

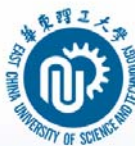
2 过滤

2.1 过滤的基本概念和原理

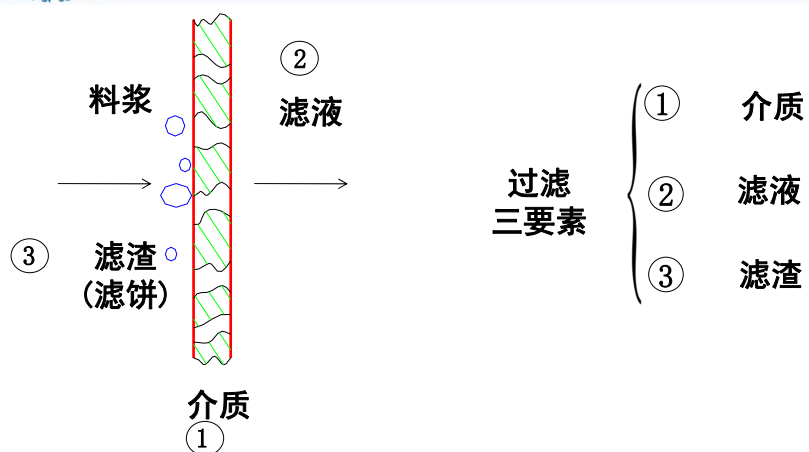
2.1.1 过滤过程

2.1.2 过滤分类

2.1.3 过滤介质



2.1.1 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



2.1.1 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

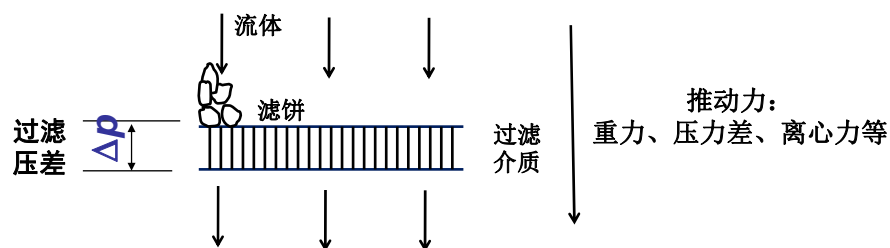
如砂滤池、袋式除尘器、口罩……

- 过滤分离的对象？

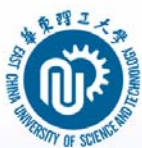
粗大颗粒、细微离子、细菌、病毒和高分子物质等



2.1.2 过滤的分类



- 过滤用的悬浮液通常称为**滤浆或料浆**，分离得到的清液称为**滤液**，截留在过滤介质上的颗粒层称为**滤饼或者滤渣**。
- 促使流体流动的**推动力**可以是重力、压力差或者离心力，由于流体所受的重力较小，所以一般只能用于过滤阻力较小的场合，而压力差的应用场合则比较广。

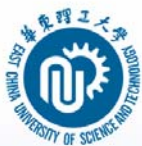


2.1.2 过滤分类

1.按过滤机理分：有表面过滤和深层过滤

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。



2.1.2 过滤分类

过滤两大主要类别

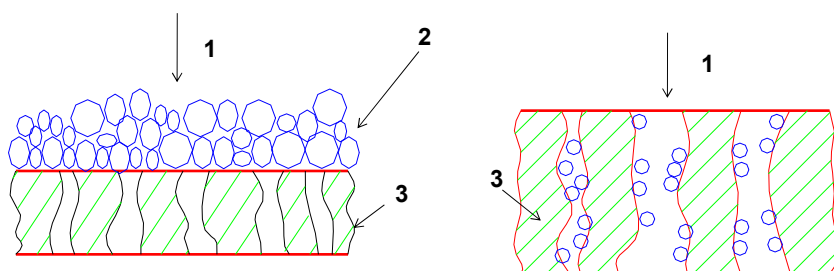
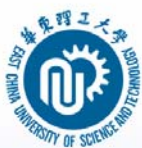


图 两种不同的过滤方式

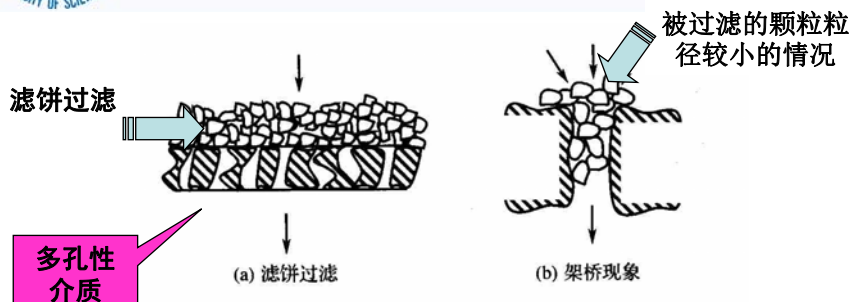
a-滤饼过滤；b-澄清过滤

1-悬浮液；2-滤饼；3-过滤介质



2.1.2 过滤的分类

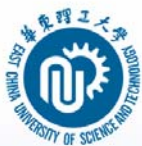
滤饼过滤



滤饼过滤通常发生在过滤流体中**颗粒物浓度较高**或**过滤速度较慢**的情况

给水处理：慢滤池

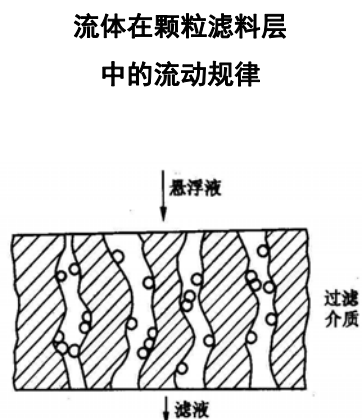
污泥脱水：使用的各类脱水机（如真空过滤机、板框式压滤机等）

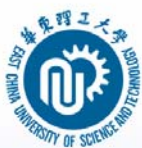


2.1.2 过滤分类

澄清过滤

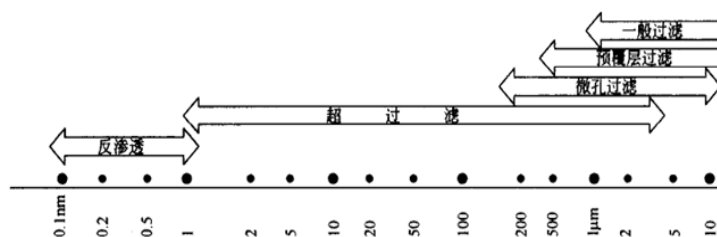
- 利用过滤介质间空隙进行过滤
- 通常发生在以固体颗粒为滤料的过滤操作中
- 滤料内部空隙大于悬浮颗粒粒径
- 悬浮颗粒随流体进入滤料内部，在**拦截**、**惯性碰撞**、**扩散沉淀**等作用下颗粒附着在滤料表面上而与流体分开





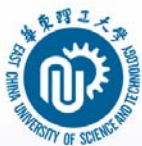
2.1.2 过滤分类

颗粒尺寸—过滤方式



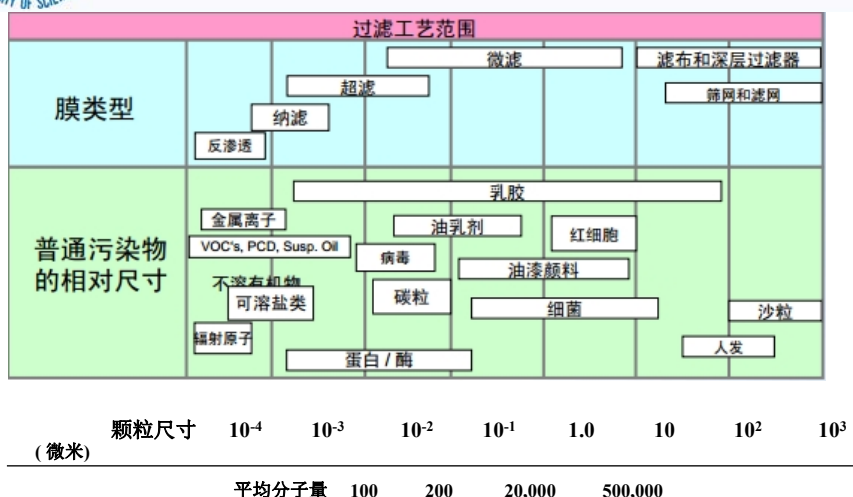
按处理的固体颗粒大小可将过滤分为五类：粗砂过滤、微滤、超滤、纳滤和反渗透，后四种统称为膜滤，故又可以分为粗砂过滤（一般过滤）和膜过滤（精密过滤）

粗砂过滤所处理的物料粒度一般大于0.05mm，可达1mm左右；滤膜是除去小于10μm的固形物。



2.1.2 过滤分类

尺寸-膜过滤方式



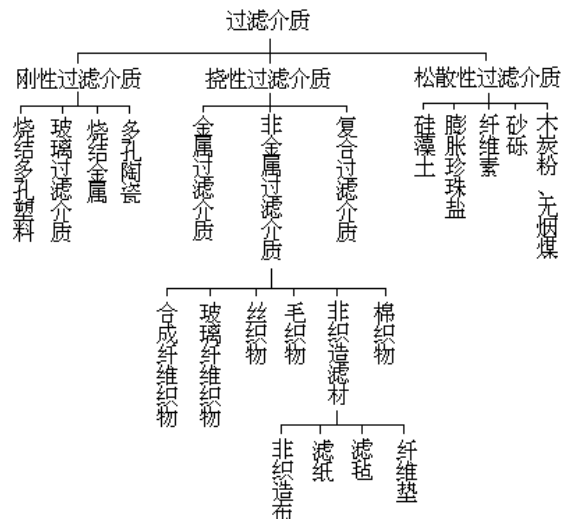


2.1.3 过滤介质

按结构分类

● 过滤介质及其分类

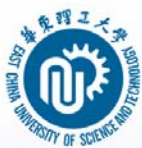
定义：过滤介质是任何一种有渗透性的材料，在过滤过程中，颗粒沉积在其上或其中。



2.1.3 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



2.1.3 过滤介质

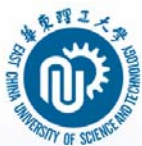
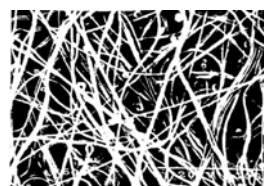
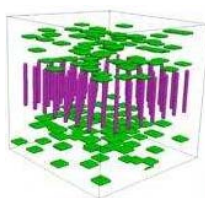
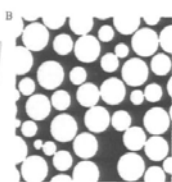
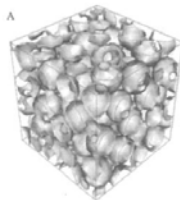
过滤介质的开孔特性

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



2.1.3 过滤介质

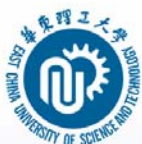
过滤介质的开孔特性

1、过滤介质孔隙性质

(1) 过滤介质孔隙：透孔（贯通型）和不透孔（非贯通型，或盲孔）



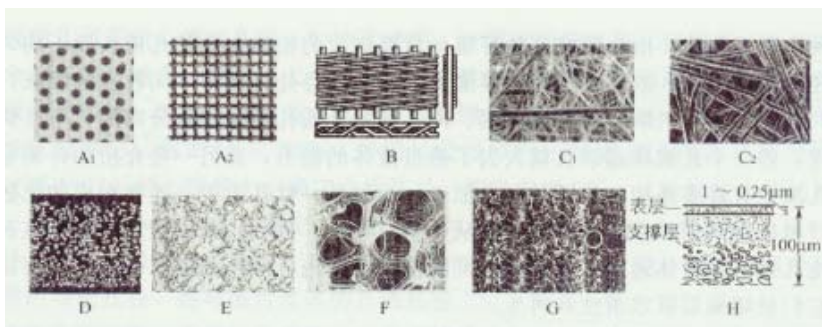
- 金属丝网、冲孔板等过滤介质没有盲孔
- 编织纤维织物有极少的不透孔
- 金属、陶瓷、塑料等粉末烧结或黏结的介质和天然的多孔过滤介质，非织造的介质，由颗粒和纤维组成的松散介质床层等过滤介质则常有众多盲孔



2.1.3 过滤介质

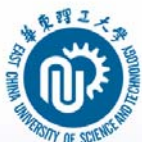
过滤介质的开孔特性

(2) 孔隙的空间结构，分为单一型、分散型及混合型三类



单一型: A_1, A_2

分散型: B、 C_1 、 C_2 、D、E、F、G、H

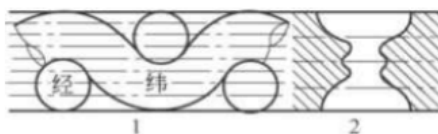


2.1.3 过滤介质

过滤介质的开孔特性

混合型

□ 复丝编织滤布两种孔隙，纱线间孔隙和纱线内纤维间孔隙。



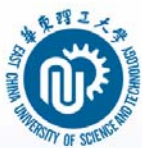
(a) 平纹机织物纱线间孔隙形状



(b) 斜纹机织物纱线间孔隙形状

□ 许多丝网介质做成多层，如上层孔径小，下层孔径大，这类过滤介质也属混合孔隙分布。

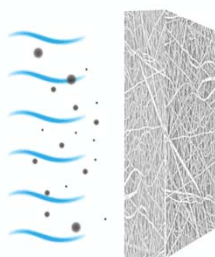




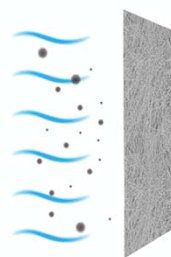
2.1.3 过滤介质

过滤介质的开孔特性

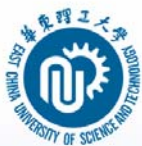
(3) 大部分**滤饼过滤**用的介质孔隙是**二维的**，过滤仅发生在表面，而**针刺毡**、**松散介质床**等孔隙则是**三维的**，其过滤主要发生在介质内部。



内部过滤，三维



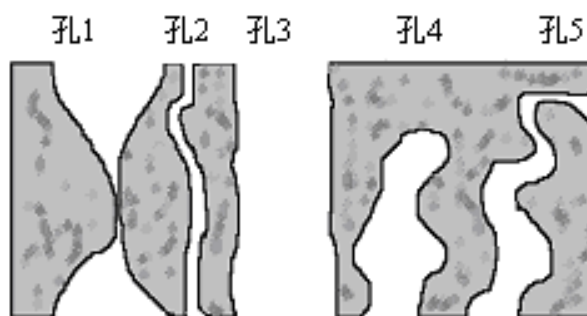
表面过滤，二维



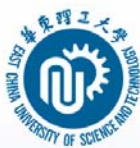
2.1.3 过滤介质

过滤介质的开孔特性

(4) 介质孔隙的表面形状和内部结构有规则和不规则、弯曲和平直之分。



带有喉颈和孔腔和不透孔的介质

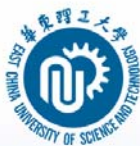


2.1.3 过滤介质

过滤介质的开孔特性

(5) 孔间关系

- 机织布、金属丝网、冲孔筛等介质孔隙间都是分离的，可以认为是孤立的管，若一个孔被堵塞该孔就失去了透过液体的能力；
- 另一些介质如针刺毡、松散介质等其孔隙中有许多是相互贯通的，类似于一个以某一针孔为中心连接而成的无数个树状孔道，各“树枝”间是相互连通的。

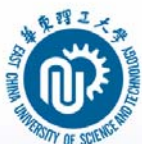


2.1.3 过滤介质

过滤介质的开孔特性

2、过滤介质的孔径大小

- 与介质的孔隙率、渗透率密切相关
- 孔径大小很难确定的：测定“孔隙大小”的方法，都是根据一种特定的模型来定义的，模型不同，定义就会有差别。介质孔径的定义也是多种多样，如对微孔介质孔径的定义为：**介质孔径是指能截留在介质上的最小颗粒直径。**



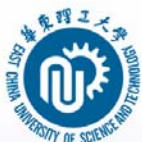
2.1.3 过滤介质

过滤介质的开孔特性

3、孔隙率

- 过滤介质的孔隙率是表征它们渗透性和过滤精度的宏观指标。
- 典型的过滤介质的孔隙率如下表：

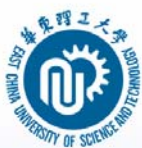
过滤介质	开口面积（孔隙率）/%	过滤介质	开口面积（孔隙率）/%
带棱金属网筛	5~40	天然硅藻土	50~60
斜纹	15~20	膜	50~90
方孔	25~50	纸	60~95
冲孔金属板	30~40	烧结金属纤维	70~85
多孔塑料	45	精致助滤料 (硅藻土、珍珠岩)	80~90
烧结金属粉末	25~55	塑料、陶瓷膜	93



2.1.3 过滤介质

过滤介质的基本性能

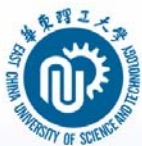
机械性能	使用性能	过滤性能
刚度	化学稳定性	过滤精度
强度	热稳定性	截留效率
蠕变或拉伸抗力	生物学稳定性	透水性能
移动的稳定性	动态稳定性	再生性能
抗磨性	吸附性	纳污容量
振动稳定性	可湿性	堵塞倾向
制造工艺性	卫生和安全性	剥离性能
密封性	静电方面	
可供应尺寸	再使用可行性	



2.1.3 过滤介质

过滤介质的过滤性能

- **过滤精度**：过滤精度是衡量过滤介质好坏的重要指标之一。
表征方法主要是：过滤介质的孔径和截留精度。
- **截留效率**：截留效率是过滤介质的主要性能指标，它是指被过滤介质截留颗粒量与参与过滤的全部颗粒量之比（或以质量分数表示），表示过滤介质截留最小颗粒的能力。
- **渗透率**：单位时间内通过单位面积滤布试样的气体量或液体量。
- **再生性能**：过滤介质的再生性能是指过滤介质表面或内部被固相颗粒阻塞后，用不同方法进行清洗使滤布表面或内部固体颗粒排出，过滤介质过滤性能恢复的程度。
- **剥离性能**：剥离性能是指过滤结束后，利用滤饼自身质量力或压缩空气冲除、机械刮除等措施把滤饼从过滤介质表面分离的难易程度。

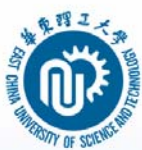


2.1.3 过滤介质

常用滤布的特性

1. 棉滤布

- 耐热性、耐摩擦性、抗拉强度尚好
- 截留粒子的性能好。
- 不适用于过滤强酸、强碱性料液
- 易腐败、霉变；使用温度不超过100℃
- 价廉

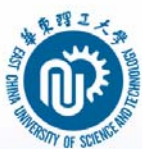


2.1.3 过滤介质

常用滤布的特性

2. 尼龙滤布

- 又称锦纶，脂肪族聚酰胺类化纤
- 耐磨损性、抗拉强度、伸长率和弹性很好
- 使用温度可达100℃
- 耐碱性也好，仅次于四氟化碳纤维。但不耐酸,遇浓硫酸、浓盐酸会发生化学反应而溶解；易被氧化剂氧化，在遇到高温或高浓度氧化剂时氧化速度很快；溶解于苯酚类或浓甲酸等有机溶剂

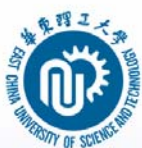


2.1.3 过滤介质

常用滤布的特性

3. 涤纶滤布

- 聚酯类化纤
- 抗拉强度、耐磨损性、尺寸稳定性都很好，特别适用于转鼓真空过滤机、带式压榨过滤机。
- 化学稳定性不太好，但耐氧化剂和还原剂的腐蚀；耐酸性也较好,但不耐浓硫酸和磷酸；遇高温、高浓度的碱时会发生化学反应而使聚酯溶解；遇苯酚类的溶剂，随着浓度和温度的提高呈膨润状；在高温下的湿空气中会水解,所以使用温度较其他合成纤维低。

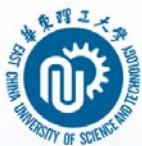


2.1.3 过滤介质

常用滤布的特性

4. 丙纶滤布

- 聚烯烃类化纤，学名叫聚丙烯
- 耐热性、耐磨性、抗拉性都好
- 耐酸、碱腐蚀，是过滤高温酸、碱性物料最适合的滤布
- 难溶于有机溶剂，普遍应用于溶剂、油漆、染料、矿物油等的过滤
- 使用温度可达90°C



2.1.3 过滤介质

常用滤布的特性

5. 维纶滤布

- 聚乙烯醇类化纤，学名叫聚乙烯醇缩甲醛
- 抗拉强度及耐磨性较好
- 耐碱性能也很好；遇浓硫酸、浓盐酸呈膨润状或分解；不溶于动、植物油及矿物油；遇热吡啶、苯酚呈膨润或分解。
- 使用温度可至100°C

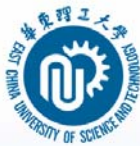


2.1.3 过滤介质

常用滤布的特性

6. 羊毛及人造丝滤布

- 羊毛滤布比棉滤布的耐酸性略好，可用于稀薄酸性悬浮液或高粘性悬浮液的过滤；不耐碱、易堵塞。
- 人造丝滤布的抗拉性能和耐磨性能比棉滤布差，耐碱性比棉滤布差，但其它化学特性和棉滤布差不多，可用于含粗颗粒悬浮液的压榨过滤。



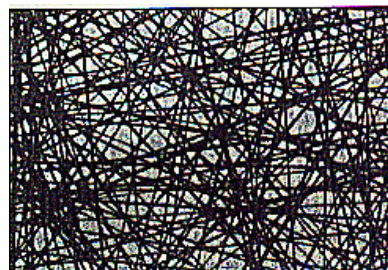
2.1.3 过滤介质

非织造滤布

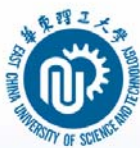
非织造技术是将塑料、造纸及纺织等工业技术结合在一起的新兴技术。1942年由美国公司提出的，即“Nonwoven Fabrics”简称Nonwoven，我们称其为非织造滤布、无纺布及非织造材料，目前称为“无纺布”。



无纺布（法兰绒）电镜照片（放大100倍）



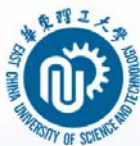
用随机线网络模拟的纤维膜



2.1.3 过滤介质

非织造滤布特点

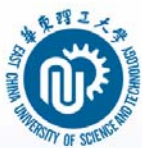
- 抗拉性能及耐磨性能与用同种纤维织成的滤布相比要差。
- 属深层过滤, 对粒子的截留效果好。
- 羊毛及合成纤维毛毡常用于制药、涂料、精油、食品、饮料、染料等工业的过滤。
- 非织造滤布普遍用于各种化学工业, 特别适用于粘性大的液体、冷却油、植物油、饮料的过滤。



2.1.3 过滤介质

非织造滤布的分类及孔径

主要形态	分 类	可滤除最小粒径, μm
非织造滤材 (Non-woven-media)	(a) 厚滤片	0.5
	(b) 毛毡及针毡	10.0
	(c) 滤纸	
	—纤维素	5.0
	—玻璃	2.0
	(d) 聚合无纺布 (熔喷式制品、粘贴式制品等)	10.0



2.1.3 过滤介质

非织造滤布的应用场合

- a. 使用厚毡（尼龙和聚丙烯混合的纤维制品）的板框压滤机已经应用在纤维胶涂料的澄清中。
- b. 与织造过滤介质相比，非编织过滤介质能更好的避免过滤介质表面堵塞，因此在从液相中除掉凝胶类物质的过程中使用非编织过滤介质较好。
- c. 在高压过滤中可以使用非编织金属纤维过滤介质来过滤出熔融聚合体中的凝胶类物质。
- d. 非编织过滤介质对例如颗粒沉淀及（或）浓度变化等过程的改变不是很敏感，典型的例子是从玉米浆中提取蛋白质。
- e. 性能的改善（滤板具有功能更好的边缘垫片与滤板凸台），并随着表面处理如孔径及控制卸饼，在传统的使用编织滤布的领域中非编织过滤介质的应用在逐渐增多。由于压力作用表面易脱落的毛毡有时要在其两侧进行表面处理。



2.1.3 过滤介质

金属编织网

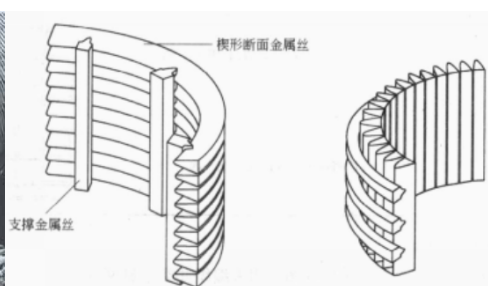
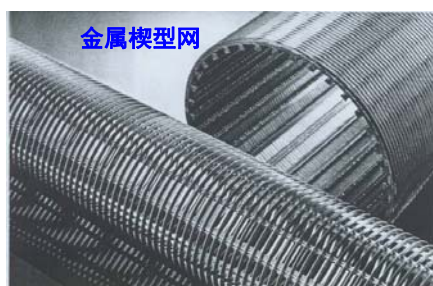
材质：

不锈钢：304, 316, 316L, 310S

高温合金：Hastelloy, GH30、GH44等

断面形状：

圆形、三角形、长方形、楔形等。





2.1.3 过滤介质

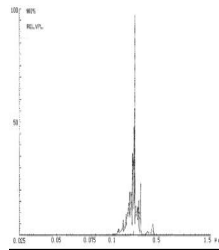
金属过滤介质的特点

1. 物理、机械性能

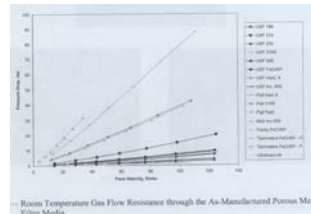
- 强度高 (>100Mpa)
- 韧性和延展性好
- 耐温性
- 导热性好
- 抗热震性好
- 可加工性
- 可焊接性

2. 过滤性能

- 孔型固定，孔径分布集中
- 良好的渗透性
- 过滤效率高
- 再生性好



孔径和孔径分布集中



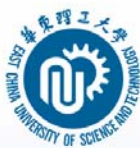
良好的渗透性



2.1.3 过滤介质

选择滤布前的准备工作

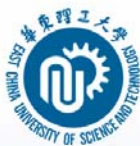
1. 过滤要求
2. 固体颗粒特性(大小、分布、可压缩性、颗粒形状、固体真密度)
3. 液体特性(粘度、密度、酸碱性、氧化-还原性、对有机物的可溶性及温度)
4. 料浆特性(粘度、密度、浓度、颗粒分散状态)
5. 过滤机类型(生产能力、投资、使用面积等确定过滤机类型)



2.1.3 过滤介质

选用原则和方法

1. 根据物料的物理、化学性质初步确定过滤介质的材质
2. 考虑过滤机的类型和滤布的力学性能(抗拉性能、耐磨性能、伸长率、弹性)
3. 过滤精度
反映过滤精度的指标有
 - ①鼓泡孔径、
 - ②最大透过粒径、
 - ③初始滤液浊度(滤布的孔径越大初始滤液浊度也就越大)。



2.1.3 过滤介质

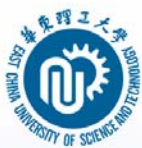
选用原则和方法

4. 根据过滤精度要求初选介质孔径范围(鼓泡孔径、最大透过粒径及初始滤液浊度)

①最大鼓泡孔径约为最大透过粒径的2~4倍,

或②

$$\text{最大透过粒径} = \frac{5 \times \text{最大鼓泡孔径}}{\sqrt{\text{滤布单位面积质量}}}$$



2.1.3 过滤介质

选用原则和方法

5. 初始过滤速率

- 对**气—固过滤设备**，在滤布选型时，应以透气率为选择依据
 - 对**液—固过滤设备**的滤布选型，则应以透水率或初始过滤速率为选择依据
- ①对分离细颗粒、低浓度的物料，一般选用截留性能较好的滤布，以满足生产中规定的分离精度
- ②对分离大颗粒高浓度的物料一般选用截留性能差一些、阻力低的滤布，以提高设备的生产效率



2.1.3 过滤介质

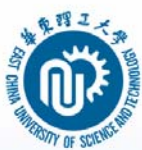
选用原则和方法

6. 滤饼剥离性能

单丝纤维比长复丝纤维和短纤维的卸饼性能好;平纹卸饼性能最差;缎纹的最好

7. 再生效率

单丝最好;长复丝次之;短纤维最差。结构致密平纹,帆布类差;斜纹、缎纹类好



2.1.3 过滤介质

选用原则和方法

8. 初选2~3种适应孔径的过滤介质进行实验，包括透水率、透水阻力、透气率、透气阻力
9. 对料浆进行小样实验（加压或真空）考察介质的过滤速率、浊度、含湿率、卸饼性能、过滤阻塞及再生性能，最终确定适宜介质。
10. 模拟试验（样机）