

文章编号:1000-0550(2017)04-0649-15

doi: 10.14027/j.cnki.cjxb.2017.04.001

西秦岭北缘武山地区上白垩统沙漠相沉积特征

惠浪波,郭进京,韩文峰,王丽丽,毕娜,向光娅

天津城建大学地质与测绘学院,天津 300384

摘要 西秦岭广泛但不连续分布着一套晚白垩世红层地层。这套红层地层所代表的原型沉积盆地是西秦岭中生代陆内造山期发育的相互孤立的间山盆地或是整体统一红层盆地新生代以来地壳隆升侵蚀破坏的残留一直存在争议。这个争议问题即关系到对西秦岭中生代末期的构造地貌状态的认识,也关系到现今青藏高原东北缘新生代以来地壳隆升初始地质背景。通过对西秦岭北缘武山地区上白垩统红层沉积地层中发育的一套砖红色砂岩的沉积序列、沉积构造、粒度分布等宏观地质特征的较详细研究,结合对这套砂岩的矿物成分和显微结构以及石英颗粒 SEM 表面结构特征的研究,表明这套砖红色砂岩具有如下特征:1)发育典型的大型风成交错层理;2)粒度均匀,分选好,以中—细砂、极细砂组分为主,缺乏粉砂—黏土颗粒组分;3)石英颗粒磨圆度好,表面发育碟形和新月形坑、溶蚀坑、硅质薄膜等风成砂颗粒具有的独特表面特征。据此提出这套砖红色砂岩是典型的沙漠相沉积的新认识,并根据沙漠相沉积类型的识别标志将其分为沙丘沉积和丘间沉积两种沉积类型。秦岭北缘武山地区晚白垩世沙漠相沉积的存在,结合西秦岭腹地同时代的哈达铺、岷县西江等地分布在山顶面的晚白垩世红层地层中存在类似的沙漠相沉积分析,提出了西秦岭晚白垩世不仅处于干旱炎热气候环境,而且曾呈现出地形相对平缓的泛盆地构造地貌状态。这套红层沉积反映了西秦岭晚白垩世为统一红层沉积盆地而非孤立的间山盆地,现今多不连续分布在山顶部之上是新生代以来地壳不均匀隆升和侵蚀共同作用的结果。

关键词 西秦岭;上白垩统;沙漠相;风成交错层理;石英砂表面结构

第一作者简介 惠浪波,男,1987年出生,硕士研究生,沉积学与沉积盆地构造分析,E-mail: wicsky@163.com

通讯作者 郭进京,男,教授,E-mail: gjj@tcu.edu.cn

中图分类号 P512.2⁺1 **文献标识码** A

0 引言

西秦岭在经历了古生代—早中生代漫长的裂解扩张的有限洋盆形成、洋盆俯冲—岛弧形成到最后陆—弧和陆—陆碰撞等多阶段板块构造演化后,印支期完成其主造山过程而进入陆内构造演化阶段^[1-3]。白垩纪是西秦岭陆内构造演化的重要阶段,特别是晚白垩世红层盆地的性质及构造地貌状态更是青藏高原东北缘卷入青藏高原系统的初始起点。因此,晚白垩世红层研究不仅对认识西秦岭白垩纪陆内构造状态和环境具有重要意义,而且也可青藏高原东北缘新生代以来隆升和变形提供重要地质约束。

西秦岭广泛但不连续分布的上白垩统红层地层是西秦岭白垩纪构造环境和古构造地貌状态的客观地质记录。由于该区域的这些上白垩统红层地层分布的不连续(图1),常被冠以不同的盆地名称,如:宕昌盆地、哈达铺盆地、岷县盆地、临潭盆地、西和—礼县盆、武山盆地、漳县盆地等。关于这套红层的时代

一直存在不同认识^[4-6],但该套红层地层以固结成岩程度高、稳定的北西向构造线方向和宽缓的褶皱形态与其上覆的新近系甘肃群红层地层相区分,而其特征的紫红色—砖红色和北西向构造线与下白垩统以深紫红色、灰紫色、灰色—灰黑色沉积岩为特征且构造线为北东向的东河群—河口群相区分,并且该套地层角度不整合在下白垩统河口群之上,因此,其时代应晚于早白垩,而早于新近纪,为晚白垩世^[7]。作为青藏高原东北缘重要地质单元的西秦岭,新生代以来的地壳强烈不均匀隆升和侵蚀作用使得这套红层地层在不同构造部位地层序列保存的完整程度不尽相同。但在西秦岭腹地的哈达铺盆地和东北部的滩歌盆地,上白垩统红层地层沉积序列保存较为完整,自下而上可分为磨沟组和车拉组^[4]。磨沟组主要为砖红色块状层—厚层的洪积相和河流相的砾岩夹砂砾岩;而车拉组主要由下部砖红色巨厚层—厚层中细粒砂岩夹含砾砂岩组成,上部主要由紫红色—红色粉砂质泥岩、泥岩且夹有冲洪积砾岩及中层状中细粒砂岩组

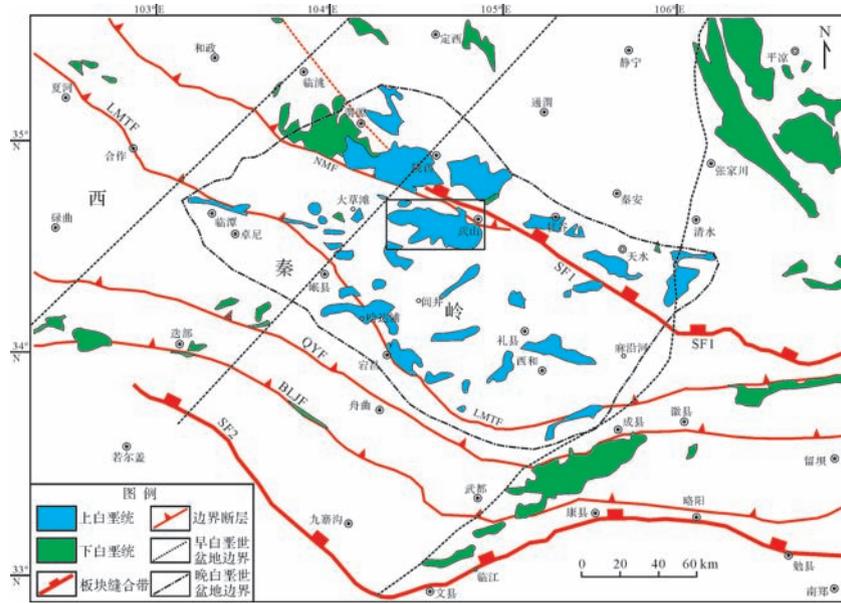


图1 西秦岭及其邻区白垩纪红层分布简图(据郭进京等,2014)

SF1.商丹缝合带;SF2.勉略缝合带;NMF.西秦岭北缘断裂;LMTE.临潭—岷县—宕昌断裂;QUF.秦岭断裂;BLJF.白龙江断裂

Fig.1 Simplified map of Cretaceous red bed strata in the western Qinling and its adjacent areas (after Guo *et al.*, 2014)

成,自下而上清楚的显示出由粗到细的两个大的沉积旋回^[8]。这套红层地层一般认为是西秦岭陆内造山过程中形成的山间盆地或走滑拉伸盆地^[9]。近年来,对西秦岭这套红层地层沉积序列研究,发现其中部普遍发育一套砖红色中细粒砂岩,如岷县西江地区、哈达铺地区、武山马力镇等,这套砖红色砂岩厚度大(约300 m),粒度均匀,并且发育大型风成斜层理和平行层理,指示了其具有沙漠成因的特征,这说明西秦岭晚白垩时期曾经出现过沙漠环境^[8]。考虑到前人对这套砖红色砂岩的研究仅做了一个点的观测和少量的样品分析而首次提出该套砖红色砂岩的风成成因,但没有对层序、沉积构造、微观特征等做详细研究。为此,我们对武山地区出露的这套典型的砖红色中细粒砂岩进行了野外观测、薄片分析、粒度分析和颗粒的微观特征研究,并与现代沙漠风成砂进行了对比,结果表明武山地区的这套砖红色砂岩具有沙漠相沉积的基本特征,主要发育沙丘和丘间两种沙漠亚相,这为西秦岭晚白垩世沉积环境和古地貌状态认识提供新的科学依据。

1 区域地质背景

晚三叠世至中侏罗世古特提斯洋盆的闭合和诸多微块体碰撞拼贴,形成东亚大陆南部巨型印支造山系^[10],完成中国大陆主体的拼贴^[11-12],作为巨型印支

造山系的重要组成部分的西秦岭,白垩纪以来进入了不同于印支造山作用的陆内构造演化阶段^[1-3]。西秦岭早白垩世为北东向盆山型构造,晚白垩世演变为走滑拉分盆地^[7]。西秦岭武山地区早白垩世处在碌曲—合作—和政隆起与舟曲—礼县—秦安隆起之间的郎木寺—临潭—渭源裂陷盆地之中;西秦岭晚白垩世红层地层现今空间分布呈现出类似走滑拉分盆地(图1),其盆地长轴为北西向,长宽比约为1:2,地层总体产状平缓(倾角多小于20°),构造线方向为北西向,构造形态多为宽缓向斜褶皱为主,呈断续分布,西秦岭腹地武山地区为其分布区之一,多分布平缓的山顶面之上,面积约32 200 km²^[7],与现在的毛乌素沙漠面积(42 200 km²)相近。

西秦岭北缘武山地区的上白垩统红层常被称之为武山盆地。从现今分布看,武山盆地呈NW—SE向展布,长约31.3 km,宽约20 km,构造形态为开阔向斜褶皱,构造线方向为北西向,由上白垩统磨沟组和车拉组组成(图2,3)。这套地层与下伏泥盆系—石炭系—二叠系等造山带地层的角度不整合面清晰(图4a、图5a,b),南边界的角度不整合面之上为上白垩统磨沟组。通过对武山盆地马力镇剖面沉积地层的野外测绘(图3A)可知,磨沟组底部为一套紫红色块状巨厚砾岩,砾石多呈棱角状至次棱角状,粒径较大且大小相差悬殊,砾岩分选极差,砾、砂、泥混杂,层

理不清楚或不发育,偶夹砂岩(图 4c、图 5a);虽然向上粒径有变细的趋势,但分选性和磨圆度仍然较差,呈杂基支撑,结构成熟度低,呈块状,期间发育河流相沉积,河流相沉积以砖红色细砾岩、砂砾岩和粗砂岩为主,水流交错层理、楔状交错层理、平行层理、冲刷面构造发育(图 5c);再向上为砖红色中厚层砾岩,分选性和磨圆度仍较差,但砾岩粒度较之前明显变细,期间常发育薄层砖红色砂岩夹层(厚 10~15 cm)与

砾岩(厚约 1 m)呈互层产出(图 4d、图 5d)。在这套砾岩之上即磨沟组的上部,发育一套砖红色砂岩,厚度约 300 m,并具一定规模,其结构疏松、粒度均匀,以发育大型高角度交错层理为特征(图 4e、f、g)。这套砂岩在马力镇出露良好,本文主要对该地区出露的厚层砖红色砂岩进行了较详细的野外观测和系统采样,并对其沉积序列、沉积构造和沉积相等开展了较深入系统的研究。

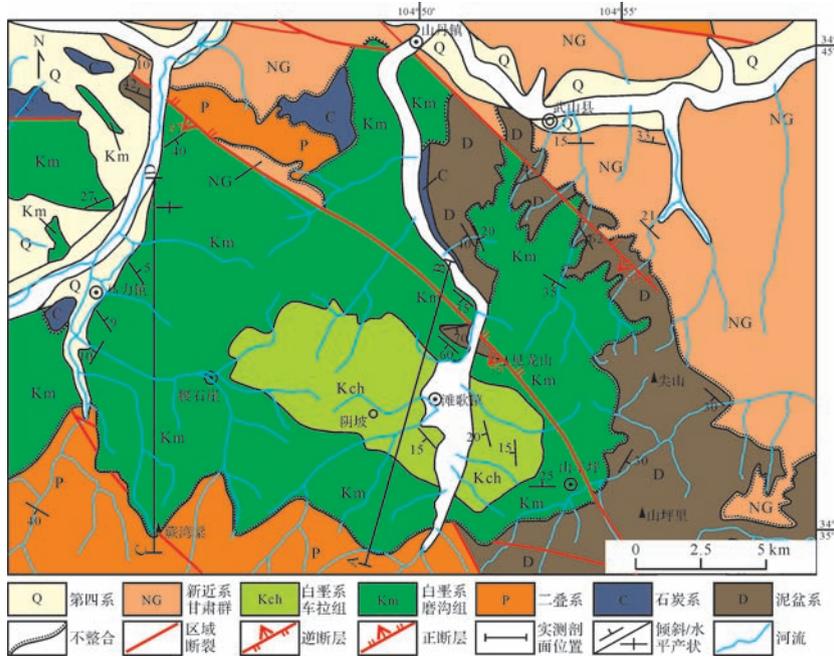


图 2 武山盆地区域地质略图(据甘肃省地调院,2007 编绘,位图见图 1)

Fig.2 Sketch geological map of the Wushan Basin, western Qinling (after Geological Survey of Gansu Province, 2007)

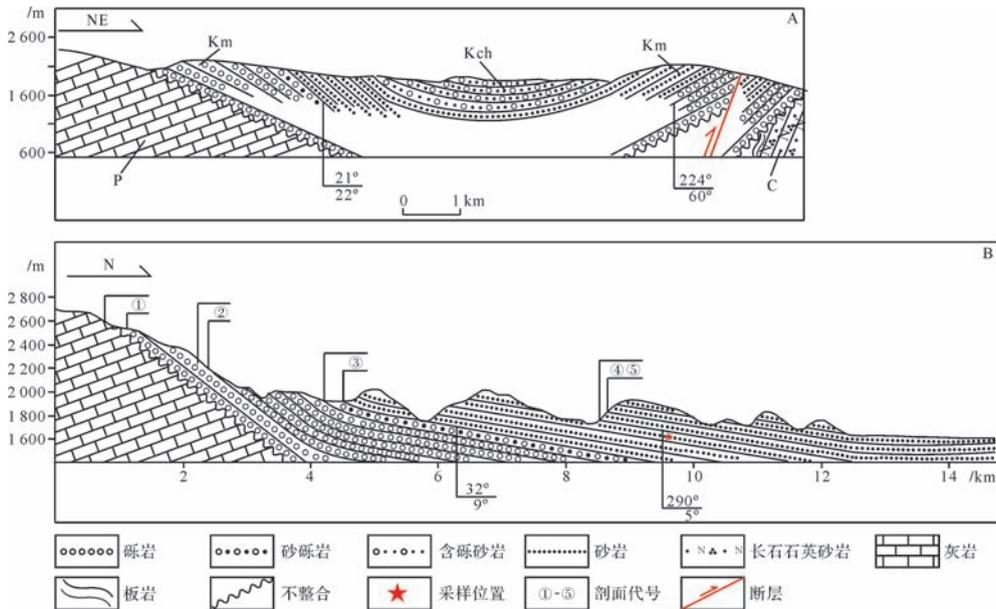


图 3 西秦岭武山盆地构造剖面简图(A.武山盆地剖面 A—B, B.马力镇剖面 C—D, 剖面照片见图 5)

Fig.3 Tectonic section in Wushan Basin(A.Wushan Basin section A-B, B.Malishen section

C-D, the photos of section shown in Fig.5)

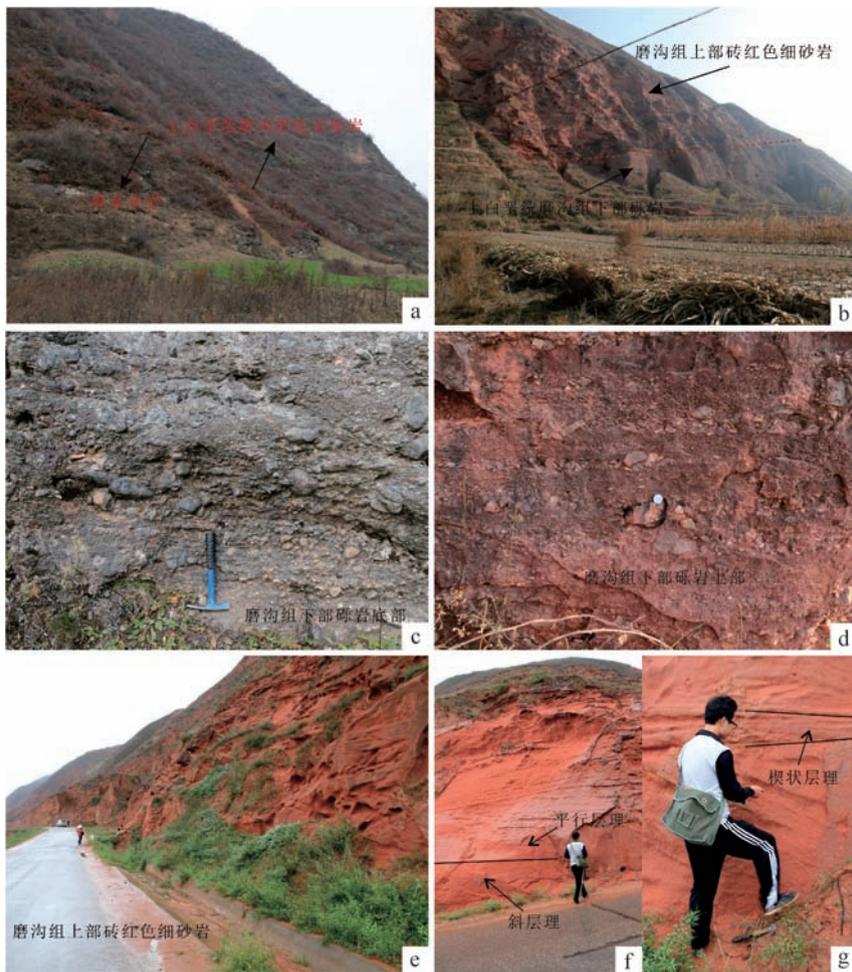


图4 西秦岭武山盆地上白垩统磨沟组野外特征

a.武山盆地上白垩统与下伏二叠系灰岩的角度不整合;b.磨沟组上部的砾岩与砖红色细砂岩分界面;c.磨沟组底部砾岩特征;d.磨沟组砖红色细砂岩之下的砾岩特征;e.磨沟组砖红色细砂岩露头特征;f.磨沟组砖红色细砂岩中的大型斜层理、平行层理;g.磨沟组砖红色细砂岩发育楔状层理

Fig.4 Field characteristics of the Upper Cretaceous Mogou Formation in Wushan Basin, western Qinling

2 武山盆地上白垩统沙漠相沉积序列特征

武山盆地磨沟组上部砖红色砂岩在马力镇出露良好,直接整合覆盖在下伏砾岩之上(图3B),为一套砖红色巨厚层细砂岩,厚度约300 m(图4e)。这套砖红色砂岩总体上呈现粒度均匀且以中细粒砂为主的粒度特征,并且发育大型高角度交错层理,在一些斜层理顶部可见低角度平行层理为特征的顶积纹层,楔状层理也有发育(图4f,g),具有沙漠相沉积的特征。在其侧向延伸方向上可见具微细水平层理的砖红色泥岩或粉砂质泥岩(厚约10 cm)与块状细砂岩(厚约25~60 cm)呈互层出现(图5e)。在垂向上,风成交错层理的层系界面平直且无冲刷构造,以低角度相交成楔状或平板状呈多次叠置,前积层上部陡倾,

倾角约为 30° ,向下倾角变缓直至近于水平,前积纹层凹面向上,两套具风成斜层理的层系之间可见厚度约10 cm薄层席状砂岩(图5f)。

3 沙漠相主要沉积类型

通过对武山盆地马力镇剖面上白垩统磨沟组上部砖红色砂岩微观特征、粒度分析、颗粒表面结构和宏观特征等研究,提出了武山盆地上白垩统磨沟组上部这套砖红色细砂岩为一套古沙漠沉积地层。沙漠相沉积可以根据地形地貌、岩性特征、沉积构造及地质营力等不同,划分为戈壁、旱谷、沙丘、丘间和沙漠湖五种亚相^[13-16]。根据沙漠相沉积的各亚相沉积特征及识别标志,将武山盆地上白垩统磨沟组上部沙漠相沉积分为沙丘和丘间两种沉积类型。

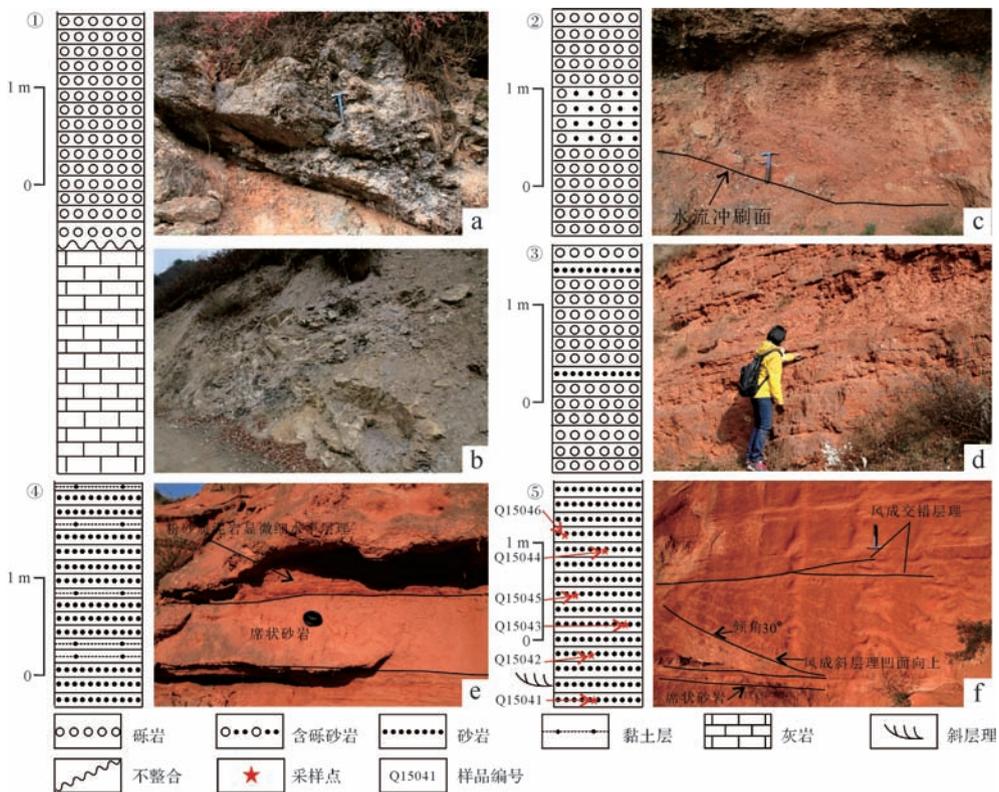


图5 武山盆地地质剖面野外地质照片

Fig.5 The field geological photos of geologic section in Wushan Basin

3.1 沙丘沉积

3.1.1 沙丘砂岩的颜色及组分

武山盆地上白垩统磨沟组上部砂岩主要呈砖红色,表明砂岩中三价铁含量较高,形成时为干热氧化环境。砖红色细砂岩主要为石英砂岩,石英含量高,长石、岩屑含量较少,极少含有云母片和黏土矿物,分选性好,粒度均匀(图6a)。石英含量一般大于80%,成分成熟度高,主要以点—线接触为主,发育接触式胶结和镶嵌式胶结,颗粒支撑,空隙填充,主要胶结物为铁质,石英颗粒表面内凹的碟形、新月形坑十分发育,几乎所有石英颗粒都呈现粗糙的边缘,均显黄褐色—褐红色铁锰质氧化薄膜(图6b,c,e),具有风成砂的特征。长石平均含量较低约5%~10%,主要为钾长石和斜长石;钾长石表面干净但也可见边缘部分风化溶蚀,呈次棱角状,显格子双晶(图6d),斜长石为次棱角状,聚片双晶(图6f);在本次薄片观测中长石风化溶蚀现象较为常见,颗粒表面绢云母化现象容易观测,相比石英颗粒保存较困难,属于弱—中等蚀变,主要呈次棱角状。岩屑是原岩经风化剥蚀后形成的细小的岩石碎块,其岩性特征在一定程度上继承了母岩的性质,这套砂岩岩屑含量较少,约5%左右,沉

积岩岩屑、低级变质岩岩屑、岩浆岩岩屑均可见到(图6d,f)。

3.1.2 沙丘砂岩的颗粒粒度

砂岩的粒度分布和参数特征能反映沉积介质的能量,沉积物搬运方式,是区分沉积环境的良好标志^[17],根据这套砂岩胶结疏松、遇水成沙的特性,筛分样品不需过多粉碎因而不会出现改变原始颗粒粒度问题,机械筛分样品量大,更具代表性,选用圆孔细筛对其进行筛析法分析^[18-19],通过粒度分析实验对砂岩样本颗粒粒径、粒度参数、分选性等进行分析,判别其沉积环境。

从六组样品(表1)的粒度分布直方图可知,其沙物质主要为中砂、细砂和极细砂,三者含量占比为94.33%~98.1%;其中细砂和极细砂两者质量占比之和可达61.17%~87.82%,含量相对较高。粗砂质量占比在0.15%~3.16%,粉砂、黏土含量小于1.97%,他们含量相比都很少,砾石和巨砂含量接近于零(图7);实验的六组砂岩样品中,极细砂含量只有一组较低且低于中砂和细砂,为28.75%,另外五组质量占比均高于其他,为35.88%~53.4%,极细砂分选性好,其次为细砂,六组砂岩样品粒度频率曲线均呈单峰(图

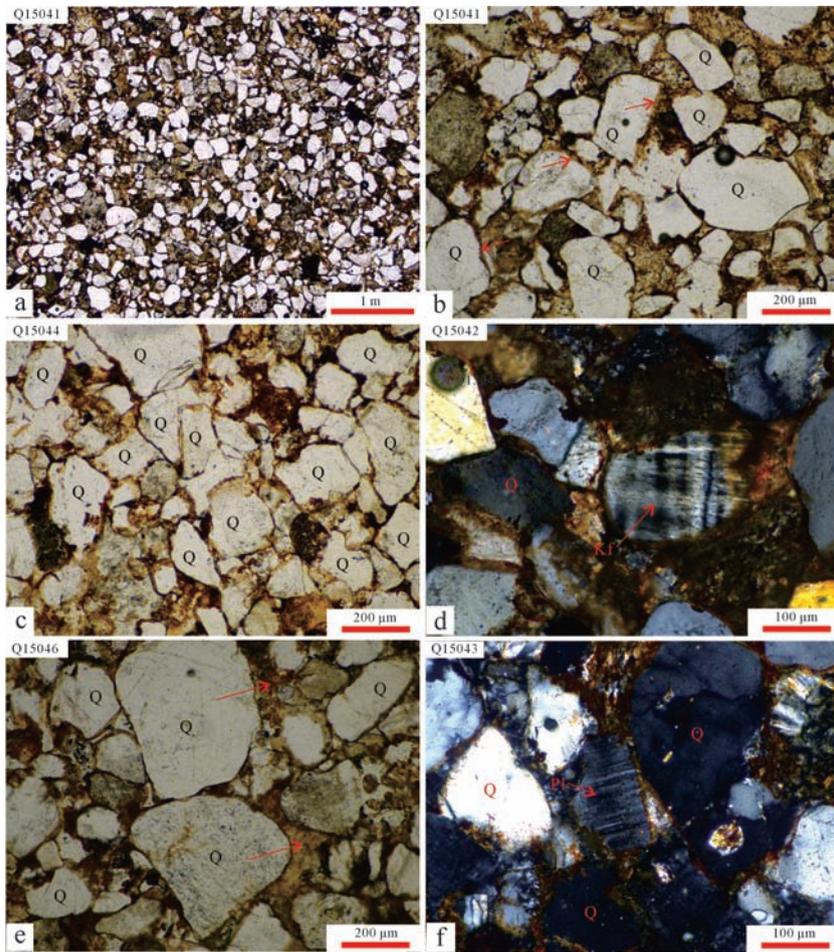


图6 西秦岭武山盆地磨沟组砂岩普通薄片照片

a(Q15041).岩性为石英砂岩,粒度均匀,分选性好,杂基含量少,空隙胶结,单偏光;b(Q15041).石英颗粒边缘黄褐色—红褐色铁锰质氧化薄膜十分发育,单偏光;c(Q15044).岩性为石英砂岩,石英含量占80%以上,长石含量约占5%,含少量岩屑,正交偏光;d(Q15042).石英砂岩含有少量长石,钾长石表面干净,显格子双晶,正交偏光;e(Q15046).石英砂岩为铁质胶结,点—线接触,颗粒支撑,单偏光;f(Q15043).石英砂岩所含少量长石,斜长石显聚片双晶,正交偏光。

Fig.6 The microphotograph of the thin section from the Mogou Formation in Wushan area, western Qinling

表1 西秦岭地区上白垩统岩石样品采集位置及其用途

Table 1 Sampling locations and purpose of the Neogene unconsolidated sandstone in western Qinling

编号	名称	采样点地理坐标	采样位置	样品用途
Q15041	沙丘砂岩	104°43'13.00" E, 34°39'39.07" N	马力镇邵弯村路旁	SEM 薄片 粒度分析
Q15042	沙丘砂岩	104°43'13.00" E, 34°39'39.07" N	马力镇邵弯村路旁	SEM 薄片 粒度分析
Q15043	沙丘砂岩	104°43'13.00" E, 34°39'39.07" N	马力镇邵弯村路旁	SEM 薄片 粒度分析
Q15044	沙丘砂岩	104°43'13.00" E, 34°39'39.07" N	马力镇邵弯村路旁	SEM 薄片 粒度分析
Q15045	沙丘砂岩	104°43'13.00" E, 34°39'39.07" N	马力镇邵弯村路旁	SEM 薄片 粒度分析
Q15046	沙丘砂岩	104°43'13.00" E, 34°39'39.07" N	马力镇邵弯村路旁	SEM 薄片 粒度分析

7、表2)。风成砂沉积黏土含量低,风成砂为其主要沉积物,风积物粒度在2 mm以下,频率曲线呈单峰,若呈双峰,就有两种分选好的砂粒存在^[17, 20]。砂岩粒度集中且基本不含粉砂和黏土,粗砂含量很少,砾石和巨砂含量接近于零,其粒度分布特征与典型风成

砂比较一致。

跃移为风沙运动的主要形式,其粒径主要为0.1~0.5 mm^[21]。从概率值累积曲线(图8)来看,悬移总体斜率较高,说明极细砂组分的分选较好;跳跃总体由两个线段构成,较粗线段斜率较高,较细线段斜

率较低,说明跃移粒径在较粗段较为集中。跃移区间的两个次总体合并后的总体有两组约占60%,另外四组约为70%~80%。分选系数 S_0 在2.14~2.83之间,分选性中等—好。现代沙漠沉积研究表明,风速大于30 m/s时在干燥的沙漠地区能吹走地面的细砾而出现飞沙走石现象;总体情况表明风力推移下的砾、砂运动速度较慢同时推移物质数量也少,跃移、悬移为大部分颗粒的主要搬运方式^[22]。风沙运动的主要形式为跃移,沉积物在三种搬运方式中(正常地面风力条件下)主要为跳跃搬运(约占70%~80%),下来是滚动搬运(小于20%),悬浮搬运很少(小于10%)^[20]。

根据表中(表3)数据分析可知,马力镇剖面砂岩与塔克拉玛干沙漠迎风坡沙粒粒度均值很靠近且标

准偏差也较为接近。马力镇剖面六组砂岩样品偏态数据中有五组表现为负偏,一组为正偏。正偏与沙丘砂常表现为正偏态特点一致^[23],负偏与塔克拉玛干沙漠迎风坡沙粒粒度偏态均表现为负偏一致且数值相近^[24]。马力镇剖面六组砂岩样品粒度峰值在0.76~0.97之间。按照福克等用 K_g 值确定的等级界限: $K_g=0.67\sim 0.9$ 为平坦, $K_g=0.9\sim 1.11$ 为中等峰度^[23],马力镇剖面六组砂岩样品中有五组为平坦,一组为中等峰度。塔克拉玛干沙漠迎风坡沙粒粒度峰值区间在0.67~0.72,马力镇剖面砂岩与之较为相近。相比之下,马力镇剖面砂岩峰值更大一些,趋于沙丘砂常表现为中等峰度的特点^[23]。以上数据分析表明:马力镇剖面砂岩具有与现代沙漠砂近一致的粒度分布和粒度参数特征^[24-25]。

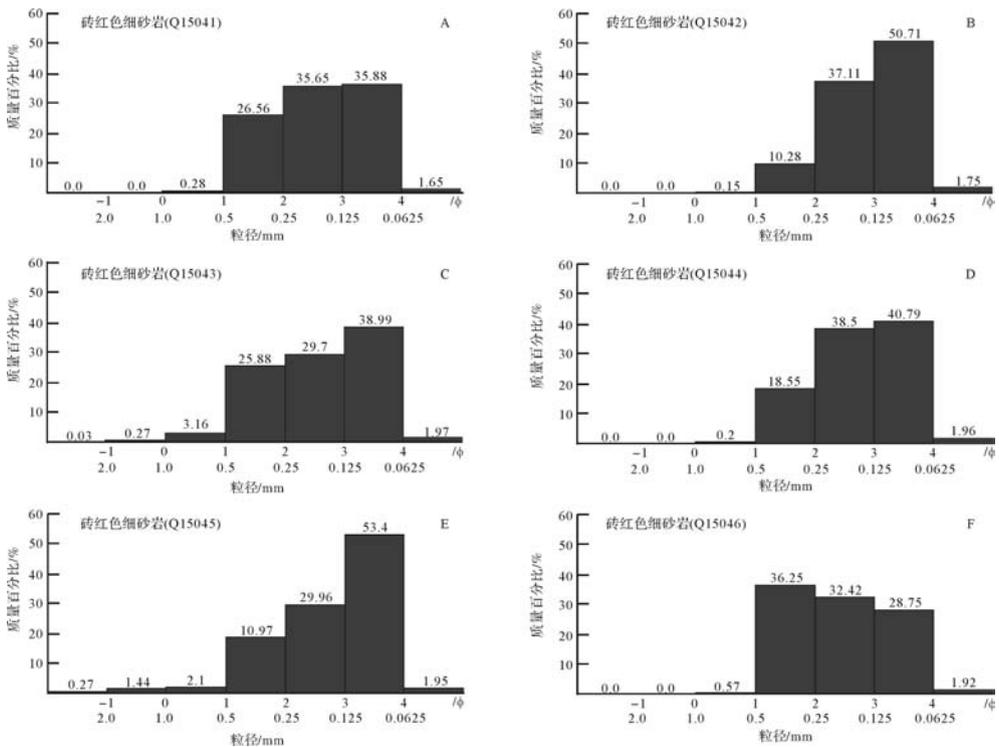


图7 西秦岭武山盆地上白垩统磨沟组马力镇剖面砂岩粒度分布直方图

Fig.7 Histogram of grain size distribution of Upper Cretaceous Mogou Formation sandstones in Wushan Basin, western Qinling

表2 武山盆地马力镇剖面砂岩与现代沙漠砂粒径分布(粒度单位:mm)

Table 2 The distribution of grain size of sand in Malizhen section, Wushan Basin

样品编号名称	各粒级百分含量/%						
	>2	2~1	1~0.5	0.5~0.25	0.25~0.125	0.125~0.0625	<0.0625
沙丘砂岩(Q15041)	0	0	0.28	26.56	35.65	35.88	1.65
沙丘砂岩(Q15042)	0	0	0.15	10.28	37.11	50.71	1.75
沙丘砂岩(Q15043)	0.03	0.27	3.16	25.88	29.7	38.99	1.97
沙丘砂岩(Q15044)	0	0	0.2	18.55	38.5	40.79	1.96
沙丘砂岩(Q15045)	0.27	1.44	2.1	10.97	29.96	53.4	1.95
沙丘砂岩(Q15046)	0	0	0.57	36.25	32.42	28.75	1.92

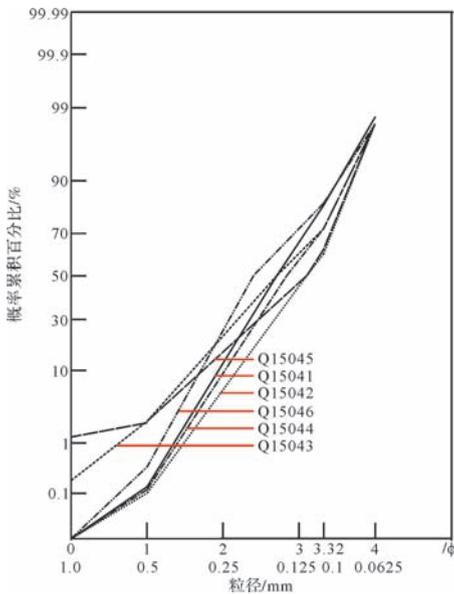


图8 西秦岭武山盆地上白垩统磨沟组马力镇剖面砂岩粒度分布概率累积曲线

Fig.8 Cumulative probability curves for grain size distribution of sandstones in the Upper Cretaceous Mogou Formation in Wushan Basin, western Qinling

表3 马力镇剖面砂岩与现代沙漠砂粒度参数对比

Table 3 The comparison on grain size parameters of sand in Malizhen section and modern desert

样品编号名称	各粒级百分含量/%			
	均值	标准偏差	偏态	峰态
沙丘砂岩(Q15041)	2.63	0.83	-0.18	0.82
沙丘砂岩(Q15042)	3.07	0.74	-0.15	0.84
沙丘砂岩(Q15043)	2.67	0.94	-0.14	0.78
沙丘砂岩(Q15044)	2.8	0.82	-0.11	0.84
沙丘砂岩(Q15045)	2.95	0.81	-0.31	0.97
沙丘砂岩(Q15046)	2.43	0.91	0.06	0.76
塔克拉玛干沙漠沙垄迎风坡1 ^[24]	2.77	0.93	-0.4	0.67
塔克拉玛干沙漠沙垄迎风坡2 ^[24]	2.73	0.94	-0.42	0.67
塔克拉玛干沙漠沙垄迎风坡3 ^[24]	2.72	0.9	-0.29	0.72

3.1.3 沙丘砂岩的颗粒形态及表面结构

砂岩主要是因机械沉积作用形成,岩屑、长石等不稳定组分遭到大量破坏,稳定组分石英较为富集,石英颗粒在搬运和沉积过程中在其表面必然会留下相应痕迹^[23,26]。石英颗粒形态及表面显微特征能够记录其搬运介质类型、沉积时的环境特征和沉积过程中的理化风化作用。磨沟组砂岩样品根据实验所需经制样后,选取粒径为0.25~0.5 mm的石英颗粒20~30颗^[27],进行扫描电镜观察。

扫描电镜观察表明,磨沟组上部砖红色砂岩石英颗粒普遍体现出很高的磨圆度,可达4~5级(鲍尔

斯,1953)圆状,其表面呈毛玻璃状,具有风成砂毛玻璃状表面及高磨圆度的特征(图9a,d,g)。风成砂中石英颗粒表面最具特色的碟形、新月形物理撞击坑^[26],在本次分析样品中普遍发育(图9a~h),指示这套砂岩沉积时处于高能风成环境^[26]。上翻解理薄片并非风成环境所特有,一般认为在风成环境中最为发育^[28],石英颗粒表面上翻解理薄片可见(图9o)。风成砂石英颗粒表面V形坑不具有风成环境指示性,因为V形坑主要发育于水下环境,其形成是不对称颗粒常以最长轴方向平行于风的主方向而求得最小抗力产生的,可见于进入风成环境不久的颗粒表面^[28-29]。贝壳状断口是石英颗粒表面常见形态,但少见于风成环境,大量存在于水成环境,仅在刚进入风成环境不久的颗粒中可见^[28]。所分析的石英颗粒表面V形坑偶尔可见,数量很少(图9i),贝壳状断口很难见到。

磨沟组上部砖红色砂岩石英颗粒表面鳞片状剥落、深邃的溶蚀坑和溶蚀沟均十分发育,溶蚀坑常呈蜂窝状或为成簇出现并具有一定方向性的近等腰三角形溶蚀坑(图9k,l,j)。鳞片状剥落是原始石英颗粒晶体网格缺陷处化学溶蚀作用发育而产生的化学崩解现象^[30-32],解理因溶蚀作用逐渐扩大而被分割成大小及厚度均不同的解理片,解理片进一步解体形成鳞片状且脱落倾向明显;深邃的溶蚀沟和溶蚀坑是由于化学溶蚀作用深入到石英晶面解体带与非解体带之间的过渡带而形成,颗粒表面近等腰三角形溶蚀坑是溶蚀作用在晶面非解体带晶面上沿晶体结构而产生的。石英颗粒的强烈溶蚀作用是炎热气候的产物^[33],特别是在风成环境中显著的沉淀作用往往与强烈的溶蚀作用相伴生,SiO₂经常就近沉淀于颗粒表面,具有非常明显的沉淀现象^[33]。SiO₂初始沉淀先形成直径平均为0.05~0.25 μm的圆球形或近圆球形硅质球^[28],此现象在风成环境中普遍^[30-32],凸起的硅质鳞片是由于硅质球的聚集而形成,石英颗粒表面的硅质薄膜是因鳞片状SiO₂沉淀继续大面积扩展,甚至整个颗粒被包裹而形成^[28]。石英砂表面氧化硅沉淀作用在水域环境中(海岸、河流等)主要在砂粒表面的低洼处发育,形成直径平均为0.05~0.25 μm的散丸状硅质珠,氧化硅沉淀以风成砂最发育,风成砂的表面,氧化硅沉淀形成的硅质薄膜往往能将其整个覆盖^[34]。扫描电镜下这套砂岩石英颗粒表面因沉淀作用形成的凸起的硅质鳞片和硅质薄膜均十分发育(图9m,n)。

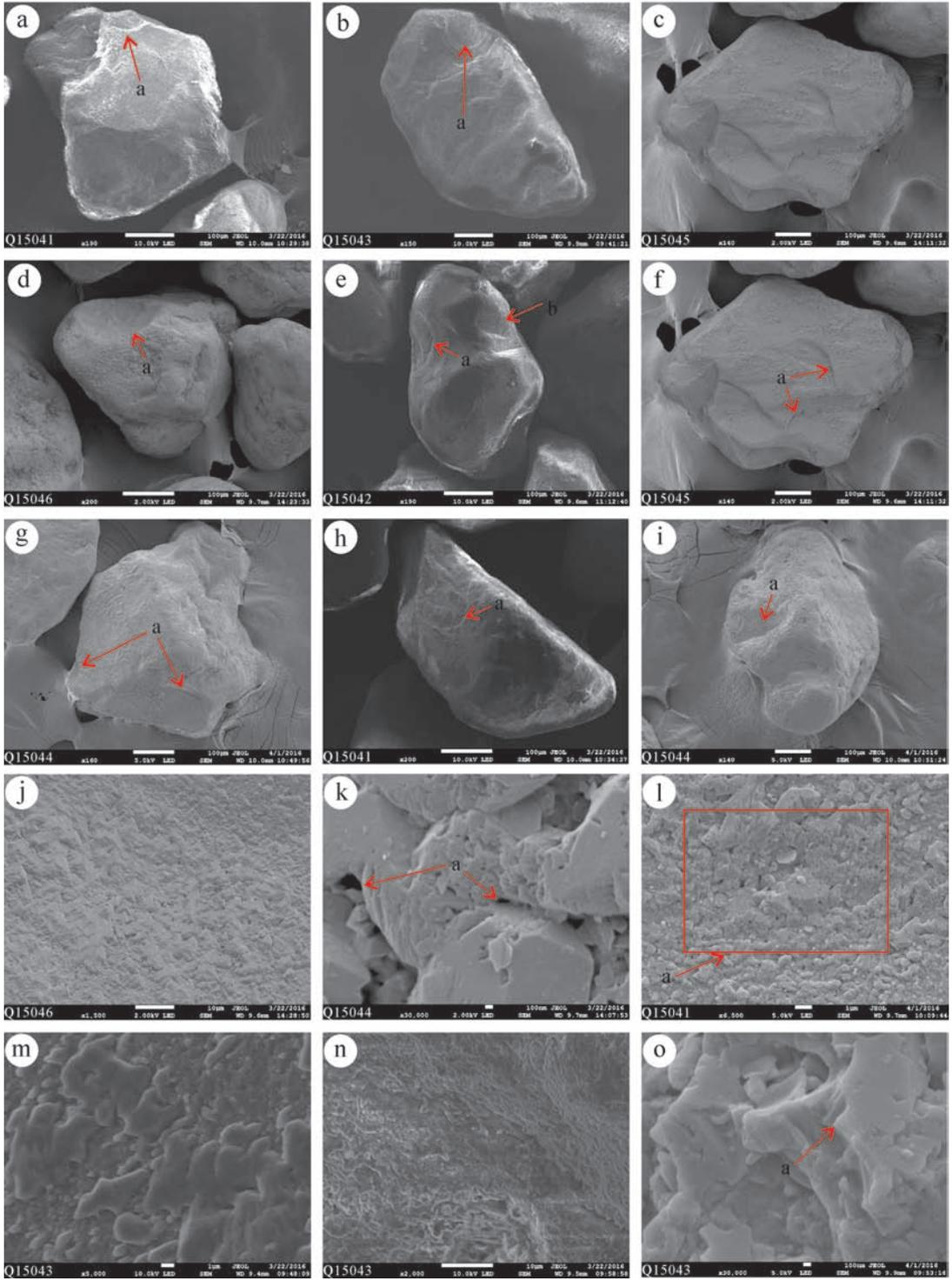


图 9 西秦岭武山盆地上白垩统磨沟组砂岩颗粒表面特征

a(Q15041).磨圆石英颗粒,碟形撞击坑 a; b(Q15043).碟形坑 a; c(Q15045).磨圆的石英颗粒发育新月形坑; d(Q15046).碟形坑 a; e(Q15042).新月型坑 a, 碟形坑 b; f(Q15045).新月形坑 a; g(Q15044).新月形坑 a; h(Q15041).碟形坑 a; i(Q15033).磨圆石英颗粒发育 V 形坑 a; j(Q15046).方向性溶蚀; k(Q15044).深邃溶蚀坑 a; l(Q15041).蜂窝状溶蚀坑; m(Q15043).凸起的硅质鳞片; n(Q15043).硅质薄膜; o(Q15043).上翻解理薄片.测试单位为天津城建大学材料科学与工程学院扫描电镜实验室。

Fig.9 Morphological and surface microscopic features of Upper Cretaceous Mogou Formation sandstones in Wushan Basin, western Qinling

以上研究表明:这套砂岩石英颗粒在扫描电镜下磨圆度高,干热气候下风沙环境中石英颗粒表面结构的典型特征在其表面十分发育而明显区别于水成砂沉积,说明这套砂岩主要为干热气候下的风成砂沉积。

3.1.4 沙丘砂岩的沉积构造

沙丘砂岩沉积构造以交错层理、平行层理、楔状层理等多种层理为特征及发育准同生变形构造^[35-36],大型高角度交错层理为风成沙丘沉积的显著特征^[37-42]。武山地区马力镇附近磨沟组上部沙丘沉积广泛出露,沉积构造以十分发育的大型高角度交错层理为特征(图 10a~d),交错层理前积纹层上凹,前积层上部倾角较大,可达 30° 左右(图 10c),向下逐渐减小(图 10d),近底处多与下界面近于水平相切;层系厚度较大,可达 $1\sim 2\text{ m}$,部分在 2 m 以上,细层厚

度一般为 $2\sim 20\text{ cm}$ (图 10a, c),平面上展布稳定,延伸长度在 20 m 以上。交错层理的层系界面平直且无冲刷构造,以低角度相交成楔状(图 10b)或平行板状(图 10a)。在一些交错纹层的顶部还观察到以低角度平行层理为特征的沙丘顶积纹层(图 10d)。本区沙丘砂岩的沉积构造特征与现代沙漠沙丘^[43-44]的沉积构造特征接近一致。

本区大型交错层理主要发育大型板状单斜层理,同时楔状层理、平行层理也有发育。大型板状单斜层(图 10a)夹于水平层之间,前积层顶部与上部层面以高角度相交(约 30°),底部与下部层面近以水平相切,板状单斜层理在横向上展布长度一般在 10 m 以上。层系厚度一般为 1 m 左右,垂向上多个层理组合厚度可达 10 m 以上。由于古潜水面之上的部分被侵蚀搬运,剖面中保留的沙丘沉积是古潜水面之下的部

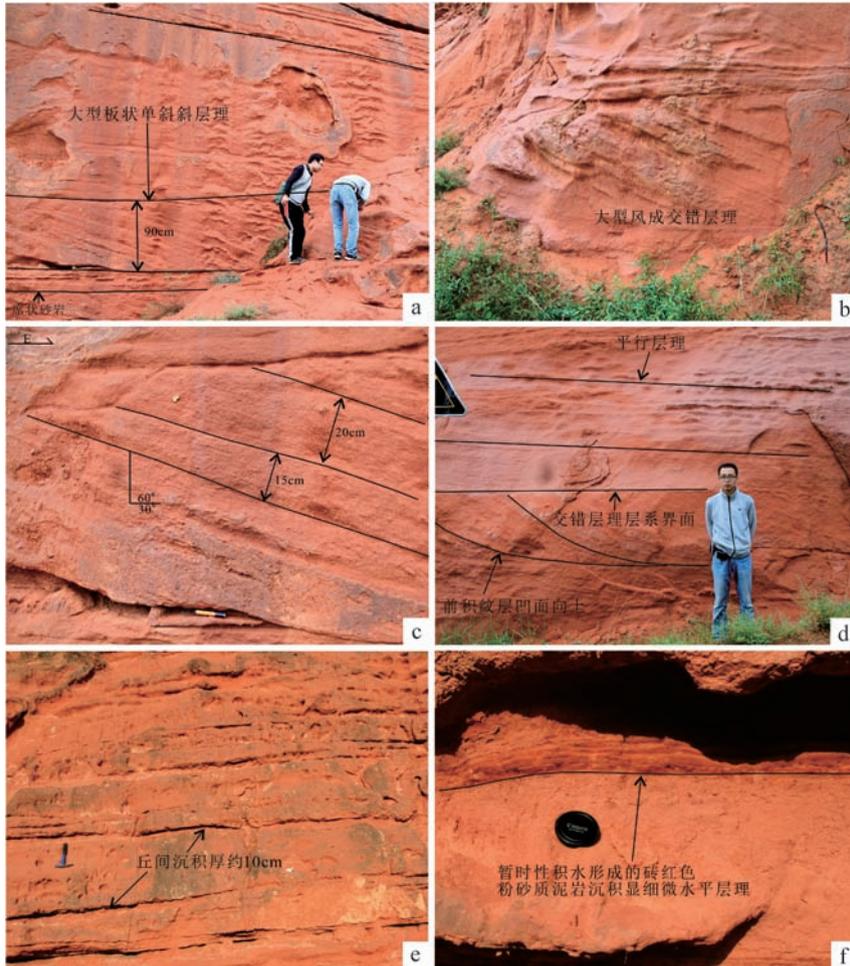


图 10 西秦岭武山盆地上白垩统磨沟组马力镇剖面砂岩野外特征

a. 武山盆地上白垩统磨沟组沙丘砂岩发育大型板状交错层理; b. 马力镇剖面沙丘砂岩发育大型风成交错层理; c. 马力镇剖面沙丘砂岩大型板状单斜层理; d. 马力镇剖面沙丘砂岩顶积纹层呈低角度平行层理; e. 马力镇剖面砖红色细砂岩夹薄层泥岩或粉砂质泥岩; f. 马力镇剖面覆水型沙丘间粉砂质泥岩沉积显微细水平层理。

Fig. 10 Field pictures showing the features of the Upper Cretaceous Mogou Formation sandstones in Wushan Basin, western Qinling

分^[45]。大型板状单斜层理平直且彼此平行的上下层系界面表明沙丘发育时具有平稳的潜水面,从而水平削切发育同时地形非常平坦,剖面中多个平板状单斜层理垂向叠置是由于同向风多次风蚀削切和风积共同作用而成。楔状交错层理(图 10b)纹层斜交于层系界面,层系上下界面彼此不平行、厚度变化明显呈楔形。其成因复杂,可能是由于风向变化等多种因素所致^[36],楔状交错层组的分界面为风向转换面^[37,40-41]。平行层理出现在一些交错纹层的顶部(图 10d),主要是由平行且近水平的纹层状细砂组成,纹层厚度为毫米级至厘米级。平行层理一般出现在高能环境中^[23],说明沙丘发育时风动力环境时常也会变得极强,将先存沙丘沉积的顶部削切成一个平面进而在强风动力环境下风积作用形成具平行层理的风成砂沉积。

3.2 丘间沉积

沙丘间是指沙丘之间低洼的或沙丘暂不足以覆盖的地带或地区^[46-48],丘间沉积按成因分为干丘间和湿丘间,干丘间沉积以风成沉积为主,沙席就为干丘间沉积的一种,湿丘间沉积以水成沉积为显著特征,包括沙漠湖及早谷等^[35]。存在于板状交错层组之间的低角度或水平分界面属于风蚀波痕面或丘间沉积^[37,40-41],干旱型沙丘间沉积以风积作用为主,可形成保存水平至低角度($0^{\circ}\sim 15^{\circ}$)层理的较薄而平坦的席状纹层砂,这种纹层是由于沙波推移及颗粒降落的垂向加积作用而形成^[45-46,49]。本区干丘间沉积发育,在剖面上夹于上下两套板状单斜层理之间,沉积构造主要表现为水平层理,层系厚度不大,一般为几十厘米,呈较薄而平坦的席状砂岩沉积(图 10a)。样品(Q15042)粒度分析与 SEM 实验结果表明其岩性特征与上下沙丘沉积基本相似,说明干丘间沉积以风积作用为主。

沙丘间出现明显积水而转变为湿丘间或称覆水型沙丘间,覆水型沙丘间沉积物源主要为风成细碎屑,沉积物以具有水平纹层的黏土岩、泥岩、粉砂岩等为特征,这些沉积物保持了原始水平沉积的结构和构造^[36,46]。沙漠湖是在沙漠的低洼区域因暂时性积水而形成,也可是较小的覆水型丘间演化而成规模变大的小型沙漠湖泊^[17,36,46]。沉积物以具水成沉积为特征、显水平层理的细碎屑为主,当湖泊处于间歇性干涸时薄层风成砂沉积会覆盖其上,沙丘沉积在侧向上和垂向上与其过渡^[35]。本区湿丘间沉积发育砖红色泥岩或粉砂质泥岩沉积,可见微细水平层理(图

10f),其沉积厚度一般较小,多为 10~20 cm,顶部常被薄层风成席状砂覆盖,在垂向上呈多次叠置(图 10e);侧向上延伸较长,可达数米甚至更大,与风成沙丘沉积过渡。说明当时的覆水型沙丘间因降水或潜水面上升形成的暂时性积水面积的增大而演变为丘间湖泊甚至为更大的沙漠湖。

4 武山盆地晚白垩世沙漠沉积的地质意义讨论

4.1 气候环境意义

武山盆地上白垩统磨沟组上部砖红色细砂岩的颜色、粒度分布、岩石薄片特征、石英颗粒表面结构、沉积构造等均表明其为干热气候条件下的风成砂沉积。这些特征在其他沉积介质条件成因的砂岩所难以观察到的。说明晚白垩世西秦岭地区气候极其干旱炎热,风力较大且持续时间长,风沙运动强烈。同时,考虑到这套砂岩层理近于水平(图 10a),其斜层理的倾斜方向大致指示古风向(图 10c),古风向的主风向应为由西向东。

4.2 古地貌意义

西秦岭武山盆地上白垩统磨沟组上部厚度巨大的砖红色细砂岩主要发育沙丘沉积和丘间沉积,均为沙漠相沉积的重要类型,并且在空间上具有一定的规模,为一套古沙漠沉积地层。武山盆地上白垩统磨沟组与下伏不同时代的地层的角度不整合面清晰。角度不整合面是地层经历强烈构造运动后在构造相对稳定时期遭受剥蚀、夷平的古夷平面^[8]。沙漠形成所需的地貌特征应非常平坦,是在十分平坦的地面上发育的^[37]。由此可见,西秦岭在晚白垩发育沙漠环境时地形已经起伏不大,相对开阔平坦。这一结论与郭进京等通过对西秦岭腹地岷县地区上白垩统红层与下伏地层的角度不整合及不整合之上的风成砂的研究以及结合区域上这套红层地层的空间分布特征和沉积序列特征分析而初步得出西秦岭在晚白垩世初期为干旱炎热的沙漠环境且西秦岭当时地形是起伏不大的相对平坦的古地貌状态的认识一致^[8]。西秦岭上白垩统红层地层自下而上分为磨沟组和车拉组,磨沟组与车拉组为整合接触。车拉组在保存完整的盆地沉积序列基本一致,都为细碎屑沉积(红色或紫红色泥岩、页岩夹砂岩、砾岩),说明晚白垩世末期现今这些孤立的红层盆地可能为一个统一的红层盆地^[7]。综上所述,西秦岭在早白垩世为盆山型构造^[7],在晚白垩世初期已经经历了长时间的剥蚀夷

平,应为准平原化阶段,地形高差相差不大、相对平坦,在晚白垩世末期应联合为同一盆地。这为认识西秦岭白垩纪沉积环境和古地貌状态提供了可靠的地质约束。现今断续分布的上白垩统红层地层是由于古近纪末期以来^[7,50],印度板块与欧亚板块相互碰撞引起的地壳隆升和相伴随的侵蚀作用的结果。

5 结论

通过对西秦岭武山盆地上白垩统磨沟组上部砖红色风成砂岩的沉积序列、沉积构造、粒度组成、微观结构和石英颗粒表面特征的系统研究,主要取得了以下认识:

(1) 武山盆地上白垩统磨沟组底部为一套紫色巨厚块状冲洪积相砾岩,期间有河流相沉积发育,向上砾岩粒度有变细的趋势并出现薄砂岩夹层;在这套砾岩之上为一套砖红色细砂岩,岩层厚度大,结构疏松,粒度均匀,成分、结构、颜色、形状在剖面上差异很小,并且这套砖红色细砂岩以发育大型风成高角度交错层理为特征,指示了其具有沙漠沉积的特征。

(2) 磨沟组上部这套砂岩颜色主要呈砖红色,说明形成于干热氧化环境;岩性主要为石英砂岩、长石和岩屑含量很少,几乎所有石英颗粒表面可见红褐色—黄褐色铁锰质氧化薄膜,体现了风成砂的特征。这套砂岩粒度分布及粒度参数特征与现代沙漠砂相近,粗砂级以上颗粒、粉砂、黏土含量很少,沙物质主要为中砂、细砂和极细砂;砂岩颗粒分选性中等—好,跃移组分含量占主导。石英颗粒电镜下呈现磨圆度高的特征,表面十分发育新月形和碟形撞击坑、溶蚀坑和硅质沉淀等。沉积构造以发育大型板状高角度交错层理为特征,同时也可见平行层理和楔状层理。这些特征显示其形成时气候干旱炎热,风沙活动强烈,古风向的主风向由西向东。

(3) 西秦岭北缘武山地区晚白垩世沙漠沉积的存在,结合西秦岭腹地同时代的哈达铺盆地、岷县西江盆地中存在类似的沙漠相沉积分析,提出了西秦岭晚白垩世不仅处于干旱炎热气候环境,而且地形地貌也相对平坦。这为认识西秦岭白垩纪古构造地貌状态和气候环境提供可靠的地质约束。

参考文献 (References)

- [1] 冯益民,曹萱铎,张二册,等. 西秦岭造山带结构构造山过程及动力学[M]. 西安:西安地图出版社,2002. [Feng Yimin, Cao Xuanduo, Zhang Erpeng, et al. Structure, orogenic process and dynamics of western Qinling Orogenic Belt[M]. Xi'an: Xi'an Map Publishing House, 2002.]
- [2] 张国伟,郭安林,姚安平. 中国大陆构造中的西秦岭—松潘大陆构造结[J]. 地学前缘,2004,11(3):23-32. [Zhang Guowei, Guo Anlin, Yao Anping. Western Qinling-Songpan continental tectonic mode in China's continental tectonics[J]. Earth Science Frontiers, 2004, 11(3): 23-32.]
- [3] 张国伟,张本仁,袁学诚,等. 秦岭造山带与大陆动力学[M]. 北京:科学出版社,2001:1-855. [Zhang Guowei, Zhang Benren, Yuan Xuecheng, et al. Qinling Orogenic Belt and continental dynamics[M]. Beijing: Science Press, 2001: 1-855.]
- [4] 甘肃省地质调查院. 岷县幅 1:250000 区域地质调查报告[R]. 兰州:甘肃省地质调查院,2007. [Institute of Geology Investigation of Gansu Province. Regional geological survey report of Minxian [R]. Lanzhou: Institute of Geology Investigation of Gansu Province, 2007.]
- [5] 甘肃省地质矿产局. 甘肃省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1989:244-320. [Bureau of Geology and Mineral Resources of Gansu Province. Regional geology of Gansu province[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1989: 244-320.]
- [6] 张二册. 秦岭—大巴山及邻区地质图(1:100万)[M]. 北京:地质出版社,1992:1-24. [Zhang Erpeng. Geological map of Qinling-Daba Mountains and adjacent region of the People's Republic of China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1992: 1-24.]
- [7] 郭进京,韩文峰,赵海涛,等. 西秦岭中-新生代红层的构造层划分及其构造意义[J]. 地质论评,2014,60(6):1231-1244. [Guo Jinjing, Han Wenfeng, Zhao Haitao, et al. Tectonic layer division of Mesozoic-Cenozoic red bed basins in the western Qinling mountains and its tectonic significance[J]. Geological Review, 2014, 60(6): 1231-1244.]
- [8] 郭进京,韩文峰,赵海涛,等. 西秦岭晚白垩世原型盆地—新生代青藏高原隆起的背景[J]. 地质科学,2015,50(2):364-376. [Guo Jinjing, Han Wenfeng, Zhao Haitao, et al. Late Cretaceous proto-type basin in the western Qinling: background of Cenozoic uplifting of Tibet Plateau[J]. Chinese Journal of Geology, 2015, 50(2): 364-376.]
- [9] 冯益民,曹萱铎,张二册,等. 西秦岭造山带的演化、构造格局和性质[J]. 西北地质,2003,36(1):1-10. [Feng Yimin, Cao Xuanduo, Zhang Erpeng, et al. Tectonic evolution framework and nature of the west Qinling orogenic belt[J]. Northwestern Geology, 2003, 36(1): 1-10.]
- [10] 许志琴,杨经绥,李化启,等. 中国大陆印支碰撞造山系及其造山机制[J]. 岩石学报,2012,28(6):1697-1709. [Xu Zhiqin, Yang Jingsui, Li Huaqi, et al. Indosinian collision-orogenic system of Chinese continent and its orogenic mechanism[J]. Acta Petrologica Sinica, 2012, 28(6): 1697-1709.]
- [11] 张国伟,程顺有,郭安林,等. 秦岭—大别中央造山系南缘勉略古缝合带的再认识—兼论中国大陆主体的拼合[J]. 地质通报,2004,23(9/10):846-853. [Zhang Guowei, Cheng Shunyou, Guo Anlin, et al. Mianlue paleo-suture on the southern margin of the central orogenic system in Qinling-Dabie with a discussion of

- the assembly of the main part of the continent of China[J]. Geological Bulletin of China, 2004, 23(9/10): 846-853.]
- [12] 张国伟,董云鹏,赖绍聪,等. 秦岭—大别造山带南缘勉略构造带与勉略缝合带[J]. 中国科学(D辑):地球科学,2003,33(12): 1121-1135. [Zhang Guowei, Dong Yunpeng, Lai Shaocong, et al. Mianlue tectonic zone and Mianlue suture zone on southern margin of Qinling-Dabie orogenic belt[J]. Science China (Seri. D): Earth Sciences, 2003, 33(12): 1121-1135.]
- [13] 庞军刚,国吉安,李文厚,等. 古沙漠记录的沉积体系及层序地层研究进展——以鄂尔多斯盆地白垩系为例[J]. 地层学杂志,2011,35(1): 95-102. [Pang Jungang, Guo Ji'an, Li Wenhou, et al. Advance of depositional system and sequence stratigraphy in paleo-desert record: Taking the Cretaceous strata in Ordos Basin as an example[J]. Journal of Stratigraphy, 2011, 35(1): 95-102.]
- [14] 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. [Liu Baojun, Zeng Yunfu. Basis and study method of sedimentary facies and palaeogeography[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1985.]
- [15] 齐骅,李国栋,李玉文. 鄂尔多斯盆地志丹群中的沙漠相[J]. 岩相古地理,1993,14(2): 64-65. [Qi Hua, Li Guodong, Li Yuwen. Gretaceous desert facies of Zhidan Group in Ordos Basin[J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1993, 14(2): 64-65.]
- [16] 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. [Jiang Xinsheng, Li Yuwen. Spatio-temporal distribution of the Cretaceous deserts in central and eastern China and its climatic significance[J]. Sedimentary Facies and Palaeogeography, 1996, 16(2): 42-51.]
- [17] 姜在兴. 沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,2003. [Jiang Zaixing. Sedimentology[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.]
- [18] 曹振,胡克,张永光,等. 科尔沁沙地地表沉积物粒度分析与可风蚀性讨论[J]. 中国沙漠,2005,25(1): 15-19. [Cao Zhen, Hu Ke, Zhang Yongguang, et al. Grain size distribution and wind erosion possibilities of surface sediments in Horqin Sandland[J]. Journal of Desert Research, 2005, 25(1): 15-19.]
- [19] 谢裕江,刘高,李高勇. 甘肃兰州黄河北岸疏松砂岩成因[J]. 现代地质,2012,26(4): 705-711. [Xie Yujiang, Liu Gao, Li Gaoyong. Genesis of the unconsolidated sandstones in the north side of the Yellow River in Lanzhou, Gansu[J]. Geoscience, 2012, 26(4): 705-711.]
- [20] 舒良树. 普通地质学[M]. 3版. 北京:地质出版社,2010. [Shu Liangshu. Physical geology[M]. 3rd ed. Beijing: Geological Publishing House, 2010.]
- [21] 吴正. 风沙地貌与治沙工程学[M]. 北京:科学出版社,2003. [Wu Zheng. Geomorphology of wind-drift sands and their controlled engineering[M]. Beijing: Science Press, 2003.]
- [22] 汪新文. 地球科学概论[M]. 2版. 北京:地质出版社,2013. [Wang Xinwen. Introduction to geoscience[M]. 2nd ed. Beijing: Geological Publishing House, 2013.]
- [23] 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 4版. 北京:石油工业出版社,2008. [Zhu Xiaomin. Sedimentary petrology[M]. 4th ed. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008.]
- [24] 韩致文,董治宝,王涛,等. 塔克拉玛干沙漠风沙运动若干特征观测研究[J]. 中国科学(D辑):地球科学,2003,33(3): 255-263. [Han Zhiwen, Dong Zhibao, Wang Tao, et al. Observations of several characteristics of aeolian sand movement in the Taklimakan Desert[J]. Science China (Seri.D): Earth Sciences, 2003, 33(3): 255-263.]
- [25] 钱广强,董治宝,罗万银,等. 巴丹吉林沙漠地表沉积物粒度特征及区域差异[J]. 中国沙漠,2011,31(6): 1357-1364. [Qian Guangqiang, Dong Zhibao, Luo Wanyin, et al. Grain size characteristics and spatial variation of surface sediments in the Badain Jaran Desert[J]. Journal of Desert Research, 2011, 31(6): 1357-1364.]
- [26] Alekseeva V A. Micromorphology of quartz grain surface as indicator of glacial sedimentation conditions: evidence from the Protva River Basin[J]. Lithology and Mineral Resources, 2005, 40(5): 420-428.
- [27] 伍永秋,崔之久,葛道凯,等. 昆仑山垭口地区第四纪地层石英砂表面结构特征与沉积环境[J]. 应用基础与工程科学学报,1998,6(2): 11-20. [Wu Yongqiu, Cui Zhijiu, Ge Daokai, et al. Surface character and sedimentary environment of the quartz grains in the Quaternary strata in Kunlun mountains pass area[J]. Journal of Basic Science and Engineering, 1998, 6(2): 11-20.]
- [28] 江新胜,徐金沙,潘忠习. 四川盆地白垩纪沙漠石英颗粒表面特征[J]. 沉积与特提斯地质,2003,23(1): 60-68. [Jiang Xinsheng, Xu Jinsha, Pan Zhongxi. The surface features of the quartz sand grains from the Cretaceous desert in the Sichuan Basin[J]. Sedimentary Geology and Tethyan Geology, 2003, 23(1): 60-68.]
- [29] 同济大学海洋系. 扫描电镜在石英外形研究中的应用[M]. 上海:同济大学科学技术情报站,1980. [Marine Department of Tongji University. Scanning electron microscopy in the application of quartz shape research[M]. Shanghai: Tongji University Intelligence of Science and Technology, 1980.]
- [30] 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. [Chen Lihua, Miu Xin, Yu Zhong. The application of scanning electron microscopy in geology[M]. Beijing: Science Press, 1986.]
- [31] 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. [Chen Lihua, Miu Xin, Wei Baohe. The application of scanning electron microscopy in petroleum geology[M]. Beijing: Science Press, 1990.]
- [32] 谢又予. 中国石英砂表面结构特征图谱[M]. 北京:海洋出版社,1984. [Xie Youyu. Quartz sand surface structure feature maps in China[M]. Beijing: China Ocean Press, 1984.]
- [33] 崔晓庄,江新胜,伍皓,等. 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[J]. 地质通报,2011,30(8): 1238-1244. [Cui Xiaozhuang, Jiang Xinsheng, Wu Hao, et al. Surface microscopic characteristics of quartz sand grains in the Paleogene Baoxiangsi Formation of Lijiang-Jianchuan area, northwest-

- ern Yunnan [J]. *Geological Bulletin of China*, 2011, 30(8): 1238-1244.]
- [34] 任明达, 缪昕. 石英砂表面的微结构—一种沉积环境标志[J]. *地质论评*, 1984, 30(1): 36-41. [Ren Mingda, Miu Xin. Surface microtextures of quartz sand grains—a guide to sedimentary environments[J]. *Geological Review*, 1984, 30(1): 36-41.]
- [35] 刘立安, 姜在兴. 四川盆地古近纪沙漠沉积特征及古风向意义[J]. *地质科技情报*, 2011, 30(2): 63-68. [Liu Li'an, Jiang Zaixing. Depositional features of the desert in the Paleogene Sichuan Basin and the significance for the reconstruction of palaeowind direction[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2011, 30(2): 63-68.]
- [36] 谢渊, 王剑, 江新胜, 等. 鄂尔多斯盆地白垩系沙漠相沉积特征及其水文地质意义[J]. *沉积学报*, 2005, 23(1): 73-83. [Xie Yuan, Wang Jian, Jiang Xinsheng, et al. Sedimentary characteristics of the Cretaceous desert facies in Ordos Basin and their hydrogeological significance[J]. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(1): 73-83.]
- [37] 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: 1-117. [Jiang Xinsheng, Pan Zhongxi. *Cretaceous deserts and climate in China* [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005: 1-117.]
- [38] Ahlbrandt T S, Fryberger S G. Introduction to aeolian deposits [C]//Scholle P A, Spearing D R. *Sandstone Depositional Environments*. Tulsa, Oklahoma: American Association of Petroleum Geologists, 1982: 11-47.
- [39] Collinson J D, Thompson D B. *Sedimentary structures* [M]. 2nd ed. Oxford: The University Printing House, 1989: 1-194.
- [40] McKee E D. *Sedimentary structures in dunes* [C]//McKee E D. *A Study of Global Sand Seas*. Washington: United States Government Printing Office, 1979: 83-136.
- [41] McKee E D. *Ancient sandstones considered to be eolian* [C]//McKee E D. *A Study of Global Sand Seas*. Washington: United States Government Printing Office, 1979: 187-240.
- [42] Reading H G. *Sedimentary Environments; Processes, Facies, and Stratigraphy* [M]. 3rd ed. Oxford: Blackwell Science Ltd, 1996: 37-231.
- [43] Zhang Weimin, Qu Jianjun, Dong Zhibao, et al. The airflow field and dynamic processes of pyramid dunes[J]. *Journal of Arid Environments*, 2000, 45(4): 357-368.
- [44] Mayer J H, Mahan S A. Late Quaternary stratigraphy and geochronology of the western Killpecker Dunes, Wyoming, USA[J]. *Quaternary Research*, 2004, 61(1): 72-84.
- [45] Reading H G. *沉积环境和相* [M]. 周明鉴, 译. 北京: 科学出版社, 1985. [Reading H G. *Sedimentary environments and facies* [M]. Zhou Mingjian, Trans. Beijing: Science Press, 1985.]
- [46] 李志德, 程守田, 蒋磊, 等. 风成沙丘间沉积成因类型与风成垂向层序——以鄂尔多斯早白垩世内陆古沙漠为例[J]. *地质科技情报*, 2004, 23(3): 30-34. [Li Zhide, Cheng Shoutian, Jiang Lei, et al. Interdune Sedimentary genetic types and aeolian vertical sequence: An example from Early Cretaceous continental palaeodesert of Ordos[J]. *Geological Science and Technology Information*, 2004, 23(3): 30-34.]
- [47] McKee E D, Moiola R J. Geometry and growth of the white sands dune field, New Mexico[J]. *U.S. Geological Survey Journal of Research*, 1975, 3(1): 59-66.
- [48] Collinson J D. *沙漠* [M]//Reading H G. *沉积环境和相*. 周明鉴, 陈昌明, 张疆, 译. 北京: 科学出版社, 1985: 105-126. [Collinson J D. *Desert* [M]//Reading H G. *Sedimentary Environments and Facies*. Zhou Mingjian, Chen Changming, Zhang Jiang, Trans. Beijing: Science Press, 1985: 105-126.]
- [49] 程守田, 刘星. 风成古沙漠沉积体系[J]. *地学前缘*, 1999, 6(增刊1): 80. [Cheng Shoutian, Liu Xing. The aeolian ancient desert system[J]. *Earth Science Frontiers*, 1999, 6(Suppl.1): 80.]
- [50] 郭进京, 韩文峰, 李雪峰. 西秦岭新生代以来地质构造过程对青藏高原隆升和变形的约束[J]. *地学前缘*, 2009, 16(6): 215-225. [Guo Jinjing, Han Wenfeng, Li Xuefeng. The Cenozoic tectonic evolution of the west Qinling: constraints on the uplift and deformation of the Tibetan Plateau [J]. *Earth Science Frontiers*, 2009, 16(6): 215-225.]

Sedimentary Characteristics of the Cretaceous Desert Facies in the Wushan Area, Northern Margin of the Western Qinling Mountains

HUI LangBo, GUO JinJing, HAN WenFeng, WANG LiLi, BI Na, XIANG GuangYa

School of Geology and Geomatics, Tianjin Chengjian University, Tianjin 300384, China

Abstract: The red beds of late Cretaceous are widely and sporadically distributed in the western Qinling Mts. At late Cretaceous, the tectono-geomorphological features in the area are critical in elucidating the structural and geomorphological situation at the end of Mesozoic and determining the beginning time of the uplifting of the northeastern Qinghai-Tibet Plateau. That is, the red beds deposited in the independent intermontane basins or unified flat basin in the intra-continental orogenesis. In this paper, a suite of brick-red sandstones of the red beds of the upper Cretaceous located in the Wushan area, northern margin of the western Qinling Mts. are studied on the sediments sequence, structure and grain size analyses. Combining the mineral compositions, microscopic and SEM surface textures of quartz of the sandstones, the rocks have been discerned to have the following features: 1) developing macroscopic eolian cross-beddings; 2) the medium-fine grained, extremely fine-grained components dominate, but the siltstone-clay components are absent, with even sizes and well-sorting; 3) quartz is well-rounded and the surface develops typical eolian-origin disc- and crescent-type pits, erosion pits, and siliceous films. Therefore, we put forward that the brick-red sandstones are the typical desert facies deposits. According to the desert deposits symbols, the sediments are further subdivided into sand dune and inter-dune deposits. It is well known that the desert deposits have two essentials, the torrid-arid climate and relatively flat topography. Combining the determination of the desert facies sediments at the Wushan area, northern margin of the western Qinling Mts. similar desert facies sediments on the mount tops at Hadapu, Xijiang of Minxian county in the interior of the western Qinling Mts., it is proposed that the western Qinling Mts. were in torrid-arid climate and flat topography in late Cretaceous. That is the large scale, flat and unified basin developed in the area at that period. This deduction is critical for re-constructing the paleo-topography and climate of the western Qinling Mts. in late Cretaceous, and for geological constraining the geological background before the uplifting of the western Qinling Mts. since the Cenozoic.

Key words: western Qinling Mountains; Upper Cretaceous; desert facies; aeolian cross-beddings; surface structure of quartz sands