

# 第八章 粘土岩

---

- 第一节 概述
- 第二节 粘土岩的物质成分
- 第三节 粘土岩的结构、构造和颜色
- 第四节 粘土岩的分类和沉积后变化

# 第一节 概述

## 1.粘土岩定义

### ■ 狭义：

- 以粘土矿物为主（含量大于50%）的沉积岩。
- 疏松或未固结成岩者称为粘土。

### ■ 广义：

- 主要由粒径 $<0.01$ （ $0.005$ ）mm的细碎屑物质（ $>50\%$ ）组成的沉积岩。

## 2.粘土矿物成因

- 机械方式：母岩风化的产物，以悬浮方式搬运，以机械方式沉积而成，占大多数。
- 化学方式：由汇水盆地中 $\text{SiO}_2$ 和 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 胶体的凝聚作用形成自生粘土矿物，火山碎屑物质蚀变形形成粘土矿物，在粘土岩中占比例较少。

# 第一节 概述

---

## 3. 研究意义

- 分布最广，约占沉积岩总体积的55~60%
- 沉积岩成因、沉积环境分析
  - 吸附的微量元素可判断古环境和古气候
- 重要的石油地质意义
  - 重要的生油母质；良好盖层；泥岩裂缝油气藏
- 工业用途
  - 可塑性、耐火性、烧结性、吸水膨胀性、吸附性等
- 经济意义
  - 富集稀有元素和稀土元素，形成工业矿床，如黑色页岩和碳质页岩中镍、钼、钒、铅、铂、铈、钇等

## 第二节 粘土岩的物质成分

### ■ 1. 粘土矿物

■ 含水的硅酸盐或铝硅酸盐矿物，分非晶质和结晶质两类。

■ 结晶质粘土矿物具有层状和链层状两种结构类型

■ 以层状结构粘土矿物最常见

■ 硅氧四面体

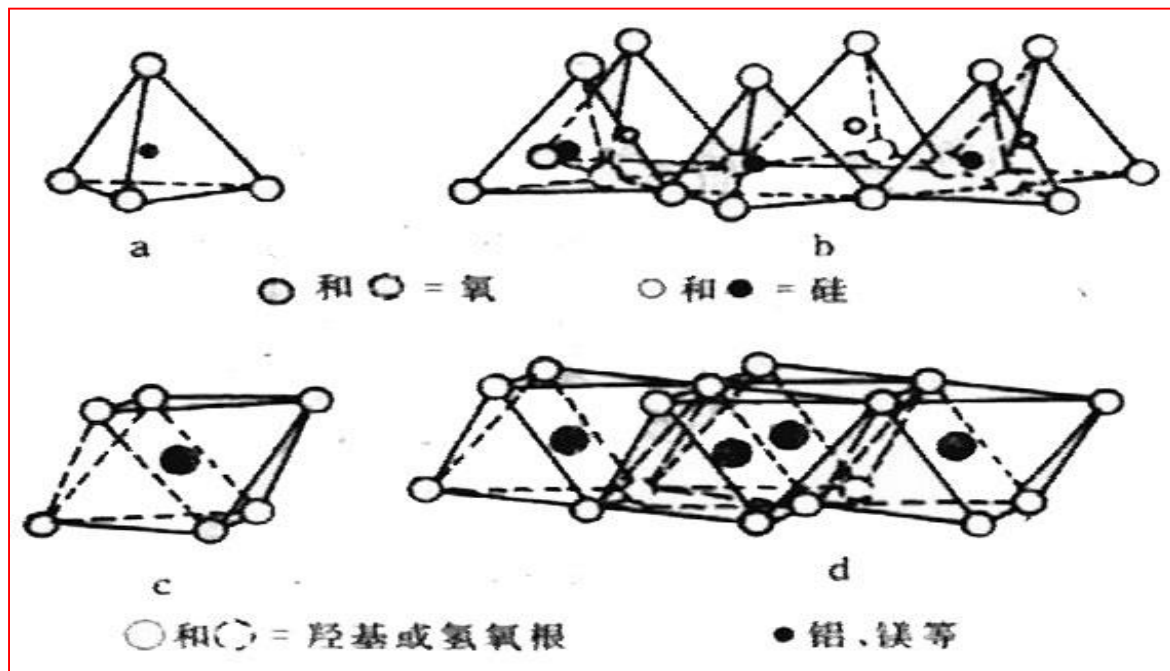
由位于四面体中心的一个硅和位于四面体角顶的四个氧组成。

■ 铝/镁氧八面体

由位于一个八面体中心的铝和六个位于八面体角顶的氧组成。

在铝氧八面体中， $Mg^{2+}$ 、 $Fe^{3+}$ 等可置换 $Al^{3+}$ 。

## 第二节 粘土岩的物质成分



Si-O四面体及Al(Mg)-(O,OH)八面体结构示意图

## 第二节 粘土岩的物质成分

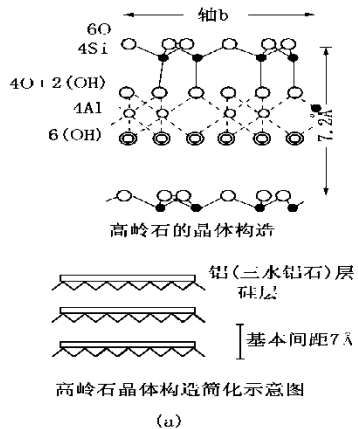
四面体和八面体基本结构层在空间上彼此以一定规律结合就形成“**结构单元层**”，据结构单元层中各基本结构层相互结合的**比例及叠置方式**：分三种类型

◆1: 1型

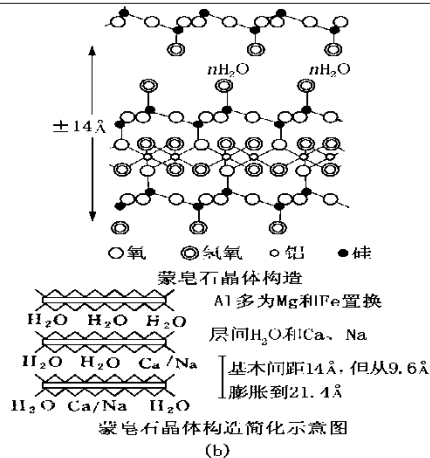
◆2: 1型

◆2: 1: 1型

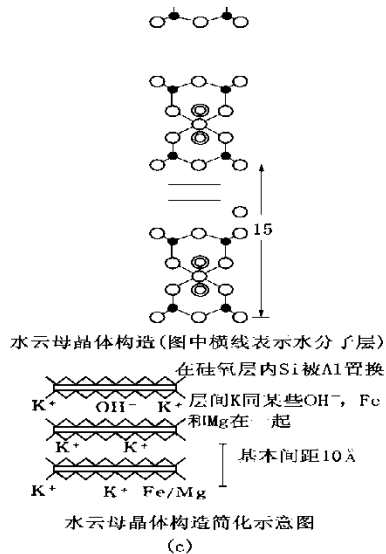
# 高岭石1:1型



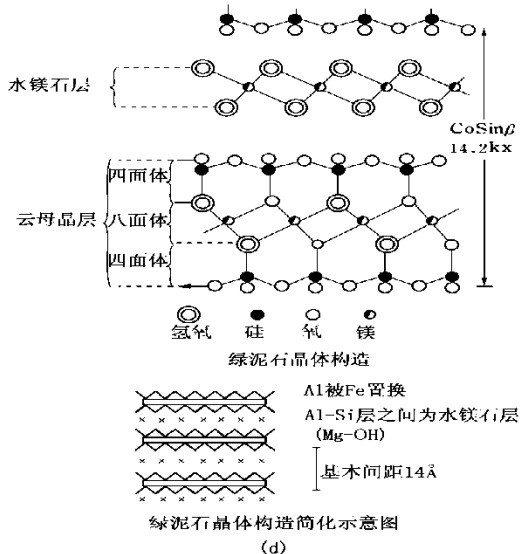
# 蒙脱石2:1型



# 伊利石2:1型



# 绿泥石2:1:1型



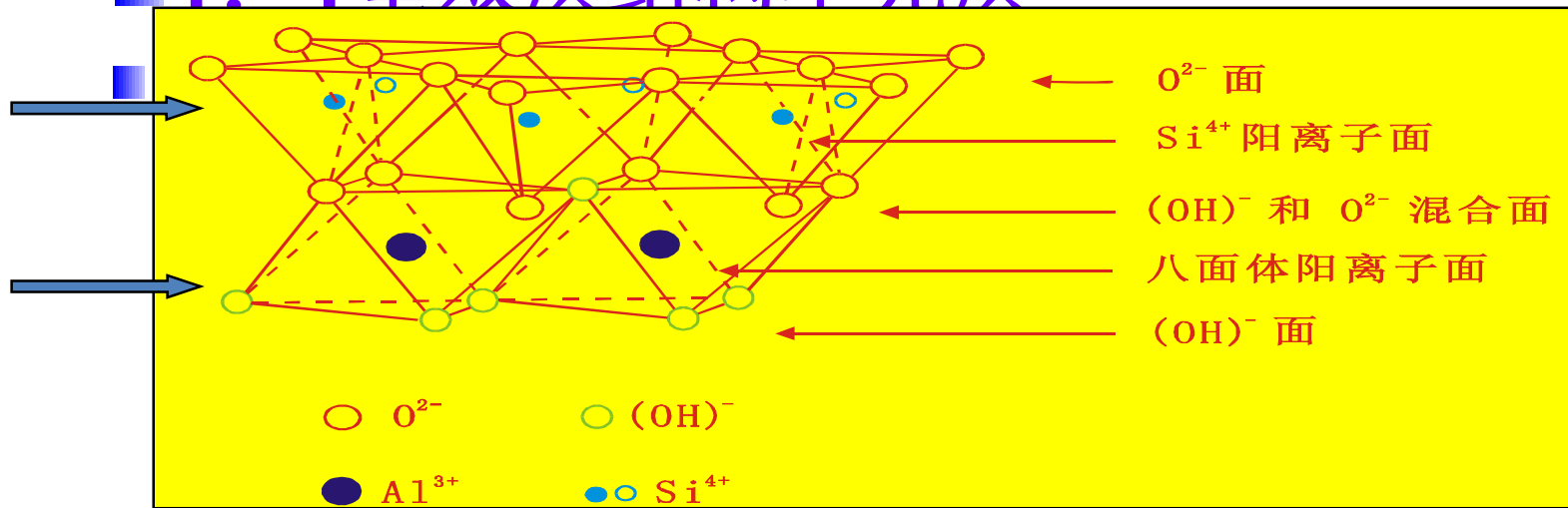
## 第二节 粘土岩的物质成分

### ■ (1) 1: 1型 (高岭石型)

■ 高岭石★★★、地开石★、珍珠陶土★

### ■ 1: 1型双层结构单元层

四面体  
八面体  
片





# 高岭石

- 单个晶体：六边鳞片状
- 集合体：蠕虫状、手风琴状、书页状
- 成因：长石类矿物在酸性介质中分解的产物；富含 $Al^{3+}$ 的硅酸盐转变

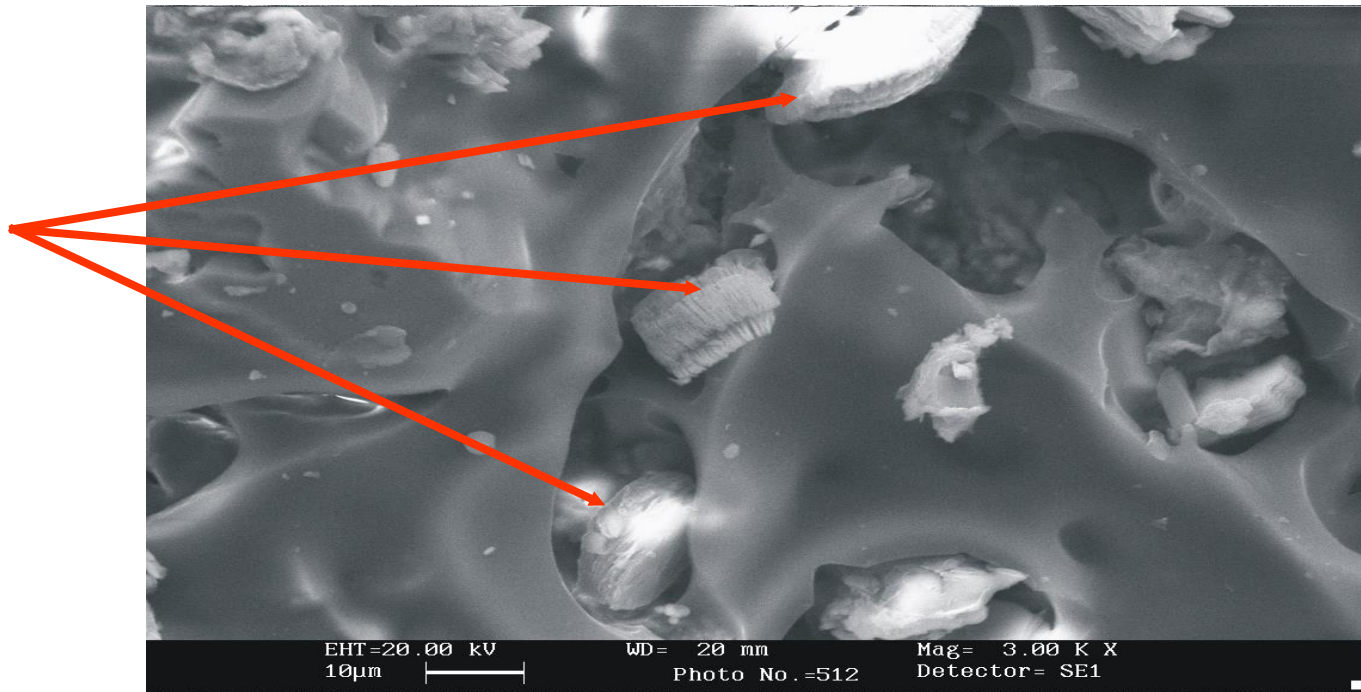
晶体 $0.01\sim 0.001\text{mm}$ ，重结晶 $>1\text{mm}$ ，相对密度2.6，颜色：白色、淡黄色、红色、

集合体

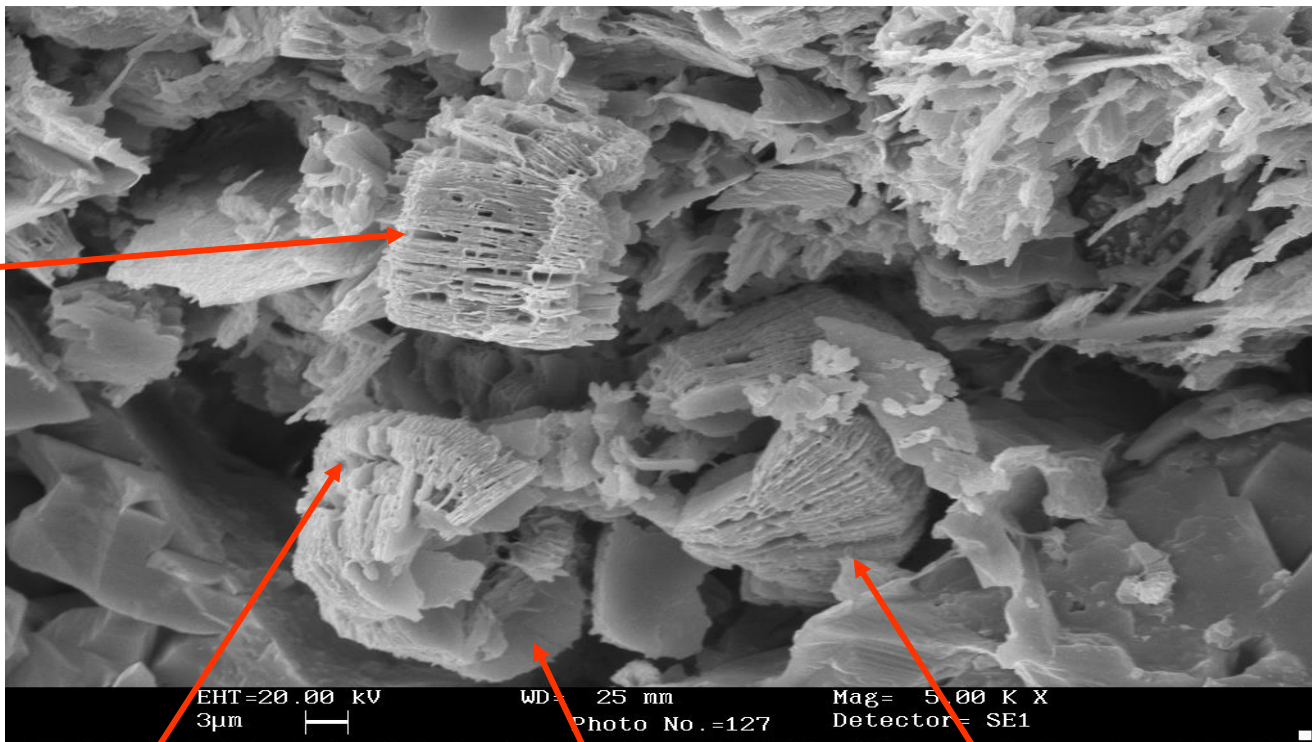
高岭石——块状集合体



长石溶蚀孔内自生  
蠕虫状、六方板状  
高岭石



郑418井, 1358.64m



状 书页

蠕虫状

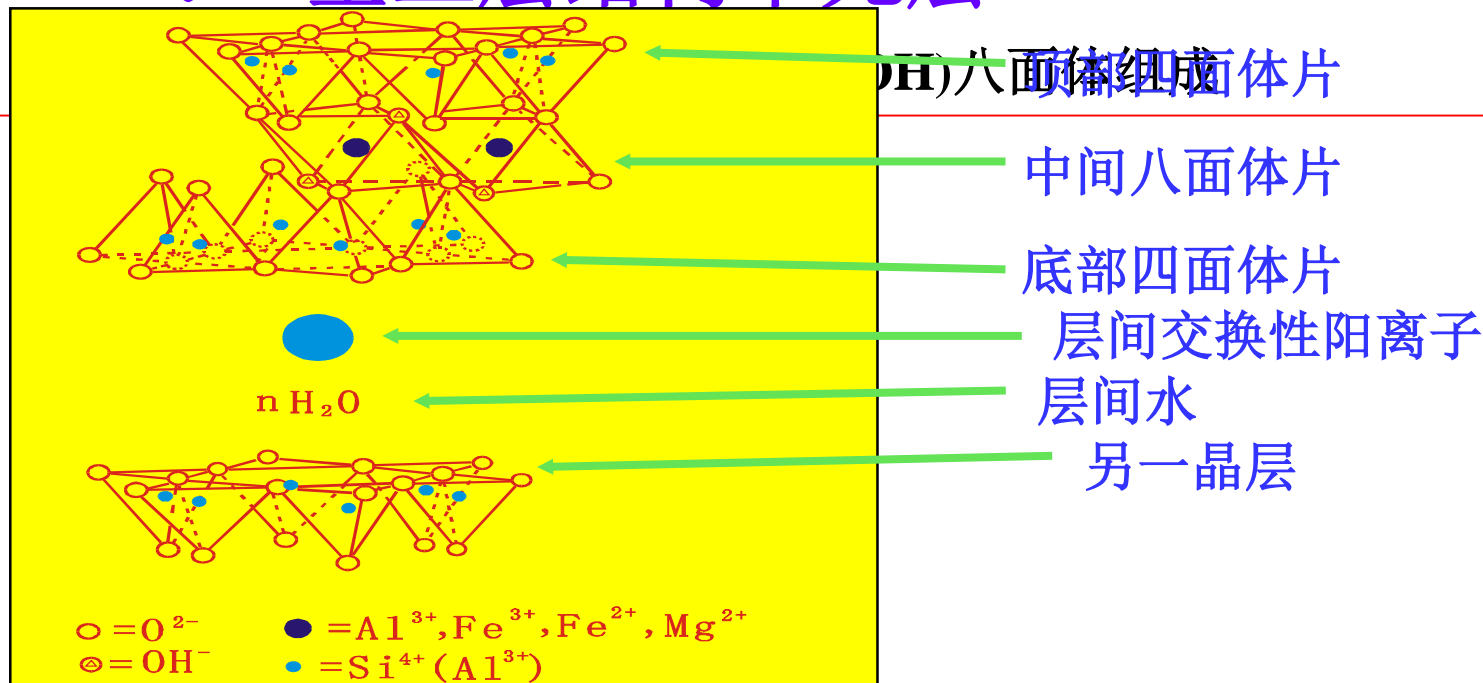
六方板状

手风琴状

## ■ (2) 2: 1型 (蒙脱石型)

■ 蒙脱石★★、拜来石★★、绿脱石★、皂石★

### ■ 2: 1型三层结构单元层



## 第二节 粘土岩的物质成分

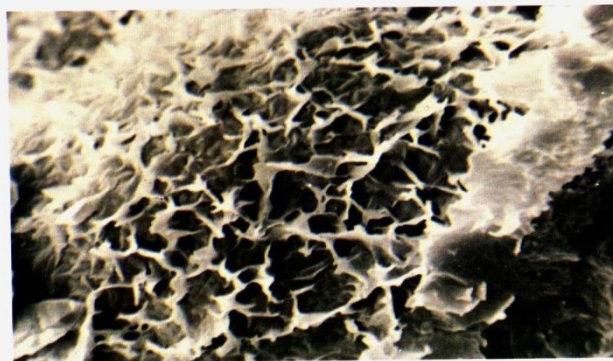
### ■ 蒙脱石/胶岭石/微晶高岭石

■ 偏光镜下细鳞片状，干涉色比高岭石、伊利石高。

■ 扫描电镜下细鳞片状、鹅毛状、棉絮状，轮廓不清楚。

■ 加水膨胀或呈浆糊状

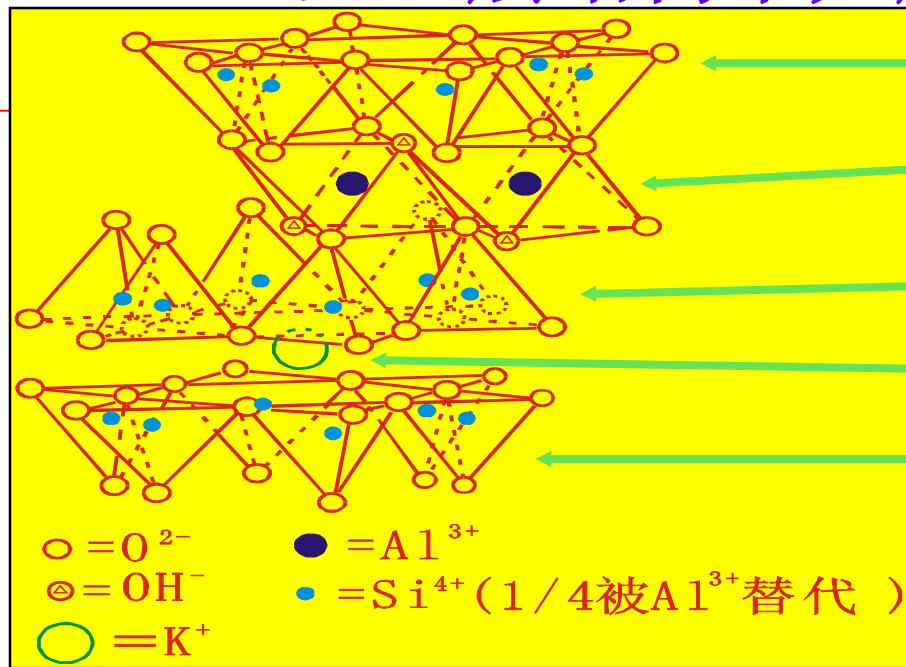
质纯白色/灰白色，含杂质呈黄色、桃红色、灰绿色等。致密块状呈蜡状光泽，疏松土状光泽暗淡。硬度1~2，相对密度2~3。常与未变化的火山玻璃一同产出。



## ■ (2) 2: 1型 (伊利石族/水云母族)

■ 伊利石★★、海绿石★

### ■ 2: 1型三层结构单元层



顶部四面体片

中间八面体片

底部四面体片

层间阳离子

另一晶层

## 第二节 粘土岩的物质成分

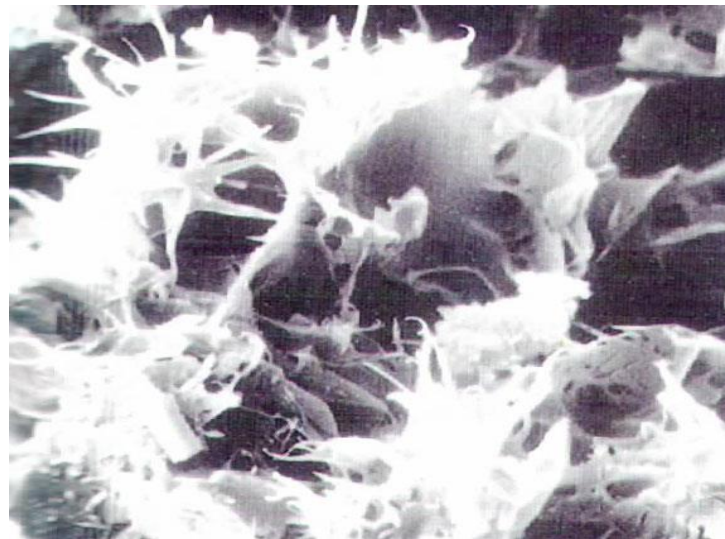
### ■ 伊利石

#### ■ 偏光显微镜下

- 弯曲叶片状，低—中正突起，干涉色可达二级

#### ■ 扫描电镜下

- 圆滑鳞片状或带尖角和直边的片状

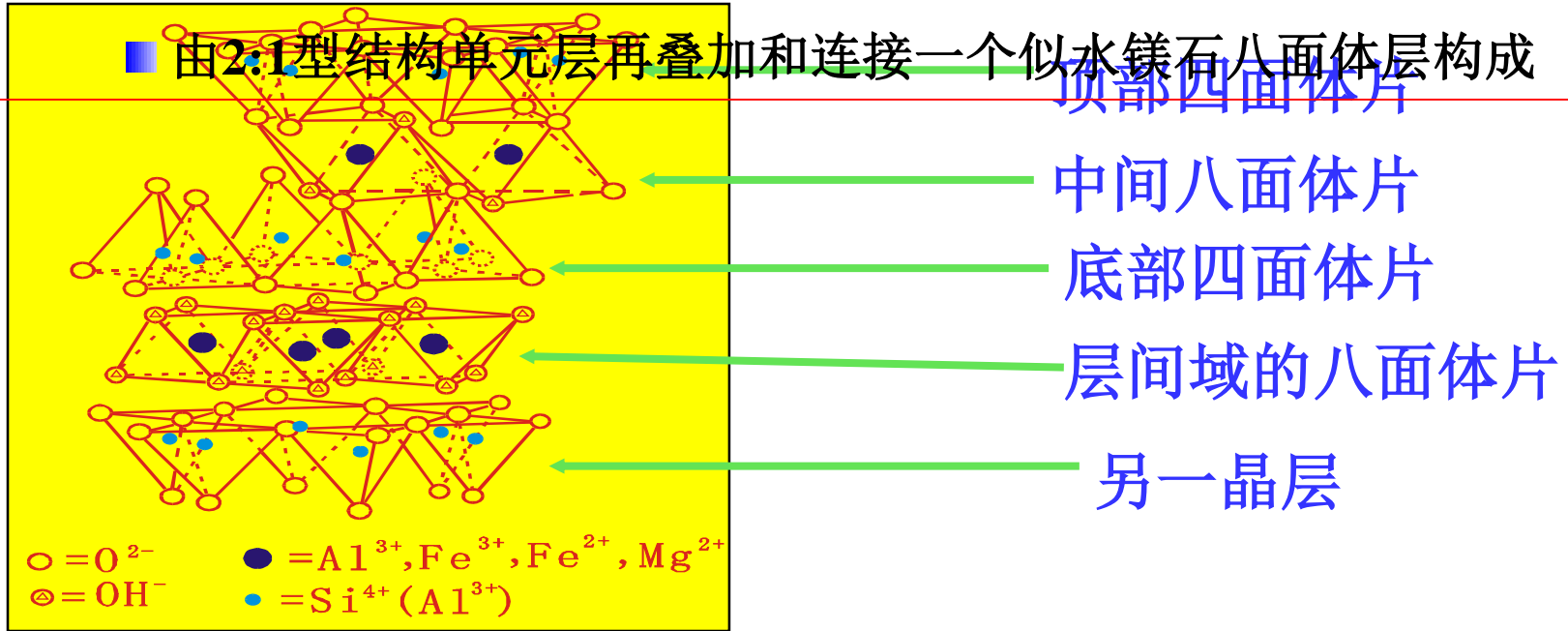


### ■ (3) 2: 1: 1型 (绿泥石族)

■ 叶绿泥石★★★、鲕绿泥石★、铁绿泥石

### ■ 2: 1: 1型三层结构单元层

■ 由2:1型结构单元层再叠加和连接一个似水镁石八面体层构成





## 第二节 粘土岩的物质成分

■ 叶绿泥石★★★、鲕绿泥石★、铁绿泥石

■ 绿色

■ 单体针叶状、玫瑰花状

■ 集合体绒球状

叶绿泥石最常见--辉石、角闪石、石榴石、长石等的蚀变产物

鲕绿泥石--沉积铁矿的重要组成



## 第二节 粘土岩的物质成分

### ■ (4) 混层粘土矿物

■ 由两种或两种以上不同类型的粘土矿物结构单元叠置而成

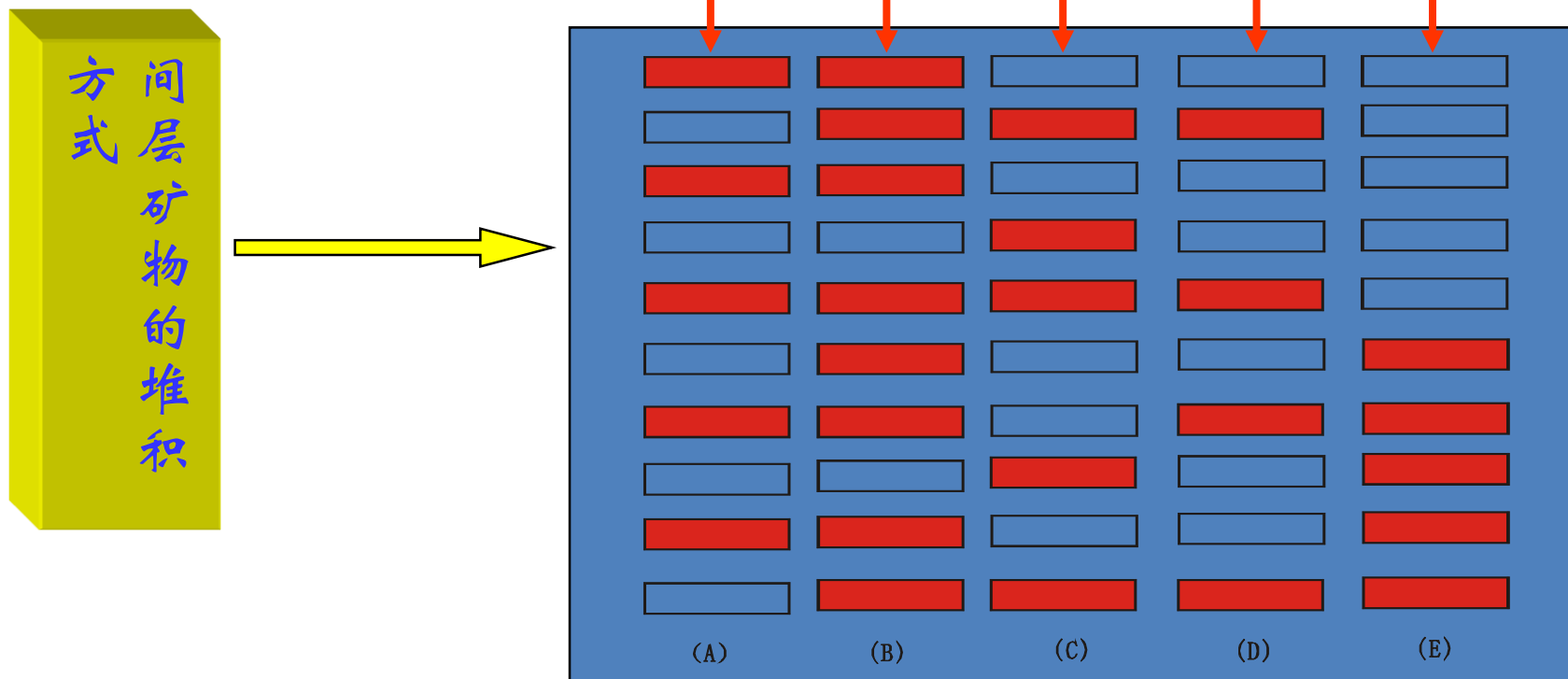
#### ■ 有序（规则）混层

■ 伊—蒙有序混层、绿—蒙有序混层

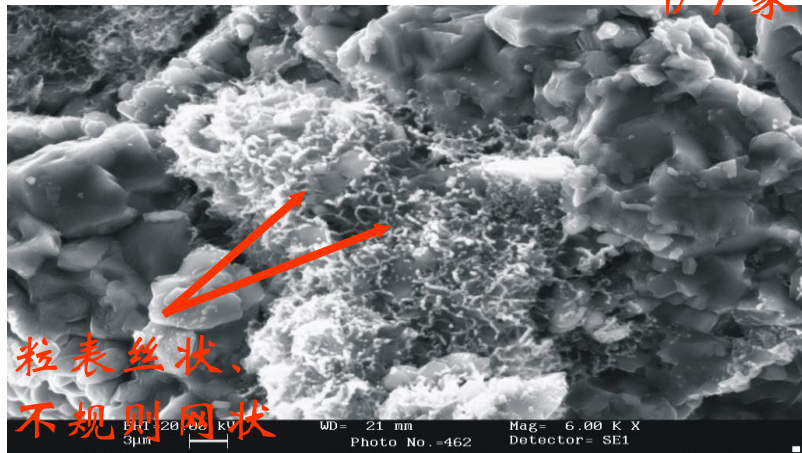
#### ■ 无序（不规则）混层

■ 伊—蒙无序混层、绿—蒙无序混层、伊—

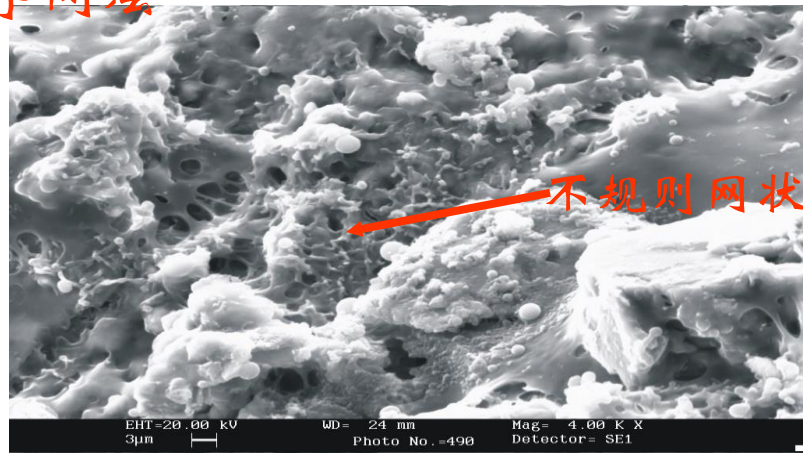
## 第二节 粘土岩的物质成分



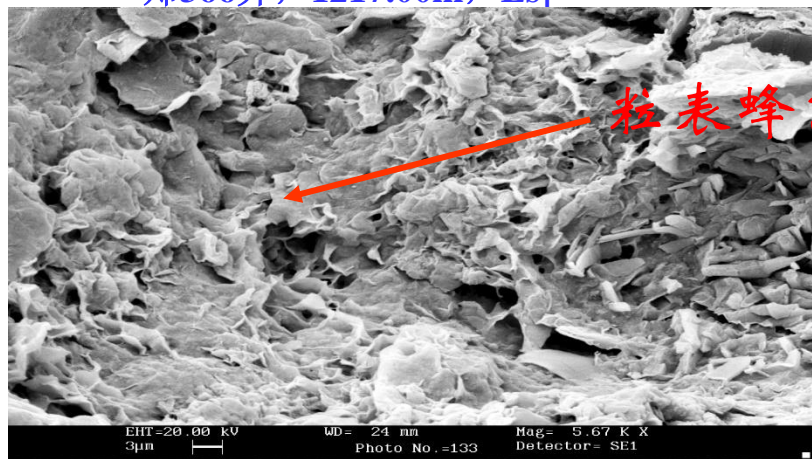
# 伊/蒙无序间层



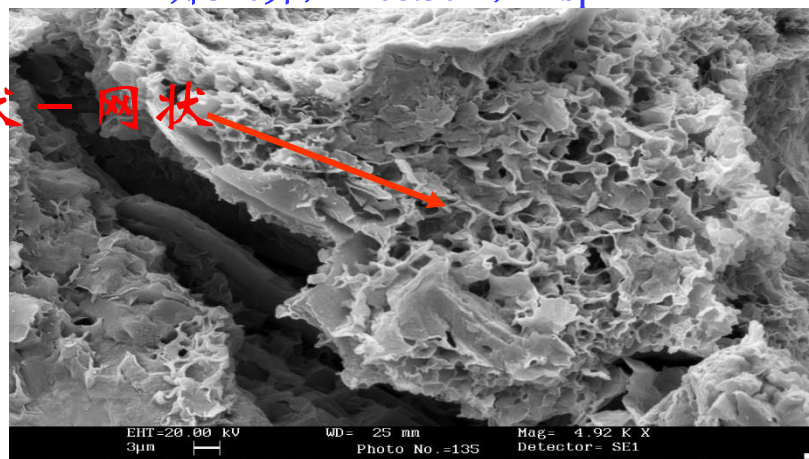
郑366井, 1217.00m, Es<sub>1</sub>



郑370井, 1408.30m, Es<sub>1</sub>



郑370井, 1408.30m, Es<sub>1</sub>



郑366井, 1221.47m, Es<sub>1</sub>

# 第二节 粘土岩的物质成分

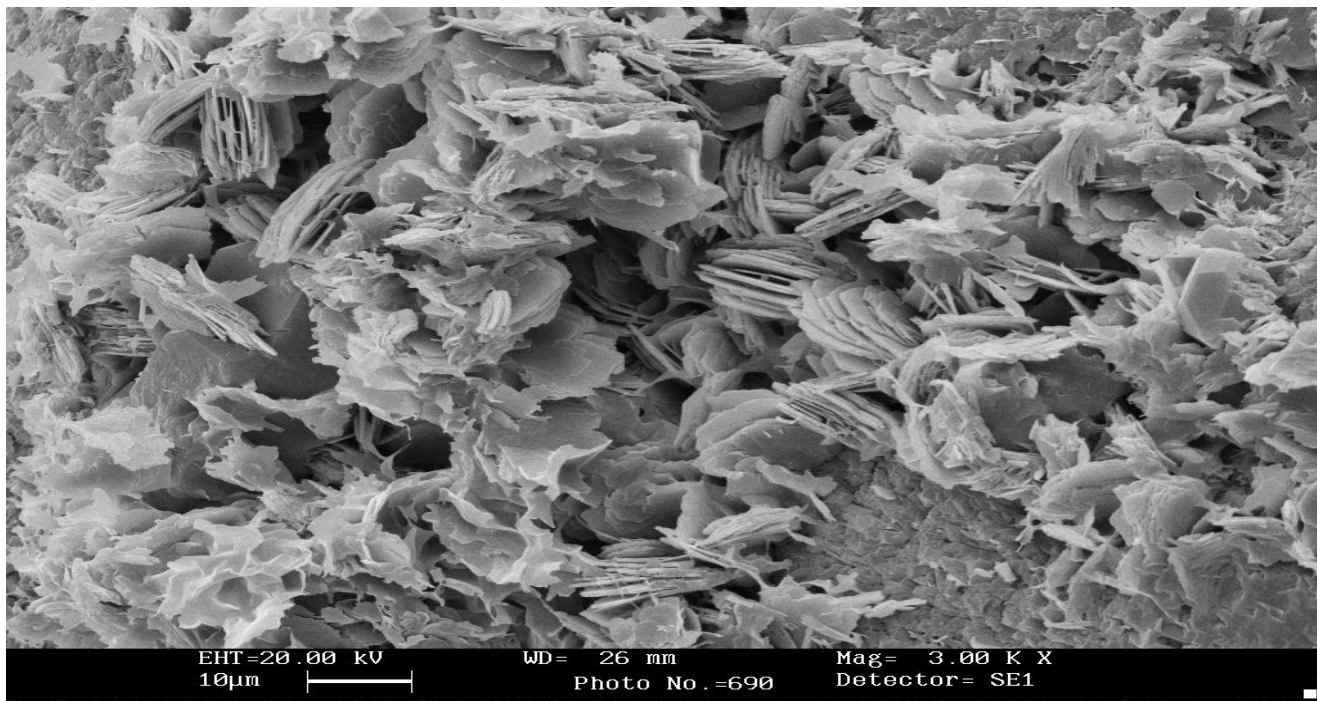
## 粘土矿物分类简表

		结构单元层类型		层间物	族	种
		晶质	层状	简单层状	1:1 [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ](OH) <sub>8</sub>	有或无水分子
埃洛石	埃洛石（多水高岭石）、变埃洛石等					
2:1 [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ](OH) <sub>2</sub>	阳离子或水化阳离子				蒙脱石	蒙脱石、拜来石、绿脱石、皂石
				水云母	水云母（伊利石）、海绿石	
2:1:1 [Si <sub>4</sub> O <sub>10</sub> ](OH) <sub>2</sub>	氢氧化物			绿泥石	各种绿泥石、单热石等	
混层状	有序混层			水云母-蒙脱石组合、绿泥石-蒙脱石组合		
	无序混层		水云母-蒙脱石组合、水云母-绿泥石组合 水云母-蒙脱石-绿泥石组合等			
链状	2:1		水化阳离子	海泡石	海泡石、坡缕石（凹凸棒石）	
半晶质和非晶质				伊毛缟石、水铝英石等		

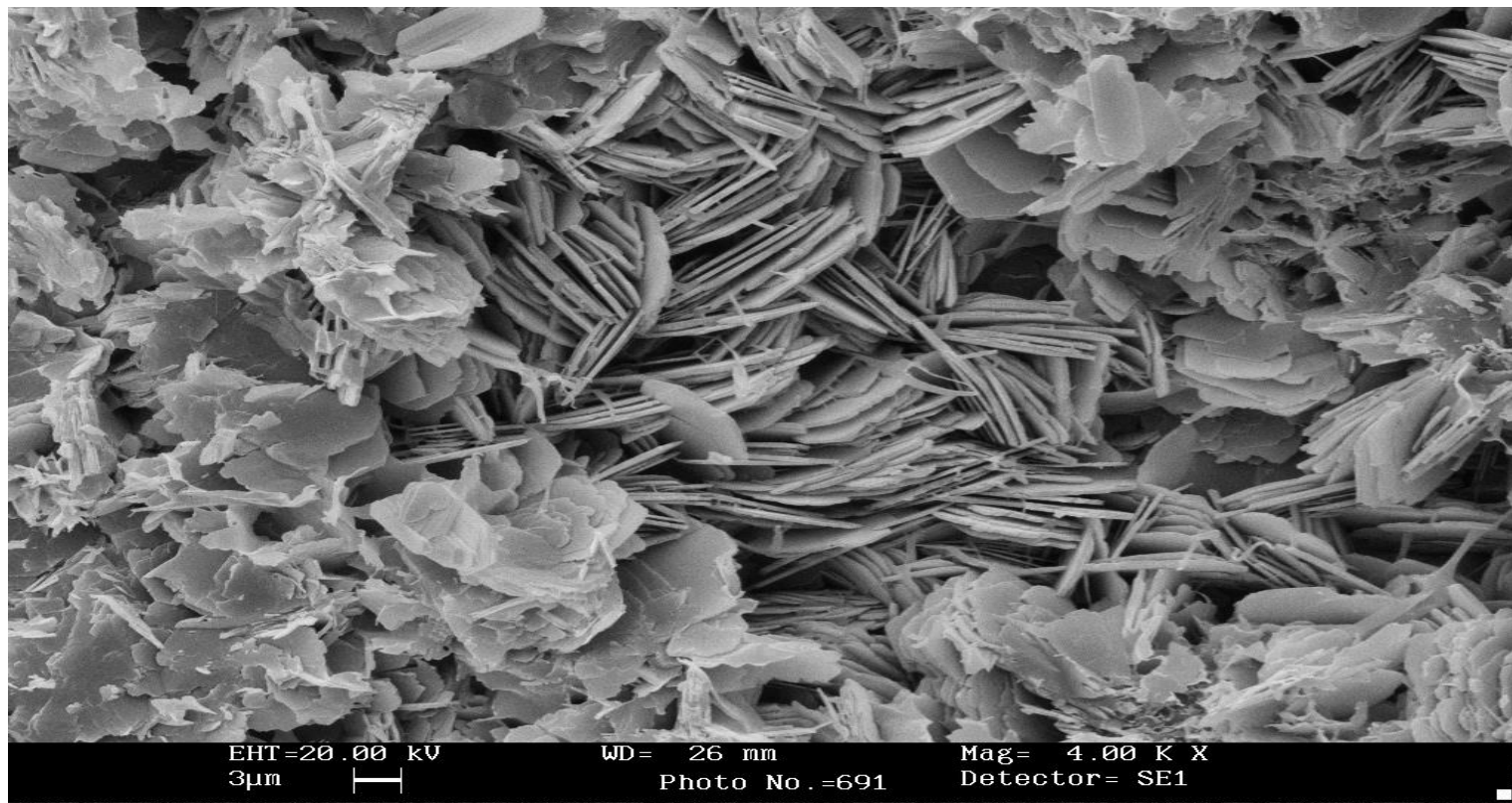
# 第二节 粘土岩的物质成分

## 主要粘土矿物的特征

粘土矿物	化学式	结构单元层	形状
高岭石	$Al_4[Si_4O_{10}](OH)_8$	1: 1	六边形鳞片状晶体, 重结晶后呈蠕虫状和手风琴状集晶
蒙脱石	$(Al_2, Mg_3)[Si_4O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$	2: 1	偏光显微镜下细鳞片状, 电子显微镜下呈细鳞片状、鹅毛状、绒状
伊利石	$K_{x_1}Al_2[(Al, Si)Si_3O_{10}](OH)_2 \cdot nH_2O$	2: 1	显微镜下是弯曲的叶片状轮廓, 电子显微镜下呈细鳞片状或带有尖角和直边的片状
绿泥石	正绿泥石 $(Mg, Fe)_p[(Al, Fe)_pSi_{4-p}O_{10}][OH]_8$ 鳞绿泥石 $(Fe, Mg)_{n-p}(Fe, Al)_p[(Fe, Al)_pSi_{4-p}O_{10}][OH]_{2(n-2)} \cdot XH_2O$	2: 1: 1	细鳞片状集合体或叶片状集合体

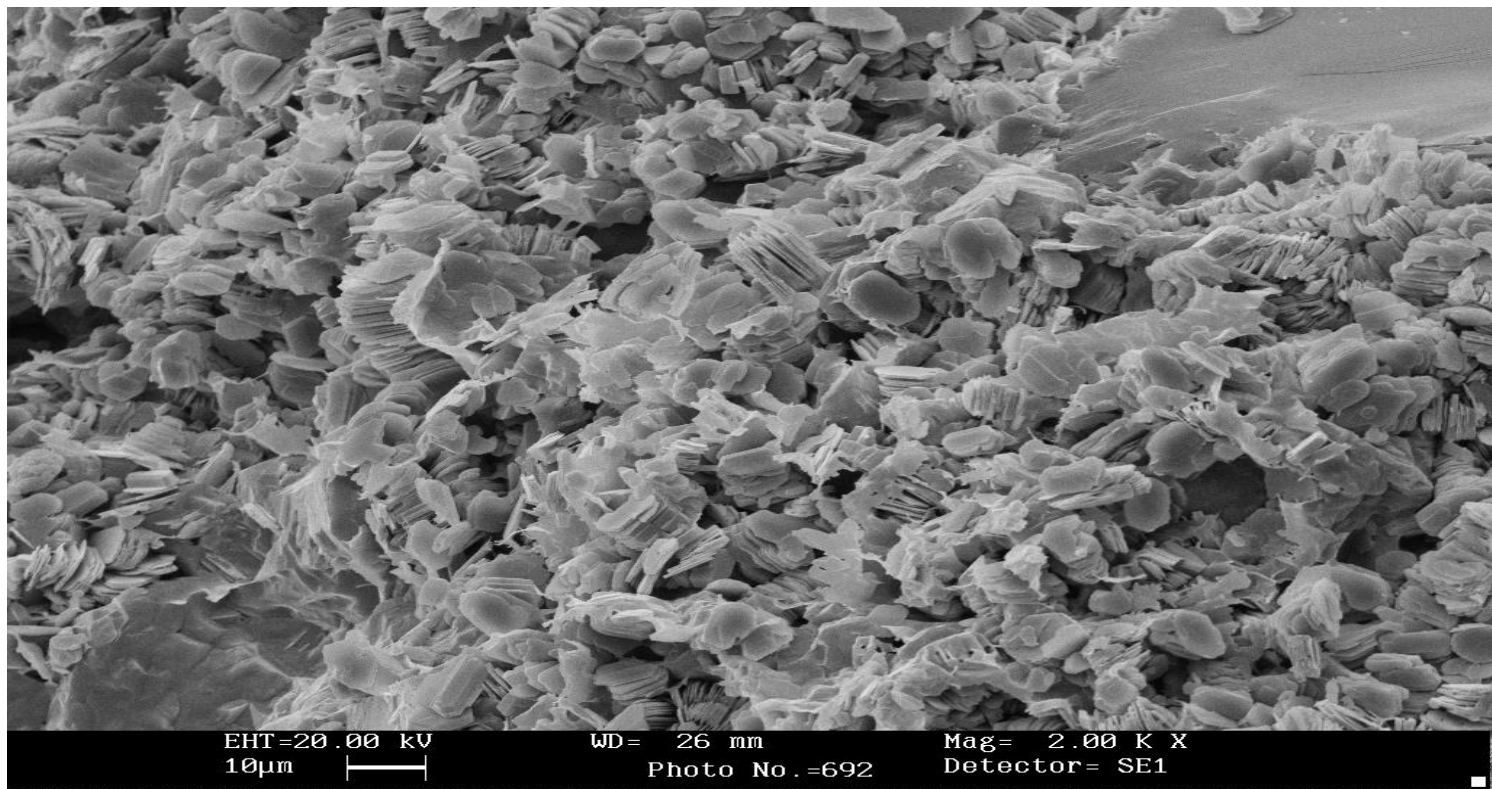


夏2井， 4347m， T1b ， 粒间片状绿泥石与片状c/s混层 ， 放大倍数3000

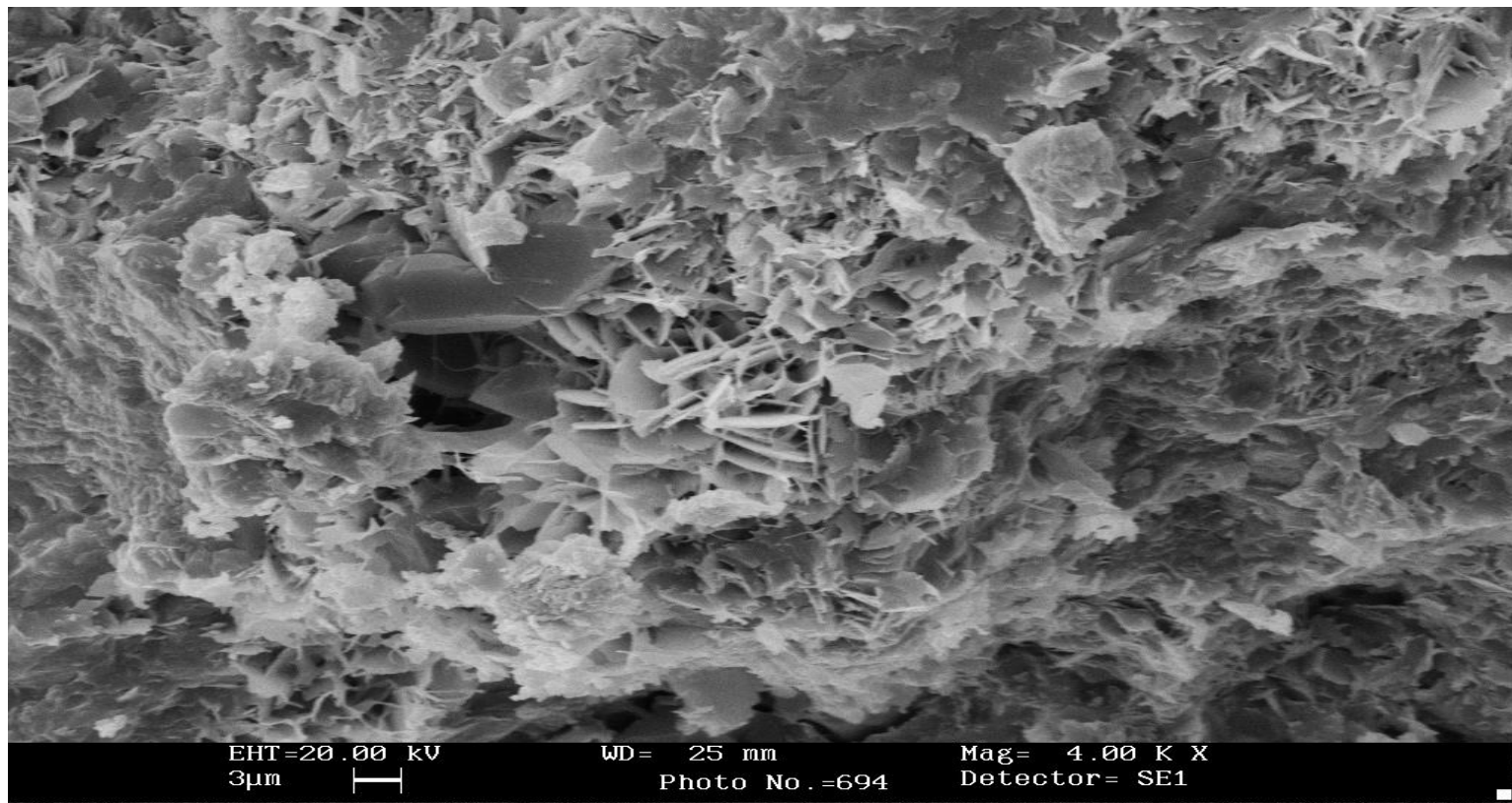


夏2井， 4347m， T1b ， 溶蚀孔中针叶状绿泥石， 放大倍数4000

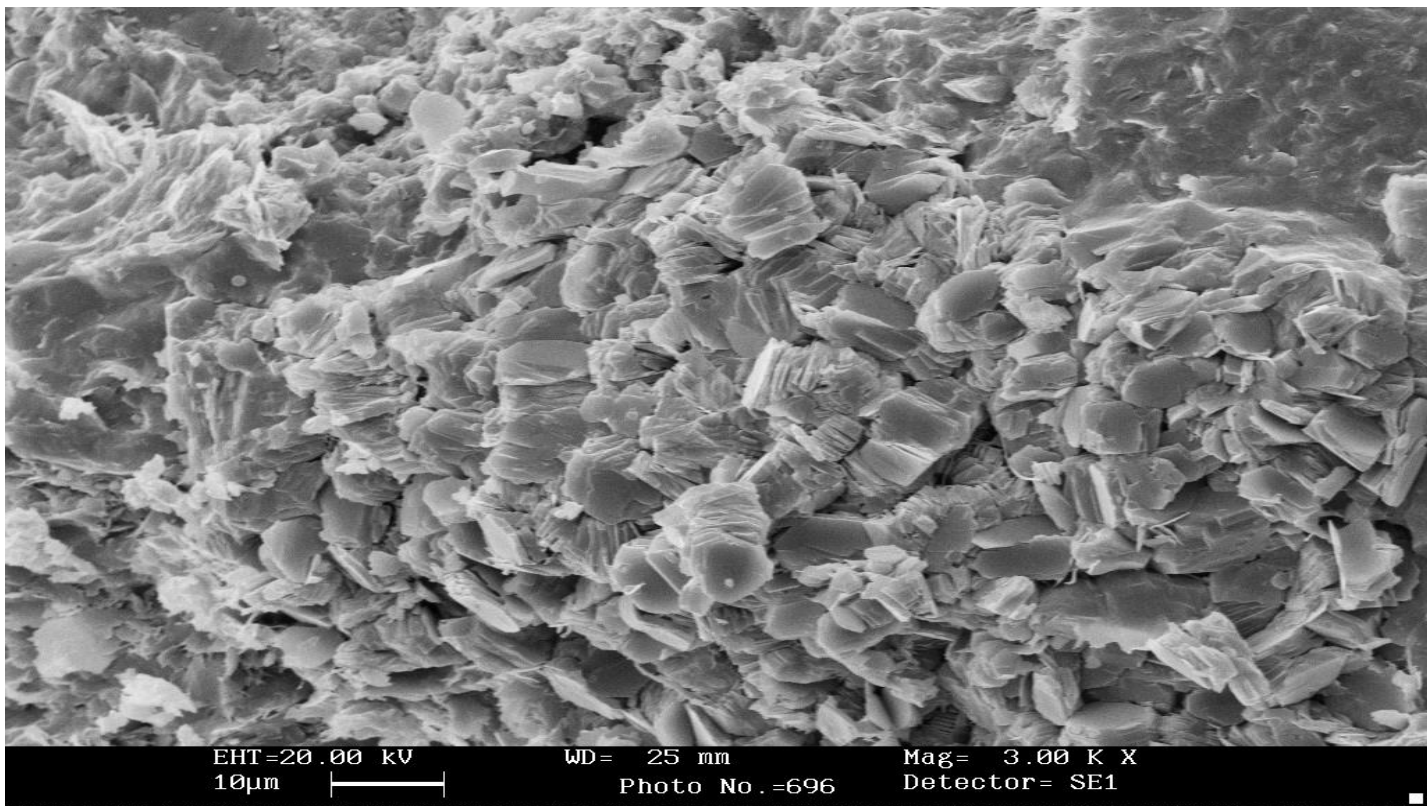




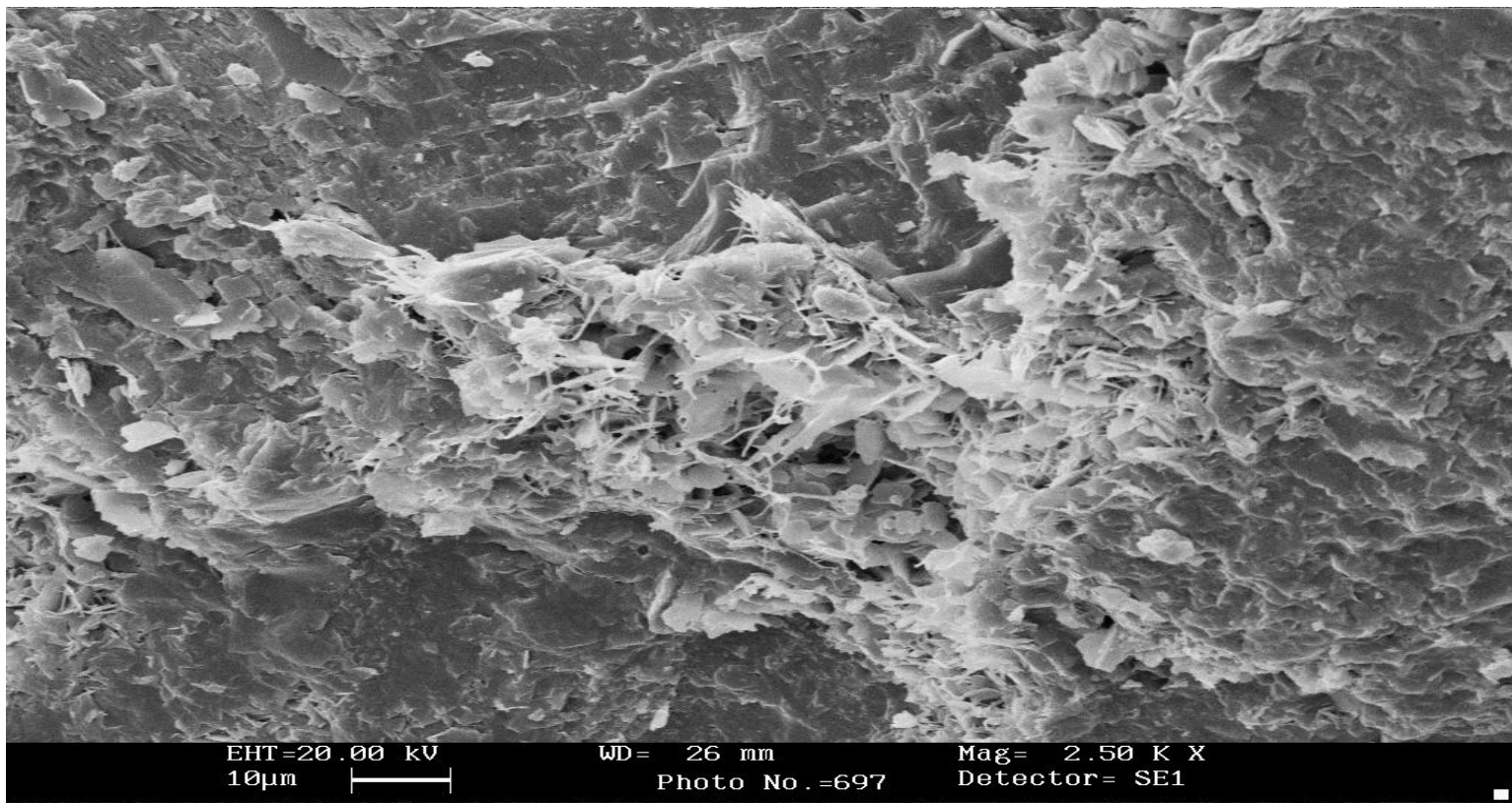
夏2井， 4347m， T1b ， 粒间六方板状高岭石 ， 放大倍数2000



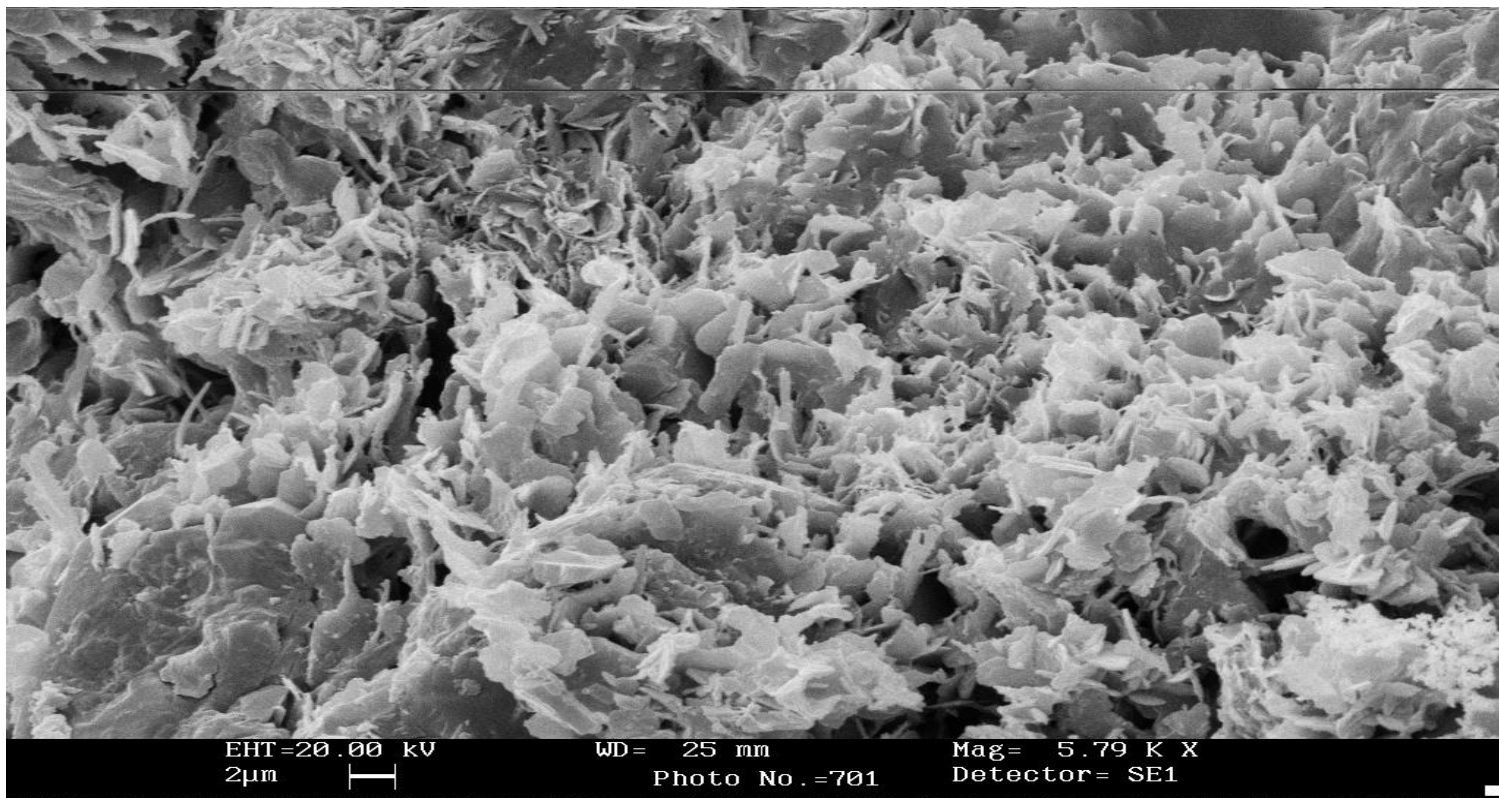
夏2井， 4348.61m， T1b ， 粒间叶片状绿泥石与石英 ， 放大倍数4000



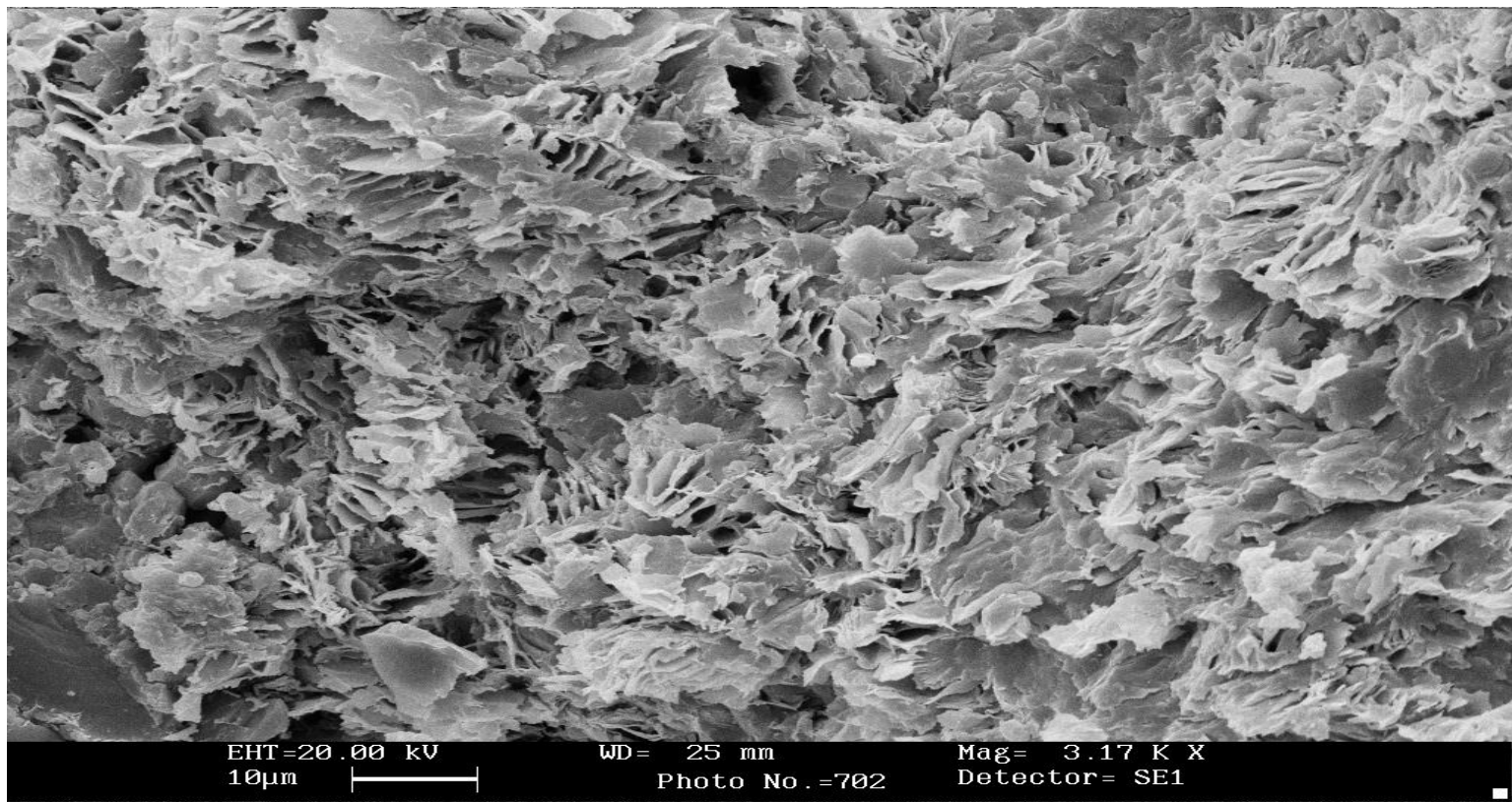
夏2井， 4348.61m， T1b ， 粒表蠕虫状高岭石 ， 放大倍数3000



夏2井， 4348.61m， T1b ， 叶片状绿泥石与丝状C/S混层 ， 放大倍数2500



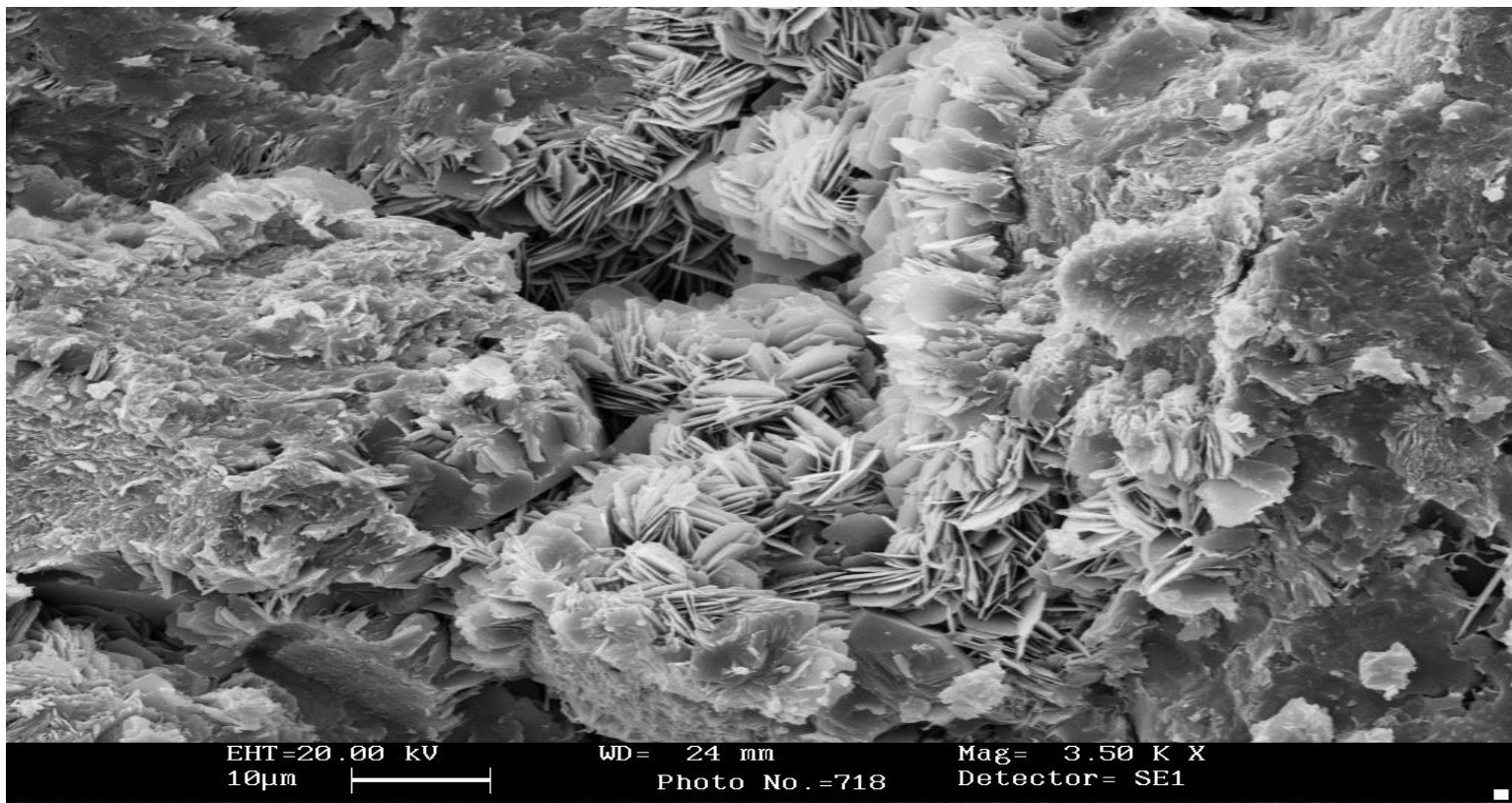
夏2井， 4405.69m， T1b ， 粒间片状C/S混层 ， 放大倍数5790



夏2井， 4405.69m， T1b ， 粒间、粒表片状伊利石 ， 放大倍数3170

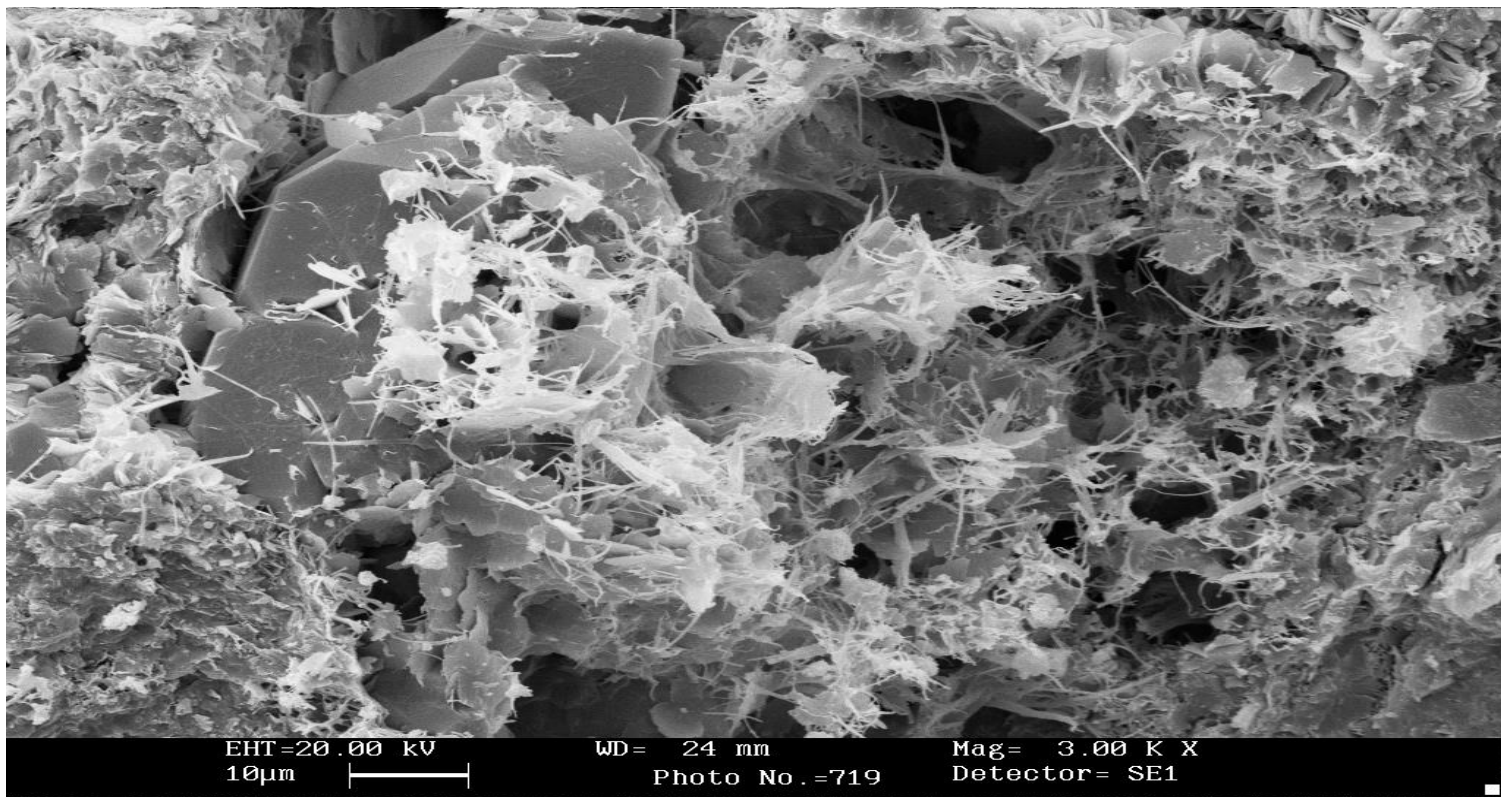


沙1井， 5452.34m ， T1b ， 粒间针叶状绿泥石 ， 放大倍数4000

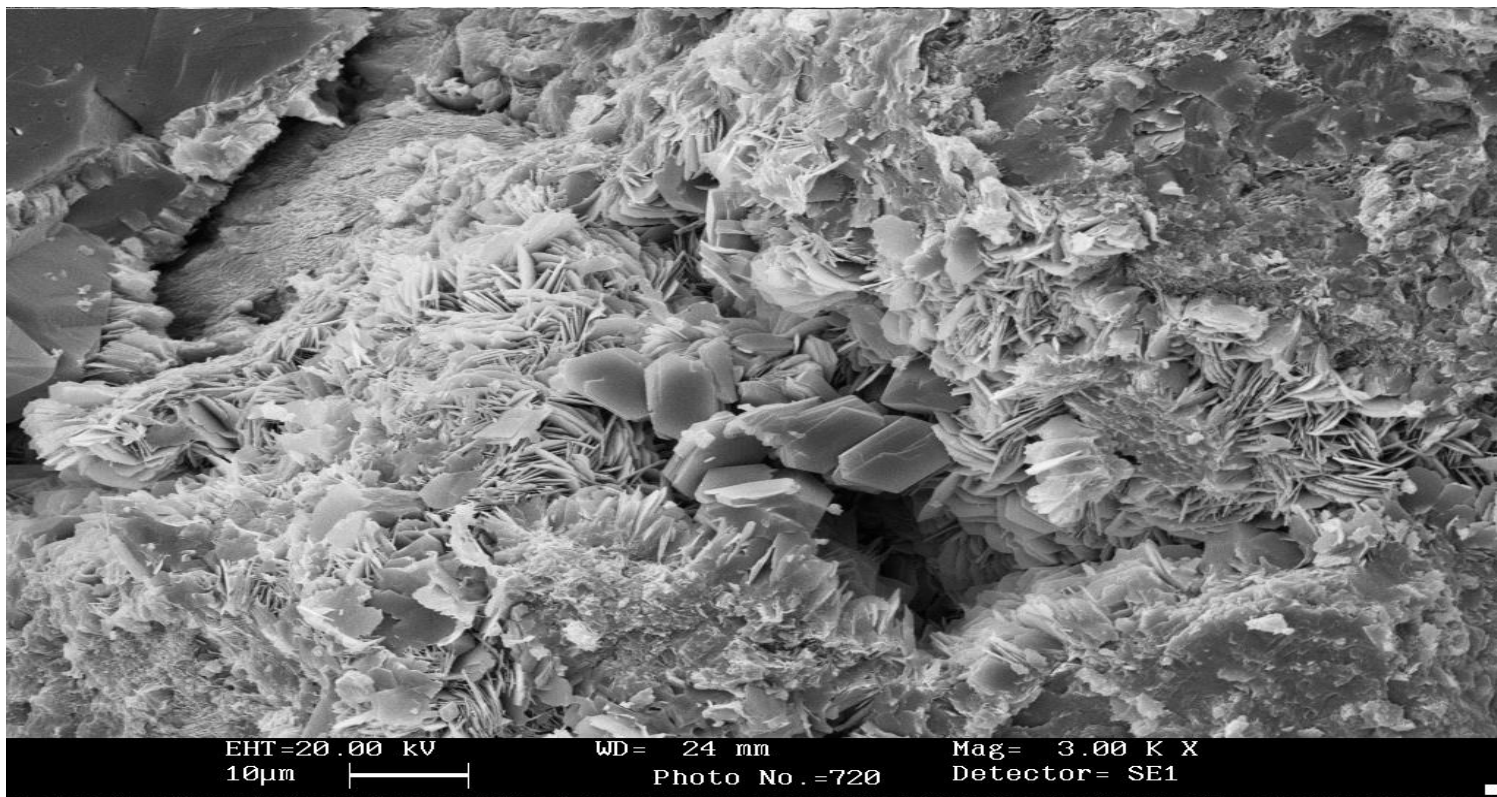


沙1井， 5452.34m ， T1b ， 粒间针叶状、绒球状绿泥石 ， 放大倍数3500

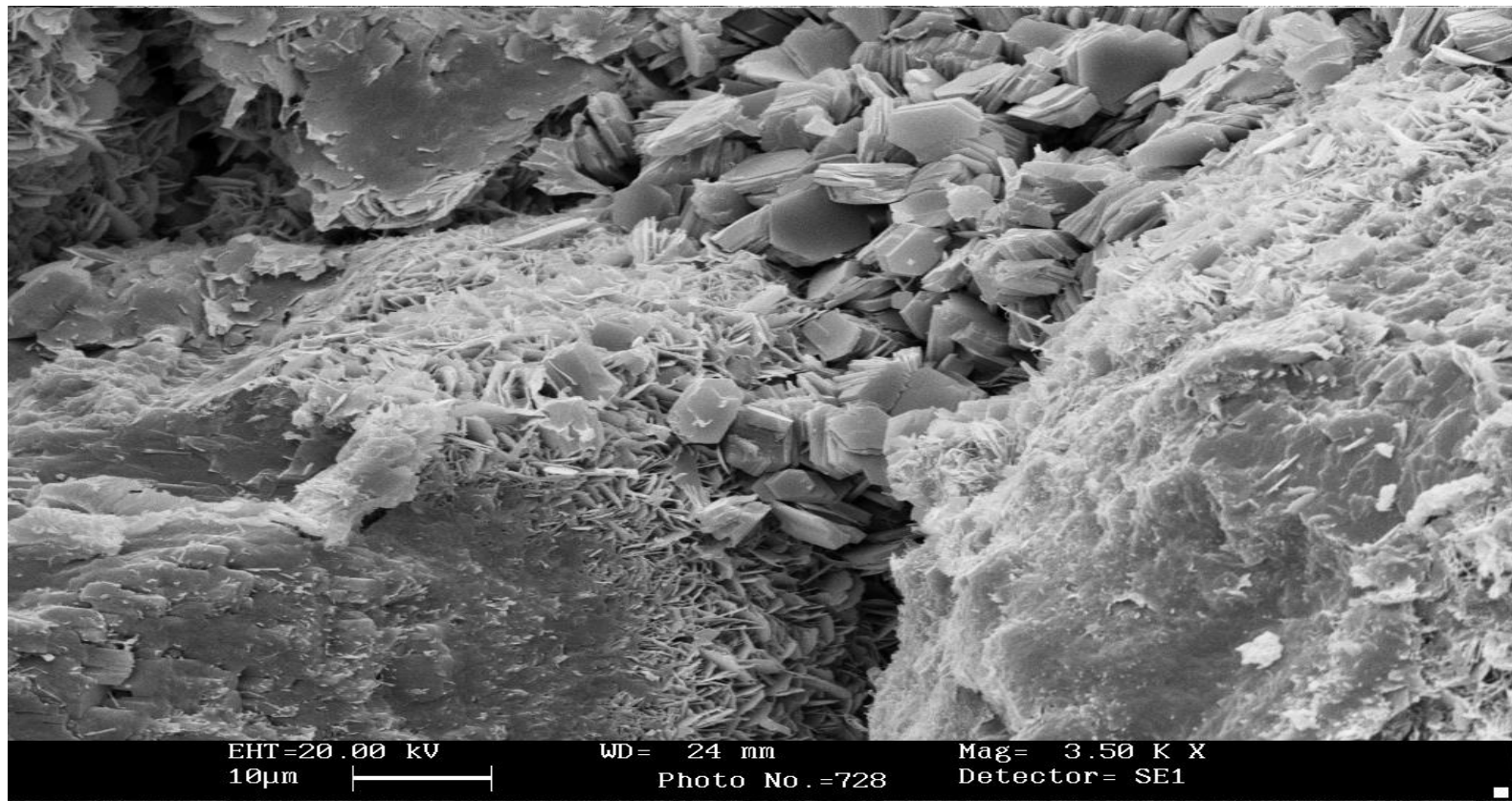




沙1井， 5452.34m ， T1b ， 次生孔隙内丝状伊利石 ， 放大倍数3000



沙1井， 5452.34m ， T1b ， 粒间高岭石与绿泥石， 放大倍数3000



沙1井， 5454.55m ， T1b ， 粒表绿泥石与粒间高岭石 ， 放大倍数3500

## 第二节 粘土岩的物质成分

---

### ■ 2.非粘土矿物

#### ■ 陆源碎屑矿物

■ 石英、长石、云母、少量的重矿物 单晶圆度差边缘模糊，不纯粘土岩

#### ■ 化学沉淀的自生矿物

■ 一般含量不到5%

■ Fe、Mn、Al的氧化物和氢氧化物、碳酸盐、氧化硅、硫酸盐、磷酸盐、氯化物、硫化物等。

#### ■ 有机物质——生油母质

## 第二节 粘土岩的物质成分

### 粘土岩的化学成分

- **主要：**  $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{H}_2\text{O}$ ，三者可达80%
- **次要：**  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 、 $\text{FeO}$ 、 $\text{MgO}$ 、 $\text{CaO}$ 、 $\text{NaO}$ 、 $\text{K}_2\text{O}$  等

### ■ 特征

- 粘土岩化学成分主要取决于**矿物成分、混入物、吸附的阳离子类型及含量**
- 粘土矿物常具有**吸附各种离子**的特性
- 粘土岩的化学成分与**沉积环境**有一定关系

# 第三节 粘土岩的结构、构造、颜色

## ■ 一、粘土岩的结构

### ■ (一) 根据粘土矿物颗粒及粉砂、砂的相对含量划分

#### ■ 1. 粘土结构/泥质结构: 粘土>90%, 粉砂(砂)<10%

- 岩石滑腻, 手捻或牙齿咀嚼感觉不出颗粒存在。常呈鱼鳞状或贝壳状断口

#### ■ 2. 含粉砂(砂)粘土结构: 粘土=75~90%, 粉砂(砂)10~25%

- 用手触摸具粗糙感, 刀切面不平整, 断口粗糙

#### ■ 3. 粉砂(砂)质粘土结构: 粘土=75~50%, 粉砂(砂)25~50%

- 用手触摸具有明显的颗粒感觉, 肉眼可见砂粒, 断口呈参差状

### ■ (二) 按粘土矿物的结晶程度和晶体形态划分

#### ■ 1. 非晶质结构 很少见, 仅见于水铝英石质岩石中。

#### ■ 2. 隐晶质结构★★★

# 第三节 粘土岩的结构、构造、颜色

---

## ■ 二、粘土岩的构造

### ■ (一) 宏观构造

#### ■ 层面构造

- 干裂、雨痕、虫迹、结核、晶体印痕

#### ■ 层理构造

##### ◆ 水平层理

- 水平细层厚度小于1cm者称为页状层理或页理；页理发育—页岩，页理不发育—泥岩。
- 水平细层的厚度小于1mm者称为纹理

##### ◆ 块状层理

#### ■ 生物扰动构造 生物潜迹

# 第三节 粘土岩的结构、构造、颜色

---

## ■ 二、粘土岩的构造

### ■ (二) 微观构造

显微构造是在显微镜下才能见到的微观构造：

- 1、**显微鳞片构造**：由极细小的、排列方向不规则的粘土矿物组成，常见于泥岩中。
- 2、**显微毡状构造**：由极细小的鳞片状、纤维状粘土矿物错综交织杂乱排列而成。在正交光下，纤体交错消光。
- 3、**显微定向构造**：为极细小的鳞片状或纤维状粘土矿



# 第三节 粘土岩的结构、构造、颜色

## ■ 三、粘土岩的颜色—主要是原生色，能反映生成环境

### ■ 影响粘土岩颜色的主要因素

#### ■ 粘土矿物成分、有机碳和铁离子状态

#### ■ 暗色（主要是灰色、黑色）

#### ■ 还原-强还原环境—（半）深湖/海、海湾、泻湖

富含有机质和分散状低价铁的硫化物（黄铁矿）

#### ■ 红色、紫红色

#### ■ 强氧化环境

粘土矿物颗粒间或颗粒表面存在分散状的高价氧化铁（赤铁矿、褐铁矿）薄膜

# 第四节 粘土岩的分类和沉积后变化

---

- 一、粘土岩的分类
- 尚无完善而又统一的方案：
  - 粘土岩的成分和成因较复杂；
  - 组成粘土岩的颗粒极细小，精确鉴定和含量统计都很困难；
  - 粘土矿物成岩作用中又极易变化。
- 按粘土矿物类型及含量
  - 1. 单矿物粘土岩：以一种粘土矿物为主，其含量 $>50\%$ 
    - 伊利石粘土岩，分布最广
    - 高岭石粘土岩
    - 蒙脱石粘土岩

# 第四节

# 粘土岩的分类和沉积后变化

## 粘土岩的综合分类

结构及成分		固结程度			强固结（重结晶矿物>50%）
		未-弱固结（未重结晶）	固结（未-中等重结晶）		
			无页理	有页理	
结构 (粉砂或砂含量)	< 10%	粘土	泥岩	页岩	泥板岩
	10%-25%	含粉砂（砂）粘土	含粉砂（砂）泥岩	含粉砂（砂）页岩	
	25%-50%	粉砂（砂）质粘土	粉砂（砂）质泥岩	粉砂（砂）质页岩	
粘土矿物成分	高岭石	高岭石粘土（高岭土）	高岭石泥岩	高岭石页岩	
	蒙脱石	蒙脱石粘土（膨润土）	蒙脱石泥岩	蒙脱石页岩	
	伊利石	伊利石粘土	伊利石泥岩	伊利石页岩	
	海泡石	海泡石粘土	海泡石泥岩	海泡石页岩	
	高岭石、蒙脱石	高岭石-蒙脱石粘土	高岭石-蒙脱石泥岩	高岭石-蒙脱石页岩	
	高岭石、伊利石	高岭石-伊利石粘土	高岭石-伊利石泥岩	高岭石-伊利石页岩	
混入物成分	蒙脱石、伊利石	蒙脱石-伊利石粘土	蒙脱石-伊利石泥岩	蒙脱石-伊利石页岩	
	钙质	—	钙质泥岩	钙质页岩	
	铁质		铁质泥岩	铁质页岩	
	硅质		硅质泥岩	硅质页岩	
有机质	碳质泥岩、暗（黑）色泥岩		碳质页岩、黑色页岩、油页岩		

# 第四节 粘土岩的分类和沉积后变化

---

## 二、粘土沉积物的沉积后变化

### (一) 压实作用：

- 粘土物质沉积后处于软泥状态，原始孔隙度高达70%—90%，孔隙中饱含自由水。
- 随着埋藏深度增加，在上覆水体和沉积物负荷的重压下，粘土质点将重新排列、变形或破裂，孔隙水不断排出，原始粘土沉积物孔隙度大大降低，体积缩小，最后被压实固结成为粘土岩。
- 粘土沉积物在被压实的过程中，若处在一个较封闭的系统中，上覆沉积负荷在粘土岩中产生超孔隙压力，孔隙流体支撑了大部

# 第四节 粘土岩的分类和沉积后变化

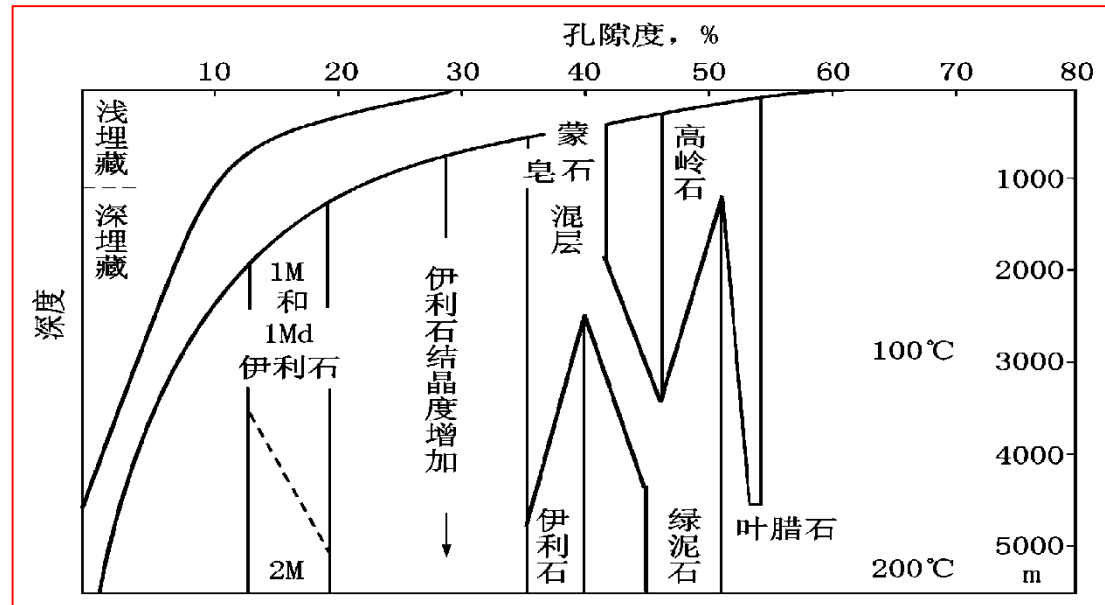
粘土沉积物在被压实的过程中，孔隙度的减少和埋深的增加并非直线关系。

■ 埋深300-500m,

粘土矿物中孔隙水容易排出，孔隙度急剧降低

■ 埋深大于500m时，

层间水和结构水排出变难，孔隙度降低显著变慢



粘土沉积物埋深压实变化  
(据Fuchtbauer,1978)

# 第四节 粘土岩的分类和沉积后变化

---

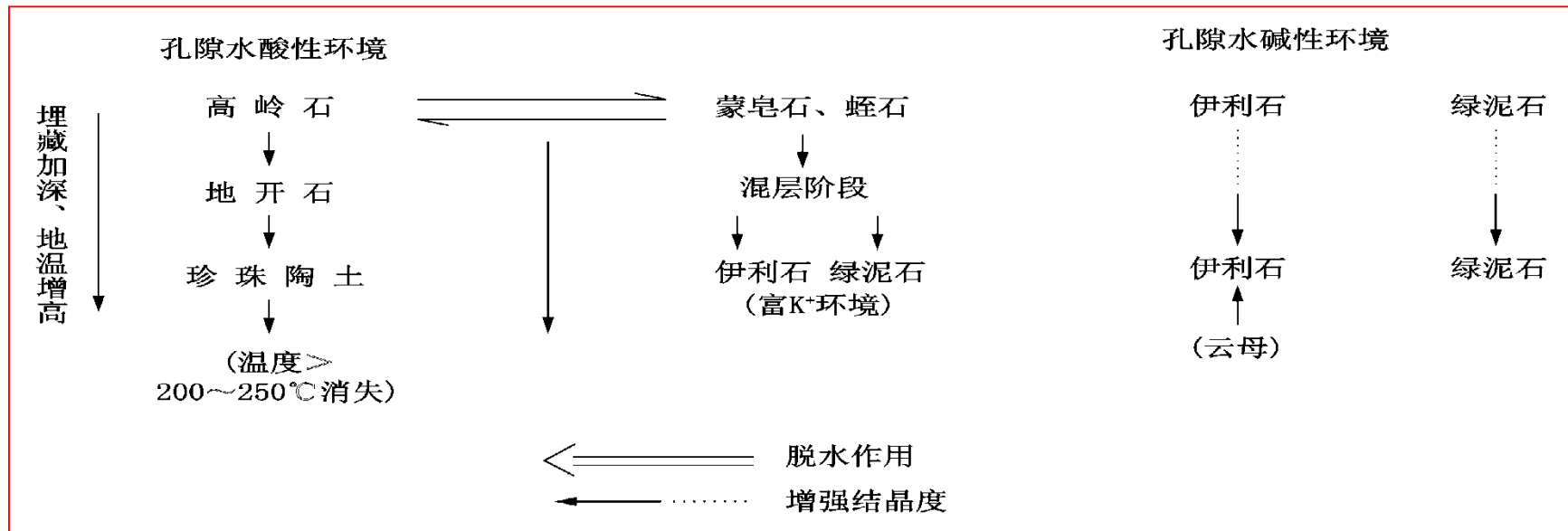
## 二、粘土沉积物的沉积后变化

### (二) 粘土矿物的转化作用

随着埋深加大，压力和温度增高，以及粘土矿物层间水的释放和层间阳离子的移出，粘土矿物之间将发生转化作用。

- 浅埋条件下，主要为高岭石和蒙脱石
- 深埋条件下，转化成伊利石和绿泥石

# 第四节 粘土岩的分类和沉积后变化



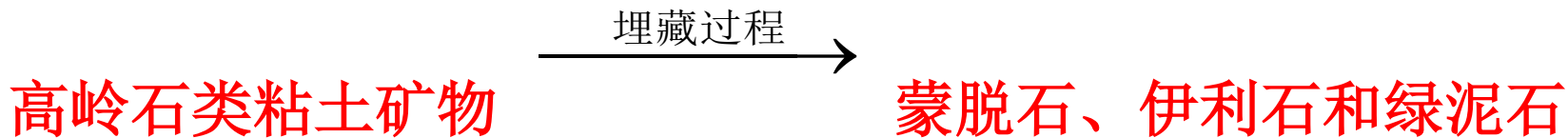
各类粘土矿物在埋藏成岩过程中的转化综合示意图  
(据H.F.肖, 1980)

# 第四节 粘土岩的分类和沉积后变化

---

## (二) 粘土矿物的转化作用

### 1. 高岭石的转化



#### ■ 控制因素

■ 埋藏深度（温度、压力）

■ 介质的地球化学环境（pH值、离子浓度）



## 第四节 粘土岩的分类和沉积后变化

### ■埋藏深度（温度、压力）

高岭石  $\frac{(80^{\circ} - 140^{\circ} C) \text{消失}}{\text{通常} 90^{\circ} - 110^{\circ}}$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{地开石 } (110^{\circ} - 160^{\circ}) \\ \text{珍珠陶土} \end{array} \right.$

### ■介质的地球化学环境（pH值、离子浓度）

- **酸性介质中**，高岭石保持稳定，即使是温度升高、压力增大，也不会向蒙脱石、伊利石转化
- **从酸性介质到碱性介质**，高岭石的稳定性减小，若有 $K^{+}$ 离子存在，则**转化为伊利石**；若有 $Ca^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 、 $Na^{+}$ 离子存在，则**转化为蒙脱**

# 第四节 粘土岩的分类和沉积后变化

---

## (二) 粘土矿物的转化作用

### ■ 2. 蒙脱石的转化

- 温度在100-130°C， $K^+$ 和 $H^+$ 比例接近正常海水时，蒙脱石转变为蒙脱石 / 伊利石混层粘土（深度1200-3500m），进一步转变为伊利石
- 如果有 $Fe^{2+}$ 、 $Mg^{2+}$ 存在，蒙脱石转变为蒙脱石 / 绿泥石混层粘土，进一步转变为绿泥石

### ■ 必须指出

- 1) 蒙脱石向伊利石或绿泥石转化的重要条件是孔隙水为碱性介质。
- 2) 如果孔隙水为酸性，蒙脱石则将向高岭石转化。

# 第四节 粘土岩的分类和沉积后变化

---

## (二) 粘土矿物的转化作用

### ■ 3. 伊利石和绿泥石的转化

■ 孔隙水呈碱性，二者不发生转化。

■ 随着埋深的增加，地温增高，二者结晶程度增加。因此，它们可以作为成岩过程中重结晶作用强度的指示剂。

■ 孔隙水呈酸性，伊利石和绿泥石均不稳定，可以转化为高岭石。

■ 伊利石和绿泥石的转化作用是地温作用的

# 第四节 粘土岩的分类和沉积后变化

---

## (二) 粘土矿物的转化作用

### ■ 4. 混层粘土矿物的转化

■ 混层粘土为大多数粘土矿物转化的中间产物，常起着粘土矿物转化的指示剂作用。

■ 实质：在成岩过程中，粘土矿物层间某些阳离子组合和晶格重新排列，首先形成不规则（无序）混层，进而转化为规则（有序）混层。如蒙脱石转化为伊利石或绿泥石都要经过不规则混层和规则混层两个阶段

# 第四节 粘土岩的分类和沉积后变化

---

## (三) 粘土矿物的脱水作用

■ 粘土沉积物中通常存在有四种水：

■ 孔隙水（粒间水、自由水）

■ 存在于粘土沉积物颗粒间的孔隙中，可以自由流动

■ 吸附水（薄膜水）

■ 由粘土颗粒表面的吸附作用而形成的颗粒表面的水化薄膜

■ 层间水（结晶水）

■ 以水分子形式存在于粘土矿物晶体结构单元层之间的水

■ 结构水（化合水）

■ 以OH-的形式出现于粘土矿物晶体结构内部

# 第四节 粘土岩的分类和沉积后变化

---

## ■ (三) 粘土矿物的脱水作用

- 根据伯斯特(1969)的研究, 蒙脱石转化过程中的脱水作用可划分为三个阶段:
  - 第一阶段: 1000~1500m以内, 主要由压实作用脱去孔隙水和过量的层间水(多于两层的)。脱水速度最快阶段。
  - 第二阶段: >1500m, 地温60~130°C, 主要是热力作用脱去残留层间水而转化为混层粘土矿物。
  - 第三阶段: 埋深>2700m, 这一阶段因埋深继续增加和地温的继续升高, 蒙脱石脱去最后一层残余层间水。最终转变为非混层的伊利石。