

油气运移研究的有效途径

陈荷立

(西北大学, 西安 710069)

油气运移综合研究系统, 是以晚期运移现代观点为指导, 深入的地质研究为基础, 流体压力孕育史及势演化史的恢复为核心, 服务于含油气盆地远景动态评价为目的。实践证明该系统比静态评价方法具有明显的优势, 是油气运移研究的一个非常有效的途径。

关键词 油气运移 数值模拟 流体压力 动态评价 综合系统 流体势

作者简介 陈荷立 女 62岁 教授 石油地质

油气运移是油气藏形成中不可缺少的重要过程, 但它又是石油地质研究中最为薄弱的环节。油气勘探强调生油层、储集层、盖层、圈闭等静态条件, 却往往忽略油气运移的动态条件, 这就不可避免的导致预测失误, 选区不准。近年来运移研究开始引起重视, 一个合理的勘探思路—即以整个盆地发展为基础, 以油气运聚史为纽带, 将生、储、盖、圈等静态地质条件有机地联系起来, 追溯油气藏形成的全过程, 进而以静态与动态条件, 全面评价一个地区的含油气远景——正日益为人们所接受。与此同时也出现了一系列油气运移研究方法。作者自七十年代末期开始致力于这方面的研究与探索, 先后在我国东部、西部以及海上多个含油气盆地进行油气运聚条件研究。至今已逐渐形成了一套较为实用的系统工作方法, 即以流体压力孕育史及流体势演化史恢复为核心的油气运移综合研究系统。该系统建立在晚期运移观点的指导之下, 以深入的地质研究为基础, 以含油气动态远景评价为目的。实践证明该系统是油气运移研究的一个非常有效的途径。

1 基本观点及运移特征

1.1 初次运移^[1,2]

1.1.1 烃类在生油层中的赋存状态

在干酪根热解生烃的晚期成岩作用阶段, 生油层中的流体大部分为半固态吸附水。已生成油气在满足了周围介质的吸附量与自由水的溶解量后, 开始以游离相态分散在烃源岩细小孔径中。四周为水包围的游离烃相受着巨大毛管阻力的束缚。

1.1.2 烃类初次运移时的相态

大量事实(排出烃量与排液量的已知比例、油与源岩有机成分的对比、储层烃类组成成

分的特征)以及实验结果均说明烃类初次运移主要是以游离相进行的,溶解相所起作用不大(对天然气可能更重要一些)。

1.1.3 排烃动力与条件

烃类自生油层的排出,主要靠压实与排水不平衡、有机质热解、水热增压、粘土脱水转化等,多种因素导致的地层异常高压(过剩压力)。当过剩压力差超过毛管阻力时产生排液。此时若孔隙流体中烃类含量已达到其流动的最低饱和度极限,排烃即开始。随排液进行地层流体过剩压力梯度降低到小于毛管阻力时,该作用停止。待压力恢复到一定数值时,排液将再次发生。

1.1.4 排烃渠道

母岩中一切渗透率增高地带均可成为排烃渠道,如收缩了的干酪根之间、矿物颗粒与干酪根之间及次生晶体之间的缝隙,微晶洞、含砂较多的条带或微细夹层、层面、节理、断层等等。另外,流体异常高压引发的微裂隙亦被认为是重要的排烃渠道。微裂隙因排烃压力释放而闭合,而待压力积累至一定程度后再次张开。

1.1.5 排烃特征

由于生烃、压力孕育、微裂隙形成等条件在侧向上的差异性,以及压力孕育与微裂隙形成在时间上的多次往复,决定了一生油层的排烃作用,虽发生于大致相同的同一时间段,但常具此起彼伏与脉冲式的特征。

1.2 二次运移

二次运移指油气脱离生油层之后的一切运移,它不仅包括油气在储集层(或输导层)内的侧向运移,也包括从一个储集层进入另一个储层(向上或向下)的穿层运移,以及停聚后由于条件变化而发生的再次运移。有人建议称后者为三次运移,实则完全无此必要。因为再次运移除发生时期不同外,其运移作用本身并无任何本质差异。

二次运移主要呈游离相进行,其运移与停聚受浮力、水力(过剩压力)、毛管力三者的制约。运移渠道为一切渗透率增高地带。

1.3 我国陆相盆地油气运移特征

我国陆相含油气盆地以多旋迴性、多分割性为特征。其沉降与沉积中心往往随时间有所迁移,以及盆地中沉积岩相与岩性条件在时空范围内的多变性,决定了油气运移具以下特征:

- ①排烃与聚集作用常具多期性;
- ②不同时期的主体运移方向常有改变;
- ③运移距离相对较短;
- ④汇集强度一般相对较差。

2 方法评述

2.1 水动力条件

地下水动力条件是控制排烃与二次运移时期、方向、历史,以及有利聚集区的关键因素,而水动力条件又受控于地层流体压力。故水动力研究的核心是地层流体压力分布与孕育史的恢复。目前有不少办法直接测定地层流体压力,但它们所反映的仅为渗透层的现压力,且数

量有限, 所以这些实测值只能作为重要的参考, 而不能成为压力分析的主要依据。

泥岩压实研究是当前取得地下流体压力值的常用手段之一^[3]。其理论基础为在一定上覆负荷压力下, 孔隙介质中的流体压力与基质骨架承受的有效应力互为消长。当负荷压力与流体压力均按一定梯度规律增长时, 泥岩压实程度亦按一定规律增长(正常压实)。当流体压力出现异常时, 泥岩压实程度随深度的变化亦将偏离正常趋势。压实程度的直接表征是孔隙度(或其它有关物理量), 故系统研究泥质岩孔隙度随深度的变化, 可反推其孔隙流体压力。依据泥岩压实作用的不可逆性, 以及相邻砂泥岩同步变化的特点, 泥岩压实研究得出的流体压力, 代表处于最大埋深时的泥岩压力分布, 和相邻砂岩层的压力相对变化。立足于泥岩压实曲线虽也可推测某泥岩的压力发育史, 但精度较差。

鉴于以上情况, 越来越多的人转向于利用数值模拟方法, 恢复流体压力孕育史。其具体办法是根据各种增压机制(压实与排水的不平衡、有机质热解与粘土脱水导致流体体积的增长、温度增高引起流体体积的膨胀等), 同时考虑流体压力增高到一定程度, 引发微裂隙形成而产生的压力释放作用, 编制超压方程。通过数值模拟手段, 恢复地层在各地质时期的压力。然后以其为主要依据, 分析初次及二次运移有关问题。

此方法若处理得当, 可得出比较可靠的结果。特别是对于勘探初期油气运聚条件分析, 具有其它方法所无法比拟的优越性。

2.2 油气性质

根据油气物理、化学性质的空间变化, 分析运移方向与追索运移途径, 是运移研究中使用最早的方法之一^[4]。

但是, 由于烃类都是十分敏感的成分, 在自然界除去色层效应外, 还有多种因素可导致其性质发生变化, 如温度、氧化、水洗、细菌降解、多源混合……。因此, 只有在比较单一的条件下, 方能获得比较理想的结果。

近年来在原油, 甚至天然气中均发现有大量孢粉等微化石存在^[5]。根据模拟实验也证明, 油气在其运移过程中可携带源岩和流经地层中的孢粉。因此通过对油气中微化石种属的鉴定及其地史分布的研究, 也可判断油气源岩和追踪运移途径。不过, 这种方法对于多源、构造复杂地区效果不佳。

2.3 运移遗迹

人们早就企图在地层中寻找油气运移的直接证据, 但始终未能获得突破性的进展。近年来有机包裹体研究成果证实^[5], 无论是在初次运移, 还是二次运移阶段, 只要沉积物发生结晶和重结晶作用、胶结充填作用, 以及自生矿物的形成作用, 均可能在矿物晶体中形成有机包裹体。在一地区平面及剖面方向上规律取样, 对其中有机包裹体类型、特征、均一温度、分布等进行研究, 并参照相应区成岩序次资料, 可大致判断油气运移的时间、方向及通道。

荧光显微镜已有可能划分原生、次生(运移)烃, 区分其成分、性质、分布特征, 可推测运移时期和渠道^[6]。

2.4 物理模拟

运移作用的物理模拟, 主要集中在初次运移, 且多建立在生烃模拟基础上, 以排烃率及

排出烃类性质为主要研究对象。采用方法通常是以含一定有机质丰度的岩石为样品, 依靠升温热解生烃。并赖生烃过程中流体体积膨胀引起的压力驱动烃类排出。有一些模拟还在外部施加了一个模拟静负荷的压力, 然后收集排出烃类定性及定量。

由于排烃模拟主要是在生烃模拟基础上发展起来的, 许多方面仍因袭了生烃模拟的一些作法, 而很少真正从排烃现代机理上控制其条件。例如样品选择大多只考虑其中有机质类型、含量、成熟度, 而很少考虑其可能对排烃产生影响的一些基本岩性、物性、孔隙结构等条件。又如排烃是一种孔隙介质中的多相渗流现象, 而目前物理模拟所应用的高温条件(生烃需以提高温度弥补时间之不足), 将大大改变各种流体本身的密度、粘度、表面张力、吸附性等物理性质, 以及各流体间与固液相间的介面关系。从而使烃类运移条件严重偏离真实情况。

3 油气运移综合研究系统

根据油气运移机理与研究手段以及多年的实践积累, 逐渐形成了目前作者所应用的油气运移综合研究系统(图1):

(1) 在深入了解区域基本地质情况的同时, 通过测井、地震测井、地震勘探资料建立不同地区不同岩性地层的声波压实曲线, 即声波-深度($\Delta t-Z$)关系曲线。

(2) 根据建立的声波-孔隙度($\Delta t-\Phi$)关系, 将 $\Delta t-Z$ 关系转换为 $\Phi-Z$ 关系(孔隙度压实曲线)。综合分析确定各岩性地层分区压实率、地表原始孔隙度, 以及不同岩性组成层段的分区综合压实率。并根据泥岩压实曲线计算其处于最大埋深时的孔隙压力。

(3) 根据所建立的超压方程及以下资料进行数值模拟。这些资料包括: ①区域地质背景(地层分布、厚度、岩性组成、构造活动……); ②地层对比, R_o 与 TTI 、声波压实曲线等方法计算的剥蚀厚度; ③由压实曲线所得的分区综合压实率及地表孔隙度; ④由泥岩压实曲线计算所得的处于最大埋深的压力分布; ⑤测试压力、古地温、生烃量等资料。模拟结果可得出各地层不同地质时期的埋深与流体压力。

(4) 根据地层埋藏史及有机质热演化资料确定生烃史、生烃范围及发展。进一步结合压力孕育史(可参考排烃模拟结果)确定排烃史、排烃范围及其发展。

(5) 根据压力孕育史与地层埋藏史计算得出流体势演化史。在此基础上, 结合区域地质条件, 并综合考虑有机地化、同位素、微化石、包裹体, 荧光显微镜观察等方面提供的信息, 分析穿层运移与侧向运移条件, 指出有利聚集层位与有利聚集区。

(6) 根据地层排液量、孔隙度演化、生烃量以及生油层相对渗透率、吸附性、地层水溶解度等方面的分析化验资料, 计算排烃率(可参考物理模拟结果)。进一步结合排烃史、排烃范围, 计算总排烃量及各历史时期的排烃量。在此基础上, 综合由排液量得出的各储层的流体交替量, 以及储层性质的分析化验资料计算各分区运聚量。

(7) 在上述所有研究基础上, 结合已知含油性资料, 进行运聚史推测及含油气远景评价。

该系统实际上包含了初次运移、二次运移及运聚量研究三个互相关联的子系统, 工作中可根据需要和资料情况加以取舍。

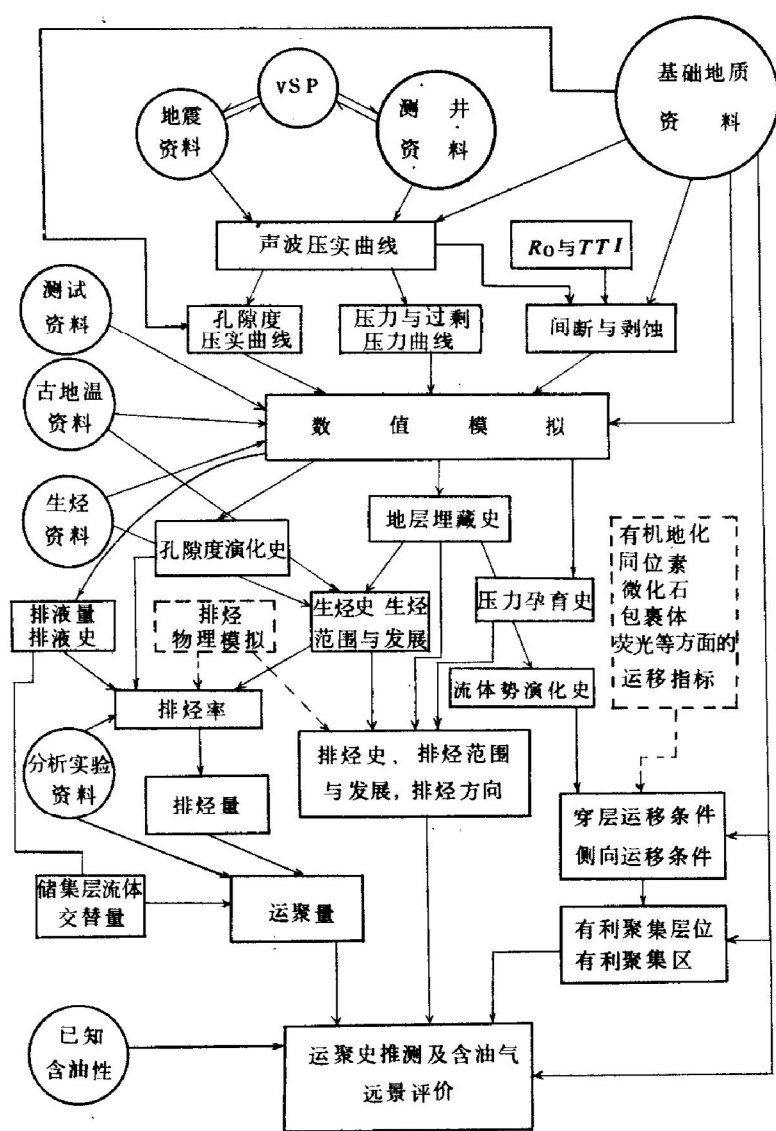


图1 油气运移综合研究系统工作流程图

4 几点体会

(1) 盆地是油气赖以存在的基础,它对油气生成、运移、成藏有着明显的制约作用。特别是对我国多旋回、多分割、拗隆多变迁的陆相含油气盆地。因此油气运聚分析必须与盆地沉积发育史、构造发育史等区域基本地质条件紧密结合。

(2) 油气运移发生在地质历史时期,既无法直接观察其真实过程,又很难确切地进行物理模拟,再加上油气性质本身及运移痕迹的可变性,故研究中唯有突出关键因素,但又不能忽略一切可以提供信息的因素,彼此参照,互相补充,才能获得更为接近真实的结果。

(3) 流体压力及势分布是控制油气运聚的关键因素之一。以其为核心构成的油气运移综合系统,是油气运移研究的有效途径。它可提供排烃时期、排烃历史、穿层及侧向运移距离与方向、运聚史、有利聚集层位与有利聚集区等多种有用信息,服务于含油气远景的动态评价。较之以往单纯依靠静态条件

(生、储、盖、圈)的评价方法具明显的优越性。

(4) 数值模拟虽是流体压力与流体势演化史恢复的一个较好手段,但并不是达到目的的快速捷径。数值模拟需要以深入的地质研究为前提,否则只能是一场数学游戏。

参考文献

- 1 陈荷立,汤锡元等编译. 油气运移(第2集). 北京:石油工业出版社,1987.1~16
- 2 李明诚. 石油与天然气运移. 北京:石油工业出版社,1987.26~39
- 3 真柄钦次. 压实与流体运移. 陈荷立等译. 北京:石油工业出版社,1981.31~40
- 4 England M A, Fleet A J, ed. Petroleum migration. London: Sunbury-on-Thames., 1991. 149~161
- 5 傅家谟,刘德汉主编. 天然气运移、储集及封盖条件. 北京:科学出版社,1992.89~109
- 6 张厚福主编. 油气运移研究论文集. 北京:石油大学出版社,1993.107~110

AN EFFICIENT APPROACH TO HYDROCARBON MIGRATION RESEARCHES

Chen Heli

(Northwest University, Xian, Shaanxi)

Abstract

Guided by the view of late-stage hydrocarbon migration and on the basis of deep geological studies, the comprehensive research system of hydrocarbon migration is aimed to restore the evolution history of both fluid pressure and potential to assess dynamically the oil and gas potential of hydrocarbon-bearing basins. It has been proved by practice that the present system is indeed a very efficacious approach to hydrocarbon migration, and that it has evident precedence over static assessment.

第4届亚非地区石油地球化学和勘探会议即将召开

第4届亚非地区石油地球化学和勘探会议将于1996年6月2~6日在坦桑尼亚阿鲁沙召开,有意者请径与会议秘书处联系索取第一号通知。

The 4th AAPG Conference Secretariat

Tanzania Petroleum Development Corporation

P. O. Box 5233, Dar es Salaam, Tanzania, East Africa

Telephone: 255-51-29661/2 & 36086; Fax: 255-51-29663/20775; Telex: 41219 Petrol, 41293 Oil Exp.

(范璞提供信息, 彭玉斌整理)