

## 改造型盆地流体动力学的发育特点\*

王震亮

(西北大学地质学系, 陕西西安 710069)

摘要: 流体本身的运移性与含油气盆地后期的改造作用, 导致了油气流体在地质历史上可具有多期运移、聚集、成藏和破坏的过程。在对准噶尔、鄂尔多斯等盆地进行流体动力学研究的基础上, 总结出改造型盆地流体动力学的三个主要的发育特点: 平面上流体动力场往往被分隔成若干个相对独立的流体动力体系; 地质历史上流体动力的分布与演化具有阶段性; 空间上, 不同地层的流体动力分布格局并不完全重合。

关键词: 改造型; 特点; 流体动力学; 油气运移; 油气聚集; 盆地

作者简介: 王震亮, 男, 33岁, 副教授(博士), 油、气地质

中图分类号: TE121.1 文献标识码: A

流体地质学已成为新一代地质知识体系框架的7个重要支柱之一<sup>[1]</sup>。组成地质流体的4个部分——地下水、石油、天然气与成矿溶液, 在油气勘探中几乎都已涉及到。油、气不同于固体矿产的最大特点是具有显著的运移性, 加之盆地往往具有一定程度的后期改造作用(如构造运动、剥蚀、深埋、热事件), 油气流体在地质历史上具多期运移、聚集、成藏及破坏过程。

## 1 流体动力学的表述

在传统的石油地质学理论中, 油气的运移活动是一种十分简单的、连通管式的承压水运动<sup>[2]</sup>, 后演变为由高压(地层压力、流体压力)区向低压区的运动。80年代以来, 特别是经过油气运移界那场究竟是“压力”还是“势”在促使油气运移活动的大讨论之后<sup>[3~5]</sup>, 人们逐渐认识到流体势的概念能更好地反映地下流体的动力条件, 并能解释油气运聚的过程, 因为它实际上是流体流动过程中能量守恒和转换定律(伯诺里方程)的另一种形式。当地层中有游离烃相存在时, 经过修正后的流体势公式为<sup>[6]</sup>。

$$\Phi = gz + \int_0^p \frac{dp}{\rho} + \int_p^{p+p_c} \frac{dp}{\rho} \quad (1)$$

式中  $\Phi$  为单位质量流体的势;  $g$  为重力加速度;  $z$  为计算点相对于某一基准面的高程;  $p$  为流体压

力;  $\rho$  为流体密度;  $p_c$  为油气运移时所受毛细管力。可见, 此时的流体势巧妙地包括了油气运移时所受的3个主要力: 即水动力、浮力和毛细管力<sup>[6]</sup>, 可以全面反映流体在地下的能量分布状况。

## 2 盆地改造与流体动力学特点

很多盆地由于后期的改造作用(如后期构造变动、深埋作用等)强烈, 常表现为构造发展和沉积作用的多旋回性、多分隔性等特征, 在盆地这一巨大反应器(reactor)中, 流体动力学作为沉积物组成的一部分, 不可避免地会带有盆地演化的某种痕迹。

## 2.1 平面的分隔性

沿着高势区的中心线(也有人称之为“分隔槽”), 可将一个盆地或地区划分为若干流体动力体系<sup>[7]</sup>。这些分割槽就像地形上的分水岭分隔着不同流域的水系一样, 形成了相对独立的流体动力体系。对于油气而言, 这一体系可演变为油气运聚与成藏系统。这样, 流体在其动力场中的运动将受到限制, 而不是以前认为的那种“四面开花”式的运移。流体动力学的研究本身不是目的, 人们更关心的是流体特别是油气经过运移之后的“归宿”, 从聚集与成藏意义上考虑, 应属那些沿有效运移通道并最终进入圈闭的主体运移方向最有价值。

通过开展准噶尔盆地腹部的流体动力学研究\*, 最终可以建立不同层位在地质历史时期的天

\* 国家重点科技攻关项目“中国大中型气田勘探开发研究”(96-110)和中国石油天然气总公司“九五”重点科技攻关项目“大中型油气田成藏定量模式研究”(96-007)联合资助

收稿日期: 1999-09-06

\* 王震亮, 朱玉双, 陈荷立, 等. 准噶尔盆地腹部及南缘侏罗系天然气运移成藏机制研究(国家“九五”重点科技攻关项目 96-110-05-03-03 成果报告). 西北大学, 1998

然气运聚系统。准噶尔盆地腹部一般泛指盆地中央地区<sup>[8]</sup>,面积 $3.15 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,构造上属陆梁隆起区和中央坳陷区,侏罗系是目前的重点勘探层段之一。图1展示了不同地质时期中侏罗统内天然气的运移方向与运聚系统分布情况。由图可以看出,不同时期的运聚系统分界线整体上呈现出一定的继承性,特别是系统I, II分别与系统II, IV间的分界线更是具有非常高的吻合度,由此也带来天然气向某一方向运移的长期性。以中侏罗统为例,侏罗纪末天然气主要由昌吉与艾参1井处的两个高势区向其间所夹持的低势区运移,这一低势区包括小拐、沙门子、莫索湾、石西、三个泉及彩参2井所在地区;而早白垩世末天然气主要向盆地西北缘、陆梁地区、阜康东北、石河子-呼图壁方向运移,另外莫索湾地区因位于两高势区之间而可接受来自东、西两个高势区的气;晚白垩世-始新世的天然气运移方向继承了早白垩世末的特征;上新世末,天然气由乌苏-石河子间的高势区向西北缘、陆梁、莫索湾、呼图壁等地区运移;现今的天然气则由沙湾和昌吉-阜康两个高势区主要向盆地西北缘、莫北、滴

## 2.2 演化的阶段性

前后两个地质时期之间的流体动力分布可带有一定继承性,但也可可是非继承性的甚至是剧变的。

### 2.2.1 鄂尔多斯盆地中部上古生界的流体动力演化

鄂尔多斯盆地中部系指盆地内乌审旗-靖边-绥德-神木所围地区,面积约 $4 \times 10^4 \text{ km}^2$ ,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,主要为向西倾斜的缓坡,构造不发育。国家“八五”天然气科技攻关期间,作者曾根据5条剖面的二维数值模拟结果,编制了中上石炭统(本溪组-太原组)和下二叠统山西组、下石盒子组在不同时期的气势平面分布图。研究表明<sup>[9]</sup>,3套地层内的气势分布及其演化具有一定程度的相似性(图2)。自三叠纪以来的气势分布可以划分为3个演化阶段,即三叠纪-侏罗纪、早白垩世和晚白垩世至今。不同流体动力演化阶段之间的古气势分布存在明显变化,三叠纪-侏罗纪,三套地层的气势高势区位于研究区的东南部(佳县-绥德地区);早白垩世的气势高势区向西南方向迁移,使得靖边-横山-佳县一带发育一个走向NE-NEE方向的横贯研究区中央的高势区;而从晚白垩世以后,气势整体上呈自西向东降低趋势,仅存个别鼻状分布的等势线凸出。在同一演化阶段的不同时期间的气势分布保持了较大的相似性,如在三叠纪末与早、晚侏罗世末等时期,三套地层的气势高势区均位于研究区东南部的佳县-绥德地区,而研究区的中西部(靖边-舍利庙-乌审旗)一带则主要分布着低势区,气势分布的相似程度较高。

研究还发现,古流体动力发育史明显与构造演化阶段有关。构造作用是打破地下水趋于平衡的重要因素之一,若含水层中在不同演化阶段表现为构造形态的改变,必将引起地层中任意二点间流体能量分布的变化,以与新的构造格局相适应,故多期次的构造作用对流体动力学的影响往往具有某种周期性和阶段性,呈幕状出现。就鄂尔多斯盆地而言<sup>[10]</sup>,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,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;三叠纪-侏罗纪期间的构造演化并不具明显的阶段性,基本上呈继承性发展,流体动力分布具有一定相似性和继承性;侏罗纪以后,中

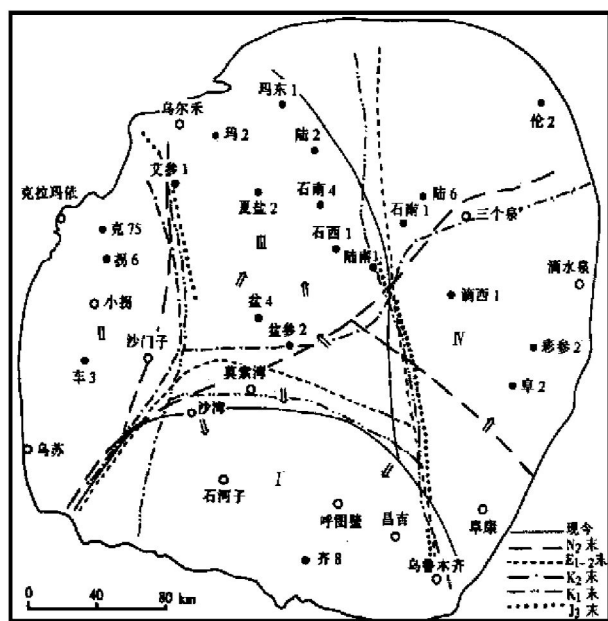


图1 准噶尔盆地中侏罗统天然气不同时期的运移方向与运聚系统分布图

Fig. 1 Migration directions of Middle Jurassic gas during different periods in Junggar Basin

I—石河子-昌吉运聚系统; II—沙门子运聚系统;

III—盆4井-石南4井运聚系统; IV—阜康-滴西1井运聚系统

西1井-阜4井、齐古以及莫索湾地区运移。最近,莫北地区的天然气新发现已经初步揭示了该地区长期作为盆4井-石南4井运聚系统中的一部分,因长期运移而促使其天然气富集的特点。

期燕山运动(早白垩世)在盆地内表现极为强烈,盆地东、西边缘断裂褶皱活动十分活跃,使得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。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缓斜的箕状

拗陷,盆地东部的白垩系甚至部分侏罗系、三叠系地层遭受严重剥蚀,甚至直接出露地表,标志着又一个流体动力演化阶段的开始,由晚白垩世到现今,流体动力场逐渐与现今构造地貌相吻合,呈现出自西向东降低的总格局。

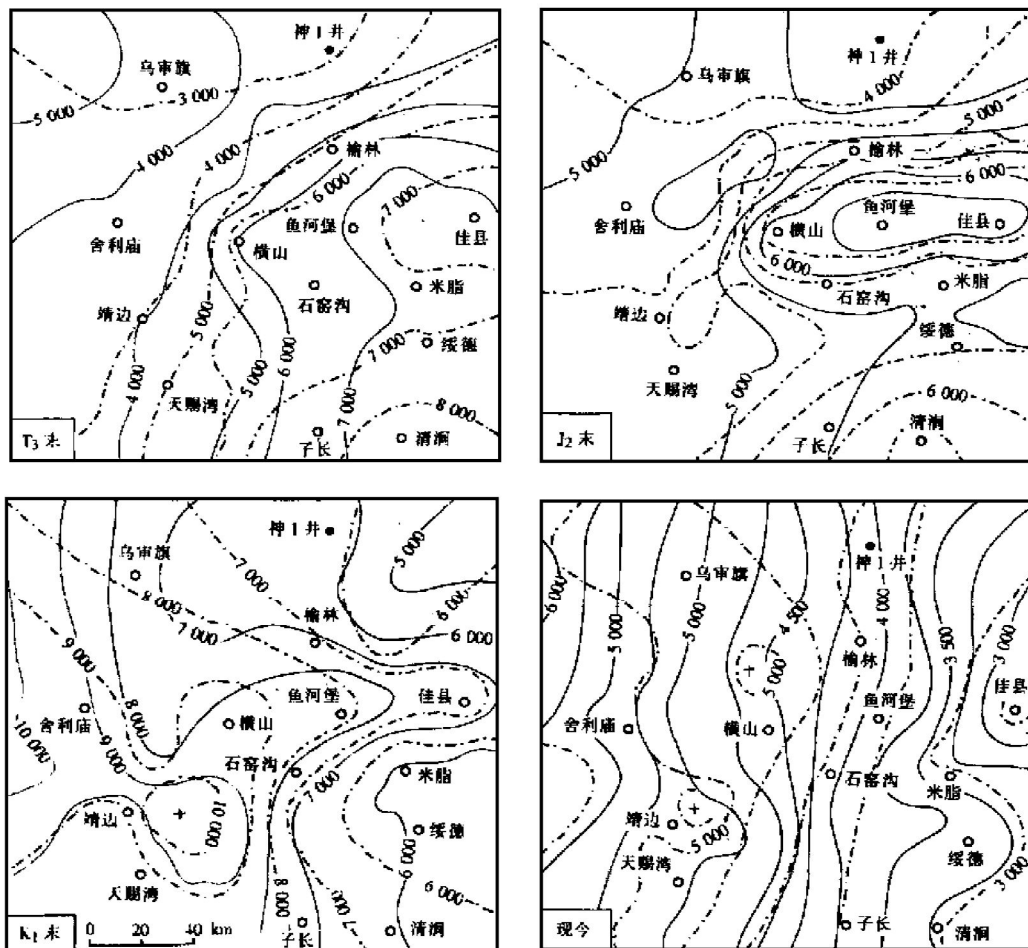


图 2 鄂尔多斯盆地中部古生界气势分布与演化图(等势线/m)

Fig. 2 Distributions and evolution of Palaeozoic gas potential in Central Ordos Basin

实线—中上石炭统;点虚线—下石盒子组

### 2.2.2 准噶尔盆地西北缘单井的过剩压力发育史

从盆地西北缘百 65 井的过剩压力孕育史图<sup>\*</sup>(图 3)来看,压力孕育史曲线形态与埋藏史图极为相似。对比发现,当地层作用以沉积作用为主时,地层被持续埋藏,反映异常地层压力幅度大小的过剩压力将会逐渐增加,特别当发生快速沉积作用,上覆沉积物厚度快速增加时,压力增加的速度更快。相反,伴随着构造运动的加强,地层若被抬升,甚至遭受剥蚀,则过剩压力将会逐渐减小。盆地西

北缘的多次构造运动,造成过剩压力随时间的演变历史(表现为多个增-减-增的序列)。据此,可将二叠纪以来的流体动力发育历史划分为若干个水力旋回,分别为:旋回 I,二叠纪至三叠纪;旋回 II,侏罗纪;旋回 III,白垩纪—渐新世;旋回 IV,中新世至今。

### 2.3 分布格局的不重合性

由图 2 可见,鄂尔多斯盆地中部中上石炭统与下二叠统山西组的气势分布及演化特征相似,但与同属下二叠统的下石盒子组却有一定差别,主要表现为:(1)在三叠-侏罗纪时下石盒子组气势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;(2)晚白垩世至今,下石盒子组气势分布在第三纪以前虽也呈现自西向东气势逐渐降

\* 王震亮,朱玉双,耿鹏,等.准噶尔盆地西北缘古水动力场与油气运移研究(中国石油天然气集团公司“九五”重点科技攻关项目 96-007-01-03 子课题).西北大学,1999

低的趋势,但西部自横山以北至靖边及其西南一带出现局部的高势区,后者直至第四纪时才开始形成与东部统一的气势格局。分析认为这种现象与可渗透地层(如砂岩体)在不同层组间的分布有着一定联系,因为可渗透地层越发育,越有利于高势区处的流体动力循其负梯度方向实现横向上的能量交换与沟通。由中晚石炭世、早二叠世山西期和下石盒子组的沉积体系分布来看,研究区西北部下石盒子组高势区的消失应与此处发育的砂岩体有关。

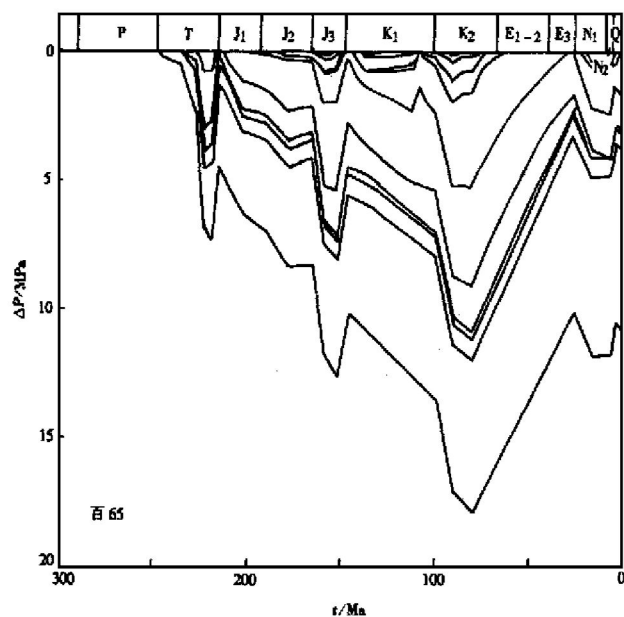


图 3 准噶尔盆地西北缘百 65 井的过剩压力发育史图

Fig. 3 Development history of excess pressure in Bar 65

Well in northwest margin of Junggar Basin

另外,成岩演化引起岩石孔、渗条件变化造成的压力封闭条件变化,排烃引起的孔隙水化学性质的变化等,将导致不同地区、不同成岩期次间次生孔隙的形成和胶结,并进一步影响流体动力的形成和保存条件。

### 3 结论

(1) 流体的动力分布格架基本控制了流体(油、气、水)的运动规律,深刻影响油气的运聚过程和规律。现代科技的发展,已为恢复古流体动力创造了条件,有助于最终解决流体(油、气、水)的多期运、

聚、(成)藏、散(失)问题。

(2) 盆地构造、沉积及后期改造作用的多分隔性,往往导致流体动力场在平面上被分隔成若干个相对独立的流体动力体系。对于油气而言,这一体系可演变为油气运聚与成藏系统。

(3) 后期构造、热、成岩演化的多期次带来流体动力分布与演化的阶段性,前后两个地质时期之间的流体动力分布可带有一定继承性,但也可以是非继承性的甚至是剧变的。

(4) 空间上,不同地层的流体动力分布格局并不完全重合,一般与不同沉积体系内的可渗透岩层分布、后期成岩演化导致的岩石孔渗条件变化等造成的压力封闭条件不均衡有关。

### 参 考 文 献

- 1 刘树臣,肖庆辉. 地质科学的发展正进入建立新一代知识体系的重大转折时期[A]. 见:中国地质矿产信息研究院,编. 走向 21 世纪的地学与矿产资源[C]. 北京:地质出版社,1996. 84~88
- 2 陈荷立. 油气运移研究的有效途径[J]. 石油与天然气地质, 1995, 16(2): 123~131
- 3 陶一川. 油气运移聚集的流体动力学问题[J]. 石油与天然气地质, 1983, 4(3): 254~267
- 4 张厚福. 关于油气运移聚集的流体动力学机理若干问题的讨论[J]. 石油与天然气地质, 1984, 5(4): 414~417
- 5 陶一川. 地下流体的势和油气运移的判据[J]. 石油与天然气地质, 1985, 6(2): 209~210
- 6 Hubbert M K. Entrapment of petroleum under hydrodynamic conditions[J]. AAPG Bull, 1953, 37(8): 1954~2026
- 7 王震亮,陈荷立. 有效运聚通道的提出与确定初探[J]. 石油实验地质, 1999, 21(1): 71~75
- 8 宋岩. 准噶尔盆地天然气聚集区带地质特征[M]. 北京:石油工业出版社, 1995. 59~60
- 9 王震亮,陈荷立. 鄂尔多斯盆地上古生界古流体动力分析[J]. 沉积学报, 1998, 16(4): 103~108
- 10 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[A]. 见:赵重远,刘池洋. 华北克拉通沉积盆地形成与演化及其油气赋存[C]. 西安:西北大学出版社, 1990. 93~102

(下转第 37 页)