

化工节能原理与技术

北京化工大学
2009.3（春季学期）

第 1 章 总 论

1.1 能源与能源的分类

(1) 我国国民经济持续高速增长面临资源和环境的双重制约。

石油作为重要的不可再生资源，其加工过程和产品质量对它的利用效率和生态环境都具有重大影响。

(2) 分子水平炼油、原子经济化工

新催化材料、新反应工程和新反应途径

第 1 章 总 论

1.1 能源与能源的分类

1.1.1 能源

- 能源定义： 为人类生产和生活提供能量和动力的物质资源
- 能源类型： 固体燃料、液体燃料、气体燃料、水力、电能等。
- 能源是经济发展的原动力，是现代文明的物质基础
- 作业： 列举几例新型能源及制备技术（从文献摘要中总结1-2句）。

第 1 章 总 论

1.1.2 能源的分类

1.1.2.1 按来源分类

- 来自地球以外天体的能量（太阳辐射能）

太阳能总能量可达174000 TW/a

- 地球本身蕴藏的能量（地热能和原子核能）
- 地球和其他天体相互作用而产生的能量（潮汐能）

第 1 章 总 论

1.1.2 能源的分类

1.1.2.2 按能源的转换和利用层次分类

(1) 一次能源

- 可再生能源：太阳能、水能、风能、海洋能
- 非可再生能源：煤炭、石油、天然气、核燃料

(2) 二次能源：电、蒸气、煤气、焦炭、各种石油制品

(3) 终端能源

天然气：甲烷(82-98%)和少量的乙烷、丙烷、丁烷等。

类似的有煤层气。95%以上甲烷

水煤气（半水煤气）：

主要成分： H_2 , CO , 少量 CO_2 , N_2 , CH_4 等

第 1 章 总 论

1.1.2 能源的分类

1.1.2.3 按能源的使用状况分类

(1) 常规能源：煤、石油、天然气、水力

(2) 新能源：太阳能、地热能、潮汐能、风能、生物质能

生物质能：秸秆气化，生物制氢。

生物柴油：各种不同油料和醇类在酸或碱催化下进行酯交换反应

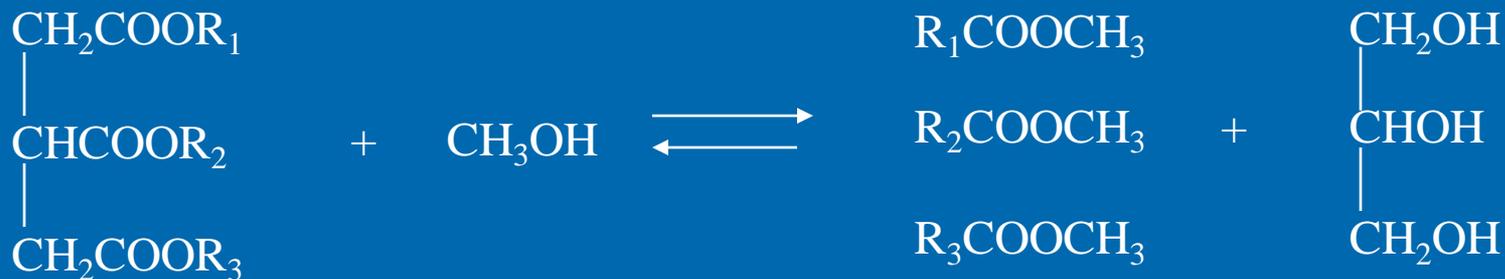
1.1.2.4 按对环境的污染程度分类

(1) 清洁能源：太阳能、风能、海洋能、水力

(2) 非清洁能源：煤炭、石油

第 1 章 总 论

1.1.2 能源的分类



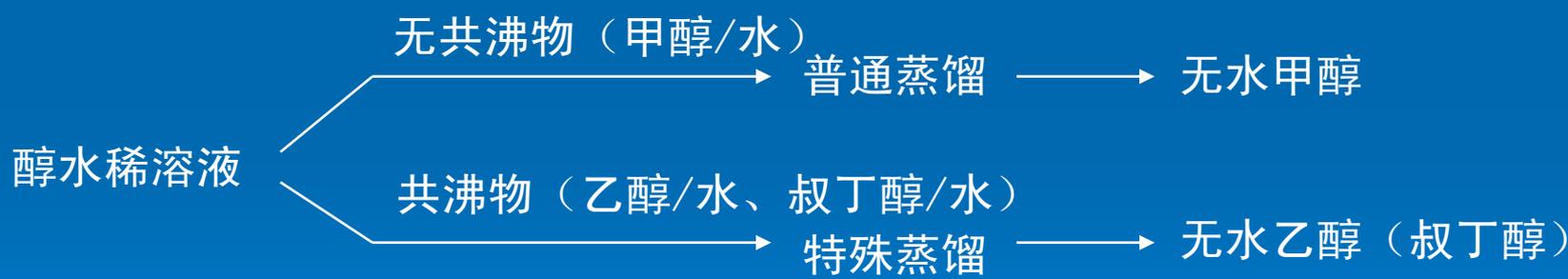
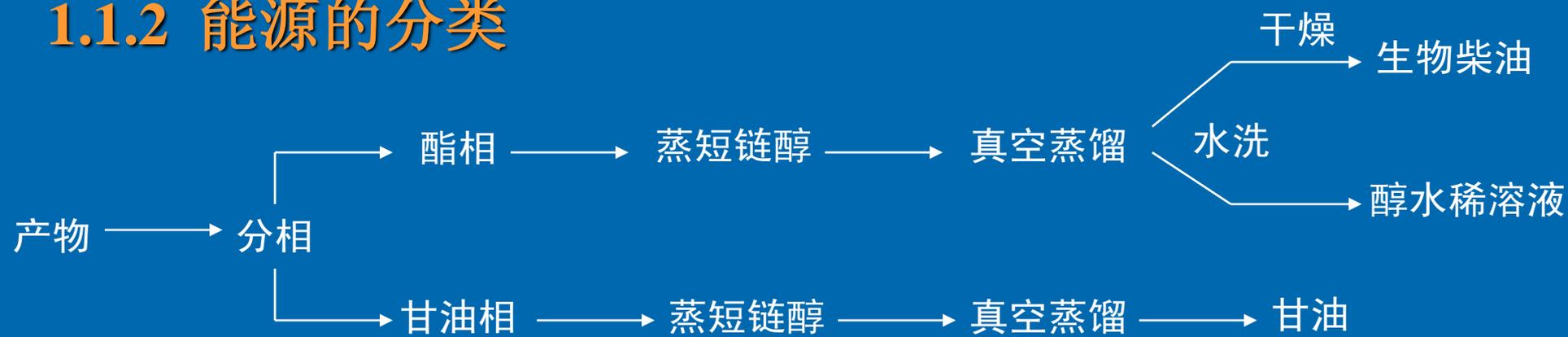
化学法：液碱催化酯交换，反应速度慢，工艺流程复杂，不是绿色加工工艺

生物法：采用生物酶作催化剂，距离大规模工业化较远

高温高压（超临界反应）法：用超临界萃取（或液固萃取）后的液体原料；反应速度快，无催化剂；绿色加工工艺

第 1 章 总 论

1.1.2 能源的分类



- 关键技术
 - 后处理分离过程的分子热力学基础，用于建立过程数学模型
 - 特殊蒸馏分离醇水稀溶液（分离剂的筛选）

第 1 章 总 论

1.2 化学工业节能的潜力与意义

1.2.1 我国化学工业的特点

- (1) 煤、石油、天然气既是能源，又是原料
- (2) 能源消费以煤为主
- (3) 大宗化学品生产规模太小

1.2.2 节能潜力

节能总潜力（技术极限值）和可实现的节能潜力（一定时期内可实现的节能量）

第 1 章 总 论

1.2 化学工业节能的潜力与意义

1.2.3 节能的意义

1.3 节能的途径

1.3.1 结构节能

1.3.2 管理节能

1.3.3 技术节能

1.3.3.1 工艺节能

- 催化剂和化学反应工程

催化技术是现代炼油和石油化工工业重要的科学技术基础，在炼油和化学工业中60%以上的新产品和90%以上新工艺的开发基于催化作用。

- 分离工程

- 改进工艺方法和设备

第 1 章 总 论

1.3 节能的途径

1.3.3.2 化工单元操作设备节能

流体输送机械、换热设备、蒸发设备、塔设备、干燥设备。

1.3.3.3 化工过程系统节能

1.3.3.4 控制节能

第 1 章 总 论

教材:

冯宵. 化工节能原理与技术. 北京: 化学工业出版社, 2005

参考书:

1. 陈安民. 石油化工过程节能方法和技术. 北京: 中国石化出版社, 1995
2. 黄素逸. 能源科学导论. 北京: 中国电力出版社, 1998
3. 刘家祺. 分离过程. 北京: 化学工业出版社, 2005

第 1 章 总 论

考核方式:

五分制

成绩评定:

课程总成绩的评定权重为：作业占10%，课程测验占60%（采取开卷方式），课程报告占30%。

课程报告:

一种新型的节能技术，如化工过程强化技术，催化（反应精馏）技术，反应-反应耦合，结构化催化剂，新型热泵，新型精馏技术（热偶精馏、特殊精馏）等。大约5000-10000字左右。

第 2 章 节能的热力学

能量：

内能是物质内部一切微观粒子所具有的能量的总和。（状态参数）

热力学定律：

热力学第一定律：能量转换与守恒定律

热力学第二定律：克劳修斯说法：不可能把热从低温物体传至高温物体而不引起其他变化，揭示能量“质”的属性

热力学第三定律：0K时纯物质完美晶体的熵等于零

节能的实质：防止和减少能量贬值现象的发生

第 2 章 节能的热力学

2.1 基本概念

2.1.1 热力系统（系统）

热力系统（系统）：相互作用的物体中取出的研究对象。

系统的边界：系统与外界的分界面
固定的、移动的、真实的、假想的

能量交换：热和功

物质交换：物质的流进和流出，伴随着能量的交换

开口系统（流动系统）：有物质交换和能量交换

闭口系统：无物质交换

孤立系统：无物质交换和能量交换

绝热系统：无热量交换

第 2 章 节能的热力学

2.1 基本概念

2.1.2 平衡状态

热力状态（状态）：某一瞬间的宏观物理状况。

平衡状态：系统宏观性质不随时间改变的状态

如温度、压力、组成等

满足力平衡、热平衡和化学平衡的状态（不存在不平衡势）

2.1.3 状态参数和状态方程式

状态参数：描述系统宏观状态的物理量，是状态的单值函数

第 2 章 节能的热力学

2.1 基本概念

2.1.3 状态参数和状态方程式

状态参数：描述系统宏观状态的物理量，是状态的单值函数

强度量（强度性质）：压力 P 、温度 T 、组成 x 等；不可加量

广延量（容量性质）：容积 V 、内能 U 、焓 H 、熵 S 等；可加量

广延量/质量 转变为强度量

2.1.3.1 温度

温标：衡量温度的标尺

t （摄氏温度）= T （热力学温度，开尔文温度，或称绝对温度）- 273.15

2.1 基本概念

2.1.3 状态参数和状态方程式

2.1.3.2 比容和密度

比容：单位质量物质所占有的容积 m^3 / kg

$$v = \frac{V}{m}$$

密度：比容的倒数 kg / m^3

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{1}{v}$$

第 2 章 节能的热力学

2.1 基本概念

2.1.3.3 压力

$$P = \rho gh$$

单位：工程大气压 (at) $1\text{at} = 1\text{kgf}/\text{cm}^2$

标准大气压 (atm) $1\text{atm} = 760\text{ mmHg}$

测量仪器：差压计 (压力表或真空表)

表压 (P_g) = 绝对压力 (P) - 大气压 (P_0)

真空度 (P_v) = 大气压 (P_0) - 绝对压力 (P)

真空度 (P_v) = - 表压 (P_g)

第 2 章 节能的热力学

2.1 基本概念

2.1.3.3 状态公理和状态方程式

状态公理：对于组成一定的物质系统若存在 n 种可逆功（系统进行可逆过程时和外界所交换的功量）的作用，则决定该系统平衡态的独立状态参数有 $n + 1$ 个。

简单可压缩系统：与外界交换功量的模式中只有容积功的系统。

物质的状态方程式：

$$F(p, v, T) = 0$$

第 2 章 节能的热力学

2.1 基本概念

2.1.4 功和热量

功 (W): 系统对外界的单一效果归结为提升一个重物, 则说系统作了功。
系统对外做功为正, 得到功为负。

热量 (Q): 由于温差引起的, 系统与外界之间发生的能量转移。
系统吸热为正, 放热为负。

2.1 基本概念

2.1.5 可逆过程

耗散效应：使功变为热的效应。

非平衡损失：

- 有限温差下的传热过程
- 有限压差
- 混合过程（化学势差）

可逆过程是理想化的极限过程，可以作出最大的功或消耗最少的功，为评价实际能量转换过程提供了理想的标准。

第 2 章 节能的热力学

2.2 能量与热力学第一定律

输入系统的能量 - 输出系统的能量 = 系统储存能量的变化

宏观动能: $mc^2/2$

宏观位能: mgz

系统内部的微观能量 (内能): U

2.2.1 闭口系统能量恒算式

$$Q = \Delta U + W$$

对单位质量

$$q = \Delta u + w$$

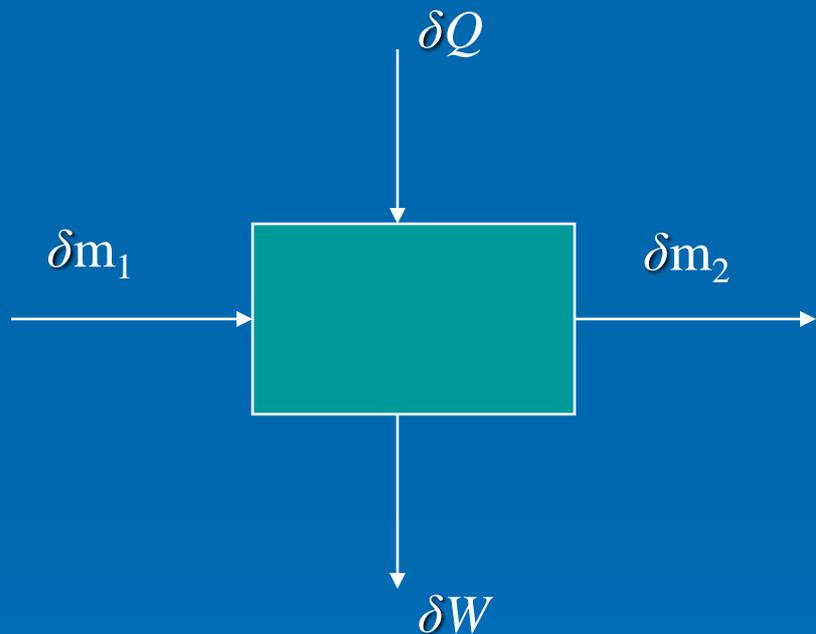
对微元过程

$$\delta q = du + \delta w$$

第 2 章 节能的热力学

2.2 能量与热力学第一定律

2.2.2 稳定流动开口系统能量衡算



物质流转移到系统的能量为：

$$\delta m (u + pv + c^2/2 + gz) = \delta m (h + c^2/2 + gz)$$

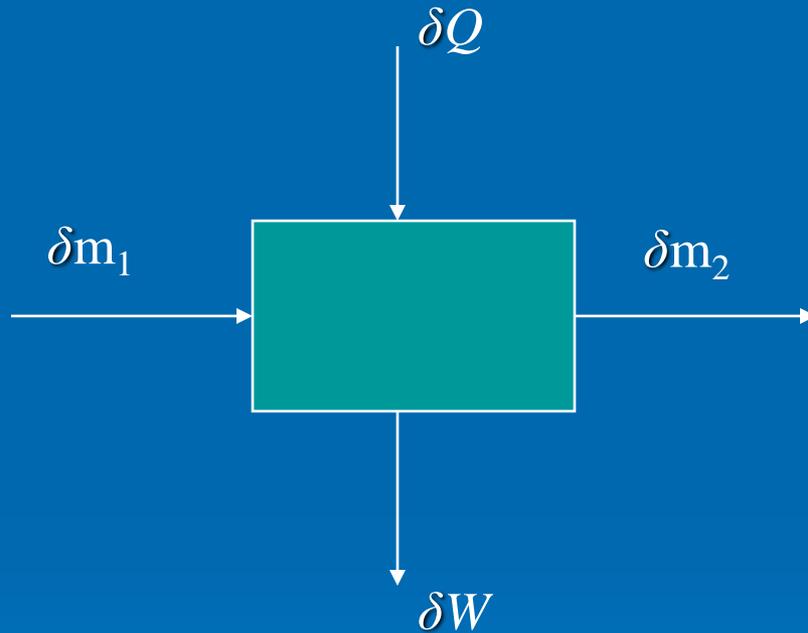
$$h = u + pv$$

$$H = U + pV$$

第 2 章 节能的热力学

2.2 能量与热力学第一定律

2.2.2 稳定流动开口系统能量衡算



开口系统的能量衡算式为：

$$dU = \delta Q - \delta W + \delta m_1 (h_1 + c_1^2/2 + gz_1) - \delta m_2 (h_2 + c_2^2/2 + gz_2)$$

$$\delta Q = \delta m_2 (h_2 + c_2^2/2 + gz_2) - \delta m_1 (h_1 + c_1^2/2 + gz_1) + \delta W + dU$$

2.2 能量与热力学第一定律

2.2.2 稳定流动开口系统能量衡算

稳定流动：空间各点参数不随时间变化的流动过程

- (1) . 热和功的交换不随时间而变；
- (2) . 物质交换不随时间而变；
- (3) . 进、出口截面参数不随时间而变

$$dU=0, \quad \delta m_1 = \delta m_2$$

$$dU = \delta Q - \delta W + \delta m_1(h_1 + c_1^2/2 + gz_1) - \delta m_2(h_2 + c_2^2/2 + gz_2)$$

$$Q = \Delta H + m \Delta c^2/2 + mg \Delta z + W$$

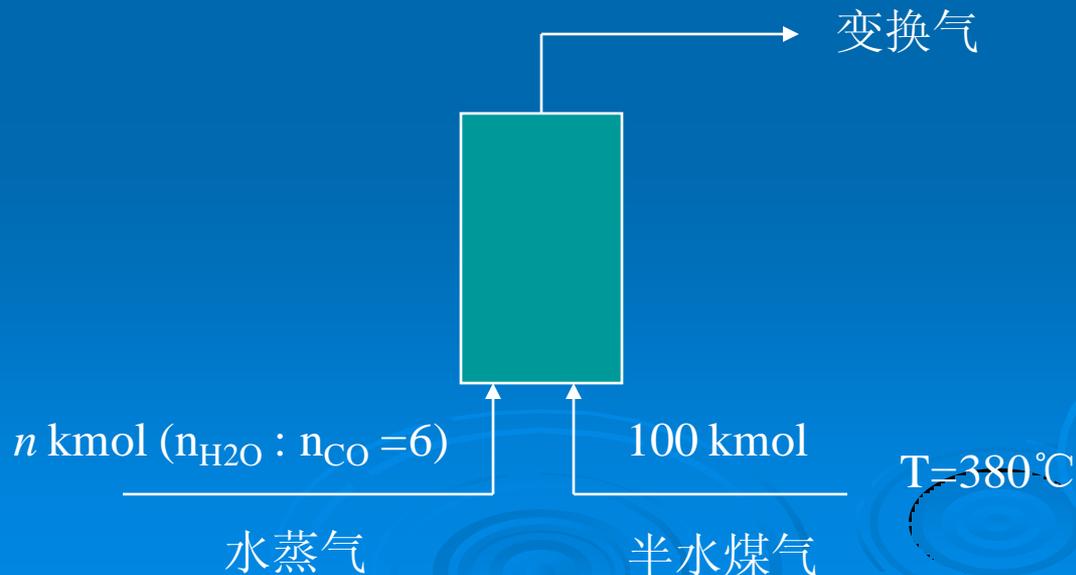
$$Q = \sum_{out} m_i(h + c^2/2 + gz)_i - \sum_{in} m_i(h + c^2/2 + gz)_i + W$$

第 2 章 节能的热力学

2.2 能量与热力学第一定律

2.2.2 稳定流动开口系统能量衡算

例2-1: 某化肥厂生产的半水煤气，其组成如下： CO_2 9%， CO 33%， H_2 36%， N_2 21.5%， CH_4 0.5%。进变换炉时水蒸气与一氧化碳的体积比为6，温度为653.15 K。设变换率为85%，试计算出变换炉的气体温度。



第 2 章 节能的热力学

2.2 能量与热力学第一定律

2.2.2 稳定流动开口系统能量衡算

进入炉中的湿气体各组分的物质的量 (kmol):

CO_2 9; CO 33;

H_2 36; N_2 21.5;

CH_4 0.5; H_2O 198

出变换炉时湿气体各组分的物质的量 (kmol):

CO_2 37.5; CO 4.95;

H_2 64.05; N_2 21.5;

CH_4 0.5; H_2O 169.95

绝热过程: $\Delta H = 0$; $\Delta U =$