

第二章 沉积岩的形成及演化

Formation and evolution of sedimentary rocks



第一节 沉积岩原始物质的形成

**formation of the most primitive
materials of sedimentary rocks**



一、风化作用的概念

风化作用（weathering）是地壳最表层的岩石在温度变化、大气、水、生物等因素的作用下，发生机械破碎和化学变化的一种作用。
风化作用是对地表岩石的一种破坏作用。





风化作用按其性质可分为三种类型：

物理风化作用（physical weathering）：发生机械破碎而化学成分不改变。

化学风化作用（chemical weathering）：母岩发生氧化、水解、溶虑等化学变化而分解，形成新矿物。

生物风化作用（biological weathering）：常常伴随物理风化和化学风化。





二、各种造岩矿物的风化及其产物

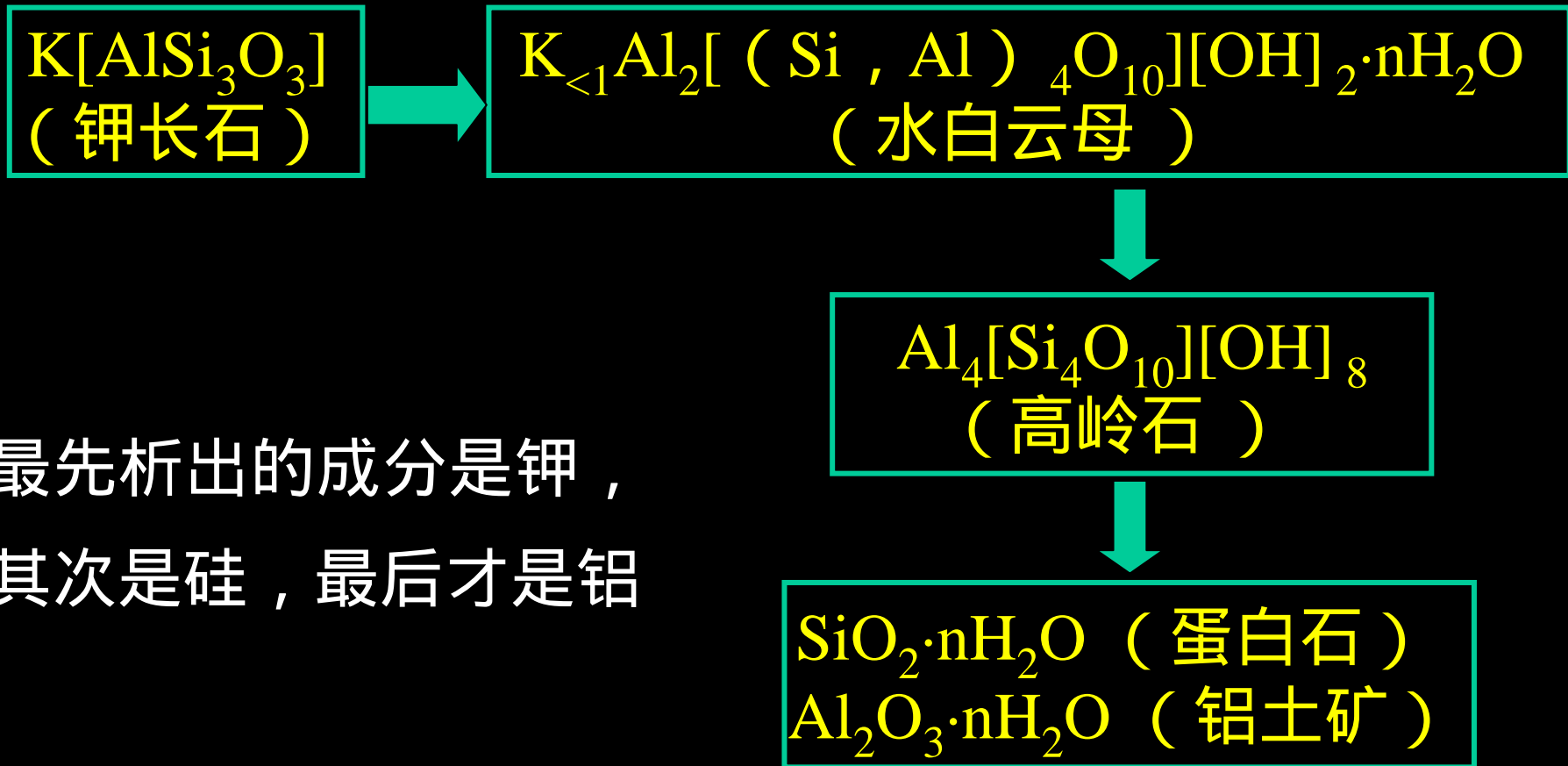
Weathering and products of various
rock-forming minerals

◆**石英**（quartz）：主要的造岩矿物，在风化作用中稳定性极高，它几乎不发生化学溶解作用，一般只发生机械破碎作用。

注：**矿物**是地壳上各种地质作用形成的，在一定的物理化学条件下相对稳定的自然体，是地壳中岩石、矿石和粘土的组成单位。



◆长石（feldspar）：稳定性次于石英，风化稳定性由高到低的顺序是：钾长石、多钠的酸性斜长石、中性斜长石、多钙的基性斜长石。



最先析出的成分是钾，
其次是硅，最后才是铝



◆云母 (mica) : 白云母抗风化能力较强

白云母在风化过程中，主要是析出钾和加入水，先变成水白云母，最后变为高岭石

黑云母的抗风化能力比白云母差得多。黑云母遭受风化后，钾、镁等成分首先析出，同时加入水，转变为蛭石、绿泥石、褐铁矿等



- ◆ **橄榄石、辉石、角闪石**等镁硅酸盐矿物抗风化能力低。 这些矿物在风化产物中保留较少，故在沉积岩中较少见。
- ◆ **各种粘土矿物**（如高岭石、蒙脱石、水云母等）在风化带中相当稳定。
- ◆ **各种碳酸盐矿物**如方解石、白云石等，风化稳定性甚小，极易溶于水并顺水转移。



◆各种硫酸盐矿物（如石膏、硬石膏）、硫化物矿物（如黄铁矿）、卤化物矿物（如石盐）等，风化稳定性最低，最易溶于水，呈溶液状态流失走。

◆重矿物（heavy mineral）：风化稳定性的差别很大，如锆石、金红石、电气石等较稳定，为沉积岩中常见的稳定重矿物。



以下各种造岩矿物抗风化能力强弱排列正确的是（ ）。

A . 钾长石 > 石英 > 黑云母

B . 方解石 > 斜长石 > 黑云母

C . 石英 > 微斜长石 > 方解石

D . 白云石 > 中性斜长石 > 方解石





影响造岩矿物风化稳定性的因素：

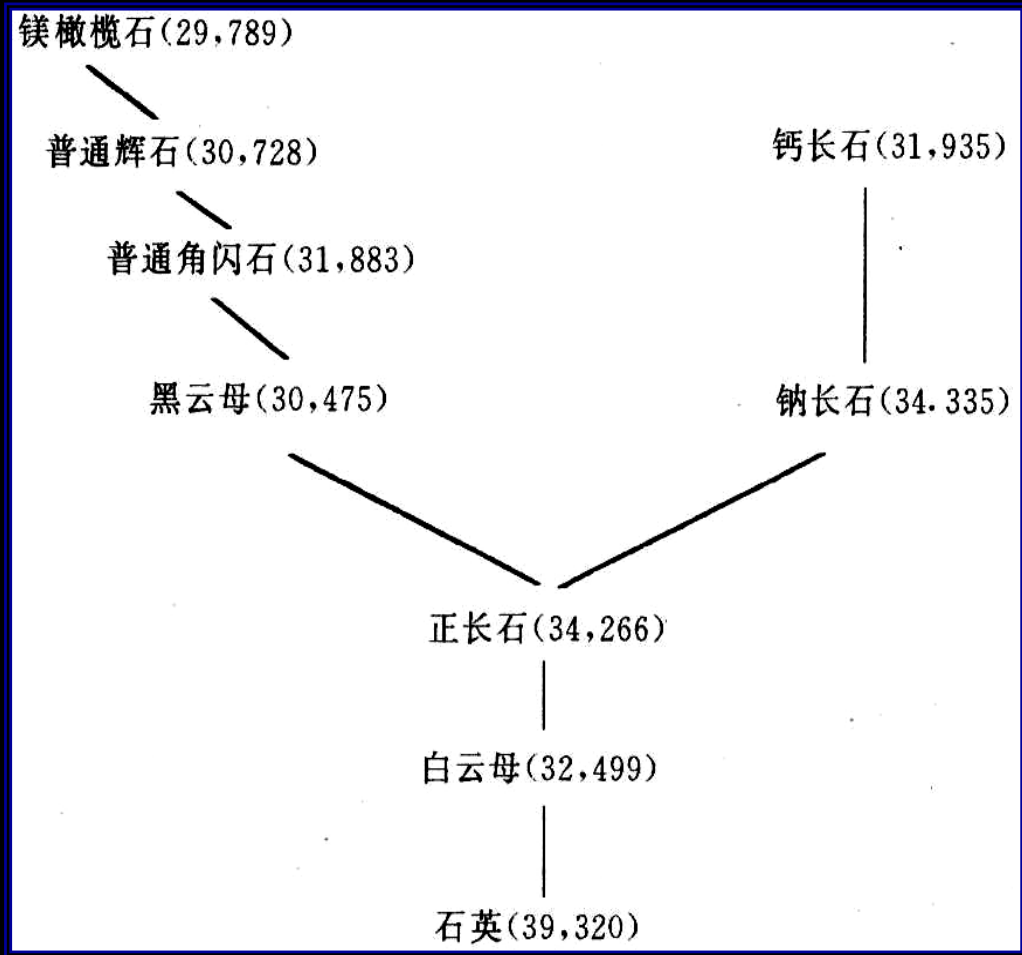
①与它们的结晶温度有关

- 在岩浆岩的主要造岩矿物中，橄榄石结晶温度最高，其风化稳定性最低，最易被风化破坏掉。
- 辉石、角闪石、黑云母的结晶温度依次降低，而它们的风化稳定性却依次增高。
- 基性斜长石、中性斜长石、酸性斜长石、钾长石的结晶温度也依次降低，它们的风化稳定性也依次增高。
- 石英的结晶温度最低，故其抗风化能力最强。



②与其化学成分的化学活泼性（主要是在水中的溶解能力）有关

③与其晶体构造特征及化学键强度有关





三、各种岩石的风化及其产物

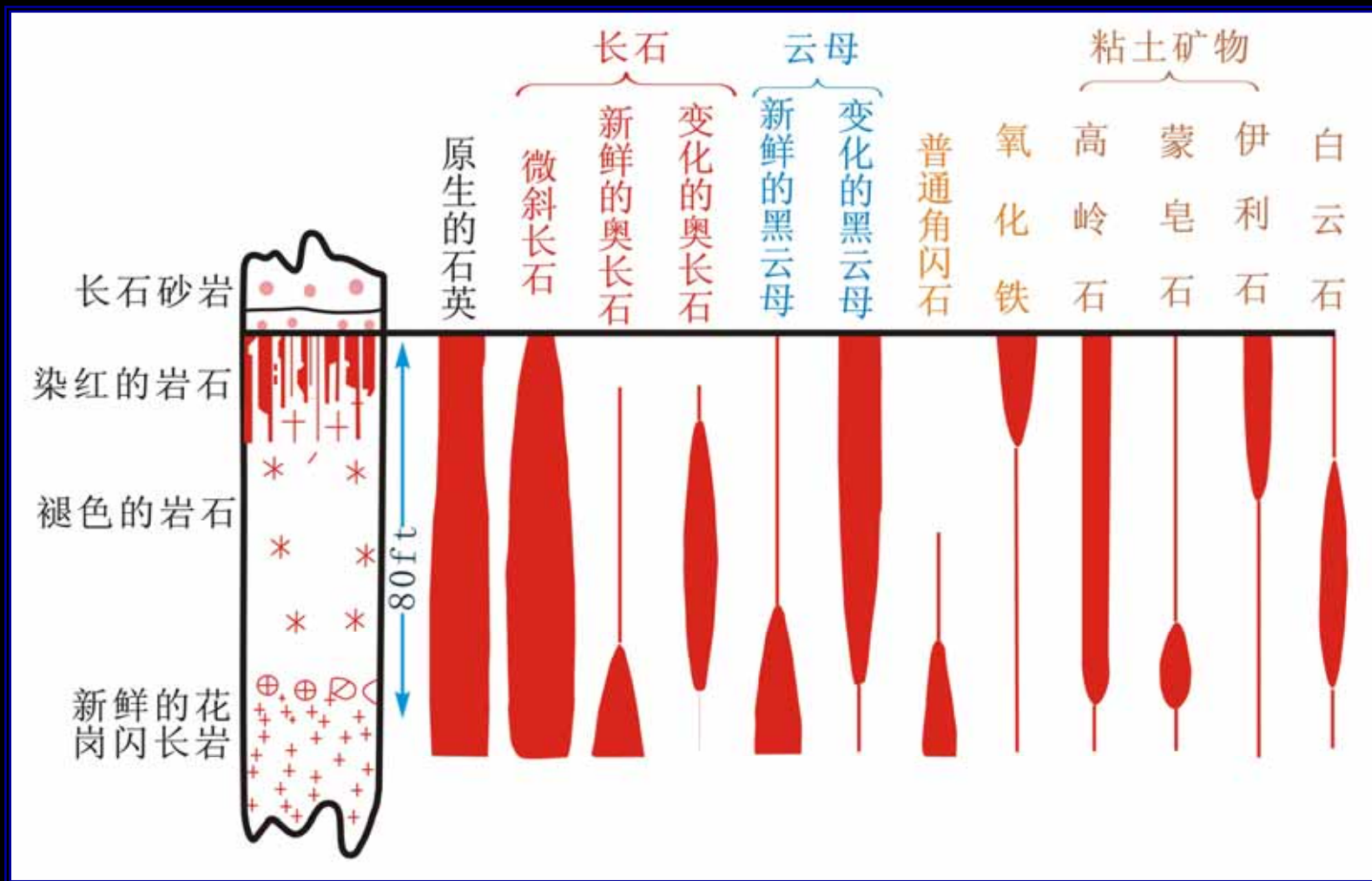
Weathering and products of various rocks

岩石是**矿物的集合体**，因此岩石的风化及其产物主要由组成它的矿物的风化情况决定的。



花岗岩的风化作用

矿物成分	化学组分	所发生的变化	风化产物
石英	SiO_2	残留不变	砂粒
钾长石	K_2O	成为碳酸盐，氧化物进入溶液	溶解物质
	Al_2O_3	水化后成为含水铝硅酸盐	粘土
	6SiO_2	少部分 SiO_2 游离出来，溶于水中	溶解物质
斜长石	$3\text{Na}_2\text{O}$	成为碳酸盐，氯化物进入溶液	溶解物质
	CaO	成为碳酸盐，溶于含 CO_2 的水中	溶解物质
	$4\text{Al}_2\text{O}_3$	同钾长石	粘土
	20SiO_2		溶解物质
白云母	$2\text{H}_2\text{O}$ K_2O $3\text{Al}_2\text{O}_3$ 20SiO_2	残留不变	云母碎片
黑云母	H_2O	水溶液	水溶液
	K_2O	成为碳酸盐、氯化物进入溶液	溶解物质
	Al_2O_3	生成含水铝硅酸盐	粘土
	$2(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O}$	成为碳酸盐，氯化物进入溶液，碳酸盐氧化为赤铁矿、褐铁矿等	溶解物质及色素
	3SiO_2	部分 SiO_2 游离出来，溶于水中	溶解物质
锆英石	ZrO_2 SiO_2	残留不变	砂粒（重矿物）
磷灰石	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$ (F, Cl, OH)	溶解或残留不变	溶解物质或砂粒 (重矿物)



科罗拉多州密西西比纪鲍尔德附近花岗闪长岩体风化剖面



中性和碱性侵入岩的风化情况大体与花岗质岩石相似

基性和超基性侵入岩主要由较易风化的橄榄石、辉石、基性斜长石组成，远比花岗质岩石易风化

火山岩及火山碎屑岩由于含有相当多的甚至大量的玻璃质或火山灰，故其风化速度相当快

沉积岩的风化情况比较简单，其中以蒸发岩最易溶解、最易风化，碳酸盐岩次之，粘土岩、石英砂岩、硅岩等最难风化



四、母岩风化过程中元素的转移顺序及母岩风化的阶段性

Transportation sequence of elements in the course of weathering of source rocks , and stages of weathering

1. 风化过程中元素的析出顺序

母岩在化学风化过程中表现为某些元素的淋滤分散和另外一些元素的残积富集两个方面。各种元素在特定的风化条件下迁移能力是不一样的，因而造成各种元素按一定顺序从母岩中分离出来——即元素的风化分异。



前苏联学者雷波诺夫（1934）首先根据河水中元素的含量与该河流域的岩石中相应元素的含量相比较的办法，了解各种元素迁移的相对活动性，并得出了元素迁移序列。

岩浆岩平均化学成分与流经该地区的河流流水溶解物质平均化学成分的对比

	岩浆岩的平均化学成分, %	流经岩浆岩地区的河流流水溶解物质的平均成分, %	元素及化合物的相对转移性		岩浆岩的平均化学成分, %	流经岩浆岩地区的河流流水溶解物质的平均成分, %	元素及化合物的相对转移性
SiO ₂	59.09	12.80	0.20	Na	2.97	9.50	2.40
Al ₂ O ₃	15.35	0.90	0.02	K	2.57	4.40	1.25
Fe ₂ O ₃	7.29	0.40	0.04	Cl ⁻	0.05	6.75	100.00
Ca	3.00	14.70	3.00	SO ₄ ²⁻	0.15	11.60	57.00
Mg	2.11	4.90	1.30	CO ₃ ²⁻	—	38.50	—



彼列尔曼（1955）在雷波诺夫的研究基础上提出了水迁移系数— K_x ，用来衡量元素在风化带中的迁移能力。

$$K_x = \frac{\text{河水干渣中X元素含量}}{\text{河流域岩石中X元素含量}} = \frac{m_x * 100}{a * n_x}$$

其中： m_x —x元素在河水中的含量（mg/l）

a —河水中矿物残渣总量（mg/l）

n_x —x元素在流域岩石中的平均含量（%）



将风化带中的元素分为五类：

- ① **最易转移元素** ($K_x = n \cdot 10 \sim n \cdot 10^2$) : Cl, Br, I, S
- ② **易转移元素** ($K_x = n \sim n \cdot 10$) : Ca, Mg, Na, K
- ③ **可转移元素** ($K_x = n \cdot 10^{-1} \sim n$) : Mn, Si (硅酸盐), P, Cu
- ④ **略可转移元素** ($K_x < n \cdot 10^{-1}$) : Fe, Al, Ti,
- ⑤ **基本不转移元素** ($K_x = n \cdot 10^{-10}$) : Si (石英)



在化学风化过程中，造岩元素或化合物的抗风化能力强弱排列正确的是（ ）。

- A. $P > K > Fe$ B. $Al > SiO_2$ (石英) $> Ca$
C. $Cl > K > SiO_2$ (石英) D. $Al > Mg > S$

在化学风化过程中，造岩元素或化合物的抗风化能力强弱排列正确的是（ ）。

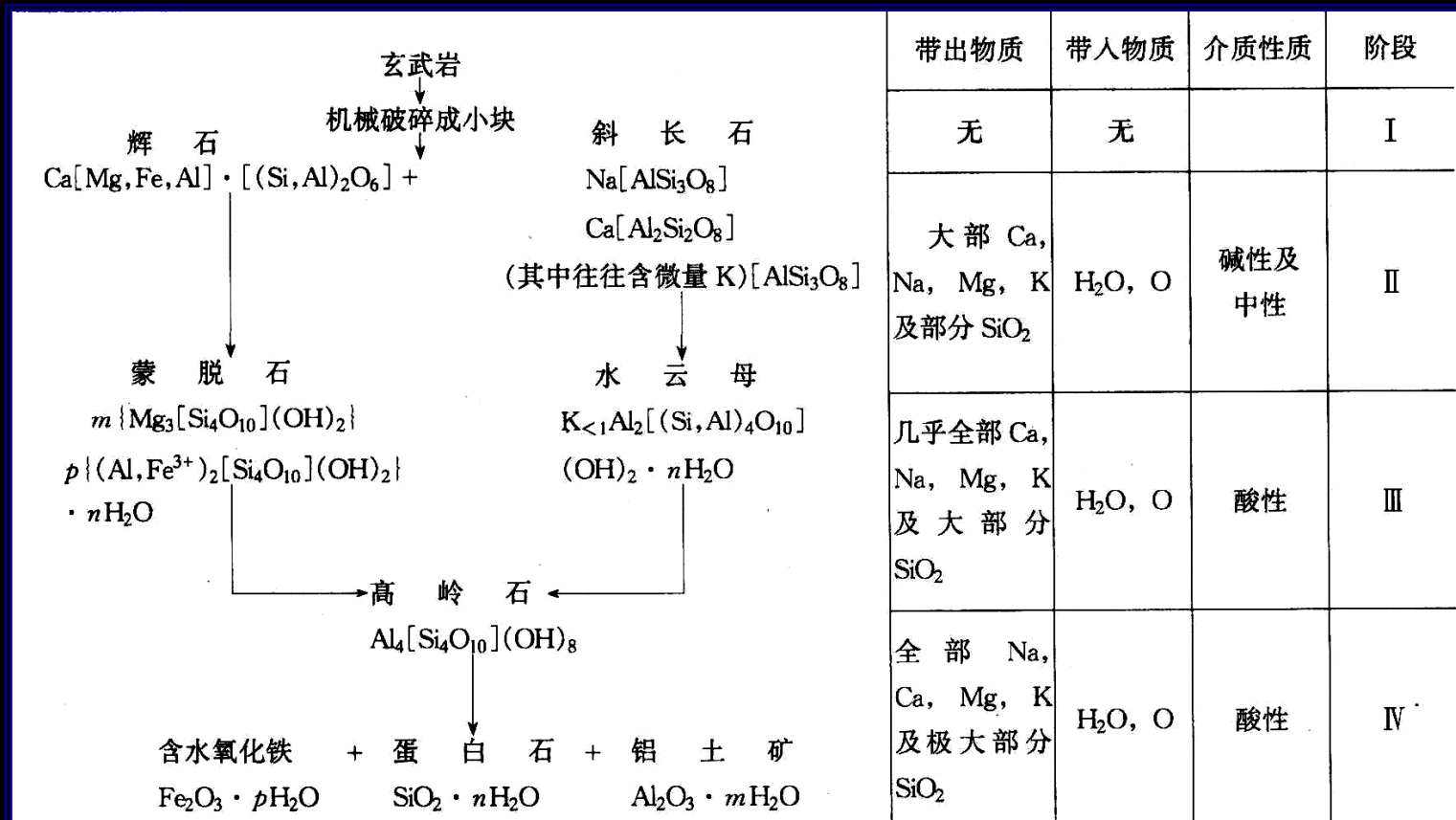
- A. $P > K > Fe$ B. SiO_2 (石英) $> Al > Mg$
C. $Cl > K > SiO_2$ (石英) D. $Al > Br > Ca$





2. 母岩风化的阶段性

波雷诺夫根据元从风化带中析出的顺序，将结晶岩的风化过程分为四个阶段，不同阶段有其独特的风化产物。





(1) 破碎阶段（碎屑阶段）：以物理风化为主，风化产物主要为岩屑或矿物碎屑

(2) 饱和硅铝阶段：岩石中的氯化物和硫酸盐将全部被溶解，首先带出 Cl^- 和 SO_4^{2-} 。然后在 CO_2 和 H_2O 的共同作用下，铝硅酸盐和硅酸盐矿物开始分解，游离出碱金属和碱土金属（ K^+ 、 Na^+ 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} ）盐基，其中Ca和Na的流失比K和Mg要快些。这些阳离子组成弱酸盐，使溶液呈碱性或中性反应，并使一部分 SiO_2 转入溶液。此阶段的粘土矿物有蒙脱石、水云母、拜来石、绿脱石等。同时碱性条件下难溶的 CaCO_3 开始堆积。



(3) 酸性硅铝阶段 (粘土型风化作用) : 碱金属和碱土金属大量被溶滤掉, SiO_2 进一步游离出来。因此碱性条件逐渐为酸性条件所代替。使上阶段形成的矿物 (蒙脱石和水云母等) 转变成在酸性条件下稳定的不含碱和碱土金属的粘土矿物高岭石和变埃洛石等。

(4) 铝铁土阶段 (红土型风化作用) : 风化的最后阶段。在此阶段, 铝硅酸盐被彻底地分解, 全部可移动的元素都被带走。主要剩下铁和铝的氧化物及一部分 SiO_2 , 在原地形成水铝石、针铁矿、赤铁矿及蛋白石的堆积。由于它是一种红色疏松的铁质或铝质土镶, 所以也称红土。



五、母岩风化产物的类型

矿物成分	化学组分	所发生的变化	风化产物
石英	SiO_2	残留不变	砂粒
钾长石	K_2O	成为碳酸盐，氧化物进入溶液	溶解物质
	Al_2O_3	水化后成为含水铝硅酸盐	粘土
	6SiO_2	少部分 SiO_2 游离出来，溶于水中	溶解物质
斜长石	$3\text{Na}_2\text{O}$	成为碳酸盐，氯化物进入溶液	溶解物质
	CaO	成为碳酸盐，溶于含 CO_2 的水中	溶解物质
	$4\text{Al}_2\text{O}_3$	同钾长石	粘土
	20SiO_2		溶解物质
白云母	$2\text{H}_2\text{O}$ K_2O $3\text{Al}_2\text{O}_3$ 20SiO_2	残留不变	云母碎片
黑云母	H_2O	水溶液	水溶液
	K_2O	成为碳酸盐、氯化物进入溶液	溶解物质
	Al_2O_3	生成含水铝硅酸盐	粘土
	$2(\text{Mg}, \text{Fe})\text{O}$	成为碳酸盐，氯化物进入溶液，碳酸盐氧化为赤铁矿、褐铁矿等	溶解物质及色素
	3SiO_2	部分 SiO_2 游离出来，溶于水中	溶解物质
锆英石	ZrO_2 SiO_2	残留不变	砂粒（重矿物）
磷灰石	$\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3$ (F, Cl, OH)	溶解或残留不变	溶解物质或砂粒 (重矿物)



1. **碎屑残留物质**：母岩的岩石碎屑或矿物碎屑（岩屑和矿屑）。
2. **新生成的矿物**：主要是在化学风化作用过程中新生成的一些矿物，如水白云母、高岭石、蒙脱石、蛋白石和铝土矿等。
3. **溶解物质**：主要是指在化学风化过程中被溶解的那些成分，如Cl、S、Ca、Mg、K、Na、Si、Fe、Al、P等。



六、风化壳 (Weathering crust)

定义：由风化残余物质组成的地表岩石的表层部分，或者说已经风化了的地表岩石的表层部分。



刘家场水岩屋覃家庙组顶部的风化壳



鄂尔多斯延安组 (J_2y) 顶部古暴露面：高岭土化和硅结层





七、沉积物的其它来源

1. **生物成因的沉积物**：生物遗体，一部分为无机成分为主的生物残骸，另一部分为有机生物残体，即动植物的软体（有机质）。
2. **深部来源的沉积物**：由火山爆发作用带到地表或水下的火山碎屑物，沿深断裂流出地表或注入地下的热卤水、温泉、热气液等。
3. **宇宙来源的沉积物**：从宇宙空间落到地球上的陨石及其尘埃。



本节要点：

- 风化作用的概念及类型
- 各种矿物抗风化能力的强弱（重点）
- 各类沉积岩抗风化能力的强弱（重点）
- 风化过程中元素的转移顺序（重点）
- 母岩风化的阶段性
- 母岩风化的产物类型（重点）
- 风化壳的概念