

文章编号:1009-3850(2013)02-0025-07

济源盆地中侏罗统马凹组砂岩粒度特征分析

李明龙^{1,2}, 郑德顺¹, 龚文磊³, 周璐¹, 程涌¹

(1. 河南理工大学资源环境学院, 河南 焦作 454000; 2. 湖北省第二地质大队, 湖北 恩施 445000; 3. 中国石油大学(华东)地球资源与信息学院, 山东 青岛 266555)

摘要:济源盆地中侏罗统马凹组下段发育厚约80m的中细粒砂岩,前人在许多文献中称其为长石石英砂岩。通过对所取砂岩样品薄片镜下观察,将其命名为岩屑石英砂岩。该段砂岩自下而上粒度具有以下特征:平均粒径(M_z)总体由大变小,标准偏差(σ)反映砂岩分选由中等逐渐变好,标准偏差(σ)和偏度(SK_1)都具有典型河流沉积物特征。频率曲线表现为不对称三峰或双峰,概率累积曲线由“低斜四段”式渐变为“高斜跳悬两段”式。该套砂岩沉积时期水流不稳,有多期洪流出现,表现为平均粒径和标准偏差的局部来回振荡。其C-M图显示主要发育牵引流PQ、QR、RS段,符合经典曲流河沉积模式。

关键词:粒度分析;曲流河;沉积环境;马凹组;济源盆地

中图分类号:P512.2

文献标识码:A

济源盆地位于南华北盆地西北边缘,北以太行山为界,南临嵩箕隆起,西连岱眉寨隆起,东以武陟凸起与中牟凹陷相隔,整个盆地呈东西向展布^[1],它是在晚古生代—中三叠世南华北大型内陆盆地的基础上,继承和发展起来的以中、新生代为主的叠合沉积盆地^[2]。晚三叠世—中侏罗世,济源盆地始终处于基底缓慢抬升、盆地不断萎缩的背景下,自下而上依次发育了上三叠统椿树腰组和谭庄组、下侏罗统鞍腰组、中侏罗统杨树庄组和马凹组^[3]。

1 研究目的和意义

前人对济源盆地中生代地层从多方面进行过研究,陈传诗、苏现波用断块理论解释了济源盆地中生代构造演化过程^[4]。吴贤涛、胡斌、张国成先后用遗迹学理论研究了济源盆地中生代地层沉积环境^[2,5-7];吴智平等人用沉积地球化学方法研究了济源盆地中生代地层的沉积特征及元素地球化学

特征^[1];齐兴宇、张功成、冯有利分别从构造演化及有机地球化学角度评价了济源盆地中生代油气潜力^[8-10];刘林玉从砂岩的物性特征对济源盆地中生界储层进行了研究^[11];赵伟卫利用磷灰石裂变径迹恢复了济源盆地中生代古地温^[12]。这些研究都取得了重要成果,但是他们的研究层位多是三叠系和下侏罗统,很少涉及中侏罗统。中侏罗统马凹组下段厚约90m,底部为一层约3m厚的石英砾岩,其上发育黄绿色厚—巨厚层中—细粒砂岩,顶部夹少量紫色、灰绿色、灰黄色钙质泥岩、细砂岩和粉砂岩;马凹组上段厚约130m,由褐红色、紫色、紫灰色、紫红色钙质泥岩夹数层灰黄色、灰绿色钙质泥岩和泥灰岩组成。目前报道的关于马凹组砂岩的研究仅见刘林玉的中生界砂岩物性研究,且涉及中、新生界众多层段,关于马凹组砂岩的沉积环境没有提及。研究马凹组砂岩粒度特征能够恢复马凹组的沉积环境及水动力条件,对济源盆地中生代地层研究具

收稿日期:2012-06-21;改回日期:2012-08-09

作者简介:李明龙(1988-),男,硕士研究生,沉积学专业。E-mail:leeminglong@126.com

通讯作者:郑德顺(1977-),男,博士(后),副教授,从事构造—沉积响应及油气地质教学研究工作。E-mail:zhengdeshun@126.com

资助项目:国家自然科学基金项目(40902033)、河南理工大学博士基金项目(B2009-93)

有重要意义,同时对济源盆地油气勘探也具有一定的参考价值。

2 样品的采集与处理

马凹组于济源市承留镇三皇村、谭庄东山等地都有出露,经过对济源盆地马凹组出露区实地踏勘,该组沿承留西南马凹村-鞍腰村公路剖面出露最好。鉴于此,笔者选择在该剖面取样(图1)。该剖面马凹组下段砂岩厚约80m,发育各种层理类型(图版a、b、c、d),笔者在该剖面自下而上依次取砂岩样21块,取样间隔为3~4m。

通过图像法对样品进行粒度分析,薄片样品制

备参照SY/T 5913-2004中3.1.2~3.1.7要求进行操作,由河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成;粒度数据采集过程在河南省生物遗迹与成矿过程重点实验室完成,主要实验设备为Carl Zeiss偏光显微镜Axioskop 40。按照石油天然气行业标准SY/T 5434-2009《碎屑岩粒度分析方法》-6.5图像法步骤,每个样品至少统计300个粒径,获得 Φ 值($\Phi = -\log_{10} D$,其中D为颗粒直径),计算平均粒径(M_z)、标准偏差(σ)、偏度(SK1)和峰度(KG),并进行杂基处理和数据校正。运用图解法得出C值(粒度概率累积曲线上1%累积含量对应的粒度)、M值(粒度概率累积曲线上50%累积含量对应的粒度)。

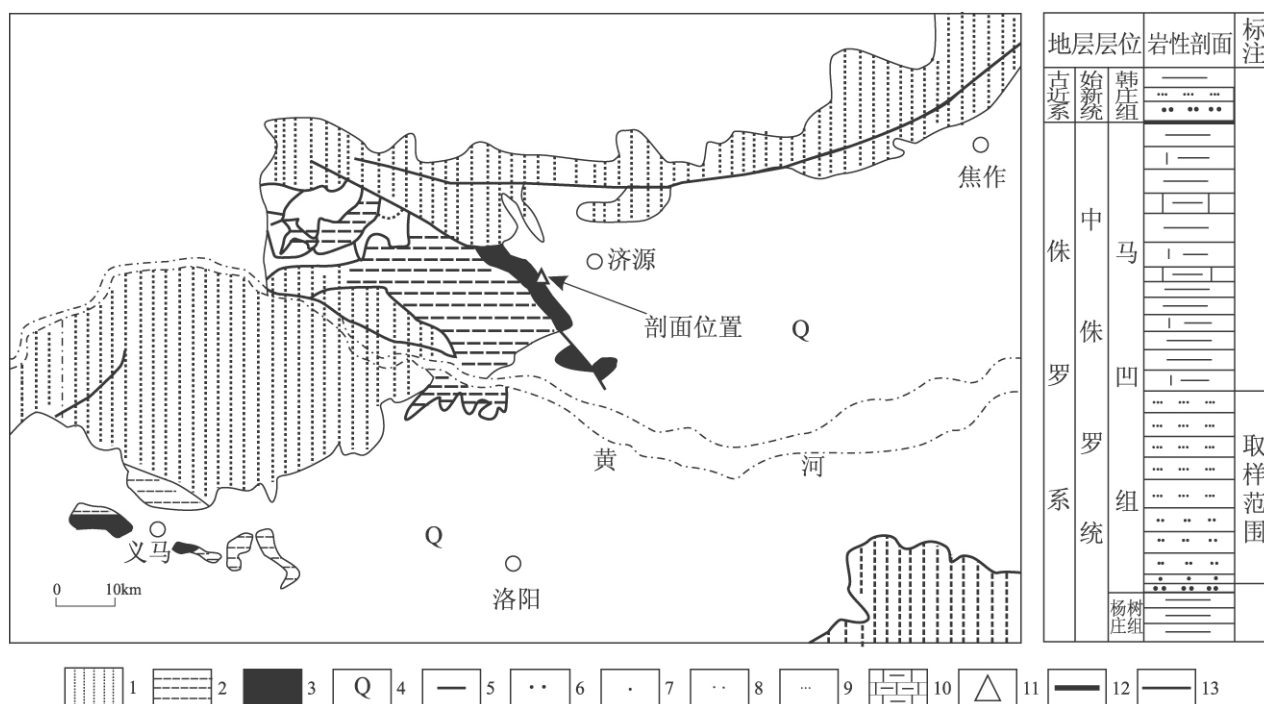


图1 剖面位置及取样位置示意图

1. 前三叠系;2. 三叠系;3. 侏罗系;4. 第四系;5. 泥岩;6. 砾岩;7. 粗砂岩;8. 中砂岩;9. 细砂岩;10. 泥灰岩;11. 剖面位置;12. 断层;13. 地质界线

Fig. 1 Location of the sampling section and stratigraphic horizon

1 = pre-Triassic; 2 = Triassic; 3 = Jurassic; 4 = Quaternary; 5 = mudstone; 6 = conglomerate; 7 = coarse-grained sandstone; 8 = medium-grained sandstone; 9 = fine-grained sandstone; 10 = marl; 11 = sampling section; 12 = fault; 13 = geological boundary

3 马凹组下段砂岩粒度特征

对于马凹组下段砂岩,前人在文献中将其称为长石英砂岩^[3,13]。但笔者通过对所取样薄片进行镜下观察后,发现多数砂岩薄片几乎不含长石或长石含量较低(5%以下),而岩屑含量相对较高,约占15%,杂基含量在10%以下(图版e、f),故将该段砂岩命名为岩屑石英砂岩更为合适。

沉积物的颗粒大小称为粒度,研究沉积物和碎

屑岩的粒度大小和各种粒级的分布特征的方法称为粒度分析^[14]。碎屑岩的粒度分布特征与分选性是衡量沉积介质能量的度量尺度是判别沉积环境及水动力条件的一个重要物理标志。粒度分析主要借助两种方法:粒度参数与粒度资料图解。

3.1 粒度参数特征及意义

常用的粒度参数主要有平均粒径(M_z)、标准偏差(σ)、偏度(SK1)、峰度(KG),本次研究采用数理统计法来计算各种粒度参数。每一个粒度参数都

以一定的数值定量的表示碎屑物质的粒度特征,单个粒度参数及其组合特征可作为判别沉积介质水动力条件及沉积环境的参考依据。笔者利用上述粒度分析方法得到粒度数据,并计算了相应的粒度参数,整理如表 1 所示。

表 1 粒度参数统计表

Table 1 Statistics of the grain size parameters for the sandstones from the lower member of the Ma'ao Formation

样品编号	平均粒径(φ)	标准偏差(σ)	偏度(SK1)	峰度(KG)
MS01	2.48	0.99	0.21	1.41
MS02	2.82	0.86	0.19	0.90
MS03	2.9	0.83	0.26	0.97
MS04	2.84	0.8	0.13	1.03
MS05	2.85	0.75	0.03	1.24
MS06	2.92	0.65	0.07	1.00
MS07	2.92	0.64	0.07	0.99
MS08	2.96	0.61	0.15	0.98
MS09	2.96	0.59	0.16	0.96
MS10	3.12	0.47	0.02	1.09
MS11	3.32	0.38	0.05	0.81
MS12	3.16	0.41	0.07	1.00
MS13	3.05	0.48	0.23	0.91
MS14	3.51	0.47	-0.13	0.93
MS15	3.47	0.44	0.12	1.03
MS16	3.37	0.40	0.04	0.72
MS17	3.55	0.39	0.04	1.12
MS18	4.13	0.37	0.11	0.92
MS19	4.13	0.48	0.13	1.03
MS20	3.74	0.53	0.07	1.17
MS21	3.97	0.53	0.02	1.06

1. 平均粒径(M_z)

沉积物的平均粒径是反映其粒度的集中趋势,其数值大小可以反映沉积介质的平均动能,它的变化会引起其它粒度参数的变化,反映其形成的环境尤其是水动力条件。因而具有成因上的意义^[15]。

从表 1 可以得出,该段砂岩平均粒径介于 2.48~4.13 Φ 之间。在 21 个样品中,存在 4 个从下向上平均粒径的 Φ 值依次增大,即颗粒由粗变细的正韵律,同时存在 3 个从下向上平均粒径的 Φ 值依次减小,即颗粒由细变粗的反韵律,可视为水动力条件发生变化的结果^[14],可能与周期性的洪水活动有关。但从总体上看,该段砂岩从下往上具有平均粒径的 Φ 值由小变大,即颗粒由粗变细的特点(图 2),具河流的粒径分布特征。

2. 标准偏差(σ)

沉积物的标准偏差,能表示沉积物分选程度。

颗粒大小的均匀性和分选程度,决定于物源、水动力性质和能量状况等条件,所以标准偏差的变化与沉积环境是密切相关的。

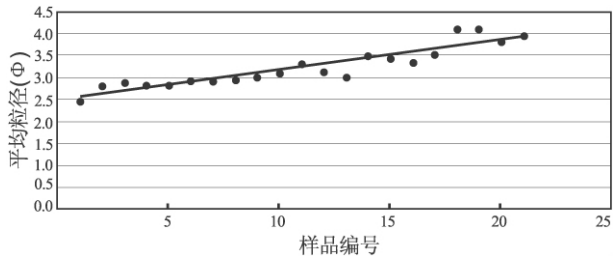


图 2 济源盆地马凹组下段砂岩平均粒径变化趋势图
Fig. 2 Mean grain size trend for the sandstones from the lower member of the Middle Jurassic Ma'ao Formation in the Jiyuan Basin

该段砂岩的标准偏差主要介于 0.4~1 之间,与河流相砂岩的标准偏差(0.5~1.4)基本吻合^[14-15]。且该段砂岩的标准偏差总体从下往上逐渐变小,分选逐渐由中等过渡到好(图 3)。局部分选变差是水流发生变化的结果,水流强度变化具有明显的规律性,与平均粒径的变化在此段响应一致,反映了周期性的洪流造成水动力强度的周期性变化。在河流相砂岩的底部为河床滞留沉积,发育砾石层,颗粒直径明显偏大,水动力条件较强,所以沉积物分选相对较差;而随着河道的迁移,上部沉积了相对较细的边滩沉积物,主要以细砂为主,分选也相对较好。

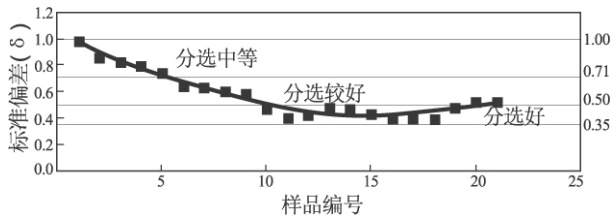


图 3 济源盆地马凹组下段砂岩标准偏差变化趋势图
Fig. 3 Standard deviation trend for the sandstones from the lower member of the Middle Jurassic Ma'ao Formation in the Jiyuan Basin

3. 偏度(SK1)

偏度是用来判别粒度分布的不对称程度的参数。根据频率曲线峰的偏斜方向可分为:正偏度,SK1 为正值,峰偏向粗粒的一侧,即沉积物以粗组分为主;负偏度,SK1 为负值,峰偏向细粒一侧,即沉积物以细组分为主。

河砂一般偏度变化大,以正偏态为主,偶见负偏态^[15]。21 个样品偏度为-0.13~0.23,均值 0.1,正偏态为主,结合粒度分布直方图的双峰特征(图

4) 整体偏向粗粒;存在负偏态,变化无规律,不正常的偏度符合上述河流相沉积物偏度特征。

4. 峰度(KG)

峰度通常用来衡量粒度频率曲线的尖锐程度,即度量粒度分布的中部与两尾部的展形之比。21块砂岩样品峰度在0.72~1.41之间,平均1.01,峰态中等。结合粒度分布的双峰或者三峰特征(图4)表明沉积物具有两个或两个以上物质总体的混合作用^[16],且粗组分居多,这一混合作用也可能不是源区沉积物粒度的直接混合,而与快速水流引起的底质的再沉积有关。

3.2 概率累积曲线特征及意义

根据本次研究所取岩样的粒度资料,笔者共绘制了21幅粒度概率累积曲线及直方图,但限于篇幅,自下而上选取4块样品(样品编号:MS02、MS06、MS12、MS16)对该段砂岩的沉积粒度特征进行解释和说明(图4)。

1. 粒度组分直方图及频率曲线

MS02样品的主要粒径集中在 $1.75 \sim 2.75\Phi$ 之间,碎屑组分以粗粒居多,由该直方图所绘制的频率曲线具有明显的不对称三峰特征;MS06样品的主要粒径介于 $1.75 \sim 2.25\Phi$ 之间,主要碎屑组分以粗粒居多,由该直方图所绘制的频率曲线具有不对称的双峰特征;MS12样品的主要粒径集中在 $2.5 \sim 3\Phi$ 之间,与MS02、MS06两个样品相比,粒度较细,主要碎屑颗粒为细砂,由该直方图绘制的频率曲线也具有不对称双峰特征;MS16样品的主要粒径集中在 $3 \sim 3.75\Phi$ 之间,主要碎屑组分为细砂及粉砂,粒度分布较均匀,且由该直方图所绘制的频率曲线也具有明显对称双峰的特征。

由该频率直方图绘制的该套砂岩的频率曲线,具有明显的双峰或者不对称多峰特征,与河流相砂岩沉积物频率曲线形态一致^[14]。

2. 概率累积曲线

MS02样品概率累积曲线为“低斜四段式”,滚动次总体含量约为15%,线段斜率较低,颗粒分选较差。之后为两个跳跃次总体,是该样品的主体颗粒范围,含量约达75%,悬浮次总体含量约为10%,具河床沉积物的概率累积特征;MS06样品的概率值累积曲线为“三段式”,即滚动次总体含量约为17%,线段倾角相对较大,分选好,跳跃次总体含量达70%左右,线段倾角较大,分选较好,右上方直线段为悬浮次总体,含量约为15%,曲线具边滩底部

沉积物的概率累积曲线特征;MS12样品主要有跳跃次总体和悬浮次总体两部分构成,且跳跃次总体含量达到80%以上,构成沉积物的主体,线段倾角大,碎屑颗粒分选较好,悬浮次总体较不发育,倾角也相对较小,应为边滩沉积产物;MS16样品的概率值累积为“高斜-跳-悬式”,曲线主要由跳跃次总体和悬浮次总体构成,与MS12样品不同,该样品中,悬浮次总体相对发育,含量达到75%以上,且分选好,而跳跃次总体不发育,该样品砂岩应为边滩上部较细粒沉积。

由以上分析可以看出:该段砂岩从下往上,概率值累积曲线由四段式演化为三段式,再到两段式;由滚动次总体、跳跃次总体、悬浮次总体发育齐全发展到只发育跳跃次总体和悬浮次总体,反映了水动力条件由强到弱的过程。自下而上依次由河床下部沉积渐变为边滩沉积。

河流相砂岩沉积的底部为粗粒的河床沉积,一般由滚动、跳跃、悬浮3种组分构成,且跳跃组分含量可达70%以上,构成河床沉积物的主体。位于河床沉积物之上的是较细粒的边滩或者心滩沉积物,由于沉积水动力条件较弱,一般主要由跳跃和悬浮两种组分构成,且悬浮组分较河床沉积物明显偏多^[17]。综上所述,从该段砂岩的概率值累积曲线特征,可以确定马凹组下段砂岩为河流沉积产物。

3.3 C-M图特征及解释

C-M图是把每个样品的C值作纵坐标、M值作横坐标在双对数坐标纸上绘制成的图形。C值是累积曲线上1%处对应的粒径,M值是累积曲线上50%处对应的粒径。C值与M值分别代表水动力搅动开始搬运沉积物的最大能量和水动力的平均能量。笔者根据所取的21个岩样的累积曲线,统计出了每个岩样的C值及M值,并最终绘制了该套砂岩的C-M图(图5)。

从图5可以看出,该段砂岩的C-M参数点主要分布在代表曲流河沉积的PQ段、QR段、RS段,有17个点落入该范围,其中PQ段约占总量的20%,QR段约占40%,RS段约占23%。另有4个点落入浊流沉积范围,可能在洪水时期河流流速较快,引起沉积底质的再悬浮。当流速降低时,悬浮物质移向底部,使底部密度不断增加,最终形成整体的沉降作用,造成沉积物分选性较差,类似浊流沉积特征。整体来看,该套砂岩具有经典曲流河C-M图分布模式。

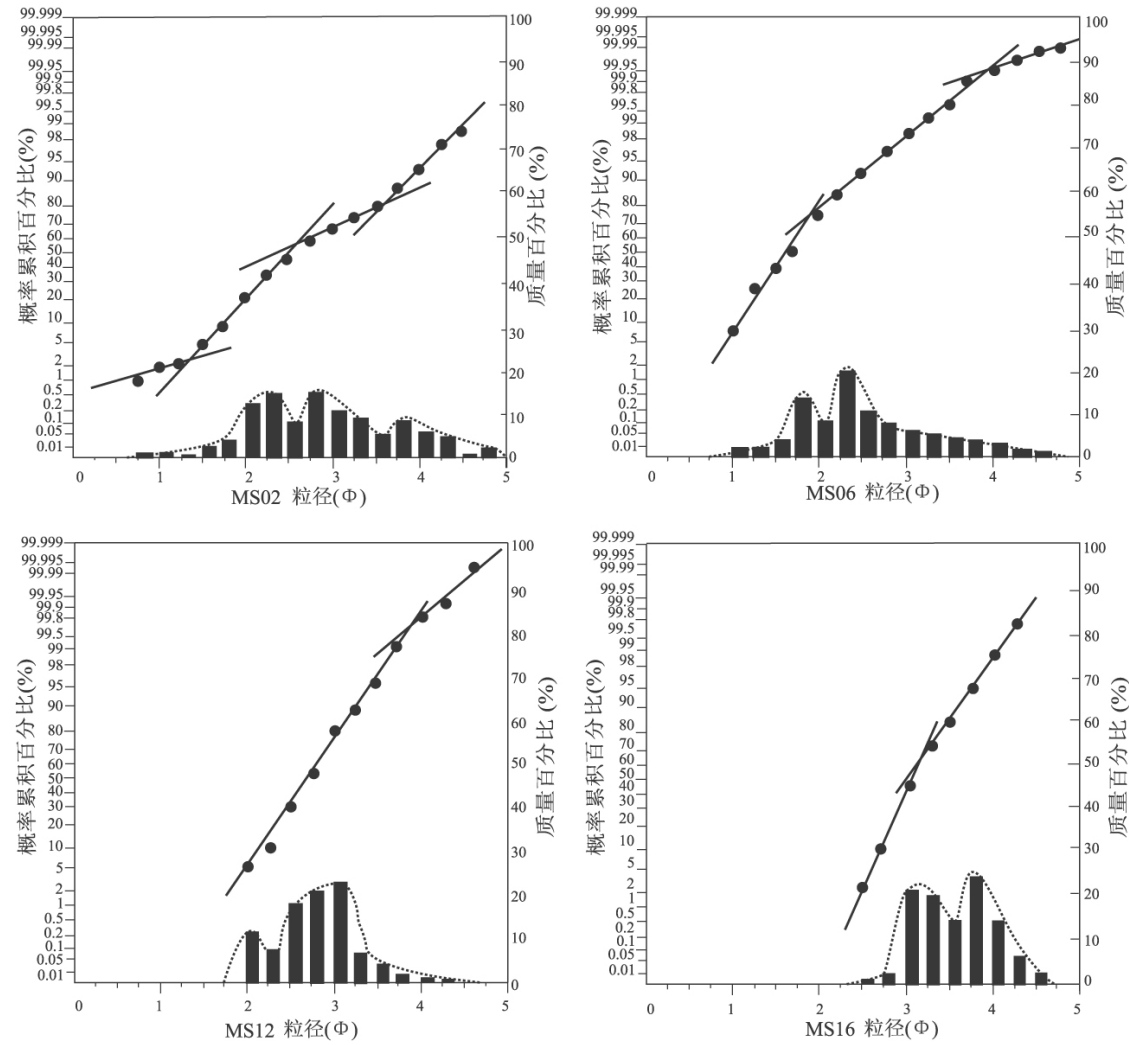


图4 马凹组下段砂岩粒度概率累积曲线

Fig. 4 Grain size probability cumulative curves for the sandstones from the lower member of the Middle Jurassic Ma'ao Formation in the Jiyuan Basin

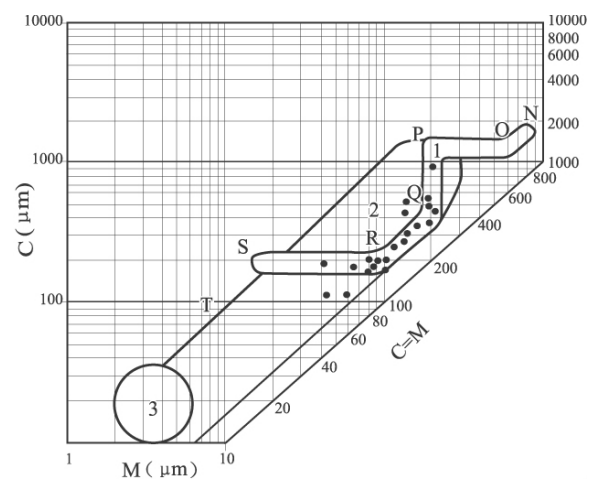


图5 济源盆地马凹组下段砂岩样品 C-M 图
1. 牵引流(河流);2. 浊流;3. 静水悬浮

Fig. 5 CM patterns for the sandstones from the lower member of the Middle Jurassic Ma'ao Formation in the Jiyuan Basin
1 = tractional current ; 2 = turbidity current ; 3 = suspended substance

4 结论

(1) 关于济源盆地马凹组下段砂岩的命名。对于马凹组该段砂岩,前人在许多文献中将其命名为长石石英砂岩。但通过对所取岩样磨制薄片并进行镜下观察后,笔者发现多数砂岩薄片几乎不含长石或者含量较低(在5%以下),而岩屑含量相对长石较高,约占15%,杂基含量在15%以下,故该段砂岩命名为岩屑石英净砂岩更为合适。

(2) 通过对该段砂岩样品进行粒度分析,样品的平均粒径(M_z)、标准偏差(σ)、偏度(SK_1)、峰度(KG)及频率曲线和概率累积曲线特征都反映出该套砂岩为河流相沉积产物:样品的平均粒径(M_z)总体由大变小,标准偏差(σ)反映砂岩分选由中等逐渐变好,偏度(SK_1)具有典型河流相特征。频率曲线具有三峰或双峰特征,概率累积曲线表现为由

“低斜四段式”渐变为“高斜两段式”,由滚动、跳跃、悬浮发育齐全渐变为悬浮为主。且该套砂岩沉积时期水流不稳,有多期洪流出现,表现为平均粒径和标准偏差的局部周期性来回振荡。其 C-M 图与经典曲流河模式的 C-M 图吻合,符合曲流河水动力条件特征,故认为马凹组下段砂岩为曲流河的河床亚相沉积产物。

参考文献:

- [1] 吴智平,马在平,周瑶琪. 济源盆地三叠系与侏罗系界线地层沉积相及元素地球化学特征[J]. 石油大学学报, 2000, 26(3): 21-25.
- [2] 吴贤涛. 豫西济源-义马盆地浊流沉积中的痕迹化石及其环境意义[J]. 沉积学报, 1985, 3(3): 23-31.
- [3] 胡斌. 河南济源晚三叠世—中侏罗世陆相地层[J]. 地层学杂志, 1991, 15(1): 48-52.
- [4] 陈传诗,苏现波. 断块运动与中生代济源盆地的演化[J]. 岩相古地理, 1995, 15(1): 18-23.
- [5] 胡斌,张利伟,齐永安等. 济源下侏罗统鞍腰组沉积构造特征及环境解释[J]. 焦作工学院学报, 2004, 23(1): 18-22.
- [6] 胡斌,张国成,郭卫星等. 豫西济源谭庄组河流沉积中的 Stipsellus 遗迹组构[J]. 煤田地质与勘探, 2004, 32(3): 1-4.
- [7] 张国成,曾玉凤等. 济源盆地谭庄组(T_{2-3})上段湖相沉积及遗迹化石特征[J]. 沉积学报, 2005, 23(1): 100-106.
- [8] 齐兴宇,王劲松,卜翠萍等. 济源凹陷油气成藏主控因素与含油气远景分析[J]. 石油地质, 2009, 6(1): 13-20.
- [9] 张功成. 济源凹陷盆地结构构造特征与油气勘探前景[J]. 断块油气田, 1997, 4(5): 5-11.
- [10] 郭景会,冯有利,白德胜. 济源盆地谭庄组富有机质页岩地球化学特征及其意义[J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2007, 26(2): 160-164.
- [11] 刘林玉. 济源凹陷中新界砂岩物性特征[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1995, 25(6): 705-708.
- [12] 赵伟卫. 华北盆地济源凹陷古地温梯度的研究—磷灰石裂变径迹的应用[J]. 石油实验地质, 2002, 24(6): 555-560.
- [13] 河南省地质矿产厅. 河南省岩石地层[M]. 武汉:中国地质大学出版社, 1997. 156-157.
- [14] 陈建强,周洪瑞,王训练. 沉积学及古地理学教程[M]. 北京:地质出版社, 2004.
- [15] 朱筱敏. 沉积岩石学[M]. 北京:石油工业出版社, 2008.
- [16] 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.
- [17] 朱宣清,何乃华. 运用粒度分析方法恢复河流地貌—以滹沱河为例[J]. 河北省科学院学报, 1990, (1): 17-28.

Grain size analysis for the sandstones from the Middle Jurassic Ma'ao Formation in the Jiyuan Basin, Henan

LI Ming-long^{1,2}, ZHENG De-shun¹, GONG Wen-lei³, ZHOU Lu¹, CHENG Yong¹

(1. School of Resources and Environment Engineering, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, Henan, China; 2. No.2 Geological Party of Hubei, Enshi 445000, Hubei, China; 3. College of Geo-resources and Information, China University of Petroleum (East China), Qingdao 266555, Shandong, China)

Abstract: About 80-m thick medium- to fine-grained sandstones are recognized in the lower member of the Middle Jurassic Ma'ao Formation in the Jiyuan Basin, Henan, and previously were considered as the feldspathic quartz sandstones in many literatures. The authors in the present paper redetermined them as lithic quartz sandstones. These sandstones become progressively smaller in mean grain size (M_z) and better in sorting. Moreover, the standard deviation (σ) and skewness (SKI) for the sandstones suggest the typical features of the fluvial deposits. The frequency curves display asymmetrical bimodal or trimodal patterns, and the probability cumulative curves display the gradations from "low oblique four-part" patterns to the "high oblique two-part" patterns. Multiphase floods during the deposition of the sandstones are responsible for the partial oscillation of the mean grain sizes and standard deviations. In addition, the occurrence of the PQ, QR and RS intervals of the tractional currents indicated in the CM patterns also shows the classical patterns of the meandering stream deposits.

Key words: grain size analysis; meandering stream; sedimentary environment; Ma'ao Formation; Jiyuan Basin



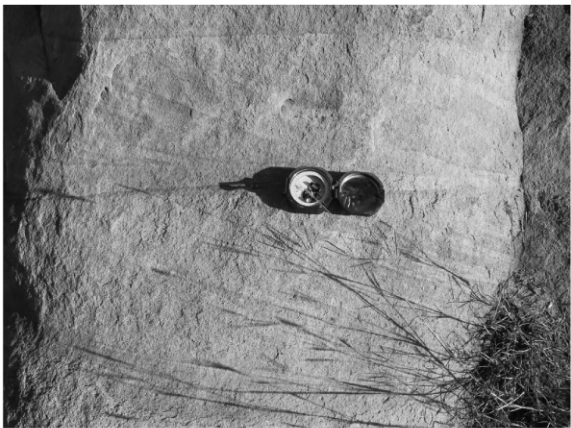
a



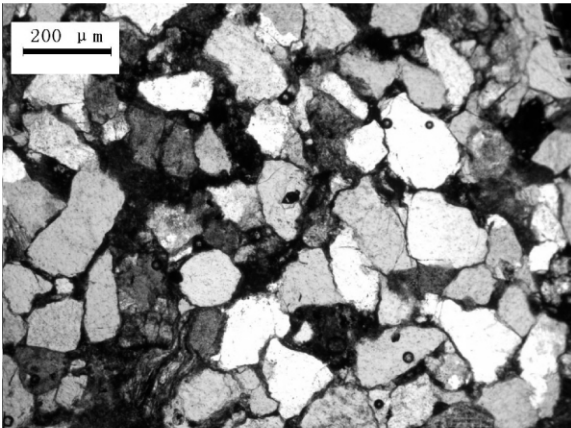
b



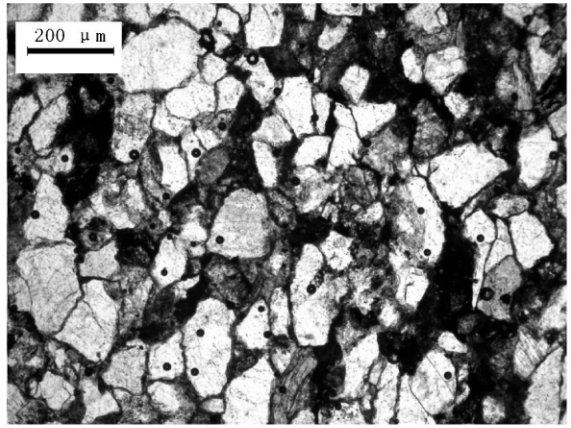
c



d



e



f

图版说明:a. 平行层理;b. 前积层;c. 楔状交错层理;d. 板状交错层理;e. MS02 正交偏光 , $\times 50$;f. MS08 单偏光 , $\times 50$