

论松辽盆地地下水动力场演化与油气运移、聚集

楼章华¹ 高瑞祺² 蔡希源³

1(浙江大学地球科学系,杭州 310027) 2(中国石油天然气总公司勘探局,北京 100724)

3(大庆石油管理局,黑龙江,大庆 163000)

提要 松辽盆地地下水动力场具有明显的不对称性:盆地北部大气水下渗形成向心流;中央坳陷区发育泥岩压榨水形成的离心流和越流泄水;盆地南部以越流—蒸发泄水为特征,只有盆地边缘和隆起区的顶部有大气水下渗。泥岩压榨水形成的离心流是松辽盆地油气运移的主要动力。古水文地质的旋回性和离心流的阶段性,决定了油气的阶段性运移和在一个独立水动力体系内多个油环在内,气环在外,与沉积凹陷同心的阶梯式—环带状油气分布规律。

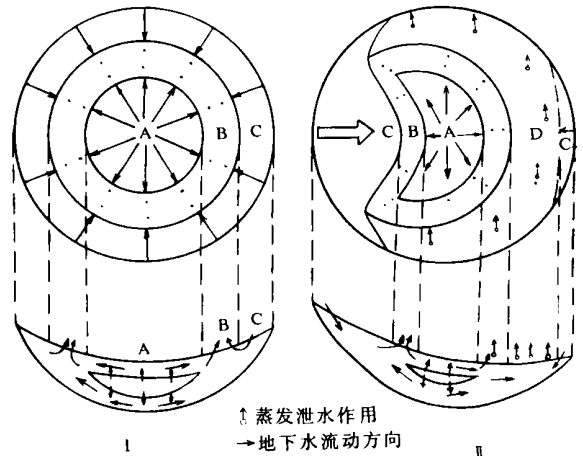
关键词 水动力 油气运移与聚集 松辽盆地

分类号 P 618.13 P618.130.1

第一作者简介 楼章华 男 33岁 研究员 石油地质与地球化学

经过 30 多年的勘探、开发,松辽盆地的石油地质特征^[1-3]已做了较深入细致的研究。但是,有关松辽盆地地下水动力场和油气关系的研究一直是相对薄弱的环节。自本世纪 70 年代以来,Toth^[4]、真柄钦次^[5]、杨绪充^[6]等充分肯定了地下水动力场与油气运移、聚集有着十分密切的关系。从 1990 年开始,我们在松辽盆地开展了这方面的研究工作,发现地下水动力场的形成、演化是控制油气运移、聚集的重要因素,对加深松辽盆地油气运移、聚集规律的认识和指导松辽盆地的油气勘探具有重要的理论与实践意义。

张缩,不对称相带呈环状展布^[2]。



A. 泥岩压榨水离心流 B. 越流泄水,越流—蒸发泄水
C. 大气水下渗向心流 D. 蒸发泄水,越流—蒸发泄水
I. 对称型 II. 不对称型(松辽盆地型)

图 1 理想沉积盆地水动力场模式

Fig. 1 Theoretical models of hydrodynamics for sedimentary basins

1 地质背景

松辽盆地是一个位于克拉通内部的大型中生代陆相含油气沉积盆地。盆地内发育了以白垩系为主的中新生代地层,最大厚度达 10 000 m。盆地从形成到结束经历了多期构造运动,中、晚白垩世,白垩纪末,早、晚第三纪间的构造运动形成了嫩江组与四方台组、白垩系与第三系和新老第三系之间的区域性不整合^[2]。主要考虑中浅层的构造和地层特征,结合深层构造和基底性质将松辽盆地划分为 6 个一级构造单元和 31 个二级构造单元。松辽盆地主要含油气层段白垩系的沉积环境为冲积—湖泊体系,按其物源可以划分为五个沉积体系,湖面经历了多次

2 含油气沉积盆地地下水动力场类型

2.1 局部水动力单元类型

含油气沉积盆地局部地下水动力单元大致可以

划分为:泥岩压榨水离心流^[6,7];大气水下渗向心流^[4,7];越流泄水^[4]、越流—蒸发泄水;和滞流 4种类型(图 1)

泥岩压榨水离心流:在埋藏过程中,泥岩压实排水发育异常高压。排出水进入相邻的渗透层,也发育高压。高压由凹陷中心往盆地边缘呈不规则环状降低,由此引起的势能差导致由凹陷中心往边缘放射状的地下水流动,称为泥岩压榨水离心流。

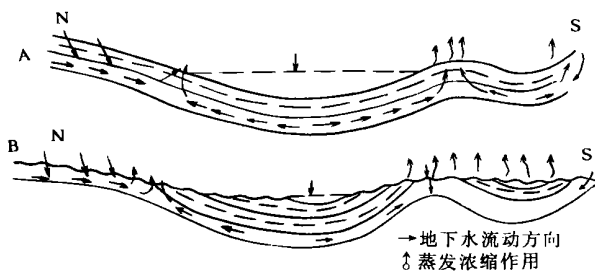
大气水下渗向心流:盆地边缘和盆地内隆起区。由于地形差或地层内部能量降低(如十屋断陷的天然气漏失作用^[9]),在重力势能的作用下大气水下渗,发育大气水下渗向心流。

越流泄水、越流—蒸发泄水:越流是指穿越层面的地下水流动方式。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。泄水方式包括①随着埋藏压实地下水由盆地深部流向浅部或地表的越流泄水,②在往浅部、地表越流过程中地下水部分蒸发,即越流—蒸发泄水和③无直接泄水的流体替代^[8]。随着埋深的增加,蒸发泄水作用减弱。越流泄水是埋深较深段的主要泄水方式。

滞流:由于地层埋深增加,泥岩压实排水趋于枯竭,大气水下渗受阻,就会发育滞流的水动力环境。

2.2 理想的沉积盆地地下水动力场模式

含油气沉积盆地地下动力场的理想模式可以归



A 沉积埋藏压榨水离心流阶段

B 抬升或剥蚀大气水下渗向心流阶段

图 2 松辽盆地水文地质旋回示意图

Fig. 2 Sketch map of hydrogeological cycles for the Songliao basin

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,有盆地北部大气水下渗补给形成向心流;盆地中央拗陷区泥岩压榨水形成离心流;南部越流—蒸发泄水,只有盆地边缘和隆起顶部有大气水下渗的总体特征。

2.3 水文地质旋回

卡尔采夫^[7](1969)指出,一个水文地质旋回可以分为两个阶段:沉积水文地质阶段,为压榨水形成的离心流发育阶段;和渗入水文地质阶段,为大气水下渗形成的向心流发育阶段。根据松辽陆相含油气沉积盆地的水文地质旋回特点,每个水文地质旋回可以划分为 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(图 2)。

3 松辽盆地水动力场的形成与演化

3.1 现今水动力场

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,结合油田水化学场、地层压力场和天然气运移模式,可以建立起现今水动力场模式。东北隆起区、北部倾没区大气水下渗,水头往倾没方向降低,形成向心流。在三肇凹陷、齐家—古龙凹陷形成了压力系数、水头的相对高值区,发育离心流。

3.2 水动力场的形成与演化

地下水的补给源包括^[10]:内补给源—即泥岩压实排水补给;外补给源—即大气水下渗补给。泥岩压实排出水是沉积盆地水动力场演化过程中重要的孔隙水来源,且很大程度上决定了沉积盆地水动力场的形成与演化。外补给源的强度、影响范围及其演化规律,主要依靠恢复沉积—构造史、古气候史、古地貌史,结合水化学场、现今水动力场的分布和水文地质旋回的划分,分析大气水的下渗规律和影响强度、范围。

3.2.1 地层埋藏压实与离心流

目前大多数石油地质工作者都认为沉积埋藏水在油气矿产形成中起着巨大的作用。通过压出水水头的计算,可以分析沉积盆地离心流的形成与演化。按所划分的水文地质旋回计算,编绘出 3 个主要水文地质旋回的压出水水头平面分布图。青山口组、姚家组和嫩江组泥岩的压实排水作用决定了松辽盆地离心流性质和石油运移方向。嫩江组沉积以前,压出水水头向中央拗陷中心呈环状升高,离心流的方向由拗陷中心向边缘呈放射状(图 3)。嫩江组沉积以后的燕山和喜山运动形成了松辽盆地的二级构造单元,大庆长垣地区的抬升降起改变了中央拗陷区的离心流性质,分别以黑鱼泡凹陷、齐家—古龙凹陷、长岭凹陷、三肇凹陷为中心,分割成多个离心流区。

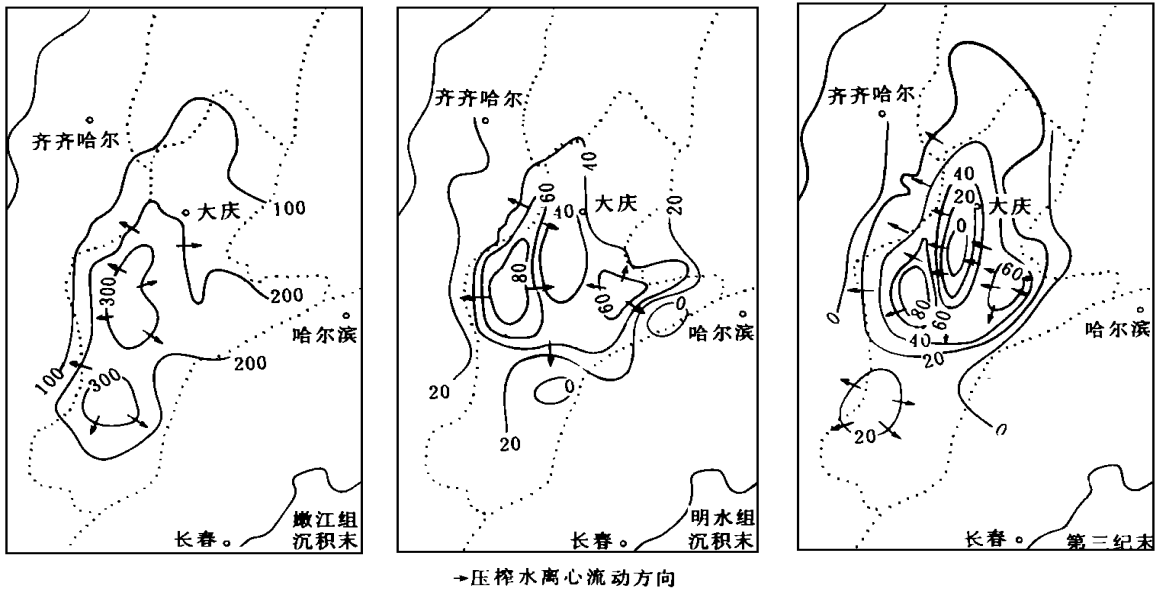


图 3 青一段泥岩压出水水头 (m)与离心流方向平面分布图

Fig. 3 Planar distribution of the compacted-water head(m) ofqing⁻¹ member and centrifugal flow directions

3.2.2 水文地质旋回的划分

表示沉积、剥蚀和地层上、下接触关系的综合柱状图、各时期的岩相古地理图和盆地的构造演化史,是划分水文地质旋回和阶段的主要依据。沉积埋藏压实排水的压榨水离心流阶段大致相当于柱状剖面图中的地层沉积段;而抬升剥蚀导致的大气水下渗向心流阶段相当于该图中的缺失段。泉头组沉积以后,嫩江组沉积末期、明水组沉积末期、早晚第三纪之间的3次构造运动决定了松辽盆地的3个主要水文地质旋回。压榨水形成的离心流是松辽盆地石油运移的最主要动力,也是石油聚集成藏的主要阶段。水文地质旋回的周期性决定了石油和地下水运移的阶段性和油田呈阶梯式环带状分布的石油运移、聚集规律。

3.2.3 水动力场的形成与演化

水动力场的形成、演化是不同岩性地层单元在三维空间的组合规律。构造性质与演化在孔隙流体中的综合反映。松辽盆地水动力场的形成、演化,在平面上具有明显的不对称性,总体上盆地北部为大气水下渗向心流区;中央拗陷区为离心流区和越流泄水区;盆地南部以地下水的越流—蒸发泄水浓缩为特征,只有盆地边缘和隆起剥蚀区的局部地区为大气水下渗区(图4)。在沉积盆地的演化过程中,区域沉降时期为压榨水离心流阶段;抬升剥蚀时期为

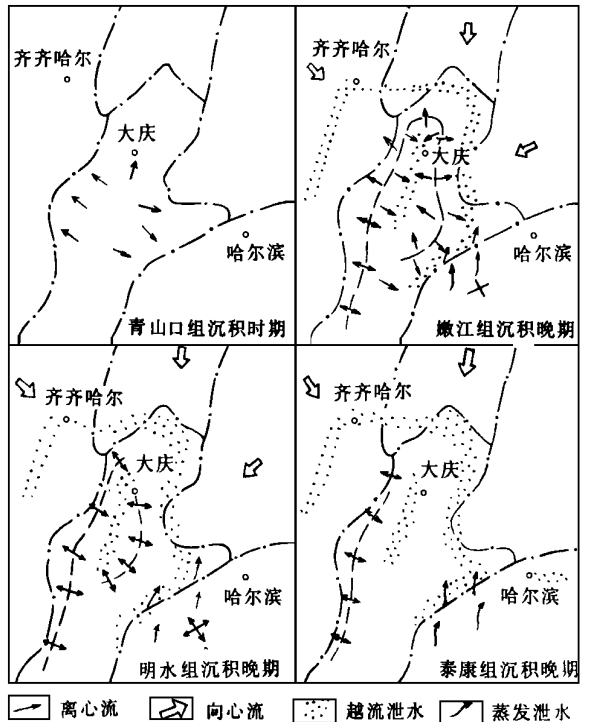


图 4 松辽盆地地下水动力场演化模式图

Fig. 4 Evolution model of hydrodynamics for the Songliao basin

大气水下渗向心流阶段。在纵向上,随着地层埋深的增加,地层的压实强度增加,压实排水作用减弱,消

失,离心流减弱、停止。大气水下渗作用也随着埋深的增加而减弱。

3.2.4 局部水动力单元的分布规律

泥岩压榨水离心流

松辽盆地的离心流主要发育在齐家—古龙凹陷、三肇凹陷,其次是长岭凹陷和黑鱼泡凹陷。离心流区的地层压力大于静水压力,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,矿化度、 Na^+ 、 Cl^- 浓度相对较低,盐化系数较小,形成了矿化度、 Na^+ 、 Cl^- 浓度和盐化系数的“盆心低值区”;而 SO_4^{2-} 、 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 浓度和变质系数、脱硫系数的“盆心高值区”。在离心流方向上,地下水的矿化度、 Na^+ 、 Cl^- 浓度和盐化系数升高; SO_4^{2-} 、 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 浓度和变质系数降低。

大气水下渗向心流

据初步估计,盆地北部补给区多年平均大气降水量为469.2 mm,即每年为150.14亿 m^3 ,其中渗入补给地下水量为27.46亿 m^3 。在盆地北部和西部,有很多河流从山区流入盆地,其中乌裕尔河和双阳河,均系盲尾河,河水除地面蒸发损失以外,全部渗漏补给地下水。此外,还有嫩江、讷莫尔河、诺敏河、阿伦河、雅鲁河等大小河流流入盆地,在丰水期直接渗漏补给地下水。因此,松辽盆地大气水渗入补给量是丰富的,有利于发育大气水下渗向心流。①盆地北端大气水下渗向心流区:盆地北端是松辽盆地发育河流—三角洲沉积体系和地面汇水的主要地区,也是一个继承性的大气水下渗向心流区。地下水的矿化度、离子浓度低,脱硫作用彻底。在流动过程中,地下水渗滤浓缩,交替强度减弱,矿化度、离子浓度升高。大气水的下渗作用降低了向心流区的地层温度和地温梯度。②西部斜坡区盆地边缘的大气水下渗向心流区:从地下水化学参数的特征中可以发现,该区存在过大气水下渗作用。地下水的矿化度、离子浓度低,由北西—南东方向,矿化度、 Na^+ 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 、 $\text{CO}_3^{2-} + \text{HCO}_3^-$ 浓度,变质系数、脱硫系数增加,盐化系数变小的变化趋势。与北端大气水下渗向心流作用相比,影响范围小,时间短,且主要局限在西部斜坡区的北端。

越流泄水 ①大庆长垣越流泄水区:位于黑鱼泡凹陷、齐家—古龙凹陷、三肇凹陷包围的中心,是一个离心流集中指向的位置。离心流补给的地下水往浅部越流排泄,保持长期的供排平衡。②朝阳沟阶地—长春岭背斜带—扶余隆起区的越流—蒸发泄水

区:位于三肇凹陷、齐家—古龙凹陷的南侧,是一个仅次于大庆长垣的离心流集中指向区,以压榨水交换阶段的离心流往浅部越流—蒸发泄水为最显著特征。地下水的矿化度、离子浓度和盐化系数大。大气水下渗交替阶段,在局部隆起的顶部可有短时期、小范围的大气水下渗淋滤作用。③西部斜坡区的越流—蒸发泄水区:以齐家—古龙凹陷的中央轴线为界,离心流分向东和向西两大方向。向东离心流指向大庆长垣,向西离心流指向西部斜坡区,在流动过程中往浅部越流、蒸发泄水。④齐齐哈尔—大庆—肇东一带越流泄水区:由离心流和向心流汇合形成的越流泄水区。这一带是盆地发育过程中长期的沉积环境过渡区,地层岩性组合的过渡带。该区以南以湖相泥岩丰富和泥岩压实排水形成离心流为主;以北发育大气水下渗向心流为特征。离心流和向心流汇合形成越流泄水区。地层压力以正常压力为主,水头和压力系数向越流泄水区的中心减小。在地下水化学性质上具有明显的过渡性。

4 地下水动力场与油气藏形成

4.1 油气藏形成的局部水动力单元

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^[4]。油气的运移、聚集与地下水动力场具有密切的关系。从整体上看,松辽盆地是一个压实流—重力流叠合盆地。油气的运移、聚集与离心流及其末端越流泄水区紧密相关。笔者总结了松辽盆地局部水动力单元与油气动移、聚集的机理(图5)。

4.2 实例分析

4.2.1 离心流的越流泄水区的油气聚集

大庆长垣(图5a)是一个继承性的古流体势低值区,位于东西两个主要生油凹陷的叠合越流泄水区。石油伴随着离心流运移,在越流泄水过程中聚集成藏,大部分天然气往浅部、地表运移、漏失,少部分聚集成藏。扶余隆起带(图5b)位于长岭凹陷的东侧和齐家—古龙凹陷、三肇凹陷的南侧。离心流强度大,使得石油伴随着离心流往扶余隆起区运移,在越流泄水过程中聚集成藏。长春岭背斜带(图5c)与扶余隆起区具有相似的构造背景。但是,由于长春岭背斜带位于三肇凹陷的南侧,距离较远,离心流强度较弱。在离心流过程中油气在朝阳沟阶地聚集成藏。在离心流发育、减弱和消亡过程中,大部分天然气通过封闭性较差的断层继续往上翘一侧的长春岭背斜带

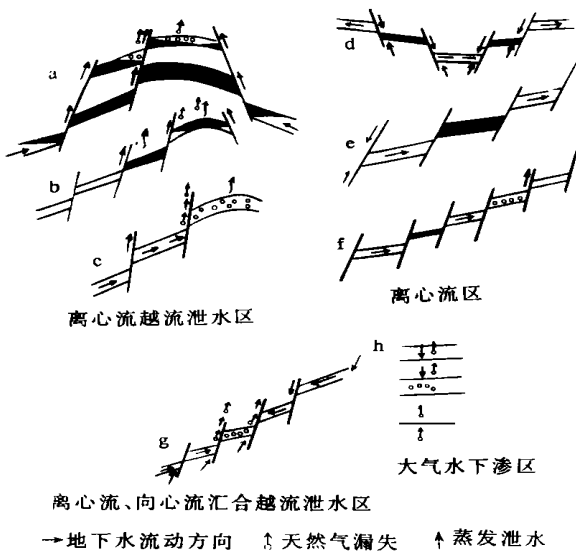


图 5 松辽盆地局部水动力单元与油气藏

Fig. 5 Accumulation of oil and gas in different hydrodynamic units

田都是离心流过程中聚集成藏的,如榆树林油田和朝阳沟油田(图 5d e f).

4.2.3 向心流,离心流汇合越流泄水区的天然气聚集作用(图 5g)

由于青一段泥岩的区域性封闭作用,和扶杨油层内部众多的(多数未断穿青山口组)封闭性较差的正断层连接了条带状河道砂体,天然气由凹陷中心的高势区流向凹陷边缘的相对低势区。在越流泄水区往浅部,地表漏失,部分聚集成藏^[4]。

作为大气水下渗区天然气的聚集作用(图 5h),十屋断陷是一个很典型的例子^[9]。

4.3 水文地质旋回与油气阶段性运移,阶梯式—环带状分布

松辽盆地的油气运移和聚集作用具有明显的阶段性和多期性^[3],笔者从流体动力史分析中找到了答案:松辽盆地经历了多次水文地质旋回,每个旋回又可以划分为压榨水离心流阶段和大气水下渗阶段。压榨水离心流是松辽盆地油气运移的主要动力。因此,水文地质的旋回性和离心流的阶段性,决定了油气的阶段性运移与聚集和在一个独立水动力体系内多个油环在内,气环在外,与沉积凹陷同心的阶梯

运移,漏失,部分聚集成藏^[4]。

4.2.2 离心流过程中的油气聚集

三肇凹陷,齐家—古龙凹陷中的许多中、小型油

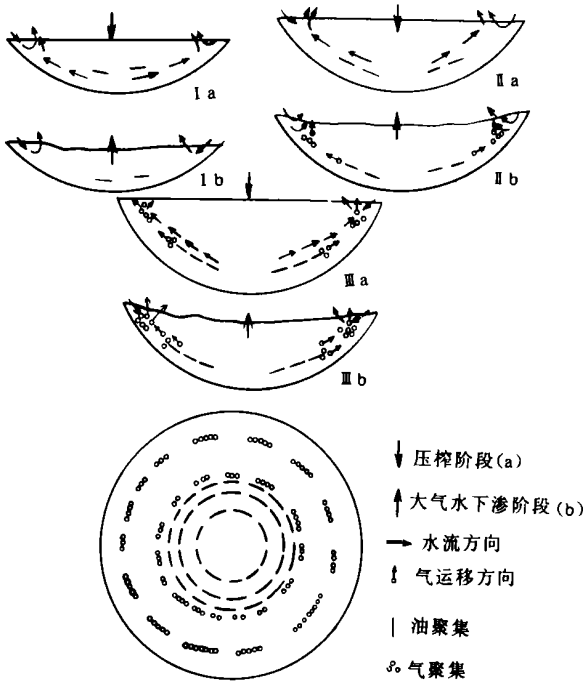


图 6 水文地质旋回与油气阶段性运移、阶梯式—环带状分布的平论模型

Fig. 6 Theoretical models of hydrogeological cycles, stagical migration and step-annular distribution of oil and gas

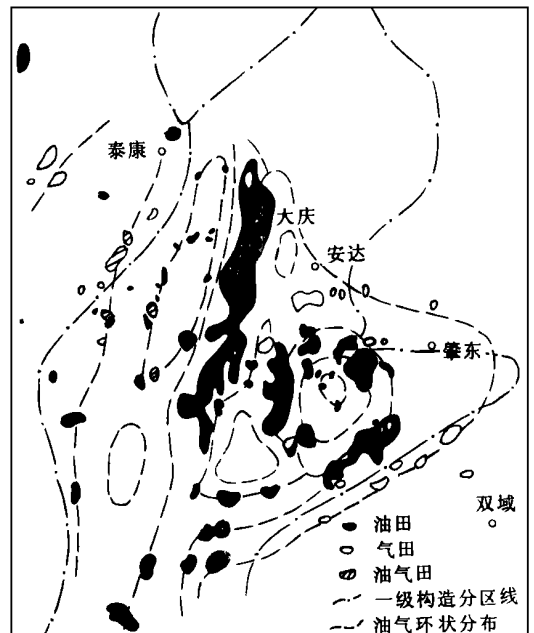


图 7 松辽盆地油气藏复合环状分布图

Fig. 7 Composite annular distribution of oil and gas the Songliao basin

式—环带状油气分布规律(图 6)

作为一个具有多个沉积凹陷的盆地,油气分布由多个与凹陷同心的环组合而成(图 7)。

5 结 论

(1)水动力场的形成、演化是不同岩性地层单元在三维空间上的组合规律,构造性质与演化在孔隙流体中的综合反映。直接受盆地地貌、水文网、构造性质及其它们的演化史的控制。

(2)在平面上松辽盆地的水动力场具有明显的不对称性:以盆地北部为主的盆地边缘是大气水下渗向心流区;中央拗陷区为离心流和离心流的越流泄水区;盆地南部以地下水的越流—蒸发泄水为特征。

(3)油气的运移与分布与水动力紧密相关。由于水文地质的旋回性导致油气运移的阶段性和阶段性,从而决定了以凹陷为中心的阶梯式—环带状油气分布规律。

参 考 文 献

[1] 杨万里. 松辽陆相盆地石油地质. 北京:石油工业出版社,

1985, 1- 385.

[2] 杨万里,高瑞祺. 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, 1985, 1- 329.

[3] 王志武,杨继良,高瑞祺. 中国石油地质志(卷二),大庆油田. 北京:石油工业出版社, 1983, 1- 740.

[4] Toth J. Gravity induced cross-formational flow of formation fluids, Red Earth Region, Alberta, Canada, Analysis Patterns and Evolution. Water Resources Research, 1987, 14(5): 805-843.

[5] 真柄钦次,陈荷立译. 压实与流体运移. 北京:石油工业出版社, 1981, 1- 5.

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

[7] 程汝楠编译,杨淑贞校. 古水文地质及其应用. 北京:石油工业出版社, 1981, 1- 12.

[8] 楼章华,卢庆梅,赵庆吉. 松辽十屋断陷低压气藏的成因. 石油与天然气地质, 1996, 17(4): 321- 325.

[9] 地矿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—以冀中拗陷为例. 北京:科学出版社, 1987, 1- 162, 184- 188.

A Study on The Evolution of Hydrodynamics, The Migration and Accumulation of Oil and Gas in The Songliao Basin

Lou Zhanghua¹ Gao Ruiqi² and Cai Xiyuan³

1 (Department of Earth Science, Zhejiang University, Hangzhou 310027)

2 (Exploration Bureau, CNPC, Beijing 100724)

3 (Daqing petroleum Administration Bureau, Daqing 163000)

Abstract

The hydrodynamics field in the Songliao basin is obviously asymmetrical with the characteristics of gravity-induced centripetal flow recharged by meteoric water mainly in its northern region, centrifugal flow and cross-formational flow in the basin center area, groundwater discharged by cross-formational flow and evaporation in its southern area, and meteoric water permeating downwards only along the basin rim and uplifted areas locally and unabidingly. Centrifugal flow caused by mudstone-compacted water is the main dynamic force which induces the petroleum migration and accumulation in the Songliao basin. Paleohydrogeologic cycles and centrifugal flow stages induced the migration by stages and step-mannular distribution of oil and gas in an independent hydrodynamic system. Multidepressions for the Songliao basin would have developed several hydrodynamic systems. Of which two major ones are located at the Sanzhao and Qijia-Gulong depressions, and they made up a double step-annular distribution of oil and gas in the Songliao basin. Inside are multirings of oil, which are encapsulated by uncontinuous natural gas pools. All of them are concentric with their depressions mainly due to symmetric and concentric centrifugal flow.

Key Words hydrodynamics migration and accumulation of oil and gas Songliao basin