

文章编号:1000-4734(2002)03-0235-08

# 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

孙承兴<sup>1,2</sup> 王世杰<sup>1</sup> 周德全<sup>3</sup> 刘秀明<sup>1,2</sup> 季宏兵<sup>1</sup>

(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; 3. 贵州师范大学 资源与环境科学系, 贵州 贵阳 550001)

**摘要:** 贵州岩溶区红色风化壳是中国南方红色风化壳的重要组成部分, 本文根据部分红色风化壳剖面野外特征、矿物学、地球化学及土壤物理学等的研究结果, 对其物源及成因进行了探讨。各剖面, 尤其邻近剖面显著的矿物学、地球化学差异排除了远程风成沉积物、火山灰、上覆或者高处碎屑岩层作为统一且重要物源的可能。极低的石英含量表明贵州常见的长石石英砂岩不是其主要物源, 具有中稀土(MREE)富集的特征也排除了粘土岩、页岩作为主要物源的可能。风化壳剖面间的差异性均可从基岩酸不溶物的差异性得到很好解释, 表明它们是下伏碳酸盐岩风化、酸不溶物(准)原地堆积的结果。部分剖面甚至显示了典型风化壳剖面的一些特征, 具有正常风化序列的剖面结构特征。

**关键词:** 碳酸盐岩; 红色风化壳; 物质来源; 贵州

**中图分类号:** P588.24+5; S151+2

**文献标识码:** A

**作者简介:** 孙承兴, 男, 1971年生, 博士研究生, 从事环境地球化学研究。

## 1 引言

西南地区位于世界上连片分布面积最大的东南亚岩溶区的中心, 碳酸盐岩分布面积达50万 $\text{km}^2$ 左右<sup>[1]</sup>, 除了广泛发育石灰土外, 在一些相对平缓的地貌单元或者垄岗上, 红色风化壳较为发育, 它是我国南方红色风化壳的重要组成部分, 贵州是这类风化壳最主要的分布区<sup>[2]</sup>, 但关于岩溶区红色风化壳物质来源及成因却长期存在争议<sup>[3-5]</sup>。随着近年西南岩溶地区环境生态问题日益加剧, 石漠化面积逐年增加, 以及借助西南地区(古)夷平面研究青藏高原隆升及其环境效应等科学问题研究的深入<sup>[5]</sup>, 正确理解碳酸盐岩上覆土层的物质来源和成因显得十分紧迫和重要。根据世界其它地区碳酸盐岩上覆土层物质来源的研究, 推测贵州岩溶区红色风化壳潜在的主要物源有: 碳酸盐岩中的酸不溶物<sup>[5-10]</sup>、上覆或者位于高处的碎屑岩<sup>[11,12]</sup>、风成沉积物和火山灰<sup>[13-16]</sup>、

表生流体携带来的外来成土物质<sup>[17]</sup>及多来源<sup>[3,18-20]</sup>。对于地中海地区, 越来越多的证据支持从撒哈拉沙漠吹来的风成物是碳酸盐岩上覆土层的主要物源。但由于缺乏对不同地理环境和地质演化条件下碳酸盐岩上覆土层成因机制的系统研究, 目前尚无法对碳酸盐岩风化成土作用是否可以作为一种重要土壤资源的成土机制作出准确判断<sup>[6]</sup>。

近年来, 通过大量野外观察, 作者等在黔西(大方)、黔中(平坝、花溪、湖潮)、黔北(忠庄、新蒲)、黔东(大兴)以及与贵州接壤处的湘西(吉首)选取了数个发育于不同岩性和酸不溶物含量的碳酸盐岩上覆红色风化壳, 对其土壤物理学、矿物学和地球化学进行了较系统的研究, 认为碳酸盐岩中的酸不溶物是该区红色风化壳的主要物质来源。文献<sup>[7,8]</sup>对酸不溶物含量较高的吉首泥灰岩风化壳和基岩中含有抗风化能力较强的泥页岩夹层的花溪灰岩风化壳的矿物学及地球化学特征已进行了介绍。本文主要从矿物学、地球化学及土壤物理学等角度来探讨这些风化壳物质的来源及其成因。

收稿日期: 2002-04-19

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

## 2 风化壳剖面宏观证据

大量的野外观察发现,在很小范围的地域内,甚至就在不同岩性接触带上,就可以观察到两类岩石上的土层具有显著的差异。白云岩上覆土层往往偏红,石灰岩偏黄;碳酸盐岩和紫色砂页岩接触时,更可看出后者颜色偏紫的特征,并且二者界线分明。另外,从土壤质地和结构上也可以感觉到发育于不同岩性上的风化壳剖面具有显著差异。紫色砂页岩上覆土层质地粗糙,有明显砂感;泥页岩上覆土层中可以看到泥质小薄片混杂于土中,甚至以泥质薄片为主;碳酸盐岩上覆土层通常质地细腻、粘重等。一部分剖面甚至能保留原岩的残余结构或者抗风化物,如贵阳花溪剖面及其附近土层中可以见到许多泥质小薄片分散于土中,这和下伏的下三叠统大冶组地层特征有关,该组岩层以灰岩为主,但有时夹极薄的泥质薄层。类似的现象在遵义新蒲剖面中也可观察到,除了泥质薄片外,新蒲剖面中还可见直径约数厘米的燧石团块,这也和中上寒武统娄山关群白云岩中含有燧石团块和条带一致。据报道,类似现象在牙买加一些灰岩上覆土层中也存在,剖面中含有与下伏基岩中完全相同的燧石团块<sup>[21]</sup>。大方和忠庄两个发育在石灰岩上的风化壳,在岩-土界面处均出现了酸不溶物与岩粉的混合物呈包壳状围绕基岩产物的现象,显示了一定的过渡和继承特征<sup>[6]</sup>。吉首剖面由于较高的酸不溶物含量,更是显示了原岩残余结构的特征<sup>[7]</sup>。

剖面上的宏观特征表明:贵州岩溶台地大范围内没有共同的物质来源,具有明显差异的风化壳的宏观分布现象受下伏基岩岩性的控制;剖面中没有残留沉积特征,母岩不可能是河流相与湖泊相沉积物或者碎屑沉积岩;剖面中保留原岩中部分物质(泥质薄片、燧石等),更加证明了风化壳具有原地风化残积的特征。

## 3 矿物学证据

### 3.1 矿物组合特征

研究剖面无论是风化壳本身还是基岩碳酸盐岩的酸不溶物,矿物成分都是以长石、石英和粘土矿物为主,少数剖面三水铝石和赤铁矿(针铁矿)含量也较高<sup>[6]</sup>。基岩的酸不溶物与岩-土界面土层中的矿物组合特征是一致的,并且含量也十分

接近,表现出明显的继承关系<sup>[7,8]</sup>。为排除因气候差异导致的风化壳矿物组成的差异,研究中特意选取了两个相隔仅数公里、发育在不同时代和岩性上的剖面,即花溪剖面与湖潮剖面。前者基岩为下三叠统大冶组灰岩,后者为下三叠统安顺组白云岩;前者酸不溶物中长石及石英含量较高(两者之和可达 80% 以上),而粘土矿物含量很低;后者伊利石含量高达 70%,长石及石英含量很低。两风化壳的矿物差异性十分明显,如湖潮剖面中含有大量三水铝石,整个剖面平均含量达 16% 以上,而花溪剖面平均含量只有 1% 左右。因为两风化壳剖面发育在地形地貌(两剖面都发育在黔中坳岗上,目前海拔 1200 m 左右)、气候条件几乎完全相同的环境中,因此可以排除二者矿物的差异是由气候和地貌上的差异引起的。这样,导致这种差异性唯一原因就只有原岩本身的差异性了。由于安顺组白云岩的酸不溶物含 70% 以上的伊利石,而大冶组灰岩中含有 40% 以上的长石,因此,在相同的风化条件下,湖潮以伊利石为主的酸不溶物更容易风化转化形成高岭石和三水铝石等指示风化程度高的矿物。与湖潮剖面发育在同一岩性地层上的平坝剖面,也具有较高的三水铝石含量,平均达 14.5%。吉首剖面基岩酸不溶物中含近 50% 的长石,其风化壳中仍然保留了近 40% 的长石。

综上所述,不论矿物种类还是数量,基岩酸不溶物的矿物组合几乎和岩-土界面的完全一致,表明岩土界面的矿物几乎完全继承了原岩酸不溶物的特征。剖面整体矿物组合特征,又明显受控于原岩酸不溶物的矿物组合。若酸不溶物本身由风化程度高的次生矿物组成,那么其风化产物也容易形成指示风化作用高级阶段的次生矿物组合。

### 3.2 剖面中石英含量变化

石英在大部分土层中都是一种主要矿物,加上其表生过程中极稳定的地球化学性质,因此,其含量和形态上的变化,可以用来指示地表松散堆积物物源和反映它们所经历过的一些地质过程<sup>[22,23]</sup>。平坝和湖潮两剖面的基岩同属于三叠系安顺组白云岩,其酸不溶物中石英含量都很低,分别为 9.28% 和 5.70%;而花溪、新蒲和吉首的基岩酸不溶物中石英含量较高,分别为 39.99%、54.6% 和 28.75%。相对应的是,平坝和湖潮风化壳剖面中的石英平均含量也很低,平坝和湖潮的

分别为 10% 和 13% 左右,剔除顶部两、三个石英含量高的样品,整个剖面石英含量平均值只有 6.99% 和 7.93%;而花溪、新蒲和吉首风化壳剖面中石英平均含量分别为 38.90%, 52.92% 和 30.49%,与它们基岩的酸不溶物石英含量相当。这说明基岩酸不溶物中石英含量高时,其上覆红色风化壳中的石英含量也高,暗示了基岩酸不溶物中的石英,几乎可以等量的保存于其风化产物之中,也显示了石英在一般表生条件下的稳定性。因此,土壤中石英含量的高低,完全受控于原岩酸不溶物中石英的含量。

平坝和湖潮如此低的石英含量,可以排除这些风化壳是由潜在的上覆紫色砂页岩风化而成的可能性,因为紫色砂页岩风化形成的紫色土往往具有较高的石英含量,如贵阳乌当紫色土石英含量达 63% 左右。相隔仅数公里的花溪剖面 and 湖潮剖面,石英含量有如此之大的差别,也可以排除二者有统一物源(风成沉积物、火山灰,甚至紫色砂页岩等)的可能性。

### 3.3 矿物形态特征

对部分剖面进行石英单矿物分选,发现新蒲和大兴剖面中含有大量晶形相对完好的石英颗粒,其中新蒲基岩酸不溶物中可见到大量粒度和晶形与此相近的石英,而大兴基岩经历过较强烈的硅化作用,岩石中很可能会含有大量石英晶体。吉首剖面中可以肉眼挑选出的石英颗粒很少,但整个剖面上石英的形态和粒度大小十分一致,这些石英均为浑圆状,表面具有毛玻璃特征,而基岩酸不溶物中也正好发现有这种石英存在。

在很多剖面基岩的酸不溶物中,均发现有较多的黄铁矿存在,而岩-土界面土层样品中,几乎无一例外的都发现具有黄铁矿假象的针铁矿出现,其中吉首甚至在剖面的中上部还能发现这种保留黄铁矿假象的针铁矿,只是晶形已经不如下部的完整了,晶面也由于溶蚀而显得粗糙。这说明在较弱的风化作用条件下,黄铁矿的晶形可以长时间保留在风化壳中<sup>[7]</sup>。

上述石英和铁矿物的形态特征均反映了这些风化壳物质主要来自碳酸盐岩酸不溶物,是碳酸盐岩酸不溶物原地风化堆积的结果。

## 4 土壤物源的元素地球化学证据

为评价研究剖面中是否有外源物质的混入,

选取表生过程中最为稳定的元素之一 Zr 作为参比元素,对各剖面主微量元素进行了质量平衡计算,计算方法及其意义见文献<sup>[7,24]</sup>。计算结果表明,部分剖面(如平坝、花溪、大兴)有  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的净获得,其它主量元素均表现出不同程度的淋失。由于 Al 和 Fe 都倾向浓集于风化壳的粘土矿物和氧化物中, $\text{Al}_2\text{O}_3$  的富集与粘土矿物的积聚和三水铝石的形成直接相关,而  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的富集与强烈氧化条件下铁氧化物的形成和积聚有关。但这并不能解释  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的净获得,因为与 Zr 相比,Al 和 Fe 都具有较强的活动性,是可以被风化淋失的。对于  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的净获得,有三种可能:①确有外源物质的加入;②研究剖面不是基岩的风化产物;③风化壳剖面遭受过强烈的剥蚀,现存剖面中  $\text{Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  的净获得主要来自风化壳被剥蚀部分,是 Al 和 Fe 淋溶、淀积的结果。从前面矿物学等特征看,研究剖面没有任何外源物质加入的迹象。粒度分析表明,平坝剖面的中上部,从上到下,粘粒含量有逐渐增加的趋势,表明风化过程中的确存在粘土矿物向下迁移的现象。由于 Al、Fe 容易在风化壳中相对积聚,而其它主量元素则相对容易淋失,被带出风化壳,这就是为什么同样有上覆风化壳物质的淋滤、淀积方式的加入,但其它主量元素没有在现存风化壳中富集的重要原因。Zr 由于主要赋存于表生过程中较稳定的锆石中,在风化壳剖面形成过程中,锆石和石英等稳定矿物常常构成土壤骨架颗粒而相对富集于风化壳顶部或上部,这可以从一般风化壳上部 Zr 含量相对较高的事实中得到验证。因此,Zr 在风化过程中不容易随粘土矿物大量淋溶到剖面中下部,而容易在地表或近地表富集,并在风化壳发育过程中首先遭受剥蚀。这样,以 Zr 为参比元素、相对于基岩而言,Al、Fe 在一些剖面中常常显示了净获得的特征。Ti 由于相对稳定的地球化学性质,加上也多赋存于稳定的矿物相中,因此,淋失量一般都比较小。Al、Fe 的净获得量与风化壳剖面的风化程度密切相关,例如出现大量三水铝石的平坝、湖潮剖面风化程度最高,花溪剖面仅部分样品中出现了微量三水铝石,所以 Al 的净获得量也低;而没有三水铝石出现的新蒲和吉首剖面,根本就没有 Al、Fe 的获得,相反却表现出了弱的淋失。微量元素中,通常是 Ga、Cs 和 Th 常常显示出一定的净获得,Ga 的地球化学行为与 Al 的相近,Cs 则易于吸附于粘土矿物上,因此

也受粘土矿物的机械淋溶和淀积作用的影响;Th特别容易吸附在粘土矿物和铁的氧化物矿物表面,因此,也常常表现出和Fe一样的质量迁移规律。主、微量元素质量平衡计算表明,所研究剖面均显示了风化壳剖面原地风化演化的特征。

此外,选用Ti作为不活动的参比元素,对Nb相对于基岩的元素变化率的计算结果表明,平坝剖面土层中的 $\Delta Nb$ 值稳定在800~840的范围,新

蒲为460~520,黔西大方为75~90,各剖面具有各自几乎恒定的Nb的变化率(这种变化是由碳酸盐岩风化巨大的体积缩小引起的)<sup>[6]</sup>。在微量元素的相关图解中,绝大多数剖面样品的Zr-TiO<sub>2</sub>、Nb-TiO<sub>2</sub>、Zr-Hf和Nb-Ta等元素都对表现出良好的线性相关,相关系数常高达0.95以上,如新蒲剖面,Zr-Hf和Nb-Ta的复相关系数可达0.99以上,呈现极好的线形相关性(图1)。

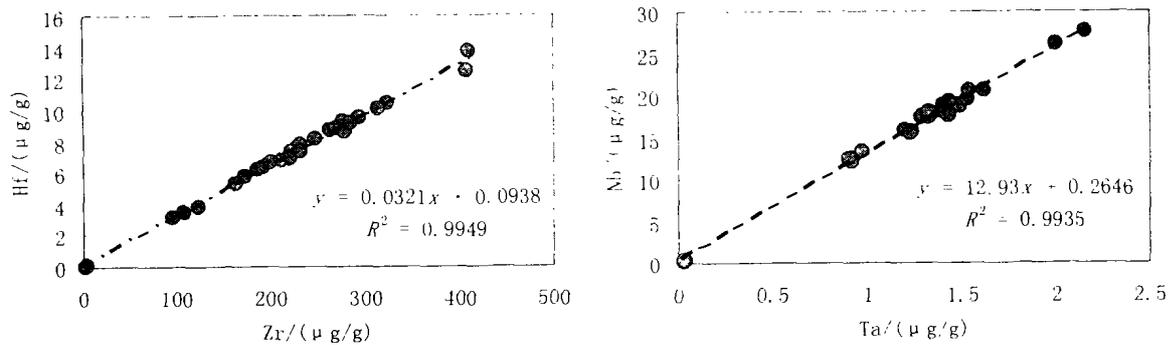


图1 新蒲剖面Zr/Hf和Nb/Ta相关图

Fig.1. The correlation plot of Zr/Hf vs. Nb/Ta for the Xinpu dolostone weathering profile.

此外,Zr和Ti在表生风化作用过程中都具有十分稳定的地球化学性质,因此除了风化壳剖面顶部个别受机械淋洗作用的样品外,它们的含量及比值较为稳定<sup>[25,26]</sup>,图2中也反映出了这种特征。除新蒲剖面和平坝剖面Zr-Ti分布区有部分重叠现象之外,其余各剖面均具有各自独立的分布范围,显示了各剖面物质成分上的差异性,也暗示了它们物源上的差异性。经上陆壳平均值(UCC)标准化的主微量元素蜘蛛图解显示,除少数易受酸溶影响的元素(如Y、Sc),及风化过程中易于富集的惰性元素(Al、Ga、Ti等),土层中其余元素和基岩酸不溶物较为一致(将另文发表)。上述特征均反映了各剖面具有不同的微量元素特征,并且是对下伏基岩特征的继承。

尽管贵州的碎屑岩主要集中分布于黔东南、黔西南和黔北少数地区,碳酸盐岩在黔中、黔南分布集中,但碳酸盐岩仍与少量的碎屑岩呈镶嵌景观分布,因此,碎屑岩有可能是区内红色风化壳最重要的潜在物源。对于区内常见的紫色砂页岩,根据一些剖面(如平坝、湖潮)中极低的石英含量可以排除其作为重要物源的可能性。对于粘土岩和页岩,由于相似的物理、化学特性,它们在全球范围内具有十分相似的稀土含量及分布模式。若用页岩(NASC或PAAS)标准化,其分布模式应近

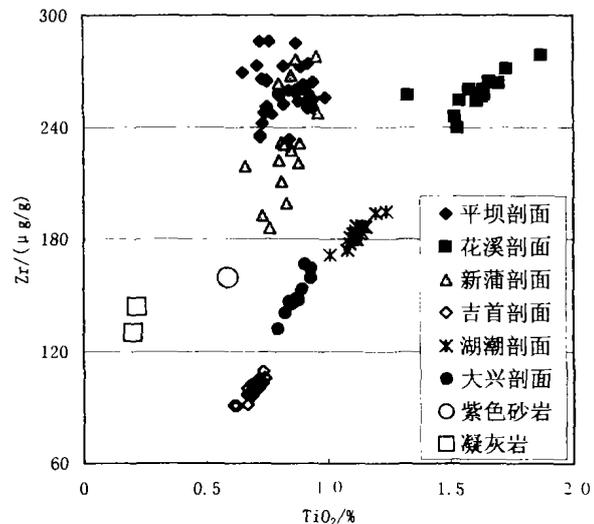


图2 不同风化壳剖面及两种主要潜在物源样品TiO<sub>2</sub>-Zr含量对比

Fig. 2. The concentrations of Zr and TiO<sub>2</sub> in different weathering profiles overlying carbonate rocks and two potential sources. (剔除了个别受地表过程或成壤过程影响强烈的样品)

于水平。多数页岩稀土元素总量不超过200 μg/g,例如北美页岩的平均值为177 μg/g,澳大利亚页岩为185 μg/g。但碳酸盐岩上覆土壤剖面稀土元素平均含量多超过300 μg/g,甚至大于400~

500  $\mu\text{g/g}$ ,是页岩稀土元素总量的 2 倍以上,如平坝、湖潮、忠庄和新蒲等剖面。碳酸盐岩上覆红粘土之所以有较高的稀土元素含量,是因为碳酸盐岩中吸附于碳酸盐矿物表面或者存在于碳酸盐矿物晶格中的稀土元素,也可以残留于酸不溶物组成的风化残积土层中,加上碳酸盐岩风化溶蚀时形成的碱性环境,更是有利于稀土元素的吸附和富集。相反,如果这些土壤物质是外来的、与碳酸盐岩风化成土无关,那么很难想象土层中能富集如此高含量的稀土元素。与北美或者澳大利亚页岩相比,湖潮剖面中下部具有明显的轻稀土富集特征;发育在忠庄灰岩( $T_1m$ )和新蒲白云岩( $\epsilon_{2-3}ls$ )上的风化壳中中稀土(MREE)富集,稀土分布模式呈现“上凸”形。在这三个剖面的下伏新鲜基岩及岩粉层中,也分别发现了这种轻稀土或者中稀土富集的分布模式,暗示了从基岩到岩粉和土层,稀土的分布模式具有很好的继承性。可排除粘土岩和页岩作为区内红色风化壳主要物质来源的可能性,而良好的继承关系支持碳酸盐岩中酸不溶物作为主要物源的观点。

### 5 其它证据

对部分风化壳土层磁化率测试发现,各剖面间具有较大差异,但剖面上磁化率变化范围相对稳定(除去受成壤或火烧影响的表土样),桐木岭剖面磁化率平均值约 90 单位( $1 \text{ 单位} = 1 \times 10^{-6} \text{ SI}$ ),平坝和金华剖面为 15 单位左右,花溪、新蒲

和吉首的分别为 10 单位、6 单位和 5 单位。土壤磁化率的高低反映了其中磁性矿物含量的多少,磁性矿物的多少又与原岩矿物成分密切,同时受表生过程影响<sup>[27,28]</sup>。各风化壳剖面磁化率的差异暗示了它们没有共同的物质来源。另外,随着化学风化作用或者成壤作用的加强,土壤的磁化率会明显增强<sup>[29]</sup>,图 3 是新蒲剖面化学蚀变指数(CIA)与磁化率的相关图,二者的复相关系数近似于 0.8,显示了较好的相关性。图 4 是花溪、吉首和新蒲剖面磁化率随风化壳深度的变化特征,它们均显示出相似的变化特征,即从下到上,磁化率有增大的趋势(尽管局部存在一定波动),与一般风化壳的变化规律相似,显示了研究剖面具有正常风化序列的特征。

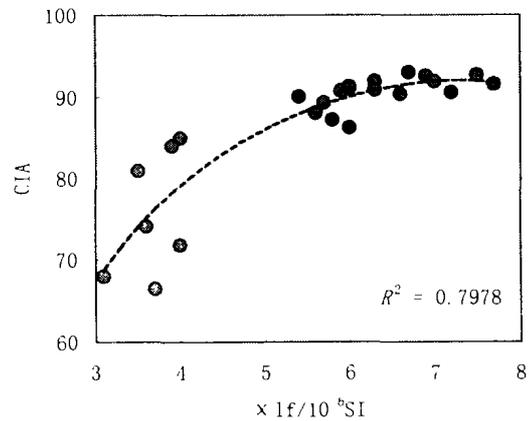


图 3 新蒲剖面 CIA 与  $\chi_{lf}$ (低频磁化率)的相关图  
Fig. 3. The relationship between CIA and  $\chi_{lf}$  for the Xinpu dolostone weathering profile.

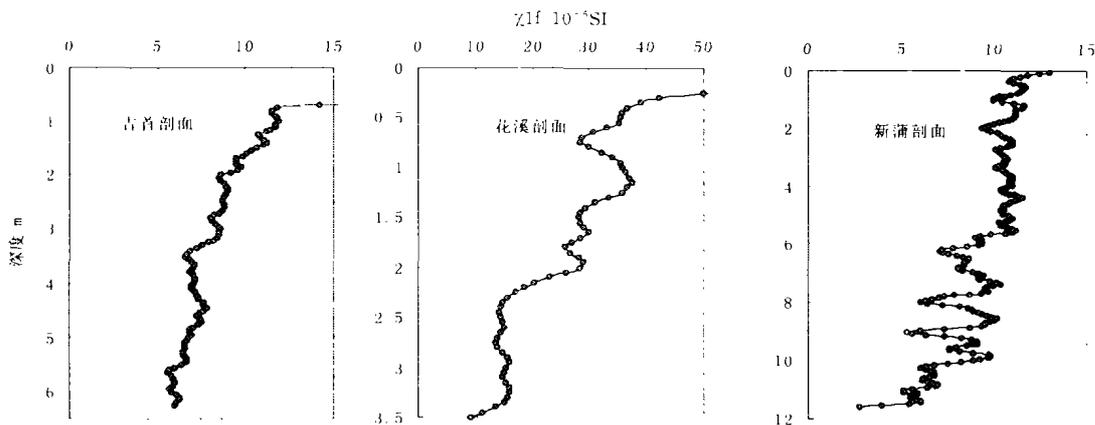


图 4 吉首、花溪及新蒲剖面磁化率随深度变化  
Fig. 4 The relationship between magnetic susceptibility and depth in several weathering profiles overlying carbonate rocks.

另外,上千个样品的粒度分析结果表明,每个风化壳剖面内的样品都具有十分相似的粒度频率

曲线特征<sup>[30]</sup>,而剖面间粒度特征差异明显,例如整个风化壳剖面样品的中值粒径,吉首的最粗,为

13.00  $\mu\text{m}$ , 平坝的最细, 为 2.86  $\mu\text{m}$ , 新蒲、花溪及湖潮的分别为 11.42, 6.20 和 3.77  $\mu\text{m}$ 。反映了各剖面物源存在较大差异, 平坝和湖潮的较为接近, 可能是因为它们同发育于安顺组白云岩上, 但由于所处层位(平坝基岩为安顺组上段, 湖潮为下段)不一样, 二者还是存在一定差别。土层样品粒度频率曲线与下伏基岩酸不溶物的十分接近, 只是酸不溶物的稍偏向粗粒方向。多数剖面从下到上, 土层中粉砂粒级的颗粒逐渐降低、粘粒级的逐渐增加、双峰比值(细粒峰/粗粒峰)逐渐升高、中值及平均粒径逐渐减小, 显示了原地风化残积的特征。虽然各剖面间粒度特征具有一定差异, 但也存在一些共同的相似特征, 如都两个明显的双峰出现等, 与其它物源及成因的风化壳或土层物质具有显著区别。

研究中还发现少数风化壳剖面(如花溪)中仍保留微量的与基岩中相同的古老孢粉, 而没有现代或近代孢粉的出现(除表层外), 指示了剖面原地风化就位的特征。

## 6 讨论

风尘物颗粒粒度通常在 60  $\mu\text{m}$  以下, 平均在 4  $\mu\text{m}$  左右<sup>[31]</sup>。在贵州大部分地区, 根据目前的气候条件以及各种实验和模式测算, 取 0.05 ~ 0.10 mm/a 作为碳酸盐岩溶蚀速率是合适的; 若岩石中酸不溶物含量以 5% 计, 那么这样的碳酸盐岩风化成土速率仅有 0.0025 ~ 0.005 mm/a (2.5 ~ 5.0  $\mu\text{m}/\text{a}$ ), 相当于每年地表只形成一个风尘物颗粒级厚的土层。如此低的成土的速率, 容易让人得出风尘物的堆积速率大于风化成土速率的结论, 由此得出风尘堆积物有可能成为碳酸盐岩地区土壤物质的重要物源。但多数处于热带地区的硅酸盐岩类的风化成土速率也不足 10 m/Ma<sup>[32]</sup>, 和上述碳酸盐岩风化成土速率约在一个数量级, 表明碳酸盐岩风化成土速率不象人们想象的那样慢。如果风成沉积物是碳酸盐岩上覆土层的主要物源, 那么相邻的不同岩性或时代地层上的土层或风化壳, 应该具有相同的物质组成和地球化学等特征。但对各个剖面土层的主要矿物成分、主量和微量元素、粒度和磁化率等研究表明, 各剖面间的物质成分和性质均存在较明显的差别, 而这种差别却可以从原岩(主要是酸不溶物)的差异中得到解释, 表明上覆土层物质成分和性质均对原岩具有明显的继承性。Legros 认为从全球尺度上

看, 火山灰是成土过程中最主要、最普遍的外源风成物质, 其次才是地表(尤其沙漠中)吹起的尘埃<sup>[31]</sup>。对于火山灰的贡献, 附近仅云南腾冲第三纪以来有过较强烈的火山活动, 但由于受高黎贡山的阻挡和西南季风对贵州影响的局限, 研究中没有发现任何第三纪、第四纪火山灰的影响<sup>[6]</sup>。

文中讨论的碳酸盐岩, 并不是由 100% 的碳酸盐矿物组成的纯碳酸盐岩, 而是指包含了少量酸不溶物(通常 5%)和岩层间夹有泥质薄层或微层的碳酸盐岩层。为了评价泥质夹层对碳酸盐岩地区形成土层的贡献量, 研究中专门选择了连续性碳酸盐岩岩层中出现泥质夹层的遵义官坝娄山关群上段(49.85 m 厚)白云岩地层剖面, 对其中的泥页岩薄层或微层累计厚度在剖面上所占比例进行了实测。白云岩厚度为 49.10 m, 酸不溶物平均含量为 4%, 钙质泥页岩夹层厚度为 0.75 m, 其中不溶物含量为 85%。如果不考虑风化成土过程中土粒的丢失, 遵义官坝剖面白云岩中的酸不溶物对土层的贡献量可达 75.5%, 泥质薄层仅占 24.5%。这表明基岩的酸不溶物对上覆土层的贡献是主要的, 同时对于一些含有泥质薄层或微层的碳酸盐岩岩层, 也不应忽视它们对上覆红色风化壳物源的贡献份额。

一旦泥质夹层对上覆土层的贡献占据主导地位, 其风化壳特征必将表现出泥页岩风化壳的特征。但对贵州大量碳酸盐岩红色风化壳的观察并没有发现这种现象, 绝大多数剖面表现出一种与非可溶岩风化壳特征迥异的特征<sup>[6]</sup>。在碳酸盐岩地区的土层中, 如果有外来物质的大量加入, 即便长期的强烈风化作用已经消除了原岩的宏观特征, 但其矿物学、地球化学等特征仍可较好的得到保留, 因此, 利用土层的矿物学及地球化学的方法是可以鉴别有无外源物质的加入, 可以准确判断区域物质来源及成因的。

## 7 结论

综上所述, 研究剖面的野外宏观特征、土壤矿物学、地球化学、磁化率和粒度等特征均表明它们没有共同的物源, 尤其在大范围内没有共同的物源, 甚至在小范围内也表现了显著的差异性, 而这种差异性与下伏基岩关系密切, 是对原岩酸不溶物差异的继承。这些特征同时表明, 研究剖面物质主要来源于基岩中的酸不溶物, 是碳酸盐岩风化残积的产物, 部分剖面具有正常风化序列的特

征,风化残余物没有经过明显的搬运,是典型的原地风化就位的风化壳剖面。尽管不同剖面基岩酸不溶物含量和风化程度存在着差异,风化壳对基岩宏观特征的保留程度不一,但运用矿物学、地球化学以及土壤物理学的方法来判断碳酸盐岩上覆土壤物源是可行的。

### 参 考 文 献

- [1] 袁道先,等. 中国岩溶学[M]. 北京:地质出版社,1994: 1~200.
- [2] 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: 1~312.
- [3] 席承藩. 论华南红色风化壳[J]. 第四纪研究,1991,11(1):1~7.
- [4] 朱显谟. 中国南方的红土与红色风化壳[J]. 第四纪研究,1993,13(1):75~84.
- [5] 崔之久,李德文,冯金良等. 覆盖型岩溶、风化壳与岩溶(双层)夷平面[J]. 中国科学(D辑),2001,31(6):510~519.
- [6] 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.
- [7] 王世杰,孙承兴,冯志刚. 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.
- [8] 孙承兴,王世杰,刘秀明. 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.
- [9] Plaster RW and Sherwood WC. Bedrock weathering and residual soil formation in Central Virginia[J]. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 1971, 82: 2813~2816.
- [10] Moresi M and Mongelli G. The relation between the terra rossa and the carbonate-free residue of the underlying limestones and dolostones on Apulia, Italy[J]. *Clay Minerals*, 1988, 23: 439~446.
- [11] Olson C G, Ruhe R V and Mausbach M J. The terra rossa limestone contact phenomena in Karst, Southern Indiana[J]. *Soil Sci. Soc. Am. J.*, 1980, 44: 1075~1079.
- [12] 卢耀如. 中国喀斯特地貌的演化模式[J]. 地理研究,1986,5(4):25~34.
- [13] Balagh T M and Runge E C A. Clay rich horizons over limestone, illuvial or residual[J]. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, 1970, 34: 534~536.
- [14] Macleod D A. The origin of the red Mediterranean soils in Epirus, Greece[J]. *J. Soil Sci.*, 1980, 31: 125~136.
- [15] Muhs D R, Bush C A and 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.
- [16] Borg L E and Banner J L. Neodymium and Strontium isotopic constraints on soil sources in Barbados, West Indies[J]. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 1996, 60: 4193~4206.
- [17] 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):7~11.
- [18] Pigott C D. Soil formation and development on the carboniferous limestone of Derbyshire: I Parent materials[J]. *J. Ecology*, 1962, 50: 145~156.
- [19] Yaalon D H. Soils in the Mediterranean region; what makes them different? [J]. *Catena*, 1997, 28: 157~169.
- [20] Dum G, Ottner F and Slovenec D. Mineralogical and geochemical indicators of the polygenetic nature of terra rossa in Istria, Croatia [J]. *Geoderma*, 1999, 91: 125~150.
- [21] Scholten J J and Andriess W. Morphology, genesis and classification of three soils over limestone, Jamaica [J]. *Geoderma*, 1986, 39: 1~40.
- [22] Drever J I. Weathering processes [A]. Saether O L and Caritat P D. *Geochemical Processes, Weathering and Groundwater Recharge in Catchments* [C]. *A A Balkema*, 1997. 3~19.
- [23] 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]. 中国西部第四纪冰川与环境[C]. 北京:科学出版社,1991:138~147.
- [24] 季宏兵,欧阳自远,王世杰等. 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,1999, 29(6): 504~513.
- [25] Hallberg J A. A geochemical aid to igneous rock type identification in deeply weathered terrain [J]. *J. Geochem. Explor.*, 1984, 20: 1~8.
- [26] Schwart T. Distribution and genesis of bauxite on the Mambilla Plateau, SE Nigeria [J]. *Applied Geochemistry*, 1997, 12: 119~131.
- [27] 旺罗,刘东生,韩家懋,等. 中国第四纪黄土环境磁学研究进展[J]. 地球科学进展,2000,15(3):335~341.
- [28] Maher B A and Taylor R G. Formation of ultrafine-grained magnetite in soil [J]. *Nature*, 1989, 336: 368~370.
- [29] Zhou L P, Oidfield F and Wintle A G, et al. Partly pedogenic and origin of magnetic variations in Chinese loess [J]. *Nature*, 1990, 346: 737~739.
- [30] 冯志刚,王世杰,孙承兴,等. 缺失原岩残余结构的贵州平坝红色风化壳的粒度分布特征及成因指示[J]. 矿物学报,2002,21(3): 243~248.

- [31] Legros J P. Soil of Alpine mountains [A]. Martini I P and Chesworth W. *Weathering, Soil and Palaeosols*. [M] Amsterdam: Elsevier, 1992. 155 ~ 181.
- [32] Theveniaut H and Freyssinet Ph. Palaeomagnetism applied to lateritic profiles to assess saprolite and duricrust formation process: the example of Mont Baduel profile (French Guiana) [J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 1999, 148: 209 ~ 231.

## INSOLUBLE RESIDUES OF CARBONATE ROCKS AS SOURCE MATERIAL FOR RED WEATHERING CRUSTS IN KARST REGIONS OF GUIZHOU PROVINCE, CHINA

Sun Chengxing<sup>1,2</sup> Wang Shijie<sup>1</sup> Zhou Dequan<sup>3</sup> Liu Xiuming<sup>1,2</sup> Ji Hongbing<sup>1</sup>

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

2. Graduate School of CAS, Beijing 100039;

3. Department of Resource and Environment Sciences, Guizhou Normal University, Guiyang 550001)

**Abstract:** Red weathering crusts in the karst regions of Guizhou Province are an important part of weathering crusts in South China. But, up to now, the source material and formation mechanism of red weathering crusts cannot be understood clearly. Their source material was first systematically discussed on the basis of field investigations, and mineralogical, geochemical and soil physical studies. The significant difference in mineralogical and geochemical features for different weathering profiles can exclude that dust and/or volcanic ash are the main source materials of soils overlying carbonate rocks. Very low contents of quartz in some weathering profiles suggest that feldspar-quartz sandstones are not the main source because sandstones contain much quartz. In addition to sandstones, clay rocks and shales are two kinds of common clastic rocks in the investigated areas, so they are considered as an the important potential source of soil overlying carbonate rocks. However, some weathering profiles are characterized by enrichment in middle REE compared to shales, indicating that they are not the result of weathering from clay rocks and/or shales. The differences existing in different profiles can be explained by the differences in insoluble residues of their parent rocks, so insoluble residues were considered as the main source material for red weathering crusts overlying carbonate rocks in Guizhou Province.

**Key words:** carbonate rock; red weathering crust; parent source; insoluble residue; Guizhou