云南西北部丽江—剑川地区古近纪宝相寺组石英砂颗粒表面特征

崔晓庄[1,2], 江新胜[2], 伍 皓[2], 熊国庆[2]
CUI Xiao-zhuang[1,2], JIANG Xin-sheng[2], WU Hao[2], XIONG Guo-qing[2]

1. 中国地质科学院 北京 100037;
2. 中国地质调查局成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081
1. *Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing* 100037, *China;*
2. *Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Chengdu* 610081, *Sichuan, China*

摘要: 石英砂具有丰富的颗粒表面特征, 是判别沉积环境的重要标志。利用扫描电镜对云南丽江—剑川地区宝相寺组(E_2b)的石英砂颗粒表面特征进行了系统分析: 下部样品具水成特征, 中部样品具风成特征, 上部样品则具经水流改造后的风成特征。结合野外观察结果, 从宝相寺组石英砂颗粒表面特征的变化规律可以看出, 下部为近源洪积环境、中部为风成沙丘环境、上部为湖泊环境。其中中部样品的石英砂磨圆、分选极好, 普遍具有标准的碟形、新月形撞击坑和毛玻璃化表面, 是典型的沙漠砂沉积。

关键词: 丽江—剑川地区; 古近纪; 宝相寺组; 石英颗粒表面特征; 古沙漠
中图分类号: P534.61+1; P588.21+2.3 **文献标志码**: A **文章编号**: 1671-2552(2011)08-1238-07

Cui X Z, Jiang X S, Wu H, Xiong G Q. Surface microscopic characteristics of quartz sand grains in the Paleogene Baoxiangsi Formation of Lijiang-Jianchuan area, northwestern Yunnan. *Geological Bulletin of China,* 2011, 30(8):1238-1244

Abstract: Quartz sand grains have a variety of surface characteristics, which could be used as the main indicators of their depositional environment. In the present study, the surface characteristics of quartz sand grains were systematically analyzed on the basis of the samples from varying levels of the Baoxiangsi Formation (E_2b) in Lijiang-Jianchuan area, Yunnan Province, by using electronic scan microscope. The results show that the grain surfaces of the samples from the lower part of the Baoxiangsi Formation have aqueous characteristics, those from the middle part have eolian characteristics, and those from the upper part have reworked eolian characteristics. It is thus concluded that the lower part is a proximal diluvial environment, the middle part is an eolian dune environment, and the upper part is a lake environment. Moreover, the quartz sand grains of the samples from the middle part are well sorted and rounded, and commonly have standard dish-shaped impact scars, crescent-shaped impact scars and frosted surface, suggesting typical desert sand sediments.

Key words: Lijiang-Jianchuan area; Paleogene; Baoxiangsi Formation; surface features of quartz sand grains; desert

石英具有较大的硬度和较高的化学稳定性, 其颗粒表面特征能很好地反映沉积环境, 利用扫描电镜研究石英颗粒表面特征是分析沉积环境行之有效的方法。迄今为止, 国内外已有不少学者利用这种方法进行沉积环境分析, 并取得了很好的成效[1-8]。

石英颗粒表面特征可分为机械成因、化学成因和表面附生物三大类[9-11]。机械成因的特征是颗粒在搬运过程中受到机械作用而产生的痕迹, 主要有磨

收稿日期: 2010-10-28; 修订日期: 2011-06-14
资助项目: 国家自然科学基金项目《青藏高原隆起前白垩纪时期东亚大气环境样式研究》(批准号: 40372064)和中国地质调查局青藏高原基础地质综合研究项目《青藏高原及邻区白垩纪构造-岩相古地理编图》(编号: 1212010610101)
作者简介: 崔晓庄(1984-), 男, 在读硕士, 从事沉积学研究。E-mail: cdcxiaozhuang@hotmail.com

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

圆度、碟形撞击坑、新月形撞击坑、V 形撞击坑、上翻解理薄片、贝壳状断口、直撞击坑、弯撞击沟、擦痕、平行解理台阶、平行解理面等。化学成因的特征是石英颗粒受沉积环境化学作用而产生的特征,主要分为 SiO_2 的溶蚀作用、沉淀作用和晶体生长 3 类,常见的有鳞片状剥落、深邃的溶蚀坑、溶蚀沟、方向性溶蚀坑、硅质球、硅质薄膜与石英、长石晶体等。表面附生物主要为生物、矿物和某些特定环境中的元素。

长期以来,对丽江—剑川地区宝相寺组(E_2b)的沉积环境存在不同的认识,有学者[12-13]认为是河湖相沉积,也有学者[14-15]认为是滨岸沙丘,还有沙漠沉积的观点[16-19]。通过对采自云南丽江—剑川地区宝相寺组不同层位的石英砂样品进行系统的颗粒表面特征分析,确定了沙漠的存在,揭示了宝相寺组自下而上由洪积扇经沙漠过渡到湖泊环境的演化历程,提高了宝相寺组沉积环境的研究程度,为青藏高原东缘气候研究增添了宝贵的证据。

1　地层系统与沉积环境

丽江—剑川地区位于云南西北部,构造上位于羊湖-金沙江-哀牢山结合带之东,扬子陆块盐源-丽江中生代边缘坳陷带之西,早白垩世至始新世末长期处于干旱环境之中[1,19-20]。研究层位宝相寺组(E_2b)为一套以紫红色为主,黄白、黄褐色为次的砾岩和砂岩,组成由粗到细的多个沉积旋回。区域上该组不整合于勐野井组(E_1m)或云龙组(E_1y)之上,连续沉积于金丝厂组(E_3j)之下,主要分布于兰坪、维西、剑川、鹤庆、丽江、中甸等地的山间或断陷盆地内[21-22]。本文研究剖面位于丽江市黎明乡和剑川县沙溪公社宝相寺一带(图 1)。宝相寺组三分性十分明显,自下而上可划分为 3 个部分。

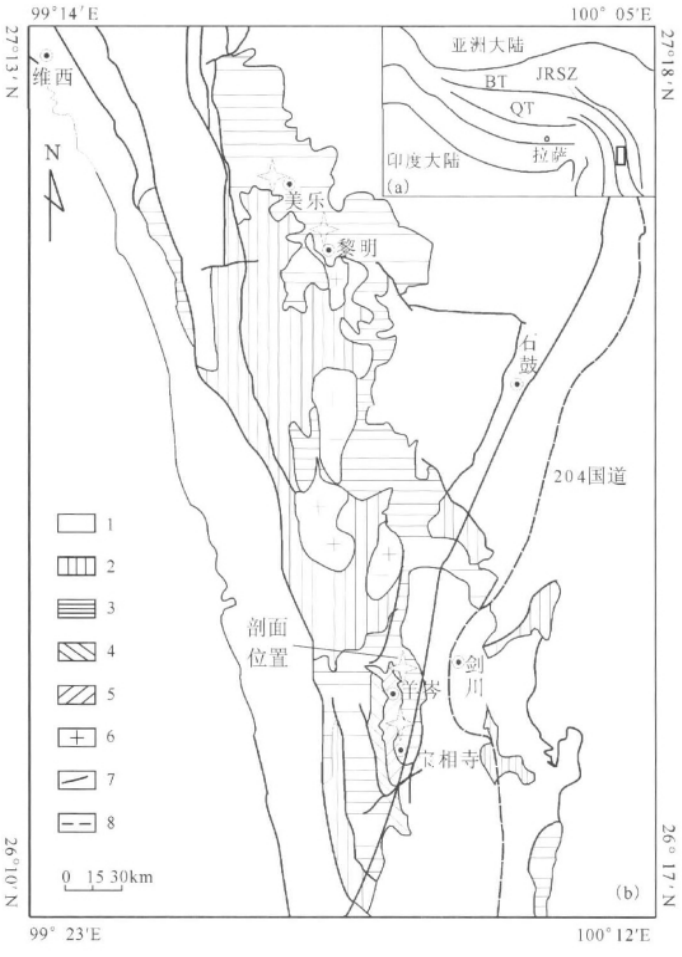


图 1　研究剖面的地理位置

(a 图据文献[5]修改;b 图据文献①修改)

Fig. 1　Location of the study section

1—前古近系基底和新近系、第四系;2—金丝厂组;3—宝相寺组;4—果郎组;5—云龙组;6—火山岩;7—断层;8—国道;BT—巴彦喀拉地体;QT—羌塘地体;JRSZ—金沙江缝合带

下部:紫红色厚层块状砂砾岩,分选、磨圆极差,砾石棱角状,大小悬殊,砾径为 2~50cm,长条状砾石多呈直立状,杂基支撑,构成“泥包砾”的现象,为典型的洪积扇沉积。

中部:紫红色块状中—细粒石英砂岩,不含泥质、云母等悬移质,大型高角度板状交错层理发育,层系厚度巨大,风成沙丘前积层特征明显,层组界面(风蚀面)平整,石英砂分选性、磨圆度极高,孔隙式胶结,胶结物为铁硅质,在电子显微镜下普遍可见风成沙特有的碟形撞击坑、新月形撞击坑、毛玻璃化表面等特征,确定为风成沙丘沉积[19]。

上部:灰黑色块状砾岩与紫红色含砾中—粗粒砂岩组成多套旋回,总体向上砂岩增多,砾石分选、磨圆差,基质胶结,胶结物为钙泥质,砂岩中可见平行层理、斜层理,砾岩具叠瓦状构造,底部冲刷-充填构造明显,其上为紫红色中厚层粉砂质泥岩、泥灰岩夹砂岩透镜体,水平层理发育,辫状河流和湖泊沉积特征明显,属水进型扇三角洲(湿地扇)与湖泊沉积。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

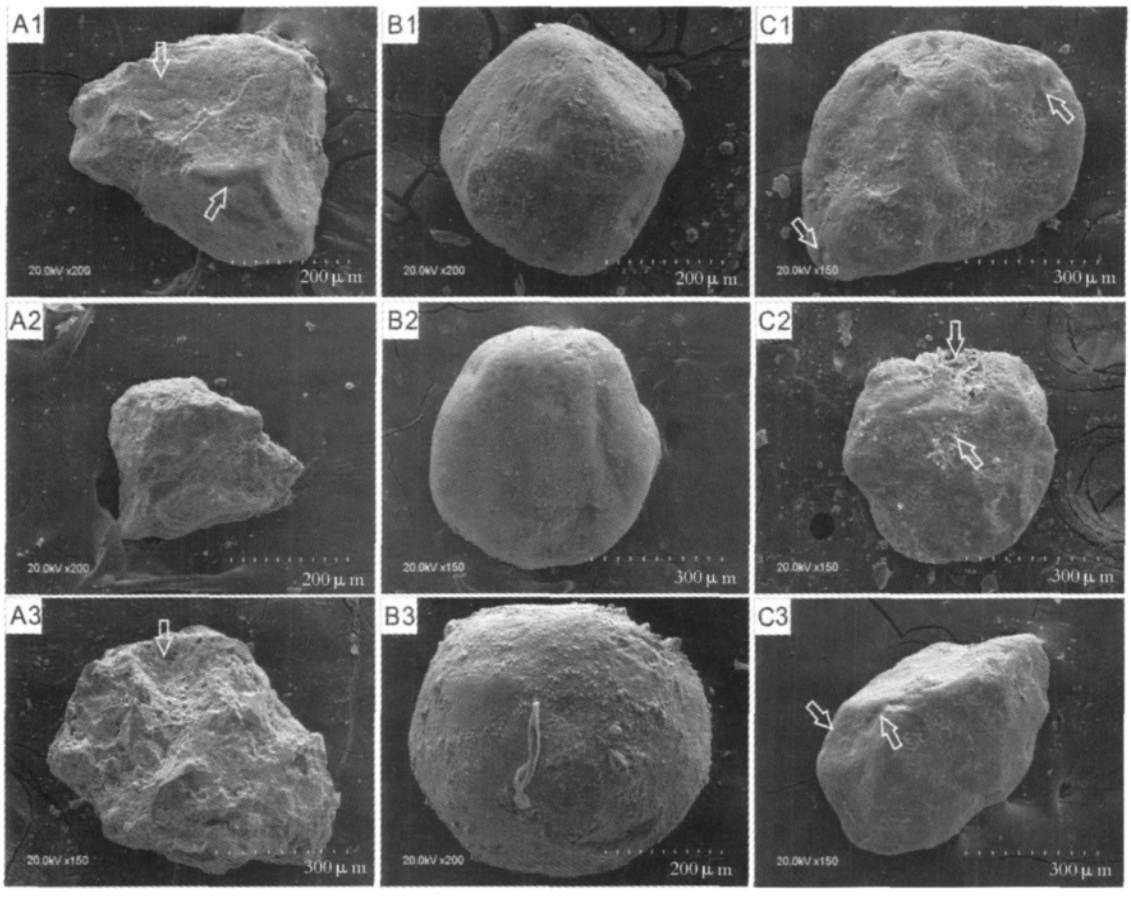
上述分析表明，云南丽江—剑川地区宝相寺组下部为干旱气候条件下的旱地扇沉积，中部应为干旱炎热气候条件下的沙漠沙丘沉积，上部则为潮湿气候条件下的湿地扇和湖泊沉积。

2 机械成因石英砂表面特征

(1)磨圆度:宝相寺组不同层位砂粒磨圆度差异极大。下部洪积扇沉积石英砂磨圆度极差,几乎全部为次棱角状(Ⅰ级)、棱角状(0级),反映了其近源快速堆积的特点(图版Ⅰ-A)。中部风成沙丘石英砂普遍具有极高的磨圆度，粗砂级颗粒最高可达浑圆状(Ⅳ级);中砂级颗粒可达Ⅲ级,为圆状颗粒;细砂级至少也在Ⅱ级以上,为次圆状。其磨圆度甚至比现代沙丘砂还高,这可能与成岩作用过程中石英的溶蚀、沉淀和重结晶有关(图版Ⅱ-B)。上部扇三角洲石英砂磨圆度虽不及中部风成沙，但也表现出较高的磨圆度,主要为圆状(Ⅲ级)、次圆状(Ⅱ级),偶见次棱角状(Ⅰ级)。可能的原因是其砂粒主要来自下伏风成沙丘,并经水成改造(图版Ⅰ-C)。

(2)碟形撞击坑和新月形撞击坑:碟形撞击坑为圆盘状撞击坑,是风成环境特有的标志。经研究,碟形撞击坑为磨圆度好的颗粒互相撞击的结果。由于颗粒磨圆度好,接触点作用力分散而均匀,所以尽管能量很高,也无法将砂粒击碎而成贝壳状断口,只能形成圆盘状撞击坑，这种撞击坑一般形成于强风暴之中[9-11]。新月形撞击坑也是风成环境中特有的,呈新月形,其成因与碟形坑相同,一般认为是碟形坑与V形坑的过渡类型。在所分析的下部洪积扇沉积样

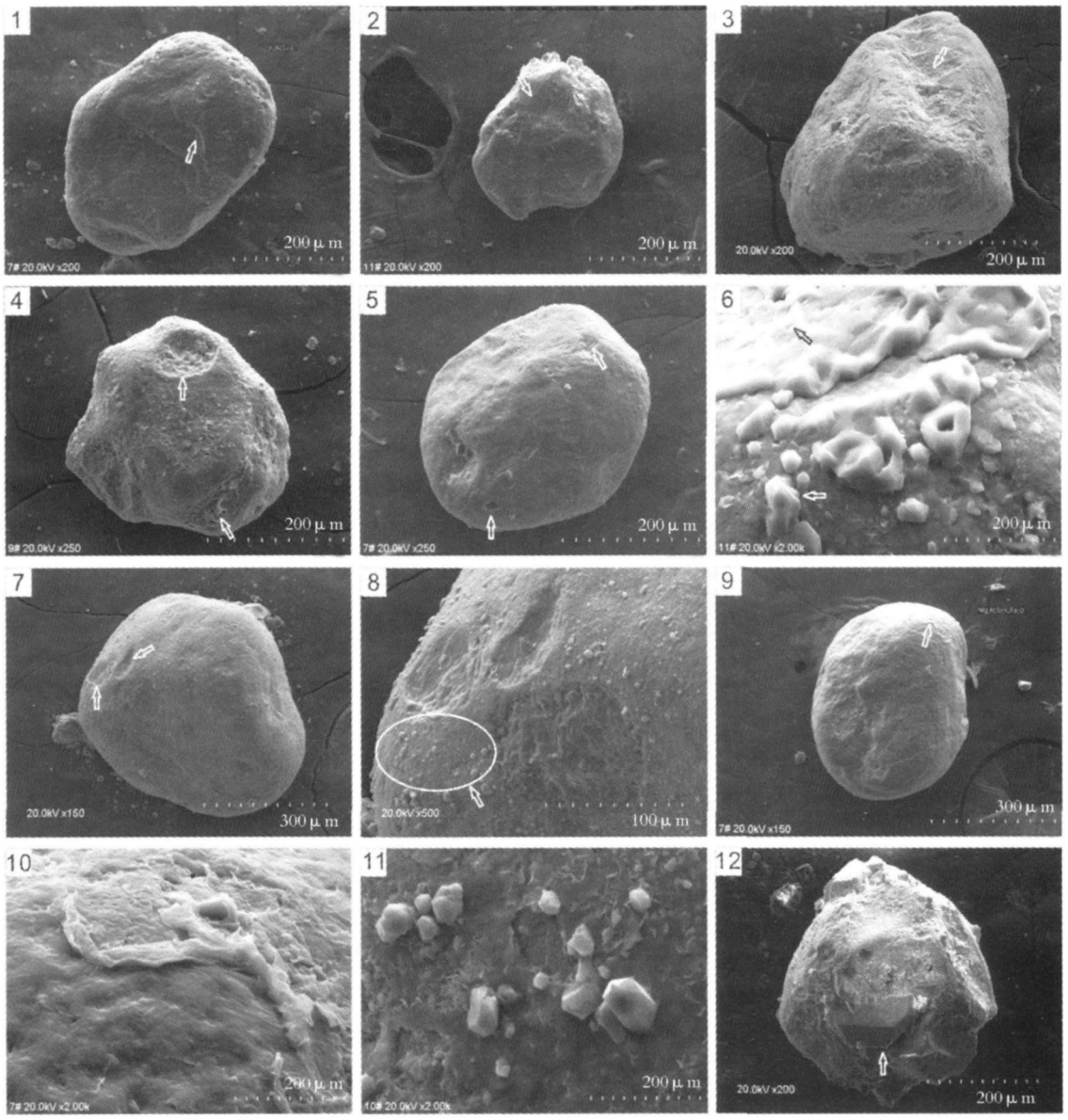
图版Ⅰ Plate Ⅰ



A—洪积扇:A1.磨圆极差的洪积扇石英颗粒,示经磨蚀的贝壳状断口、撞击沟,云南剑川宝相寺(BXS-2);A2.磨圆极差的洪积扇石英颗粒,云南剑川宝相寺(BXS-4);A3.磨圆极差的洪积扇石英颗粒,表面多石英重结晶晶体,示V形撞击坑,云南丽江黎明(LM-10)。 B—风成沙丘:B1.完全磨圆的风成沙丘石英颗粒,云南丽江黎明(LGP-1);B2.完全磨圆的风成沙丘石英颗粒,云南丽江黎明(LM-3);B3.完全磨圆的风成沙丘石英颗粒,云南丽江黎明(LM-5)。C—扇三角洲:C1.磨圆较好的扇三角洲石英颗粒,示V形撞击坑、撞击沟,云南丽江黎明(LM-2-1);C2.磨圆较好的扇三角洲石英颗粒,示凸起的硅质鳞片、鳞片状脱落,云南丽江黎明(LM-2-2);C3.磨圆较好的扇三角洲石英颗粒,示改造过的新月形撞击坑、碟形撞击坑,云南剑川宝相寺(BXS-6)

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

图版Ⅱ　Plate Ⅱ



1.完全磨圆的风成沙丘石英颗粒,示上翻解理薄片,云南丽江黎明(LGP-4);2.基本磨圆的风成沙丘石英颗粒(刚进入风成环境),示磨蚀的贝壳状断口,云南丽江黎明(LM-7);3.基本磨圆的风成沙丘石英颗粒(刚进入风成环境),示磨蚀和充填过的V形撞击坑,云南丽江黎明(LM-7);4.基本磨圆的风成沙丘石英颗粒,示碟形撞击坑、鳞片状脱落,云南丽江黎明(LGP-3);5.完全磨圆的风成沙丘石英颗粒,表面被硅质薄膜完全覆盖,示溶蚀坑、溶蚀沟,云南丽江黎明(LGP-6);6.局部放大的风成沙丘石英颗粒,示方向性溶蚀坑、石英晶体,云南丽江黎明(LGP-6);7.完全磨圆的风成沙丘石英颗粒,示新月形撞击坑、碟形撞击坑,云南丽江黎明(LGP-7);8.图7局部放大,示硅质球,云南丽江黎明(LGP-7);9.完全磨圆的风成沙丘石英颗粒,表面被硅质薄膜完全覆盖,局部硅质薄膜包卷,云南丽江黎明(LGP-10);10.图9局部放大,示包卷的硅质薄膜,已露出毛玻璃化表面,云南丽江黎明(LGP-10);11.局部放大的风成沙丘石英颗粒,示石英晶体,针状矿物为重结晶的粘土,云南丽江黎明(LGP-11);12.磨圆较好的扇三角洲石英颗粒,示重结晶的长石晶体,云南丽江黎明(LGP-14)

品中未见碟形和新月形撞击坑，而中部风成沙丘样品二者皆普遍可见,且非常标准(图版Ⅱ-4、7);上部扇三角洲沉积样品中也常见碟形撞击坑和新月形撞击坑,但明显经过改造,与风成沙丘样品比较,已不标准(图Ⅰ-C3)。

(3)上翻解理薄片:由颗粒之间的磨蚀形成,在

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

颗粒棱上较多,而凹坑内基本没有,磨圆度较好的颗粒上比较普遍[9-11]。因此一般认为,上翻解理薄片在风成环境中最为发育,但并非风成环境中特有[1-3]。在所分析的宝相寺组中部风成沙丘样品中常见,解理薄片边缘常有 SiO_2 溶蚀沉淀加厚(图版Ⅱ-1)。

(4)贝壳状断口:形态一般呈圆盘状或扇形,见平行解理纹,在弧形面上极像贝壳同心纹,因而得名。贝壳状断口一般在冰川环境中大量产生。高能水成环境中由于水起了缓冲垫的作用,颗粒破碎几率小,因此产生的贝壳状断口少且面积较小(图版Ⅰ-A1),而中低能量水下环境则不会产生[9-11]。一般在风成环境中少见,仅在刚进入风成环境中不久的颗粒上偶尔见及(图版Ⅱ-2)。

(5)V形撞击坑:主要发生于水下环境,为机械碰撞、磨损的痕迹,代表高能机械环境,在所分析的下部样品中常见,虽然其中有些表面覆盖有石英晶体,但仍清晰可辨(图版Ⅰ-A3)。在所分析的刚进入风成环境的沙丘样品中可见V形撞击坑已有不同程度的磨损和充填(图版Ⅱ-3),笔者认为这是残留的水成环境特征,因进入风成环境不久,尚未被完全改造。在宝相寺组上部样品中可见明显的V形撞击坑叠合在风成特征之上(图版Ⅰ-C1),但其分布密度不高,这反映上部样品的石英颗粒曾经历了2次搬运且搬运距离不远。

(6)直撞击沟和弯撞击沟:主要出现在河湖相环境中,代表高能水下环境。在宝相寺下部洪积扇和上部扇三角洲样品中可见(图版Ⅰ-A1、C1),笔者认为它们可能形成于扇面河道之中。进入风成环境后,由于深度较小,极易被磨蚀掉,因此在风成沙颗粒中未见。

3 化学成因石英砂表面特征

3.1 溶蚀作用

石英颗粒的强烈溶蚀作用是炎热气候的产物,反映了高能化学环境。石英具有较高的化学稳定性,在水中溶解度很小,但在沙漠中,夜间凝结水的pH值因其中有溶解的盐类而升高,使得砂粒表面有少量 SiO_2 被溶解[9-11]。白昼气温升高时,凝结水被蒸发,SiO_2 又重新沉淀。应当说明的是,后期的表生风化作用也是导致强烈溶蚀的因素之一。

在所分析的样品中,中部和上部的石英颗粒化学溶蚀作用相当强烈,主要表现为鳞片状剥落、深邃不规则溶蚀坑、溶蚀沟十分发育,也见方向性溶蚀坑。

(1)鳞片状剥落:据研究,鳞片状剥落是石英晶面的解体现象,是原始石英颗粒晶体网格有严重缺陷,化学溶蚀沿着这些缺陷发育而成的化学崩落现象[9-11]。溶蚀作用首先沿着晶面缺陷、杂质或机械破损处开始,然后逐步扩大,解理被分割,形成厚度不等、大小不一的解理片,甚至进一步解体成鳞片。鳞片的轮廓为不规则的锯齿状或完全不规则的形态,并有明显从载体上脱落的倾向。在风成沙丘样品中普遍可见(图版Ⅱ-4)。在上部扇三角洲石英砂颗粒样品中也出现较多(图版Ⅰ-C2),笔者认为这可能是来自下伏风成沙丘的石英砂进入水体时间较短,尚未被充分改造,从而得以残留的风成特征。

(2)深邃不规则溶蚀坑和溶蚀沟:晶面解体带和晶面非解体带之间存在着一个过渡带。当化学溶蚀作用深入到过渡带时就形成了深邃的溶蚀沟和溶蚀坑。这个现象在所分析的风成沙丘样品中十分发育,往往形成蜂窝状溶蚀坑,有些可沿微裂缝形成溶蚀沟(图版Ⅱ-5)。

(3)方向性溶蚀坑:被认为是晶面非解体带晶面上沿晶体结构产生的一种形态为近等腰三角形的溶蚀坑。其形态规则,无机械破裂的痕迹,有一定的方向性,且成簇出现。这种现象在所分析的风成沙丘样品中也可见及(图版Ⅱ-6)。

3.2 沉淀作用

显著的沉淀作用往往与强烈的溶蚀作用相伴生。尤其在风成环境中,干湿变化极为明显,但孔隙水不饱和,不易带走溶蚀的 SiO_2,仅在颗粒表面就近沉淀,因此沉淀现象十分明显。根据沉淀程度不同,本次分析可见的 SiO_2 沉淀形态大致可分为硅质球、凸起状硅质鳞片和硅质薄膜。①硅质球:为 SiO_2 沉淀的初始作用。形状为圆球形或近圆球形,直径平均为0.05~0.25μm。是风成环境和成岩作用中常见的现象[9-11],在所分析的风成沙丘样品中常见(图版Ⅱ-8)。②凸起的硅质鳞片:为 SiO_2 进一步沉淀,硅质球互相集聚而成的。形状似鳞片状或花瓣状,在分析样品中也可见及(图版Ⅰ-C2)。③硅质薄膜:鳞片状 SiO_2 沉淀进一步大面积扩展,甚至包裹整个颗粒而成。在炎热干旱的沙漠环境中,易形成包卷的硅质薄膜。在所分析的宝相寺组中部风成沙丘样品中常见(图版Ⅱ-5、9)。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

3.3 结晶作用

上述化学沉淀物及一些外来物质在一定温度、压力条件下可发生晶体生长现象,如石英(图版Ⅰ-A3,图版Ⅱ-6、11)、粘土(图版Ⅱ-11)、长石(图版Ⅱ-12)。一般认为这些特征仅反映次生作用特征,不反映沉积环境特征[2-3]。

此次所分析的样品中,风成沙丘石英颗粒上的晶体一般生长在颗粒的凹陷部位,形态多为"小晶簇"和夷平状且数量较少,而洪积扇和扇三角洲石英颗粒上的晶体多数生长在颗粒的棱角上,形态呈"大晶柱"且数量较多。这可能是由二者成岩环境的 pH 值、杂基含量、孔隙水含量及孔隙大小的差异所造成的[23-24]。

除上述机械成因与化学成因的特征外,还可见到一些附生于石英颗粒表面的粘土、氧化物、微量元素和生物化石,主要有龟裂纹、沙漠漆、泥套、孢粉化石等。由于这些表面附生物特征对于判别沉积环境无重要指示意义,因此本文不作详细讨论。

4 结论与讨论

对采自云南丽江—剑川地区宝相寺组(E_2b)不同层位的石英砂样品进行了颗粒表面特征系统分析,结果表明:①宝相寺组下部洪积扇石英颗粒具有明显的水成特征:磨圆度极差,最重要的特征是产生于强烈机械撞击下的不规则外形和锯齿形脊线,可见代表高能水下环境的贝壳状断口、V 字形撞击坑、撞击沟等,有些颗粒表面有 SiO_2 重结晶现象;②中部风成沙丘石英颗粒具明显的风成特征:磨圆度极好,表面无光泽呈毛玻璃化,普遍可见产生于高能风成环境下标准的碟形撞击坑和新月形撞击坑,较常见上翻解理薄片,仅在进入风成环境不久的颗粒上偶见经磨蚀和充填过的 V 形撞击坑和贝壳状断口,不见撞击沟,且代表高能化学环境的 SiO_2 溶蚀和沉淀作用强烈;③上部扇三角洲石英颗粒则具经水流改造后的风成特征:磨圆度较好,常见经水流改造后的碟形撞击坑、新月形撞击坑等风成特征,较常见叠加在风成特征之上的 V 形撞击坑、撞击沟等水成特征。

风成沙丘主要沉积于滨岸和沙漠 2 种环境之中。通过上述研究和综合前人的资料[7-11,25-28],笔者认为滨岸沙丘与沙漠沙丘主要存在以下区别。①石英颗粒表面特征:由于滨岸沙丘距离物源较近,故其石英颗粒表面除常见的碟形撞击坑、新月形撞击坑、毛玻璃化等风成特征外,还常见 V 形撞击坑、撞击沟等水成特征,且风成特征主要叠合在水成特征之上。另外,由于滨岸沙丘富含氧化铝和腐殖酸化合物,且沙漠沙丘石英颗粒在夜间溶蚀的 SiO_2 又沉淀在颗粒表面,故滨岸沙丘较沙漠沙丘化学溶蚀作用强烈,而化学沉淀作用弱。②准同生变形构造:为滨岸沙丘重要的沉积构造特征。由于滨岸湿度较大,因此滨岸沙丘沙在下落时趋向于成块发生滑动、崩塌,从而形成混杂生物碎屑的角砾构造、层间的剪切面、扭曲层理、包卷层理等,而这些准同生变形构造在沙漠沙丘中极少见。③杂基和胶结物类型:滨岸沙丘中常见云母、孢粉、贝壳碎屑及类似的重矿物组合,胶结物主要为代表大气淡水胶结作用的粒状低镁方解石,而沙漠沙丘中无杂基,基本不含云母及粘土悬移物质,胶结物主要为铁硅质。④沉积厚度:滨岸沙丘沉积厚度一般为数十米,而沙漠沙丘沉积厚度一般可达数百米。研究区风成沙丘完全不具上述滨岸沙丘的特征,而与沙漠沙丘的特征基本一致。因此,结合野外调查结果,笔者认为宝相寺组中部风成沙丘应属沙漠风成沙丘。

丽江黎明乡和剑川沙溪公社宝相寺的宝相寺组研究剖面底部均大量发育泥石流沉积,属洪积扇环境;丽江黎明乡宝相寺组研究剖面中部发育巨厚的风成沙丘沉积(实测剖面 LGP),厚逾 300m,应属沙漠环境;上部发育水进型扇三角洲沉积,属湖泊环境。虽然此次剑川沙溪公社宝相寺的宝相寺组研究剖面未见风成沙丘,但上部扇三角洲沉积的石英砂普遍具有经水流改造后的风成特征,未见风成沙丘沉积的原因有相变、剥蚀或未出露,有待进一步研究。

综上所述,云南丽江—剑川地区宝相寺组(E_2b)沉积序列自下而上为洪积扇—沙漠—湖泊,与广义沙漠的沉积序列(洪积扇—沙漠—干盐湖)[1-3,29-32]相比可以看出,中、下部属于广义的沙漠沉积序列,而上部则变为正常湖泊沉积序列,这可能是研究区在晚始新世存在一个明显由干旱到潮湿的气候转变的原因[19-20,33]。这种气候转变应与同期特提斯残留海分别从藏南、塔里木的逐渐退出和青藏高原的初次快速隆升有关[12,34-35]。

致谢:石英颗粒表面特征电镜扫描工作由国土资源部西南矿产资源监督检测中心徐金沙老师完成,在此表示衷心的感谢。

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

参考文献

[1]江新胜,潘忠习.中国白垩纪沙漠及气候[J].北京:地质出版社,2005:1-43.

[2]江新胜,徐金沙,潘忠习.鄂尔多斯盆地白垩纪沙漠石英砂颗粒表面特征[J].沉积学报,2003,21(3): 416-422.

[3]江新胜,徐金沙,潘忠习.四川盆地白垩纪沙漠石英砂颗粒表面特征[J].沉积与特提斯地质,2003,23(1): 60-68.

[4]韩建恩,余佳,孟庆伟,等.西藏札达盆地沉积物的石英砂表面特征及其环境意义[J].地球学报,2009,30(5): 651-658.

[5]宋春晖,孟庆泉,夏维民,等.青藏高原北缘古近纪石英砂表面特征及其古环境意义[J].沉积学报,2009,27(1): 94-103.

[6]高存海, 穆桂金, 闫顺,等. 塔克拉玛干沙漠深部石英砂微结构特征及其环境意义[J]. 地质论评,1995,41(2): 152-160.

[7]David H Krinsley,Jack Donahue.Environmental Interpretation of Sand Grain Surface Textures by Electron Microscopy[J]. Geological Society of America Bulletin, 1968,79(6):743-748.

[8]Omran E Frihy,Daniel Jean Stanley.Quartz Grain Surface Textures and Depositional Interpretations[J]. Marine Geology,1987,77:247-255.

[9]陈丽华,缪昕,于众.扫描电镜在地质上的应用[M].北京:科学出版社,1986.

[10]陈丽华,缪昕,魏宝和.扫描电镜在石油地质上的应用[M].北京:科学出版社,1990.

[11]谢又与.中国石英砂表面结构特征图谱[M].北京:海洋出版社,1984.

[12]周江羽,王江海,An Yin,等.青藏高原东缘古近纪粗碎屑岩沉积学及构造意义[J].地质学报,2003,77(2):262-271.

[13]牟传龙,王剑,余谦,等.兰坪中新生代沉积盆地演化[J].矿物岩石,1999,19(3):30-36.

[14]潘桂棠,王培生,徐耀荣,等.青藏高原新生代构造演化[M].北京:地质出版社,1990:14-70.

[15]李兴振,江新胜,孙志明,等.西南三江地区碰撞造山过程[M].北京:地质出版社,2002:67-72.

[16]董光荣,王贵勇,陈惠忠,等.中国沙漠形成、演化与青藏高原隆升的关系[C]//中国青藏高原研究论文集. 北京:气象出版社, 1995:13-29.

[17]江新胜,陈乐尧,李玉文.西南区白垩纪第三纪沙漠及沉积学问题[J].岩相古地理,1992,(5):1-66.

[18]李勇,侯中健,司光影,等.青藏高原东缘新生代构造层序与构造事件[J].中国地质,2002,29(1):30-36.

[19]伍皓,崔晓庄,熊国庆,等.云南丽江古近纪风成沉积的发现及其气候意义[J].沉积与特提斯地质,2011,待刊.

[20]赵锡文.古气候学概论[M].北京:地质出版社,1992:131-150.

[21]云南省地质矿产局.云南省岩石地层[M].武汉:中国地质大学出版社,1996:259-260.

[22]云南省地质矿产局.云南省区域地质志[M].北京:地质出版社,1990:236-253.

[23]姜在兴.沉积学[M].北京:石油工业出版社,2003:36-43.

[24]冯增昭,王英华,刘焕杰,等.中国沉积学[M].北京:石油工业出版社,1994:41-50.

[25]Coike R, Warren A, Goudie A. Desert Geomorphology[M]. London: UCL Press, 1993.

[26]吴正,吴克刚,黄山,等.华南沿海全新世海岸沙丘研究[J].中国科学(B 辑),1995,25(2):211-218.

[27]吴正.我国内陆沙漠与海岸沙丘石英颗粒表面结构的对比研究[J].中国沙漠,1995,15(3):201-206.

[28]江新胜,潘忠习,徐金沙,等.江西信江盆地晚白垩世风成沙丘的发现及其古风向[J].地质通报,2006,25(7): 833-838.

[29]李玉文,陈乐尧,江新胜. 西南区白垩第三纪沙漠相及其意义[J].岩相古地理,1988,6:1-14.

[30]Ahlbrandt T S, Fryberger S G. Introduction to eolian deposits[C]// Scholle P A, Spearing D R. Sandstone Depositional Environments. Men. Am. Assoc. Pet. Geol., 1982, 31: 11-47.

[31]Reineck H E, Singh I B. Depositional sedimentary environments [M]. New York: Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg,1975:180-208.

[32]Bigarella J J. Eolian environments: their characteristics, recognition, and importance[C]//Recognition of ancient sedimentary environments. Spec. Publ. Soc. Econ., Talsa, 1972, 16: 12-62.

[33]Xiangjun Sun, Pinxian Wang. How old is the Asian monsoon system?—Palaeobotanical records from China[J]. Palaeogeography,Palaeoclimatology, Palaeoecology,2005,222:181-222.

[34]ZHANG KeXin, WANG GuoCan, CAO Kai, et al. Cenozoic sedimentary records and geochronological constraints of differential uplift of the Qinghai-Tibet Plateau[J]. Science in China (Series D), 2008, 51(11): 1658-1672.

[35]Bosboom R E, Dupont-Nivet G, Houben A J, et al. Late Eocene sea retreat from the Tarim Basin (west China) and concomitant Asian paleoenvironmental change[J]. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 2011, 299: 385-298.

① 云南省地质矿产局.1:20 万维西幅、兰坪幅地质图. 1984、1974.

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net