

化工原理

河北工业大学化工原理教研室

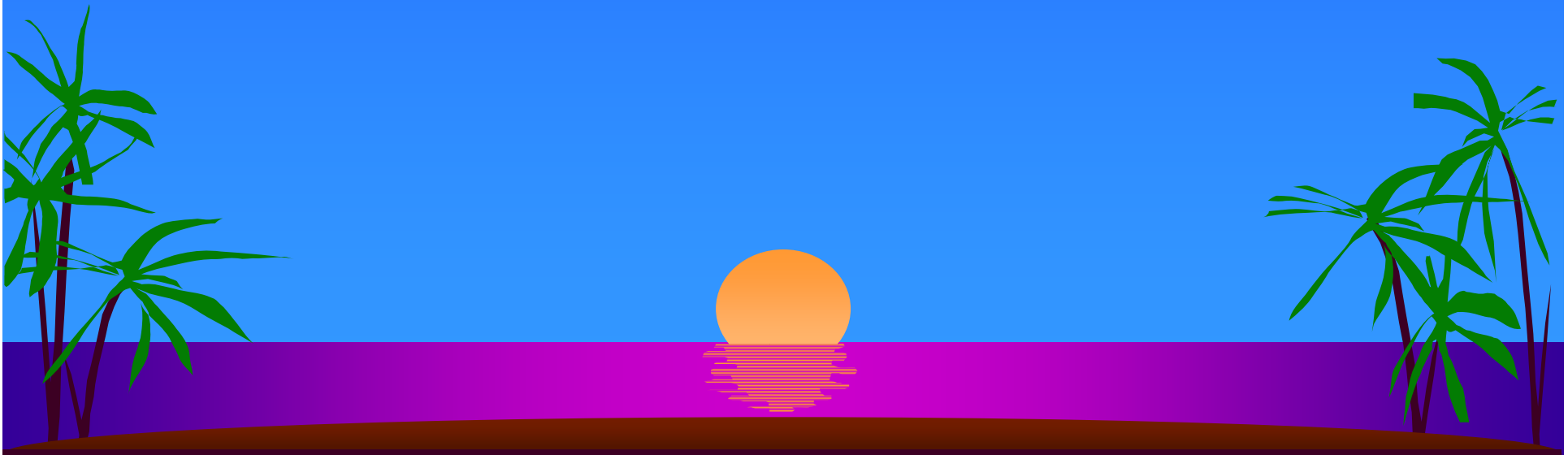
Tel: 022-60202246



绪论

0.1 化工的地位与作用

0.1.1 关于化工



0.1.1 关于化工

1. “化工” 的含义

“化工厂” —— Chemical Plant

“化学工业部” —— The Ministry of Chemical Industry

“化工学校” —— Institute of Chemical Technology

“化工系” —— Chemical Engineering Department

“中国化工学会” —— Chemical industry and Engineering Society of China

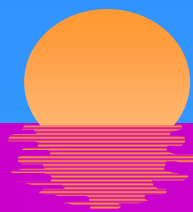


所谓“化工”，是“化学工业”、“化学工艺”和“化学工程”的简称

主要运用化学转化改变物质的组成和性质，来制造化学品的生产过程或技术，称为**化学工艺 (Chemical Technology)**

由所有运用化学生产工艺生产化学品的工厂企业形成的特定生产部门，称为**化学工业 (Chemical Industry)**

研究化学工业生产过程中的共同规律，用以知道化工装置的放大、设计和生产操作的学科，称为**化学工程 (Chemical Engineering)**



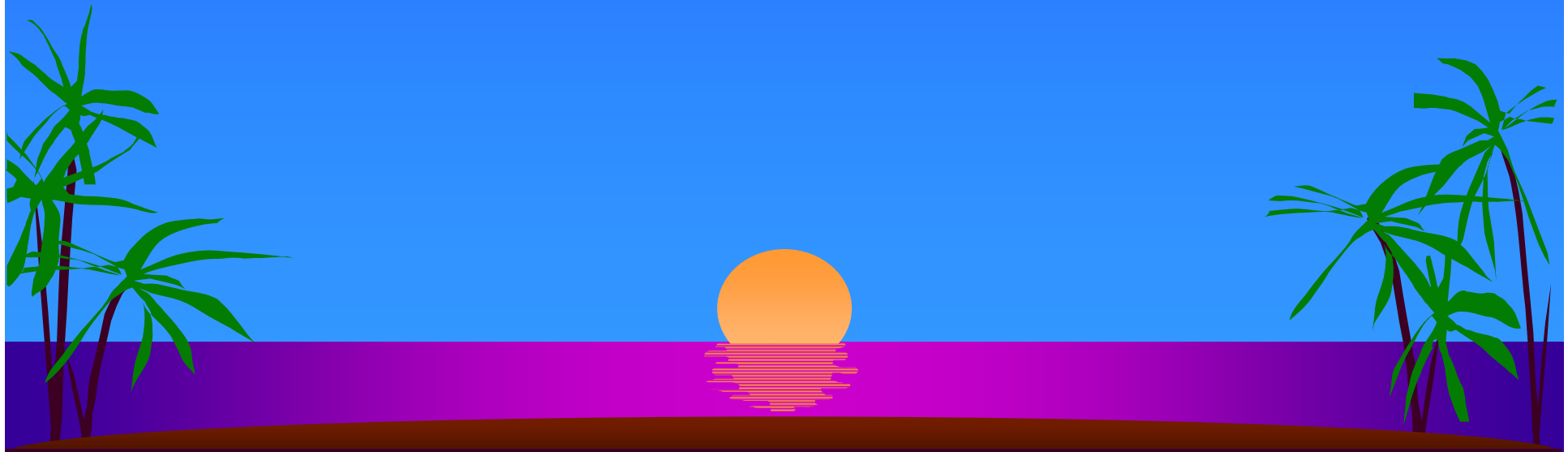
2. 工业部门的划分

根据劳动对象和劳动目的，将工业分为采掘工业和加工工业。

加工工业中，按照加工方法和手段的不同，分为：

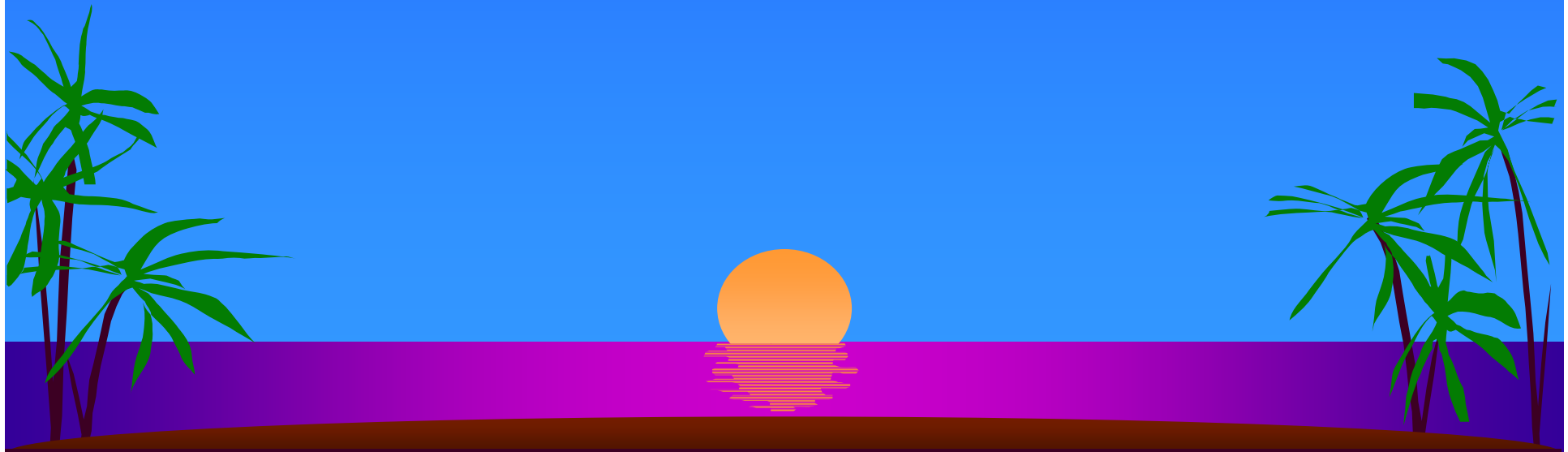
机械加工工业（**Mechanical Processing Industry**）

化学加工工业（**Chemical Processing Industry**）



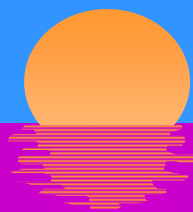
3. 化学工业的范围

包括化肥、农药、三酸两碱、无机盐、染料、涂料、化学试剂、助剂、医药、感光材料、磁性记录材料，以及石油化工、合成橡胶、塑料、化学纤维等的制造，即所谓“大化工”



4. 化工的特点

- 品种多
- 原料、生产方法和产品的多样性和复杂性
- 能耗大户
- 化工生产过程条件变化大
- 知识密集、技术密集和资金密集
- 实验与计算并重

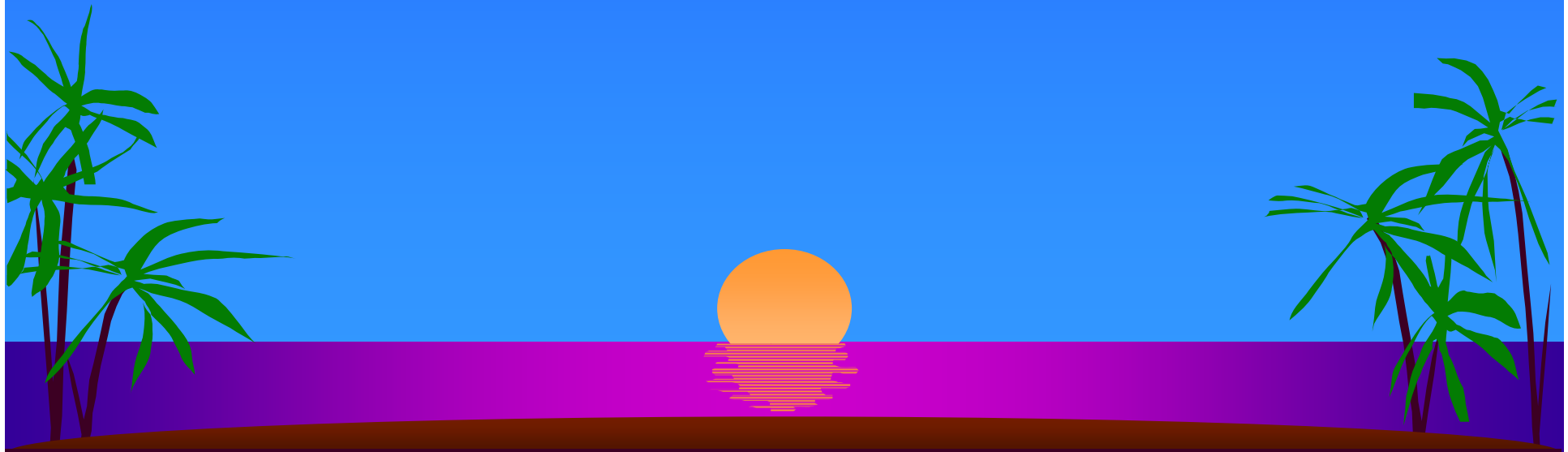


绪论

0.1 化工的地位与作用

0.1.1 关于化工

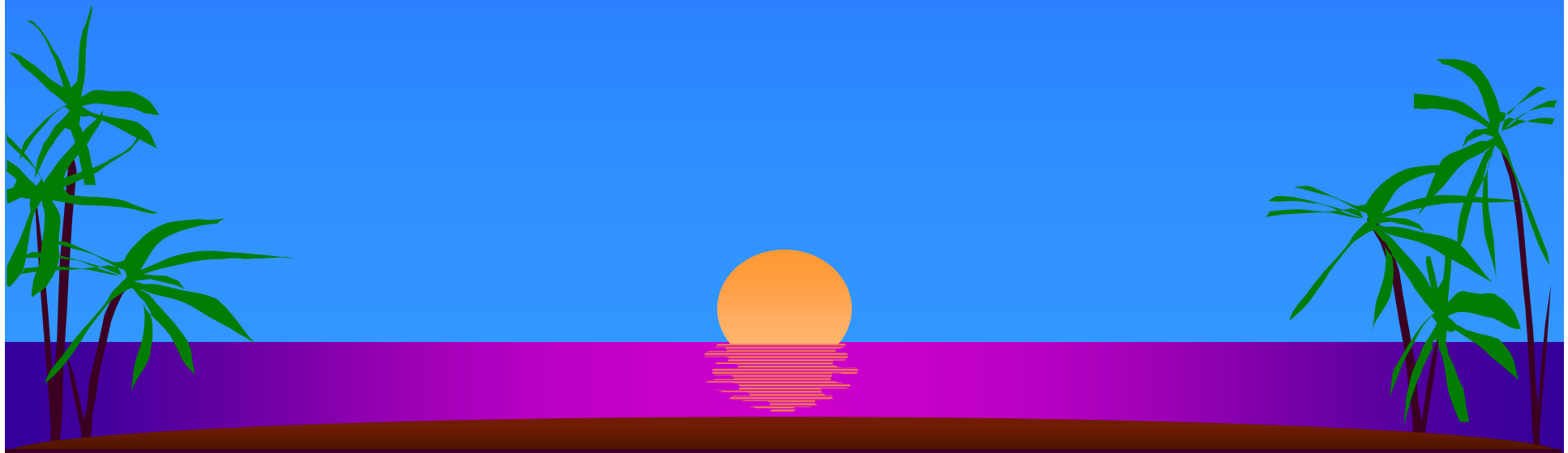
0.1.2 化工的地位



0.1.2 化工的地位

1. 化工与农业

- 化肥
- 农药
- 植物激素及生长调节剂
- 其他



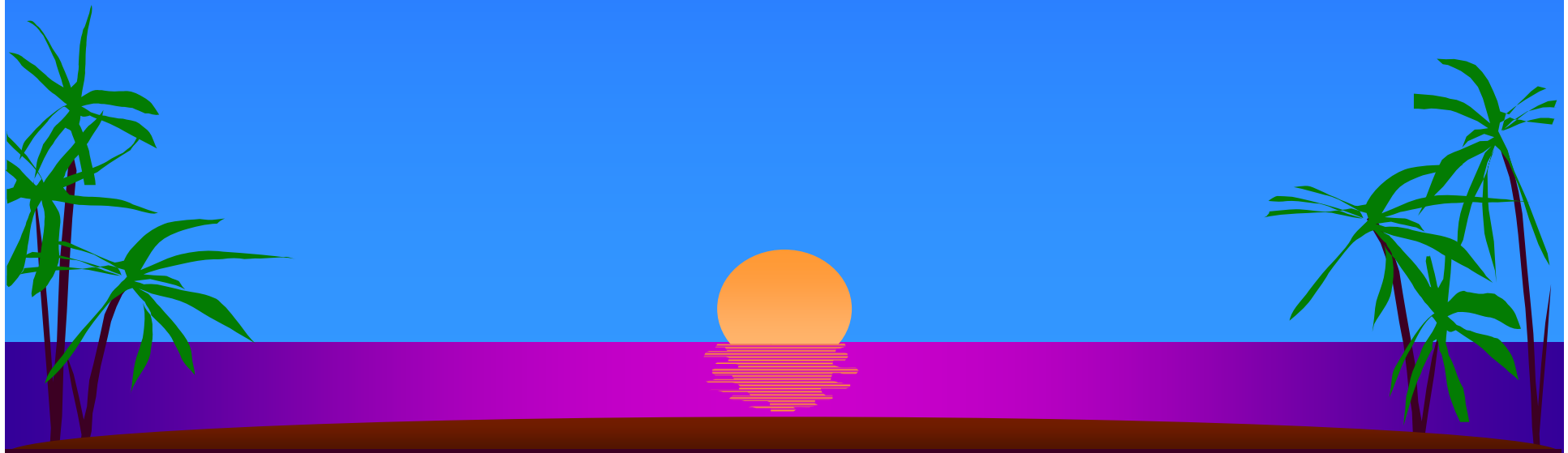
0.1.2 化工的地位

2. 化工与医药

- 制药工业

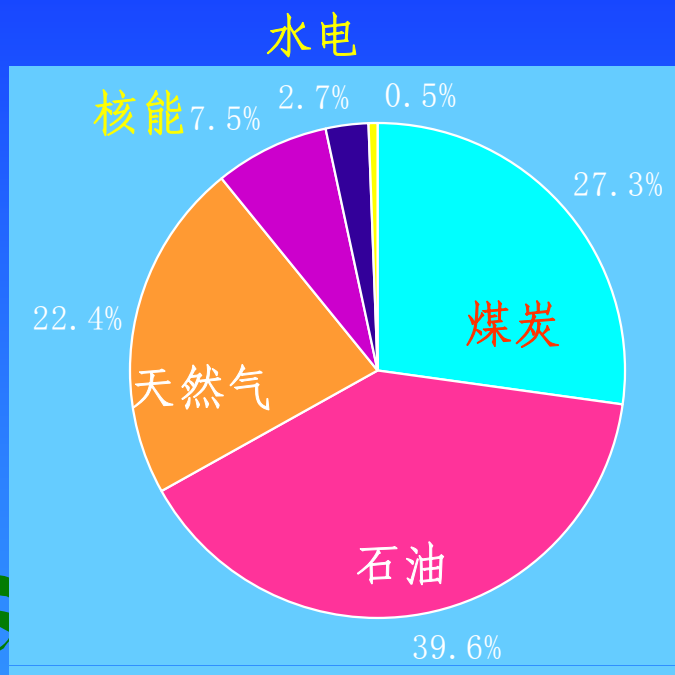
包括中药制药、化学合成制药与生物制药。

- 制药工业与人类健康

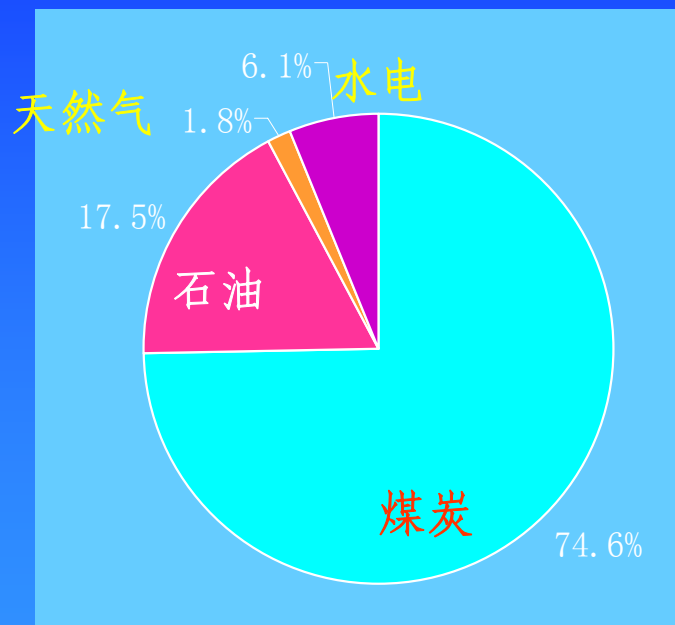


0.1.2 化工的地位

3. 化工与能源



世界



中国

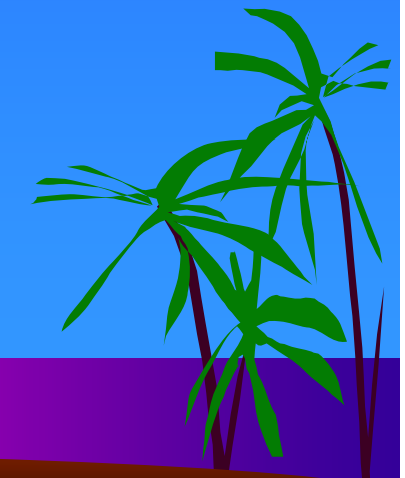
世界和中国能源消耗构成

0.1.2 化工的地位

4. 化工与人类生活

5. 化工与国防和科技现代化

化学工程和机械工程、建筑工程、电力工程一同成为四个基本的工程学科。



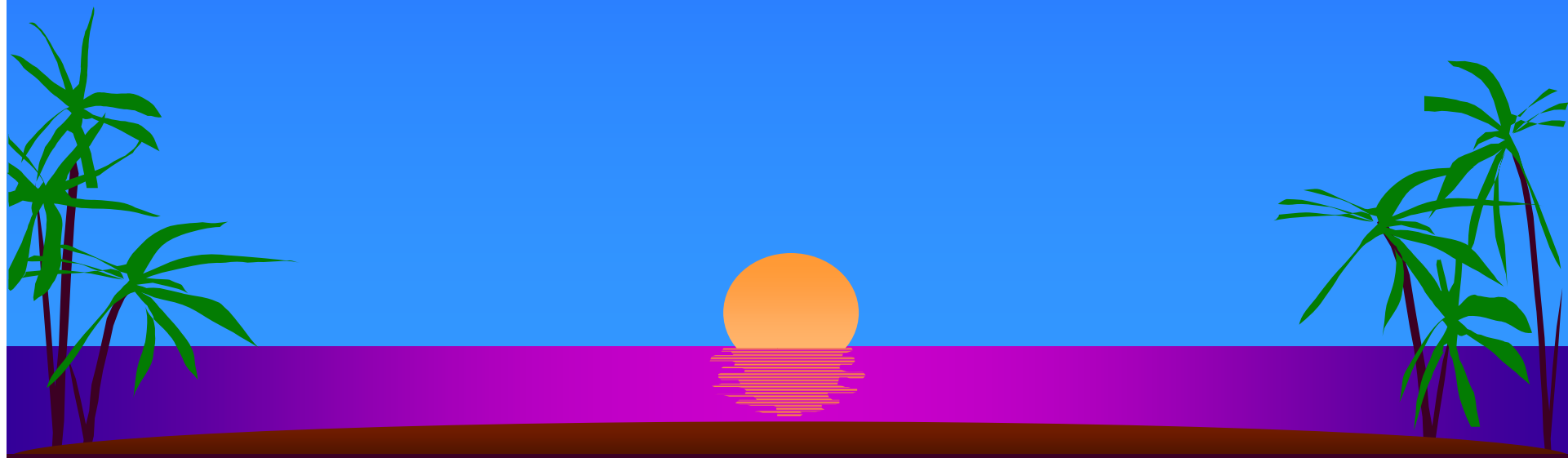
绪论

0.1 化工的地位与作用

0.1.1 关于化工

0.1.2 化工的地位

0.1.3 化学工业发展简史



0.1.3 化学工业发展简史

1. 古代的化学加工
2. 近代的化学工业
3. 现代的化学工业

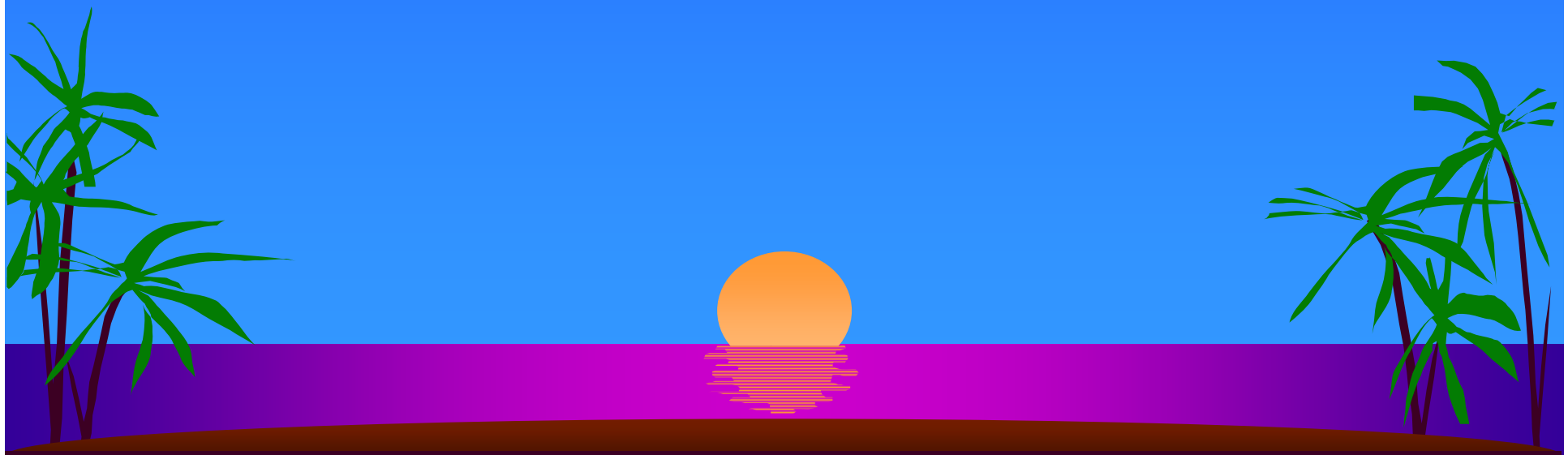


表1 世界范围工业年平均增长率

年份	1951~ 1960	1961~ 1970	1971~ 1980	1981~ 1985	1986~ 1990
世界整个工业	6.7	6.8	4.5	1.7	3.2
世界化学工业	7.7	9.6	5.5	2.8	3.9

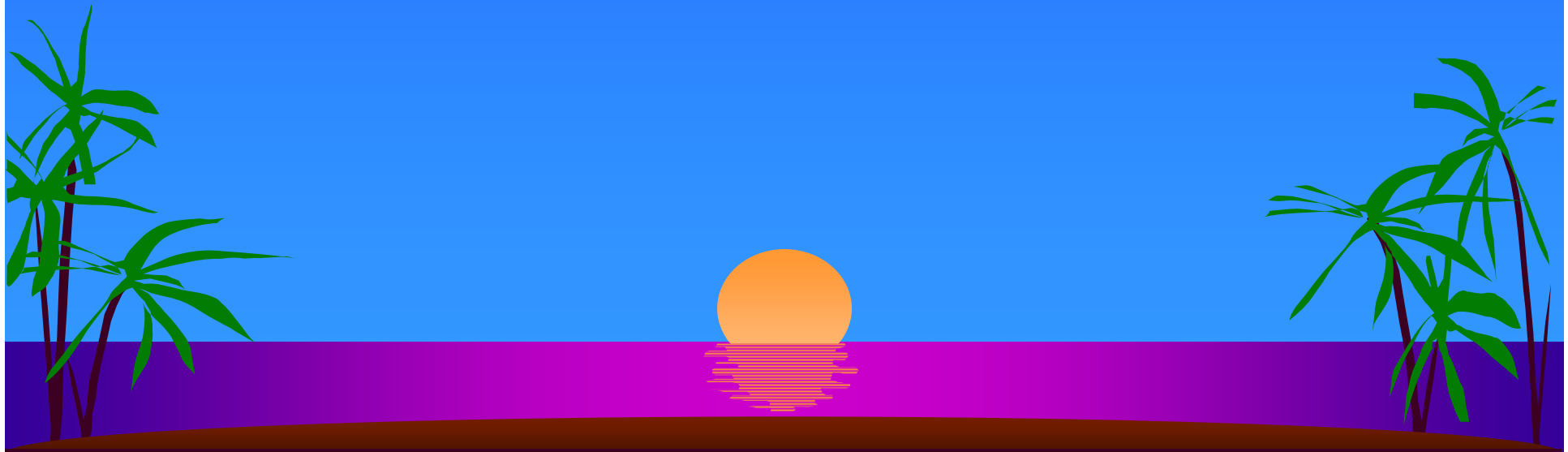
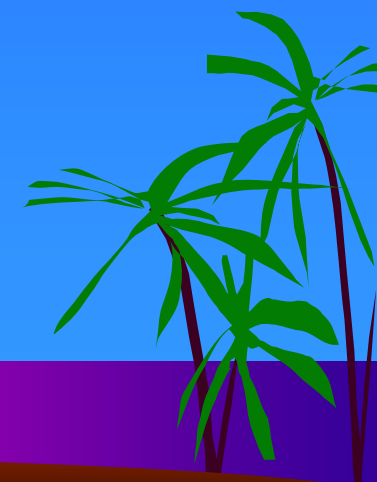


表2 我国历年的总工业和化工（不包括医药和石油化工系统）的产值指数

年份	全国工业	化工系统
1975	1245	3673
1980	1973	5644
1985	3481	7917
1990	6463	12429
1995	17992	21055



绪论

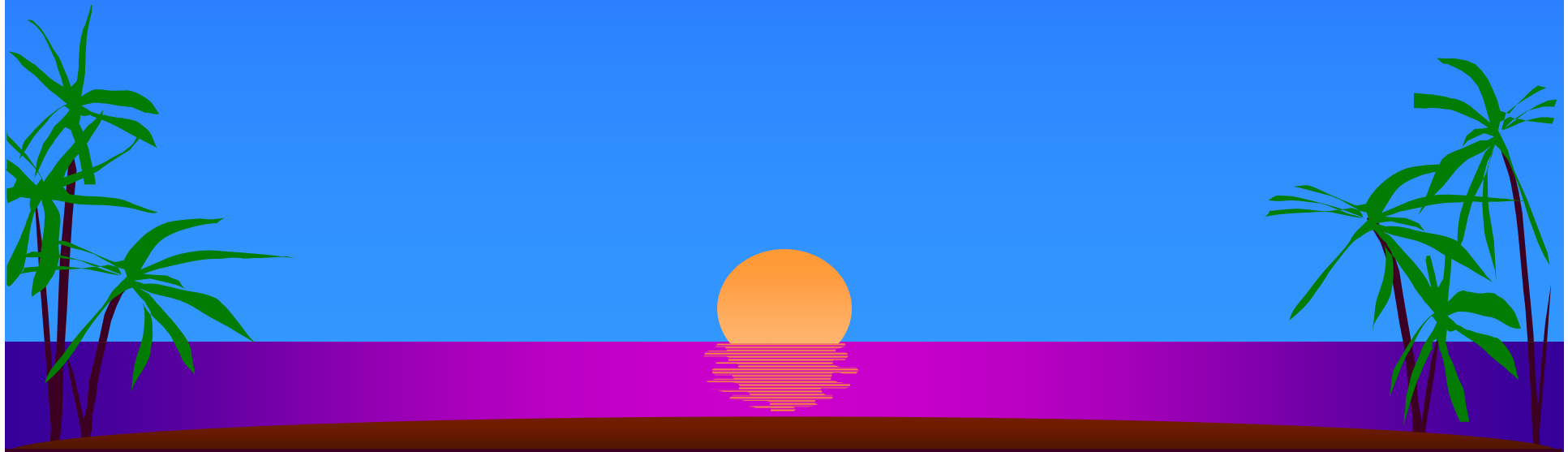
0.1 化工的地位与作用

0.1.1 关于化工

0.1.2 化工的地位

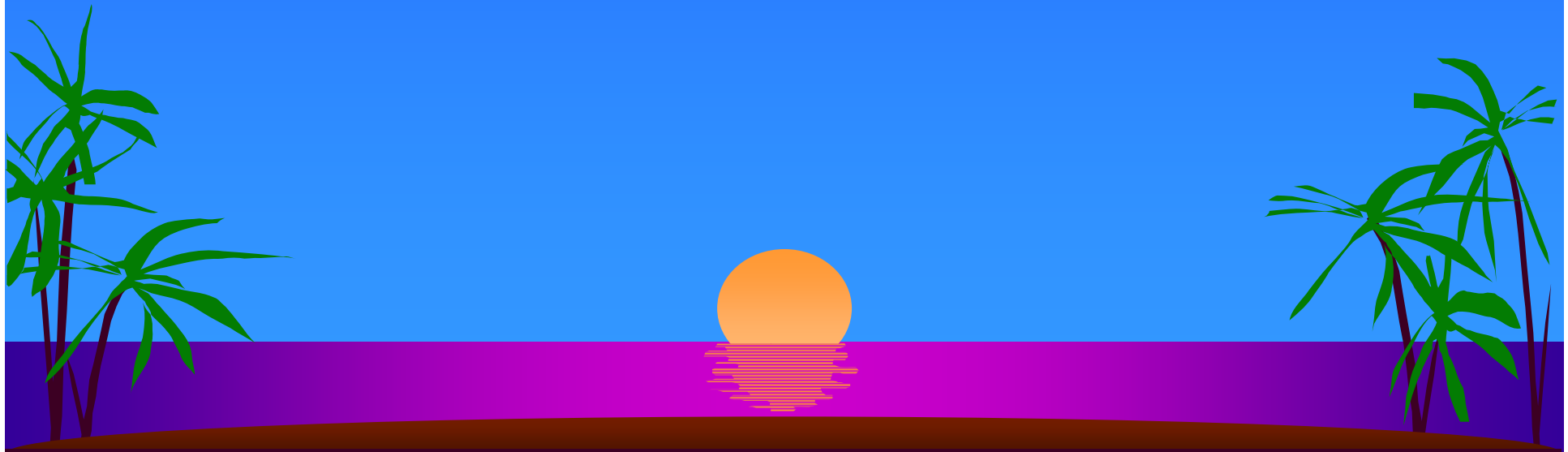
0.1.3 化学工业发展简史

0.1.4 化学工程师的职责



0.1.4 化学工程师的职责

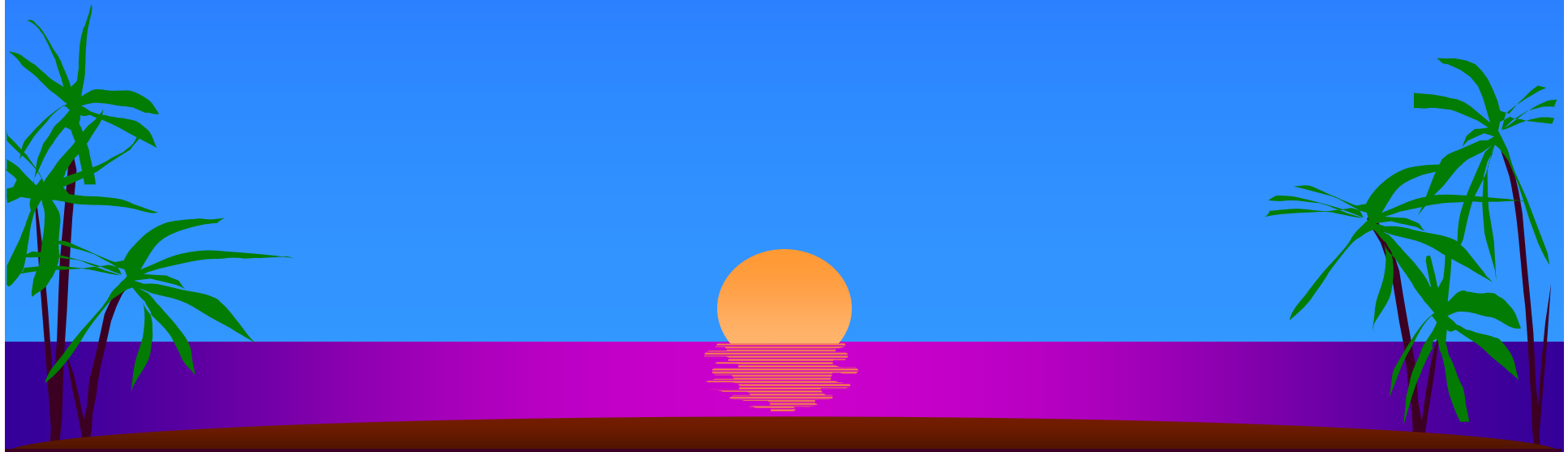
- 研究 (产品、工艺、应用)
- 开发 (中间试验、工业性试验、模拟和放大设计)
- 设计 (工艺流程、物流和能流的流量和条件、设备的选型和尺寸)
- 建设
- 制造、操作
- 销售和技术服务
- 经营管理
- 教育、咨询



绪论

0.1 化工的地位与作用

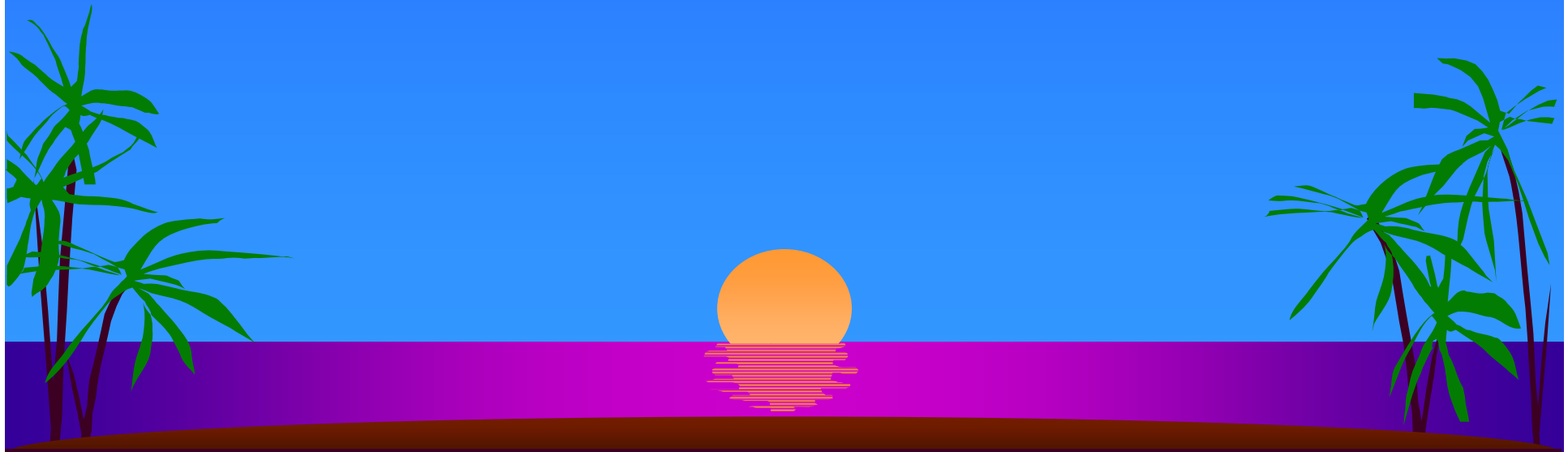
0.2 化学工程与单元操作



0.2 化学工程与单元操作

George Edwards Davis 提出“化学工程”的概念（1887）

化学工程是工程技术的一个分支，化学工程从事物质发生化学变化或物理变化的加工过程的开发和应用。通常可将这些加工过程分解为一系列物理单元操作和化学单元操作。化学工程师主要从事运用上述单元操作和单元过程进行装置和工厂的设计、制造和操作。化学、物理和数学是化学工程的基础学科，而在化学工程实践中，经济则占主导地位。



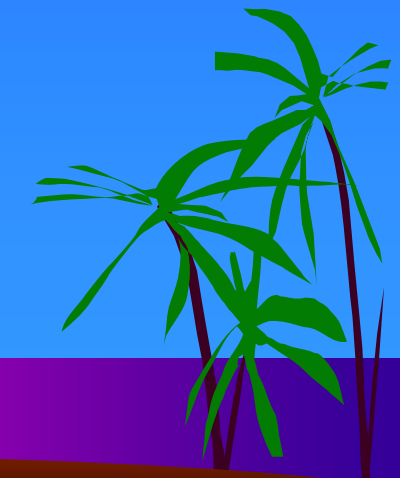
由原料预处理 (t, p, 纯度)

——反应——

—反应物后处理 (精制, 分离, 输送)

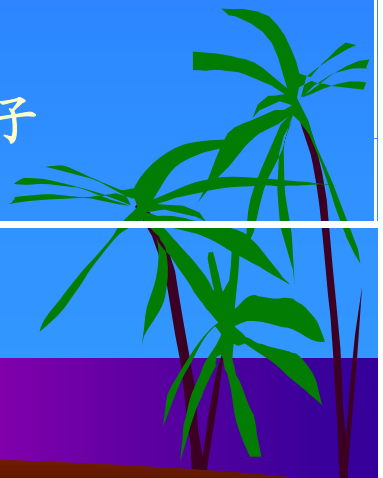
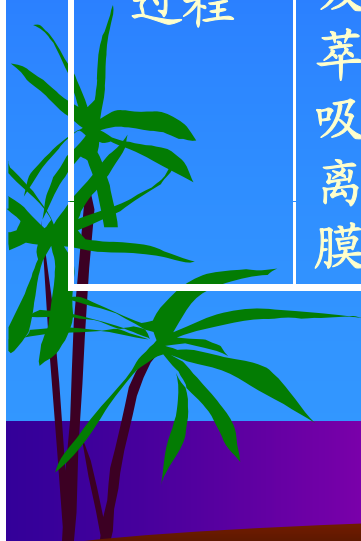
A.D.Little 提出 “化工单元操作” 的概念 (1915)

W.H.Walker、W.K.Lewis和W.H.McAdams合著《化工原理》(1923)

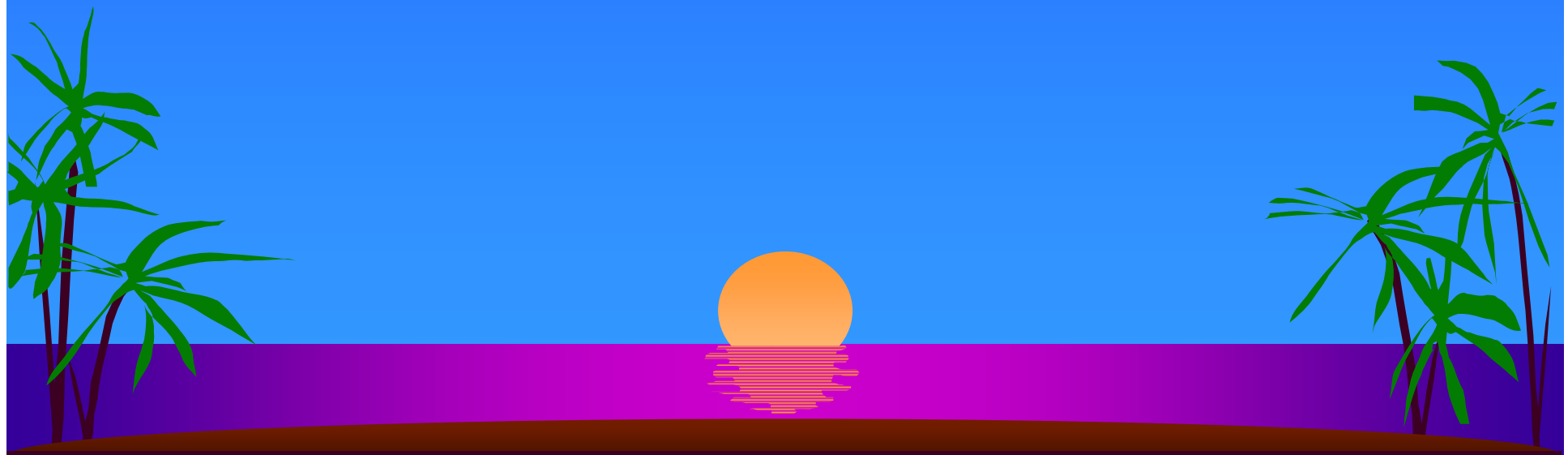


化工常用的单元操作

类别	名称	目的
流体动力过程	流体输送 沉降 过滤 混合 流态化	将流体以一定流量从一个设备送到另一个设备 从气体或液体中分离悬浮的固体颗粒、液滴或气泡 从气体或液体中分离悬浮的固体颗粒 使液体与其他物质均匀混合 用流体使固体颗粒悬浮并使其具有流体状态特征
传热过程	换热 蒸发	使物料升温、降温或改变相态 使非挥发性稀溶液的溶剂蒸发，溶液浓缩
传质过程	蒸馏 吸收 萃取 吸附 离子交换 膜分离	利用组分挥发性不同，通过汽化、冷凝分离液体混合物 用液体吸收剂分离气体混合物 用液体萃取剂分离液体混合物 用固体吸附剂分离气体或液体混合物 用离子交换剂从溶液中提取或去除某些离子 用固体或液体膜分离气体或液体混合物



类别	名称	目的
热质传递过程	干燥 增湿或减湿 结晶	加热固体使其所含液体（如水）汽化而去除 调节与控制空气或其他气体中的水蒸气含量 使溶液中的溶质变成晶体析出
热力过程	压缩 冷冻	提高气体的压力 将物料冷却到环境温度以下
机械过程	粉碎 搅拌 颗粒分级	用外力使固体物料变成尺寸更小的颗粒 混合或分散 将固体颗粒分成大小不同的部分



单元操作的特点：

1. 都是物理操作，不改变化学性质；
2. 都是化工生产过程中共有的操作，但不同的化工过程中所包含的单元操作数目、名称与顺序各异；
3. 某单元操作用于不同的化工过程，其基本原理并无不同，进行该操作的设备往往也是通用的。

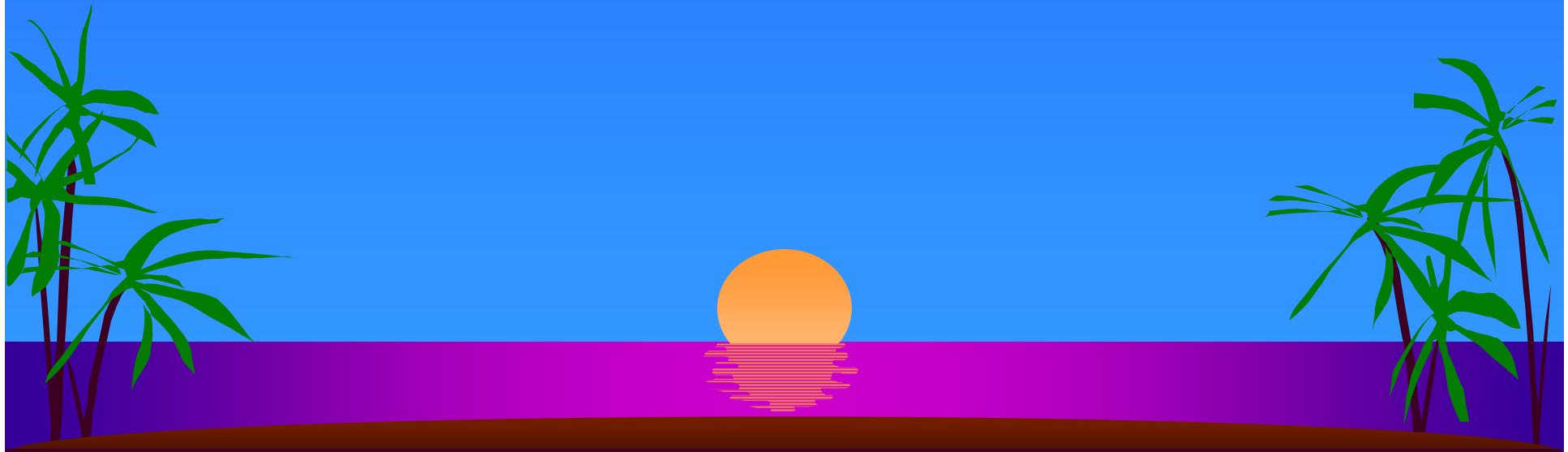
20世纪初，对化学工程的认识仅限于单元操作。

20世纪60年代，“三传一反”概念的提出，开辟了化学工程发展的第二个历程。

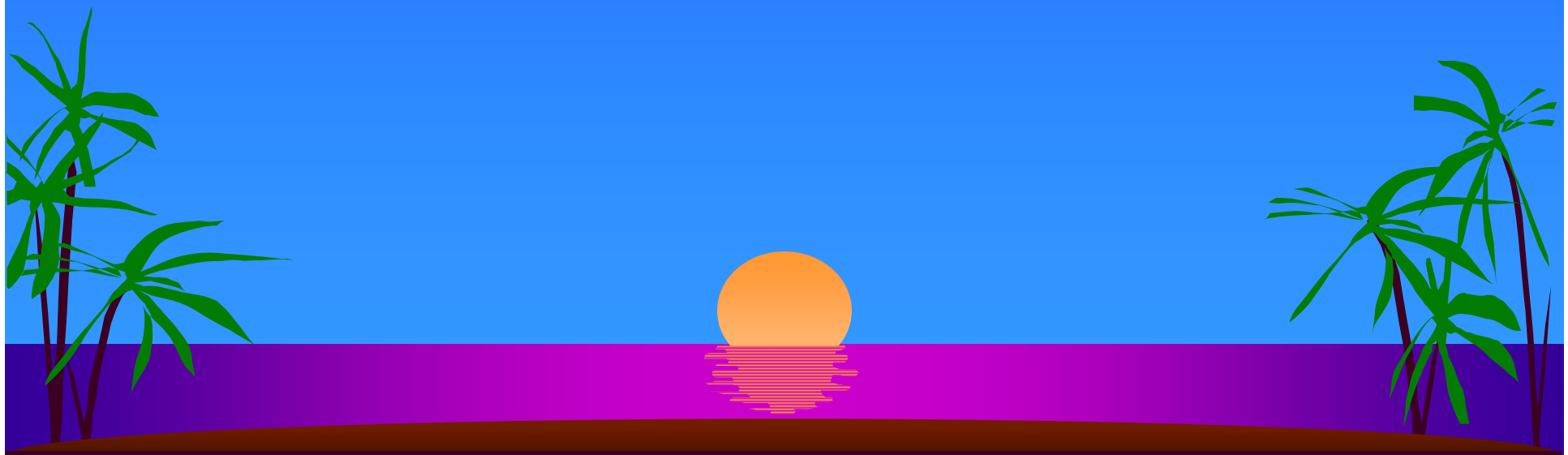


按单元操作的基本原理，分为以下三种：

- 动量传递过程（momentum transfer process）包括流体输送、搅拌、沉降、过滤等；
- 热量传递过程（heat transfer process）——包括热交换、蒸发等；
- 质量传递过程（mass transfer process）——包括吸收、蒸馏、萃取、吸附、干燥、结晶等。



今天，已形成了单元操作、传递过程、反应工程、化工热力学、化工系统工程、过程动态学及控制等完整体系。计算机模拟技术的高速发展，更把化学工程推向了过程优化集成、分子模拟的新阶段。

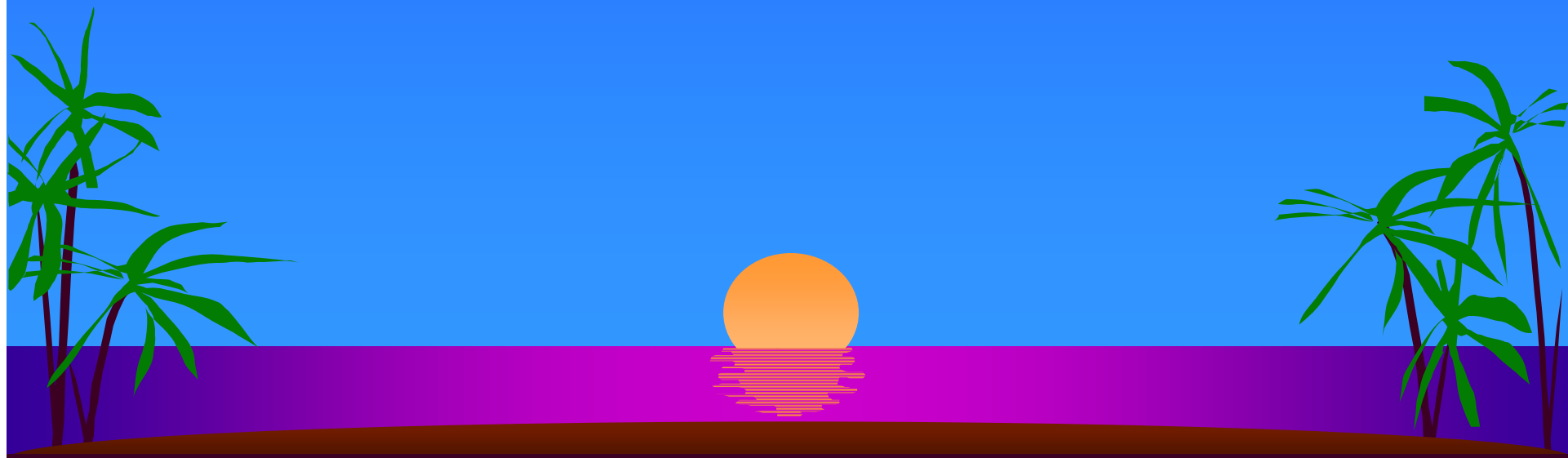


绪论

0.1 化工的地位与作用

0.2 化学工程与单元操作

0.3 《化工原理》课程



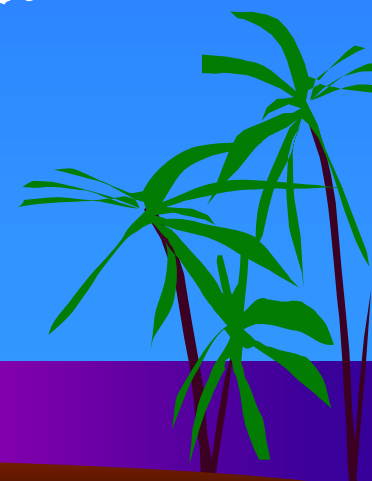
0.3 《化工原理》课程

0.3.1 课程性质

化工原理是化学工程、化学工艺类及其相近专业的一门专业技术基础课，在具备了必要的高等数学、物理、物理化学、计算技术等基础知识之后的必修课，是化学工艺学及其他化学工程学课程的前修课。

实践性很强，属应用科学（不同于自然科学）

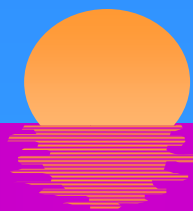
由基础理论 \longrightarrow 工程问题，是由理及工的桥梁。



0.3.2 课程内容

0.3.3 任务

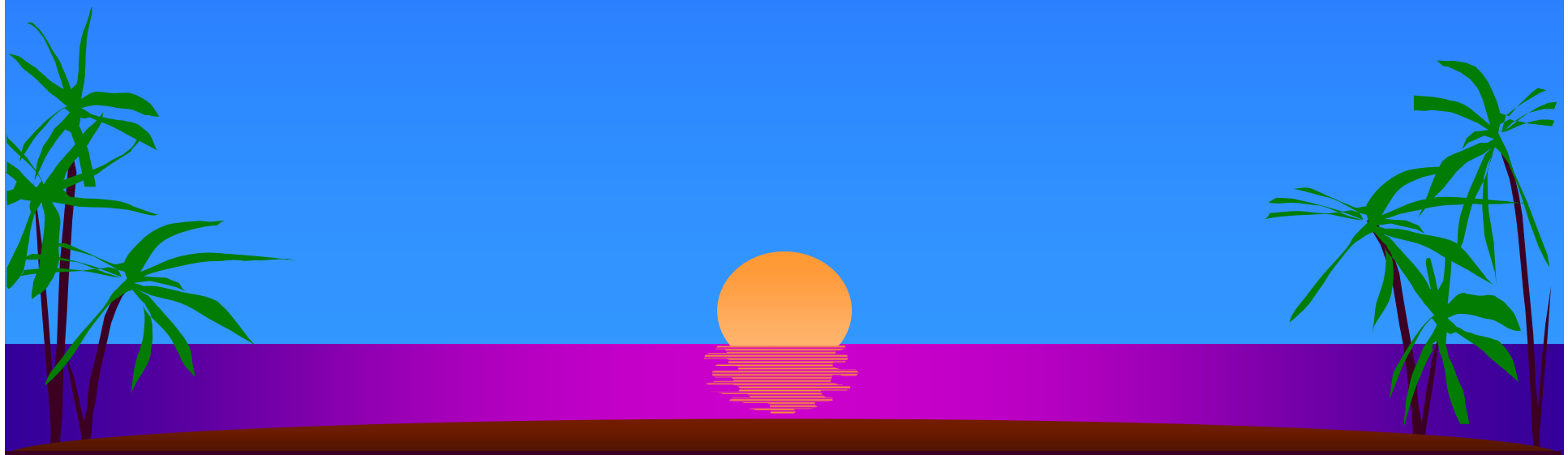
- ❖ 选型
- ❖ 设计计算
- ❖ 操作
- ❖ 开发创新



0.3.4 学习方式

讲课、习题课（讨论）、实物教学、录像、演示实验、实验

课程设计 考试



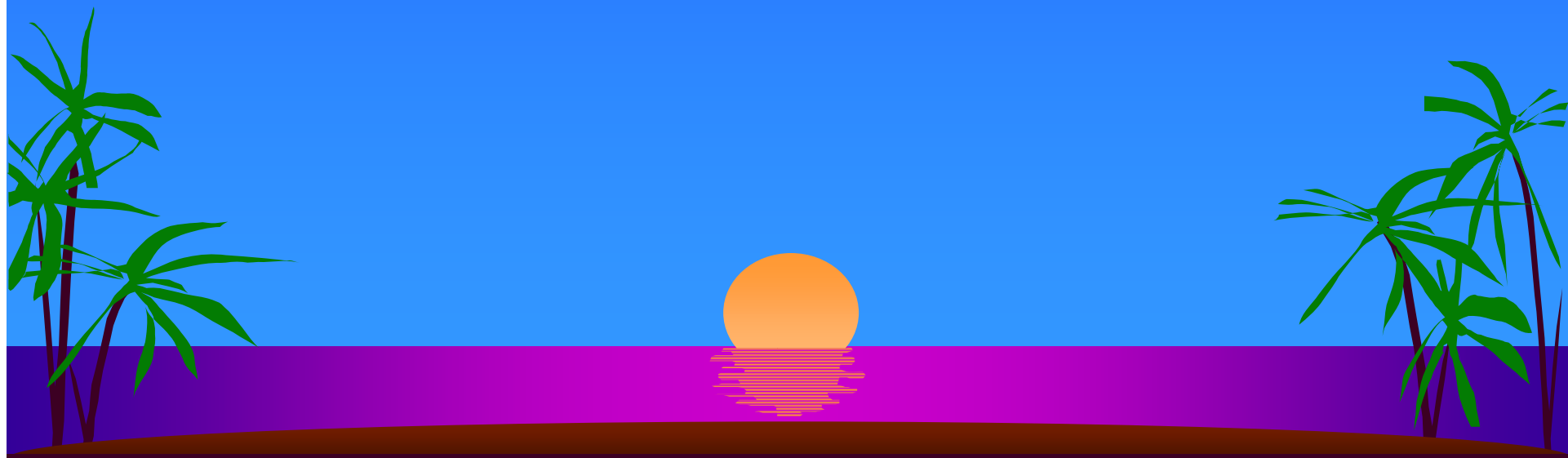
绪论

0.1 化工的地位与作用

0.2 化学工程与单元操作

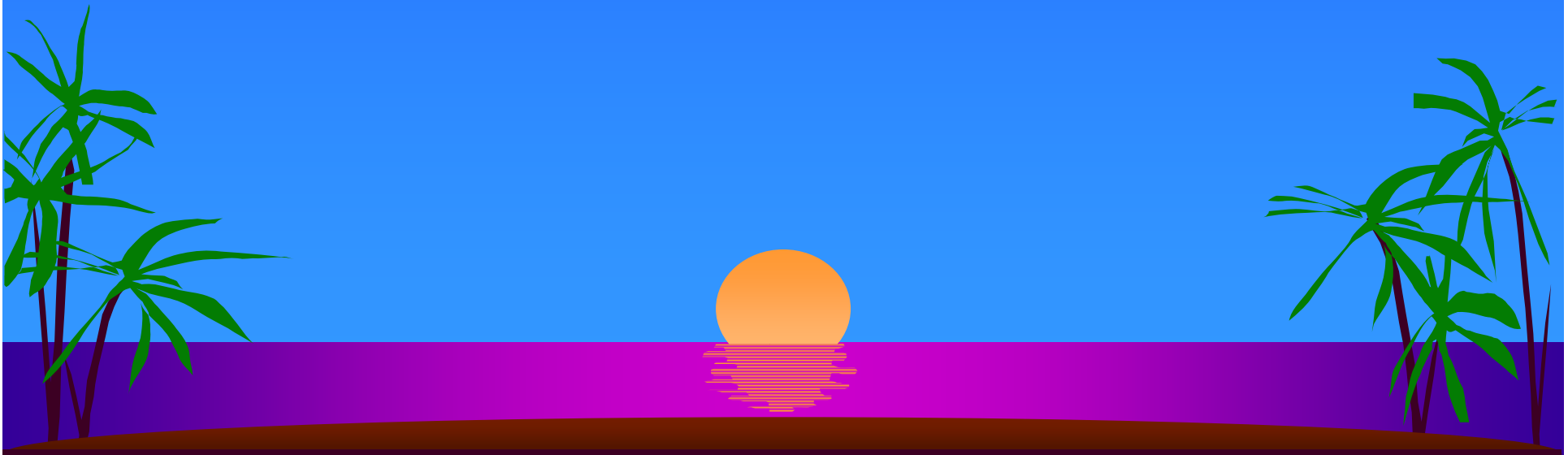
0.3 《化工原理》课程

0.4 常用的基本概念和研究方法



0.4.1 四个基本概念

- 物料衡算 (mass balance)
- 能量衡算 (energy balance)
- 物系的平衡关系 (equilibrium relation)
- 过程传递速率 (rate of process)

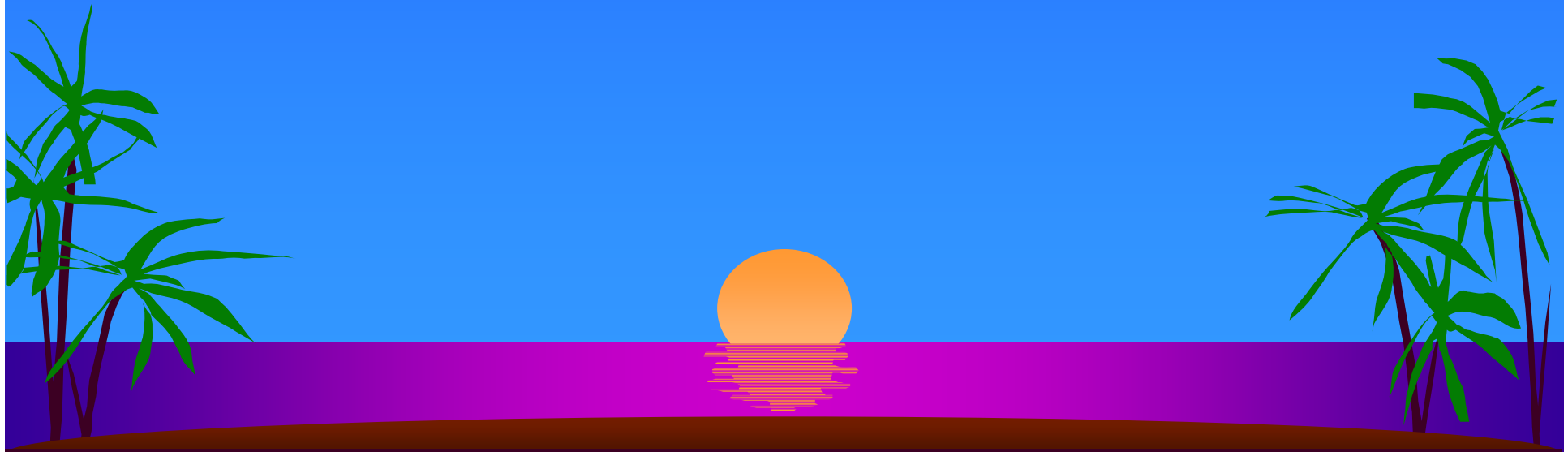


➤ 物料衡算 (mass balance)

$$\sum G_{\text{入}} - \sum G_{\text{出}} = G$$

若 $G=0$ ，该式描述的是稳态过程（定态过程）

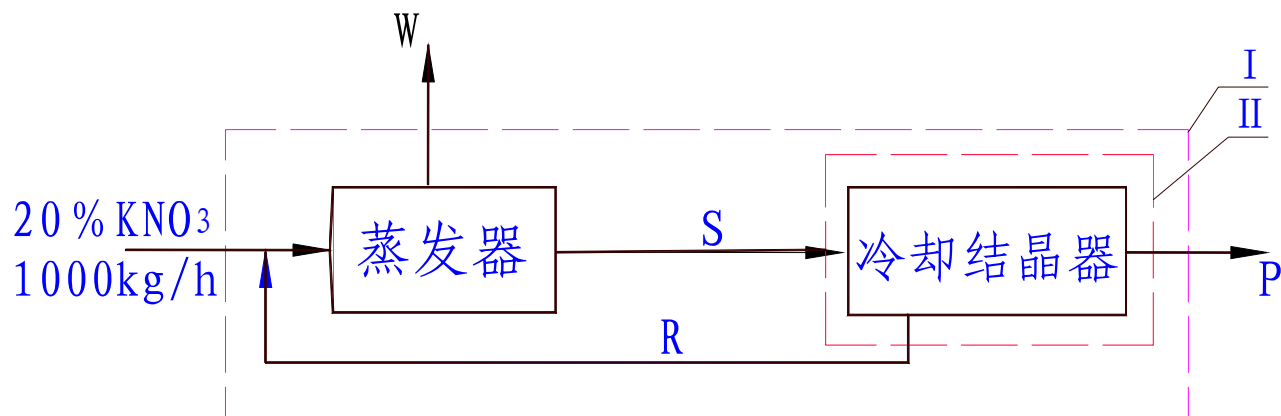
若 $G \neq 0$ ，则描述的是非稳态过程。

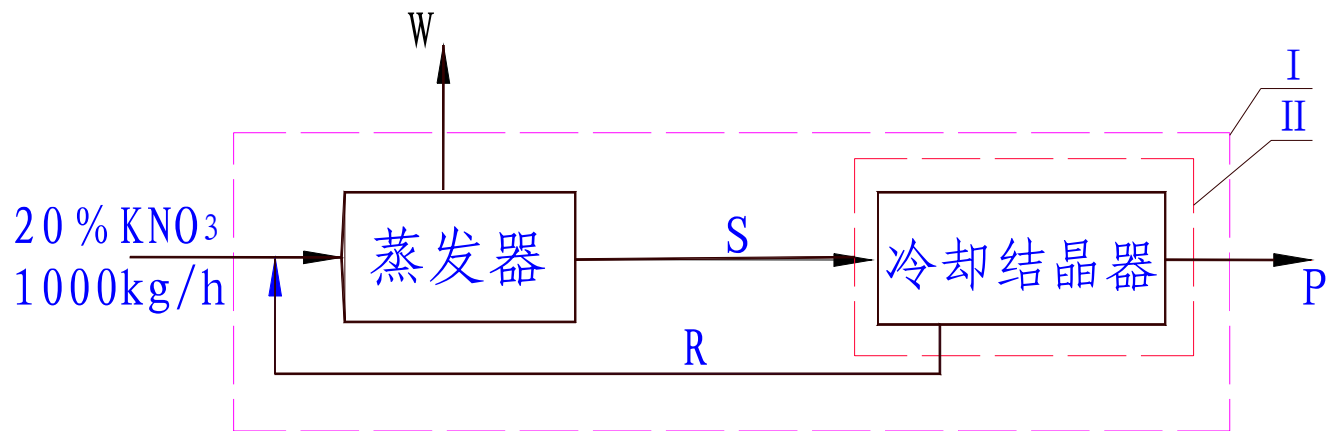


物料衡算举例：

生产 KNO_3 的过程中，质量分数为 0.2 的纯 KNO_3 水溶液以 1000kg/h 的流量送入蒸发器，在 422K 下蒸发出部分而得50%的浓 KNO_3 溶液，然后送入冷却结晶器，在 311K 下结晶，得到含水0.04的 KNO_3 结晶和含 KNO_3 0.375 的饱和溶液。前者作为产品取出，后者循环回到蒸发器。过程为稳态操作。试计算 KNO_3 结晶产品量、水蒸发量和循环的饱和溶液量。

解：首先根据题意画出过程的物料流程图





(1) 求结晶产品量P

取整个过程为系统（框 I），
取1h为衡算基准，以KNO₃为衡算
对象，稳态操作，则

$$1000 \times 0.2 = 0.96 P$$

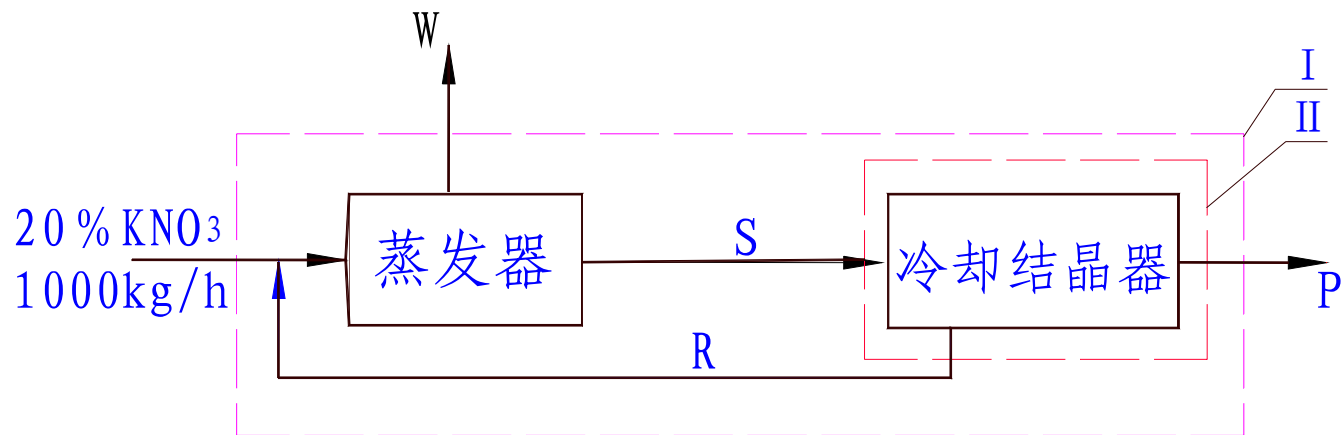
$$P = 208.3 \text{ kg/h}$$

(2) 求水蒸发量W

仍取系统 I，衡算基准为1h，
以总物料为衡算对象，则

$$1000 = W + P$$

$$\therefore W = 791.7 \text{ kg/h}$$



(3) 求循环的饱和溶液量R

设进入冷却结晶器的质量分数为0.5的KNO₃溶液量为S kg/h。
取冷却结晶器为系统（框II），衡算基准为1h，以总物料为衡算对象，做总物料的衡算：

$$S=208.3+R$$

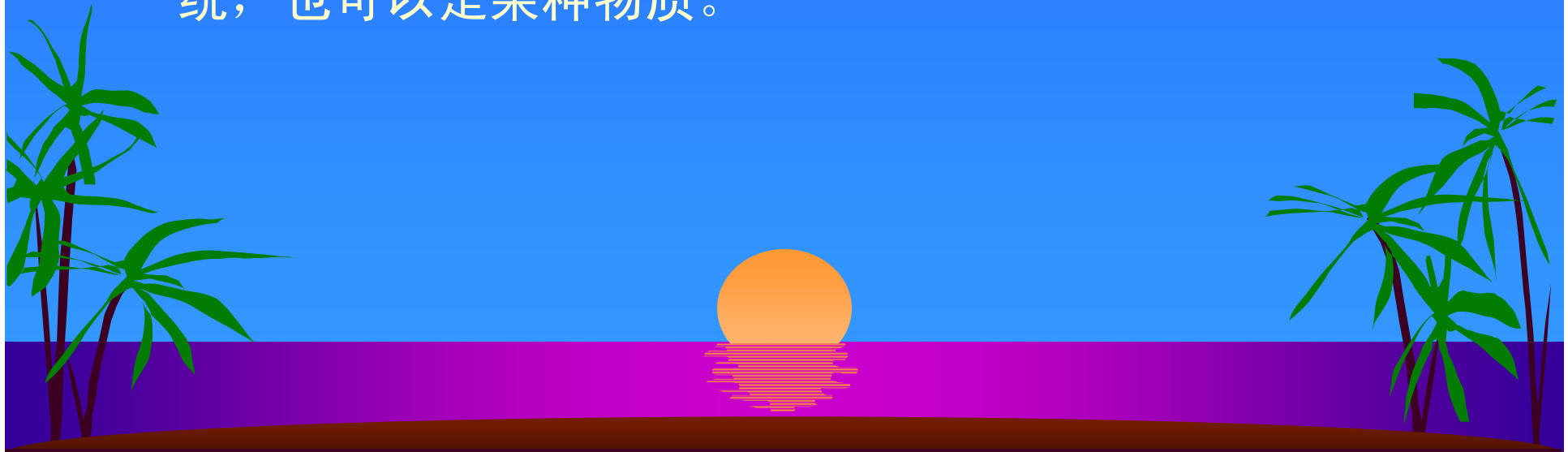
以KNO₃为衡算对象，作KNO₃的衡算：

$$S \times 0.5 = 208.3 \times 0.96 + R \times 0.375$$

联立上述二式，得：**R=766.6 kg/h**

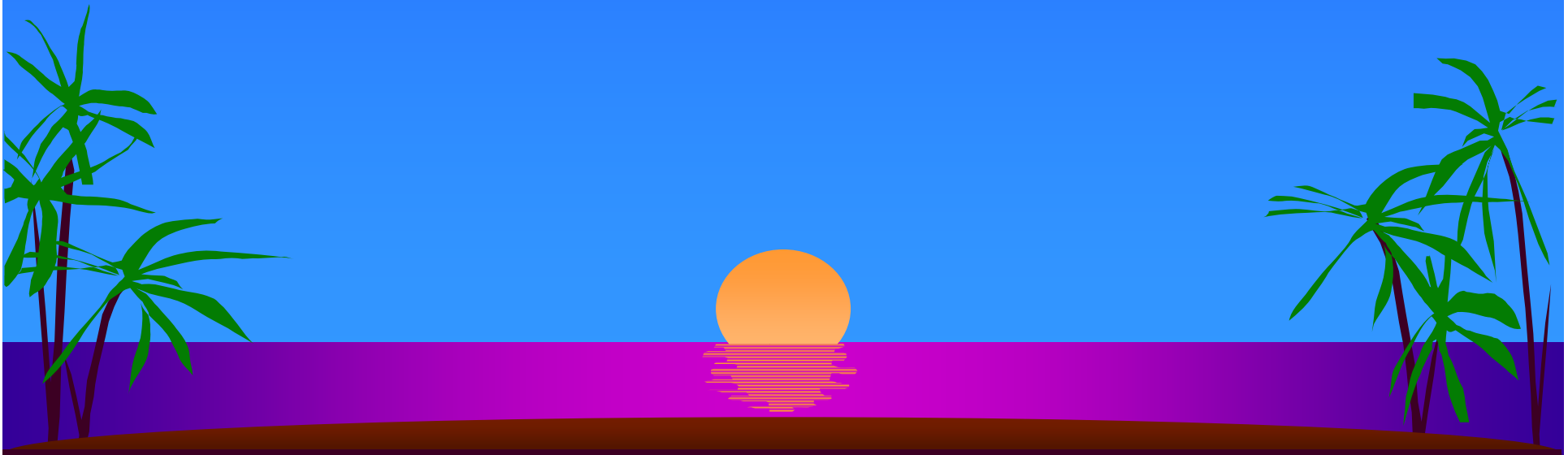
物料衡算的方法:

1. 画流程示意图（画清设备，物流方向）；
2. 确定衡算范围（根据需要，可以是一个设备或设备的某一部分（微元），车间，厂）
3. 确定衡算基准，通常取单位时间为基准，如1h，1s等，间歇过程以一次操作为基准，即每处理一批物料。
4. 确定对象：总物料或某种元素，对没发生化学反应的系统，也可以是某种物质。



- 能量衡算 (energy balance)
- 物系的平衡关系 (equilibrium relation)

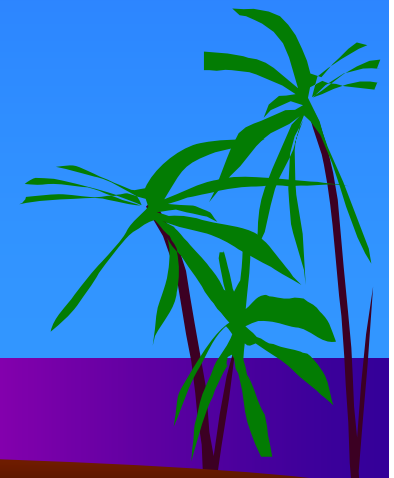
指物系的传热或传质过程进行的方向和能达到的极限。



➤ 过程传递速率 (rate of process)

1. **过程传递速率**：指过程进行的快慢，通常用单位时间内过程进行的变化量表示。
2. **过程的推动力**：指过程所处的状态与平衡状态之间的距离，例如温差，浓度差
3. 过程的速率通常表示成：

$$\text{速率} = \frac{\text{推动力}}{\text{阻力}}$$



0.4.2 研究方法

1 实验研究方法（因次分析法）

物性因素 μ, ρ

设备因素 $L, d, \varepsilon \rightarrow$ 湍流直管阻力 $\rightarrow h_f(\Delta P)$

操作因素 u

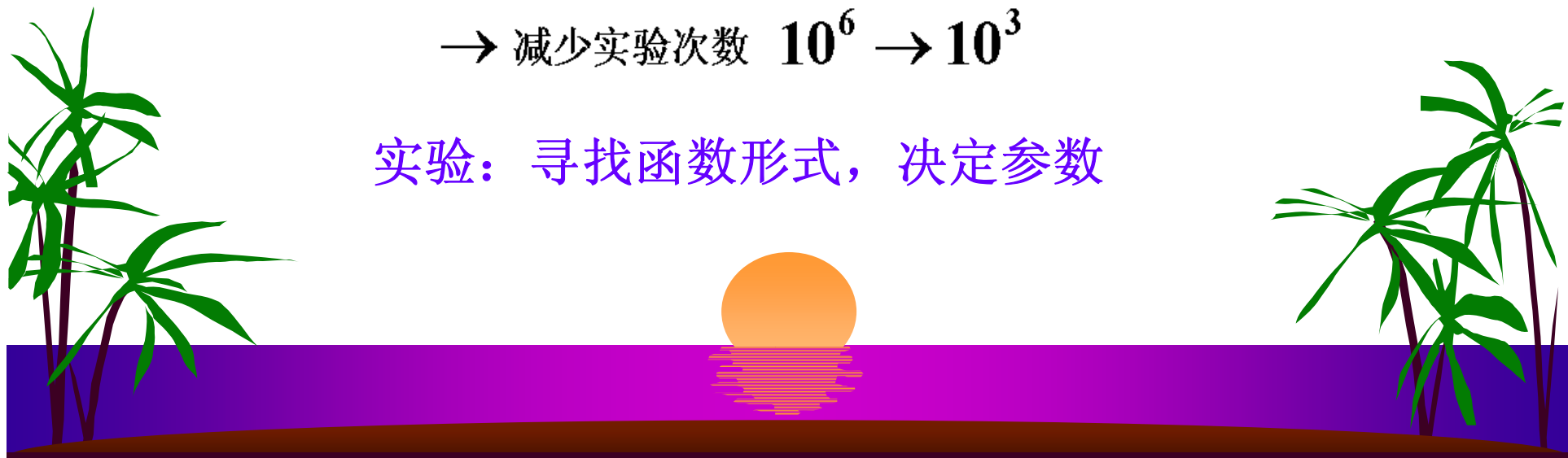
影响因素

可测量的结果

减少变量：因次分析
$$\frac{h_f}{u^2} = \varphi\left(\frac{d u \rho}{\mu}, \frac{l}{d}, \frac{\varepsilon}{d}\right)$$

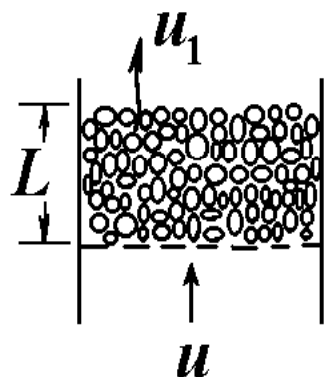
\rightarrow 减少实验次数 $10^6 \rightarrow 10^3$

实验：寻找函数形式，决定参数

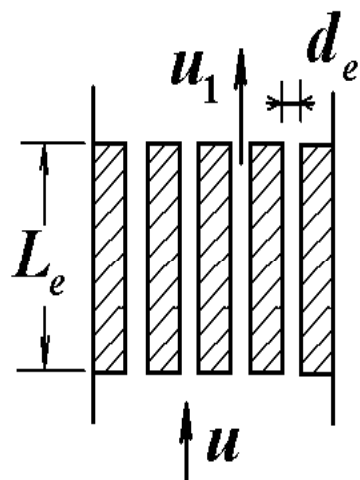


2 数学模型法

$$\frac{\Delta P}{L} = ?$$



实际过程



简化的物理模型

$$\frac{\Delta P}{L} = K \frac{a^2(1-\varepsilon)^2}{\varepsilon^3} \mu u$$

实验：检验模型，确定参数 K

物理模型



数学模型



求解数学模型



求出模型参数



