

## 我国海南岛第四纪玄武岩风化壳的地球化学特征\*

郭旭东 盛学斌

(中国科学院地质研究所) (国家地震局地质研究所)

我国红土风化壳在江南亚热带-热带地区分布十分广泛。过去的研究程度很薄弱,除土壤学家们进行了一些区域性的研究外,从第四纪地质和地球化学方面进行深入研究的结果不多<sup>[1,2]</sup>。

中国科学院南海海洋研究所地质室曾对广东沿海地区的红色风化壳做过不少调查,对风化壳矿物化学进行了分析研究<sup>[3,4]</sup>。丁国瑜等<sup>[2]</sup>曾调查了海南岛北部的红土风化壳,论述了有关红土风化壳的一些地质问题。1974年,作者等对海南岛北部的红土风化壳又进行了较系统的调查(工作地点位置见图1),包括各种发育在不同地质时代的基岩或沉积物上的风化壳。限于篇幅本文仅论述第四纪玄武岩红土风化壳的地球化学方面的研究成果。

海南岛北部第四纪玄武岩,除了时代较新的、还保存突起的火山锥外,时代较老的大多构成较平坦的海岸玄武岩台地。一般可分为:石峁岭期(中更新世)、湖光岩期(晚更新世)、雷虎岭期(全新世)。实际上可能远不止于这三期。

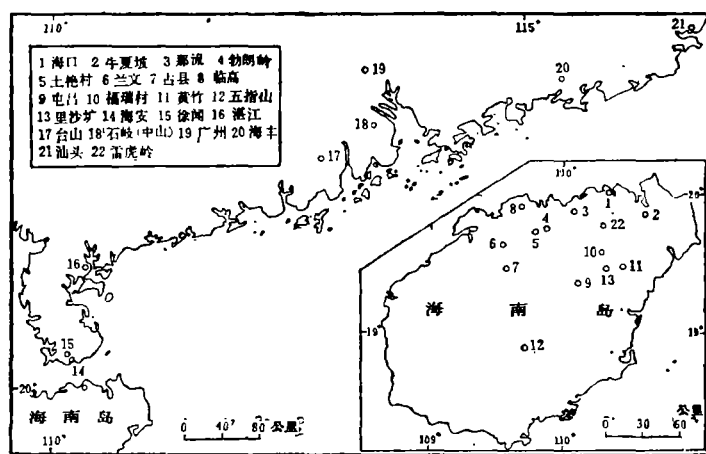


图1 工作地点地理位置图

### 一、玄武岩红土风化壳地质结构和岩性特征

在海南岛北部玄武岩台地上,红土风化壳几乎遍地皆是。我们重点观察了八个剖面,

\* 野外调查期间袁宝印和赵希涛同志曾给予热情帮助。参加野外调查的还有禹祥裕、薛万俊、冯文科、李元山、缪祥山等同志,对他们所给予的帮助和支持,表示感谢。

表1 海南岛北部八个地点风化壳地质结构和岩性特征

剖面地点	柱状图	样品位置及编号	岩性描述	保持原结构程度	厚度(米)
澄迈波朗岭		74Q-01	红棕色砂质粘土,为现代土壤层。	未见	0.5
		74Q-02 74Q-03	棕红色较纯粘土,结构松散,粒状集合体,及细粒状集合体结构。	未见	2—3
		74Q-04	淡黄棕色或橙黄色砂质粘土,少见玄武岩砾。	未见	1—2
		74Q-05	浅红色红土化的球状玄武岩,风化较深,大多成土或半成土,见铁质斑点和白色高岭土球。	隐约可见	2.53
		74Q-06	灰褐色球状风化玄武岩,风化面松散易落,风化环结构清楚,见红色铁质斑点。	保持原结构 气孔未变形	0.8—2.0
			灰黑色新鲜玄武岩,结构致密,气孔不发育,少数见有方解石充填。		
临高城水汽渠		74Q-07 74Q-08	暗棕红色粘土,含少量细小的块砾。	未见	1.0
		74Q-09	暗棕红色粘土,富集较多铁质结核,下部含少量玄武岩碎屑。	未见	0.30
		74Q-10	浅棕色红土化的球状玄武岩,结构疏松,能捏碎,但不完全成土,气孔仍可见。	部分保持原结构	2.0
占水兰文近		74Q-11 74Q-12	暗紫红色粘土,含玄武岩小石块。	完全消失	0.4—1.0
		74Q-13	浅黄色球状风化玄武岩,部分成土,如浅黄色或蛋黄色粘土,球状风化较浅,内部尚未风化。	基本上保存	1.0
		74Q-14	灰黑色新鲜玄武岩,结构致密,气孔不发育,偶见橄榄石充填。		
		74Q-15	暗棕红色粘土。	未见	3.20
琼山县牛夏坡水渠		74Q-16	棕红色完全红土化的玄武岩,只见少数玄武岩碎块,偶见球状体。	偶见球状体	1—2
		74Q-17	黄褐色球状风化玄武岩,玄武岩大部分风化成球形,外部疏松易脱落,见红色铁质斑点。	基本保存	2—3
		74Q-18	黄褐色半风化玄武岩,破碎成块状,柱状裂隙发育。	保存较好	4.0
			灰色新鲜玄武岩,结构致密,见少数大气孔,可见石英和长石细小晶体。		
琼海县福瑞村水渠		74Q-19 74Q-20	棕褐色砾质粘土,含砂量大些,夹玄武岩碎石,偶见球状玄武岩残体,粘土深褐色,稍带红,上部为较纯的灰褐色粘土,中夹30—40厘米厚外表被铁质包裹的豆状玄武岩。	基本消失	1.2 2.8
		74Q-21	粘土化的球状玄武岩,每个风化环结构松散,外壳由黄色土质风化产物组成,下部见豆状体。	基本保存	2.2
		74Q-22 74Q-23	新鲜玄武岩,深灰色,结构致密,气孔极不发育,属湖光岩期,风化破碎成块状,上部为球状风化玄武岩。	保存良好	
海口市那流附近		74Q-24	棕红色—红褐色粘土带,含较多铁锰豆及砂(少量),为湖光岩期玄武岩风化产物。	未见	1.2
		74Q-25	褐色铁锰豆带,直径一般小于2厘米,夹红色粘土。	未见	0.23
		74Q-26	黄褐色碎块状玄武岩与铁锰结核,结核直径3—10毫米,玄武岩块一般直径3—15厘米。	部分保存	大于1
屯里沙塘		74Q-27	灰褐色亚粘土,混小砾,土层很薄。	未见	约1
		74Q-28	灰色玄武岩,属雷虎岭期,气孔发育,约占30—20%,少量充填方解石和橄榄石,隐晶结构。	保存良好	大于1
琼雷虎岭		74Q-29	黑褐色亚粘土,多与玄武岩块砾混合组成,土层薄,多集中在凹坡地带。	未见	约1
		74Q-30	深灰黑色玄武岩,致密块状结构,见少量气孔,且多为方解石充填,周围见大量火山弹。	保存良好	大于1

其位置是:澄迈县勃朗岭,临高县油库附近,占县兰文水库附近,琼山县牛夏坡水渠,琼海县福瑞村、海口市那流附近,屯昌县里沙塘,琼山县雷虎岭每个剖面在不同程度上都具有分带性。由于这些地点风化壳发育的地质年龄和所处的地貌部位不同,又经常受地表水的冲刷,各剖面地质结构或岩性不完全一致,如:有的风化壳剖面各个风化带发育较全;有的则残缺不全(见表1)。

## 二、风化壳的矿物组成

在上述八个风化壳剖面中,选择部分样品,进行了碎屑矿物和粘土矿物分析。每个样品都应用差热分析、X-光衍射分析和电子显微镜鉴定三种方法作了粘土矿物的平行分析。结果表明,在红色或棕红色粘土带中,碎屑矿物主要为褐铁矿和石英,其次为磁铁矿、赤铁矿和云母。许多石英颗粒表面已溶蚀成凹凸不平或不规则的形态。有些氧化铁呈胶膜包裹在矿物的周围。在各个风化带中,粘土矿物计有高岭石、多水高岭石、三水铝石、水针铁矿、蒙脱石、云母和水白云母等。由于强烈的风化作用,电子显微镜下显示的各种粘土矿物晶形都较差。高岭石除了形态不规则外,一般晶体都较小,只有少量为较完好的六边形。而结晶差的高岭石多为椭圆形。水白云母和云母呈现细鳞片状形态。水针铁矿为针状矿物。部分差热曲线(图2)表明,除了样品74Q-29外,基本上都含有水针铁矿。图中各条曲线在305—328℃上显示的吸热谷,主要是由于红土中大量褐铁矿加热脱水产生赤铁矿时所形成的。此外,各条曲线上反映的主要为高岭石和多水高岭石。由于高岭石矿物含水较多,曲线上两个吸热谷表现更为突出。其中580—648℃谷是由于矿物中结晶水析出而引起的。而900℃左右放热峰表明脱水后矿物产生重结晶,并形成新的矿物时所引起的。这个过程在74Q-27, 74Q-15, 74Q-3, 74Q-8等样品中表现亦十分清楚。而74Q-13 74Q-29样品中还含有水白云母。这种矿物是高岭石与云母之间的一种过渡性矿物,不太稳定。此外,X光射线法还发现74Q-16样品中含有三水铝石;电子显微镜下发现74Q-24样品中含蒙脱石等。

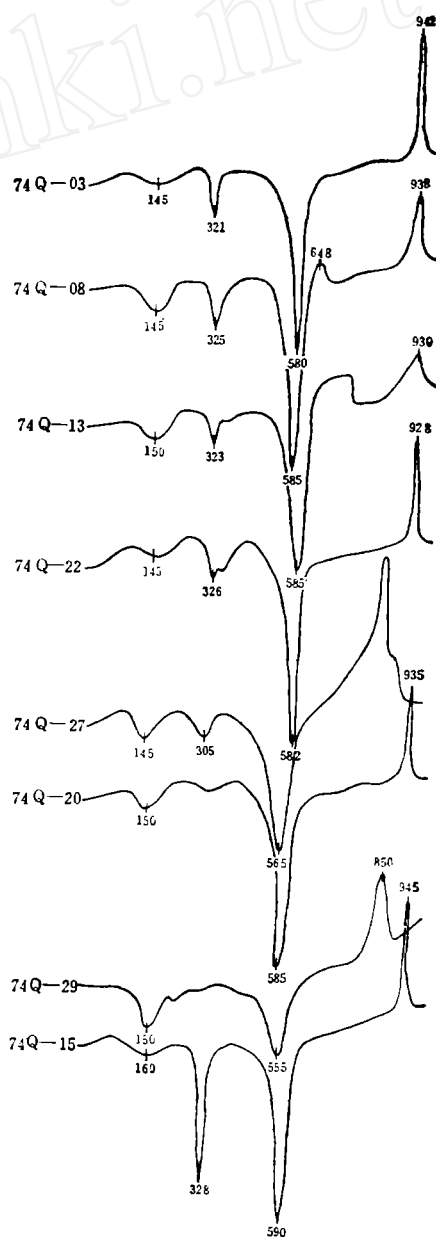


图2 玄武岩红土风化壳粘土矿物差热曲线

### 三、风化壳地球化学特征

#### (一) 风化壳基本化学元素组成

在八个剖面不同风化带选出 30 个代表性样品进行了化学分析, 其结果列于表 2, 并表示于图 3 上。该图、表说明:

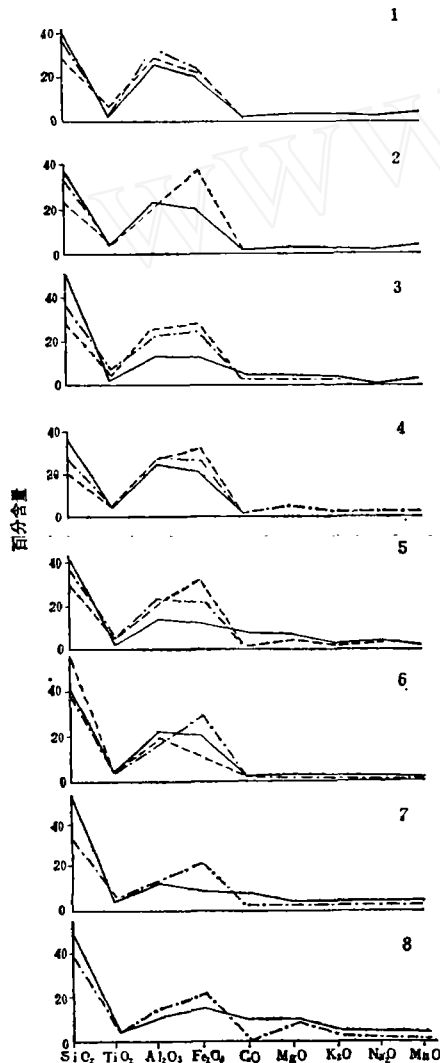


图 3 海南岛北部玄武岩红土风化壳化学分析结果的曲线图解。

实线表示母岩, 虚线表示红土带, 点划线表示下带。1. 勃朗岭, 2. 临高油库, 3. 兰文水库, 4. 牛夏坡, 5. 福瑞村, 6. 那流, 7. 里沙塘, 8. 雷虎岭。

#### 1. 石峁岭期玄武岩风化壳

此期玄武岩风化壳剖面有临高油库、勃朗岭、兰文水库和牛夏坡等四个。它们均为红土风化壳。在基本化学组成上, 这四个剖面的共同特点是以 Si、Al、Fe 三种元素氧化物为主, 其含量占总含量的 80—90%。钛的氧化物含量极低微, 仅占 1—3%, 其他的如碱金属和碱土金属氧化物的含量也很低。

在这四个剖面中, 基本化学成分具有明显的相似性质。除了剖面下部母岩外,  $\text{SiO}_2$  含量一般变化在 33—34%, 最高为 35%, 最低为 22%。在这四个不同的剖面的各风化带中, 总的看来,  $\text{SiO}_2$  含量的变化并不十分明显。这说明, 其成壳母岩及后来受到化学风化作用的强度是一致的。 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  也是红土风化壳最重要的化学成分之一。这两者的含量仅次于  $\text{SiO}_2$ 。 $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量与  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  相似或稍偏高, 一般为 25% 左右, 最高亦不过为 29%, 最低为 19% 左右。而  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量大体上都在 22—23%, 最高 28%, 局部富含铁质结核条带的样品, 竟高达 39%。这种情况多出现在 A 带的下部。 $\text{Fe}_2\text{O}_3$  最低含量为 20% 左右。碱金属和碱土金属氧化物含量在这三个剖面中均低于 0.5%, 如  $\text{K}_2\text{O}$  含量为 0.1—0.2%,  $\text{Na}_2\text{O}$  为 0.25,  $\text{MgO}$  为 0.33%,  $\text{CaO}$  在风化带中实际上等于零。

#### 2. 湖光岩期玄武岩风化壳

此期玄武岩风化壳的特点是: 风化产物一般未变成红色或棕红色, 大多为淡黄色和褐红色。一般认为这期玄武岩是晚更新世期间喷发的, 所受到的化学风化程度比石峁岭期要差。这在风化壳基本化学成分上是很清楚的。 $\text{SiO}_2$  和碱金属或碱土金属元素氧化物的含量都偏高。新鲜玄武岩

$\text{SiO}_2$  含量达 40%,  $\text{MgO}$  和  $\text{Na}_2\text{O}$  含量分别为 6.95% 和 3.05%。相反地,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$

表 2 海南岛北部玄武岩红土风化壳化学分析数据

地 点	样品编号	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
澄迈县波朗岭	74Q-01	33.10	3.40	26.60	21.23	—	0.33	0.25	0.40	0.15	0.08
	74Q-02	33.21	3.48	27.18	22.26	—	0.33	0.15	0.15	0.10	0.25
	74Q-03	33.60	3.65	27.03	22.66	—	0.33	0.10	0.40	0.10	0.25
	74Q-04	34.88	3.65	26.37	23.40	—	0.20	0.10	0.30	0.25	0.25
	74Q-05	33.67	4.10	26.40	23.42	—	0.33	0.10	0.20	0.25	0.35
	74Q-06	28.17	4.30	26.46	23.78	—	—	0.10	0.25	0.25	0.38
临高县城汽油库	74Q-07	34.12	3.62	24.13	20.99	—	0.62	0.27	0.50	0.12	0.13
	74Q-08	22.01	3.16	19.64	39.03	—	0.50	0.27	0.26	0.14	0.28
	74Q-09	34.03	3.16	25.73	22.24	0.52	0.25	0.26	0.65	0.12	0.13
	74Q-10	34.79	2.86	23.70	20.49	0.35	0.50	—	0.26	0.22	0.13
占县兰文水库附近	74Q-11	32.28	3.85	23.24	24.27	0.39	0.30	0.25	0.18	0.25	0.30
	74Q-12	34.09	2.75	24.30	23.70	—	—	0.20	0.18	0.05	0.20
	74Q-13	27.03	2.80	24.02	28.38	—	—	0.20	0.18	—	0.30
	74Q-14	53.41	1.70	15.88	13.65	5.83	5.83	0.70	2.60	0.15	0.30
琼山县牛夏坡水渠	74Q-15	27.59	4.55	29.00	22.96	—	0.33	0.30	0.30	0.10	0.08
	74Q-16	29.51	4.10	27.23	25.97	—	—	0.25	0.20	0.10	0.13
	74Q-17	19.93	4.10	26.95	30.41	—	—	0.15	0.15	0.05	0.50
	74Q-18	34.12	3.60	27.26	21.43	—	—	0.15	0.20	0.15	0.25
琼海县福瑞村水渠	74Q-19	36.27	5.15	23.30	22.17	—	—	0.15	0.20	0.10	0.05
	74Q-20	28.95	4.20	21.46	30.85	—	0.33	0.15	0.20	0.50	0.50
	74Q-21	36.26	4.48	22.86	25.18	—	0.30	0.15	0.15	0.15	0.15
	74Q-22	35.76	4.68	21.57	23.54	—	0.33	0.15	0.15	0.20	0.30
	74Q-23	40.92	2.10	13.89	12.73	7.28	6.95	1.05	3.05	0.15	0.38
海口市那流附近	74Q-24	56.58	3.50	18.26	16.84	—	0.33	0.30	0.25	0.08	0.05
	74Q-25	38.65	3.15	17.89	31.04	—	0.33	0.25	0.20	0.15	0.15
	74Q-26	42.24	3.17	21.28	20.95	—	0.33	0.15	0.15	0.25	0.15
屯昌县里沙塘	74Q-27	33.05	4.36	12.88	22.48	—	1.22	0.65	0.30	0.25	0.44
	74Q-28	52.38	2.04	11.88	15.27	7.35	6.14	1.50	2.95	0.10	0.60
琼山县雷虎岭	74Q-29	38.06	3.75	14.42	21.07	1.94	7.15	0.50	0.45	0.25	0.25
	74Q-30	45.94	2.90	12.94	15.45	9.66	9.04	1.20	2.75	0.10	0.75

含量都较低,分别为 13.89% 和 12.73%。在各个风化带中  $\text{SiO}_2$  含量逐渐减少,一般为 36%,最低为 28%。这种现象在福瑞村剖面中表现得较突出。

### 3. 雷虎岭期玄武岩风化壳

这期玄武岩大家公认是全新世时期喷发的,无论是火山锥和玄武岩流都较新鲜,化学风化极弱,地表仅有 0.5—1.0 米左右风化的岩屑或土壤,化学风化的时间仅仅数千年。这些风化残积物为灰褐色-棕褐色。雷虎岭和里沙塘玄武岩和风化细土的分析表明,玄武岩  $\text{SiO}_2$  含量较高,达 45.94% 和 52.38%,风化细土中仅为 38.06% 和 33.05%。这说明,尽管在风化壳发育的早期, $\text{SiO}_2$  还是发生了明显的移动。此外,这两处玄武岩和风化细土中, $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的含量为 14.42% 和 12.88%, 21.07% 和 22.48%,这又说明风化作用微弱。

由上可见,地质时代相同的风化壳,尽管成壳母岩化学组成上不完全一致,但各个风化带,尤其红土带的基本化学组成是比较相近的。而地质时代不同的风化壳,不但成壳母岩化学组成不同,而且各风化带化学组成相差也很显著。这不仅与成壳母岩有关,更主要的是与地质时代有关,相互间存在着一定的关系。

### (二) 化学元素的移动量和移动速度

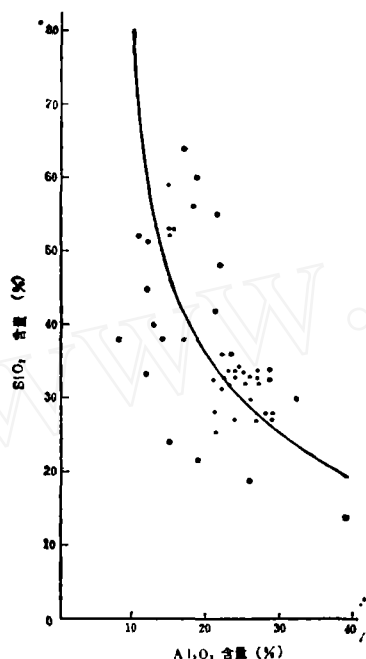
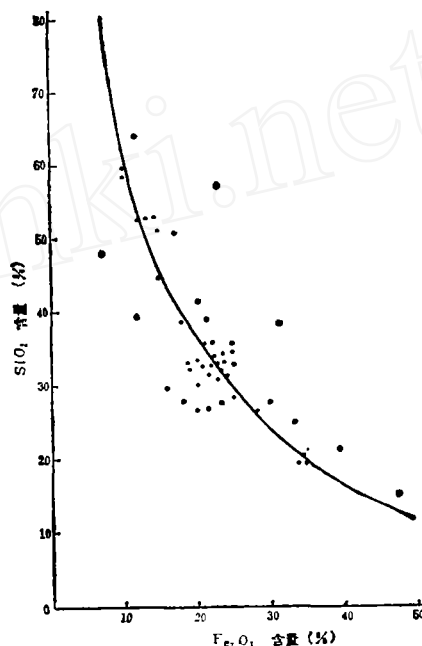
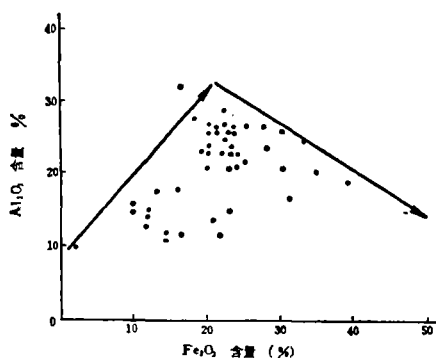
在强烈氧化作用和淋滤的条件下,风化壳中化学元素不断地处于淋失的状态。在评价元素移动值大小时,Б. Б. 波雷诺夫<sup>[1]</sup>曾提出关于化学元素移动能力的概念。他通过原生块状结晶岩的平均成分和这些岩石分布区的各种流水的干涸物平均成分差值来求得。后来 A. И. 彼列尔曼<sup>[2]</sup>大体上按同样的原理提出元素相对迁移能力的概念。应当指出,这种方法由于目前环境污染因素的影响,看来是存在问题的。本文采用化学元素绝对迁移量法,求算成壳母岩中元素的含量与风化产物中元素含量的比值(%)。计算结果表明,兰文红土中  $\text{SiO}_2$  绝对移动量达 40%,即新鲜岩石风化过程中已有 40% 的  $\text{SiO}_2$  淋失。同样, $\text{CaO}$  和  $\text{MgO}$  的移动量为 92.45% 和 94.85%,  $\text{Na}_2\text{O}$  为 93.08%。福瑞村湖光岩期玄武岩风化的褐土中  $\text{SiO}_2$  移动量为 29.25%,雷虎岭玄武岩风化的产物中  $\text{SiO}_2$  移动量仅为 17.5%,  $\text{MgO}$  为 20.91%。可见,这三个不同地质时代风化产物中元素的移动量似乎与地质时代有一定关系,即时代越老,元素移动量越大,反之减小。

风化壳元素的移动速度是指每年元素自风化壳岩石中移动的数值,R. L. 哈伊斯和 B. F. 约尼斯<sup>[3]</sup>曾计算了夏威夷吉劳亚三个地点元素的化学风化量。据初步估算,海南岛北部雷虎岭期玄武岩在 10,000 年中,每年在 1 平方厘米面积上, $\text{SiO}_2$  的移动速度接近于  $3.9 \times 10^{-3}$  克, $\text{CaO}$  近于  $1.56 \times 10^{-3}$  克。

### (三) $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$ 和 $\text{Fe}_2\text{O}_3$ 含量的相关关系

已如上述,红土风化壳中, $\text{SiO}_2$ 、 $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的含量几占 85—90%。因此,风化壳地球化学特性在很大程度上取决于这三种元素氧化物含量的多少及它们之间的相互关系。并直接影响到各风化带的物理性质。为了说明 Si、Al、和 Fe 三种元素氧化物含量之间的相关性质,现将表 2 化学分析数据图解表示如下(图 4、5、6)<sup>1)</sup>。从图 4 看出,在各个风化壳剖面中  $\text{SiO}_2$  含量最高时, $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量最低。以后随着风化作用逐渐加深,Si 元素不

1) 图中还引用了作者尚未发表的 8 个样品的化学分析数据。

图4 风化壳中  $\text{SiO}_2$  与  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量相关关系图5 风化壳中  $\text{SiO}_2$  与  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量相关关系图6 风化壳中  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  与  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量相关关系

断淋失,使  $\text{SiO}_2$  含量迅速降低。与此同时,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量迅速增加,相关曲线由急剧下降逐渐转为较缓慢下降。在转折点附近,代表红色粘土或暗红色粘土带的  $\text{SiO}_2$  和  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量差不多变化在 25—35% 之间;然后随  $\text{SiO}_2$  的继续淋失,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量亦继续增加。我们把曲线的上段称为  $\text{SiO}_2$  对  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量的“正相关”关系;中间阶段称为“等相关”;下段称“负相关”。

图5表明,风化壳发育的早期阶段,随着  $\text{SiO}_2$  自风化壳母岩中淋失,母岩受到强烈的氧化作用,这时,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量迅速增加。在此阶段,  $\text{SiO}_2$  与  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量呈正相关。后来随着化学风化作用的加强,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量继续递增,相应地  $\text{SiO}_2$  含量相应减少。在红土阶段  $\text{SiO}_2$  与  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量亦大体上为 25—35% 和 17—25%。这时  $\text{SiO}_2$  与  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量为“偏等相关”。在富铁阶段,即  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量为 35—50%,  $\text{SiO}_2$  含量减少为 15% 左右,此阶段称“负相关”。

图 6 代表  $\text{Al}_2\text{O}_3$  与  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量的相关关系。图中所有的点较多地集中在两个区间内。第一区间  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 10—25%， $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量为 10—17% 左右；第二区间， $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量为 20—30%， $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量 20—25%。这说明第一区间可能代表从母岩向铝土阶段过渡；第二区间代表红土阶段；最后属富铁阶段。在铝土阶段， $\text{Al}_2\text{O}_3$  与  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量为“正相关”或“等相关”；在红土阶段， $\text{Al}_2\text{O}_3$  与  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量为“正相关”；富铁阶段为“负相关”。总之，随着风化作用从铝土阶段过渡到富铁阶段，风化产物中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  增加， $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量也逐渐增加；而红土阶段发展到富铁阶段，相反地，随着风化壳中  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的增加， $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量逐渐减少。这种规律有可能将风化壳的发展划分为富铝化阶段、红土化阶段和铁化阶段。这三个阶段在玄武岩风化壳中，有的是清楚的，但也有不少风化壳剖面，直接地由球状风化带变为红色粘土，即未经完全的铝化阶段，就进入红土化阶段。如临高油库和牛夏坡及兰文水库附近。在这种情况下，球状风化玄武岩变成红色或灰红色，因而，其中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量虽然不高（约占 10—15%），而  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  含量却达 20—30%。这说明在热带环境下的风化壳发育过程中，富铝化与红土化两个阶段，在某些特殊的地质环境和成壳母岩条件下可以明显地分为两个阶段，而在一般条件下可能是同时进行的。图 7 表明，富铝化、红土化和铁化三个阶段及它们之间的相互过渡关系。

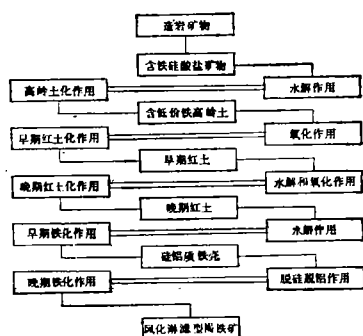




程,但从风化壳的物理性质上看,这三个过程实际上是不可分割的。它们总是互相联系,既有区别,又有共性。

假如,我们将红土风化壳的红土化过程理解为实质上是含铁造岩矿物晶体格架上配位的  $\text{Fe}^{++}$  离子在氧化和水解条件下;二价铁离子失去一个电子而变成三价铁离子或三价铁离子的水合物的话,那么,这种作用显然也存在于风化壳发育的早期阶段——高岭土化阶段,那怕是很微弱的作用。由此可见,红土化作用无疑地包含在热带玄武岩风化壳形成过程的始终。本文试将这个过程称为“广义的红土化作用”。

过去在文献上曾提到了关于“高岭土化”、“红土化”和“铁化”等概念<sup>[13,14,15]</sup>。但至今还未见到有人对这些概念给予一个有实质内容的清晰定义。佩森<sup>[7]</sup>在他的近期著作中认为,在热带环境下,高岭土化过程的化学反应类似于红土化过程。诚然,这种理解也只反映问题的一部分。因为这两个过程中主要化学效应是完全不同的。至此,热带玄武岩红土风化壳形成过程可图解说明如下:



图解说明红土风化壳形成过程: ① 首先是含铁造岩矿物的水解作用,生成含低价铁的硅土和高岭土。其他盐基和阳离子随渗透水的移动而失去。② 早期红土化作用,风化物质中低价铁元素或化合物的氧化作用,生成高价铁氧化物或胶合物,使风化产物变红色,称早期红土,一般为淡棕黄色。③ 晚期红土化作用,早期红土进一步氧化和水解,产

表 3 海南岛北部第四纪玄武岩红土风化壳类型

风化壳类型		分布地点	主要化学组成	地球化学过程	地质时代	主要粘土矿物
进 化 型	硅铝质型	雷虎岭	Si、Al、Fe、 Mg、Ca、K	以高岭土化作用为主	全新世 (雷虎岭期)	高岭石,石英多 水高岭石
	硅铝铁型	里沙塘	Si、Fe、Al、Mg	以高岭土化作用为主, 微弱红土化作用	晚更新世 (湖光岩期)	高岭石、云母三 水铝矿、针铁矿
	富硅铝铁型	临高油库	Si、Al、Fe	以红土化作用为主,其 次为早期铁化作用	中更新世 (北海组上部)	高岭石、针铁矿、 云母、蒙脱石
	富铁硅铝型	武菜村 <sup>1)</sup>	Fe、Si、Al	早期铁化作用为主,伴 随脱硅脱铝作用	早更新世 (湛江组上部)	
	铁壳	美台市 <sup>1)</sup>	Fe为主, Si、Al 少量	晚期铁化作用,伴随铁 化合物的胶结作用	早更新世 (湛江组?)	

1) 这两个地点资料尚待发表。

生铁的水化物(水化针铁矿)。由于水合物和胶合物的增加,使风化物质变成棕红色或暗紫红色,称晚期红土。④ 早期铁化作用,晚期红土再经水解作用,使原来的水化针铁矿在吸水后转变为褐铁矿。这时红色粘土中铁锰物质大量富集,由于胶凝作用而形成坚硬的铁壳。⑤ 晚期铁化作用,早期富硅铝型铁壳在不断脱硅和脱铝的作用后,仅保存下铁质壳体,生成较纯的呈蜂窝状的铁壳——风化淋滤型褐铁矿床。海南岛北部风化淋滤型铁矿分布甚广,不少地区已土法开采,发展地方制铁工业。

## 结 语

1. 海南岛第四纪玄武岩大体上可分为石岭期(中更新世)、湖光岩期(晚更新世)和雷虎岭期(全新世)。风化壳类型有硅铝质型、硅铝铁型、富硅铝铁型、铁硅铝型及铁壳。它均隶属于进化型风化壳系列。

2. 红土风化壳中各种化学元素的移动量,地质时代越老移动量越大,反之越小。化学元素移动量和移动速度与地质时代和气候之间可能存在某种函数关系。

3. 在红土风化壳发育过程中,理论上的高岭土化、红土化和铁化三个阶段,  $\text{SiO}_2$  与  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  与  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  与  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  三者含量具有线性函数关系。在高岭土化阶段它们是“正相关”;在红土化阶段可能为“等相关”或“偏等相关”;在铁化阶段,它们均为“负相关”关系。这三阶段元素含量的变化引起了风化过程质变主要反映在各阶段化学反应主次位置的转换上。

4. 在热环境下红土风化壳形成过程,实质上是铝硅酸盐、铁硅酸盐和硅酸盐等造岩矿物,在弱酸性介质环境下,经过不同阶段水解和氧化作用的结果。造岩矿物风化的速度取决于介质溶液中  $\text{H}^+$  离子浓度的多少。从理论上讲,这个过程可分为高岭土化阶段,早期红土化阶段,晚期红土化阶段,早期铁化和晚期铁化阶段。实际上在玄武红土风化壳发育过程中,它们是互相联系的,很难截然分开。因此,本文建议用“广义红土化”概念来包括这几个阶段的实际内容,可能具有更好的代表性。

5. 红土风化壳发育过程中,  $\text{SiO}_2$  和其他元素一样,自始至终都处在不停顿的变化中。这种变化也是符合质量转换定律的。

6. 红土是古气候的良好标志,代表湿热环境,对第四纪气候变化的研究有重要意义;为寻找前第四纪风化淋滤型铁矿的形成机制提供科学依据。

## 参 考 文 献

- [1] 郭旭东,我国喜马拉雅山中段地区风化壳类型及其地球化学特征,地质科学,1975 年第 3 期。
- [2] 丁国瑜等,海南岛第四纪地质的几个问题,第四纪地质问题,科学出版社,1964。
- [3] 何金海,海南岛的土壤发生与地质条件,中国第四纪研究,1958,1(1)。
- [4] 边兆祥,海南岛第四纪火山,中国第四纪研究,1958,1(1)。
- [5] Б. Б. 波雷诺夫,风化壳及其地球化学,陈静生等译,商务印书馆,1959。
- [6] 郭秉奎,对雷州半岛火山岩的一些认识,中国第四纪研究,1959,1(1)。
- [7] Persons, B. S. Laterite genesis, use, Location, Plenum press, New York-London, 1970。
- [8] Лукашев, В. К. Геохимия четвертичного литогенеза, изд. «Наука и техника», Минск, 1970。
- [9] Birkeland, P. W. Pedology, weathering, and Geomorphological Research, New York, London, 1974。
- [10] Hay, R. L. and Jones, B. F. 1972, Weathering of basaltic tephra on the island of Hawaii: *Geol. Soc.*

*Amer. Bull.* V. 83, P317—332.

- [11] Jackson, T. A. and Keller, W. D. 1970, A comparative study of the role of lichens and "inorganic" Processes in the chemical weathering of Recent Hawaiian Lava flows: *Amer. Jour. Sci.* V. 269, P446—466.
- [12] 波雷诺夫 Б. Б., 1952, 风化壳的类型及其随地貌条件的分布, 风化壳及其地球化学, 商务印书馆, 陈静生译。
- [13] 彼列尔曼 А. И., 1953, 风化壳的形态及其分布, 风化壳及其地球化学, 陈静生译。
- [14] 卢卡舍夫 К. И., 1956, 苏联境内风化壳的地带性地球化学类型, 科学出版社, 陈静生译。
- [15] 郭旭东, 我国西藏喜马拉雅山中段地区第四纪气候的变迁, 地质科学, 1974, 第1期。
- [16] 中国科学院南海海洋研究所海洋地质研究室, 华南沿海第四纪地质, 1978, 科学出版社。

## GEOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF WEATHERING CRUST ON THE QUATERNARY BASALT IN HAINAN ISLAND, CHINA

Guo Xudong

(Institute of Geology, Academia Sinica)

Shen Xuebing

(Institute of Geology, State Seismological Bureau)

### Abstract

The lateritic weathering crust developed on the basaltic tableland are widely distributed in the northern part of the Hainan island. According to the periods of basaltic eruption can be distinguished into three main weathering stages, i.e. the Shimaolin (Middle Pleistocene), Huguanguan (Late Pleistocene), and Leihulin (Holocene) stages. From them only in the Shimaolin one the red earth has formed.

In laterites can be found some clay minerals, such as gibbsite, halloysite kaolinite, goethite, hematite and montmorillonite.

The chemical analysis of some samples from the weathering crust gives the average contents of  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  as following:  $\text{SiO}_2$ —33—34%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ —25—27% and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ —22—23%. It is obvious that in the upper part of the weathering crust the content of silicon is decreasing, whereas the contents of iron and aluminum are increasing. The absolute migration amounts of chemical elements in laterites from Quaternary basalt are calculated for the Shimaolin stage as follows:  $\text{SiO}_2$ —about 40%, CaO and MgO—nearly 92.45% and 94.85%. For the Leihulin stage, this values of  $\text{SiO}_2$  and MgO are about 17.5% and 20.91% respectively. Since 10000 years B. P. the leaching rate of  $\text{SiO}_2$  and CaO was estimated as  $3.9 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^2/\text{y.}$  and  $1.5 \times 10^{-3} \text{ g/cm}^2/\text{y.}$  respectively. In general, the ratio of  $\text{SiO}_2$ :  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ :  $\text{Al}_2\text{O}_3$  varies from 1 to 2.5 and 0.015 to 0.04 for Shimaolin stage, while the ratio of  $\text{SiO}_2$ :  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ :  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and  $(\text{CaO} + \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ :  $\text{Al}_2\text{O}_3$  can be obtained from some locations along the coast in Guangdong province. From the calculated values a tendency of increasing can be seen that is probably related to the reduction of oxidation caused by the decreasing of precipitation and temperature from northern Hainan

island to the coastal area in Guangdong province.

Between the relative contents of three major oxides ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$  and  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) exists a positive correlation function for the early stage of chemical weathering. Whereas for the middle stage it is a correlation function of equivalence or partial correlation. Finally, for the latest stage it appears to be a function of negative correlation.

Based upon the physical and chemical properties of weathering crust, the authors put forward a new concept dealing with the extensive laterization in the course of weathering process.

### 《历史地理》创刊

《历史地理》是中国地理学会历史地理专业委员会编辑的学术性刊物。主编谭其骧, 副主编侯仁之、史念海。

《历史地理》主要刊载历史地理学基本理论和历史自然地理、历史人文地理的专题论文, 并辟有历史地理著作与学者评价、调查报告与方法介绍、国内外学术动态、地名研究、资料考订、国外重要研究成果译文等专栏。

本刊对国内外公开发行人。读者对象主要是从事历史地理学、历史学、地理学、考古学等教学和科研工作者, 大学历史系、地理系等有关专业大学生和部分中学教师以及相关学科的科学工作者。

本刊 1980 年出二期, 由上海人民出版社出版。编辑部设在上海复旦大学历史地理研究室, 欢迎投稿。

(张修桂)