

鄂尔多斯盆地中部上古生界古流体动力分析^①

王震亮 陈荷立

(西北大学地质系 陕西西安 710069)

摘要 应用盆地数值模拟技术,恢复了目的层在不同地质历史时期流体(气)动力分布。研究发现,鄂尔多斯盆地中部上古生界自油气生成之后的古流体动力可以划分为三个演化阶段,即三叠~侏罗纪、早白垩世与晚白垩世至今,这恰与同期的构造演化特征相吻合。此外还发现,流体动力的分布受沉积条件制约,且压实流对流体动力的贡献大于重力流。

关键词 古流体动力 流体势 流体压力 上古生界 鄂尔多斯盆地

第一作者简介 王震亮 男 31岁 博士 讲师 油气地质与勘探

开展沉积盆地内的古流体(水、油、气)动力研究,有助于了解在油气生成、运移、聚集成藏乃至破坏过程中流体动力的分布演化规律及对油气的作用,因而成为盆地分析和油气勘探中具有重大意义的内容,目前已成为越来越多的人所重视。本文研究范围位于鄂尔多斯盆地中部,即乌审旗—靖边—绥德—神木所包围地区,面积约4万平方公里,构造上分属伊陕斜坡与中央古隆起东北部,区内地层形态单一,构造不发育。主要采用盆地数值模拟手段,在大量、细致的参数求取基础上,准确恢复了目的层——上古生界中上石炭统、下二叠统山西组和下石盒子组的古流体动力分布,研究了古流体动力的演化历史与发育特征。

1 古流体动力演化史

80年代以来,国内外越来越多的人在研究盆地内流体(油、气、水)活动时采用了流体势的概念^[1,2],主要原因有二:一是通过长期讨论,人们逐渐认识了它的丰富内涵,即组成流体势的各项分别代表了单位质量流体所具有的位置势能、压力势能和动能^[3](后者通常因太小而被忽略),所以用流体势表达盆地中流体动力条件,既适用于盆地内以压实流为主的情况(此时压力势能对流体势的贡献相对较大),也适用于以重力流为主的情况(此时位置势能对流体势的贡献相对较大),以及压实流与重力流共存的情况,可用于描述盆地不同演化阶段的流

体动力和状况;二是伴随盆地数值模拟技术的兴起,恢复古流体动力(古流体势)逐渐成为可能。古流体势恢复中的关键参数是地层高程、流体压力及地下流体密度等^[4],其中地层古高程可经一定的基准面(如水成沉积环境的水面)由地层古埋深换算得出,而地层古埋深和古流体压力可分别由盆地模拟中的地层埋藏史和流体压力孕育史模型加以恢复,地下流体密度的变化取决于压力和温度等因素的变化,通过查阅有关诺模图^[5]可将地表测得的相对密度(尤其是油、气)转化为地下密度,从而求得它在地下的变化。

根据5条剖面上对埋藏史和流体压力孕育史的二维数值模拟结果,并考虑天然气密度在地下的变化,编制了目的层—中上石炭统和下二叠统山西组、下石盒子组气势平面分布图(以气头表示,单位为米)。由于中三叠世以前石炭—二叠系煤系有机质尚未进入成熟门限,相应的油气运移活动还未进行,因此我们主要研究中三叠世以后的古流体(气)动力演化史。这里重点选取晚三叠世、中侏罗世、早白垩世及现今四个时期的气势分布说明古流体(气)动力平面展布与演化历史。

研究表明,中上石炭统、山西组和下石盒子组三套地层内气势的分布及随时间的演化具有一定的相似性(图1)。中上石炭统在晚三叠世的气势表现为东南部和西北部两个高势区,东部高势区的中心约在佳县—绥德—清涧一带,而从位于两个高势区之

① 本课题来源于“八五”国家重点科技攻关项目(85-102-04-02-03)

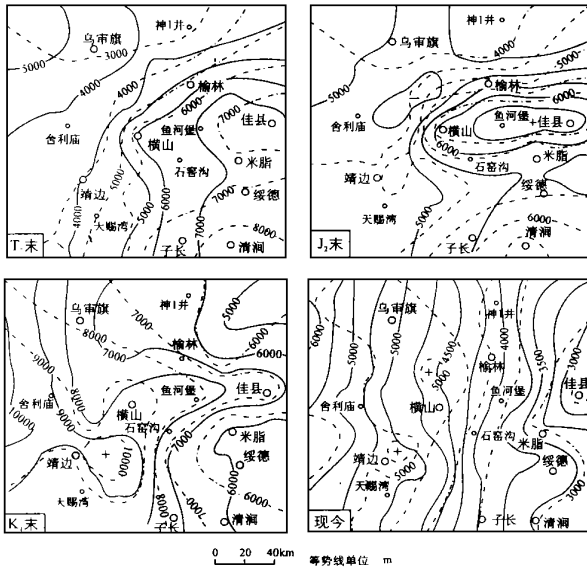


图1 不同时期中上石炭统、下石盒子组的气势分布图
(实线:中上石炭统;点虚线:下石盒子组)

Fig. 1 Distribution map of potential of natural gas in middle and upper Carboniferous series (C₂₋₃) and Lower Shihezi Fm. (P_{1x}) during different geologic periods (solid line—middle and upper Carboniferous series, dot and dash line—low er Shihezi Fm.)

间的神1井附近向研究区西南方向表现为—相对低势区,靖边一带气势最低,从而形成了西北、东南为高势区,中间夹持东北—西南低势区的分布总格局;早、中侏罗世时气势的分布格局变化不大,只是东南高势区的中心转移到了北部鱼河堡—佳县—米脂—绥德间及其东西一带;西北高势区在此期间基本没有变化,唯其范围有呈逐渐缩小之势;早白垩世时气势分布格局有较大变化,气势分布的总趋势为自西向东逐渐降低,中部存在一个横贯东西的高势区使上述趋势复杂化,该高势区等值线自靖边向东北凸出,至佳县处呈—鼻状,从而将全区分割成东北、东南和西南三个低势区和西北、中部两个高势区,这一分布与前、后各时期相比,具有鲜明特色;晚白垩世后气势自西向东降低,仅在靖边—天赐湾一带存在—相对高势区,第三纪后该高势区逐渐消失,气势的相对分布基本保持了自西向东逐渐降低的总面貌。

山西组气势的分布格局与中、上石炭统极为相似。它基本上也是从三叠—侏罗纪的西北、东南高、

东北—西南低,演变为早白垩世的西北、中部高,东北、东南、西南低及晚白垩世至今的自西向东总体降低(因山西组气势分布等值线与中上石炭统重合程度较高,图1中略)。

下石盒子组气势分布则与其下地层略有不同。其在三叠—侏罗纪时基本表现为东南高西北低,西北地区没有出现下部地层中见到的高势区;早白垩世时与其下地层基本相同;晚白垩世至今,下石盒子组气势分布的不同在于:①晚白垩世—第三纪时研究区东部虽仍保持自西向东气势逐渐降低格局,但西部大体自横山以北至靖边及其西南—米脂—绥德—清涧一带气势最高,尤以靖边以东地区为甚;②研究区西部直至第四纪时才开始形成与东部统一的自西向东逐渐降低的总趋势。

根据上述气势分布特征,可将三叠纪以后的流体动力发育史分为三个阶段,即三叠—侏罗纪、早白垩世、晚白垩世至今。同一阶段内不同时期的古流体动力分布保持较大相似性,而不同阶段之间的古流体动力分布则存在较大变化。

2 古流体动力发育特征

2.1 古流体动力发育史明显与构造演化阶段有关

不同构造演化阶段表现为不同的构造作用,而构造作用是打破地下水趋于平衡的主要因素之一。若含水层在不同演化阶段表现出构造形态的改变,将引起地层中任意二点间压力和高程的变化,从而引起流体能量分布的调整,以与新的构造格局相适应。据研究^[6],晚三叠世以前鄂尔多斯盆地在构造上为大型华北内陆盆地的西半部分,古地貌为西高东低,至晚三叠世末,华北隆起逐渐抬升,大华北盆地开始收缩,鄂尔多斯盆地逐步随东部的抬升形成,沉积厚度东部大于西部,因而高势区在研究区东部较为发育;至晚侏罗世末,华北隆起已扩展至山西地块,使目前的鄂尔多斯地区形成了一个独立的侏罗纪盆地。总的来看,研究区在三叠纪—侏罗纪期间的构造演化并不具明显的阶段性,基本上呈连续性发展,因此三叠—侏罗纪内各时期的流体动力分布具有一定相似性和继承性。而在侏罗纪后,中期燕山运动(早白垩世)在盆地内表现极为强烈,盆地西缘断裂褶皱活动十分活跃,形成强烈逆冲带,东侧晋西地区亦同样发生此类活动,形成隆起。盆地东、西两侧地层的抬升,使这一时期构造格局发生较大改变,从而引起流体动力条件的相应调整。早白垩世

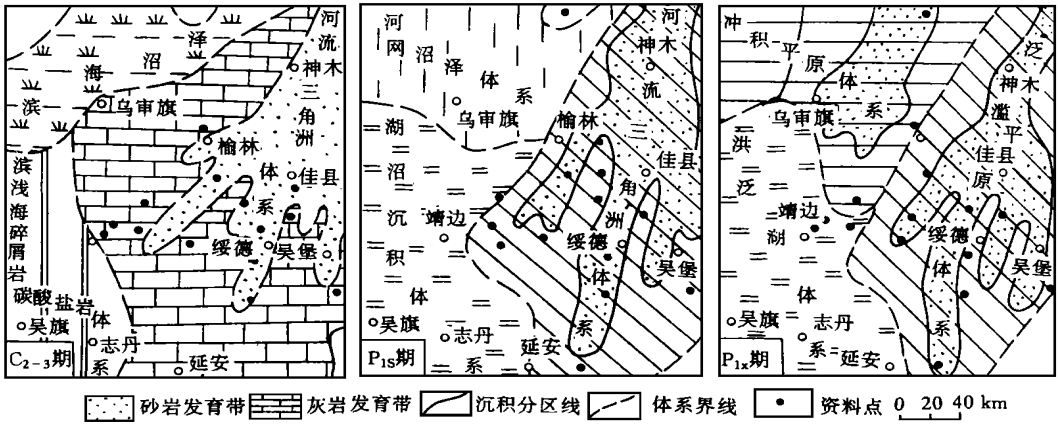


图 2 中晚石炭世、早二叠世山西期和下石盒子期沉积体系分布图(据长庆石油勘探局, 1990)

Fig. 2 The distribution of depositional system in middleand late Carboniferous epoch and in Shanxi and lower Shihezhi age of Permian epoch(form Changqing Bureau of Petroleum Exploration, CNPC, 1990)

的势分布特征既不同于前一时期, 也有别于后一阶段, 正是受构造演化影响的结果; 燕山运动晚期(晚白垩世以后)整个盆地东部抬升, 构造面貌变成自东向西倾斜的箕状拗陷, 地层倾角不足 1°, 平缓的大单斜使东部的白垩系甚至包括部分侏罗系、三叠系地层遭受严重剥蚀, 部分地层在盆地东部边缘甚至出露地表, 标志着又一个流体动力演化阶段的开始。从势分布可见, 由晚白垩世到现今, 流体动力逐渐与现今构造、地貌相吻合, 呈现出自西向东降低总格局。

以上情况说明, 在沉积盆地这样一个巨大的反应器中, 每一构造演化阶段都会带来沉积物中的一些变化, 古流体动力的发育历史正是这些变化之一, 它的演化发生于盆地的宏观背景之上, 因而与构造演化阶段密切相关。

2.2 流体压力的分布受沉积条件的制约

这里以晚三叠世时期流体动力的分布为例加以说明。如前所述, 晚三叠世在中上石炭统和山西组内具有西北、东南两个高势区, 而下石盒子组仅在研究区东南存在一明显高势区, 不再发育西北部的高势区。根据三套地层的模拟结果, 晚三叠世各地区间的沉积厚度、沉积速度都有很大不同, 东北部沉积较薄, 其余地区较厚。沉积速率差别更为明显, 在神木地区(神 1 井处)仅有 52.5 m/Ma, 但东南地区(铺 1 井处), 晚三叠世的沉积速率却高达 150 m/Ma。这些因素促成了高异常压力自晚三叠世开始形成, 并且东南部比其它地区更易出现异常高压, 从而

发育高势区。又据中晚石炭世、早二叠世山西期和下石盒子期的沉积体系分布^①(图 2)可知, 在这些高势区范围内, 一般较为缺乏砂岩体的发育, 沉积厚度较大。在下石盒子期, 研究区西北部高势区的消失应与此处发育的砂岩体有关, 因为较高沉积速率、较大沉积厚度且缺乏良好渗透层等条件是异常流体压力得以形成的物质基础^{[7][8]}。

2.3 流体动力中以压实流的作用较为显著, 而重力流则影响程度有限

古、今气势的大小明显与沉积物的厚度(沉积速度)以及异常流体压力的孕育条件有关。图 3 为沿横山-佳县方向(自西向东)现今中上石炭统所处海拔高度与气势大小分布间的对应关系图。该图表明, 石炭系地层海拔向东逐渐抬高, 但气势呈现逐渐减小之势, 说明这里对势大小起决定作用的并不是某点的高程, 而是该处的流体压力。因为, 如果地下

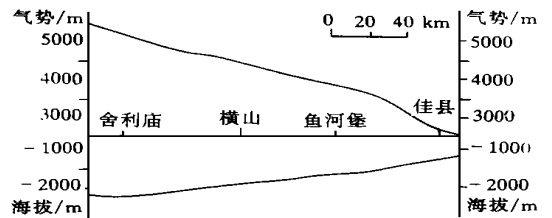


图 3 沿横山-佳县剖面上中上石炭统气势与海拔高度关系图

Fig. 3 The relationship between gas potential and elevation in middle and upper Carboniferous series along the profile

① 杨俊杰等, 鄂尔多斯地区天然气富集条件, 内部资料, 1990. 6

水流的流体动力特征以重力流为主,则地层海拔高处的气势也必定高,二者应呈现正相关关系,反之亦然。上述情况说明本地区古流体动力的发展主要受控于沉积水流(或称压实水流),而重力流的影响则有限。

此外,地层水化学分析资料也从另一方面证实了上述认识。根据二叠系地层水化学性质平面分布^①可知,盆地范围内仅在东、西边缘有少量资料的水型为 NaHCO_3 和 Na_2SO_4 型,盆地内部均为 CaCl_2 型水,并且在研究区范围内的地层水矿化度均大于 10 g/l ,向盆地内部方向,矿化度逐渐增加。这说明,大气水与沉积水的剧烈交替作用仅局限于盆地边缘,而在盆地内则基本保持大气水交替缓慢和困难的环境。中、新生界地层中压实流较发育这已为人们所公认,而对较老的地层,长期以来人们一直认为主要表现为重力流的活动。我们的研究表明,尽管地层为较老的上古生界,并且自早白垩世末发生抬升之后,研究区范围内沉积物处于欠补偿状态,但盆地内部地下水流(气)动力仍主要表现为压实流特征,仅在盆地边缘发育一定的重力流作用。

3 结论

(1)三叠纪以来的古流体动力演化可以分为三个阶段,即三叠-侏罗纪,早白垩世及晚白垩世至今,石炭系与山西组的流体动力分布大体相似,而下石盒子组则与之有较大差别。

(2)古流体动力的上述发育历史与同期鄂尔多斯地区的构造演化阶段密切相关。

(3)流体动力(流体压力)的分布明显受沉积条件的制约,高势区大都分布在沉积速度快、沉积厚度大及缺乏砂岩体等良好渗透层的地区。

(4)流体动力中以压实流的作用为主,而重力流则影响程度有限,这从现今流体动力与地层海拔对应关系,地层水化学性质分布上都得以证实。

本课题研究过程中得到长庆石油勘探局的帮助与西 北大学赵重远教授的指导,特此致谢。

参 考 文 献

- 1 陈荷立. 油气运移研究有效途径. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 123~131
- 2 陶一川. 油气运移聚集的流体动力学机理问题. 石油与天然气地质, 1983, 4(3): 254~267
- 3 Hubbert M K. Entrapment of Petroleum under Hydrodynamic Conditions. AAPG Bulletin, 1953, 37(8): 1954~2026
- 4 王震亮, 罗晓容, 陈荷立. 沉积盆地地下古流体动力场恢复. 西北大学学报(自然科学版), 1997, 27(2): 155~159
- 5 Schowalter T T. Mechanics of Secondary Hydrocarbon Migration and Entrapment. AAPG Bulletin, 1979, 63(5): 723~760
- 6 赵重远. 鄂尔多斯盆地的演化历史、形成机制和含油气有利地区. 见: 赵重远, 刘池洋等编. 华北克拉通沉积盆地形成与演化及油气赋存. 西安: 西北大学出版社, 1990. 93~102
- 7 真柄钦次. 压实与流体运移. 陈荷立, 邸世祥, 汤锡元译. 北京: 石油工业出版社, 1981. 35~54
- 8 李明诚. 石油与天然气运移(第二版). 北京: 石油工业出版社, 1994. 44~51

A Palaeohydrodynamic Analysis of Upper Palaeozoic Group in Middle Ordos Basin

Wang Zhenliang Chen Heli

(Department of Geology, Northwest University, Xi'an 710069)

Abstract

The palaeo-hydrodynamics during different geologic periods around middle giant gas field in Ordos Basin are restored use of Basin modeling and other technique. According to the distribution of fluid (gas) potential, it is discovered that the palaeo-hydrodynamic evolution history of Upper Palaeozoic Group since Triassic period (in which source rocks were matured) could be divided into three major stages, i. e. Triassic-Jurassic period, early Cretaceous epoch and late Cretaceous epoch up to now. On the basis of synthetic analysis, the follow three

(Continued on page 123)

① 陈安宁等, 鄂尔多斯地区上古生界天然气富集条件及资源评价, 内部资料, 1989. 12