

黔北新蒲红色风化壳剖面的粒度分布特征 ——兼论岩溶区上覆土层的物质来源*

冯志刚¹ 王世杰¹ 周德全² 孙承兴¹ 刘秀明¹

(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.贵州师范大学资源环境系 贵阳 550001)

摘要 粒度分析在风化壳物源示踪方面是一种新的尝试,具有指示直接的特点。尤其当常规的地球化学、矿物学等方法难以直观反映母岩的不均一性对风化壳的影响时,粒度分布特征却可以建立两者的对应关系,从而更为合理地指示风化壳和下伏基岩的关系。黔北新蒲剖面的下伏基岩为局部夹碎屑岩薄层的连续型碳酸盐岩,本文通过对其酸不溶物及上覆红色风化壳粒度分布特征的研究,表明基岩的垂向不均一,导致上覆风化壳粒度分布特征的差异性,同时存在与下伏不同基岩酸不溶物粒度分布特征相对应的风化壳,指示了碳酸盐岩为其上覆风化壳的成土母岩。化学风化指标在剖面的变化也支持了粒度分析结果,即风化壳母岩的不均一性。从碎屑岩夹层和碳酸盐岩对风化壳提供物源的相对份额中指出碳酸盐岩的酸不溶物对上覆风化壳的优势贡献。从粒度参数角度进一步诠释了连续型碳酸盐岩风化残积成土的现实性,为正确理解中国西南岩溶区红色风化壳的成因提供了新的探索手段。综合资料显示,碳酸盐岩特别是连续型碳酸盐岩酸不溶物构成中国西南岩溶区上覆红色风化壳的主要物质来源也是可能的。

关键词 粒度分布特征 物源示踪 岩性不均一 连续型碳酸盐岩 红色风化壳

中图分类号: P512.1+3 **文献标识码:** A **文章编号:** 0563-5020(2004)03-0440-12

1 引言

以贵州为中心的中国西南岩溶地区,在地形和缓的低山丘陵和台地上,广泛发育着厚度不一(从几米至十几米)的红色风化壳,成为这些地区主要的土类资源。由于碳酸盐岩易溶蚀,残余酸不溶物含量极低,同时在宏观上它与下伏碳酸盐岩的接触界面清晰,缺乏过渡层,在野外缺乏直接的地质证据证明两者之间存在着一定的演化关系,因此,对于这些岩溶区上覆风化壳的物质来源问题在学术界一直存在着争议(卢耀如,1986;李景阳等,1991;席承藩,1991;袁道先,1992;朱显谟,1993;林树基等,1994;王世杰等,1999,2001;崔之久等,2001;符必昌等,2003)。在世界上碳酸盐岩分布比较集中的地中海沿岸和北美洲东南部,越来越多的证据支持从非洲撒哈拉沙漠吹来的风成物质参与或主导了碳酸盐岩上覆风化壳的形成(Macleod, 1980; Monroe, 1986; Moresi and Mongelli, 1988; Muhs et al.,

* 国家自然科学基金重点项目(批准号:49833002)、面上项目(批准号:40273015,40371012)和中国科学院“西部之光”项目。

冯志刚,男,1970年1月生,博士,地球化学专业。

2003-06-11收稿,2003-08-01改回。

1990; Moukarika et al., 1991; Inoue et al., 1998)。近年来,随着人口压力的增加,土地资源的不合理利用,我国西南岩溶地区生态环境问题日趋恶化。水土流失、土壤退化、石漠化(王世杰, 2002; 李瑞玲等, 2003)等问题成为制约当地经济发展的瓶颈,也造成严重的环境破坏。因此,对于这些岩溶地区红色风化壳物质的来源和成因的正确认识不仅具有学术价值,而且具有重要的现实意义。

国家自然科学基金重点项目“中国南方碳酸盐岩风化成土地球化学过程与环境变化”对贵州及一些周边地区的岩溶上覆红色土层(一般厚度 $<1\text{ m}$ 的称为石灰土,厚度 $>1\text{ m}$ 的称为红色风化壳)的物质来源进行了较为详细的研究。通过野外、土壤物理学、矿物学和地球化学等手段,初步论证了碳酸盐岩的酸不溶物是上覆土层物源的贡献者(王世杰等, 1999, 2002; 孙承兴等, 2002; 冯志刚等, 2002a),并提出碳酸盐岩风化成土作用可分为两个阶段的认识:即基岩中“杂质或酸不溶物”在风化过程中逐步堆积形成残积土阶段和残积土演化阶段,后一阶段的演化类似于其余岩类的风化作用过程(王世杰等, 1999)。在探讨基岩和上覆土层之间的成因联系时,往往假定基岩是均一的。实际上,碳酸盐岩地层的组成状况并非总是如此,常常出现碳酸盐岩夹碎屑岩或碳酸盐岩与碎屑岩互层的情况,即使对于野外观察很纯的连续性很好的碳酸盐岩地层,在岩层中也不时出现一些泥质薄层。在碳酸盐岩的风化成土过程中,因巨大的体积缩小变化,宏观上无法在残留土层中保留这些碎屑岩的原岩残余证据;同时,常规的地球化学、矿物学等物源示踪方法一般因采样间距较大,难以提取和识别这些碎屑岩对上覆土层的贡献率。这对于正确理解岩溶区的物质来源与碳酸盐岩风化成土的地球化学过程构成了难以逾越的障碍。本文以黔北新蒲红色风化壳剖面高密度的粒度分布特征研究为例,尝试着回答上述问题。

2 采样和测试方法

研究区位于黔北遵义市新蒲镇岩溶山地背景上的丘陵台地,本区出露的基岩为浅海相中-上寒武统娄山关群连续型白云岩,该套地层总厚度为 $1\ 000\sim 1\ 300\text{ m}$,白云岩岩层间不时出现泥质岩和砂页岩薄层,偶见硅质脉,其上覆红色风化壳厚 $7\sim 10\text{ m}$ 。为了消除坡积物的影响,采样剖面选择在丘陵垄岗之顶采石场开挖的人工露头。从岩-土界面到剖面顶部,红色风化壳厚 7.3 m ,下伏基岩为产状平缓的寒武系娄山关群灰色厚层状细粒白云岩。从基岩到地表,垂向上依次划分为基岩层、碎裂岩层+岩粉层、红色土层和深灰色表土层。碎裂岩层+岩粉层厚 20 cm ,为基岩机械破碎和弱风化的产物,岩粉层呈蜂窝状,用手撮即碎,系胶结物被部分溶蚀的产物。表土层厚 30 cm 。红色土层为剖面主体,在红色土层底部有厚约 10 cm 的黄色纹层状土层与岩粉层相接。风化壳发育程度强烈,原岩的残余结构和层理消失,岩、土界面清晰,为突变接触关系。样品取自下而上连续刻槽取样的方式,T1~T10样长为 5 cm ,其余样长为 10 cm ,共采集1件基岩样和77件风化壳土样,计78件。风化壳剖面 and 采样位置见图1。幸运的是,在该研究剖面基岩岩层的上、下部位出现了具不同岩性的薄层,为了查明这些基岩对上覆土层的贡献,对这些岩性的新鲜基岩也分别采样以备分析。

样品的粒度分析测试在北京大学城市与环境系的Malvern 2000激光粒度分析仪上进行,测试量程为 $0.02\sim 2\ 000\ \mu\text{m}$ 。样品的前处理过程主要包括去除有机质和碳酸盐、游

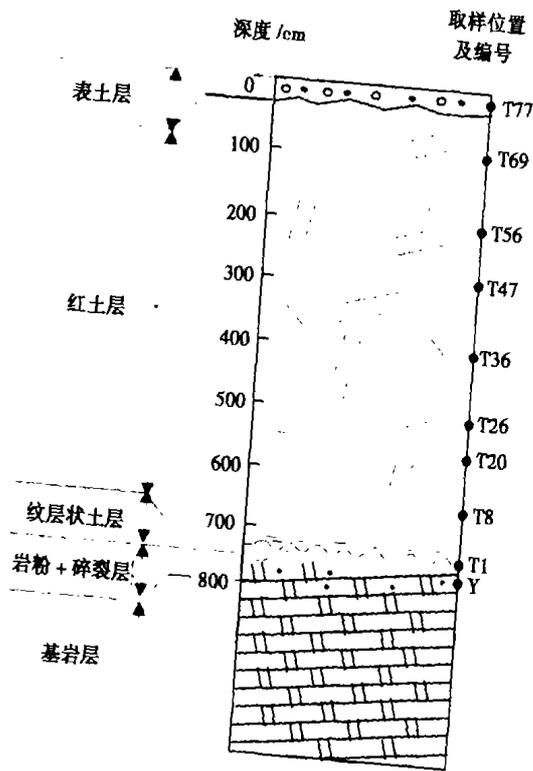


图1 黔北新蒲剖面及部分样品采样位置示意图
Y为基岩, T1~T77为土样; 取样方法: 连续取样, T1~T10
样长5 cm, T11~T77样长10 cm

Fig. 1 A sketch showing the red weathering profile
and sampling localities at Xinpu, north Guizhou

离氧化物等胶结物,用六偏磷酸钠溶液进行样品分散等,实验步骤详见冯志刚等(2002b)。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(王世杰等,1999)。

为考察粒度分析结果的可行性,对剖面部分关键样品也进行了化学分析。化学全分析采用湿化学分析法,辅之于原子吸收光谱法,测试过程中用标样控制,测试结果和推荐值之间的相对偏差< 2%,实验在中国科学院地球化学研究所完成。

3 结果及讨论

3.1 粒度分布特征

沉积物(岩)的粒度组合取决于源区物质和沉积环境,在不同地质背景和环境下形成的沉积物(岩)的粒度分布

特征是不同的(Folk, 1966),在沉积物(岩)上发育的风化壳就会继承母岩的这种粒度特征。风化程度愈弱,粒度分布就愈接近母质;风化程度愈强,随着大量原生矿物向主要以粘土矿物为主的次生矿物转变,粒度组合就愈向细粒方向发展。化学风化作用是一持续演化的过程,从而形成风化壳和母岩在粒度分布特征的一致性和渐变性。对于碳酸盐岩而言,由其发育的风化壳就会继承母岩酸不溶物的粒度分布特征,从而可以利用粒度分析进行风化壳的物源示踪。笔者曾对湘西吉首和黔中平坝典型碳酸盐岩红色风化壳剖面的研究表明,粒度分布特征对风化壳的物源指示具有良好的示踪作用(冯志刚等, 2002a, 2002b)。

图2为新蒲剖面粒度频率分布曲线,横坐标为粒径(Φ 值),粒级组间距为 $1/4\Phi$,其中 $\Phi = -\log_2 d$, d 为粒径(单位:mm)。图2a为风化壳下伏白云岩酸不溶物(Y_t)及风化壳中剔除了T2~T8、T20~T21、T24~T26的风化壳样品, Y_t 呈单峰,峰高比风化壳的粗粒峰高,众值粒径比风化壳的粗粒峰偏粗些,而峰形相似。风化壳样品,除具有一致的粗粒峰外,在粘土粒级范围内还出现了共同的细粒峰,并且随着剖面向上,细粒峰的峰高逐渐由弱变强。图2a的粒度频率分布曲线表明:一方面,风化壳具有同源的成土母岩,细粒峰的出现,可能就是母岩风化作用的结果;另一方面,从母岩到风化壳,随着原生矿物向表生稳定的次生矿物转变,粒度由粗向细粒转化,粗粒峰峰高逐渐降低。一般而言,由于风化

过程是一种持续演变过程,所以母岩与风化壳应具有众值一致的粗粒峰;但当母岩中含有可观的弱抗风化物时(不包括可溶岩),在形成风化壳过程中,随着原生矿物的快速分解,也会使粗粒峰向细粒方向发生位移,但曲线形态应基本保持一致。所以剖面下伏白云岩具有风化壳母岩的粒度分布特征,风化壳是由相似于下伏基岩的母岩风化而成。

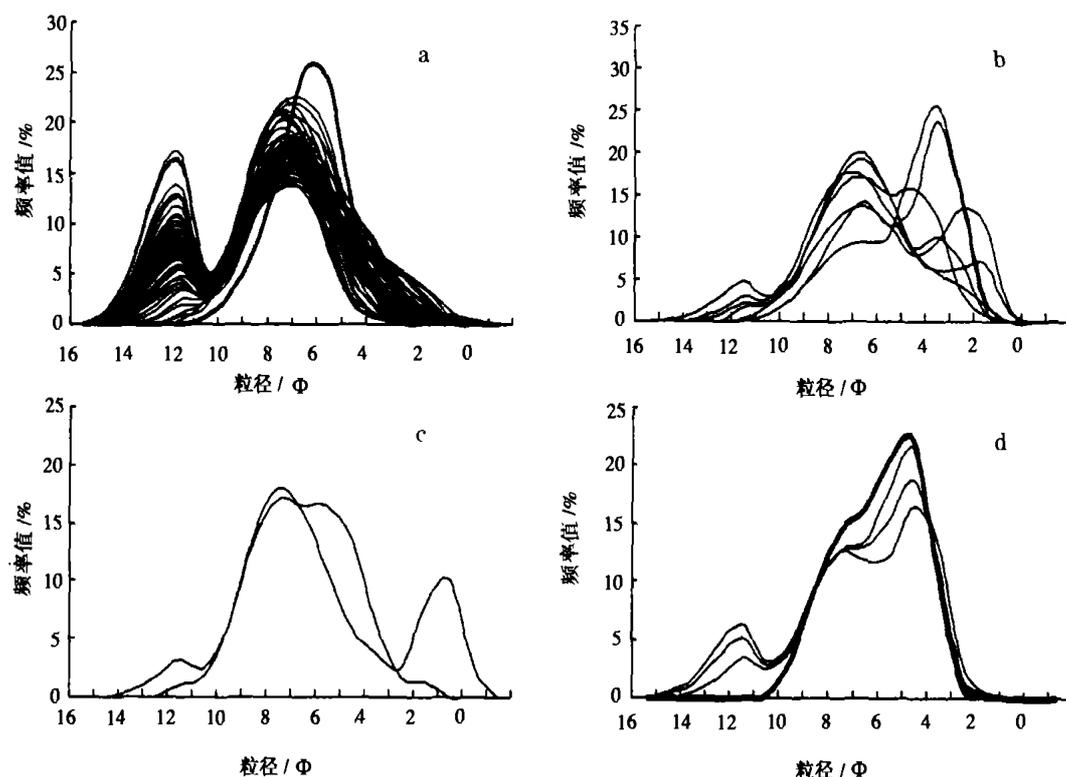


图2 新蒲剖面粒度频率分布曲线

a. 样品 Yt, T1, T9 ~ T19, T22 ~ T23, T27 ~ T77; b. 样品 T2 ~ T8; c. 样品 T20 ~ T21; d. 样品 Y1t, T24 ~ T26; Yt 为风化壳下伏白云岩酸不溶物, Y1t 为基岩中钙质砂页岩夹层酸不溶物

Fig. 2 Grain size frequency distribution curves of the red weathering profile at Xinpu

图2b、2c和2d是风化壳剖面中夹层的粒度频率分布曲线,其中图2b和2c呈多峰,粒度分选性差,各样品间曲线形态各异,指示出风化壳成土母岩的强烈不均一性,为非正常沉积环境的产物。此外,样品在前处理过程中和显微镜下观察发现,含有大量粗粉砂-砂粒级呈不规则棱角状的硅质碎屑,并时有新鲜断面出现,在碎屑表面没有发现具明显搬运作用的痕迹,因此母岩中的硅质碎屑并非为经搬运沉积的外源碎屑,而可能是成岩或成岩后期形成的自生硅质原地风化的结果。笔者在下伏基岩附近发现有白云岩被不规则硅质脉体穿插的现象,推测可能为图2b和2c的成土母岩。图2d即T24~T26呈三峰分布形式,与钙质砂页岩酸不溶物(Y1t)的粒度频率分布曲线表现出极好的一致性和渐变性,风化壳在众值粒径约为 12Φ 出现的细粒峰,可能正是钙质砂页岩作为母岩风化作用的结果,反映出两者之间的成因联系。

粒度参数散点图可以用来区分沉积物的沉积环境,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(Psaaga, 1964)。这样,在不同沉积母岩上发育的风化壳,既改造又继承了风化母岩的粒度参数特征。理论上讲,不同沉

积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?通过对平均粒径-偏度、平均粒径-标准差、标准差-偏度和中值 - $< 5 \mu\text{m}$ 含量等粒度参数作图(图 3),结果表明:T24 ~ T26 与图 2a 的样品具有明显不同的分布区域;T2 ~ T8 和 T20 ~ T21 由于母岩岩性高度不均一,所以投影点较为零散,并与风化壳其它样品有穿插现象。另外,由于风化作用的影响,除中值 - $< 5 \mu\text{m}$ 含量散点图外,同源母岩风化壳也表现出一定程度的离散。中值 - $< 5 \mu\text{m}$ 含量散点图更为清晰地指示了风化母岩的均一性特征,同源母岩发育的风化壳接近于线性分布,而不同母岩上发育的风化壳有明显差异。从粒度参数散点图也指示了新蒲剖面风化壳母岩的不均一性。

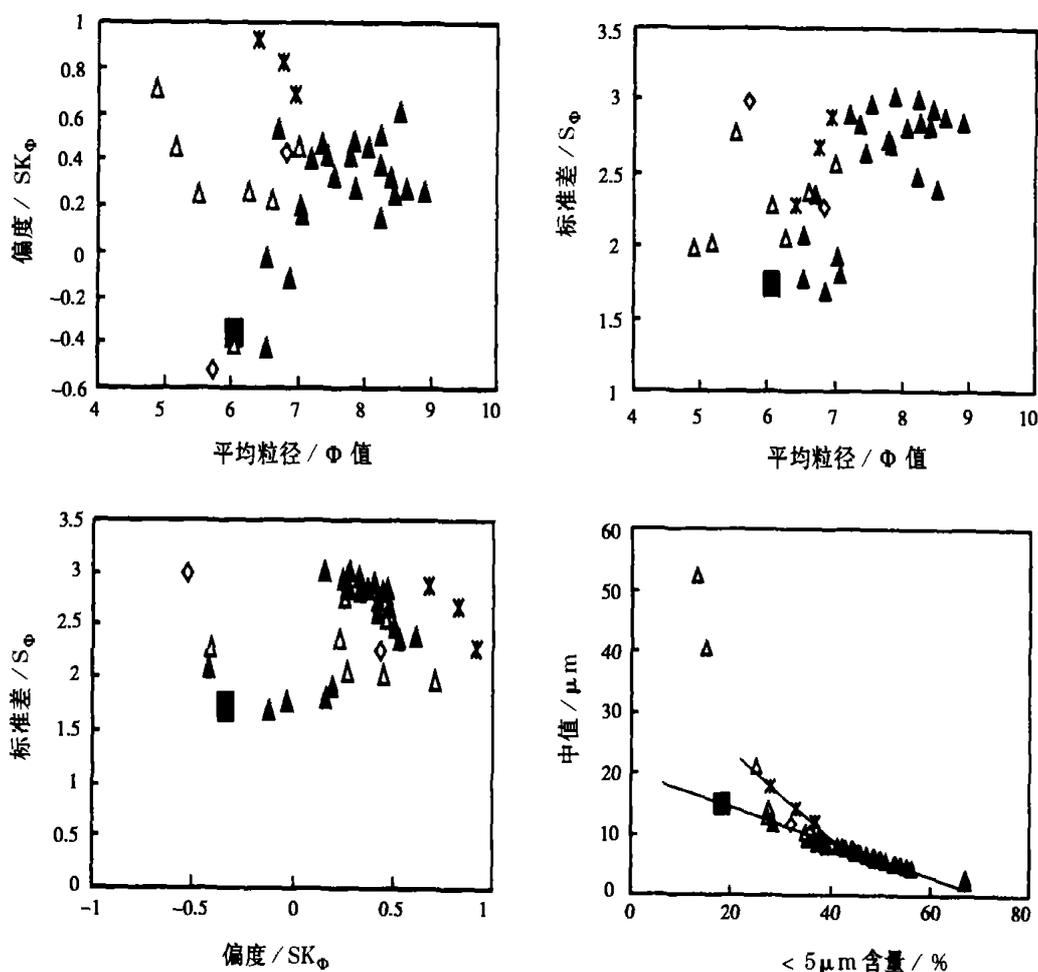


图 3 新蒲剖面粒度参数散点图

■.基岩酸不溶物(Y_t); △.样品 T2 ~ T8; ◇.样品 T20 ~ T21; *.样品 T24 ~ T26; ▲.风化壳其余样品

Fig. 3 Statistical indices of the grain size distribution parameters of the red weathering profile at Xinpu

3.2 地球化学特征

为了验证新蒲剖面粒度分布特征对风化母岩指示的可靠性,在粒度分析结果的基础上,对图 2a、2b、2c 和 2d 中的部分风化壳样品及下伏基岩进行了化学全分析。

图 4 为新蒲剖面化学指标 $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O}) - \log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 的散点图 (Vital and Stattegger, 2000)。图 2b、2c 和 2d 的样品主要位于图中横向虚线的下方,说明下伏白云岩

(Yt)不可能成为这些风化壳样品的成土母岩,因为化学风化过程是脱盐基富铁铝过程,风化壳的 $\log(\text{Fe}_2\text{O}_3/\text{K}_2\text{O})$ 不应该小于母岩;图 2b 和 2c 的样品也主要位于图中垂向虚线的右方,钙质砂页岩(Y1t)也不可能成为这些风化壳样品的成土母岩,因为化学风化过程是脱硅富铝化过程,风化壳的 $\log(\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3)$ 不应该大于母岩。

新蒲剖面化学风化指标随深度的变化见图 5。在均一母岩上发育的风化壳,剖面自下向上,随着风化程度增强, $\text{Al}_2\text{O}_3/(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 增加、 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 呈减小的趋势(Harnois and Moore, 1988)。新蒲剖面下部的 A 区、B 区及 C

区,分别对应图 2 中 2b(T2 ~ T8)、2c(T20 ~ T21)和 2d(T24 ~ T26)的样品,与其它不同深度的风化壳样品相比,上述化学风化指标却明显出现了异常,尤其 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$ 表现更为突出。一个较为合理的解释是,风化母岩是不均一的。

早期对新蒲剖面矿物学、REE 及微量元素地球化学的研究指出,新蒲红色风化壳是碳酸盐岩原地就位风化的结果,下伏白云岩是风化壳的成土母岩(王世杰等, 1999; 季宏兵等, 1999)。但由于采样间距大且方法上自身的局限性,未能提取出更多的剖面信息。本次研究在已有工作的基础上,对新蒲剖面进行了翔实的野外考察及重新高密度地系统采样分析,发现风化壳下伏基岩(白云岩)是不均一的,在白云岩岩层间不时出现碎屑岩薄层,并从上述分析结果中可知,新蒲剖面的风化母岩也是不均一的。

结合新蒲剖面的地球化学及早期的研究结果,支持了粒度分析证据,即碳酸盐岩是风化壳的成土母岩,基岩是不均一的,风化壳也是不均一的,两者之间存在成因上的继承关系。

3.3 剖面演化特征

新蒲剖面中值、 $< 5 \mu\text{m}$ 含量等粒度参数的深度变化曲线见图 6。对于均一母岩上发育的风化壳,理想的剖面(假定不发生淋溶淀积作用)变化趋势自下向上为:中值粒径逐渐减小, $< 5 \mu\text{m}$ 含量逐渐增大。风化壳夹层 T2 ~ T8(图 6a)由于母岩的不均一性,所以粒度参数出现较大幅度波动。夹层 T24 ~ T26 与钙质砂页岩(图 6c)表现出均一母岩发育的

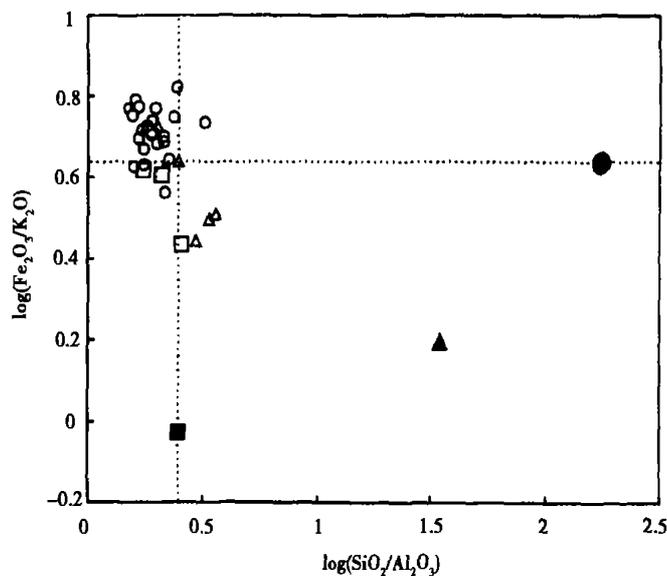


图 4 新蒲剖面地球化学指标散点图

黑色者为下伏基岩;●.白云岩;■.钙质砂页岩夹层;▲.含硅质条带白云岩;空心者为风化壳;○.样品 T1、T9 ~ T19、T22 ~ T23 和 T27 ~ T77 中的部分样品,对应于图 2a;△.样品 T2 ~ T8 和 T20 ~ T21 中的部分样品,对应于图 2b 和图 2c;□.样品 T24 ~ T26,对应于图 2d

Fig. 4 Statistical indices of the geochemical parameters of the red weathering profile at Xinpu

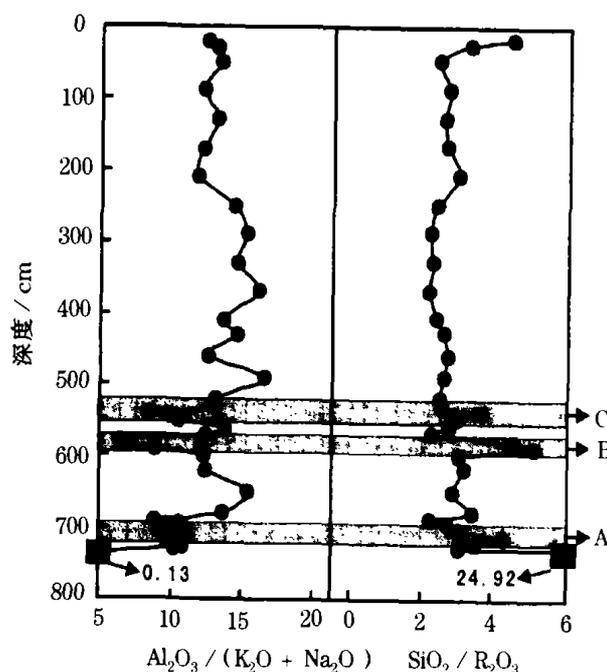


图5 新蒲剖面化学风化指标随深度的变化

■. 下伏基岩(白云岩); ●. 风化壳样品; A区对应于图2b, B区对应于图2c, C区对应于图2d

Fig. 5 Variation of the chemical weathering indices of the red weathering profile with the depth at Xinpu

典型残积风化壳特征,即从下向上中值粒径减小, < 5 μm 含量呈逐渐增大的趋势。而对于剔除了碎屑岩夹层后的剖面主体(图6b), 粒度参数表现出: 中值与 < 5 μm 含量呈镜像对称, 剖面大致以 3 m 深度为界, 下部, 自下向上在整体上保持风化壳正向演化方向(即中值减小、< 5 μm 含量呈增大的趋势)的基础上, 出现一定幅度的波动; 上部, 风化壳剖面出现微弱的“倒置”(即自下向上中值增大、< 5 μm 含量呈降低的趋势), 且粒度参数的波动现象减弱。这种现象在我们研究的岩溶地区的红色风化壳(20 多条实测剖面, 大部分数据未发表)中是普遍存在的。一般是风化剖面越薄, “倒置”的深度越浅, 但“倒置”的梯度越大(即趋势越明显), 反之亦然。

引起剖面中粒度上述变化的风

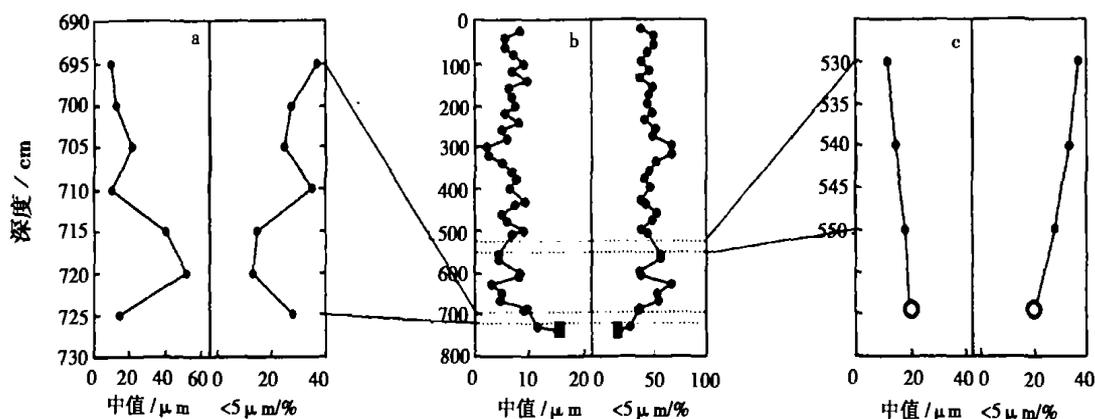


图6 新蒲剖面粒度参数随深度的变化

■. 基岩酸不溶物(Yt); ○. 钙质砂页岩酸不溶物(Y1t); 其余为风化壳样品; a. 样品 T2~T8; b. 除样品 T20, T21 和 a 图、c 图外的样品; c. 样品 T24~T26

Fig. 6 Variation of the grain size parameters of the red weathering profile with the depth at Xinpu

化机理尚不清晰,有待进一步深入细致的工作,这必将是解译碳酸盐岩风化壳演化过程的一条重要的线索。据现有认识,对剖面发育特征的可能解释如下。

“倒置”的出现可能是风化壳表层受大气降水垂直下渗的影响,由于机械淋溶导致粘粒

的位移,在剖面的一定深度内富集(冯志刚等,2002c)。由裂隙和碎屑矿物组成渗流通道,便于粘粒矿物的迁移,随着风化程度增强,剖面逐渐增厚,淀积的深度也随之深入。同时,随着大量粘粒矿物的形成,原生碎屑变少、变小,渗流管道变窄、变少,从而阻碍了细粒物质的移动。于是出现了剖面愈厚,风化程度愈强,“倒置”深度愈深,但“倒置”的梯度呈变弱的趋势,反之亦然。另外,从图 5 中也可看出:在剖面上部,化学风化指标和粒度参数一样,出现了反向变化趋势,主要是指示较高风化程度的粘土矿物的淋溶淀积所致。

关于剖面下部粒度参数出现的波动,可能主要受地下水文条件变化的影响,如地下水位及风化溶液溶蚀能力的变化等。岩-土界面发生的风化作用代表现代地球化学过程。剖面下部,发育时代较新,风化程度低,不稳定矿物含量高,抗物理化学作用弱,对岩溶地下水条件变化反映敏感,所以随着每一次地下水文条件的变化,都会在水-岩界面留下“记号”。剖面向上,随着风化程度增强,稳定的次生粘土矿物含量增大,风化壳将会对短时间尺度的地下水文变化变得迟钝,所以波动现象就会减弱,粒度变化的趋势性更加明显。但比较粒度参数(图 6b)和化学风化指标(图 5 中剔除了 A、B、C 区后的剖面)的剖面变化情况,似乎粒度波动比化学风化指标(尤其 $\text{SiO}_2/\text{R}_2\text{O}_3$)更为明显,可能反映了物理风化作用对粒度的优势影响。

综上所述,新蒲剖面粒度分析结果表明:碳酸盐岩纵向上岩性的不均一性导致上覆红色风化壳粒度分布特征的差异性,同时存在与下伏不同基岩酸不溶物粒度分布特征相对应的风化壳,证实了风化壳的残积成因。即:新蒲剖面是由整体上岩性均一的白云岩和局部夹杂不同岩性的碎屑岩风化形成的,成土母岩在局部上是不均一的。此外,碳酸盐岩风化壳母岩的不均一是客观存在的,均一性识别是必要的,是风化壳研究的基础。

4 贵州岩溶区上覆土层的物质来源

最近,李瑞玲等(2003)在 1:500 000 贵州数字地质图基础上构筑了 1:500 000 贵州数字岩相分布图,发现贵州碳酸盐岩的分布面积占全省面积的 62.2%,而不是原来认为的 73%,其中连续型碳酸盐岩(碳酸盐矿物占 90%以上)占全省面积的 32.6%,其余为次纯碳酸盐岩和不纯碳酸盐岩。换言之,贵州一半以上的碳酸盐岩地层为较纯的连续型碳酸盐岩,其中所包含的成土物质(包括酸不溶物和碎屑岩夹层,如泥页岩薄层等)含量不足 10%。根据韩至钧等(1996)对贵州省各时代碳酸盐岩进行的化学成份分析,笔者对其统计的 216 件连续型碳酸盐岩样品的岩石化学成份进行了以不同地层组样品数为权的加权平均处理,其中 CaO 的加权平均值为 45.58%,MgO 为 5.85%。由于碳酸盐岩酸不溶物中 CaO、MgO 含量极低(一般均 < 1%),所以可以近似地认为碳酸盐岩中 MgO、CaO 的含量主要由碳酸盐矿物提供。这样,CaCO₃ 含量为 81.39%,MgCO₃ 含量为 12.29%,因而碳酸盐岩酸不溶物含量为 6.32%,这可以近似地代表贵州岩溶区连续型碳酸盐岩酸不溶物的平均含量。

为了证实新蒲剖面碳酸盐岩酸不溶物对上覆红色风化壳的贡献程度,笔者对碎屑岩夹层和碳酸盐岩酸不溶物在风化壳剖面所占比例进行了统计。如果不考虑在风化成土过程中遭受地表侵蚀的影响,研究剖面厚 730 cm(风化壳中不含游离碳酸盐,显酸性),从上述风化壳粒度分布特征可知,由碳酸盐岩酸不溶物提供的风化壳累计厚度为 645 cm,由

碎屑岩夹层提供的风化壳累计厚度为 85 cm,即由碳酸盐岩酸不溶物对风化壳的贡献所占份额为 88.4%,而碎屑岩夹层仅占 11.6%。剖面下伏白云岩的酸不溶物含量为 4.0%,钙质砂页岩为 96.4%,含硅质条带白云岩为 11%左右。如果风化壳的夹层中含有硅质条带白云岩的风化产物,由于硅质条带白云岩仍属于碳酸盐岩(碳酸盐矿物含量 > 50%)的范畴,这样碳酸盐岩酸不溶物对风化壳的贡献还要高。实际情形是否如此?我们对新蒲剖面邻区遵义官坝娄山关群上段含钙质泥页岩薄层的白云岩剖面进行了野外实测,在 49.85 m 厚的白云岩地层中,白云岩(酸不溶物含量为 4%)累计厚度为 49.10 m,钙质泥页岩薄层(酸不溶物含量为 85%)累计厚度为 0.75 m,碎屑岩薄层厚度所占比例为 1.5%,一旦风化成土,官坝剖面白云岩中的酸不溶物对土层的贡献量为 75.5%,泥质薄层占 24.5%,也表明了碳酸盐岩酸不溶物对上覆土层的贡献是主要的。

进一步推算,从贵州区域上讲,本区连续型碳酸盐岩酸不溶物的平均含量按 6.32% 计算,同时碎屑岩夹层的酸不溶物含量按 85%(以官坝剖面钙质泥页岩薄层酸不溶物含量计)统计,如果按照连续型碳酸盐岩(碳酸盐岩及其碎屑岩夹层的酸不溶物含量 < 10%)的边界条件,当碳酸盐岩及其碎屑岩夹层的酸不溶物含量为 10%时,在 100 m 厚的连续型碳酸盐岩岩层中,碳酸盐岩所占厚度为 95.3 m,碎屑岩累计厚度为 4.7 m,比官坝剖面实测的碎屑岩厚度大 3 倍。此时,碳酸盐岩对风化壳的贡献量约为 60%,而碎屑岩夹层为 40%,碳酸盐岩酸不溶物对上覆土层的贡献仍是主要的。实际上,据我们对贵州及其邻区不同时代出露的碳酸盐岩地层及上覆红色风化壳的野外观察及室内剖面数据分析结果,像新蒲含碎屑岩夹层明显的连续型碳酸盐岩风化壳及遵义官坝的白云岩剖面仍属少数,绝大多数为碎屑岩夹层更薄、岩性更为均一的碳酸盐岩及其风化壳,碎屑岩夹层厚度所占比例比边界条件值要小得多。另外,本区连续型碳酸盐岩酸不溶物的平均含量(6.32%)比新蒲剖面基岩(4.0%)的要高,从而碳酸盐岩风化残积成土的能力更大。

由此来看,碳酸盐岩风化残积成土及构成岩溶区上覆红色风化壳的主要物源是完全可能的。

5 结 论

新蒲红色风化壳的粒度分析结果表明,其成土母岩是不均一的,下伏碳酸盐岩纵向上也是不均一的,同时存在与下伏不同基岩酸不溶物粒度分布特征相对应的风化壳,证实了碳酸盐岩作为上覆风化壳成土母岩的现实性,为岩溶区上覆红色风化壳物质来源提供了新的佐证,是对早期认识(王世杰等,1999)的提高和补充。

当常规的地球化学、矿物学等方法难以直观反映母岩的不均一性对风化壳的影响时,粒度分布特征却可以建立两者的对应关系,从而可以更为合理地指示风化壳和下伏基岩的关系。

碳酸盐岩风化壳成土母岩的不均一性是客观存在的,因此母岩均一性检验是风化壳研究的基础,其中粒度分析提供了直观便捷的识别手段。

从碎屑岩夹层和碳酸盐岩对风化壳贡献的相对份额中进一步指出,新蒲连续型碳酸盐岩中碳酸盐岩酸不溶物对上覆风化壳的贡献是主要的。这为连续型碳酸盐岩地区,尤其是贵州省岩溶区中占一半以上面积的该类地层成土作用的优势贡献提供了一个例证。

综合资料表明,碳酸盐岩风化残积成土及构成岩溶区上覆红色风化壳的主要物源是完全可能的,从而为进一步评价中国西南岩溶区红色风化壳的主要物质来源提供了新的探索手段。

参 考 文 献

- 崔之久,李德文,冯金良,刘耕年,李洪江. 2001. 覆盖型岩溶、风化壳与岩溶(双层)夷平面. 中国科学 D 辑, 31(6): 510—519.
- Cui Zhijiu, Li Dewen, Feng Jinliang, Liu Gengnian and Li Hongjiang. 2002. The covered karst, weathering crust and karst (double-level) planation surface. *Science in China, Series D*, 45(4):366—379.
- 冯志刚,王世杰,孙承兴,刘秀明. 2002a. 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. 矿物学报, 22(3): 243—248.
- Feng Zhigang, Wang Shijie, Sun Chengxing and Liu Xiuming. 2002a. Particle distribution of red weathering crust and its genetic implication—As exemplified by Pingba county of Guizhou, China. *Acta Mineralogica Sinica*, 22(3): 243—248.
- 冯志刚,王世杰,孙承兴,刘秀明. 2002b. 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. 中国岩溶, 21(2):73—78.
- Feng Zhigang, Wang Shijie, Sun Chengxing and Liu Xiuming. 2002b. Practical index to distinguish the origin of earthy deposits in karst area: Characteristics of grain size distribution. *Carsologica Sinica*, 21(2):73—78.
- 冯志刚,王世杰,孙承兴. 2002c. 引起红土表层 Si/Al 比值增大原因的可能性探讨. 地质地球化学, 30(4):7—14.
- Feng Zhigang, Wang Shijie and Sun Chengxing. 2002c. Discussion on possible causes of increases in Si/Al ratio in surface layers of some lateritic profiles. *Geology-Geochemistry*, 30(4):7—14.
- 符必昌,黄英. 2003. 试论碳酸盐岩上覆红土的形成模式及演化趋势. 地质科学, 38(1):128—136.
- Fu Bichang and Huang Ying. 2003. An approach to forming and evolution of laterite overlying carbonate rocks. *Chinese Jour. Geol.*, 38(1):128—136.
- 韩至钧,金占省. 1996. 贵州省水文地质志. 北京:地震出版社. 27—38.
- Han Zhijun and Jin Zhansheng. 1996. Hydrological Geology Memoirs of Guizhou Province. Beijing: Seismological Press. 27—38.
- 季宏兵,欧阳自远,王世杰,周德全. 1999. 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. 中国科学 D 辑, 29(6):504—513.
- Ji Hongbing, Ouyang Ziyuan, Wang Shijie and Zhou Dequan. 2000. Element geochemistry of weathering profile of dolomitite and its implications for the average chemical composition of the upper-continental crust—Case study from the Xinpu profile, northern Guizhou province, China. *Science in China, Series D*, 43(1):23—35.
- 李景阳,王朝樊,樊廷章. 1991. 试论碳酸盐岩风化壳与喀斯特成土作用. 中国岩溶, 10(1):29—38.
- Li Jingyang, Wang Chaofu and Fan Tingzhang. 1991. Weathering crust of carbonate rocks and process of karst earth formation. *Carsologica Sinica*, 10(1):29—38.
- 李瑞玲,王世杰,周德全,张殿发,李凤全,周忠发,熊康宁. 2003. 贵州岩溶区土地石漠化与岩性的空间相关性研究. 地理学报, 58(2):314—320.
- Li Ruiling, Wang Shijie, Zhou Dequan, Zhang Dianfa, Li Fengquan, Zhou Zhongfa and Xiong Kangning. 2003. Analysis on the spatial relativity between rock desertification and lithology in karst area of Guizhou province. *Acta Geographica Sinica*, 58(2):314—320.
- 林树基,周启永,陈佩英. 1994. 贵州的上新生界. 贵阳:贵州科技出版社. 140.
- Lin Shuji, Zhou Qiyong and Chen Peiying. 1994. Upper Cenozoic Erathem of Guizhou. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press. 140.
- 卢耀如. 1986. 中国喀斯特地貌的演化模式. 地理研究, 5(4):25—34.
- Lu Yaoru. 1986. Models of karst geomorphological evolutions in China. *Geographical Research*, 5(4):25—34.
- 孙承兴,王世杰,周德全,刘秀明,季宏兵. 2002. 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.

- 矿物学报, 22(3):235—242.
- Sun Chengxing, Wang Shijie, Zhou Dequan, Liu Xiuming and Ji Hongbing. 2002. Insoluble residues of carbonate rocks as source material for red weathering crusts in karst regions of Guizhou province, China. *Acta Mineralogica Sinica*, 22(3):235—242.
- 王世杰. 2002. 喀斯特石漠化概念演绎及其科学内涵的探讨. 中国岩溶, 21(2):101—105.
- Wang Shijie. 2002. Concept deduction and its connotation of karst rocky desertification. *Carsologica Sinica*, 21(2):101—105.
- 王世杰, 季宏兵, 欧阳自远, 周德全, 郑乐平, 黎廷宇. 1999. 碳酸盐岩风化成土作用的初步研究. 中国科学 D 辑, 29(5):441—449.
- Wang Shijie, Ji Hongbing, Ouyang Ziyuan, Zhou Dequan, Zheng Leping and Li Tingyu. 1999. Preliminary study on weathering and pedogenesis of carbonate rock. *Science in China, Series D*, 42(6): 572—581.
- 王世杰, 季宏兵, 孙承兴. 2001. 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. 地质科学, 36(4):474—480.
- Wang Shijie, Ji Hongbing and Sun Chengxing. 2001. Preliminary study on REE distribution characteristics in dolomite weathering profile in Pingba county, Guizhou. *Chinese Jour. Geol.*, 36(4):474—480.
- 王世杰, 孙承兴, 冯志刚, 刘秀明. 2002. 发育完整的灰岩风化壳及其矿物学与地球化学特征. 矿物学报, 22(1):19—29.
- Wang Shijie, Sun Chengxing, Feng Zhigang and Liu Xiuming. 2002. Mineralogical and geochemical characteristics of the limestone weathering profile in Jishou, western Hunan Province, China. *Acta Mineralogica Sinica*, 22(1):19—29.
- 席承藩. 1991. 论华南红色风化壳. 第四纪研究, (1):1—7.
- Xi Chengfan. 1991. On the red weathering crusts of Southern China. *Quaternary Sciences*, (1): 1—7.
- 袁道先. 1992. 中国西南部的岩溶及其与华北岩溶的对比. 第四纪研究, (4): 352—361.
- Yuan Daoxian. 1992. Karst in southwest China and its comparison with karst in north China. *Quaternary Sciences*, (4): 352—361.
- 朱显谟. 1993. 中国南方的红土与红色风化壳. 第四纪研究, (1):75—84.
- Zhu Xianmo. 1993. Red clay and red residuum in south China. *Quaternary Sciences*, (1):75—84.
- Folk R L. 1966. A review of grain-size parameters. *Sedimentology*, 6:73—93.
- Harnois L and Moore J M. 1988. Geochemistry and origin of the ore chemistry formation, a transported paleoreolith in the Grenville Province of Southern Ontario, Canada. *Chem. Geol.*, 69:267—289.
- Inoue K, Saito M and Naruse T. 1998. Physicochemical, mineralogical, and geochemical characteristics of lacustrine sediments of the Konya Basin, Turkey, and their significance in relation to climate change. *Geomorphology*, 23: 229—243.
- Macleod D A. 1980. The origin of the red mediterranean soils in Spirus, Greece. *Journal of Soil Science*, 31:125—136.
- Monroe W H. 1986. Examples of the replacement of limestone by clay. *Mississippi Geology*, 7(1):1—6.
- Moresi M and Mongelli G. 1988. The relation between the terra rossa and the carbonate-free residue of the underlying limestones and dolostones in Apulia, Italy. *Clay Minerals*, 23:439—446.
- Moukarika A, O'Brien F and Coey M D. 1991. Development of magnetic soil from ferroan dolomite. *Geophys. Res. Lett.*, 18(11): 2043—2046.
- Muhs D R, Bush C A and Stewart K. 1990. Geochemical evidence of Saharan dust parent material for soils developed on Quaternary limestone of Caribbean and western Atlantic islands. *Quaternary Research*, 33:157—177.
- Psaaaga R. 1964. Grain size representation by CM pattern as a geologic tool. *Journal of Sedimentary Petrology*, 34:830—847.
- Vital H and Stattegger K. 2000. Major and trace elements of stream sediments from the lowermost Amazon River. *Chem. Geol.*, 168:151—168.

广而告之

本刊已明确表示不接受 E-mail 投稿。现再次重申:谢绝 E-mail 投稿。这首先出自对文稿安全性的考虑。本刊郑重承诺:只以邮寄的方式送审和退改文稿,以免送审和退改期间有编辑和审稿人之外的第三者染指文稿。自 2004 年 8 月份开始,本刊将不再单独通知 E-mail 投稿者。敬希广大作者尊重本刊的这一次定,将文稿挂号邮寄本刊。

GRAIN SIZE DISTRIBUTION CHARACTERS OF THE RED WEATHERING CRUST AT XINPU, NORTH GUIZHOU: DISCUSSION ON PROVENANCE OF OVERLYING WEATHERING CRUSTS IN KARST AREAS

Feng Zhigang¹ Wang Shijie¹ Zhou Dequan² Sun Chengxing¹ Liu Xiuming¹

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

2. Department of Resources and Environment, Guizhou Normal University, Guiyang 550001)

Abstract

To indicate the provenance of weathering crust by grain size analysis is a new attempt, which bears the feature of direct indication. Especially, it is difficult for routine methods of geochemistry and mineralogy to directly show the influence of inhomogenous bedrock on weathering crust, but grain size analysis of weathering profiles may establish relation of the both, and so may rationally indicate the relation of weathering crust to underlying bedrock. This paper analyzed grain size distribution characters of acidic insoluble matter of continuous carbonatite and overlying red weathering crust, and showed the inhomogeneity of basement carbonatite in vertical direction resulting in the difference of grain size distribution characters of overlying red weathering crust. Moreover, it existed that the grain size frequency distribution curves of varied underlying bedrock acidic insoluble matter were similar to those of overlying weathering crust of the different depth, and indicated the carbonatite being parent rock of overlying weathering crust. The variation of chemical weathering indices with the depth also supported the result of grain size analysis, i.e. parent rock being inhomogenous. From the contribution amount of interlayered detrital rock and carbonatite in weathering crust respectively, the authors suggested acidic insoluble matter of underlying carbonatite being main provenance of overlying weathering crust. In the view of grain size parameters, further interprets residual weathering pedologic process of carbonatite was realistic, which provided a new study way for exactly understanding the genesis of red weathering crust of karst areas in southwest China. To synthesize various data, it was possible for carbonatite, especially continuous carbonatite, to become main provenance of red weathering crust in karst areas of southwest China.

Key Words Grain size distribution characters, Provenance indication, Inhomogenous bedrock, Continuous carbonatite, Red weathering crust

(上接第 406 页)

士成为了当代当之无愧的一代宗师,深受同行学者敬仰。

陈国达院士还是一位蜚声遐迩的地质教育家。他长期执教于中山大学和中南矿冶学院,可谓桃李满天下。在原长沙大地构造研究所,他指导了百余名研究生。1984年,他把自己历年所得的奖金及稿费全部捐献出来,设立“地洼学说奖励基金”,用于培育人才。

陈国达院士没有留过洋,他一生执着地立足于中国大陆这块土地辛勤耕耘,使成果走出国门,走向世界。他发表了科学论文、专著及科普文章等 450 余篇(部),直到临逝世的前一天还在顽强地修改论文。陈国达院士确实是一位“坚恒勇慎、严实德勤”的好学者、好导师,我们将永远怀念他。

(钟建华)