

文章编号: 1009-3850(2015)01-0102-07

## 济源盆地中侏罗统马凹组上段混合沉积特征 及其控制因素

郑德顺<sup>1</sup>, 程涌<sup>1,2</sup>, 李明龙<sup>3</sup>, 吴伟<sup>1</sup>, 周璐<sup>1</sup>, 孙风波<sup>1</sup>, 王鹏晓<sup>1</sup>

(1. 河南理工大学 资源环境学院, 河南 焦作 454000; 2. 昆明冶金高等专科学校 矿业学院, 云南 昆明 650000; 3. 湖北省第二地质大队, 湖北 恩施 445000)

**摘要:** 陆源碎屑与碳酸盐混合沉积是一种沉积机理特殊而又有重要意义的沉积现象。目前陆相地层的混合沉积研究相对薄弱。混合沉积在豫西济源盆地中侏罗统马凹组上段较发育, 本文综合应用沉积学、沉积地球化学、古生物地层学方法对其特征及控制因素进行了研究。结果表明, 研究区马凹组上段发育泥质灰岩、灰质泥岩和含灰泥岩等多种岩性组成的成分混合沉积和由其夹层或互层组成的结构混合沉积, 较干燥炎热气候条件及弱氧化-弱还原的半咸水环境有利于混合沉积发育, 混合沉积是古构造、古气候和物源供给共同控制的结果。本研究对于充实沉积机理理论有一定的意义, 亦为陆相混合沉积研究提供了一个较好的实例。

**关键词:** 混合沉积; 混积岩; 马凹组; 地球化学; 济源盆地

**中图分类号:** P512.2

**文献标识码:** A

### 引言

在沉积学中, 传统观点认为碳酸盐岩产生于温暖、清澈、相对较浅海的环境中, 浑水会抑制其生长<sup>[1]</sup>。长期以来, 陆源碎屑沉积与碳酸盐沉积都被分割开来各自研究, 自成体系。陆源碎屑与碳酸盐混合沉积早在20世纪50年代就已被认识到<sup>[2,3]</sup>, Mount<sup>[4]</sup>最先提出“混合沉积物”(mixed sediments)这一概念, 用以表述陆源碎屑和碳酸盐(包括异化粒等)以不同的比例在沉积上的混合。混合沉积颇为常见, 从古代到现在、从海洋到陆地、从深水到浅水均有分布<sup>[1,4-13]</sup>, 是一种沉积机理特殊而又有重要意义的沉积现象。理论上, 混合沉积在研究沉积动力学、海平面变化和沉积速率以及区域沉降速率、古气候和构造对沉积的控制作用等方面有着特殊的意义<sup>[5-6,14-17]</sup>, 丰富和完善了沉积学内容和体系;

现实中, 混合沉积对油气的生成和圈闭较有利<sup>[18-26]</sup>, 又常常是重要的沉积-层控矿床的控矿层位<sup>[8]</sup>, 对指导矿产资源勘探开发意义重大。

目前, 关于混合沉积的报道大多集中于海相地层的研究中, 关于陆相地层的混合沉积研究相对薄弱。济源盆地中侏罗统马凹组上段发育介壳灰岩、泥质灰岩、灰质泥岩等多种岩性组成的混积岩以及由其互层或夹层组成的混积层系。本文综合应用沉积学、沉积地球化学、古生物地层学等方法对该段混合沉积进行研究, 以期能丰富沉积机理理论, 并为陆相混合沉积研究提供一个较好的实例。

### 1 区域地质概况

济源盆地位于南华北盆地西北边缘, 是在晚古生代一中三叠世华北大型内陆盆地的基础上继承和发展而来<sup>[27,28]</sup>。晚三叠世—中侏罗世, 济源盆地

收稿日期: 2014-05-20; 改回日期: 2014-06-18

作者简介: 郑德顺(1977-), 男, 副教授, 博士(后), 主要从事油气地质及构造-沉积响应的教学和科研工作。E-mail: zhengdeshun@126.com

资助项目: 国家自然科学基金项目(41272118)和国家级大学生创新创业训练计划(201210460008)联合资助

始终处于不断萎缩的构造背景下,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<sup>[29]</sup>。中侏罗统马凹组厚约 210m,下段发育厚约 90m 的中-细粒河流相岩屑石英砂岩,底部为厚约 3m 的河床砾岩;上段下部发育曲流河相“二元结构”,厚约 40m,以细粒沉积为主,岩性为泥岩和粉砂岩;上段上部厚约 80m,主要为灰绿色、黄绿色泥岩、钙质泥岩、含灰泥岩、灰质泥岩夹中-厚层泥质灰岩、介壳灰岩,为浅湖沉积产物,上部紫红色泥岩、钙质泥岩增多,主要为黄绿色与紫红色钙质泥岩、泥质灰岩互层<sup>[30]</sup>。马凹组上段发育的混合沉积是本文研究对象(图 1)。

## 2 样品采集及实验方法

为了详细研究马凹组上段混合沉积特征,笔者对济源市承留西南马凹村-鞍腰村公路沿线典型剖面(图 1)进行了详细测量并采样,进行了薄片观察,结合对应层位进行了相关沉积地球化学指标分析。本文样品取自该剖面。薄片制作在河北省区域地质矿产调查研究所实验室完成,薄片观察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。

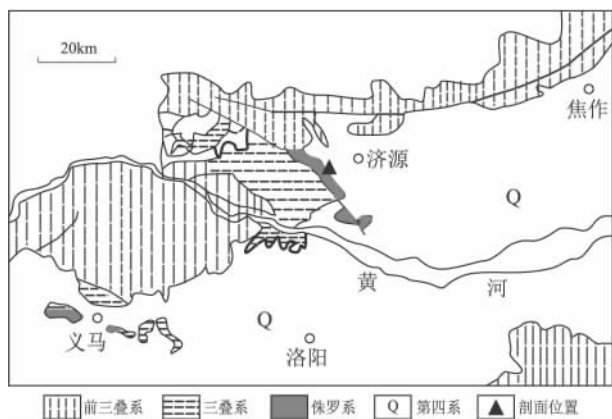


图 1 马凹-鞍腰村剖面位置

Fig. 1 Location of the Ma'ao-Anyao village section in Jiyuan

在所采集的样品中挑选代表性的 10 个泥质岩样品进行地球化学测试。地球化学样品经自然风干后,用玛瑙研钵磨细至 200 目过筛。将粉末样品置于烘箱中,于 105℃ 烘干 12 小时;取出样品称取粉末 50mg 置于 Teflon 坩埚中,用 1~2 滴高纯水湿润样品,然后依次缓慢加入 1.5ml 的高纯硝酸、1.5ml 的高纯氢氟酸;将 Teflon 坩埚放入钢套,拧紧后置于烘箱中于 190℃ 加热超过 48 小时;待溶样弹冷却,开盖后置于电热板上在 140℃ 下蒸干,然后加

入 1ml 硝酸并再次蒸干以保证 Teflon 坩埚壁无液体;加入 3ml 浓度 30% 硝酸,再次将 Teflon 坩埚放入钢套,拧紧后置于烘箱中于 190℃ 加热 12 小时;将溶液转入聚乙烯料瓶中,并用 2% 的硝酸稀释至 100g(对应稀释因子为 2000),之后用电感耦合等离子体质谱仪(ICP-MS)进行测定,仪器型号为 Agilent 7500a。样品测试在中国地质大学(武汉)地质过程与矿产资源国家重点实验室完成,实验数据见表 1。

## 3 研究地层混合沉积特征

### 3.1 岩石学特征

混合沉积在狭义上指陆源碎屑与碳酸盐在组分上的混合而形成混积岩,广义上还包括陆源碎屑与混积岩或碳酸盐岩层构成交替互层或夹层的混合,有的学者将后者称为混积层系<sup>[6,7,31]</sup>。混积岩的分类与命名目前存在较大争议。Mount<sup>[32]</sup>率先提出四端元(陆源碎屑砂、异化粒、灰泥和泥质粘土)分类法,并用立体图法对混积岩进行了分类,这种方法不够直观,运用较困难;杨朝青<sup>[3]</sup>采用三端元(陆源碎屑、粘土、碳酸盐)对混合组分岩石进行分类,认为碳酸盐组分 > 25%、陆源碎屑 > 10% 的混合沉积为混积岩,但未进行具体细分;张雄华<sup>[33]</sup>在上述三端元分类中,将粘土 > 50% 的部分称为粘土岩,扩大了混积岩的范围,将碳酸盐含量为 5%~95%、陆源碎屑含量 5%~95% 的混合沉积称为混积岩。粘土矿物大多数来自母岩风化产物,以悬浮方式搬运至盆地,以机械方式沉积而成;郭福生等<sup>[34]</sup>认为在混积岩分类中应该将粘土岩归入到陆源碎屑岩中;董桂玉<sup>[19]</sup>提出碳酸盐和陆源碎屑两端元分类方案并分为 4 类(表 2):当岩石成分以碳酸盐为主时,分为含陆源碎屑-碳酸盐岩(陆源碎屑含量 < 25% 时)和陆源碎屑质-碳酸盐岩(陆源碎屑含量为 25%~50%);以陆源碎屑为主时,分为含碳酸盐-陆源碎屑岩(碳酸盐组分含量为 < 25%)和碳酸盐质-陆源碎屑岩(碳酸盐组分含量为 25%~50%)。

本文对研究区混积岩样品进行薄片鉴定并采用董桂玉(2007)的分类。结果表明,研究区目的层段发育 4 种类型的混积岩(图 2):(1) 含灰泥岩(图 2A),以陆源碎屑为主,碳酸盐含量大约为 15%,偶见黄铁矿;(2) 含介壳灰质泥岩,以陆源碎屑为主,碳酸盐含量大约为 30%,含介壳化石,陆源碎屑与碳酸盐和介壳化石分布较均匀(图 2B),也有陆源碎屑与碳酸盐和介壳化石分布不甚均匀,具有成层性(图 2C);(3) 泥质灰岩(图 2D),以碳酸盐为主,

表 1 马凹组混合沉积段泥质岩微量元素参数(  $\times 10^{-6}$  )

Table 1 Trace element parameters for the argillaceous rocks from the mixed deposits in the Ma' ao Formation (  $\times 10^{-6}$  )

| 样品编号     | MA-1 | MA-2 | MA-3 | MA-4 | MA-5 | MA-6 | MA-7 | MA-8 | MA-9 | MA-10 |
|----------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| 岩性       | 钙质泥岩 | 介壳灰岩 | 泥岩   | 泥岩   | 介壳灰岩 | 灰质泥岩 | 泥岩   | 灰质泥岩 | 钙质泥岩 | 钙质泥岩  |
| V        | 55.1 | 32.6 | 105  | 67   | 46   | 78.7 | 108  | 52.2 | 65.7 | 56.1  |
| Ni       | 25.6 | 23   | 37   | 28.1 | 19.8 | 35.4 | 53   | 27   | 29.5 | 33.8  |
| Cu       | 19.4 | 12.2 | 39.5 | 20.7 | 17.1 | 33.5 | 21.8 | 30.6 | 26.3 | 34.9  |
| Co       | 8.81 | 6.64 | 11.4 | 5.73 | 5.16 | 11.3 | 16.2 | 9.97 | 11.8 | 11.6  |
| Rb       | 86.2 | 36.6 | 162  | 73.7 | 53   | 81.4 | 153  | 74.8 | 103  | 87.6  |
| Sr       | 238  | 299  | 77.5 | 103  | 365  | 260  | 98.7 | 158  | 272  | 326   |
| Zr       | 81   | 51.8 | 187  | 263  | 59.7 | 119  | 131  | 186  | 83.7 | 115   |
| Cs       | 5.11 | 2.06 | 9.67 | 3.72 | 2.92 | 4.75 | 9.32 | 4.56 | 6.04 | 5.22  |
| Ba       | 436  | 279  | 513  | 280  | 232  | 344  | 343  | 262  | 407  | 342   |
| Hf       | 2.39 | 1.43 | 5.19 | 7.05 | 1.75 | 3.31 | 3.72 | 4.97 | 2.43 | 3.27  |
| Th       | 8.41 | 4.59 | 15.3 | 12.2 | 6.06 | 10.6 | 15.2 | 10.3 | 9.09 | 8.58  |
| U        | 1.89 | 6.27 | 5.53 | 3.28 | 1.78 | 3.97 | 2.66 | 2.32 | 2.57 | 3.62  |
| Th/U     | 4.45 | 0.73 | 2.77 | 3.72 | 3.4  | 2.67 | 5.71 | 4.44 | 3.54 | 2.37  |
| Rb/Sr    | 0.72 | 2.09 | 0.12 | 0.36 | 1.06 | 1.15 | 3.29 | 1.78 | 0.88 | 0.38  |
| Sr/Cu    | 12.2 | 24.5 | 2    | 5    | 21.4 | 7.8  | 4.5  | 5.2  | 10.3 | 9.3   |
| Sr/Ba    | 0.55 | 1.07 | 0.15 | 0.37 | 1.57 | 0.76 | 0.29 | 0.6  | 0.67 | 0.95  |
| V/(V+Ni) | 0.68 | 0.59 | 0.74 | 0.7  | 0.7  | 0.69 | 0.67 | 0.66 | 0.69 | 0.62  |

表 2 混积岩分类<sup>[24]</sup>

Table 2 Classification of the hybrid sedimentary rocks ( after Dong Guiyu et al. , 2007)

|         |                |            |       |
|---------|----------------|------------|-------|
| 以碳酸盐为主  | 0 < LS < 25%   | 含陆源碎屑-碳酸盐岩 | 含泥灰岩  |
|         | 25% < LS < 50% | 陆源碎屑-碳酸盐岩  | 粉砂质云岩 |
| 以陆源碎屑为主 | 0 < TS < 25%   | 含碳酸盐岩-陆源碎屑 | 含灰泥岩  |
|         | 25% < TS < 50% | 碳酸盐岩-陆源碎屑  | 云质粉砂岩 |

注: TS 代表碳酸盐,LS 代表陆源碎屑

陆源碎屑含量大约 30%; (4) 含泥介壳灰岩,泥质含量很少( <5% ),含有大量的介壳碎屑( 图 2E ),亦能见到少量完整的介壳化石( 图 2F ),呈椭圆型,长轴长 160 ~ 180 $\mu\text{m}$ ,短轴长 90 ~ 130 $\mu\text{m}$ 。

混合沉积在马凹组上段滨浅湖亚相中十分发育,除了陆源碎屑与碳酸盐组分混积形成的狭义混积岩,在宏观上还可以识别出多种混积层系,如陆源碎屑岩层夹碳酸盐岩层、陆源碎屑钙质泥岩与混积岩互层( 图 3A )、中-厚层混积岩夹薄层钙质泥岩( 图 3B )等。

3.2 微量元素地球化学特征

3.2.1 微量元素与古气候

湖盆沉积中微量元素 Sr/Cu 的比值可以指示古气候,Sr/Cu 的比值为 1.3 ~ 5.0 指示温暖潮湿的气候,大于 5.0 指示干旱炎热的气候<sup>[3]</sup>。马凹组样品 Sr/Cu 比值介于 2.0 ~ 24.5 之间( 表 1 ),均值 10.2,反映总体气候干燥炎热( 图 4 )。MA-2、MA-5 两块介壳灰岩样品 Sr/Cu 比值分别高达 24.5 和 21.4,表明沉积时气候干燥炎热; MA-3、MA-4、MA-7 3 块样

品 Sr/Cu 比值介于 2.0 ~ 5.0 之间,是湿润气候下的以陆源碎屑沉积为主的产物; 其余样品 Sr/Cu 比值相对较高,反映气候较干燥,对应了陆源碎屑与碳酸盐不同程度的混合沉积。马凹组沉积时期,干燥炎热与温暖潮湿气候交替频繁,总体处于干旱气候期,短期处于湿润气候期,混合沉积在较干燥炎热的环境中较发育。

3.2.2 微量元素与古盐度

沉积物的 Sr/Ba 比值能有效地用来指示沉积水体盐度变化,Sr/Ba 比值与盐度呈正相关关系。一般认为,Sr/Ba 比值介于 0 ~ 0.6 为淡水沉积,Sr/Br 比值在 0.6 ~ 1.0 之间为半咸水沉积,Sr/Br 比值在 1.0 以上为咸水沉积<sup>[34]</sup>。马凹组样品的 Sr/Ba 比值介于 0.15 ~ 1.57,均值为 0.70( 表 1 ),反映总体为半咸水沉积,且变化幅度较大。而介壳灰岩 MA-2、MA-5 样品的 Sr /Ba 值分别高达 1.07 和 1.57( 图 4 ),为咸水沉积。Sr/Cu 比值与 Sr /Ba 比值呈高度正相关关系,其相关系数为 0.84,即气候干燥时盐度增大,混合沉积较发育。



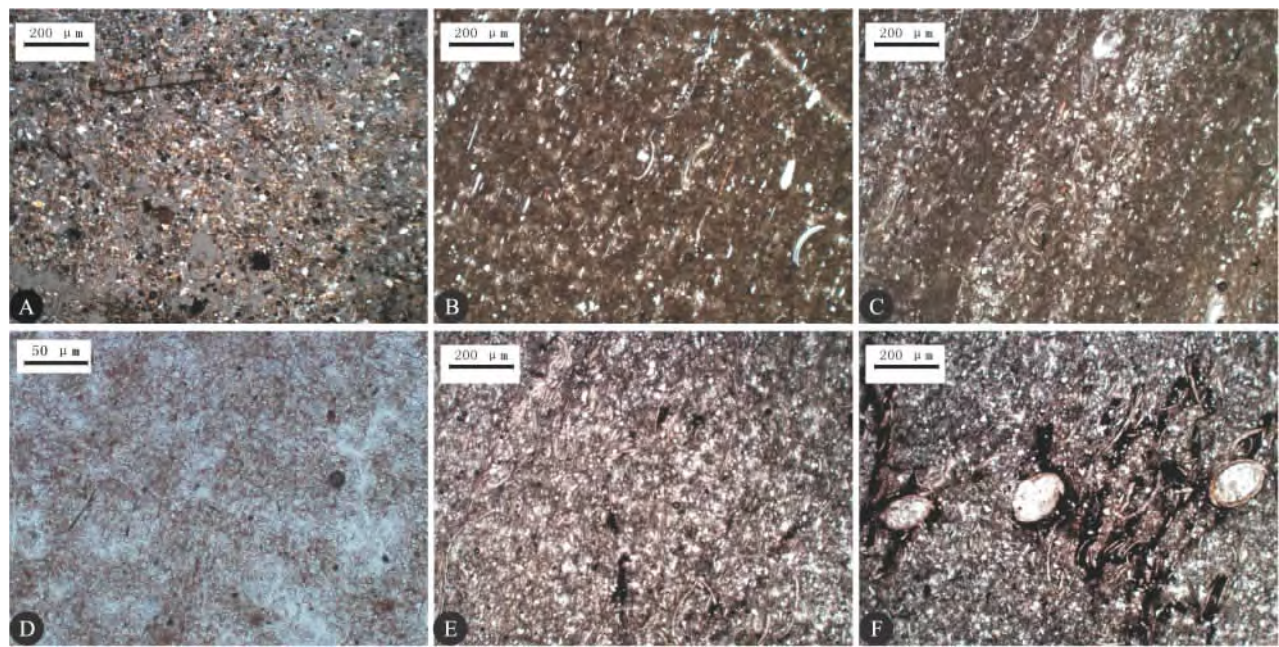


图 2 马凹组混积岩的微观特征

A: 含灰泥岩, ×5, 单偏光; B: 含介壳灰质泥岩, ×5, 单偏光; C: 含介壳泥质灰岩, ×5, 单偏光; D: 泥质灰岩, ×20, 单偏光; E: 含泥介壳灰岩, ×5, 单偏光; F: 含泥介壳灰岩, ×5, 单偏光

Fig. 2 Microscopic examination of the hybrid sedimentary rocks in the Ma'ao Formation



图 3 马凹组混积层系

Fig. 3 Sequences of the hybrid sedimentary rocks in the Ma'ao Formation

3.2.3 微量元素与氧化-还原环境

V 是一种对氧化还原条件敏感的元素,在氧化环境的沉积物中亏损,在还原环境富集。 $V/(V + Ni)$  值常作为恢复水体氧化还原条件的地球化学指标。 $V/(V + Ni) > 0.84$  代表水体分层的厌氧环境, $V/(V + Ni)$  值介于  $0.54 \sim 0.72$  之间代表水体分层不强的厌氧环境,比值介于  $0.46 \sim 0.60$  指示水体分层弱的贫氧环境,小于  $0.46$  指示富氧的沉积环境<sup>[7]</sup>。马凹组样品  $V/(V + Ni)$  值介于  $0.59 \sim 0.74$  之间(表 1),均值  $0.67$ ,总体处于水体分层不强的厌氧环境(图 4)。 $Th/U$  值也常用于判断沉积环境

的氧化还原状态, $Th/U$  比值在  $0 \sim 2$  之间指示缺氧环境,在强氧化环境比值可达到  $8$ 。马凹组样品  $Th/U$  值介于  $0.73 \sim 5.71$ (表 1),平均  $3.38$ ,总体处于弱氧化-还原条件。

4 混合沉积主控因素分析

陆源碎屑与碳酸盐的混合沉积在纵向上形成时代跨度大,横向上空间分布广,混积层系多样,岩石类型复杂。影响混合沉积的因素也复杂多样,大多数情况下,控制因素间相互牵制,共同影响。马凹组上段混合沉积是古构造、古气候和物源供给共

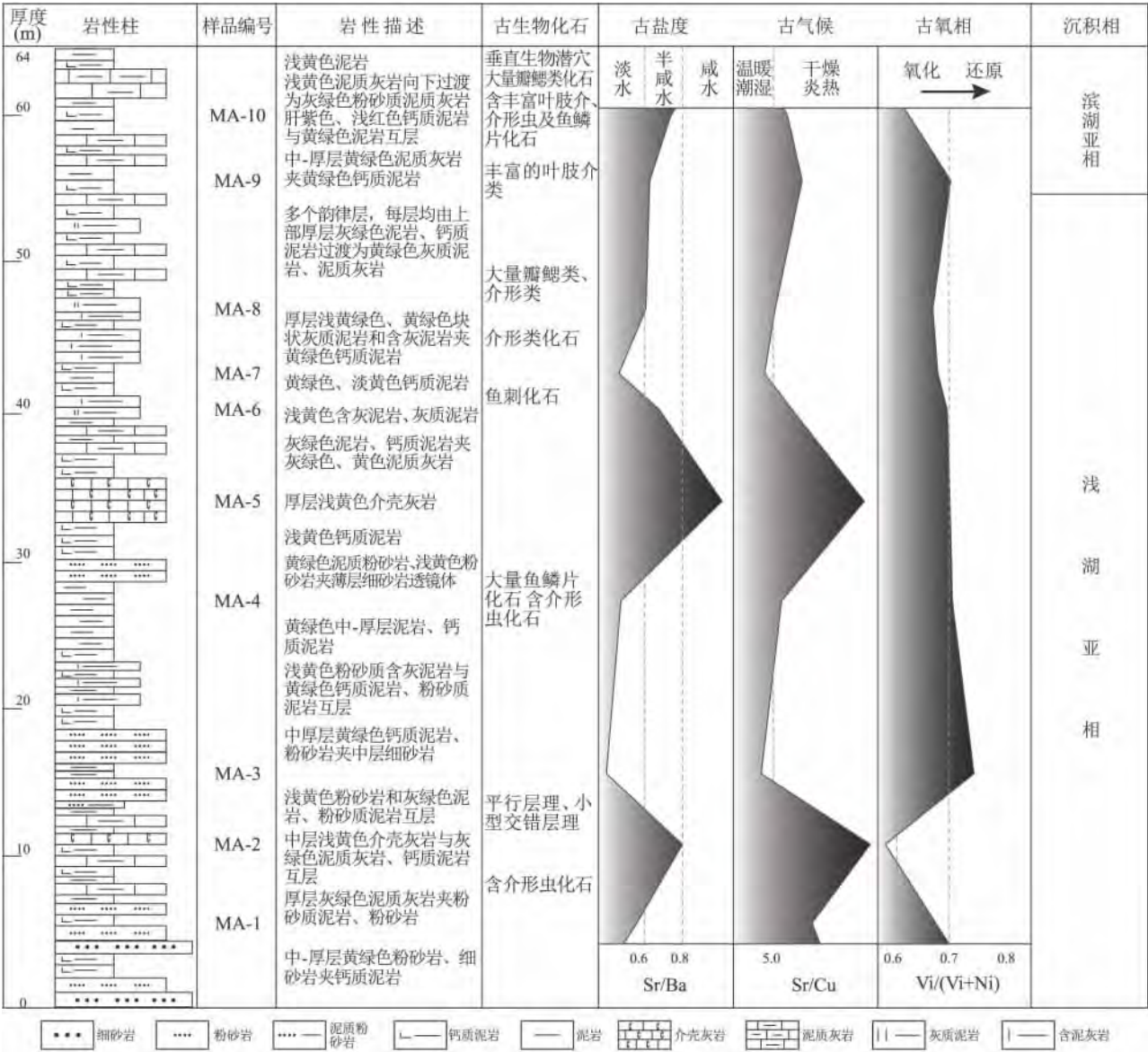


图 4 马凹组混合沉积综合分析柱状图

Fig. 4 Generalized column through the hybrid sedimentary rocks in the Ma'ao Formation

同控制的结果。

4.1 构造因素

构造运动对于一个沉积盆地的演化和充填起着决定性作用。构造升降运动控制着物源区和沉积区的分布和状态，从而也就很大程度上控制了物源的供给量和供给方向。盆地构造下沉速率与沉积速率的配置关系决定了盆地的充填方式，这对碳酸盐沉积和混合沉积是很重要的<sup>[9]</sup>。马凹组下段沉积时，由于北秦岭构造带发生逆冲推覆活动，黛眉寨背斜隆升，大量粗碎屑进入济源盆地，形成了厚层的河流相砂岩沉积；而马凹组上段沉积时期构造相对稳定，经历了两个浅湖-滨湖的沉积旋回<sup>[3]</sup>，因此马凹组上段中部的浅湖-滨湖混合沉积较发育。

4.2 气候因素

小型内陆湖盆对各种气候变化非常敏感。如降雨期和枯水期或干旱和潮湿以及温暖期和寒冷期的交替变化均能直接和明显地影响混合沉积<sup>[9]</sup>。气候干旱时，降雨量较少，湖泊因淡水补给较少而盐度相对较高，此时有利于碳酸盐饱和沉淀。同时地表径流较弱，湖泊内陆源碎屑量供给量相对很少，对于碳酸盐岩沉积的抑制作用大大减弱，此时混合沉积以碳酸盐为主，可含有少量的陆源碎屑。气候由干旱向潮湿转换时，湖泊盐度变低，湖泊内陆源碎屑量供给量增加，打破了碳酸盐的沉积，混入陆源碎屑而形成混合沉积。从图 4 中可以看出，在气候干燥炎热时，混合沉积组分中以碳酸盐为



主,温暖潮湿时混积组分以陆源碎屑为主。

#### 4.3 物源因素

物源受构造、气候条件共同控制,陆源碎屑供给的种类、数量和方向均会对混合沉积造成不同的影响。马凹组上段形成于稳定的构造背景条件下,经历了多个干、湿气候旋回,气候的干、湿变化与碳酸盐岩和碎屑岩的发育程度具有严格对应关系。气候湿润期间歇,碳酸盐产率较大;气候湿润初期河流带来大量淡水和陆源碎屑进入湖盆,水体盐度较低,抑制了碳酸盐岩生成,形成混合沉积。当陆源碎屑相对较长时间持续供应时,碳酸盐很难再沉积,此时便形成钙质泥岩、泥岩和粉砂质泥岩和粉砂岩等陆源碎屑沉积。

### 5 结论

(1) 济源盆地中侏罗统马凹组上段滨浅湖亚相中发育介壳灰岩、泥质灰岩、灰质泥岩和含泥灰岩等多种岩性组成的混积岩以及由其互层或夹层组成的混积层系。

(2) 研究段的混合沉积样品的微量元素地球化学特征反映马凹组上段沉积时期,气候干燥炎热与温暖潮湿交替频繁,但总体处于干旱气候期,短期处于湿润气候期;水体盐度总体为半咸水,且变化幅度较大;沉积水体总体处于水体分层不强的弱氧化-还原环境。混合沉积在较干燥炎热的半咸水环境中较发育,处于弱氧化-还原环境。

(3) 马凹组上段混合沉积是古构造、古气候和物源供给共同控制的结果。混合沉积为稳定构造背景下的浅湖-滨湖沉积。气候干旱时,降雨量及陆源碎屑供应较少,有利于湖泊碳酸盐沉积;气候由干旱向潮湿转换时,随着河流带来大量淡水和陆源碎屑进入湖盆,湖泊盐度变低,陆源碎屑抑制了碳酸盐岩生成,形成混合沉积。当陆源碎屑相对较长时间持续供应时,碳酸盐很难再沉积,此时便形成钙质泥岩、泥岩和粉砂质泥岩、粉砂岩等陆源碎屑沉积。

#### 参考文献:

- [1] 张金亮,司学强. 断陷湖盆碳酸盐与陆源碎屑混合沉积—以东营凹陷金家地区古近系沙河街组第四段上亚段为例 [J]. 地质论评,2007,53(4):448-453.
- [2] BRUCKNER W D. Cyclic calcareous sedimentation as an index of climatic variations in the past [J]. Journal of Sedimentary Research,1953,23(4):235-237.
- [3] CAROZZI A. Some remarks on cyclic calcareous sedimentation as an index of climatic variations [J]. Journal of Sedimentary Research,1955,25(1):78-79.
- [4] MOUNT J F. Mixing of siliciclastic and carbonate sediments in shallow shelf environments [J]. Geology,1984,12(7):432-435.
- [5] 刘宝瑞,王剑,谢渊,等. 当代沉积学研究的新进展与发展趋势——来自第三十一届国际地质大会的信息 [J]. 沉积与特提斯地质,2002,22(1):46-55.
- [6] 张锦泉,叶红专. 论碳酸盐与陆源碎屑的混合沉积 [J]. 成都地质学院学报,1989,16(2):87-92.
- [7] 杨朝青,沙庆安. 云南曲靖中泥盆统曲靖组的沉积环境:一种陆源碎屑与海相碳酸盐的混合沉积 [J]. 沉积学报,1990,8(2):59-66.
- [8] 蔡进功,李从先. 内蒙西南部石炭系碎屑岩—碳酸盐岩混合沉积特征 [J]. 石油与天然气地质,1994,15(1):80-86.
- [9] 江茂生,沙庆安,刘敏. 华北地台下中寒武统碳酸盐与陆源碎屑混合沉积——以山东张夏地区为例 [J]. 沉积学报,1996,(S1):63-74.
- [10] 马艳萍,刘立. 大港滩海区第三系湖相混积岩的成因与成岩作用特征 [J]. 沉积学报,2003,21(4):607-613.
- [11] 罗顺社,刘魁元,何幼斌,等. 渤海洼陷沙四段陆源碎屑与碳酸盐混合沉积特征与模式 [J]. 江汉石油学院学报,2004,26(4):19-22.
- [12] 董桂玉,何幼斌,陈洪德,等. 惠民凹陷沙一中湖相碳酸盐与陆源碎屑混合沉积——以山东商河地区为例 [J]. 沉积学报,2007,25(3):344-350.
- [13] HALFAR J, INGLE JR J C, GODINEZ-ORTA L. Modern non-tropical mixed carbonate-siliciclastic sediments and environments of the southwestern Gulf of California, Mexico [J]. Sedimentary Geology,2004,165(1):93-115.
- [14] CAMPBELL A E. Shelf-geometry response to changes in relative sea level on a mixed carbonate-siliciclastic shelf in the Guyana Basin [J]. Sedimentary Geology,2005,175(1):259-275.
- [15] COFFEY B P, FRED READ J. Mixed carbonate-siliciclastic sequence stratigraphy of a Paleogene transition zone continental shelf, southeastern USA [J]. Sedimentary Geology,2004,166(1):21-57.
- [16] KHETANI A B, READ J F. Sequence development of a mixed carbonate-siliciclastic high-relief ramp, Mississippian, Kentucky, USA [J]. Journal of Sedimentary Research,2002,72(5):657-672.
- [17] LAGESSE J, READ J F. Updip sequence development on a wave- and current-dominated, mixed carbonate-siliciclastic continental shelf: Paleogene, North Carolina, eastern USA [J]. Sedimentary Geology,2006,184(1):155-182.
- [18] 张宁生,任晓娟,魏金星,等. 柴达木盆地南翼山混积岩储层岩石类型及其与油气分布的关系 [J]. 石油学报,2006,184(1):42-46.
- [19] 董桂玉,陈洪德,何幼斌,等. 陆源碎屑与碳酸盐混合沉积研究中的几点思考 [J]. 地球科学进展,2007,22(9):931-939.
- [20] 冯进来,曹剑,胡凯,等. 柴达木盆地中深层混积岩储层形成机制 [J]. 岩石学报,2011,27(8):2461-2471.
- [21] 冯进来,胡凯,曹剑,等. 陆源碎屑与碳酸盐混积岩及其油气

- 地质意义 [J]. 高校地质学报, 2011, 17(2): 297-307.
- [22] 彭晓群, 吴丰, 张延华. 柴达木盆地小梁山地区混积岩储层测井评价 [J]. 石油地球物理勘探, 2012, (S1): 146-151.
- [23] 臧士宾, 崔俊, 郑永仙, 等. 柴达木盆地南翼山油田新近系油砂山组低渗微裂缝储集层特征及成因分析 [J]. 古地理学报, 2012, 14(1): 133-141.
- [24] 张建良. 金湖凹陷卞东油田灰岩-砂岩混积岩储层应力场模拟及裂缝预测研究 [J]. 石油天然气学报, 2012, 34(5): 30-34.
- [25] 丁一, 李智武, 冯逢, 等. 川中龙岗地区下侏罗统自流井组大安寨段湖相混合沉积及其致密油勘探意义 [J]. 地质论评, 2013, 59(2): 389-399.
- [26] 臧士宾, 赵永, 陈登钱, 等. 柴达木盆地西部北区新近系非常规低渗储集层特征及控制因素分析 [J]. 沉积学报, 2013, 31(1): 157-166.
- [27] 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.
- [28] 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(自然科学版), 2002, 26(3): 20-26.
- [29] 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.
- [30] 李明龙, 郑德顺, 龚文磊, 等. 济源盆地中侏罗统马凹组砂岩粒度特征分析 [J]. 沉积与特提斯地质, 2013, 33(2): 25-31.
- [31] 郭福生. 浙江江山藕塘底组陆源碎屑与碳酸盐混合沉积特征及其构造意义 [J]. 沉积学报, 2004, 22(1): 136-141.
- [32] MOUNT J. Mixed siliciclastic and carbonate sediments: a proposed first-order textural and compositional classification [J]. Sedimentology, 1985, 32(3): 435-442.
- [33] 张雄华. 混积岩的分类和成因 [J]. 地质科技情报, 2000, (4): 31-34.
- [34] 郭福生, 严兆彬, 杜杨松. 混合沉积, 混积岩和混积层系的讨论 [J]. 地学前缘, 2003, 10(3): 312-314.
- [35] 程岳宏, 于兴河, 韩宝清, 等. 东濮凹陷北部古近系沙三段地球化学特征及地质意义 [J]. 中国地质, 2010, 37(2): 357-366.
- [36] 刘刚, 周东升. 微量元素分析在判别沉积环境中的应用—以江汉盆地潜江组为例 [J]. 石油实验地质, 2007, 29(3): 307-314.
- [37] 苗建宇, 赵建设, 刘池洋, 等. 鄂尔多斯盆地二叠系烃源岩地球化学特征与沉积环境的关系 [J]. 中国地质, 2007, 34(3): 430-435.
- [38] 宋自成, 郑德顺, 李明龙, 等. 济源盆地中侏罗统马凹组沉积环境演化及其控制因素分析 [J]. 河南理工大学学报(自然科学版), 2012, 31(5): 543-550.

## Sedimentary characteristics and controlling factors of the mixed deposits from the upper member of the Middle Jurassic Ma'ao Formation in the Jiyuan Basin, western Henan

ZHENG De-shun<sup>1</sup>, CHENG Yong<sup>1,2</sup>, LI Ming-long<sup>3</sup>, WU Wei<sup>1</sup>, ZHOU Lu<sup>1</sup>, SUN Feng-bo<sup>1</sup>, WANG Peng-xiao<sup>1</sup>

(1. Institute of Resources & Environments, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, Henan, China; 2. Mining Institute, Kunming Metallurgy College, Kunming 650000, Yunnan, China; 3. No. 2 Geological Party of Hubei, Enshi 445000, Hubei, China)

**Abstract:** Mixed sedimentation of siliciclastic and carbonate deposits is a kind of deposition that has a special and important sedimentary mechanism. The mixed deposits are well developed in the the upper member of the Middle Jurassic Ma'ao Formation in the Jiyuan Basin, western Henan, and consist dominantly of compositionally or texturally mixed deposits composed of muddy limestone, limy mudstone and lime-bearing mudstone. The slightly-oxidized and slightly-reduced brackish environments generated in the arid and scorching conditions may facilitate the development of the mixed deposits, which resulted from the combination of the palaeotectonic movements, palaeoclimates and sediment supply. The results of research in this study provide one useful approach to interpreting the sedimentary mechanism and continental mixed siliciclastic and carbonate deposits.

**Key words:** mixed deposit; hybrid sedimentary rock; Ma'ao Formation; geochemistry; Jiyuan Basin