



分离工程

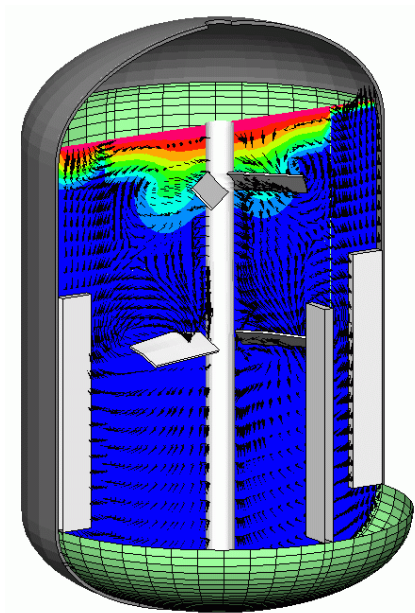


第一章 绪论
朱家文
华东理工大学

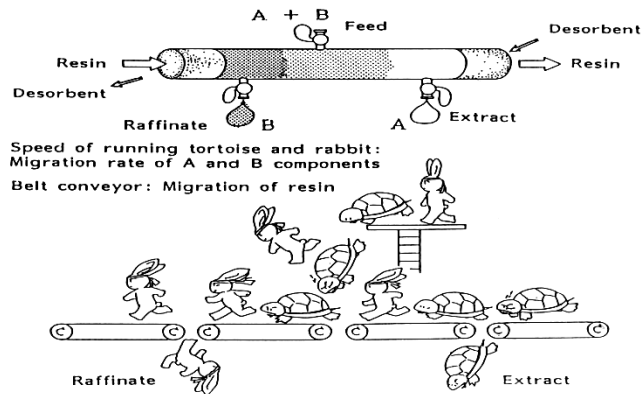


第一章：绪论

—面向21世纪的化工分离工程



- 分离工程的昨天：
生产实践是分离工程形成与发展的源泉
- 分离工程的今天：
分离技术推动着化学工业与相关工业的发展
- 分离工程的明天：
新分离方法在高新科技领域显露身手



我们已经进入21世纪，让我们站在新世纪的高度，从学科发展和技术进步视角，审视分离工程和分离单元操作的过去、现在和未来，展望分离工程的发展。

早期人类生产活动中的分离过程



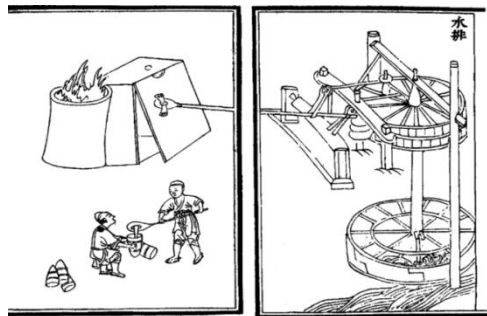
晒盐,B.C.3000



酿酒.A.D.100

- 早在数千年前，人们已利用各种分离方法制作许多人们生活和社会发展中需要的物质，例如：
- 利用日光蒸发海水结晶制盐；
- 农产品的干燥；
- 从矿石中提炼铜、铁、金、银等金属；
- 火药原料硫磺和木炭的制造；
- 从植物中提取药物；
- 酿造葡萄酒时用布袋过滤葡萄汁；
- 制造蒸馏酒。

早期人类生产活动中的分离过程



铜、铁、金、银的冶炼,B.C.1000



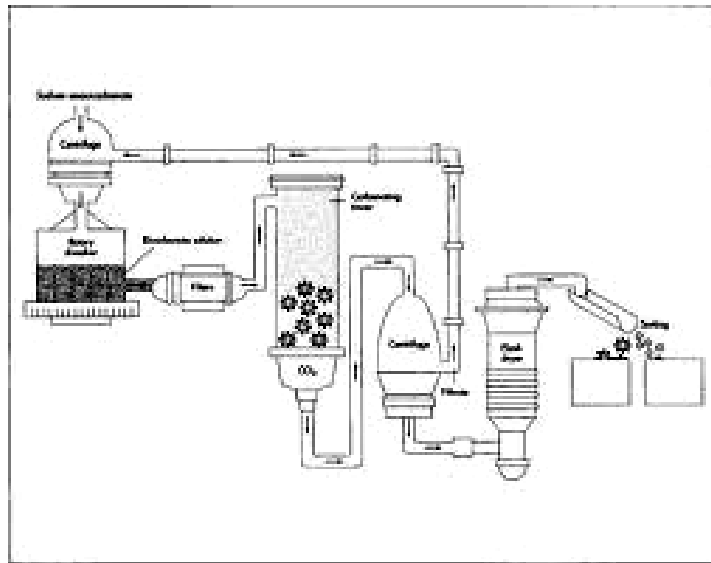
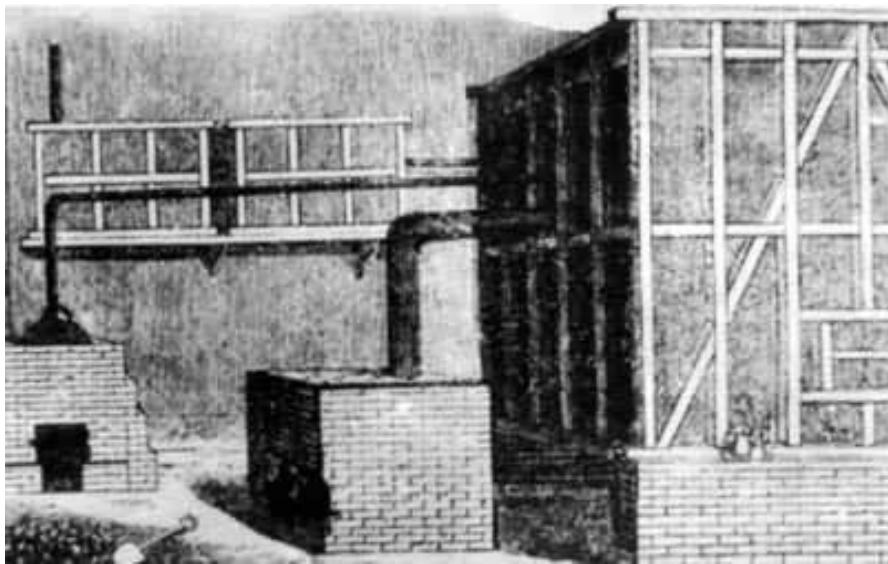
制皂,B.C.700

但是！

这些早期的人类活动都是以分散的手工业方式进行的，主要依靠世代相传的经验和技艺，尚未形成科学的理论和体系。

分离工程的昨天：

生产实践是分离工程形成与发展的源泉

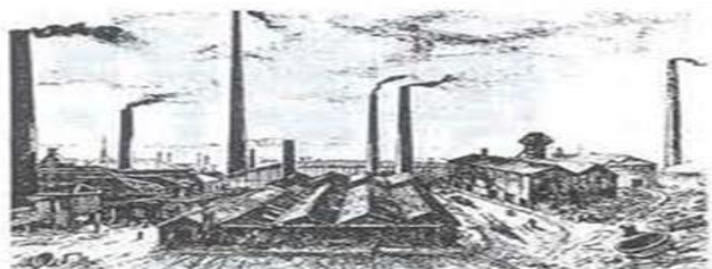


近代化学工业的兴起



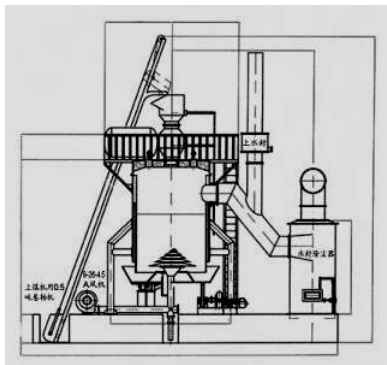
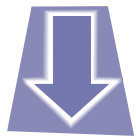
近代化学工业是伴随着十八世纪开始的工业革命而崛起的。于十九世纪末开始了大规模的发展。当时，三酸二碱和以煤焦油为基础的基本有机化工等都有了一定的规模。在生产中，需要将产品或生产过程的中间体从混合物中分离出来，才可供使用。

例如，当时著名的索尔维制碱法中，使用了高达二十余米的纯碱碳化塔，在其中同时进行化学吸收、结晶、沉降等分离过程，这是一项了不起的成就。



化学品生产中的分离要求

- 在化学产品的生产中，不可避免要对生产中的原料、中间体、产品等进行分离，例如石油的提炼、生产煤油、焦炭和煤焦油的生产、染料、颜料、药品、化肥、无机盐生产中的沉淀、干燥、过滤等。
- 但在当时，这些都是由化学家在进行化学工艺过程开发的同时完成的。
- 这时的分离技术是结合在具体的化工生产工艺的开发过程中，单独而分散地发展的。
- 由于缺乏对分离技术的共性规律的掌握，使得当时化工产品生产过程的开发缓慢而缺乏效率。

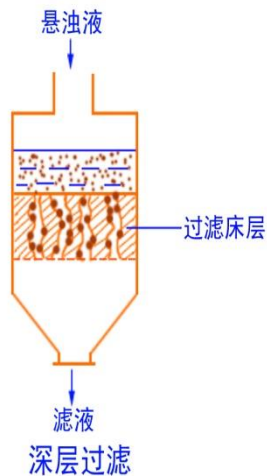


从实验室到工厂

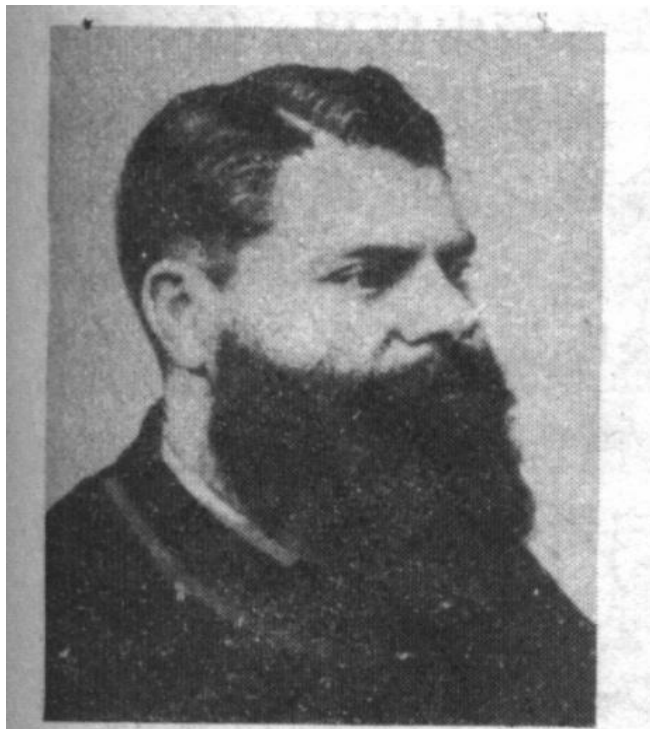
- 在化学工业发展的早期，化工厂是直接根据化学原理设计的，没有考虑到工业设备中的流体流动、热量交换、质量传递和扩散等物理现象。
- 化学生产过程的开发更像一个依据经验的试错过程，开发过程漫长而效率很低。
- 随着经验的积累，以及对不同化学产品生产过程的对比研究，人们发现尽管生产的产品和过程不同，但其中存在着原理相似的生产技术，应用着类似的设备。这就是**单元操作**的概念。

分离工程的今天：

分离技术推动着化学工业与相关工业的发展



- 分离单元操作的概念在**20**世纪初得以确立；
- 分离工程的理论在**20**世纪中叶形成与完善；
- 分离应用领域在**20**世纪后期得到拓宽与推广。



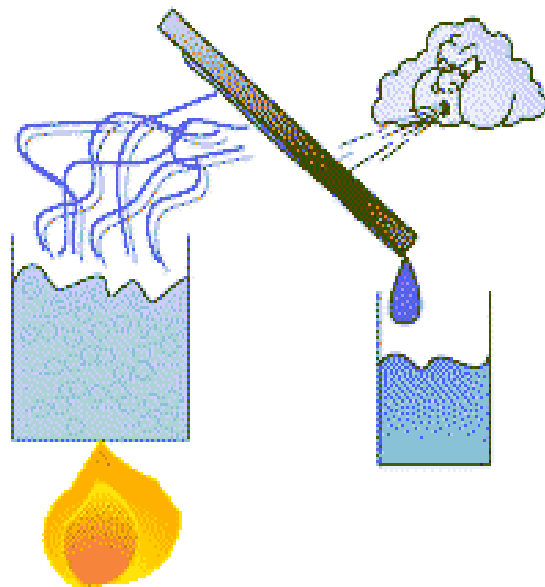
- 1901年由G.E.戴维斯编著的第一本《化学工程手册》在英国出版，将化工生产过程各步骤加以分类，归纳为若干共性单元操作，**确立了分离单元操作的概念。**
- 1923年美国麻省理工学院，W.K.刘易斯和W.H.麦克亚当斯合著《化工原理》出版，推出了传质与分离单元操作的定量计算方法，**分离工程的理论初见端倪。**
- 20世纪20~30年代，一批分离工程著作先后问世：C.S.鲁宾逊的《精馏原理》(1922)和《蒸发》(1926)；W.K.刘易斯的《化工计算》(1926)，T.K.舍伍德的《吸收与萃取》(1937)等著作，**分离工程的理论得到初步完善。**

现代的分离工程理论基础

- 现代的分离工程是建立在自然科学和数学基础上的、对**分离单元操作**及其设备进行研究的化学工程分支，其理论基础包括：
- 化学和热力学
- 物理，流体流动和混合，热量传递，质量传递和扩散
- 数学，分离单元的数学模型以及过程的静态和动态数学模拟，过程最优化

分离操作是怎么实现的？

- 平衡分离过程：根据当体系处于平衡时物质在不同相态（气液、气固、液液、液固等）中浓度不同而实现分离，如蒸馏、吸收、萃取、吸附、结晶等
- 速率分离过程：根据物质分子在外力作用下迁移速率不同而实现分离，如膜分离、分子蒸馏、电泳等
- 重力和离心分离：根据物体密度不同而实现分离，如重力沉降、旋风分离等
- 机械分离过程：根据物体颗粒大小不同而实现分离，如筛分和过滤等
- 其他分离过程



几种化工分离单元操作

蒸馏

吸收

萃取

浸取

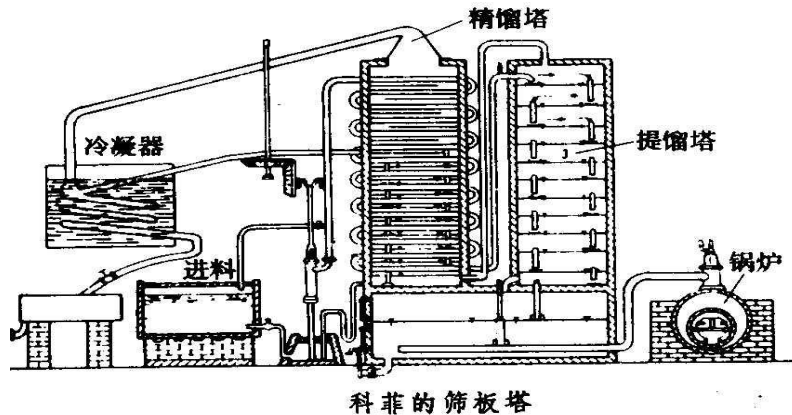
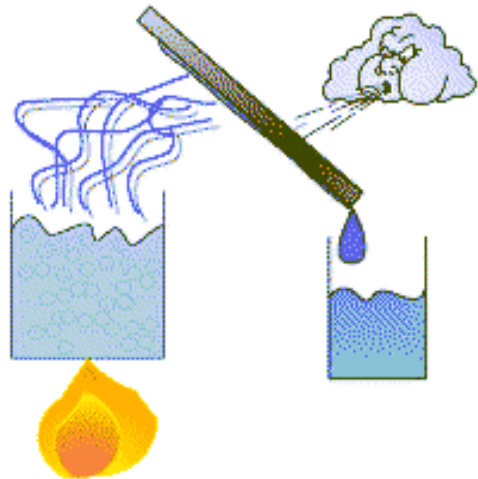
结晶

吸附

离子交换

过滤

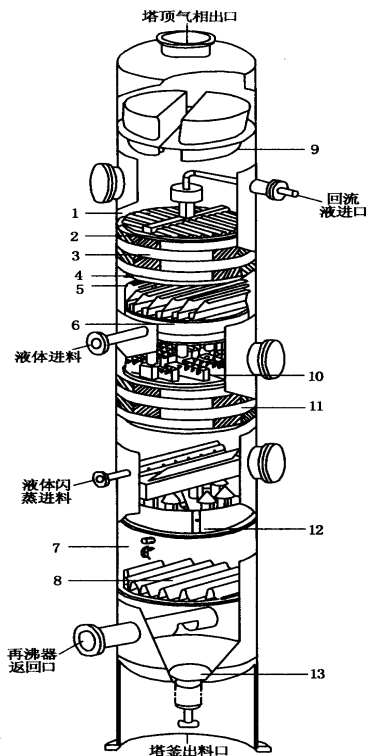
蒸馏



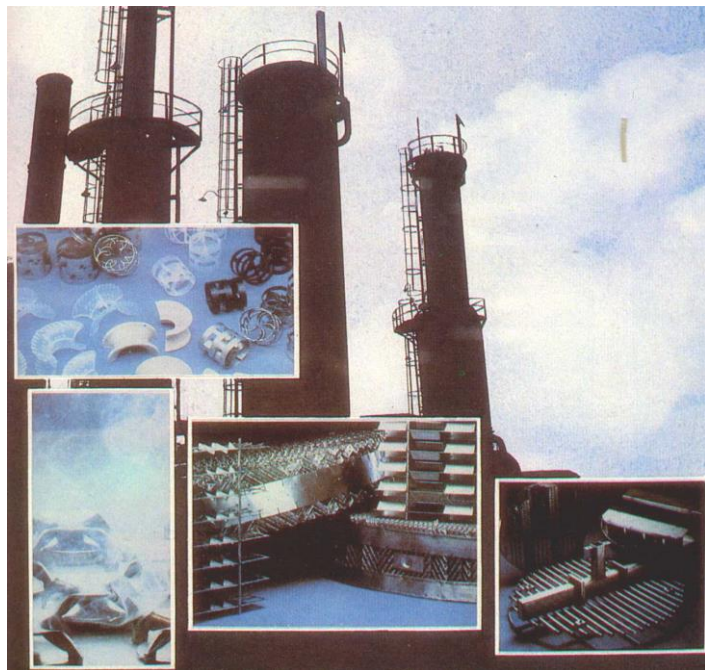
人类早就用蒸馏的方法制酒，从煤焦油中提取油品，开始用一般的蒸馏方法，后来设计了直立多级、采用回流的精馏塔（科菲，1830）。大大提高了蒸馏的分离效率。

精馏塔广泛用于炼油、化工、轻工、食品与空气分离等工业中，成为非常重要的分离方法之一。

现代的多级蒸馏设备——精馏塔

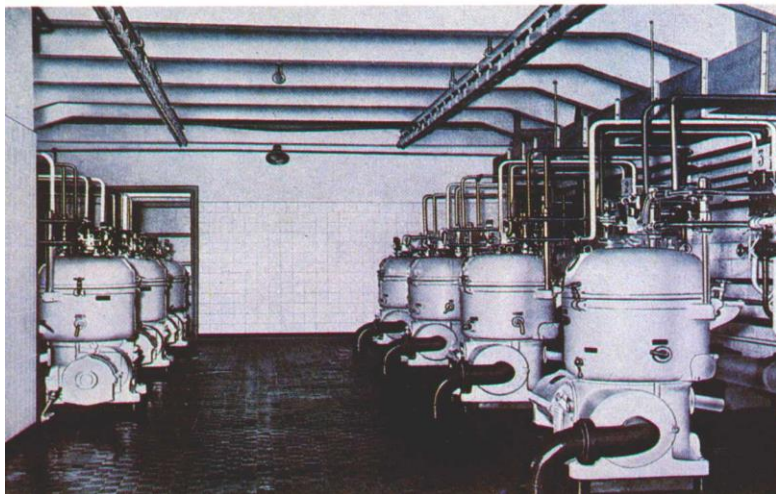


吸收



- 吸收是用液体溶解混合气体中可溶组分来实现气体混合物的分离，例如：
- 水吸收 HCl 制盐酸以及水吸收 SO_3 制硫酸
- 一些产品在生产过程中要通过吸收对原料气进行净化，如合成气中 H_2S 、 CO_2 的脱除，焦炉气中苯的脱除等
- 环境保护，废气净化等

萃取



- 溶剂萃取是利用溶质在两个不相溶的液体之间相平衡时两相间浓度差异来实现分离的技术
- 20世纪初采用液态 SO_2 从煤油中萃取芳烃，是萃取首次的工业应用
- 现在萃取已广泛用于各工业中：
- 有机酸的分离
- 金属和非金属元素的萃取分离
- 从发酵液中提取抗生素
- 石油馏分中芳烃与烷烃的分离，润滑油的精制，都采用了溶剂萃取技术

浸取



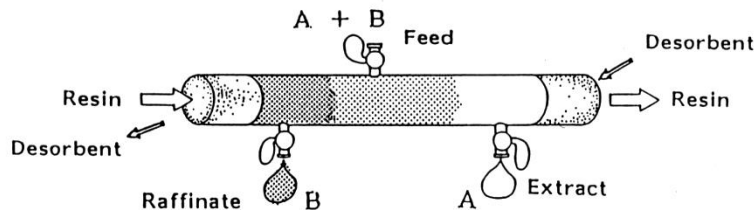
- 用水与溶剂浸取矿物质和天然植物中的可溶成分，已有悠久的历史
- 湿法冶金
- 湿法磷酸
- 植物油生产

结晶



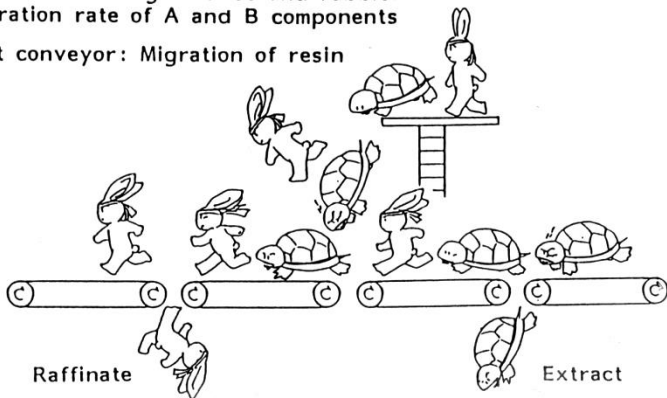
- 结晶是固体物质以晶体状态从蒸汽、溶液或熔融物中析出的过程
- 人们早已利用太阳能蒸发海水，使食盐结晶
- 现在结晶已成为从不纯溶液中制取纯净固体产品的有效且经济的操作方式
- 许多化学产品，如染料、涂料、医药以及各种盐类都用结晶制取

吸附



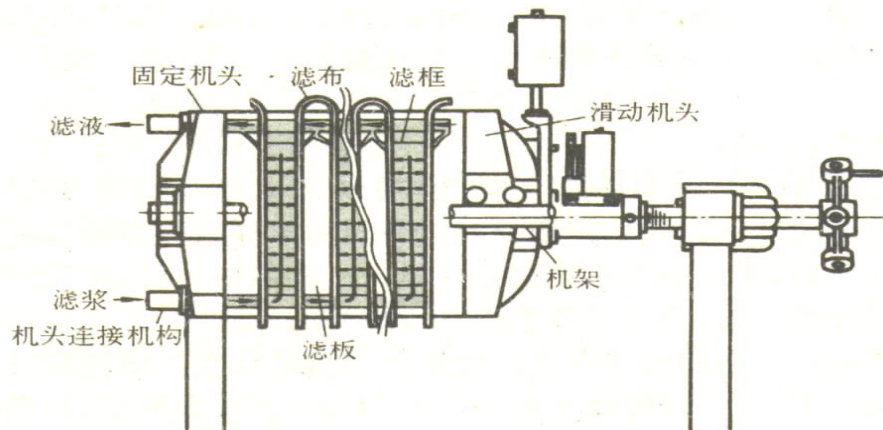
Speed of running tortoise and rabbit:
Migration rate of A and B components

Belt conveyor: Migration of resin

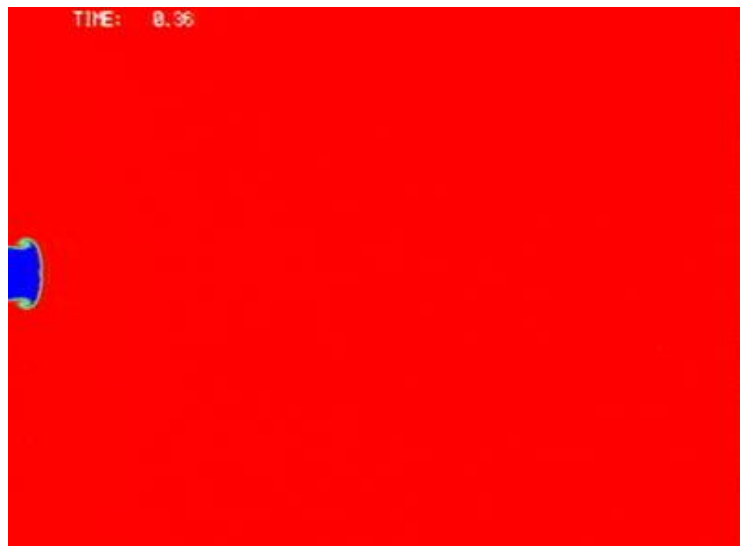
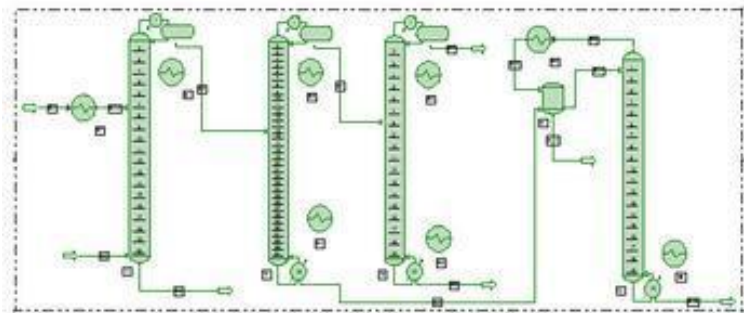


- 用固体吸附剂处理气体或液体混合物，将其中所含的一种或几种组分吸附在固体表面上，从而实现混合物的组分分离
- 常用的传统吸附剂有活性炭、活性白土、硅藻土、硅胶、活性氧化铝、分子筛、合成树脂等
- 吸附在工业上的主要用途有：气体和液体的深度干燥；食品、药品等的脱色、脱臭；异构体分离；空气分离；废水和废气处理等

过滤



过滤过程由来已久，完全属于流体动力过程的机械分离方法，无论是常压过滤或加压过滤，真空过滤或离心过滤均已在各工业部门广泛使用。



- 经过一个世纪的发展，分离工程已成为具有完整理论体系和丰富内容的化学工程分支学科，为现代化学工业的建立、发展、壮大起到了关键性的作用
- 分离工程的理论基础建立在热力学和传递过程（包括流体力学、传热学和传质学）的基础上
- 分离单元操作的数学模型的研究为分离工程的放大和过程模拟提供了强有力的工具
- 对新型分离设备的开发为分离操作提供了经济高效的工业装置
- 新型分离技术的发展为现代工业提供了高效率的分离手段，拓展了分离工程的应用范围