

# 湘西岩溶区风化壳的物源:石英粒度分布特征的指示

冯志刚<sup>1,2</sup>, 王世杰<sup>2</sup>, 黄伟<sup>1</sup>, 刘江<sup>1</sup>, 刘秀明<sup>2</sup>

1. 南华大学核资源与安全工程学院, 湖南 衡阳 421001;  
2. 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

**【摘要】** 对湘西岩溶区呈镶嵌景观展布的4条风化剖面中石英粒度分布特征的进行对比研究,发现区域上碳酸盐岩风化成土作用具有极大可能性。基岩为灰岩的两条风化剖面(WC1和WC2)的频率分布曲线呈单峰窄峰态,众数值分别为 $4.9\phi$ 和 $4\phi$ ;两条碎屑岩风化剖面(WC3和DBK)的频率分布曲线呈单峰宽峰态,众数值分别约为 $5.1\phi$ 和 $6\phi$ 。而且各剖面基岩与上覆风化壳的石英粒度频率分布曲线呈现良好的对应关系。石英粒度的标准差、偏度、尖度等参数也显示,各剖面样品基本上分布于不同的区域。研究结果还表明:(1)母岩风化过程中,石英粒度分布特征是完全可以继承的;(2)剖面WC1和WC2为碳酸盐岩风化壳。说明在湘西岩溶区,在有利的地貌单元,碳酸盐岩是完全可以风化成土的;(3)不同风化剖面的石英粒度分布特征不同,说明在区域上,风化壳不具有共同的物源,下伏基岩是其上覆风化壳的成土母岩;(4)石英粒度分布特征是用于岩溶区风化壳物源示踪的良好指标。

**【关键词】** 湘西岩溶区;物源;石英粒度;风化壳;王村镇

中图分类号:S152.3;P152.1 文献标识码:A

文章编号:1001-6872(2009)01-0080-06

## 0 引言

近10年来,中国西南岩溶区风化壳的成因、形成机制及物质的来源等问题一直存在着争议,并形成了碳酸盐岩风化残积说、原上覆非碳酸盐岩的风化、风成物和/或火山灰风化、多源成因、溶蚀交代及体积风化等不同的观点。这种认识上的分歧,可能由于研究对象所处地理环境背景的差异造成,亦可能由于研究方法的局限造成。目前,大量的物源研究工作主要集中在贵州岩溶地区。研究中越来越多

的证据表明,在有利的地形地貌单元,碳酸盐岩是完全可以风化残积成土的。而地处江南丘陵向云贵高原山地过渡的湘西岩溶区,对于其风化壳的成因,尚未开展过系统的研究和论证。由于与邻区贵州高原处于不同的自然地理环境条件,因此无法对碳酸盐岩风化成土作用是否作为湘西岩溶区重要的土类资源的成土机制作出准确判断。方法上,惰性元素对比值<sup>[2]</sup>、稀土元素配分模式<sup>[5]</sup>、矿物学<sup>[5]</sup>、全岩粒度分布特征<sup>[4]</sup>、石英表面形态<sup>[8]</sup>、钕、铈同位素组成<sup>[9]</sup>等指标已被应用于岩溶区风化壳的物源研究领域。但上述指标在具体应用中也存在一些局限:如地球

收稿日期:2008-10-10; 改回日期:2009-03-01

基金项目:国家重点基础研究发展计划项目(2006CB403200);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开放基金项目(SK-LEG5076);湖南省自然科学基金项目(06JJ50074)

作者简介:冯志刚,男,38岁,副教授(博士),地球化学专业,研究方向:风化作用地球化学. E-mail: feng\_zg@sina.com

化学上利用惰性元素对比值恒定的物源示踪理论,由于碳酸盐岩风化过程中的巨大体积缩小变化,从而使这些元素对比值从基岩到土层中产生了巨大变化<sup>[2,10]</sup>;利用稀土元素配分曲线的示踪是基于风化过程中这些元素不发生分异的假设,但这种前提条件并非总能满足<sup>[11]</sup>;在利用矿物学及石英等稳定矿物表面特征进行物源研究时,因指标受影响因素较多,指标的多变性和非唯一性指示特征可能导致多种指示意义;利用全岩粒度分布特征进行示踪是基于在风化过程中可预测的粒径变化行为,而对于深度发育的风化壳,由于风化过程中对碎屑颗粒的强烈改造、以及次生游离氧化物的胶结作用可能导致粒度的反向粗化,都会降低对物源的指示效果;利用铷、锶等同位素的物源示踪,由于不同载体矿物间可能存在同位素组成上的差异,从而增加了对数据解释的难度。

石英由于在地质体中分布广泛,并且在表生环境下较为稳定,其粒度不易被风化成土作用改造而能更好地反映原始的粒度状况,因此其粒度分布特征可以成为恢复沉积物搬运机制、沉积环境和物质来源的良好指标<sup>[12~14]</sup>。鉴于此选择湘西岩溶区的吉首市永顺县王村镇作为研究区域,通过对 2 条下伏基岩为灰岩的风化剖面、以及呈镶嵌景观产出的 2 条碎屑岩风化壳的石英粒度分布特征的对比,以期查明区域上碳酸盐岩风化成土作用的可能性,进而对岩溶区风化壳的成因及物源进行研究,并且验证石英粒度分布特征在岩溶区风化壳物源示踪的有效性。

## 1 材料与方法

研究区位于湘西岩溶区的吉首市永顺县王村镇,地貌上属于低山丘陵地带,区域上碳酸盐岩与碎屑岩呈镶嵌景观展布,在基岩之上普遍分布着一套厚度不一的红色风化土层(风化壳)。于 2007 年 7 月 25 日~8 月 3 日期间进行了野外踏勘与样品采集工作。4 条采样剖面均位于地貌特征相似的丘陵台地面之上,以尽量消除坡积物的影响。其中 2 条剖面(WC1, WC2)的下伏基岩为灰岩,另 2 条剖面(WC3, DBK)的下伏基岩(母岩)分别为紫色砂页岩和紫红色浅变质粉砂岩,研究区采样剖面位置见图 1。4 条剖面的剖面特征及样品采集方法见表 1 所述及图 1 所示。

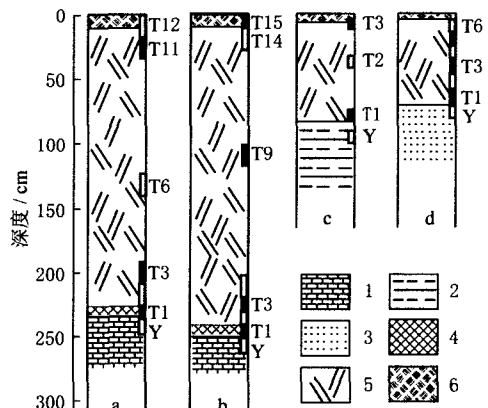


图 1 采样剖面示意图

a. WC1 剖面; b. WC2 剖面; c. WC3 剖面; d. DBK 剖面; 1. 灰岩; 2. 砂页岩; 3. 浅变质粉砂岩; 4. 岩粉层; 5. 风化壳; 6. 土壤层; Y. 基岩; Tn. 风化层样品

Fig. 1 Sketch map showing the sampling sections

表 1 研究剖面的剖面特征及采样方法  
Table 1 Characteristics and sampling method of researched sections

剖面编号	下伏基岩	酸不溶物含量/%	采样地点	剖面特征及采样方法
WC1	灰白色灰岩	0.693	王村东北农贸市场附近	人工露头,剖面厚 2.3 m,岩粉层-土界面清晰,深红色风化壳,缺失原岩残余结构;连续刻槽取样,样长 20 cm,共采集 1 件基岩、1 件岩粉和 11 件风化壳样品
WC2	灰白色灰岩	3.825	王村东约 2 km 处公路边	人工露头,剖面厚 2.5 m,岩粉层-土界面清晰,深红色风化壳,缺失原岩残余结构;连续刻槽取样,下部样长 10 cm,中、上部样长 20 cm,共采集 1 件基岩、1 件岩粉和 14 件风化壳样品
WC3	紫色砂页岩		王村东南约 10 km 处丘陵岗	天然露头,剖面厚 80 cm,岩-土界面连续过渡,紫红色风化壳;间隔取样,共采集 1 件基岩和 3 件风化壳样品
DBK	紫红色浅变质粉砂岩		王村镇大坝科村	天然露头,剖面厚 70 cm,岩-土界面连续过渡,砖红色风化壳;连续刻槽取样,样长 10 cm,共采集 1 件基岩和 6 件风化壳样品

利用石英单矿物粒度作为示踪指标,其应用前提是石英应为全岩样品中的常量组分。对 WC1 和 WC2 剖面部分样品的 X 射线衍射分析(XRD)结果显示,WC1 的下伏灰岩酸不溶物中石英含量为 35.67%,上覆风化壳的 T2, T6 中石英含量分别为 37.24% 和 38.02%;WC2 的下伏灰岩酸不溶物中石英含量为 39.84%,上覆风化壳的 T2, T7 中石英

含量分别为 45.82% 和 44.01%。而在砂页岩以及粉砂岩等碎屑岩风化壳中,石英本来就是一种常见组分。据此可以认为,利用全岩样品中石英单矿物粒度作为研究指标是具有代表性的。

石英单矿物的分离和提纯采用焦硫酸钾熔融-氟硅酸溶解法<sup>[15]</sup>,对可能产生的次生非晶态蛋白石采用热  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  溶液溶解剔除<sup>[16]</sup>。主要分离流程

为:用 30% 的  $H_2O_2$  溶液氧化样品中的有机质→对残渣用 6 mol/L 的 HCl 溶液煮沸 2 h,以除去样品的碳酸盐、铁氧化物和部分粘土→对残渣态用焦硫酸钾在 650 °C 熔融样品 45 min,去离子水浸泡熔块至完全溶解→对残渣态用 30% 的氟硅酸浸泡 3 d→用 5% 热  $Na_2CO_3$  溶液溶解去除可能存在的次生非晶蛋白石→纯石英。上述每一步骤的固液分离均采用离心机在 9 000 r/min 转速下进行。对于碳酸盐岩基岩及岩粉层样品的石英提纯,先进行酸不溶物的提取,然后对酸不溶物样品进行上述的石英提取流程。由于碳酸盐岩酸不溶物含量一般极低(表 1),为了保证有足量的供试样品,分别对 500 g 基岩碎样(>2 mm)及岩粉用 1 mol/L 的 HCl 进行快速淋溶,以提取酸不溶物,提取方法详见王世杰等<sup>[2]</sup>。对于 2 条碎屑岩风化壳的基岩样品,由于碳酸盐矿物等酸溶组分含量较低,不需要再单独进行酸不溶物组分的提取工作。

石英粒度分析用国产 Rise-2008 型激光粒度分析仪测试,量程为 0.02  $\mu m$  ~ 1 200  $\mu m$ ,用标样 GBW(E)120021 控制的分析误差  $D_{50} < 2\%$ ;矿物成分用 dmax/2200 型 X 射线衍射仪(XRD)分析;石英纯度检验用日产 JEOL-JSM-6460/LV 型扫描电镜(SEM)与能谱仪(EDX)联用技术,以及国产 CRY-2P 型高温差热分析仪(DTA)进行。以上分析中,XRD,SEM-EDX 测试在中国科学院地球化学研究所完成,其余分析在南华大学完成。

## 2 结果与讨论

### 2.1 石英纯度的检验

为了保证供试材料的代表性,随机抽查经过石英分离提纯的样品 WC1-T2 和 DBK-T1 进行纯度检验。从样品的 DTA 分析曲线(图 2)中可以看出,两件样品均在 570 °C 左右出现了强烈吸热谷,而在其他温度范围内未出现明显热效应,对照《矿物差热分析鉴定手册》上的标准图谱<sup>[17]</sup>,可以认为两件供试样品的 DTA 曲线为石英曲线。在 573 °C 为低温  $\alpha$ -石英和高温  $\beta$ -石英的相转变温度,升温过程中,当达到相转变温度时,发生吸热反应。在 DTA 曲线的低温区(<300 °C)未出现热效应,说明风化壳形成过程中可能产生的次生蛋白石被剔除,同时也指示了石英分离和提纯过程中释放的硅酸未发生明显沉淀。然而,长石等一些矿物类在以上测试温度范围内较为稳定,不产生热效应,所以从上述 DTA 曲线中还无法判断样品中是否有此类矿物的残留。通

过 SEM-EDX 联用技术的进一步观察和测试显示,两样品在镜下均呈乳白色,表面无明显溶蚀痕迹,颗粒大多呈不规则粒状,自形程度低,且未发现其余物质的存在。多个矿物颗粒的 EDX 微区分析结果显示(见图 3,由于视域中未发现明显异常而未附 SEM 图片),能谱图中只出现了 Si, O 峰(C 峰的出现是由于样品在预处理过程中喷碳所致),说明上述石英分离提纯的方法是可靠的。另外,由于中国西南岩溶区风化壳的脱硅富铝化程度较弱<sup>[18]</sup>,因此,即使在风化过程中形成的微量次生石英也不足以影响利用碎屑石英的粒度分布特征对物源的指示。可以近似认为,经过提纯处理后的石英粒度代表了母岩中原始的石英粒度组成。

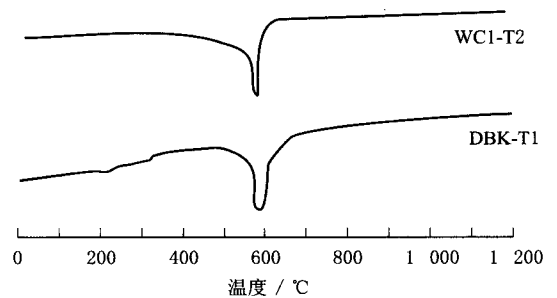


图 2 样品 WC1-T2 和 DBK-T1 的 DTA 曲线  
Fig. 2 DTA curves of WC1-T2 and DBK-T1

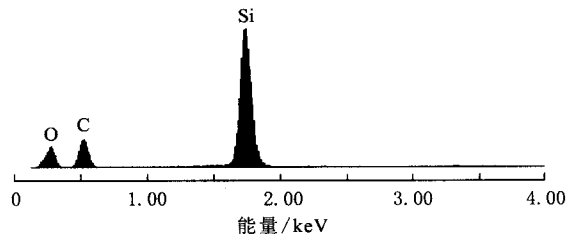


图 3 供试样品的成分能谱曲线  
Fig. 3 EDX spectrum of tested samples

### 2.2 石英粒度参数的计算及结果

粒度参数采用如下的方法计算:

(1)粒度的分级标准:参照 Wilke *et al.*<sup>[19]</sup> 对风化沉积物的粒度分级方案,其中,粘粒 < 2  $\mu m$ ; 粉砂 2  $\mu m$  ~ 63  $\mu m$ ; 砂粒 63  $\mu m$  ~ 2 000  $\mu m$ 。虽然本次粒度分析的量程上限为 1 200  $\mu m$ ,但所有样品粒度均 < 500  $\mu m$ ,因此不影响对粒度分布的真实反映。

(2) $\varphi$  值粒径:由于十进制粒级分类是按照十进制以降序(或升序)的顺序排列的,其分级间隔太大,各粒度不等距,不便于作图和运算,所以一般采用  $\varphi$  值粒径进行分级<sup>[20]</sup>,对部分粒度参数采用  $\varphi$  值粒径计算。 $\varphi$  与毫米表示的粒径  $d$  之间的换算关系为  $\varphi = -\log_2 d$ 。该分级标准的特点是颗粒愈大,粒级间隔愈大,反之间隔愈小。后文中粒度频率分布曲线采用  $\varphi$  分级,分级间隔为  $1/4\varphi$ 。

(3)标准差、偏度及尖度:采用黄思静<sup>[21]</sup>提供的矩值法公式进行计算。

(4)中值粒径( $D_{50}$ ):由粒度分析软件直接导出。

4 条研究剖面的石英粒度分布参数见表 2 所示。

### 2.3 石英粒度频率分布曲线特征

从 4 条剖面的石英粒度频率分布曲线(图 4)中可以看出,4 条剖面的石英粒度频率分布曲线尽管均呈单峰分布,但各剖面之间无论是峰形还是众数值均存在明显差异。剖面 WC1 和 WC2 呈窄峰态,众数值分别为  $4.9\phi$  和  $4\phi$ ;剖面 WC3 和 DBK 呈宽峰态,众数值分别约为  $5.1\phi$  和  $6\phi$ 。另外,各剖面基岩与上覆风化壳样品的频率曲线呈现良好的对应关系,具有较为一致的峰形和众数值。从碎屑岩风化剖面 WC3 和 DBK 的石英粒度频率分布曲线特征表明,从母岩到风化壳,石英粒度分布特征是可以继承的。因此,灰岩与上覆风化壳剖面(WC1 和 WC2)之间频率分布曲线的良好对应关系,指示了碳酸盐岩为其上覆风化壳的风化母岩。而各剖面之间不同的石英粒度频率分布曲线特征,也暗示了区域上的风化壳不具有共同的物源,各剖面是下伏基岩风化作用的产物。同时,剖面 WC1 和 WC2 之间频率曲线存在的明显差异,说明两剖面的碳酸盐岩酸不溶物源于不同的物源和沉积环境。

### 2.4 石英粒度参数的指示

在沉积学研究中,标准差、偏度、尖度等粒度参数常用来定量表征粒度分布特征,进而指示沉积物的形成环境<sup>[20]</sup>,因此,不同物源和沉积条件下形成的沉积物在粒度参数散点图中将占据不同的区域。其中,标准差表示碎屑沉积物分选程度的大小,标准差越小,沉积物的分选性越好;偏度表示沉积物粗细分布的对称程度,越负偏,越以细粒级组分为主;尖度是频率曲线尾部展开度与中部展开度之比,是衡

表 2 研究剖面的石英粒度分布参数

Table 2 Grain size distribution parameters of quartz from studied profiles

样品编号	深度 /cm	粘粒 /%	粉砂 /%	中值 / $\mu\text{m}$	标准差	偏度	尖度
WC1-Y	240	3.06	94.27	20.10	0.99	0.36	3.06
WC1-T1	230	2.59	94.63	21.16	0.95	0.43	3.27
WC1-T2	210	2.58	94.93	21.56	0.95	0.48	3.35
WC1-T3	190	1.73	96.67	20.86	0.92	0.37	2.83
WC1-T4	170	1.43	96.80	21.57	0.91	0.38	2.83
WC1-T5	150	2.09	94.11	22.64	0.96	0.42	3.11
WC1-T6	130	2.27	93.59	22.95	0.98	0.44	3.13
WC1-T7	110	2.28	93.16	23.51	0.99	0.45	3.13
WC1-T8	90	2.37	93.05	23.46	0.99	0.45	3.12
WC1-T9	70	2.36	93.11	23.46	0.99	0.45	3.12
WC1-T10	50	2.46	93.00	23.31	1.00	0.45	3.09
WC1-T11	30	3.68	90.99	21.07	1.08	0.33	2.88
WC1-T12	10	3.78	91.46	20.82	1.07	0.36	2.95
WC2-Y	260	0.8	81.04	37.54	1.03	0.71	3.22
WC2-T1	250	2.16	83.29	34.27	1.07	0.76	3.45
WC2-T2	240	0.73	79.43	38.97	0.94	0.74	3.81
WC2-T3	230	0.82	79.52	38.65	0.96	0.74	3.73
WC2-T4	220	0.87	80.14	38.11	0.97	0.73	3.66
WC2-T5	200	1.09	76.29	40.4	0.99	0.81	3.86
WC2-T6	180	1.27	77.23	39.6	1.01	0.82	3.85
WC2-T7	160	1.35	77.47	39.33	1.02	0.82	3.83
WC2-T8	140	1.59	78.79	38.05	1.04	0.82	3.75
WC2-T9	120	1.38	81.61	37.83	0.97	0.9	4.18
WC2-T10	100	1.77	77.59	40.16	1.04	0.98	4.09
WC2-T11	80	2.00	79.35	38.6	1.05	0.96	4.00
WC2-T12	60	1.84	72.83	40.08	1.13	0.75	3.32
WC2-T13	40	2.78	78.81	33.56	1.19	0.60	2.92
WC2-T14	20	2.42	76.16	37.74	1.16	0.75	3.23
WC2-T15	5	2.27	78.38	35.11	1.18	0.68	3.04
WC3-Y	100	9.58	85.15	17.36	1.26	0.29	2.68
WC3-T1	80	9.52	85.76	16.83	1.25	0.27	2.72
WC3-T2	40	11.24	87.09	14.54	1.18	0.19	2.55
WC3-T3	10	7.73	89.36	16.87	1.14	0.29	2.85
DBK-Y	80	20.45	80.12	10.35	1.12	0.22	2.46
DBK-T1	70	19.03	81.57	10.21	1.09	0.35	2.68
DBK-T2	60	16.59	83.98	10.68	1.07	0.26	2.63
DBK-T3	50	17.28	83.40	10.01	1.00	0.25	2.59
DBK-T4	40	15.98	84.56	10.73	1.05	0.31	2.76
DBK-T5	30	16.13	84.37	11.26	1.08	0.33	2.63
DBK-T6	20	18.42	82.28	9.66	1.02	0.21	2.63

注:样品编号中 Y. 基岩;Tn. 风化层样品。其中 WC1,WC2,WC3 和 DBK 与图 1 所指示的剖面相同

量频率曲线尖峰凸起的程度。对于沉积物(岩)中石英单矿物组分而言,其粒度参数是否能指示如全

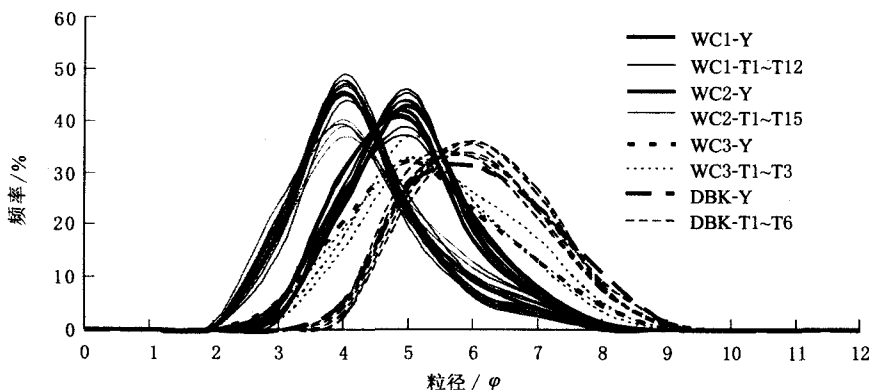


图 4 研究剖面的石英粒度频率分布曲线

Fig. 4 Grain size frequency distribution curves of quartz from studied profiles

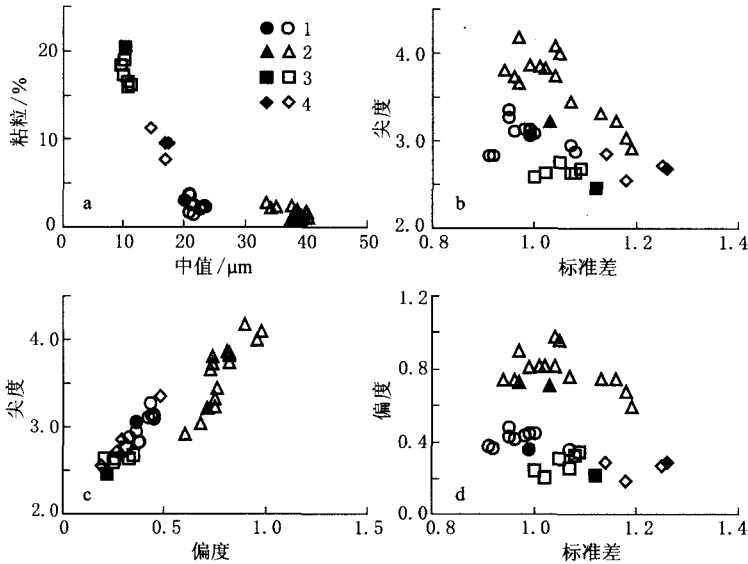


图5 研究剖面的石英粒度参数散点图

实心符号代表基岩; 空心符号代表风化层

Fig. 5 The scatter diagram of grain size parameters of quartz

岩粒度参数所反映的相应沉积环境, 由于缺乏这方面的对比研究, 还不得而知。但可以肯定的是, 不同物源和沉积环境下形成的沉积物(岩)中石英粒度参数特征必定有所差异, 在此基础上发育的风化壳石英粒度参数就会继承各自母岩中的石英粒度参数特征, 从而进行风化壳的物源指示。

研究剖面的石英粒度参数散点图(图5)显示各剖面样品基本上分布于不同的区域, 指示了其物源和沉积环境的差异, 而基岩样品又大多投影在上覆风化壳的分布范围, 显示出二者之间的同源性。因此, 从石英粒度参数散点图也指示了 WC1 和 WC2 剖面风化壳源于下伏灰岩的残积风化。

另外, 从图5a可以看出, 碳酸盐岩风化剖面的石英粒度明显比碎屑岩风化壳的粗, 而粘粒含量较低。与黄土高原的风成石英粒度<sup>[12]</sup>相比, WC1 和 WC2 剖面的石英中值粒径(20 μm~40 μm)远高于前者, 说明来自内陆的风尘不可能成为研究区灰岩上覆风化壳的物源。与其他剖面相比, WC1 的石英颗粒具有最大的正偏态和最粗的粒径, 反映出碳酸盐岩与 WC3 和 DBK 等碎屑岩的形成环境不同, 可能指示了沉积时更高的能量条件。

### 2.5 石英粒度在剖面上的变化特征

剖面中粘粒含量的高低一定程度上反映了风化壳发育程度的强弱<sup>[22]</sup>。一般地, 风化程度愈高, 粘粒含量及粘粒/粉砂比愈大。对于风化剖面中的石

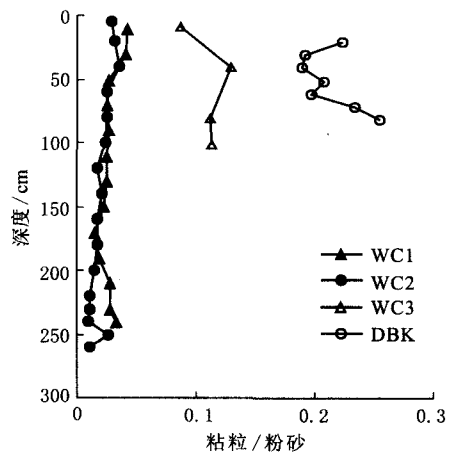


图6 研究剖面的石英颗粒中粘粒/粉砂随深度的变化

Fig. 6 The variation of ratio of clay to silt of quartz grain size with depth from studied profiles

英颗粒而言, 是否也具有如此的变化趋势? 图6显示了研究剖面的石英颗粒中粘粒/粉砂比随深度的变化曲线, 可以看出, 随剖面深度的变化, WC1 和 WC2 的粘粒/粉砂比基本保持稳定, 说明其风化壳的成土母岩中石英粒度分布在垂向上是较为均一的; 而 WC3 和 DBK 的粘粒/粉砂比尽管存在明显的波动, 但未呈现预期的变化趋势, 可能指示母岩中的石英颗粒在垂向上存在着一定的差异, 但未影响利用粒度频率分布曲线及粒度参数对物源的示踪。从另一个侧面可以看出, 母岩中的石英颗粒, 在表生环境下是稳定的。

## 3 结 语

通过对湘西岩溶区内4条风化剖面的石英粒度分布特征的对比研究表明: 母岩风化过程中, 石英粒度分布特征是完全可以继承的。碳酸盐岩不溶物与上覆风化壳之间的石英粒度分布特征具有良好的对应关系, 指示了二者之间的成因联系, 即风化壳为碳酸盐岩风化壳, 是碳酸盐岩残积风化的产物。说明在湘西岩溶区, 在有利的地貌单元, 碳酸盐岩是完全可以风化成土的。区域上, 风化壳不具有共同的物源, 下伏基岩是其上覆风化壳的成土母岩。另外, 也表明石英粒度分布特征是岩溶区风化壳物源示踪的良好指标。

## 参考文献

[1] Ji H B, Wang S J, Ouyang Z Y, et al. Geochemistry of red residua underlying dolomites in karst terrains of Yunnan-Guizhou Plateau I. The formation of the Pingba profile[J]. *Chemical Geology*, 2004, 203: 1-27.

[2] 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)*, 1999, 29(5): 441-449.

- [3] 王世杰,孙承兴,周德全,等. 贵州高原岩溶台地红色风化壳的物源辨析[J]. *第四纪研究*,2002,22(6): 595.
- [4] 冯志刚,王世杰,孙承兴,等. 岩溶地区缺失原岩残余结构红色风化壳的粒度分布特征及成因指示——以贵州平坝为例[J]. *矿物学报*, 2002,22(3):243-248.
- [5] 孙承兴,王世杰,周德全,等. 碳酸盐岩酸不溶物作为贵州岩溶区红色风化壳主要物质来源的证据[J]. *矿物学报*,2002,22(3):235-242.
- [6] 刘秀明,王世杰,冯志刚,等. 贵州岩溶区镶嵌景观上覆土层的粒度分布特征及其指示意义[J]. *中国岩溶*,2002,21(4):245-251.
- [7] 刘秀明,王世杰,冯志刚,等. 石灰土物质来源的判别——以黔北、黔中几个剖面为例[J]. *土壤*,2004,36(1):30-36.
- [8] 刘春茹,刘秀明,王世杰,等. 贵州碳酸盐岩风化壳物源判别的新证据:石英颗粒形态、表面结构特征[J]. *矿物学报*,2007,27(1):49-56.
- [9] 季宏兵,王世杰. 黔中白云岩风化剖面的铍、锶同位素组成及演化[J]. *自然科学进展*,2008,18(10):1 128-1 135.
- [10] Brimhall G H, Dietrich W E. Constitutive mass balance relations between chemical composition, volume, density, porosity, and strain in metasomatic hydrochemical systems; Results on weathering and pedogenesis[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*,1987,51:567-587.
- [11] Nesbitt H W. Mobility and fractionation of rare earth elements during weathering of a granodiorite[J]. *Nature*,279: 206-210.
- [12] Xiao J L, Porter S C, An Z S, et al. Grain size of quartz as an indicator of winter monsoon strength on the Loess Plateau of Central China during the last 130,000 yr[J]. *Quaternary Research*,1995,43(1): 22-29.
- [13] 刘进峰,郭正堂,乔彦松,等. 秦安中新世黄土—古土壤序列石英颗粒形态特征、粒度分布及其对成因的指示意义[J]. *科学通报*,2005,50(24):2 806-2 809.
- [14] 乔淑卿,杨作升. 石英示踪物源研究进展[J]. *海洋科学进展*,2006,24(2):267-274.
- [15] 孙有斌. 黄土样中石英单矿物的分离[J]. *岩矿测试*,2001,20(1):23-26.
- [16] 陈天虎,彭书传,黄川徽,等. 从苏皖凹凸棒石粘土制备纯凹凸棒石[J]. *硅酸盐学报*,2004,32(8): 965-969.
- [17] 黄伯龄. *矿物差热分析鉴定手册*[M]. 北京:科学出版社,1987.
- [18] 冯志刚,王世杰,刘秀明,等. 碳酸盐岩酸不溶物对风化壳发育程度的影响[J]. *地质学报*,2009,待刊.
- [19] Wilke B M, Mishra V K, Rehfuess K E. Clay mineralogy of a soil sequence inslope deposits derived from hauptdolomit(dolomite) in the Bavarian Alps[J]. *Geoderma*,1984,32:103-116.
- [20] 谢宇平. *第四纪地质学及地貌学*[M]. 北京:地质出版社,1994,291-309.
- [21] 黄思静. 用 EXCEL 计算沉积物粒度分布参数[J]. *成都理工学院学报*,1999,26(2): 195-198.
- [22] 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[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*,1996,60(14):2 533-2 550.

## THE PROVENANCE OF WEATHERING CRUSTS IN KARST TERRAINS, WESTERN HUNAN PROVINCE: INDICATION OF GRAIN SIZE DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF QUARTZ

FENG Zhi-gang<sup>1,2</sup>, WANG Shi-jie<sup>2</sup>, HUANG Wei<sup>1</sup>, LIU Jiang<sup>1</sup>, LIU Xiu-ming<sup>2</sup>

1. School of Nuclear Resource and Safety Engineering, University of South China, Hengyang 421001, China;
2. The State Key Laboratory of Geochemistry, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang 550002, China

**Abstract:** Taking a karst region of western Hunan Province as research area, and selecting four weathering profiles (of which, two are underlain by limestones, and other two by clastic rocks) as research object, through contrasting and surveying of characteristics of grain size distribution of quartz, this paper makes effort to unveil the formation of weathering crusts in the area. In the weathering profiles of WC1 and WC2, the bedrocks are limestones, the grain size frequency distribution curves of quartz show single, narrow peak, and their modes are  $4.9\phi$  and  $4\phi$  respectively. The weathering profiles of WC3 and DBK are of clastic rocks, grain size frequency distribution curves of quartz show single, broad peak, and their modes are approximately  $5.1\phi$  and  $6\phi$  respectively. Furthermore, the grain size frequency distribution curves of quartz for the 4 weathering profile and their bedrocks display good accordant relation. Such parameters as standard deviation, skewness, kurtosis, etc. revealed by scatter diagram of quartz grain size indicate that each profile basically plots in different area. From the evidence above, following conclusion can be drawn: (1) Characteristics of grain size distribution of quartz can be entirely inherited during weathering of mother rocks; (2) Profiles WC1 and WC2 are weathering crusts derived from carbonate rocks, indicating that the carbonate rocks may entirely form weathering crusts by way of weathering process in the favorable morphological units; (3) Characteristics of grain size distribution of quartz are distinct in different weathering profiles, suggesting that weathering crusts have no common provenance on a regional scale, and originating from the underlying mother rocks; (4) Characteristics grain size distribution of quartz is a good index for tracing the origin of weathering crusts in karst regions.

**Key words:** karst terrace of western Hunan Province; provenance; grain size of quartz; weathering crust; Wangcun town