

文章编号:1000-4734(2002)03-0243-06

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

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:选择和使用合适的示踪指标,是揭示岩溶地区红色风化壳物质来源的关键。粒度参数在古环境研究中被大家广泛采用,但是在风化壳物源示踪方面还是新的尝试,尤其在我国。本文选择贵州中部平坝县3个下伏基岩为白云岩的缺失原岩结构的红色风化壳剖面,通过基岩酸不溶物和剖面的粒度分析,表明红色风化壳物质对下伏基岩有很好的继承性。粒度参数随剖面深度呈规律变化,指示了标准残积风化壳的发育特征。

关键词:贵州平坝;岩溶区;红色风化壳;粒度特征;物源示踪

中图分类号:P588.24+5;S151+.2

文献标识码:A

作者简介:冯志刚,男,1970年生,博士研究生,从事环境地球化学研究。

1 前 言

在地处热带和亚热带的中国南方,红色风化壳广泛发育在不同岩性特征的基岩上,一般认为是在炎热而干、湿交替的气候条件下形成的风化产物,是发育程度较高的风化壳^[1]。对于结晶母岩、碎屑岩(或碎屑堆积物)上发育的红色风化壳,由于溶失组分少,成土母质以残积为主提供风化壳的物源,剖面从基岩到顶部以渐变过渡的方式分为基岩层、碎裂岩层、半风化层和全风化层(红色土层),而且在宏观上普遍能见到原岩残留的层理和结构,所以风化壳的残积成因容易被人接受,也被广大的研究人员认可。但在碳酸盐岩地区,除少数泥质含量较高的碳酸盐岩形成风化壳的半风化带可以保留原岩的结构以外,一般碳酸盐岩酸不溶物含量低(<5%),其上发育的红色风化壳与基岩之间缺乏过渡层,往往以突变关系接触,在宏观上缺乏直接的野外地质证据,所以对于岩溶区红色风化壳的物质来源问题一直存在着争议,王世杰等^[2]、孙承兴等^[3]对此进行了研究。本文在贵州中部平坝县岩溶台地丘陵垄岗之上选择3个发育在白云岩基底

上的红色风化壳作为研究对象,旨在探究缺失原岩结构的风化壳的成因及判别指标,阐明黔中岩溶台地广布的红色风化壳的物质来源问题。粒度参数作为第四纪古气候变化的替代性指标,已经成为黄土、冰芯、海洋沉积物及湖泊沉积物古环境重建中的一项成熟的方法,但是在风化壳的研究中,还没有得到广泛重视。尽管国外作过一些零星的工作^[4-6],但在我国还是一种新的尝试。在对湘西吉首一个发育完整的碳酸盐岩风化壳进行的粒度分析中,笔者证实了粒度进行风化壳物源示踪的可能性^[7]。粒度参数的成功应用,必将为风化壳,尤其是岩溶区缺失原岩结构的红色风化壳的物质来源判别提供一种重要的手段。

2 剖面特征及采样

研究剖面位于黔中岩溶台地的平坝县农场,为了尽量减少坡积物的影响以及大气降水对土层的侵蚀,剖面选择在丘陵垄岗之上坡度较缓的顶部。

三个剖面,编号为PBA、PBB和PBC,分别位于平坝农场内砖场附近的两个采石场人工剖面。两采石场相距500m左右,PBB和PBC剖面同处一个采石场,两剖面相距20m;PBA剖面位于另一采石场。剖面下伏基岩为产状平缓的早三叠世安顺组下段灰色中厚层白云岩。从下向上,剖面分为基岩层、碎裂岩层、岩粉层、红土层和耕作层,

收稿日期:2002-04-19

基金项目:国家自然科学基金(批准号:49833002);中国科学院“西部之光”项目;中科院知识创新项目(KZCX2-105)

碎裂岩层 + 岩粉层厚 5 ~ 10 cm, 耕作层厚 10 cm 左右, 红土层为剖面主体, 岩 - 土界面为突变接触, 缺失过渡结构的半风化带, 原岩结构消失, 剖面上部柱状节理发育。PBA 剖面厚接近 5 m, 采取由下向上连续采样的方法, 剖面下部样长 5 cm, 上部样长 10 cm; PPB 剖面厚 70 cm, 间隔 20 cm 采样; PBC 剖面厚 180 cm, 不等距采样; PBB 和 PBC 作为 PBA 剖面的辅助剖面, 采样密度稍疏。耕作层由于受表生干扰因素较多, 粒度特征较为复杂, 故未作为粒度分析对象。

3 实验方法

粒度测试是在北京大学城市环境系粒度分析实验室进行, 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 ~ 2000 μm 。

样品的前处理和分析过程为: 把自然风干(或在 40℃ 的烘箱中烘干)的样品用橡胶棒碾碎(力度为不破坏颗粒粒度), 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 g(黄土样一般用 0.24 ~ 0.34 g)放入 200 ml 烧杯中, 加入 10 ml 的 30% H_2O_2 , 24 h 后第二次加 10 ml 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 10 ml 的 1:3 HCl, 之后加去离子水至 150 ml, 加热至沸腾后, 静置 24 h, 以去除残余钙质, 待反应完全后, 用虹吸管抽去悬浮液。加入 0.01 mol/L 的分散剂六偏磷酸钠 10 ml, 之后加去离子水至 200 ml, 加热至沸腾并持续 5 min, 冷却后上机测试。在测试过程中, 加 1 min 超声波后记录结果。

基岩酸不溶物的提取过程为: 用适量 1 mol/L 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^[2]。

4 粒度分布特征

平坝剖面部分样品粒度参数结果见表 1。考虑到风化壳发育过程主要为原生矿物向次生粘土矿物和氧化物的转变, 所以本文粒度分级标准为: 粘粒 < 2 μm , 粉砂 2 ~ 63 μm , 砂粒 63 ~ 2000 μm , 这与在沉积学研究中把 < 5 μm 作为粘粒级的划分标准是有差异的。另外, 下文有时用 ϕ 值代替粒径, 其中 $\phi = -\log_2 D$, D 为粒径毫米数 (mm), $9\phi = 2 \mu\text{m}$, $4\phi = 63 \mu\text{m}$, $-1\phi = 2000 \mu\text{m}$ 。用 ϕ 值表示的粒度分级标准为, 粘粒: > 9ϕ , 粉砂: 4 ~ 9ϕ , 砂粒: $-1 \sim 4\phi$ 。总体上, 3 个剖面少含或微含砂粒级, 以粉砂和粘粒为主要粒度组成。

表 1 平坝剖面部分样品的粒度分布参数值

Table 1. Grain size distribution parameters of some samples from the Pingba sections

样品号	深度/cm	粘粒/%	粉砂/%	砂粒/%	粉/粘	众数峰含量及比值 ^①			中值/ μm	平均粒径/ μm
						细峰	粗峰	细峰/粗峰		
PBA 剖面										
PBA-Yt ^②	480	5.7	87.81	6.53	15.5	0	78.76	0	6.55	61.10
PBA-Yft ^②	465	3.5	96.51	0	27.6	0	87.28	0	6.59	8.10
PBA-1	460	24.4	75.65	0	3.11	13.04	66.67	0.20	4.76	6.61
PBA-3	450	23.0	76.96	0.08	3.35	10.97	55.98	0.20	5.91	9.73
PBA-5	435	42.2	57.65	0.11	1.36	24.22	40.55	0.60	3.17	7.76
PBA-7	415	37.6	62.37	0.06	1.66	21.85	49.46	0.44	3.68	6.93
PBA-9	395	71.6	28.43	0	0.4	46.34	21.23	2.18	0.35	3.55
PBA-11	375	62.6	37.31	0.08	0.6	40.46	28.69	1.41	0.49	4.50
PBA-13	355	46.0	53.67	0.3	1.17	28.45	35.06	0.81	2.70	8.16
PBA-15	335	61.5	38.30	0.19	0.62	39.77	26.86	1.48	0.52	5.40
PBA-17	315	70.2	29.79	0	0.42	45.48	22.33	2.04	0.37	3.74
PBA-19	295	62.2	37.75	0.10	0.61	40.07	28.02	1.43	0.50	4.85
PBA-21	275	64.0	35.98	0	0.56	39.81	26.94	1.48	0.51	4.47
PBA-23	255	61.4	38.31	0.25	0.62	39.29	27.08	1.45	0.54	5.42
PBA-25	235	51.0	48.93	0.08	0.96	31.8	32.56	0.98	1.83	7.08
PBA-27	215	57.4	42.60	0	0.74	36.01	32.81	1.10	0.86	5.00
PBA-29	195	56.1	43.86	0.05	0.78	34.61	33.56	1.03	1.11	5.24

续表 1

样品号	深度/cm	粘粒/%	粉砂/%	砂粒/%	粉/粘	众数峰含量及比值 ^①			中值 / μm	平均粒径 / μm
						细峰	粗峰	细峰/粗峰		
PBA-31	175	48.8	51.02	0.23	1.05	29.72	36.43	0.82	2.20	6.91
PBA-33	155	54.3	45.61	0.07	0.84	33.62	35.27	0.95	1.36	5.37
PBA-35	135	45.9	53.28	0.85	1.16	27.13	40.3	0.67	2.60	7.48
PBA-37	115	35.6	62.45	1.91	1.75	19.35	45.72	0.42	4.29	12.10
PBA-39	95	29.1	69.00	1.87	2.37	14.49	48.49	0.30	5.43	12.30
PBA-41	75	26.8	69.90	3.30	2.61	12.79	50.25	0.25	5.77	16.50
PBA-43	55	27.6	70.03	2.37	2.54	13.35	52.76	0.25	5.29	12.20
PBA-45	35	16.7	80.19	3.08	4.79	4.81	60.78	0.08	6.66	14.70
PBA-47	15	20.9	75.55	3.56	3.62	7.96	56.76	0.14	6.17	14.40
PPB 剖面										
PBB-Yt ^②	80	16.4	82.63	0.94	5.03	5.88	76.59	0.08	4.97	9.80
PBB-Yft ^②	60	63.6	36.44	0	0.57	44.5	33.89	1.31	0.35	2.86
PBB-1	40	90.4	9.621	0	0.11	58.34	8.51	6.86	0.14	0.89
PBB-2	20	88.4	11.61	0	0.13	56.58	10.22	5.54	0.14	1.07
PPC 剖面										
PBC-Yt ^②	190	7.44	89.62	2.94	12	5.981	76.6	0.08	5.62	15.8
PBC-Yft ^②	175	33.2	66.78	0	2.01	20.31	60.7	0.33	3.81	5.38
PBC-1	125	52.8	47.17	0	0.89	33.08	40.12	0.82	1.57	4.54
PBC-2	75	51.9	48.07	0	0.93	32.71	38.96	0.84	1.67	5.09
PBC-3	50	55.9	44.10	0	0.79	36.93	36.94	1.00	0.80	4.36
PBC-4	25	34.4	65.62	0	1.91	18.75	53.1	0.35	4.15	6.87

注: ①众数峰含量指以众数粒径为中心,一定粒径宽度范围内的频率,细峰为 11~13 ϕ 粒径范围内的频率,粗峰为 6~9 ϕ 粒径范围内的频率,细峰/粗峰为(11~13 ϕ)/(6~9 ϕ);②Yt 为原岩酸不溶物,Yft 为岩粉酸不溶物。

从 3 个剖面的频率分布曲线(图 1)可以看出,基岩酸不溶物与其上覆红色风化壳的曲线形态和众数位置具有很好的一致性和渐变特征。频率曲线为双峰,峰的形态为近正态分布模式,众数粒径分别位于 7.5 和 12 ϕ 附近,而细粒峰的粒度范围处于粘粒级以下,其中 PBA 剖面基岩酸不溶物以正态分布的单峰为主,缺乏细粒峰(众数粒径为 12 ϕ),此外 PBA 剖面在 0 ϕ 处出现了一个弱峰。PBB 和 PBC 两剖面基岩酸不溶物与风化壳样品一样呈现出双峰的分布特征。在粗粒峰,基岩及岩粉酸不溶物具有最高的峰高,而在细粒峰具有最低的峰高或没有峰。

由于本文研究剖面的粒度频率分布曲线呈双峰近正态的分布模式,所以有可能用众数峰含量(指以众数为中心,一定粒径宽度范围内的频率值)来探讨粒度在风化剖面上的变化规律。众数峰含量在垂直剖面深度上的变化趋势(图 2)直观反映了不同深度样点粒度频率分布曲线的众数峰的峰高的相对高低。PBA、PBB 和 PBC 剖面细粒峰为 11 ϕ ~13 ϕ 粒径范围与粗粒峰为 6 ϕ ~9 ϕ 粒径范围内的众数峰含量随深度变化成镜像分布。从下向上,在剖面下部,细粒峰逐渐增大,粗粒峰降低;而在剖面上部,细粒峰逐渐降低,粗粒峰逐渐升高。在 PBA 剖面,从 3m 深度向上开始出现曲

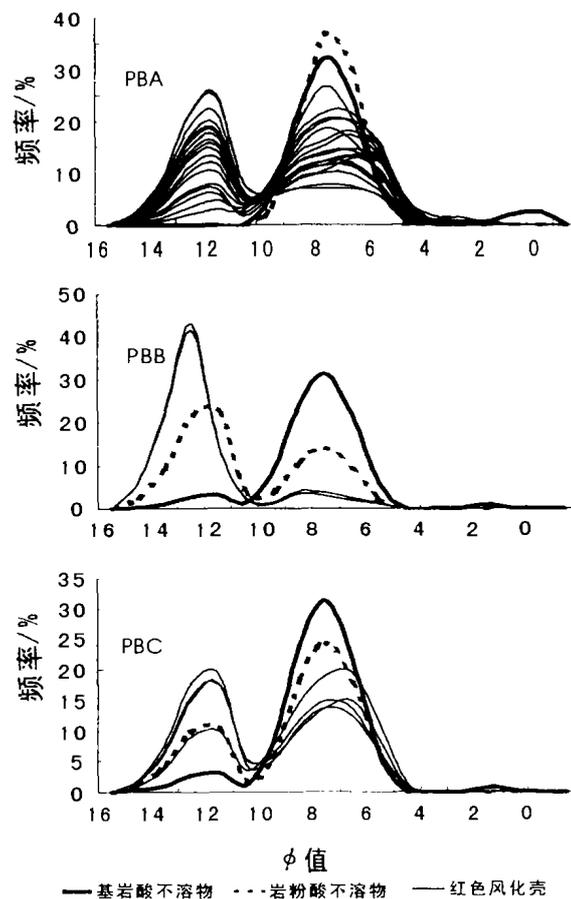


图 1 不同剖面样品酸不溶物的粒度频率分布曲线
Fig.1. Grain size frequency distribution curves of the Pingba sections.

线变化趋势的转折,PBB和PBC剖面在浅部也出现了类似的变化。

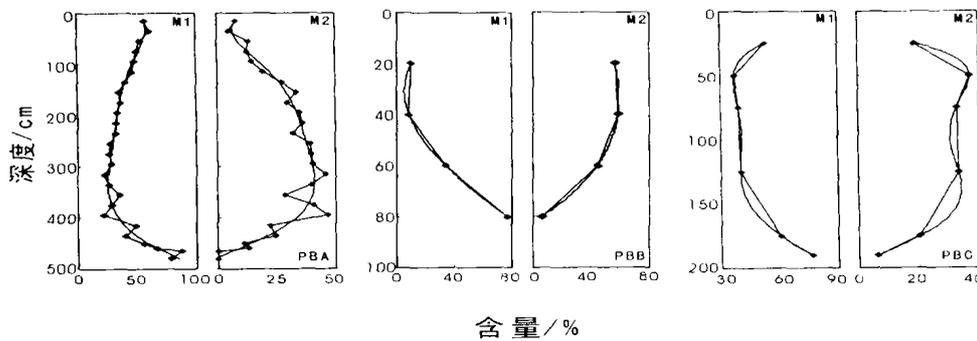


图2 众数峰含量随剖面深度的变化

Fig.2. Variations in mode peak contents with the depth of the Pingba sections.

M1. 6~9 ϕ M2. 11~13 ϕ

图3为粉粘比及众数峰比值随深度的变化规律。从基岩到地表,PBA剖面粉粘比在下部逐渐降低,从剖面深度3m处往上开始呈现增大的趋势;众数峰比(11~13 ϕ)/(6~9 ϕ)在下部逐渐增大,从3m深往上开始逐渐降低。另外基岩酸不溶物的粉粘比低于岩粉层酸不溶物的粉粘比,主

要由于基岩中砂粒级的存在引起的。PBB和PBC与PBA剖面有相似的变化规律,众数峰比在下部和中部逐渐增大,在上部呈现降低的特征;粉粘比在下部和中部逐渐减小,在上部PBC增大,而PBB变化不明显。

另外,为了从整体上了解风化壳中粒度在剖

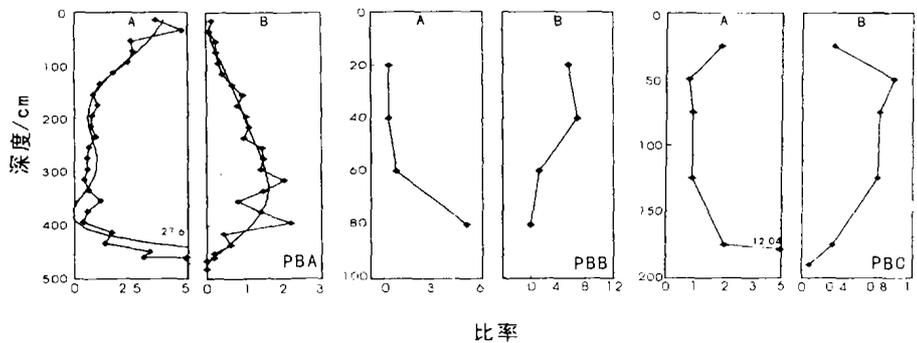


图3 粉粘比及众数峰比值随剖面深度的变化

Fig.3. Variations in ratios of silt to clay and mode peaks with the depth of the Pingba sections.

A. 粉砂/粘粒 B. (11~13 ϕ)/(6~9 ϕ)

面上的变化趋势,我们分析了粒度平均粒径和中值随剖面深度的变化趋势(图4)。从图4可以看出,3个剖面的中值和平均粒径具有一致的变化趋势。从下向上,PBA在下部逐渐降低,而在上部逐渐增大;PBB在下部逐渐降低,在上部变化不明显;PBC在下部和中部逐渐降低,在顶部增大。

5 讨论

通过上述粒度参数分析,可以看出3个剖面风化壳和下伏基岩酸不溶物粒度频率分布曲线的相互关系,即相似的正态频率曲线形态,相同的粗粒众数值,说明了风化壳对基岩的继承。在风化壳中开始出现的细粒众数峰(PBB、PBC剖面

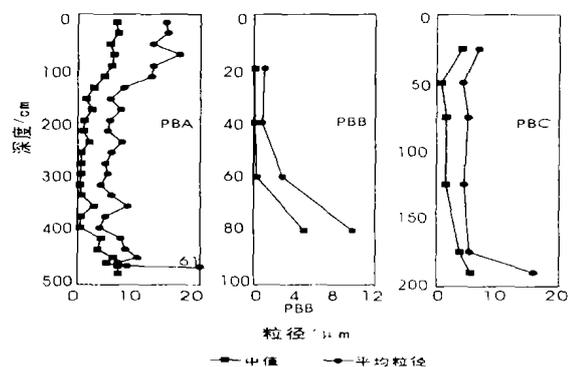


图4 平均粒径和中值随剖面深度的变化

Fig.4. Variations in average grain size diameter and median with the depth of the Pingba sections.

基岩及岩粉层已有该峰)正是基岩中碳酸盐矿物快速溶解以及残余酸不溶物在随后的化学风化过程中形成的次生粘土矿物的积累。剖面从下向上,细粒峰($11\phi \sim 13\phi$)频率值的逐渐升高和粗粒峰($6\phi \sim 9\phi$)频率值的逐渐降低、粉粘比的逐渐降低、众数峰比 $[(11\phi \sim 13\phi)/(6\phi \sim 9\phi)]$ 的逐渐增大、平均粒径和中值的逐渐减小均显示了标准残积风化壳的发育规律,即剖面愈向上,风化壳发育愈老,化学风化程度愈强,次生粘土矿物含量愈高,粒度愈偏细。而在PBA剖面中部和上部、PBB和PBC剖面的上部,上述参数却出现了相反的变化趋势,即“倒置”现象,这主要是由于表生环境下受大气降水的机械淋溶作用造成。在水流作用下,粘粒级沿裂隙下渗,而粉砂和砂粒级矿物作为土层骨架相对富集,关于这

种现象笔者已在有关文献中进行过专门讨论^[8]。PBB和PBC剖面作为PBA的辅助剖面,由于剖面较薄,采样密度较疏,故不能详细探讨其剖面的演化特征,但是粒度参数的整体变化趋势和PBA剖面是一致的。

另外,PBA剖面下部粒度参数在总体趋势保持不便的情况下,存在着一定幅度的锯齿状的波动(PBB、PBC剖面由于土层薄,样品疏,故变化不明显)。这在厚层风化壳中是普遍存在的现象,这可能主要与化学风化成土过程有关,其机理将另文讨论。

为了更好地限定红色风化壳的物质来源,我们采集了黔中地区碎屑岩风化壳作粒度分析对比,同时与黄土高原风成红粘土的频率曲线^[9]作比较(图5)。从图中可以看出,湖盆相的紫色粉

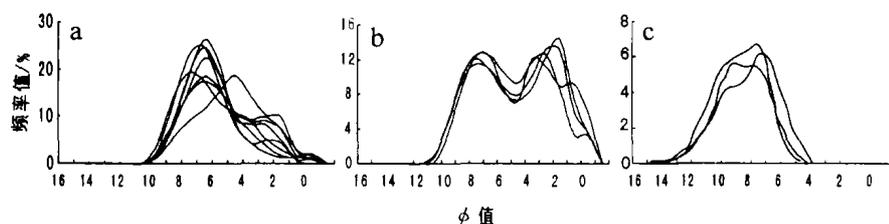


图5 对比剖面粒度频率分布曲线

Fig.5. Grain size frequency distribution curves of comparative sections.

a. 砂页岩红色风化壳 b. 第四系河流相沉积物 c. 黄土高原红粘土(据鹿化煜^[9])

砂岩上发育的红色风化壳(图5a)、第四系河流相沉积物(图5b)和黄土高原风成红粘土(图5c)的频率分布曲线形态与本文研究剖面截然不同,粒度明显偏粗。图5a主要呈现众数值大约为 7ϕ 的负偏态的主峰和更粗粒的弱峰;图5b呈现众数值约为 7ϕ 和 2ϕ 的等峰高的双峰分布特征,分选性差;而风成红粘土呈现单峰且峰态较宽的分布特征。这些均与本文研究剖面的粒度频率分布曲线形态不同,平坝白云岩上覆红色风化壳呈现双峰正态的分布特征。这样,我们可以排除了外源碎屑沉积的可能性。

6 结 论

贵州平坝县白云岩上覆红色风化壳与基岩酸不溶物的粒度分布特征表明,红色风化壳是对基岩的继承和演化,是基岩残积风化的结果,这与早先地球化学和矿物学的结论是一致的^[2,10]。粒度分布特征是对风化壳物源示踪的有效方法,尤其对于缺失原岩结构的风化壳剖面。

致谢:北京大学周力平教授在粒度分析测试过程中提供了方便,并对本文提出了宝贵意见,在此表示感谢。

参考文献

- [1] 黄镇国, 张伟强, 陈俊鸿, 等. 中国南方红色风化壳[M]. 北京: 海洋出版社, 1996, 1~89.
- [2] 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.
- [3] 王世杰, 孙承兴, 冯志刚, 刘秀明. 一个发育完整的灰岩风化壳及其矿物学和地球化学特征[J]. 矿物学报, 2002, 22(1): 19~29.
- [4] 孙承兴, 王世杰, 刘秀明, 冯志刚. 碳酸盐岩风化壳岩-土界面地球化学特征及其形成过程——以贵州花溪灰岩风化壳剖面为例[J]. 矿物学报, 2002, 22(2): 126~132.
- [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] Plaster R W and Sherwood W C. Bedrock weathering and residual soil formation in central Virginia[J]. Geol. Soc. of America Bull, 1971, 82: 2813~2826.
- [7] Dum G, Ottner F and Slovence D. Mineralogical and geochemical indicators of the polygenetic nature of terra rossa in Istria, Croatia[J]. Geoderma, 1999, 91: 125~150.
- [8] Macleod D A. The origin of the red Mediterranean soil in Epirus, Greece[J]. Soil Sci., 1980, 31: 125~136.
- [9] 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): 待刊.
- [10] 冯志刚, 王世杰, 孙承兴. 引起红土表层 Si/Al 比值增大原因的可能性探讨[J]. 地质地球化学, 2002, 30: (待刊).
- [12] 鹿化煜, 安芷生. 黄土高原红粘土与黄土古土壤粒度特征对比——红粘土风成成因的新证据[J]. 沉积学报, 1999, 17(2): 226~231.
- [13] 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.

**PARTICLE DISTRIBUTION OF RED WEATHERING
CRUST AND ITS GENETIC IMPLICATION
——AS EXEMPLIFIED BY PINGBA COUNTY OF GUIZHOU, CHINA**

Feng Zhigang^{1,2} Wang Shijie¹ Sun Chengxing^{1,2} Liu Xiuming^{1,2}

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

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

Abstract: To select and adopt the proper tracing index is the key to constrain the origin of red weathering crusts in karst areas. Particle parameters have been widely used for paleoenvironmental reconstruction, but it is a new attempt to trace the material source of weathering crust, especially in China. This paper selects three red weathering crust sections overlying dolomitite with the absence of relict parent rock structure in Pingba County, Guizhou. By analyzing particle distribution characteristics of acidic insoluble residues in bedrocks and red weathering crusts, the results show that both of them are consistent and the former is the material source of the latter. Regular variations in particle parameters with the depth in the profile indicate that the Pingba profiles are characteristic of normal residual weathering crusts.

Key words: Pingba County of Guizhou; karst area; red weathering crust; characteristics of grain size; material source