

文章编号:1008-0244(2002)04-0007-08

## 引起红土表层硅铝比值增大原因的可能性探讨

冯志刚<sup>1,2</sup>, 王世杰<sup>1</sup>, 孙承兴<sup>1,2</sup>

(1. 中国科学院地球化学研究所环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550002;

2. 中国科学院研究生院, 北京 100039)

**摘要:** Si/Al 或  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  常常作为表生化学风化作用强度的重要指标。随着化学风化作用的进行, 硅铝比或硅铝铁率表现出逐渐降低的演化趋势。中国南方的红土风化壳, 是强烈化学风化作用的产物, 被认为处于或经历了脱硅富铝化阶段。但是在红土剖面上部常常出现该比值不降反升的现象, 给运用这一指标指示化学风化强度带来了困难。通过对贵州平坝、新蒲及花溪碳酸盐岩红色风化壳化学风化程度的研究, 以及对对中国南方几种不同结晶母岩上发育的红土的化学风化强度指标的对比讨论, 探讨了产生这种现象的可能性原因。指出 Fe、Al 氧化物的下渗和淋失作用及其硅质的相对富集是引起中国南方红土表层出现 Si/Al 和  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  升高的主要原因。

**关键词:** 硅铝比; 红土; 中国南方; 化学风化强度**中图分类号:** P594 **文献标识码:** A

红土是中国南方普遍存在的一种风化壳, 处于比较强烈的风化发育阶段<sup>[1]</sup>。目前地学界对其成因的理解是和气候条件, 或者说和低纬度的概念联系在一起的, 主要与热带和临近回归线的亚热带地区炎热而干、湿交替的气候因素有关<sup>[2]</sup>。一个成熟的风化壳发育剖面, 一般要经历富硅铝脱钙镁阶段、富铁锰阶段和富铝脱硅阶段等三个过程, 而热带和亚热带地区红壤形成的主要过程是脱硅富铝化过程<sup>[3]</sup>。前人<sup>[4-12]</sup>常利用 Si/Al 作为化学风化强度的指标, 认为随着化学风化程度的增强, Si/Al 逐渐减少。一个理想的红土剖面, 自基岩至剖面顶部, Si/Al 或  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  表现为逐渐降低的趋势, 在剖面顶部趋于最小。但是, 中国南方的红土, 常常在剖面上部或顶部出现 Si/Al 或  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  不降反升的异常现象, 一些学者<sup>[8-12]</sup>认为是因为其处在低能的弱风化环境, 未达到脱硅富铝的风化阶段。但这一解释明显与其它能指示化学风化强度指标的矿物学、CIA 值相矛盾。因此, 到目前为止没有人对此异常现象进行过较系统的研究和论述, 对产生此现象的机理尚不清楚。本文通过对地处亚热带的贵州高原岩

溶山地丘陵垄岗之上的平坝、新蒲和花溪剖面的元素和矿物学特征的研究, 以及对华南几种不同结晶母岩上发育的红土剖面的对比讨论, 探讨造成这种现象的可能性原因。

碳酸盐岩的风化成土作用包括碳酸盐岩的淋溶残积过程和残积土的再演化过程, 残积土的演化过程和其它岩类风化成土作用相似<sup>[13,14]</sup>。对于本文所讨论的三个碳酸盐岩风化壳剖面, 王世杰等<sup>[13]</sup>已从野外观察、矿物学和微量元素的演化特征等方面, 对其残积成因进行了翔实的论证。

## 1 剖面特征

### 1.1 平坝剖面特征

平坝剖面位于黔中山地丘陵垄岗之上的平坝县农场, 成土母岩为早三叠统安顺组上段灰色中厚层白云岩。风化壳剖面厚度较大, 为 5~6 m, 从基岩至剖面顶部, 可分成基岩层、碎裂岩层、岩粉层、红色土层和耕作层, 其中红色土层为剖面主体。平坝白云岩风化剖面及取样位置见王世杰等<sup>[15]</sup>文献。

样品采自天然剖面的人工土坑中。样品自然风干后, 研磨至 200 目备用。常量元素含量采用常规化学分析方法, 辅以原子吸收法获得, 测试误差为  $\pm 2\%$ 。矿物分析在中国科学院地球化学研究所的 dmax/2200 型 XRD 分析仪上完成。

采样深度、常量元素含量及化学风化强度指标见表 1。

收稿日期: 2002-01-31; 修回日期: 2002-04-08

基金项目: 国家自然科学基金(49833002); 国家攀登计划(95-预-39); 中国科学院“西部之光”

第一作者简介: 冯志刚(1970-), 男, 博士研究生, 环境地球化学专业。

表1 贵州平坝白云岩风化壳部分化学成分(%)和特征值

Table 1. Some chemical components and characteristic values of the dolomitite weathering products at Pingba, Guizhou

样品编号	深度/cm	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	MnO	MgO
PB-T40	5.5	47.6	0.92	24.09	9.6	0.5	0.05	0.8
PB-T39	18.5	49.3	0.75	24.33	8.84	0.26	0.05	0.6
PB-T38	46	40.6	0.92	29.05	11.28	0.12	0.03	0.7
PB-T37	86	33.2	0.82	31.96	13.23	0.17	0.03	0.7
PB-T36	126	28	0.72	28.39	22.24	0.28	0.03	0.8
PB-T35	156	14.4	0.31	11.45	58.38	0.62	0.06	0.3
PB-T34	176	31.2	0.84	30.53	16	0.68	0.21	0.6
PB-T33	201	35.3	0.92	32.92	10.04	1.36	0.09	0.7
PB-T32	231	33.6	0.9	33.65	11.31	0.09	0.04	0.9
PB-T30	291	34.6	0.88	32.44	10.16	1.44	0.04	0.82
PB-T28	298	34.8	0.73	35.57	11.23	0.07	0.04	0.7
PB-T26	318	36.5	0.71	33.07	12.42	0.08	0.03	0.72
PB-T24	338	35.4	0.94	30.53	10.28	0.82	0.03	0.92
PB-T22	358	36.7	0.9	33.54	11.63	0.07	0.02	0.71
PB-T20	383	35.6	0.74	33.19	14.02	0.08	0.03	0.7
PB-T18	403	37	0.75	32.65	12.3	0.1	0.02	0.71
PB-T16	423	34.4	0.92	33.64	11.01	0.75	0.03	0.9
PB-T14	443	34.2	0.87	35.19	13.83	0.07	0.03	0.6
PB-T12	463	31.6	0.8	34.37	14.02	0.08	0.03	0.6
PB-T10	483	34.5	0.92	32.44	11.12	1.18	0.03	0.8
PB-T8	503	34.1	0.94	33.4	10.02	1.18	0.02	0.9
PB-T6	523	37.1	0.72	31.92	11.32	0.98	0.06	0.8
PB-T4	544	35.6	0.72	29.58	9.64	0.76	0.39	1.3
PB-T2	559	36.9	0.76	29.67	8.6	0.6	0.29	1.3
PB-YT*	644	51.7	1.01	22.18	5.76	0.44	0.01	2.2
样品编号	深度/cm	CaO	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Si/Al	SiO <sub>2</sub> /R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CIA
PB-T40	5.5	0.2	0.25	1.23	0.25	3.36	2.68	91.95
PB-T39	18.5	0.3	0.24	1.15	0.001	3.45	2.8	91.75
PB-T38	46	0.2	0.3	1.33	0.002	2.38	1.9	92.66
PB-T38	46	0.2	0.47	1.63	0.09	1.76	1.4	91.66
PB-T36	126	0.5	0.5	1.6	0.25	1.68	1.12	89.11
PB-T35	156	0.2	0.19	0.54	0.09	2.14	0.5	90.07
PB-T34	176	0.3	0.4	1.64	0.32	1.74	1.3	91.1
PB-T33	201	0.2	0.33	1.53	0.12	1.82	1.52	92.77
PB-T32	231	0.1	0.53	1.76	0.001	1.7	1.4	91.91
PB-T30	291	0.3	0.42	1.77	0.35	1.81	1.51	91.13
PB-T28	298	0.3	0.63	1.66	0.07	1.66	1.38	91.31
PB-T26	318	0.1	0.31	2.02	0.01	1.88	1.51	91.98
PB-T24	338	0.1	0.27	2.07	0.15	1.97	1.62	91.4
PB-T22	358	0.11	0.66	1.76	0.07	1.86	1.52	91.3
PB-T20	383	0.1	0.6	1.6	0.01	1.82	1.44	91.95
PB-T18	403	0.3	0.62	1.8	0.07	1.92	1.55	90.27
PB-T16	423	0.2	0.42	1.73	0.13	1.74	1.44	91.98
PB-T14	443	0.01	0.43	1.52	0.01	1.65	1.32	93.68
PB-T12	463	0.2	0.39	1.51	0.03	1.56	1.24	92.86
PB-T10	483	0.1	0.4	1.48	0.12	1.81	1.49	92.99
PB-T8	503	0.21	0.59	1.52	0.12	1.73	1.46	91.75
PB-T6	523	0.5	0.45	1.5	0.15	1.98	1.61	90.69
PB-T4	544	0.41	0.45	3.49	0.18	2.04	1.69	84.87
PB-T2	559	0.6	0.83	2.12	0.15	2.11	1.78	86.18
PB-YT*	644	0.6	0.45	5.9	0.04	3.96	3.4	72.92

注: CIA =  $Al_2O_3 / (Al_2O_3 + K_2O + Na_2O + CaO)$ ;  $SiO_2/R_2O_3 = SiO_2 / (Al_2O_3 + Fe_2O_3)$ ; Si/Al =  $SiO_2/Al_2O_3$  (均为分子比, CaO 为硅酸盐钙); PB-YT 为基岩酸不溶物。

1.1.1 化学成分和特征值 盐基离子 Ca、Na、Mg 等氧化物在整个风化壳剖面含量低,除 MgO 在剖面下部为 1.3% 外,均小于 1%,且向上整体呈现减小的趋势,说明在风化作用过程中遭受强烈淋失。K<sub>2</sub>O 也呈现向上逐渐减少的趋势,但含量相对较高,这与含钾的长石和粘土矿物有关。SiO<sub>2</sub> 在剖面下部基本保持稳定,从 3 m 向上逐渐降低,在 1.5 m 附近的铁质壳上达到最低值 14.4%,向

上至剖面顶部显著升高,最大值达到 49.3%。至于位于地表 5 cm 深的耕作层样中 SiO<sub>2</sub> 的含量有所回落,这可能与地表干扰因素有关。Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 在剖面下部保持相对稳定中略有波动,向上,从 3 m 左右开始,Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 向上开始增大,在 1.5 m 深的铁质壳处达到峰值,向地表又持续降低。而 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 在铁质壳处于最低值,向上至地表,开始升高继而逐渐降低(见图 1)。

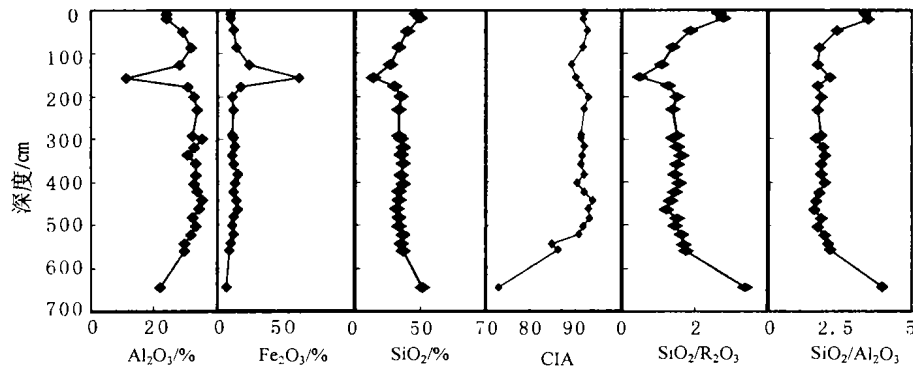


图 1 贵州平坝白云岩风化壳部分化学成分和特征数值剖面图

Fig. 1. Variation profile of some chemical elements & characteristic values with the depth of the Pingba dolomite weathering crust.

从表征化学风化程度的指标来看,剖面从下到上,化学蚀变指数 CIA 在剖面下部显著增加,至中部在微弱的波动中略有降低,在铁质壳以上呈现增加的趋势。总体上在 85~94 之间,说明剖面风化程度很高,是一个深度发育的风化壳。Si/Al 和 SiO<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 整体上表现出相似的演化趋势,从下至 1.5 m 深度内有缓慢减少的趋势,向上至剖面顶部却表现出持续增大的异常现象。

1.1.2 矿物学特征 组成平坝白云岩红土风化壳的矿物主要有石英、伊利石、蒙脱石、高岭石、三水铝石和赤铁矿。它们在剖面中的分布情况见图 2。由下至上,伊利石在剖面下部大幅降低,到中部变化幅度较小,从 1.5 m 向上开始减少,直至表层消失;蒙脱石在剖面中的变化较大,但是总体上从下到上有增加的趋势,在 1 m 附近开始向上,持续减少,并在表层消失;高岭石在剖面中下部一定幅度波动中基本保持稳定,而在剖面上部呈现逐渐降低的趋势;赤铁矿在剖面中下部含量低且具有微弱的减少,在剖面上部铁质壳突然出现峰值;三水铝石在整个剖面中的出现,均反映了该风化壳剖面经历了强烈的化学风化阶段,是一风化程度极高的风化壳。但是石英含量在地表附近表

现出强烈富集,赤铁矿在表层快速降低直到在剖面顶部消失,三水铝石在剖面上部呈现降低趋势的异常现象,很明显为另一种因素所控制。

## 1.2 新蒲、花溪剖面特征

新蒲剖面位于贵州省遵义市新蒲镇,成土母岩为产状平缓的寒武系上部娄山关群白云岩,风化壳厚度大,为 8~10 m,并可分出耕作层、土层、岩粉+碎裂层和基岩层。花溪剖面位于贵阳市花溪区玻璃厂附近,基岩为下三叠统大冶组灰岩,风化壳厚度为 5 m 左右,剖面从下到上可以分为三层:新鲜基岩、半风化带及全风化带。两剖面均为红色风化壳。元素化学分析和矿物分析方法同上。新蒲、花溪剖面化学风化强度指标见表 2。

从表征化学风化程度的指标来看(见图 3),两剖面化学蚀变指数 CIA 在风化壳底部显著增大,向上趋于稳定而略有增加,变化幅度小,花溪剖面 CIA 接近于 90,新蒲剖面 CIA 更大,最大值为 93,指示了强烈的风化程度。两剖面 Si/Al 整体上表现出相似的演化特征。从底部向上,开始呈现降低的趋势,中部除个别点外,基本保持稳定,新蒲剖面从 2.5 m 至表层呈快速增大的趋势。

表2 新蒲、花溪剖面化学风化强度指标

Table 2. Characteristic values of the dolomitite weathering products at Xinpu and Huaxi

编号	新蒲剖面			花溪剖面		
	CIA	Si/Al	深度/cm	CIA	Si/Al	深度/cm
01	69.3	6.29	848	65	4.44	514
02	90.1	3.28	720	77.1	3.19	509
03	84.5	3.55	620	88.2	2.69	500
04	87.1	3.12	560	87.4	3.11	488
05	90.5	3.44	500	89.3	2.68	470
06	90	3.51	450	89.4	2.89	450
07	83.9	5.28	400	85.4	2.65	430
08	92.3	2.99	350	86.3	2.65	400
09	91.9	3.03	300	86.2	2.61	370
10	90.8	2.88	250	88.9	2.69	340
11	91.5	3.05	200	89.4	2.68	310
12	91.2	4.72	150	88.6	2.62	280
13	91	4.76	100	87.4	2.76	250
14	91.8	5.7	75	86.9	2.33	210
15	92.6	6.54	30	86.8	2.36	170
16	88.7	7.85	10	87.7	2.43	130
17				87.4	2.55	65

花溪剖面从2 m开始向上也呈逐渐增加的趋势,变化幅度比新蒲剖面小,一方面与风化壳物源SiO<sub>2</sub>的本底值有关,另一方面与下文要讨论的淋滤强度有关,但是这种趋势是存在的。虽然距地表65 cm以上没有做元素测试,但对比平坝、新蒲两剖面分析结果, Si/Al向地表增大的这种变化趋势是可能的,正如下文要讨论的平坝剖面粒度分析结果,机械淋溶渗滤可以影响3 m以上。

两剖面中的主要矿物分布:伊利石+蒙脱石在剖面上部成逐渐降低的趋势,高岭石从下向上呈缓慢增大,但在剖面顶部均迅速减少;三水铝石在新蒲剖面上部有所出现,但接近地表含量更低,在花溪剖面上部有零星分布;石英含量从下向上稳定中略有升高,而在新蒲剖面顶部呈迅速增大的趋势。这种在化学风化过程中的反规律现象,很明显为其它因素所影响。

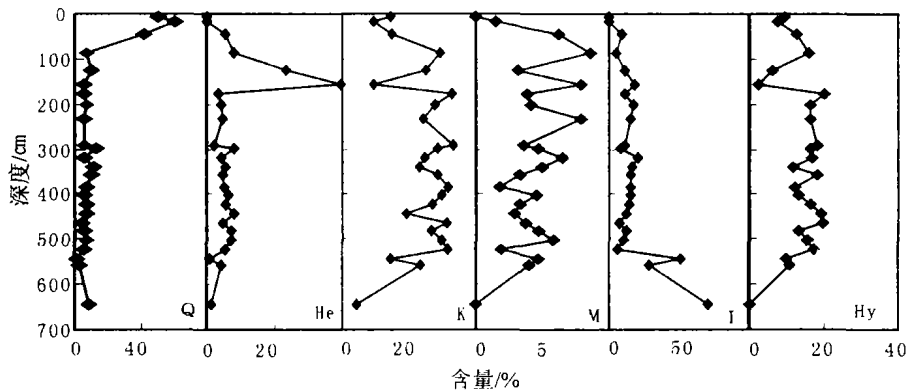


图2 贵州平坝白云岩风化壳部分矿物成分剖面图

Fig. 2. Variation profile of some mineral components with the depth of the Pingba dolomitite weathering crust.

Q. 石英; He. 赤铁矿; K. 高岭石; M. 蒙脱石; I. 伊利石; Hy. 三水铝石

### 1.3 对比剖面特征

据李文达等<sup>[2]</sup>对华南红土化作用地球化学的研究,海康龙门水库旁玄武岩上发育的残积红色风化壳从下至上分为半风化玄武岩层、含玄武岩残块粘土层、铁铝质结核层、含粘土铁铝质结核层和红土层。红土层呈棕红色土状,含有少许石英碎屑,粘土的粘性较差,该层中含有丰富的植物根系,含有机质可达2.95%~4.63%。矿物组合从下到上以高岭石、蒙脱石为主演化为以高岭石、水针铁矿、赤铁矿、三水铝石为主,石英作为次要矿物在整个剖面都有所出现。湛江山岱花岗岩上发育的红色风化壳从下至上分为半风化花岗岩层、

白色高岭土层、杂色高岭土层和红色粘土层等四层。红色粘土层呈土状、疏松、粘性大,植物根系发育。矿物组成从下到上以石英、长石为主演化为以高岭石、石英为主,其次为蒙脱石、赤铁矿、水云母的矿物组合。这种矿物组合特征同样指示了风化壳剖面上部经历了强烈的化学风化阶段。由于原文作者没有给出剖面的确切深度,所以在图4中用剖面层位编号代替深度,层位编号并非严格按照土壤发生层次划分,剖面厚度给出了边界厚度。

风化剖面部分化学成分和特征数值见表3。花岗岩风化壳SiO<sub>2</sub>、Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>向上逐渐增加,Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>向上逐渐降低。玄武岩风化壳SiO<sub>2</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>向上逐渐

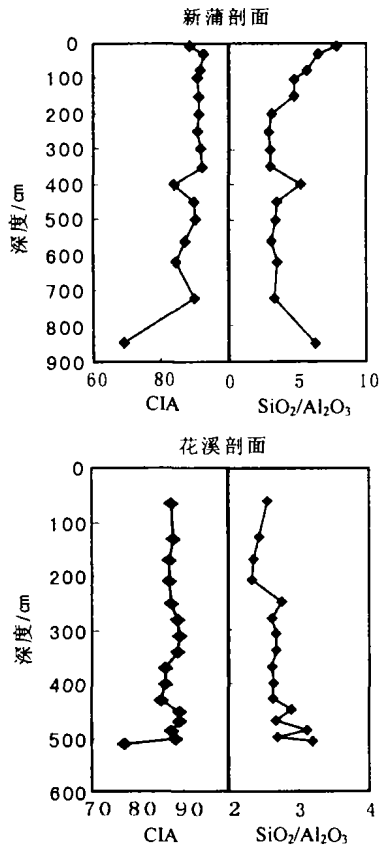


图 3 新蒲、花溪白云岩风化壳特征数值剖面图  
 Fig. 3. Variation profile of characteristic values with the depth of the Xinpu and Huaxi dolomitic weathering crusts.

增加,  $Fe_2O_3$  先增大而后逐渐减少。剖面地球化学特征值中(见图 4), 化学蚀变指数 CIA 在两个剖面表现出相似的演化趋势, 在下部风化前缘处快速增大, 在中上部 CIA 已达 95 以上, 反映出深刻而强烈的化学风化强度。但是, 同样作为指示化学风化强度指标的  $Si/Al$ 、和  $SiO_2/R_2O_3$  在剖面上部却逐渐增大, 花岗岩风化剖面其比值和增大幅度更大。

## 2 讨论

通过对贵州平坝白云岩红土风化壳地球化学和矿物学特征的研究, 可以看出, 该风化壳红土的化学风化程度是非常深刻而强烈的, 而且从下向上逐渐增强; 剖面上部盐基离子含量很低, 淋失严重; CIA 高; 粘土矿物蒙脱石、伊利石逐渐降低, 以至在剖面顶部消失; 高岭石也逐渐减少, 赤铁矿和三水铝石在剖面上部的逐渐降低可能是另外的机制在起作用。花溪和新蒲剖面的 CIA 和矿物组合特征均显示了强烈的风化程度。华南玄武岩和花岗岩上发育的风化壳上部 CIA 高达 95 以上, 以及风化壳剖面的矿物组合特征, 均反映了红土化学风化程度的深入和彻底。然而, 作为化学风化程度指标的硅铝率( $SiO_2/Al_2O_3$ )或硅铝铁率( $SiO_2/R_2O_3$ )在这五个剖面上部均表现出逐渐增大的趋势, 在客观上未能真实地指示化学风化强度, 具体表现为两种因素的控制:

表 3 中国南方红土风化壳部分化学成分和特征值

Table 3. Some chemical components and characteristic values of the lateritic weathering crusts in southern China

剖面位置	成土母岩	剖面分层	层位编号	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$Fe_2O_3$	CaO	$Na_2O$	$K_2O$	$SiO_2/R_2O_3$	$Si/Al$	CIA
海康龙门	玄武岩	红土层	A1	49.78	22.94	12.07	<0.01	<0.01	0.14	2.77	3.69	99.3
		含粘土铁铝质结核层	A2	28.87	18.62	37.47	<0.01	<0.01	0.06	1.15	2.64	99.7
		铁铝质结核层	B	41.83	14.91	30.05	<0.01	<0.01	0.08	2.09	4.77	99.4
		含玄武岩残块粘土层	C	25.31	21.15	34.55	0.18	<0.01	0.02	0.99	2.03	98.4
		半风化玄武岩层	D	53.21	15.41	1.07	8.81	3.49	0.78	2.54	5.87	40.5
湛江山岱	花岗岩	红色粘土层	A	80.67	10.41	3.16	0.1	0.01	0.12	11	13.2	96.9
		杂色高龄土层	B1	74.88	15.37	2.45	0.06	0.01	0.19	7.5	8.28	97.9
		白色高岭土层	B2	65.86	22.69	0.82	0.06	0.01	1.28	4.8	4.93	93.7
		半风化花岗岩层	C	73.52	13.58	1.11	1.22	3	4.55	8.4	9.2	52.9

注:数据引自李文达等<sup>[2]</sup>。

一方面, 原生石英在表生作用下的相对残余富集。石英是自然界表生作用中最抗风化的矿物之一。对于石英的溶解动力学特征, Lasaga 等<sup>[16]</sup>曾对一些常见矿物进行了风化溶蚀实验, 结果发现, 在模拟风化流体 pH 为 5 的稀溶液中, 1 mm 粒

级大小的白云石为 1.6 a, 透长石完全溶解需要 291 000 a, 而石英要 34 000 000 Ma 才能被彻底溶解, 比难溶的透长石还慢 100 倍以上。所以在自然的水热条件下, 原生石英主要以残积为主, 溶蚀作用较弱。

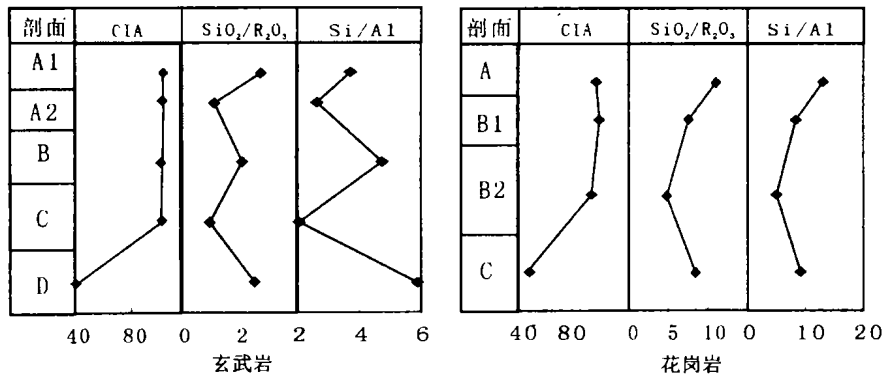


图4 中国南方红土风化壳特征值剖面图

Fig. 4. Variation profile of some characteristic values with the depth of weathering crusts in southern China.

另一方面, Fe、Al 氧化物及粘土矿物的机械淋洗作用。在雨量充沛的湿热条件, 以及土壤砂粘比较大, 骨架矿物含量较高的情况下, Fe、Al 氧化物及粘土矿物容易沿着土壤孔隙或裂隙下渗或被地表径流带走; 而在相对低能的条件, 以及土壤比较粘重的情况下, Fe、Al 氧化物及粘土矿物主要以残积作用为主。

贵州平坝剖面上部, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 逐渐降低, 以及 SiO<sub>2</sub> 含量持续升高; 矿物组合中石英含量增大、赤铁矿和三水铝石及粘土矿物逐渐减少。说明在热带、亚热带的湿热气候条件下, 雨量充沛, 化学风化作用强烈, 红土中大量易风化矿物被分解、粘土化。以石英为主的抗风化矿物组成土壤的骨架, 红土化过程中铁铝氧化物以及粘土矿物以雨水为载体沿着土壤孔隙或裂隙下渗或被地表径流带走, 甚至造成赤铁矿在剖面顶部的消失, 从而使 SiO<sub>2</sub> 得到富集, Fe、Al 氧化物贫化。

另外, 我们对平坝剖面做了粒度分析测试, 测试仪器为北京大学城环系沉积学实验室的 Malvern 2000 激光粒度分析仪, 量程为 0.02 ~ 2 000 μm, 样品重复测量误差 < 5%。样品粒度主要以粘粒和粉砂为主, 砂粒含量极低。从粒度分析结果(见图 5)可以看出, 粘粒和粉砂成镜像分布。在剖面下部, 从下向上, 随着风化程度的增强, 粉砂含量降低, 粘粒含量升高, 显示了正常的残积风化壳演化特征。但是从 3 m 深度至地表却表现出粉砂含量增加, 粘粒含量降低的反常现象, 从而进一步证明了 Fe、Al 氧化物及粘土矿物在表

层被淋洗和机械下渗的可能性。新蒲和花溪剖面上部石英含量的增加, 以及粘土的减少, 也指示了表层的机械淋溶作用。

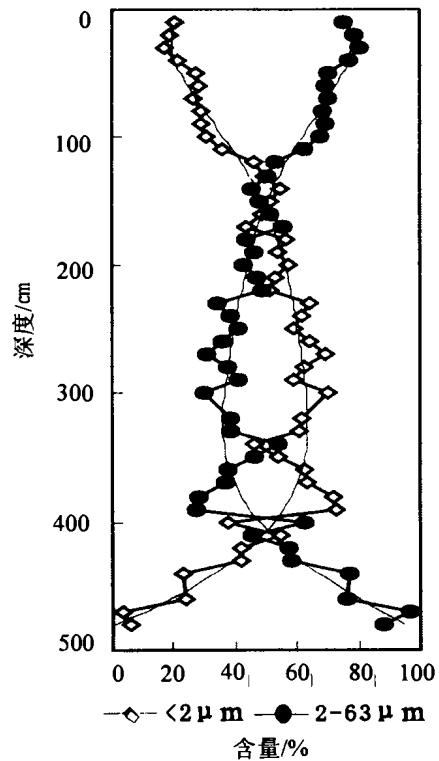


图5 平坝剖面粘粒、粉砂含量变化曲线

Fig. 5. The variation curves of clay & silt grain-sized fractions at Pingba.

华南湛江山岱花岗岩上发育的风化壳尤为突出, 花岗岩中石英含量高, 所以在风化剖面上本底

值高,在化学风化过程中,原生石英作为红土剖面的主要矿物成为支撑土壤的骨架,使红土表层的土壤孔隙度增大,为 Fe、Al 氧化物及粘土矿物的渗滤和淋失创造了条件。海康龙门玄武岩由于石英含量低,所以在风化剖面上部 Si/Al、和 SiO<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 呈现微弱的升高,土壤质地也比湛江山岳风化壳表层粘重,降雨对 Fe、Al 氧化物及粘土矿物的渗滤和淋失也弱一些。

综上所述,引起中国南方红土层出现 Si/Al 和 SiO<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 升高的主要原因是由于 Fe、Al 氧化物的下渗和淋失作用引起 SiO<sub>2</sub> 的相对富集。有的作者<sup>[3,17,18]</sup>认为红壤中铁铝氧化物表面对可溶性氧化物具有较强的亲合性,能吸附溶液中的氧化硅。但是在温暖湿热的热带、亚热带气候条件下,矿物风化形成的可溶性硅酸易随雨水淋失而

不易被铁铝氧化物及粘土矿物吸附。也有作者认为外来富硅物质的带入会引起该比值的变化,对于本文研究的剖面,尤其是位于贵州高原岩溶台上的剖面来讲,风力和水力搬运作用的物质带入可能性是很小的,根据王世杰等<sup>[13]</sup>对贵州岩溶台地风化壳的研究结果,该风化壳是原位风化形成的。

### 3 结论

Fe、Al 氧化物的下渗和淋失作用及其对石英的相对富集是引起中国南方红土层出现 Si/Al 和 SiO<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 升高的主要原因。Si/Al 或 SiO<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比值的增大,并不意味着剖面上部风化程度的降低。因此 Si/Al 或 SiO<sub>2</sub>/R<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 比值在某种程度上并不能真实反映化学风化强度。

### 参 考 文 献

- [1] 黄镇国. 中国南方红色风化壳[M]. 北京:海洋出版社,1996. 1~56.
- [2] 李文达,王文斌,程忠富,等. 华南红土化作用地球化学及金矿形成的可能性[M]. 北京:地质出版社,1995. 5~41.
- [3] 李庆远. 中国红壤[M]. 北京:科学出版社,1983. 1~15.
- [4] Mushs D C, Rosholt J N, Bush C A, et al. Genesis of marine terrace soils, Barbados, west Indies; evidence from mineralogy and geochemistry[J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 1987, 12:605~618.
- [5] Borg L E, Banner J L. Neodymium and strontium isotopic constraints on soil sources in Barbados, West Indies[J]. *Geochim. Cosmochim Acta*, 1996, 60:4193~4206.
- [6] Mushs D R, Bush C A, Stewart K C. Geochemical evidence of Saharan dust parent material for soils developed on Quaternary limestones of Caribbean and West Atlantic Islands[J]. *Quaternary Research*, 1990, 33:157~177.
- [7] 黄昌勇. 土壤学[M]. 北京:中国农业出版社,2000. 21~31,133~157.
- [8] 高柳青,袁宝印. 南宁、白色盆地红土风化壳的地球化学特征及其环境意义[J]. 地理研究, 1996, 15(1):82~90.
- [9] 西南农业大学. 土壤学(南方本,第二版)[M]. 北京:农业出版社,1994. 11~13.
- [10] 杨元根,刘丛强,袁可能,等. 南方红土形成过程及其稀土元素地球化学[J]. 第四纪研究,2000, 20(5):469~480.
- [11] 仇荣亮,熊德祥,黄瑞采. 滇东南土壤环境演变与化学矿物学组成[J]. 土壤通报,1995, 26(5):207~209.
- [12] 张雪林. 晚更新世红土母质土壤的发生学特征及其分类[J]. 土壤学报,1995, 32(3):271~277.
- [13] 王世杰,季宏兵,欧阳自远,等. 碳酸盐岩风化成土作用的初步研究[J]. 中国科学(D辑),1999, 29(5):442~449.
- [14] 季宏兵,欧阳自远,王世杰,等. 白云岩风化剖面的元素地球化学特征及其对上陆壳平均化学组成的意义——以黔北新蒲剖面为例[J]. 中国科学(D辑),1999, 29(6):504~513.
- [15] 王世杰,季宏兵,孙承兴. 贵州平坝县白云岩风化壳中稀土元素分布特征之初步研究[J]. 地质科学,2001, 36(4):474~480.
- [16] Drever J I. Weathering processes[A]. Saether O M, Caritat P. Geochemical Processes, Weathering and Groundwater Recharge in Catchments[M]. Rotterdam: A. A. Balkema, 1997. 3~19.
- [17] 何群,邵宗臣,王维君. 红壤的氧化硅吸附和溶解特性以及与表面性质的关系[J]. 土壤,1995, 6:295~300.
- [18] 于群英,李孝良. 土壤对硅的吸附与解吸特性研究[J]. 安徽农业技术师范学院学报,1999, 13(3):1~6.

## DISCUSSION ON POSSIBLE CAUSES OF INCREASES IN Si/Al RATIO IN SURFACE LAYERS OF SOME LATERITIC PROFILES

Feng Zhigang, Wang Shijie, Sun Chengxing

(1. The State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550002; 2. The Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039)

### Abstract

The ratios of  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  or  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  are usually used as indices of supergene chemical weathering intensity. With chemical weathering processing, the ratios of  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  or  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  tend to decrease gradually. But those of lateritic weathering crusts in southern China tend to increase, bringing about difficulties to indicate the chemical weathering intensity. This paper probed into the possible causes for this abnormal phenomenon in terms of the chemical weathering degree of lateritic weathering crusts of dolomitite at Pingba, Xinpu and Huaxi, and discussed some lateritic weathering crusts of different mother rocks in southern China. It is pointed out that increases in ratios of  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  or  $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$  are attributed to leaching and infiltration of oxides of Fe and Al, and relative enrichment of quartz.

**Key words:** ratios of Si/Al; laterite; southern China; chemical weathering intensity