

文章编号:1001-4810(2002)02-0073-06

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

冯志刚^{1,2}, 王世杰¹, 孙承兴^{1,2}, 刘秀明^{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:选择湘西吉首完整的灰岩风化壳, 首次利用粒度参数并结合已有的矿物学、地球化学的研究成果, 为湘西和贵州地区的碳酸盐岩上覆土状堆积物的残积成因提供了有力的佐证。粒度分析研究结果表明, 湘西吉首灰岩风化壳基岩酸不溶物及其上覆半风化带粒度频率分布曲线形态的一致性和渐变性, 指示了风化壳对基岩的继承和演化; 砂-粉砂-粘粒含量、中值粒径和平均粒径在剖面上的演化趋势, 反映了一个标准残积风化壳的发育规律; 频率曲线众数峰含量随深度的变化, 不但指示了化学风化趋势, 而且反映了风化程度的变化梯度。

关键词:碳酸盐岩; 粒度参数; 残积风化壳; 风化程度

中图分类号: P642.11

文献标识码: A

0 前 言

碳酸盐岩在全球的出露面积约占地球表面积的 12%, 主要集中分布在热带、亚热带地区, 如东南亚、地中海沿岸和北美东南部, 其中我国西南部分布着广阔的亚热带潮湿区岩溶, 以贵州为中心, 包括滇东、川南、桂西、湘西、鄂西, 总面积达 50 万 km², 是世界上连片分布面积最大的岩溶区^[1]。由于碳酸盐岩易溶蚀、成土慢、酸不溶物含量低(一般 < 5%), 对于其上覆土状堆积物的来源, 近些年成为碳酸盐岩地区研究的一个热点^[2-12]。对于地中海沿岸和北美东南部的这样的堆积物的来源, 有人认为是由碳酸盐岩溶解后残余的酸不溶物质堆积形成^[2,3], 有人认为主要来自撒哈拉沙漠的风成物质组成, 含有一小部分碳酸盐岩风化成土物质^[4]。对于我国西南地区广布的岩溶地貌上的土状堆积物的来源, 也成为一个有争议的问题。席承藩^[5]认为贵州地区分布的厚层均质红色粘土为第四纪沉积物的风化产物, 李景阳等^[9,10]认为风化壳是由下伏碳酸盐岩溶蚀交代作用形成的, 并提出了等体积风化的概念。王世杰等^[6-8,12]提出了中

国南方碳酸盐岩化学溶蚀残积作用和残积土再演化过程是其上覆土状堆积物的来源和成因, 进而提出两阶段成土模式。

沉积物中粒度参数作为古气候恢复和重建的替代性指标, 已经成为第四纪研究人员的一个重要的研究手段, 如在风成黄土、冰芯、深海及湖泊沉积物的研究中, 对古环境的重建作出了卓有成效的贡献。然而, 对于残积风化壳, 特别是碳酸盐岩风化壳的成因判别方面, 长期以来, 人们主要利用野外地质、矿物学和地球化学相结合的方法进行研究。最近, 我们首次利用粒度参数, 为湘西和贵州地区的碳酸盐岩上覆土状堆积物的残积成因提供了有力的佐证。本文选择湘西吉首一个发育完整的灰岩风化壳剖面作为研究对象。此前, 已从野外地质、矿物学和地球化学的角度对其残积成因进行了翔实的论述^[12](为研究区的另一组剖面)。本文从粒度分布特征方面对其进一步佐证, 同时也为解决风化壳和下伏基岩尤其是碳酸盐岩的继承关系方面提供了一个实用指标。和矿物学和地球化学指标相比, 它具有测试方法简单、测试周期短、测试费用低和指示关系更为直接的特点。

基金项目: 国家自然科学基金(批准号 49833002)和中国科学院“西部之光”联合资助项目

作者简介: 冯志刚(1970-), 男, 博士研究生, 从事环境地球化学研究。

收稿日期: 2002-04-08

1 材料和方法

研究剖面位于湘西吉首市市郊,下伏基岩为下奥陶统大湾组(O_1d)深灰色薄层-中厚层瘤状泥质灰岩。取样点为一个建筑场地人工剖面,岩层产状陡立,倾角近 80° 。从岩-土界面到地表,风化壳厚度为6m左右。风化壳剖面从下到上,可以分成三层,即新鲜基岩、半风化带和全风化带。半风化带完整地保留了原岩的结构,层理清晰;而全风化带已完全转变成土状堆积物,不再具有原岩的结构和构造。原岩和半风化带呈突变接触,半风化带和全风化带呈渐变过渡,但过渡层较薄。全风化带厚度约1m左右。通过对基岩酸不溶物的提取实验,基岩酸不溶物含量为35.12%,所以半风化带能较好地保留原岩的结构。根据风化壳剖面发育的特点,采取从下向上顺层连续采样的方式,样长10cm,样品重约2kg,使所采样品尽量保持在同一薄层,共采样品61件,包括一件基岩样。其中JS-Yt为基岩酸不溶物,JS-T1~JS-T51为半风化带,JS-T52~JS-T60为全风化带。剖面特征及采样位置见图1。

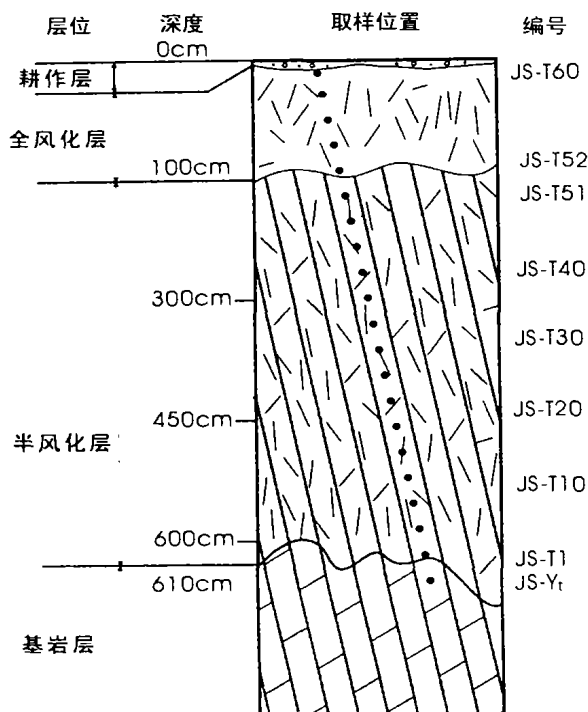


图1 吉首灰岩风化壳剖面及取样位置示意图

Fig.1 Sketch map showing limestone weathering profile and sampling position in Jishou

粒度测试是在北京大学城市与环境学系沉积学实验室进行,用英国马尔文仪器有限公司生产的Malvern 2000激光粒度分析仪进行分析,测试量程为 $0.02\sim 2000\mu\text{m}$,样品重复测试误差 $< 5\%$ 。样品的前处理和分析过程为:

把自然风干(或在 40°C 的烘箱中烘干)的样品用胶棒碾碎(力度以不破坏颗粒粒度为准),使胶结团块和团粒充分散开,用四分法进行样品缩分,使样品充分均匀。称取 $0.175\pm 0.003\text{g}$ 样(黄土样一般在 $0.24\sim 0.34\text{g}$)放入200ml烧杯中,加入10ml H_2O_2 (30%),24小时后加第二次10ml H_2O_2 以去除有机质,待反应完全后,加适量去离子水于烧杯中,在电热板上加热沸腾,去除残量 H_2O_2 。加10ml 1:3的HCl,之后加去离子水至150ml,加热至沸腾后,静置24小时,以去除残余钙质,待反应完全后,用虹吸管抽去悬浮液。加入0.01N的分散剂六偏磷酸钠10ml,之后加去离子水至200ml后,加热至沸腾后持续5分钟,冷却后上机测试。基岩酸不溶物的提取过程为:用适量当量浓度为1N的盐酸对新鲜岩石碎样($> 2\text{mm}$)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^[6]。粒度前处理过程中省略了加盐酸的步骤,在测试过程中,加1分钟超声波进行测定。

2 结果和讨论

吉首灰岩风化壳剖面部分粒度参数结果见表1。

吉首泥质灰岩风化壳粒度频率分布曲线见图2。很明显,曲线分成两组,JS-Yt、JS-T1~JS-T51为一组,即基岩和半风化带,以主众值(相当于频率分布最高的颗粒粒径值)较粗且呈正偏态和含有一个更粗的弱峰为特征。向上,更粗的弱峰逐渐消失,呈现正偏态的单峰。主峰曲线形态相似,众值接近;JS-T52~JS-T60为一组,即全风化带,频率曲线以单峰正态分布为特征,众值偏细($\phi = 7.5$),曲线形态和分布一致。

从图2的频率分布曲线可以看出,双峰及向上更粗粒级弱峰的逐渐消失指示了上覆半风化带对基岩的继承和演化。从基岩到半风化带的发育,主要是碳酸盐矿物的快速溶蚀和基岩中“杂质或不溶物”逐步堆积形成残积土的风化作用过程^[6]。所以在半风化带的下部,频率分布曲线具有与基岩一致的双峰分布特征,残积土的发育程度低,基本保持了原岩酸不溶

表 1 吉首泥质灰岩风化壳部分样品粒度参数表

Tab. 1 Grain size parameters for limestone weathering profile in Jishou

样品 编号	深度 (cm)	粘粒 ($< 2\mu\text{m}$)	粉砂 ($2\sim 63\mu\text{m}$)	砂粒 ($63\sim 2000\mu\text{m}$)	中值粒径 (μm)	平均粒径 (μm)	众数峰含量(%)		
							($4\phi\sim 7\phi$)	($7\phi\sim 8\phi$)	($0\phi\sim 1\phi$)
JS-Y _t *	610	3.135	77.985	18.88	22.803	116.972	57.668		11.317
JS-1	600	4.878	67.63	27.49	22.628	228.13	45.556		18.198
JS-2	590	4.616	67.919	27.466	23.887	141.405	46.769		13.902
JS-4	570	4.857	72.945	22.198	21.093	136.849	51.066		10.297
JS-6	550	4.44	66.762	28.798	25.129	159.319	46.565		14.496
JS-8	530	5.475	77.172	17.354	17.782	104.369	52.875		7.477
JS-10	510	5.1	77.997	16.902	18.958	67.554	54.648		4.043
JS-12	490	5.112	76.851	18.036	19.462	77.222	53.781		5.716
JS-14	470	5.634	80.601	13.765	17.153	57.59	55.842		3.23
JS-16	450	5.16	77.479	17.361	18.96	58.168	54.117		3.319
JS-18	430	4.983	79.874	15.143	19.285	56.46	57.263		3.139
JS-20	410	5.132	78.826	16.042	19.283	55.826	55.673		3.592
JS-22	390	5.609	83.889	10.503	16.769	48.324	58.848		2.591
JS-24	370	6.297	83.593	10.111	14.341	45.922	56.134		2.165
JS-26	350	6.042	83.082	10.875	15.337	41.741	56.256		2.337
JS-28	330	6.143	85.424	8.434	14.512	41.604	58.307		2.03
JS-30	310	5.652	83.834	10.515	16.016	37.323	58.442		2.222
JS-32	290	5.555	76.768	17.676	17.825	51.664	52.023		5.456
JS-34	270	6.352	83.317	10.333	14.86	32.223	56.456		2.141
JS-36	250	6.918	81.783	11.298	13.425	31.886	52.799		2.076
JS-38	230	6.024	82.651	11.325	15.194	30.027	55.626		1.164
JS-40	210	8.294	85.477	6.23	10.88	19.778	52.62		0
JS-42	190	7.021	88.687	4.292	13.219	19.812	59.909		0
JS-44	170	6.362	83.663	9.973	15.162	35.175	56.568		2.832
JS-46	150	7.261	83.865	8.872	12.965	37.191	54.137		3.084
JS-48	130	7.352	87.052	5.595	12.57	20.491	56.716		0
JS-50	110	7.076	90.61	2.314	12.382	17.853	60.294		0
JS-51	100	8.531	88.506	2.962	9.888	16.432	53.458		0
JS-52	90	12.63	85.503	1.871	6.805	15.622		23.949	1.146
JS-53	80	14.74	84.806	0.452	5.854	9.053		26.17	0
JS-54	70	13.98	85.274	0.744	5.94	9.459		26.195	0
KS-55	60	14.08	85.916	0	5.665	8.222		27.511	0
JS-56	50	14.61	84.565	0.826	5.939	9.694		25.752	0
JS-57	40	14.97	84.704	0.32	6.126	9.751		24.816	0
JS-58	30	14.06	85.824	0.122	5.948	9.06		26.311	0
JS-59	20	12.07	87.245	0.681	6.215	9.906		26.725	0
JS-60	10	12.37	85.92	1.715	6.008	12.691		27.477	0.71

* 为基岩 JS-Y_t 的酸不溶物

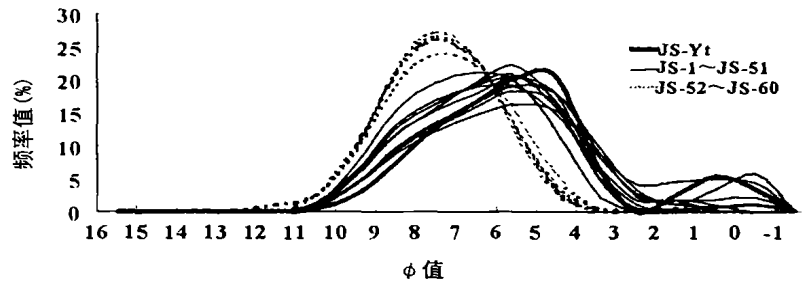


图2 吉首灰岩风化壳粒度频率曲线

Fig. 2 Grain size frequency curves of limestone weathering profile in Jishou

物的粒度分布特征。从基岩到风化层到半风化带上部,残积土的发育逐渐增强,更粗粒级的弱峰消失,但原岩结构仍能很好的保持,风化程度仍不高,所以尽管更粗粒级弱峰消失,但主峰形态和位置仍然继承了下伏残积物的粒度特征。而到全风化带,化学风化程度进一步加强,原岩结构消失,频率曲线呈单峰正态,众值偏细而与半风化带有明显的区别,但是土壤的发生层特征还不明显,所以频率曲线彼此拟合较好,没有表现出明显的分异现象,整体上还是一个发育程度较低的风化壳。剖面化学蚀变指数CIA^[12]在基岩酸不溶物中为58.13,半风化带约为65~70,在全风化带为72.13~76.75,也指示了弱的风化发育程度。XRD矿物分析结果表明^[12],在风化壳中,除了蒙脱石和针铁矿外,其它所有矿物(石英、长石、伊利石、高岭石、残余方解石)在新鲜基岩中均已出现,而蒙脱石仅在半风化带中出现,说明蒙脱石是在风化过程中形

成的次生矿物,并在随后演化过程中逐步转变为伊利石,而微量针铁矿是由基岩黄铁矿氧化而来。矿物学上的这种变化规律,也反映了碳酸盐岩风化壳中矿物成分具有很好的继承性。高岭石在剖面上较低的含量(<3.01%)和不均一的分布特征,也表明风化壳总体发育程度较低。地球化学蚀变指数和矿物学在剖面上的演化规律,很好地支持了频率曲线的分布特征。

剖面粘粒(<2 μm) - 粉砂(2~63 μm) - 砂粒(63~2000 μm)的深度变化见图3。剖面粒度以粉砂级为主体,含量在66.8%~90.6%,剖面从下向上,砂粒级快速降低,粉砂级呈缓慢升高的趋势,粘粒级则快速升高。但是基岩JS-Yt的砂粒含量低于、而粉砂含量高于岩土界面附近样品的含量,可能是由于基岩酸不溶物提取过程中对原岩碎样时,引起砂粒级的破碎而造成的。

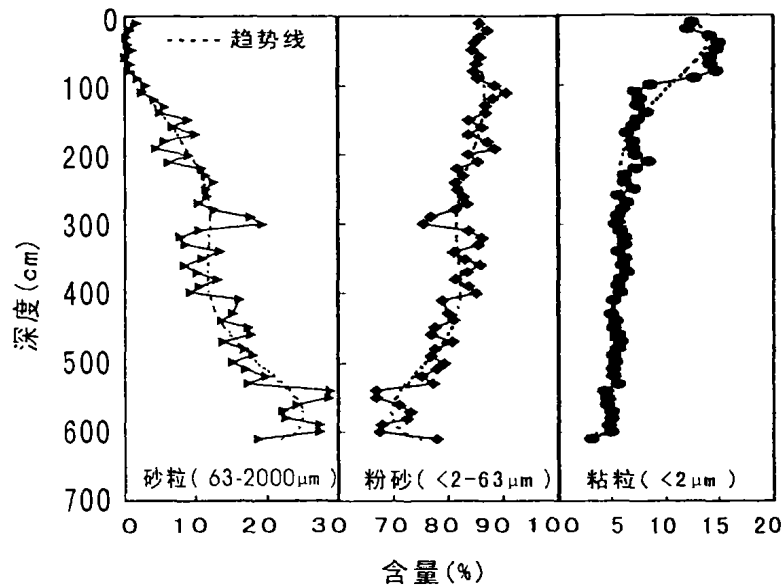


图3 吉首剖面粘粒-粉砂-砂粒含量的深度变化图

Fig. 3 Content variation of clay, silt and sand particle with the increasing of depth in Jishou

粘粒、粉砂和砂粒含量在剖面上的分布规律, 指示了标准残积风化壳的演化趋势, 即剖面从下到上, 发育时代越来越老, 风化壳发育程度越来越高。随着化学风化程度的逐渐加强, 砂粒级矿物逐渐被化学溶蚀成更细粒的粉砂和粘粒以及矿物相转变过程中形成的次生粘土矿物。即随着化学风化程度的加强, 砂粒含量降低, 粉砂和粘粒含量升高。粘土矿物在半风化带中从下到上逐渐增加, 进入全风化土层中后又有略微减少的趋势^[12], 和粘粒级含量的深度分布曲线是一致的。在近地表粘粒降低和砂粒升高的反规律的变化, 主要是由于地表机械淋溶作用引起粘粒下渗和砂粒相对富集形成的。剖面以粉砂级粒度为主, 含量在 66.76%~90.61%, 也反映了风化壳整体发育程度不高。

剖面中值粒径和平均粒径深度变化趋势见图 4。从下向上, 平均粒径呈快速的降低, 中值粒径呈缓慢降低的趋势; 在全风化带, 这两个参数变化相对较小。这种变化趋势也指示了残积风化壳的演化规律。在全风化带缺乏明显的土壤发生层次, 也是中值和平均粒径变化相对较小的原因。

同时, 我们作了频率分布曲线众数峰含量(指以众值为中心, 一定粒径宽度范围内的累积频率)的深度变化趋势图(见图 5)。JS-Yt~JS-T51 取 $0\phi\sim1\phi$ 和 $4\phi\sim7\phi$ 的两个众数峰粒级范围含量变化, JS-T52~JS-T60 取 $7\phi\sim8\phi$ 的众数峰粒级范围含量变化。结果显示, 在基岩和半风化带(JS-Yt~JS-T51), 从下到上, 弱峰粒级($0\phi\sim1\phi$)含量快速降低, 主峰粒级($4\phi\sim7\phi$)含量在下部有明显的升高, 到半风化带上部由于弱峰的消失而变化趋势不甚明显; 全风化带

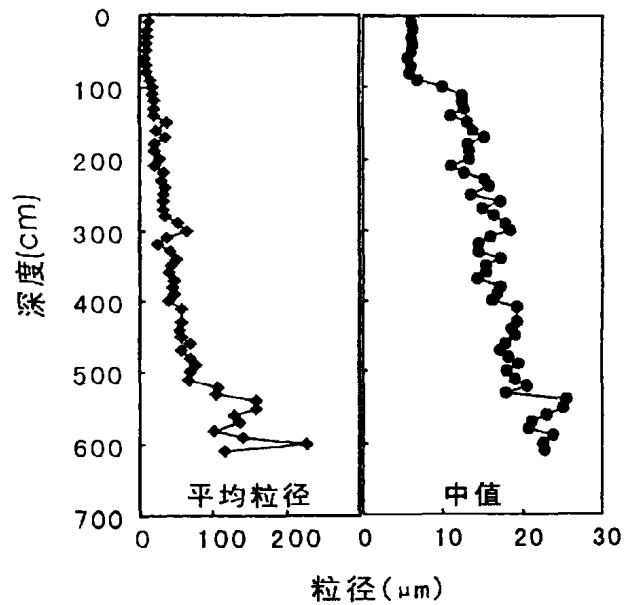


图 4 吉首灰岩风化壳剖面中值和平均粒径深度变化图
Fig.4 The variation map of the median and mean of grain size with the increasing of depth in limestone weathering profile in Jishou

(JS-T52~JS-T60), 总体上从下向上有微弱增大的趋势, 含量在 23.95%~27.51% 之间, 变化幅度较小。可以看出, 在风化壳剖面上, 上部风化程度的变化梯度要低于岩-土界面及其附近的风化残积物的化学风化变化梯度。这说明, 在岩-土界面碳酸盐岩的溶解是一个主要的风化过程, 碳酸盐矿物溶解和残积土的积累的速度相对于残积土的再风化过程要快得多, 所以剖面下部的风化梯度要比剖面上部大。

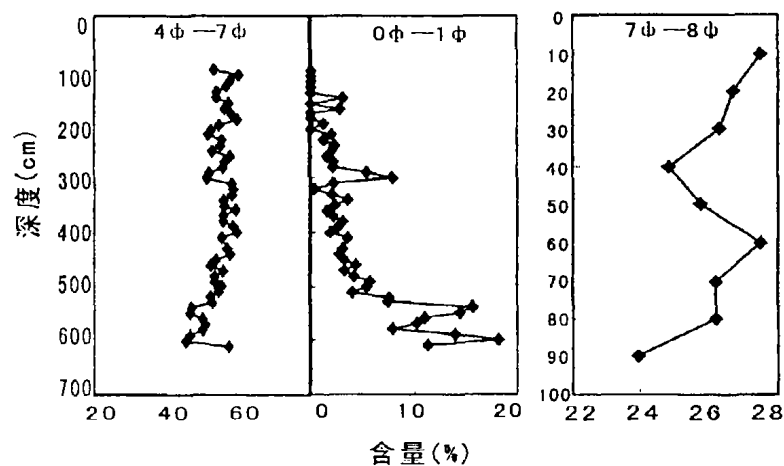


图 5 吉首灰岩风化壳剖面众数峰粒级含量深度变化图
Fig.5 The variation map of the mode peak content of grain size with the increasing of depth in limestone weathering profile in Jishou

3 结 论

综上所述,吉首灰岩风化壳剖面粒度分布特征很好地指示了风化壳的残积成因。基岩酸不溶物及其上覆半风化带粒度频率分布曲线形态的一致性和渐变性,指示了风化壳对基岩的继承和演化;砂-粉砂-粘粒含量、中值和平均粒径在剖面上的演化趋势,反映了一个标准残积风化壳的发育规律,即从下向上,随着风化程度的不断增强,砂粒含量快速降低,粉砂和粘粒不断升高,粘粒含量的升高,不仅是矿物颗粒机械粒度的降低,而且是在化学风化过程中次生粘土矿物形成的贡献。频率曲线众数峰含量随深度的变化,不但指示了化学风化趋势,而且反映了风化程度的变化梯度。粒度参数在吉首灰岩风化壳成因的成功运用,将为解决广大岩溶地区上覆土状堆积物的来源提供一个潜在的指标。

致 谢:感谢北京大学周力平教授在粒度测试中提供的方便和在后期数据处理过程中给予的悉心帮助和指导。

参考文献

[1] 袁道先主编. 中国岩溶学[M]. 北京:地质出版社, 1993, 1-8.

- [2] Isphording W C. Mineralogical and physical properties of Gulf coast limestone soils[J]. Transaction - Gulf Coast Association of Geological Societies, 1978, 18: 201-214.
- [3] Danin A, Gerson E, Marton K, et al. Patterns of limestone and dolomite weathering by lichens and blue-green algae and their palaeoclimatic significance [J]. Palaeogeogr, Palaeoclimatol, Palaeoecol, 1982, 37: 221-233.
- [4] Muhs D R, Crittenden R C, Rosholt J N, 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] 席承藩. 论华南红色风化壳[J]. 第四纪研究, 1991, 11(1): 1-7.
- [6] 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.
- [7] Wang Shijie, Ji Hongbing, Ouyang Ziyuan, et al. Preliminary study on weathering and pedogenesis of carbonate rock[J]. Science in China(series D), 1999, 42(6): 572-581.
- [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] 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] 李德文, 崔之久, 刘耕年. 岩溶风化壳形成演化及其循环意义[J]. 中国岩溶, 2001, 20(3): 183-188.
- [12] 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): 待刊.

PRACTICAL INDEX TO DISTINGUISH THE ORIGIN OF EARTHY DEPOSITS IN KARST AREA —CHARACTERISTICS OF GRAIN SIZE DISTRIBUTION

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

(1. The State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, CAS, Guiyang, Guizhou 550002, China;
2. The graduate school, CAS, Beijing 100039, China)

Abstract: This paper selects intact limestone weathering profile in Jishou of Xiangxi to measure grain size parameters. To study residual weathering crusts, people often investigate it by incorporating field survey with mineralogy and geochemistry. This is the first time to do the study by means of combining grain size parameters with available mineralogy and geochemistry results. We clearly demonstrate that the earthy deposit overlying on the carbonate rocks in Xiangxi and Guizhou is formed by residuals. This study shows that grain size frequency curves of the acidic insoluble material from bedrock and overlying semi-weathering section are consistent with each other and are of gradually changing characteristics, which indicate that the weathering crust inherits and comes from bedrock. The variation trends of sand, silt and clay content, median and mean grain size with the increasing of depth, reflect the developing rule of a standard residual weathering crust. The variation of frequency curve's mode peak content with the increasing of depth, shows not only the trend of chemical weathering but also variation gradient of weathering extent.

Key words: Carbonate rocks; Grain size parameter; Residual weathering crust; Weathering extent