

沉降拗陷主体多阶段演化与油气成藏

郑建京 彭作林

(中国科学院兰州地质研究所, 兰州 730000)

提 要 含油气盆地沉降拗陷主体以其多阶段旋回性发展制约着含油气盆地沉积、沉降和生油气凹陷中心形成和发展, 制约着拗陷的沉积岩系序列和烃源岩发育。生油气拗陷的连续沉降过程或不同原型盆地的垂向叠加而构成的间断多阶段沉降过程, 在烃源岩不断埋深的状态下, 控制着烃源岩生烃热演化的多阶段连续生烃过程。多期构造运动, 又为不同时代生烃、不同类型油气提供了运聚成藏条件, 为油气多源复合成藏提供了前提。

关键词 构造运动 沉积主体 生烃与成藏

第一作者简介 郑建京 男 39岁 副研究员 地球化学

含油气盆地沉降拗陷主体的形成和发展表征出清楚的多旋回阶段性特征。盆地拗陷内沉积物逐渐被持续埋深和区域地温场背景影响而导致地温增加, 是烃源岩内有机质向石油、天然气转化的主要因素。盆地构造运动过程的旋回性, 表征为沉降拗陷发展过程的多阶段性, 制约着烃源岩生烃热演化的多阶段连续生烃过程。多类型烃源岩生烃、排烃, 在多期构造运动和其它各种地质营力作用下, 形成多源复合成藏。可以说, 在各种地质营力作用下, 烃源岩有机质多阶段连续生烃、多源复合成藏主要是受构造演化的多阶段性制约。

1 盆地沉降拗陷形成与烃源岩聚集

中国主要含油气盆地从纵向结构上分析, 主要是由两种或数种原型盆地叠加而成, 从平面上看, 也是由两个或数个凹陷复合而成, 或叠加复合而成。其形成、演化历史十分复杂, 在长期地质历史发展过程中, 在不同构造动力学影响下, 以不同的构造运动学方式形成了不同特征的含油气盆地。

中国大陆自海西构造运动末期—印支构造运动, 各主要海槽基本碰撞关闭并褶皱成山, 焊接为统一的大陆板块。形成在印度板块和太平洋板块夹持作用下, 以板内构造特点发展演化的构造格局。于中生代, 中国东部的构造动力学条件总体处于构造引张的动力机制中, 自晚侏罗世始发育了一系列走向北北东的裂谷断陷系。裂谷断陷系由箕状裂谷(或地堑)和断隆组成, 且随着地质历史的发展, 断陷和断隆的发育有向东迁移发展的特征。中国西北部主要沉降拗陷则表征为挤压应力背景下继承性发育或形成, 并兼具压扭特点。沉降拗陷类型主要为冲断载荷型箕状拗陷和压陷型拗陷。中国大陆中部发育的鄂尔多斯盆地

和四川盆地因距大陆周缘主要板块活动带较远, 又是两大构造活动带的应力消减区域, 古生代形成的稳定克拉通拗陷在中新生代构造运动相对稳定, 主要表征为继承性持续拗陷。

含油气沉积盆地, 尽管形成地质时期不同, 分布地区和盆地性质各异, 但在油气成藏上具有一些共同特征。1) 沉降拗陷主体的连续沉降和有利油气源岩聚集的沉积环境; 2) 发育有合理配置的生储盖组合序列; 3) 利于油气转化的构造热演化条件; 4) 利于油气运移的构造运动条件。

大中型油气区形成的首要先决条件是烃类物质生成量, 亦即是烃源岩聚集量。一般来讲, 沉降拗陷面积大, 地质演化历史长的连续沉降或间断多阶段连续沉降盆地, 多形成大型叠加复合型盆地, 其蕴集的烃源岩量巨大。如塔里木盆地、鄂尔多斯盆地。沉降速率快, 幅度大, 沉积物源充足, 古表生环境优越的盆地, 虽演化历史较短, 但因其沉积岩, 尤其是富含有机质的烃源岩发育厚度大, 蕴集的烃源岩量相对亦大, 如中国东部渤海湾诸盆地。

无论任何一种聚烃源岩形式, 构造运动过程都是主要的控制因素。

1) 构造运动过程控制拗陷的规模和拗陷的连续沉降或间断连续沉降的过程。

2) 不同构造运动方式控制不同类型拗陷的形成和拗陷的沉降速率和幅度。

3) 构造运动过程控制沉积拗陷的古表生环境和沉积物源的剥蚀速率和沉积速率。

4) 烃源岩发育规模和富含有机质丰度大小与发育场所的拗陷规模, 沉降幅度和时间, 沉积岩系的古表生环境以及埋藏条件、演化条件密切相关。

塔里木盆地含油气拗陷经晋宁运动后, 经历了约 900 Ma 的沉积拗陷发展。成盆演化历史之长, 拗陷沉积场所之大 (约 560000 km²), 为不可多见。在长期演化过程中, 形成为大型复合叠加含油气盆地, 发育有三套主力生油岩系。古生代以克拉通拗陷形式发育, 沉积了广大范围的寒武-奥陶系、石炭-二叠系碳酸盐岩类、黑色页岩、泥质岩类等的烃源岩, 累加厚度巨大。中生代以挤压动力背景中的分割性断隆和拗陷形式发育, 形成了东部大范围的晚三叠-侏罗系巨厚煤系和泥质岩系烃源岩和西部裂谷型沉积的煤系烃源岩。发育范围尤以库车拗陷、满加尔拗陷和西南拗陷西侧为最好。加之塔里木盆地构造热演化过程较慢, 烃源岩生烃、排烃地质时间较晚, 多次构造运动形成多套生储盖组合和众多类型油气圈闭, 构成中国现今勘探大油气区的主要勘探方向。

2 沉积拗陷主体连续沉降过程与生烃的多阶连续

含油气盆地构造的多阶段演化过程集中体现在盆地内各构造单元的隆起和沉降的对立统一上。隆起解体向拗陷发展, 沉积拗陷经反转作用向隆起发展或改造前期原型盆地性质, 以另一种拗陷类型继续沉降。构造运动的多阶段通过变形来认识, 构造变形是隆起和沉降过程中或在其相互转化过程中沉积物质的直观运动形式。

无论是挤压还是拉张的大地构造动力学条件, 虽然不同条件形成的原型盆地性质不同, 但都可形成沉降拗陷主体的连续或间断沉降, 进而制约着烃类物质的埋深和由温度梯度等诸因素导致的增温。这构成了天然气形成的内因和外因诸条件的连续发展的相互关系, 在生物作用、粘土矿物催化作用和热降解作用下, 烃源岩内有机质构成连续分阶段成烃。徐永昌 (1993)^[1]提出生物成因天然气“多阶连续、主阶定名”的成烃模式, 将不同阶段的气类烃, 如生物气、生物-热催化过渡带气、热催化气和裂解气“构成相互衔接, 连续过渡的

图景”。不同类型天然气是在烃源岩持续埋深,受不同温度条件和不同营力作用影响,在不同阶段形成。即与有机质自身演化作用有关,但发育有烃源岩的拗陷连续沉降和间断沉降的外因条件亦十分重要。

图1是根据胜利油田的资料绘制⁽³⁾。有机质热演化过程受温度、时间、埋深三个因素的影响。济阳凹陷第三纪发展时期,共发生三次区域不整合事件。沙河街组沙四段沉积后,发生了区域性抬升,以平行不整合为主,局部为角度不整合。渐新世末期发生大区域抬升,形成区域角度不整合。这期构造运动是济阳凹陷由裂陷期向拗陷期转化的主要构造运动事件。第三次构造运动发生在第三纪末期,形成区域上第三系与第四系间的角度不整合面。从时间和沉积岩埋深关系图上,可知不同时期沉积岩埋深的速率是不同的,这主要通过沉积岩层在时间和埋深关系图的斜率变化来判断。古新世至始新世早期(沙四段),孔店组与沙河街组下部埋藏速度较快,反映出这时期裂陷沉积速度快,沉降幅度大,图中沉积层线的斜率亦大。始新世晚期(沙一沙四)至渐新世沉积岩线的斜率变缓,反映出裂陷沉降速率变缓,幅度变小。晚第三纪中、上新世斜率进一步变缓,揭示了盆地已由裂陷阶段向拗陷阶段转化。济阳拗陷三期构造运动的发生和第三纪沉积岩系的不断埋深,说明为间断型连续沉降拗陷,且间断时期极短。

拗陷内地温梯度较高,约为 $3.6\text{ C}/100\text{ m}$ ⁽³⁾。有机质埋藏后,因拗陷沉降速度和埋藏变化较快,其热演化过程亦较快。根据有机质热演化进程,可分为四个阶段⁽⁷⁾: 1) 生物气形成阶段,对腐殖型有机质而言,在 $R_o < 0.3\%$ 阶段,地层埋深大约1000 m以内,为生物气形成主要阶段,温度约为 $20\text{--}50\text{ C}$ 之间。地层埋深大于1000 m后,微生物影响基本消失⁽¹⁾。2) 低温热演化阶段生烃。 $R_o = 0.3\% \text{--} 0.65\%$,埋深约为1000—2200 m,地温低于 93 C 。这期间主要为过渡带气和低(未)熟油形成为主。其形成烃类的控制因素除埋深,地温,热演化时间外,粘土矿物在成岩演化中形成对有机质的低温催化作用亦起了重要作用⁽⁸⁾。3) 干酪根热降解阶段。 $R_o = 0.6\% \text{--} 1.3\%$,温度 $93\text{--}122\text{ C}$,相应埋深2200—3000 m。这一阶段是济阳拗陷石油与天然气的主要生成时期。4) 高成熟演化阶段。 $R_o > 1.3\%$,埋深 $> 3000\text{ m}$,地温 $> 120\text{ C}$ 。是凝析油和热解气、裂解气形成阶段。图上近水平虚线勾勒出有机质热演化过程与时间-埋深关系的相互联系。

图1是利用济阳拗陷第三纪各组地层平均厚度和埋深累加数据编绘的,在一定程度上可反映出不同时期拗陷的相对沉降速率和不同时期烃源岩的埋深、相对生烃时间。并将不同时期烃源岩的埋深、温度和有机质热演化联系于一体。济阳拗陷为间断型连续沉降拗陷,

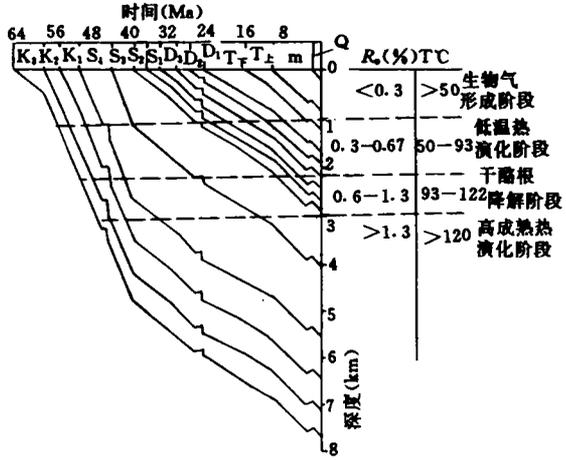


图1 胜利油区第三系沉降过程的沉积岩埋深、时间和热演化关系图

Fig. 1 Relation map of the buried depth, time and thermal evolution of sedimentary rocks in the process of the Tertiary system subsidence in the Shengli petroleum province

且沉降间断期短,沉降期速率快、幅度大,加之地温梯度高,烃源岩有机质热演化速率快,现今主要烃源岩的埋深均大于 3000 m,已进入干酪根热降解阶段和高成熟演化阶段。胜利油田油气类型多样,具有从低温热演化阶段的过渡带气,低熟油到正常原油及伴生气,到凝析油和裂解气的完整系列。

3 多期构造运动与天然气藏的多源复合

天然气多源复合成藏是天然气藏的基本地质特征^[2]。尤其是大中型气藏更是如此。现今发现的中国大中型天然气藏,鄂尔多斯气田以油型气和煤型气复合成藏为特征。下辽河中型气藏以过渡带气,热催化气为主,亦有煤型气的加入。华北油气区气藏以油型气和煤型气复合成藏,还有过渡带气的加入,甚至有的气田有壳-幔源气的复合^[1],塔里木盆地则以煤型气和不同阶段产生的油型气复合成藏。

大型含油气盆地因烃源岩母质类型的多样性,构成了气类烃的多样性,如煤型气、油型气、生物气等。在不同演化阶段,相同烃源岩形成不同类型天然气。这是形成多源复合天然气藏的气源类型条件。

构造运动过程的多旋回发生和发展,为天然气多源复合成藏提供了有利条件。盆地的构造运动属性主要表征为作用块体的变形强度,影响范围和延续时间。这一运动过程随区域动力学背景的不同而表现的力学性质不同,形成构造运动的强烈期和稳定期。陈国达(1956)^[6]总结为地壳动“定”转化递进说,并认为这是地壳发展的一般规律。塔里木盆地的演化自元古代末先后经历了晋宁运动,海西末期运动,喜马拉雅运动三次大区域强烈构造运动事件,构成了三个大的发展阶段。即古生代内克拉通拗陷发展时期,中生代分割性断块发展时期和新生代中新世后的统一沉降拗陷发展时期^[4],又经历了数次规模、强度较小的相对强烈期(不同构造单元期次,发生时间有差异)。而相对稳定期,形成了三套各种类型的烃源岩。由于盆地构造运动的多阶段旋回性发展,构造强烈期或相对强烈期与稳定期交替出现,使盆地在构造演化序列上,形成多呈不同类型原型盆地或不同阶段原型盆地叠加复合发育,不同时期聚集的多种类型烃源岩经各种地质作用形成多类型气态烃。因而,盆地具有油气多源复合成藏的地质条件。

沉积岩系在沉积、成岩过程中主要形成两大类孔渗类型。一是原生孔渗类型,一是次生孔渗类型。当孔隙度和渗透度能够满足油气运移时,在封盖条件比较好的情形下,发生油气的横向运移。这不利于大中型气藏的形成,尤其不利于多源复合气藏形成。油气勘探成果已经清楚地表明大中型油气藏(尤其是气藏)往往是不同类型油气的复合成藏。表征出油气的垂向运移是客观现实。发育有大中型油气藏的含油气盆地,在纵向上叠加发育有多套生储盖组合。封盖层一般为孔渗条件差的致密岩层(主要为泥岩、页岩或膏盐岩类)或泥岩久压实作用形成的超压封隔系统^[5]。较好地封盖系统存在使得各生储盖系统形成的气(液)态烃在不同层次上聚集成藏。虽然油气凭借自身克服毛细管阻力而发生自下而上垂向运移,但仅这一因素,很难在上层封闭系统中大量捕获下层系统的烃类,富集为大中型油气藏。多阶段发育的构造作用可不断地破坏各生储盖系统的封隔状态,沟通上层系统和下层系统的油气运移通道。这主要表现为:

1) 构造运动过程中,断裂作用以其自身活动的破碎性构成油气向上运移的通道,不断

的继承性活动过程,意味着断块的不断开启过程(张性或张扭性断裂为主),并不断加大断裂的破碎带宽度和破碎程度(张性,压性断裂)。

2) 每一次构造运动,必然对封盖层发生变形作用,产生拱曲、褶皱和大量裂缝的发育,因变形多为构造高部位,利于油气聚集,使其气(液)态烃更易向上垂向运移。

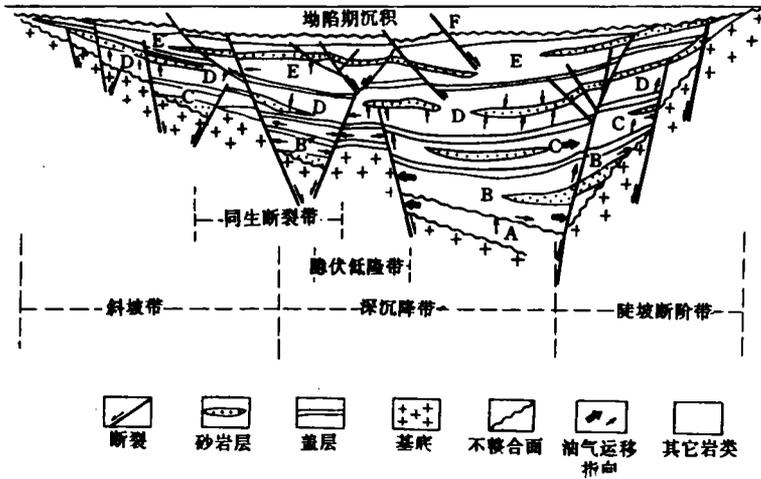


图 2 裂谷盆地油气成藏的构造条件

Fig. 2 Tectonic condition of the petroleum migration and accumulation in rift basins

3) 区域构造活动往往发育区域的不整合,以风化壳形式发育,成为构造作用下形成的较好孔渗带或油气储集带。经过比较充分风化淋滤的不整合面,是油气运移的最佳通道。在盆地演化中,于盆地边缘往往形成斜坡带。不整合面的发育,上层沉积岩系的不同区带超覆,形成弱封闭系统,一般表征为边缘开启带,构成下部油气向上运移的有利区带。

天然气分子小,易流动扩散,比石油更易形成多源复合成藏。多期构造运动形成的断裂及其破碎带、区域不整合面、构造高点裂隙系统和高孔渗条件的原生、次生系统连通一气,形成了良好的油气运聚系统,为不同气类烃多源复合成藏提供了运聚条件(图2)。

四 总 语

1) 不同大地构造动力学条件,以其不同构造运动学方式形成不同性质的沉降拗陷主体,成为大量聚集烃源岩的场所。

2) 沉降拗陷主体在形成演化过程中,通过连续或间断多阶段连续沉降,使沉积岩层不断埋深、升温,形成烃源岩生烃热演化的多阶连续生烃过程。

3) 多期构造运动,为不同时代形成的烃类,不同类型油气提供了运聚成藏条件,形成油气多源复合成藏。

参 考 文 献

- [1] 徐永昌,沈平.天然气成因新模式——I多阶连续,主阶定名.中国科学B辑,1993,23(7):751—755.
- [2] 徐永昌,沈平.天然气成因新模式——I多源复合,主源定型.中国科学B辑,1993,23(6):632—636.
- [3] 王秉海,钱凯等.胜利油区地质研究与勘探实践.石油大学出版社,1992,75—175.

- [4] 郑建京. 塔里木构造分析. 周清杰, 郑建京主编, 科学出版社, 1990, 123—129.
- [5] 华保钦. 天然气运移, 储集及封盖条件. 傅家谟, 刘德汉主编, 科学出版社, 1992, 39—56.
- [6] 陈国达. 地壳动“定”转化递进说——记地壳发展一般规律. 地质学报, 1959, 39 (3).
- [7] 周光甲等. 胜利油区地质研究与勘探实践. 王秉海, 钱凯主编, 石油大学出版社, 1992, 94—102.
- [8] 雷怀彦, 吴平. 粘土矿物对形成过渡带气的催化作用研究. 沉积学报, 1995, 13(2)14—21.

The Polystage Evolution of the Subsidence Downwarping Region and Formation of Petroleum Accumulation

Zheng Jianjing and Peng Zuolin

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000)

Abstract

The subsidence downwarping region in petroleum bearing basins was found to be characteristic of polystage and polycycle development. The characteristics of tectonic movement controlled the formation and development of sediment subsidence and petroleum bearing depression center, and also influenced the sedimentary rock sequence and formation of hydrocarbon source rocks. The process of successive subsidence or interruptly polystage subsidence existed during the formation of petroleum bearing downwarping region as a result of the vertical superposition of prototype basins in the geologic time. This process controlled the polystage successive hydrocarbon-generating process in the thermal evolution of source rocks, in the condition of continuously being buried.

Multiphase tectonic movements formed faults shatter belts regional, unconformity and fissure system of structural culmination, which together with good primary porosity-permeability and secondary porosity-permeability system in the process of diagenesis supplied different phases and types of oil and gas under the condition of migration and entrapment.

Key words: tectonic movement subsidence downwarping region hydrocarbon generation accumulation