

文章编号: 1000-0550(2002)02-0339-06

试论古水动力演化的旋回性与油气的多期次运聚^①

王震亮 陈荷立

(西北大学地质学系 西安 710069)

摘要 水动力已经成为盆地分析和油气勘探中的重要内容。由于油气的运聚与成藏作用都是发生于地质历史时期的特定历史事件,要准确分析流体运移特征,就必须首先了解古水动力的演化历史。将压实曲线分析、盆地数值模拟以及流体包裹体测试等方法相结合,可以获得古水动力演化的概况。通过对我国中西部鄂尔多斯、吐哈、准噶尔等含油气盆地的古水动力恢复和研究发现,受盆地后期改造强烈的宏观背景影响,古水动力场的发育和演化往往具有旋回性,具体表现为地层过剩压力幅度随时间的演化呈两个以上增—减—增的序列,流体势平面分布在不同地质时期的演化具有明显差异。由此形成流体在水动力背景下运移、聚集和成藏的多期次特点,具体表现为多期次的排烃作用、油气二次运移聚集的阶段性以及古、今油气藏分布上的差异性。

关键词 旋回性 多期次 古水动力 油气运聚

第一作者简介 王震亮 1966年出生 副教授 博士 盆地流体动力学与油气地质学

中图分类号 P641.2 P618.130 TE122.1 **文献标识码** A

水动力已成为盆地分析中的重要内容之一,在油气运移、聚集、成藏研究中发挥着极其重要的作用。因为水动力是控制油气自源岩排出及在储层/输导层中发生二次(乃至三次)运移和聚集成藏的关键性因素之一^[1],而油气的运聚与成藏作用都是发生于某一特定地质历史时期的事件,所以要准确分析流体运移特征,就必须首先研究古水动力演化史^[2]。一般说来,目前的水动力现状只能代表它经过漫长演化后的结果或特殊状态,而不一定代表深度自上而下(时间由古到今)的演化历史。作者通过对我国中西部鄂尔多斯、吐哈、准噶尔等含油气盆地古水动力的恢复和研究发现,由于盆地演化历史的复杂性和旋回性,原型盆地往往遭受复杂、多变的后期改造作用^[3],古水动力的发展和演化往往具有旋回性,且这种旋回性与盆地的沉积和成岩作用、构造作用以及热流作用存在某种联系,进而形成了流体运移和成藏动力演化的多期性。

1 古水动力资料的获得

目前用于恢复古水动力的途径主要有压实分析法和盆地模拟法^[2],此外对流体包裹体的实际测试亦可得出有关流体成分及流体压力分布的相应信息^[4]。三种方法的基本特点是:

(1) 压实分析法

由于压实作用的不可逆性,由压实曲线经平衡深度法得出的异常流体压力应代表沉积物处于最大埋深

状态时不同地层的压力分布状况。

(2) 盆地模拟法

从形成超压的主要因素出发,注意到流体流动中质量守恒、岩石颗粒骨架不可压缩、地下渗流服从达西定律等前提条件,就可推导出用于计算不同地质历史时期古流体压力的方程。再依一定算法,并选取恰当的参数通过求解一系列微分方程,即可获得古流体压力、古埋深演化历史。

(3) 包裹体温、压测量

目前,通过对有机包裹体加热、冷冻及成分分析,可获得油气藏形成时的温度、压力、油田水性质等参数。尽管目前在包裹体的定时、定年上还存在某些问题,但所获温度、压力数据仍不失为求解古温度、古压力演化史的一个定解或约束条件,从而有助于使模拟出的古状态参数(如古压力)更接近真实情况。

2 古水动力旋回的具体表现

将由上述各途径获得的古水动力加以综合、分析,发现它在演化上有明显的旋回性。

2.1 单井异常高压的演化历史

研究发现,单井异常高压的演化历史主要具有如下特点:从某一地层过剩压力(地下某处的流体压力与该点的静水压力之差)发育史剖面来看,在历史上往往形成了两个或多个过剩压力高峰,每一个高峰由压力的增高和减小两部分组成,构成一个完整的旋回。

比如,鄂尔多斯盆地山西组异常流体压力一般开

^① 国家“九五”重点科技攻关项目 96-110-05-03-03 课题部分成果

收稿日期 2001-05-14 收修改稿日期 2001-08-08

始形成于晚三叠世,大部分井在历史上曾出现过两次明显的过剩压力高峰,分别发育于晚三叠世末与早白垩世末^[5];而在准噶尔盆地西北缘的百65井,自三叠纪开始,异常压力的增长与消减过程共有4个,即三叠纪、侏罗纪、白垩纪—渐新世及中新世至今^[6]。

同样,吐哈盆地内多数地区的西山窑组底部过剩压力在历史上也曾有过两次孕育高峰(图1),第一次高峰自齐古组(J_3q)沉积时开始形成,在喀拉扎组(J_3k)末达到高峰,随后降低;第二次高峰则开始形成于桃树园组($(E_3-N_1)t$)沉积之初,在该组或随后的葡萄沟组(N_2p)沉积末过剩压力幅度最大。研究还发现,盆地边部的一些井通常不发育明显的过剩压力高峰,在地质历史上一直保持静水压力。

据研究,过剩压力孕育史的上述差别,主要与地区间沉积埋藏历史(如沉积速度、岩性岩相展布)的差异有关,后期的构造抬升也在一定程度上影响了压力的封隔条件,从而导致地下水动力的调整。研究发现,当某一地区以沉积作用为主时,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,尤其是发生快速沉积作用时,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、遭受剥蚀,则过剩压力将会逐渐减小,此时断裂、不整合面等都将有利的原有超压体中的压力得到一定程度的释放,有时甚至降至静水压力或略呈负压^[7]。

2.2 平面上水动力的分布演化特点

以流体(水、油、气)势为代表的水动力在不同时期的分布可被划分为若干演化阶段,同一演化阶段内的不同时期之间,流体势的分布保持较大相似性,而在不

同演化阶段之间流体势的分布则存在明显差别。

根据鄂尔多斯盆地中部上古生界三套地层(中上石炭统与下二叠统山西组、下石盒子组)自三叠纪以后不同地质时期的气、水势平面分布特征,可将水动力的演化划分为三叠纪~侏罗纪、早白垩世、晚白垩世至今三个大的阶段^[6]。

准噶尔盆地侏罗系古水动力在不同时期的平面分布也具有类似特点。图2为八道湾组于侏罗纪末与早、晚白垩世末、始新世末、上新世末及现今六个时期的水势分布。由图可见,侏罗纪末高势区位于昌吉一带,车排子—小拐与莫索湾—石南—三个泉一线为两个封闭的低势区;早白垩世末高势区向盆内延伸,没有出现封闭的低势区,仅在盆地边缘水势最低;晚白垩世和渐新世末的水势分布继承了早白垩世时的格局,等势线只有局部的弯曲;上新世末高势区西移,至乌苏与石河子之间,且向陆梁方向伸展,而与之相邻的昌吉和小拐地区则为低势区,现今水势分布表现为东、西两个高势区,由此向北、南等方向降低。根据不同时期的水势分布与演化特征,可将准噶尔盆地侏罗系的水动力演化划分为以下四个阶段:即侏罗纪、早白垩世—渐新世、上新世与现今。

研究发现,图2中高势区在地区分布上的转移,既与构造—沉积格局变化有关,也与成岩演化引起岩石孔、渗条件变化,从而造成的压力封闭条件改变有关,而生、排烃作用引起的孔隙水化学性质的变化(特别是酸性溶液的注入),将导致不同地区、不同成岩期次间次生孔隙的形成和胶结,也势必将影响水动力的形成和保存条件。

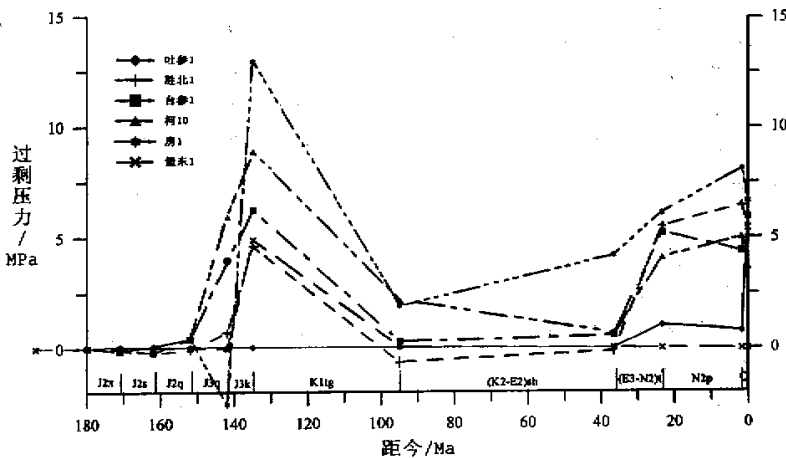


图1 吐哈盆地若干单井的过剩压力演化史曲线

Fig. 1 Curves of the overpressure evolution history of wells in Turpan-Hami Basin

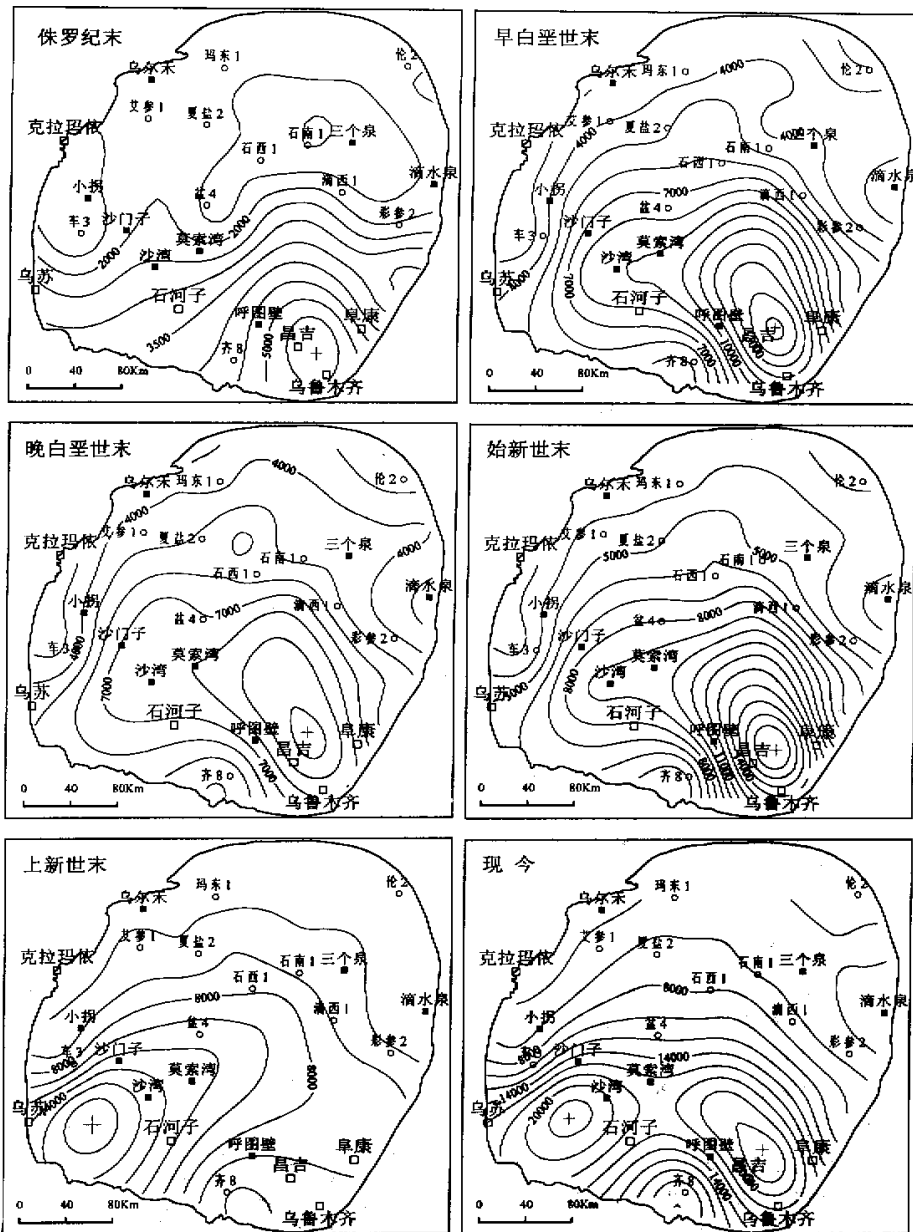


图 2 准噶尔盆地地下侏罗统八道湾组在不同时期的水势分布图(水势单位: m)

2. Distribution diagram of water potential of Badaowan Fm(J_1b) during different geologic periods in Junggar Basin

3 油气的多期次运移聚集

由于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性因素之一,上述古水动力演化的旋回性,必将对油气的运聚、成藏产生一定影响,具体可概括为:

3.1 主排烃期的多期次性

一般认为,一定幅度的过剩压力可作为油气自烃

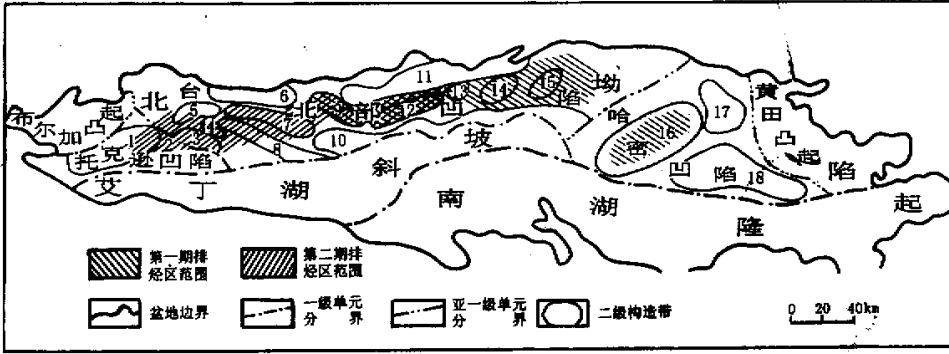
源岩排出的主要动力。某些地层中形成的超压通过种种微渗漏渠道(如微裂缝)向外泄露,经过一定地质时期之后原先的地层压力将逐渐降低直至消失。这样,每一压力高峰分别由增压段和泄压段组成,地质历史上的“泄压”段推测应是源岩的重要排烃期。因为正是由于流体压力的不断增高,才有可能突破由最小主应力和抗张强度组成的岩石围限,从而形成微裂缝系统,促使流体自烃源岩的排出,同时也伴随着地层压力的

降低。

鄂尔多斯盆地中东部上古生界煤系烃源岩,其主排烃期即为晚三叠世末和早白垩世末两个过剩压力高峰之后的泄压时期^[9],且在靖边—榆林一带以早白垩世末为主。

吐哈盆地西山窑组烃源岩的成熟期开始于中、晚侏罗世末,多数地区发育的两个过剩压力高峰分别形

成于晚侏罗世—早白垩世与渐新世至今两个时期(图1),从生油层内的泄压段分布来看,侏罗系烃源岩应具有两个主要的排烃期:一为早白垩世,二为上新世至今。就不同地区而言,盆地东部小草湖次凹、十三间房及哈密地区第一排烃期较第二排烃期意义更大,西部的胜北次凹及托克逊凹陷以第二排烃期更为重要,中部的丘东次凹则两期均较发育(图3)。从平面分布上看,



图中二级构造带代号: 1. 伊拉湖 2. 大墩 3. 雁木西 4. 胜南 5. 肯德克 6. 煤窑沟 7. 胜北 8. 火焰山 9. 丘陵, 10. 七克台, 11. 鄯勒, 12. 温吉桑, 13. 小草湖, 14. 红台, 15. 十三间房, 16. 五堡, 17. 四道沟, 18. 火石镇

图3 吐哈盆地两次主要排烃期的分布范围示意图

Fig. 3 Sketch map of distribution scopes of the twice major expulsion periods in Turpan-Hami Basin

在第一排烃期内,烃源岩最有利的排烃范围位于盆地中东部,而在第二排烃期,这一范围则西移至盆地中西部。

3.2 油、气运聚成藏的阶段性

流体(油、气、水)在其各自的势场内,是由高势区向相邻的低势区运移、聚集并成藏的。由于不同演化阶段间油、气势的分布存在较大变化,油气的运移活动受不同时期的油气运聚系统^[10]分布范围的限制,导致油气运聚、成藏的阶段性。

作者根据准噶尔盆地侏罗系三工河组的气势分布与演化,并结合运聚通道、盖层的区域展布特点,划分了不同时期的天然气运聚—成藏系统,并标出了天然气的运移方向(图4)。具体来说晚侏罗世末,天然气向盆地西北缘、盆参2井—石西1井—石南1井—彩参2井—一线、阜康东北等地区运移,早白垩世末至始新世末,天然气主要由昌吉、沙湾高势区向车—拐、沙门子东北、石西、滴西、阜康东北及石河子—呼2井方向运移,现今则由沙湾以西与昌吉两个高势区指向车—拐、沙门子东北、石西、滴西、阜康东北、石河子—呼2井地区。由此说明,在气势的不同演化阶段,天然气的运移方向具有明显差别。

3.3 古、今油气藏分布的差异性

古油气藏能否被保存至今,与后期流体动力条件

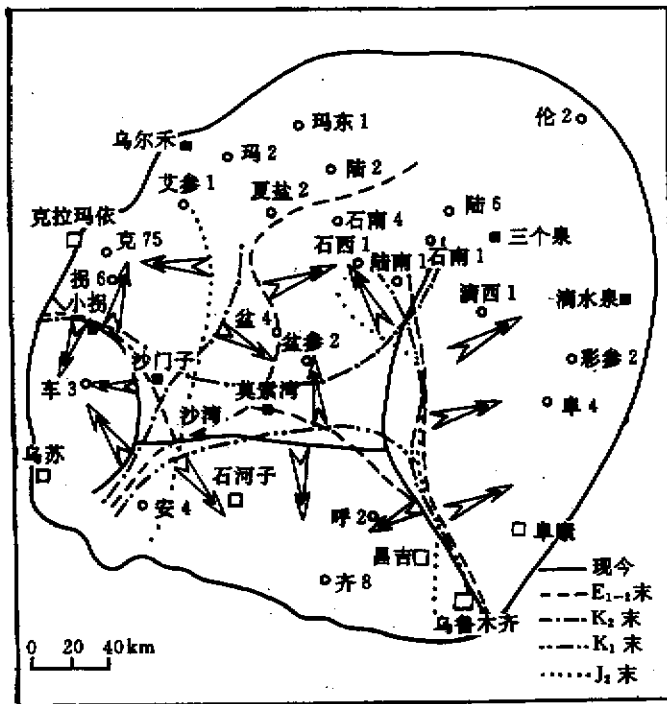


图4 准噶尔盆地三工河组在不同时期的天然气运聚系统界限及运移方向示意图

Fig. 4 Sketch map of limits of gas accumulation systems and migration direction of Sangonghe Fn(J1s) during different geologic periods in Junggar Basin

的变化强度大小或该地区在不同时期油气成藏系统中所处位置的变化有很大关系。

由于中国中西部盆地的后期改造作用强烈,前、后两个地质时期之间的水动力场分布既可带有一定继承性,更可以是剧变的或非继承性的。多变的水动力环境将使得储层/输导层中已有油气藏的油气发生一定程度的再次运移,甚至油气藏被破坏殆尽。

4 讨论

通过对中国西北多个含油气盆地的古水动力分析,发现其演化历程一般具有两个以上的水动力旋回。因而,现今的水动力分布状况不能作为油气过去运移的依据。但长期以来,在研究油气运移、聚集等石油地质问题中,人们仍然习惯用现今的某些参数去分析、认识历史问题。比如,岩石孔隙度—深度曲线及由此换算出的流体压力—深度曲线,能否代表沉积物的压实历史或流体压力的演化历史问题,一直存在争议。一些学者^[11~13]将压实曲线随深度的变化自上而下分为快速压实、稳定压实、突变压实及紧密压实四个阶段,认为这四个阶段代表了地下深处欠压实泥岩的压实历史,甚至以此解释不同时期的地下水动力分布。上述的分析,这些孔隙度、压力只是现今或最大埋深状态下的状况,而不一定能够代表古水动力。中国中西部盆地后期改造作用强烈,水动力作为盆地的一个构成部分,自然随盆地的动态演化而发生某些变化,在演化上具有具有多旋回性。因此,对于中国中西部盆地和东部前第三系盆地来说,应尽可能采取各种方法去恢复古水动力,在此基础上才有论及油气运聚、成藏问题的可能。

5 结论和认识

(1)综合利用盆地数值模拟、压实分析、包裹体温、压测量等方法,可以恢复出盆地在不同地质历史时期的古水动力分布、演化;

(2)由于中国沉积盆地的后期改造作用强烈,前、后两个地质时期之间的水动力场分布既可带有一定继承性,更可以是剧变的或非继承性的,尤以中国中西部含油气盆地为甚。

(3)水动力是控制油气运移、聚集、成藏的关键因素之一,水动力的上述动态、演化特色,势必带来油气的多期次运聚。具体表现在三个方面:一是多期次的排烃作用,二是油气二次运移聚集的阶段性的,三是古、今油气藏分布上的差异性。

本文初稿曾在“全国第四届油气运移学术研讨会”上宣读,会上与许多专家进行了有益的讨论,后经反复

修改,始成此文,特此致谢。

参 考 文 献 (References)

- 李明诚编著.石油与天然气运移(第二版)[M].北京:石油工业出版社,1994.94~95[Li Mingcheng. Migration of oil and natural gas(2nd Edition)[M]. Beijing:Petroleum Industry Publishing House,1994.94~95]
- 王震亮,罗晓容,陈荷立.沉积盆地地下古水动力场恢复[J].西北大学学报(自然科学版),1997,27(2):155~159[Wang Zhenliang, Luo Xiaorong, Chen Heli. Rebuilding of palaeo-hydrodynamics in sedimentary Basins Principles and Means[J]. Journal of Northwest University, 1997,27(2):155~159]
- 刘池阳.后期改造强烈——中国沉积盆地的重要特点之一[J].石油与天然气地质,1996,17(4):255~261[Liu Chiyang. Strong Late-formation One of the important characteristics of sedimentary basins in China[J]. Oil and Gas Geology, 1996,17(4):255~261]
- 施继锡,李本超,傅家谟,刘德汉,彭平安.有机包裹体及其与油气的关系[J].中国科学(B辑),1987,17(3):318~325[Shi Jixi, Li Benchao, Fu Jiamo, Liu Dehan, Peng Pingan. Organic fluid inclusion and its relation to oil and gas[J]. Science in China(Series B),1987,17(3):318~325]
- 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[Wheng Zhenliang, Chen Heli. A Palaeo-hydrodynamic analysis of Upper Palaeozoic Group in Middle Ordos Basin Acta Sedimentologica Sinica, 1998,16(4):103~108]
- 王震亮.改造型盆地流体动力学的发育特点[J].石油与天然气地质,2000,21(1):24~27[Whang Zhenliang. Development characteristics of fluid dynamics in reformed Basins[J]. Oil and Gas Geology, 2000,21(1):24~27]
- 华保钦,林锡祥,杨小梅.鄂尔多斯盆地地下古生界负压气藏及运移[J].沉积学报,1994,11(2):105~113[Hua Baoqin, Lin Xixiang, Yang Xiaomei. The underpressure gas reservoir and gas migration of Ordovician in Ordos Basin[J]. Acta Sedimentologica Sinica, 1994,11(2):105~113]
- 傅家谟,刘德汉主编.天然气运移、聚集及封盖条件[M].北京:科学出版社,1992.73~89[Fu Jiamo, Liu Dehan. Migration, accumulation and trap condition of natural gas[M]. Beijing:Science Press,1992.73~89]
- 王震亮,陈荷立,王飞燕,郑承光.鄂尔多斯盆地中部上古生界天然气运移特征分析[J].石油勘探与开发,1998,25(6):1~4[Wang Zhenliang, Chen Heli, Wang Feiyan, Zheng Chengguang. Migration of gas in Upper Palaeozoic Group, Middle Ordos Basin[J]. Petroleum Exploration and Development, 1998,25(6):1~4]
- 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[Wang Zhenliang, Chen Heli. Preliminary approach to the definition and confirmation of effective pathways for migration and accumulation[J]. Experimental Petroleum Geology, 1999,21(1):71~75]
- 王行信,卢志福.粘土矿物和油气生成的高温高压模拟试验[J].石油勘探与开发,1987,14(6):38~44[Wang Xingxin, Lu Zhifu. High pressure and high temperature simulation of the oil and generation and clay mineral alteration[J]. Petroleum Exploration and Development, 1987,14(6):38~44]

- 12 王新洲,宋一涛,王学军.石油成因与排油物理模拟—方法、机理及应用[M].山东东营:石油大学出版社,1996.209~210 [Wang Xinzhou, Song Yitao, Wang Xuejun. Physical simulation of origin and expulsion of oil-methods, mechanisms and their applications[M]. Dongying Shandong: Shandong Petroleum University Publishing House, 1996. 209~210]
- 13 张厚福,张万选主编.石油地质学[M].北京:石油工业出版社,1989.148~150 [Zhang Houfu, Zhang Wanxuan. Petroleum Geology [M] Beijing: Petroleum Industry Publishing House, 1989. 148~150]

A View on Cycles of Paleo-Hydrodynamics Evolution and Phases of Hydrocarbon Migration and Accumulation

WANG Zhen-liang CHEN He-li

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

Abstract The hydrodynamics has been an important content in basin analysis and petroleum exploration. Before the characteristics of fluid migration and accumulation being studied, evolution history of paleo-hydrodynamics must be restored first of all, because of being as specific history events set in geologically history periods. The outline of paleo-hydrodynamics evolution could be obtained by means of integrating methods of compaction curves analysis, basin numerical modelling and fluid enclosure determining. It is discovered that the development and evolution of paleo-hydrodynamics are of cycles, on the background of cycling evolution of basins, by way of restoring and investigating paleo-hydrodynamics in NW China petroliferous basins. The hydrodynamic cycle is characteristic of evolution of overpressure along with times composed of two or more circulations from increasing to decreasing, and plane distribution of fluid potentials being of several stages in different geologic periods. So the characteristics of fluid migration, accumulation and pool-forming lying on hydrodynamic environments are formed, such as multi-phase of main expulsion, stages of hydrocarbon secondary migration and accumulation, divergence of reservoir distribution between geologic periods and present.

Key words nature of cycles, multi-stages, paleo-hydrodynamics, migration and accumulation of hydrocarbon