

含油气系统与有机地球化学的关系

陈建渝, 朱芒征

(中国地质大学石油系, 湖北武汉 430074)

摘要: 有机地球化学的基本原理及研究方法是认识和划分含油气系统的基础, 烃源岩是4个成藏要素之最。盆地中有几套不同的烃源岩就有几个不同的含油气系统; 在同一盆地中, 若有两个或更多的烃源岩彼此重叠, 则形成复式含油气系统, 我国东部第三纪断陷盆地及西部多旋回构造盆地常发育此类系统。含油气系统中的生烃时间、排烃时间及聚集时间由生物标志化合物的分析与对比确定。多期生油表明含油气系统经历了多期改造。

关键词: 含油气系统; 有机地球化学; 烃源岩; 生物标志物

第一作者简介: 陈建渝, 女, 54岁, 教授, 石油地质与有机地球化学

中图分类号: P593 文献标识码: A

含油气系统是沉积盆地中一个自然的烃类流体系统, 包含了成熟的烃源岩与已形成的一切形式的油气, 并包括油气藏形成必不可少的所有地质要素和作用。其中地质要素为烃源岩、储集岩、盖层及上覆岩层; 而地质作用则包括圈闭的形成及烃类的生成、运移和聚集。这些要素及作用必须有适当的时空配置, 才能使成藏作用有序的发生, 最终形成油气聚集。含油气系统的概念之所以优于通常的“生储盖组合”, 就在于它是研究烃源岩与油气聚集之间的成因联系, 更注重将静态分析与动态过程相结合, 并特别强调这些要素及过程在时空格架中的协调关系。有机地球化学的基本原理及研究方法是认识和划分含油气系统的不可取代的基础, 因为把握油气从源岩到圈闭的每个环节都依赖油气地球化学研究提供信息; 而含油气系统的概念也为油气地球化学的研究注入了新的活力。以往的有机地化研究常常囿于烃源岩以及油气的孤立研究, 而忽略生烃、运移和聚集的统一过程。含油气系统概念的应用为其提供了新的思路, 开拓了应用的领域并提高了勘探价值。

1 烃源是含油气系统的基础

烃源岩是含油气系统中4个成藏要素之最, 一个油气系统至少必须包含一套烃源岩。烃源岩不仅提供了油气, 而且提供了排烃的动力; 烃源岩的

演化决定了生排烃的时间, 也就决定了成藏的时间。因此, 烃源岩乃是生烃作用的根本。

烃源岩的性质决定了生成油气的性质及数量, 直接影响系统中油气的运聚过程。烃源岩的成熟度可以有较大的差别, 在渤海湾盆地已确认有3种类型的烃源岩, 即下第三纪沙河街组一段及东营组(E_s^1, E_d)可以作为未熟-低熟的烃源岩; 沙河街组三段(E_s^3)为成熟的烃源岩; 而沙河街组四段及孔店组(E_s^4, E_k)为高熟的烃源岩。这不仅影响系统中由它们生成的油气性质, 而且, 也决定了系统的关键时刻。烃源岩的演化过程决定了系统的时间跨度, 我国东部断陷盆地中, 始新统的烃源岩(如沙河街组)在中新世即进入了大量生、排烃期及成藏期, 系统的时间跨度是30~40 Ma, 而西部柴达木盆地北缘以侏罗系为烃源岩的含油气系统的形成却经历了从侏罗系直到第三系约150 Ma。

我国石油地质家在长期的油气勘探和科学研究的基础上, 针对我国陆相含油气盆地特征提出的“源控论”早已为实践所证实。一个生油中心(生油凹陷)就是一个油气富集中心, 油气田常常是围绕生油中心呈环带状展布。因此, 含油气系统的空间范围与烃源岩的分布直接相关。

烃源岩与储层的空间关系决定了系统中流体运移的特征。渤海湾盆地中所谓的“上生下储”、“下生上储”、“新生古储”及“自生自储”都是说明烃源岩与储层的相对关系的。显然, 它也反映了运移的动力、通道及主要方式。

实际上, 烃源岩的发育与大地构造背景关系并

不明显,它主要受控于沉积环境和古气候。不论那种构造背景,也不论是海盆还是湖盆,只要能形成补偿-欠补偿的沉积水体及还原的地球化学环境就可能形成烃源岩,以此为基础的含油气系统就有可能出现。因此,以区域地质背景、盆地类型进行的分类似乎难以适应目前普遍较高的油气勘探程度。含油气系统并非一个包罗万象的概念,它不可能,也不必要将过去一些早已公认的概念全部收容进去。它研究的范围主要在盆地内部,甚至在更次级的单元中油气从源岩到圈闭的过程。

目前我国的研究者提出了多种分类及定名的方案,尽管分类的参数有所不同,烃源岩始终是含油气系统分类的首选要素。一般来讲,“地区-烃源岩-主要储层-表征系统特色的定语”的定名法可能为较多的人所接受。

2 复式含油气系统

Magoon 等^[1]认为含油气系统的划分标准是成熟的烃源岩体,有一个成熟的烃源岩体存在,就有一个油气系统;若有两个或更多的烃源岩彼此重叠在同一盆地中,则可形成两个或多个含油气系统。盆地中可以有几套不同的烃源岩,或是剖面上叠加,或是平面上并存于不同的生油区,从而形成多个含油气系统。它们之间的关系甚为复杂,既可以是彼此隔绝,一藏一源,也可以是一源多藏或一藏多源。在对渤海湾盆地含油气系统研究中,我们特别注意到断陷盆地的一些特征:(1)强烈分隔。渤海湾盆地被断层和基底凸起分割为6大坳陷,50多个半地堑或地堑式凹陷。每个凹陷(甚至内部为突起隔开的洼陷)都可成为独立的油气生成、运移、聚集单元,或是一个独立的含油气系统,显著区别于海相地台型盆地或大型坳陷型盆地。(2)多旋回性。盆地中发育多套烃源层及生储盖组合,下第三系可以含有孔店组二段、沙河街组四段、沙河街组三段、沙河街组一段及东营组5套源层。不同的凹陷烃源层的发育层数不同,各层烃源岩的生烃潜能,演化程度均有差异。(3)多层系含油。储层层位广泛,既有具源层的下第三系,也有不具源层的上第三系和基底前第三系,表明油气的成藏作用错综复杂。(4)断层是断陷盆地最重要的构造形式,也是主要的运移通道,它的开启和闭合是影响油气聚集或逸散的关键因素。

以上现象在我国东部其它第三纪断陷盆地及

我国西部多旋回构造盆地十分普遍,但二者仍有差别。前者油气的生运聚过程在特殊的大地构造及大地热流场的背景下是“速生速聚”,关键时刻只有一个,系统的重新调整不多;而后者,常常经历了漫长的地质时期,有几个关键时刻,含油气系统多次调整,系统的空间范围不断变迁。这些现象大大丰富了含油气系统的内涵,但也困扰了含油气系统的划分及归类。

为此,我们提出复式含油气系统(Multiple Petroleum System)的概念。复式含油气系统是指在同一源区由于发育多套烃源岩而形成的与之对应的多个含油气系统。这些烃源岩具有各自的有机地球化学性质和生烃潜能;它们的热演化史及生烃史截然不同,因此,油气运移及聚集过程也不同,最终导致了油气分布的差异,也就是形成了地质要素和地质过程都有差别的不同的含油气系统。这里的同一源区可以是一个凹陷,也可以是一个洼陷,总之,是一个最基本的烃源区。这样的限定可以将系统之间相互关系的讨论简化。以济阳坳陷为例,沙河街组三段是区域性的烃源岩,大范围内均已成熟,且性质相近,几乎全为富含有机质的油页岩和油泥岩。但是,在各个凹陷(洼陷)中成藏作用仍不尽相同,因此油气富集的区带及程度都相差甚远,东部的东营凹陷油气主要富集在内部的沙河街组二段-沙河街组三段储层中;西部的沾化凹陷油气主要富集在内部及外围突起上的馆陶组储层中。因此,简单的在济阳坳陷中划分出一个统一的沙河街组三段含油气系统对于目前的勘探工作是无意义的,只有认真分析来自沙河街组三段不同源区油气的归宿才有实践价值。至于来自不同源区的油气在同一圈闭中聚集,以划分为不同的系统为好,因为含油气系统的分析更注重的是过程的动力学研究,而不是简单的结果研究。

3 油源对比以识别系统并圈定范围

在盆地的油气勘探过程中,一方面,通过研究烃源岩来预测油气的性质及可能的分布;另一方面,也可以通过研究储层中油气(甚至是油气显示)的性质来推断烃源岩。当有新的一类原油发现时,就表明存在着一套还未被认识的烃源岩,也就是说发现了新的含油气系统。特别是在烃源岩深埋未能钻达时,原油的类别可以提供有关烃源岩的信息。在进行油源对比时,生物标志物有着不可替代

的效用,在济阳拗陷内,孤南洼陷根据油气的一般物理化学性质无法分辨出石油的成因类型,但是根据原油的生物标志化合物组成,可以清楚地将其分为低熟油及成熟油两类(图1)。通过油源对比,确

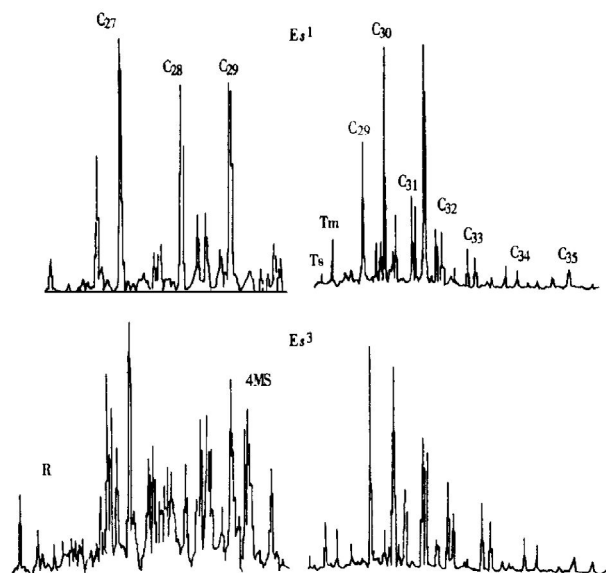


图1 孤南洼陷两类原油甾萜化合物代表性质量色谱图
Fig. 1 Chromatographic map of sterane/terpane compounds for two kind of crude oils in Gunan Sag

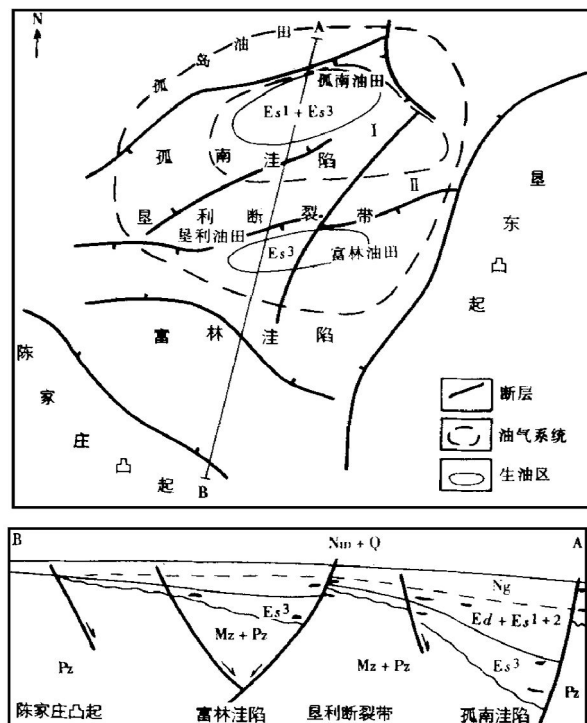


图2 孤南洼陷含油气系统分布范围示意图
Fig. 2 Sketch map showing the distribution of petroleum system in Gunan Sag

I—沙河街组一段-二段系统; II—沙河街组三段-馆陶组系统
认它们分别来自沙河街组一段和沙河街组三段烃源岩,由此划分出两个含油气系统并圈定各系统的

空间分布范围。其中的沙河街组一段-沙河街组二段,低熟油系统分布在洼陷内部,靠近沙河街组一段烃源岩的源区;而沙河街组三段-馆陶组,成熟油系统的范围超出了洼陷,延伸到外围的突起上(图2)。

4 用生物标志化合物确定地质时间

含油气系统是一个动态系统,随时间的延伸而形成和发展。在系统分析中,除圈闭形成时间可以用地质方法直接认定以外,生烃时间、排烃时间及聚集时间(关键时刻)目前主要采用原油中生物标志化合物和储层流体包裹体技术来确定。近年来,国外有机地化工作者(如美国斯坦福大学的 Moldowan 等人)^[2]广泛的应用一些具分类学意义的生物标志化合物的分布及相对浓度来确定原油的地质年代,如奥利烷来自被子植物,其分布时代从白垩纪到现代,在第三纪原油中的丰度高于白垩纪的原油;甲藻甾烷来自甲藻类,存在于所有从三叠纪到第三纪海相原油中,在大部分古生代原油中未检测出来;24-降胆甾烷来自于硅藻,其分布从侏罗纪到现代,在白垩纪原油中的丰度高于第三纪的原油。特别是来源于高等植物树脂的双萜类,它们类似于微古生物有很多不同的分类,其指纹甚至可以区分烃源岩和原油细微的差别,例如区分不同源区的同一烃源岩生成的原油。因此,他们开发了一种新技术(MRM)-GC-MS,对双萜进行精细的分析,用来追索来自多个源区或多个烃源岩的原油在盆地中的运移。此外,C₂₆甾烷、双杜松烷、2-甲基甾烷、3-甲基甾烷等化合物都有较好的效果。澳大利亚的有机地化工作者 R. Alexander 等^[3],也是利用双萜类化合物的指纹来区分来自下伏的二叠纪-三叠纪 Cooper 盆地和上覆的侏罗纪-白垩纪的 Eromanga 油气,从而划分出两个含油气系统。

5 多期生油与系统改造

在我国西部如塔里木盆地那样的多旋回构造盆地中,因多次构造作用破坏了原来含油气系统的边界(如盖层被剥蚀,圈闭被破坏),原系统中的油气藏被破坏,油气发生再运移并在适当的圈闭中再聚焦,形成不同期次的油气藏。原生的油气藏与次生的油气藏油气同源,应为同一系统,但是,其分布范围,储盖组合等要素均发生了很大的变化。当系统存在多次运移-聚集过程时,多次叠加的影响使

得含油气系统更加复杂。而根据油藏地球化学的基本原理,特别是对油气性质变化的研究会提供十分有用的信息。常常被破坏的油气藏中残留了沥青,次生的油气藏中的原油遭受了降解,成为重油。李小地对塔里木盆地满加尔下古生界油气系统的形成与演化的分析就是根据储层沥青、油气性质及成熟度的差异,来说明该系统中的油气藏的形成是由三期油气充注而成,含油气系统也经历了3个发展阶段^[4]。

6 系统发育的背景环境

任一个含油气系统都发育在一定的环境中,如盆地的地球动力学、沉积充填格架、构造背景、热流场分布、水动力场及古气候变化等,都是决定系统存在、发展及演化的外部条件。因此,对含油气系统进行系统分析时,首先要研究它存在的地质环境。有机地球化学的研究也提供了很多有关的信息,如有机相的分布及变化可以反映盆地构造沉降及沉积特征;有机质的丰度及类型直接与沉积环境的演变有关;而有机质的热演化是古热流场的结果,因此热演化的指标则可作为有效的地质温度计,例如甾烷及萜烷的异构化参数。一些生物标志物已经成为公认的古气候、古矿化度的指标,如伽

马蜡烷是高矿化度水体的标志;4-甲基甾烷反映了潮湿环境下淡水水体,而甲藻甾烷则与海水有关。这些标志化合物可以帮助我们认识含油气系统发育的背景。

7 结论

(1) 有机地球化学的基本原理及研究方法是认识及划分含油气系统的不可取代的基础。

(2) 烃源岩是含油气系统的基础,复式含油气系统是指在同一源区由于发育多套烃源岩而形成的与之对应的多个含油气系统。这是断陷盆地与多旋回构造盆地的普遍特征。

参 考 文 献

- 1 Magoon I B, Dow W G. The petroleum system from source to trap[J]. AAPG Memoir, 1994, 60: 644
- 2 Moldowan J M. A new dimension in chemostratigraphic resolution using diterpene biomarkers[J]. AAPG Bull, 1998, 82(10): 1945
- 3 Alexander R, Larcher V A, Kagi I R. An oil-source correlation study using age-specific plant derived aromatic biomarkers[M]. In: Moldowan J M, Albrecht P, Philp R P, eds. Biological markers in sediments and petroleum[A]. Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993. 201~ 221
- 4 李小地. 塔里木盆地满加尔下古生界油气系统的形成与演化[M]. 见: 中国石油地质学会, 编. 中国含油气系统的应用与进展[A]. 北京: 石油工业出版社, 1997. 112~ 119

RELATIONSHIP OF PETROLEUM SYSTEM TO ORGANIC GEOCHEMISTRY

Chen Jianyu

Zhu Mangzhen

(Petroleum Department, China University of Geosciences, Wuhan, Hubei)

Abstract: The basic principles of organic geochemistry and research methods are the foundations for recognizing and classifying petroleum system, and source rock is the most important factor among all the four factors of pool forming. The number of different sets of source rocks in a basin is the number of petroleum systems of it. If a basin contains two or more sets of superimposed source rocks, there would form multiple petroleum system. Such kind of petroleum system usually developed in the Eogene fault-depressed basins in East China and multicycle basins in West China. The time of hydrocarbon generation, expulsion and accumulation could be determined through the analysis and correlation of biomarkers of the system. Multiphase of oil generation indicates that the system underwent multiphase of reformation.

Key Words: petroleum system; organic geochemistry; source rock; biomarker