



甘肃皋兰—白银—靖远地区早白垩世沙漠沉积的特征及其古风带恢复

伍皓¹, 崔晓庄^{1,2}, 熊国庆¹, 张予杰¹, 江新胜¹

WU Hao¹, CUI Xiao-zhuang^{1,2}, XIONG Guo-qing¹, ZHANG Yu-jie¹, JIANG Xin-sheng¹

1. 中国地质调查局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

1. *Institute of Geology and Mineral Resources, China Geological Survey, Chengdu 610081, Sichuan, China;*

2. *Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China*

摘要:在前人对甘肃白银—靖远地区早白垩世河口群(K₁H)沙漠研究的基础上,对皋兰地区的河口群进行了沉积结构、构造和石英砂颗粒表面特征等综合对比分析,确认皋兰地区亦存在沙漠沉积。首次通过系统测量研究区风成沙丘的前积层的产状,对当时的古风向、古风带进行了恢复,结果表明,早白垩世晚期研究区盛行西风,与东部鄂尔多斯盆地早白垩世罗汉洞组(K₁l)沙漠沉积风向记录完全一致。岩性特征与古风向的一致性表明,研究区与鄂尔多斯盆地均处于北半球西风带中,研究区可能为“古鄂尔多斯沙海”的一部分。

关键词: 皋兰—白银—靖远地区; 河口群; 古沙漠; 西风带; 古鄂尔多斯沙海

中图分类号: P534.53; P512.2+1; P588.21+2.3

文献标志码: A

文章编号: 1671-2552(2011)07-1077-08

Wu H, Cui X Z, Xiong G Q, Zhang Y J, Jiang X S. Early Cretaceous desert and the reconstruction of palaeowind belts in Gaolan-Baiyin-Jingyuan area, Gansu Province. *Geological Bulletin of China*, 2011,30(7):1077-1084

Abstract: Based on previous researches on Early Cretaceous desert of Hekou Group (K₁H) in Baiyin-Jingyuan area, the authors made a synthetic comparative analysis of sedimentary texture and structure as well as typical eolian grain surface texture of Hekou Group in Gaolan area, and reached the conclusion that there must also exist desert sediments in Gaolan area. Then, the palaeowind direction and palaeowind belt were reconstructed by systematical measurement of the dips of the eolian dune foresets in the study area. The results indicate that west winds were prevailing during late Early Cretaceous in the study area, being consistent with the palaeowind direction recorded in the Luohandong Formation (K₁l) in Ordos basin. The consistency of the lithologic character and palaeowind direction recorded in K₁H and K₁l indicates that the study area and Ordos basin were then located within the same westerlies in the northern hemisphere and the study area might have been part of the Ordos palaeodesert sea.

Key words: Gaolan-Baiyin-Jingyuan area; Hekou Group (K₁H); palaeodesert; west trade wind belt; Ordos palaeodesert sea

青海—甘肃地区早白垩世河口群(K₁H)沉积相以炎热干旱环境下的冲积扇—扇三角洲—湖泊沉积模式为主^[1-8],局部地区发育沙漠沉积^[9]。佟再三^[9]首先在白银—靖远地区河口群上岩组上部发现了沙漠

沉积,确定为大陆型干旱沙漠风成沙丘沉积,但并未引起同行的足够重视。笔者在进行《青藏高原及邻区早白垩世构造—岩相古地理图》的编制过程中,对白银—靖远地区河口群剖面进行了详细观察和系统采

收稿日期:2011-03-15;修订日期:2011-05-03

资助项目:国家自然科学基金项目《青藏高原隆起前东亚白垩纪大气环流样式研究》(批准号:40372064)和中国地质调查局项目《青藏高原及邻区白垩纪构造—岩相古地理图》(编号:1212010610101)

作者简介:伍皓(1984-),男,学士,助理研究员,从事沉积学研究。E-mail:wuhaocgs@sohu.com.cn



样分析,进一步证实了佟再三^[9]的研究结果的正确性,同时对皋兰地区相同层位的沉积结构、构造和石英砂颗粒表面特征等进行了研究,其特征与白银—靖远地区完全一致,亦属沙漠风成沙丘沉积。笔者对皋兰—白银—靖远一线的河口群风成沙丘的前积层的产状进行了系统测量和处理,恢复了当时的古风向和古风带。恢复结果表明,研究区早白垩世晚期盛行西风,为西风带控制。本文的研究结果为东亚早白垩世大气环流样式、构造—岩相古地理和古气候研究提供了新的证据。

1 地层概况

皋兰—白银地区位于中祁连构造隆起带之上,靖远地区处于北祁连褶皱带中^[10]。区内早白垩世河口群(K₁H)为一套由紫红、棕红、棕褐、灰绿、蓝灰、桔红色组成的杂色碎屑岩沉积,局部夹石膏,底部以砾岩或砂岩与下伏侏罗系享堂组及以前的地层或岩体不整合接触,其上被古近纪桔红色砂泥岩不整合覆盖^[11](图1)。河口群细分方案较多^[3-8],本文沿用区域地质资料研究成果^[12],将研究区河口群分为上、下2个岩组。上岩组主要岩性为微红色、黄褐色、砖红色中细粒砂岩,厚层状,斜层理发育,夹少许钙质结核,底部有1层疏松砾岩;下岩组上部为砖红色、褐红色砂质粘土,夹有较多量的灰绿色粉砂岩条带,有时砂质粘土中见龟裂,底部为厚层角砾岩,不整合于下伏地层之上。本文主要对上岩组具大型斜层理的砖红色中细粒砂岩进行分析。

2 岩性特征

笔者于皋兰县城北(N36°24'26.6"、E103°57'32.2")和靖远石板沟(N36°35'30.5"、E104°36'20.0")分别采集了河口群(K₁H)上岩组砖红色厚层—块状石英砂岩样品,2处样品具有胶结疏松、极易破碎的特点,镜下鉴定结果均为长石石英砂岩。皋兰样品为中粒结构,少部分细粒,分选性中等,砂粒多为次圆状,碎屑颗粒以石英为主,占60%~65%,长石含量占15%,含少量沉积岩、变质岩岩屑,颗粒支撑,孔隙式胶结,胶结物多为硅质、方解石,不含杂基,尤其是不含粉砂、泥和碎屑云母片等悬移质。靖远样品具细粒结构,分选性较好,砂粒多为圆状—次圆状,石英含量大于75%,长石大于10%,碎屑成分、结构等特征与皋兰样品相似,粒度较小,分选

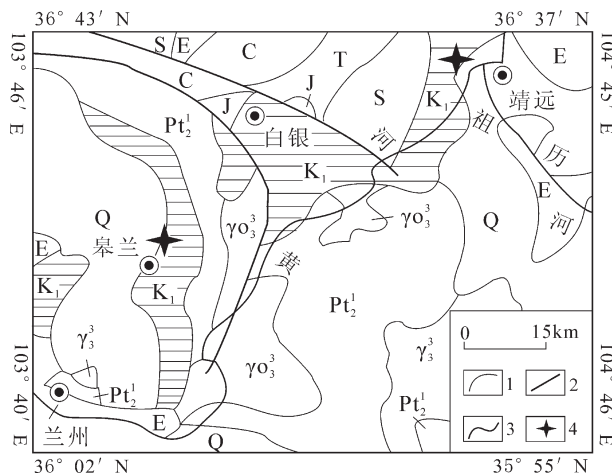


图1 研究区地质简图^[10]

Fig. 1 Geological sketch map of the study area
Q—第四系;E—古近系;K₁—河口群;J—侏罗系;T—三叠系;
C—石炭系;S—志留系;Pt₂—中元古界;γ₀₃³—志留纪斜长花岗岩;γ₃³—志留纪花岗岩;1—地层界线;
2—断层;3—河流;4—采样点

性、磨圆度略好一些。此外,两者多见由沙漠漆后期风化而成的较规则的铁泥质包裹边(图版I-a、b)。沙漠漆呈黑色,酷似油漆,是在毛细管作用下,地下水上升蒸发后,沙漠沙和砾石在颗粒表面沉淀的一层氧化铁和氧化锰。由于沙漠漆在次生氧化作用下多变为红色,因此古沙漠多为紫红色,为风成砂的独有标志^[12]。以上特征说明皋兰样品同样具有风成砂的基本特征。

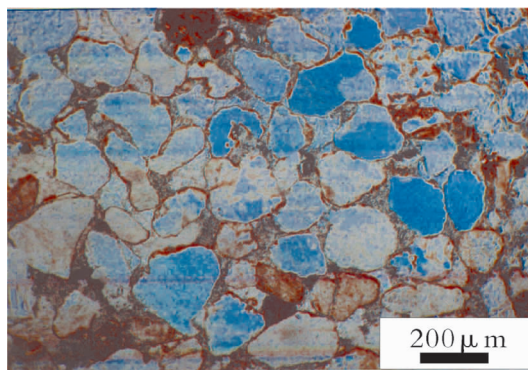
3 沉积构造特征

大型高角度板状交错层理是风成沙丘沉积的突出特征,由风成沙丘前积层组成。其主要特点是:①规模大,层系厚度一般由几十厘米到1~2m,有时可达10m以上。云南上白垩统扒沙河组砂岩和陕北白垩系砂岩中的风成交错层理的层系厚度可达4~6m和10多米^[13],江西信江盆地上白垩统塘边组交错层理单个层系厚度极大,一般都有2~3m厚,4~5m厚者较多,有些甚至厚达50m^[14];②倾角陡,前积纹层的倾角一般在25~34°之间。

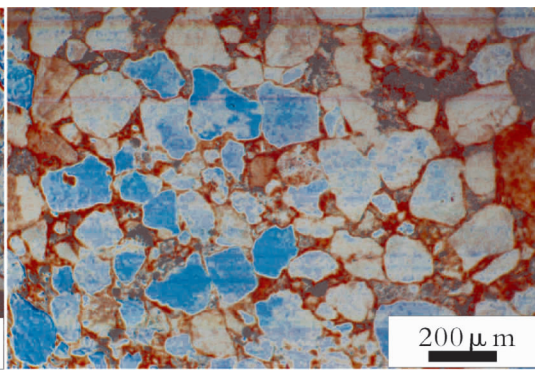
皋兰、靖远地区砂岩中大型高角度板状交错层理极为发育,一般层系厚都在2m以上,最大层系厚可达10m;倾向十分稳定,倾角极高,层理上端与上覆层底面高角度相交,局部可达30°左右,向下变



图版 I Plate I



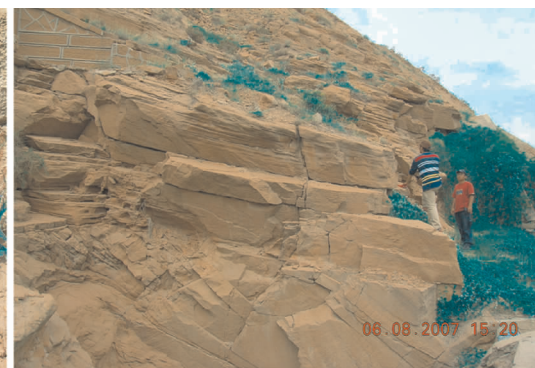
a—皋兰样品



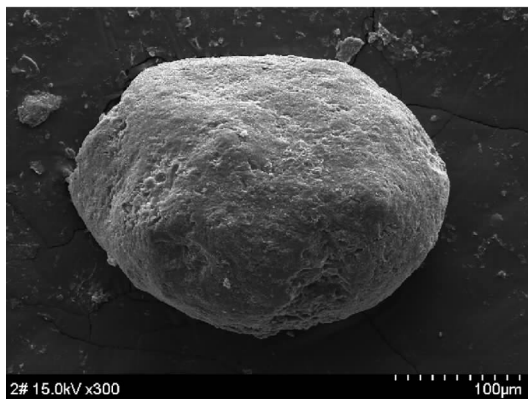
b—靖远样品



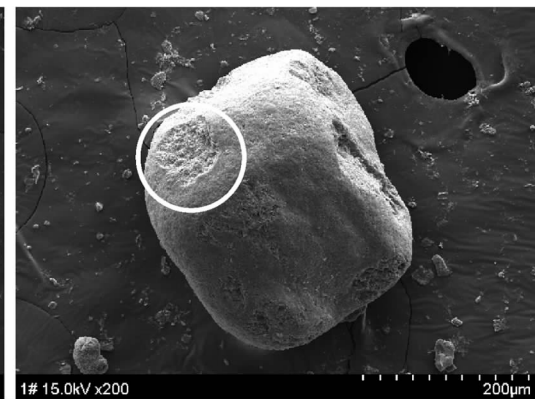
c—皋兰地区露头砂岩大型高角度板状交错层理



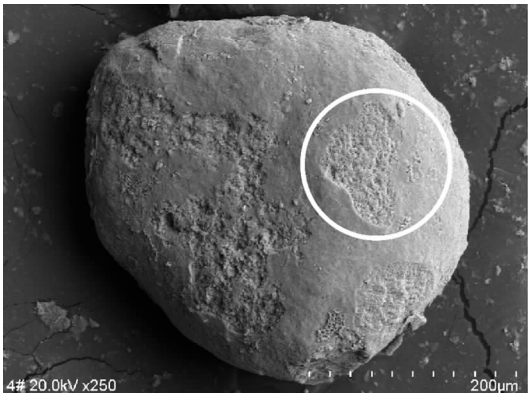
d—靖远地区露头砂岩大型高角度板状交错层理



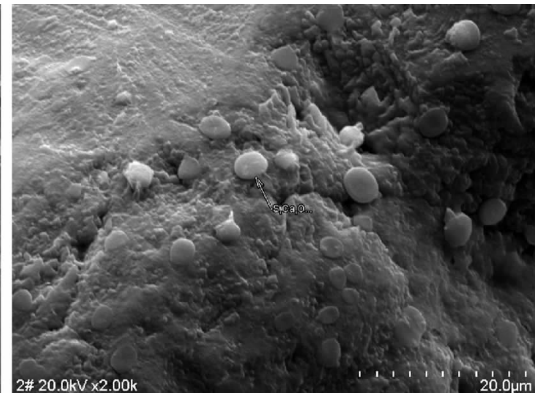
e—球度极大的石英砂颗粒



f—碟形撞击坑



g—新月形撞击坑



h—硅质球



小,与下伏层顶面相切,层理面上凹,顶底界面横向上近水平、近平行地稳定延伸很远(图版 I -c、d),与上述白垩纪沙漠风成砂交错层理特征一致,属于风成沙丘大型高角度板状交错层理。

4 沉积结构特征

4.1 粒度分析

本文对采集的样品进行了薄片法粒度分析(图2)。分析结果表明,分析样品的粒度分布高度集中,以跃移总体为主,达95%以上,几乎不含牵引和悬浮总体。皋兰样品粒度分布多集中于1~2Φ(中砂,约占60%)和2~4Φ(细砂,约占40%)之间,说明该组砂岩以细砂-中砂岩为主;靖远样品则集中于2~4Φ(细砂,约占95%),皋兰样品粒度略粗。从图2概率累积曲线可以看出,皋兰样品为上突型双跳曲线,第一跳跃总体约占15%,斜率约75°;第二跳跃总体约占85%,斜率约60°。这一特点与前人在靖远地区^[9]和鄂尔多斯盆地^[5]的研究结论相同,可能为风力由强减弱的反映。而本次采集的靖远样品的第一跳跃总体和第二跳跃总体合并为一个统一的总体,说明粒度分布更为集中。从粒度参数可以看出(表1),样品标准偏差全部集中于0.35~0.50之间,按福克和沃

德(1957)分级^[6],属分选性好;偏度以正偏为主,占66.7%(0.1~0.3),其次为近对称(-0.1~0.1),占33.3%,具风成砂的特点^[6];峰态参数均小于1.11,为很宽—中等峰态分布^[6]。上述特征表明,测试样品具有较粗粒径、分选较好、近对称、宽平峰的特征,按史培军等^[7]的分类,应属风力较小、降水较少的塔克拉玛干型沙漠砂,同时又与江新胜等^[2]、刘宝珺等^[8]、里丁H G^[9]所描述的多数风成砂判别标准相吻合,说明样品应为沙漠风成沙丘砂岩。

4.2 石英颗粒表面特征

测试样品石英颗粒在电镜扫描下磨圆度极好,可达Ⅲ级,为圆状颗粒(图版 I -e)。风成石英颗粒表面特有的碟形撞击坑、新月形撞击坑发育,显示清

表1 研究区砂岩样品粒度参数

Table 1 Grain size parameters of sandstone of the study area

样品号	平均值 (M _Z)	标准偏差 (δ ₁)	偏度 (Sk ₁)	峰态 (K _G)
Gl-1	2.0591	0.3808	0.1088	0.5363
Gl-2	1.9151	0.4470	0.2559	0.9812
Jy-1	2.6356	0.3574	0.0600	1.0380

注:Gl—皋兰样品;Jy—靖远样品

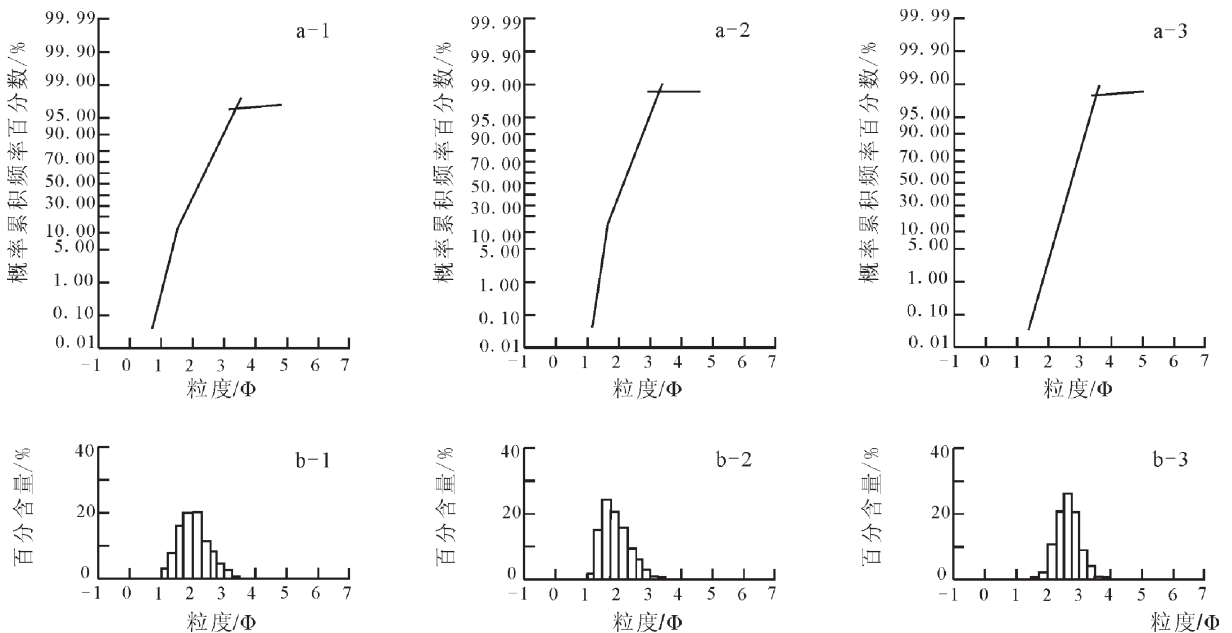


图2 研究区砂岩概率累积曲线图(a)和粒度百分直方图(b)

Fig. 2 Log-probability grain-size distribution curves (a) and grain-size percentage histograms (b) of sandstone from the study area

1、2—皋兰样品;3—靖远样品



楚(图版 I -f,g)^[20]。碟形撞击坑为圆盘状撞击坑,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,也无法将沙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。新月形撞击坑呈新月形,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。此外,在风能环境中,干湿变化极为明显,但孔隙水不饱和,不易带走溶蚀的 SiO₂,仅在颗粒表面就近沉淀,沉淀现象十分明显。因此, SiO₂ 初始作用形成的圆球形或近圆球形硅质球较为常见^[12,21](图版 I -h)。上述特征与鄂尔多斯盆地^[15,21]、江西信江盆地^[14]、四川盆地^[22]等白垩纪沙漠风成砂颗粒表面特征完全相同,属于典型的风成砂沉积。

5 古风向测量

5.1 测量手段及其依据

盛行风是沙漠的主要地质营力,势必在沙漠中留下深深的烙印。这个烙印在现代沙漠中主要体现在沙丘的运移方向上,在古代沙漠中则主要反映在前积层的倾向上,这是恢复古风带最直接的地质记录,已广泛用来恢复古风带、古地理、古气候,甚至用

来检验由古地磁方法做出来的古纬度^[12]。

从风成床沙的级别、寿命、保存概率与盛行风风向的关系研究结果来看^[12,23-24],巨型沙丘最能反映古盛行风的风向。其前积层交错层系顶、底均以超级界面和一级界面为界,因而呈大型板状交错层系,在地质记录中极易辨认。现代沙漠研究和测量表明,巨型沙丘前积层的倾向极为稳定、集中。因此,本文将巨型沙丘和沙丘的运移方向作为恢复古风向的依据,而将前积层倾向测量作为恢复古风向的手段。通过观察分析,研究区的沙漠层位绝大多数为巨型沙丘,研究层位的前积层的产状是可以反映古盛行风长期变化的。从沙丘类型及其与盛行风风向的关系来看,横向沙丘对判别古风向意义较大。笔者将研究区内皋兰县城北与靖远石板沟 2 条剖面的 4 处露头前积层(交错层)的倾向作为古风向测量的对象,共获得 101 个测量数据(表 2)。从所测制的地表剖面(版 I -c,d)来看,沙丘层系厚度极大,多为平板状,其展开角多数小于 150°(图 3-GI-1、GI-2),个别为 60°(图 3-Jy-2)。根据 Mckee^[25]提出的横向沙丘亚类的划分方法来判别,研究剖面多数为新月形沙丘亚类。因而本文所研究的沙丘类型的运移方向大体是可以反映古盛行风向的。

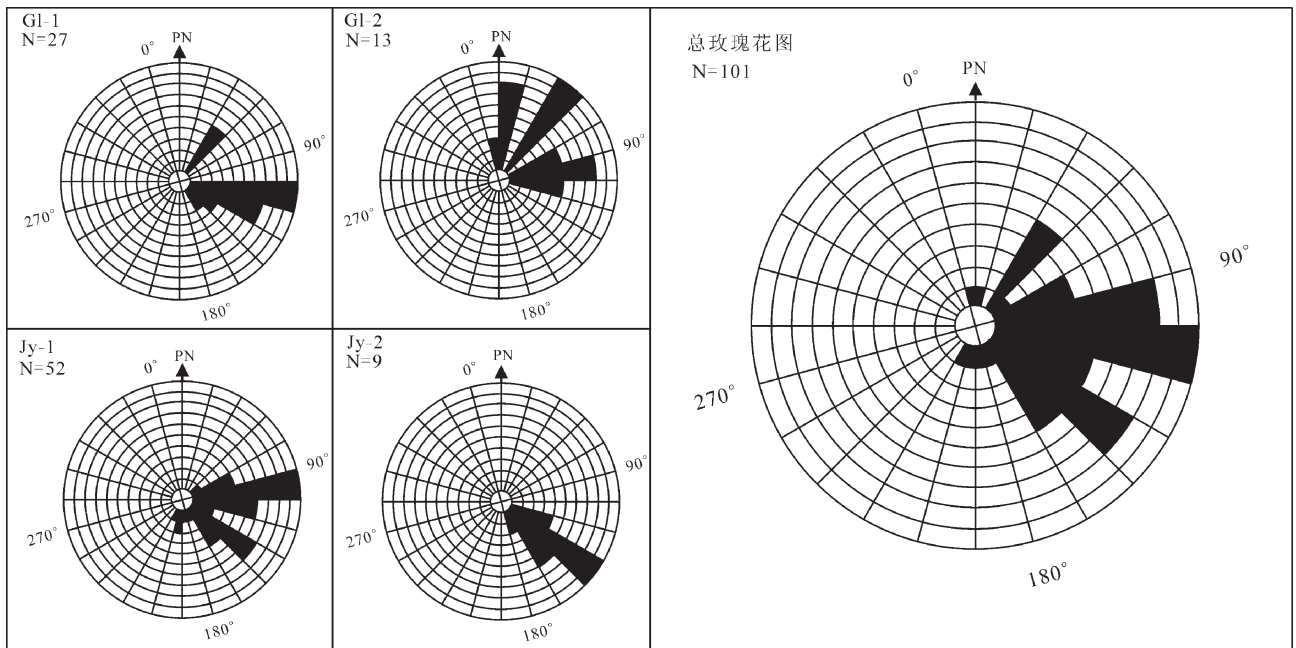


图 3 古风向玫瑰花图

Fig. 3 Rose diagrams of palaeowind direction

GI—皋兰剖面数据;Jy—靖远剖面数据;N—数据量;PN—古方位



5.2 玫瑰花图的绘制

本文的玫瑰花图(圆形直方图)(图 3)的方位区间为 15°。由于各层数据量不同,若采用统一尺度,玫瑰花图大小区别太大,因此将每层出现频率最高的方位数定为 100%,其余方位区间依次比较以确定直方图的长度。为了消除测取数据易难的偏差,在作总玫瑰花图时仅统计每区间出现的次数。Frost 等^[26]、Halim 等^[27]在中祁连造山带西宁—兰州附近开展的下白垩统河口群的古地磁研究表明:西宁—兰州盆地相对于华北或欧亚白垩纪后伴随 30°左右的顺时针旋转;杨天水等^[28]于兰州、定西河口群采集样品,测得兰州地区相对于华北、华南和欧亚白垩纪后发生了 20°左右的顺时针旋转;孟自芳^[29]测得兰州附近地区早白垩世后发生了 8°左右的顺时针旋转。本文在综合以上成果并参考东部鄂尔多斯盆地古地磁数据的分析基础上^[23],暂取 15°作为权衡校正值,所附前

积层玫瑰花图均作了 15°逆时针旋转,以期最接近原始产状。所测剖面地层倾角平缓,一般均小于 5°,不必作赤平投影校正(图 3)。

6 古风带恢复

从皋兰剖面的 2 个玫瑰花图(图 3-GI-1、GI-2)来看,古风向矢量以东向为主,东北向次之,主体为西风,同时可见北向矢量,可能为南风。从靖远剖面玫瑰花图(图 3-Jy-1、Jy-2)来看,古风向矢量以东向为主,东南向次之,同样主体为西风,同时可见极少的西南向矢量,为东北风。从总玫瑰花图(图 3)可以看出,风向矢量以东向占绝对优势,可见少量北向和西南向矢量,说明当时主要盛行西风,其次盛行东北风和南风。比照北半球风带模式^[12,24,30-32]可以得出结论(图 4):东向矢量为西风带的产物,西南向矢量为东北信风的产物,说明研究区早白垩世主体受西

表 2 研究区河口群沙漠沉积古风向测量数据

Table 2 Wind direction data measured from palaeodesert sediments of Hekou Group in the study area

点 位	前 积 层 测 量 数 据 /°				
GI-1 N36°24'26.6" E103°57'32.2"	112∠23	112∠27	112∠20	151∠19	53∠26
	110∠21	106∠25	119∠19	154∠20	51∠31
	132∠19	115∠25	115∠17	135∠29	46∠29
	121∠25	120∠26	125∠14	51∠30	
	136∠18	120∠25	136∠13	55∠29	
GI-2 N36°24'53.9" E103°57'52.4"	131∠22	114∠24	130∠14	57∠30	
	27∠19	51∠31	15∠18	105∠29	86∠35
	20∠26	55∠30	104∠27	119∠24	
Jy-1 N36°35'30.5" E104°36'20.0"	51∠25	56∠31	96∠31	88∠29	
	125∠32	145∠18	194∠14	144∠22	114∠39
	132∠43	136∠25	210∠14	145∠37	105∠41
	126∠47	155∠26	204∠16	150∠42	116∠40
	98∠27	155∠26	84∠25	87∠33	104∠41
	141∠29	138∠28	195∠16	80∠39	105∠40
	162∠28	91∠22	180∠23	95∠39	108∠39
	151∠8	78∠23	92∠29	99∠32	114∠38
	159∠18	75∠26	98∠30	102∠29	115∠34
	150∠20	81∠25	95∠30	98∠37	
Jy-2 N36°35'33.7" E104°35'51.1"	149∠30	206∠13	110∠11	106∠40	
	142∠29	216∠15	93∠26	100∠42	
	161∠30	133∠40	135∠40		
	152∠23	138∠44	146∠45		
	144∠11	137∠43	165∠43		

注:GI—皋兰数据;Jy—靖远数据

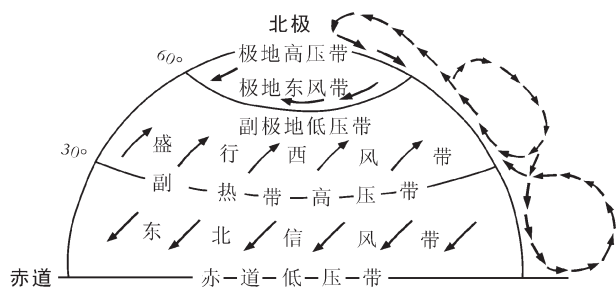


图4 地表风带分布样式(北半球)^[31]

Fig. 4 Wind belt distribution in the northern hemisphere

风带的控制,间或受到东北信风的影响。应当说明的是,北向矢量与上述风带模式不吻合,可能属于行星季风的产物。东侧的鄂尔多斯盆地早白垩世也存在类似的情况,江新胜等^[12]称之为行星季风。齐骅等^[33]于鄂尔多斯盆地近同一时代的下白垩统志丹群罗汉洞组测制了150多个古沙漠风向数据,倾向以80~90°和140~150°为主;江新胜等^[23]也做了相关工作,测量结果以75~90°为主,45~60°次之。上述研究结论和本文测量结果均相似,说明该地区早白垩世晚期为西风带控制,与当时的鄂尔多斯盆地沙漠处于相同的古风带上。

7 结论与讨论

综合以上研究结果,研究区河口群(K₁H)长石英砂岩具大型高角度板状交错层理,分选磨圆较好,扫描电镜下见风成砂颗粒表面特有的碟形坑、新月形撞击坑等构造,硅质球沉淀也较发育,同前人研究的国内其它内陆盆地古沙漠风成砂岩各项特征相吻合,属沙漠风成沙丘沉积。古风向和古风带的恢复结果表明,该区早白垩世晚期盛行西风,与鄂尔多斯盆地均处于北半球西风带中。

李孝泽等^[15]、董光荣^[34]根据古风成砂和风成岩的分布,认为白垩纪特别是晚白垩世时期,中国大陆存在一条横贯西北—东南的宽阔的红色沙漠带。李孝泽等^[15,35]对鄂尔多斯盆地早白垩世志丹群大量古沙漠的发现证实了这条古红色沙漠带的存在,并将该区域沙漠沉积称之为“古鄂尔多斯沙海”。已有的资料表明,早白垩世鄂尔多斯盆地可能与包括六盘山盆地在内的西部白垩纪盆地连通^[36]。古地磁研究结果也显示,研究区东部紧邻的海原地区早白垩世以来相对鄂尔多斯块体无明显的相对构造运动,

从构造意义上说,海原地区早白垩世以来已是华北地块的一部分^[37],加之研究区下白垩统河口群上岩组与东侧鄂尔多斯盆地的下白垩统罗汉洞组在沉积时代^[36]、岩性特征^[21,23,30,35]、沉积环境、古风向等方面显示了惊人的一致性,因此可以怀疑,研究区与六盘山盆地、鄂尔多斯盆地早白垩世时极有可能同属一个盆地,也就是说该区沙漠沉积可能为“古鄂尔多斯沙海”的一部分。

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,在此一并致谢。

参考文献

- [1]李相博,陈启林,魏伟,等.蒙甘青地区白垩纪原型盆地分布特征及盆山格局[J].地球科学与环境学报,2006,28(3):24-30.
- [2]陈启林,周洪瑞,李相博.蒙甘青地区早白垩世原型盆地特征及其对烃源岩分布的控制[J].地球科学进展,2005,20(6):656-663.
- [3]蔡雄飞,陈斌,李长安,等.再论基本层序、相分析在区域地层划分中的作用——以陆相和盆地地下白垩统河口群细分为例[J].地层学杂志,2006,26(3):230-234.
- [4]唐玉虎,戴霜,黄永波,等.兰州—民和盆地河口群沉积相和岩石磁化率——祁连山白垩纪隆升的纪录[J].地质学前沿,2008,15(2):261-271.
- [5]张海峰,林启祥,张智勇,等.兰州—民和盆地地下白垩统河口群沉积序列及沉积相研究[J].地质科技情报,2003,22(4):21-26.
- [6]李麒麟,颜贵琴,周玲琦,等.兰州—民和盆地河口群层序地层格架特征及盆地演化[J].沉积与特提斯地质,2002,22(4):73-78.
- [7]李麒麟,张有龙,赵桐,等.兰州—民和盆地地下白垩统研究新进展[J].西北地质,2000,33(1):8-12.
- [8]李柒林.兰州—民和盆地早白垩世的沉积环境分析[J].沉积与特提斯地质,2000,20(4):97-103.
- [9]佟再三.甘肃靖远白垩系风成沙岩特征[J].兰州大学学报(自然科学版),1989,25(4):113-117.
- [10]甘肃省地质矿产局.甘肃省区域地质志[M].北京:地质出版社,1989.
- [11]甘肃省地质矿产局.甘肃省岩石地层[M].武汉:地质大学出版社,1997:194-198.
- [12]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.
- [13]曾允孚,夏文杰.沉积岩石学[M].北京:地质出版社,1986.
- [14]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.
- [15]李孝泽,董光荣,靳鹤龄,等.鄂尔多斯白垩纪沙丘岩的发现[J].科学通报,1999,44(8):874-877.
- [16]成都地质学院院北队.沉积岩(物)粒度分析及其应用[M].北京:地质出版社,1978.
- [17]史培军,王静爱.中国干旱、半干旱沙区风成沙粒度的统计分析[J].内蒙古师大学报(自然科学版),1986(4):12-21.



- [18]刘宝珺,曾允孚.岩相古地理基础和工作方法[M].北京:地质出版社, 1985:94-96.
- [19]里丁 H G..沉积环境和相[M].北京:科学出版社, 1982.
- [20]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.
- [21]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.
- [22]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.
- [23]江新胜,潘忠习,付清平.鄂尔多斯盆地早白垩世沙漠古风向变化规律及其气候意义[J].中国科学(D 辑),2000,30(2):195-201.
- [24]江新胜,潘忠习,付清平.四川盆地白垩纪沙漠风向变化规律及其意义[J].岩相古地理,1999,19(1):1-11.
- [25]Mekee E D. Structures of dunes at White Sands National Monument[M]//New Mexieo Sedimentology (Special Issue).1966,7(1):1-69.
- [26]Frost G M, Coe R S, Meng Z, et al. Preliminary Early Cretaceous Paleomagnetic result from the Gansu Corridor, China[J].Earth Plan- et. Sci. Lett.,1995,129:217-232.
- [27]Halim N, Cogne J P, Chen Y, et al. New Cretaceous and Early Tertiary Paleomagnetic results from Xining-Lanzhou basin, Kunlun and Qiangtang blocks (China):Implications on the geodynamic evolution of Asia[J]. J. Geophys. Res., 1998, 103:21025-21045.
- [28]杨天水,杨振宇,孙知明,等.东祁连造山带陆相盆地早白垩世古地磁新结果及其构造意义[J].中国科学(D 辑),2001,31(9):735-744.
- [29]孟自芳.兰州附近下白垩统河口群中下岩段磁性地层划分[J].地球物理学报,1994,37 (增 1):342-347.
- [30]高国栋,陆渝蓉.气候学[M].北京:气象出版社,1988.
- [31]江新胜,潘忠习,付清平.白垩纪时期东亚大气环流格局初探[J].中国科学(D 辑),2000,30(5):526-532.
- [32]江新胜,李玉文.中国中东部白垩纪沙漠的时空分布及其气候意义[J].岩相古地理, 1996,16(2):42-51.
- [33]齐骅,李国栋.鄂尔多斯盆地志丹群沉积时期的古沙漠盆地体系[J].西北地质科学,1996,17(1):63-89.
- [34]董光荣.中国沙漠形成演化气候变化与沙漠化研究[M].北京:海洋出版社,2002.
- [35]李孝泽,董光荣.中国西北干旱环境的形成时代与成因探讨[J].第四纪研究,2006,26(6):895-904.
- [36]白云来,王新民,刘化清,等.鄂尔多斯盆地西部边界的确定及其地球动力学背景[J].地质学报,2006,80(6):792-813.
- [37]孙知明,杨振宇,杨天水,等.海原地区早白垩世古地磁结果及其构造意义[J].地球物理学报,2001,44(5):678-686.
- ① 云南省革命委员会地质局.中华人民共和国 1:20 万靖远幅区域地质测量报告. 1972:25-28.
- ② 地质部甘肃地质局第一区域地质测量队.中华人民共和国 1:20 万兰州幅地质图说明书.1965: 13-15.