

化 学 工 程 基 础

Fundamentals of Chemical Engineering

主讲：伍鹏

电话：13656023830

邮箱：p.wu@suda.edu.cn

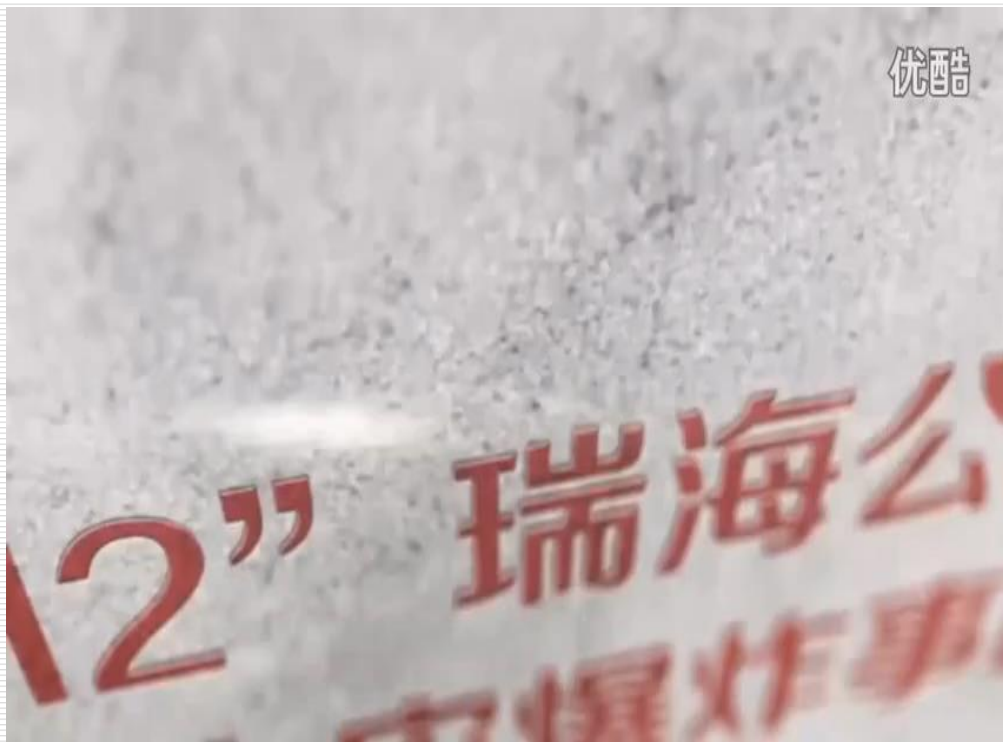
办公室：911-510

思考1：化工是“天使”还是“魔鬼”？



8·12天津滨海新区爆炸事故

- 2015年8月12日22时51分46秒，位于天津市滨海新区天津港的瑞海公司危险品仓库发生火灾爆炸事故，本次事故中爆炸总能量约为 450 吨 TNT 当量。造成直接造成经济损失68.66亿元，165人遇难、8人失踪，798人受伤，304幢建筑物、12428辆商品汽车、7533个集装箱受损……
- **直接原因**：瑞海公司危险品仓库瑞海公司违法建设危险货物堆场，违法经营、违规储存危险货物，导致堆放于运抵区的硝酸铵等危险化学品发生爆炸。



<https://www.bilibili.com/video/BV11y4y1x732?p=1>

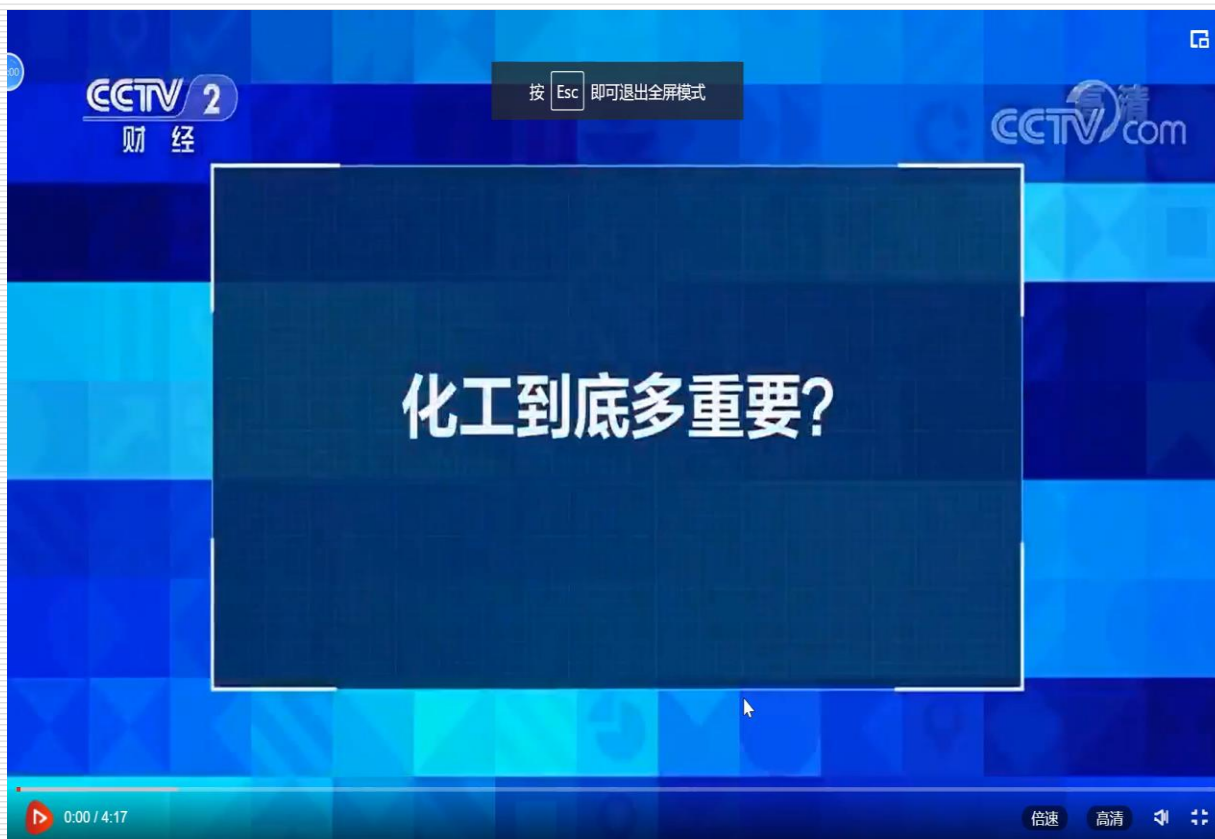
江苏响水 “321”特别重大爆炸事故

- 2019年3月21日14时48分许，位于江苏省盐城市响水县生态化工园区的天嘉宜化工有限公司发生特别重大爆炸事故，造成78人死亡、76人重伤，640人住院治疗，直接经济损失19.86亿元。
- 经国务院调查组认定，江苏响水天嘉宜化工有限公司“321”特别重大爆炸事故是一起长期违法贮存危险废物导致自燃进而引发爆炸的特别重大生产安全责任事故。



<https://www.bilibili.com/video/av928770209/>

如何让化工更“美丽”？



- <http://tv.cctv.com/2020/02/01/VIDENxaNpjhsthzKjoX7cTZ3200201.shtml?spm=C52448022284.PA4L9aiEVI3b.0.0>
- <http://tv.cctv.com/2019/11/21/VIDEWgc8I9fiXxdkOHQU3DJz191121.shtml?spm=C28340.PIFTqGe6Zk8M.S70924.296>

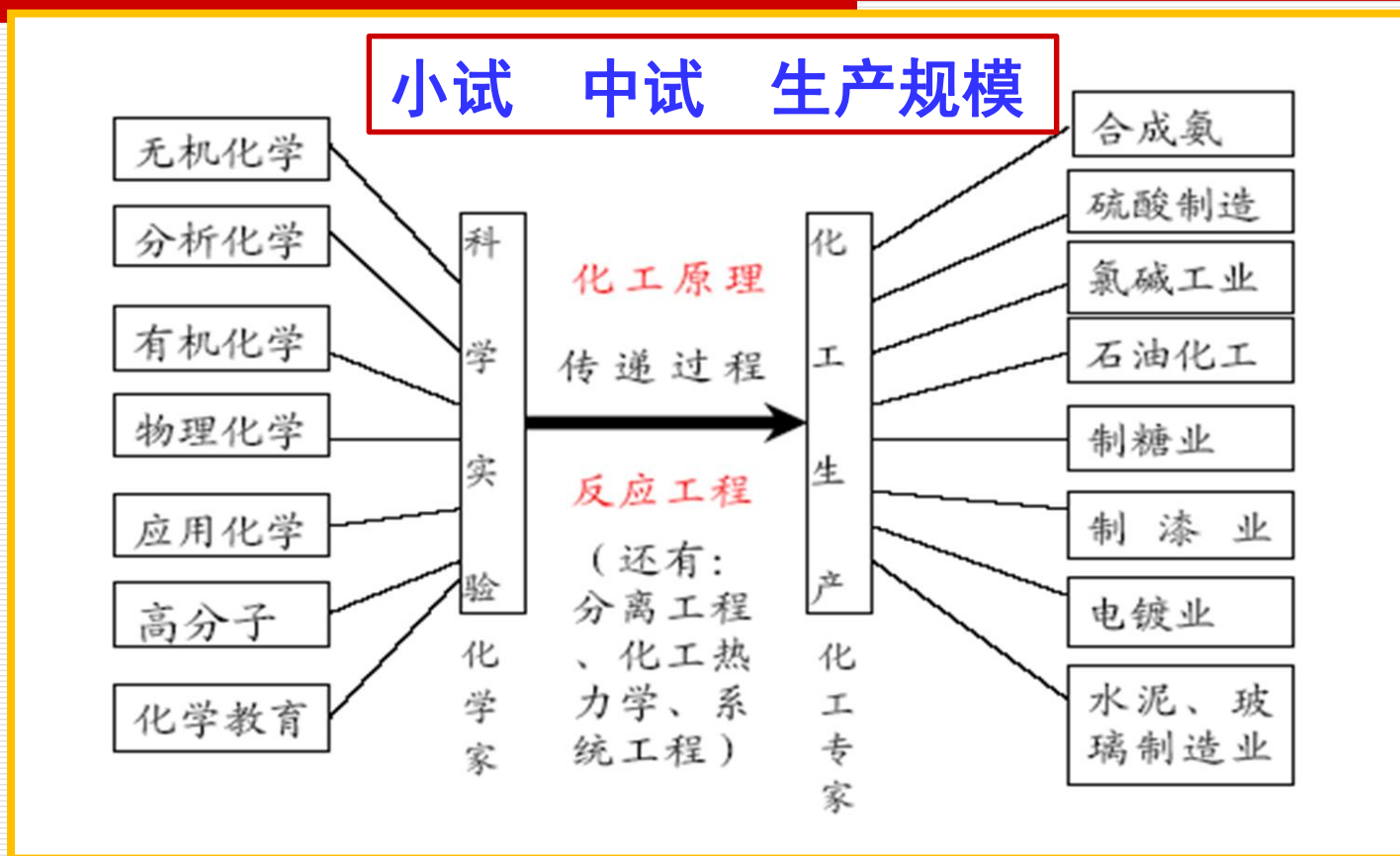
化工其实也可以很“美丽”！



化工不应该妖魔化，
化工 ≠ 污染 + 危险，
请别谈“化”色变

整治提升化工产业，绝不是不要化工产业、不再发展化工产业，而是要**高质量、高效率、高安全性**地发展化工产业。

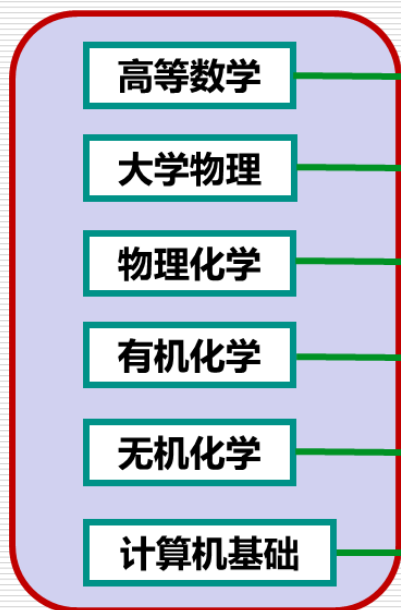
思考2：化学与化工的关系？



化学家合成、提取、表征新物质，化工专家解决实验成果投入生产过程中的问题。

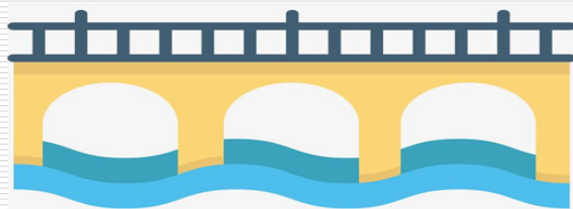
课程介绍

先修基础课程

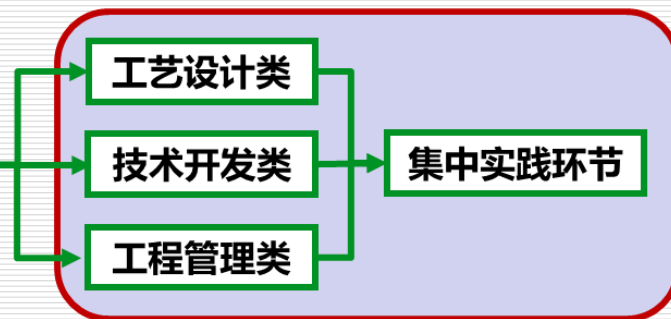


- 适用专业：理科化学专业和应用化学专业
- 课程性质：专业技术基础课（必修）
- 学时学分：36学时、2学分
- 开课学期：第六学期（春季）

化 工 基 础



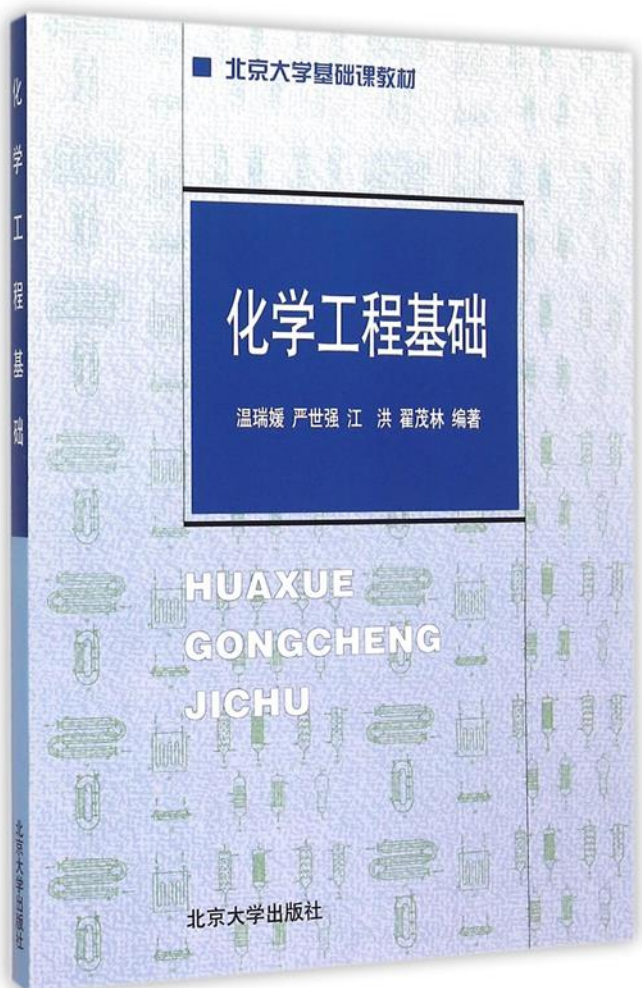
后续专业课程



在基础课与专业课之间起着承上启下、由理及工的“桥梁”作用

课程介绍

- **成绩：**平时**20%**（作业、课堂表现、考勤）+ 期中考试**30%**（闭卷）+ 期末考试**50%**（闭卷）
- **教材：**《**化学工程基础**》，**北京大学出版社**，**温瑞媛 等编**
- **参考书：**
《**化工原理**》（上、下册），**天津大学出版社**，**夏清 陈常贵主编**
《**化学工程基础**》，**第二版**，**清华大学出版社**，**林爱光 阴金香 主编**



平时作业和考勤

1. 作业独立完成，如发现雷同作业，雷同者作业均判定0分。
 2. 布置作业一周后交作业，作业写在专用作业本上，不允许写在未装订的纸张上。
 3. 考勤以随机抽查点名为主，缺勤超过3次（包括3次），不允许参加本课程考核。每缺勤一次，扣除平时分20分。
 4. 请假需要课前申请，并提供假条。
-

教学内容

自学

“三传一反”



第一章

动量传递

流体流动

流体输送

第二章

热量传递

热传导

对流传热

第三章

质量传递

精馏

吸收

第四章

化学反应

反应动力学

化学反应器

研究方法

动量衡算

能量衡算

物料衡算

传递速率

平衡关系

教学重点和难点

重点

“三传一反” 的基本理论

单元操作和化学反应设备的特点和选型

化工传递过程和反应工程的研究方法

难点

化工传递和反应工程实际问题的合理性分析和解决方案

化工工艺流程和反应器的目标设计和优化

基于化工传递和反应工程原理的**产品设计和开发**

教学目标



目 录

□ 绪论

□ 第一章 流体的流动及输送

□ 第二章 热量传递

□ 第三章 传质分离过程

(一般原理, 精馏, 吸收)

□ 第四章 化学反应工程的基本原理

自学

绪 论

- 一、化学工业和化工过程
- 二、化工技术学科的发展
- 三、化工基础课的学习内容和目的
- 四、化工过程开发
- 五、单位与单位制换算
- 六、化工单元操作的基本规律
- 七、化学工程学的基本研究方法

一、化学工业和化工过程

□ 化学工业

将自然界的各种物质，经过化学和物理方法处理，制造成**生产资料**和**生活资料**的工业。在化学工业中，以化学反应过程为核心。

□ 化工过程

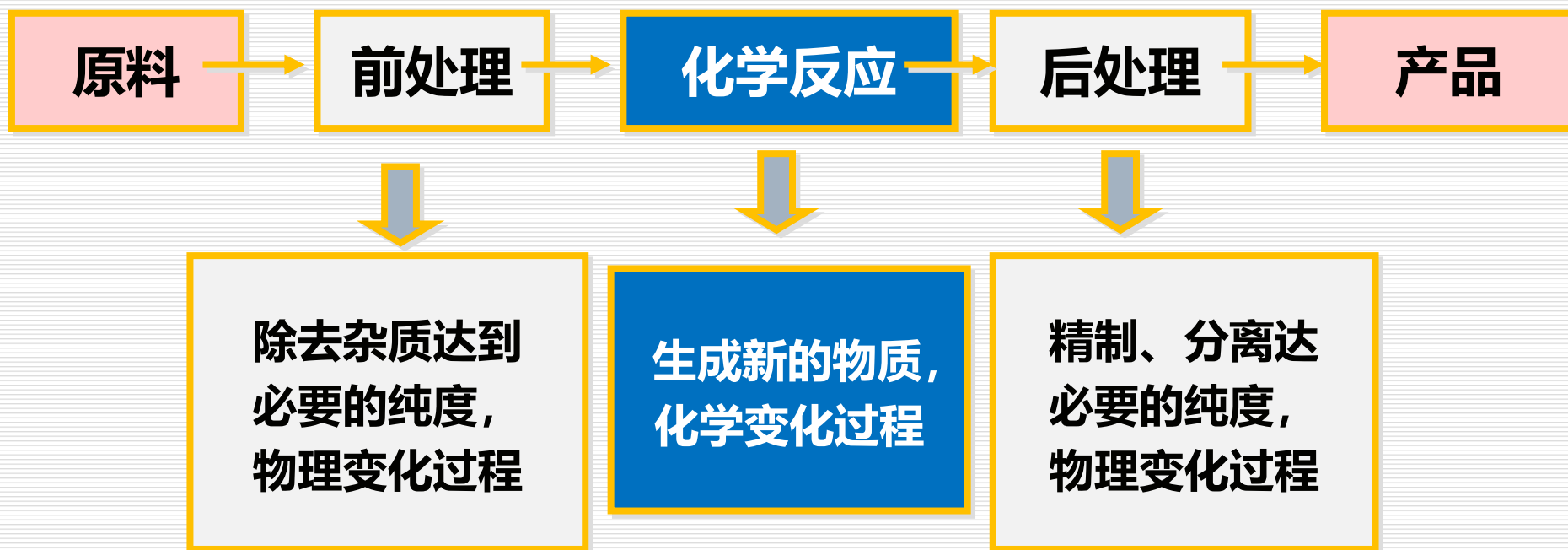
一种产品的生产过程中，从原料到成品，往往需要几个或几十个加工过程。其中除了**化学反应过程**外，还有大量的**物理加工过程**。这些过程就是化学工业的生产过程，常称作化工过程。

一、化学工业和化工过程

□ 化工过程的工业特征

- 化工过程是大规模的工业生产，物料处理量大，与实验研究相差悬殊。
- 化工生产多为连续化生产过程。
- 化工生产处理的物料从原料的纯度到产品的收率都与化学实验室研究不尽相同。
- 化工生产需要设置专用供水、供电、动力、贮存、运输等设施。
- 化工生产涉及经济问题。

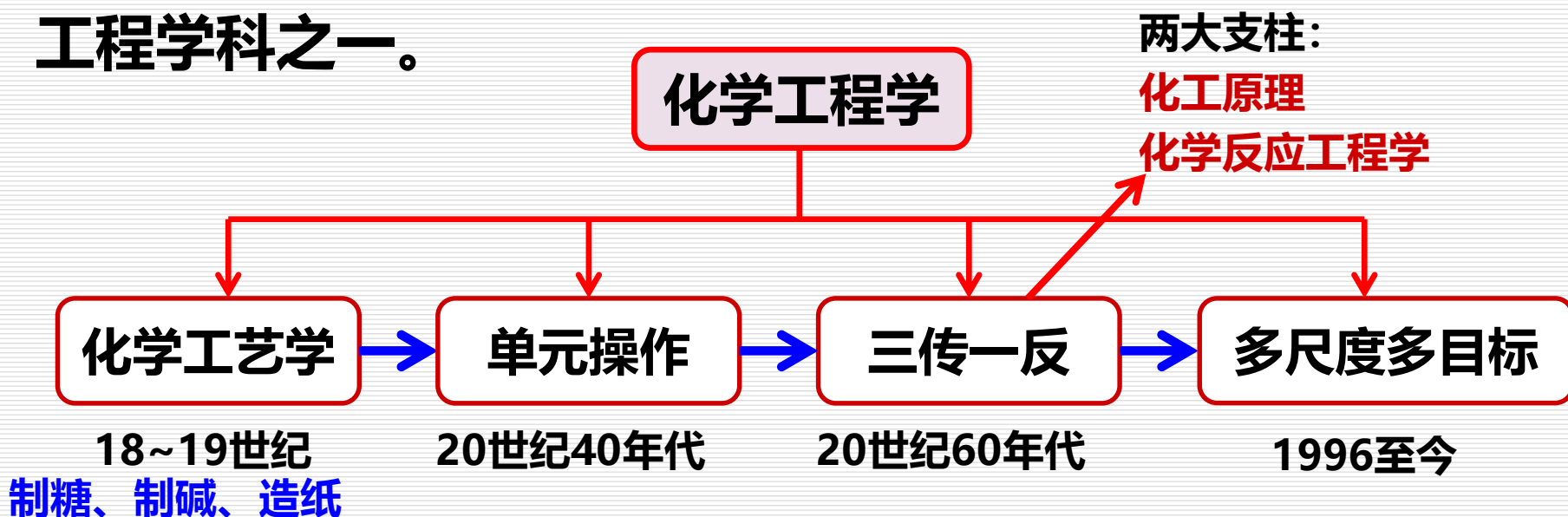
一、化学工业和化工过程



化工过程包括**化学反应过程**和**物理过程**。

二、化工技术学科的发展

化学工程是在19世纪下半叶随着大规模制造化学产品的生产过程的发展而出现的，经过100多年的发展，化学工程已经成为一门具有独特研究对象和完整体系的现代工程学科之一。



二、化工技术学科的发展

- **化学工程的萌芽**-1791年**路布兰**（ N.Leblanc ）发明的纯碱制造工艺标志着化学工业的诞生。
- **化学工程学诞生的标志**—1901年英国**戴维斯**（ G.E.Davis ）出版《**化学工程手册**》(A Handbook of Chemical Engineering) 为标志。
- **最早的单元操作概念**-1915年，美国学者**利特尔**（ A.D.Little ）明确指出：**任何化工生产过程，无论规模如何，都可分解成单元操作的过程，例如粉碎、蒸馏、萃取、吸收、冷凝、沉降、结晶和过滤等。**

二、化工技术学科的发展

- **“三传一反”** 阶段-1960年，美国学者**博德 (R.B.Bird)** 等编写《传递现象》一书，成为化学工程发展进入 “三传一反” 新时期的标志。（三传：**动量传递**；**热量传递**；**质量传递**；一反：**化学反应工程**）
- **“多尺度、多目标”** 发展新阶段-1996年5月，法国化学工程学家**维莱莫 (J.Villermux)** 在第五届化学工程学年会上提出化学工程学的新定义：是用尽量少的资源和消耗，能更好、更便宜、更快地完成特定的生产，并对环境和生态环境是友好的。标志着化学工程学进入 “多尺度、多目标” 研究的发展新阶段。

二、化工技术学科的发展

□ 化学工程学与高新技术学科结合形成新的前沿学科

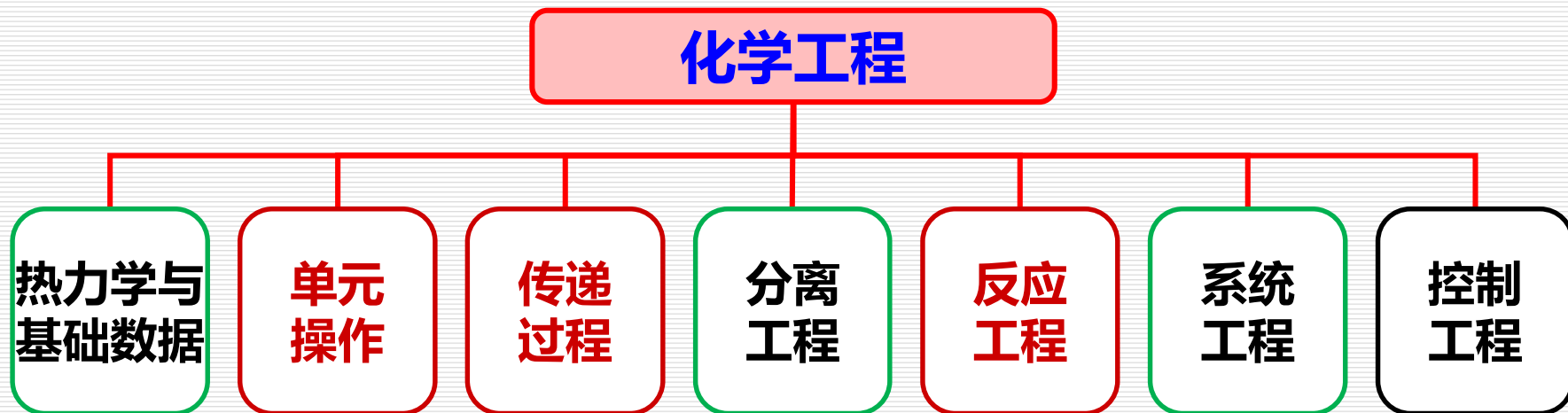
材料化学工程；食品化学工程；生物化学工程；能源和资源化学工程；环境化学工程；超细粉体化学工程；表面与界面化学工程；微电子化学工程；信息化学工程；电子化学工程；海洋化学工程；生态化学工程等。

□ 化学工程学的的前沿研究

过程耦合技术；新催化技术；非传统反应与分离技术；超细粉技术；工程放大方法；化工动态过程的优化。

二、化工技术学科的发展

- **化学工程的研究内容**：研究**化工单元操作**和**化学反应工程学**以及有关的流体力学、热传递和物质传递原理、热力学和化学动力学以及系统工程等在化学工业上的应用，以指导各种过程及其设备的改进和发展。



二、化工技术学科的发展-单元操作

□ 化工单元操作

化工单元操作是组成各种化工过程、完成一定加工目的的基本过程，简称**单元操作**。单元操作为化学反应过程和将反应物分离制成纯净产品创造适宜条件，在生产过程中占据重要地位，**决定整个生产的经济效益**。

二、化工技术学科的发展-单元操作

□ 单元操作的分类

动量传递过程：遵循**流体动力学基本规律**的单元操作，包括流体输送、沉降、过滤、固体流态化等。

热量传递过程：遵循**传热基本规律**的单元操作，包括热传导、蒸发、冷凝、热交换、加热等。

质量传递过程：遵循**传质基本规律**的单元操作，包括蒸馏、吸收、萃取、结晶、吸附、干燥、膜分离等。

此题未设置答案，请点击右侧设置按钮

下面哪个过程属于动量传递过程？

A 萃取

B 过滤

C 蒸发

D 干燥

三、化工基础课的学习内容和目的

□ **学习内容：**化学工程学“三传一反”的基础知识。

□ **学习目的：**

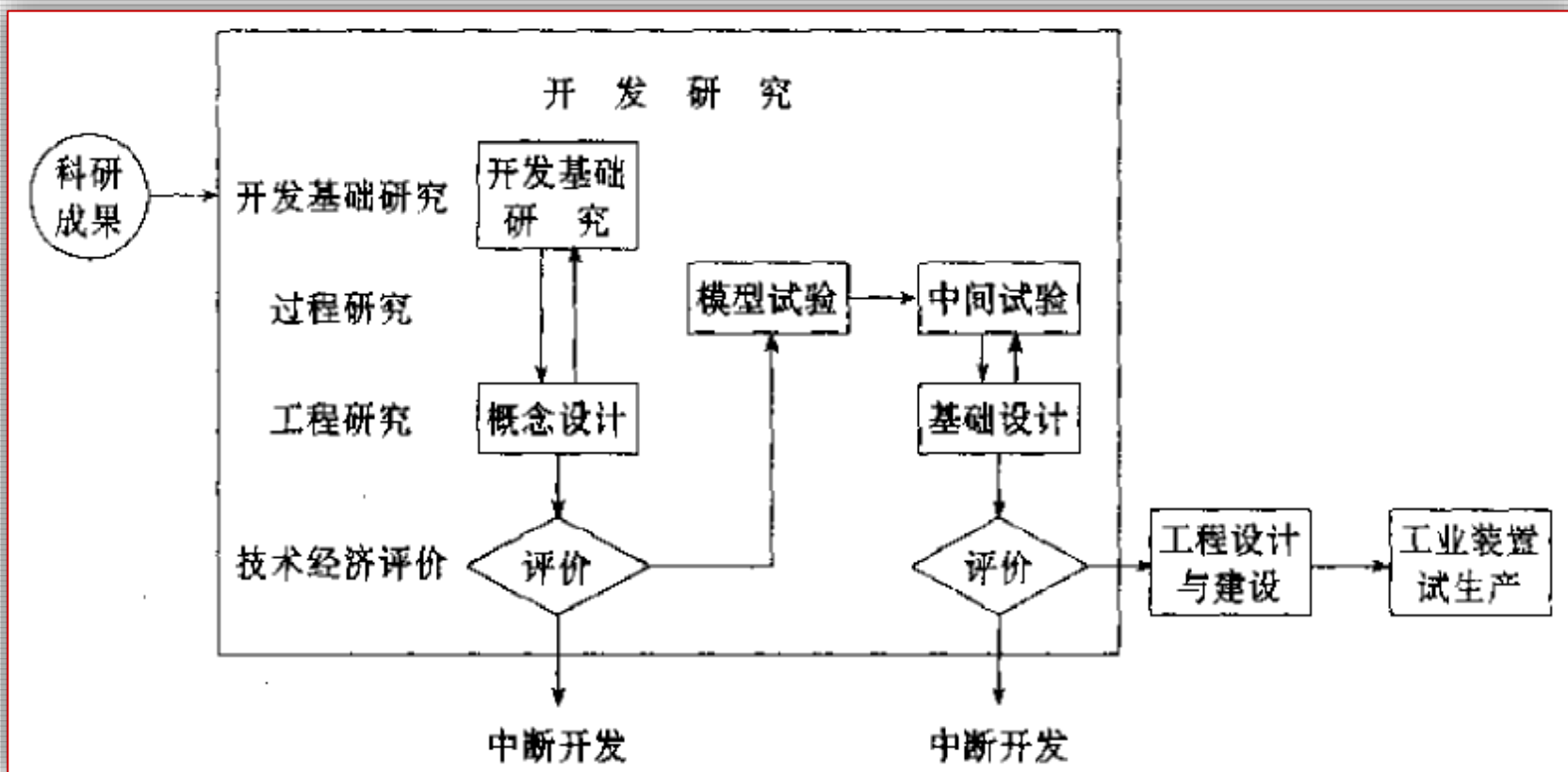
- 在科研工作中提高产业化意识
- 与工程技术人员建立共同的语言
- 指导开发和科研工作
- 有利于全面掌握科学方法论

四、化工过程开发

- **化工过程开发**：把化学实验室的研究结果转变为工业化生产的全过程。
- **化工过程开发大致可分为4个阶段**：
 - 开发基础研究
 - 过程研究
 - 工程研究
 - 技术经济评价

四、化工过程开发

□ 科研成果产业化过程流程



四、化工过程开发-基础研究

- 针对化工过程开发而进行的实验室规模的初步研究。包括：
 - 总结文献资料
 - 初步筛选原料路线
 - 了解过程涉及的化学反应和各种数据
 - 归纳出适宜的工艺条件
 - 拟定原料、中间产物、产品的分析方法

四、化工过程开发-过程研究

- 按设想的工业化技术方案进行的模拟和放大试验研究。包括：
 - 小型工业模拟试验(小试)
 - 模型试验：为建立过程的理论模型，在实物模型设备中进行的试验。
 - 中间(工厂)试验(中试)

四、化工过程开发-工程研究

- **概念设计**：对预定生产规模的生产装置提出的设计方案。目的：合理安排流程、确定进一步开发的方案。
- **基础设计**：中间工厂和最终生产装置的基础设计。可作为技术转让的主要技术文件。包括：工艺概述、工艺流程图、工程计算及工艺条件、物料衡算及能量衡算、设备明细表、公用工程、“三废”处理方案等。

四、化工过程开发-技术经济评价

- **技术经济评价**：化工过程开发中对开发项目的**技术可行性**和**经济合理性**的考察。包括：技术、经济、社会、生态环境等方面。
- 化工过程开发是在技术经济评价中过程研究和工程研究交叉进行，逐步放大，得到最佳设计的过程。**核心问题是放大和优化。**
- 探索化工过程共性规律和放大方法，为化工设计计算提供依据是化学工程学的**主要任务**。

五、单位制与单位换算

1. 单位与单位制

□ 物理量的大小以数值加单位表示。 **压强 $P=100$ kPa**

物理量 = 数字 × 单位 单位 = 物理量 / 数字

数值

单位

□ 单位有基本单位和导出单位之分。

基本单位一般人为规定，数量不多；导出单位可通过物理量之间的规律从基本量导出。

□ 单位制：基本单位与导出单位的组成的单位体系。

五、单位制与单位换算

□ 常用的单位制有：国际单位制（SI）、工程单位制、物理单位制、英制、美制等。

□ 国际单位制的基本单位

质量	时间	温度	长度	物质的量	电流强度	发光强度
千克 kg	秒 s	开尔文 K	米 m	摩尔 mol	安培 A	坎德拉 candela

五、单位制与单位换算

- SI制规定：任何一个物理量的导出单位都可以通过选定的定义式按一贯性原则由基本单位导出。

- **一贯性原则**：将用来确定导出单位的定义式中的比例系数永远取为1，由基本单位相乘或相除得出导出单位。

- 常见的导出单位：
 - 力： $F = ma$ [$\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$], [**N**]
 - 压强： $P = F/A$ [$\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-2}$], [$\text{N} \cdot \text{m}^{-2}$], [**Pa**]
 - 能量、功、热： $F \times \text{距离}$ [$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2}$], [$\text{N} \cdot \text{m}$], [**J**]
 - 功率： 功/时间 [$\text{kg} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{s}^{-3}$], [$\text{J} \cdot \text{s}^{-1}$], [**W**]
 - 比热： 热/质量·温度 [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-2} \cdot \text{K}^{-1}$], [**J**· $\text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$]

五、单位制与单位换算

2. 单位换算举例

[例0-1] 常温下苯的导热系数 $\lambda = 0.0919 \text{ BTU}/(\text{ft} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F})$, 将其换算成SI单位制 $\text{W}/(\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$

解：从附录查出：

长度 $1 \text{ m} = 3.2808 \text{ ft}$ 英尺

热量 $1 \text{ J} = 9.486 \times 10^{-4} \text{ BTU}$  英制热量单位

温度差 $1 ^\circ\text{C} = 1.8 ^\circ\text{F}$

时间 $1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$

五、单位制与单位换算

原单位消除法

$$\lambda = 0.0919 \text{ BTU}/(\text{ft} \cdot \text{h} \cdot ^\circ\text{F})$$

$$0.0919 \left(\frac{\text{BTU} \cdot 1\text{J}}{9.486 \times 10^{-4} \text{BTU}} \right) \left(\frac{3.2808 \text{ft}}{\text{ft} \cdot 1\text{m}} \right) \left(\frac{1\text{h}}{\text{h} \cdot 3600\text{s}} \right) \left(\frac{1.8^\circ\text{F}}{^\circ\text{F} \cdot ^\circ\text{C}} \right)$$

原有
数值

引入J, 消
去BTU

引入m,
消去ft

引入s,
消去h

引入°C,
消去°F

$$= 0.159 \text{ J} / \text{m} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C} = 0.159 \text{ W} / (\text{m} \cdot ^\circ\text{C})$$

注意:引入单位应与消去单位的位置一致

六、单元操作的基本规律

1. 平衡关系

两大平衡：相平衡与化学平衡

- 任何过程都是在变化的，在一定条件下由不平衡到平衡，**平衡状态**是过程变化的极限。
- 通过平衡关系可以判断过程能否进行，及进行的方向和能达到的程度。
- 平衡关系是讨论许多过程的基本规律之一。

六、单元操作的基本规律

2. 传递过程速率---达到平衡状态的速率，是计算设备尺寸的基本工具。传递过程速率的大小决定过程进行的快慢，直接影响设备的尺寸大小，生产能力及经济效益等其通用表示式如下：

$$\text{传递过程速率} = \frac{\text{传递过程的推动力}}{\text{传递过程的阻力}}$$

➤ **过程推动力**：系统与平衡态相差的程度。相差程度越大，推动力越大，当过程达到平衡时，推动力为0。

➤ **过程阻力**：比较复杂，影响因素很多

• **举例**：传热过程的推动力为温差；质量传递过程的推动力为浓度差

六、单元操作的基本规律

3. 三种衡算

质量衡算、能量衡算与动量衡算是化学工程课程中分析问题的基本方法。

质量衡算的依据是**质量守恒定律**；

能量衡算的依据是**能量守恒定律**；

动量衡算的依据是**动量守恒定律**。

六、单元操作的基本规律

□ **质量衡算** (常称**物料衡算**，反映生产过程中各种物料之间量的关系，是分析生产过程、设备操作情况和进行过程设计的基础)

■ 基本依据：**质量守恒定律** (不包括核反应)

■ 总物料衡算式: $\Sigma F = \Sigma D + \Sigma A$

输入系统物料总和 = 输出系统物料总和 + 系统累积的物料量

■ 无化学变化：适用于物料中任一组分的衡算

■ 有化学变化：适用于任一元素的衡算

■ 系统中无物料的积累 ($\Sigma A = 0$) : $\Sigma F = \Sigma D$

进行物料衡算时，必须明确下面几点：

1. 首先要确定衡算的系统，即衡算对象包括的范围。
 2. 其次要确定衡算的基准。
 3. 然后确定衡算的对象（指标、参数）。
 4. 最后还要确定衡算对象的物理量及单位。
-

例0-2 每小时有10吨5%的乙醇水溶液进入精馏塔，塔顶馏出的产品中含乙醇 95%，塔底排出的废水中含乙醇0.1%。求每小时可得产品多少吨？若废水全部排放，每年（按操作7200小时计）损失的乙醇多少吨？

解：已知： 原料液流量及其中乙醇含量
产品和废水中乙醇含量

确定： 衡算范围：

衡算对象：

衡算基准：

原料液
含乙醇5%
10吨/时

精馏塔

乙醇产品
含乙醇95%

废水
含乙醇0.1%

设：产品流量为 X 吨/时、废水流量为 Y 吨/时。

由物料衡算式：
$$\sum M_{\lambda} = \sum M_{\text{出}}$$

对物流的量进行衡算：
$$10 = X + Y \quad (1)$$

对乙醇的量进行衡算：
$$10 \times 5\% = X \times 95\% + Y \times 0.1\% \quad (2)$$

解得：
$$X = 0.516 \text{ 吨/时}, \quad Y = 9.484 \text{ 吨/时}$$

每年损失乙醇：
$$9.484 \times 0.1\% \times 7200 = 68.28 \text{ 吨/年}$$

六、单元操作的基本规律

- **能量衡算**（在化工生产中，能量的消耗是一项重要的技术经济指标，它是衡量工艺过程、设备设计、操作制度是否先进合理的主要指标之一）
- 能量衡算的基础是物料衡算，只有在进行完备的物料衡算后才能作出能量衡算。

■ 基本依据：**能量守恒定律**

■ 热量衡算式： $\Sigma H_F + Q = \Sigma H_P + Q_A$

ΣH_F - 单位时间内输入系统的焓值总和，即物料带入的热量总和；

ΣH_P - 单位时间内输出系统的焓值总和，即物料带出的热量总和；

Q - 单位时间内从环境传入（或传给环境）的热量；

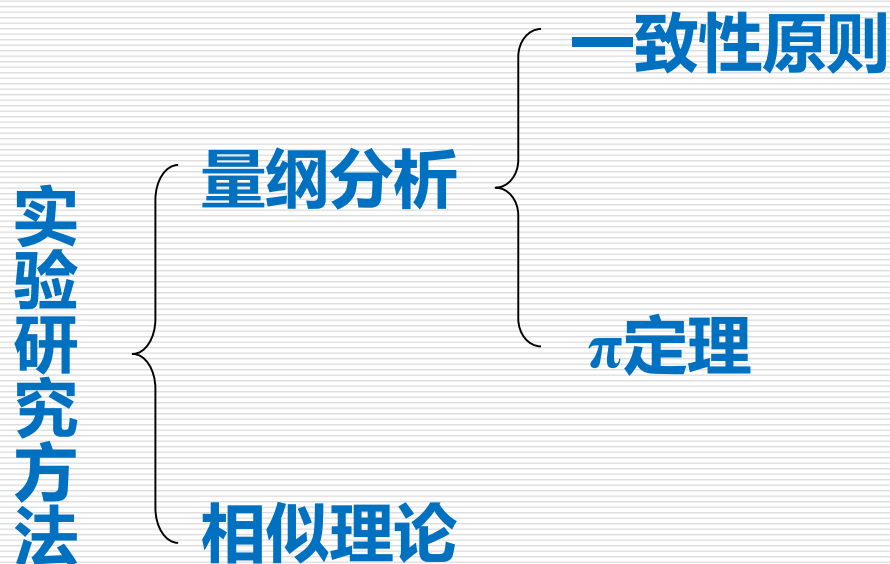
Q_A - 系统累积的热量；

稳态过程，无热量积累（ $Q_A = 0$ ）： $\Sigma H_F + Q = \Sigma H_P$

七、 化学工程学的基本研究方法

□ 实验研究方法

化工过程往往很复杂，涉及的影响因素很多，难以做到定量分析预测，必须通过实验来解决。



七、 化学工程学的基本研究方法

■ 量纲分析

1.一致性原则：凡是根据基本的物理规律导出的物理方程式，其中各项的量纲必然相同，即物理方程左边的量纲应与右边的量纲相同。

2. π 定理：任何量纲一致的物理方程都可以表示为一组无量纲数群的零函数，组成的无量纲数群的数目等于影响该过程的物理量的数目减去用以表示这些物理量的基本量纲的数目。

七、化学工程学的基本研究方法

■ 相似理论

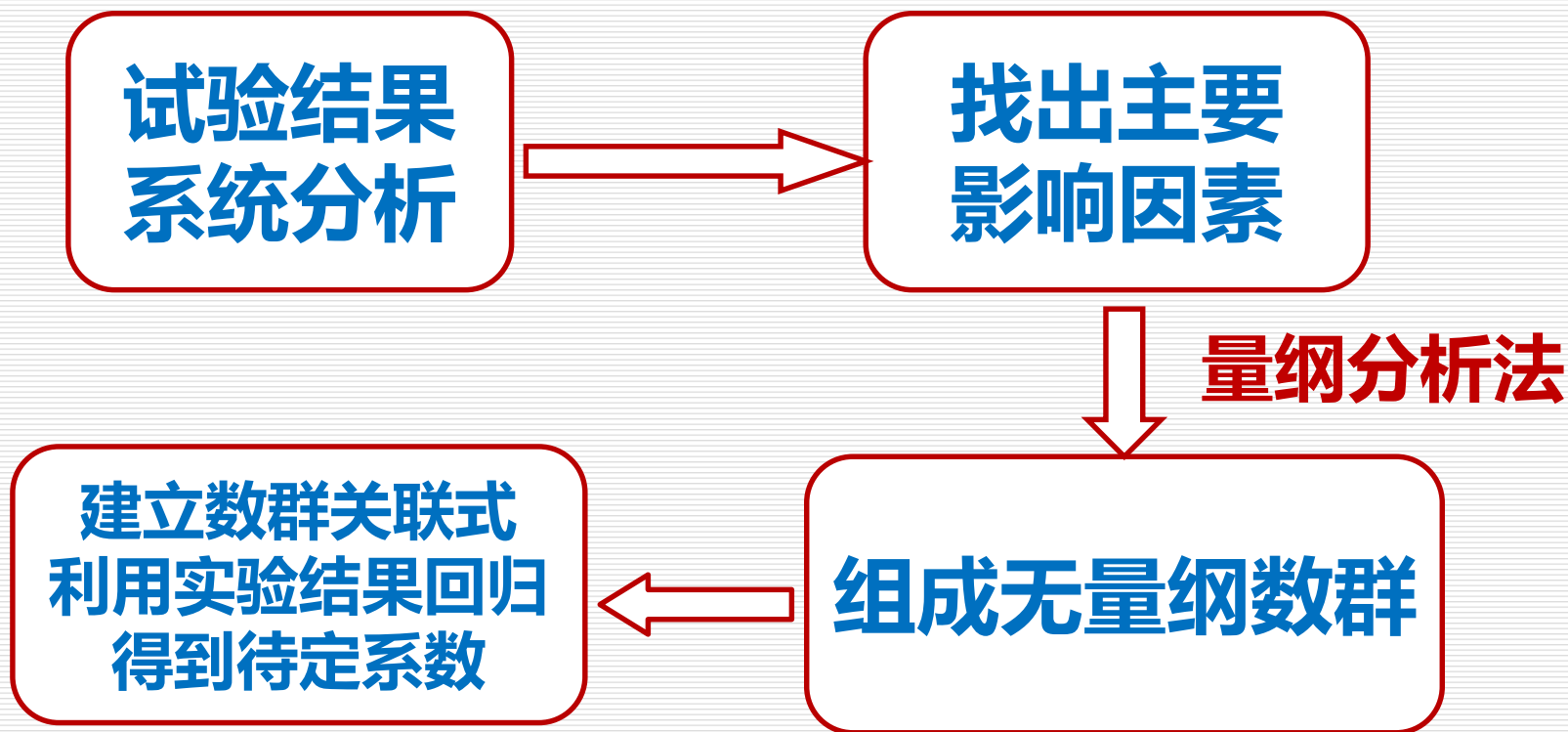
主要在化工工程放大中应用。

■ 量纲分析和相似理论的共同点

把各种因素的影响表示为由若干个有关因素组成的、具有一定物理意义的无量纲数群（或称为准数）的影响，如雷诺数 Re 。

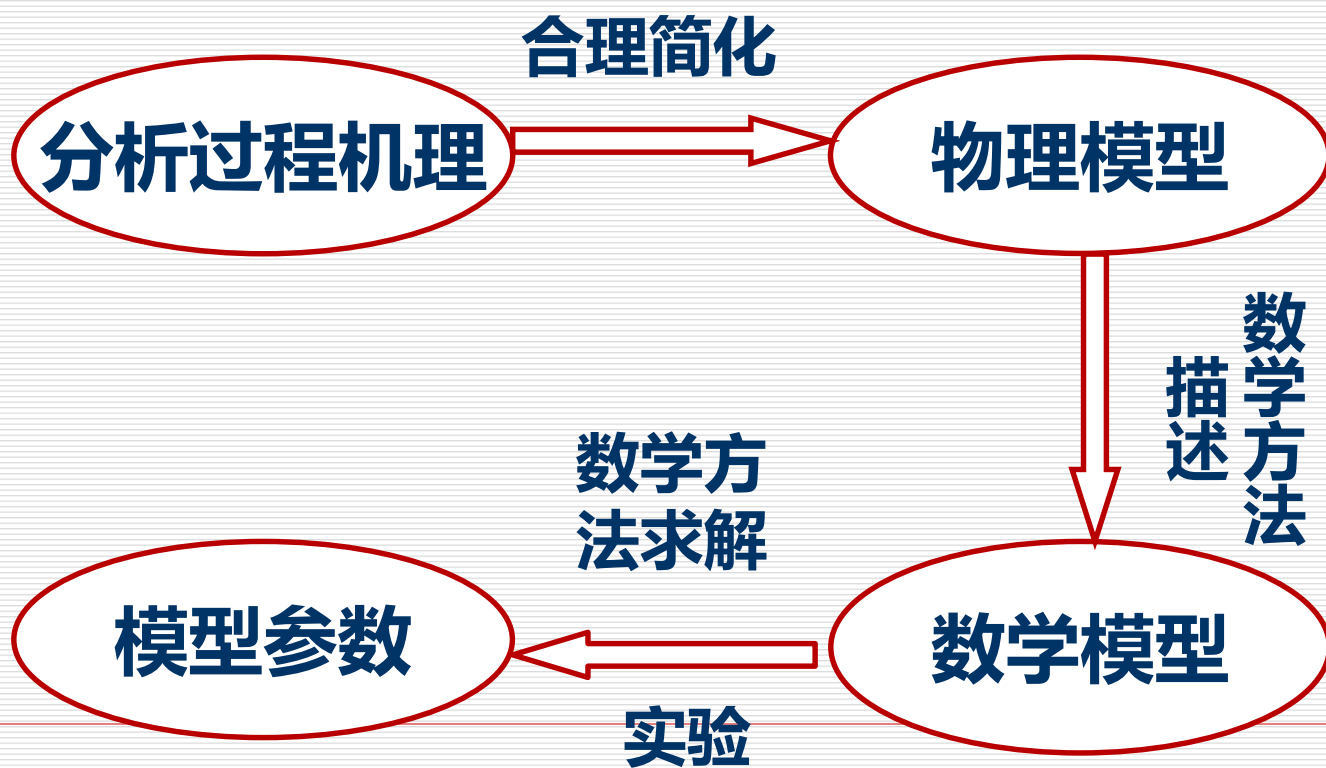
七、化学工程学的基本研究方法

■ 通过实验研究建立经验关系式的方法在化工中非常常用，其基本步骤为：



七、 化学工程学的基本研究方法

□ **数学模型方法**——半理论半经验的方法，
用于过程和设备的设计计算



思考题

- 本课程的研究对象是什么？
- “三传一反” 指的是什么？
- 什么是单位制？常见的单位制有哪些？
- 研究单元操作的基本规律有哪些？
- 物料衡算和能量衡算的基本原理是什么？
- 熟练掌握不同单位制之间的换算。