

# 大别山南、北坡花岗岩风化作用的差异 及其构造、气候环境意义\*

续海金<sup>①</sup> 马昌前<sup>②\*\*</sup> 刘 凡<sup>③</sup> 杨坤光<sup>②</sup>

(<sup>①</sup>中国地质大学研究生院, 武汉 430074; <sup>②</sup>中国地质大学地球科学学院, 武汉 430074;

<sup>③</sup>华中农业大学资源环境与农业化学系, 武汉 430070)

**摘要** 对大别山南、北坡燕山期花岗岩风化壳研究表明: 南坡司空山黑云母二长花岗岩风化壳为剥蚀型风化壳, 在水解作用以及酸性介质条件下脱碱、钙、硅和富铝, 主要矿物学演化是长石、黑云母风化蚀变为伊利石→(蛭石→1.4 nm 过渡矿物)→高岭石→多水高岭石。北坡河棚黑云母正长花岗岩风化壳为稳定型风化壳, 在氧化作用以及弱酸偏中性介质条件下无硅的淋失、富铁和非晶化作用显著, 主要矿物学演化是长石、黑云母转变为蒙脱石、多水高岭石→非晶质。这些结果显示, 大别山南、北坡风化作用的差异可能与气候条件和构造运动的差异有关, 即, 南坡高温多雨, 淋溶强烈, 土壤处于酸性环境, 经历过构造抬升; 北坡高温少雨, 淋溶较弱, 土壤处于弱酸偏中性环境。

**关键词** 大别山 花岗岩 风化作用 矿物学 地球化学

花岗岩类的风化过程已成为国际地学界热烈讨论的话题。已有的研究主要从地球化学<sup>[1-8]</sup>和矿物学<sup>[9-12]</sup>等方面入手, 讨论花岗岩的化学风化速率<sup>[1-3]</sup>、风化过程中元素的迁移-富集规律和同位素分馏<sup>[3-6]</sup>及风化壳的定年<sup>[7,8]</sup>等。而对于形成年代相同和成分相似的母质, 在相同的地理条件(地形、海拔)和不同的地质以及气候条件下风化作用的差异还缺乏系统研究。

大别山是晚三叠世华北板块与扬子板块碰撞形成的中央造山带的重要组成部分, 基岩由太古代和元古代变质岩组成, 花岗岩类侵入其中<sup>[13]</sup>。近年来, 人们的目光都集中于大别山超高压变质岩<sup>[14]</sup>, 而本文主要研究碰撞后花岗岩类的风化壳。我们从大别山南、北坡各选择一个燕山期花岗岩的风化壳剖面, 研究在风化过程中从基岩到顶部土壤层元素迁移-富集、原生矿物残余碎屑的分布特征、粘土矿物组合的演化以及它们对气候环境和构造背景的反映。

## 1 风化壳剖面

大别山南坡司空山黑云母二长花岗岩风化壳(SKS)位于安徽省太湖县沙河镇南东 6 km 处。新鲜的花岗岩呈灰白色, 经风化后呈褐红色。土壤层(A 层)厚 40~50 cm, 灰褐色, 质地松软, 有机质和矿物颗粒堆积, 顶部植被发育; 下部淋滤层(E 层)和淀积层(B 层)厚约 270 cm, 浅红褐色, 质地明显变硬, 层内有裂隙; 母质层(C 层)厚 > 110 cm, 灰白色, 保留原岩结构。基岩的主

2001-12-03 收稿

\* 国土资源部国际合作与科技司(批准号: 992041)、国家自然科学基金(批准号: 49972022)和国家留学基金回国科研资助费资助项目

\*\* 联系人, E-mail: cqma@cuq.edu.cn

要矿物组合为: 40%斜长石、30%钾长石、20%石英、5%黑云母和角闪石以及小于 5%的副矿物榍石、磷灰石和磁铁矿. 黑云母  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年龄为  $124.2 \pm 0.3 \text{ Ma}^{[15]}$ .

北坡河棚黑云母正长花岗岩风化壳(HP)位于安徽省舒城县东岗村河棚大桥公路旁. 风化较弱的花岗岩呈粉红色. A 层厚 20 ~ 30 cm, 浅褐色, 质地松软, 矿物颗粒和少量的有机质堆积, 顶部植被发育较差. E 层和 B 层厚约 300 cm, 黄灰色, 质地变硬. C 层厚 > 130 cm, 灰红色, 保留原岩结构. 出露的基岩不够新鲜, 其矿物组合为: 45%钾长石或条纹长石巨晶、25%斜长石、20%石英、8%黑云母和少量的榍石、磷灰石和磁铁矿. 黑云母  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  年龄为  $124 \text{ Ma}^{[16]}$ .

两风化壳剖面都处于山地丘陵区, 海拔在 300 ~ 400 m 之间. 除 A 层与 E 层之间界限明显外, 其余层之间均为渐变关系. SKS 和 HP 对比, 风化层(A, E, B 层)发育程度不等, 南坡土层厚、层数多、色调暗, 北坡土层薄、层数少、色调浅.

## 2 采样与分析方法

对每个剖面从下部未风化母岩到顶部土壤层系统采样. 为避免人为污染, 采样时先刮去表层 20 cm 左右, 每个样重约 1 ~ 2 kg, 所有样品经现场缩分后装入聚乙烯塑料袋内密封.

X 射线衍射荧光光谱仪(XRF)测定主量元素, 分析精度(RSD%)为 0.4% ~ 0.8%. 采用沉降虹吸法对风化层(A, E, B 层)样品和半风化层(C 层)样品进行粒度分离, 分别为: > 1 mm, 1 ~ 0.43 mm, 0.43 ~ 0.002 mm 和 < 0.002 mm. 对于 > 0.002 mm 的颗粒, 用树脂胶粘后磨片, 并在光学显微镜下统计各粒级的矿物组成. 对于粘土矿物(< 0.002 mm), 用 X-射线衍射(XRD)分析方法鉴定其种类, 用衍射峰的积分强度和峰高的对比法测定其相对含量. 粘土矿物中的伊利石蒙脱石混层矿物用乙二醇处理(EG). 在镍质蒸发皿中用 0.5 mol 的 NaOH 煮沸粘土(1 : 100)2.5 分钟, 然后用 650 nm 光进行比色测定粘土矿物中的非晶质硅. 沉降虹吸法分离样品的同时利用 pH 电子测量仪测定土壤溶液的 pH 值.

## 3 结果与讨论

### 3.1 地球化学

表 1 列出了风化壳剖面的化学成分资料. SKS 从基岩到 E 层,  $\text{SiO}_2$  百分含量波动降低, 其值介于 70.7% ~ 67.6%, 在 E2 层的值最小为 67.6%; 易淋失组分  $\text{Na}_2\text{O}$ , CaO 和  $\text{K}_2\text{O}$  间歇式淋失; 土壤溶液 pH 值介于 5 ~ 6 之间. HP 从基岩到 E 层,  $\text{SiO}_2$  有所增加, 其值介于 64.2% ~ 66.6%, 在 E1 层达到最大值 66.6%; 易淋失组分  $\text{Na}_2\text{O}$ , CaO 和  $\text{K}_2\text{O}$  淋失不明显; 土壤溶液 pH 值介于 6 ~ 7 之间. SKS 和 HP 共同特征是残积组分  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  向上增加, 还原组分 FeO 则减少,  $\text{P}_2\text{O}_5$ ,  $\text{TiO}_2$  和 MnO 基本不变. 在 SKS, 最明显的特征是 E2 层和 B2 层与其相邻的风化层相比, 低  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  和 CaO, 高  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . 在 HP, 最明显的特征是化学组分稳定.

两剖面 A/NK-A/CNK 图解(图 1)表明, SKS 和 HP 的基岩都为铝质. 铝饱和度(A/CNK)在 SKS 的风化样品中线性升高, 主要是  $\text{Na}_2\text{O}$ , CaO 和  $\text{K}_2\text{O}$  的淋失和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  的残积所致, 其值介于 1.03 ~ 1.28, 在 B2 层为 1.21, 在 E2 层的值为 1.28, 明显高于其相邻风化层的值. 铝饱和度(A/CNK)在 HP 的风化样品中变化不明显, 原因是  $\text{Na}_2\text{O}$ , CaO 和  $\text{K}_2\text{O}$  淋失弱, 其值介于 1.08 ~ 1.13. 所以, 两风化壳的风化样品都为过铝质.

两风化壳地球化学特征的差异同时也体现在化学蚀变指数(CIA)、氧化指数(OI)和硅铝率

表 1 大别山南、北坡中生代花岗岩风化壳剖面岩石化学成分(%)及相关指数<sup>a)</sup>

样品	司空山岩体风化壳(风化增强→)							河棚岩体风化壳(风化增强→)						
	基岩	母质层	淀积层			淋滤层		基岩	母质层	淀积层			淋滤层	
	R	C	B3	B1	B1	E2	E1	R	C	B3	B2	B1	E2	E1
SiO <sub>2</sub>	70.7	67.8	69.6	68.3	67.7	67.6	69.7	65.5	65.3	64.2	66.0	66.1	66.5	66.6
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14.3	14.8	14.8	15.5	15.5	16.0	15.1	15.0	15.1	15.0	15.7	15.2	15.1	15.4
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.0	2.9	2.3	2.7	2.9	2.9	2.2	2.3	2.2	4.9	3.6	3.9	4.0	3.5
FeO	1.4	0.9	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	1.7	0.8	0.5	0.2	0.4	0.5	0.5
MgO	1.0	1.2	0.8	0.9	1.1	1.0	0.8	1.5	1.5	1.6	1.1	1.2	1.2	1.2
CaO	2.2	2.5	2.0	1.7	2.2	1.6	1.8	2.0	1.7	1.9	1.0	1.2	1.3	1.3
Na <sub>2</sub> O	4.0	4.0	3.8	3.2	3.8	3.2	3.4	4.5	4.2	4.1	4.7	4.5	3.8	4.1
K <sub>2</sub> O	4.2	3.6	4.1	4.2	3.8	4.0	4.4	4.4	3.8	3.9	4.4	4.3	4.4	4.2
MnO	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
TiO <sub>2</sub>	0.4	0.6	0.4	0.5	0.5	0.5	0.4	0.7	0.9	0.9	0.7	0.7	0.7	0.7
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.1	0.2	0.1	0.1	0.2	0.1	0.1	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.3
CO <sub>2</sub>	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.7	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.4	1.2	1.2	1.9	1.4	2.3	1.3	1.0	1.7	2.1	1.8	1.9	1.7	1.7
总量	99.8	99.8	99.7	99.6	99.9	99.8	99.7	99.7	99.8	99.7	99.6	99.9	99.7	99.7
CIA	49.6	50.8	51.8	55.4	53.1	56.8	53.3	53.8	53.8	53.5	53.7	53.8	54.7	54.9
Si/Al	8.4	7.8	8.0	7.5	7.4	7.2	7.8	7.4	7.4	7.2	7.1	7.4	7.5	7.3
OI	0.3	1.5	2.1	2.6	2.3	2.7	2.2	0.6	1.3	4.4	7.4	5.0	4.0	3.3
A/CNK	0.95	1.04	1.03	1.21	1.05	1.28	1.11	0.94	1.06	1.05	1.1	1.08	1.12	1.13
土壤溶液 pH 值	5~6							6~7						

a)  $CIA = Al_2O_3 / (Al_2O_3 + CaO + Na_2O + K_2O) \times 100$ ;  $Si/Al = SiO_2 / Al_2O_3$ ;  $OI = Fe_2O_3 / FeO$ ;  $A/CNK = Al_2O_3 / (CaO + Na_2O + K_2O)$ . 过铝质:  $Al_2O_3$ (摩尔分数, 下同)  $> (CaO + Na_2O + K_2O)$ ; 准铝质:  $(CaO + Na_2O + K_2O)(\%) > Al_2O_3 > (Na_2O + K_2O)$ .  $CaO^* = molCaO - 1.5 molCO_2 - [(10/3) \times molP_2O_5$ (磷灰石)]. 比值均为摩尔比

(Si/Al)的垂向变化不同(图 2, 计算公式见表 1). CIA<sup>[4,5]</sup>值反映风化强度. 在 SKS, CIA 值从基岩到 E 层波动式升高, 其值介于基岩的 49.6 与 E2 层的 56.8 之间, 最明显的特征是在 B1 层出现异常低值 53.1. 在 HP, CIA 值变化小, 最大值在 E1 层是 54.9, 在 B(除 B1 层外), E, A 层低于 SKS, 说明 SKS 风化程度高于 HP. CIA 在两剖面都小于 60, 反映大别山南、北坡仍处于风化的初期阶段<sup>[17]</sup>. OI 和 Si/Al<sup>[9]</sup>分别指示风化过程中的氧化程度和脱硅富铝化程度. 在 SKS 从基岩到 E 层, OI 波动升高, Si/Al 波动降低, 最显著的特征是 B2 层和 E2 层与其相邻的风化层相比, 高 OI 值分别为 2.6 和 2.7, 低 Si/Al 值分别为 7.5 和 7.2. 在 HP 从基岩到 E 层, OI 增大, Si/Al 变化微弱且有所增大, 最显著的特征是 B2 层极高的 OI 值为 7.4. 对两剖面作 OI-Si/Al 图解(图 3), 在 SKS, OI 在 0.3~2.7 范围内, Si/Al 从基岩的 8.4 降到 E2 层的 7.2; 而在 HP, Si/Al 在 7.1~7.5 范围内, OI 从基岩的 0.6 上升到 B2 层的 7.4. OI 和 Si/Al 反映 SKS 以脱硅富铝为特征, 而 HP 以无硅的淋失、富铁和极强的氧化作用为特征.

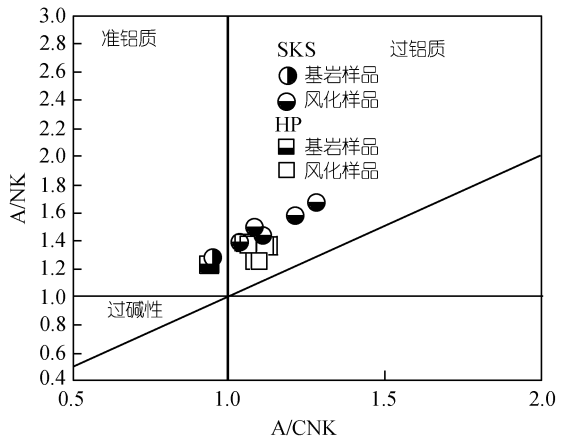


图 1 SKS 和 HP 的 Al/(Na+K)-Al/(Ca+Na+K)图解

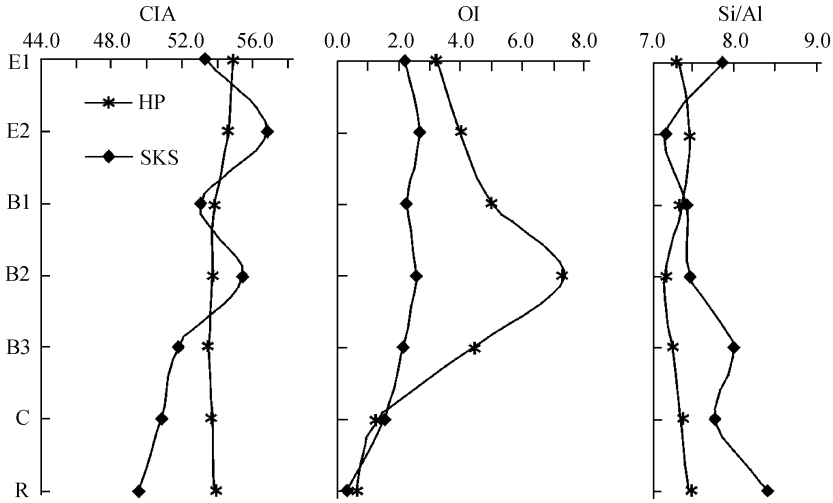


图 2 CIA, OI 和 Si/Al 在 SKS 和 HP 的垂向变化

可见, SKS 在水解作用和酸性介质条件下脱碱、脱钙、脱硅和富铝, 处于潮湿的气候环境<sup>[10,11]</sup>, 并且风化程度高于 HP. HP 在氧化作用和弱酸偏中性的介质条件下无硅的淋失或淀积

硅和富集铁, 处于干旱高温的气候环境<sup>[10,12]</sup>.

### 3.2 粒度分析

两风化壳剖面的粒度资料表明(表 2), 由 C 层到 A 层, 其共同特征是 > 1 mm 的粗粒减少, 而 < 1 mm 的颗粒增加; 不同的是 < 1 mm 的颗粒富集的层位和 < 0.002 mm 的粘粒分布不同. < 1 mm 的颗粒富集的层位, 在 SKS 随易淋失组分(如 Na<sub>2</sub>O, CaO)的减少而富集细粒组分, 二者同步波动变化, 但是在 HP 细粒组分主要富集在顶部土壤层内. < 0.002 mm 的粘粒百分含量, 在 SKS 波动升高, 最明显的特征是 B2 层和 E2 层的值分别为 5.5% 和 6.4%, 高于相邻风化层的值;

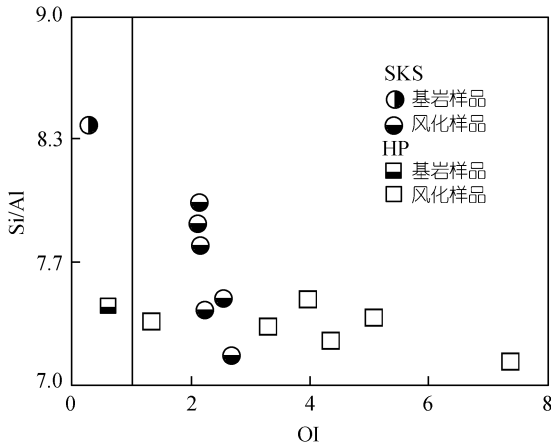


图 3 SKS 和 HP 的 OI-Si/Al 图解

在 HP 最明显的特征是 A 层的值最大为 3.6%. < 0.002 mm 的粘粒含量, SKS 除 B1 层出现异常低值 1.8% 外, A, E 和 B 层含量高于 HP, 也反映 SKS 的风化程度高于 HP, 因为土壤结构中粘粒的相对含量也是风化程度的标志之一<sup>[2]</sup>.

统计结果显示(表 3), 两剖面的共同特征为 > 1 mm 的粗粒绝大部分为长石+石英(+黑云母)等多矿物集合体组成, 0.043 ~ 1 mm 的细粒由单矿物颗粒和双矿物碎屑(长石+黑云母或者+石英集合体)组成, 0.002 ~ 0.043 mm 的粉粒由黑云母、石英等单矿物以及少量的粘附在原生矿物表面之上的次生粘土矿物组成, < 0.002 mm 的粘粒为次生粘土矿物和极少量残存石英(图 2).

但对于单个剖面而言, 粒级从  $> 1 \text{ mm}$  到  $0.002 \sim 0.043 \text{ mm}$ , SKS 以单矿物颗粒为主, 长石、石英减少, 黑云母增加; HP 以多矿物集合体的碎屑占绝对优势, 长石减少, 黑云母、石英增加。

表 2 大别山南、北坡风化壳剖面各粒级的百分含量<sup>a)</sup>

风化壳	采样深度/cm	不同粒级的百分含量(%)				
		$> 1 \text{ mm}$	$0.043 \sim 1 \text{ mm}$	$0.002 \sim 0.043 \text{ mm}$	$< 0.002 \text{ mm}$	
SKS	A	30 ~ 40	52.5	37.5	5.9	4.1
	E1	60 ~ 70	62	30.4	2.6	5
	E2	110 ~ 120	54.9	35.6	3.1	6.4
	B1	150 ~ 160	59	37.3	1.9	1.8
	B2	210 ~ 220	55.7	35.9	2.9	5.5
	B3	280 ~ 290	65.5	30.2	1.7	2.3
	C	355 ~ 365	73.5	24.9	1.3	0.3
HP	A	20 ~ 30	41.0	46.4	9	3.6
	E1	50 ~ 60	60.6	35.4	2.2	1.8
	E2	100 ~ 110	51.0	45.2	2.4	1.4
	B1	150 ~ 160	53.7	41.4	2.9	2
	B2	210 ~ 220	45.9	45.9	5.3	2.9
	B3	300 ~ 310	57.1	38.1	2	2.8
	C	420 ~ 430	64	33.8	1.5	0.7

a) A, 顶部土壤层; E(E1, E2), 淋滤层; B(B1, B2, B3), 淀积层; C, 母质层

显微镜下研究显示, 各原生矿物被风化蚀变的程度和特征不同。黑云母首先发生绢云母化和绿泥石化, 不透明污点(铁的次生氢氧化物)最初积聚在部分风化黑云母的边缘、裂隙、解理或散布在其表面, 在高度风化的样品中黑云母无法辨认。斜长石风化产生的尘点沿着其解理和裂隙出现, 在高度风化的样品中斜长石完全被高岭石所代替。钾长石沿着表面蚀变, 次生产物太细小无法分析。石英在整个剖面几乎没有风化, 在风化样品中普遍大量地存在。可见, SKS 在酸性和潮湿环境下, 易风化的主要造岩矿物斜长石大量风化淋失, 致使  $\text{CaO}$ ,  $\text{Na}_2\text{O}$  和  $\text{SiO}_2$  减少,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  富集。HP 在弱酸偏中性和干旱环境下, 主要造岩矿物钾长石风化较弱, 未遭受强烈淋失; 黑云母风化使  $\text{FeO}$  氧化富集。

表 3 大别山南、北坡风化壳剖面中各粒级之主要矿物组成及百分含量(%)<sup>a)</sup>

粒级/mm	风化壳	矿物集合体		原生单矿物				次生粘土矿物	
		多矿物	双矿物	黑云母	斜长石	钾长石	石英		
$< 0.002$	SKS	0						极少量	几乎 100
	HP	0							
$0.002 \sim 0.043$	SKS	0		约 100				极少量(粘附在原 生矿物表面)	
	HP	0		约 100					
$0.043 \sim 1$	SKS	$\pm 3$	$\pm 12$	$\pm 25$	$\pm 40$	$\pm 10$	$\pm 10$	长石表面高岭土化	
	HP	$\pm 2$	$\pm 30$	$\pm 7$	$\pm 32$	$\pm 14$	$\pm 15$		
$> 1$	SKS	$\pm 50$	$\pm 30$				$\pm 20$		
	HP	$\pm 60$	$\pm 35$				$\pm 5$		

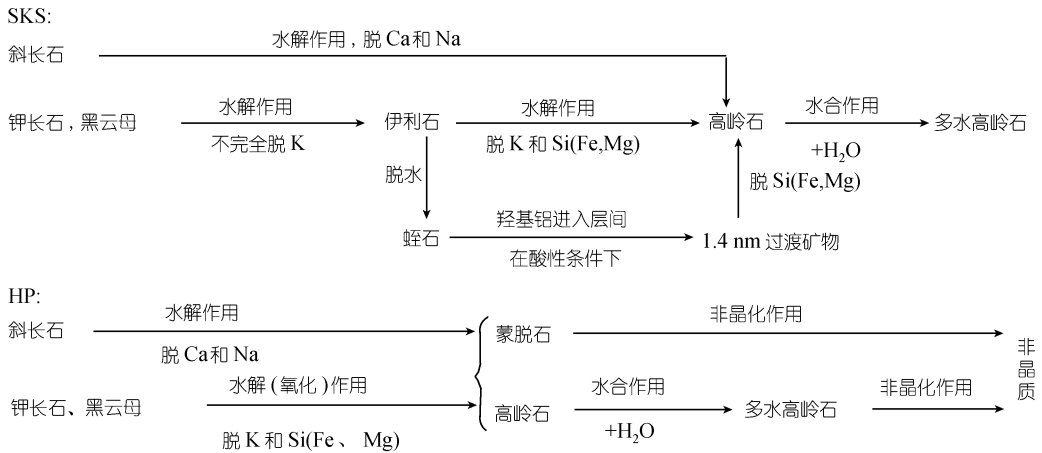
a)  $\pm$  表示从底部母质层到顶部土壤层的平均百分含量, 即镜下颗粒数的统计量

### 3.3 风化壳演化模式

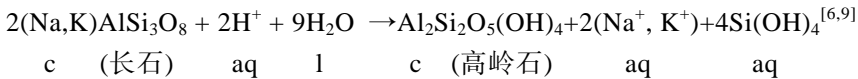
已有的研究表明, 第四纪新构造运动期间, 大别山以北的淮北平原以连续沉降为主, 大别山以南的皖西、皖南为上升隆起区<sup>[18]</sup>。从地球化学特征和粒度分析可以看出, 本文的两风化壳



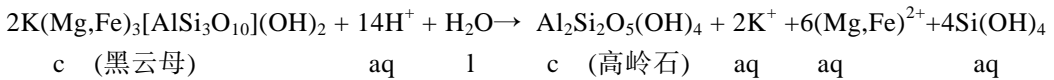
湿交替的气候环境和酸性介质条件<sup>[10]</sup>; 蛭石减少, 反映了从高 Si 低 Al 到脱 Si 富 Al 的变化过程<sup>[10]</sup>. HP 与 SKS 明显不同之处在于大量存在蒙脱石和非晶化作用显著. 蒙脱石代表了高 Si 及 Mg 介质条件和干旱的气候环境<sup>[10,12]</sup>. 一般认为, 非晶化出现在潮湿气候条件下风化程度较高的土壤剖面. 然而本文研究表明, HP 非晶化程度明显高于 SKS, 同样反映了两剖面发育过程中构造稳定性的不同, HP 未遭受剥蚀, 非晶化现象保存完好, 而 SKS 非晶质的缺少是该剖面遭受剥蚀淋失的结果. 可见, SKS 和 HP 在差异风化过程中, 粘土矿物存在如下不同的演化序列:



上述矿物演化主要受以下几种作用控制: (1)含铁矿物(黑云母)中的 Fe<sup>2+</sup>氧化为 Fe<sup>3+</sup>; (2)长石和黑云母最终水解生成高岭石或蒙脱石, 长石→(伊利石)→高岭石:



黑云母→蛭石→1.4nm 过渡矿物→高岭石:



式中 c 为晶体, l 为液体, aq 水溶态, g 为气体; (3)高岭石水合生成多水高岭石; (4)高岭石、蒙脱石的晶格被破坏形成非晶质.

上述硅铝酸盐的化学风化综合反应方程式为: 铝硅酸盐+H<sub>2</sub>O+H<sup>+</sup>→粘土矿物+阳离子+Si(OH)<sub>4</sub>. 在整个水解反应过程中, H<sup>+</sup>主要来自于 H<sub>2</sub>CO<sub>3</sub>(H<sub>2</sub>O+CO<sub>2</sub>=H<sup>+</sup>+HCO<sub>3</sub><sup>-</sup><sup>[9]</sup>), 其他酸如有机酸也是 H<sup>+</sup>的重要来源. H<sup>+</sup>置换易交换阳离子 Ca<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>和 Mg<sup>2+</sup>等, 使大部分金属阳离子或者仍留在土壤中(如 HP)或者进入土壤溶液淋失(如 SKS), 小部分成为次生粘土矿物晶格的一部分或被胶体微粒表面所吸附. 无定型 Si(OH)<sub>4</sub> 在正常 pH 值范围是可溶胶体, 部分随土壤渗漏水淋失, 使 Si 的含量随风化程度的增强而减少, SKS 便是典型一例. 而 HP 在干旱气候环境中, Si(OH)<sub>4</sub> 胶体与土壤中其他离子电性中和而沉淀, 所以随着风化程度的增强, 表现为 Si 含量的增加或无 Si 的淋失.

## 4 结论

综上所述, 大别山南、北坡风化作用的差异主要表现为: (1)在野外风化壳剖面, 南坡 SKS

土层厚,层数多,色调暗;北坡 HP 土层薄,层数少,色调浅。(2)地球化学特征方面,SKS 剖面以脱碱、钙和硅以及富铝为特征;而 HP 以富铁作用和没有硅的淋失或淀积硅为特征。(3)关于残余原生矿物碎屑,SKS 以单矿物碎屑为主,而 HP 以多矿物集合体碎屑占绝对优势。(4) $<0.002$  mm 粘粒的含量,SKS 高于 HP,且前者波动变化明显。(5)粘土矿物的演化方面,SKS 由长石、黑云母风化蚀变为伊利石 $\rightarrow$ (蛭石 $\rightarrow$ 1.4 nm 过渡矿物) $\rightarrow$ 高岭石 $\rightarrow$ 多水高岭石;HP 中的长石和黑云母却变为蒙脱石、多水高岭石 $\rightarrow$ 非晶质硅。(6)构造背景和气候环境也存在差别,SKS 为剥蚀型风化壳,经历过构造抬升,处于高温多雨、干湿交替的气候环境和酸性介质条件;HP 为稳定型风化壳,没有经历过构造抬升,处于干旱高温的气候环境和弱酸偏中性介质条件。

**致谢** 谭文峰博士和雷新荣教授分别对风化样品粒级分离和 X 射线衍射分析给予指导并提供实验条件,陆琦和 Roger Mason 教授对初稿提出修改意见,刘强和林广春参加研究工作,谨此一并致谢。

### 参 考 文 献

- 1 Sverdrup H, Warfvinge P. Calculating field weathering rates using a mechanistic geochemical model PROFILE. *Applied Geochemistry*, 1993, 8: 273 ~ 283
- 2 White F, Blum E, Schulz S, et al. Chemical weathering rates of a soil chronosequence on granitic alluvium: I. Quantification of mineralogical and surface area changes and calculation of primary silicate reaction rates. *Geochim Cosmochim Acta*, 1996, 60(14): 2533 ~ 2550
- 3 Miller E K, Blum J D, Friedland A J. Determination of soil exchangeable-cation loss and weathering rates using Sr isotopes. *Nature*, 1993, 362: 438 ~ 441
- 4 Nesbitt H W, Markovics G. Weathering of granodioritic crust, long-term storage of elements in weathering profiles, and petrogenesis of siliciclastic sediments. *Geochim Cosmochim Acta*, 1997, 61(8): 1653 ~ 1670
- 5 Nesbitt H W, Young G M. Early Proterozoic climates and plate motion inferred from major element chemistry of lutites. *Nature*, 1982, 299: 715 ~ 71
- 6 Nesbitt H W. Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiorite. *Nature*, 1979, 279: 206 ~ 210
- 7 Paulo M V, Tim A B, Paul R R, et al. Age and duration of weathering by  $^{40}\text{K}$ - $^{40}\text{Ar}$  and  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  analysis of potassium-manganese oxides. *Science*, 1992, 258(16): 451 ~ 455
- 8 Micalle I B, Allan R C. Oxygen isotope dating of the Australian regolith. *Nature*, 1988, 31(11): 513 ~ 516
- 9 Birkeland P W. *Soils and Geomorphology*. New York (Oxford): Oxford University Press, 1984. 61 ~ 97
- 10 陆景冈. 土壤地质学. 北京: 地质出版社, 1999. 11 ~ 27
- 11 徐凤琳, 李学恒, 黄巧云, 等. 大别山南坡土壤中的粘粒矿物. *土壤学报*, 1990, 27(3): 293 ~ 300
- 12 吴克宁, 申 眺. 大别山北坡土壤的发生特性和垂直分布. *土壤学报*, 1997, 34(2): 170 ~ 181
- 13 Ma C Q, Li Z C, Ehlers C, et al. A post-collisional magmatic plumbing system: Mesozoic granitoid plutons from the Dabieshan high-pressure and ultrahigh-pressure metamorphic zone, east-central China. *Lithos*, 1998, 45: 431 ~ 456
- 14 Ma C Q, Ehlers C, Xu C H, et al. The roots of the Dabieshan ultrahigh-pressure metamorphic terrane: constraints from geochemistry and Nd-Sr isotope systematics. *Precam Res*, 2000, 102: 279 ~ 301
- 15 陈江峰, 谢 智, 刘顺生, 等. 大别造山带冷却年龄的  $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$  和裂变径迹年龄测定. *中国科学, B 辑*, 1995, 25(10): 1086 ~ 1092
- 16 周泰禧, 陈江峰, 李学明, 等. 安徽霍舒正长岩侵入体的  $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$  同位素地质年龄. *安徽地质*, 1992, 2(1): 4 ~ 11
- 17 Fedo C M, Nesbitt H W. Unraveling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosols, with implications for paleoweathering condition and provenance. *Geology*, 1995, 23(10): 921 ~ 924
- 18 顾也萍, 王长荣. 新构造运动对安徽土壤分布的影响. *长江流域资源与环境*, 1998, 7(1): 25 ~ 30