



石家莊鐵道大學  
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程



石家莊鐵道大學  
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

在线开放课程

水泥

# 硅酸盐水泥（三）

主讲：张志伟

# 目录

---



在线开放课程

1. 硅酸盐水泥石的组成与结构
2. 影响硅酸盐水泥水化的因素

# 1. 水泥石的组成与结构

## □ 水泥石的组成

✓ 分为**固相**、**液相**和**气相**三部分。

➤ **固相**—水泥水化物与未水化的水泥颗粒。

- 胶体：水化硅酸钙C-S-H凝胶和铁相凝胶等；
- 晶体：水化硫铝酸钙水化铝酸钙与氢氧化钙晶体等；

# 1. 水泥石的组成与结构

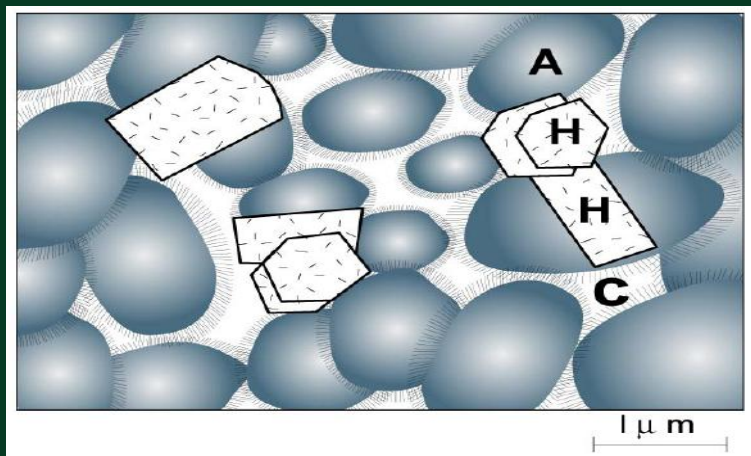
## ➤ 气相—各种尺寸的孔隙与空隙

- 凝胶孔
- 毛细孔
- 气孔

## ➤ 液相—水或孔溶液

- 自由水
- 吸附水
- 凝胶水

● 水泥石的组成随水泥水化硬化程度而变化。



- 水泥石微结构特点

- 多物相固体颗粒堆聚的多孔结构体；
- 各种物相分布不均；
- 各种物相的尺寸不等，形貌不一。

背散射扫描电  
镜照片

未水化水泥颗粒

C-S-H

氢氧化

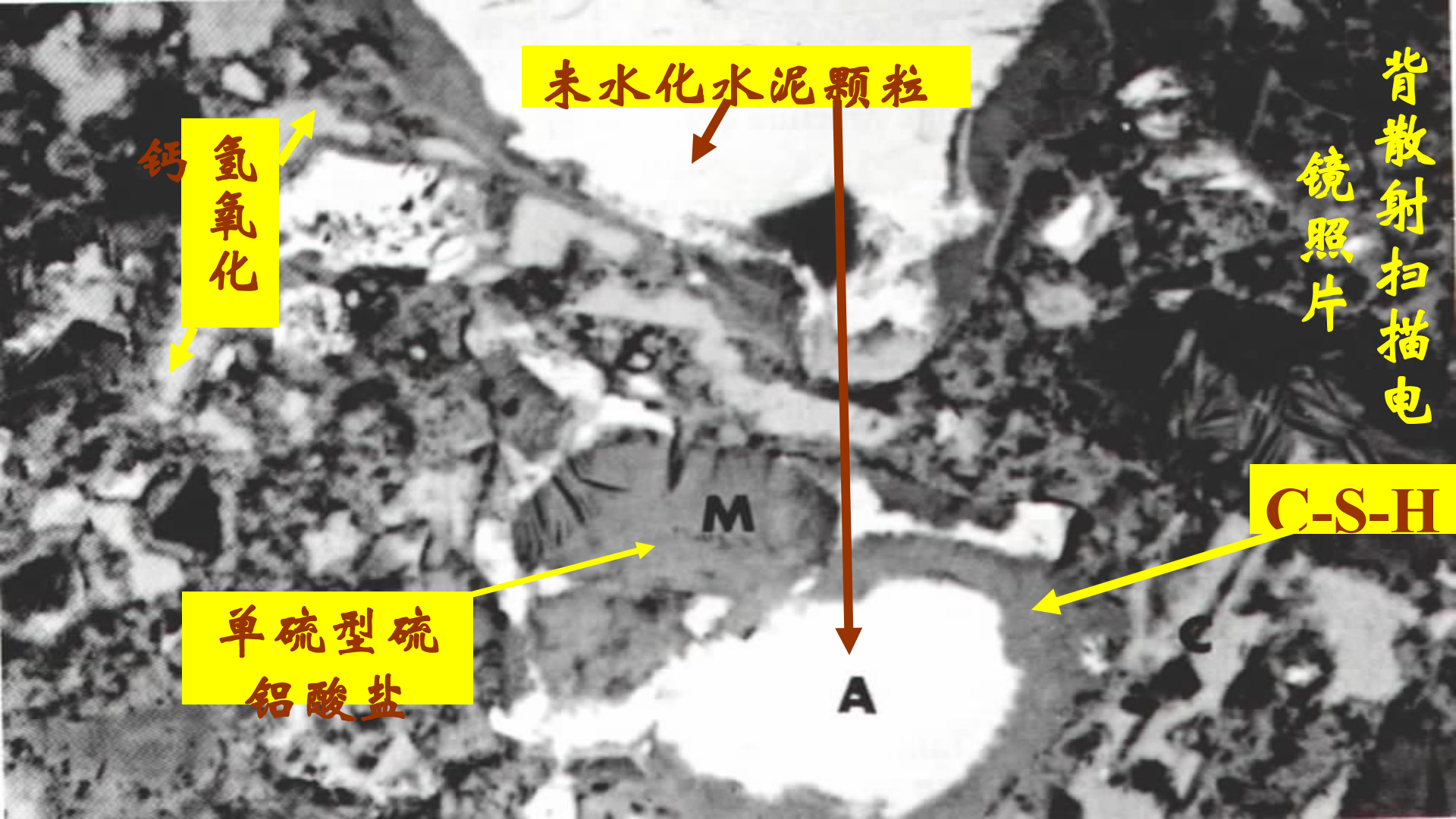
钙

单硫型硫  
铝酸盐

M

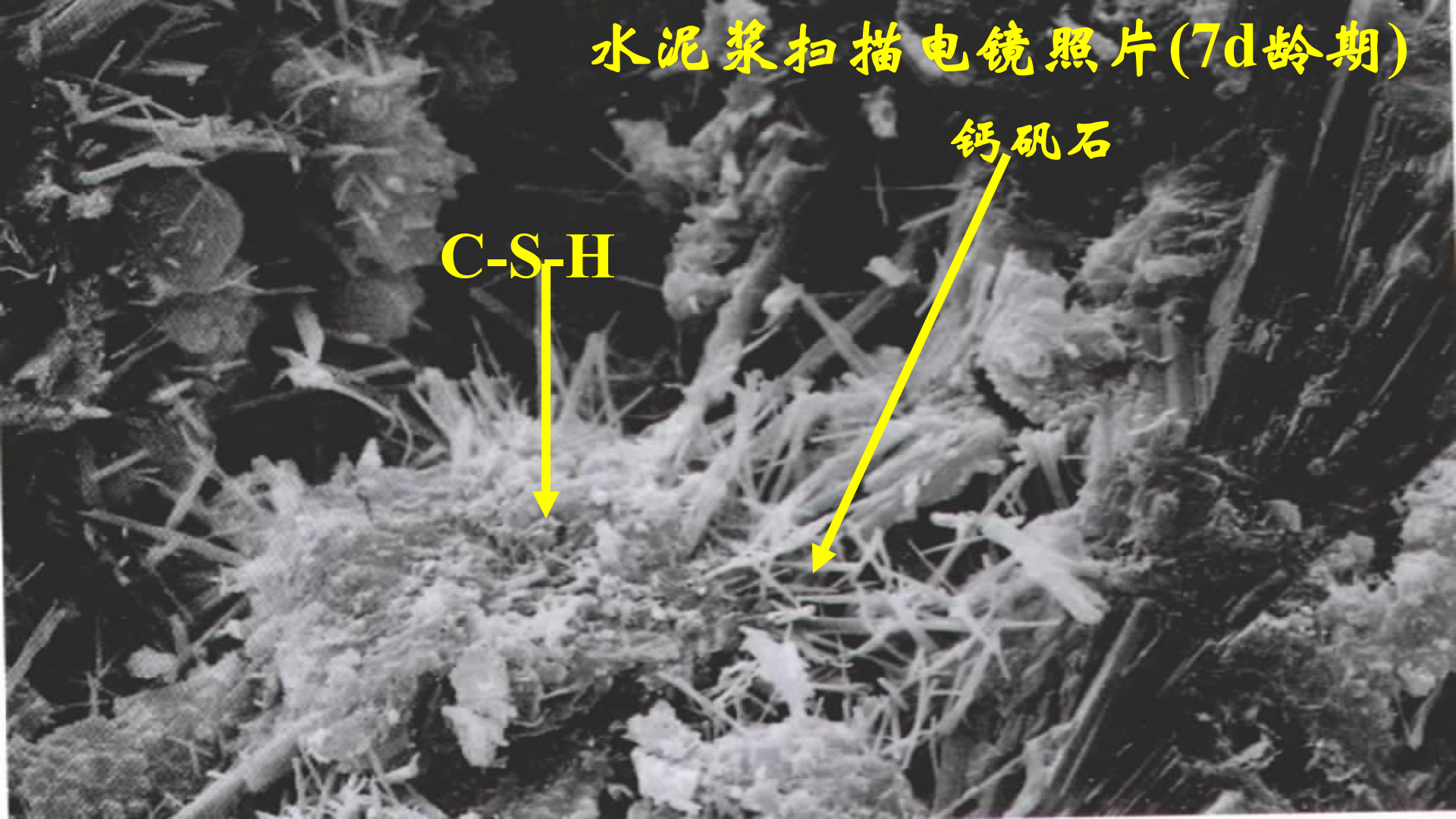
A

C





水泥浆扫描电镜照片(7d龄期)



C-S-H

钙矾石

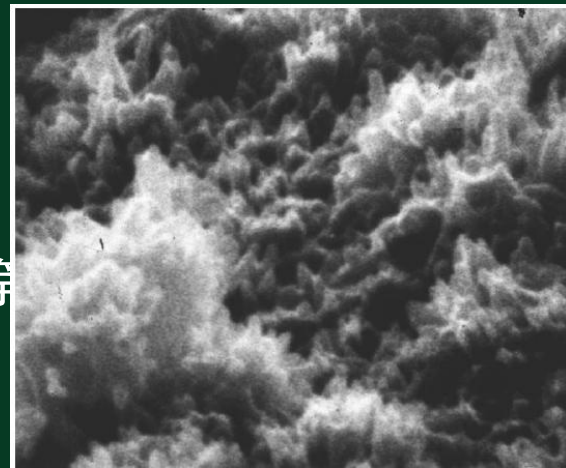
## □ 水泥石中的主要固体相

- 硅酸钙水化物
- 氢氧化钙
- 硫铝酸钙水化物
- 未水化的水泥颗粒



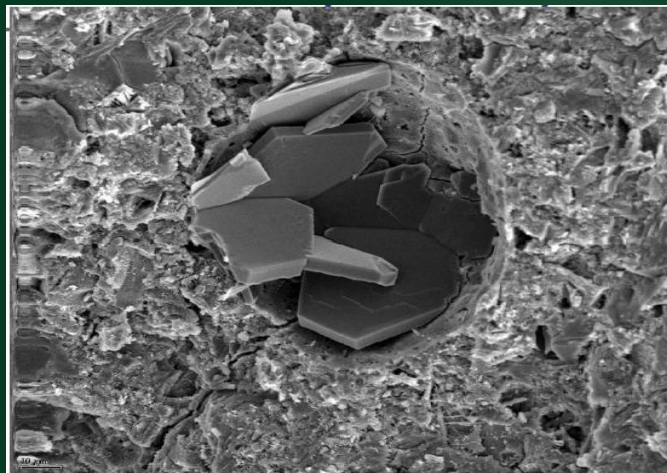
## (1) 硅酸钙水化物: C-S-H

- 体积含量: 占水泥石体积的50-60%。
- 结构特点:
  - 结晶性很差, 呈折叠层状结构;
- 组成特点:
  - 组成可变, 钙/硅(C/S)比=1.5-2.0, 结构水不等
- 形貌:
  - 结晶性差的纤维网状, 胶体尺寸颗粒的聚集体。



## ( 2 ) $\text{Ca}(\text{OH})_2$ : CH

- 体积含量：  
占水泥石体积的20~25%；
- 特征：  
表面积较小、次价键力弱 → 耐久性和强度。
- 组成特点：  
组成确定—— $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 。
- 结构特点：  
六方片状晶体，与天然羟钙石相似。
- 形貌：  
大片状晶体的堆积体。



### (3) 水化硫铝酸钙：Aft、Afm

➤ 含量：

占水泥石体积的 15~20%。

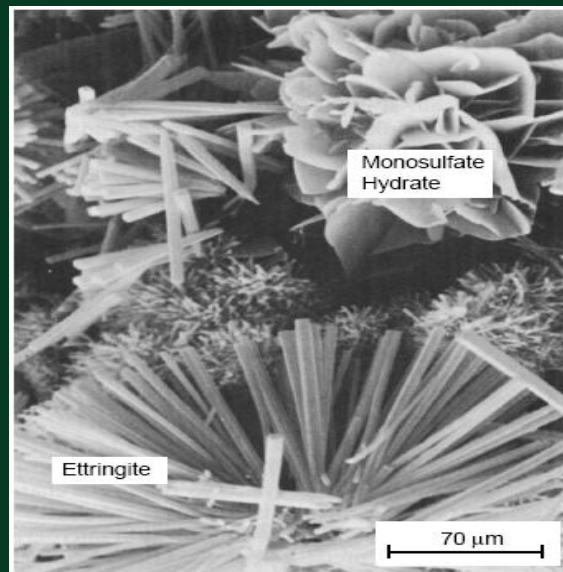
➤ 组成特点：

➤ 开始时，形成三硫型硫铝酸钙——钙钒石

➤ 后期，转变为 单硫型硫铝酸钙 结构特点：  
结晶性好的晶体

➤ 形貌：

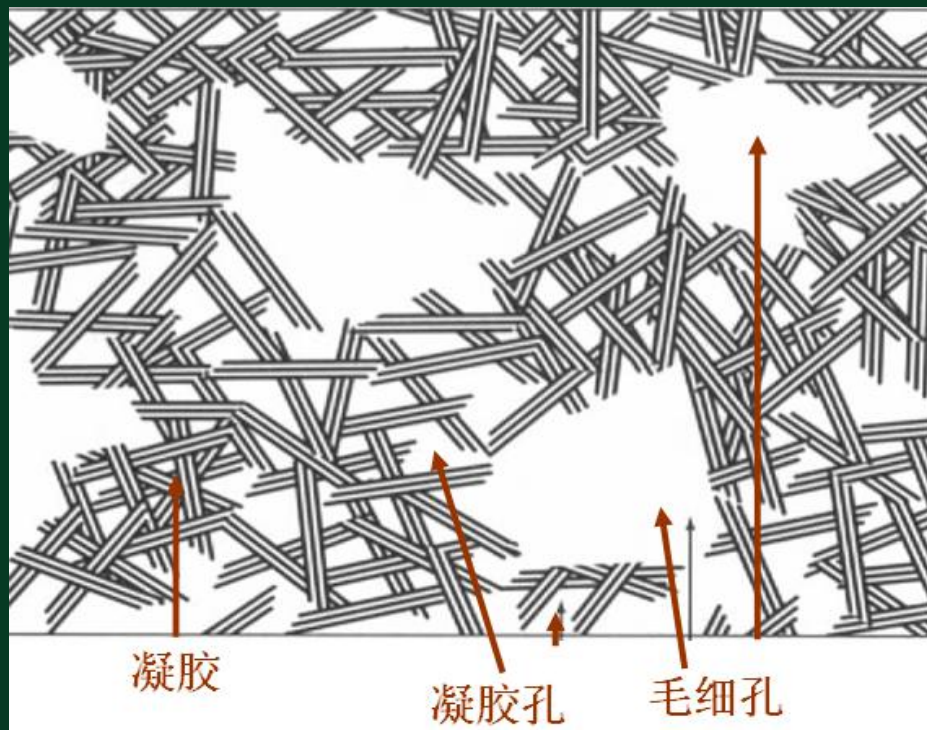
Aft—针状晶体；Afm—玫瑰花状晶体



# □ 水泥石中的孔

- C-S-H凝胶中的层间孔隙——凝胶孔
  - 尺寸 = 5 ~ 25 Å
  - 含量：约占C-S-H凝胶的28%
  - 对强度和抗渗性无害，对干缩和徐变有一定影响
- 毛细孔 Capillary Voids
  - 尺寸 > 50 nm，与水灰比有关
  - 对强度和抗渗性有害，对干缩和徐变有重大影响
- 空隙 Air Voids
  - 夹杂的空气泡：大于3 mm
  - 引入的空气泡：50 ~ 200 μm
  - 对强度和抗渗性非常有害

# □水泥石中的孔



## □ 水泥石中的液相

- 水蒸气

大的孔隙部分被水填充，剩余空间是与环境温度、湿度和压力平衡的水蒸气。

- 毛细孔水—毛细孔和 大的凝胶孔中的水

- 孔径 $>50\text{nm}$ 的孔隙中的水—自由水

- 孔径 $<50\text{nm}$ 的孔隙中的水—毛细张力水

- 吸附水

固体表面吸附的水，干燥到30%的相对湿度，可失去。

## □ 水泥石中的液相

- 层间水

小于2.6nm的 凝胶孔中的水，  
强干燥到10% 相对湿度时，可失去

。

- 化学结合水

水泥水化反应所结合到水化物  
中的水，只有加热到900~1000°C才  
会失去。化学结合水量可用于测定  
水泥水化度。



# □ 水泥石中的液相

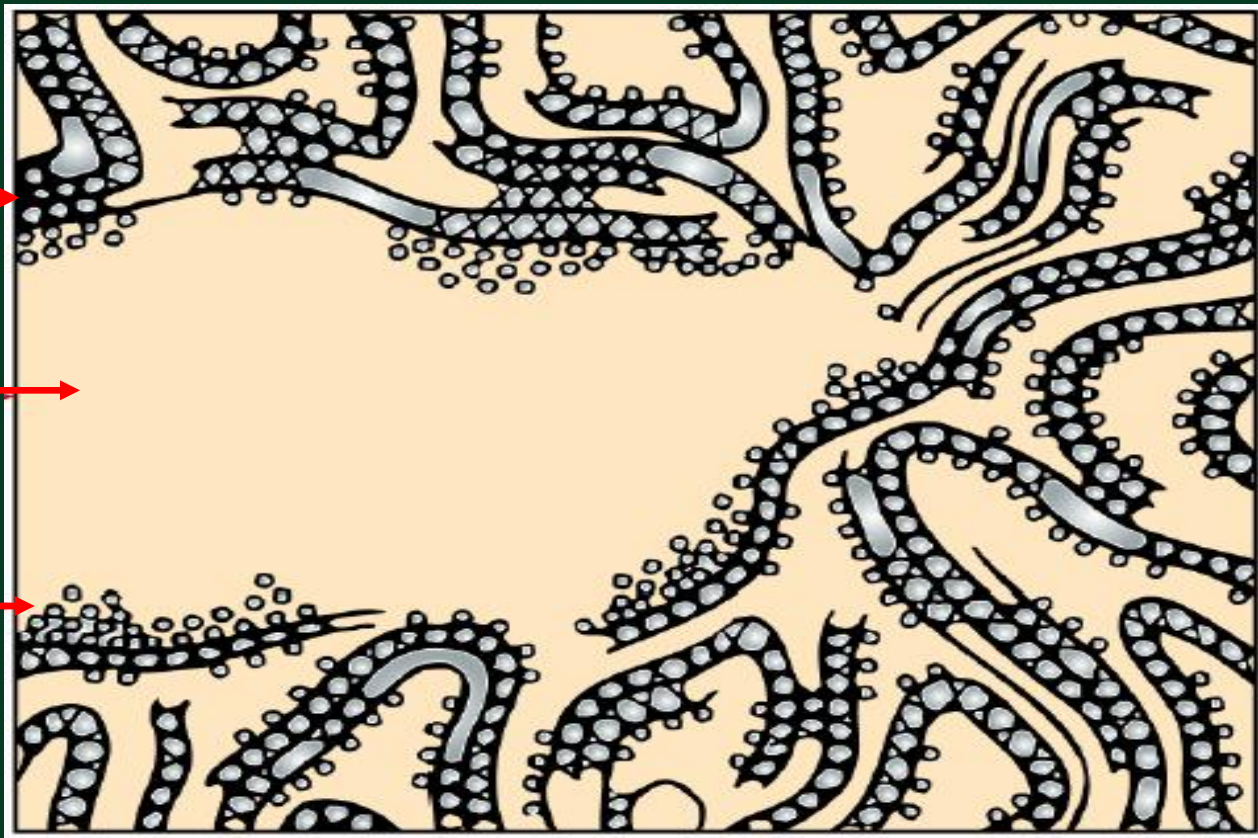
层间水



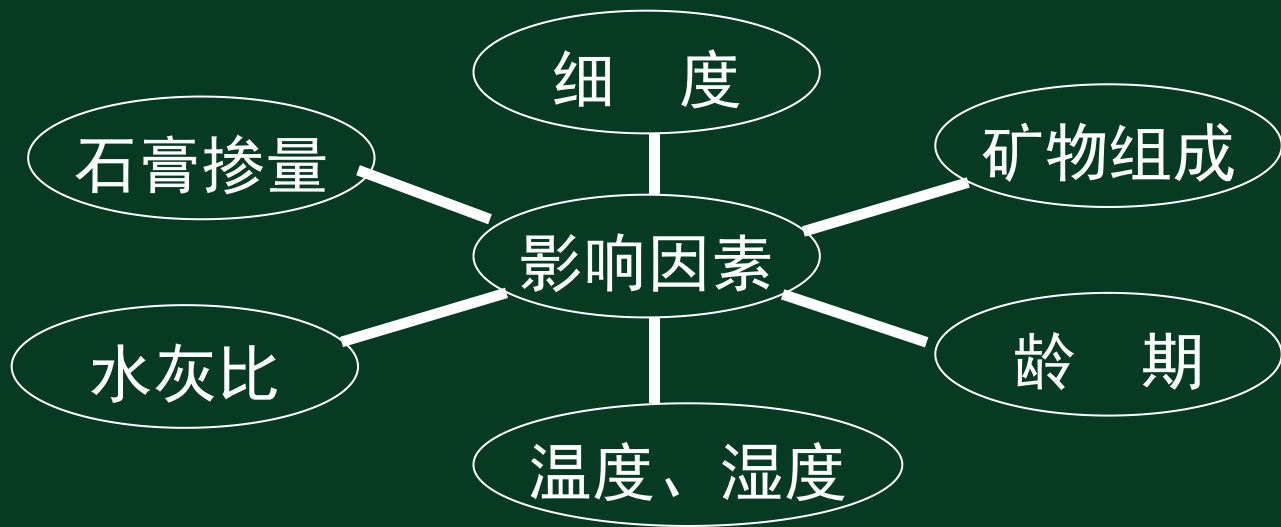
毛细孔水



吸附水

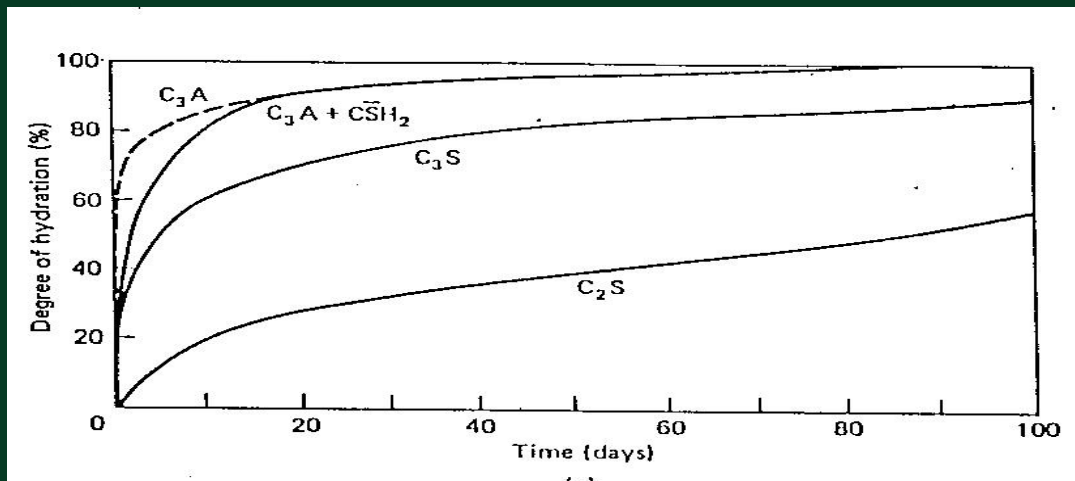


## 2. 影响水泥水化的因素



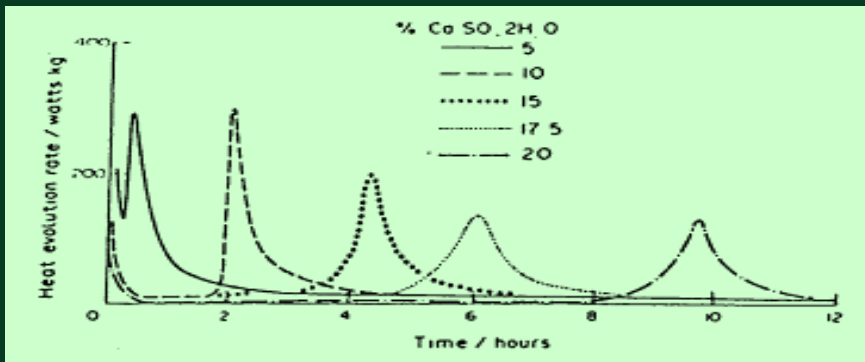
# ① 矿物组成的影响

- 水泥熟料矿物的水化速度：



水泥熟料中单一矿物的水化速度

## ② 石膏掺量的影响

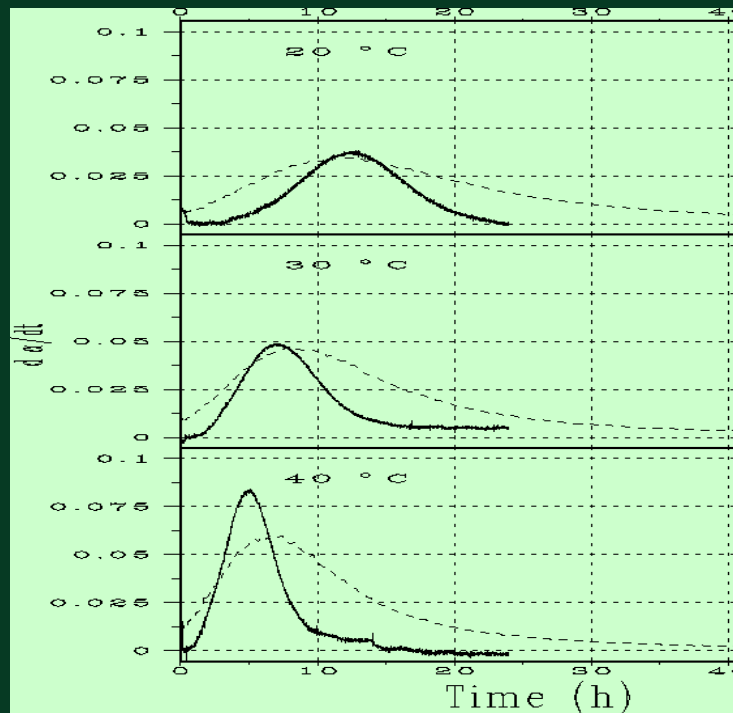


石膏掺量对C<sub>3</sub>A水化速度的影响

- 石膏主要降低C<sub>3</sub>A的水化速度；
- 掺量太少，凝结较快；
- 过多，造成水泥快凝，且引起安定性不良

### ③温度湿度的影响

- 温度升高，水化反应加快，凝结硬化加速
- 温度升高 $10^{\circ}\text{C}$ ，速度加快1倍。
- 温度低于 $0^{\circ}\text{C}$ 时，水化反应基本停止。
- 保持一定湿度，有利于水泥的水化。



## ④拌合水的影响

**水灰比**—水泥浆体中拌和水量与水泥质量之比；

- 水泥熟料矿物完全水化的理论水灰比=0.23；
- 水灰比越大，需要水化物固相填充的孔隙越多，凝结硬化所需时间越长；
- 水灰比越大，水泥石中孔隙越多，强度越低。

## ⑤水泥细度的影响

- 粒径：  
     $< 3\mu\text{m}$       水化非常迅速，需水量增大；  
     $< 40\ \mu\text{m}$     水化较慢，内芯难以水化。  
     $> 90\ \mu\text{m}$     几乎接近惰性。



# 小结

---



在线开放课程

1. 水泥石的组成及结构
2. 影响水泥水化的因素

