

文章编号: 1001 - 6112(2005)05 - 0425 - 08

成烃成藏理论新思维

关德范, 王国力, 张金功, 王捷

(中国石化科技开发部, 北京 100029)

摘要: 油气的生成、运移、聚集和散失, 是在盆地形成、发展直至萎缩的石油地质演化过程中, 各种沉积物经历了一系列物理、化学变化共同作用后的产物。烃源岩的初次运移过程, 应当是在卸载减压物理场条件的诱发作用下, 先产生烃源岩“破裂排烃”, 然后是“排烃压实”, 最终才导致“压实排烃”。区域概念上就可以把石油聚集量理解为石油排出量。盆地全面萎缩发展阶段是盆地油气藏的最终完善定型期。

关键词: 整体上升; 破裂排烃; 排烃压实; 石油聚集量; 成烃成藏

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

石油地质理论应概括为成盆、成烃、成藏 3 个方面。3 部分内容是紧密相连、相辅相成、一环扣一环的关系^[1~5]。成盆是基础, 成烃是关键, 成藏是核心。

一个沉积盆地是否具备油气生成的基本条件, 是沉积盆地能否成为含油气盆地的关键。盆地持续沉降阶段是盆地内部各种沉积物质的积累过程^[6~12], 也是这些沉积物质在物理和化学作用下的能量转化和能量积累过程, 其物理及化学作用的特点是加载增压。伴随这一过程, 盆地内的有机物质实现了成烃热演化反应。

盆地整体上升遭受剥蚀, 持续沉降阶段已积累的各种能量逐步释放, 卸载减压, 并重新达到新的平衡, 这一成藏过程将一直延续到盆地全面萎缩阶段。

1 含油气盆地持续沉降阶段泥质沉积物的埋藏演化与成烃

含油气盆地沉积物的成岩过程与不含油气沉积盆地有本质区别, 主要原因是前者除具有砂质和泥质沉积物的成岩演化特征外, 还具有有机物质的成岩演化特征。因此, 在分析含油气盆地的沉积物成岩过程时, 要把泥质沉积物当成烃源岩来分析有机质热演化过程, 并研究这种热演化过程对泥质沉积物成岩过程的影响。

1.1 已知含油气盆地主要烃源岩的发育特征

从目前已知含油气盆地主要烃源岩的统计资料

分析, 烃源岩大多具有以下几方面的主要发育特征。

1) 含油气盆地主要烃源岩的沉积速率均较大。据资料统计, 陆相湖盆半深湖、深湖相的烃源岩, 其沉积速率一般都达到 200 m/Ma 以上。例如: 泌阳凹陷核桃园组二段、三段的主要烃源岩, 沉积速率为 394 m/Ma, 最大可达 500 m/Ma; 东营凹陷沙河街组四段上部—三段下部的的主要烃源岩, 沉积速率为 300 m/Ma。由于沉积速率较大, 有机质得以保存, 为含油气盆地的成烃奠定了物质基础。

2) 含油气盆地主要烃源岩中的泥质成分与砂质成分之比, 大多为 7:3 或 8:2。这种泥砂比不仅有利于泥质岩(烃源岩)的成烃, 而且有利于排烃, 因为这些砂质岩能起到输导层连通体的作用。

3) 干酪根热降解过程需要盆地内部的热能来促使其化学键断裂, 但压力增加会影响干酪根热降解, 即压力越高干酪根越不易降解。高地温梯度盆地中烃源岩大量生成油气的埋深和温度远远小于低地温梯度盆地。例如: 泌阳凹陷、冀中拗陷、柴达木盆地的主要烃源岩都属第三系, 但地温梯度依次为 4.2×10^{-2} , 3.4×10^{-2} , 3.0×10^{-2} /m, 油气大量生成时的埋深和温度依次为 1 800 m 和 85 °C, 2 700 m 和 95 °C, 3 300 m 和 126 °C (图 1)。

4) 伴随盆地持续沉降过程, 烃源岩层内部往往呈现异常高压状态^[8]。这是因为, 在埋藏过程中上覆岩层的重量一部分转化成了流体压力; 烃源岩中的水体随着地温增加, 水的热膨胀也将增大孔隙流体压力; 干酪根热演化生成油气后, 流体体积增加,

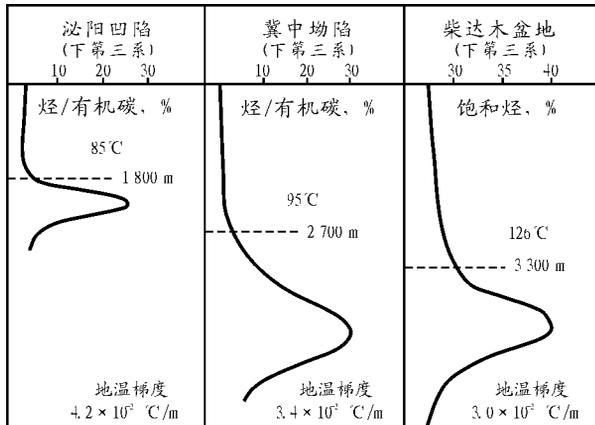


图 1 中国部分第三系烃源岩的烃转化曲线^[13]

Fig. 1 Hydrocarbon generation ratio curve of Tertiary source rock in China

在相对封闭的环境下转化成地层压力。

5) 含油气盆地烃源岩进入大量油气生成高峰时, 油气占据了孔隙空间, 烃源岩内部孔隙减少。地温梯度高的含油气盆地, 油气大量生成的埋深较浅, 烃源岩内部的孔隙在孔隙度较高的情况下被油气填充, 不仅占据了较大的孔隙空间, 而且增加了烃源岩内部的地层压力。相反, 地温梯度较低的含油气盆地, 油气大量生成的埋深较深, 烃源岩内部的孔隙随着上覆岩层的压实作用而减少, 因此被油气填充的孔隙空间也较少。这就是为什么地温梯度高的含油气盆地, 比地温梯度低的含油气盆地油气丰富的重要原因。

1.2 盆地持续沉降末期——主要烃源岩基本进入油气成熟期

沉积盆地与含油气盆地的本质区别, 主要表现在盆地持续沉降阶段末期, 主要烃源岩是否进入油气成熟时期。据 97 个国内外含油气盆地(或坳陷、凹陷)的资料统计^[14-18], 这些含油气盆地的主要烃源岩, 在盆地持续沉降阶段末期都进入了油气成熟期(表 1)。

石油地质家在分析含油气盆地持续沉降阶段的石油地质演化特征时, 应着重研究有机物质的丰富程度、泥质沉积物的沉降沉积速率、地温场性质和地温梯度, 最终只要确定主要烃源岩在盆地持续沉降阶段末期是否进入成熟时期就可以了。

1.3 “破裂排烃”与“排烃压实—压实排烃”

从理论思维方面深入探讨排烃问题时, 我们必须充分考虑到石油和天然气是一种极易流动的物质, 只有在压力差的驱动下才能从高压区流向低压区。在分析盆地持续沉积阶段的沉积特征和物理场性质时, 要对油气未进入和已进入成熟时期分别思考。

1) 烃源岩未进入成熟阶段, 盆地内的泥质和砂质沉积物经历了机械压实沉积成岩作用过程。在这一沉积阶段, 盆地整体的物理场性质是加载增压, 盆地内部各类沉积区之间的压力已通过沉积物的沉积速率和沉积数量的调整达到了平衡。

2) 砂质岩发育区, 孔隙度降到 30% 以下时, 砂质颗粒已彼此紧密接触, 此时的压实性质已由机械压实阶段进入弹性压实阶段。上覆岩层对砂质岩的压实作用的主要表现形式, 已由其内部孔隙逐渐减少转变为内部弹性能逐步增加, 从而导致砂质岩内部形成异常高压。

3) 泥质岩发育区, 烃源岩进入成熟阶段 ($R_o > 0.5\%$) 以后, 随着烃类物质大量生成并逐步占据孔隙空间, 上覆岩层对泥质岩(烃源岩)的压实作用的主要表现形式, 已由其内部孔隙逐渐减少转为欠压实, 烃源岩内部的压力将逐步增加, 最终形成异常高压。盆地持续沉降阶段末期, 受盆地整体加载增压物理场的控制, 砂质岩和泥质岩均处于相对平衡状态。

在加载增压的物理场条件下, 从理论上讲, 烃源岩不存在“压实排烃”过程, 主要原因是基本不存在足以使烃源岩“压实排烃”的泄压区。只有当盆地由

表 1 不同盆地持续沉降阶段末期主要烃源岩埋深及成熟度对比简表

Table 1 Maturity and depth comparison of main source rock in the end of continuous subsiding period in different basins

项目	松辽盆地	济阳坳陷	泌阳凹陷
盆地持续沉降阶段末期	嫩江组沉积末期	东营组沉积末期	廖庄组沉积末期
主要烃源岩	青山口组一段	沙河街组四段上部、三段下部	核桃园组三段
主要烃源岩埋深/m	2 000	3 000 ~ 3 500	3 500
主要烃源岩进入成熟期的埋深/m	1 200 ~ 2 100	2 200 ~ 3 800	1 800 ~ 3 100

持续沉降阶段转为整体上升阶段时,盆地物理场性质由加载增压转为卸载减压,烃源岩瞬间能量释放产生各种破裂,烃类才能通过这些裂缝向处于减压区的砂质岩排出和运移。泥质岩(烃源岩)进一步压实,从而实现“压实排烃”。烃源岩的初次运移过程,应当是在卸载减压物理场条件的诱发作用下,先产生烃源岩“破裂排烃”,然后是“排烃压实”,最终才导致“压实排烃”。

1.4 烃源岩生油量和排油量概念的理论思维

从石油地质角度分析,干酪根热降解生成的石油存在于烃源岩(泥质岩)的孔隙中间,当 R_0 值为 0.5%,开始进入成熟阶段(暂不考虑未熟—低熟油阶段)时,烃源岩孔隙度已降到 10%~20%左右。这就是说,烃源岩进入成熟阶段,干酪根热降解生成的石油所能充满的最大“可容纳空间”,只有烃源岩孔隙度范围内的孔隙空间,据此算出的生油量就是烃源岩的最大生油量。即:

$$Q = H \cdot S \cdot \rho \cdot B \cdot K_n \cdot$$

$$\text{或 } Q = H \cdot S \cdot \rho \cdot C \cdot K_c \cdot$$

式中: Q ——生油总量, 10^8 t;

H ——烃源岩层厚度, km;

S ——烃源岩层面积, km^2 ;

ρ ——烃源岩密度, 10^8 t/ km^3 ;

B ——烃源岩氯仿沥青“ A ”的含量, %;

C ——烃源岩有机碳含量, %;

K_n ——沥青转化系数;

K_c ——有机碳转化系数;

——烃源岩 $R_0 = 0.5\%$ 时的孔隙度值, %。

因此,含油气盆地地温梯度高、烃源岩埋深较浅、 $R_0 = 0.5\%$ 时的孔隙度值越大,其烃源岩生油量的有效值就越大。

根据上文的“破裂排烃”、“排烃压实”、“压实排烃”思路,不管是早排烃还是晚排烃,烃源岩中已生成的石油只要排出,烃源岩就要被压实,烃源岩的孔

隙度就要降低。用烃源岩 $R_0 = 0.5\%$ 时的孔隙度值减去现今埋深的孔隙度值,所得的差值所能容纳的空间,就是烃源岩经压实排出的石油量:

$$Q = H \cdot S \cdot \rho \cdot B \cdot K_n \cdot$$

$$\text{或 } Q = H \cdot S \cdot \rho \cdot C \cdot K_c \cdot$$

式中: Q ——烃源岩排油总量, 10^8 t;

——烃源岩在 $R_0 = 0.5\%$ 时的孔隙度值与现今烃源岩埋深孔隙度值之差, %。

排烃只与盆地整体上升遭受剥蚀后卸载减压开始阶段的埋深相关,不存在排烃门限深或浅的概念。

1.5 石油聚集量的理论探讨

我们知道,石油作为流体,只有在存在压差的情况下,才能从烃源岩中排出并向储集岩中运移且在有圈闭条件的地区聚集。如果把烃源岩发育区称为石油排出区,把储集岩发育区称为石油聚集区的话,那么从区域概念上就可以把石油聚集量理解为石油排出量,也就是说,所有排出的石油都在聚集区聚集了。由于储集岩发育区内的各种储集岩体形态、大小均不一样,构成圈闭的形态、大小也不一样,与烃源岩排出区的压差更不可能一样,这样就导致了石油聚集区内的石油呈现不同聚集方式,有的以圈闭形态聚集,有的以单个储集体形态聚集,有的以分散状大面积聚集在某些储集岩层中,还有许多以我们目前还无法了解的形态在石油聚集区存在着。

按上述思维方法分析,笔者对我国东部主要油田的烃源岩排出量做了计算,并与这些油田的资源评价研究成果进行了对比,发现笔者计算的烃源岩排出量与各油田计算的石油聚集量基本一致(表2)。

2 含油气盆地整体上升阶段的石油地质演化与成藏

含油气盆地经过了持续沉降阶段以后,盆地内物理能和化学能大量积累,造成盆地内部及其与盆

表2 烃源岩排出量与石油聚集量(石油资源量)对比

Table 2 Comparison between oil expulsion quantity of source rock and oil accumulation quantity

盆地 (拗陷或凹陷)	“二次资评”石油 聚集量/ 10^8 t	“三次资评”石油 聚集量/ 10^8 t	笔者计算的石油 排出量/ 10^8 t
松辽盆地北部地区	93	86	87
济阳拗陷	76	83	88
泌阳凹陷	3.08	3.38	3.25
大民屯凹陷	6	5.7	6.1

地周边地区间的不平衡,必然要通过整体上升剥蚀来实现新的平衡。

盆地整体上升阶段通过剥蚀重新进行物质调整,盆地物理场性质由加载增压转变为卸载减压,盆地内的油、气、水必然要重新调整以寻求一种新的平衡状态。从石油地质来讲,这种寻求平衡的过程就是油气运移、聚集、成藏的过程。

2.1 含油气盆地整体上升阶段的物理场特征

2.1.1 储集岩(砂质岩)发育区的物理场特征

随着盆地整体上升,砂质岩发育区上覆岩层逐步被剥蚀而不断减少,进入卸载减压的物理场环境。在砂质岩内部积累的弹性性能必然向着卸载方向(盆地上方)减压释放。在砂质岩发育区具有 2 种上升的力:一种是随着盆地整体上升的动力;一种是砂质岩内部积累的弹性性能释放的内力,可称为“砂岩回弹力”。在这 2 种力的共同作用下,砂质岩发育区上升速度较快,因而遭受的剥蚀量和剥蚀速率也较大,缺失的地层也较多。在盆地整体上升遭受剥蚀的发展阶段,盆地砂质岩发育区在卸载减压物理场特征的控制下,形成盆地内部的相对低压区(图 2)。

2.1.2 烃源岩(泥质岩)发育区的物理场特征

随着盆地整体上升,烃源岩(泥质岩)发育区在盆地整体上升瞬间能量释放过程的诱导作用下,烃源岩内部处于高压状态的油气“减压膨胀”,导致烃源岩破裂和油气初次运移。烃源岩内部与砂质岩相连通的砂岩夹层,或连接烃源岩与砂质岩的断层,成为油气运移的输导层。烃源岩内部的油气通过输导层不断向处于低压区的砂质岩中运移,随着烃源岩孔隙中的油气不断排出,烃源岩在上覆岩层的作用下进一步压实排烃,孔隙度进一步降低。因此,在盆

地内部的烃源岩发育区也有 2 种力,一种是随着盆地整体上升的动力,方向是盆地上方;另一种是上覆岩层的负荷使该地区产生向下的力。在这 2 种方向相反的力的作用下,烃源岩发育区不仅是盆地内上升速度最慢、遭受剥蚀最小的地区,甚至呈现相对下降接受沉积的趋势。在盆地整体上升遭受剥蚀的发展阶段,烃源岩发育区除早期瞬间处于卸载减压状态外,随后的物理场特点仍是加载增压,形成盆地内部的高压区(图 3)。

总之,盆地整体上升遭受剥蚀的发展阶段,由于卸载减压的诱导作用,砂质岩发育区形成了卸载减压相对低压区;烃源岩发育区继续处于加载增压高压区。含油气盆地整体上升剥蚀发展阶段形成的这种物理场特征,不仅提供了油气初次运移的诱发动力,而且形成了烃源岩区的超压与储集岩区的低压之间的压力差,为盆地内油气成藏提供了主要动力。

2.2 油气成藏过程的理论思维

探讨油气成藏过程,实质是分析盆地整体上升遭受剥蚀的发育阶段,盆地内压力场特别是烃源岩(泥质岩)发育区和储集岩(砂质岩)发育区的压力场变化特征。

2.2.1 烃源岩(泥质岩)发育区压力场特征

当盆地由持续沉降转为整体上升遭受剥蚀发展阶段时,有效烃源岩经过“破裂排烃”、“排烃压实”、“压实排烃”3 个主要阶段。在“压实排烃”阶段,要具体分析 2 种不同的情况。1) 盆地整体上升遭受剥蚀的速率大于烃源岩的压实速率,减少了上覆岩层对烃源岩的重力压实,不仅使“压实排烃”的速率降低,而且使油气运移的动力大大减弱。这种情况不利于烃源岩排烃和油气运移;2) 盆地整体上升遭受剥蚀的速率小于烃源岩的压实速率,烃源岩内部由

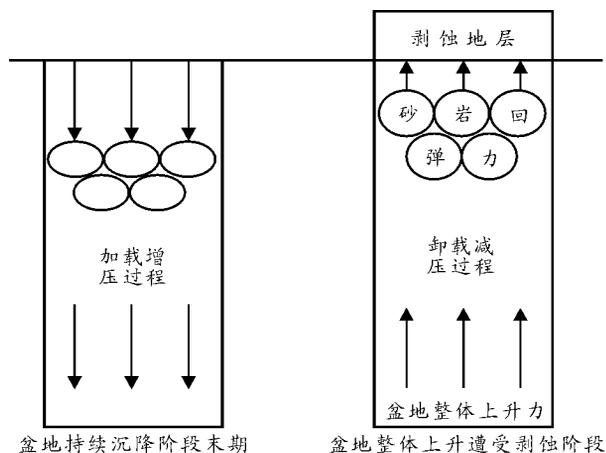


图 2 盆地整体上升遭受剥蚀阶段砂质岩发育区的物理场特征

Fig. 2 Physical field characteristics of sandstone area during the rising period of the whole basin

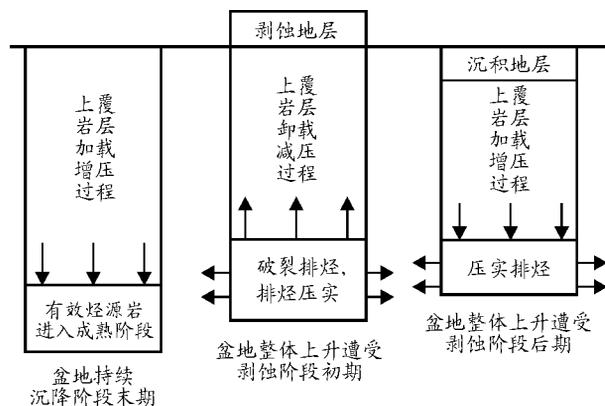


图 3 盆地整体上升遭受剥蚀阶段烃源岩(泥质岩)发育区物理场特征

Fig. 3 Physical field characteristics of source rock area during the rising period of the whole basin

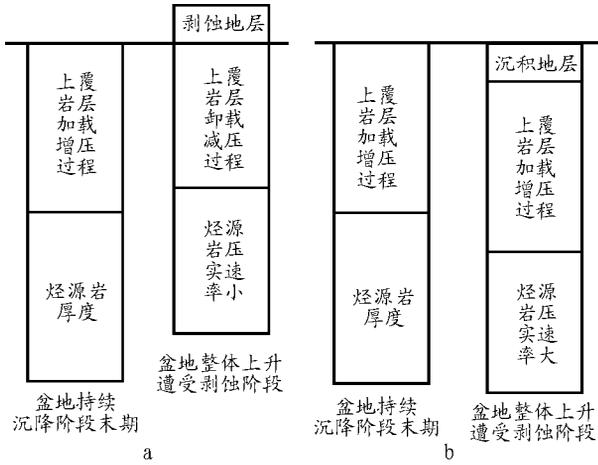


图 4 烃源岩“压实排烃”特征示意图

a. 盆地上升速率 > 烃源岩压实速率; b. 盆地上升速率 < 烃源岩压实速率

Fig. 4 Sketch map of the characteristics of compaction and hydrocarbon expulsion of source rock

于油气排出而造成了短暂的“亏损状态”，导致烃源岩发育区呈现区域性缓慢下降接受沉积补偿的发育特点，从而增大了上覆岩层对烃源岩的重力压实，使烃源岩的“压实排烃”速率增大，油气运移动力增加（图 4）。这就是为什么有一些含油气盆地在盆地整体上升遭受剥蚀阶段，烃源岩发育区的地层相对剥蚀较少、地层保存较完整的主要原因。

2.2.2 储集岩(砂质岩)发育区压力场特征

由于砂质岩的厚度、颗粒大小、磨圆度、分选以及胶结物成分和胶结类型等情况均不相同，在盆地持续沉降阶段所积累的弹性能量的多少也不一样。当盆地由沉降转为上升遭受剥蚀过程时，在卸载减压物理场的诱发作用下，各处砂质岩向上回弹的速率也就各不相同，造成了差异性的上升变化过程。如果在上升遭受剥蚀过程中又受到不同外力（如挤压力、引张力、压扭力、张扭力等）的作用，那么在这几种力的作用下，砂质岩发育区内储集岩的空间展布形态发生了很大改变，同时形成了各种类型的圈闭或地质构造。只要这些圈闭或地质构造与烃源岩发育区之间存在压力差，油气必将向这些圈闭或地质构造中运移并聚集成藏。因此探讨油气成藏过程，关键问题是分析砂质岩发育区在盆地整体上升遭受剥蚀过程中的压力场性质及其变化特征。

我们知道，砂质沉积物是一种弹性物质。在盆地持续沉降末期，在上覆岩层的重力压实作用下，砂质岩内部已积累了大量弹性能；当盆地由持续沉降转为整体上升遭受剥蚀发育阶段时，在卸载减压的诱发作用下，砂质岩体内部积累的弹性能量必然向地表减压的方向释放，这一能量释放过程称为

“砂岩回弹”。“砂岩回弹”在油气成藏过程中起着决定性的作用，具体表现在以下几个方面：

1) “砂岩回弹”现象不仅导致砂质岩发育区域整体处于低压或负压状态，成为烃源岩区成熟油气运移的目标区；而且对烃源岩区域形成一股巨大的抽吸力，构成油气二次运移的主要动力。

2) “砂岩回弹”使砂质岩的储集物性明显变好。图 5 展示的澳大利亚某油井 2 730 m 井深的岩心，是密闭取心取上来的。当岩心筒到达井口时，听到明显的岩石破裂的声音，打开岩心筒取出岩心后发现，整块岩心呈现许多水平裂隙，间距 3 ~ 5 mm。这块岩心显示的砂质岩储集特征可以证实，在盆地整体上升遭受剥蚀过程中的“砂岩回弹”现象对砂质岩储集物性的改善起着重要作用。这种作用主要表现在，使砂质岩储层的矿物颗粒由紧密接触变成膨松，胶结物脱落，导致砂质岩孔隙度和渗透率大大增加。如在我国大庆油田和胜利油田主要储油岩层的岩心中，也可以见到砂质岩颗粒松散和胶结物脱落的现象。

3) “砂岩回弹”作用形成的断裂，可作为良好的油气输导层。烃源岩发育区与砂质岩发育区相接触的地区，在盆地整体上升遭受剥蚀的发展阶段，烃源岩发育区处于相对下降或上升速度较慢的状态，而砂质岩发育区由于“砂岩回弹”作用，一直处于上升速度较快的状态。因此，位于烃源岩发育区与砂质岩发育区相接触的地区，处于一侧向下运动另一侧向上运动的外部应力场环境，往往形成断裂，连通烃源岩和储集岩，可作为良好的油气输导通道（图 6）。

4) 差异压实构造及成藏组合体。差异压实构造的形成，是在盆地持续沉降阶段、沉积成岩演化过程中，在伸向湖盆中心的若干河流三角洲和各类扇三角洲沉积体系的基础上，砂质沉积物相对富集发育的地带及其两侧湖相泥质沉积物由于机械压实和弹性压实的差异而形成的一种沉积构造。为突出其成



图 5 澳大利亚某油田 2 730 m 井深的砂质岩岩心剖面照片

Fig. 5 Photo of sandstone drill core at the depth of 2 730 m from some well in Australia

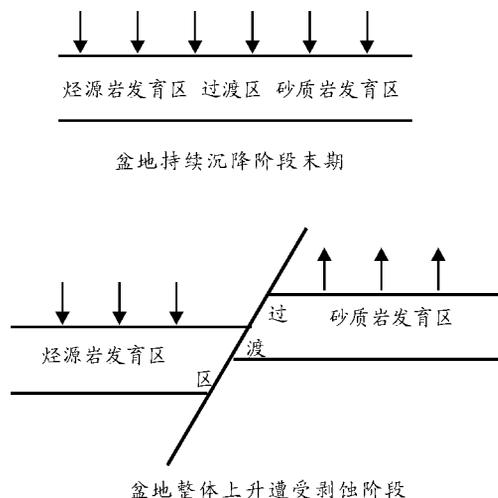


图 6 盆地整体上升遭受剥蚀阶段烃源岩发育区与砂质岩发育区相接触地区断层形成示意图

Fig. 6 Sketch map of fault formation at the transition area between source rock and sandstone area in the stage of whole basin rising

因机理,故称之为差异压实构造。盆地持续沉降阶段末期,差异压实构造发育地区不仅是砂质岩发育区内砂岩厚度最大、储集物性最好的地区,而且也是弹性能量积累最多的地区。当盆地整体转入上升遭受剥蚀阶段时,在卸载减压物理场的诱发作用下,差异压实构造发育地区的“砂岩回弹”作用最明显,主要表现在:

a) 差异压实构造发育地区伴随着盆地整体上升遭受剥蚀的卸载减压过程,由于这一地区砂质岩内部的弹性能量积累最多,因此“砂岩回弹”力也最大,其上升速度最快。这就使砂质岩发育区由于“砂岩回弹”速率不同而造成了砂质岩层的起伏,差异压实构造发育区就可能形成完整的背斜构造。差异压实构造不发育的地区,由于上升速率不同,也可以使岩层倾斜或断裂,造成砂质岩层的各种不同产状或形态。砂质岩发育区在盆地整体上升过程中可以形成各种类型的圈闭构造。

b) 差异压实构造发育区是“砂岩回弹”过程中,弹性能量释放最多最大的地区,也就是卸载减压最大的地区,因此这一地区与烃源岩发育区之间的压差也最大,“砂岩回弹”作用对烃源岩的抽吸力也最大。这几种因素导致差异压实构造发育区成为油气运移的主要目标区,围绕差异压实构造发育区能形成各种类型的油气藏。差异压实构造本身可以形成背斜构造油气藏,附近的砂质岩根据其产状特点的不同,可以形成地层型和岩性型的各类隐蔽油气藏。

我们可以把围绕一个差异压实构造发育区内、同处一个泄压系统而形成的各种类型的油气藏称为

一个成藏组合体。差异压实构造面积越大、累积砂质岩越厚,聚集成藏的油气就越多,如:大庆喇嘛甸、萨尔图、杏树岗 3 个油田,就是在差异压实构造背景条件下发育而成的大油田。

3 含油气盆地全面萎缩阶段烃源岩发育区的石油地质演化特征

3.1 石油初次排出后的物理场特征

随着石油不断从有效烃源岩中排出,烃源岩被不断压实,烃源岩发育区呈现不断沉降的趋势。这种在盆地整体上升背景下的缓慢下降的物理场特点,使烃源岩发育区从石油初次运移开始后,就一直又处于加载增压条件下。但与盆地持续沉降阶段的加载增压作用有所不同,这一阶段的加载增压不是表现为烃源岩内部能量的积累和异常高压的形成,而是随着烃源岩上覆岩层的增加,形成有效烃源岩“压实排烃”和驱动油气不断向储集岩发育区运移的主要动力(图 7)。

随着盆地由整体上升转为全面萎缩调整阶段,烃源岩发育区伴随盆地整体沉降又一次接受沉积,进一步加大了有效烃源岩上覆岩层的压力,从而使有效烃源岩的排烃速度加快,同时烃源岩进一步被压实,孔隙度进一步减小。随着盆地的不断沉降和烃源岩埋深的不断加大,盆地第一次(整体)沉降阶段末期还没有完全进入成熟时期的有效烃源岩,此

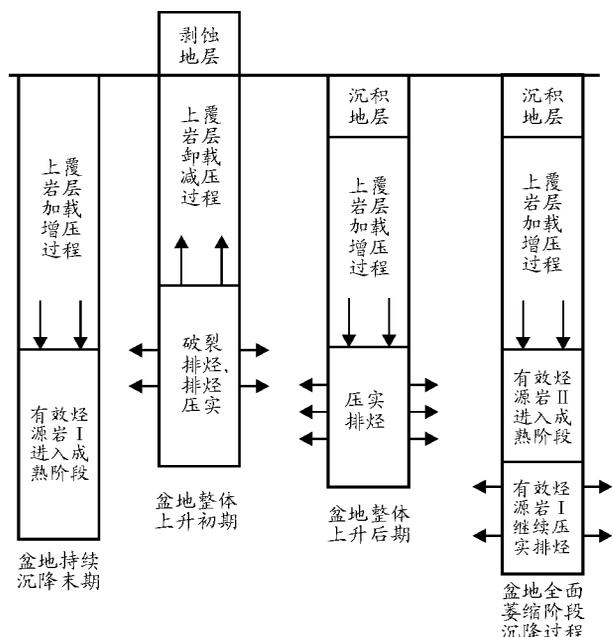


图 7 烃源岩(泥质岩)发育区的物理场性质变化示意图

Fig. 7 Physical field characteristics change in the source rock area

阶段逐步进入成熟阶段的埋深,并在上覆岩层的压实作用下,烃源岩内部的能量不断积累并逐步达到异常高压状态。当盆地再一次短暂上升时,这一套已成熟的有效烃源岩在盆地整体上升卸载减压的诱发作用下,新成熟的烃源岩破裂产生初次运移,并逐步进入“压实排烃”的石油演化过程。

3.2 烃源岩(泥质岩)发育区油气排出特征分析

稳定的“压实排烃”过程可以一直延续到盆地全面萎缩调整阶段。但在盆地的不同发展阶段,油气的排出特征与盆地升降过程的不同物理场性质有密切关系。

1) 盆地整体上升遭受剥蚀发展阶段的初期:“破裂排烃”和“排烃压实”过程。

2) 盆地整体上升遭受剥蚀发展阶段的中、后期:稳定的“压实排烃”过程。

3) 盆地全面萎缩发展阶段的沉降作用:当盆地进入全面萎缩阶段时,首先通过沉降进行物质补偿,烃源岩发育区仍处于继续沉积状态。随着盆地的再次沉降,烃源岩发育区有效烃源岩的埋深不断加大,前一阶段已进入油气成熟期的有效烃源岩,此阶段逐步进入油气过成熟期的埋深,进一步“压实排烃”,直至孔隙度降到3%~5%左右,压实排烃已不起作用为止。盆地持续沉降发育阶段末期,还没有完全进入油气成熟期的有效烃源岩开始逐步进入油气成熟期的埋深。随着油气进一步大量生成并逐步填充于烃源岩孔隙之间,新进入成熟期的有效烃源岩孔隙压力逐步增加,烃源岩内能量逐步积累。同时随着盆地小幅度沉降,盆地整体又一次处于加载增压过程。此阶段砂质岩发育区也同时处于加载增压过程,这就减少了烃源岩发育区与砂质岩发育区之间的压差,使烃源岩发育区的“压实排烃”过程相对处于“停滞”状态,因此这一阶段石油地质的演化特点是有效烃源岩内部能量的缓慢积累过程。

4) 盆地全面萎缩发展阶段的上升作用:盆地再一次呈现短暂上升状态,又一次处于卸载减压过程,有效烃源岩中的油气再一次向减压区排出。如果此阶段存在与前一阶段输导层相沟通的油气运移通道,则有效烃源岩排出的油气可以继续向已形成的油气藏中充注,油气丰度增加。如果此阶段新成熟的有效烃源岩排出的油气,经新形成的输导层流向新的泄压区圈闭内的储集空间的话,则会形成一批

新的油气藏。

总之,烃源岩发育区在盆地全面萎缩发展阶段每一次短暂升降的调整作用,都会使已成熟的有效烃源岩经历一次快速排烃过程,同时又能形成一套新的成熟烃源岩进入生烃、排烃过程,不仅导致已形成油气藏的二次充注,而且能形成一批新的油气藏。因此,盆地全面萎缩发展阶段是盆地油气藏的最终完善定型期,这一调整发展过程一直延续至今。

参考文献:

- 1 Levorsen A I. Geology of petroleum[M]. 2nd edition. San Francisco: W H Freeman, 1967
- 2 Tissot B P, Welte D H. Petroleum formation and occurrence [M]. 2nd revised and enlarged edition. Heidelberg: Springer Verlag, 1984
- 3 Chapman R E. Petroleum geology [M]. Amsterdam: Elsevier Science, 1983
- 4 North F K. Petroleum geology [M]. Boston: Allen Linwin, 1985
- 5 Magoon L B, Dow W G. The Petroleum system—from source to trap, AAPG memoir 60[M]. Tulsa: AAPG, 1994
- 6 冯增昭. 中国沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,1994
- 7 高瑞祺,蔡希源. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律[M]. 北京:石油工业出版社,1997
- 8 裘亦楠,王衡鉴. 差异压实与大油气田[J]. 石油勘探与开发, 1981,8(1):1~12
- 9 吴崇筠,薛叔浩. 中国含油气盆地沉积学[M]. 北京:石油工业出版社,1992
- 10 刘德良. 地球与类地行星构造地质学[M]. 合肥:中国科学技术大学出版社,1997
- 11 田在艺,张庆春. 中国含油气沉积盆地论[M]. 北京:石油工业出版社,1996
- 12 韩晋阳,肖军,郭齐军等. 渤海湾盆地南堡凹陷沉降过程、岩浆活动、温压场演化与油气成藏的耦合关系[J]. 石油实验地质,2003,25(3):257~263
- 13 黄第藩,李晋超,周翥虹等. 陆相有机质演化和成烃机理[M]. 北京:石油工业出版社,1984
- 14 朱又红,王骏. 松辽盆地十屋断陷、长岭凹陷深层资源潜力分析[J]. 石油实验地质,2003,25(2):149~152
- 15 王秉海,钱凯. 胜利油区地质研究与勘探实践[M]. 东营:石油大学出版社,1992
- 16 周玉琦,易荣龙,舒文培等. 未来中国的油气资源前景探讨[J]. 石油实验地质,2003,25(3):227~234
- 17 胡文海,陈冬晴. 美国油气田分布规律和勘探经验[M]. 北京:石油工业出版社,1995
- 18 秦建中,王静,李欣等. 渤海湾盆地饶阳凹陷未熟—低熟油成烃成藏条件研究[J]. 石油实验地质,2003,25(增刊):566~572

NEW IDEA ABOUT HYDROCARBON GENERATION AND POOL FORMATION

Guan Defan , Wang Guoli , Zhang Jingong , Wang Jie

(Department of Science and Technology Development , SINOPEC, Beijing 100029, China)

Abstract : Hydrocarbon generation , migration , accumulation and diffusion loss are the products of sediments after a series of physical and chemical changes during basin formation , development and withering . The first migration of oil and gas is caused by physical field of unloading and decompression . Source rock experiences cracking and hydrocarbon expulsion at first , and then hydrocarbon expulsion and compaction , and finally compaction and hydrocarbon expulsion . Oil accumulation quantity can be comprehended as oil expulsion quantity territorially . Basin withering stage is the period of reservoir consummating and definitizing .

Key words : rising of the whole basin ; cracking and hydrocarbon expelling ; hydrocarbon expulsion and compaction ; oil accumulation quantity ; hydrocarbon generation and pool formation

“国家天然气科技攻关 20 年学术研讨会”在北京召开

“国家天然气科技攻关 20 年学术研讨会”于 2005 年 8 月 31 日至 9 月 2 日在北京香山饭店召开。会议由中国石油勘探开发研究院主办。来自国家科技部、中国石油、中国石化、中海油、中国科学院及有关高校的 143 位代表参加了此次盛会。王涛、史训知等老领导,孙枢、戴金星、邱中建、汪集旻、贾承造院士,以及国家科技部农村与社会发展司孙洪司长、延吉生处长出席了大会。有 34 位代表在大会上发言,总结“六五”以来天然气科技攻关取得的天然气勘探理论及技术研究成果,并对我国天然气资源远景、勘探开发中存在问题及下一步攻关方向等提出了今后工作的设想和建议。

国家天然气科技攻关从“六五”至“九五”连续进行了 4 次近 20 年,是我国单项专业性科技攻关最长久的项目,取得了丰硕的成果。天然气科技攻关前,我国探明天然气地质储量只有 $2\ 889 \times 10^8 \text{ m}^3$,大气田只有 2 个,且储量规模均在 $1\ 000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以下,年产气量仅为 $119.3 \times 10^8 \text{ m}^3$,除台湾以外只有 1 个四川气区。至 2004 年底,我国探明气层气储量高达 $43\ 816.8 \times 10^8 \text{ m}^3$,是天然气攻关前探明总储量的 15 倍;共探明大气田 32 个,其中 $1\ 000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 以上储量规模的大气田有 7 个;年产气量上升至 $407.7 \times 10^8 \text{ m}^3$;建成和初步建成的气区达 6 个。经过 20 年的科技攻关,我国天然气地质学从石油地质学的附庸发展为独立学科。天然气勘探理论由一元论发展为多元论,建立和发展了煤成气理论、天然气成藏理论,形成了古隆起控制天然气的富集理论,提出了天然气晚期成藏理论,建立了天然气富气区带理论。

天然气科技攻关 20 年,有 7 500 人次投身于天然气研究,造就了大批天然气科技人才,为今后天然气快速发展提供了人才基础。天然气科技攻关是科学研究上多兵种、多层次、多部门大协作的成功范例,是“科研促生产、生产促科研”的典范,为石油行业组织跨部门、跨行业的科研力量,联合实施重大科技攻关项目,积累了成功经验。

代表们一致认为,20 年的天然气科技攻关成果虽很辉煌,但是,我国天然气工业的可持续发展和天然气勘探开发实践要求我们继续研究解决天然气资源、勘探开发理论基础、勘探开发和输送技术、利用国外资源等挑战性问题。我们应继续发扬天然气攻关精神,在新时代继续攻克新的天然气科技难关,使我国迈向产气大国的步伐更快。

(姚俊梅)