

塔里木盆地天然气运聚系统与运聚模式

柳广弟¹ 黄志龙¹ 郝石生¹ 周兴熙²

1(石油大学 北京 100083) 2(石油勘探开发科学研究院 北京 100083)

提 要 对塔里木盆地东部地层压力结构和天然气性质差异的研究表明,塔里木盆地东部具有多个独立的天然气运聚系统。这些运聚系统具有流体封存箱的特征。天然气只能在运聚系统内部进行短距离的运移,不能进行大规模侧向运移。因此天然气藏的形成具有近源的特点。由于不同运聚系统特征的差异,塔里木盆地大致有三种天然气运聚模式。

关键词 天然气 地层压力 油气运移 塔里木盆地

第一作者简介 柳广弟 男 36岁 教授(博士) 石油地质

自从1983年Pratsch^[1]提出油气从生烃盆地中心轴线向上倾方运移的模式以来,从盆地内深凹陷向相邻隆起区的大规模侧向运移就被看成是海相盆地油气运移的基本方式。这一模式也确实符合许多盆地实际情况。但用这一模式去解释塔里木盆地的天然气分布似乎有许多不妥之处,特别是在解释晚期天然气藏的分布上更是矛盾重重。

满加尔凹陷是塔里木盆地的一个主要生油气中心。研究表明该凹陷具有形成油气的物质基础,凹陷面积大,源岩层厚度大,埋藏深,应是盆地中最大的干气气源区,并且其主要的成气期在晚第三纪以后^①。按Pratsch模式预测该凹陷周缘的隆起区应有大量的干气气藏存在。

但事实上,其北翼轮南地区分布的是从成熟至高成熟的一系列气藏,唯独未见过成熟的干气气藏;而其南翼塔中东段产出的天然气热演化程度更低,为低中成熟的腐泥气。再向西北的英买力南区、东河塘和雅克拉地区所产出的气藏气、溶解气与轮南地区的天然气在性质上和成熟度上又都有较大的差异(原油性质差异更大)^②,这种变化多端且无明显规律的天然气分布形式,很难用满加尔凹陷为气源区,向两侧隆起作大规模侧向运移而聚集成藏的模式去解释。研究表明,塔里木盆地绝大多数天然气藏形成较晚,主要集中在晚第三纪以后^②。对盆地压力结构和天然气性质的研究表明,在这一地质时期,塔里木

盆地具有多个相对独立的天然气运聚系统,每个系统都是一个相对独立的成气成藏单元,天然气的分布受这种运聚系统的控制,不同系统之间具有不同的运聚模式。

1 天然气运聚系统

1.1 盆地纵向压力结构特征

压力是控制油气运移最重要的因素之一。而盆地纵横向压力结构是划分油气运聚单元、研究油气运移格局和运移特征最重要的依据之一。塔里木盆地目前勘探程度较高的轮南地区、塔中地区、英买力地区和提尔根地区的纵向压力结构具有明显的差异。

塔北隆起东段轮南地区40余口井RFT、FMT和DST测压资料的统计表明,轮南地区的纵向沉积剖面中存在两个压力突变带(图1)。

图1所示的压力变化趋势表明,在埋深3100~3340m的深度范围内为一个压力突变带。3100m以上地层的压力梯度为1.06MPa/100m,3340m以下地层的压力梯度为1.15MPa/100m,而从3100~3340m这240m厚地层的顶底压差为3.5MPa,压力梯度为1.45MPa/100m,超过了其上覆和下伏地层中的压力梯度,说明这厚240m地层的上下存在着地层压力的不连续。

第二个压力突变带出现在埋深5030~5300m

① 黄第藩,梁狄刚,1995,塔里木盆地油气生成与演化,国家“八五”攻关成果。

② 周兴熙等,1995,塔里木盆地天然气形成条件与分布规律,国家“八五”攻关成果

收稿日期:1996-10-03 收修改稿日期:1997-03-31

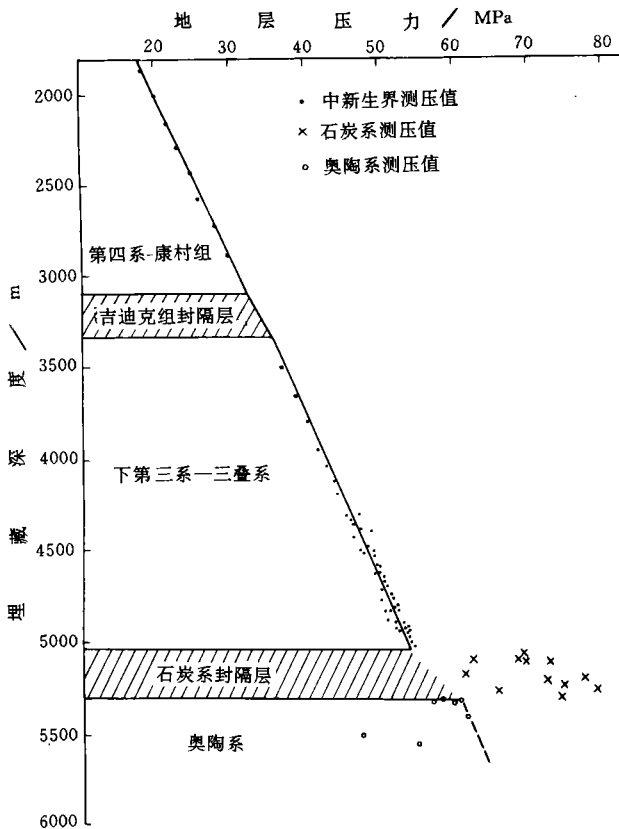


图1 轮南地区实测地层压力与埋深的关系
Fig. 1 Relationship between measured formation pressure and burial depth in the Lunan area

的范围内。此带以上地层的压力梯度为 1.15 MPa/100 m,此带以下地层压力变化比较复杂,似乎不具有统一的压力系统。在该压力突变带内部的地层压力则明显地高于其上覆和下伏地层的压力,表现为明显的异常高压,地层压力的变化范围在 55~80 MPa 之间,且无明显变化规律。这说明突变带中的压力与其上覆和下伏地层的压力系统是明显不连通的。这一压力突变带的存在造成了上下两个压力系统的分隔。

在地层剖面上,与第一个压力突变带相对应的层位是上第三系吉迪克组,而与第二个压力突变带相对应的层位是石炭系。这两套地层即为轮南地区的两个压力封隔层。

轮南地区沉积剖面中的两个封隔层的存在在纵向上将该区中、新生界和古生界分隔为三个互不连通的压力系统。上第三系吉迪克组以上的新生界(大约在埋深 3 100 m 以上)为上部压力系统;吉迪克组以下到石炭系顶界的下第三系和中生界为中部压力

系统;石炭系以下的奥陶系为下部压力系统。

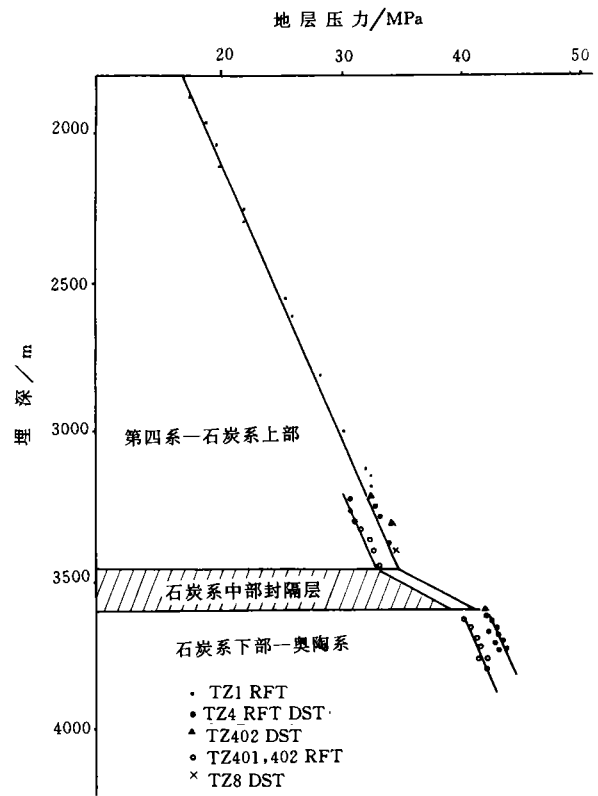


图2 塔中地区东段实测地层压力与埋深的关系
Fig. 2 Relationship between measured formation pressure and burial depth in the Tazhong area

图2为塔中地区东段实测压力与埋深的关系。可以看出,在深度 3 460~3 600 m 层段存在一个极明显的压力突变带。这突变带以上和以下地层的压力梯度均为 1.1 MPa/100 m。而这 140 m 厚的压力突变带顶底界的压差则高达 7.5 MPa,压力梯度达 5.36 MPa/100 m。这一压力突变带在层位上相当于石炭系中下部的泥岩夹双峰灰岩段,即封隔层。3 460 m 以上的上部压力系统为常压带;3 600 m 以下的下部压力系统具有超压的特征。其中上部压力系统的压力系数为 1.0,下部压力系统的压力系数为 1.16。

由于英买力北部地区测压资料不够系统,现有的压力数据表明该区下第三系、中生界及奥陶系内均具有统一的压力系统,该压力系统的压力梯度为 1.13 MPa/100 m。如果将地层水密度取为 1.0 g/cm³,则压力系数为 1.04,呈一种低的超压状态。从该压力系统的压力系数和压力梯度推测,在该压力系统以上必定还存在着另一个具有静水压力特征、压力系数为 1.0 的静水压力带。这两个带的分界

推断与轮南地区相似,为上第三系吉迪组。

提尔根地区的测压资料来自吉迪克组和中生界,表明该带的压力梯度 $1.25\text{ MPa}/100\text{ m}$,压力系数为 1.06 ,亦属低的超压状态。依压力系数和压力梯度推测,在吉迪克组之上还应该存在一个静水压力系统。

从上述分析可以看出,塔里木盆地不同地区的纵向压力结构是不相同的。首先轮南地区存在三个互不连通的压力系统,而塔中、英买力和提尔根地区则只见到两个压力系统。其次,各压力系统在不同地区分布的层位不同。轮南、英买力和提尔根地区的常压带均分布在吉迪克组之上,而塔中地区的常压带除中生界外还包括一部分古生界。英买力地区的中生界和古生界同属一个压力系统,而轮南地区的中生界和古生界分属两个压力系统。第三,静水压力带之下压力系统的压力系数按塔中地区、英买力地区、提尔根地区和轮南地区的顺序依次降低。

从上述三点可以看出塔里木盆地的压力系统不仅在纵向上具有明显的分带性,而且在横向上亦具有明显的分区性,不同地区的压力结构具有显著的差异,相同层位之间或相同深度之间的压力系统互不连通。塔里木盆地压力结构这种纵向分带、横向分区的特点明显地具有流体封存箱的特征^[2]。

1.2 不同聚集区天然气性质

塔里木盆地所发现的天然气在地球化学性质上可以划分为三种主要的类型,即腐泥型高成熟热解气、腐泥型成熟热解气和腐殖型热解气^①。它们的分布亦具有明显的分区性。

腐泥型高成熟热解气主要分布在轮南地区。从母质类型来看,这些气应来自于海相寒武系和奥陶系;从成熟度来看,只有轮南地区寒武—奥陶系源岩的成熟度与天然气的成熟度相匹配,而相邻满加尔凹陷的寒武—奥陶系早已进入过成熟阶段,故此可以排除其来源于相邻满加尔凹陷的可能性。同样轮南地区西侧的哈拉哈塘凹陷的寒武—奥陶系则处于成熟阶段,与轮南地区天然气的成熟度不符。按传统的观点,与凹陷区相邻的隆起区应是油气运移的主要指向,但轮南地区至今尚未发现来源于相邻满加尔凹陷的过成熟气和来源于哈拉哈塘凹陷成熟气的事实说明,在轮南地区与上述两凹陷之间存在着油气运移的屏障。

塔中地区、雅克拉地区和东河塘地区的天然气主要为腐泥型成熟热解气,它们亦来源于寒武—奥

陶系腐泥型母质,但成熟度较轮南地区低。这也与塔中地区和雅克拉地区寒武系和奥陶系的成熟度相当,由此亦可排除它们来源于相邻满加尔凹陷的可能性。

腐殖型热解气主要分布在库车坳陷以及与其邻近的轮台断隆之上的英买力和提尔根地区。这些气来源于库车坳陷的三叠系和侏罗系,而没有南侧北部坳陷气源的混入。这一事实说明这两个地区不属于同一个油气运移单元。

由此可见,在上述地区的天然气藏形成过程中,不同地层的天然气未发生明显的掺混作用,即各区基本上属于一种相对独立的天然气运聚系统。

1.3 天然气运聚系统的划分

塔里木盆地压力结构的纵向分带、横向分区与天然气地球化学性质显示的运移系统的独立性的高度统一表明,二者之间具有成因上的联系,天然气运移系统的独立性受压力系统的分隔性的控制。塔里木盆地压力系统的分隔性与天然气运聚系统的独立性明显地具有流体封存箱的特征。

封存箱的上下封隔层比较容易确定,如轮南地区的上第三系吉迪克组和石炭系,塔中地区石炭系中部泥岩段,在压力剖面上均具有明显的特征。而英买力和提尔根地区中生界及古生界压力剖面的压力系数和压力梯度亦显示出在其上方有压力封隔层的存在。与上下封隔层相比,边部封隔带的确定则困难得多。根据不同地区压力结构的差别及运移系统的独立性推断在塔中地区与满加尔凹陷之间、满加尔凹陷与轮南地区之间、轮南地区与轮台断隆之间以及轮南地区和轮台断隆与雅克拉地区之间均应有边部封隔带的存在。

因此,我们在塔里木盆地东部可初步鉴别出至少有五个封存箱,即轮南封存箱、满加尔封存箱、雅克拉封存箱、塔中封存箱和库车—轮台封存箱。这五个封存箱就是塔里木盆地东部满加尔凹陷周围地区存在的五个相互独立的天然气运聚系统(图3)。

1.4 封存箱边界的地质特征

塔里木盆地东部五个封存箱所形成的五个天然气运聚系统的边界在地质上有明显的特征。库车—轮台封存箱的南界,即其与雅克拉封存箱和轮南封存箱之间的分界位于轮台凸起的脊部,同时在该凸起上还发育了以轮台断裂为特征的新和一轮台断裂

① 周兴熙等,1995.塔里木盆地天然气形成条件及分布规律.国家“八五”攻关成果

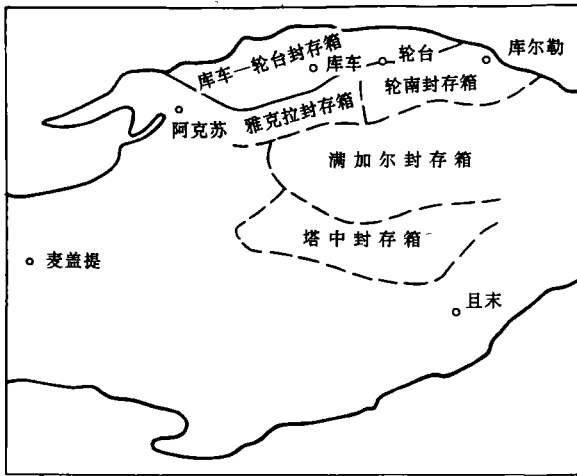


图 3 塔里木盆地东部天然气运聚系统的划分
 Fig. 3 Migration and accumulation systems in the eastern part of Tarim Basin

带^[3]。凸起脊部的高构造位置加上大断裂的封隔形成了上述封存箱间的边界。与此相似,塔中封存箱的南界与此属同一种类型,即以塔中低凸起的脊部为其边界。轮南封存箱与雅克拉封存箱之间的边界属于另一种类型,雅克拉与轮南地区之间为哈拉哈塘凹陷,是一个生油气中心,位于凹陷南北向轴线位置的高势面构成了两封存箱的边界。满加尔封存箱与其周围三个封存箱之间未发现断裂等明显的地质界线,但在满加尔凹陷之中广泛分布有志留系高质量盖层,而在塔中、塔北两隆起上志留系保存很少或被完全剥蚀掉。满加尔封存箱中的志留系盖层对其中的寒武—奥陶系过成熟天然气向两隆起的运移起到了阻挡作用,因此,志留系的分布边界应与满加尔封存箱的边界基本相当。

2 天然气运聚特征与运聚模式

2.1 天然气运聚特征

相对独立的天然气运聚系统的形成对天然气运聚起重要的控制作用。它使天然气的运移规模受到限制。一般情况下天然气只能在运聚系统内部进行侧向运移,而不能进行跨系统的运移。因此某一运聚系统内的气藏其气源只能来自于该系统内部,反之,某一系统内生成的天然气也只能在该系统内运移、聚集形成气藏。这就是为什么满加尔凹陷生成的过

成熟天然气未能聚集在塔中、塔北隆起,而轮台凸起的天然气和与之相邻的轮南地区及雅克拉地区的天然气在性质上截然不同的原因。

可以认为,塔里木盆地东部新生代天然气的运移格局受以流体封存箱为特征的天然气运聚系统的控制。塔里木盆地天然气的运移以运聚系统内部的短距离侧向运移为特征,垂向运移在天然气藏的形成中起重要作用。这就是所谓的近源成藏。

2.2 天然气运聚模式

由于不同运聚单元的规模和地质条件的差异,因而具有不同的运聚特征,大致可以总结为三种模式:

2.2.1 以垂向运移为主的天然气运聚模式

在这种模式中,沿断层和裂缝的垂向运移起主要作用,侧向运移意义不大,油气多沿断裂分布。轮南地区属典型的垂向运移模式。轮南地区油气主要分布在上封存箱内的侏罗—三叠系,而其源岩则位于下封存箱内的寒武—奥陶系,其间有高质量的石炭系封隔层所分隔。从目前下封存箱的实测流体压力来看,靠自身的压力突破石炭系封隔层是不可能的。在地质历史上,由于寒武—奥陶系有机质丰度低,其生烃所形成的内部压力也不大可能造成下封存层的突破,唯一可使下封存箱生成的油气进入上封存箱的通道是那些断开石炭系封隔层沟通上下两

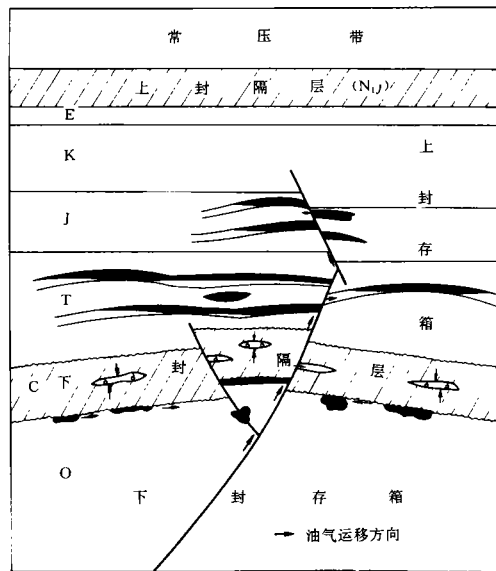


图 4 以垂向运移为主的天然气运聚模式
 Fig. 4 Natural gas migration and accumulation model in which vertical migration is in the leading role

封存箱的断裂。目前上封存箱油气分布与断裂的关系也充分说明了这一点。该区天然气运移的基本特点以沿断裂的垂向运移为特征,然后在断裂附近的圈闭中聚集成藏,同时也可在封隔层之下的下封存箱中聚集成藏(图4)。这种地区形成的天然气藏将以中小型为主。

2.2.2 垂向和侧向运移并重的天然气运聚模式

在这种模式中,系统内生成的天然气既可沿断层和裂缝进行垂向运移在适合的圈闭中聚集成藏,也可以首先通过沿断层和裂缝的垂向运移进入高渗透性地层中,然后在高渗透性地层中进行侧向运移,在适合的圈闭中聚集成藏。塔中地区的天然气运移即属此种模式(图5)。应该指出的是这种侧向运移的规模是有限的,它受封存箱范围的限制。其形成的气藏规模大于轮南那种以垂向运移为主的地区。

2.2.3 以侧向运移为主的天然气运聚模式

目前已发现轮台断隆上的提尔根地区提1井气藏以及英买力地区英买7井、英买9井气藏、红旗气藏和牙哈气藏属这种运聚模式(图6)。这些气藏的气源为库车坳陷的三叠系及侏罗系。坳陷中生成的天然气通过不整合面及渗透性地层以侧向运移的方式运移至凸起之上,在适当的圈闭中聚集成藏。在侧向运移的过程中天然气沿断裂发生垂向运移,形成向上的运移网络,在远离气源区的较新的地层中聚集成藏。这样的单个气藏的规模可能较小,但由于库车坳陷气源丰度高、排气强度大,侧向运移的距离较长,聚气的范围较大,可以形成储量丰富的天然气聚集带。此外在气源区近端形成大型气藏的气源条件会更好,有适当的圈闭,发现储量更大的天然气聚集的机率是很高的。

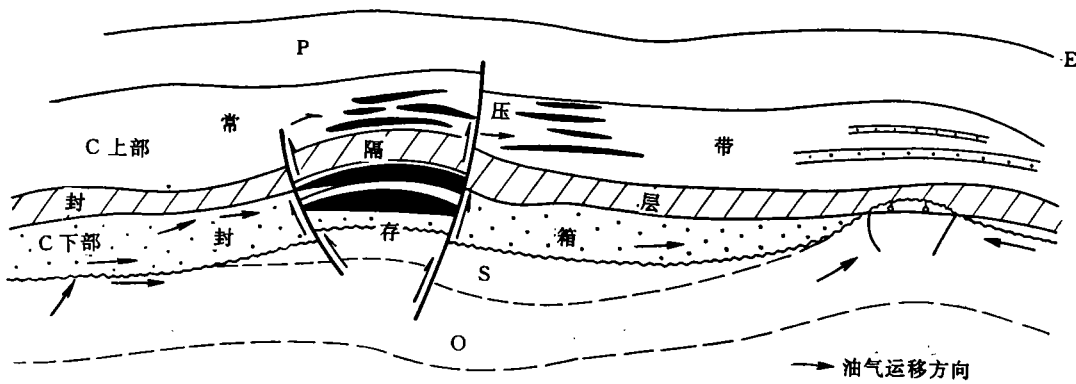


图5 垂向运移与侧向运移并重的天然气运聚模式

Fig. 5 Natural gas migration and accumulation model in are with equal importance

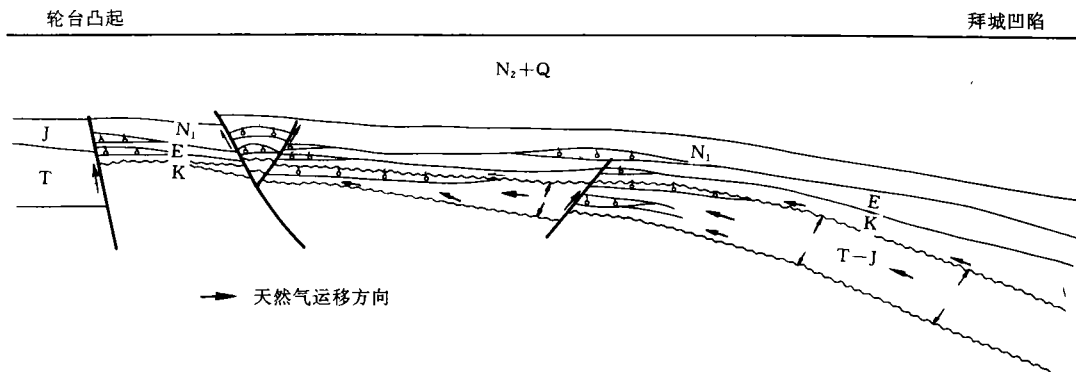


图6 以侧向运移为主的天然气运移模式

Fig 6. Natural gas migration and accumulation model in which lateral migration is in the leading role

3 结论

(1)塔里木盆地纵横向压力结构和不同天然聚集区天然气性质的差异表明,在塔里木盆地东部至少存在五个相互独立的天然气运聚单元。

(2)天然气运聚单元控制着盆地天然气的运移和聚集,使得天然气的运移以运聚单元内部的短距离侧向运移为特征,天然气藏的形成具有近源的特点。

(3)塔里木盆地的天然气具有三种主要的运聚模式,即以垂向运移为主的模式,以短距离侧向运移

为主的模式和垂向运移与侧向运移并重的模式。

参 考 文 献

- 1 Pratsch J C. Gasfield, NW German Basin; Secondary gas migration as a major geological parameter, *Journal of Petroleum Geology*, 1983, 5(3): 229~244
- 2 Hunt J M. Generation and migration of petroleum from abnormally pressured fluid compartment. *AAPG*, 1990, 74(1): 1~12
- 3 冯祺,周东延,康利平等. 塔北隆起新一轮台断裂带断裂构造特征及其控油性. 见董晓光,梁狄刚主编. 塔里木盆地油气勘探论文集. 乌鲁木齐:新疆科技卫生出版社,1992. 267~273

Systems and Models of Natural Gas Migration and Accumulation in Tarim Basin

Liu Guangdi¹ Huang Zhilong¹ Hao Shisheng¹ Zhou Xingxi²

1 (University of Petroleum, Beijing 100083)

2 (Scientific Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing 100083)

Abstract

Based on the studies of structures of formation pressure and the characteristics of natural gas in Tarim Basin, the paper shows that there are several independent natural gas migration and accumulation systems in the eastern part of Tarim Basin. There are no hydrodynamic connections between the systems and the characteristics of natural gas is different in different systems. The migration of natural gas was restricted within the limit of individual system, and the lateral migration across the systems was very difficult. As a result, the natural gas generated in a system could only accumulate within the same system, and this is very important to the occurrence and evaluation of natural gas in the basin. According to different geological conditions in different systems, three kinds of migration and accumulation models have been developed.

Key Words natural gas formation pressure oil and gas migration Tarim Basin