

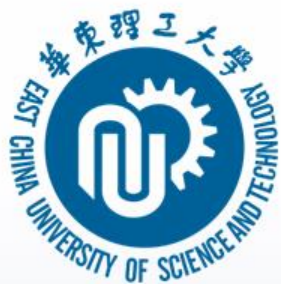


# 分离工程

## 第二、三章

### 知识要点





## 第二章 过滤

### 2.1 过滤的基本概念和原理

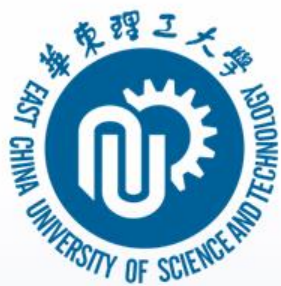
### 2.2 滤饼过滤

### 2.3 澄清过滤

### 2.4 其他过滤方式（膜过滤以及外加电场、磁场、声场的过滤）

### 2.5 过滤设备及选型





# 第二章 过滤

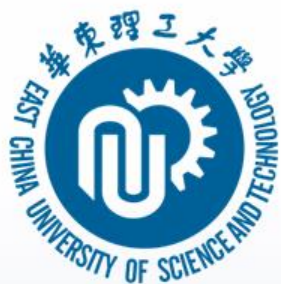
## 2.1 过滤过程

过滤三要素（介质、滤液、滤渣），过滤推动力，过滤分类（按过滤机理分、按促使流体流动的推动力分），过滤介质（分类、常见过滤介质），过滤介质特性（孔隙性质、孔径大小、孔隙率），过滤介质的基本性能。

## 2.2 滤饼过滤

过滤过程主要参数，滤饼过滤基本方程（滤饼可压缩性和比阻、恒压过滤和恒速过滤等），过滤常数测定，滤饼洗涤时间，过滤机生产能力的计算（间歇过滤和连续过滤）。





# 第二章 过滤

## 2.3 澄清过滤

澄清过滤分类，主要的截留机理，深层过滤过程（缓慢过滤、快速过滤、活性炭过滤等）

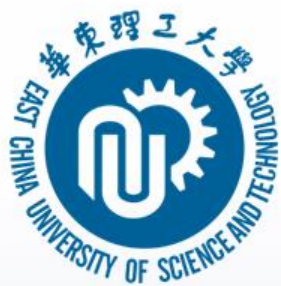
## 2.4 其他过滤方式

膜分离过程原理，几种膜过滤过程特性，外加电场、磁场、声场过滤工作原理

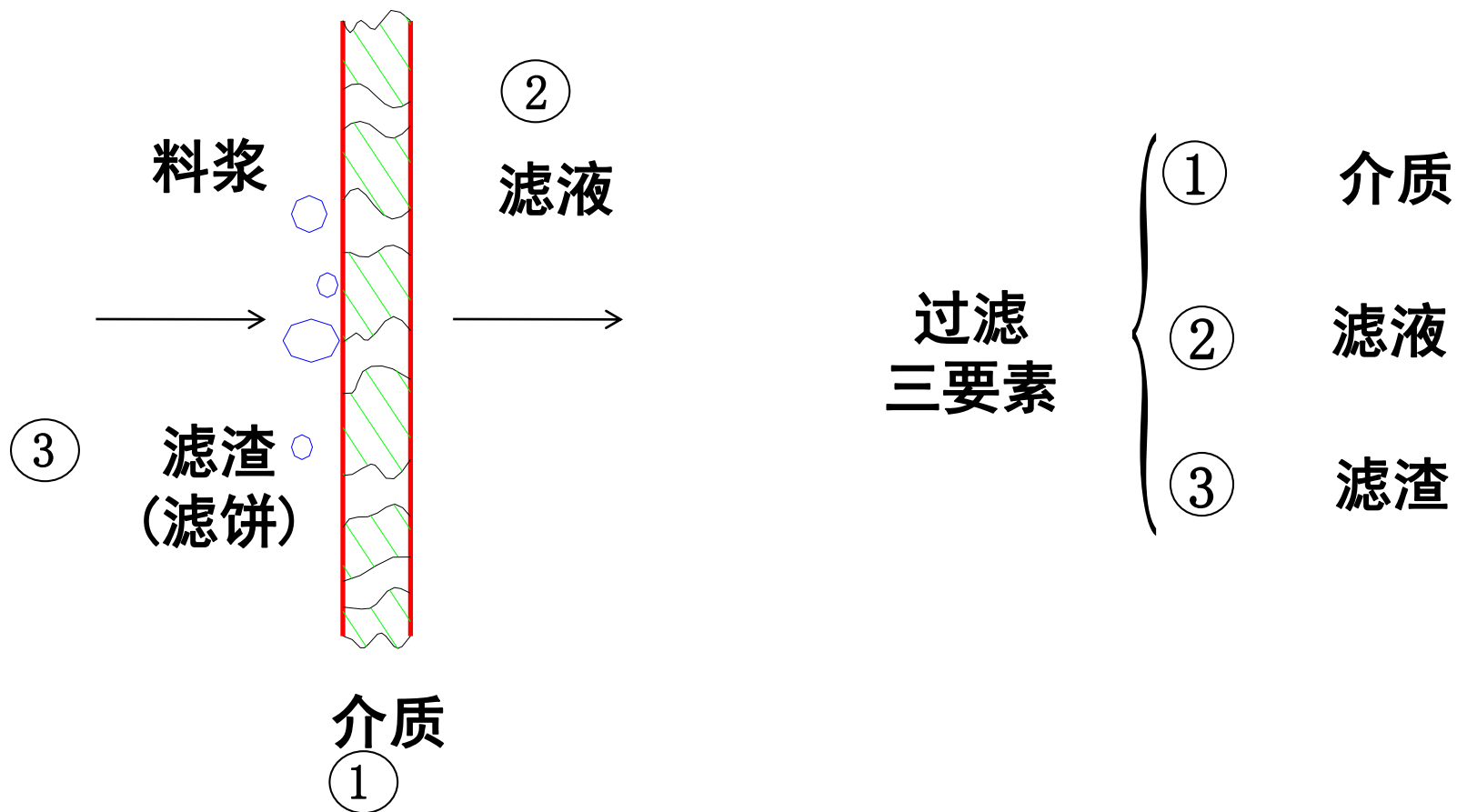
## 2.5 过滤设备以及选型

几种常用过滤设备的结构特点，设备选型方法等。



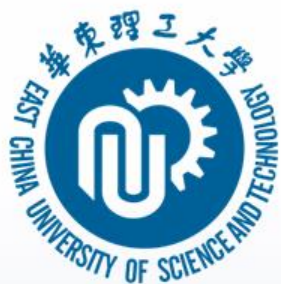


# 过滤过程



过滤：研究三要素相互作用及其调控的科学与技术





# 过滤过程

## 过滤定义

- 混合物的分离：液体和气体混合物
- 什么现象属于过滤？

混合物中的流体在**推动力**（重力、压力、离心力）的作用下通过**过滤介质**，固体粒子被截留，而流体通过过滤介质，从而实现流体与颗粒物的分离。

液—固分离，气—固分离

**如砂滤池、袋式除尘器、口罩.....**

- 过滤分离的对象？

粗大颗粒、细微离子、细菌、病毒和高分子物质等





# 过滤分类

1.按过滤机理分：有滤饼过滤和澄清过滤

2.按促使流体流动的推动力分：

- 重力过滤**：在水位差的作用下被过滤的混合液通过过滤介质进行过滤，如**水处理中的快滤池**
- 真空过滤**：在真空下过滤，如**水处理中的真空过滤机**。
- 压力差过滤**：在加压条件下过滤，如**水处理中的压滤滤池**。
- 离心过滤**：使被分离的混合液旋转，在所产生的惯性离心力的作用下，使流体通过周边的滤饼和过滤介质，从而实现与颗粒物的分离。

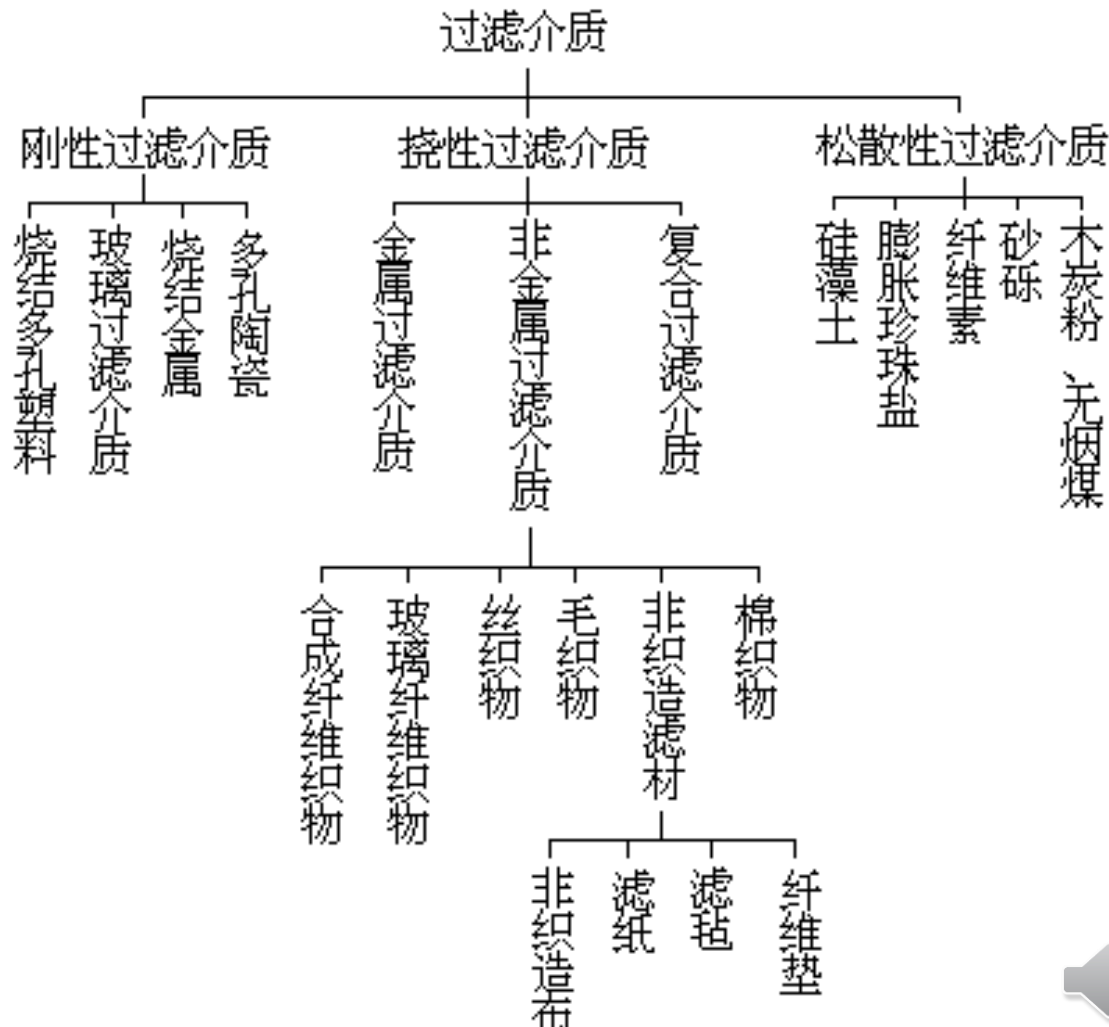


# 过滤介质

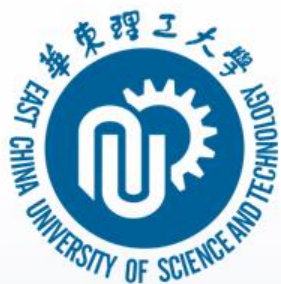
## 按结构分类

### ● 过滤介质及其分类

**定义：**过滤介质是任何一种有渗透性的材料，在过滤过程中，颗粒沉积在其上或其中。





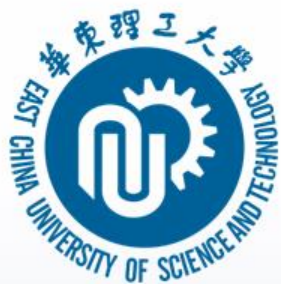


# 过滤介质

## 几种介质的孔径

纺织物	滤布	10微米
非编织介质	纤维毡	10微米
	滤纸	2微米
	过滤纸板	0.5微米
刚性多孔介质	陶瓷	1微米
	烧结金属	3微米
松散介质（纤维、粉末）		<1微米
滤    膜		10~0.001微米
金属丝网		5微米左右





# 过滤介质

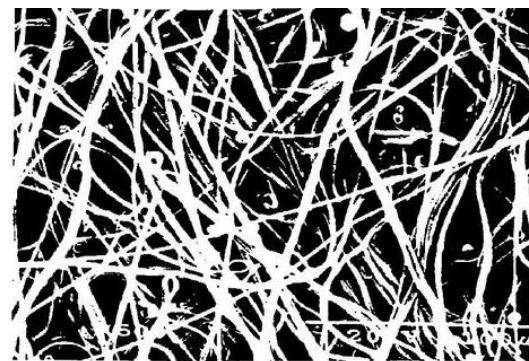
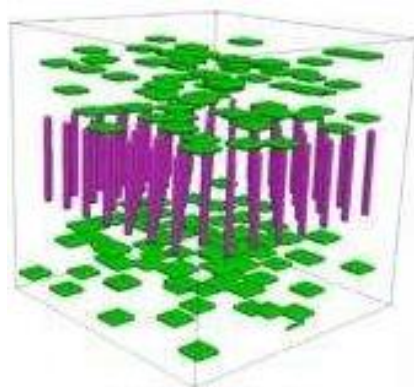
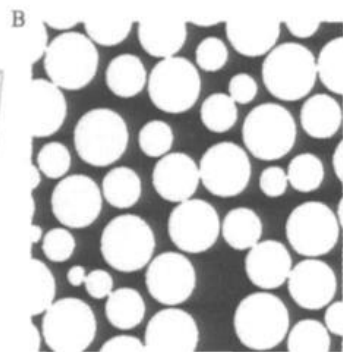
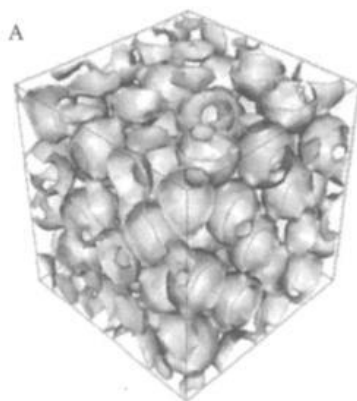
## 过滤介质的开孔特性

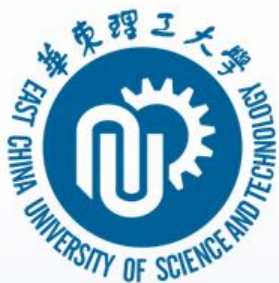
### 1. 过滤介质孔隙性质

介质孔隙性质、孔隙的空间结构、介质孔隙的表面形状和内部结构、孔间关系等

### 2. 过滤介质的孔径大小

### 3. 过滤介质的孔隙率



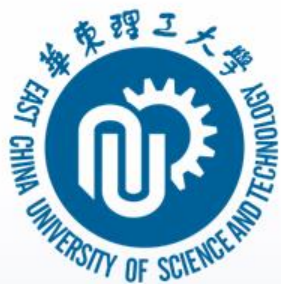


# 过滤介质

## 过滤介质的基本性能

机械性能	使用性能	过滤性能
刚度	化学稳定性	过滤精度
强度	热稳定性	截留效率
蠕变或拉伸抗力	生物学稳定性	透水性能
移动的稳定性	动态稳定性	再生性能
抗磨性	吸附性	纳污容量
振动稳定性	可湿性	堵塞倾向
制造工艺性	卫生和安全性	剥离性能
密封性	静电方面	
可供应尺寸	再使用可行性	





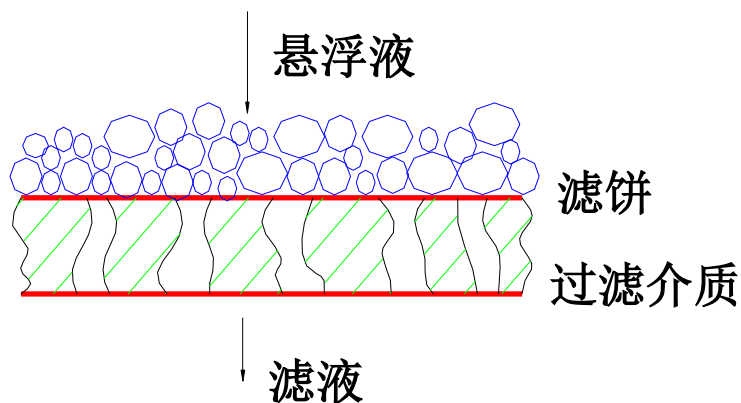
# 滤饼过滤

**特点：**

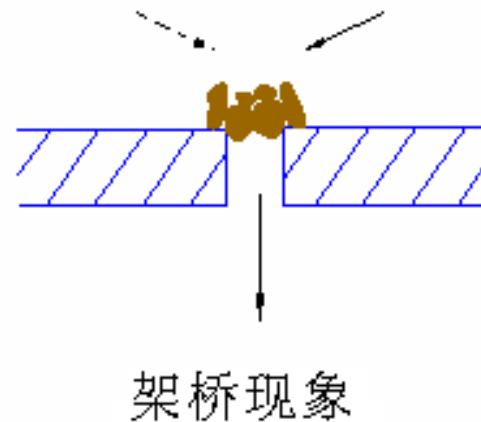
固体颗粒呈饼层状沉积于过滤介质的上游一侧，形成滤饼层

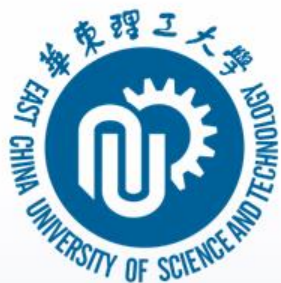
**适用：**

处理颗粒含量较高的悬浮液，是化工生产中的主要过滤方式



滤饼过滤





## 滤饼过滤基本方程

### 过滤过程的主要参数

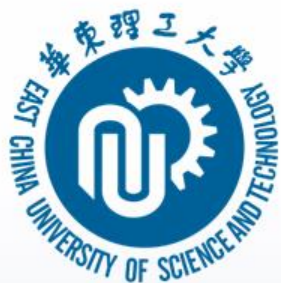
**处理量：**处理的流体流量或分离得到的纯流体量 $V$  ( $m^3$ )

**过滤推动力：**由流体位差、压差或离心力场造成的过滤压差 $\Delta p$

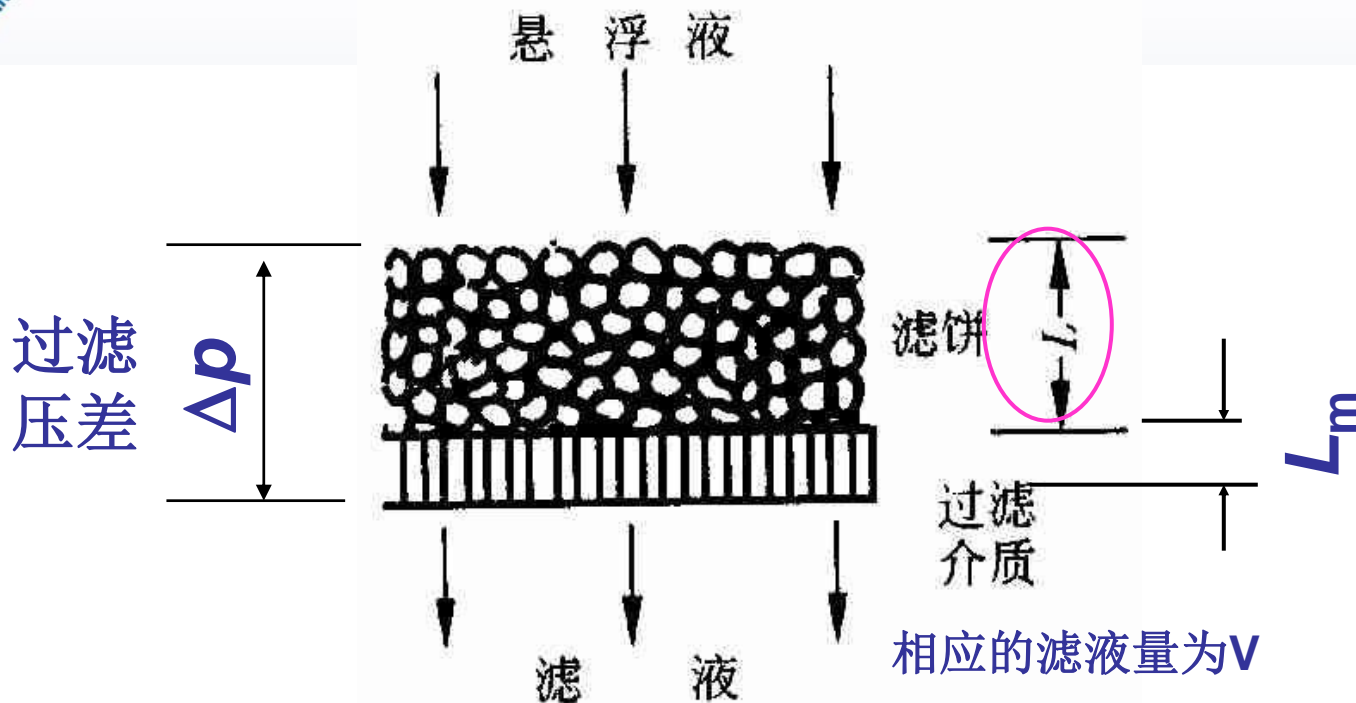
**过滤面积：**表示过滤设备的大小 $A$  ( $m^2$ )

**过滤速度：**单位时间通过单位面积的滤液量 $u$





## 滤饼过滤基本方程



过滤速度 $u$ 定义为： 某一过滤时间 $t$ 时的过滤状态

(表观)

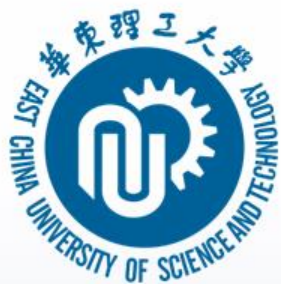
$$u = \frac{dV}{A dt}$$

$dt$ ——微分过滤时间, s

$dV$ —— $dt$ 时间内通过过滤面的滤液量,  $m^3$

$A$ ——过滤面积,  $m^2$





## 滤饼过滤基本方程

$$\frac{dq}{dt} = \frac{K}{2(q + q_e)}$$

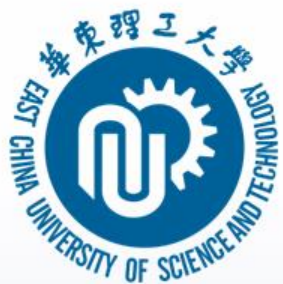
(滤饼过滤基本方程)

**$K$** : 过滤常数

- 滤饼的颗粒性质
- 悬浮液浓度
- 滤液黏度
- 滤饼的可压缩性

**$q_e$** : 过滤介质特性参数





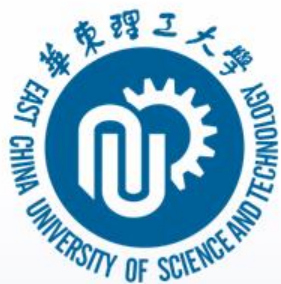
# 滤饼过滤基本方程

恒压过滤方程

恒速过滤方程





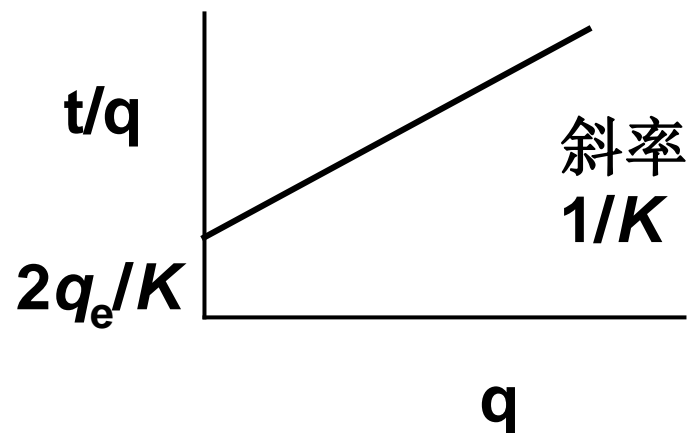


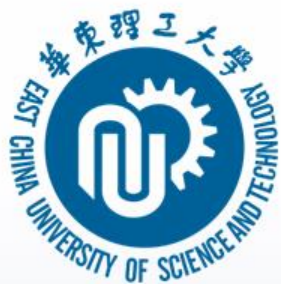
## 过滤常数的测定

### (一) 过滤常数 $K$ , $q_e$ 的计算

对于恒压过滤，过滤积分方程改写为：

$$\frac{t}{q} = \frac{1}{K} q + \frac{2}{K} q_e$$





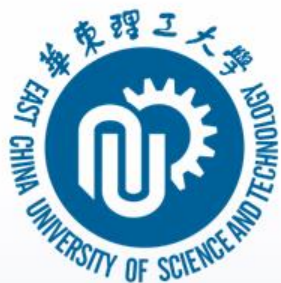
## 过滤常数的测定

### (二) 压缩指数 $s$ 的计算

$$K = \frac{2\Delta p^{1-s}}{\mu r_0 f} \Rightarrow \lg K = (1-s)\lg \Delta p + B$$

在不同的过滤压差下做过滤实验求得相应的  $K$ ，由上式可得  $s$





## 过滤机生产能力的计算

过滤机的生产能力一般以单位时间得到的滤液量 $q_V$ 表示。

### (一) 间歇式过滤机

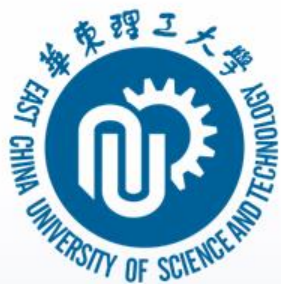
间歇式过滤机的每一个操作循环包括：



假设在每个操作循环中过滤机的滤液量为 $V$ ，则间歇式过滤机的生产能力为：

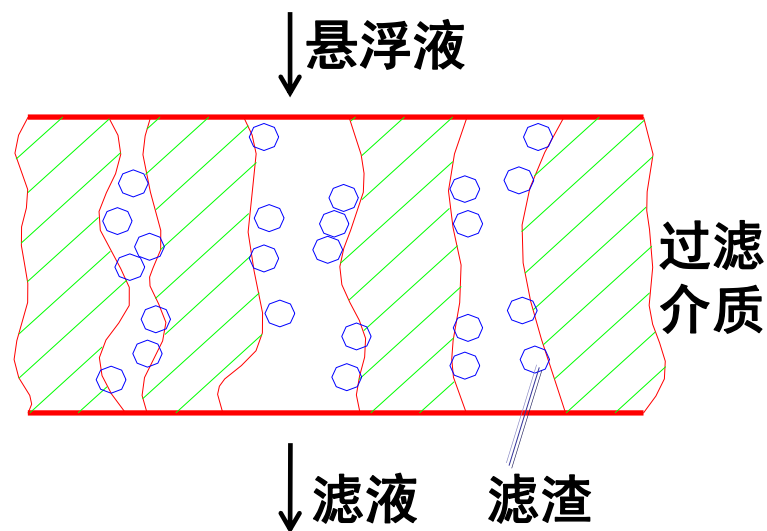
$$q_V = \frac{V}{t_F + t_W + t_D} \quad (2.2.26)$$





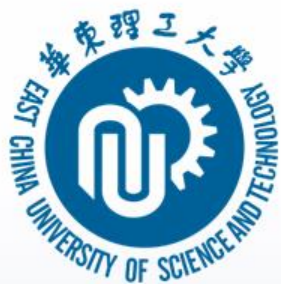
# 澄清过滤

- 利用过滤介质间空隙进行过滤
- 通常发生在以固体颗粒为滤料的过滤操作中
- 滤料内部空隙大于悬浮颗粒粒径
- 悬浮颗粒随流体进入滤料内部，在**拦截、惯性碰撞、扩散沉淀**等作用下颗粒附着在孔道中滤料表面上而与流体分开



流体在颗粒滤料层中的流动规律





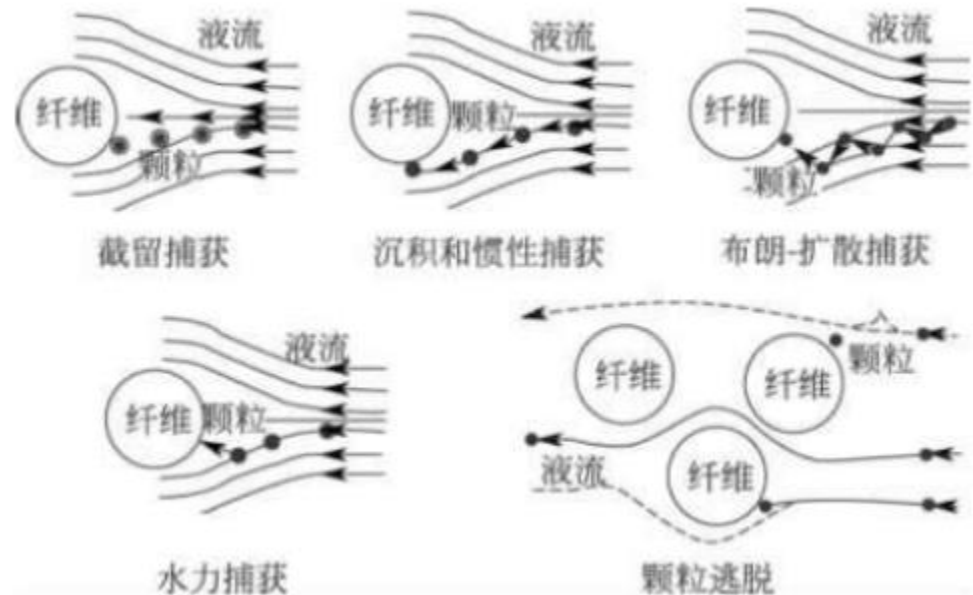
## 澄清过滤法的分类及比较

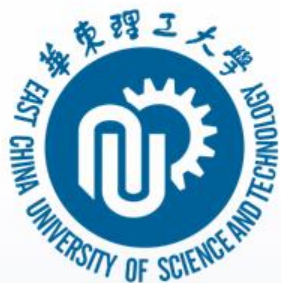
- 粒状层过滤或深层过滤
- 直接过滤
- 助滤剂过滤
- 膜过滤
- 磁过滤



## 截留机理

- 筛分作用
- 重力沉淀
- 拦截
- 惯性碰撞
- 扩散
- 流体动力干涉
- 静电吸引
- 电双层排斥
- 范德华-伦敦力
- 生物作用





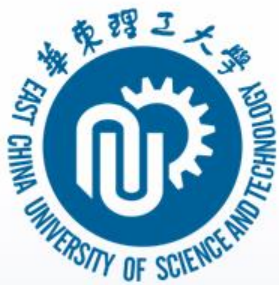
# 深层过滤过程

快速过滤

表 缓速过滤与快速过滤的比较

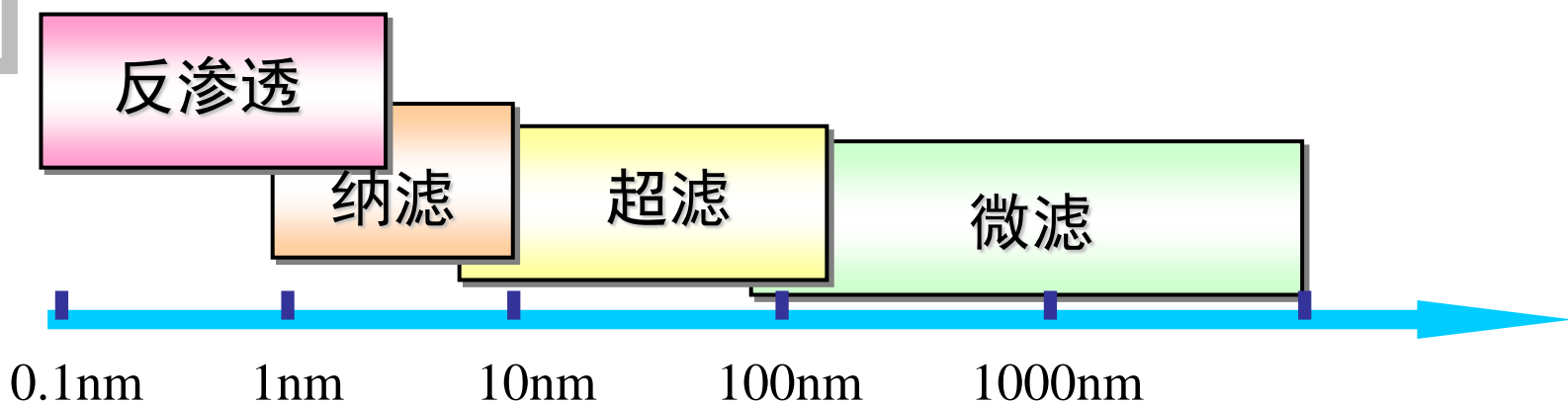
比较项	缓速过滤	快速过滤
过滤速度	3~5m/d，最大10m/d	120~400m/d，1500m/d 也可能
除油机理	借助生物过滤膜	以物理化学分离为主
预处理	不必要	必须絮凝处理
功能再生	刮掉过滤介质	逆流洗涤
过滤水质	臭气、气菌、氮也能除掉	不能除掉臭气和氮
原水水质	含有溶解氧的良质水	只要能絮凝就可以
构造	滤层不可发生负压	滤层发生负压也可以





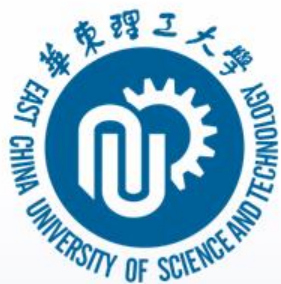
# 膜过滤

## 膜材料



膜分离过程	驱动力压力差	传递机理	透过膜的物质	被膜截留的物质	膜的类型
微滤 (MF)	0.01-0.2	颗粒大小形状	水、溶剂和溶解物	悬浮物、细菌类、微粒子 (0.01~10 $\mu$ m)	多孔膜
超滤 (UF)	0.1-0.5	分子特性、大小形状	溶剂、离子和小分子 (相对分子量<1000)	生物制品、胶体和大分子 (相对分子量1000-300000)	非对称膜
反渗透 (RO)	1.0-10	溶剂的扩散传递	水、溶剂	全部颗粒物、溶质和盐	非对称膜复合膜
纳滤 (NF)	0.5-2.5	离子大小及电荷	水、溶剂 (相对分子量<200)	溶质、二价盐、糖和染料 (相对分子量200-1000)	复合膜

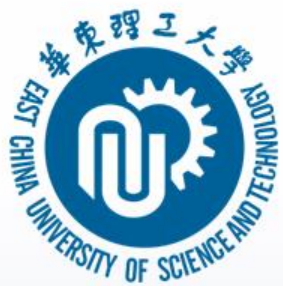




## 借助电场、磁场、声场的过滤

- 外加电场
- 外加磁场
- 外加声场





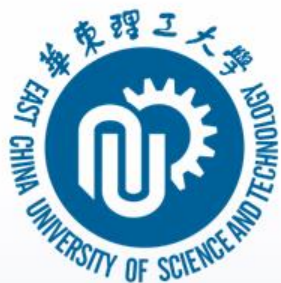
# 过滤设备

真空过滤机

加压过滤机

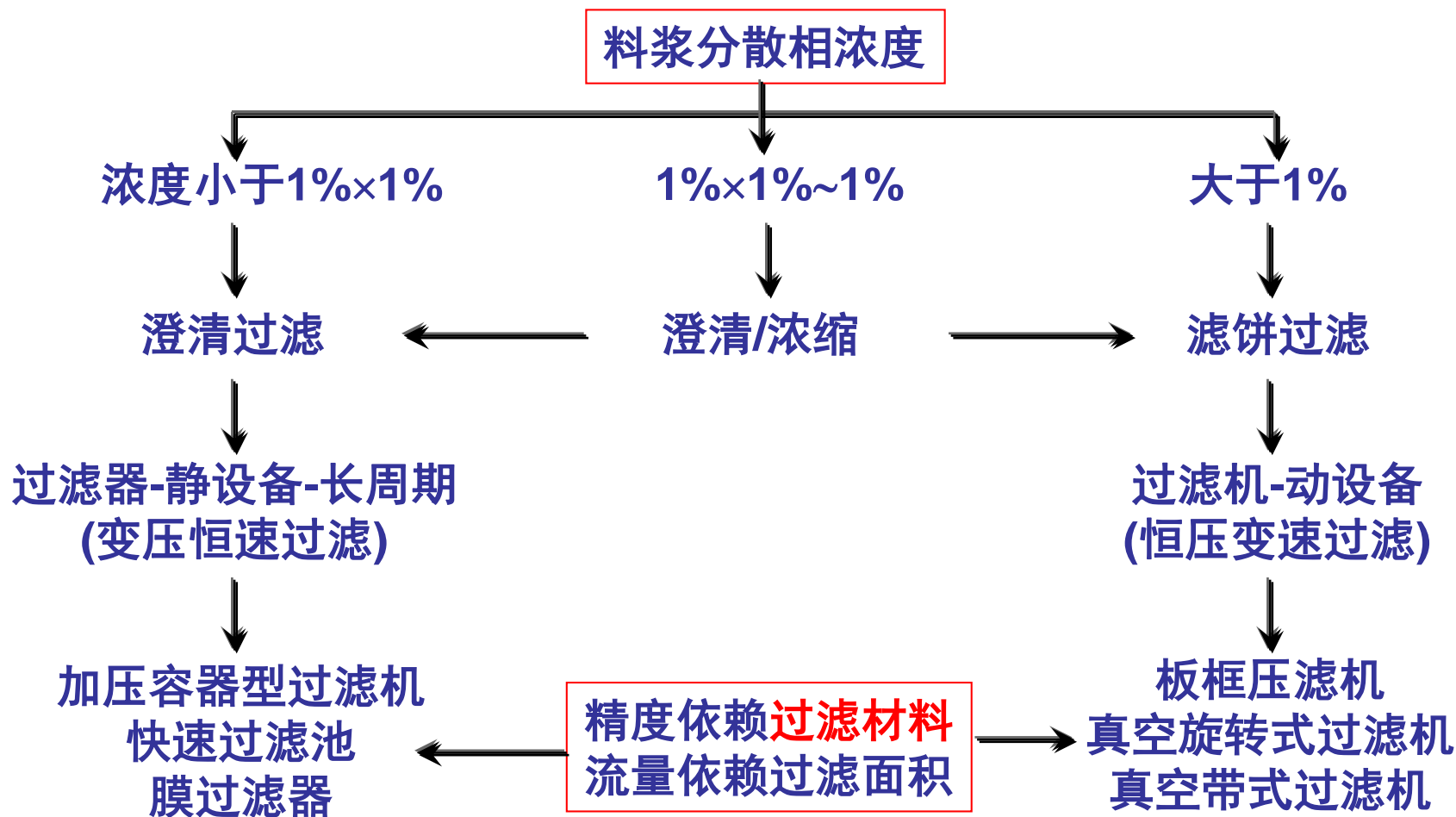
离心过滤机

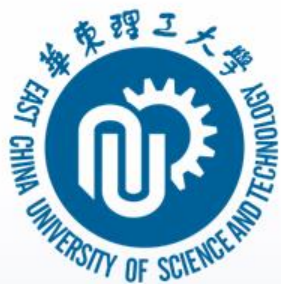




# 过滤机的选型

## 过滤器选型的简要方法





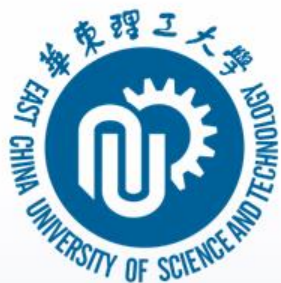
# 第三章 场分离技术

3.1 重力沉降

3.2 旋流分离

3.3 离心分离





## 第三章 场分离技术

### 3.1 重力沉降

自由沉降、干涉沉降的物理概念及其沉降速度计算、间歇沉降曲线及非稳态沉降四个阶段特点、沉降速度的主要影响因素、道尔重力沉降槽的设计及重力沉降设备

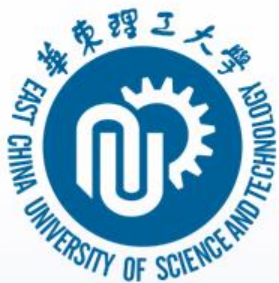
### 3.2 旋流分离

旋流分离原理、旋流器的应用范围、旋流器的分流比、分离效率和分割粒径、旋流器内流场特征及利用

### 3.3 离心分离

离心沉降的定义、原理及应用、重力沉降与离心沉降的异同点、离心力场的基本特性，当量沉降面积计算、典型沉降离心机的种类、结构及应用范围、不同工艺涉及的物性参数、分离要求及机型选择、与离心机选型相关的物料特性、各种离心机的适用范围





# 重力沉降分离

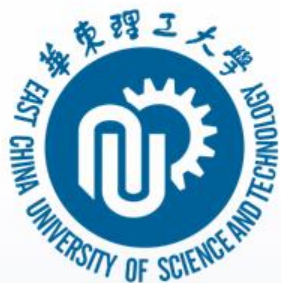
◆ **沉降分离**——在某种**力场**中利用分散相和连续相之间的**密度差异**，使之发生相对运动而实现**分离**的操作过程



◆ 由地球引力作用而发生的颗粒沉降过程，称为**重力沉降**  
**风选、冲积平原/都江堰**

序号	类型	目的	实例
一	澄清	回收溶液	湿法冶金中浸取后矿浆的沉降分离
二	浓密	回收固体	电解液中阳极泥的回收
三	分离	固体与溶液分离	湿法冶金中的固液分离沉降作业





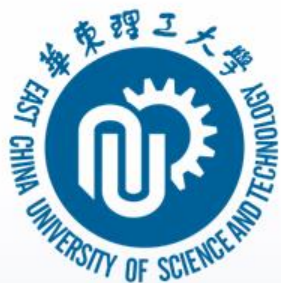
# 自由沉降及其理论基础

自由沉降(含固 $<0.2\%$ )速度计算

## 分析假定

- ◆ 颗粒为球形
- ◆ 自由沉降(沉降过程中颗粒的大小、形状、重量等不变)(非球形忽略了固粒自转)。
- ◆ 颗粒只在重力作用下沉降，不受器壁( $d_p/D < 100$ )和其他颗粒影响(含固浓度 $<0.2\%$ )。
- ◆ 静水中悬浮颗粒开始沉降时，因受重力作用产生加速运动，经过很短的时间后，颗粒所受的合力为零时，颗粒即成等速下沉。





## 颗粒的自由沉降过程分析

设颗粒的密度为  $\rho_s$ ，直径为  $d$ ，流体的密度为  $\rho_L$

◆ 重力  $F_g = \frac{\pi}{6} d^3 \rho_s g$

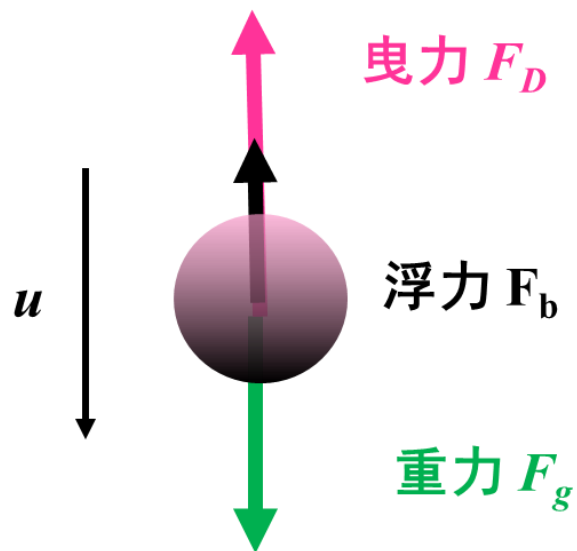
◆ 浮力  $F_b = \frac{\pi}{6} d^3 \rho_L g$

◆ 曳力  $F_D = C_D \frac{\pi}{4} d^2 \cdot \frac{u^2 \rho_L}{2}$

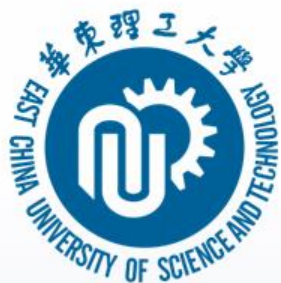
颗粒投影面积：A

E：流体的动能

$C_D$ ：曳力系数







# 颗粒的自由沉降过程分析

颗粒沉降过程中  $F_g - F_b - F_D = ma$

即 
$$\frac{\pi}{6}d^3\rho_s g - \frac{\pi}{6}d^3\rho_L g - C_D \frac{\pi}{4}d^2 \frac{\rho_L u^2}{2} = \frac{\pi}{6}d^3\rho_s a$$

➤  $u \rightarrow u_t$  时,  $a = 0$

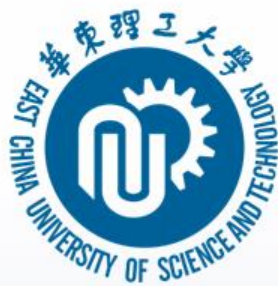
当  $a = 0$  时,  $u = u_t$ , 代入上式

$$\frac{\pi}{6}d^3\rho_s g - \frac{\pi}{6}d^3\rho_L g - C_D \frac{\pi}{4}d^2 \frac{\rho_L u_t^2}{2} = 0$$

因此

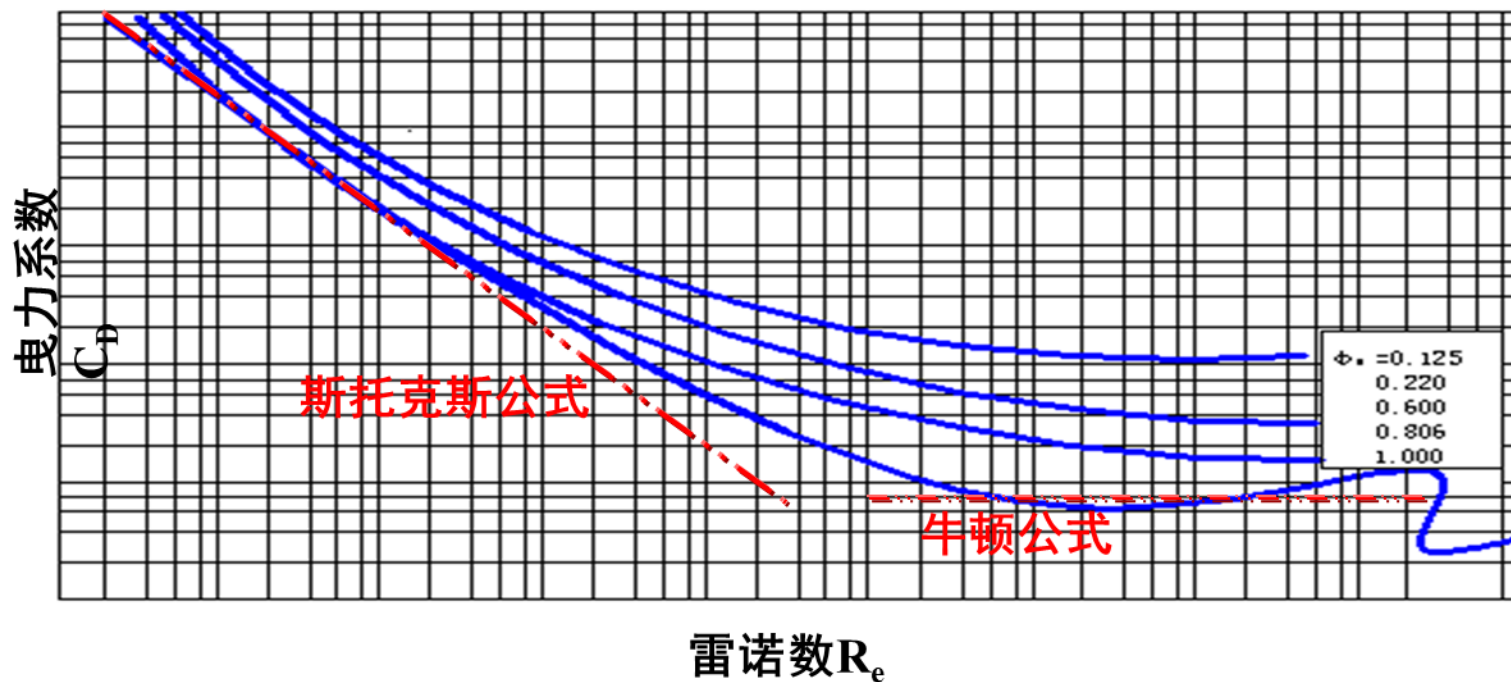
$$u_t = \sqrt{\frac{4d_p g(\rho_s - \rho_L)}{3\rho_L C_D}}$$





## 曳力系数 $C_D$

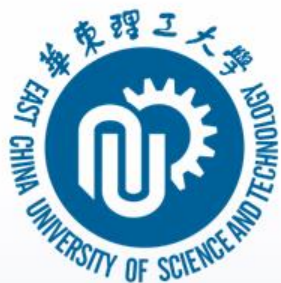
➤ 因次分析法获得， $C_D$ 值是颗粒和流体相对运动时的雷诺数 $R_e$ 的函数



$$C_D = \frac{4d_p g (\rho_s - \rho_L)}{3u_t^2 \rho_L}$$

$$u_t = \sqrt{\frac{4d_p g (\rho_s - \rho_L)}{3\rho_L C_D}}$$





# 颗粒自由沉降速度

➤ 对于颗粒的自由沉降速度，按 $R_e$ 值大致分为三个区

1) 层流区或托斯克斯(Stokes)定律区 ( $10^{-4} < R_e < 1$ )

$$C_D = \frac{24}{Re}$$



$$u_t = \frac{d_p^2 (\rho_s - \rho_L) g}{18\mu}$$

——斯托克斯公式

2) 过渡区或艾伦定律区 (Allen) ( $1 < R_e < 50000$ )

$$C_D = \frac{18.5}{Re_t^{0.6}}$$



$$u_t = 0.271 \sqrt{\frac{d_p (\rho_s - \rho_L) g}{\rho_L} R_e^{0.6}}$$

——艾伦公式

3) 湍流区或牛顿定律区 ( $R_e \geq 50000$ )

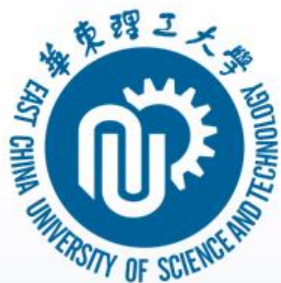
$$C_D = 0.44$$



$$u_t = 1.741 \sqrt{\frac{d_p (\rho_s - \rho_L) g}{\rho_L}}$$

——牛顿公式

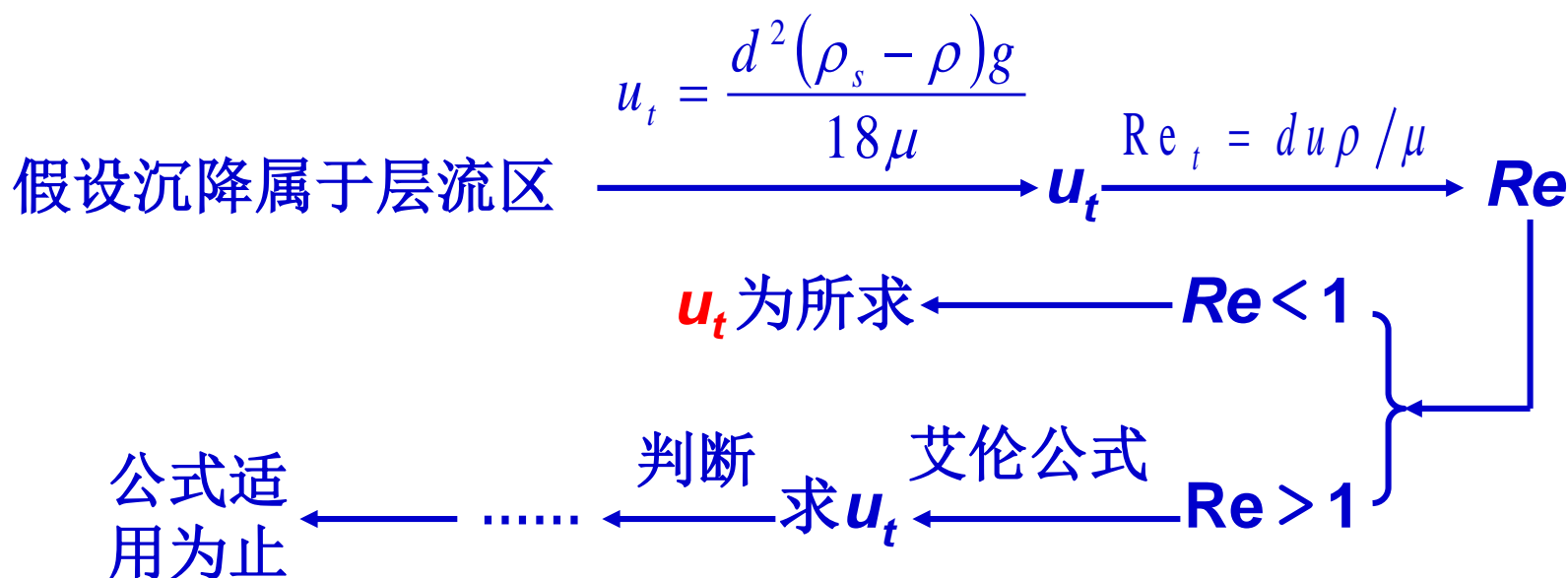


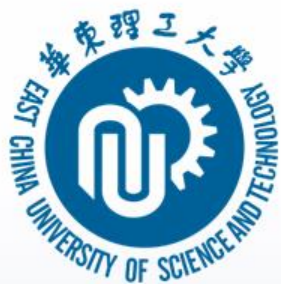


# 自由沉降速度计算

试差法（ $u_t$  未知， $Re$ 未知）

方法：





## 干涉沉降

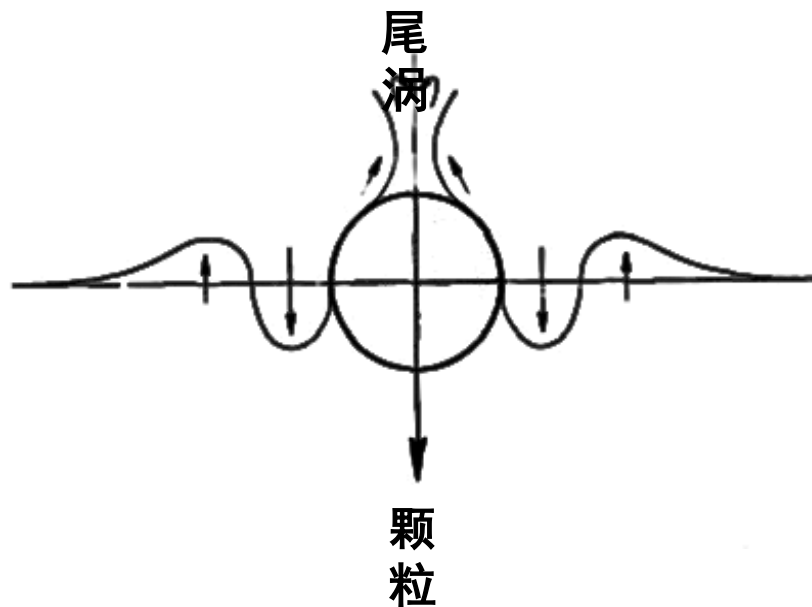
➤ 当悬浮液中的颗粒的浓度增大(>0.2%)后，这种由于颗粒间的干扰对颗粒运动的影响，**降低颗粒的沉降速度**（相对于器壁而言）的沉降即称为**干涉沉降**。

干涉沉降速度  $u_{\varphi} = \eta u_t$

其中：  $\eta = (1 - \varphi)^n$

$$n = f(d_p/D_T, R_e)$$

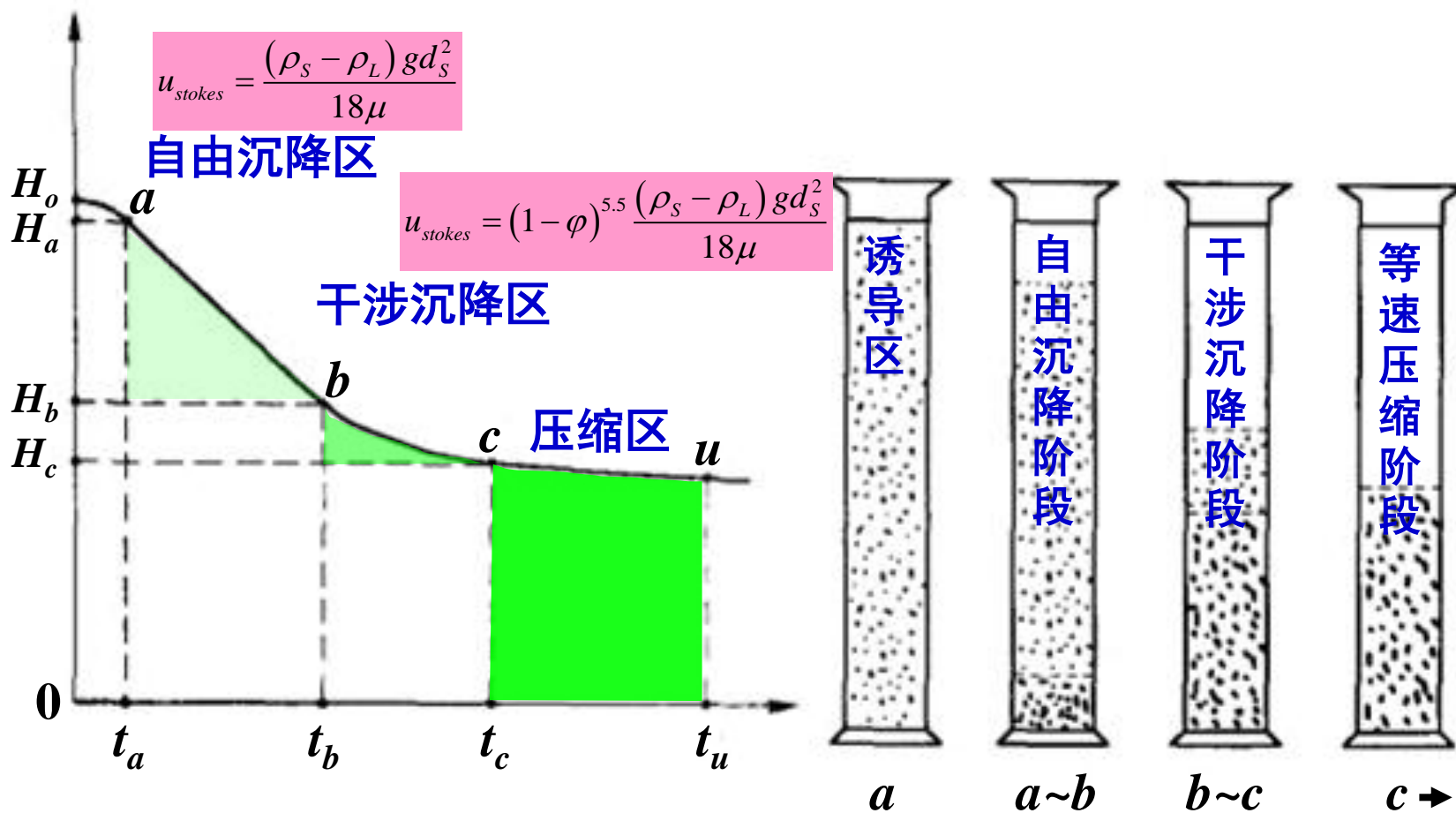
$\varphi$  : 悬浮液中固体粒子的  
体积浓度



单颗粒沉降的流场



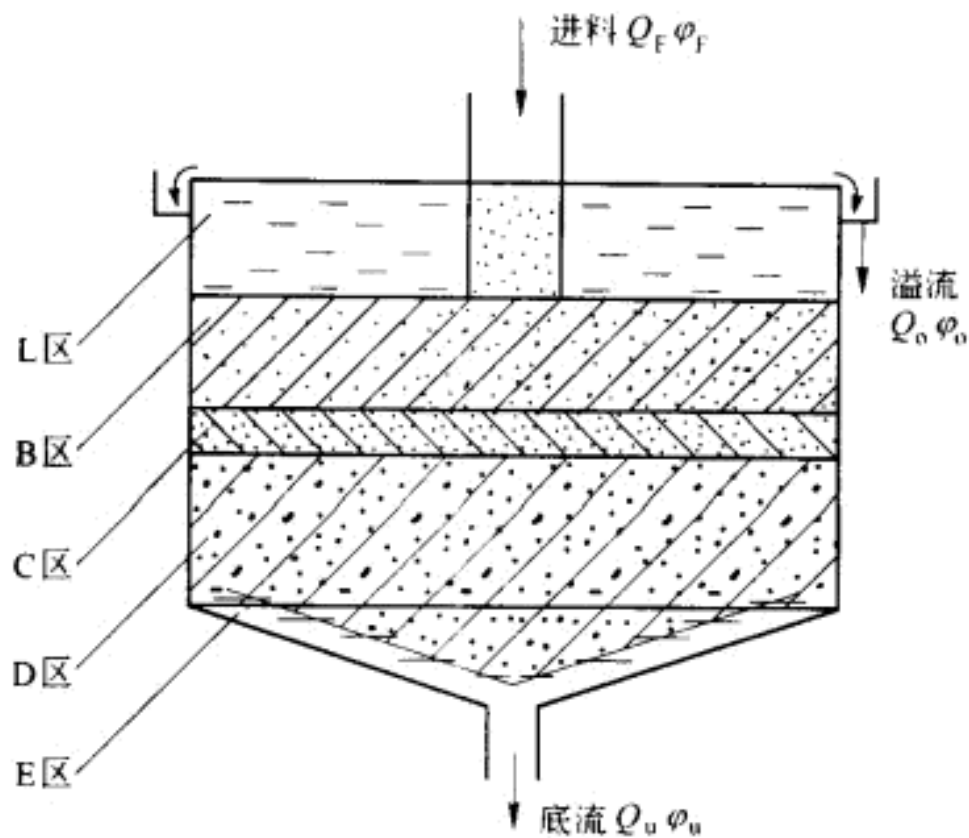
# 重力沉降理论及相关模型



间歇沉降曲线及沉降过程的实验图解



# 连续生产的浓密机



L—澄清区

B—等速沉降区

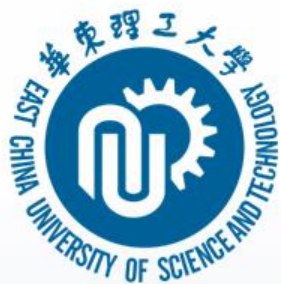
C—干涉沉降区

D—压缩区

E—底流收集区

道尔沉降槽





## 浓密机物料平衡

➤ 总物料  $Q_F = Q_u + Q_0$

➤ 固体  $\varphi_F Q_F = \varphi_u Q_u + \varphi_0 Q_0$

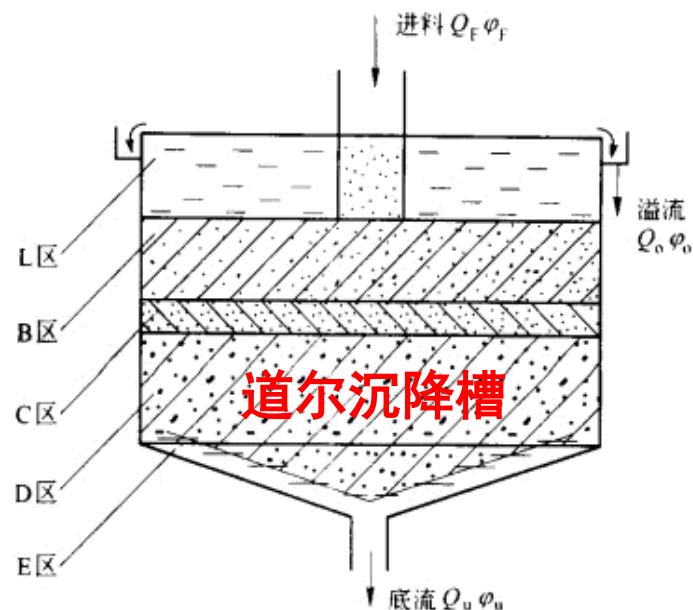
➤ 液体  $Q_F (1 - \varphi_F) = Q_u (1 - \varphi_u) + Q_0 (1 - \varphi_0)$

➤ 若溢流不含固体  $\varphi_F Q_F = \varphi_u Q_u$

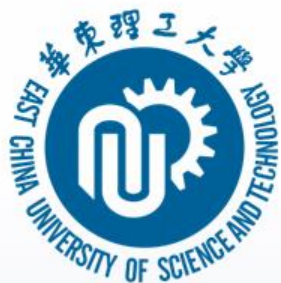
$$Q_F (1 - \varphi_F) = Q_u (1 - \varphi_u) + Q_0$$

式中  $Q_F$ 、 $Q_u$ 、 $Q_0$  ——进料、底流及溢流的体积流量

$\varphi_F$ 、 $\varphi_u$ 、 $\varphi_0$  ——进料、底流及溢流中固体的体积浓度







## 科克莱文杰 (Coe-Clevenger) 模型

- ◆ 等速沉降区，即B区沉降速度：

$$u_B = \Delta H / \Delta t = (H_a - H_b) / (t_b - t_a)$$

- ◆ 干涉沉降区，即C区沉降速度：

$$u_c = f(\varphi) \quad u_C = (1 - \varphi)^{5.5} u_B$$

- ◆ 在稳态下操作的浓密机，为保证溢流液中不含固体，首先需满足的条件为：

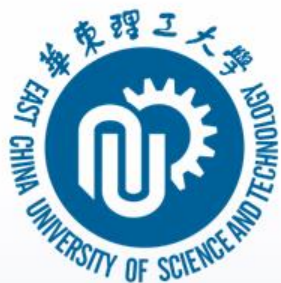
$$Q_F / A \leq u_B$$

- ◆ C-C模型认为，当浓密机的进出料处于稳态，且溢流不含固体时，应有：

固体流量  $Q_\varphi$  :

$$Q_F \varphi_F = Q_\varphi = Q_u \varphi_u$$





## C-C方程

液体流量:  $Q_0 = Q_F (1 - \varphi) - Q_u (1 - \varphi_u)$

上两式联立可得:  $Q_0 = \varphi_F Q_F (1/\varphi - 1/\varphi_u)$

上两式两边除以A可得:  $Q_0 / A = (Q_F \varphi_F / A) (1/\varphi - 1/\varphi_u)$

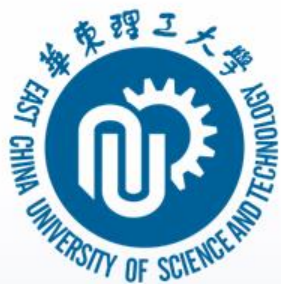
或改写为:  $A = \frac{G}{u_c} \left( \frac{1}{\varphi} - \frac{1}{\varphi_u} \right)$

A—沉降面积

G—固体通量

只有B区满足C-C方程的关系，进入干涉沉降区，C-C方程不再使用





## B区高度计算

➤ 如右图矩形槽所示：长、宽、高分别为L、B、H，进料由顶面（B × L）进入。则有：

$$\Delta h_B \times B \times L = Q_F \Delta t_B$$

式中： $t_B$ ——进料矿浆在等速沉降区B的停留时间

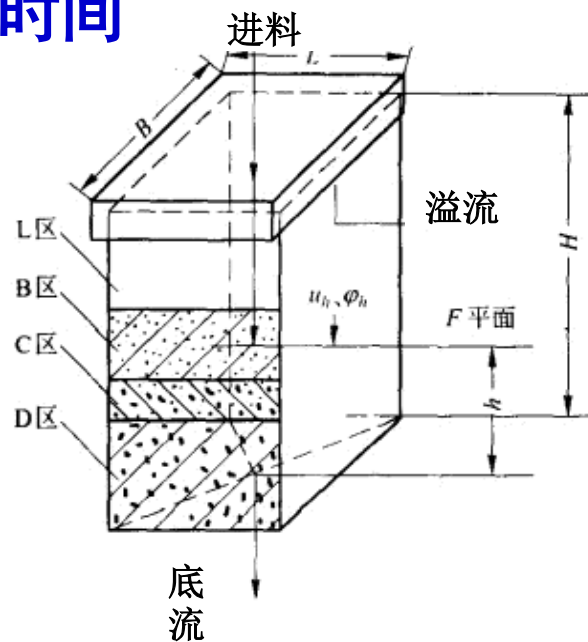
$$\Delta t_B \geq (\Delta h_B / u_B)$$

式中： $u_B$ ——间歇实验测得的悬浮液界面沉降速度

➤ B区的高度为：

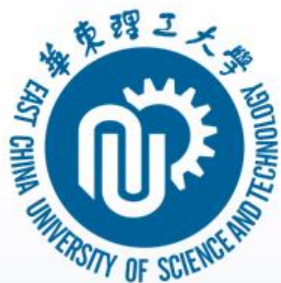
$$\Delta h_B = (Q_F / A)(\Delta t_B) \text{ 或 } Q_F = A u_B$$

式中， $A=L \times B$  为沉降面积



§ 上式表明，沉降设备的处理量在沉降速度一定的情况下只与沉降面积有关，与高度无关。——面积(浅池)原理



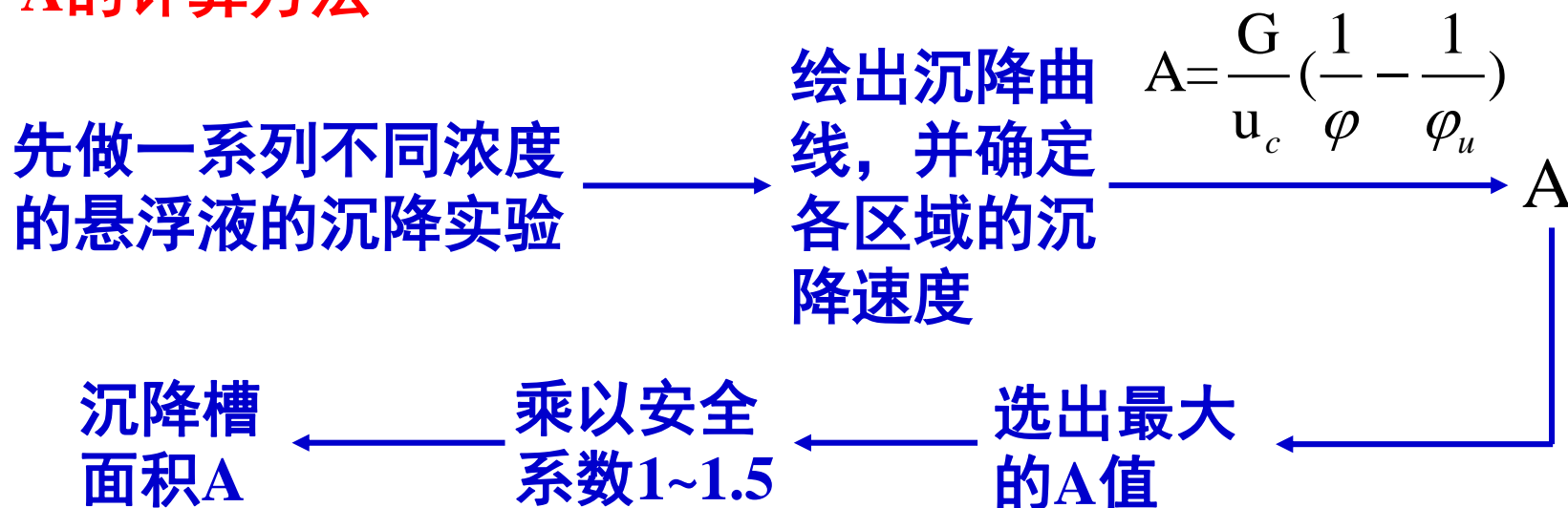


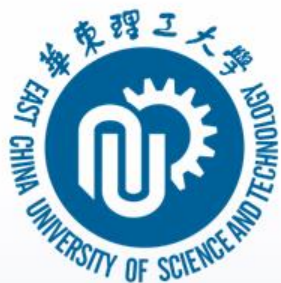
# 重力沉降槽设计

主要设计参数：

- 沉降槽面积  $A$
- 沉降槽高度  $H$

## A的计算方法





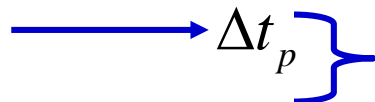
# 重力沉降槽设计

## $H$ 的计算方法

$$H = \Delta h_p + H_L + H_B + H_C$$

### ◆ 压缩区高度 $\Delta h_p$

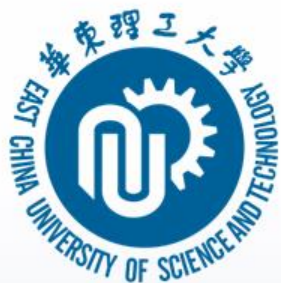
根据沉降曲线，  
算出  $\Delta t_p = t_u - t_c$



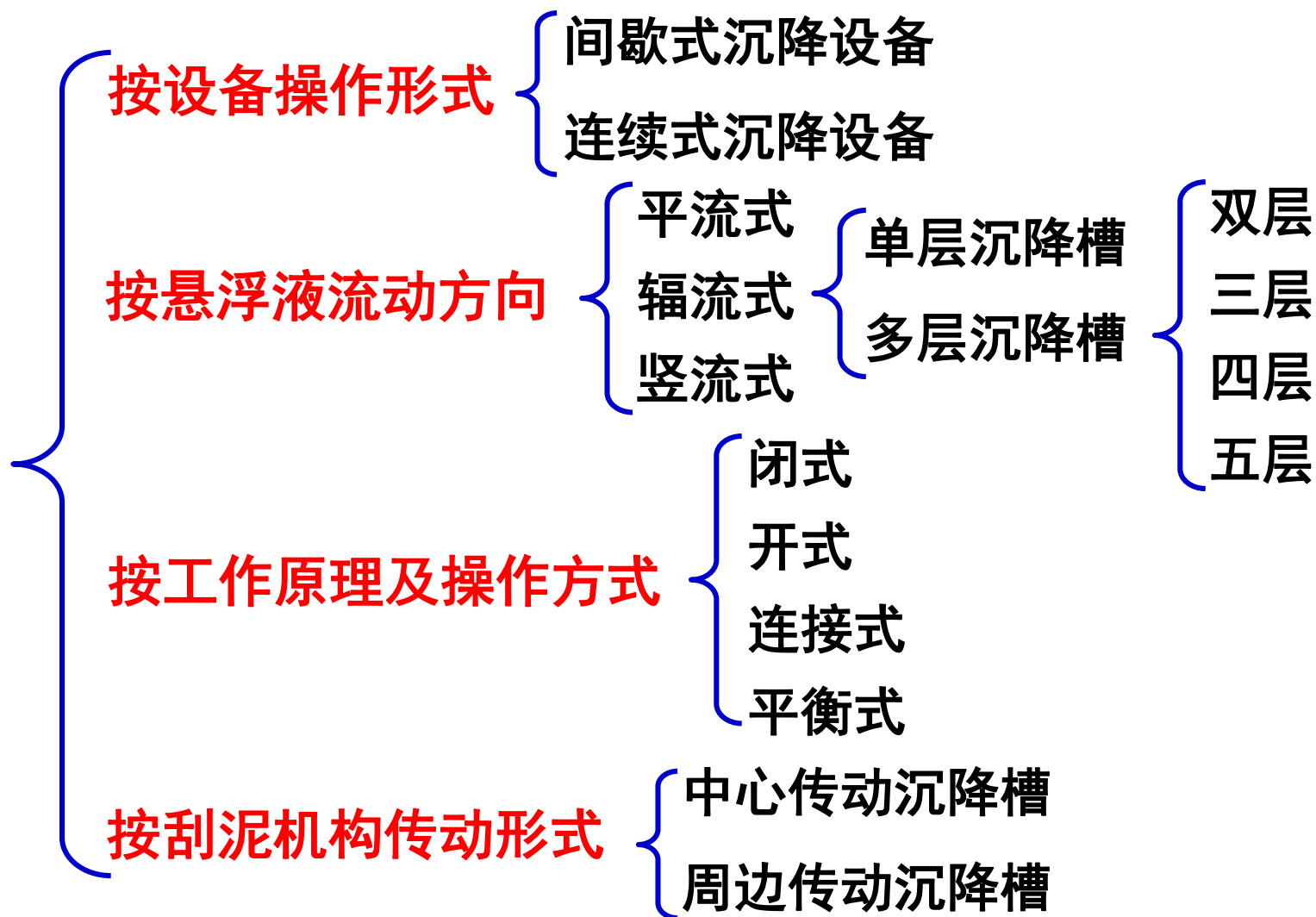
$$u_D = Q_{hD} / A \longrightarrow u_D \xrightarrow{\Delta h_p = u_D \Delta t_p} \Delta h_p$$

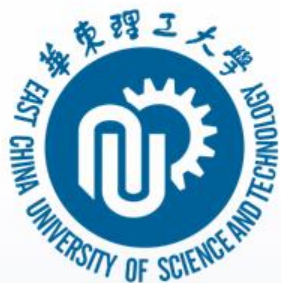
◆ 大型沉降槽的清液区高度  $H_L$ 、自由沉降区高度  $H_B$ 、干涉沉降区高度  $H_C$  按经验取值，通常为 **0.5~1m**





# 重力沉降设备

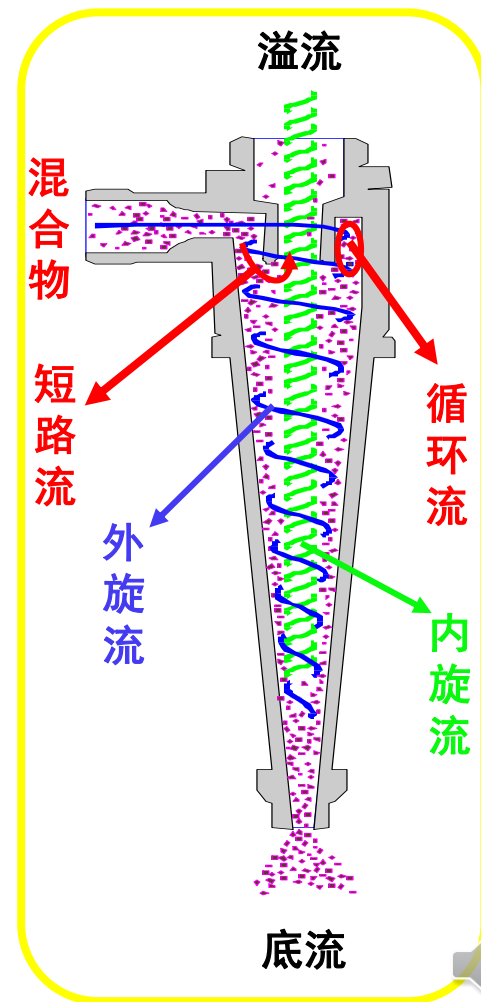


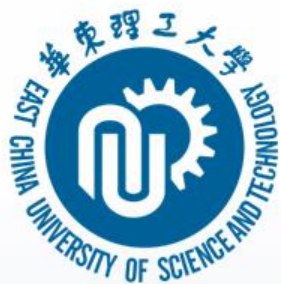


## 旋流分离原理及流动场

### 旋流器工作原理

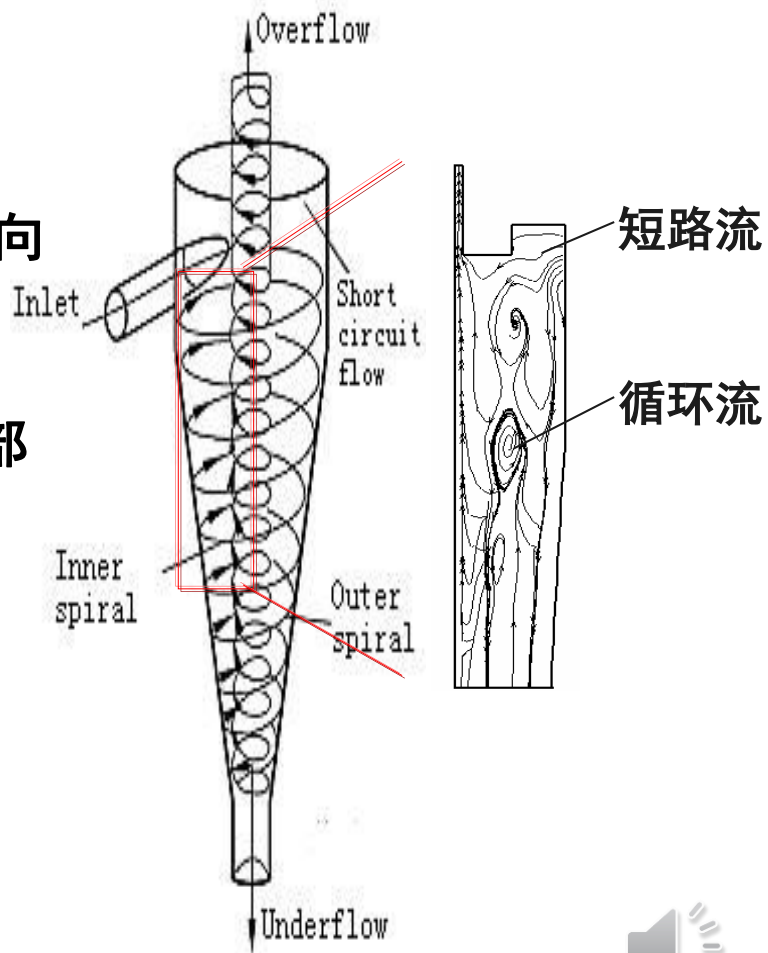
- 非均相混合物，在压力差推动下，在旋流器的进口处，由直线运动转变为旋转运动，密度较轻的组分向轴心移动并从溢流口排出，密度较重组分向边壁移动，并从底流口排出，实现轻相与重相之间的分离。
- 液-液、液-固、液-气-固、液-液-固等非均相体系的密度差分离。
- 两相密度差大于 $0.05\text{g/cm}^3$ ，分散相颗粒当量直径大于 $2\mu\text{m}$ ，粘度一般在 $1\text{ cp}$ 左右。



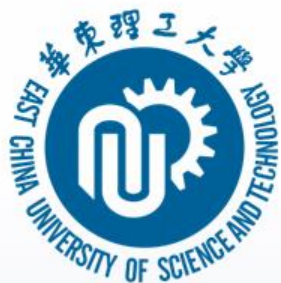


## 旋流分离原理及流动场

- 外旋流、内旋流、短路流、循环流、空气柱
- 外旋流与内旋流，旋转方向相同，流动方向基本相反；外旋流做分离、内旋流做分流。
- 短路流的流量占进口流量 10%~20%，这部分原料没有分离直接从溢流口排出。



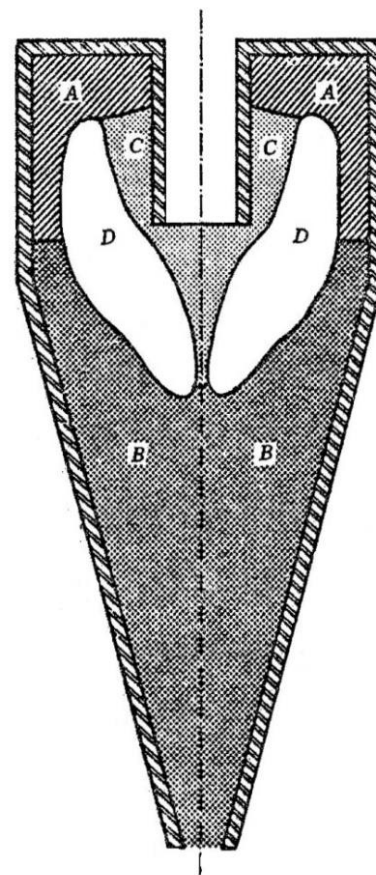




## 旋流分离原理及流动场

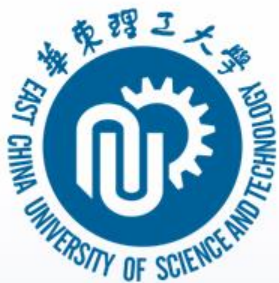
- A区，未经分离的进料区，粒度基本与进料一致
- B区，粗粒级为主，类似于底流粒度组成
- C区，细粒级为主，类似于溢流粒度组成
- D区，中间粒级为主，随径向距离减小而减小，粗细颗粒有效分离，是旋流分离的关键区域

### 旋流分离器流场



150mm旋流器中  
相似粒度分布

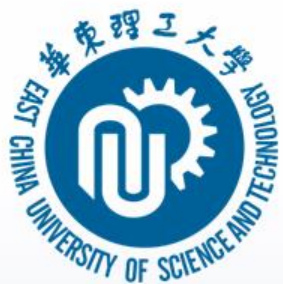




## 旋流器分类

分类方法	种类	说明
按分散相类型	固-液旋流器 液-液旋流器	连续相液体，分散相固体 两相均为液体
按混合物组分密度	轻质分散相旋流器 重质分散相旋流器	分散相的密度低 分散相的密度高
按旋流器结构	单锥旋流器 双锥旋流器 圆柱形旋流器	用于固-液分离和液-液分离 主要用于液-液分离 用于重介质分选
按分散相浓度	普通旋流器 分离浓稠介质用旋流器	分散相浓度 $\leq 10\%$ 分散相浓度约为 $20\% \sim 50\%$
按有无运动部件	静态 动态	旋流器器壁高速旋转
按用途分类	澄清、增稠 固体颗粒分级、分选 颗粒冲洗 油水分离 液体脱气	





## 旋流器应用



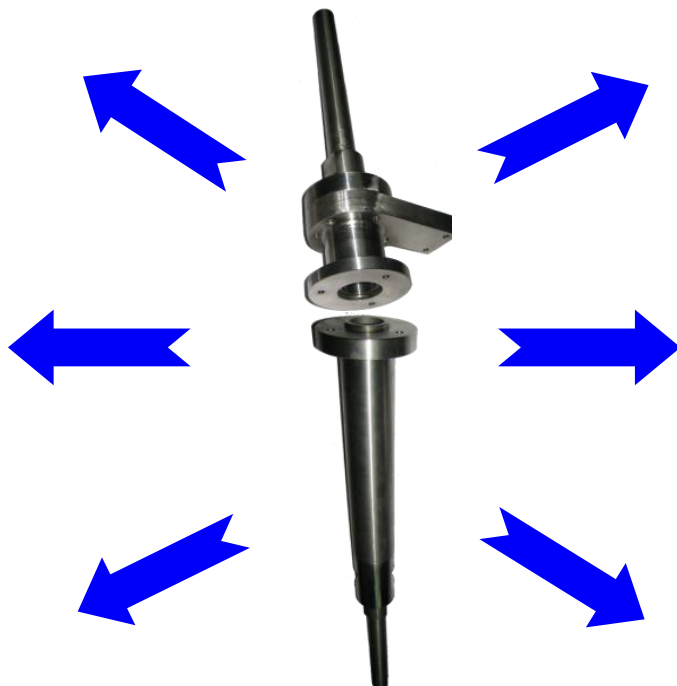
选矿行业



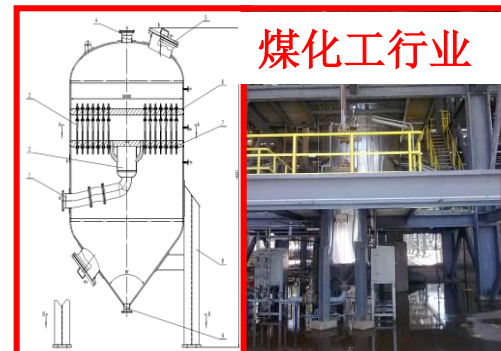
食品加工行业



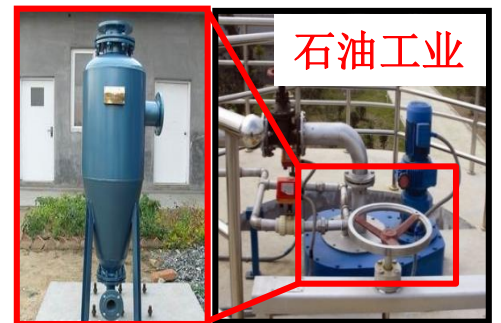
污水处理行业



◆ 旋流器广泛应用于分离、澄清、浓缩、逆流洗涤、颗粒分级、强化传质、分选等方面。



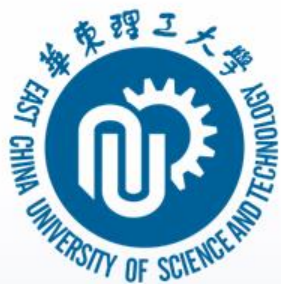
煤化工行业



石油工业



造纸行业



## 旋流器结构参数

### 基本结构参数

#### 进口部分

- 进口截面形状：圆、方、长方、椭圆等
- 进口流动通道形状：切线、渐开线、螺旋线
- 进口管个数：1/2/4
- 进口截面当量尺寸

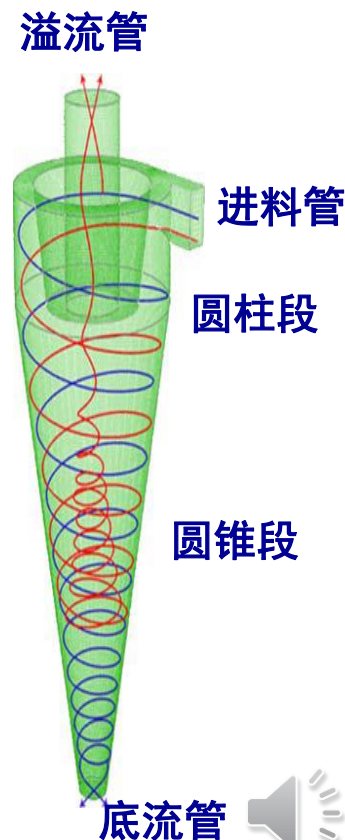
#### 圆柱段部分

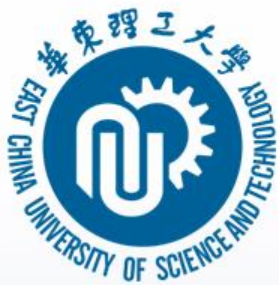
- 圆柱段的直径、长度
- 溢流管的直径与插入深度
- 溢流管与旋流器直管段内部间隙

#### 锥段

- 锥段的个数
- 锥段的锥角
- 底流口直径

#### 尾管段及其长度





## 3.2 旋流分离

### 旋流器设计-主要参数

#### ➤ 物性参数:

分散相粒径及分布  
两相的密度和粘度  
两相的表面张力(液-液)

$$u_t = \frac{d_p^2 (\rho_s - \rho_L) g}{18 \mu}$$

#### ➤ 性能参数:

分离效率

压力降 $\Delta P$

分离精度 $d_{50}$

$$\Delta P = \frac{21.64 \rho^{1.3748} Q_i^{2.3748}}{\mu^{0.3748} D^{4.3744}}$$

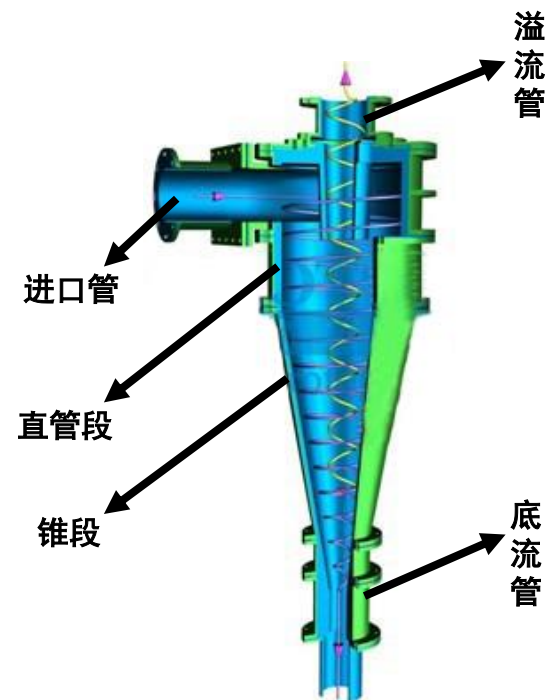
$$d_{50}^2 = 0.1918 D^{0.842} \frac{\mu^{1.158}}{\Delta \rho} \sqrt{\frac{\rho^{0.842}}{\Delta P^{1.158}}}$$

#### ➤ 操作参数:

温度  $t$ 、

进料流量  $Q_i$  和分散相浓度  $C_i$  和压力  $P_i$ ;

分流比(溢流/底流)、压差



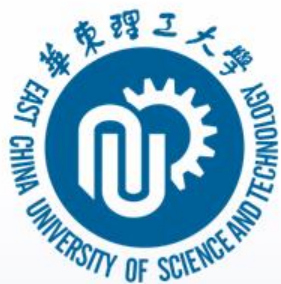
旋流器的结构

$$Q_i = 0.274 \mu^{0.1578} D^{1.842} \frac{\Delta P^{0.4211}}{\rho^{0.5789}}$$

$$D = 220.3 \frac{\left(\frac{x_{50}^2 \Delta \rho}{18 \mu}\right)^{1.188}}{\mu^{0.1874}} \sqrt{\frac{\Delta P^{1.375}}{\rho}}$$

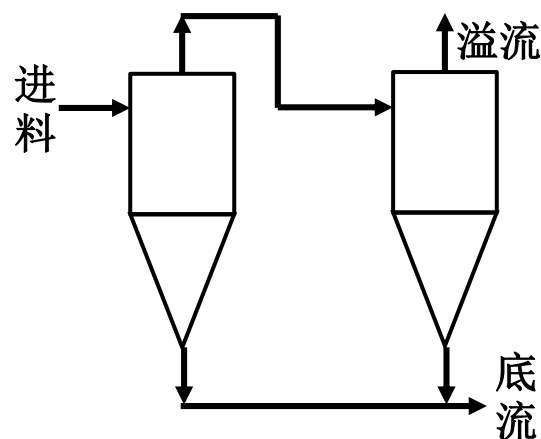




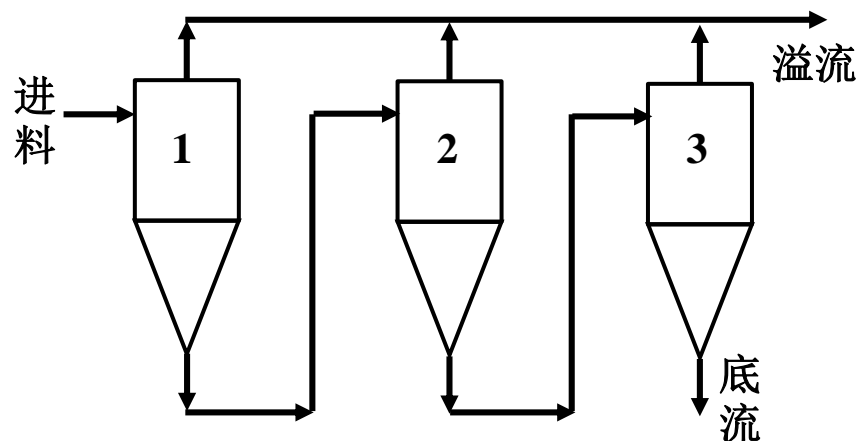


## 旋流器的串联

➤ 固-液旋流器，“级”是指溢流产品通过净化设备的次数，水力旋流器的多级分离是通过水力旋流器的溢流串联系统来实现的；“段”指底流物料通过净化设备的次数，水力旋流器的多段分离则需要旋流器底流串联系统来实现。

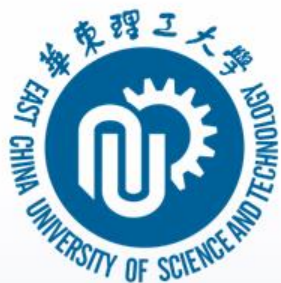


二级一段筛选  
流程示意图



溢流合流的一级  
三段流程示意图





# 离心过滤与离心沉降对比

离心机

沉降机（分离机）

过滤机

转鼓示意图

柱型  
锥型  
锥柱型

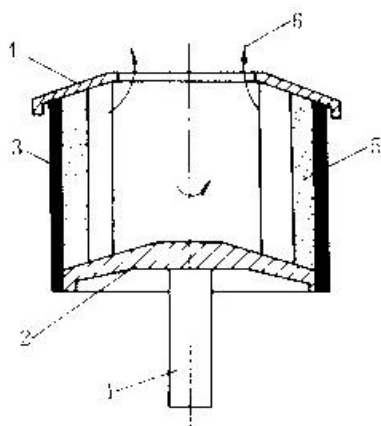


图 5-1

1—转鼓回转轴；2—转鼓底；3—转鼓壁；  
4—拦液板；5—滤渣；6—滤液

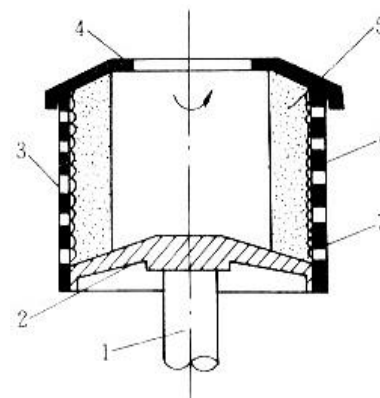


图 5-3

1—转鼓回转轴；2—转鼓底；3—转鼓壁；  
4—拦液板；5—滤渣；6—滤液；7—滤网；

转鼓结构

回转轴、转鼓（底、壁、拦液板）

液流方向

轴向进出

轴向进 径向出

转鼓壁

无孔 无滤网 固相沉降 液相经过

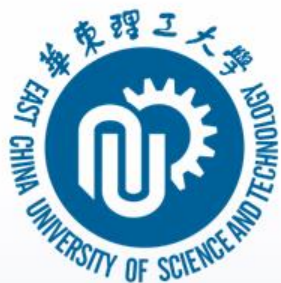
有孔 有滤网 固相滞留 液相排出

转鼓内

卸料装置（沉降机）  
旋转碟片组（分离机）

卸料装置  
（刮刀、螺旋等）



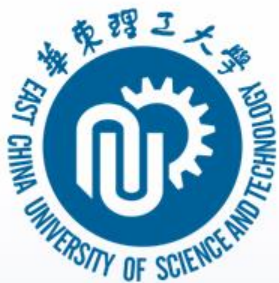


## 离心沉降

- **离心沉降**：在**离心力场**中，利用分散相和连续相之间的密度差异，使之发生相对运动而实现分离、浓缩和提纯的操作过程。
- **重力沉降与离心沉降的主要区别**：重力场可以认为是**均匀的**，重力场的强度是固定不变的；而离心力场强度是以**分离因数**表示的，分离因数可通过改变转鼓半径和转速来调节，**离心力场是变化的**。







## 离心力场的基本特性

### 离心力

**离心力：**由于做圆周运动的物体运动的方向或速度发生改变而产生的，是一种**惯性力**。它与向心力大小相等，方向相反。离心力的作用方向是沿旋转半径从圆心指向圆外，其大小可表示为：

$$F_r = mr\omega^2 = \frac{mu^2}{r} = mr(4\pi^2 n^2) \quad (3-125)$$

式中：  $m$  — 颗粒质量

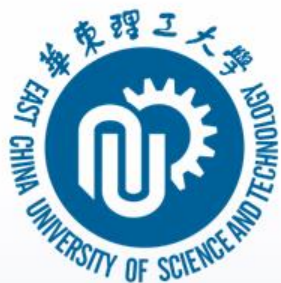
$r$  — 颗粒质心在离心场中所处的回转半径

$\omega$  — 离心场的旋转角速度

$n$  — 转速

- 离心力  $F_r$  随着颗粒质量  $m$ 、颗粒所处回转半径  $r$ 、旋转角速度  $\omega$  的增大而增大；离心力与重力场无关。





## 离心力场的基本特性

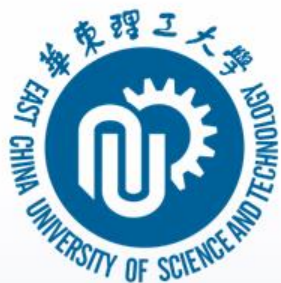
### 分离因数

➤ 分离因数：固体颗粒在离心力场中所受的离心力与重力之比称为分离因数。

$$f = \frac{F_r}{F_g} = \frac{mr\omega^2}{mg} = \frac{r\omega^2}{g} = \frac{4\pi^2 rn^2}{g} \quad (3-126)$$

- 分离因数是表示离心机分离性能的主要指标之一， $f$  值越大，物料受的离心力愈大，分离效果也越好。
- 分离因数  $f$  与转鼓半径  $r$  成正比且与转速  $n$  的2次方成正比，因此提高转速时分离因数增长的很快。
- 高速离心机的结构都是转速高，直径小，分离因数大。





## 离心沉降设备的 $\Sigma$ 理论

### 离心机生产能力理论

**沉降离心机的生产能力：** 能将所需分离的最小固相粒子沉降在转鼓内，而不随着分离液带出的最大悬浮液流量；这样，分离因数一定的同一离心机对不同的物料要求生产能力也将不同。

**$\Sigma$ —当量沉降面积**，是另一个表示离心沉降设备分离性能的指标，是1952年Ambler提出的计算离心机生产能力的理论  
对于**柱形（管式高速离心机）转鼓**：

$$Q = u_o \frac{\omega^2 r}{g} \pi D L (1 - \lambda + \frac{\lambda^2}{4}) = u_o f A = u_o \Sigma \quad (3-138)$$

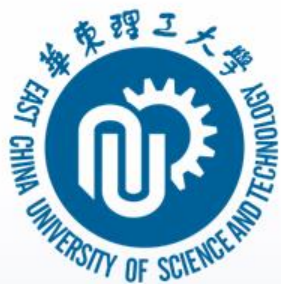
式中  $Q$ —离心沉降设备的生产能力

$u_o$ —沉降速度

$D$ —转鼓直径

$L$ —转鼓长度





## 离心沉降设备的 $\Sigma$ 理论

### 离心机生产能力理论

$A$ —表示随半径变化而变化的沉降面积的修正面积

$$A = \pi DL(1 - \lambda + \frac{\lambda^2}{4})$$

式中：  $\lambda$  —系数，一般工业离心机取0.1-0.3

对于柱形转鼓， $\Sigma$ 值：

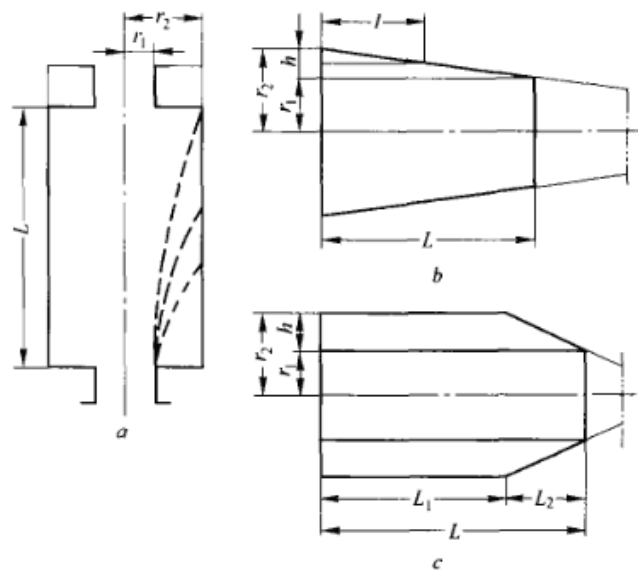
$$\Sigma = f \pi DL(1 - \lambda + \frac{\lambda^2}{4}) \quad (3-139)$$

对于锥形转鼓， $\Sigma$ 值：

$$\Sigma = f \pi DL(\frac{1}{2} - \frac{2}{3}\lambda + \frac{\lambda^2}{4}) \quad (3-140)$$

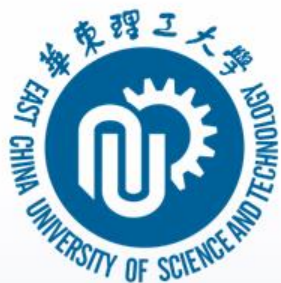
对于柱锥形转鼓， $\Sigma$ 值：

$$\Sigma = f \pi DL[(\frac{1}{2} - \frac{2}{3}\lambda + \frac{\lambda^2}{4}) + \frac{L_1}{L}(\frac{1}{2} - \frac{1}{3}\lambda + \frac{\lambda^2}{12})] \quad (3-141)$$



不同形式转鼓几何尺寸





## 离心机的分类

### ◆ 按分离因数大小分为：

- 低速离心机 ( $f < 3000$ ) 主要用于分离颗粒较大的悬浮液或物料的脱水
- 高速离心机 ( $3000 < f < 5000$ ) 主要用于分离乳浊液和细颗粒悬浮液
- 超高速离心机 ( $f > 5000$ ) 主要用于分离超微细、高分子胶体悬浮液

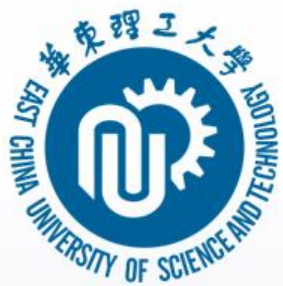
### ◆ 按操作原理分为：过滤式离心机和沉降式离心机

### ◆ 按操作方式分为：间歇式离心机和连续式离心机

### ◆ 按卸料方式分为：人工卸料和自动卸料，自动卸料有包括刮刀卸料、活塞推料、离心卸料、螺旋卸料、喷嘴卸料等

### ◆ 按转鼓形状分为：圆柱形、圆锥形、柱-锥形转鼓三类



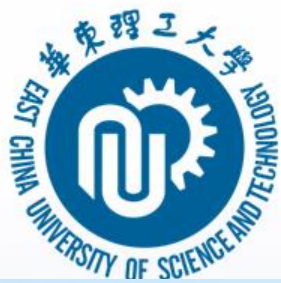


## 离心机选型

根据不同的工艺要求进行离心机的选型。







谢谢!

