

# 地下水动力场的形成、演化及其流体特征分析

——以鄂尔多斯盆地上古生界为例

金爱民<sup>1</sup>, 楼章华<sup>1</sup>, 朱蓉<sup>1</sup>, 孙毛明<sup>1</sup>, 张文正<sup>2</sup>, 魏新善<sup>2</sup>

(1. 浙江大学 海洋科学与工程系, 浙江 杭州 310028; 2. 长庆石油局 勘探开发研究院, 陕西 西安 710021)

**摘 要:** 油气的运移、聚集与地下水动力场的形成与演化密切相关。随着沉积盆地的形成与演化, 地下水动力场也有形成、发展和消亡的过程。讨论鄂尔多斯盆地地下水动力场的形成与演化, 推断其油气的分布规律: 大气水下渗——向心流处为水区, 天然气离心流区为气区, 越流天然气漏失区对应于气水共存过渡区。

**关 键 词:** 鄂尔多斯; 水动力; 水文地质旋回; 油气运移

中图分类号: P641.2

文献标识码: A

文章编号: 1008-9497(2003)03-337-07

JIN Aimin<sup>1</sup>, LOU Zhang-hua<sup>1</sup>, ZHU Rong<sup>1</sup>, SUN Mao-ming<sup>1</sup>, ZHANG Wen-zheng<sup>2</sup>, WEI Xin-shan<sup>2</sup> (1. Department of Ocean Sciences and Engineering, Zhejiang University, Hangzhou 310028, China; The Exploration and Development Institute of Changqing Petroleum Administration Bureau, CNPC, Xi'an 710021, China)

**Formation and evolution of the hydrodynamic field and its fluid property in the Up-Paleozoic reservoir of the Ordos Basin.** Journal of Zhejiang University (Science Edition), 2003, 30(3): 337-343

**Abstract:** The formation and evolution of the hydrodynamics play a great role in the migration and accumulation of oil and gas. Along with the formation and evolution of the sedimentary basin, the hydrodynamics also has its process of formation, development and dying out finally. It was made to try to investigate the migration and accumulation of oil-gas in the Ordos Basin by discussing the evolution of the hydrodynamic field, and consequently to analyze the history of the migration and accumulation of oil-gas in the Ordos Basin. The down-penetrating and centripetal flow area of meteoric water is the water zone, the area of centrifugal flow is the gas zone and the discharge area by cross formation is the gas-water transition zone. The conclusion has great importance to resource evaluation and the decision making of exploration.

**Key words:** Ordos; hydrodynamic; hydrogeologic gyration; oil-gas migration

含油气沉积盆地地下水动力场的研究一直是许多地质工作者关注的热点, 它涉及地下水动力学、水文地质学和石油地质学。自80年代末以来, 国内外学者对油田地下水化学、地下水动力与油气田形成与分布的关系从机理上开始了新的思考, 并开展了一系列卓有成效的研究工作<sup>[1~4]</sup>, 进入90年代以后, 有关沉积盆地地下水动力学方面的研究不断得到重视和发展, 并且从盆地流体历史分析的角度进行了新的探索<sup>[5~6]</sup>。但是, 油田地下水动力学一直是石油地质学领域十分薄弱的环节, 其与油气田形成、分布方面的相应研究也有待进一步深入。作者试图

以鄂尔多斯盆地上古生界储层为例, 探讨含油气沉积盆地地下水动力场的形成与演化规律, 并在总结盆地地下水动力场模式的基础上, 对鄂尔多斯盆地天然气和地下水的分布规律作了论述。

## 1 地质背景

鄂尔多斯盆地属稳定的克拉通内部盆地。盆地基底由太古代和早元古代结晶岩系组成。中晚元古代为拗拉谷发展阶段, 中元古代初期地壳破裂, 形成南北两大巨型三叉裂谷系, 即秦祁大洋裂谷东西向

收稿日期: 2002-05-15

基金项目: 国家九五攻关项目基金资助(95-110-01-03)。

作者简介: 金爱民(1973—), 男, 博士, 从事石油天然气地质和环境科学方面的研究, E-mail: ainjin@css.zju.edu.cn

横卧其南,内蒙大洋裂谷东西向横卧其北,两大裂谷分别各有两个派生的拗拉谷呈南北向展布,鄂尔多斯和晋西地块就在两大三叉裂谷系的环境之中。中元古生代末期,蓟县运动使华北克拉通普遍上升,晋宁运动形成扬子地块,同时秦祁贺裂谷关闭,和华北克拉通连成一体,构成巨大的古中国地台(见南方石油勘探开发公司深盆地项目组1997的成果报告《鄂尔多斯盆地上古生界深盆地研究》)。早古生代为陆表海发展阶段,华北海与祁连海分别从东、西侧向中央隆起区超覆,沉积了厚约1 000~3 000 m的以碳酸盐岩为主的浅海沉积。奥陶纪后,由于加里东运动区域上升遭受剥蚀,沉积间断长达1.3亿年之久,致使在盆地中部形成大面积的古风化壳。中石炭世全区沉降,进入晚古生代海陆过渡发展阶段,沉积了一套海陆交互的含煤碎屑岩夹灰岩建造,厚800~1 500 m。海侵范围与早古生代基本相似,至早二叠下石盒子组始海水完全退出,进入陆相沉积时期。三叠纪以来盆地进入大型内陆拗陷发育阶段,由于受燕山运动的影响,西缘发生强烈逆冲,东部抬升,形成自东向西倾斜的箕状拗陷,中生代发育厚3 000~4 000 m的河流、湖泊相沉积。新生代盆地周边发生裂陷,形成若干地堑,呈现今地貌<sup>[7]</sup>。图1是现今盆地区域构造区划。现今盆地呈低角度平缓西倾,倾斜程度仅9 m/km,只有盆地东部边缘可达100 m/km。盆地南北方向近乎水平,向北有少量抬升,到伊盟隆起迅速抬升。盆地内各时代沉积均大致平行。

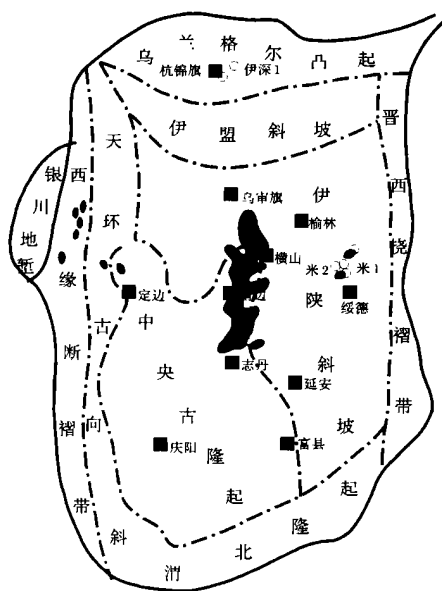


图1 鄂尔多斯盆地构造分区图

Fig 1 Planar structure division map of the Ordos Basin  
 ● 气藏 (田) (gas field); 含气构造 (gassy structure); ○ 气井 (gas well);  
 - - - 一级构造边界 (first-order boundary of structural zonation)

## 2 理想沉积盆地地下水动力场模式

含油气沉积盆地地下流体主要包括水、油和天然气<sup>[8]</sup>,从动力学角度来说,水动力作用是地下流体转移的主导因素,因此,地下水动力场的形成与演化对盆地中油气的运移、聚集起控制作用。

盆地地下水动力场的理想模式可以归纳为两种,即对称型和不对称型<sup>[6]</sup>。每种模式又可划分为泥岩压榨水离心流;大气水下渗向心流<sup>[2]</sup>; (层间)越流、越流-蒸发泄水<sup>[1]</sup>;滞留<sup>[2]</sup>4种类型的局部水动力单元。如鄂尔多斯盆地属典型的不对称型,具有盆地北部和东部上倾地区大气水下渗补给形成向心流,盆地西南部下倾区泥岩压实形成离心流和两者之间过渡带形成越流-蒸发排泄的总体特征。

## 3 鄂尔多斯盆地上古生界现今地下水动力场

### 3.1 现今地下水动力场的基本要素

在研究运移动力、运移通道、供水方式与供水区、泄水方式与泄水区的基础上,结合地下水化学场、地层流体压力场和天然气运移模式,可以较为准确地建立起现今地下水动力场模式。

鄂尔多斯盆地上古生界石炭系、二叠系山西组和下石盒子组天然气碎屑岩储层基本特征是一套低孔、低渗透致密型储层,其孔隙度平均值<7%,渗透率 $0.42 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ ,垂直渗透率 $0.02 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$ 。

从二叠纪开始,一直到早白垩世末,鄂尔多斯盆地的沉降、沉积中心位于靖边继承性隆起的两侧,并且东部的沉降、沉积速度比西部的大,埋藏深度大,储层的成岩强度相对较高。因此,由东向西储层的物性变差,孔隙度、渗透率和导水系数都降低。

由于以上这些特征,决定了鄂尔多斯盆地上古生界现今地下水动力场的基本特征。

### 3.2 运移动力与运移方向

通常流体流动方向由流体势的大小来判断,流体由相对高势区流向相对低势区,流动方向垂直于等势线(面)。流体势是指单位质量流体所具有的势能,取海平面为基准面,可表示为

$$\varphi = gz + \frac{P}{\rho}, \quad (1)$$

式中, $\varphi$ 为流体势( $\text{m}^2/\text{s}^2$ ); $Z$ 为深度相当于海拔的深度(m); $\rho$ 为流体在深度 $Z$ 处的密度( $\text{kg}/\text{m}^3$ ); $g$ 为重力加速度( $\text{m}/\text{s}^2$ ); $P$ 为深度 $Z$ 处的孔隙流体压力。

(N/m<sup>2</sup>).

式(1)第 1 项代表单位质量的流体相对于基准面(海平面)所具有的重力势能, 第 2 项代表单位体积的流体所具有的压力势能 公式两边除以  $g$  得

$$\frac{\varphi}{g} = Z + \frac{P}{\rho g}, \quad \frac{\varphi}{g} = h, \tag{2}$$

$h$  即为水头(此处  $\rho$  为水的密度).

3 2 1 天然气的运移方向

由公式 1 计算可得上古生界储层的气势平面分布(见图 2). 总体上地势由西向东降低, 因此, 天然气的运移方向也是由西向东

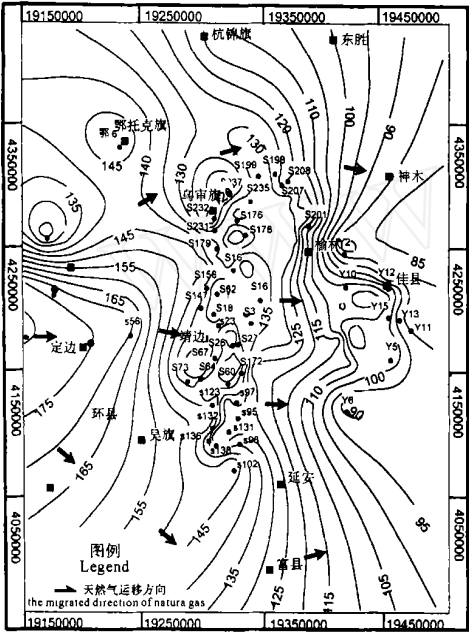


图 2 上古储层地势 ( $\times 10^3 \text{ m}^2/\text{s}^2$ ) 平面分布图

Fig. 2 The planar map of gas potential energy at the Up-Palaeozoic reservoir

从地势分布图中可以看出, 在中部气田区和榆林地区, 可以在较大范围内形成等势区, 这是天然气相对聚集区在气体渗流力学上的反映, 表明等势区东侧的天然气运移漏失速度等于等势区西侧的天然气运移补给速度

3 2 2 地下水的流动方向

地下水的流动方向可以通过计算地层水水头的方法来确定

由公式 2 计算可得上古生界储层的水头平面分布图(见图 3). 结合盆地的构造特征和钻探资料, 从图中可以看出, 盆地东部整体上水头由东向西降低, 地下水的运移方向也由东向西, 是一个主要的大气水下渗——向心流区, 水头降落最快, 其次在盆地的北部边缘, 从水头值看, 局部发育有大气水的下渗——向心流, 而在盆地的西南部则存在泥岩压榨水

离心流, 其方向由西南流往盆地中心

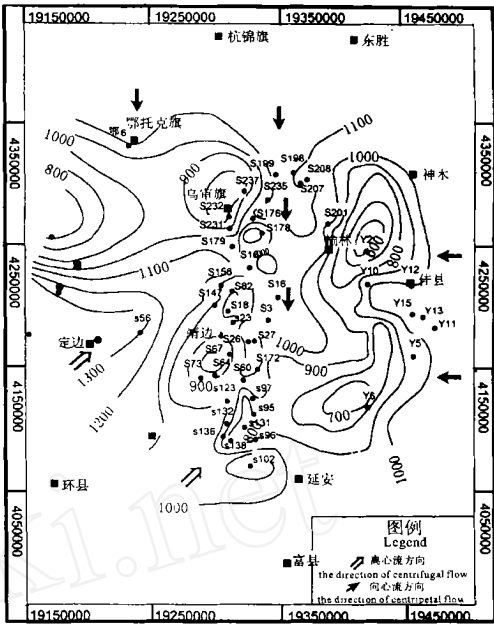


图 3 上古储层现今水头(海拔 m) 平面等值线图

Fig. 3 Planar isoline map of present head at the Up-Palaeozoic reservoir

但是, 从上古生界的储层物性、地形、现今水头的分布来看, 向心流的强度很弱, 盆地局部区块甚至处于滞留的状态

一方面, 下石盒子组致密砂岩的平均喉道半径最小, 仅为  $0.0628 \mu\text{m}$ , 山西组致密砂岩的喉道半径相对较粗, 达到了  $0.2485 \mu\text{m}$ , 石炭系致密砂岩的喉道半径为  $0.0731 \mu\text{m}$ , 因此, 在地层平缓、势能差较小的情况下, 地下水较难通过这些储层的喉道, 地下水的流动十分缓慢, 几乎处于停滞状态

另一方面, 由于天然气渗透性比地下水强, 而且, 由于储层导水性能(储层物性)的差异, 天然气的流动速度有较大的差异, 导致地层内部流体压力、能量降低的幅度也有较大的差异, 反映在水头上可以没有统一的区域地下水流动方向, 这也是反映地下水几乎处于滞留状态的重要证据

3 3 盆地上古生界现今地下水动力场

通过对地层水和天然气运移动力、运移方向和运移通道的研究, 结合地层水化学场的平面分布规律, 可以建立起鄂尔多斯盆地上古生界气田的现今地下水动力场模式(见图 4).

对于上古生界储层而言, 盆地东侧、北部的大气水通过重力作用下渗形成向心流, 并向西沿储层流动, 形成由东向西的区域性地下水动力场模式, 但是, 由于储层十分致密, 地层平缓, 地下水的流动十分缓慢, 甚至处于停滞状态, 导致地下水向下倾方向

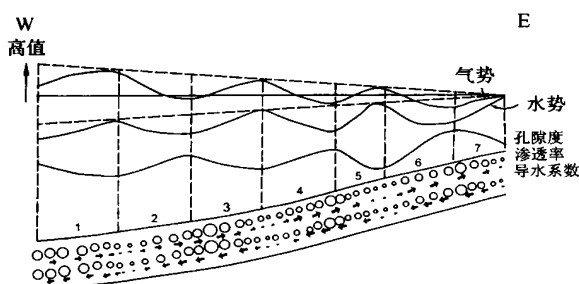


图 4 上古生界气田现今地下水动力场模式

Fig 4 Present model of hydrodynamic field in the Up-Palaeozoic reservoir in the gas field of Changqing

天然气运移方向: 地下水流动方向 箭头大小指示流动速度大小, 箭头越大流动速度也大. 储层内的圆点越大, 储层物性越好

的侵入距离有限. 因此, 现今地下水动力场的供水区位于盆地的东侧和北东侧, 而泄水区和泄水方式则比较特殊. 泄水方式是无直接泄水的流体替代, 即天然气由西向东运移, 漏失, 地层能量降低, 促使地下水在地形和重力作用下由东向西侵入, 替代天然气漏失的空间. 在该区, 由于天然气的运移, 漏失量大于天然气、地下水的运移补给量, 导致地层压力降低, 形成低压, 并且从区域地下水动力场的角度来看, 天然气在向东运移过程中, 由于天然气的运移, 漏失量与天然气、地下水的运移补给量之间的差值沿向东方向减小, 从而导致地层流体压力系数有由西向东增加的总体变化规律.

另外, 由于储层的致密性和不均匀性, 地下水动力场模式在如上所述的总体背景下, 出现有规律组合的局部水动力特征 (见图 4). 1、3、5、7 区相似, 2、4、6 区相似. 1、3、5、7 区由西向东渗透性降低, 储层变得更致密. 在这些局部水动力单元内部, 天然气由西向东的流动速度降低, 地下水的流动速度则由东向西增加, 但由于储层致密, 地下水的流动十分缓慢, 几乎处于滞留状态. 而 2、4、6 区的情况与 1、3、5、7 区正好相反. 这种区域性地下水动力场背景下局部水动力特征的存在是气田内部连通性复杂化的重要原因, 也为气田内部流体动力学特征的研究提供了重要的理论依据.

### 3.4 盆地上古生界现今地下水动力场与气水分布的关系

综上所述, 盆地上古生界现今地下水动力场的平面分布规律如图 5 所示. 很显然, 鄂尔多斯盆地上古生界储层地下水动力场具有很强的不对称性, 有盆地北部和东部上倾地区大气水下渗补给形成向心

流, 盆地西南部下倾区泥岩压实形成离心流, 而在前两者之间的过渡带则具有越流——蒸发排泄的总体特征. 因此, 整个盆地可以划分为 3 个局部水动力单元: (A) 大气水下渗——向心流区; (B) 天然气离心流与大气水下渗——向心流汇合形成的越流泄液区 (主要指天然气越流漏失); (C) 天然气离心流区 (地下水处于滞留状态). 各区的特征归纳在表 1 中.

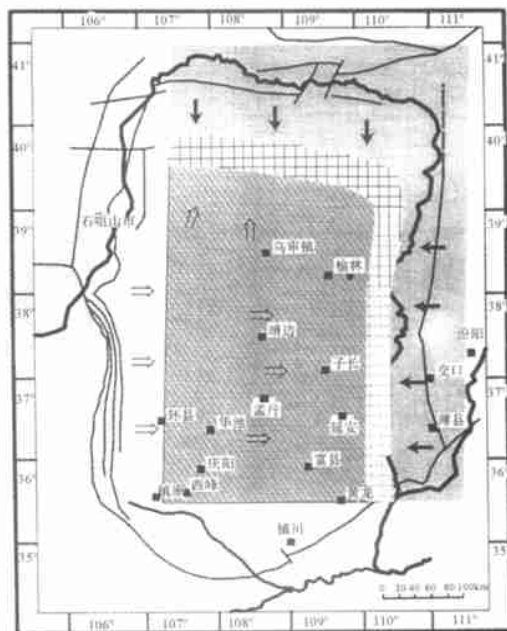


图 5 上古现今流体动力场平面分布图

Fig 5 The planar map of present fluid dynamical field at the Up-Palaeozoic reservoir

大气水下渗—向心流区: 越流泄液区: 离心流区;  
断层: 天然气运移方向: 向心流方向

勘探实践证明, 大气水下渗——向心流区为水区, 天然气离心流区为气区, 越流天然气漏失区则对应于气水共存过渡区.

## 4 鄂尔多斯盆地上古生界地下水动力场的形成与演化

区域大地构造背景决定了沉积盆地的发展与演化. 含油气沉积盆地地下水动力场的形成、演化是沉积盆地演化在孔隙流体中的综合反映, 它直接受盆地地貌、水文网、沉积环境、构造性质及其演化史的控制. 而现今地下水动力场与气水分布规律则是盆地地下水动力场形成、演化的结果.

### 4.1 水文网

鄂尔多斯盆地的水文网分布具有明显的继承性. 盆地的主要供水体系位于盆地北端, 大气水由北向南渗入、径流, 通过越流蒸发泄水, 总体上决定了

由北往南地下水矿化度、离子浓度增加 另外, 盆地边缘(如东部)的冲积体系也可导致大气水的局部下

表 1 鄂尔多斯盆地上古生界局部水动力单元特征

Table 1 Characters of local hydrodynamic units in the Upper Palaeozoic reservoir of the Ordos Basin

特 征		局部水动力单元类型		
		天然气离心流	大气水下渗向心流	越流天然气漏失区
能 量	大 小	能量较大, 有活力	能量较大或一般, 有一定活力	能量较大或一般, 有一定活力
	来 源	压力势能	重力势能	压力势能和重力势能
天然气	方 向	向上翘一侧运移	无	向浅部地表漏失
	气来源	下倾方向中的储层	无	下倾方向中的储层
水 流	方 向	滞留或十分缓慢地向下倾方向流动	向下倾方向流动	向下倾方向流动
	水来源	沉积水、成岩水	大气水	大气水
压力系数		< 0.96	1.02	0.96~1.02
气 势			盆地中心大于边缘	
水 势			盆地边缘大于中心	
气水分布		气	水	气水共存

4 2 水文地质旋回

水文地质旋回的周期性决定了油气和压实排出水运移、流动的阶段性和形成油气从生烃中心往边缘阶段式运移、阶梯式——环带状推进、分布的油气运移、聚集规律

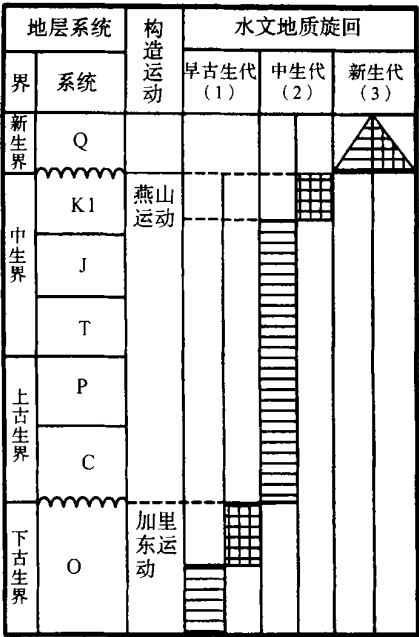


图 6 鄂尔多斯盆地古水文地质旋回划分

Fig. 6 The partition of the palaeohydrogeologic cycle in the Erdos Basin

▨ A 压实水阶段; ▨ B 大气水下渗阶段

在根据鄂尔多斯陆相含油气盆地水文地质旋回特点的基础上, 结合早古生代晚期的加里东运动、早

白垩世末的燕山运动和第三纪末期的喜山运动就可以确定鄂尔多斯盆地的主要水文地质旋回(见图 6)。对于上古生界地层而言, 主要经历了两个水文地质旋回, 其中每个旋回又可以划分为 A、B 两个阶段: (A) 沉积埋藏压实排水形成的压榨水离心流阶段; (B) 抬升剥蚀导致的大气水下渗向心流阶段

4 3 盆地上古生界地层的流体动力史

从晚古生代至早白垩世末, 盆地总体上保持了北高南低的沉积环境, 在靖边附近的南北向上继承性地发育了古隆起, 两侧则为盆地内部的两个沉降与沉积中心。南北向古隆起上形成了东西向的披覆鼻状构造, 同时又有同沉积鼻状构造的特征, 在东西向上是背斜, 南北向上是一个鼻状构造。在沉积、埋藏过程中地下流体分别从古隆起两侧的凹陷中心向古隆起方向运移、聚集, 形成了两个水动力体系的叠合越流泄水区 and 最佳的油气运移、聚集区

在晚古生代至早白垩世末的沉积埋藏过程中, 由于总体上是由北向南地形降低, 发育河流-三角洲-湖泊体系的沉积环境, 盆地北部的河流(冲积扇)-三角洲平原相处于水上环境, 地表水在重力作用下由北往南下渗形成向心流, 在沉积环境的过渡带上主要是指湖岸带附近, 沉积埋藏压实排出水形成的离心流与大气水下渗——向心流汇合, 形成越流泄水区, 油气在伴随离心流运移过程中, 由于与大气水下渗——向心流汇合, 流动速度降低, 且在地下流体越流过程中部分聚集成藏。由于以上两个方面的原因, 这一阶段是天然气运移、聚集成藏的主要时期, 圈闭类型为鼻状构造, 并且天然气在聚集过程中

部分向北在越流泄水过程中漏失

盆地模拟和自生矿物流体包裹体形成压力的测定分析都揭示了晚古生代——早白垩世期间, 地层流体的古压力值大, 普遍发育异常高压(图7(a),

(b)), 流体势也由盆地凹陷中心往边缘降低, 且在古隆起区形成相对低值区(图7(c)), 在形成反射状离心流的背景下, 靖边古隆起带成了离心流的相对集中指向区

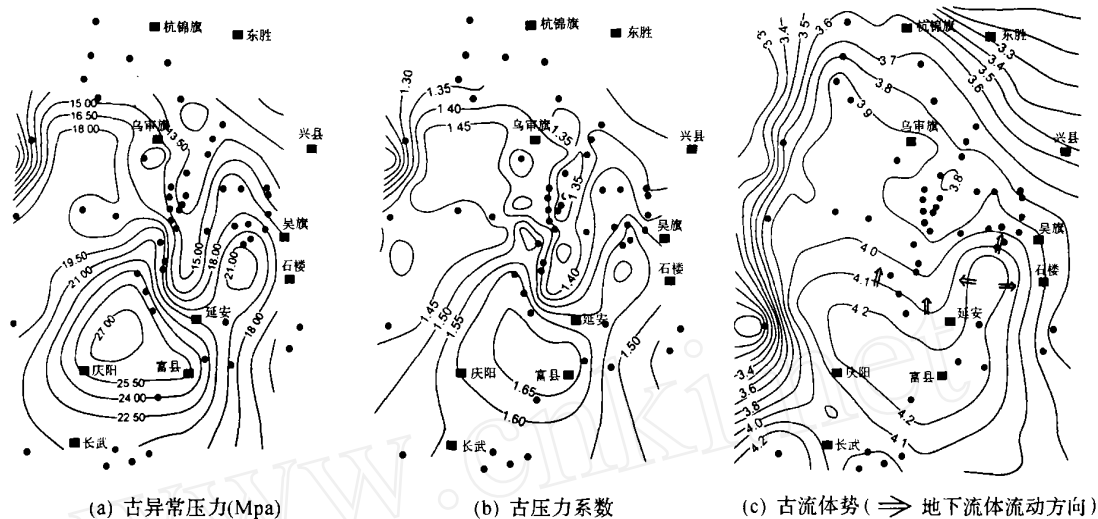


图7 石炭系最大埋深时异常压力与流体势平面分布图

Fig 7 The planar map of abnormal pressure and fluid potential at the time of deepest burying in carboniferous

早白垩世末的燕山运动使得盆地抬升剥蚀, 剥蚀作用东强西弱, 使得上古生界地层形成整体低角度西倾的地质背景。上古生界储层中的鼻状背斜被破坏。在上古生界储层低角度西倾的状态下, 天然气通过交错叠置、侧向连通的储集砂体, 向上翘的东侧、东北侧运移、漏失。但是, 由于储层十分致密, 天然气的运移、漏失速度十分缓慢。

随着天然气的不断漏失, 加之地下水向西流动补给的速度比天然气的运移、漏失速度小得多, 补给的范围也十分有限, 地层能量不断降低, 从而导致上古生界气田的压力系数降低, 普遍发育低压。同时, 又使得在只有良好上覆盖层而无良好侧封机制的情况下, 依靠储层的致密保存了整体漏失背景下的部分天然气聚集。

在这一阶段, 由于盆地处于抬升剥蚀期, 烃源岩的生烃作用基本停止, 通过压实作用的排烃也迅速减弱、消失, 地下水动力场处于大气水下渗——向心流阶段。

喜山期的沉积厚度相对较小, 平均厚度比燕山期的剥蚀厚度小。因此, 燕山运动之后, 上古生界的地下流体动力学特征没有发生根本性的变化, 一直处于燕山运动时期的特征。这一演化的结果就是现今的地下水动力场。

## 5 总 结

(1) 地下流体的运移方向可以通过计算流体势的方法来确定, 对地下水的流动则一般用地层水头来表示。鄂尔多斯盆地上古生界储层水头有由东向西降低的趋势, 地下水的运移方向也由东向西。气势总体上由西向东降低, 天然气的运移方向也由西向东。

(2) 通过对地层水和天然气运移动力、运移方向和运移通道的研究, 建立了鄂尔多斯盆地上古生界气田的现今地下水动力场模式。由于储层的不均一性和气水渗透性的差异, 盆地中存在有规律组合的局部水动力, 从而使得气田内部连通性复杂化。

(3) 在鄂尔多斯陆相含油气盆地水文地质旋回特点的基础上, 结合早古生代晚期的加里东运动、早白垩世末的燕山运动和第三纪末期的喜山运动, 将鄂尔多斯盆地沉积划分为两个水文地质旋回。

(4) 燕山运动之后, 上古生界储层的地下流体动力学特征没有发生根本性的变化, 这一演化的结果直接导致盆地现今地下水动力场的形成。

## 参考文献

[1] TOOTH J. Gravity induced cross-formation flow of for-

- mation fluids, Red Earth Region, Alberta, Canada, analysis patterns and evolution [J]. **Water Resources Research**, 1987, 14(5): 805- 843
- [2] 杨绪允. 论含油气盆地地下水动力环境[J]. **石油学报**, 1989, 10(4): 27- 34
- YANG Xu-chong. On the underground hydrodynamic environment in an oil and gas basin [J]. **Acta Petroleologica Sinica**, 1989, 10(4): 27- 34
- [3] 刘方槐, 颜婉荪. 油气田水文地质学原理[M]. 北京: 石油工业出版社, 1991.
- LIU Fang-huai, YAN Wan-sun. **Principle of Hydrogeology in Oil and Gas Fields** [M]. Beijing: The Petroleum Industry Press, 1991.
- [4] 地质矿产部水文地质工程地质研究所. 油田古水文地质与水文地球化学——以冀中坳陷为例[M]. 北京: 科学出版社, 1987. 1- 162, 184- 188
- Institute of Hydrogeology and Engineering Geology. **Paleohydrogeology and Hydrogeochemistry for Oil Fields A Case Study of the Jizhong Depression** [M]. Beijing: Science Press, 1987. 1- 162, 184- 188
- [5] 楼章华, 蔡希源, 高瑞祺. 松辽盆地流体历史与油气藏形成分析[M]. 贵阳: 贵州科技出版社, 1998
- LOU Zhang-hua, CAI Xi-yuan, GAO Rui-qi. **Analysis of Fluid History and the Formation of Oil and Gas Pools in the Songliao Basin** [M]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Press, 1998
- [6] 楼章华, 金爱民, 朱蓉, 等. 论松辽盆地地下水动力场的形成与演化[J]. **地质学报**, 2001, 75(1): 111- 120
- LOU Zhang-hua, JIN Ai-min, ZHU Rong, et al. Formation and evolution of the hydrodynamic field in the Songliao Basin [J]. **Acta Geologica Sinica**, 2001, 75(1): 111- 120
- [7] 戴金星, 裴锡古, 戚厚发. 中国天然气地质学(卷2) [M]. 北京: 石油工业出版社, 1996
- DAI Jin-xing, PEI Xi-gu, QI Hou-fa. **Nature Gas Geology in China (Vol 2)** [M]. Beijing: The Petroleum Industry Press 1996
- [8] 李明诚, 李剑, 万玉金, 等. 沉积盆地中的流体[J]. **石油学报**, 2001, 22(4): 13- 17.
- LI Ming-cheng, LI Jian, WAN Yu-jin, et al. Fluids in the sedimentary basin [J]. **Acta Petroleologica Sinica**, 2001, 22(4): 13- 17.
- [9] 楼章华, 金爱民, 唐忠华, 等. 气候、构造演化在大龙沟仓房沟群沉积环境演化过程中的响应[J]. **浙江大学学报(理学版)**, 2002, 29(4): 464- 469.
- LOU Zhang-hua, JIN Ai-min, TANG Zhong-hua, et al. Response of the evolution of sedimentary environments to climate and tectonic evolution in Dolonggou area Junggar Basin, Xinjiang Province [J]. **J of Zhejiang University (Science Edition)**, 2002, 29(4): 464 - 469.

(责任编辑 寿彩丽)