

文章编号:0253-9985(2008)04-0502-05

盆地构造热演化史在油气成藏期次研究中的应用

任战利^{1,2}, 刘丽², 崔军平², 肖晖², 高胜利²

(1. 西北大学“大陆动力学”国家重点实验室, 陕西 西安 710069; 2. 西北大学, 陕西 西安 710069)

摘要:盆地构造热演化史控制着油气的生成、运移、聚集与成藏。我国沉积盆地多为叠合盆地, 热历史类型复杂多样, 不同热动力学背景、不同构造热演化历史类型的盆地烃源岩热演化程度、生油门限深度、油气主生烃期、成藏期次及历史明显不同。盆地多期成藏是我国叠合盆地的一大特点, 油气成藏的多期次性受控于烃源岩的多期次生烃, 最终受控于叠合盆地复杂的构造热演化史。现今的油气成藏期次研究方法很多, 但不同方法原理不同, 各有优点和局限性, 构造热演化史的详细刻画是解决不同油气成藏研究方法存在矛盾的有效途径之一。

关键词:成藏期次; 油气成藏; 构造-热事件; 热历史类型; 构造热演化史; 叠合盆地

中图分类号: TE111.1

文献标识码: A

Application of tectonic-thermal evolution history to hydrocarbon accumulation timing in sedimentary basins

Ren Zhanli^{1,2}, Liu Li^{1,2}, Cui Junping^{1,2}, Xiao Hui^{1,2}, Gao Shengli^{1,2}

(1. State Key Laboratory of Continental Dynamics, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China;

2. Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710069, China)

Abstract: The hydrocarbon generation, migration, accumulation, and reservoiring, are controlled by basin tectonic-thermal history. The sedimentary basins in China are mostly superimposed basins with complicated thermal history. Basins with different tectonic-thermal evolution history and different thermodynamic settings vary dramatically in source rock maturity, depth of oil-generation threshold, key hydrocarbon generation time, and period and times of hydrocarbon accumulation. Multiphase hydrocarbon accumulation is one of the characteristics of the superimposed basins in China. It was controlled by the multiphase hydrocarbon generation of the source rocks and ultimately by the tectonic-thermal evolution history of the basin. The methods for the timing of hydrocarbon accumulation are plenty but all have upsides and downsides with their different approaches and principles. A detailed description of tectonic-thermal history is regarded as an effective way to deal with the contradictory caused by these methods.

Key words: reservoiring stage; hydrocarbon accumulation; tectonic-thermal event; thermal history type; tectonic-thermal history; superimposed basin

沉积盆地热演化史与油气生成、运移和聚集成藏有着十分密切的关系^[1-21]。中国沉积盆地现今大多数由不同时代盆地叠合而成, 不同时期的盆地, 由于处于不同的地球动力学系统中, 因而其

盆地类型和热历史也是动态变化^[4]。

不同构造热演化史类型的盆地其烃源岩生烃历史明显不同, 烃源岩多期次的成烃作用必然导致多期次的运移及聚集成藏。盆地多期成藏是我

收稿日期: 2008-06-24。

第一作者简介: 任战利(1961—), 男, 研究员、博士生导师, 盆地热演化史与油气成藏及油气地质。

基金项目: 国家重点基础研究发展规划(973)项目(2003CB214605); 高等学校全国优秀博士学位论文作者专项资金(200347); 中国煤成气成藏机制及经济开采基础研究(2002CB211704); 高等学校博士学科点专项科研基金“松辽盆地基底石炭-二叠系构造热事件研究”。

国陆相叠合盆地的一大特点,油气成藏的多期次性受控于烃源岩的多期次生烃,最终受控于叠合盆地复杂的构造热演化史^[2,4]。

叠合盆地油气成藏具有多次成藏、多次改造的特点,油气成藏历史复杂,不同成藏研究方法原理不同,得出的成藏期次结果不一致或有矛盾^[6~8]。对于叠合盆地构造热演化史的精细刻画,可进一步准确揭示盆地油气成藏期次、成藏历史及油气成藏规律,这对盆地油气评价和勘探有重要指导意义。

1 现今地温场与油气成藏的关系

盆地现今地温场对生油门陷深度、有效的勘探深度段及油气成藏有重要控制作用^[2,4]。

地温场的不同也使不同盆地烃源岩演化阶段宽度明显不同,低温型盆地成熟阶段较宽,有效的勘探深度段及勘探深度加大。在地温梯度高的快速沉降盆地,烃源岩达到主要生排烃期的时间早;相反在地温梯度低的缓慢沉降盆地,烃源岩达到主要生排烃期的时间晚^[2,4]。

对现今处于最大埋深的盆地,地层现今温度一般来说是地层经历的最高温度,对这类盆地,现今地温场控制着烃源岩的最高热演化程度,也控制着油气生成和晚期成藏^[10,22]。渤海湾盆地、塔里木盆地库车凹陷、吐哈盆地台北凹陷、酒西盆地等属于此类。

吐哈盆地台北凹陷为持续埋藏的一个凹陷,该凹陷可进一步分为3个次凹,分布为胜北次凹、丘东次凹和小草湖次凹。侏罗系烃源岩现今仍处于最大埋深状态,现今地温为地层经历的最高温度^[9]。从现今地温分布来看,现今地温在台北凹陷最高,使七克台组、西山窑组、八道湾组烃源岩现今仍处于较高的温度环境,继续着生油过程(图1)。

从热演化史来看,台北凹陷中下侏罗统烃源岩生油岩期主要有两次,一次为晚侏罗世—早白垩世,第二次为古近纪以来。其中古近纪以来是侏罗系烃源岩的主要成藏时期,这和伊利石测年结果、饱和压力结果及包裹体测温结果得出的主要成藏时期在古近纪以来一致^①。

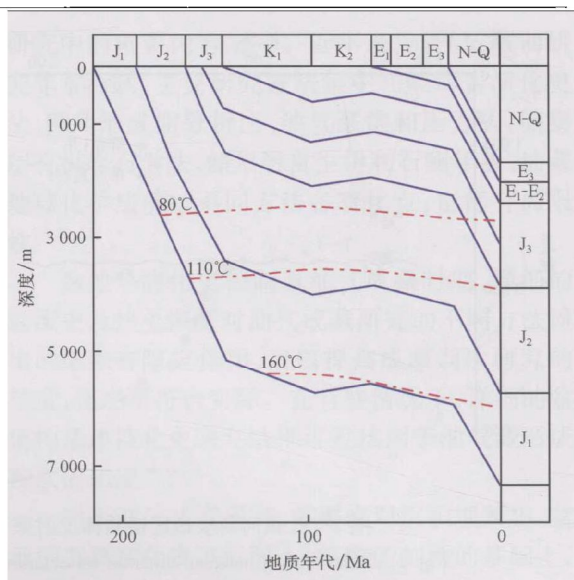


图1 吐哈盆地胜北次凹热演化史

Fig. 1 Thermal history of the Shengbei depression in Turpan-Hami Basin

2 抬升型盆地构造热演化史与油气成藏期次的关系

对于抬升型盆地,地层经历的最大古地温高于现今地温,最大古地温形成时期对油气、煤的演化程度及成藏、成矿有重要的控制作用。烃源岩主生烃期发生在抬升以前,抬升以后地温减小,古地温远大于今地温,对油气生成、成藏起控制作用的是古地温。这类盆地在后期抬升阶段由于抬升剥蚀,有时再沉积厚度虽然可达到剥蚀厚度的大小,但地层经历的古地温仍高于今地温,在后期的抬升剥蚀阶段基本没有大规模生烃作用发生^[2,4,11,12,23],像沁水盆地、鄂尔多斯盆地、松辽盆地、羌塘盆地、楚雄盆地等属于此类。

鄂尔多斯盆地早白垩世之后发生强烈的抬升剥蚀作用,盆地东部抬升剥蚀量可达2 000 m以上^[4,24]。根据热演化史恢复可以看出早白垩世地层达到最大古地温,早白垩世是石炭—二叠系气源岩的生气高峰期,也是三叠系延长统的生油高峰期。早白垩世以后,鄂尔多斯盆地整体大幅度抬升剥蚀,发生冷却降温,地温梯度减小及地层地温降低,有助于天然气出溶成藏,气源岩埋深变浅,生烃作用逐渐减弱或停止。因此鄂尔多斯盆地早

① 任战利,李进步,陈刚.吐哈盆地含油气系统及主要油田成藏期研究. 1998

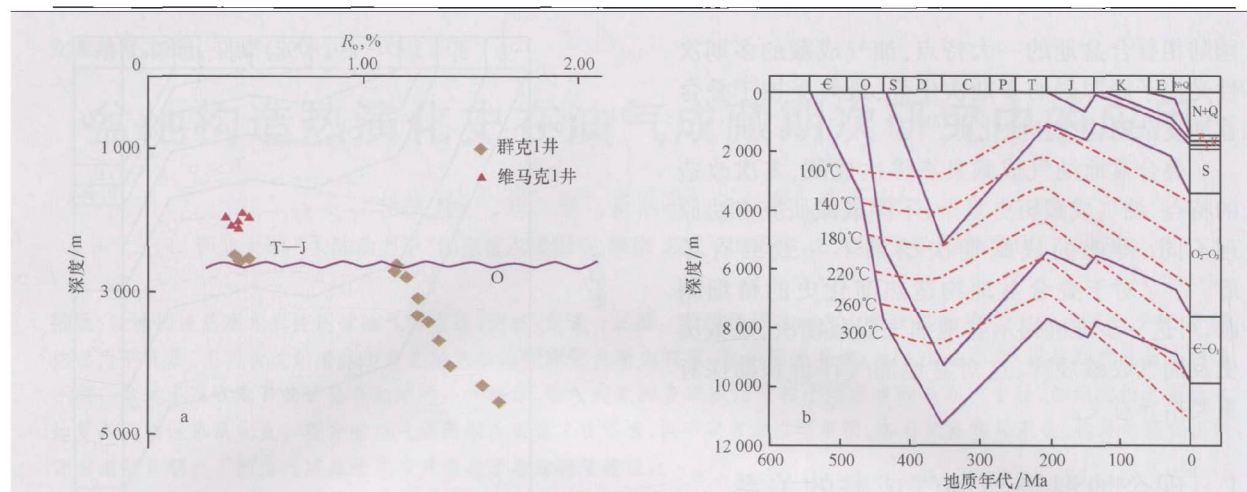


图2 孔雀河斜坡地区镜质体反射率与深度关系剖面 a) 及孔雀1井热演化史 b)

Fig. 2 Relationship between vitrinite reflectance and depth in Kongquehe slope (a) and thermal history of source rocks in Kongque-1 well (b)

白垩世是石炭-二叠系气源岩及三叠系延长统烃源岩的生烃高峰期,也是上古生界天然气和中生界油气的主要成藏期^[4,11,25]。在早白垩世之后,生烃强度减弱,鄂尔多斯盆地整体抬升,在盆地的主体部位封盖层保存完好,油气得以很好的保存。

孔雀河斜坡侏罗系与志留系及奥陶系之间存在古地温间断(图2),代表志留系、奥陶系最大古地温是在侏罗纪之前达到的,孔雀河地区构造圈闭主要形成于海西期和燕山期^[26]。因此根据盆地热演化史研究可以看出,寒武系一下奥陶统烃源岩最大古地温史在侏罗纪之前达到,烃源岩生烃史是受古地温控制的,主生烃期及油气主成藏期在晚加里东一早海西期,侏罗系未成熟^[27,28]。

对于抬升剥蚀降温型盆地,可分为不同情况,一种是后期一直处于抬升剥蚀的盆地,如果抬升剥蚀量大,温度降低幅度大,则在抬升剥蚀期不会有明显的生烃过程,原先已形成的油气藏不会有油气的不断补给。另一种是在抬升剥蚀期后又继续沉降,但后期的沉降没有超过前期的剥蚀量或虽然超过前期的剥蚀量,但烃源岩层在后期的沉降中经历的古地温未超过或接近抬升剥蚀前经历的最大古地温,这种情况在后期的沉降中也不会有明显的生烃过程及油气的不断供给。

对于抬升冷却型盆地可分两种情况,第一种情况油气保存条件好,这类盆地的油气勘探前景较好。如鄂尔多斯盆地。第二种情况后期改造较为强烈,这类盆地油气不易保存,油气勘探前景较

差,古油气藏遭到破坏,在地表见到广泛出露的烃源岩层及石油沥青脉。如羌塘盆地、楚雄盆地。

3 构造热事件与油气成藏期次的关系

盆地构造热事件发生时期、强度、影响范围对烃源岩的演化程度及成藏时期有重要的控制作用^[4,12~15]。对构造热事件发生在盆地演化后期的盆地,构造热事件发生时期是地层经历最大古地温和达到最高热演化程度的时期,构造热事件发生之后,盆地处于抬升剥蚀时期和降温过程。这类盆地主生烃期及油气成藏期为构造热事件发生时期^[4],如沁水盆地。

对于构造热事件发生较早的盆地,盆地后期的沉降对盆地演化早期的构造热事件有改造作用,早期的构造热事件的信息可能被后期的盆地沉降增温所抹去或掩盖,也可能没有被后期的沉降抹去,这主要与早期构造热事件发生的时期、强度、影响范围及后期盆地的沉降有关系。如果后期的沉降没有抹去早期热事件发生时期的古地温信息,则早期构造热事件对油气的生成、成藏起主要控制作用;如果后期的沉降抹去了早期的构造热事件的古地温信息,表明盆地后期的沉降使盆地达到了最大古地温,这样早期构造热事件及后期盆地的沉降都控制了盆地油气的生成和成藏,盆地油气的生成、成藏可以表现出多期次的特点。如果盆地发生多次构造热事件、经历多期次的抬

升沉降,则生烃史和油气成藏期将更为复杂,这主要取决于构造热事件发生时间、期次、强度、影响范围及在构造热事件之后的盆地沉降的幅度。

沁水盆地石炭-二叠系煤系地层热演化程度主要受中生代晚期异常地温场控制^[13,15,23],中生代晚期构造热事件控制了沁水盆地石炭-二叠系煤系地层的生烃高峰期,生烃高峰期在早白垩世,新生代渐新世—中新世以来发生大规模抬升冷却,地层温度降低,石炭-二叠系煤层生烃过程停止。因此,对沁水盆地石炭-二叠系煤系地层天然气成藏期主要为早白垩世^[29]。

4 叠合盆地构造热演化史与油气成藏期次的关系

中国沉积盆地现今大多数由不同时代盆地叠合而成,叠合盆地演化具有长期性、构造演化的多阶段性及多期次的抬升剥蚀。不同构造演化阶段具有不同的构造热体制,因而具有复杂的构造热演化历史。对叠合盆地构造热演化史可以根据盆地叠加、改造对盆地不同时期地温场影响的不同等情况来恢复^[4,30]。叠合盆地复杂的构造热演化史往往导致油气生成和成藏的多期次性^[2,4,22,31],其真实恢复及详细刻画是提高成藏期次研究准确性的关键^[4,10,22]。

塔里木盆地叠合盆地,塔河油田位于阿克库勒凸起西南斜坡区,是目前塔里木盆地台盆区发现最大的油田。塔河油田主要有奥陶系碳酸盐岩油气藏及石炭系和三叠系碎屑岩油气藏。探明储量主要集中于奥陶系。奥陶系经历了复杂的构造热演化史,地层遭受多期次的抬升剥蚀,油气成藏历史受构造热演化史的控制,表现为多期次生烃、多期次成藏的特征^[31]。

对于古老的叠合盆地,经历了复杂的构造热演化史,发生了多期次的油气成藏过程,特别是晚期成藏对古老叠合盆地油气成藏更为重要。晚期的油气不断供给,是古老叠合盆地油气藏得以保存的基础。因此晚期成藏是大气田形成的必要条件之一^[7]。

5 油气成藏期次研究应注意的问题

油气成藏期次的研究是油气成藏与分布规律

研究中的重要内容之一。近年来,油气成藏期研究非常活跃,主要研究方法集中在烃源岩演化史法、圈闭形成期分析法、油气藏饱和压力法、储集层有机岩石学法、储集层自生伊利石测年法、油藏地球化学法等。不同方法各有优点,也都有局限性^[8,10,32]。

盆地热演化史控制着油气成藏时期,详细的埋藏史及热史恢复对油气成藏研究的不同方法得出的结果有限定作用,可以提高成藏期次研究的精度,使之更符合实际。在有些情况下,详细的盆地构造热演化史研究结果可直接用于油气藏形成期次的确定^[4,10,22]。

对于油气成藏研究,需要在对沉积埋藏史、盆地构造热演化史进行深入、细致的刻画的基础上,对圈闭发育历史、烃源岩生排烃历史进行深入研究,结合多种成藏研究方法,综合分析各种成藏条件的有效匹配关系及动态演化,达到较为准确的确定油气成藏期及动态预测有利成藏区块的目的,从而指导油气勘探。根据这种思路对鄂尔多斯盆地上古生界天然气有利成藏区的预测,可以作为研究的实例^[33]。

因此地质历史的深入刻画、成藏要素的综合研究及动态分析、多种成藏研究方法的结合是油气成藏期次研究的方向。

6 结论

1) 盆地构造热演化史控制着油气的生成、运移、聚集和成藏。现今处于最大埋深的盆地,地层现今温度一般来说是地层经历的最高温度。现今地温场控制着生油门陷深度、烃源岩最高热演化程度和晚期成藏。

2) 对于抬升型盆地,地层经历的最大古地温高于现今地温,最大古地温形成时期对油气的演化程度及成藏有重要的控制作用。烃源岩主生烃期及成藏期主要在抬升剥蚀之前。这类盆地在后期的抬升剥蚀阶段基本没有大规模生烃作用发生。

3) 盆地构造热事件发生时期、强度、影响范围对烃源岩的演化程度及成藏时期有重要的控制作用。对构造热事件发生在盆地演化后期的盆地,构造热事件发生时期是地层经历最大古地温 and 达到最高热演化程度的时期,构造热事件发生

之后,盆地处于抬升剥蚀时期和降温过程,对这类盆地主生烃期及油气成藏期为构造热事件发生时期。

如果盆地发生多次构造热事件、经历多期次的抬升沉降,则生烃史和油气成藏期次将更为复杂。这主要取决于构造热事件发生时间、期次、强度、影响范围及在构造热事件之后的盆地沉降的幅度。

4) 中国沉积盆地现今大多数由不同时代盆地叠合而成,不同构造演化阶段具有不同的构造热体制,因而叠合盆地具有复杂的构造热演化历史,复杂的构造热演化史往往导致油气生成和成藏的多期性。叠合盆地构造热演化史的真实恢复及详细刻画是提高成藏期次研究准确性的关键。对构造热演化史的详细刻画、成藏要素的综合研究及动态分析、多种成藏研究方法的结合是油气成藏期次研究的方向。

参 考 文 献

- 1 赵重远,刘池洋,任战利. 含油气盆地地质学及其研究中的系统工程[J]. 石油与天然气地质,1990,11(1):108~113
- 2 任战利,张世煊. 中国北方沉积盆地热演化史与油气关系研究[J]. 地球学报,1999,20(增刊):489~494
- 3 汪缉安,汪集旸. 中国大陆沉积盆地地热特征及油气资源[A]. 见:赵重远,编. 含油气地质学研究进展[C]. 陕西西安:西北大学出版社,1993
- 4 任战利. 中国北方沉积盆地构造热演化史研究[M]. 北京:石油工业出版社,1999
- 5 邱楠生,胡圣标,何丽娟. 沉积盆地热体制研究的理论与应用[M]. 北京:石油工业出版社,2004
- 6 金之钧,王清晨. 中国典型叠合盆地油气成藏研究新进展——以塔里木盆地为例[J]. 石油与天然气地质,2006,27(3):281~294
- 7 李明诚,单秀琴,马成华,等. 油气成藏期探讨[J]. 新疆石油地质,2005,26(5):587~591
- 8 赵靖舟. 油气成藏年代学研究进展及发展趋势[J]. 地球科学进展,2002,17(3):378~383
- 9 张世煊,任战利,马团校,等. 吐哈盆地现今地温与油气的关系[J]. 地质科学,2000,35(4):432~440
- 10 任战利,崔军平,冯建辉,等. 东濮凹陷桥口地区油气藏形成期次研究[J]. 石油勘探与开发,2002,29(6):15~18
- 11 任战利. 鄂尔多斯盆地热演化史与油气关系的研究[J]. 石油学报,1996,17(1):17~24
- 12 任战利. 利用磷灰石裂变径迹法研究鄂尔多斯盆地地热史[J]. 地球物理学报,1995,38(37):339~349
- 13 任战利,赵重远,陈刚,等. 沁水盆地中生代晚期构造热事件[J]. 石油与天然气地质,1999,20(1):46~48
- 14 Sachsenhofer R F, Privalov V A, Zhykalyak M V, et al. The donets Basin (Ukraine/Russia): coalification and thermal history[J]. International Journal of Coal Geology, 2002, 49(1): 33~55
- 15 任战利,肖晖,刘丽,等. 沁水盆地中生代构造热事件发生时期的确定[J]. 石油勘探与开发,2005,32(1):43~47
- 16 Petmecky S, Meier L, Reiser H, et al. High thermal maturity in the Lower Saxony Basin: intrusion or deep burial[J]. Tectonophysics, 1999, 304: 317~344
- 17 Friberg L H S, Poelchaub B, Kroossa R L. D-modelling of thermal history and simulation of methane and nitrogen migration along the Northeast German seismic DEKORP profile 9601[J]. Journal of Geochemical Exploration, 2000, 69~70: 263~267
- 18 Lerche I, Yarab R F, Kendall C G St. Determination of paleoheat flux from vitrinite reflectance[J]. AAPG Bulletin, 1984, 68: 1704~1717
- 19 Hertle M, Littke R. Coalification pattern and thermal modelling of the Permo-Carboniferous Saar Basin SW-Germany[J]. International Journal of Coal Geology, 2000, 42: 273~296
- 20 刘国壁,张惠蓉. 冷盆地地热场与油气相态分析[J]. 石油勘探与开发,1993,20(增刊):8~14
- 21 胡圣标,汪集旸. 沉积盆地热体制研究的基本原理和进展[J]. 地学前缘,1995,2(4):171~180
- 22 任战利,冯建辉,崔军平,等. 东濮凹陷杜桥白地区天然气藏的成藏期次[J]. 石油与天然气地质,2002,23(4):376~381
- 23 任战利,赵重远. 鄂尔多斯盆地与沁水盆地中生代晚期地温场对比研究[J]. 沉积学报,1997,15(2):134~137
- 24 任战利,赵重远,张军,等. 鄂尔多斯盆地古地温研究[J]. 沉积学报,1994,12(1):56~65
- 25 任战利,张盛,高胜利,等. 伊盟隆起东胜地区热演化史与多种能源矿产的关系[J]. 石油与天然气地质,2006,27(2):187~193
- 26 贾承造,魏国齐,姚慧君,等. 盆地构造演化与区域构造地质[M]. 北京:石油工业出版社,1995
- 27 杨晓宁,王国林,张丽娟,等. 塔里木盆地英南2井侏罗系气藏性质[J]. 新疆石油地质,2003,24(3):218~220
- 28 严永新,田云,袁光喜,等. 孔雀河斜坡含油气系统及其有利区带[J]. 新疆石油地质,2003,24(5):411~414
- 29 任战利,肖晖,刘丽,等. 沁水盆地构造-热演化史的裂变径迹证据[J]. 科学通报,2005,50(增刊1):87~92
- 30 任战利. 中国北方沉积盆地热演化史的对比[J]. 石油与天然气地质,2000,21(1):33~37
- 31 蔡希源. 塔里木盆地台盆区油气成藏条件与勘探方向[J]. 石油与天然气地质,2005,26(5):590~597
- 32 王飞宇,何萍,张水昌,等. 利用自生伊利石K-Ar定年分析烃类进入储层的时间[J]. 地质论评,1997,43(5):540~546
- 33 赵重远,张小会,任战利,等. 油气成藏动态预测[J]. 石油与天然气地质,2002,23(4):314~320

(编辑 高 岩)