

文章编号: 1001 - 6112(2005)04 - 0315 - 06

幕式成藏理论的提出及其勘探意义

赵靖舟

(西安石油大学 资源工程系, 西安 710065)

摘要:幕式成藏是一种快速、高效的成藏方式,并常常具有周期性,因而对于高富集度大中型油气田的形成具有十分重要的意义。同渐进式成藏一样,幕式成藏也是含油气盆地一种普遍存在的成藏方式,特别是对于多构造运动、断裂发育的盆地以及异常压力比较发育的盆地(如前陆盆地和裂谷盆地等),幕式成藏往往占有重要地位;而在构造运动相对较稳定的克拉通盆地,一般以渐进式成藏为主。与渐进式成藏不同,幕式成藏在时间上并不完全受生烃窗控制,而主要受控于区域构造运动、断裂活动和异常压力的演化,因此盆地的构造演化史、断裂活动史和异常压力发育史往往决定了幕式成藏史。幕式成藏理论的提出,不仅是对传统油气成藏理论的一个重要补充,更重要的是拓宽了油气勘探领域,进一步明确了大中型油气田的勘探方向。

关键词:幕式成藏理论;幕式成藏证据;流体封存箱;成藏规律;勘探意义

中图分类号: TE122.3

文献标识码: A

1 幕式成藏理论的提出

在地质历史上,突发性的、快速的、幕式发生的地质事件已众所周知。如地震的突发性和周期性^[1]、构造事件的节律性^[2,3]等,均是已被广泛证实的幕式地质事件。一些石油地质学家提出了含油气盆地周期性演化的思想^[4,5];另一些矿床学家们发现,地质历史上的成矿作用也具有明显的周期性或阶段性^[6,7]。特别是许多热液脉状矿床的形成往往都是幕式的,这些矿床经常被发现在古断层带上部的脆性区域,其结构特点表明成矿作用是热液流体沿断层发生快速的、脉冲式的和间歇性向上充注的结果。

那么,地壳中油气的运聚成藏在地质史上究竟是缓慢渐进的还是快速幕式的?如果存在幕式成藏事件,其意义如何?这个问题一直未受到石油地质学家们的普遍思考和注意。长期以来,石油地质学家们习惯认为,油气藏的形成首先是烃源岩埋藏到一定深度后(生烃门限)发生生烃作用,当烃源岩中的含烃饱和度达到一定值(排烃门限)时开始排烃进入储集层,进入储集层中的油气在浮力、水动力、构造应力等的作用下发生缓慢的二次运移,直到遇到合适的圈闭才聚集成藏。换言之,油气的运聚成藏

是一个缓慢渐进的过程。然而,这种情况实际上只适用于构造稳定、断裂活动不活跃、且为正常压实的盆地。

事实上,在成藏史及成藏规律研究中,常常发现一个地区特别是多构造运动的盆地,其油气藏的形成往往具有多期性,且排烃高峰时间以及每一期油气藏的形成时间与生烃高峰期并不完全吻合,而往往与区域性构造运动或断裂活动在时间上具有很好的一致性。如塔里木盆地海相油藏的形成,主要集中在晚加里东—早海西期、晚海西期和喜山期 3 个时期^[8~13],与盆地主要构造运动的时间基本一致,而与主力烃源岩寒武系的生油高峰期(主要在晚加里东期和晚海西期)并不完全一致。库车前陆盆地油气藏的形成时间也与喜山运动的主要构造幕相一致,特别是其主要气田(包括克拉 2 特大型气田)的形成多发生在喜山晚期运动期间(3~1 Ma),相当于库车晚期—第四纪初^[14~18];而侏罗系烃源岩的生排气高峰期则从晚第三纪康村期已开始(17~5 Ma),并一直持续到库车期(5~2 Ma)。鉴此,一些学者认为塔里木盆地油气藏的形成具有旋回性或阶段性,进而提出了成藏旋回的概念^[19]。

另一方面,一些高丰度的大型和特大型油气田往往是在很短的地质时间形成的,如克拉 2 气田从气体大量注入到形成现今的储量规模,只用了 2~3 Ma 的

收稿日期:2004 - 07 - 15;修订日期:2005 - 06 - 21。

作者简介:赵靖舟(1962—),男(汉族),陕西西安人,教授,主要从事成藏地质学、天然气地质及地球化学研究。

基金项目:国家“九五”重点科技攻关项目(99 - 111 - 01 - 04 - 05)和国家“十五”重点科技攻关项目(2001BA605A - 02 - 01 - 06)

时间,反映其气体的注入是快速的和大流量的。这种情况很难用传统的渐进式运移成藏模式解释。

然而,有关油气矿产幕式成藏的现象,直到 20 世纪 90 年代才引起注意。Hunt (1990) 是较早注意到幕式成藏的学者之一,但其讨论的主要是与异常压力流体封存箱有关的成藏,认为封存箱流体的涌流释放过程是周期性的、幕式的,原因是封闭层的封闭—突破—再封闭—再突破具有旋回性^[20]。Hooper (1991) 讨论了生长断层带的流体运移问题,并提出了“周期流”(periodic flow) 理论,认为断层带附近的流体运移,受控于断层活动的周期以及断层带的渗透性^[21]。

受异常压力流体封存箱理论、地震泵理论以及周期流理论的启发,近年来,国内一些学者也开始注意到油气运移聚集成藏的幕式现象。郝石生等^[22]以及黄志龙等^[23]提出了封存箱流体的脉冲式混相涌流模式,认为在异常高压封存箱的箱缘、箱外成藏过程中,脉冲式混相涌流是其运移的主要机制。龚再升等^[24]也注意到莺歌海盆地天然气的幕式成藏现象,并认为该盆地天然气的幕式成藏与流体压力自振荡存在耦合关系。邱楠生、金之钧^[25]也探讨了脉动式成藏的问题。华保钦^[26]、张树林等^[27,28]、曾联波等^[29]则赞同油气沿断层运移的地震泵理论或周期流理论。赵靖舟^[16]则认识到幕式成藏的重要性及其在油气勘探中的意义,并对幕式成藏理论进行了系统探讨,认为地质历史上油气的运移聚集成藏除了缓慢渐进的方式外,快速的幕式成藏也是一种十分重要的成藏方式;而且,这种成藏方式具有快速、高效、运移损失小的特点,是高富集度大中型油气田形成的一种主要方式。最近,于翠玲、曾渊辉^[30]、郭少斌^[31]等越来越多的学者也注意到幕式成藏的重要性。

可见,与异常压力演化以及断层活动有关的幕式成藏问题已经引起了注意。那么,幕式成藏的确是一种客观存在的地质现象吗?除了上述与异常压力及断层活动有关的幕式成藏外,还有无其它成因的幕式成藏作用?本文拟就这些问题加以讨论。

2 幕式成藏的证据

2.1 成藏年代学证据

成藏年代学研究表明,许多具有多期构造活动或具有超压的盆地,其油气藏的形成一般都具有多期性。而且成藏期并不完全受烃源岩热演化史或生烃高峰期控制,而与区域性的构造运动或断裂活动

时间相一致,或者与超压流体封存箱边缘封闭层的破裂时间一致,反映这类盆地油气藏的形成具有与构造活动或孔隙流体压力演变同期或准同期的幕式特点。如前述塔里木盆地海相油藏以及库车前陆盆地天然气藏的形成,即明显与该盆地的主要构造运动和断裂活动时间一致。其中形成的海相油气藏,除晚加里东—早海西期形成的油气藏已普遍遭到破坏外,目前保存下来的主要是晚海西期、燕山期和喜山期 3 期油气藏(图 1)。

另一方面,许多大型乃至特大型油气田的形成并不需要很长的时间,而往往是在很短的地质时间内形成的。如克拉 2 气田,其形成仅用了 2~3 Ma 的时间,按其储量规模,天然气的注入速率高达 $(950 \sim 1\,500) \times 10^8 \text{ m}^3/\text{Ma}$,考虑到运移充注过程中的损失,则其天然气的充注速率更高。再如崖 13-1 气田,形成于 2.8~0 Ma,据郝石生等^[22]研究,该气田目前的散失速率约为 $282 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{Ma}$,据此估算其天然气的充注速率在 $535.7 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{Ma}$ 以上。可见,这类气田的形成在地质史上是瞬时的,具有幕式成藏的特点。实际上,由于一个大油气田的

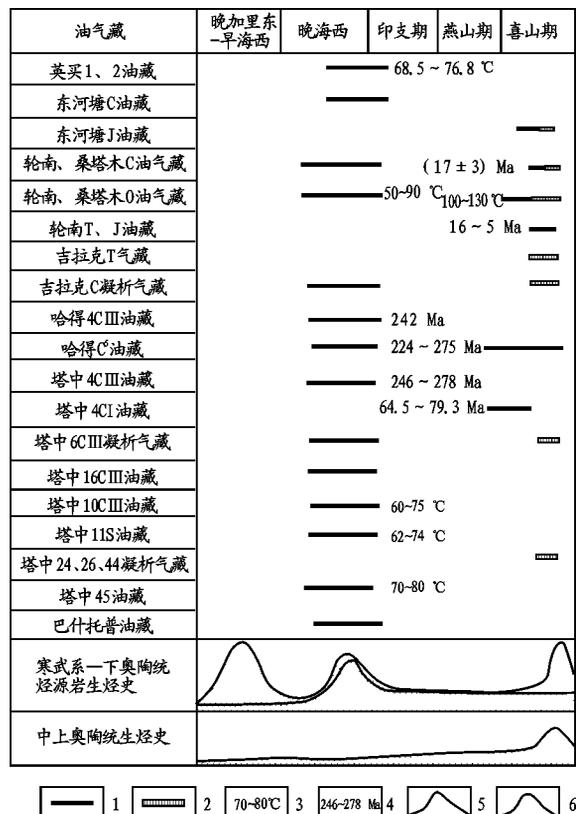


图 1 塔里木盆地海相油气成藏期与成藏史示意图

Fig. 1 Filling time and history of marine hydrocarbon accumulations in the Tarim Basin
1. 油藏; 2. 气藏; 3. 包裹体均一温度;
4. 伊利石 K-Ar 年龄; 5. 生油曲线; 6. 生气曲线

油气往往仅来自运移通道中油气的极小一部分,因此实际的运移充注速率可能要比根据大油气田储量估算的速率高几个甚至十几个数量级。

2.2 断层作为流体幕式运移通道的证据

研究表明,断层是油气发生幕式运移的重要通道,其证据主要有以下几方面。

2.2.1 矿物学证据

流体沿断层的周期性活动必然造成断裂带及其周围岩石发生一定的矿物学变化。如塔中 I 号断裂带,是塔中地区重要的油气运移通道。研究表明,来自寒武—奥陶系烃源岩的油气沿该断裂带发生过 3 次强度较大的运移,即晚加里东—早海西期、晚海西期以及喜山期,与该地区主要构造运动相一致。研究发现,塔中 I 号断裂带及其附近的奥陶系碳酸盐岩地层中,也存在着与油气运移相同的 3 期埋藏溶蚀作用,它们是与烃类流体同时向上运移的富有机酸酸性地层水入侵的结果,其中以晚海西期的入侵和溶蚀作用最为强烈。根据塔中 I 号断裂带附近各井中晚海西期埋藏方解石的微量元素分析结果:Fe、Mn 含量较高,且含量向上降低,其中 Fe 的含量在 $(340 \sim 2\,000) \times 10^{-6}$ 之间, Mn 含量在 $(40 \sim 200) \times 10^{-6}$ 之间。这种高的 Fe、Mn 含量反映流体来源于地下深部,且侵入的富 Fe - Mn 流体必定是大流量的。最近在塔中 I 号断裂带附近塔中 45 井奥陶系碳酸盐岩储层中所发现的大量晶形完美的萤石矿物,是深部热流体侵入该断裂带的一个重要证据。根据对塔中 45 井奥陶系油藏的包裹体研究发现,萤石中含有丰富的油包裹体,且其共生盐水包裹体的均一温度与方解石脉中油包裹体共生盐水包裹体的均一温度基本相同,均分布于 $55 \sim 100$ 之间,平均为 $70 \sim 80$, 反映形成萤石的深部热流体与油气可能是同期侵入塔中 I 号断裂带的。由包裹体测温结果得知,含有烃类物质的热流体的侵入时间为晚海西期,这也是塔中地区海相油藏的主要形成时间,同时也说明塔中 I 号断裂带在晚加里东—早海西期的强烈活动后,晚海西期又一次复活。这种周期性的断裂活动为流体的幕式运移创造了条件。

南德克萨斯铀矿省的 Wilcox 断层,现今为一非渗透性断层,断裂带的渗透率比围岩低 $0.75 \sim 4$ 倍^[32]。但该断裂带附近是铀矿床的主要分布地区,且含矿砂岩中至少有 3 期还原作用(硫化作用)被氧化作用流体冲洗的现象^[33](图 2)。而且,断裂带附近存在着硫化亚铁异常,硫化亚铁的浓度向断层方向显著增大,在距断层 2 km 以外的地区则几乎无硫化亚铁发现。硫化亚铁的同位素组成研究表明硫

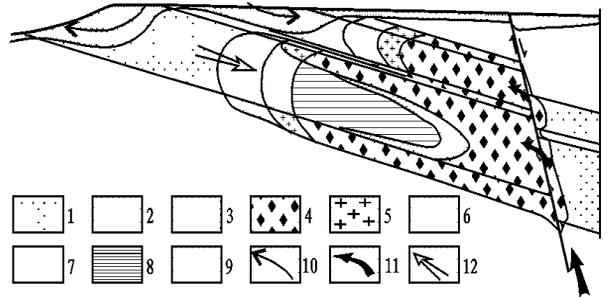


图 2 南德克萨斯 Wilcox 断层附近砂岩中氧化与还原交互作用示意图^[26]

1. 原始氧化沉积含水层; 2. 原始氧化沉积弱透水层; 3. 近地表氧化带; 4. 硫化物带; 5. 潜育土带缺铁; 6. 潜育土带富铁; 7. 交替带贫铁; 8. 交替带富铁; 9. 硫化物矿化带; 10. 现代地下水流; 11. 原生硫化物水流; 12. 氧化淡水

Fig. 2 Distribution of oxidation by meteoric waters and reduction by connate waters moving up the Wilcox fault zone in Texas

来源于剖面深部,其最可行的运移路径是沿 Wilcox 断层系统。由于氧化铁在 Wilcox 期砂岩中是均匀分布的,因而还原铁的分布说明还原流体是沿断层向上进入附近砂岩的。Hooper^[21]认为, Wilcox 断层附近轴的侵位以及周期性的还原 - 氧化事件,起因于断裂带渗透率的周期性变化以及深部流体相应的周期性流动。当断裂带为渗透性时,深部富硫卤水沿断面向上运移进入浅层常压带砂岩中,还原流体的注入导致砂岩中的铁被还原;之后,随着断裂带演变为非渗透性时,含铀淡水的向下流动便居支配地位,当这种氧化的淡水与被还原的铁发生接触时,铀便发生沉淀。

2.2.2 热异常证据

热异常也是流体沿断裂发生幕式运移的一个重要证据。假定断层附近流体流动比较集中,则将导致地热的异常高^[21]。根据 Bethke(1985)估算,流体要对一个地区的地温产生干扰,其在该地区的流速至少要比在周围岩石中的流速大 4 倍^[34]。

众所周知,同整个塔里木盆地一样,库车前陆盆地现今为一冷盆,平均地温梯度为 $18 \sim 28$ / km,略高于塔里木盆地的平均地温梯度。但该前陆盆地的地温分布并不均匀,其中北部克拉苏—依奇克里克构造带地温梯度最高,平均为 $27 \sim 28$ / km 左右。其次为大宛齐以及南部轮台断隆中部的牙哈、红旗地区,其中大宛齐地区地温梯度平均为 25 / km,牙哈地区平均为 24 / km,红旗构造带平均为 26 / km。可见,库车前陆盆地地温梯度的分布明显具有南北高、中部低的特征,其中地温梯度较高的克—依构造带(包括大宛齐地区)与轮台断隆中部牙

哈等地区是冷盆中的“热区”,存在明显的地热异常,这两个地区也是库车前陆盆地断裂最发育、油气最富集的地区。

根据包裹体分析结果^[14~16],克—依构造带的古地温梯度更高,最高为克拉 2 气田。该气田白垩系储层次生裂缝中包裹体的均一温度平均达 156 ~ 169 ,最高达 180 ,远高于塔里木盆地其它地区,古地温梯度最高可达 32 /km。东部依南 2 气田的古地温也较高,其侏罗系阳霞组砂岩储层次生裂缝中包裹体的均一温度分布为 152 ~ 163 ,同样远高于盆地的其它地区。可见,克—依构造带不仅现今具有地热异常,而且其在地史时期也曾是一个热异常区。值得注意的是,上述包裹体所寄宿的次生裂缝主要形成于晚第三纪库车末期强烈的喜山晚期构造运动,由此表明热异常形成于晚第三纪库车组沉积末期,这与该构造带克拉 2、依南 2 等气田的形成时间也是一致的。而且,这个时间亦是克—依构造带整体发生强烈逆冲抬升及其附近断裂活动的主要时间。

由此可见,克—依构造带热异常的形成除了可能与构造挤压产生摩擦热有关外,深部热流体沿断裂向上大量侵入也是一个十分重要的因素。其结果,一方面在该构造带形成明显的热异常,另一方面使得溶有大量烃类气体的流体在运移至构造浅部位时因压力降低而快速出溶,从而形成克拉 2 大气田。

Cathles 和 Smith^[35]在分析密西西比河谷型矿床中铅—锌的侵位时发现,只有当盆地中流体的流速比盆地整个历史时期的稳定流速大 3 000 ~ 5 000 倍时,才能在 1 km 深度范围内达到铅和锌的沉淀温度(150)。这显然与盆地的流速是矛盾的。为了解决这一矛盾,他们提出流体的幕式排放模式,并认为在 1 Ma 时间内的稳定流量可能是在 10 ~ 100 年的时间内集中排出的。这种流动方式也可以解释 Wilcox 断层附近异常高的热异常,即当该断层为渗透性时,流体爆发式的流动造成了热异常^[21]。

Bodner 和 Sharp^[36]对南德克萨斯 1 600 口井的温度资料分析发现,不同地区的地温梯度差异较大,但最高的地温梯度位于 Wilcox 断层带,达 5×10^{-2} /m。根据反演模拟估计,要形成 Wilcox 断层附近如此高的热异常,沿该断层向上流动的流体流速应比在周围岩石中的流速大 13 倍。但墨西哥湾地区第三系岩石压实所产生的流体数量并不足以使流体在整个断层活动期间以这样的流速向上流动。因此,流体在 Wilcox 断层带附近的流动必然是快速的和周期性的。

2.2.3 油气富集证据

油气沿断裂带集中分布是断裂作为油气运移重要通道最直接的证据。调查发现,油气田、特别是高富集度大中型油气田的形成和分布往往与断裂有关,这与断层的地震泵作用有着密切联系。由于地震泵吸作用,当断裂活动时,断裂带附近的流体势迅速降低,从而成为地下流体汇聚的中心。根据 Hooper^[21]对德克萨斯 McAllen Ranch 油田流体势及其生长断层带流量的反演模拟估计,流体在该油田断层带中的流量要比在周围岩石中的流量大 40 倍。这种流体势的突然降低,必然使得地下流体沿断裂带发生幕式涌流,如果流体在地层中处于超压状态,则这种幕式流动的强度更大。如果断层切穿了成熟烃源岩,则其便成为油气水多相流体汇聚的中心和流体向上幕式涌流的优势通道,从而得以在上部地层中快速成藏。对于那些在烃源岩生烃高峰期之后才有断裂活动的盆地或地区,由于烃源岩持续生成的烃类物质始终无法大量排出,从而极易在烃源岩内部及其附近地层中形成异常高压,直到后期发生强烈断裂活动时,暂存于深部地层中的油气才得以大量排出,而且这种类型的排烃肯定是极其快速的和高度集中的。前述克拉 2 大气田的形成,可能便属于这种高速率的幕式成藏方式。

2.3 超压封闭层破裂和愈合证据

异常压力流体封存箱是油气幕式成藏的另一种重要方式。按照 Hunt^[20]等人的观点,超压流体封存箱内外的成藏取决于封存箱内流体压力的积聚状况以及超压封闭层的破裂与否,因此超压封闭层的破裂和愈合证据是考察超压封存箱是否存在幕式成藏的关键。这可以由封存箱及其上下油气藏的分布得到证实。调查表明,几乎所有有油气藏形成的超压盆地,都存在箱内以及箱外成藏现象,如美国湾岸地区、北海盆地、莺歌海盆地、四川盆地等。而且,在超压的封闭层中,常常发现有裂缝存在,且封闭层孔隙及裂缝中普遍存在方解石和/或硅质充填的现象,这是流体自封存箱内部向外泄露的重要证据^[37]。另外,在一些封闭层中,还发现渗透层与非渗透层交互出现的条带状现象。如在阿纳达科盆地奥陶系 Simpson 群砂岩中,Tigert 和 Al-Shaieb^[38]注意到其中碳酸盐和/或硅质胶结砂岩与多孔渗透性砂岩、受原油侵染与无原油侵染岩石均呈交替出现,从而形成鲜明的条带状,而且硅质胶结砂岩与碳酸盐胶结砂岩之间的界线十分截然,反映亦与封存箱内流体向外的周期性释放有关。

3 幕式成藏的特征及规律

分析认为,幕式成藏主要具有以下特征和规律:

1) 幕式成藏是一种普遍存在的成藏方式。无论是在多构造运动的盆地还是构造较稳定的盆地、断层发育的盆地还是断层不发育的盆地、有异常压力分布的盆地还是异常压力不发育的盆地,都可能存在幕式成藏,只是不同的盆地其重要性和意义不同而已。相对而言,多构造运动、断裂发育及异常压力比较发育的盆地,幕式成藏往往占有重要地位,而在构造稳定、断裂和异常压力均不发育的盆地,渐进式成藏可能居主导地位。总体而论,由于前陆盆地构造活动相对强于克拉通盆地,因而前陆盆地一般以幕式成藏为主,而克拉通盆地则多以渐进式成藏为主。

然而,由于世界绝大多数含油气盆地都不同程度存在一定的构造运动与断裂活动,或者即使构造比较稳定也往往存在一定的异常压力,因此幕式成藏应当是一种普遍存在的现象。相反,那种构造稳定、缺乏断裂活动、且异常压力也不发育的盆地,则是极少数的。由此认为,与渐进式的成藏相比,幕式成藏是含油气盆地一种十分重要的成藏方式。

2) 幕式成藏主要受控于区域构造运动、断裂活动和异常压力演化。其在形成时间上并不完全受控于烃源岩的热演化历史,而主要取决于烃源岩大量排烃的时间以及二次运移的时间。一般来说,正常的渐进式的油气藏形成,在时间上主要受控于烃源岩的热演化历史,烃源岩的大量排烃时间一般发生在烃源岩埋深达到生烃高峰期或以后不久,然后进入储集层发生缓慢的二次运移,直到遇到合适的圈闭时才可成藏。据此,一般认为,只有在生排烃高峰期以前或稍晚前形成的圈闭才可能有油气藏形成,在此以后形成的圈闭多无油气藏形成,或者形成的只是后期调整产生的次生油气藏。

然而,烃源岩中生成的油气并不总能够在生烃高峰期之后立即由烃源岩中排出并发生二次运移,而取决于是否具备大量排烃并发生大规模二次运移的外界条件。一般来说,只有当发生强烈的构造运动或断裂活动时,油气的大规模排烃和二次运移才有可能,而这种排烃往往是突然的、快速的和幕式发生的。正因如此,许多盆地大规模的油气运移与聚集成藏几乎总是与区域性的构造运动和断裂活动相伴随。

对于异常压力比较发育的盆地,幕式成藏则主要受异常压力演化的控制。当封隔体或封存箱内流

体压力达到岩石破裂压力或地静压力梯度时,其边缘的封闭层将发生破裂,或者当封闭层被断裂活动所破坏时,封隔体内的油、气、水便向外发生幕式混相涌流,从而在封闭层内的渗透层以及箱外正常压力系统中形成油气藏。

由于幕式成藏主要受控于区域性的构造运动、断裂活动和异常压力演化趋势,因此盆地的构造演化史、断裂活动史和异常压力发育史往往决定了幕式成藏史。

3) 幕式成藏是一种快速、高效的成藏方式。与渐进式的成藏相比,幕式成藏的最大特点是快速、高效、运移损失小,并常常具有周期性。特别是沿断裂的幕式运移与成藏,由于泄流面积小、流体比较集中、运移动力较强、流速高,因而是效率最高的一种运聚成藏方式。因此,许多高富集度大中型油气田的形成,往往与断裂有关,如克拉2气田。相反,在断裂不发育的盆地,由于油气主要沿不整合面以及渗透性岩层向高部位作侧向运移和充注,泄流面积相对较大、流体比较分散、运移速率较小、运移距离也一般较长,因而成藏效率相对较低,一般难以形成高富集度的大中型油气田,除非在烃源岩内及其附近有优越的圈闭和储盖条件存在。鄂尔多斯盆地便是这类盆地的一个典型,其目前发现的中部下古生界气田和苏里格上古生界气田,均属自源或近源形成的大型气田,但丰度较低。

4 幕式成藏的勘探意义

幕式成藏理论的提出,具有十分重要的石油地质理论意义,它是对传统油气成藏理论的一个重要补充。同时,该理论的提出,对油气勘探也具有十分重要的指导意义。概括起来,幕式成藏理论在油气勘探方面主要有以下意义:

1) 按照幕式成藏理论,油气藏的形成在时间上并不完全受生烃窗控制,而与构造运动、地层压力演化等密切相关。因此,在进行圈闭评价时,尽管生烃高峰期前形成的圈闭对于油气藏的形成最为有利,但生烃高峰期后形成的圈闭同样可能成为有效圈闭,只要在生烃高峰期后存在断裂活动等构造变动,早期形成的油气藏便可能发生调整而重新聚集(图3)。这就使得勘探的领域大大扩大。

2) 按照幕式成藏理论,断裂带附近通常是油气运移最集中的部位,因而是大中型油气田形成的主要部位。如库车前陆盆地的克—依断裂构造带,是该前陆盆地断裂最发育、幕式成藏最有利的区带,因

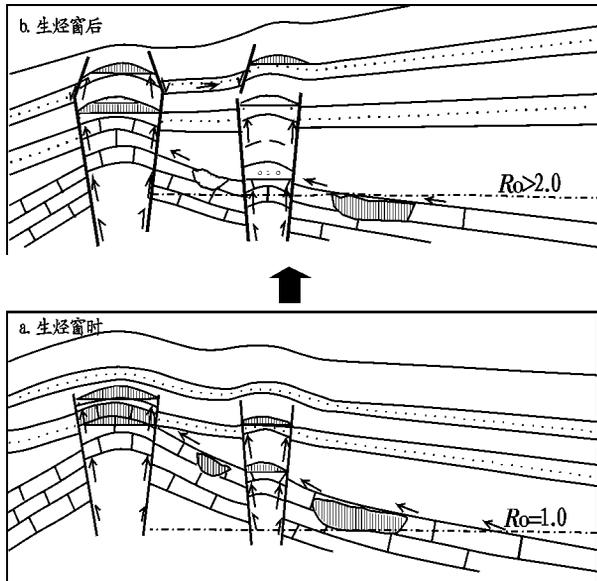


图 3 幕式成藏与生烃窗的关系示意图

Fig. 3 Diagram showing relationship between episodic migration and hydrocarbon-generating window

而油气富集程度较高,为库车前陆盆地大中型油气田分布最集中中的一个地区。其次是秋里塔格构造带。因此,对于幕式成藏条件较好、断裂较发育的盆地,断裂带及其附近应是这类盆地勘探的重点地区。

参考文献:

1 马宗晋,莫宣学. 地球韵律的时空表现及动力问题[J]. 地学前缘,1997,4(4):211~222

2 崔盛芹,吴珍汉. 略论构造运动节律与构造运动序列[J]. 地学前缘,1997,4(4):223~232

3 万天丰. 论构造事件的节律性[J]. 地学前缘,1997,4(4):257~263

4 张一伟,李京昌,金之钧等. 中国含油气盆地波状运动特征研究[J]. 地学前缘,1997,4(4):305~311

5 金之钧,刘国臣,李京昌等. 塔里木盆地一级演化周期的识别及其意义[J]. 地学前缘,1998,5(增刊):191~197

6 吴文奎. 中国地壳波浪成矿的某些特点[J]. 西安地质学院学报,1983,(2):50~58

7 翟裕生. 地史中成矿演化的趋势和阶段性[J]. 地学前缘,1997,4(4):197~203

8 赵靖舟,李启明. 塔里木盆地克拉通区海相油气成藏期与成藏史[J]. 科学通报,2002,47(增):116~121

9 赵靖舟,李启明. 塔里木盆地油气藏形成与分布规律[M]. 北京:石油工业出版社,2003

10 杨威. 塔里木盆地桑塔木断垒带奥陶系裂缝特征及成藏意义[J]. 石油实验地质,2004,26(5):437~441

11 刘克奇,金之钧,吕修祥等. 塔里木盆地塔中低凸起奥陶系碳酸盐岩油气成藏[J]. 石油实验地质,2004,26(6):531~536

12 赵靖舟,罗继红,时保宏等. 塔里木盆地成藏系统分析[J]. 石油实验地质,2002,24(4):311~316

13 王敦则. 塔里木盆地塔河油田下奥陶统油藏特征及成藏条件分析[J]. 石油实验地质,2003,25(2):122~128

14 赵靖舟,戴金星. 库车油气系统油气成藏期与成藏史[J]. 沉积学报,2002,20(2):314~319

15 赵靖舟,戴金星. 库车前陆逆冲带天然气成藏期与成藏史[J]. 石油学报,2002,23(2):6~11

16 赵靖舟. 前陆盆地天然气成藏理论及应用[M]. 北京:石油工业出版社,2003

17 赵林,秦胜飞. 库车坳陷天然气成藏条件分析[J]. 石油实验地质,1999,21(4):307~310

18 刘光祥,钱一雄,潘文蕾. 库车中生代前陆盆地沉降—沉积分析[J]. 石油实验地质,2000,22(4):313~318

19 吕修祥,张一伟. 塔里木盆地成藏旋回初论[J]. 科学通报,1996,41(22):2064~2066

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

21 Hooper E D. Fluid migration along growth faults in compacting sediments[J]. J Petrol Geol, 1991, 4(2):161~180

22 郝石生. 天然气藏的形成和保存[M]. 北京:石油工业出版社,1995

23 黄志龙,柳广弟,郝石生. 脉冲式混相涌流——天然气成藏的一种特殊运移方式[J]. 天然气工业,1998,18(2):7~9

24 龚再升,陈红汉,孙永传. 莺歌海盆地流体压力自振荡与天然气幕式成藏的耦合特征[J]. 中国科学(D辑),1999,29(1):68~74

25 邱楠生,金之钧. 油气成藏的脉动式探讨[J]. 地学前缘,2000,7(4):561~567

26 华保钦. 构造应力场地震泵和油气运移[J]. 沉积学报,1995,13(2):77~85

27 张树林,田世澄,陈建渝. 断裂构造与成藏动力系统[J]. 石油与天然气地质,1997,18(4):261~266

28 张树林等. 油气垂向运移与复式成藏的流动力学研究[A]. 见:油气成藏机理及油气资源评价国际研讨会论文集[C]. 北京:石油工业出版社,1997

29 曾联波. 构造应力与油气运移聚集的关系[A]. 见:油气成藏机理及油气资源评价国际研讨会论文集[C]. 北京:石油工业出版社,1997

30 于翠玲,曾溅辉. 断层幕式活动期和间歇期流体运移与油气成藏特征[J]. 石油实验地质,2005,27(2):129~133

31 郭少斌. 松辽盆地东岭地区幕式成藏分析[J]. 石油实验地质,2005,27(2):134~137

32 Galloway W E, Henry C D, Smith G E. Depositional framework, hydrostratigraphy, and uranium mineralization of the Oakville Sandstone (Miocene) Texas Coastal Plain [R]. The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology, Report of Investigations,1982,113:51

33 Galloway W E. Epigenic zonation and fluid flow history of uranium-bearing fluvial aquifer systems, South Texas uranium province[R]. The University of Texas at Austin, Bureau of Economic Geology, Report of Investigations,1982,119:31

34 Bethke C M. A numerical model of compaction-driven groundwater flow and heat transfer and its application to the paleohydrology of intracratonic sedimentary basins[J]. J Geophys Res, 1985, 90(B8):6817~6828

have exploration potential. By utilizing the new theory, the oil and gas resources of the Pre-Jurassic formations in Turpan-Hami basin have been calculated to be 3.354×10^8 tons and $2.652 \times 10^8 \text{ m}^3$ respectively. The proved ratio of oil is only 15%, which indicates the great potential of Turpan-Hami basin for further exploration.

Key words: hydrocarbon pool-forming threshold; resource potential; Pre-Jurassic Formation; Turpan-Hami Basin

(上接第 320 页)

- | | |
|---|--|
| <p>35 Cathles L M, Smith A T. Thermal constraints on the formation of Mississippi Valley-Type lead-zinc deposits and their implications for episodic basin dewatering and deposit genesis[J]. <i>Econ Geol</i>, 1983, 78:983~1 002</p> <p>36 Bodner D P, Sharp, Jr J M. Thermal variations in the South</p> | <p>Texas subsurface[J]. <i>AAPG Bulletin</i>, 1988, 72(1): 21~32</p> <p>37 Powley D E. Pressures and hydrogeology in petroleum basins [J]. <i>Earth - Science Reviews</i>, 1990, 29: 215~226</p> <p>38 Tigert V, Al-shaieb Z. Pressure seals-their diagenetic banding-patterns[J]. <i>Earth - Science Reviews</i>, 1990, 29: 227~240</p> |
|---|--|

THEORY OF EPISODIC MIGRATION AND ACCUMULATION: EVIDENCE AND EXPLORATION SIGNIFICANCE

Zhao Jingzhou

(*Xian Petroleum University, Xian, Shannxi 710065, China*)

Abstract: It is evidenced that episodic migration and accumulation is rapid, efficient and periodic as a kind of reservoir formation, and therefore significant to the formation of mid-large oil and gas fields. Like gradual migration and accumulation of hydrocarbon, episodic migration and accumulation is also found to be quite common type of reservoir formation in petroleum basins. Compared with gradual migration and accumulation, episodic migration and accumulation is particularly important in basins that experienced strong orogenies, fault activity or have abnormal pressures. Unlike gradual migration and accumulation, which is more important in cratonic basins, episodic migration and accumulation is more important in foreland and rift basins. It should be noted that episodic migration and accumulation is not fully controlled by hydrocarbon generation window in time, but mainly by tectonic events (fault activity in particular) and evolution of abnormal pressure as well. Consequently, history of tectonic changes, fault activity and/or abnormal pressure development determine that of episodic migration and accumulation. The theory of episodic migration and accumulation is not only an important supplement to the traditional theory of petroleum geology, but also broads the exploration domain and further defines the exploration orientation of mid-large oil and gas fields.

Key words: theory of episodic migration and accumulation; evidence of episodic migration and accumulation; fluid compartment; regularity of migration and accumulation; exploration significance