

文章编号: 0529-6579(2000)05-0097-06

青藏高原风化壳红土的沉积地球化学和矿物学特征及环境意义^{*}

高全洲¹, 崔之久², 刘耕年², 洪云²

(1. 中山大学城市与资源规划系, 广东 广州510275;

2. 北京大学城市与环境学系, 北京100871)

摘要:对青藏高原主夷平面上分布的风化壳红土进行了沉积地球化学和矿物学方面的研究. 结果表明, 高原风化壳红土中细粒物质(粒径小于1 mm)的粒径分布范围较广且比较均匀; 红土中粘粒部分的主要化学成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 和 Fe_2O_3 ; 粘土矿物多属于伊利石-高岭石型组合, 少数属高岭石-伊利石型组合. 高原风化壳红土处在红土化的初期阶段, 间接反映了青藏高原古岩溶发育时期的湿热气候.

关键词:风化壳红土; 夷平面; 沉积环境; 青藏高原

中图分类号: P592 **文献标识码:** A

红色风化壳是长期湿热气候的产物, 在我国境内尤其是南方分布较广. 青藏高原广泛分布着两级第三纪夷平面, 高一级的山顶面海拔5 000~6 000 m, 低一级的主夷平面或称盆地(发育于19.0~7.0 Ma. B. P.)海拔在高原腹部为4 000~4 500 m, 向东部渐低^[1]. 主夷平面所削切的石灰岩地区保留着复杂的第三纪覆盖型岩溶地貌之后期剥蚀暴露形态和呈根状、条带状分布的红色风化壳残余, 这些风化壳红土被认为是高原第三纪古岩溶的相关沉积^[2]. 本文就风化壳红土的沉积地球化学和矿物学特征作一初步探讨.

1 样品分布和剖面特征

在高原主夷平面上选取7个剖面共采集25块样品.

云南中甸鸡心山(27°49'N, 99°48'E)位于县城东北约2 km处, 由中三叠系洁地组灰岩组成, 山顶标高3 658.4 m, 相对高度约430 m. 自山脚到山顶呈现多级层状地貌结构. 红土样品采自山顶(样号: ZD-1)和近山顶(样号: ZD-2)的两级层状地貌面上.

定日西山(28°40'N, 87°05'E)为西藏定日盆地中的一个灰岩残丘, 海拔4 350 m, 相对高度约50 m, 主要由质纯、层厚的致密块状灰岩组成. 灰岩间分布着残留漏斗、洞穴等. 红土样品采自山顶石缝中, 掺杂灰岩石块, 样号自下而上依此为D-1, D-2, D-3, D-4.

定日东山(28°40'N, 87°05'E)位于定日西山之东约1 km处, 由三叠系上统夹层、互层灰岩组成, 海拔4 300 m, 相对高度为200 m左右. 红土剖面位于山脚, 自下而上由残积层过渡为成层坡积. 成层坡积以灰岩石块为主要组分, 含红土. 剖面总厚约0.7 m, 等

^{*} 基金项目: 国家自然科学基金资助项目(49901002, 49371011)

收稿日期: 2000-01-10; 作者简介: 高全洲(1965~), 男, 副教授.

间距采样, 样号自下而上依此为 P-1, P-1, P-3, P-4, P-5, P-6, P-7.

安多北山 ($32^{\circ}20'N$, $91^{\circ}45'E$) 位于西藏安多县城东北约 4 km 处, 由侏罗系雁石坪群灰岩组成, 山顶标高 5 125.7 m, 相对高度约 525 m. 红土剖面位于山顶即残留的主夷平面上. 剖面总厚约 0.8 m, 等间距采样, 样号自上而下依此为 A-1, A-2, A-3, A-4, A-5, A-6, A-7, A-8. 红土中含有较多的灰岩石块.

巴塘 ($33^{\circ}00'N$, $97^{\circ}05'E$) 位于青海省玉树县城东南约 20 km 处. 红土剖面位于灰岩山地的垭口处 (3 900 m), 上下采集 2 块样品, 样号分别为 YB-1 和 YB-2. 红土质地较纯.

郎木寺南部灰岩山地 ($34^{\circ}06'N$, $102^{\circ}40'E$) 位于甘川交界. 红土剖面分布在垭口部位 (3 600 m), 样号为 LMS. 红土质地纯净.

花石峡 ($35^{\circ}10'N$, $98^{\circ}50'E$) 位于青海省东南部玛多县境内. 红土剖面在灰岩山地的山脚石缝中 (4 200 m), 样号为 HSX. 红土中稍含灰岩石块.

另外, 还在湖南道县 (样号: DX) 和九疑山 (样号: JYS)、广西大化 (样号: DH-1, DH-2) 采集样品 4 块. 在青藏高原南侧的尼泊尔境内采集样品 6 块 (样号: NA, NB, NC, ND-1, ND-2, NE), 以便对比. 湖南、广西的样品分布在海拔 150~750 m 的岩溶平原或洼地中. 尼泊尔境内的样品分布高度多在 500~650 m 之间, 唯 NA 号样品分布高度为 1 585 m, 样品均位于地表.

2 粒度组成

筛取红土中粒径较 1 mm (0Φ) 更细的部分作粒度分析. $1\sim0.1\text{ mm}$ 部分用筛析法, 小于 0.1 mm (约 3.32Φ) 部分用移液管法. 分析结果见图 1.

由图 1 可以看出, 青藏高原风化壳红土的粒径从 $0\sim10.97\Phi$ 都有分布, 多数样品在较 10.97Φ 更细的粒组还有较多剩余, 如 D-1, P-2 样品较 10.97Φ 更细的粒组分别占 67% 和 85%. 25 个高原风化壳红土样品较 10.97Φ 更细粒组平均为 31%.

安多剖面上部的 5 个样品在 $3\sim5\Phi$ 间存在一个明显的峰; 定日西山的 4 个样品在 $1\sim3\Phi$ 间存在一较明显的峰; 定日东山剖面上部的 4 个样品在 $1.5\sim4.5\Phi$ 之间存在一明显的峰. 其余 12 个高原风化壳红土样品的粒度频率曲线均呈现自 0Φ 到 10.97Φ 间连续、近似平缓分布, 不存在明显峰值. 尼泊尔境内的样品粒径分布亦较广, 在 $0\sim10.97\Phi$ 间表现为近似的均匀分布, 没有明显的峰出现, 较 10.97Φ 更细的粒组平均为 18.22%.

由图 1 可以看出, 湖南、广西的 4 个样品的粒度分布范围集中在比 5.5Φ 更细的粒组, 不存在明显的峰, 比 10.97Φ 更细的粒组平均为 67%. 将上述各类样品的粒度组成统计于表 1.

I 类样品属于高原风化壳红土, 但存在因后期沉积事件而混入的粒组. 如安多剖面上部 5 个样品的粒度频率曲线在 $3\sim5\Phi$ 附近出现的峰, 反映了后期沉积事件中以细砂和粗粉砂为主要粒组的沉积物的混入过程. 从混入粒组的粒径看, 它与风尘物质的优势粒组接近^[3], 反映了后期的大气降尘过程. 定日西山 4 个样品的粒度曲线在 $1\sim3\Phi$ 间出现的峰反映了后期以细砂为主要粒组的沉积物的混入过程, 这与风成砂的粒组特征十分吻合^[4]. 定日东山剖面上部 4 个样品粒度曲线在 $1.5\sim4.5\Phi$ 间出现较为宽广的峰则是坡积过程的反映.

II 类样品属于低海拔区典型的风化壳红土, 粒径愈细的粒组, 含量愈高, 粘粒含量在 60% 以上, 反映了强烈的化学风化成土过程.

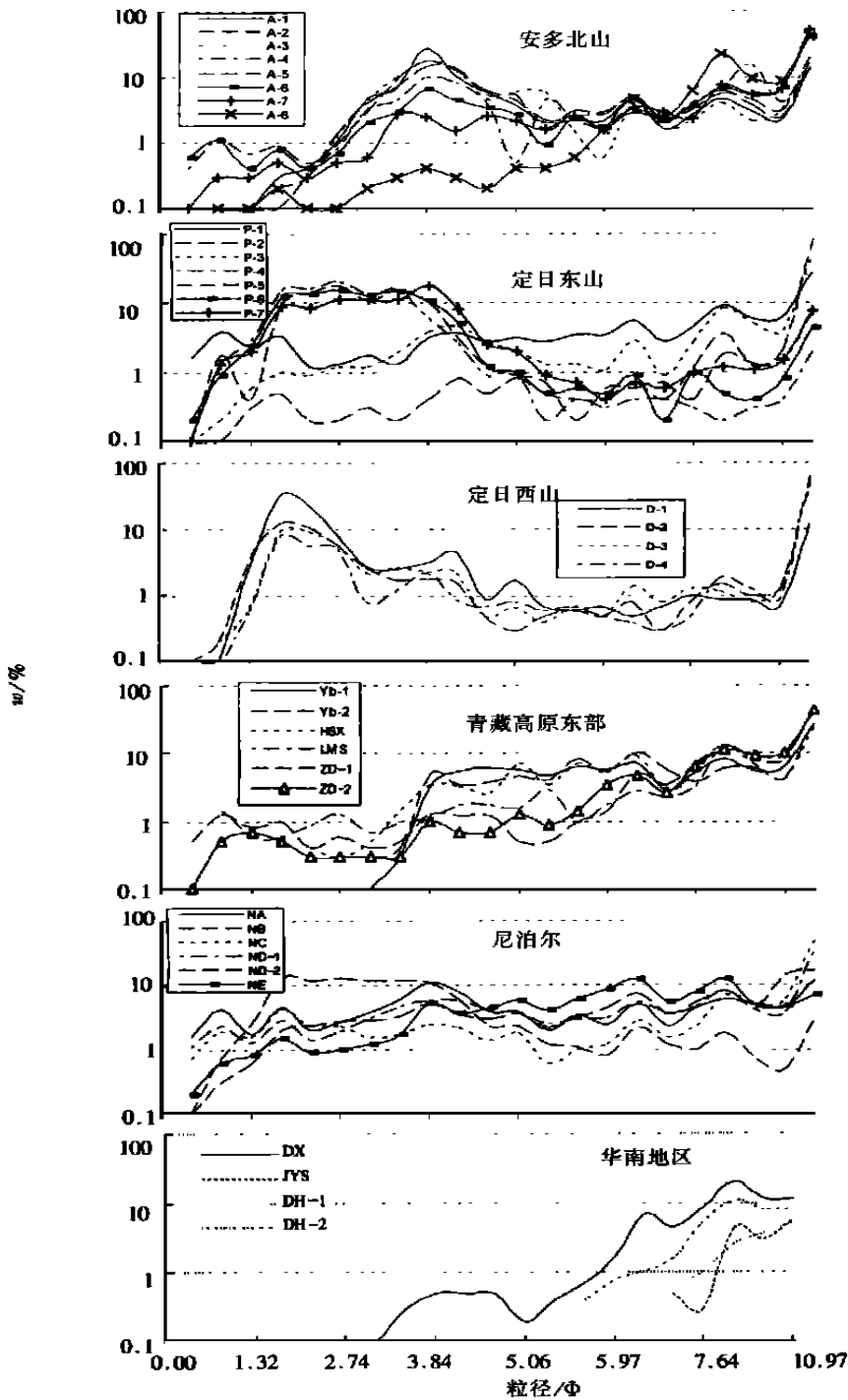


图 1 青藏高原和华南地区风化壳红土粒度频率曲线

Fig.1 The frequency curves of laterite grain sizes in Plateau of Tibet and South China

表 1 各类红土样品的平均粒度组成

Tah 1 The average grain sizes of the laterites in Plateau of Tibet %

样品类别	样品地点	砂	粗粉砂	细粉砂	粘粒	
		0~4Φ	4~6Φ	6~8Φ	8~10.97Φ	>10.97Φ
I	安多剖面上部 5 个样品	34.98	24.93	11.33	12.26	16.50
	定日西山 4 个样品	43.13	4.82	2.61	2.99	46.45
	定日东山剖面上部 4 个样品	82.88	7.34	2.11	2.40	5.33
	青藏高原其余 12 个样品	8.57	14.68	12.76	21.87	42.13
II	湖南、广西 4 个样品	0.29	1.35	10.55	20.80	67.00
III	尼泊尔境内 6 个样品	33.16	18.97	16.17	13.66	18.22

II类样品多是以风化壳红土为母质的土壤，平均粒径较细，但各粒组即砂、粉砂和粘粒的含量大致相等。

3 沉积地球化学特征

对 35 块样品的粘粒部分（粒径<0.002 mm）均作了常量化学元素分析（表 2），结果表明，青藏高原、尼泊尔和华南地区红土中粘粒部分的主要化学成分为 SiO₂、Al₂O₃ 和 Fe₂O₃，其次为 MgO、K₂O、TiO₂。其余各项氧化物的质量分数均在 1.0%以下。x(SiO₂)/x(Al₂O₃)和 x(SiO₂)/x(R₂O₃)一般介于 2.8~3.5 和 2.3~3.0 之间。

表 2 青藏高原、尼泊尔和华南红土化学成分平均质量分数

Tah 2 The average chemical composition and their ratios of the laterites in Plateau of Tibet and its adjacent areas

地区	w/ %										$\frac{x(\text{SiO}_2)}{x(\text{Al}_2\text{O}_3)}$	$\frac{x(\text{SiO}_2)}{x(\text{R}_2\text{O}_3^{1)})}$
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	P ₂ O ₅	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	MnO	TiO ₂		
高原北部	55.29	10.56	26.84	0.26	0.10	2.19	3.97	0.24	0.04	0.72	3.52	2.80
高原南部	52.75	12.08	27.21	0.21	0.17	1.99	3.79	0.24	0.05	0.96	3.33	2.59
尼泊尔	54.12	10.24	26.70	0.20	0.20	2.27	4.31	0.28	0.03	1.06	2.48	1.82
华南地区	47.99	12.26	34.33	0.38	0.27	2.21	1.09	0.11	0.08	1.09	2.38	1.94

1) R₂O₃= Al₂O₃+ Fe₂O₃

青藏高原红土的 x(SiO₂)/x(Al₂O₃)和 x(SiO₂)/x(R₂O₃)不但高于其南部且海拔较低的尼泊尔地区，而且还高于同纬度的海拔较低的华南地区。高原南北之间的红土性质也存在着差别，北部红土的 x(SiO₂)/x(Al₂O₃)和 x(SiO₂)/x(R₂O₃)高于南部。

红土中主要氧化物 SiO₂、Al₂O₃、Fe₂O₃ 的合计质量分数平均为 92.59%。因此，风化壳的地球化学性质在很大程度上是由这 3 种氧化物含量的多少及它们之间的相互关系所决定。35 块样品的 3 种氧化物的相对含量见三相散点图（图 2）。

从图 2 可以看出，风化壳中 w(SiO₂)与 w(Al₂O₃)呈负相关关系。随着风化作用的加深，硅元素不断淋失，w(SiO₂)降低，而 w(Al₂O₃)相对增加。从直观上看，红土的这种性质体现了风化程度的地域差异，即由青藏高原向华南再向尼泊尔过渡，残留红色风化壳的“脱硅富铝”化程度逐渐加强。事实上，剖面层位的差异也是造成这种现象的原因之一。青藏高原较之上述其他地区剥蚀更为严重，第三纪老风化壳只保留下风化前锋即根部。

所以，目前在青藏高原发现的残留红色风化壳表现出较高的 $x(\text{SiO}_2)/x(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 和 $x(\text{SiO}_2)/x(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 。由图 2 还可以看出， $x(\text{Fe}_2\text{O}_3)$ 在剖面中所表现的与 $x(\text{SiO}_2)$ 之间此消彼长的淋溶或富集规律基本与 $x(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 相似，只是程度不如 $x(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 明显。

图 2 还反映了高原红土相互之间的性质较接近，散点集中于同一块较小的区域；而华南地区和尼泊尔境内红土的性质相互之间差别较大，散点分布在一块较大的区域。风化壳的发育是一个漫长的地质过程，其性质受多种因子制约，如发育阶段、经纬度、高度以及在剖面中所处的位置等。关于湿热地区风化壳剖面上部和下部风化程度的差异，一般认为，风化前锋不断地向下延伸，不断

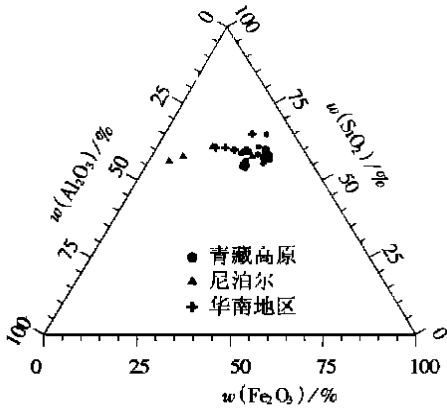


图 2 青藏高原及邻区风化壳红土主要氧化物含量的三角关系图
Fig.2 The triangle relationship between the contents of main oxides in Plateau of Tibet and its adjacent areas

地将母岩破碎分解为细粒物质；同时，残留在风化前锋之上的已经形成的风化物质继续受到后期的风化，结果使剖面自下而上风化程度逐渐加强^[5]。

青藏高原目前的风化壳红土都是这种风化剖面根部的残留，故其所反映的风化强度要低于剖面发育时的气下风化强度。

4 粘土矿物组合

用 X-射线衍射法对样品的粘土矿物作了分析（粒径小于 0.002 mm 的部分）。结果表明，31 块样品中高岭石的相对质量分数平均为 16.55%，最高为 73%。多数风化壳红土的粘土矿物组合属伊利石—高岭石型，少数红色风化壳属高岭石—伊利石型。蒙脱石含量甚微，多数样品为痕量级。

绿泥石含量仅次于高岭石。郭旭东等^[6]按粘土矿物的组合类型将红色风化壳的发育过程划分为高岭土化阶段、早期红土化阶段、晚期红土化阶段、早期铁化阶段和晚期铁化阶段。粘土矿物的组合形式反映了青藏高原灰岩区的残留风化壳红土的发展处于初期阶段。尼泊尔境内的样品不含蒙脱石而含有较多的高岭石和三水铝石以及褐铁矿等，其发育程度已经达到了红土化阶段。

青藏高原岩溶区残留的风化壳红土多为第三纪厚层风化壳的根部，其各种气候代用指标间接指示了高原晚第三纪即主夷平面发育时期的亚热带湿热气候环境。如红土中较高的粘粒质量分数、一般介于 2.7~3.5 之间的 $x(\text{SiO}_2)/x(\text{Al}_2\text{O}_3)$ 、平均 26% 左右的 Al_2O_3 和 13% 左右的 Fe_2O_3 含量、粘土矿物组合中平均为 16.55%，最高为 73% 的高岭石含量等，都是第三纪湿热气候的反映。

参考文献:

- [1] 崔之久, 高全洲, 刘耕年, 等. 夷平面、古岩溶与青藏高原隆升[J]. 中国科学(D 辑), 1996 26(4): 378~384.
- [2] 崔之久, 高全洲, 刘耕年, 等. 青藏高原夷平面与岩溶时代及其起始高度[J]. 科学通报, 1996 41(15): 1402~1406.
- [3] 刘东生. 黄土与环境[M]. 北京: 科学出版社, 1985. 481.
- [4] 吴正. 风沙地貌学[M]. 北京: 科学出版社, 1987. 316.
- [5] VLEETTER D R. Criteria and problems in estimating global nickel laterite resources[J]. Math Geol, 1978, 10: 533~542.
- [6] 郭旭东, 盛学斌. 我国海南岛第四纪玄武岩风化壳的地球化学特征[J]. 地理学报, 1980 35(2): 161~173.

The Sedimentary Geochemistry and Mineral Characteristics and Environmental Significance of the Laterites on Plateau of Tibet

GAO Quan-zhou^{*}, CUI Zhi-jiu, LIU Geng-nian, HONG Yun

Abstract: It was observed that the relative deposits of the Tertiary palaeokarst, i. e., limestone residual laterite, are widely distributed on the main planation surface of Plateau of Tibet. The frequency distribution curves of the finer grains in those residual laterites are relatively even and wide, except for some samples which have one or more peaks. SiO_2 , Al_2O_3 and Fe_2O_3 are three main parts in the clay minerals. The clay mineral compositions mainly belong to illite-kaolinite type, while a few samples are the kaolinite-illite types. Judged by the silica-alumina ratio and the clay mineral composition, the residual laterites reflect a kind of preliminary laterization processes. However, considering the vertical distribution of weathering degree in the weathering section, those residual laterites still reflect a kind of humid and hot climate, i. e., a kind of tropical or subtropical climate.

Keywords: residual laterite; planation surface; sedimentary environment; Tibetan Plateau

^{*} Department of City and Resource Planning, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China