

文章编号:1009-3850(2011)01-0013-06

## 云南丽江古近纪风成沉积的发现及其气候意义

伍 皓<sup>1</sup>, 崔晓庄<sup>1,2</sup>, 熊国庆<sup>1</sup>, 张予杰<sup>1</sup>, 江新胜<sup>1</sup>

(1. 成都地质矿产研究所, 四川 成都 610081; 2. 中国地质科学院, 北京 100037)

**摘要:**云南丽江地区宝相寺组( $E_2b$ )下部(原美乐组)一直被认为是水成沉积, 本文认为其属于风成沉积。宝相寺组下部巨厚砂岩的主体岩性为紫红色中细粒石英砂岩, 不含泥质和云母等悬移质, 大型高角度平板状交错层理发育, 厚度巨大, 风成沙丘前积层特征明显。石英砂的磨圆度高, 在电子显微镜下普遍可见风成砂所特有的碟形撞击坑、新月型撞击坑及毛玻璃化表面等特征, 可能为沙漠风成沙丘沉积。研究区古近纪以来的沉积特征表明, 青藏高原东部的气候经历了一个由干旱到潮湿的重大转变。推测这种气候转变可能是始新世、渐新世之交全球变冷变干事件(EOGM)在青藏高原东部的沉积响应, 也可能与青藏高原初次快速隆升及东亚古季风的开始形成有关。

**关键词:**始新世末; 宝相寺组; 风成沙丘; EOGM; 古季风

中图分类号:P532

文献标识码:A

1:20万维西幅丽江金庄区美乐第三系实测剖面发现(云南省地矿局, 1984):宝相寺组下部(原美乐组)紫红色巨厚层长石石英砂岩中发育多组大型斜层理, 层理面与上层面交角 $15\sim 30^\circ$ , 与下层面交角 $5\sim 15^\circ$ , 斜层理组厚 $1\sim 3\text{m}$ , 认为属急流型河床相或河漫滩相的水成沉积。李兴振等(2002)于剑川羊岑一带, 见相同层位发育具巨型板状交错层理的黄色中粒砂岩, 分选极好, 磨圆中等, 钙质胶结, 层厚达 $5\text{m}$ 以上, 推测为风成滨岸沙丘沉积<sup>[1]</sup>。可以看出, 前人仅从砂岩野外宏观特征来判断其沉积环境, 缺乏微观特征的定相依据, 因而得出了不同的看法。本文基于前人研究, 通过对美乐剖面野外详细观察, 并于黎明、黎光一带进行了系统采样, 对样品进行薄片鉴定、粒度分析和电镜扫描等测试, 经过宏观与微观相结合的系统分析后, 证实上述砂岩段确属风成沙丘沉积, 进一步综合分析后认为该风成沙丘可能形成于沙漠环境。本文的观点对于认识始新世、渐新世之交全球变冷变干事件在青藏高原东缘的沉积响应、进一步了解现代东亚季风系统建立前青藏高原东缘的古气候状态具有重要意义。

### 1 区域地质背景

研究区位于丽江西北, 距丽江约 $155\text{km}$ , 为典型的丹霞地貌出露区<sup>[2]</sup>。据区域地质资料, 研究区位于泛华夏大陆晚古生代羌塘-三江构造区德格-中甸陆块的中咱-中甸地块上, 介于金沙江东侧巴塘-日雨-哀牢山断裂与德来-定曲、木龙-黑惠江断裂之间。区内古近系始新统自下而上为美乐组( $E_2m$ )、宝相寺组( $E_2b$ )。美乐组未获化石, 在川阱之东不整合在古新统云龙组之上, 与上覆含始新世化石的宝相寺组呈整合接触, 因此归入始新统。上世纪90年代全国地层清理时, 将其归为宝相寺组下部地层<sup>[3]</sup>。本文采用此种地层划分方案。宝相寺组( $E_2b$ )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, 为一套红色为主的粗碎屑沉积。不整合于勐野井组( $E_1m$ )之上, 除丽江美乐与上覆金丝厂组( $E_3j$ )整合接触外(图1), 其它地区多被上覆地层不整合覆盖, 厚 $212.7\sim 1359.2\text{m}$ <sup>[4]</sup>。

收稿日期: 2011-10-14; 改回日期: 2011-01-06

作者简介: 伍皓(1984—), 男, 学士, 助研, 从事沉积学研究

资助项目: 国家自然科学基金项目(批准号: 49572113); 青藏高原基础地质综合研究项目(编号: 1212010610101)

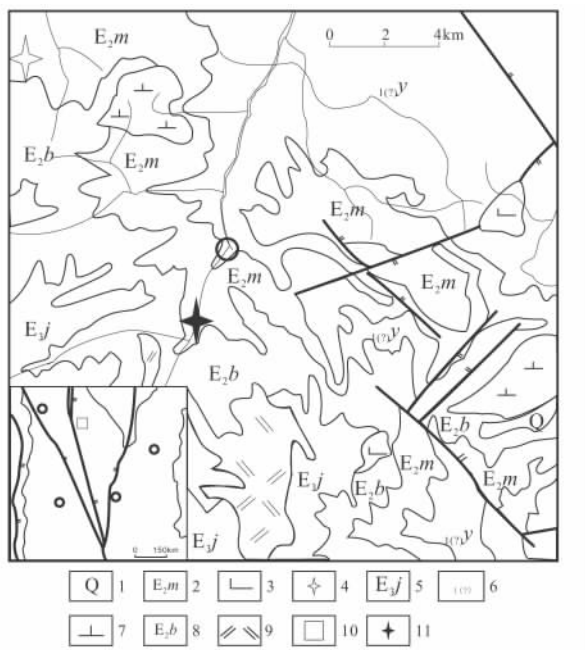


图1 研究区地质简图

1. 第四系; 2. 金丝厂组; 3. 宝相寺组; 4. 美乐组; 5. 羊坡组; 6. 石英二长斑岩; 7. 煌斑岩; 8. 闪长玢岩; 9. 研究区; 10. 剖面点; 11. 采样点

Fig. 1 Schematic geological map of the study area

1 = Quaternary; 2 = Jinsichang Formation; 3 = Baoxiangsi Formation; 4 = Meile Formation; 5 = Yangpo Formation; 6 = beschtauite; 7 = lamprophyre; 8 = diorite porphyrite; 9 = study area; 10 = studied section; 11 = sampling site

## 2 岩性特征

美乐剖面为宝相寺组次层型剖面,距黎明约10km,由灰紫色砾岩、具大型斜层理砂岩、紫红色砾岩、水平层理砂岩组成,厚1359.2m。底部灰紫色、紫红色厚层至块状砾岩,无分选或分选很差,磨圆度中等一较差。下部巨厚状砖红色、灰白色含长石英砂岩,收敛型斜层理很发育;中部砾岩层由砖红色、紫红色砾岩、钙质含岩屑石英砂岩、钙质粉砂岩或粉砂质灰岩组成小旋回;上部砂岩层为灰白色石英砂岩夹细砾岩,上部夹泥灰岩。砂岩中含植物碎屑,泥灰岩中含介形虫及植物化石,具水平纹层等(图2)。笔者对下部具大型斜层理巨厚层砂岩样品进行镜下鉴定的结果表明,该段砂岩结构成熟度较高,颗粒支撑,孔隙式胶结,胶结物多为方解石、硅质,不含杂基,尤其是其不含粉砂、泥和云母片等悬移质,石英普遍有次生加大现象(图3a);矿物成熟度较高,多为紫红色中细粒岩屑石英砂岩,石英含量大于75%,岩屑占15%~20%,含少量钾长石和酸性斜长石;且多见由沙漠期后期风化而成的较规则铁泥质包裹边(图3b)。上述特征与晚白垩世云

南思茅盆地扒沙河组<sup>[5]</sup>及江西信江盆地塘边组<sup>[6]</sup>风成砂岩特征基本相同,具有风成沙丘沉积的基本特征。

## 3 构造特征

宝相寺组最具特色、发育最广的沉积构造为大型、巨型交错层理,主要为平板状交错层理(图2a)和楔板状交错层理(图2-b)。平板状交错层理单个层系厚度巨大(2~3米至数十米),倾向十分稳定。倾角极高,层理上端与上覆层底面高角度相交,局部可达30°左右。向下变小,与下伏层顶面相切。层理面上凹,顶底界面横向上近水平、近平行稳定延伸。单个交错层理厚度自上而下加大,厚2~5cm,由均匀的中细粒砂组成,层理间常有极薄的极细的砂纹层相隔(图4a)。楔板状交错层理除顶、底间界面相交外,其它特征与平板状交错层理相同。此外,局部前积纹层中可见风成沙丘因粘滞作用和压性崩塌而形成的特有的褶皱变形准同生构造(图4a)。亦发现a型层理(图4b)、b型层理(图4c),其形成原理是风成沙波的顶脊和前积一般为粗粒物质,而波谷往往为较细物质(和水成沉积刚好相反)在运移过程中较高处的粗粒物质埋住低处的细粒物质,形成反粒序层理(a型层理)。如果沙量少于沙波搬运量,沙波运移的痕迹就会呈单个纹层记录下来,形成不连续的或纹层状(粗粒被细粒隔开)层理(b型层理)。上述特征在水成沉积中均无法见到,与众多文献中<sup>[5~11]</sup>描述的风成沙丘的沉积构造特征一致。从沉积构造特征来看,该段砂岩应为风成沙丘沉积。

## 4 结构特征

对宝相寺组的8个样品进行了薄片法粒度分析,并采用常用标准对粒度参数进行了分析。结果表明,粒级分布多集中于2~4Φ(细砂)之间,说明该组砂岩以细砂岩为主。标准偏差全部集中于0.2~0.50之间。按福克(1957)分级,属分选性好-很好。偏度大于0.3(极正偏)者占12.5%,0.1~0.3(正偏)者占12.5%,0.1~0.1(近对称)者占62.5%,0.3~0.1(负偏)者占12.5%。按一般情况,微正偏是风成砂的特点。峰态参数均大于2.4,为很窄-非常窄峰态分布。粒度曲线(图5)显示样品以跃移总体为主,达95%以上,几乎不含牵引和悬浮总体,斜率高,粒度高度集中的分布特点。上述参数与成都地质学院陕北队(1978)<sup>[12]</sup>及江新胜(2005)<sup>[7]</sup>等所描述的多数风成砂判别标准相吻合,

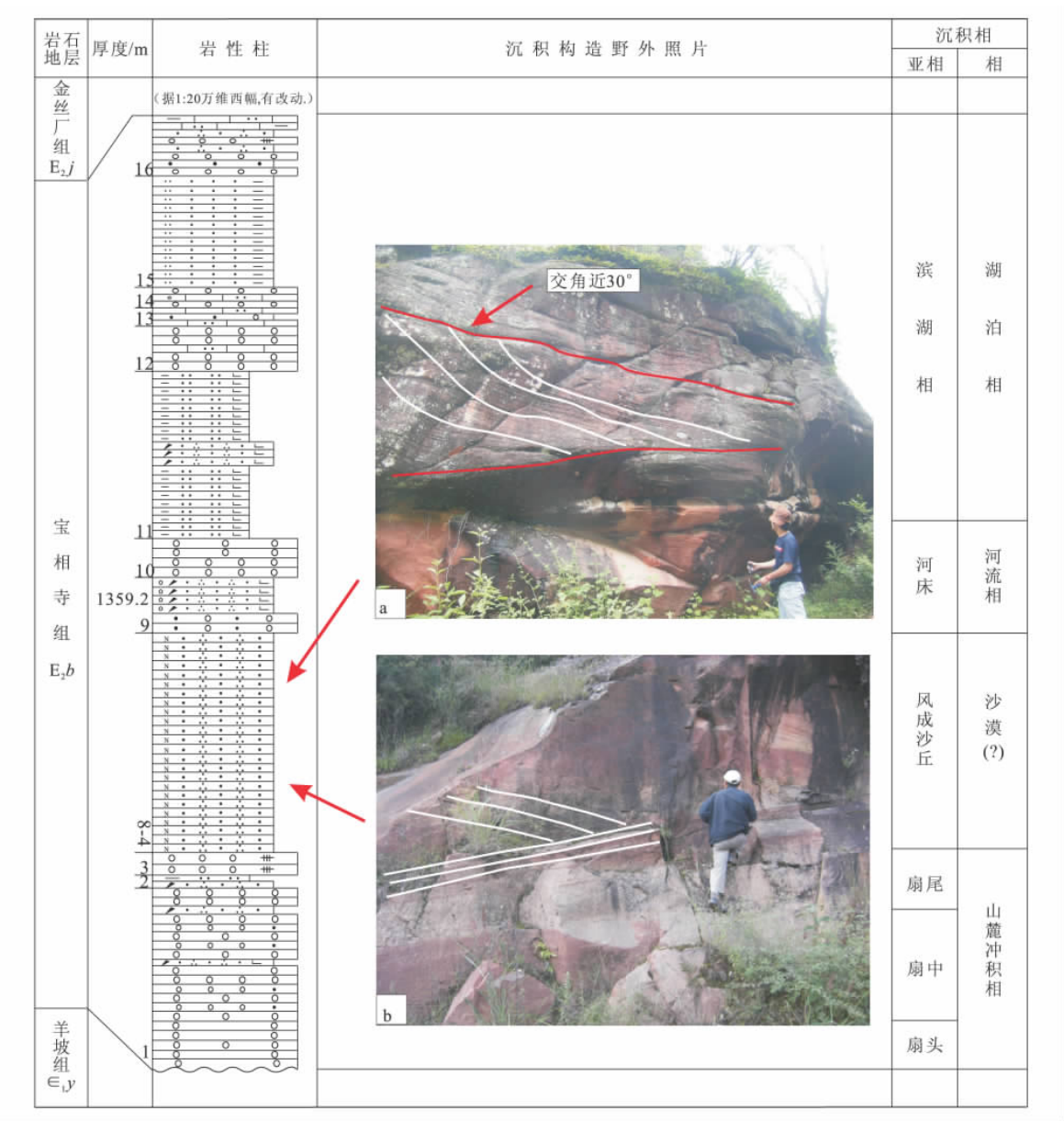


图2 黎明地区宝相寺组(  $E_2b$  ) 沉积相结构柱状图  
a-大型平板状交错层理; b-大型楔板状交错层理

Fig.2 Sedimentary facies column of the Baoxiangsi Formation in the Liming region  
a. Large-scale tabular cross-bedding; b. Large-scale wedge-tabular cross-bedding

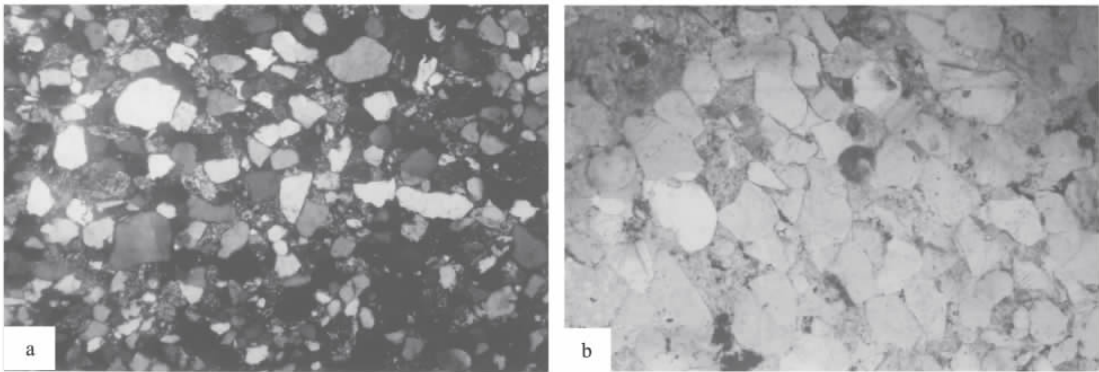


图3 宝相寺组(  $E_2b$  ) 砂岩岩石特征

Fig.3 Petrographic features of the Baoxiangsi Formation sandstones

图4 宝相寺组( $E_2b$ )砂岩内部构造特征

a-前积层; b-a型层理; c-b型层理

Fig. 4 Internal structures of the Baoxiangsi Formation sandstones

a. Foresets; b. A-type bedding; c. B-type bedding

说明样品应为风成沙丘砂岩。

按照砂粒圆度6级划分法<sup>[9]</sup>,宝相寺组砂岩的颗粒形态多数为圆形和滚圆形,少数为次圆形,极个别为次棱角形。在电子显微镜下普遍可见风成砂特有的碟形撞击坑、新月形撞击坑和毛玻璃化表面等特征(图6),这与江西信江盆地<sup>[6]</sup>、鄂尔多斯盆地<sup>[14]</sup>、四川盆地<sup>[15]</sup>等的白垩纪风成砂颗粒表面特征完全相同。因此,从沉积结构特征来看,宝相寺组该段砂岩应为风成沙丘沉积。

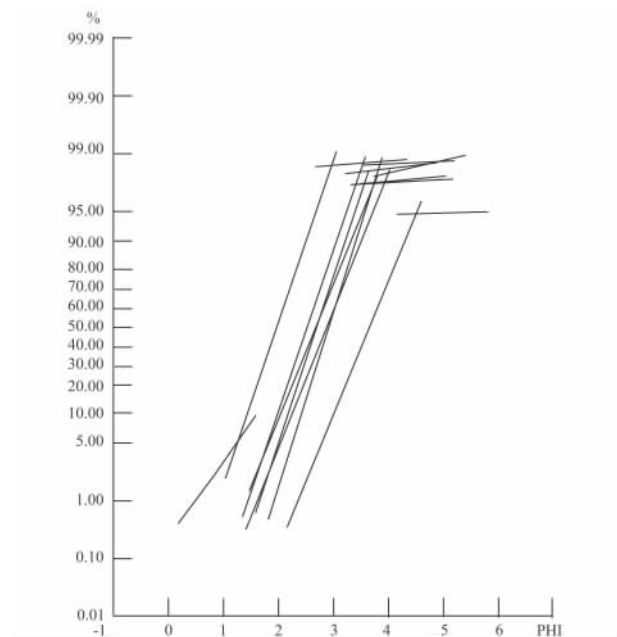
图5 宝相寺组( $E_2b$ )砂岩概率累积曲线图

Fig. 5 Grain-size probability cumulative curves for the Baoxiangsi Formation sandstones

## 5 结论与讨论

一般来说,风成沉积与水成沉积露头非常相像,但风成砂具有易于识别的大型高角度( $>30^\circ$ )

交错层理且层系厚度巨大。风成砂岩颜色呈紫红色、粒度中到细粒、分选磨圆良好、无泥质和碎屑云母矿物。在电子显微镜下普遍可见风成砂独有的碟形撞击坑、新月形撞击坑及毛玻璃化表面等特征。前述宝相寺组下部砂岩的岩性、沉积构造、结构特征与上述风成砂特征完全吻合,且与江西信江盆地、鄂尔多斯盆地、四川盆地、思茅盆地白垩纪风成沙丘特征<sup>[6-7]</sup>一致。因而,将宝相寺组下部(原美乐组)定为风成沙丘沉积是可靠的。

风成沙丘主要沉积于滨岸和沙漠两种环境中。滨岸沙丘沉积的结构成熟度低,与物源具有较强的继承性,因此其磨圆度、分选性比沙漠沙丘低,成份成熟度也较低。反之,沙漠沙丘石英含量高、成熟度高,分选磨圆好<sup>[7,16]</sup>,且沉积厚度较厚。根据上述宝相寺组下部石英砂岩的磨圆度、分选性、成熟度以及较大的沉积厚度等特征,推测该风成沙丘极可能为沙漠沉积。迄今为止,青藏高原周缘古近纪沙漠记录十分稀少并存在争议<sup>[11,17-18]</sup>,这可能与后期的破坏或者当时极度干旱气候对沙丘发育的抑制作用有关。

区域资料表明(云南省地质局,1:20万兰坪县幅区域地质调查报告,1974),研究区周缘古新系的勐野井组( $E_1m$ )、云龙组( $E_1y$ )沉积有大量石膏、石盐、钾盐等蒸发矿物,说明当时青藏高原东部地区在该时期气候十分干旱炎热。宝相寺组( $E_2b$ )沙漠沉积如的确存在,则进一步反映并延续了这一气候特点。而始新世晚期宝相寺组( $E_2b$ )上部演变为正常湖相沉积,渐新世金丝厂组( $E_3j$ )以及新近纪的三号沟组( $N_1s$ )、三营组( $N_2s$ )等不仅不见蒸发盐沉积,而且还广泛发育代表潮湿气候的煤、硅藻土等沉积,说明当时青藏高原东部地区气候已相当温暖潮湿。上述沉积序列所反映的气候特征表明,青藏高

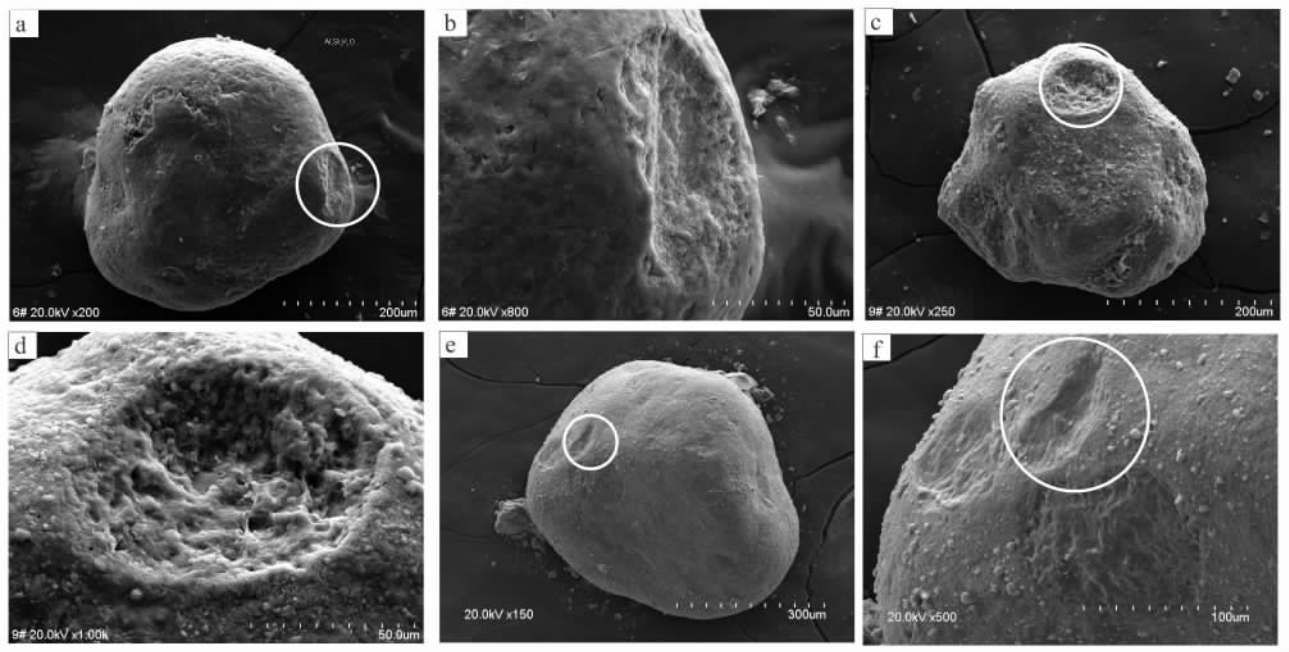


图6 宝相寺组(  $E_2b$  ) 石英颗粒表面特征  
a  $\mu$ -碟形撞击坑; b  $\mu$ -碟形撞击坑局部放大; c-新月形撞击坑; f-新月形撞击坑局部放大  
Fig.6 Surface features of the quartz grains from the Baoliangsi Formation sandstones  
a and c. Dish-shaped impact crater; b and d. Enlarged dish-shaped impact crater; e. Crescent-type impact crater; f. Enlarged crescent-type impact crater

原东部古气候自古近纪以来经历了一个明显的由干旱到潮湿的演化过程,其转折点可能是宝相寺组(  $E_2b$  ) 下部沙漠的消失、上部正常湖泊开始之处。

根据国内外最新研究成果,推测气候发生转变可能有两方面的原因:( 1 ) 自始新世末全球气候开始快速变冷变干<sup>[19]</sup>,这引起纬向热力差异增大<sup>[20]</sup>,从而导致原来横贯我国广大中低纬度地区的干旱带南界逐渐北移,同时亚洲内陆干旱化程度显著增强<sup>[20-22]</sup>。推测在宝相寺组沉积晚期,干旱带南界已移出丽江地区;( 2 ) 大气环流性质的转变是导致气候系统发生转变的关键因素。大气环流样式研究表明,青藏高原隆升前东亚地区为行星环流所控制,而青藏高原的隆升则导致东亚季风系统开始形成并逐渐控制东亚地区<sup>[23-26]</sup>。青藏高原在始新世末应存在一个快速隆升过程<sup>[27-28]</sup>,我们推测上述由干旱到潮湿的重大气候转变也可能与青藏高原初次快速隆升及东亚古季风开始建立有关。

致谢: 粒度分析由成都理工大学沉积地质研究所实验室完成,岩石薄片和石英颗粒表面特征鉴定由国土资源部西南矿产资源监督检测中心完成,王保弟在论文写作过程中给予了许多帮助,在此一并致谢。

参考文献:

[1] 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. 67-74.

[2] 黄义忠,杨世瑜. 云南黎明丹霞地貌景观特征及成因研究[J]. 昆明理工大学学报(理工版),2004,29(5): 23-26.

[3] 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.

[4] 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.

[5] 成都地质学院钾盐研究队,云南省十六地质队第三分队. 云南思茅盆地扒沙河组风成沙漠沉积特征[J]. 矿物岩石,1981,5: 42-46.

[6] 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.

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

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

[9] REINECK H E, SINGH I B. Depositional sedimentary environments [M]. New York: Springer-Verlag, 1975. 180-208.

[10] BIGARELLA J J. Eolian environments: their characteristics, recognition, and importance [A]. Recognition of ancient sedimentary environments [C]. Tulsa: Spec. Publ. Soc. Econ.

- Paleont. Miner. , 1972 , 16: 12 – 62.
- [11] 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 , 12(5): 1 – 66.
- [12] 成都地质学院陕北队. 沉积岩(物)粒度分析及其应用[M]. 北京: 地质出版社, 1978.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 江新胜, 朱同兴, 冯心涛. 藏南特提斯晚三叠世海岸风成沙丘的发现及其意义[J]. 成都理工大学学报(自然科学版), 2003 , 30(5): 447 – 452.
- [17] 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.
- [18] 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[A]. 青藏高原研究会. 青藏高原与全球变化研讨会论文集[C], 北京: 气象出版社, 1995. 13 – 29.
- [19] ZHONGHUI LIU , PAGANI M , ZINNIKER D , et al. Global cooling During the Eocene-Oligocene Climate Transition [J]. Science , 2009 , 323: 1187 – 1190.
- [20] 苗运法, 方小敏, 宋之琛, 等. 青藏高原北部始新世孢粉记录与古环境变化[J]. 中国科学(D 辑) , 2008 , 38(2): 187 – 192.
- [21] 孙湘君, 汪品先. 从中国古植被记录看东亚季风的年龄[J]. 同济大学学报(自然科学版) , 2005 , 33(9): 1138 – 1143.
- [22] GUILLAUME DUPONT-NIVET , WOUT KRIJGSMAN , COR G LANGEREIS , et al. Tibetan plateau aridification linked to global cooling at the Eocene-Oligocene transition [J]. Nature , 2007 , 445: 635 – 638.
- [23] 江新胜, 潘忠习, 傅清平. 白垩纪时东亚大气环流格局初探[J]. 中国科学 D 辑, 2000 , 30(5): 526 – 532.
- [24] 江新胜, 潘忠习, 傅清平. 四川盆地白垩纪沙漠风向变化规律及意义[J]. 岩相古地理, 1999 , 19(1): 1 – 11.
- [25] JIANG XINSHENG , LI YUWEN , FU QINGPING. Temporal and spatial distribution of Cretaceous deserts in middle and eastern China and its climatic significance [A]. Proc 30th International Congress [C]. The Netherlands: VSP International publishers , 1997 , 4(8): 73 – 80.
- [26] COOKE R , WARREN A , GOUDIE A. Desert Geomorphology [M]. London: UCL Press , 1993.
- [27] 张克信, 王国灿, 陈奋宁, 等. 青藏高原古近纪—新近纪隆升与沉积盆地分布耦合[J]. 地球科学—中国地质大学学报, 2007 , 32(5): 583 – 597.
- [28] 周江羽, 王江海, Yin A , 等. 青藏高原东缘古近纪粗碎屑岩沉积学及其构造意义[J]. 地质学报, 2003 , 77(2): 262 – 272.

## Discovery and significance of the Palaeogene eolian deposits in Lijiang , Yunnan

WU Hao<sup>1</sup> , CUI Xiao-zhuang<sup>1,2</sup> , XIONG Guo-qing<sup>1</sup> , ZHANG Yu-jie<sup>1</sup> , JIANG Xin-sheng<sup>1</sup>

(1. Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources , Chengdu 610081 , Sichuan , China; 2. Chinese Academy of Geological Sciences , Beijing 100037 , China)

**Abstract:** The lower part (formerly Meile Formation) of the Baoxiangsi Formation (E<sub>2</sub>b) in Lijiang , Yunnan has long been interpreted as the hydrogenic deposits. The integration of lithology , sedimentary textures and structures in this study indicates that the tremendous sandstones in the lower part of the Baoxiangsi Formation consist of purplish red , well-sorted and rounded medium- to fine-grained quartz sandstone characterized by large-scale high-angular tabular cross-bedding and foreset bedding of the eolian dunes. The characteristic features of dish-shaped , crescent-type impact craters and frosted surface under an electronic microscope demonstrate that the lower part of the Baoxiangsi Formation may be assigned to the eolian dune deposits deposited in desert environments. The sedimentary characteristics also show that there were gradations from dry to humid climates in eastern Qinghai-Xizang plateau. It is inferred that this climatic change may be the sedimentary responses to the Eocene – Oligocene global cooling-drying events , the rapid uplift of the plateau and formation of the palaeomonsoon in East Asia.

**Key words:** latest Eocene; Baoxiangsi Formation; eolian dune; EOGM; ancient monsoon