

文章编号:1000-4734(2007)01-0049-08

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

刘春茹^{1,2}, 刘秀明^{1*}, 王世杰¹, 姜立君^{1,2}

(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:利用扫描电镜分析了黔北、黔东、黔中4个剖面土样中的石英颗粒形态和表面特征,发现土样中的石英有3种类型:碳酸盐岩中的原生碎屑石英,呈次圆状或圆状,表面有被长时间、长距离水搬运的痕迹,无风成特征;燧石团块石英,具有新鲜的表面,呈不规则的尖棱状、次棱角状,表面基本无搬运痕迹;晶形较完整的次生石英,呈棱角状,晶形较完整,晶面有微生长晶体,无搬运特征。这些信息指示,3种石英均具有原位特征,前两种石英是直接对基岩的继承,第三种石英是风化壳剖面的次生产物,该结果为碳酸盐岩风化壳的物源及原位特征的确证提供了新证据。

关键词:风化壳;石英;颗粒形态;表面结构特征;物源

中图分类号:P512.1;P588.24;P579 **文献标识码:**A

作者简介:作者简介:刘春茹,女,1980年生,博士研究生,环境地球化学专业。

由于碳酸盐岩的易溶蚀、成土慢、酸不溶物含量低(一般<5%,酸不溶物提取实验数据)等特征,对于其上覆土状堆积物的来源及成因,国内外学者有很多不同的看法和认识^[1-13]。针对贵州及其周边地区碳酸盐岩上覆土层物质来源的争论,我们对黔中、黔西、黔北、湘西等岩溶山地、丘陵垄岗之上的白云岩和灰岩土层剖面,进行了碳酸盐岩酸不溶物的提取试验、地球化学、矿物学、粒度特征及区域地质背景等多方面的分析,基本论证了碳酸盐岩化学溶蚀、残积作用和残积土的再演化过程是其成因机理——与下伏基岩有着明显的继承性,是碳酸盐岩中酸不溶物原地风化残积的产物^[14-17]。然而,在以上的各种研究中,都是对土层的全样进行分析,所得出的认识是相对笼统的;而且,由于碳酸盐岩上覆土层无原岩结构、中上部土层的地球化学特征基本一致,因此剖面土层原位特征的论证还需要更为细致、确切的证据。

石英在贵州碳酸盐岩上覆土层中是一种含量较高的矿物^[12,18],在表生条件下具有较稳定地球化学性质^[19-20],是少数几种可从母岩中直接继承而不发生改变的矿物之一。因此,石英的对比可以作为判断土层与下伏基岩是否存在相关性的重要依据。在风化和沉积过程中的各个环节以及沉积后所发生的一切作用,都能不同程度地在石英颗粒表面留下一种或几种特征的形态结构或组合^[21-24],即石英颗粒的形态特征和表面微结构标志真实地记录了它在沉积前后所经历的物理和化学风化过程、搬运动力介质及沉积环境特征^[25-31],具有判别不同来源和成因的功能^[32-34]。本文在前期的工作基础上,选取4个已经初步做过物源辨别的碳酸盐岩风化壳剖面(利用地球化学、粒度、综合矿物学等方法),拟通过对风化壳中的石英颗粒形态、表面结构特征进行观察和对比分析,为这些剖面的物质来源及成因提供进一步的证据。

1 研究剖面与样品采集

本次研究主要选取了黔北遵义地区的新蒲剖面 and 官坝剖面,黔东铜仁地区的大兴剖面,以及黔中贵阳的龙洞堡剖面。新蒲剖面、大兴剖面、官坝剖面均为中上寒武统娄山关群白云岩,

收稿日期:2006-07-12

基金项目:国家自然科学基金项目(批准号:40371012);中科院知识创新前沿领域项目(IG-04-01);贵州省最高科学成就奖匹配项目;国家重点基础研究项目(编号:2006CB403200)

* 通讯作者, E-mail: liuxiuming @ vip. skleg. ac. cn

局部夹硅质条带(燧石团块),产状平缓,岩石强烈破碎。新蒲剖面土层厚 7.3 m,呈均质粘土状红色风化壳;大兴剖面土层厚 2.4 m,为红带紫色,属于红色风化壳;官坝剖面土层厚 0.4 m,为灰黄色石灰土。龙洞堡剖面为下三叠统大冶组

灰岩,产状平缓,剖面土层厚 0.3 m,为灰黑色石灰土。4 个剖面均位于岩溶丘原、丘陵垄岗之上,为人工开挖露头,取样时对剖面的出露部分进行了重新清理(去除表层土壤)。各剖面采样点的具体位置见表 1。

表 1 新蒲剖面、大兴剖面、官坝剖面及龙洞堡剖面采样点及深度

Table 1. The location and depth of sampling of weathering profiles at Xinpu and Daxing and Guanba and Longdongbao

新蒲剖面		大兴剖面		官坝剖面		龙洞堡剖面	
样品编号	采样深度/m	样品编号	采样深度/m	样品编号	采样深度/m	样品编号	采样深度/m
XPT14	0.2	DXT18	0.05	GBT8	0.05	LDBT6	0.05
XPT13	1.1	DXT17	0.25	GBT7	0.1	LDBT5	0.1
XPT12	2.5	DXT16	0.45	GBT6	0.15	LDBT4	0.15
XPT11	5.3	DXT15	0.65	GBT5	0.2	LDBT3	0.2
XPT10	5.4	DXT14	0.85	GBT4	0.25	LDBT2	0.25
XPT9	5.5	DXT13	1.05	GBT3	0.3	LDBT1	0.3
XPT8	6.8	DXT12	1.25	GBT2	0.35		
XPT7	6.9	DXT11	1.45	GBT1	0.4		
XPT6	7.0	DXT10	1.65				
XPT5	7.1	DXT9	1.85				
XPT4	7.15	DXT8	2.05				
XPT3	7.2	DXT7	2.1				
XPT2	7.25	DXT6	2.15				
XPT1	7.3	DXT5	2.2				
		DXT4	2.25				
		DXT3	2.3				
		DXT2	2.35				
		DXT1	2.4				

2 样品处理及实验方法

土样预处理步骤:取经缩分处理的土样 500 g 放入 1000 mL 的烧杯中,加入适量的稀盐酸(浓度约 1 mol/L)浸泡 24 h 后,加入适量的分散剂六偏磷酸钠(NaPO_3)₆,静置 24 h 后,进行人工淘洗筛选。由于粒径为 0.5~0.125 mm 的石英颗粒基本为各种成因沉积物中的最活跃组分,比较灵敏和全面地记录了它的成因信息,表面结构成因组合发育齐全^[20,35],因此本次实验筛选该粒径范围的石英颗粒。

将筛选后的样品放在双目镜下挑选石英颗粒单矿物 100~200 粒,然后放在稀盐酸中煮沸 10 min,去除表面的碳酸盐类黏附物,再用蒸馏水冲洗干净,烘干。在烘干后的颗粒中随机挑选 15~20 粒用于电镜扫描实验。

将石英颗粒成行粘于导电胶上并编号,再置于标准真空镀膜机中,镀上一层碳粉,以保证样品具有良好的导电性。喷碳处理后,用导电胶将样品固定于载物台上,在扫描电镜下进行观察、分

析、照相、统计等工作。

样品的扫描电镜观察是在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完成,扫描电子显微镜(SEM)型号为 Jeol-JSM6460/LV。

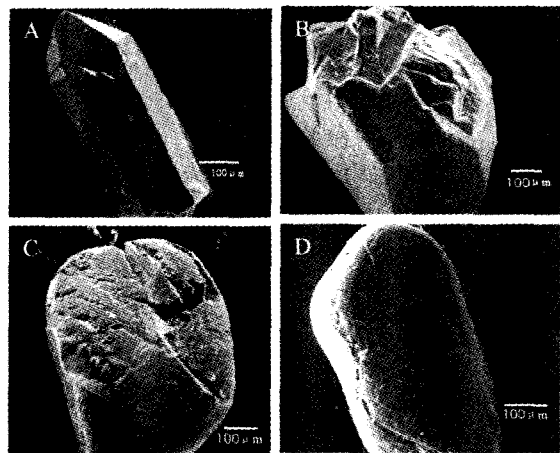
为保证试验结果的准确性和可靠性,在对石英颗粒进行扫描电镜分析之前,对每一石英颗粒均进行了能谱(EDX)分析。EDX 分析结果显示,实验所选用的样品均为纯度较高的石英颗粒。

3 石英颗粒的形态及表面特征

本次实验共观测了 918 颗石英颗粒,其中大兴剖面 357 颗,新蒲剖面 291 颗,龙洞堡剖面 111 颗,官坝剖面 159 颗。

3.1 石英颗粒的形态特征

依据鲍威尔圆度等级划分原则^[26],以及本次研究目的的要求,将石英简单地划分为尖棱状、次棱状、次圆状、圆状 4 个圆度等级,石英颗粒的磨圆度以及形态见图 1。



A. 尖棱状石英颗粒 B. 次棱状石英颗粒
C. 次圆状石英颗粒 D. 圆状石英颗粒

图 1 研究剖面石英颗粒磨圆度形态

Fig. 1. The shape of quartz grains.

各剖面的石英磨圆程度统计情况如表 2 所示,可以看出新蒲、大兴、官坝及龙洞堡 4 个剖面的石英颗粒磨圆度均较差,尖棱状、次棱状石英颗粒在 4 个剖面中都有很高的分布比例——大兴剖面为 92%,新蒲剖面为 87%,官坝剖面为 69%,龙洞堡剖面为 88%。其中部分颗粒晶形完整,或虽有破碎(断口),但棱角清晰,仍可辨识为标准的六角双锥柱状晶形,所观察到的棱角和锥体形迹清晰,表面没有被长时间、长距离搬运而遭磨损的形态。这类石英颗粒晶体在大兴剖面、新蒲剖面、官坝剖面、龙洞堡剖面中分别占 20%、42%、20%、39%,比例也较高。

次圆状、圆状石英颗粒:在大兴剖面、新蒲剖面和龙洞堡剖面所占比例较低,分别为 8%、13%和 12%;在官坝剖面所占比例相对较高,为 31%。这类石英颗粒外形表现为圆(球)状,或整体为次

表 2 研究剖面的石英颗粒形态及表面特征

Table 2. Surface structure and shape characteristics of quartz grains at the work profiles

形态特征	表面特征	出现频率/%			
		大兴剖面	新蒲剖面	官坝剖面	龙洞堡剖面
尖棱状		52(20)	56(42)	41(20)	54(39)
次棱状		40	31	28	34
次圆状		5	8	26	9
圆状		3	5	5	3
尖棱状、次棱状					
机械特征					
	贝壳状断口	15	14	41	57
	翻卷薄片	3	4	3	5
	碟形坑	5	4	13	9
	三角形坑	8	8	12	6
	擦痕、裂痕	5	6	3	12
	V形坑	4	12	15	6
	水下磨光面	2	4	11	4
	麻点	2	2	4	2
次圆状、圆状					
机械特征					
	贝壳状断口	14	7	15	20
	翻卷薄片	7	2	2	0
	碟形坑	4	9	9	30
	三角形坑	14	16	3	0
	擦痕、裂痕	4	0	0	0
	V形坑	71	56	23	40
	水下磨光面	46	37	18	60
	麻点	7	7	6	10
化学特征					
	SiO ₂ 沉淀	31	74	83	68
	溶蚀沟	30	20	11	35
	溶蚀坑	79	90	60	95
观测颗粒的总数		357	291	159	111

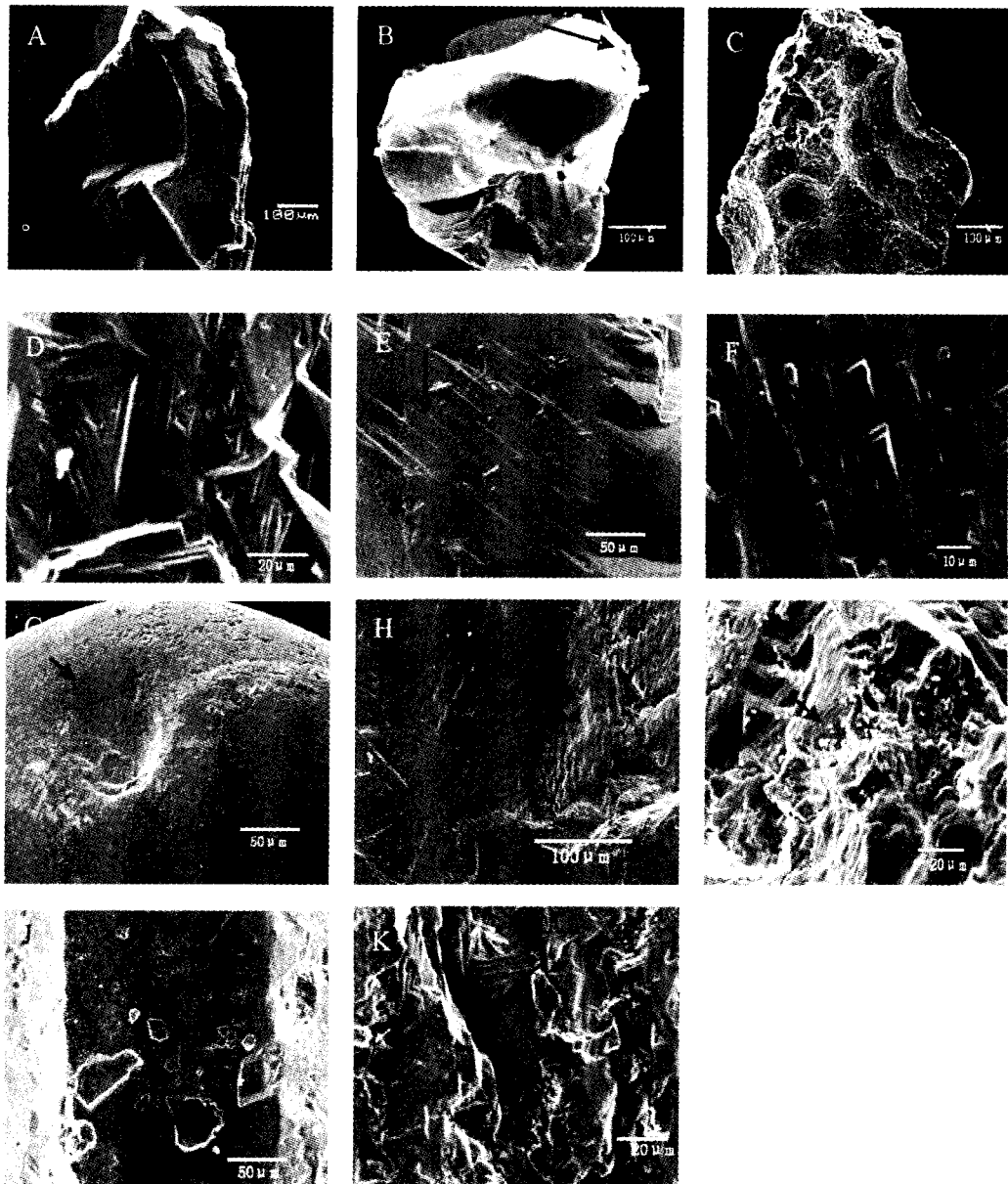
注:出现频率指特征形态在观察颗粒中出现的百分比;形态特征和化学作用特征的出现频率是指各特征在所有观察颗粒中的出现百分比;机械作用特征的出现频率是指各形态特征在尖棱状、次棱角状颗粒中或次圆状、圆状颗粒中的出现百分比;表中括号内数据为晶形完好或清晰可辨的晶体石英颗粒的出现频率。

圆状,边缘比较圆滑,无棱角,具有长时间、长距离搬运的外形特征。

3.2 石英的表面结构特征

仅从石英形态上来辨别物质来源或成因存在多解性,因此需要更为细致的表面微结构特征来进行综合判断。通过对研究剖面石英

颗粒表面形态的观察分析,可将其表面结构特征按成因的不同,划分为机械作用和化学作用两大类。机械作用特征包括贝壳状断口、翻卷薄片、碟形坑、三角形坑、擦痕、裂痕、V形坑、水下磨光面、麻点等;化学作用特征包括 SiO_2 沉淀、溶蚀坑、溶蚀沟等。它们的表面结构形态见图 2。



A. 贝壳状断口 B. 翻卷薄片 C. 碟形坑 D. 三角形坑 E. 擦痕 F. V形坑
G. 水下磨光面 H. 麻点 I. SiO_2 沉淀 J. 溶蚀坑 K. 溶蚀沟

图 2 研究剖面石英颗粒表面形态特征

Fig. 2. Surface structure characteristics of quartz grains at the work profiles.

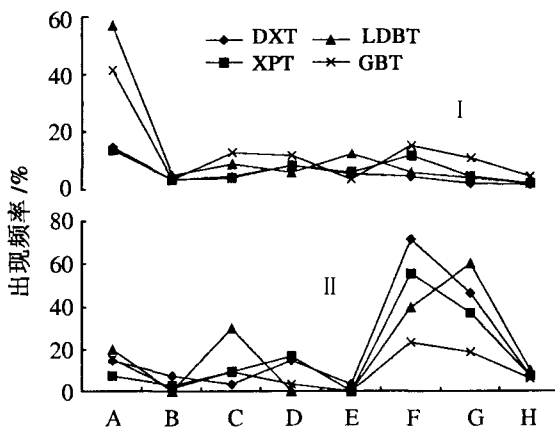
不同沉积环境中石英颗粒, 因遭受到不同的机械作用和化学作用, 表面上记录着不同的结构特征组合, 因此分析石英颗粒表面结构特征组合能够反演沉积古环境^[24]。利用石英颗粒表面结构特征组合分析沉积古环境的最有效定量方法是环境颗粒百分比法^[36], 即统计石英颗粒各表面结构特征出现的频率。

机械作用的结构特征主要是指矿物颗粒在被环境介质搬运过程中, 由于机械碰撞、磨蚀等物理作用, 使矿物颗粒表面形成特有的结构特征。为了充分地说明问题, 将本次试验所观察的石英颗粒按形态特征分成两部分, 并对这两部分石英颗粒表面的机械特征分别进行统计, 再计算这两类石英颗粒各自的机械特征出现的频率(表 2)。

4 个剖面上的尖棱状、次棱状石英颗粒表面的机械作用形态特征基本相同(图 3-I)。在这类颗粒表面上, 贝壳状断口出现频率较高, 为 14%~57%。翻卷薄片(平整解理)、碟形坑、三角形坑、擦痕(裂痕)、V 形坑、水下磨光面、麻点等机械作用的出现频率都较低, 为 2%~15%。因此, 这类石英颗粒表面的机械形态特征以贝壳状断口为主。

尖棱状石英颗粒中含有一部分具有完整的六角双锥柱状晶形或有贝壳状断口但棱角清晰的石英颗粒(下文通称这部分石英颗粒为晶体石英颗粒)。这部分晶体石英颗粒表面有少量的溶蚀坑和 SiO₂ 沉淀, 没有翻卷薄片(平整解理)、碟形坑、三角形坑、擦痕(裂痕)、V 形坑、水下磨光面、麻点等机械作用特征。

次圆状、圆状石英颗粒表面机械作用的形态特征在 4 个剖面上大致相似(图 3-II), V 形坑和 水下磨光面的出现频率较高, 为 18%~71%。而贝壳状断口、翻卷薄片(平整解理)、三角形坑、擦痕(裂痕)、麻点等特征在剖面中的出现频率较小, 为 0%~20%。碟形坑在各剖面中的出现频率也较低(4%~9%), 只有龙洞堡剖面的碟形坑出现频率较其他三个剖面大, 为 30%。但是, 从龙洞堡剖面整体来看, V 形坑(40%)和 水下磨光面(60%)的出现频率都较碟形坑的出现频率大。所以, 4 个剖面中的次圆状、圆状石英颗粒表面的机械作用形态特征是以 V 形坑和 水下磨光面为主。



A. 贝壳状断口 B. 翻卷薄片平行解理 C. 碟形坑
D. 三角形坑 E. 擦痕和裂痕 F. V 形坑
G. 水下磨光面 H. 麻点
I. 尖棱状、次棱状石英颗粒表面机械作用形态图
II. 次圆状、圆状石英颗粒表面机械作用形态图

图 3 研究剖面石英颗粒的表面机械作用形态特征
Fig. 3. The mechanical breakage features of the surface of quartz grains at the work profiles.

化学作用包括溶蚀作用和沉淀作用。化学作用往往在矿物的解理或裂隙部位表现的最为强烈, 这是由矿物晶体的内部结构决定的。周围环境的不同, 在石英颗粒表面便表现出不同的特征^[37]。本次观察中发现大部分石英颗粒表面的化学作用较强烈, 表现为 SiO₂ 沉淀(31%~83%)和溶蚀坑(60%~95%)。溶蚀沟也有一定的出现频率, 为 11%~35%(表 2)。

4 讨论

从观察统计情况来看, 4 个剖面中的石英颗粒形态特征可以分为 3 种类型: 一是次圆状、圆状石英颗粒; 二是尖棱状、次棱状石英颗粒; 三是晶体石英颗粒。多种形态类型石英的出现, 是否意味着与我们前期对物源来自于下伏碳酸盐岩的认识不一致呢?

次圆状、圆状石英颗粒无疑是经过长距离搬运的, 搬运方式有两种: 水力搬运和风力搬运。世界其它碳酸盐岩分布地区的上覆土层均受到了沙漠的影响, 有风尘堆积物加入的现象, 如地中海和美洲岩溶区均受到撒哈拉沙漠远距离物质的空中输送^[14, 38-42]。同样, 中国南方碳酸盐岩分布区会不会受到中国北方沙漠风尘物质的影响呢? 已有

资料显示^[43-45],长江之南的下蜀黄土是目前距沙漠最远的风尘堆积物,因此与沙漠距离相对较近的贵州碳酸盐岩地区上覆土壤会不会有风尘物质的混入是学术界较为关心的问题。在扫描电镜下观察,次圆状、圆状的石英颗粒表面主要有V形坑、水下磨光面等水力搬运的痕迹,少碟形坑、翻卷薄片(平行解理)、麻点等风成石英颗粒表面的特征^[22,26](图3-II),而且这类石英颗粒较大($>0.125\text{ mm}$),远大于可长距离搬运的风尘物质的粒径,风尘物颗粒粒度通常在 $60\text{ }\mu\text{m}$ 以下,平均在 $4\text{ }\mu\text{m}$ 左右^[40],可以排除沙漠风尘物质来源的可能性。此外,所有剖面土层均无火山玻璃及其特征重矿物,且新生代以来西南地区火山活动少,而活动频繁的腾冲火山群由于受哀劳山的阻隔其火山灰难以到达千里以外的贵州地区,因而也可排除火山活动的影响^[12]。由此可见,4个剖面的次圆状、圆状颗粒石英是水力长距离搬运的产物,虽然部分颗粒有风成成因的特征,但这种过程应出现在水力搬运作用之前。晚三叠以来贵州抬升成陆,无新生代及现代水动力沉积大区域发育的可能,只有周缘的碎屑岩以及下伏碳酸盐岩酸不溶组分两种可能来源。从采样剖面均位于隆岗之上且周边近处基本无碎屑岩出露,且其它地区如黔西北赤水地区、黔东南地区发育有一定的碎屑岩均属于贵州三级台地,海拔低于研究剖面(贵州二级台地),不存在低处物质往高处搬运的可能性^[18]。因此,次圆状、圆状颗粒石英来源于下伏碳酸盐岩的酸不溶碎屑组分是毫无疑问的。

尖棱状、次棱状颗粒石英可以确定是短距离搬运或是原位未经搬运的产物。本次研究发现,该类型的石英具有新鲜的贝壳状断口,无水下磨光面、V型坑、三角形坑、擦痕等搬运特征,说明是原位风化产物。从分布比例来看,这种类型石英是主要组成部分,分别占总数的 $69\% \sim 92\%$ 。从上文的分析可知,圆状、次圆状颗粒是碳酸盐岩酸不溶碎屑颗粒石英,形态和表面结构特征也符合碳酸盐岩的沉积环境及其碎屑物质长距离搬运的痕迹,所以尖棱状、次棱状石英颗粒不属于原生碎屑物质。官坝、新蒲和大兴剖面的下伏基岩均为中上寒武统娄山关群白云岩,夹硅质条带(燧石团块)。在岩石风化过程中,由于岩石崩裂和坍塌等各种应力作用,导致硅质条带石英和燧石发生破裂,形成棱角分明、不规则、大小不一的尖棱状、次棱状颗粒。需要说明的是,龙洞堡剖面下伏基岩

为下三叠统大冶组灰岩,并不含有硅质条带,说明该类型石英与其它剖面的来源是不一致的,推测可能来源于基岩中的石英细脉,具体的物质来源需野外观察和室内矿物分析等进一步研究证实。

4个剖面中,晶体石英颗粒都有较高的出现频率($20\% \sim 42\%$)。以往,风化壳中发现晶体石英的实例并不多见,因此很难直接判断其形成于风化壳体系内部,还是外来加入。表生条件下,次生石英形成的现象也较为普遍^[47-50],如砂岩中石英的次生长、富含硅质的岩类洞穴的硅石笋^[51]等,这说明低温石英形成现象是存在的,只是目前对其形成机理的研究还不够透彻。前期工作中,我们对这类石英的基本成因做了初步研究,虽然现在还未能具体确定其形成于风化壳土层还是基岩中,但基本可以判断其形成于风化壳体系,是在湿热的条件下风化作用达到富Al脱Si阶段,导致风化流体富含Si,向下迁移,在地球化学条件发生改变的位置沉淀形成。由石英颗粒表面的化学作用特征可以看出(表2),3种类型石英颗粒表面上均可见溶蚀和次生石英沉淀现象,从另一个方面说明了硅的迁移及沉淀作用,意味着存在次生晶体石英在风化壳体系中生长的可能性。根据本次研究观察,这种石英颗粒晶面、锥角清晰,表面平整,未见V型坑、三角形坑、擦痕等机械碰撞和摩擦的痕迹,体现出原位生成、未经搬运的特征,证实了我们先前的推断,即这种晶体石英颗粒是剖面中原位次生形成,而非外来加入。同时,该类次生石英的发现还为风化壳尤其是碳酸盐岩风化壳薄弱的年代学研究提供了可利用的替代矿物,具有非常重要研究潜力,如裂变径迹^[52]、 ^{40}Ar - ^{39}Ar 测年等。

5 结 论

综上所述,本次研究剖面中的石英颗粒主要有3种类型:碳酸盐岩中的原生碎屑石英,呈次圆状、圆状,表面有长时间、长距离水搬运的痕迹,无风成特征;燧石团块石英,呈不规则的棱角状、具有新鲜的断面,表面基本无搬运痕迹;晶形较完整的次生石英,具六角双锥柱状晶形,表面无搬运特征。3种石英均具有原位特征,前两种类型的石英是直接对基岩的继承,第三种类型的石英是风化壳剖面的次生产物。本次研究结果为碳酸盐岩风化壳的物源及其原位特征的确认提供了新证据,是地球化学等方法物源研究的有益补充。

参 考 文 献:

- [1] Balagh T M, Runge E C A. Clay rich horizons over limestone, illuvial or residual[J]. *Soil Sci Soc Am Proc*, 1970, 34:534-536.
- [2] Plaster R W, Sherwood W C. Bedrock weathering and residual soil formation in Central Virginia[J]. *Geol Soc Am Bull*, 1971, 82:2813-2816.
- [3] Bronger A, Ensling J, Gutlich P, et al. Rubification of terrae rossae in Slovakia: a Mosbauer effect study[J]. *Clays Clay Minerals*, 1983, 31:269-276.
- [4] Muhs D R, Bush C A, Stewart K. Geochemical evidence of Saharan dust parent material for soils developed on Quaternary limestone of Caribbean and western Atlantic islands[J]. *Quaternary Research*, 1990, 33:157-177.
- [5] Borg L E, Banner J L. Neodymium and Strontium isotopic constraints on soil sources in Barbados, West Indies[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1996, 60(21):4193-4206.
- [6] Dum G, Ottner F, Slovenec D. Mineralogical and geochemical indicators of the polygenetic nature of terraossa in Istria, Croatia[J]. *Geoderma*, 1999, 91:125-150.
- [7] 卢耀如. 中国喀斯特地貌的演化模式[J]. 地理研究, 1986, 106-115.
- [8] 席承藩. 论华南红色风化壳[J]. 第四纪研究, 1991, 11(1):1-7.
- [9] 李景阳, 王朝富, 樊廷章. 试论碳酸盐岩风化壳与喀斯特成土作用[J]. 中国岩溶, 1991, 10(1):29-38.
- [10] 李景阳, 王朝富, 樊廷章, 等. 碳酸盐岩残积红土的结构、构造特征及其成因研究[J]. 中国岩溶, 1995, 14(1):31-40.
- [11] 陈作雄. 广西红色石灰土发育的地质因素[A]. 陆景冈. 土壤地质[C]. 北京:地质出版社, 1994: 40-42.
- [12] 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):441-449.
- [13] 崔之久, 李德文, 冯金良, 等. 夷平面研究的再评述[J]. 科学通报, 2001, 46(21):1761-1768.
- [14] 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.
- [15] 王世杰, 孙承兴, 冯志刚, 等. 发育完整的灰岩风化壳的矿物学及地球化学特征[J]. 矿物学报, 2002, 22(1):19-29.
- [16] 孙承兴, 王世杰, 刘秀明, 等. 碳酸盐岩风化壳岩-土界面地球化学特征及其形成过程[J]. 矿物学报, 2002, 22(2):126-132.
- [17] 冯志刚, 王世杰, 孙承兴, 等. 岩溶地区土状堆积物物质来源辨别的实用指标——粒度分布特征[J]. 中国岩溶, 2002, 21(2):73-78.
- [18] 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.
- [19] Drever J I. Weathering processes [A]. Saether O L, Caritat P D. *Geochemical Processes, Weathering and Groundwater Recharge in Catchments* [C]. Rotterdam: A A Balkema, 1997:3-19.
- [20] 方小敏, 史正涛, 沈明智. 试从兰州地区黄土石英砂表面特征探讨黄土物质来源、成因及环境变迁[A]. 中国第四纪冰川与环境研究中心. 中国西部第四纪冰川与环境[C]. 北京:科学出版社, 1991:138-148.
- [21] Krinsley D H, Doornkamp J C. *Atlas of Quartz Surface Textures* [M]. New York: Cambridge University Press, 1973: 91.
- [22] 谢又予. 中国石英砂表面结构特征图谱[M]. 北京:海洋出版社, 1984.
- [23] 侯圣山. 灵台剖面石英颗粒表面形态初步研究及其古气候意义[J]. 中国科学院研究生院学报, 2002, 19(1):59-68.
- [24] 侯圣山, 杨石岭, 孙继梅, 等. 风成沉积物 4 ~ 16 μm 石英氧同位素记录及其物质来源意义[J]. 中国科学(D 辑), 2003, 33(6):535-542.
- [25] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京:科学出版社, 1985: 191-302.
- [26] 王颖, 迪纳尔 B [加]. 石英砂表面结构模式图集[M]. 北京:科学出版社, 1985.
- [27] Doornkamp J C, Krinsley D. Electron microscopy applied to quartz grains from a tropical environment [J]. *Sedimentology*, 1971, 17:89-101.
- [28] 王祥珍, 吴时国, 李传荣, 等. 南极普里兹湾柱状中石英颗粒的表面结构[J]. 极地研究, 1997, 19(2):91-104.
- [29] 孙有斌, 安芷生. 风尘堆积物中石英颗粒表面微结构特征及其沉积学指示[J]. 沉积学报, 2000, 18(4):506-509.
- [30] 尹雪斌, 孙立广, 刘晓东. 南极无冰区典型沉积环境石英砂表面结构特征及其在沉积环境识别中的应用[J]. 极地研究, 2003, 15(1):1-10.
- [31] Damiani D, Giorgetti G, Turbanti I M. Clay mineral fluctuations and surface textural analysis of quartz grains in Pliocene Quaternary marine sediments from Wilkes Land continental rise (East-Antarctica): Paleoenvironmental significance[J]. *Marine Geology*, 2006, 226: 281-295.
- [32] Krinsley D H, Donahue J. Environmental interpretations of sand grain surface textures by electron microscopy [J]. *Geol Soc Am Bull*, 1968, 79: 743-748.
- [33] Riester D D, Shipp R C, Ehrlich R. Patterns of quartz sand shape variation, Long Island littoral and shelf [J]. *Sediment Petrol*, 1982, 52, 1307-1314.
- [34] 刘晓东, 孙立广, 尹雪斌, 等. 南极无冰区古海蚀盆石英颗粒表面结构特征及其环境意义[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2002, 22(1):37-42.
- [35] 伍永秋, 崔之久, 葛道凯, 等. 昆仑山垭口地区第四纪地层石英砂表面特征与沉积环境[J]. 应用基础与工程科学学报, 1998, 6(2):117-124.
- [36] 陈丽华, 缪昕, 于众. 扫描电镜在地质学上的应用[M]. 北京:科学出版社, 1986.

- [37] 杨慧宁,陈绍谋.南海石英颗粒表面结构特征的初步研究[J].海洋学报,1996,18(3):133-138.
- [38] Macleod D A. The origin of the red mediterranean soils in Spirus, Greece[J]. *Journal of Soil Science*, 1980,31:125-136.
- [39] Monroe W H. Examples of the replacement of limestone by clay[J]. *Mississippi Geology*, 1986, 7 (1):1-6.
- [40] Moresi M, Mongelli G. The relation between the terra rossa and the carbonate-free residue of the underlying limestones and dolostones in Apulia, Italy[J]. *Clay Minerals*, 1988,23:439-446.
- [41] Moukarika A, O'Brien F, Coey M D. Development of magnetic soil from ferroan dolomite[J]. *Geophys Res Lett*, 1991,18(11): 2043-2046.
- [42] Inoue K, Saito M, Naruse T. Physicochemical, mineralogical, and geochemical characteristics of lacustrine sediments of the Konya Basin, Turkey, and their significance in relation to climate change[J]. *Geomorphology*, 1998,23:229-243.
- [43] 张建军,杨达源,陈日友,等.长江中下游地区下蜀黄土磁化率曲线与环境变迁[J].沉积学报,2000,18(1):18-21.
- [44] 李徐生,杨达源,鹿化煜.镇江下蜀黄土粒度特征及其成因初探[J].海洋地质与第四纪地质,2001,21(1):25-32.
- [45] 郑乐平,胡雪峰,方小敏.长江中下游地区下蜀黄土成因研究的回顾[J].矿物岩石地球化学通报,2002,21(1):54-57.
- [46] Legros J P. Soil of Alpine mountains[A]. Martini I P, Chesworth W. *Weathering, Soil and Palaeosols* [C]. Amsterdam: Elsevier, 1992:155-181.
- [47] Tejedor S M L, Jimenez M C, Rodriguez R A. Polygenesis on deeply weathered Pliocene basalt, Gomera (Canary islands): From ferrallitization to salinization[A]. Caldas E F, Yaalon D H. *Volcanic Soils, Weathering and Landscape Relationships of Soils on Tephra and Basalt* [C]. Reiskirchen: Catena Verlag, 1985(supply.7):131-151.
- [48] Hervig R L, Williams L B, Kirkland I K, Longstaffe F J. Oxygen isotope microanalysis of diagenetic quartz: Possible low temperature occlusion of pores [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 1995,59(12):2537-2543.
- [49] 张玉宾.冶里-亮甲山组硅岩成因新探[J].石油勘探与开发,1996,23(4):39-41.
- [50] Sharp Z D, Durakiewicz T, Migaszewski Z M, Atudorei V N. Antiphase hydrogen and oxygen isotope periodicity in chert nodules [J]. *Geochim Cosmochim Acta*, 2002, 66(16):2865-2873.
- [51] 胡超涌,黄俊华,杨冠青,等.湖北清江榨洞石笋中可溶硅的测定及其古气候意义研究[J].地球科学——中国地质大学学报,2002,27(4):453-455.
- [52] 王世杰,刘秀明,张峰.贵州碳酸盐岩红色风化壳次生石英的裂变径迹测年研究[J].地球化学,2005,34(1):33-40.

NEW EVIDENCE TO CONSTRAIN THE ORIGIN OF WEATHERING CRUSTS OF CARBONATE ROCKS IN GUIZHOU PROVINCE: SHAPE AND SURFACE STRUCTURE CHARACTERISTICS OF QUARTZ GRAINS

LIU Chun-ru^{1,2}, LIU Xiu-ming¹, WANG Shi-jie¹, JIANG Li-jun^{1,2}

(1. The State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Science, Guiyang 550002, China;

2. Graduate School of the Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

Abstract: Based on the study of SEM (scanning electron microscope) characteristics of quartz grains from four weathering crusts of carbonate rocks in northern and eastern and middle Guizhou Province, three kinds of quartz grains are distinguished: primary chipping quartz grains of carbonate rocks, sub-round and round in shape, with signs of being long-time and long-distance carried by water, but no sign of being wind; chert massive quartz grains on the fresh surfaces, angular and sub-angular in shape, no sign of being carried; crystal quartz grains with angular and sharp edges and better crystals have secondary micro-crystals on the surface with, no sign of being carried. The information indicates the three kinds of quartz grains all have the characteristics of carbonate bedrocks. The first and second kinds of quartz grains show inherited relationship among the carbonate bedrock insoluble residues. The third kind is the secondary quartz in red weathering crusts of carbonate rocks. This study provides new evidence to constrain the origin and inherited relationship of the weathering crusts of carbonate rocks in Guizhou Province.

Key words: weathering crust; quartz grain shape; characteristics of surface structure; material origin