

# 沉积盆地地下水与油气成藏-保存关系

楼章华<sup>1,2)</sup>, 朱蓉<sup>1,2)</sup>, 金爱民<sup>1,2)</sup>, 李梅<sup>1)</sup>

1) 浙江大学水文与水资源工程研究所, 杭州, 310058;

2) 浙江大学海洋研究中心, 杭州, 310058

**内容提要:** 含油气沉积盆地地下水动力场可以划分为:①泥岩压实水离心流;②大气水下渗向心流;③(层间)越流、越流-蒸发泄水和④滞流4种局部水动力单元类型。通常盆地边缘大气水不对称下渗,发育向心流,中央凹陷区以泥岩为主的砂泥岩地层压实,发育离心流,大气水下渗向心流与地层压实离心流汇合,发育越流泄水。沉积盆地地下水动力场演化和地下水成因控制了地下水化学场的分布规律。在离心流和向心流流动过程中,地下水浓缩、盐化,在越流泄水区形成高浓缩、高盐化地下水。泥岩压实离心流是沉积盆地油气运移的主要动力之一,在地层压实排水离心流过程中,由于岩性、地层、断层等圈闭使得部分油气在运移过程中聚集;在地下水越流泄水过程中有利于油气大量聚集-富集;在向心流推进过程中,早期聚集的油气可能部分被破坏,此外也可能在特定的地质条件下形成水动力和部分岩性、地层、断层油气藏。

**关键词:** 油田地下水化学;油田地下水动力;油气成藏动力学;油气保存条件

含油气沉积盆地地下水动力学是涉及水文地质学和石油地质学的交叉学科。从水文地质角度分析,沉积体系中的烃源岩和油气总是与地下水伴生,地下水是油气生成、运移、聚集的动力和载体,油气成藏是地下水在地史进程中循环活动的产物(汪蕴璞等, 1995)。Munn于1909年最先提出了“油气聚集的水力学说”(Munn, 1909)。Rich(1921)认为,在泄水区,背斜或其他的构造可以成为来自各个方向地层流体(包括油气)汇集的中心,因而成为油气聚集的位置(Rich, 1921)。Hubbert在1940年第一次出版了关于地下水运动理论的经典著作,并用精确的数学术语论述了开阔盆地中地下水的流动(Hubbert, 1940)。目前的研究表明,沉积盆地流体的驱动力主要为压实驱动、重力驱动和密度(热对流)驱动3种机制,其中以前两者为主。重力驱动流动亦称地形驱动流动,是以海拔以上,并以地下潜水面为基准面,由流体静压头驱动的大气水进入沉积盆地的流动。重力是大气水流动的主要动力。Tóth(1963, 1978, 1980, 1999)在重力作用下的地下水流动模式方面做了大量的研究工作。压实驱动流动是在压实作用和剩余压力的作用下发生的流体流动,流动的实质是压实和成岩过程中

自由水或结合水的排出,也是地下水流动的主要动力之一(Chiarelli, 1978; Magara, 1978; Hunt, 1990; Bredehoeft et al., 1994; Lee et al., 1994; Sorenson, 2005)。杨绪充(1989)则初步总结了陆相含油气沉积盆地地下水动力场的基本特征。楼章华等(1998)从盆地流体历史的角度分析了含油气沉积盆地地下水动力、水化学之间的成因联系。地下水动力场的演化决定了油气的运移、聚集、保存或破坏,是石油地质与工程重要的研究内容(Bachu, 1995; 楼章华等, 1997, 2001, 2003, 2005, 2006a, 2006b; 金爱民等, 2002, 2003, 2006; 朱蓉等, 2003, 2006; Lou et al., 2004)。但是,油田水文地质学一直是石油地质学领域十分薄弱的环节,有关含油气沉积盆地地下水动力学及其与油气田形成、分布方面的研究也有待进一步深入。本文总结了含油气沉积盆地地下水动力、水化学场的基本特征,以及与油气成藏-保存的基本关系。

## 1 沉积盆地地下水动力场基本特征

### 1.1 理想沉积盆地地下水动力场模式与局部水动力单元类型

含油气沉积盆地地下水动力场的理想模式可以

注:本文为国家自然科学基金重点项目(编号40839902)资助成果。

收稿日期:2009-02-06;改回日期:2009-06-07;责任编辑:周健。

作者简介:楼章华,男,1963年生。教授,主要从事含油气沉积盆地地下流体化学-动力学、油气成藏-保存等方面研究。通讯作者:朱蓉,通讯地址:310058,杭州市浙江大学紫金港校区安中大楼水文所;Email:zhurong@zju.edu.cn。

归纳为两种,即对称型和不对称型(图 1)。松辽盆地属典型的不对称型,具有北部大气水下渗补给形成向心流,盆地中央凹陷区泥岩压实水形成离心流和南部越流-蒸发泄水的总体特征(楼章华等,2001)。

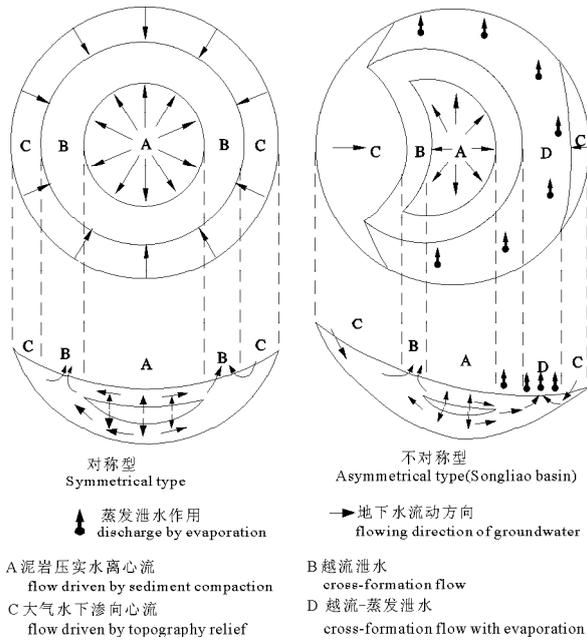


图 1 理想沉积盆地地下水动力场模式 (据楼章华等,2001)

Fig. 1 Theoretical models of hydrodynamics for sedimentary basins (from Lou Zhanghua et al., 2001)

含油气沉积盆地地下水动力场可以划分为:①泥岩压实水离心流;②大气水下渗向心流(Tóth,1978;杨绪充,1989);③(层间)越流、越流-蒸发泄水(Tóth,1978)和④滞流(杨绪充,1989)4种局部水动力单元类型。离心流区以泥岩发育和砂泥比低为特征。离心流区的地层压力以高压为主,在离心流方向上,压力系数呈不规则环状降低。地下水被泥岩压实排水交替。由于地形差,或地下地层内部能量降低,从盆地边缘和隆起剥蚀区,在重力势能作用下大气水下渗,发育大气水下渗向心流。越流泄水总体上由盆地深部流向浅部和地表,泄水方式包括越流泄水和蒸发泄水。随着埋深的增加,蒸发泄水作用减弱。越流泄水是埋藏较深层段的主要泄水方式。在地下水动力场的演化过程中,由于地层的埋深增加,泥岩压实排水枯竭,大气水下渗受阻,又处于相对封闭状态,可能会出现暂时性的滞流现象。

### 1.2 沉积盆地地下水水动力体系

水动力体系是指具有完整独立的流体供、排系统在成因上有紧密联系的几个局部水动力单元的最

小组合(楼章华等,2005)。水动力体系以盆地的凹陷为中心,以盆地边缘或相邻的隆起脊线为边界,从水动力体系的边缘往凹陷中心方向,依次发育大气水下渗向心流和(或)越流、离心流,并且两个凹陷之间的越流泄水区在水动力体系的划分中往往具有重叠性(楼章华等,2005)。如图 2 所示,发育了 1、2 两个水动力体系,凹陷之间的隆起区为两个水动力体系的叠合越流泄水区。并且,沉积盆地的水动力场往往由一个或多个水动力体系所组成。

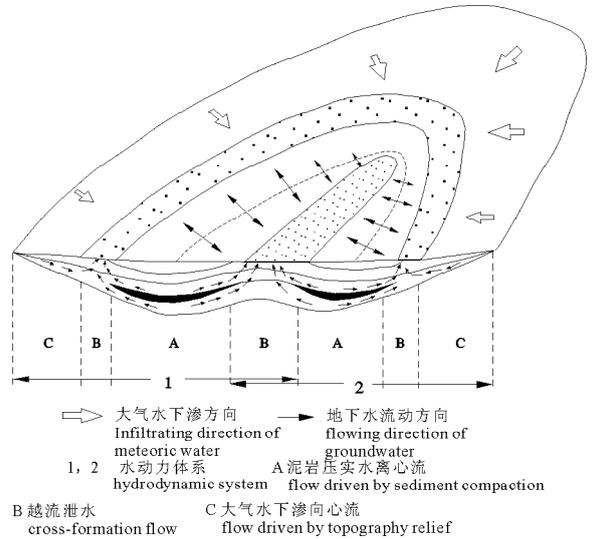


图 2 沉积盆地局部水动力单元与水动力体系关系示意图 (据楼章华等,2005)

Fig. 2 Sketch map of the relationship between local hydrodynamic units and hydrodynamic system (from Lou Zhanghua et al., 2005)

水动力体系与油气藏的形成、油气水组合是密切相关的,它们是在同一系统中存在的两个方面,前者是烃类运移、聚集、形成油气藏的重要因素,而后者是水动力体系在地质历史过程中不断活动的结果,两者互为条件、依存。因此,划分水动力体系是十分必要的,这个问题直接关系到能否客观地揭示地下水动力史及其与油气藏形成、变迁以及两者之间规律性联系的问题(楼章华等,2005)。

## 2 沉积盆地水文地质旋回与幕式油气运移

沉积盆地的构造-沉积史控制了古水文地质的旋回性(程汝楠,1991;楼章华等,2001)。一个水文地质旋回分为两个阶段,即沉积水文地质阶段,为泥岩压实水离心流发育阶段;渗入水文地质阶段,为大气水下渗向心流发育阶段。前者包括从区域沉降和

水侵开始,并发生沉积作用和埋藏沉积水的整个时期;后者是当区域隆起、水退、含水岩石遭受剥蚀并发生大气水的渗入形成渗入水的整个时期。离心流是沉积盆地油气运移的主要动力之一,沉积埋藏离心流阶段是沉积盆地油气运移的主要阶段。通常含油气沉积盆地历经多个水文地质旋回,决定了油气的运移和聚集具有明显的阶段性和多期性(杨万里等,1985;王志武等,1993)。这种运移模式导致在一个独立的水动力体系中阶梯式一环带状的油气分布规律(楼章华等,2005)。阶梯式分布指在剖面上或倾向基本一致的斜坡地区油气呈阶梯式的分布规律;环带状分布指在一个独立的水动力体系中,油气在平面上的环带状分布规律。

对于陆相沉积盆地而言,如果盆地沉积盖层中砂体和断层的连通性较好,对天然气的封闭能力则较弱,加上天然气渗透能力强,使得天然气侧向运移距离大,通常在越流泄水区漏失,局部聚集成藏。从而导致油主要分布在离心流区、越流泄水区,气分布在越流泄水区,向心流区为水区的油环在内气环在外的“油心、气环、水盆边”的油气水总体分布规律。可以这样认为,油气的阶梯式一环带状分布应该以沉积凹陷控制的包括部分相邻三级构造单元的具有相对独立的水动力体系为基本单元。对于具有多个沉积凹陷的盆地,油气的分布是由多个环带复合而成,油气阶段式运移和环带状分布无论是在指导新区突破还是在老区挖潜都具有重要的意义。

### 3 不同水动力单元地下水化学特征

#### 3.1 泥岩压实水离心流区水化学特征

压实离心流区以泥岩发育和砂泥比低为特征,压实离心流呈放射状由凹陷中心的高势区指向凹陷边缘的低势区。地下水被泥岩压实排出水交替,矿化度、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 浓度相对较低,盐化系数较小,形成了矿化度、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 浓度和盐化系数盆心低值区; $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 浓度和变质系数、脱硫系数大,形成了 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 浓度和变质系数、脱硫系数盆心高值区。在离心流方向上,地下水的矿化度、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 浓度和盐化系数升高; $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 浓度和变质系数、脱硫系数降低。

#### 3.2 大气水下渗向心流区水化学特征

盆地边缘或盆内隆起剥蚀区,由于地形差,或地下地层内部能量降低,如松辽盆地十屋断陷的天然气漏失作用,促使大气水在重力作用下,从盆地边缘或隆起剥蚀区下渗,发育大气水下渗向心流(楼章华

等,2001)。大气水下渗补给包括大气降水补给和河水渗漏补给。大气水的继承性下渗使得地下水的矿化度、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 浓度低,脱硫作用彻底。在流动过程中渗滤浓缩,矿化度、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 浓度和盐化系数增加。大气水的下渗作用也降低了向心流区的地层温度和地温梯度。伴随古水文地质旋回可能发育越流泄水和大气水局部下渗交替的局部水动力环境,在古水文地质旋回的沉积埋藏离心流阶段,处于越流-蒸发泄水的局部水动力环境,地下水浓缩;在古水文地质旋回的抬升剥蚀大气水下渗阶段,由于局部和间断性的大气水下渗作用,地下水被淡化,保留了相对低矿化度的化学特征。

#### 3.3 越流泄水区水化学特征

大气水下渗和泥岩压实排水都给渗透层提供了地下水,只有通过泄水才能保持物质平衡。地下水在越流过程中压滤—蒸发浓缩。与侧向流动相比较,在越流过程中,地层流体压力下降速度较快,地下水产生压滤浓缩作用。所谓压滤浓缩作用可以利用反渗透原理进行解释,即在越流过程中,由于地层流体压力的快速下降,盐类富集在压力高的层段,而经过压滤渗出的水,盐类的浓度降低。因此,在越流过程中,地下水发生了较强烈的浓缩作用,矿化度、 $\text{Na}^+$ 、 $\text{Cl}^-$ 浓度和盐化系数相对较高。

### 4 地下水动力场、水化学场及压力场关系

压实离心流区以泥岩发育和砂泥比低为特征,沉积盆地的沉积中心泥岩厚度大,孔隙水含量高,随着埋藏、压实作用,发育局部异常高压。因此,压实离心流区的地层压力以高压为主,在离心流方向上,压力系统呈不规则环状降低。压实离心流呈放射状由凹陷中心的高势区指向凹陷边缘的低势区。盆地边缘重力诱导形成大气水下渗向心流区(Tóth, 1978),连通性好,孔隙水供排基本平衡,除大气水下渗区有低压现象外,以正常地层压力为主。越流泄水区,地层压力系数以正常压力为主,介于向心流区和离心流区之间(表1)。

沉积盆地的水动力场具有明显的分割性——即存在局部水动力单元。不同的局部水动力单元具有不同的孔隙水来源和不同的孔隙水化学性质。另外,不同的局部水动力单元具有不同的孔隙流体供排系统,孔隙流体的供排系统决定了地层压力场的分布规律(Bredehoeft et al., 1994)。

地层压力场、水化学场是水动力场演化的结果,

表 1 水动力场、水化学场、压力场与油气成藏-保存关系

Table 1 The relationship between hydrodynamics and pressures, water chemistry, accumulation and preservation

油气成藏-保存基本特征		局部水动力单元类型			
		压实水离心流	大气水下渗向心流	越流泄水区	
				离心流叠合 越流泄水	向心流与离心流 汇合越流泄水区
水动力	方向	由盆地沉降中心较深部位流向边缘或浅部	由盆地边缘向盆地中心方向局部渗入	垂直层面向上, 偶见向下	
	对油气运移的作用	动力, 促进油气运移, 富有活力	阻力, 阻止油气运移, 减缓油气漏失	动力, 促进油气运移, 富有活力	阻力, 阻止油气运移, 减缓油气漏失
	水来源	沉积水、成岩水	大气水	沉积水、成岩水	沉积水、成岩水、大气水
地层流体压力	压力类型	(异常)高压、正常压力	正常压力弱低压	正常压力	
	主控因素	泥岩压实作用	连通性好, 地形差可能导致弱低压	流体供排基本平衡	
地下水化学指示意义	矿化度、Cl <sup>-</sup> 浓度	泥岩压实排水、粘土矿物脱水淡化, 形成相对低值区, 离心流方向上浓度增大	大气水下渗作用淡化, 形成相对低值区, 向心流方向上浓度增大	越流过程中浓缩, 形成高值区, 流动方向上浓度增大	越流过程中浓缩, 形成相对高值区, 流动方向上浓度增大
	盐化系数	相对低值区, 离心流方向上增大	相对低值区, 向心流方向上增大	高值区, 流动方向上增大	相对高值区, 流动方向上增大
	变质系数 脱硫系数	相对高值区	相对高值区	低值区	相对低值区
成藏条件	主要油气藏类型	岩性油藏 断层油藏	水动力圈闭油气藏 岩性油气藏	背斜油气藏 断层油气藏	地层油气藏 岩性油气藏
	油气富集程度	规模中等—小	规模小, 油气漏失严重	规模大, 有利于油气大量富集	规模中等, 油气藏部分遭受破坏
保存条件	破坏因素	异常高压, 导致断层封闭性减弱	缺乏侧向封堵 大气水下渗冲刷	无直接破坏因素	间断性大气水下渗破坏作用
	分级评价	中—较好	差—极差	好—很好	较好
油气运聚	运移动力	弹性势能、浮力	浮力	弹性势能、浮力	
	油气聚集机理	离心流过程中由于岩性、地层等圈闭使部分油气聚集成藏	向心流过程中可能导致油气藏部分破坏, 可能形成水动力圈闭	越流泄水过程中有利于油气大量聚集、成藏	

水动力场的形成、演化是控制水化学场、地层压力场形成、演化的关键因素, 从而使得局部水动力单元的分区分界线与水化学场、地层压力场的分区分界线一致 (Bredehoeft et al., 1994)。

## 5 地下水动力场、水化学场与油气成藏-保存关系

从水文地质角度分析, 沉积体系中的烃源岩和油气总是与地下水伴生, 地下水是油气生成、运移、聚集的动力和载体, 油气成藏是地下水在地史进程中循环活动的产物 (汪蕴璞等, 1995)。地下水动力场、水化学场分布与油气成藏、保存关系密切。

### 5.1 地下水动力场与油气成藏-保存关系

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、构造性质及它们演化史的

控制 (楼章华等, 1998)。沉积盆地地下水动力场的形成与演化也控制了油气的运移、聚集规律。在油气运移过程中, 所受的力包括水动力、浮力和毛细管力 (吴保祥等, 2008)。其中毛细管力是一种阻力, 不会促使油气运移。只有在克服了毛细管力和 (成为阻力时的) 浮力或水动力后, 油气才能运移, 否则就处于相对静止状态 (李明诚, 1994)。

从流体动力学的角度分析, 油气可以在不同的局部水动力环境中聚集 (Tóth, 1978)。油气的运移、聚集与地下流体动力场的分布规律有密切联系。油气的运移、聚集与离心流及其末端越流泄水区紧密相关。离心流的强度、泄水区的位置、圈闭位置以及岩性、岩相和构造在空间上的组合关系决定了油气在离心流—越流泄水过程中的聚集位置。泥岩压实排水离心流是沉积盆地油气运移的主要动力之一。在泥岩压实排水离心流过程中, 油气在弹性势能、浮力的共同作用下, 由于岩性、地层等圈闭使部

分油气聚集成藏,油气聚集规模相对较小。在越流泄水过程中,由于是主要的地下水泄水区域和流体汇合区域,加上泥岩盖层的稳定水润湿性,有利于油气的大量聚集,是大油气田形成的重要场所。在大气水下渗向心流区,可能在特定的地质条件下形成水动力圈闭和部分岩性、地层、断层等圈闭,但是,由于大气水的下渗作用,可能导致油气藏破坏,油气保存条件较差。因此,大气水下渗区通常油气藏规模较小(表1)。

水动力是控制油气自源岩排出及在储层中发生二次(乃至三次)运移和聚集成藏的关键因素之一(王震亮等,2002)。因此,古水动力场演化的旋回性导致了油气运移、聚集的阶段性以及油气的阶梯式一环带状分布规律。

## 5.2 地下水化学场与油气成藏-保存条件的关系

在油气生成、运移、聚集、保存和散失过程中,地下水与周围介质(包括围岩和油气)之间存在物质与能量的交换过程,油田水化学成分反映了沉积、成岩或成藏过程中流体-围岩作用的结果,并且蕴含了许多与油气藏形成和保存相关的信息。地下水水文地质地球化学性质与油气的运移、聚集和油气藏的破坏、保存存在密切关系。根据水文地质与地球化学性质评价油气保存条件(陈安定等,2003;徐国盛等,2005),在研究和生产领域已经得到广泛的应用。

### 5.2.1 地下水化学场平面分区性与油气成藏-保存关系

水动力场和局部水动力单元类型基本控制了地下水的成因和水化学场在空间上的分布规律(楼章华等,2002,2006a)。在盆地的凹陷内部,通常由于泥岩压实排水淡化作用,降低了地下水的矿化度和 $K^+ + Na^+、Cl^-$ 浓度,盐化系数小,变质系数和脱硫系数大,部分油气聚集,形成岩性、地层油气藏,聚集规模中等一小。在盆地边缘和盆地内的局部隆起区,由于大气水下渗淡化作用,降低了地下水的矿化度、 $K^+ + Na^+、Cl^-$ 浓度,盐化系数小,变质系数和脱硫系数大,油气保存条件较差,漏失严重,通常被大气水下渗淋滤氧化,部分破坏,油气藏规模较小。在离心流和向心流的流动过程中地层水发生压滤-蒸发浓缩作用,在越流泄水区形成地下水矿化度、 $K^+ + Na^+、Cl^-$ 浓度和盐化系数相对高值区,地下水浓缩、盐化、变质,在地下水越流-浓缩过程中,有利于油气的大量聚集和大油气田的形成(楼章华等,2002,2006a,2008)(表1)。

### 5.2.2 地下水化学场垂直分带性与油气成藏-保存关系

在沉积盆地的形成与演化过程中,埋藏其中的地下水发生了一系列的物理-化学变化,影响水化学性质的因素较多,并且随着埋深的增加,多数因素对地下水化学性质的影响作用也具有明显的阶段性,导致地下水化学的垂直分带性(楼章华等,2006b)。这种分带性与地下水动力、油气运移、聚集、保存存在成因上的联系(楼章华等,2006b;马永生等,2006;朱蓉等,2008)(表1)。可以充分利用油田地下水化学的特点,包括油田地下水化学的垂直分带性分析油气的成藏-保存条件。对加深油气地质的研究和指导油气勘探都具有重要意义。

大气水下渗淡化带:在重力作用下大气水下渗,长期冲刷、氧化,交替作用强,成为活跃并开启的氧化环境,油气封盖条件差,缺乏侧向封堵,油气漏失严重。受大气水淋滤破坏,生物降解,不利于油气保存。局部形成水动力和岩性油气藏。

泥岩压实排水淡化带:水动力处于离心流范围,是油气运移的途径区域。一般发育高压,导致断层封闭性减弱。油气保存条件中等,易形成岩性油藏、断层油气藏,通常油气藏规模中等一小,分布在凹陷内部或近凹带。

越流过程中压滤-蒸发浓缩带:在离心流往浅部地层的穿越过程中发育越流泄水作用,地层压力快速降低,地下水发生压滤-蒸发浓缩作用。在地下水的越流过程中,油气不断聚集,有利于油气的大量富集,一般无直接破坏因素,油气保存条件好,易形成储量规模大的背斜油气藏、断层油气藏等。

深部渗滤浓缩带:在深埋作用下,地层压实作用较为强烈,储层致密,离心流水动力较弱,甚至处于滞流的水动力环境。油气富集度相对较低;断层封闭性较差,油气可能继续运移。保存条件中等,通常有利于规模中等一小的岩性油气藏和断层油气藏的形成与保存。

## 6 结论

(1)水动力场和局部水动力单元类型基本控制了地下水的成因和水化学场在空间上的分布规律,以盆地边缘和盆地内隆起顶部为主的大气水下渗淡化作用,凹陷中心的泥岩压实排水淡化作用。在离心流和向心流的流动过程中,地下水浓缩、盐化,在越流泄水区形成地下水矿化度的相对高值区。

(2)沉积盆地地下水动力场的形成与演化也控

制了油气的运移、聚集规律。泥岩压实排水离心流是沉积盆地油气运移的主要动力之一。在泥岩压实排水离心流过程中,由于岩性、地层等圈闭使部分油气聚集成藏,油气聚集规模一般中等—小。在越流泄水过程中,由于是主要的地下水泄水区域和流体汇合区域,有利于油气的大量聚集,是大油气田形成的重要场所。在向心流过程中,可能导致油气藏部分破坏,另外也可能在特定的地质条件下形成水动力圈闭和部分岩性、地层、断层等圈闭,但是,由于油气保存条件较差,油气藏规模较小,通常被大气水下渗淋滤,部分破坏。

(3)地下水化学的垂直分带性与地下水动力、油气运移、聚集、保存存在成因上的紧密联系。大气水下渗淡化带,通常封盖条件较差,不利于油气保存,局部可能形成水动力和岩性油气藏;泥岩压实排水淡化带,是油气运移的途径区域,油气藏规模通常为中等—小,有利于形成岩性和断层油藏;越流过程中压滤—蒸发浓缩带,有利于油气大量富集,形成背斜、断层等大—中型油气藏;深部渗滤浓缩带,储层相对致密,油气富集程度低,通常形成规模中等—小的岩性油气藏和断层油气藏。

### 参 考 文 献

陈安定,黄金明,杨芝文. 2003. 地层水资料在海相中、古生界油气保存条件评价中的应用. 南方油气, 16(2): 1~7.

程汝楠. 1991. 古水文地质及其应用. 北京:地质出版社.

金爱民,楼章华,朱蓉,等. 2002. 鄂尔多斯盆地上古生界储层现今地下水动力场及其流体特征. 高校地质学报, 8(3): 334~344.

金爱民,楼章华,朱蓉,等. 2003. 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. 浙江大学学报(理学版), 30(3): 337~343.

金爱民,高兴友,楼章华,等. 2006. 准噶尔盆地玛湖—盆 1 井西复合含油气系统侏罗系地下水动力场的形成与演化. 地质科学, 41(4): 549~563.

李明诚. 1994. 石油与天然气运移(第二版). 北京:石油工业出版社.

楼章华,高瑞祺,蔡希源. 1997. 论松辽盆地地下水动力场演化与油气运移、聚集. 沉积学报, 15(4): 115~120.

楼章华,蔡希源,高瑞祺. 1998. 松辽盆地流体历史与油气藏分析. 贵阳:贵州科学技术出版社.

楼章华,金爱民,朱蓉,等. 2001. 松辽盆地水动力场的形成与演化. 地质学报, 75(1): 111~120.

楼章华,金爱民,朱蓉,等. 2002. 松辽盆地北部东区扶杨油层孔隙流体地球化学与砂岩成岩相研究. 地质学报, 76(4): 557~565.

楼章华,朱蓉,金爱民,等. 2003. 东营凹陷地下水动力场的形成与演化. 地质科学, 38(1): 85~96.

楼章华,金爱民,田炜卓,等. 2005. 论陆相含油气沉积盆地地下水动力场与油气运移、聚集. 地质科学, 40(3): 305~318.

楼章华,程军蕊,金爱民,等. 2006a. 沉积盆地地下水动力场特征研

究——以松辽盆地为例. 沉积学报, 24(2): 193~201.

楼章华,金爱民,朱蓉,等. 2006b. 松辽盆地油田地下水化学场的垂直分带性与平面分区性. 地质科学, 41(3): 392~403.

楼章华,李梅,金爱民,等. 2008. 中国海相地层水文地质地球化学与油气保存条件研究. 地质学报, 82(3): 387~396.

马永生,楼章华,郭彤楼,等. 2006. 中国海相地层油气保存条件综合评价技术体系探讨. 地质学报, 80(3): 406~417.

王震亮,陈荷立. 2002. 试论古水动力演化的旋回性与油气的多期次运聚. 沉积学报, 20(2): 339~344.

王志武,杨继良,高瑞祺. 1993. 中国石油地质志(卷二). 北京:石油工业出版社.

吴保祥,段毅,郑朝阳,等. 2008. 鄂尔多斯盆地古峰庄—王洼子地区长 9 油层组流体过剩压力与油气运移研究. 地质学报, 82(6): 844~849.

徐国盛,刘树根,李仲东,等. 2005. 四川盆地天然气成藏动力学. 北京:地质出版社.

杨万里,高瑞祺. 1985. 松辽盆地陆相油气生成运移和聚集. 哈尔滨:黑龙江科学技术出版社.

杨绪充. 1989. 论含油气盆地地下水动力环境. 石油学报, 10(4): 27~34.

朱蓉,楼章华,金爱民,等. 2003. 鄂尔多斯盆地上古生界深盆气藏流体动力学特征及成藏过程分析. 地质科学, 38(1): 31~43.

朱蓉,楼章华,金爱民. 2006. 库车坳陷中新生界天然气成藏动力学过程研究. 天然气工业, 26(5): 5~7.

朱蓉,楼章华,云露,等. 2008. 塔河奥陶系油藏开发动态与地层水化学特征响应. 地质学报, 82(3): 397~406.

汪蕴璞,林锦璇,汪林. 1995. 论含油气盆地含水系统和水文地质期的划分. 地球科学—中国地质大学学报, 20(4): 393~398.

Bachu S. 1995. Synthesis and model of formation water flow, Alberta basin, Canada. AAPG Bulletin, 79: 1159~1178.

Bredehoeft J D, Wesley J B, Fouch T D. 1994. Simulations of the origin of fluid pressure, fracture generation, and the movement of fluids in the Uinta basin, Utah. AAPG Bulletin, 78(11): 1729~1747.

Chiarelli A. 1978. Hydrodynamic framework of eastern algerian Sahara—influence on hydrocarbon occurrence. AAPG Bulletin, 62: 667~685.

Hubbert M K. 1940. The theory of ground-water motion. Journal of Geology, 48: 785~944.

Hunt J M. 1990. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartments. AAPG Bulletin, 74(1): 1~12.

Lee M K, Bethke C M. 1994. Groundwater flow, late cementation, and petroleum accumulation in the Permian Lyons sandstone, Denver basin. AAPG Bulletin, 78: 217~237.

Lou Z H, Zhu R, Jin A M, et al. 2004. Evolution of hydrodynamic field, oil-gas migration and accumulation in Songliao basin, China. China J. of Oceanology and Limnology, 22(2): 105~123.

Magara. 1978. Compaction and fluid migration. Practical Petroleum Geology. Amsterdam: Elsevier.

Munn M J. 1909. Studies in the application of the anticlinal theory

- of oil and gas accumulation. *Economic Geology*, 4: 141~157.
- Rich J L. 1921. Moving underground water as a primary cause of the migration and accumulation of oil and gas. *Economic Geology*, 16: 347~371.
- Sorenson R P. 2005. A dynamic model for the Permian Panhandle and Hugoton fields, western Anadarko basin. *AAPG Bulletin*, 89(7): 921~938.
- Tóth J. 1963. A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins. *J. of Geophysics Res.*, 68: 4795~4812.
- Tóth J. 1978. Gravity induced cross-formational flow of formation fluids, Red Earth Region, Alberta, Canada, *Analysis, Patterns and Evolution*. *Water Resources Res.*, 14: 805~843.
- Tóth J. 1980. Cross-formational gravity-induced flow of groundwater: a mechanism of transport and accumulation of petroleum (the generalized hydraulic theory of petroleum migration). In: Roberts III W H, Cordell R J, eds. *Problems of Petroleum Migration*. *AAPG Studies in Geology*, 10: 121~167.
- Tóth J. 1999. Groundwater as a geologic agent: an overview of the causes, processes, and manifestations. *Hydrogeology Journal*, 7: 1~14.

## Relationship between Groundwater and Hydrocarbon Accumulation-Preservation in Sedimentary Basin

LOU Zhanghua<sup>1,2)</sup>, ZHU Rong<sup>1,2)</sup>, JIN Aimin<sup>1,2)</sup>, LI Mei<sup>1)</sup>

1) *Institute of Hydrology and Water Resource Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, 310058;*

2) *Research centre of Oceanology, Zhejiang University, Hangzhou, 310058*

### Abstract

Hydrodynamic units in a petroliferous sedimentary basin can be categorized as follows: ① compaction-driven centrifugal flow, ② relief-driven centripetal flow, ③ cross-formational flow with/without evaporation and ④ lagged flow. In general, the meteoric water infiltrates asymmetrically in the margin of basin and centripetal flow develops. The central depression is an area of centrifugal flow caused by mudstone-compacted water. Centrifugal flow and centripetal flow converge and result in cross-formational flow. The distributions of hydrochemistry field are controlled by the hydrodynamic evolution and the formation mechanism of groundwater in sedimentary basins. The groundwater concentrated in the cross-formational flow area results in relatively higher concentration. Centrifugal flow driven by sediment compaction is the main driving force of the oil-gas migration and accumulation in the sedimentary basins. During the process of centrifugal flow, part of oil and gas are gathered due to the lithology, stratum, fault and so on. The cross-formational flow area is favorable to abundant oil and gas enrichment. During the process of centripetal flow, the oil and gas accumulated previously may be destroyed partly; maybe form dynamic trap or lithologic trap, stratigraphic trap and fault trap under certain geological conditions.

**Key words:** hydrodynamics of groundwater; hydrochemistry of groundwater; hydrocarbon accumulation dynamics; hydrocarbon preservation conditions