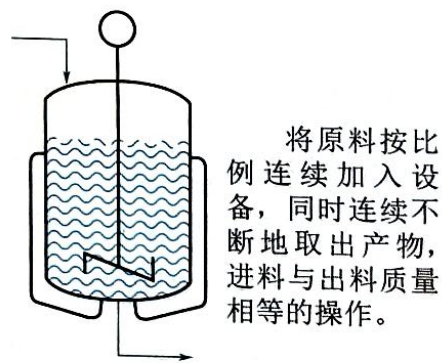


图2.10 连续操作示意图

连续操作优点：产品质量稳定；生产能力大，生产效率高；容易实现自动化操作，生产过程易于控制。

连续操作缺点：投资大，操作人员的技术水平要求比较高；不易进行产品切换。

👇 适用范围 现代化学工业比较倾向于连续操作生产方式，尤其一些生产技术比较成熟，过程自动化要求程度比较高的产品生产。

例如石油炼制、聚酯生产等。



牙膏、沐浴液、白胶（聚醋酸乙烯酯乳液）等化工产品一般是_____操作生产；石油炼制、烧碱生产大都采用_____操作方式。

(3) 半连续操作（半间歇操作） 图2.11为半连续操作示意图。

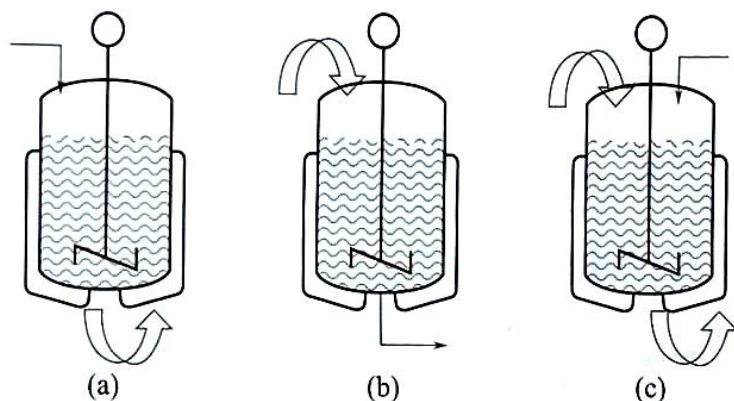


图2.11 半连续操作示意图

半连续操作是介于连续操作与间歇操作之间的一种操作方式，目的是在特定的条件下控制生产过程。

👇 特点 半连续操作属于非稳态操作。

👇 常见的操作类型

- 连续不断地加入原料，而在操作一定时间后一次取出产品 [见图2.11(a)]；
- 操作过程一次投入原料，而连续不断地从系统取出产品 [见图2.11(b)]；
- 一种原料分批加入，而另一种原料连续加入，视工艺需要连续或间歇取出产物的生产过程 [见图2.11(c)]。

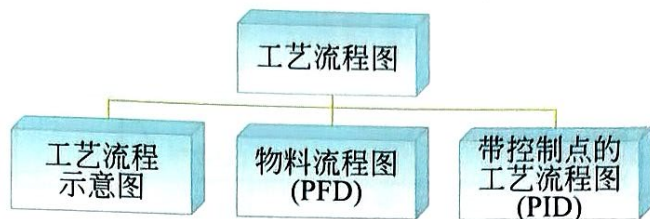
4. 掌握化工生产工艺流程

(1) 工艺流程 原料经过各种设备和管路，通过化学和物理的方法，最终转变成产品的全过程称为工艺流程。

工艺流程呈现了整个生产过程中物料在各个工序及各个设备之间的流动过程及变化情况。

(2) 工艺流程图 工艺流程图是指以形象的图形、符号、代号、文字说明等

表示出化工生产装置物料的流向、物料的变化以及工艺控制的全过程。



👉 工艺流程示意图 工艺流程示意图定性描述出主物料流经的设备及流向。

➤ 流程简图 流程简图中设备外形与实际外形相似，用细线条绘制，工艺物料流程用粗实线表示，设备上的管线接头、支脚和支架均不表示。如图2.12所示，为固体盐制备烧碱的工艺流程简图。

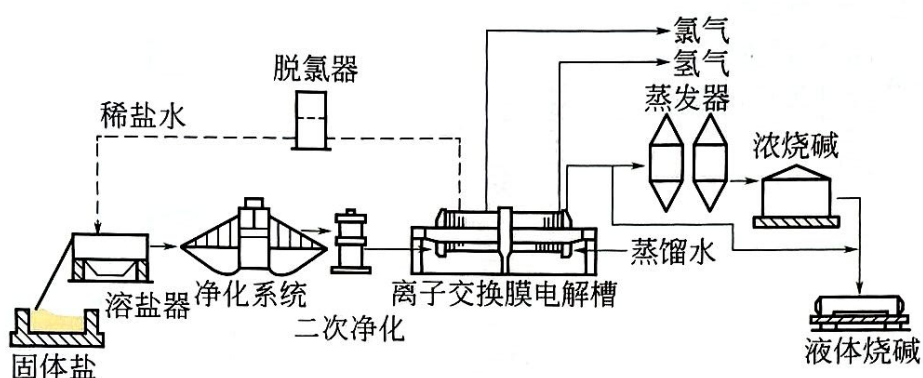
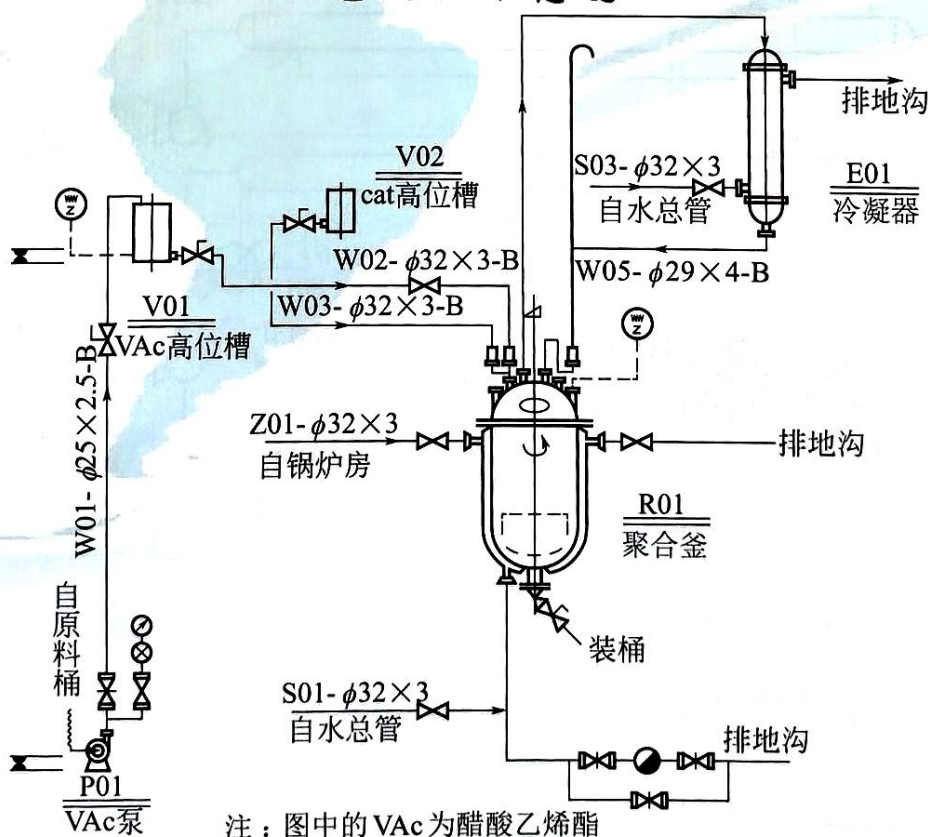


图2.12 固体盐制备烧碱的工艺流程简图

案例欣赏

：-) 聚醋酸乙烯酯乳液 (白胶) 生产工艺流程图示意图



注：图中的VAc为醋酸乙烯酯

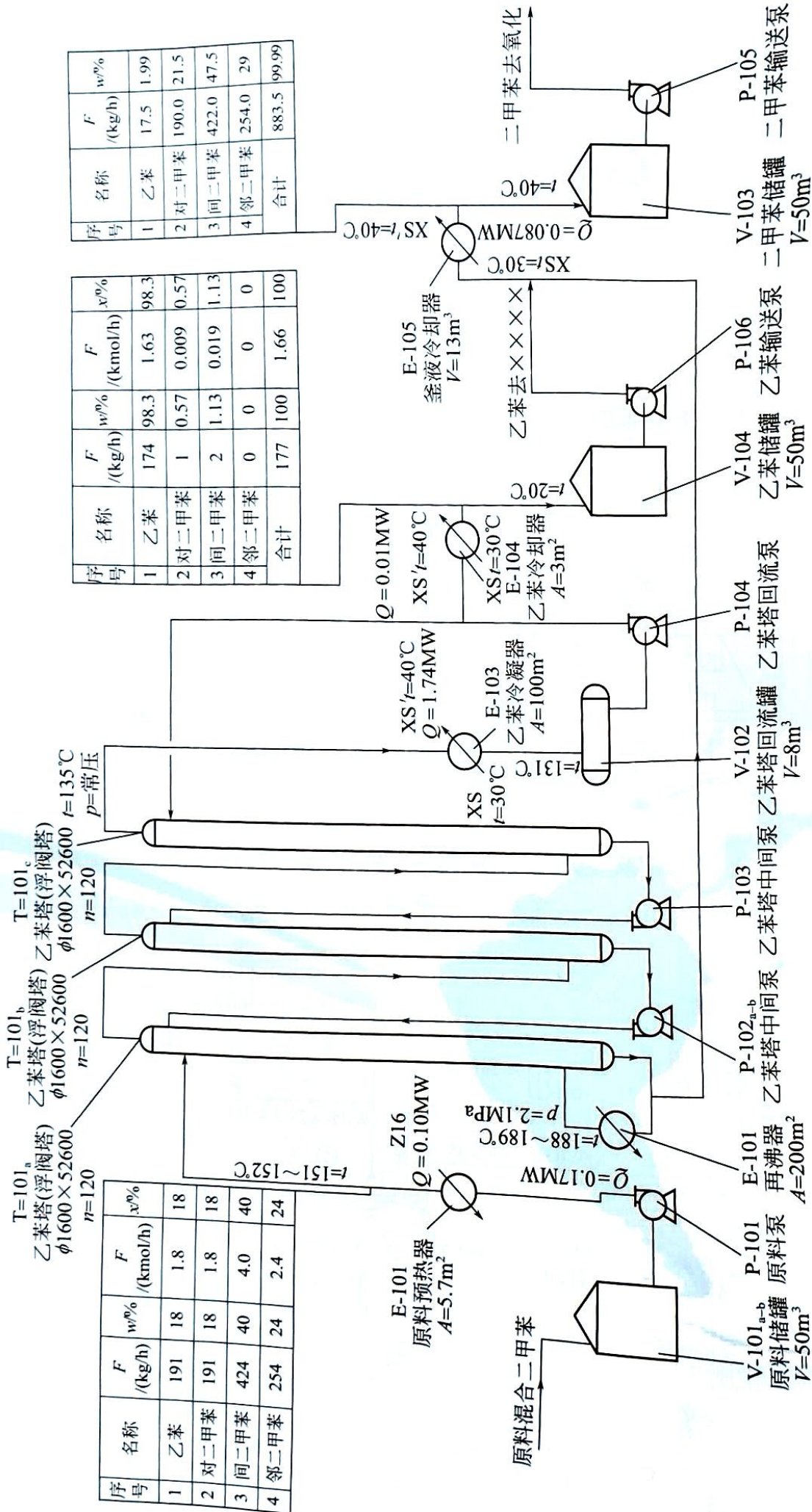
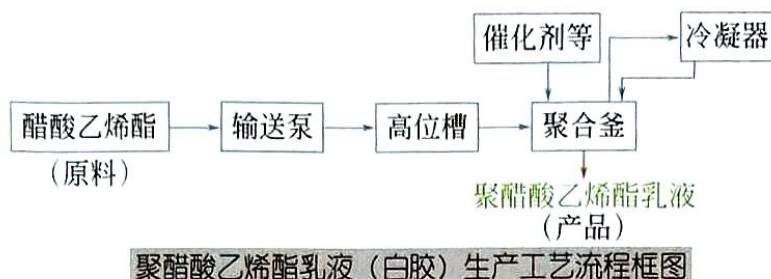


图2.13 某装置物料流程图(局部)
 F —流量; w —质量分数; x —摩尔分数; V —容积; A —传热面积; Q —热负荷; n —塔板数; XS —上水; XS' —回水

➤ 流程框图 流程框图以方框形式分别表示化工单元操作和单元反应过程，以箭头表示物料和载能介质的流向，并辅以必要的文字说明。



✚ 物料流程图 (PFD) 物料流程图由工艺流程、主要控制方案、操作参数、设备参数、图例和经过各工序 (或设备) 的物料名称及数量组成。图2.13为某装置物料流程图 (局部)。

✚ 工艺管道及仪表流程图 (PID) 工艺管道及仪表流程图又称带控制点的工艺流程图或施工流程图。能表示全部工艺设备及其纵向关系，物料和管路及其流向，公用工程系统管路及其流向，阀门与管件，相关仪表与控制方案等信息。图2.14为某装置带有控制点的工艺流程图 (局部)。

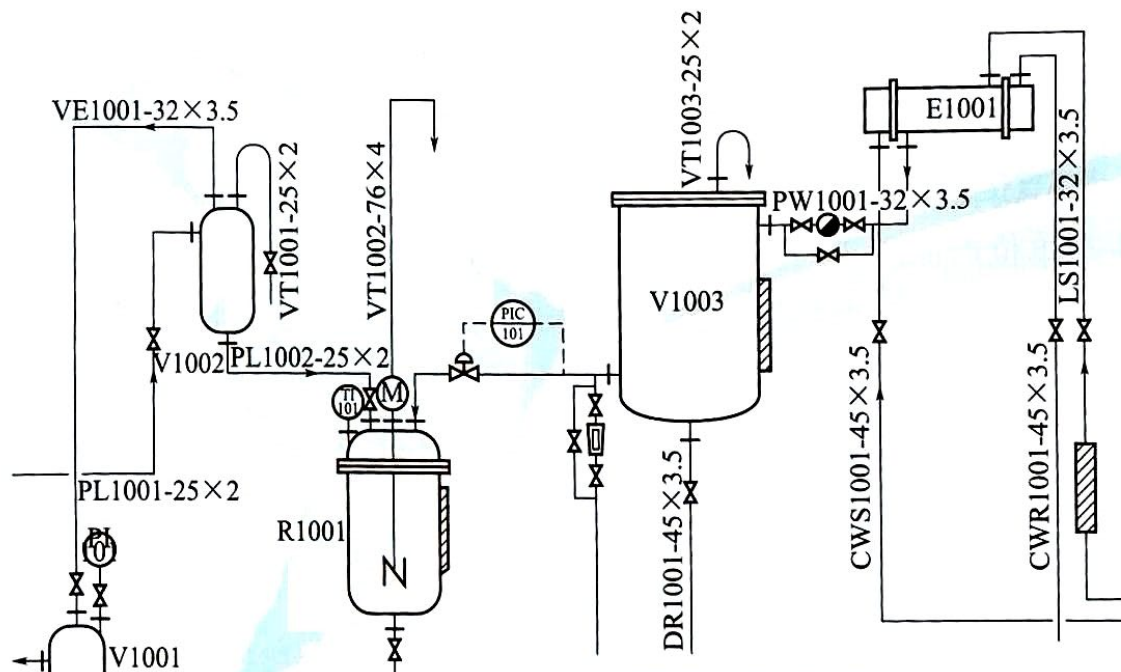


图2.14 某装置带有控制点的工艺流程图 (局部)

任务二 了解化工过程的评价指标

化工生产的目标是安全、优质、高产和低耗。因此，在化工生产过程中知晓各种评价指标及技术经济指标就显得尤为重要。

1. 了解生产能力与生产强度（评价反应效果）

(1) 生产能力 生产能力是指一台设备、一套装置或一个工厂在单位时间内生产的产品量或处理的原料量，以kg/h、t/d、kt/a等表示。

生产能力的类型包括设计能力、核定能力、现有能力。

生产能力的表示方法。

产品量 单位时间（年、日、小时、分等）内生产的产品数量称为产品量。

例如，一个年产150万吨乙烯的化工厂，就是表达的该厂生产乙烯的能力为150万吨/年。

加工量（也称“加工能力”） 加工量指单位时间（年、日、小时、分等）内处理的原料量。

例如，一个处理原油规模为每年6500万吨的炼油厂，也就是该厂加工原油的能力为6500万吨/年。

(2) 生产强度 生产强度是指设备的单位体积或单位面积在单位时间内生产的产品量或加工的原料量，以 $\text{kg}/(\text{h}\cdot\text{m}^3)$ 、 $\text{t}/(\text{h}\cdot\text{m}^3)$ 、 $\text{kg}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ 、 $\text{t}/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$ 等表示。

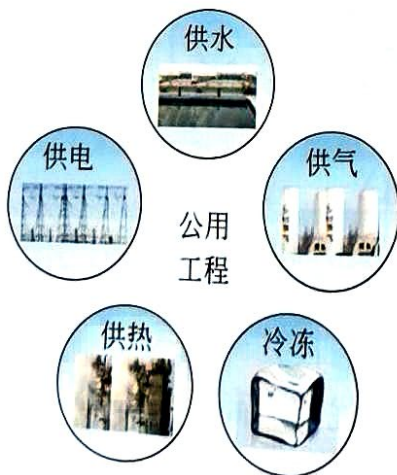
生产强度主要用于比较具有相同反应和物理加工过程的设备或装置的优劣。

设备的生产强度愈大，设备的生产能力就愈大。

2. 知道消耗定额

生产单位产品所消耗的各种原材料的量称为消耗定额。例如原料、各种辅助材料、公用工程及燃料等。消耗定额越低，生产过程越经济，产品成本也就越低。

(1) 公用工程 化工生产中涉及的供水、供电、供热、供气和冷冻等公用系统称为公用工程。



供水



供电 供电指生产用电、生活用电等。

如图2.15所示，电站发电后由其电气系统升压送入电网，通过高压电输送工程实现远程（长距离）电力输入；从电站到各电网区域、区域到省市自治区；再通过高低压工程将高压电接入到单位、企业或社区变压器和高压变换的变压器工程；通过配电输送给用户。

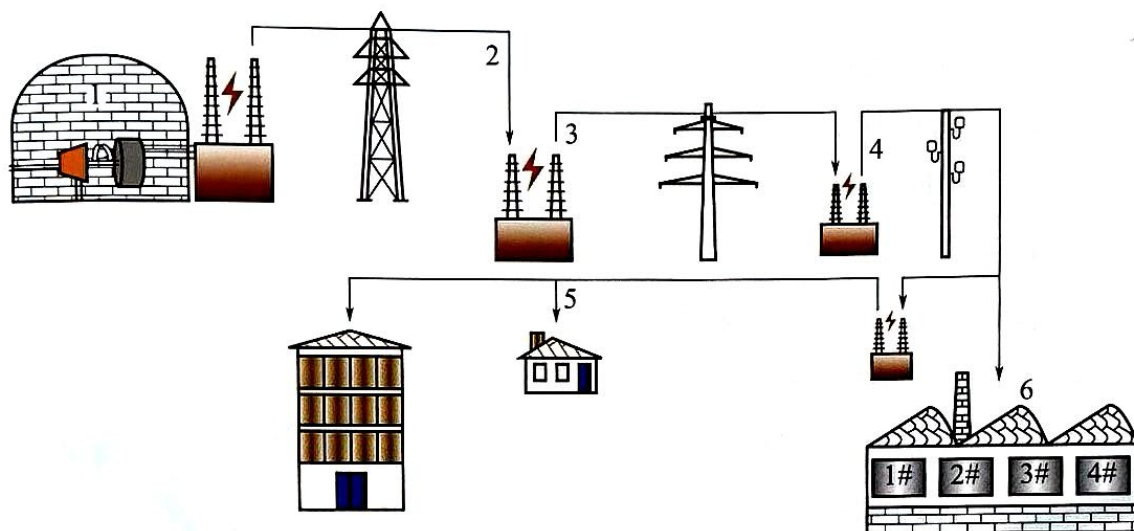


图2.15 发电、送电、配电、用电示意图

1—电站；2—长距离输送网；3—粗网配电；4—区域配电；
5—低压网；6—化工企业

输电网输送的都是高压电，必须经变压后才能分配给各用电设备使用。

注意：电气设备等必须安装防爆和防静电设施，建筑物必须安装避雷设施。

供热 热源类型：饱和蒸汽（使用方便、加热均匀、快速易控等）、联苯-联苯醚混合物、高温导热油、熔盐混合物等。

供气 供气包括氮气和压缩空气等气体的供应。

➤ 氮气 为惰性气体，具有置换、隔离、保压等作用。

➤ 压缩空气 被外力压缩的空气为压缩空气，是一种重要的动力源，具有清晰透明、输送方便；没有特殊有害性能，没有起火危险等性能。

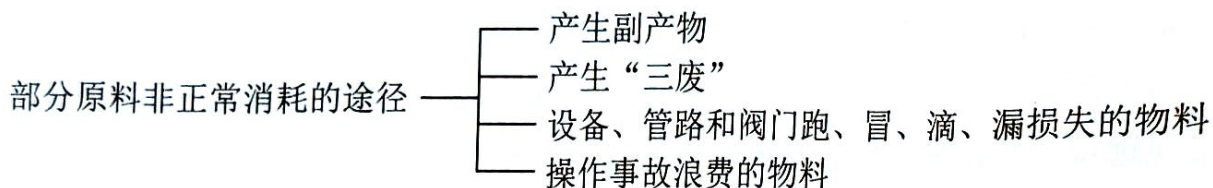
冷冻 冷冻又称制冷，是人工产生低温的技术。

冷源种类：循环冷却水、低温水、冷冻盐水、有机物、氨等。

(2) 消耗定额 生产单位产品所消耗的各种原料及辅料（公用工程）量称为

消耗定额。

- 👉 物耗 物耗通常指原料消耗定额（生产单位产品所消耗的原料量）。
 - 理论消耗定额——以化学计量方程式为基础计算的理论原料量。
 - 实际消耗定额——生产过程中实际消耗的原料量。



$$\text{原料利用率} = \frac{\text{理论消耗定额}}{\text{实际消耗定额}} \times 100\% = 1 - \text{原料损失率}$$

👉 能耗 能耗通常指公用工程消耗定额。

注意：物耗和能耗都会影响产品成本，影响企业效益，应努力减少消耗。在消耗定额的各项指标中，原料成本要占产品成本的60%～70%，因此降低产品成本的关键是降低原料消耗。

（3）节能降耗

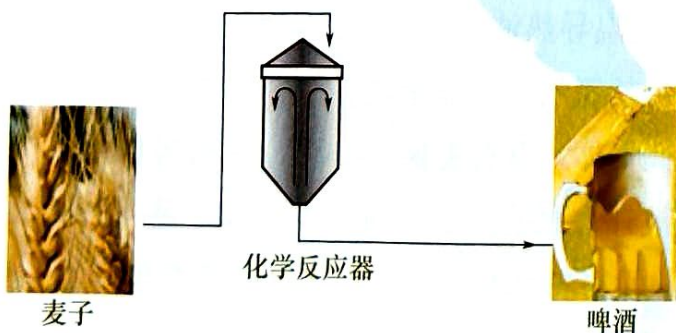
- 👉 选择合适的工艺参数和操作条件，注意物料的循环使用；
- 👉 采用性能优良的催化剂，提高选择性和生产效率；
- 👉 加强设备维护和巡回检查，避免和减少物料的跑、冒、滴、漏；
- 👉 规范生产管理和操作责任，防止事故发生等。



趣味活动

参观化工企业的生产装置或学校的实训装置，注意装置选用的公用工程种类和相应作用，为装置的节能降耗献计献策。

3. 熟悉转化率、选择性和收率



（1）转化率（X） 在反应体系中，参加反应的某种原料量占投入反应体系中该种原料总量的百分数称为转化率。

$$X = \frac{\text{参加反应的某种原料量}}{\text{投入反应体系中该种原料总量}} \times 100\%$$

通常情况下，投入反应体系中的每一种原料都难于全部参加化学反应，所以转化率常是小于100%的。

(2) 选择性 (S) 反应体系中转化成目的产物消耗的某种原料量与参加反应的某种原料量之比称为选择性。

$$S = \frac{\text{转化为目的产物消耗的某种原料量}}{\text{参加反应的某种原料量}} \times 100\%$$

由于化学反应的复杂性，原料并非全部转化成目的产物。有目的产物就有副产物，选择性越高，说明反应过程中的副反应越少。

(3) 收率 (Y) 反应体系中转化为目的产物所消耗的某种原料量与投入反应体系中该种原料总量之比称为收率。

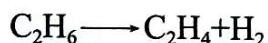
$$Y = \frac{\text{转化为目的产物消耗的某种原料量}}{\text{投入反应体系中该种原料总量}} \times 100\%$$



1. 转化率、选择性、收率三者之间的关系是什么?
2. 高转化率是否就一定高选择性?
3. 化工生产是否一定要采用高转化率?
4. 某套装置的转化率只有60%，是否表明该装置生产效率不高?

你想知道如何评估某装置的收率大小吗?

【例题】乙烷裂解制备乙烯，投入反应器的乙烷量5000kg/h，裂解气中含未反应的乙烷量为1000kg/h，获得的乙烯量为3400kg/h。试求乙烷的转化率和乙烯的收率。



【分析】

(1) 参加反应的乙烷量是多少?

$$5000\text{kg/h} - 1000\text{kg/h} = 4000\text{kg/h}$$

(2) 生成3400kg/h 乙烯消耗的乙烷量为多少?

设消耗掉 x (kg/h) 乙烷量

$$\begin{array}{r} \text{C}_2\text{H}_6 \longrightarrow \text{C}_2\text{H}_4 + \text{H}_2 \\ 30 \qquad 28 \\ x \qquad 3400 \\ x = 3400 \times \frac{30}{28} = 3642.86 \text{ (kg/h)} \end{array}$$

计算时要注意：
1. 认真审题，公式里涉及的都是原料。
2. 数字的后面要有正确的单位。

【解】

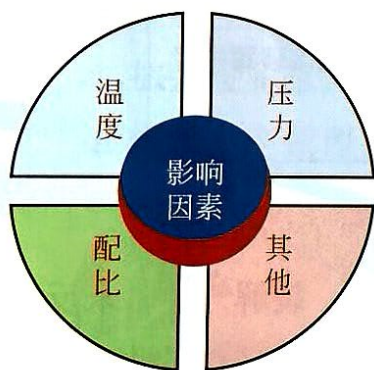
$$\begin{aligned} \text{乙烷转化率} &= \frac{\text{参加反应的乙烷量}}{\text{投入反应器的乙烷量}} \times 100\% \\ &= \frac{4000}{5000} \times 100\% = 80\% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{乙烯收率} &= \frac{\text{生成乙烯消耗的乙烷量}}{\text{投入反应器的乙烷量}} \times 100\% \\ &= \frac{3642.86}{5000} \times 100\% = 72.8\% \end{aligned}$$

任务三 掌握影响化工生产的主要因素

化学反应过程十分复杂，在生成目的产物的同时，可能还会生成多种副产物，而且原料也不会全部参加反应。讨论影响化工生产的主要因素，对于提高反应的选择性、实现产品安全、优质、高产和低耗十分重要。

影响反应的因素是多方面的，有原料纯度、催化剂性能、反应器结构、工艺参数等。不同的反应过程，其影响因素也不尽相同。



1. 认识化工过程的参数

化工过程参数指表示物料状态及过程变化程度的参数。

在整个化工生产过程中，物料会以一定的状态（例如组成、温度、压力、浓度、配比等）进入每一台设备；经过设备后都会发生一定的变化（例如化学变化、物理变化、能量变化等）。控制物料进入设备的状态以及变化的

程度不仅是生产装置能否顺利运行的关键，更是化工生产目标能否实现的保证。

(1) 温度 温度是表征物体冷热程度的物理量。

温度的表示方法：温标（用来测量温度的标尺）。

📌 摄氏温标 摄氏温标是一种最普遍使用的温标。

摄氏温标规定：在标准大气压（101.325kPa）下，冰的熔点为0度，水的沸点为100度，中间均分为100等分，每等分为1摄氏度。



用摄氏温标表示的温度称为摄氏温度（用符号 t 表示），单位为摄氏度，用符号 $^{\circ}\text{C}$ 表示。

📌 华氏温标 华氏温标规定：在标准大气压下，冰的熔点为32度，水的沸点为212