

[文章编号] 1671-9727(2003)06-0635-09

碳酸盐岩风化壳母岩的不均一性： 来自粒度分析的证据

冯志刚^{1,2} 王世杰¹ 刘秀明^{1,2} 孙承兴^{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, 贵阳 550002; 2. 中国科学院研究生院)

[摘要] 碳酸盐岩由于酸不溶物含量极低, 在形成风化壳的过程中伴随巨大的体积缩小, 形成 1 m 厚的风化壳往往需要消耗原岩十几米至几十米。所以对于岩溶地区风化壳, 尤其是厚层红色风化壳的机理研究中, 母岩的均一性判别是必要的, 是风化壳研究的基础。通过对贵州岩溶地区贵阳花溪、湖潮剖面 and 黔北遵义市新蒲剖面三个典型的残积风化壳的粒度分析表明, 碳酸盐岩风化壳成土母岩的不均一性是客观存在的, 从粒度分布特征给予了良好的指示。而不均一母岩上发育的风化壳的地球化学行为, 也必然偏离建立在均一母岩前提下的风化壳的正常演化方向。此外, 常作为表生环境下物源示踪的惰性元素比值如 Ti/Zr, Ti/Al, Sm/Nd, Zr/Hf, Nb/Ta, Th/Sc, Zr/Nb 等可能不适合于碳酸盐岩风化壳成土母岩的指示, 从基岩到风化壳变化大, 抑或在不同母岩的风化壳样品间没有明显的差异, 也许与碳酸盐岩特殊的风化过程有关。

[关键词] 碳酸盐岩; 风化壳; 母岩不均一; 粒度分析

[分类号] P588.245; P512.1

[文献标识码] A

由碳酸盐岩风化作用形成的红色风化壳是中国西南岩溶地区重要的土类资源, 发育厚度一般在几米至十几米。近些年, 由于在岩溶山区出现的水土流失和石漠化^{[1],[2]}、工程地质问题^{[3],[4]}、滑坡和泥石流等地质灾害^[5]以及想借助于红色风化壳剖面记录的环境信息来进行古环境的重建^{[6],[7]}, 对这些地区风化壳成因和风化机理的研究成为新的热点^{[8]~[12]}。但目前碳酸盐岩风化壳的研究中普遍存在一个问题, 就是假定风化母岩是均一的, 风化壳剖面的地球化学过程是基于母岩具有相同的地球化学组成^{[9],[13],[14]}。实际上, 这种假设并不总是可靠的。不像在碎屑沉积岩和结晶岩上发育的风化壳, 由于岩石在风化过程中易溶蚀成分少, 残余组分含量很高, 一般风化壳的形成过程为等体积变化甚至有体积膨胀的趋势, 这样形成几米至十几米厚的风化壳也大致消耗等

量厚度的原岩, 风化原岩的均一性是可以保证的。而碳酸盐岩上发育的风化壳则不然, 由于一般碳酸盐岩酸不溶物含量极低, 碳酸盐矿物易溶蚀, 在风化过程中伴随着巨大的体积缩小变化, 形成 1 m 厚的风化壳需要消耗原岩十几米甚至几十米。据王世杰等^{[11],[12]}计算, 黔中平坝和黔北新蒲碳酸盐岩风化壳剖面的母岩酸不溶物含量分别为 0.63% 和 4%, 形成 1 m 残积土所需溶蚀原岩分别为 13 m 和 79 m, 因此, 形成几米至十几米厚的风化壳需要溶蚀原岩可观的厚度。形成这些均一的巨厚碳酸盐岩沉积, 需要保持长期的稳定物源和沉积环境。笔者对贵州及其邻区的野外地质调查中发现, 在碳酸盐岩基岩中经常会出现泥质岩和砂页岩等碎屑岩夹层, 甚至会出现硅质脉体, 一旦风化成土, 在风化壳中所占比例将成倍增长。另外, 即使同为碳酸盐岩沉积建造, 由于碎屑物源不

[收稿日期] 2003-03-09

[基金项目] 国家自然科学基金(49833002)、中国科学院“西部之光”资助项目

[作者简介] 冯志刚(1970—), 男, 博士研究生, 从事环境地球化学研究。(E-mail: fzg999@sina.com)

同,其酸不溶物也会存在岩性差异。由于宏观上,碳酸盐岩风化壳缺乏原岩残余结构,一般呈均质红粘土状,容易使人误认为风化原岩是均一的,这样,直接建立在母岩均一性假定的基础上,对不均一碳酸盐岩上发育的风化壳的研究难以真实客观地反映其演化过程。在深入探讨碳酸盐岩风化壳的演化机理和剖面的环境信息提取的研究中,必然会失真,因此风化壳成土母岩均一性的判别是碳酸盐岩风化壳研究的基础。

粒度分析在沉积学研究中已经成为一种非常成熟的方法^{[15],[16]},应用沉积岩(物)的机械粒度分布特征可以进行沉积环境的识别和物源示踪,不同沉积环境和物质来源下的沉积岩(物)的粒度分布特征是有差异的。利用粒度指标对风化壳尤其是碳酸盐岩风化壳成因和机理的研究是一种尝试,笔者对湘西吉首和黔中平坝剖面的研究中,很好地验证了用粒度参数对风化壳成土母岩的示踪作用^{[17],[18]}。其物源示踪的机理是:某种岩性的沉积岩(物)是特定沉积环境和物质来源的产物,不同岩性的沉积岩(物)其粒度分布特征是不同的。由该母岩风化形成的风化壳就会继承母岩的粒度分布特征,对于碳酸盐岩而言,风化壳就会继承母岩酸不溶物的粒度特征,风化程度愈弱,风化壳的粒度分布特征愈接近母岩;风化程度愈强,其粒度分布就愈向细粒方向发展。风化壳的粒度分布特征是对母岩的继承和发展,而不同母岩上发育的风化壳其粒度分布特征是不同的。

本文通过对贵州岩溶地区贵阳花溪、湖潮剖面和黔北遵义市新蒲剖面三个典型的残积风化壳的粒度分析,以期揭示碳酸盐岩风化壳成土母岩的均一性特征,及对风化壳地球化学过程的影响。此外,惰性元素比值如 Ti/Zr, Ti/Al, Sm/Nd, Zr/Hf, Nb/Ta, Th/Sc, Zr/Nb 等常作为沉积物物源示踪的工具^{[19]~[24]},本文以湖潮剖面为例,对其在碳酸盐岩风化壳物源示踪的有效性一并进行了探讨。

1 材料和方法

1.1 剖面特征

为了消除坡积物的影响,采样位置均选择在岩溶山地背景上的丘陵台地顶部。

1.1.1 花溪剖面

花溪剖面位于贵阳市花溪区玻璃厂附近。下

伏基岩为产状平缓的下三叠统大冶组灰色中厚层状灰岩,层间常夹有 1~2 mm 厚的泥质薄层。采样剖面从岩-土界面到剖面顶部,厚 3.1 m,依次分为基岩层、岩粉层、棕黄色土层和土壤层。其中岩粉层厚 10 cm,呈浅灰色粉砂状,系胶结物被溶蚀的结果,用手可搓成粉末;土壤层呈棕褐色,厚 30 cm,含大量植物根系;棕黄色土层为剖面主体,在中、下部,有大量的浅黄色泥质薄片被风化壳所包裹,直径在几毫米至 1 cm,用手抠可呈叶片状剥落。上部质地均匀,泥质薄片消失。样品的采集采取垂直剖面自下而上连续刻槽取样的方法进行,剖面下部样长 5 cm,中、上部样长 10 cm。

1.1.2 湖潮剖面

湖潮剖面位于贵阳市湖潮乡公路边,是一个公路建筑施工的人工开挖剖面。采样剖面厚 3.8 m,呈均质粘土状,原岩结构消失,岩-土界面清晰,岩粉层厚 5 cm,呈浅灰色砂糖状覆于基岩表面。剖面上部呈红棕色,下部呈杂色,在红棕色的基色调上有淡黄色斑点或斑纹。下伏基岩为下三叠统厚层状安顺组白云岩,采样方式为连续刻槽取样,岩-土附近样长为 5 cm,向上至剖面顶部样长为 10 cm。

1.1.3 新蒲剖面

新蒲剖面位于黔北遵义市新蒲镇。该区风化壳剖面厚 7~10 m,下伏基岩为中上寒武统娄山关组白云岩,剖面呈红棕色均质粘土状,在上部偶见铁质结核。采样剖面厚 7.3 m,连续刻槽取样,岩-土界面附近样长 5 cm,其余样长 10 cm。

1.2 样品分析

样品的粒度分析测试用 Malvern 2000 激光粒度分析仪进行,测试量程为 0.02~2000 μm ,样品的前处理过程详见冯志刚等^[17]文献,分析测试在北京大学城市与环境学系完成。用于粒度分析的基岩酸不溶物的提取过程为:用适量当量浓度为 1 N 的盐酸对新鲜岩石碎样(>2 mm)反复淋溶,直到加入盐酸不反应,用蒸馏水反复清洗淋溶残积物至淋洗液成中性,然后烘干备用^[11]。

用于元素分析的样品自然风干后,研磨至 200 目备用。常量元素分析采用湿化学分析法,辅之于原子吸收光谱法,微量元素的测试采用电感耦合等离子体-质谱法(ICP-MS)。样品的处理过程采用酸分解法,所有测试均用标样控制,测试结果和推荐值之间的相对偏差,常量元素小于 2%;微

量元素一般小于 10%, Sr 的相对偏差小于 15%, 而 Zr 和 Ta 的相对偏差小于 20%。分析测试在中国科学院地球化学研究所完成。

对于花溪剖面, 由于泥质薄层在风化过程中抗风化且不易分散, 在风化壳中呈鳞片状的泥质薄片被棕黄色粘土所包裹, 在宏观上易于识别和分离, 所以对风化壳中的泥质薄片和剔除了泥质薄片的风化壳样品分别制样分析。基岩的酸不溶

物提取及粒度和化学分析均为除去了泥质夹层的灰岩新鲜岩样。

2 剖面粒度分布特征

花溪、湖潮和新蒲剖面部分样品的粒度分布参数见表 1, 各参数的统计计算采用矩值法, 其数学表达式见文献[25], 是基于 ϕ 值粒径计算所得。

表 1 花溪、湖潮和新蒲剖面部分样品的粒度分布参数

Table 1 The grain size distribution parameters of part samples from the Huaxi, Huchao and Xinpu profiles in Guizhou

样品号	深度 /cm	平均粒径 d/ϕ	标准差 σ	偏度 SK	尖度 K	样品号	深度 /cm	平均粒径 d/ϕ	标准差 σ	偏度 SK	尖度 K
新蒲剖面						HC-T16	265	9.14	2.88	0.16	1.62
XPb-Yt	740	6.03	1.76	-0.3	3.16	HC-T18	245	8.09	2.83	0.62	2.08
XPb-T1	730	6.54	1.78	0	2.9	HC-T20	225	8.79	2.85	0.37	1.75
XPb-T2	725	6.26	2.05	0.27	2.61	HC-T22	205	8.3	2.73	0.65	2.14
XPb-T3	720	4.89	1.99	0.71	2.66	HC-T24	185	8.4	2.77	0.57	2.02
XPb-T4	715	5.17	2.03	0.45	2.22	HC-T26	165	8.63	2.77	0.45	1.9
XPb-T5	710	6.62	2.37	0.23	2.83	HC-T28	145	8.86	2.88	0.25	1.71
XPb-T6	705	5.52	2.77	0.25	2.32	HC-T29	135	8.62	2.61	0.49	2.08
XPb-T7	700	6.06	2.28	-0.4	2.57	HC-T30	125	8.95	2.67	0.37	1.88
XPb-T8	695	7	2.57	0.46	3.22	HC-T32	105	9.34	2.75	0.19	1.67
XPb-T9	690	6.87	1.69	-0.1	3.25	HC-T34	85	8.77	2.58	0.53	2.11
XPb-T12	670	8.23	2.48	0.5	2.7	HC-T36	65	8.82	2.68	0.4	1.95
XPb-T15	640	8.53	2.4	0.61	2.53	HC-T38	45	8.49	2.55	0.59	2.28
XPb-T18	610	7.08	1.81	0.16	3.49	HC-T40	25	8.45	2.54	0.59	2.34
XPb-T20	590	5.73	2.98	-0.5	2.22	HC-T41	15	9.09	2.67	0.22	1.92
XPb-T21	580	6.83	2.26	0.43	3.3	花溪剖面					
XPb-T22	570	8.45	2.94	0.25	2.04	HB-Yt	320	7	1.7	-1.4	6.03
XPb-T23	560	8.4	2.81	0.33	2.15	HB-T1	300	7.22	2.02	-0.2	5.33
XPb-T24	550	6.41	2.28	0.92	3.44	HB-T3	290	7.48	1.76	0.78	4.37
XPb-T25	540	6.76	2.67	0.83	3.05	HB-T5	275	7.18	1.41	-0.1	2.42
XPb-T26	530	6.95	2.89	0.68	2.63	HB-T7	255	7.28	1.34	-0.1	2.34
XPb-T27	520	7.45	2.63	0.42	2.99	HB-T9	235	7.97	2.2	0.89	3.6
XPb-T30	490	6.71	2.36	0.53	3.27	HB-T11	215	7.19	1.71	-0.1	6.38
XPb-T34	450	7.54	2.97	0.33	2.56	HB-T13	195	7.66	1.98	1.05	4.24
XPb-T38	410	7.78	2.73	0.42	2.77	HB-T15	175	7.93	2.12	1	3.7
XPb-T42	370	8.63	2.88	0.27	1.96	HB-T17	155	7.37	1.88	0.93	4.33
XPb-T46	330	8.91	2.85	0.26	1.81	HB-T19	135	7.48	1.95	0.87	4.23
XPb-T50	290	8.24	3.01	0.15	2.34	HB-T21	115	7.66	2.11	0.93	4.16
XPb-T53	260	8.25	2.84	0.37	2.24	HB-T23	95	7.97	2.32	0.66	3.53
XPb-T58	210	7.36	2.84	0.47	2.66	HB-T25	75	8.09	2.27	0.79	3.4
XPb-T62	170	7.21	2.91	0.4	2.69	HB-T27	55	8.63	2.27	0.81	2.8
XPb-T66	130	7.88	3.03	0.28	2.32	HB-T29	35	8.4	2.3	0.82	2.84
XPb-T70	90	7.85	2.69	0.48	2.76	HB-T31	15	8.05	2.4	0.37	3.81
XPb-T74	50	8.06	2.82	0.45	2.33	HBa-T1	300	7.45	1.2	-0.2	2.67
XPb-T77	20	7.05	1.92	0.2	3.32	Hba-T3	290	7.55	1.65	0.94	4.87
湖潮剖面						HBa-T5	275	6.2	1.6	0.29	2.21
HC-Yt	390	6.54	1.42	-1.3	7.86	HBa-T7	255	6.71	1.54	-0.1	2.25
HC-T1	380	9.01	2.78	0.34	1.73	HBa-T9	235	7.14	1.35	0.08	2.35
HC-T3	370	8.28	2.89	0.59	1.95	HBa-T11	215	6.49	1.48	0.31	2.26
HC-T5	360	9.34	3.01	0.01	1.54	HBa-T13	195	6.86	1.49	0.24	2.61
HC-T6	355	9.11	2.98	0.15	1.57	HBa-T15	175	6.22	1.48	0.54	2.56
HC-T8	345	9.16	2.97	0.13	1.57	HBa-T17	155	6.83	1.56	-0.2	2.84
HC-T10	325	8.61	2.94	0.38	1.72	HBa-T19	135	6.56	1.53	0.23	2.23
HC-T12	305	8.3	2.79	0.54	1.99	HBa-T21	115	6.16	1.49	0.52	2.49
HC-T14	285	8.76	2.9	0.31	1.7	HBa-T23	95	7.1	1.88	0.84	3.91

注: Yt 为基岩酸不溶物, 其余为风化壳; HB 为花溪灰岩风化壳, HBa 为泥质薄片。

2.1 粒度频率分布曲线

花溪剖面的粒度频率分布曲线见图 1-A。基岩酸不溶物呈单峰,众数粒径约为 8 ϕ ,灰岩风化壳除具有和下伏基岩酸不溶物一致的粗粒峰外,还在粘粒级范围内(>9 ϕ ,即<2 μm ,众数粒径约为 12.5 ϕ)出现了细粒峰,且粗粒峰峰高明显低于基岩酸不溶物。这不仅指示了风化壳对下伏基岩的继承,也表明了风化壳的发育过程,即风化壳中原生矿物向以粘土矿物为主的次生矿物的转变。风化壳中泥质薄片的粒度频率分布曲线呈单峰,风化壳中泥质薄片的粒度频率分布曲线呈单峰,样品间粒度曲线相对离散,没有一致的众数峰,众

数粒径在 5 ϕ ~8 ϕ 之间,明显比基岩酸不溶物和灰岩风化壳偏粗,指示了风化原岩的不均一性;同时,没有出现标志风化成土过程的粘粒峰,说明了与灰岩酸不溶物风化的差异性。花溪剖面的岩性不均一不仅从宏观上可以识别,从粒度频率分布曲线中也给予了佐证。

湖潮剖面粒度频率分布曲线见图 1-B。风化壳样品的粒度频率分布曲线被分成两组,HC-1~HC-28 的粗粒峰众数粒径比 HC-29~HC-41 的大,且前者峰型呈正偏窄峰态,粗粒峰的左翼存在细尾,后者峰型呈近正态分布。下伏基岩酸不溶物

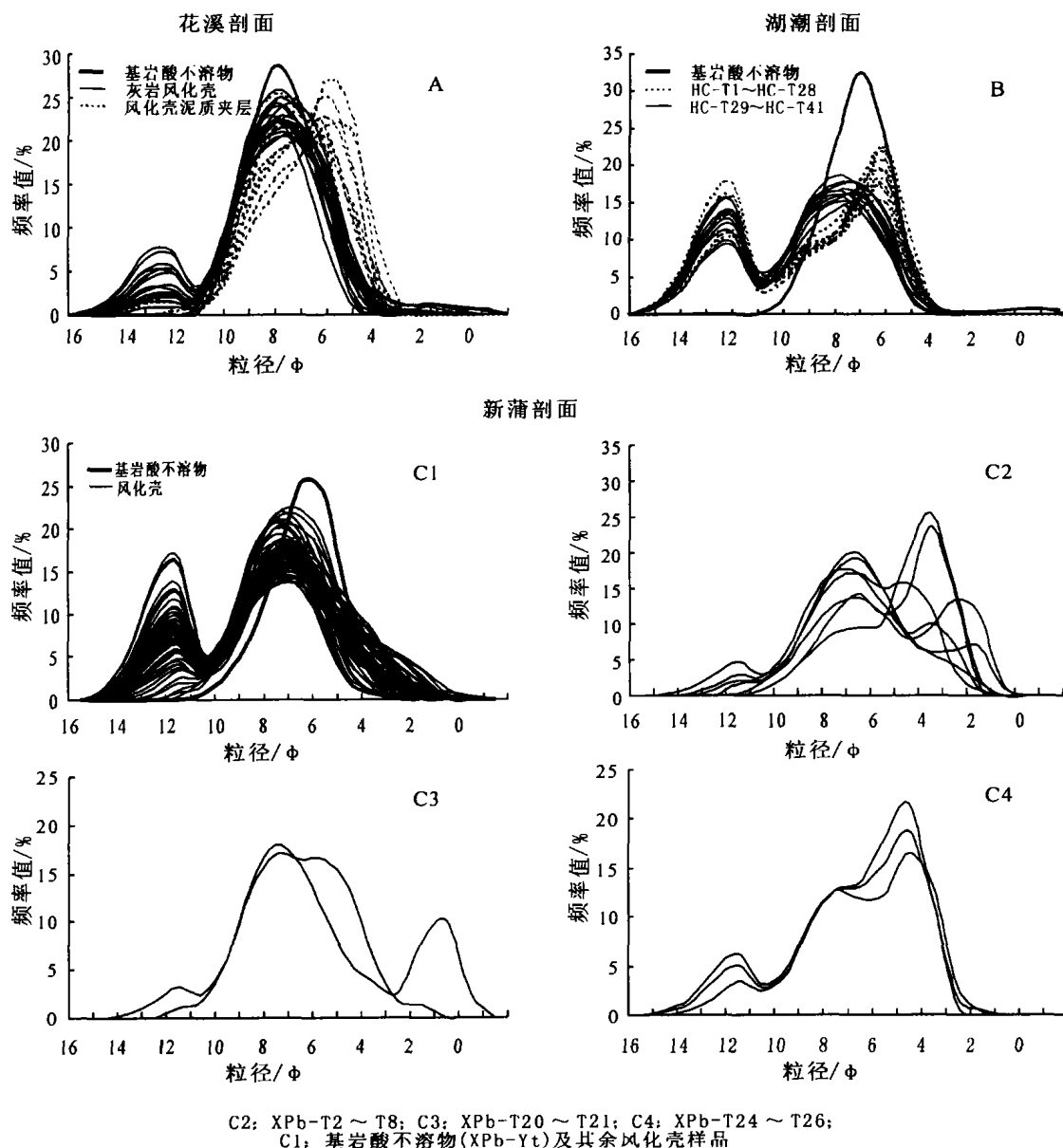


图 1 花溪、湖潮和新蒲剖面粒度频率分布曲线

Fig. 1 The grain size frequency distribution curves of the samples from the Huaxi, Huchao and Xinpu profiles in Guizhou

呈单峰,峰型呈窄峰态,相似于上覆的 HC-1~HC-28 的粗粒峰。这样,从粒度分布曲线角度直观地反映出 HC-1~HC-28 和 HC-29~HC-41 之间成土母岩的差异,前者与下伏基岩有相似的成土母岩,而后者不然。

新蒲剖面粒度频率分布曲线见图 1-C1~C4。风化壳样品根据粒度分布特征分为 C1~C4 四组,其中,C2 为 XPb-T2~XPb-T8,C3 为 XPb-T20~XPb-T21,C4 为 XPb-T24~XPb-T26,而 C1 为基岩酸不溶物及其余风化壳样品。C1 的粒度频率分布曲线中,基岩酸不溶物呈单峰,峰型与风化壳粗粒峰相似,而峰高更高,反映出成土母岩的特征。风化壳样品至下向上,曲线由单峰向双峰过渡,其中在粘粒级出现的细粒峰可能正是母岩风化成土作用的结果,曲线形态和众值粒径具有很好的一致性,反映出风化母岩同源的特征。C2 和 C3 的频率曲线呈多峰,各样品之间以及与 C1 表现出截然不同的曲线形态,指示了风化原岩的岩性不均一。C4 呈三峰,样品间的粒度分布曲线呈现良好的一致性和渐变过渡性,反映了风化母岩的同源性,而与其他风化壳及基岩酸不溶物粒度分布曲线表现出显著的差异,指示了风化母岩

之间存在着明显的岩性差异。

2.2 粒度参数散点图

粒度参数散点图可以用来判别沉积物的沉积环境。不同沉积环境下形成的沉积物的粒度参数有其特征值,所制成的散点图就有明显的界限^[26]。这样,在不同沉积母岩上发育的风化壳,既改造而又继承了风化母岩的粒度参数特征。理论上讲,不同母岩上发育的风化壳的粒度参数散点图也应该有明显的分界线。实际情况是否如此呢?为此,笔者对上述三个剖面作了平均粒径、标准差、偏度和尖度间的粒度参数散点图(数据见表 1)。

图 2、图 3 和图 4 分别为花溪、湖潮和新蒲剖面的粒度参数散点图。花溪剖面(见图 2)除个别样品有交叉外,灰岩风化壳和泥质薄片的分布区域可以被明显分开,图中虚线为分界线。湖潮剖面(见图 3)两组风化壳的投影点尽管紧密接触,但是,一组样分布于投影区一侧,另一组样位于另一侧,还是可以区分的。基岩酸不溶物与风化壳高度离散,说明风化母岩可能含有大量弱抗风物质,在形成风化壳过程中大量碎屑矿物分解从而使粒度参数发生突变,这在图 1-B 也得到体现。新蒲剖

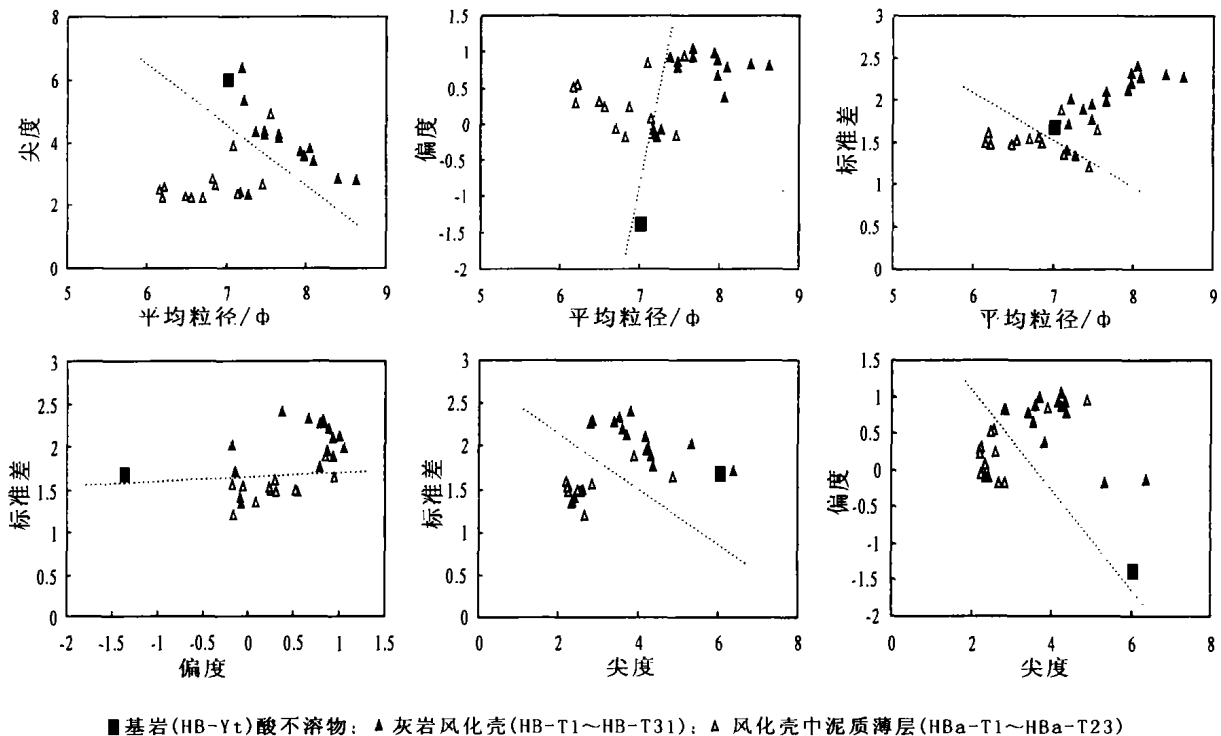


图 2 花溪剖面粒度参数散点图

Fig. 2 Statistical indices of grain size distribution parameters in the Huaxi profile

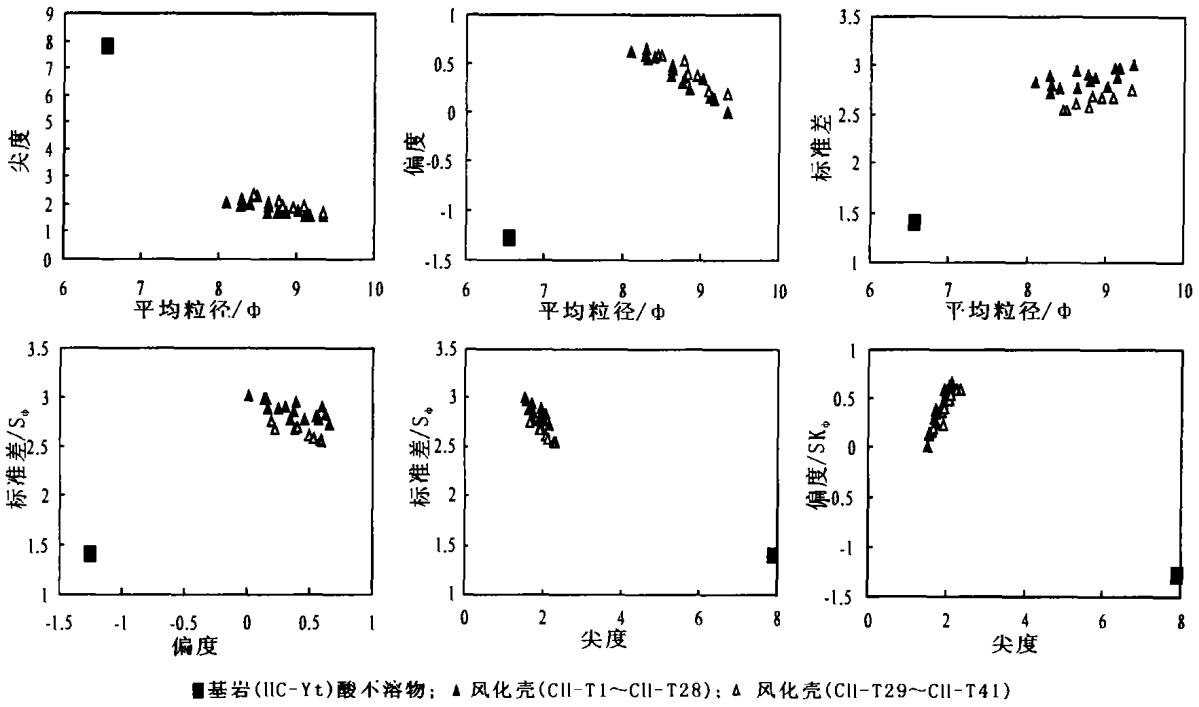


图 3 湖潮剖面粒度参数散点图
Fig. 3 Statistical indices of grain size distribution parameters in the Huchao profile

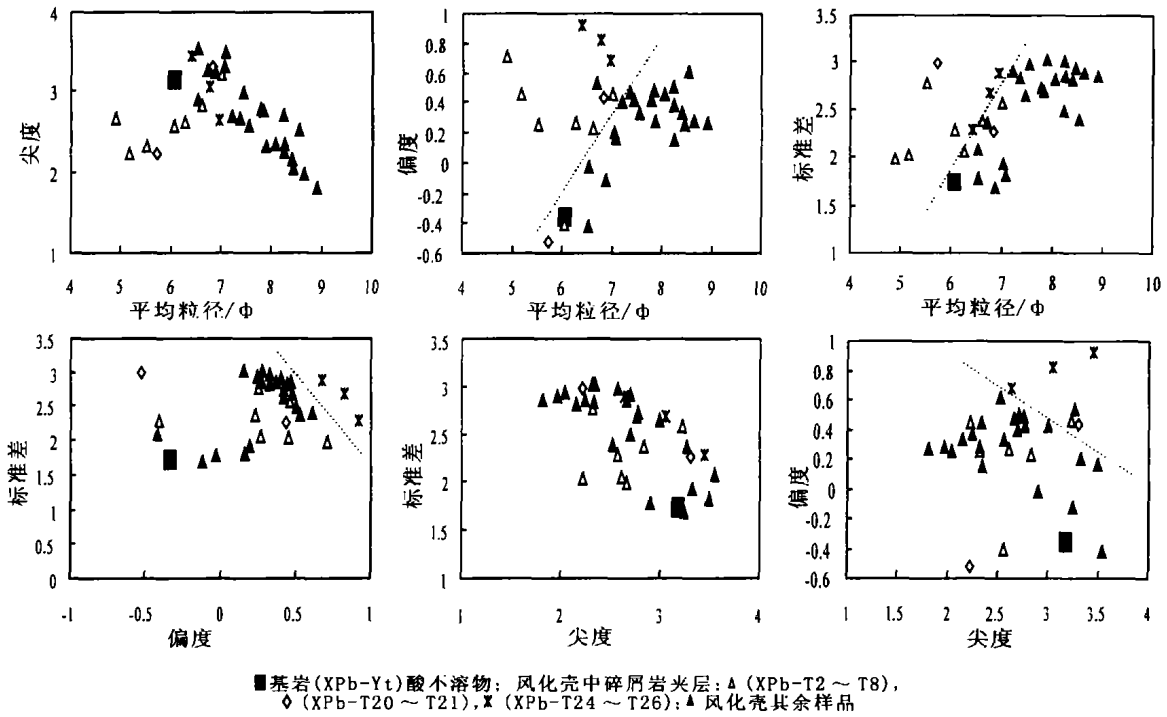


图 4 新蒲剖面粒度参数散点图
Fig. 4 Statistical indices of grain size distribution parameters in the Xinpu profile

面(见图 4)由于样品组内(XPb-T2~T8, XPb-T20~T21)本身风化原岩存在不均一性,所以各组样品的粒度散点图有穿插现象,界限不明显,但整体上看,XPb-T24~T26 与其他风化壳样品仍

可明显地分开。

总之,用粒度参数散点图对风化壳成土母岩的均一性判别也是可行的,支持了上述剖面风化母岩不均一的论断。

3 母岩不均一性对风化壳地球化学过程的影响

为了探讨由于母岩不均一对风化壳地球化学过程的影响,笔者选择了CIA^{[27]、[28]}(化学蚀变指数)、淋溶系数^[29]和残积系数^[29]3个化学风化指标,以湖潮剖面为例进行了讨论。

在均一母岩上发育的残积风化壳,一般地,剖面自下向上,随着风化程度逐渐增强,易迁移组分逐渐淋失,难迁移组分逐渐富集,CIA、淋溶系数、残积系数呈逐渐增大的趋势。湖潮剖面化学风化指标随深度的变化曲线见图5。大致以140 cm深度为界(图中虚线所示),即成土母岩不均一界限附近,3个风化指标均表现出上部低于下部的情况,即剖面上部的化学风化强度低于剖面下部。对于均一母岩上发育的残积风化壳,这种现象的出现是难以理解的。

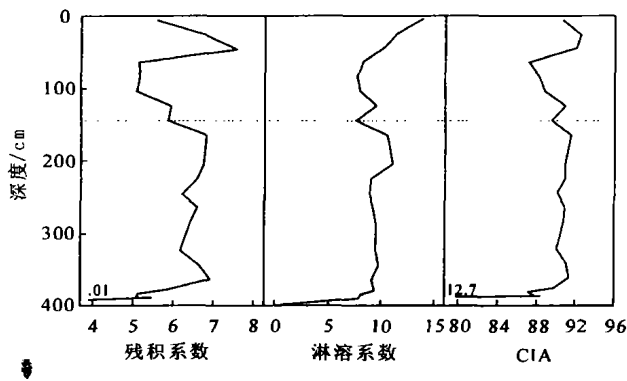


图5 湖潮剖面化学风化指标随深度的变化
Fig. 5 Variation of chemical weathering indices with the depth in the Huchao profile

4 惰性元素对碳酸盐岩风化壳母岩均一性的识别

在表生环境下相对稳定的元素对Al/Ti, Ti/Zr, Zr/Hf, Nb/Ta, Nd/Sm, Sc/Th等常用来作为沉积物的物源示踪^{[19]~[24]},现仍以湖潮剖面为例,进行惰性元素在碳酸盐岩风化壳母岩均一性识别的有效性评价。为了消除化学分析过程的系统误差,用与母岩的相对偏差来进行讨论,一般地,相对偏差在±10%内可以认为风化壳有与下伏基岩相似的同源母岩。

湖潮剖面部分样品惰性元素比值的相对偏差见表2。从基岩到风化壳,除了Zr/Hf和Nb/Ta

外,其他惰性元素比值的相对偏差为几十至几百,变化大,可能是碳酸盐岩在风化过程中伴随着碳酸盐矿物的快速溶蚀而导致所谓的守恒元素的地球化学分异,因为碳酸盐岩的风化过程与结晶岩、碎屑沉积岩有着本质的差别。另外,根据湖潮剖面的粒度分析结果(见图1-B、图3),风化壳HC-T1~HC-T28与HC-T30~HC-T40之间的成土母岩存在着岩性差异,但上述指标在两组样品之间并未出现明显的界限。尽管Zr/Hf和Nb/Ta的相对偏差除个别样外,在±10%内,但在HC-T1~HC-T28与HC-T30~HC-T40之间没有表现出明显的差别,Sc/Th也未出现明显的不同。笔者对黔中地区几个石灰土剖面的地球化学分析也出现了类似的结果(数据尚未发表)。以上情况表明,Al/Ti, Ti/Zr, Zr/Hf, Nb/Ta, Nd/Sm, Sc/Th等元素比值可能不适合于碳酸盐岩风化壳的物源示踪,其地球化学机理目前尚不清楚,有待于对碳酸盐岩风化过程中元素地球化学行为的深入研究。

表2 湖潮剖面部分样品惰性元素比值的相对偏差
Table 2 The relative deviation of the inertia elements ratios of the samples from the Huchao profile

样品号	深度/cm	相对偏差/%					
		Al/Ti	Ti/Zr	Zr/Hf	Nb/Ta	Nd/Sm	Sc/Th
HC-T40	25	-53.9	501.2	-2.7	3.3	78.7	-99.2
HC-T38	45	14	255.3	-8.7	4.6	70.1	-99.0
HC-T36	65	30.7	140.8	-6.8	1.2	66.1	-98.8
HC-T34	85	1.3	245.0	-5.7	-2.6	81.7	-99.2
HC-T32	105	15.3	235.5	-9.9	1.7	95.6	-99.1
HC-T30	125	-12.0	367.7	-6.8	0.9	80.7	-99.2
HC-T28	145	0.8	393.2	-7.2	0.1	87.0	-99.2
HC-T26	165	35.0	212.6	-6.5	5.2	59.9	-98.6
HC-T22	205	-19.2	379.8	-2.5	5.3	58.3	-97.3
HC-T20	225	10.7	298.3	-5.0	9.1	74.7	-98.2
HC-T18	245	-6.3	341.2	-2.6	4.7	84.8	-98.2
HC-T16	265	-4.3	344.9	-5.6	4.9	87.6	-98.1
HC-T14	285	2.8	318.4	-3.9	12.0	74.6	-96.2
HC-T12	305	-15.5	378.1	-1.6	9.2	78.7	-98.1
HC-T10	325	29.7	216.7	-4.6	7.9	82.2	-98.6
HC-T8	345	-13.7	386.0	-3.3	7.1	74.3	-98.1
HC-T6	355	55.7	188.8	4.6	10.0	72.6	-97.5
HC-T4	365	-14.4	384.7	-2.1	9.0	63.2	-96.9
HC-T3	370	-4.3	289.4	0.2	14.2	45.2	-97.4
HC-T2	375	-3.4	265.3	5.4	11.7	26.7	-97.9
HC-T1	380	4.7	259.3	2.0	12.2	26.7	-97.6
HC-Y	390	0	0	0	0	0	0

样品编号:Y为基岩样品,其余为风化壳样品。相对偏差=(a-b)/b×100%,其中a为样品中某惰性元素对比值,b为下伏基岩该惰性元素对比值。

5 小结

花溪、湖潮和新蒲红色风化壳剖面的研究结果表明,碳酸盐岩风化壳成土母岩的不均一是客观存在的。成土母岩的岩性不均一,必然导致风化壳的化学风化指标在剖面上出现异常。基于均一母岩的风化壳成土理论对不均一母岩上发育的风化壳进行风化机理研究时,必然会失真。所以对于碳酸盐岩风化壳的成土地球化学过程的研究中,尤其是厚层风化壳,母岩的均一性判别是必要的,是风化壳研究的基础。

粒度分析对于碳酸盐岩风化壳母岩均一性的识别具有良好的示踪作用。粒度频率分布曲线直观地反映了沉积物中的粒度分布特征,由于不同沉积物的粒度分布特征是不同的,而在此基础上发育的风化壳同样继承了母岩的粒度分布特征,所以粒度频率分布曲线具有高分辨率地提取母岩不均一信息的能力。此外,风化壳粒度参数散点图在一定程度上也可以进行母岩均一性的识别。粒度分析具有快速、简便、经济等特点,有条件对风化壳进行深入的研究。

惰性元素比值从基岩到风化壳变化大,抑或在不同母岩的风化壳样品间没有明显的差异,可能不适合于碳酸盐岩风化壳的物源示踪。其原因可能是碳酸盐岩风化过程中,伴随着碳酸盐矿物的快速溶蚀而导致所谓的守恒元素的地球化学分异。不过这只是一个初步的认识,其地球化学机理有待于深入研究。

[参 考 文 献]

- [1] 李瑞玲,王世杰,周德全,等. 贵州岩溶区土地石漠化与岩性的空间相关性研究[J]. 地理学报, 2003, 58(2): 314—320.
- [2] 王世杰. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨[J]. 中国岩溶, 2002, 21(2): 101—105.
- [3] 廖义玲,张竹如,周训华. 从岩溶作用认识碳酸盐岩红土的胀缩性[J]. 中国岩溶, 2000, 19(4): 342—346.
- [4] 文江泉,王贵清. 南昆线南那段红土类型划分及微观特征研究[J]. 工程地质学报, 1995, 3(3): 35—42.
- [5] 符必昌,黄英,方丽萍. 红土地区地质灾害成因分析[J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9(4): 13—18.
- [6] 冯金良,垂之久. 拱王山风化壳的发育特征及其环境和构造意义[J]. 地理学与国土研究, 2002, 18(2): 56—60.
- [7] 朱立军. 碳酸盐岩地区红土针铁矿中铝对铁的置换作用及其环境意义[J]. 地质地球化学, 1997, (1): 42—45.
- [8] 季宏兵,欧阳自远,王世杰. 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), 1999, 29(6): 504—513.
- [9] 周芳,陈世益. 广西贵港红土风化壳的地球化学特征[J]. 中南矿冶学院学报(自然科学版), 1994, 25(2): 151—155.
- [10] 李景阳,朱立军,梁凤. 碳酸盐岩红土风化壳主要特征及红土成因探讨——以贵州典型剖面为例[J]. 水文地质工程地质, 2001, (5): 7—16.
- [11] 王世杰,季宏兵,欧阳自远. 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.
- [12] Wang S J, Ji H B, Ouyang Z Y, et al. Preliminary study on weathering and pedogenesis of carbonate rock[J]. Science in China (series D), 1999, 42(6): 572—581.
- [13] Moresi M, Mongelli G. The relation between the terra rossa and the carbonate-free residue of the underlying limestones and dolostones in Apulia, Italy. Clay Minerals, 1988, 23: 439—446.
- [14] Moukarika A, O'Brien F, Coey M D. Development of magnetic soil from ferroan dolomite[J]. Geophysical Research Letters, 1991, 18(11): 2043—2046.
- [15] 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用[M]. 北京:地质出版社, 1976. 31—143.
- [16] Folk Robert L. A review of grain-size parameters[J]. Sedimentology, 1966, 6: 73—93.
- [17] 冯志刚,王世杰,孙承兴,等. 岩溶地区土状堆积物物质来源判别的实用指标——粒度分布特征[J]. 中国岩溶, 2002, 21(2): 73—78.
- [18] 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.
- [19] Schwarz T. Distribution and genesis of bauxite on the Mambilla Plateau, SE Nigeria[J]. Applied Geochemistry, 1997, 12: 119—131.
- [20] 李启津,杨国高,侯正洪. 铝土矿床成矿理论研究中的几个问题[J]. 矿产与地质, 1996, 10(1): 22—26.
- [21] 熊尚发,刘东生,丁仲礼. 南方红土的剖面风化特征[J]. 山地学报, 2000, 18(1): 7—12.
- [22] 张虎才,李吉均,马玉贞,等. 腾格里沙漠南缘武威黄土沉积元素地球化学特征[J]. 沉积学报, 1997, 15

- (4):152—158.
- [23] 马英军,刘从强. 化学风化作用中的微量元素地球化学——以江西龙南黑云母花岗岩风化壳为例[J]. 科学通报, 1999, 44(22):2433—2437.
- [24] 杨守业,李从先. 长江与黄河现代表层沉积物元素组成及其示踪作用[J]. 自然科学进展, 1999, 9(10): 930—937.
- [25] 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.
- [26] Psaaaga R. Grain size representation by CM pattern as a geologic tool[J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1964, 34: 830—847.
- [27] Nesbitt H W, Yong G M. Early Proterozoic climates and plate motion inferred from major element chemistry of lutites[J]. *Nature*, 1982, 299:715—717.
- [28] McLennan S M. Weathering and global denudation [J]. *Journal of Geology*, 1993, 101:295—303.
- [29] 李文达,王文斌,程忠富,等. 华南红土化作用地球化学及红土型金矿形成的可能性[M]. 北京:地质出版社, 1995. 24—41.

THE INHOMOGENEITY OF THE BASEMENT CARBONATE ROCK DEVELOPING WEATHERING CRUST: THE EVIDENCE FROM GRAIN SIZE ANALYSIS

FENG Zhi-gang^{1,2}, WANG Shi-jie¹, LIU Xiu-ming^{1,2}, SUN Cheng-xing^{1,2}

(1. *The State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang, China;*
2. *The Graduate School, CAS, Beijing*)

Abstract: Since the content of acidic insoluble matter of carbonate rock very low, the volume of weathering crust is hugely reduced in comparison with the basement carbonate rock and to form one-meter deep weathering crust needs to consume more than deca meter to $n \times 10$ meters deep basement carbonate rock, so the identification of the homogeneity of the basement carbonate rock is necessary and is the basis of the research on weathering crust concerning thick red weathering crust as well as weathering crust in karst areas. This paper discusses the grain size distribution characteristics of three typical residual weathering crusts from the Huaxi, Huchao and Xinpu profiles in the karst area of Guizhou. The result shows that the Inhomogeneity of the basement carbonate rock is objective reality. The grain size distribution feature of these profiles well indicates the inhomogeneity of the basement carbonate rock. The geochemical behaviour of the weathering crust derived from the inhomogenous basement carbonate rock will certainly deviates from the common evolving direction of the weathering crust developed on the homogenous basement carbonate rock. In addition, the inertia element ratios, such as Ti/Zr, Ti/Al, Sm/Nd, Zr/Hf, Nb/Ta, Th/Sc, Zr/Nb and so on, often using for tracing material origin in the supergene zone, may not be suitable for indicating the basement carbonate rock of weathering crust. These ratios greatly vary from bedrock to weathering crust or cannot apparently differentiate the discrepancy from the weathering crust of different bedrocks, this perhaps bear a relation to special weathering process of carbonate rock.

Key words: carbonate rock; weathering crust; inhomogenous bedrock; grain size analysis