

鄂尔多斯盆地地下石盒子组盒8段储集砂体发育控制因素及沉积模式研究*

田景春¹ 吴琦² 王峰¹ 林小兵¹ 张锦泉¹ 曹桐生¹

TIAN JingChun¹, WU Qi², WANG Feng¹, LIN XiaoBing¹, ZHANG JinQuan¹ and CAO TongSheng¹

1. 油气藏地质及开发工程国家重点实验室, 成都理工大学, 成都 610059

2. 华北水利水电学院, 郑州 450051

1. State Key Laboratory of Oil and Gas Reservoir Geology and Exploitation, CDUT, Chengdu 610059, China

2. North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450011, China

2011-02-05 收稿, 2011-06-22 改回.

Tian JC, Wu Q, Wang F, Lin XB, Zhang JQ and Cao TS. 2011. Research on development factors and the deposition Model of large area reservoir sandstones of He8 section of Xiashihezi Formation of Permian in Ordos basin. *Acta Petrologica Sinica*, 27(8):2403–2412

Abstract This paper taking reservoir sandbodies of He8 section of Xiashihezi Formation of Permian in Ordos basin as the research object. Based on many previous studies, the “large area wide distribution” features of reservoir sandbodies of He8 section comprehensive studied and the key factors of control large area distribution of reservoir sandbodies of He8 analyzed systematically in detail which included: strong source supply is based, multi-water development is the prerequisite, gentle landscape is the background, high velocity stream is the driving force. And the ancient terrain slope and water flow rate are quantitative calculated, the average gradient is $1.10\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$, average slope is 0.063° ; the average water flow rate is $8.31\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$. Then, the “braided river delta of strong source supply and shallow-water slope” unique depositional model of He8 section is created.

Key words Ordos basin; Xiashihezi Formation; He8 section; Sandbodies; Factors of control; Depositional model

摘要 以鄂尔多斯盆地二叠系下石盒子组盒8段储集砂体为研究对象,在众多前人研究成果的基础上,综合研究了盆地内下石盒子组盒8段沉积演化过程中储集砂体发育特征,主要表现为:岩石类型多样,包括含砾粗砂岩、中粒砂岩、细粒砂岩等;成因复杂:包括冲积扇砂体、河流砂体、辫状河三角洲砂体等;分布广泛:具有广覆式大面积分布特征。在上述基础上,系统深入分析了控制盒8大面积砂体分布的关键因素,主要包括:强物源、多物源供给是基础,多水系发育是前提,平缓古地貌是背景,高流速河流是动力。其中,强物源、多物源不仅为盆地内提供了丰富碎屑物质,而且控制着盆地内不同区域储集砂体的岩性特征;多水系发育为形成大面积砂体分布提供了条件,发源于物源区向盆地内搬运陆源碎屑物质的六条水浅流急的辫状河道在盆地中部汇合交叉控制着单层砂体厚度及其连片性。平缓古地貌控制着多河道发育和长距离搬运过程中河道摆动、迁移频繁,并相互叠置交叉。高流速河流控制着平缓古地形上发育的多河道不断交叉、复合。并定量计算了盒8段储集砂体沉积时的地形古坡度,平均坡降为 $1.10\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$,平均坡度为 0.063° ;古河流水体平均流速为 $8.31\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。进而,结合盆地内钻井实际建立了下石盒子组盒8段独具特色的“强物源供给的缓坡浅水辫状河三角洲沉积模式”。

关键词 鄂尔多斯盆地;下石盒子组;盒8段;砂体特征;控制因素;沉积模式

中图法分类号 P512.2

* 本文受国家重大专项项目(2008ZX05007-005)和四川省重点学科“构造地质学”建设基金项目(SZD0408)联合资助。

第一作者简介:田景春,男,1963年生,博士,教授,博士生导师,主要从事沉积地质学方面的教学与科研工作,E-mail: tjc@cdut.edu.cn

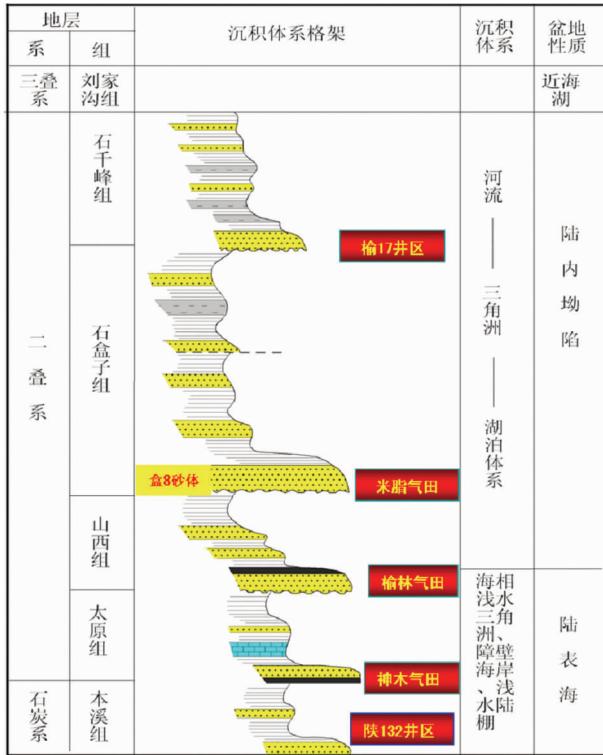


图1 鄂尔多斯盆地晚古生代主要砂体对应的气田示意图(据长庆油田公司,2006^①)

Fig.1 Major sandbody and its corresponding gasfields of Late Paleozoic in Ordos basin

1 引言

鄂尔多斯盆地是我国陆上第二大沉积盆地及重要的能源基地。该盆地在晚古生代沉积演化过程中,从石炭系本溪组至二叠系石千峰组各组均发育了多套储集砂体,这些砂体构成了盆地内最终气藏形成的关键和基础。目前,在太原组、山西组、石盒子组均发现了大气田,在本溪组和石千峰组也发现了若干个气藏(图1)。其中,储集砂体最为发育的层段为二叠系下石盒子组盒8段,该段储集砂体在盆地内表现为“广覆式大面积分布”的特征。本论文在众多国内外学者关于:沉积体系(郭英海和刘焕杰,2000;付锁堂等,2003;何顺利等,2005;白全明等,2005;沈玉林等,2006;王勇等,2007;陈凤喜等,2008)、砂体特征(胡光明,2004;邹才能等,2008)、砂体形态(Bridge,1997;Leclair *et al.*, 1997; Bridge and Tye, 2000)、砂体成因(何东博,2005;陈安青等,2007;郭建林,2008)、物源分析(席胜利等,2002;刘锐娥等,2003;肖建新等,2008)、成藏特征(Ben, 2002;彭澎和翟明国,2002;何自新等,2003;Fu *et al.*, 2004;李会军等,2004;杨华等,2005; Mohinudeen and Phil, 2006;Henrik and Hans, 2007)等研究成果的基础上,定性和定量研究鄂尔多斯盆地二叠系下石盒子组盒8段大面积储集砂体特征及其发育分布的控制因素,并

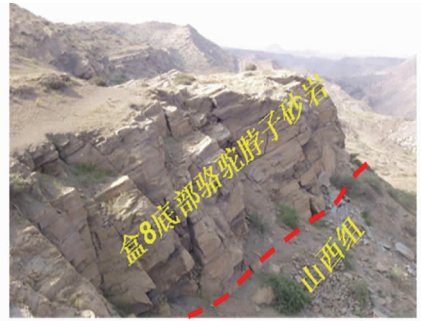


图2 石炭井剖面下石盒子组底部骆驼脖子砂岩特征

Fig.2 The characteristics of camels neck sandstone at the bottom of Xiaoshihezi Formation in Shitanjing profile

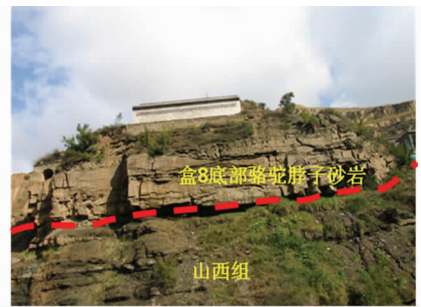


图3 成家庄剖面下石盒子组底部骆驼脖子砂岩特征

Fig.3 The characteristics of camels neck sandstone at the bottom of Xiaoshihezi Formation in Chengjiashuang profile

结合实际建立盒8段大面积储集砂体发育的沉积模式。

2 下石盒子组盒8段砂体特征

位于鄂尔多斯盆地下石盒子组底部的盒8段砂体,俗称“骆驼脖子砂岩”,为鄂尔多斯盆地内最为重要的储集砂体之一。为一套浅灰色含砾粗砂岩、灰白色中粗粒砂岩及灰绿色岩屑质石英砂岩,砂岩发育大型交错层理(图2、图3、图4)。从成因类型上看,盒8段沉积期鄂尔多斯盆从盆地边缘向盆地中心依次发育:冲积扇砂体、河流相砂体、辫状河三角洲砂体等多成因类型储集砂体(图5)。从平面上看,砂体从北向南表现为条带状-毯式大面积分布的特点(图5)。

3 下石盒子组盒8段砂体发育分布的控制因素

3.1 多水系发育控制着砂体的厚度及其连片性

在盆地内下石盒子组盒8段沉积期,随着盆地北部兴蒙海槽的逐渐关闭,强烈的南北差异升降,导致盆地表现为北

① 长庆油田公司. 2006. 鄂尔多斯盆地上古生界天然气勘探潜力分析

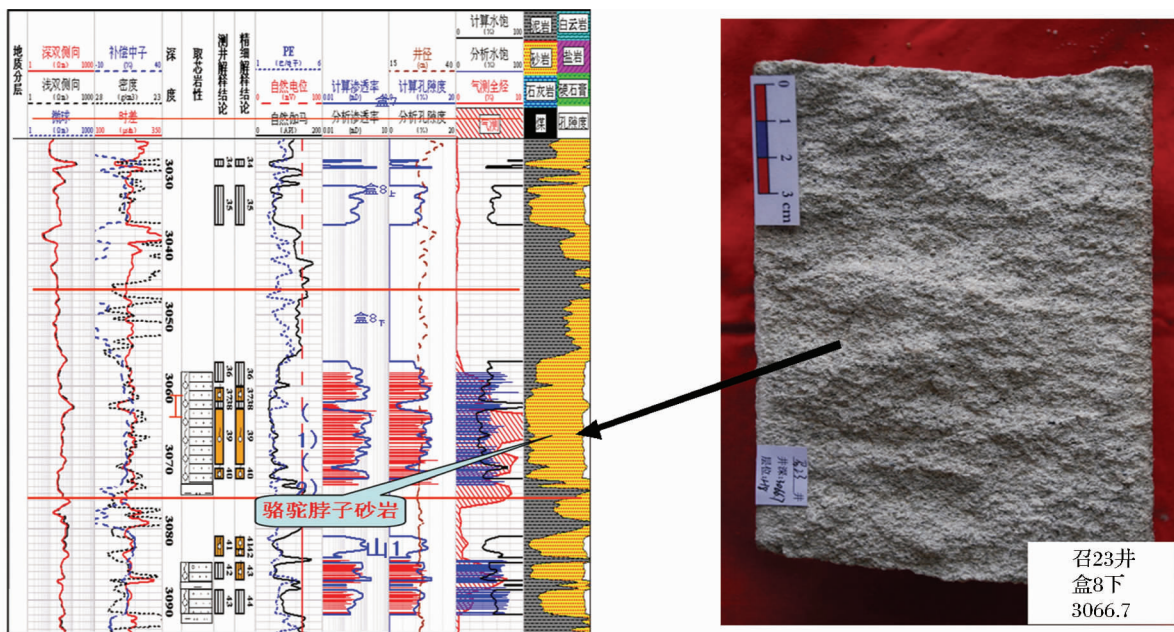


图4 召23井盒8段测井解释综合图及岩心特征

Fig.4 Well log graph and corresponding core characteristics of He8 section of Xiashihezi Formation in Zhao23 wells

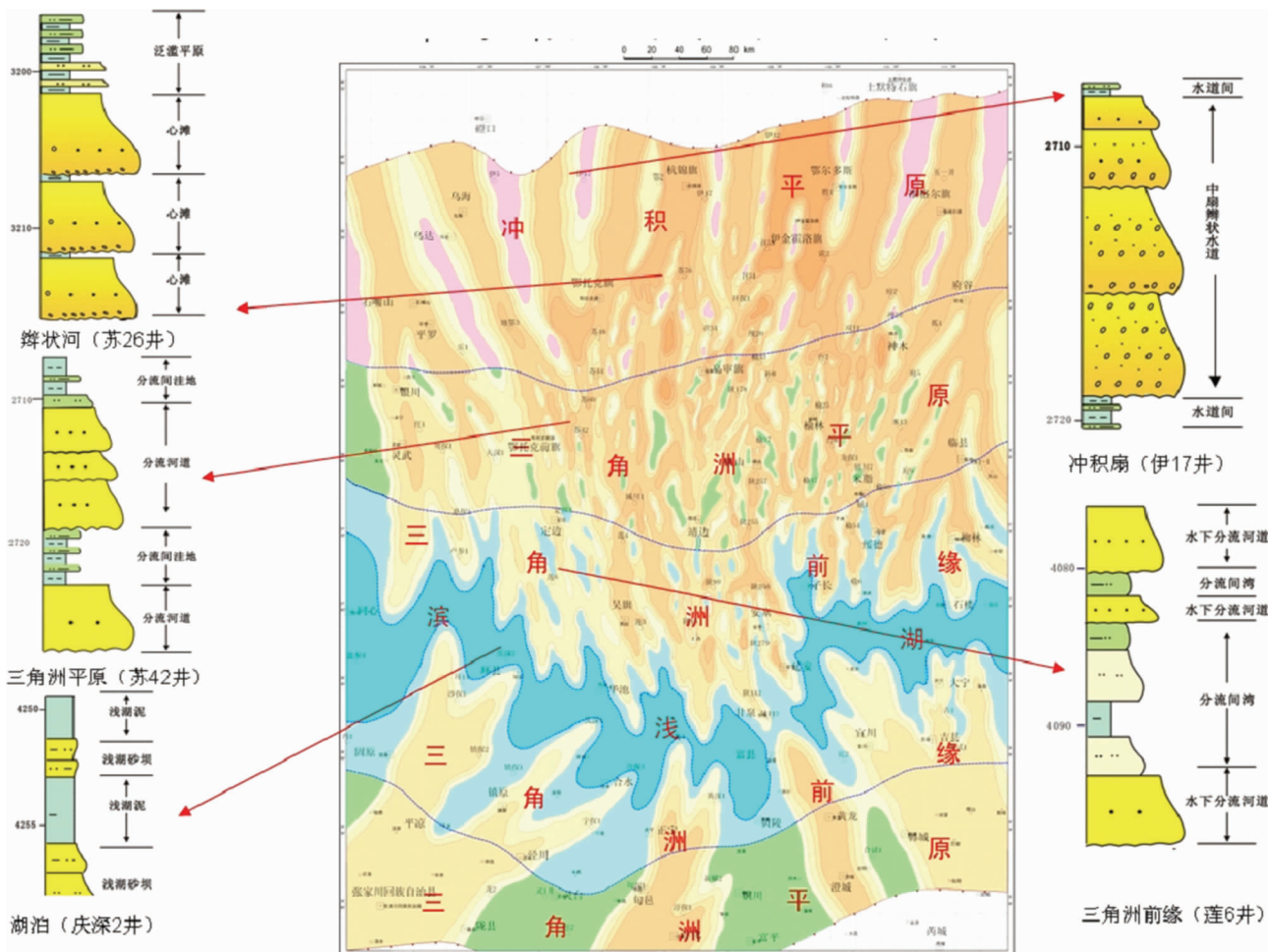


图5 鄂尔多斯盆地盒8砂体成因类型及砂体展布图

Fig.5 Genetic types and distribution of sandbody of He8 section of Xiashihezi Formation in Ordos basin

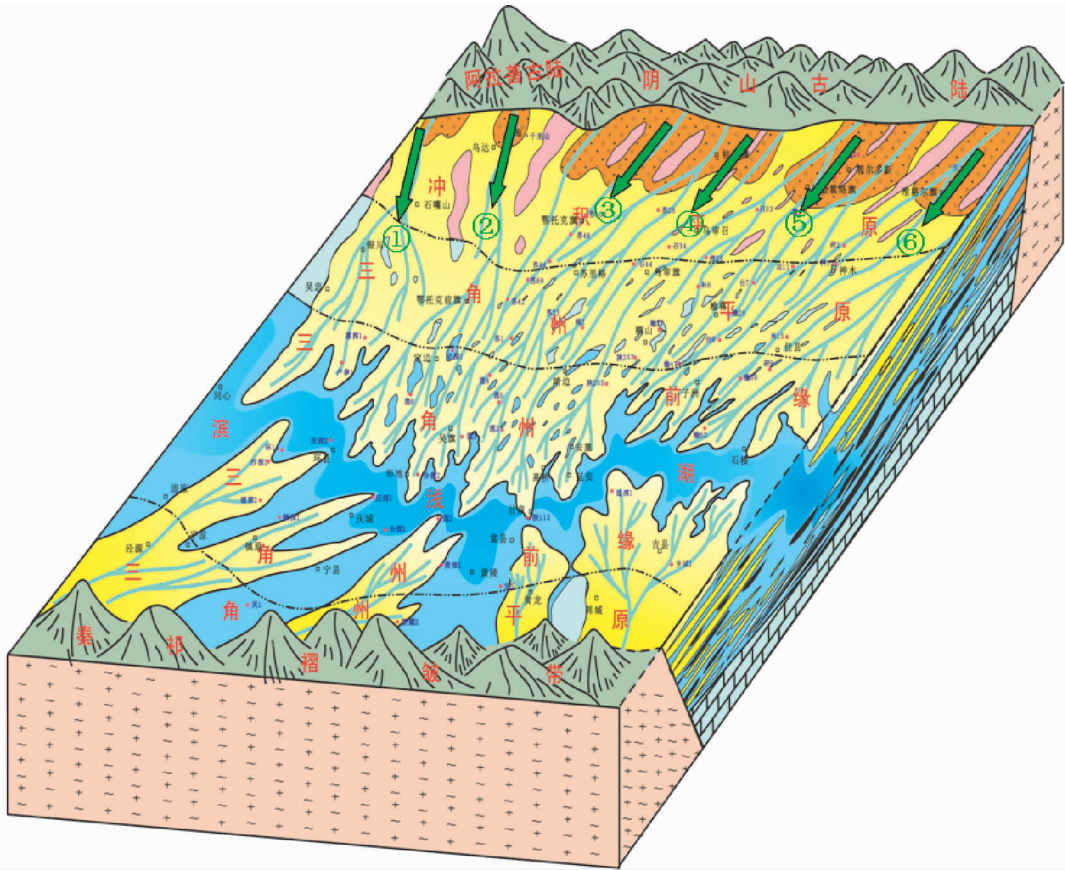


图6 鄂尔多斯盆地盒8期沉积期源于北部物源的六条水系发育方向及位置

Fig.6 Direction and location of six river systems from northern provenance during He8 depositional stage in Ordos basin

隆南倾的构造格局。此期,鄂尔多斯盆地为陆相湖盆沉积,盆地内形成了1套巨厚的以粗粒为主的碎屑岩建造。此套巨厚碎屑岩沉积是源于鄂尔多斯盆地北部物源区6条水浅流急的向盆地内搬运陆源碎屑物质的辫状河道沉积砂体相互交叉、叠置形成的(图6)。6条辫状河道分别是:(1)盆地西部石嘴山-李庄子水系;(2)乌海-铁克苏庙水系;(3)苏里格西部前乌拉加汗-鄂托克旗水系;(4)苏里格中部杭锦旗-好勒根计水系;(5)苏里格东部杨七寨子-通岗浪沟水系;(6)盆地东部准格尔旗-神木水系。正是这6条水系在盆地中部的乌审旗一带汇合叠置,汇合后继续向南延伸至苏里格南及高桥。多河道汇合导致单层砂体厚度增大、其连片性增强。因此,多水系发育为形成大面积复合砂体提供了有利条件。

3.2 平坦的地形控制着多河道的摆动、迁移

盒8沉积期,构造格局控制下的古地形条件对大面积砂体发育分布提供了先决条件。据于兴河等(2004)研究指出,地形坡降是宽广分布的辫状河发育的重要因素,坡降范围从几米/千米,十几米/千米不等,除坡降的因素控制外,在空间上还要求有比较宽阔和相对平坦的地形地貌条件。

为此,依据地层厚度及不同岩性的压实率对鄂尔多斯盆地盒8沉积期的古地形及坡降进行了定量恢复。恢复之前

必须对沉积地层进行厚度校正。本研究对地层厚度进行了压实校正,地层的去压实校正依照一个基本假设:即在压实过程中,其固体颗粒不可压缩,也不与外界有物质交换,因而骨架的体积保持不变,造成沉积物孔隙度和厚度减小的原因是孔隙中的流体不断被排出。沉积物的压实只发生在深度方向上,不考虑对横向的作用,压实的程度由埋深所决定,具有不可逆性。具体方法是先求出地层骨架厚度,然后再根据地层骨架厚度不变的假设,利用初始孔隙度即可得到地层埋藏时的原始厚度。

首先根据孔隙度和声波测井资料建立研究区的 $\varphi-Z$ 关系式,泥岩的孔隙度与深度的关系式为 $\varphi_n = 0.67e - 0.000945Z$,砂岩的孔隙度与深度的关系式为 $\varphi_s = 0.39e - 0.000629Z$ 。

其次根据每一个层序中砂岩和泥岩的百分比(bs, bn),计算出该层序的厚度与深度之间的关系式: $\varphi(z) = bs\varphi_s(z) + bn\varphi_n(z)$,其中 $bn = 1 - bs$ 。

最后计算出各层的骨架厚度 H_i :

$$H_i = \int_{Z_i}^{Z_{i+1}} [1 - \Phi(Z)] dZ$$

其中, Z_i, Z_{i+1} 分别为层序 i 的顶、底界埋深(单位:m),未脱压实校正厚度 $h_i = (Z_{i+1} - Z_i)$ (单位:m)。

下面是求取原始厚度的 Matlab 程序:

程序 1:求取地层厚度骨架骨架厚度

```
function y = ficfun(b,h1,h2) % 输入的砂岩比和小层序的顶底深
```

```
% 用样条微积分法计算小层序的骨架厚度,其值小于于地层现有厚度,反映当时的沉积量
```

```
% 骨架厚度是假设孔隙度为零时的地层厚度
```

```
hh = h1 :0.1:h2;
```

```
ps = 0.39 * exp(-6.29 * 1e-4 * hh); % 根据声波建立的砂岩的孔隙度与深度的关系式,不同地区系数不同
```

```
pn = 0.67 * exp(-9.45 * 1e-4 * hh); % 泥岩的孔隙度与深度的关系式
```

```
ppj = b * (ps - pn) + pn; % b 为某一层序的砂岩百分比,ppj 为这一层序的平均孔隙度
```

```
ff = 1 - ppj;
```

```
pp = spline(hh,ff); % 产生被积函数的表格数据
```

```
int_pp = fnint(pp); % 求样条积分
```

```
ssp = ppval(int_pp,[h1,h2]); % 据样条函数计算[h1 h2]区间的定积分
```

```
aa = ssp(1,2);
```

```
assignin('base','aaa',aa) % 跨空间赋值,使其显示在内存中
```

```
n = length(aa);
```

```
for i = 1:n;
```

```
a(n+1-i) = aa(i);
```

```
end
```

程序 2:据初始孔隙度恢复原始地层厚度

```
a = [];
```

```
b = []; % 输入各层序的顶底深度 a 和砂岩百分含量 b
```

```
n = length(a);
```

```
framethick = zeros(n,1); % 小层序骨架厚度,产生 n 数组,在循环中赋值
```

```
for i = 1:n-1;
```

```
ficfun(b(i),a(i),a(i+1));
```

```
framethick(i) = aaa; % 在循环中调用 ficfun 函数来通过样条积分计算小层序的骨架厚度
```

```
end
```

```
s = sum(framethick); % 该地层所有层序骨架厚度的累加值。
```

```
H = s * bz/0.39 + s * (1 - bz)/0.67 % 该地层的原始厚度。bz 为该地层总的砂岩百分含量。
```

从测井图上统计出各层的现今厚度和砂泥岩百分含量,带入上述程序恢复出原始地层厚度。

通过对盆地北部通岗浪沟-乌审旗一线南北向钻井地层厚度的校正以及古坡度和坡降的计算表明(表 1),盆地内部盒 8 段沉积时坡度非常平缓,平均坡降为 $1.10\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$,平均坡度为 0.063° ,统 27 井-召 29 井之间为加不沙-乌审召次

表 1 鄂尔多斯盆地北部盒 8 下砂岩沉积期古坡度恢复表

Table 1 Ancient slope recovery of lower submember of He8 sandstone depositional stage in the north of Ordos basin

井号	残余 地层 厚度 (m)	砂岩 厚度 (m)	泥岩 厚度 (m)	恢复 厚度 (m)	井间 距离 (km)	坡降 ($\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$)	坡度 ($^\circ$)
召 53	43.6	34.8	8.8	70.0	—	—	—
召 52	40.4	29.8	10.6	72.2	14.81	0.149	0.0085
统 25	52.3	45.4	6.9	73.0	23.82	0.034	0.0019
统 27	49.0	34.6	14.4	62.2	6.80	2.824	0.162
召 29	44.2	35.8	8.4	69.4	6.83	3.338	0.191
召 11	38.4	29.2	9.2	66.0	21.08	0.161	0.0092
召 19	31.8	14.2	17.6	84.6	17.40	1.069	0.061
陕 246	31.2	13.9	17.3	83.1	11.87	0.126	0.0072

级水系与杨七寨子-通岗浪沟主水系的交汇部位,坡度相对最陡,最大坡降为 $3.34\text{m} \cdot \text{km}^{-1}$,坡度为 0.191° 。平缓的地形条件使该期发育的多河道摆动、迁移非常频繁,从而为盒 8 期大面积砂体的发育创造了有力的条件。

3.3 强水动力条件控制着多河道不断向前搬运、并交叉、复合

水动力条件控制水体的流速,进而控制河流的侵蚀强度、沉积构造类型和砂体分布规模,并影响着河道砂体的成因类型。鄂尔多斯盆地二叠系下石盒子组盒 8 沉积期,发育于平缓古地形条件下的 6 条河水系的水动力较强,水体流速快,其流动的水体物理参数可以通过沉积物中交错层系的厚度、单河道砂坝的厚度、河道水深以及沉积物质粒度等特征的研究而获得。其中,依据前人总结归纳的河道水深的经验公式:

$$h = 1.5L$$

式中: h 为水深(m), L 为河道砂坝的厚度(m)

$$w = 6.8h^{1.54} \quad (\text{Leader, 1973})$$

式中: w 为单河道的宽度(m), h 为水深

$$F = w/h \quad (\text{Schumm, 1960})$$

式中: F 为宽/深比

$$U_c = 1.14 \sqrt{\frac{\rho_s - \rho}{\rho} g d} \left(\frac{h}{d} \right)^{1/6} \quad (\text{王昌杰, 2001})$$

式中: U_c 为砂岩颗粒进入静止状态的临界低速度($\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), d 为砂岩粒径(mm); h 为水深(m); ρ_s 为泥沙的密度($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$); ρ 为流体的密度($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)。对于砂岩而言,有:

$$\frac{\rho_s - \rho}{\rho} = 1.65$$

带入水流启动速度计算公式,即,公式可简化为:

$$U_c = 4.584d^{1/3}h^{1/6}$$

当水动力超过水流启动速度时,沉积物质才可能被搬运、

表2 鄂尔多斯盆地北部盒8沉积期水动力参数

Table 2 Hydrodynamic parameter of He8 depositional stage in the north of Ordos basin

相带	井号	砂坝厚度 (m)	水深 (m)	河道宽度 (m)	宽/深	最大粒径 (mm)	流速 (m·s ⁻¹)
冲积平原	召53	4.20	6.30	115.74	18.37	7.00	11.92
	统30	3.60	5.40	91.28	16.90	3.50	9.22
三角洲平原	召29	2.70	4.05	58.61	14.47	3.10	8.44
	召43	2.10	3.15	39.80	12.64	2.70	7.73
	召58	3.27	4.91	78.72	16.05	3.50	9.07
三角洲前缘	陕257	1.80	2.70	31.39	11.63	2.40	7.24
	陕250	1.60	2.40	26.18	10.91	2.30	7.00
	陕291	1.50	2.25	23.71	10.54	1.40	5.87

表3 现代长江不同河段水文参数表

Table 3 Hydrodynamic parameter of different inlets in modern Yangtze River

现代河流:长江		平均坡降 (%)	流速 (m·s ⁻¹)
上游	辫状河 金沙江	9.4	9.70
中游	曲流河 长江江口至涪市江段	4.83	1.37~1.69
下游	网状河 江阴至浏河口河段	0.02	0.50

沉积,水流止动速度近似可以表示搬运沉积物的水流速度。运用上述公式对盆地北部盒8期盆地不同位置河流水体的水动力参数进行计算(表2),计算表明该地区水体平均流速为8.31m·s⁻¹;由北向南冲积平原上河流水体平均流速为

表4 洪水期不同河流水文参数表

Table 4 Hydrodynamic parameter of different rivers during flood period

河流	观测点	流域面积(km ²)	流量(m ³ ·s ⁻¹)	洪水深度(m)	流速(m·s ⁻¹)	资料来源
Elm 河	交汇点	12.5	1130	7	6.4	Baker, 1977
Blieder 河		39	1370	6~9	2.5~3.3	Baker, 1977
Eldorado 峡谷	Eagle 与 Techaticup Washe 下游	59	2153		7.6~11.8	Glancy and Harmson, 1975
Big Thompson 河	Drake 上游	88	800	2.5	6.7	MoCain, 1977 Shroba et al., 1979
Rubicon 河	Foresthill			23.8	7	Scott and Gravlee, 1968
Coffee Creele	USGS 水文站	277	504		4.5	Stewart and La Marche, 1967

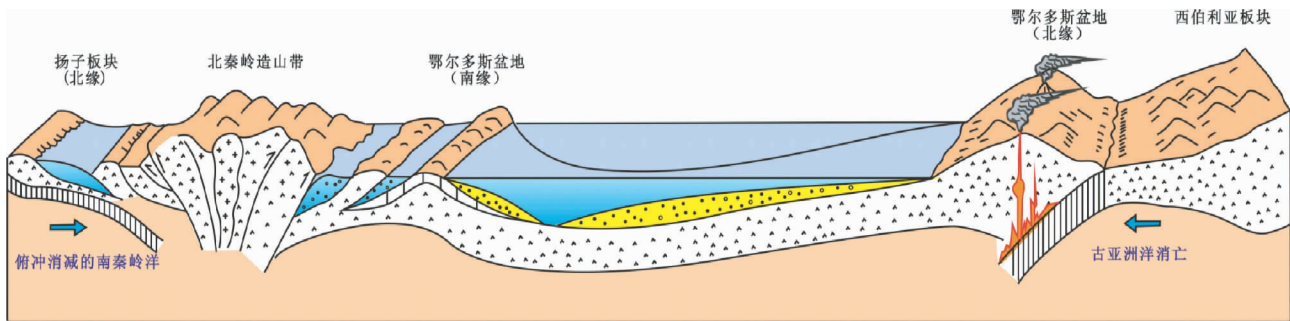


图7 中二叠世下石盒子期鄂尔多斯盆地南北构造格局

Fig.7 Regional tectonic framework of Xiashihezi Formation in Ordos basin

10.57m·s⁻¹,三角洲平原分流河道水体平均流速为8.41m·s⁻¹,三角洲前缘水下分流河道水体平均流速为6.70m·s⁻¹。与现代河流沉积进行对比(表3、表4),可以看出:鄂尔多斯盆地上古生界石盒子组盒8期水体流速较高。河流水体的高速流动使得平缓古地形上发育的多河道不断向前搬运、并相互交叉、复合,从而为盒8期大面积砂体的发育分布提供了动力条件。

3.4 多物源、强物源供给控制着盆地内储集砂体的岩性特征

鄂尔多斯盆地二叠纪下石盒子组盒8段沉积期,随着海西褶皱带拼贴在华北地台周缘地区,特别是盆地西伯利亚板块向南与北部华北板块的对接导致内蒙古地轴以及早古生代造山带逐渐抬升,使得盆地北部物源区面积增大、高度增高(图7);同时,伴随着古气候条件正好处于有温暖潮湿向炎热干旱的转换期,因而物理风化作用和化学风化作用强,

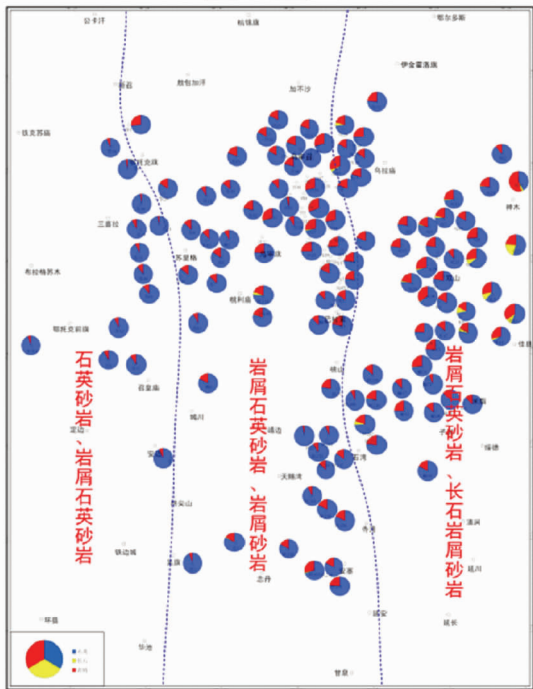


图 8 鄂尔多斯盆地北部上古生界盒 8 段岩石类型分布图

Fig. 8 Rock types and distribution of H8 member of Xiashihezi Formation in Ordos basin

从而导致物源区提供大量陆源碎屑物质向盆地搬运, 结果使得盒 8 期河流进入湖盆后所形成的三角洲持续向湖盆推进, 从而形成了区域范围内大面积储集砂体的发育和分布。此外, 多物源供给控制盆地内不同区域储集砂体的岩性特征不同(图 8)。

总之, 鄂尔多斯盆地盒 8 大面积砂体分布的关键因素是: 强物源供给是基础、多水系发育是前提、平缓古地貌是背景、高流速河流是动力。正是上述多因素叠加导致了盒 8 沉积期鄂尔多斯盆地砂体大面积广泛分布的格局。

4 下石盒子组盒 8 段砂体发育的沉积模式

鄂尔多斯盆地盒 8 段沉积期, 随区域上因北侧西伯利亚板块持续的向南俯冲推挤, 华北地台北缘进一步抬升, 北部物源区构造活动增强, 丰富的陆源碎屑物被多河流带入盆地中, 导致湖盆相对湖平面下降, 辫状分流河道快速向湖中推进, 沉积物快速充填使得分流河道横向频繁迁移, 形成了“强物源供给下特色的浅水缓坡辫状河三角洲”沉积。其亚相类型有辫状河三角洲平原和辫状河三角洲前缘, 发育辫状分流河道、废弃河道充填沉积、越岸沉积、水下分流河道、水下分流河道间沉积等微相类型。其中, 辫状分流河道砂体纵向相互叠置, 横向复合连片呈毯式大面积分布, 厚 10~40m, 宽度 10~30km, 延伸距离达 200km 以上, 垂向上对下伏沉积物具有明显冲刷现象, 显示了浅水辫状分流河道的沉积特征(图 9、图 10)。

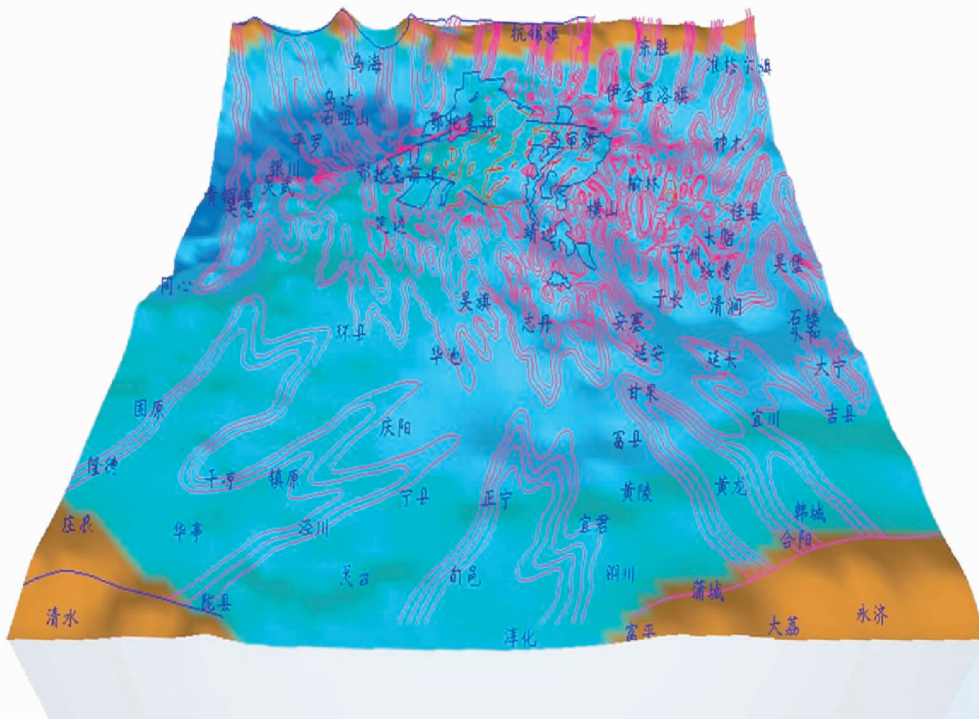


图 9 缓坡地形下盒 8 段砂体展布特征

Fig. 9 Sandbody distribution character of H8 section on gentle slope topography in Ordos basin

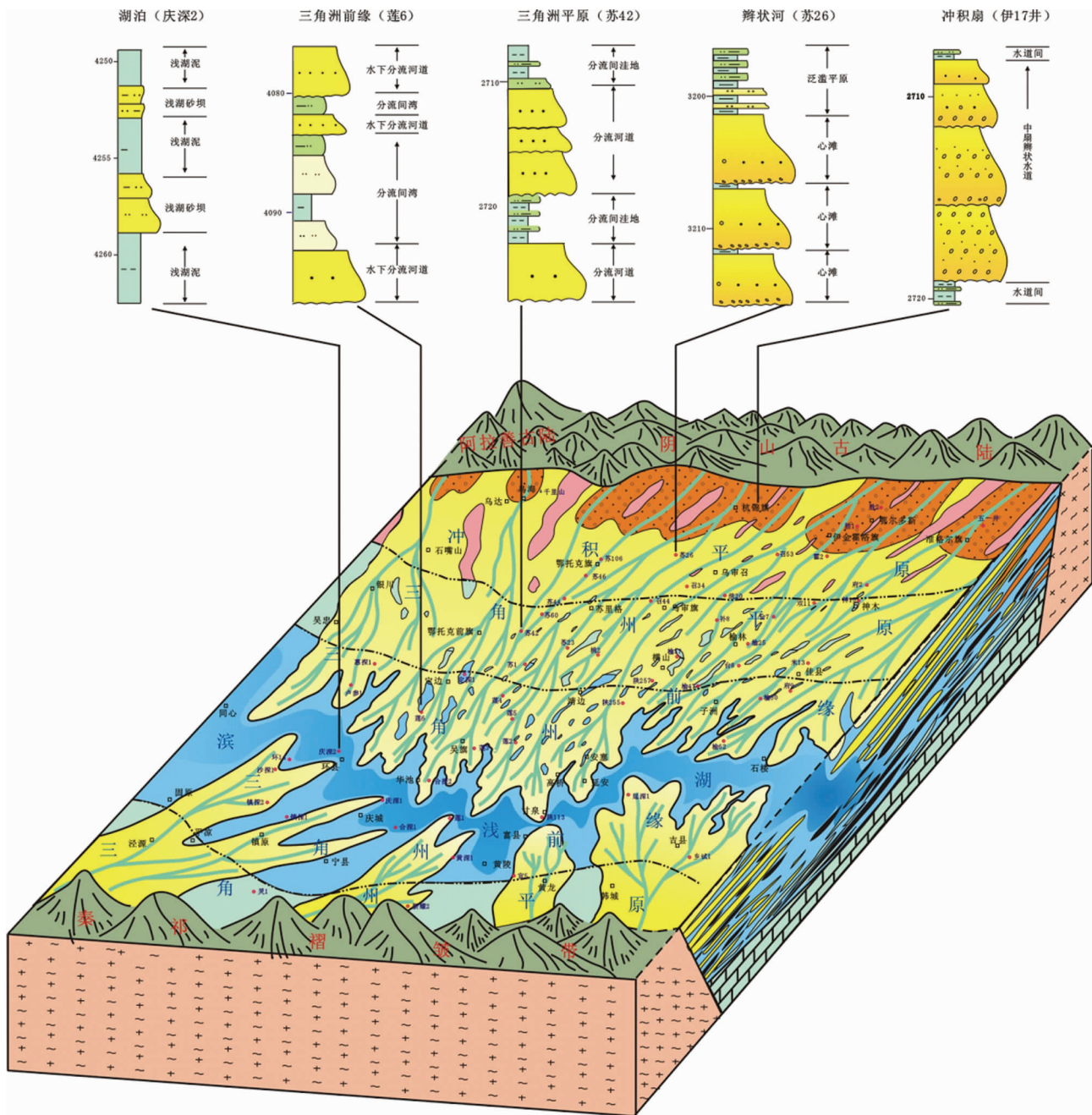


图 10 鄂尔多斯盆地地下石盒子组盒 8 段沉积模式
 Fig. 10 Sedimentary model of H8 member of Xiashihezi Formation in Ordos basin

盒 8 期盆地为强物源供给条件下的“浅水缓坡辫状河三角洲”，其形成条件主要包括以下几个方面：

(1) 中二叠纪世，西伯利亚与华北板块之生碰撞、陆壳间俯冲叠置，进入造山作用阶段。强烈的挤压作用引发了深部岩浆活中下地壳物质发生部分熔融的产物沿断裂喷发地表（周安朝和贾炳文，2000），形成中二叠酸性岩浆活动为主的 中酸性火山熔岩和火山碎屑岩（即大石寨组火山岩），广泛分锡林浩特-磬石地层分区（内蒙古自治区地质矿产局，1996）。它们是碰撞造山作程中的必然产物。此时（对应于石叶湾组

沉积时期），大青山煤田北侧陆源区在发压隆升的同时，已发生强烈的褶皱与冲断，导致基底变质岩系逐渐因构造而抬升剥（周安朝和贾炳文，2000）。这种碰撞形式的改变同时造成华北地台北缘强烈隆升，物源供给充足，地表径流作用最为活跃。

(2) 晚石炭世华北板块南高北低和早二叠世北高南低的“翘板式”构造运动使盆地填平补齐，盒 8 期地形极为平缓，古坡度 $0.1^{\circ} \sim 1^{\circ}$ ，为发育缓坡型浅水辫状河三角洲创造了古地貌条件。

(3)下石盒子期,古气候开始向热带-亚热带干旱转变。气候的特征决定物源区以物理风化为主,可以提供丰富的碎屑物质;干旱的气候不利于植物的生长,古植被的不发育导致河道不固定,横向迁移频繁,整个鄂尔多斯地区在该时期无可采煤层可作为佐证;同时,干旱的气候决定河流的补给以间歇性大气降水为主,河水在洪水期充满河床,沉积物载荷量大、搬运能力强,形成粗碎屑沉积物,枯水期河水局限,分布于分支河道,载荷量小,形成细碎屑沉积物。

(4)河流水体携砂量大,水动力强,可长距离搬运碎屑物质。

上述条件为盒8砂体的发育奠定了基础,也导致该期在鄂尔多斯盆地所形成的砂体具有如下特征:

①在剖面和平面上,砂体基本呈透镜状分布,反映水浅流急,水动力强,砂体摆动频繁的特征。

②垂向序列上具有自旋回结构,每个旋回与下伏岩层呈冲刷接触关系,砂体旋回的顶部为保存不完整的细粒沉积单元;在中南部地区,砂体顶部的细粒旋回保存相对完整,反映出随着河流向蓄水盆地的推进,水动力条件逐渐减弱。

③沉积构造主要为粒序层理、大型槽状-楔状-板状交错层理,交错层理纹层倾角低缓,反映了水浅、流急的高流态水动力特征。

④砂岩成分成熟度相对较高,其中,盆地西部铁克苏庙、鄂托克前旗一带以石英砂岩、岩屑石英砂岩为主;盆地中部杭锦旗、乌审旗一带以岩屑石英砂岩、岩屑砂岩、石英砂岩为主,含少量长石岩屑砂岩。岩屑含量明显增多;盆地东部神木、榆林一带以岩屑砂岩、岩屑石英砂岩为主,其次为长石岩屑砂岩、纯石英砂岩以及岩屑长石砂岩,岩屑及长石含量较研究区西部有明显升高。陆源碎屑分选中等-较好,磨圆中等,多为次棱角状-次圆状。砂体粒度总体表现为北粗南细,粒径均具有自北而南粒度变细的趋势,表现为由砾石-粗粒-中粒的变化,在研究区南部局部出现粒度变粗的现象,这是由间歇式洪水作用所致。

5 结论

(1)在鄂尔多斯盆地二叠系下石盒子组盒8段沉积演化过程中,储集砂体广泛发育、特征明显,主要表现为:岩石类型多样,包括含砾粗砂岩、中粒砂岩、细粒砂岩等;成因复杂:包括冲积扇砂体、河流砂体、辫状河三角洲砂体等;分布广泛:具有广覆式大面积分布特征。

(2)深入、系统分析了控制盒8大面积砂体分布的关键因素,主要包括:强物源、多物源供给是基础,物源不仅为盆地内提供了丰富碎屑物质,而且控制着盆地内不同区域储集砂体的岩性特征。多水系发育是前提,发源于物源区向盆地内搬运陆源碎屑物质的6条水浅流急的辫状河道在盆地中部汇合交叉控制着单层砂体厚度及其连片性。平缓古地貌是背景,它控制着多河道发育和长距离搬运过程中河道摆

动、迁移频繁,并相互叠置交叉。高流速河流是动力,高流速河流控制着平缓古地形上发育的多河道不断交叉、复合。

(3)定量计算了盒8段储集砂体沉积时的地形古坡度,平均坡降为 $1.10\text{m}\cdot\text{km}^{-1}$,平均坡度为 0.063° ;古河流水体平均流速为 $8.31\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。

(4)结合盆地内钻井实际建立了下石盒子组盒8段独具特色的“强物源供给的缓坡浅水辫状河三角洲沉积模式”。

References

- Bai QM, Fan CS, Li XR and Chen YC. 2005. Braided channel sand-body simulation for example Su 6 region in Sulige. *Oil & Gas Journal*, 27(5):580-582 (in Chinese)
- Ben EL. 2002. Basin centered gas systems. *AAPG Bulletin*, 86(11):1891-1919
- Bridge JS. 1997. Thickness of sets of cross-strata and planar strata as a function of formative bed ware geometry and migration, and aggradation rate. *Geology*, 25(11):971-974
- Bridge JS and Tye RS. 2000. Interpreting the dimensions of ancient fluvial channel bars, channels, and channel belts from wireline-logs and cores. *AAPG Bulletin*, 84(8):1205-1228
- Bureau of Geology and Mineral Resources of the Inner Mongolia Autonomous Region. 1996. *Regional Geology of Inner Mongolia Autonomous Region*. Beijing: Geological Publishing House (in Chinese)
- Chen AQ, Chen HD, Xiang F, Liu WJ, Hou ZJ, Shang ZY, Ye LM and Li J. 2007. Sandstone characteristic and provenance analysis of the Permian Shanxi Formation-Shangshihezi Formation in the northeast of Ordos basin, China. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 34(3):305-311 (in Chinese with English abstract)
- Chen FX, Lu T, Da SP, Xu XR and Tang LP. 2008. Study on sedimentary facies of braided stream and its application in geological modeling in Sulige gas field. *Petroleum Geology and Engineering*, 22(2):21-24 (in Chinese)
- Fu JH, Xi SL, Liu XS and Sun LY. 2004. Permian Shanxi Formation and Member 8 of Xiashihezi Formation in Ordos Basin: Palaeogeography and catchment area for sediments derived from north and south provenances. *Journal of Palaeogeography*, 1(2):111-118
- Fu ST, Tian JC, Chen HD, Hou ZJ, Zhang JQ, Liu WJ, Yang H, Fu JH, Fan ZP and Shi XY. 2003. The delta depositional system distribution of Late Paleozoic era in Ordos basin. *Journal of Chengdu University of Technology (Science & Technology Edition)*, 30(3):236-241 (in Chinese with English abstract)
- Guo JL. 2008. *Study on Relatively Prolific Reservoir Distribution of Sulige Gasfield*. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese)
- Guo YH and Liu HJ. 2000. The Late Ppalaeozoic depositional system of Shanxi-Gansu-Ningxia area. *Journal of Palaeogeography*, 2(1):19-30 (in Chinese with English abstract)
- He DB. 2005. Controls on the Complicated Reservoirs and Prediction of Effective Sandstone Distribution in Sulige Gasfield. Beijing: China University of Geosciences (in Chinese)
- He SL, Lan CL and Men CQ. 2005. New braided river model in Sulige gas field of Ordos basin. *Acta Petrolei Sinica*, 26(6):25-29 (in Chinese)
- He ZX, Fu JH, Xi SL, Fu ST and Bao HP. 2003. Geological features of reservoir formation of Sulige gas field. *Acta Petrolei Sinica*, 24(2):6-12 (in Chinese)
- Henrik IP and Hans PN. 2007. Assessment of the petroleum generation potential of Lower Carboniferous coals, North Sea: Evidence for inherently gas prone source rocks. *Petroleum Geoscience*, 13(3):271-285

- Hu GM. 2004. Spreading rule of the fluvial fades sandbody of Permian in Sulige area of Eerduosi basin. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 11(1): 4-7 (in Chinese)
- Leader BE. 1973. Reiver channel patters; Braided, meandering and straight. *U. S. Geol. Surv. Profess Paper*, 282-B: 39-85
- Leclair SF, Bridge JS and Wang F. 1997. Preservation of cross-strata due to migration of subaqueous dunes over aggrading and non-aggrading beds; Comparison of experimental data with theory. *Geoscience Canada*, 24(1): 55-56
- Li HJ, Wu TR, Ma ZJ, Zhu L and Zhang WC. 2004. Factors controlling reservoirs with high quality in giant sulige Gas field. *Natural Gas Industry*, 24(8): 12-14 (in Chinese)
- Liu RE, Huang YM, Wei XF, Sun JF and Lin J. 2003. Analysis of provenance of Late Paleozoic in the northern Ordos basin and its geological significance. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 23(23): 82-86 (in Chinese)
- Mohinudeen F and Phil H. 2006. Significance of microbial activity in Australian coal bed methane reservoirs; A review. *Bulletin of Canadian Petroleum Geology*, 54(3): 261-272
- Peng P and Zhai MG. 2002. Two major Precambrian geological events of north China block (NCB); Characteristics and property. *Advances in Earth Science*, 17(6): 818-825 (in Chinese with English abstract)
- Schumm SA. 1960. Effects of sediment type on the shape and stratification of some modern fluvial deposits. *Am. J. Sci.*, 258: 177-184
- Shen YL, Guo YH and Li ZF. 2006. Sedimentary facies of the Shanxi Formation and Member 8 of Xiashihezi Formation of Permian in Suligemiao area, Ordos basin. *Journal of Palaeogeography*, 8(1): 53-62 (in Chinese)
- Wang CJ. 2001. *River Dynamics*. Beijing: People's Traffic Press (in Chinese)
- Wang Y, Xu XR, Fu XY and Li WH. 2007. Research on the sedimentary facies characteristics of Upper Paleozoic reservoir in Su 6 region, Sulige gasfield. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 37(2): 266-272 (in Chinese)
- Xi SL, Wang HC and Qin BP. 2002. Analysis of the material sources of Shanxi Formation and Shihezi Formation in north Ordos basin. *Natural Gas Industry*, 22(2): 21-24 (in Chinese)
- Xiao JX, Sun FJ, He NX, Liu RE, Li J, Xiao HP and Zhang CL. 2008. Permian Shanxi Formation and Member 8 of Xiashihezi Formation in Ordos basin: Palaeogeography and catchment area for sediments derived from north and south provenances. *Journal of Palaeogeography*, 10(4): 341-354 (in Chinese with English abstract)
- Yang H, Fu JH and Wei XS. 2005. Characteristics of natural gas reservoir formation in Ordos basin. *Natural Gas Industry*, 25(4): 5-8 (in Chinese)
- Yu XH, Ma XX and Mu LX. 2004. *The Braided Fluvial River Reservoir Geologic Model and the Level Interface Analysis*. Beijing: Oil Industry Press (in Chinese)
- Zhou AC and Jia BW. 2000. Analysis of Late Paleozoic conglomerates from Daqing Mountain in Inner Mongolia. *Journal of Taiyuan University of Technology*, 31(5): 498-504 (in Chinese)
- Zou CN, Zhao WZ, Zhang XY, Luo P, Wang L, Liu LH, Xue SH, Yuan XJ, Zhu RK and Tao ZS. 2008. Formation and distribution of shallow-water deltas and central-basin sandbodies in large open depression lake basins. *Acta Geologica Sinica*, 82(6): 813-825 (in Chinese with English abstract)
2007. 鄂尔多斯东北部山西组-上石盒子组砂岩特征及物源分析. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 34(3): 305-311
- 陈凤喜, 卢涛, 达世攀, 徐小蓉, 唐乐平. 2008. 苏里格气田辫状河沉积相研究及其在地质建模中的应用. *石油地质与工程*, 22(2): 21-24
- 付锁堂, 田景春, 陈洪德, 侯中健, 张锦泉, 刘文均, 杨华, 付金华, 范正平, 石晓英. 2003. 鄂尔多斯盆地晚古生代三角洲沉积体系平面展布特征. *成都理工大学学报(自然科学版)*, 30(3): 236-241
- 郭建林. 2008. 苏里格气田相对高产富集储层分布规律研究. 北京: 中国地质大学出版社
- 郭英海, 刘焕杰. 2000. 陕甘宁地区晚古生代沉积体系. *古地理学报*, 2(1): 19-30
- 何东博. 2005. 苏里格气田复杂储层控制因素和有效储层预测. 北京: 中国地质大学出版社
- 何顺利, 兰朝利, 门成全. 2005. 苏里格气田储层的新型辫状河沉积模式. *石油学报*, 26(6): 25-29
- 何自新, 付金华, 席胜利, 付锁堂, 包洪平. 2003. 苏里格大气田成藏地质特征. *石油学报*, 24(2): 6-12
- 胡光明. 2004. 鄂尔多斯盆地苏里格地区二叠系河流相砂体展布规律. *油气地质与采收率*, 11(1): 4-7
- 李会军, 吴泰然, 马宗晋, 朱雷, 张文才. 2004. 苏里格气田优质储层的控制因素. *天然气工业*, 24(8): 12-14
- 刘锐娥, 黄月明, 卫孝锋, 孙粉锦, 蔺洁. 2003. 鄂尔多斯盆地北部晚古生代物源区分析及其地质意义. *矿物岩石*, 23(23): 82-86
- 内蒙古自治区地质矿产局. 1996. 内蒙古自治区区域地质志. 北京: 地质出版社
- 彭澎, 翟明国. 2002. 华北陆块前寒武纪两次重大地质事件的特征和性质. *地球科学进展*, 17(6): 818-825
- 沈玉林, 郭英海, 李壮福. 2006. 鄂尔多斯盆地苏里格庙地区二叠系山西组及下石盒子组盒八段沉积相. *古地理学报*, 8(1): 53-62
- 王昌杰. 2001. *河流动力学*. 北京: 人民交通出版社
- 王勇, 徐晓荣, 付晓燕, 李文厚. 2007. 苏里格气田苏6井区上古生界沉积相特征研究. *西北大学学报(自然科学版)*, 37(2): 266-272
- 席胜利, 王怀厂, 秦伯平. 2002. 鄂尔多斯盆地北部山西组、下石盒子组物源分析. *天然气工业*, 22(2): 21-24
- 肖建新, 孙粉锦, 何乃祥, 刘锐娥, 李靖, 肖红平, 张春林. 2008. 鄂尔多斯盆地二叠系山西组及下石盒子组8段南北物源沉积汇水区与古地理. *古地理学报*, 10(4): 341-354
- 杨华, 付金华, 魏新善. 2005. 鄂尔多斯盆地天然气成藏特征. *天然气工业*, 25(4): 5-9
- 于兴河, 马兴祥, 穆龙新. 2004. 辫状河储层地质模式及层次界面分析. 北京: 石油工业出版社
- 周安朝, 贾炳文. 2000. 内蒙古大青山煤田晚古生代沉积砾岩的物源分析. *太原理工大学学报*, 31(5): 498-504
- 邹才能, 赵文智, 张兴阳, 罗平, 王岚, 刘柳红, 薛叔浩, 袁选俊, 朱如凯, 陶士振. 2008. 大型敞流坳陷湖盆浅水三角洲与湖盆中心砂体形成与分布. *地质学报*, 82(6): 813-825

附中文参考文献

- 白全明, 樊长栓, 李晓茹, 陈琰婵. 2005. 辫状河道砂体模拟——以苏里格苏6井区为例. *石油天然气学报*, 27(5): 580-582
- 陈安清, 陈洪德, 向芳, 刘文均, 侯中健, 尚云志, 叶黎明, 李洁.