

超压盆地油气垂向运移高度研究

刘震^{1,2)}, 夏鲁^{1,2)}, 王子嵩³⁾, 张旺⁴⁾

1) 中国石油大学油气资源与探测国家重点实验室, 北京, 102249;

2) 中国石油大学地球科学学院, 北京, 102249; 3) 中国石油冀东油田公司, 河北唐山, 063000;

4) 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京, 100029

内容提要:在超压盆地中,当断层活动断开超压烃源岩时,油气会沿断层面发生涌流式垂向运移,这一瞬态涌流过程为油气大规模运聚成藏提供了重要的油气来源。然而,对于油气沿断层垂向运移距离问题的研究,停留在定性分析阶段,较少考虑到断层开启时造成的泄压作用,也很少区分地层水和油气运移距离的差异。本文认为,油气顺断层向上运移的距离主要由源岩超压带内超压幅度决定,油气垂向运移理论高度可由超压幅度折算,因而超压幅度越大,油气垂向运移距离越远,油气上涌顶界面埋深越浅。油气初次上涌的起始位置不是地表面,而是有效烃源岩顶面。另外,由于油气的大量上涌,超压带快速泄压,大部分油气上涌实际距离不能达到理论上涌的最大距离。同时,考虑到沿断层运移时受到阻力作用,油气实际上垂向运移高度远远小于理论运移高度。

关键词:超压;断层;水头;起始位置;垂向运移高度

在世界范围内已知有 180 个沉积盆地发育超压地层,其中超压带与油气分布有成因联系的沉积盆地约 160 个(Du Xu et al., 1995)。沉积盆地中超压研究已成为石油地质研究中不可缺少的部分。近年,国内外学者对于超压与油气运移聚集的关系作了深入的研究。Hunt(1990)探讨了流体压力封存箱与油气的关系,Leach 统计了美国湾岸区 25204 口井的油、气、水产量与超压的关系得出,超压盆地中油气主要富集于超压顶面上下 300m 附近(Tian Shicheng et al., 2004)。Bethke et al. (1991)认为压力驱动是流体活动和油气运移的重要动力。Law et al. (1998)发现油气生产随压力的增大而下降,并且油气产层均分布于一定压力梯度范围内 Hao Fang et al. (2003, 2004, 2006)论述了超压盆地油气幕式快速成藏机理并根据瞬态流体流动的周期性和流体流动的诱发机制,瞬态流体流动可分为幕式流动和事件型流动。Liu Zhen et al. (2005)通过对济阳坳陷地温-地压系统特征及其对油气藏分布的控制作用分析发现,高压型复式温-压系统促使与断层有关的油气藏富集在中浅层,油气垂向运移动力强,低压型复式温-压系统造成与断裂有关的油气藏可

以发育在相对深层,油气垂向运移动力弱。Liu Jingdong et al. (2010)通过对东濮凹陷濮卫地区地层压力的纵向分布特征进行分析,认为异常高压为油气初次和二次运移的主要动力,垂向上泥砂压力差促进油气的初次运移,在剩余压力差的作用下,油气近距离运移并围绕洼陷中心区呈环状分布。由此可见,在沉积盆地中超压可以为流体运移提供额外的动力(Neuzil, 1995; Lee et al., 2000; Xu Xinde et al., 2014)。除了超压对油气运聚的影响,超压的成因与演化及其对孔隙度的影响也是国内外研究的热点(Zhang Qiming et al., 2000; Lahann et al., 2011; Tingay et al., 2013; Nguyen et al., 2013; Liu Yifeng et al., 2016)。

关于断层输导能力的研究, Sibson(1975)应用“地震泵”模式来解释含矿热液的运移过程,认为含矿热液是通过较深古断裂呈幕式输导的,沿断层带运移至具较低正应力的张裂隙中,并指出地震泵作用有利于油气在构造活动区运移。Hooper(1991)认为,通常流体沿断层运移是一个幕式流动过程,该过程与断裂活动期次和性质密切相关,且流动速度较快,释放出的流体赋存于断裂上部的储层之中。

注:本文为国家油气专项(编号 2011ZX05001-001-04)资助成果。

收稿日期:2015-04-30;改回日期:2016-06-22;责任编辑:周健。

作者简介:刘震,男,1963年生。教授,博士生导师,矿产普查与勘探专业,主要从事石油地质学与教学工作。Email:liuzhenjr@163.com。通讯作者:夏鲁,男,中国石油大学(北京),地质资源与地质工程专业,在读博士研究生。Email:xialu999@126.com。

Zou Huayao et al. (1999) 讨论了断层对油气二次运移的影响并提出油气沿断层向上运移有两种途径:一是断层在活动过程中沿断层面可产生裂缝,形成运移通道;二是如果断层横向上是开启的,油气可沿断层面两侧连通的渗透性砂岩呈“之”字形途径向上运移。Jiang Zhenxue et al. (2005) 在研究油气优势运移通道中,指出油气在沿断层面运移,遵循沿最大流体势降低方向和最小阻力的路径上运移并提出了断面优势运移通道的概念。其他很多学者也通过研究指出断层是石油和天然气运移的重要通道,其输导能力受到构造活动性、流体性质、流动方式等多种因素的影响(Meng Qi'an et al., 2014; Su Ming et al., 2014; Xu Xinde et al., 2014; Liu Weimin et al., 2015; Zhang Shaohua et al., 2015; Fu Xiaofei et al., 2016)。

显然,前人的研究主要关注了沉积盆地超压带形成机理和流体流动机制等问题,但在超压盆地中油气沿断层垂向运移距离大小问题的研究一直比较薄弱,对油气上涌的高度考虑较少,对超压在涌流时的快速泄压因素考虑也不够。本文从盆地实际油气成藏基本模型入手,提出了超压流体沿断层垂向运移距离的新观点,对于超压盆地油气分布层位预测具有指导意义。

1 “超压—断层瞬态涌流”垂向距离定量模型

在构造活动活跃期,断层活动强烈,有些断层可以断至超压烃源岩发育层位。此时,超压流体沿断层面快速上涌,油气也随之向上运移。但是因为超压幅度和超压带规模有限,随着流体涌出,过剩压力逐渐减小,压力差只能使油气上涌到某一高度。对于油气上涌高度的研究,本文提出了“超压-断层瞬态涌流”垂向距离的定量分析模型。在传统超压油气运聚动力学研究中引入了水头理论,将地层过剩压力折算成水头高度。由于水头概念是水文地质学范畴,大多考虑近地表条件,故超压折算的水头高度通常从地表面开始度量。后来水头概念引入油气运移研究中来,出现油头概念,自然地容易将折算油头也从地表面算起,这一点前人考虑不多。另外,通常假设运移过程中超压作用提供的动力恒定,认为断层开启时在超压驱动下油气大量涌出,未考虑泄压作用。该假设与实际地质条件是不完全相符的,本文考虑到断层开启时超压带快速泄压这一实际情况,讨论了新的流体上涌距离模型。

1.1 经典水头理论与流体垂向运移距离

Hubbert(1941, 1953)最早把流体势的概念引入油气运移中,用来描绘地下流体的运移规律,地层中某点流体的势可以看作是从基准面升举单位质量流体到该面之上高度 H 所作的功。实际中一般用与势等价的水头来表示,水头便是对单位重量流体所作的这种功,用水头作出的等值线图可以表示起伏的水势以及流体的运动趋势。后来 Dahlberg (1982) 采用水头理论导出了相对流体势分析法,并比较系统地论述了如何运用该方法研究油气运移。然而,断层开启后流体通过的定量计算仍是油气运移领域尚待解决的重大问题(Li Mingcheng, 2000)。经典水头理论认为(图 1),如果断裂在构造活动期断开超压带并断至地表,流体沿断层上涌,通常未考虑超压带内超压值的变化。超压带内地层水在超压作用下向上涌流距离为折算水头 $H_{w折}$ 。

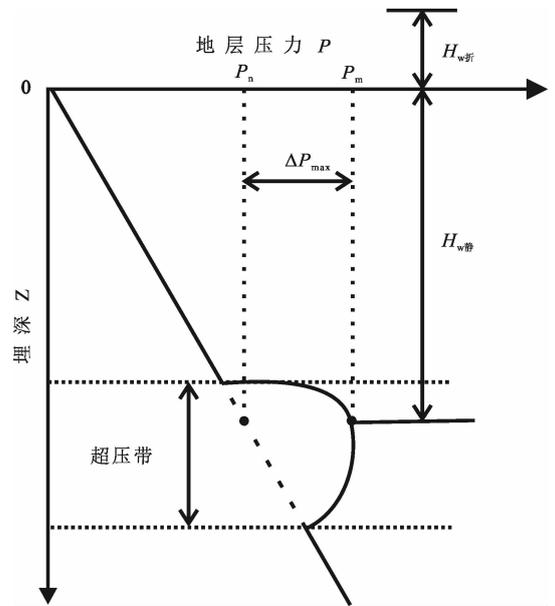


图 1 经典水头理论与流体垂向运移高度

Fig. 1 Classical theory of water head and the height of vertical migration for fluid

如图 1 所示,超压带超压幅度最大点的过剩压力 ΔP_{max} 为:

$$\Delta P_{max} = P_m - P_n \quad (1)$$

式中 P_m 为超压幅度最大点处的地层压力(Pa), P_n 为超压幅度最大处对应的静水压力(Pa)。

总水头 H_w 为:

$$H_w = \frac{P_m}{\rho_w \cdot g} \quad (2)$$

式中 H_w 为总水头(m), ρ_w 为地层水平平均密度(kg/m^3), g 为重力加速度(m/s^2)。总水头包括静水头 $H_{w静}$

和折算水头 $H_{w折}$, 即:

$$H_w = H_{w静} + H_{w折} \quad (3)$$

显然折算水头 $H_{w折}$ 由过剩压力决定, 即:

$$H_{w折} = \frac{\Delta P_{max}}{\rho_w \cdot g} \quad (4)$$

但是, 由于水头理论只强调了流体的运移能力, 而没有考虑具体的运移方式。因此, 水头仅仅是运移距离的潜在能力, 而不是实际距离, 对于流体垂向运移距离需要进一步讨论。

1.2 实际地层“超压-断层瞬态涌流”垂向距离分析

虽然断层的活动属于地质历史中的突发性事件, 但是断层的形成都是源于裂隙的递进发展(Lu Xuesong et al., 2004), 同时异常高压流体的存在可以造成水力破裂, 诱发裂隙及断裂产生, 形成由断裂和裂缝组成的运移通道(Liu Zhen et al., 2006)。超压带断层的发育遵循渐变过程。由能量守恒和物质守恒的观点来看, 超压带流体沿断层排出, 是超压带流体势能转化为流体动能最终再转化为流体的位能, 而伴随能量的转化, 超压带超压流体沿断层纵向上再分配。

首先, 与地层水不同, 断层产生的油气初次上涌的起始位置应该是已成熟烃源岩的顶界面, 而不是地表面(图2)。油头高度(与水头高度类似, 指测点

高程与测点静油柱高度之和)究竟从什么位置开始算起, 前人未有详细讨论, 只是套用了水头概念, 折算油头高度(即超压带内的油在超压作用下向上涌流距离)容易受折算水头影响。其次, 在断层断开瞬间, 纵向上运移空间的急剧增加, 超压带内超压油气快速向断裂带排出, 此时超压带不能维持稳定超压, 压力快速下降, 致使下段油气上涌距离达不到理论折算高度, 而上段地层水自然达不到理论水头高度, 即水的上涌面低于理论水头高度, 油气实际上涌距离低于理论上涌顶界面。最后, 超压流体在沿断层上涌的过程中还要受到阻力的作用, 导致超压势能无法全部转化为位能, 这也是超压流体达不到理论上涌顶界面的重要原因之一。

伴随超压带流体势能恢复静水状态, 超压油气沿断层释放完毕, 异常流体压力系统边缘存在着油气运移由超压驱动向浮力驱动的过程。在油源断层附近的输导层内经历了短暂停留和聚集后, 油气在自身浮力驱动下发生继续运移(Wang Jianwei et al., 2007), 但运移速度非常缓慢。

2 垂向运移高度控制油气分布层位

断裂构造运动是地层流体运移的主要原因, 而发生在超压烃源岩排烃阶段的断裂构造活动, 为油

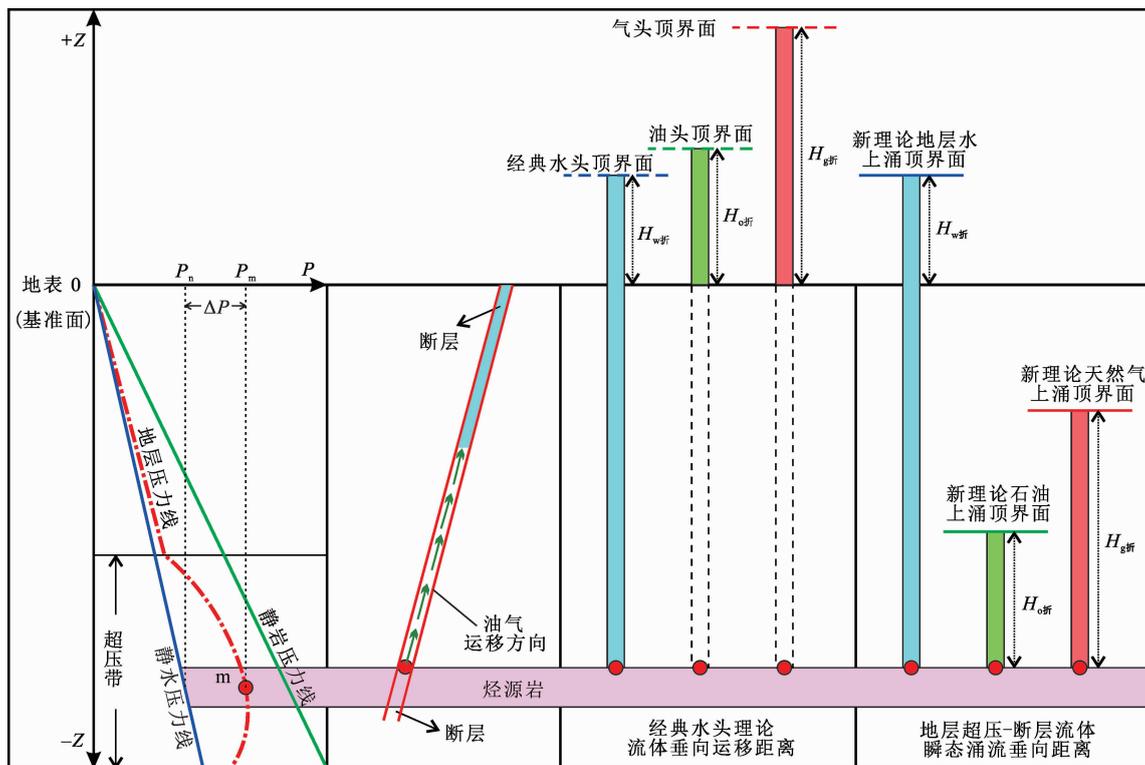


图2 地层“超压-断层瞬态涌流”垂向距离示意图

Fig. 2 Schematic diagram of vertical distance of “overpressure-fault transient inrush” in geologic condition

气的垂向运移提供了优势运移通道。超压带油气沿断层垂向运移的高度远远小于水头面的高度,大量超压带油气分布于超压顶面附近不太远的层位。这就解释了为什么并非所有断至地表的断层都能见到油气苗。实际盆地可能发生多次断裂活动,每一次涌流油气应在上一次实际上涌高度继续向上运移,故多次断裂活动油气运移高度是每一次涌流高度的叠加。油气可能经历多次断裂活动后才到达地表面。

琼东南盆地是我国南海海域内的一个超压盆地,其油气分布层位与垂向运移高度关系密切。要确定超压流体沿断层的垂向运移高度,必须求取准确的地层压力。为了得到精确的低频速度模型,笔者采用了地质层位约束和低频滤波处理的方法(Guo Zhifeng et al., 2012),然后选取合适的压力预测模型计算出准确的过剩压力(Liu Zhen et al., 1993)。盆地内资源丰富,石油主要来自于 T80 和 T100 之间的地层,而游离气主要来自于 T70 和 T80 之间的地层,故油气涌流理论高度是根据最大过剩压力从这两套地层的中心线往上折算的(图 3 和图 4)。

琼东南盆地南部断陷主力烃源岩发育高幅度超压,垂向运移高度较大(图 3),故油气分布层位较浅。在地质演化过程中,油气涌流顶界面逐渐增高,游离气顶界面始终高出地表,而石油在 5.5Ma 以后才由局部开始慢慢高出地表。23Ma 时石油顶界面主要位于 T70 附近,到 10.5Ma 已经比较靠近 T60。在 5.5Ma 时石油顶界面主体超过地表,小部分位于 T50 和 T30 之间的地层内。现今的石油顶界面继续上移,全部高出地表。现今天然气(游离气)的理论运移顶界远远高于石油的理论运移高度。琼东南盆地多口深水探井在中浅层的储层中主要钻遇天然气,而极少见到液态石油,特别是最近在陵水凹陷莺歌海-黄流组(T40—T30)的中央水道中发现重要的浅层岩性天然气藏。该钻探结果表明油气垂向运移存在差异性。

琼东南盆地北部断陷发育低幅度超压,油气垂向运移理论高度明显较小(图 4)。游离气顶界面在 10.5Ma 之前主要位于 T70 和 T60 之间,之后逐渐进入 T60 以上地层,5.5Ma 时在断陷中部超出地表,现今中部单峰高度高出海底,两侧主要位于 T70 和 T50 之间的地层内。石油顶界面在 5.5Ma 之前介于 T80 和 T60 之间,现今仅中部微型隆起超过 T60 界面。这一计算结果与本断陷已钻探若干井均在新近系未发现油气的结果一致。

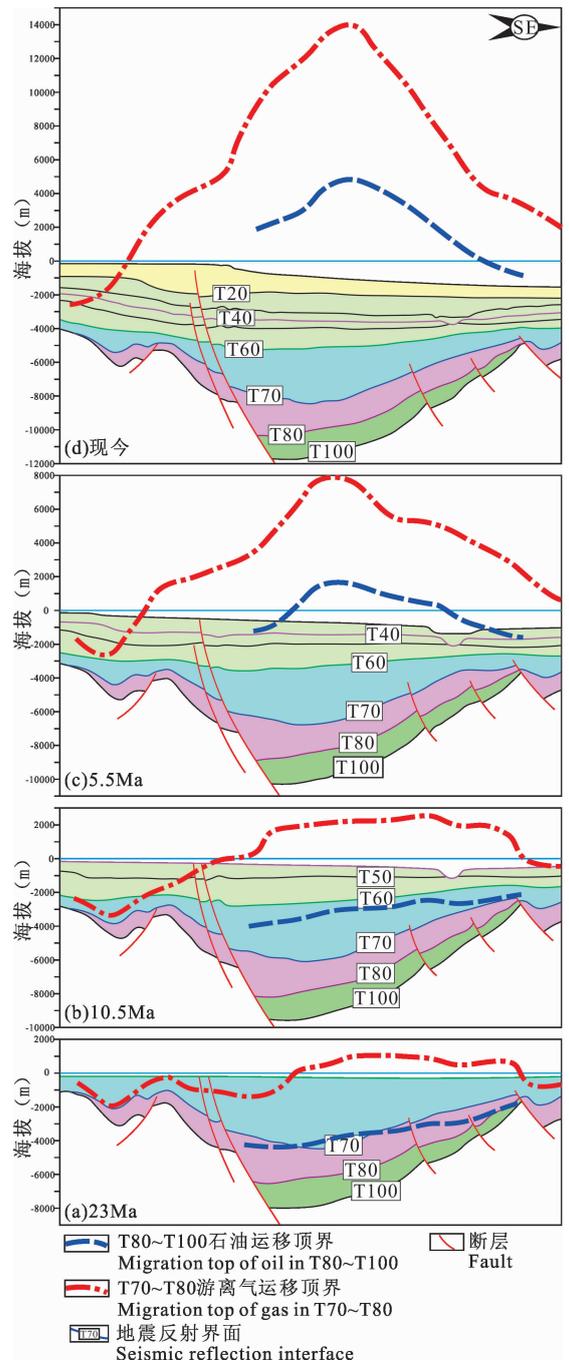


图 3 琼东南盆地南部高幅超压断陷油气涌流理论高度位置剖面图

Fig. 3 Profile of theoretical height of hydrocarbon inrush in south fault depression with high overpressure, Qiongdongnan Basin

3 结论

(1) 断层开启时,超压油气垂向运移高度应由烃源岩超压幅度决定。成藏期断层活动连通超压烃源岩时,超压幅度越大,油气垂向运移距离越远。

(2) 油气初次涌流时起始位置应从生烃灶顶面

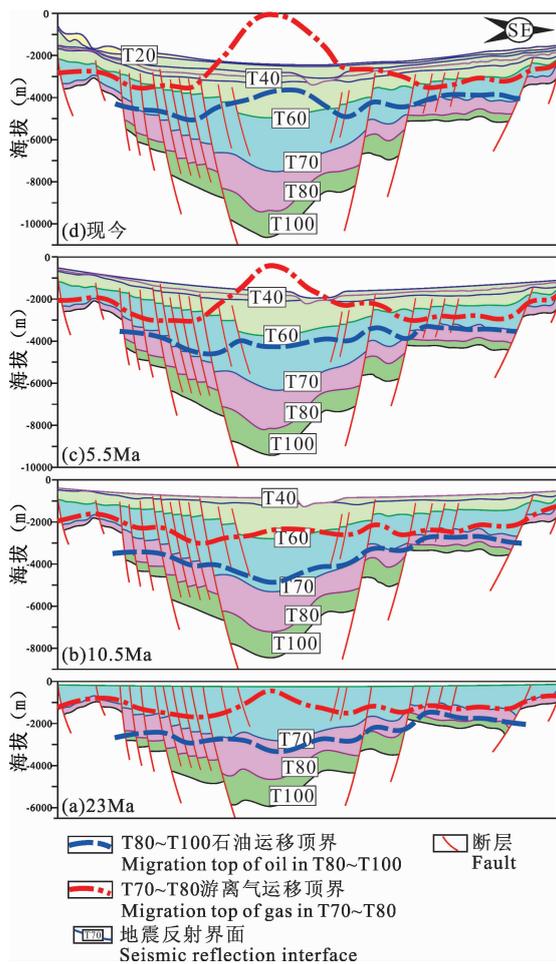


图4 琼东南盆地北部低幅超压陷油气涌流理论高度位置剖面图

Fig. 4 Profile of theoretical height of hydrocarbon inrush in north fault depression with low overpressure, Qiongdongnan Basin

算起,而不是像折算水头那样从地表面算起。

(3)超压在断层开启时发生泄压,同时断层垂向通道存在阻力,故油气垂向运移距离小于理论运移高度。因此,单次断裂开启造成的涌流高度可能比较小,难以达到地表;但多次断裂活动产生的涌流高度叠加有可能使油气到达地表。

References

Bethke C M, Reed J D, Oltz D F. 1991. Long-range petroleum migration in the Illinois basin. *AAPG Bulletin*, 75(5): 925~945.

Dahlberg E C. 1982. *Applied Hydrodynamics in Petroleum Exploration*. New York: Springer-Verlag.

Du Xu, Zheng Hongyin, Jiao Xiuqiong. 1995. Abnormal pressure and hydrocarbon accumulation. *Earth Science Frontiers*, 2(3/4): 137~148 (in Chinese with English abstract).

Fu Xiaofei, Xu Meng, Liu Shaobo, Zhou Qingong, Meng Lingdong.

2016. Interior structure of fractures in the tight sandstone-gypsum mudstone (reservoir caprock combinations) in the Kuqa depression, Tarim basin, and its significance in gas reservoir accumulation. *Acta Geologica Sinica*, 90(3): 521~533 (in Chinese with English abstract).

Guo Zhifeng, Liu Zhen, Lü Rui, Liu Guochang, Zhang Gongcheng, Shen Huailei. 2012. Predrill prediction of formation pressure using seismic data in deep-water area of Baiyun depression, northern South China Sea. *Oil Geophysical Prospecting*, 47(1): 126~132 (in Chinese with English abstract).

Hao Fang, Zou Huayao, Yang Xusheng, Wang Minfang. 2003. Episodic petroleum accumulation, its driving mechanisms and distinguishing markers. *Scientia Geologica Sinica*, 38(3): 403~412 (in Chinese with English abstract).

Hao Fang, Zou Huayao, Fang Yong, Zeng Zhiping. 2004. Overpressure-fault controlled fluid flow and episodic hydrocarbon accumulation. *Acta Petrolei Sinica*, 25(6): 38~47 (in Chinese with English abstract).

Hao Fang, Zou Huayao, Gong Zaisheng, Fang Yong. 2006. The material and energy effects of neotectonics/late-stage tectonics and petroleum accumulation. *Acta Geologica Sinica*, 80(3): 424~431 (in Chinese with English abstract).

Hooper E C D. 1991. Fluid migration along growth faults in compacting sedimentary basins. *Jour. Petrol. Geol.*, 4(2): 161~180.

Hubbert M K. 1941. Motion of ground water. *Transactions of the New York Academy of Sciences*, 3(3 Series II): 39~55.

Hubbert M K. 1953. Entrapment of petroleum under hydrodynamic conditions. *AAPG Bulletin*, 37(8): 1954~2026.

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

Jiang Zhenxue, Pang Xiongqi, Zeng Jianhui, Wang Hongyu, Luo Qun. 2005. Research on types of the dominant migration pathways and their physical simulation experiments. *Earth Science Frontiers*, 12(4): 507~516 (in Chinese with English abstract).

Lahann R W, Swarbrick R E. 2011. Overpressure generation by load transfer following shale framework weakening due to smectite diagenesis. *Geofluids*, 11(4): 362~375.

Law B E, Spenser C W. 1998. Abnormal pressures in hydrocarbon environments. *AAPG Memoir*, 70: 1~11.

Lee M K, Williams D D. 2000. Paleohydrology of the Delaware basin, western Texas; overpressure development, hydrocarbon migration, and ore genesis. *AAPG Bulletin*, 84(7): 961~974.

Li Mingcheng. 2000. An overview of hydrocarbon migration research. *Petroleum Exploration & Development*, 27(4): 3~10 (in Chinese with English abstract).

Liu Jingdong, Jiang Youlu, Gao Ping. 2010. Evolution of formation pressure and its relationship with hydrocarbon migration and accumulation in puwei area, dongpu depression. *Journal of China University of Petroleum (Edition of Natural Science)*, 34

- (5): 25~37 (in Chinese with English abstract).
- Liu Weimin, Tao Keyu, Gao Xiuwei, Wang Ming, Abduali Rixit, Cao Jian. 2015. Long-distance hydrocarbon migration and accumulation models and key controls in petroliferous basin. *Geological Review*, 61(3): 621~633 (in Chinese with English abstract).
- Liu Yifeng, Qiu Nansheng, Xie Zengye, Yao Qianying, Zhu Chuanqing. 2016. Overpressure compartments in the central paleo-uplift, Sichuan Basin, southwest China. *AAPG Bulletin*, 100(5): 867~888.
- Liu Zhen, ZhangWanxuan, Zhang Houfu, Deng Zuyou. 1993. An analysis of abnormal formation pressure of Paleogene in the north sag of Liaoxi depression. *Acta Petrolei Sinica*, 14(1): 14~23 (in Chinese with English abstract).
- Liu Zhen, DaiLichang, Zhao Yang, Xu Xiaoming, Zhang Shanwen, Cai Jingong. 2005. Characteristics of geotemperature-pressure systems and their controlling functions on pools' distribution in the Jiyang depression. *Scientia Geologica Sinica*, 40(1): 1~15 (in Chinese with English abstract).
- Liu Zhen, Zhao Yang, Du Jinhu, Xiao Wei, Jin Bo, Xu Xiaoming, Liang Quansheng, Hao Qi. 2006. Characteristics of "multi-factor controlling and key-factor enterapping" of formation and distribution of lithologic petroleum reservoirs in continental rift basin. *Scientia Geologica Sinica*, 41(4): 612~635 (in Chinese with English abstract).
- Lu Xuesong, Jiang Youlu, Wu Wei. 2004. Petroleum geology and recovery efficiency. *Petroleum Geology and Recovery Efficiency*, 11(6): 7~9 (in Chinese with English abstract).
- Meng Qi'an, Zhao Bo, Liang Hongping, Sun Guoxin, Peng Jianliang, Baoli, Li Yingshuang, Huo Liming, Ma Yongyi. 2014. Hydrocarbon accumulation factors of the slope area outside of source area: a case study of west slope area in northern Songliao Basin. *Acta Geologica Sinica*, 88(3): 433~446 (in Chinese with English abstract).
- Neuzil C E. 1995. Abnormal pressures as hydrodynamic phenomena. *American Journal of Science*, 295(6): 742~786.
- Nguyen B T T, Jones S J, Goult N R, Middleton A J, Grant N, Ferguson A, Bowen L. 2013. The role of fluid pressure and diagenetic cements for porosity preservation in Triassic fluvial reservoirs of the Central Graben, North Sea. *AAPG Bulletin*, 97(8): 1273~1302.
- Sibson R H. 1994. Crustal stress, faulting and fluid flow. In: Parnell J, ed. *Geofluids: Origin, Migration and Evolution of Fluids in Sedimentary Basins*. Geological Society Special Publication, 78: 69~84.
- Su Ming, Yangrui, Wu Nengyou, Wang Hongbin, Liang Jinqiang, Sha Zhibin, Cong Xiaorong, Qiao Shaohua. 2014. Structural characteristics in the Shenhu area, northern continental slope of South China sea, and their influences on gas hydrate. *Acta Geologica Sinica*, 88(3): 318~326 (in Chinese with English abstract).
- Tian Shicheng, Chen Yongjin, Shi Fengcheng, Liu Chuanhu. 2004. The function of abnormal pressure compartment in hydrocarbon accumulation. *Earth Science Frontiers*, 11(3): 283~284 (in Chinese with English abstract).
- Tingay M R, Morley C K, Laird A, Limpornpipat O, Krisadasima K, Pabchanda S, Macintyre H R. 2013. Evidence for overpressure generation by kerogen-gas maturation in the northern Malay Basin. *AAPG Bulletin*, 97(4): 639~672.
- Wang Jianwei, Song Guoqi, Song Shujun, Wang Xinzhen, Han Zhongyi, Zhao Mifu. 2007. Transformation of driving mechanism for the second petroleum migration and its significance in petroleum geology—Taking the Niuzhuang sag as an example. *Acta Geologica Sinica*, 81(10): 1423~1431 (in Chinese with English abstract).
- Xu Xunde, Zhang Yingzhao, Pei Jiangxiang, Li Li, Gan Jun, Xiong Xiaofeng. 2014. Gas accumulation models and exploration strategy for high quality natural gas in the Dongfang area. *Acta Geologica Sinica*, 88(5): 956~965 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Qiming, Dong Weiliang. 2000. Overpressure system of hydrocarbon-bearing basins in China. *Acta Petrolei Sinica*, 21(6): 1~11 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Shaohua, Yang Minghui, Luo Xiaohua. 2015. Hydrocarbon episodic migration in fault zones: Insight from physical simulation experiments. *Geological Review*, 61(5): 1183~1191 (in Chinese with English abstract).
- Zou Huayao, Jin Yan, Huang Guanghui. 1999. Fault sealing and its influence on petroleum migration and accumulation. *Journal of Jiangnan Petroleum Institute*, 21(1): 9~17 (in Chinese with English abstract).

参 考 文 献

- 杜翔, 郑洪引, 焦秀琼. 1995. 异常压力与油气分布. *地学前缘*, 2(3/4): 137~148.
- 付晓飞, 徐萌, 柳少波, 卓勤功, 孟令东. 2016. 塔里木盆地车场坳陷致密砂岩—膏泥岩储盖组合断裂带内部结构及与天然气成藏关系. *地质学报*, 90(3): 521~533.
- 郭志峰, 刘震, 吕睿, 刘国昌, 张功成, 沈怀磊. 2012. 南海北部深水区白云凹陷钻前地层压力地震预测方法. *石油地球物理勘探*, 47(1): 126~132.
- 郝芳, 邹华耀, 杨旭升, 王敏芳. 2003. 油气幕式成藏及其驱动机制和识别标志. *地质科学*, 38(3): 403~412.
- 郝芳, 邹华耀, 方勇, 曾治平. 2004. 断—压双控流体流动与油气幕式快速成藏. *石油学报*, 25(6): 38~47.
- 郝芳, 邹华耀, 龚再升, 方勇. 2006. 新(晚期)构造运动的物质、能量效应与油气成藏. *地质学报*, 80(3): 424~431.
- 姜振学, 庞雄奇, 曾澹辉, 王洪玉, 罗群. 2005. 油气优势运移通道的类型及其物理模拟实验研究. *地学前缘*, 12(4): 507~516.
- 李明诚. 2000. 石油与天然气运移研究综述. *石油勘探与开发*, 27(4): 3~10.
- 刘景东, 蒋有录, 高平. 2010. 东濮凹陷濮卫地区地层压力演化及其与油气运聚的关系. *中国石油大学学报(自然科学版)*, 34(5): 25~37.
- 刘卫民, 陶柯宇, 高秀伟, 王明, 阿布都外里·热西提, 曹剑.

2015. 含油气盆地远距离成藏模式与主控因素. 地质论评, 61(3): 621~633.
- 刘震, 张万选, 张厚福, 邓祖佑. 1993. 辽西凹陷北洼下第三系异常地层压力分析. 石油学报, 14(1): 14~23.
- 刘震, 戴立昌, 赵阳, 许晓明, 张善文, 蔡进功. 2005. 济阳坳陷地温—地压系统特征及其对油气藏分布的控制作用. 地质科学, 40(1): 1~15.
- 刘震, 赵阳, 杜金虎, 肖伟, 金博, 许晓明, 梁全胜, 郝琦. 2006. 陆相断陷盆地岩性油气藏形成与分布的“多元控油—主元成藏”特征. 地质科学, 41(4): 612~635.
- 鲁雪松, 蒋有录, 吴伟. 2004. 对断层开启机制的再认识. 油气地质与采收率, 11(6): 7~9.
- 蒙启安, 赵波, 梁江平, 孙国昕, 彭建亮, 包丽, 李迎霜, 霍丽明, 马永义. 2014. 源外斜坡区油气成藏要素研究——以松辽盆地北部西部斜坡区为例. 地质学报, 88(30): 433~446.
- 苏明, 杨睿, 吴能友, 王宏斌, 梁金强, 沙志彬, 丛晓荣, 乔少华. 2014. 南海北部陆坡区神狐海域构造特征及对水合物的控制. 地质学报, 88(3): 318~326.
- 田世澄, 陈永进, 施凤成, 刘传虎. 2004. 异常压力封存箱在油气成藏中的作用. 地学前缘, 11(3): 283~284.
- 王建伟, 宋国奇, 宋书君, 王新征, 韩忠义, 赵密福. 2007. 油气二次运移的驱动机制转换及其石油地质学意义——以牛庄洼陷及其南缘为例. 地质学报, 81(10): 1423~1431.
- 徐新德, 张迎朝, 裴健翔, 李里, 甘军, 熊小峰. 2014. 莺歌海盆地东方区天然气成藏模式及优质天然气勘探策略. 地质学报, 88(5): 956~965.
- 张启明, 董伟良. 2000. 中国含油气盆地中的超压体系. 石油学报, 21(6): 1~11.
- 张少华, 杨明慧, 罗晓华. 2015. 断裂带油气幕式运移: 来自物理模拟实验的启示. 地质论评, 61(5): 1183~1191.
- 邹华耀, 金燕, 黄光辉. 1999. 断层封闭与油气运移和聚集. 江汉石油学院学报, 21(1): 9~17.

Study on Vertical Migration Height of Hydrocarbon in Overpressure Basin

LIU Zhen^{1,2)}, XIA Lu^{1,2)}, WANG Zisong³⁾, ZHANG Wang⁴⁾

1) State Key Laboratory of Petroleum Resource and Prospecting, China University of Petroleum, Beijing, 102249;

2) College of Geosciences, China University of Petroleum, Beijing, 102249;

3) Jidong Oilfield Company, PetroChina, Tangshan, Hebei, 063000;

4) Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100029

Abstract

Hydrocarbon of overpressure basins can vertically migrate along faults through inrush current when active fault cut through the overpressure source rocks. This process provides an important hydrocarbon source for large-scale migration and accumulation. However, the research on the distance of hydrocarbon vertical migration is still in qualitative analysis stage, with less attention on pressure relief during fault opening and migration distance difference between hydrocarbon and the formation water. This paper shows that the height of hydrocarbon vertical migration along fault relies on the overpressure amplitude in source rocks. The larger the amplitude is, the farther the hydrocarbon can migrate vertically. Consequently, the top interface of upwelling is buried more shallowly. The initial position of hydrocarbon upwelling is not ground surface but the top of effective source rock. With vertical inrushing of a large volume of hydrocarbon, the pressure in overpressure belt releases rapidly so that great majority of hydrocarbon cannot reach the theoretical top interface of upwelling. Besides, taking the resistance of vertical migration along faults into account, the real height of vertical migration of hydrocarbon will be far lower than the theoretical migration distance.

Key words: overpressure; fault; water head; initial position; vertical migration height