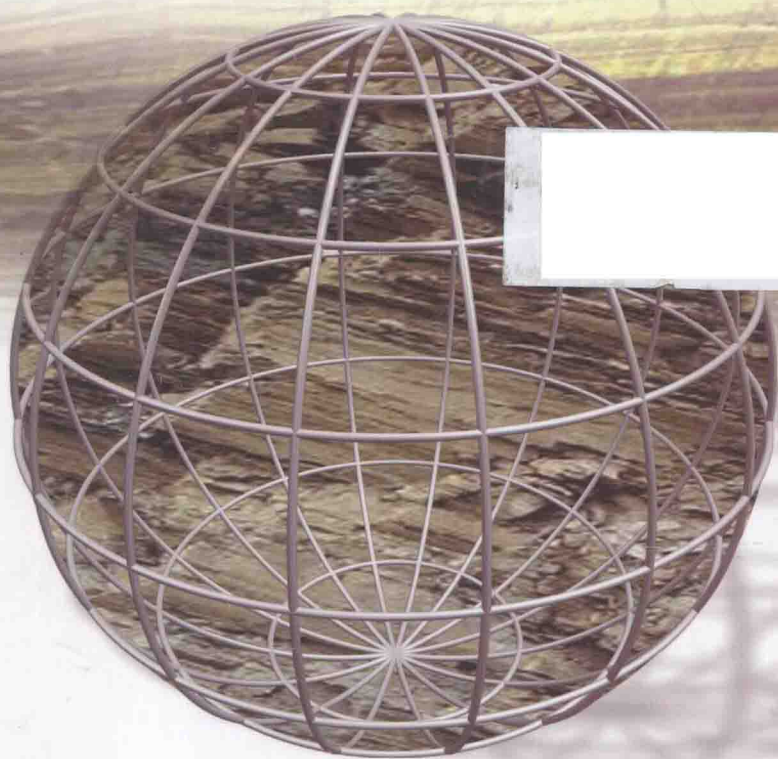


烃源岩有限空间 生烃理论与应用

◎ 关德范 徐旭辉 李志明 著
郑伦举 谈彩萍 姚益民



石油工业出版社

烃源岩有限空间 生烃理论与应用

◎ 王德林 王德林 王德林
◎ 王德林 王德林 王德林



王德林 著

烃源岩有限空间生烃 理论与应用

关德范 徐旭辉 李志明 著
郑伦举 谈彩萍 姚益民

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以成盆成烃成藏理论思维为指导,应用中国东部陆相盆地的实际资料,分析了烃源岩有限空间生排烃特点和成藏过程。研发了符合地下烃源岩地质特征的生排烃模型,计算了烃源岩有限空间的生排油量,对传统的干酪根热降解晚期生烃学说提出了挑战。

本书可供从事油气地质、地球化学研究的科研人员及相关院校师生参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

烃源岩有限空间生烃理论与应用/关德范等著.
北京:石油工业出版社,2014.11
ISBN 978-7-5183-0457-8

I. 烃…

II. 关…

III. 烃源岩-石油生成-研究

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 248053 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址: www.petropub.com

编辑部: (010) 64523544

发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 保定彩虹印刷有限公司

2014 年 11 月第 1 版 2014 年 11 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 12

字数: 205 千字

定价: 100.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

1978 年, B. P. 蒂索和 D. H. 威尔特合著的《石油形成和分布》一书出版。同年, 两位教授先后访问了中国, 与中国相关教授和学者就石油地质和有机地球化学领域诸多学术问题, 开展了多次讲座和研讨, 并赠送了该著作。这对于刚从多年学术封闭状态解脱出来, 急于想了解国外科技成果的中国相关学者而言, 无疑是“雪中送炭”。1982 年, 该著作的中文版在中国发行, 很快, 中国的有机地球化学界就全盘接受了该书提出的“干酪根热降解晚期生烃学说”的观点和研究方法, 同时在中国的油气勘探、科研和教学中得到广泛应用。至今, 在中国有机地球化学领域, 该学说仍处于不容置疑的主导地位。

然而, 近些年开展的全国油气资源评价研究工作逐步发现, 用该学说理论基础开发的盆地模拟生烃史模型计算的烃源岩生油(或气)量, 不是烃源岩在某个演化阶段的实际(真实)生成量, 而是烃源岩的生油(或气)潜量, 即烃源岩中所有有机质经热演化后, 所能生油(或气)的最大量。显然这种算法是错误的, 也与现今烃源岩的实际情况不相符。如果烃源岩含有的有机质真的都经热演化生成了石油(或天然气), 那么现今烃源岩中就不存在残余有机碳, 理论值应当等于零。但是实际情况是现今烃源岩中不仅都含有残余有机碳, 而且越是好烃源岩残余有机碳含量越高。这说明烃源岩的热演化过程中仅仅是一部分有机质被热解生烃, 并不是所有的有机质都热解生烃了。这些实际情况 B. P. 蒂索等有机地球化学家应当是很清楚的, 那为什么还要提出烃源岩生烃潜量这个概念呢? 主要原因是 B. P. 蒂索等有机地球化学家的理论思维源于油页岩热解生成页岩油的生产过程, 把烃源岩等同于油页岩, 即: 只要有足够的温度和时间, 烃源岩中的有机物质最终都能与油页岩一样热解生烃。

在《石油形成和分布》一书中, B. P. 蒂索曾有这样的描述: “油页岩中所含的有机物质, 主要是一种被称之为干酪根的固态不溶物。岩石中没有

天然存在的石油，可萃取的沥青也很少。油页岩在热解过程中（包括加热到500℃左右）产生页岩油。油页岩中的干酪根与本书第二章所述烃源岩层中的干酪根没有显著不同。在某些程度上，从干酪根生成页岩油的热解过程与埋藏很深的烃源岩层由于高温而产生石油的过程很相似”。在描述烃源岩和油页岩之间的关系时，B. P. 蒂索又写道：“一个烃源岩的生油潜量和热裂解时所产生的油和气总量，没有太大区别。因为一个浅层不成熟的烃源岩（必须有足够的有机物质）和一个油页岩没有根本的差别。可以认为与油页岩相当的岩层，只要埋藏得足够深，就能成为烃源岩层”。简言之，“浅层含丰富有机物质的不成熟烃源岩就相当于油页岩，而埋藏较深的油页岩就相当于烃源岩”。

按照这种思维，埃斯皮塔利埃等（Espitalié 等，1977）有机地球化学家效仿油页岩干馏炉结构特点，研制了仅与温度一个因素有关的烃源岩岩石评价热解仪，用这种仪器对烃源岩进行热降解模拟实验，当温度达到550℃时，烃源岩所含的全部有机物质都热解成烃（用 $S_1 + S_2$ 表示潜量）。由于 S_1 是很少量的可溶沥青量，较低温度就能生成， S_2 是大量不可溶的干酪根，在550℃高温条件下，即热解晚期才能生烃，故该学说定名为“干酪根热降解晚期生烃学说”。这就是烃源岩生烃潜力概念的由来和该学说理论的内涵。

从上述分析可以看出，该学说论述的是有机物质（干酪根）在温度条件下的热解生烃问题，从有机化学角度评价，无疑是正确的。但烃源岩生烃理论是属石油地球化学的研究范畴，用有机化学学科的思维方法，来替代石油地球化学学科的思维方法，就值得商榷了。众所周知，石油地球化学是石油地质学与化学（主要是有机化学）相结合的一门学科，思维方法是要从石油地质条件和环境特点去分析相关的有机化学问题。烃源岩生烃理论研究就是典型的石油地球化学问题。我们知道，烃源岩是发育在盆地的生油坳陷这种封闭还原环境之中。在这种封闭还原环境中，其沉积成岩演化过程是由三部分组成，其一是烃源岩的沉积成岩地质演化过程；其二是烃源岩中所含有机物质（干酪根）的热演化过程；其三是烃源岩内部油、气、水三相流体在高温高压条件下的物理化学演化过程。这三部分演化是相互影响、相互制约并共同参与了烃源岩演化的全过程。因此，必须用石油地球化学学科的思维方法，研究和分析烃源岩的生烃理论问题。但该学说的研究思维是把干酪根从烃源岩所处的石油地质条件和环境脱离出来，在室内用油页岩热解方法

(仅用温度条件) 对于酪根进行热降解模拟实验研究, 并用这种实验结果替代酪根在地下石油地质条件 and 环境背景下的生烃过程 and 特点。显然, 这种理论思维不仅违背了石油地球化学学科的研究宗旨, 而且导致理论脱离实际, 把烃源岩的理论研究和生产应用引入误区。

针对酪根热降解晚期生烃学说存在的上述问题, 笔者和研究团队立足于石油地球化学的学科特点和研究方法, 以成盆成烃成藏理论思维为指导, 应用胜利、中原、河南等油田的实际资料, 依靠自主研制的符合烃源岩地下所处的石油地质条件 and 环境特点的 DK-I 型、DK-II 型和 DK-III 型地层孔隙热压生排烃模拟实验仪, 连续十余年系统开展了烃源岩有限空间生排烃理论研究。本书就是这些研究成果的初步总结。

本书第一章是石油地质理论概述。通过对石油地质理论发展过程的简单回顾, 扼要的对传统石油地质理论和含油气系统概念, 从理论思维方面做了分析。同时对成盆成烃成藏理论思维的研究内容和方法做了系统介绍。

第二章是烃源岩生烃理论的研究现状。重点剖析了酪根热降解晚期生烃学说的思维方法和存在问题。对烃源岩有限空间生烃理论及研究方法做了全面介绍。

第三章是烃源岩有限空间排烃特点和成藏过程分析。同时, 介绍了用天文米氏旋回理论计算剥蚀量的方法和砂岩回弹概念, 以及在东营凹陷的应用。

第四章是成盆成烃成藏理论在东营凹陷的应用实例。

第五章是海相生油和陆相生油问题。通过对美国和世界主要含油气盆地海相烃源岩, 与中国主要含油气盆地的陆相烃源岩在形成环境和有机物质的主要来源等方面的对比分析, 指出海相生油和陆相生油都是烃源岩生烃理论的组成部分, 二者没有本质区别, 不存在独立的海相生油理论和独立的陆相生油理论。

笔者和研究团队十余年的科技攻关始终是在中国石油化工集团公司科技开发部的指导和支持下进行的, 胜利、中原、河南等油田的领导和科研人员给予了热情帮助并提供了大量资料, 在此表示衷心的感谢。同时, 我们始终认为, 石油地球化学理论的发展和创新, 从来都是国内外几代石油地质家和石油地球化学家不断实践、不断总结的结果, 都是集体智慧的体现。我们之所以能写出本书, 同样借助于他们的研究成果, 因此, 我们要感谢所有的石油地质家和石油地球化学家。

目 录

第一章 石油地质理论发展概述.....	(1)
第一节 石油地质理论初期发展阶段.....	(1)
第二节 传统石油地质理论的形成与发展.....	(3)
第三节 含油气系统理论的提出与思维特点.....	(5)
第四节 成盆成烃成藏理论思维.....	(8)
一、盆地持续沉降阶段	(13)
二、盆地整体上升阶段	(14)
三、盆地全面萎缩阶段	(15)
四、成盆成烃成藏理论思维的内涵	(16)
第二章 烃源岩生烃理论研究现状	(19)
第一节 干酪根热降解晚期生烃学说	(19)
一、该学说的理论思维源于油页岩热解生成页岩油的启示	(19)
二、从油页岩干馏炉到岩石热解评价仪	(24)
三、烃源岩石油生成量与生烃潜量	(27)
四、对干酪根热降解晚期生烃学说的剖析	(32)
第二节 烃源岩有限空间生烃理论	(39)
一、该理论思维源于石油地球化学的研究方法	(39)
二、烃源岩石油地质演化过程的主要特征	(40)
三、烃源岩有限空间生排烃模拟实验研究	(49)
四、该理论还需要深入研究的几个主要问题	(65)
第三章 烃源岩有限空间排烃及油气成藏	(69)
第一节 烃源岩有限空间排烃与成藏研究	(69)
一、烃源岩排烃的理论思维	(69)
二、烃源岩有限空间排烃模拟实验	(80)
三、烃源岩有限空间排油量计算原理和方法	(84)

第二节 天文米氏旋回理论计算剥蚀量的方法及应用	(86)
一、天文米氏旋回的理论基础	(87)
二、地层年龄和剥蚀量计算方法	(91)
三、东营凹陷剥蚀量计算和应用	(96)
第三节 砂岩回弹计算方法与应用	(123)
一、砂岩回弹理论原理与实验测试结果	(123)
二、砂岩回弹量图版及计算方法	(126)
三、砂岩回弹量计算方法在东营凹陷的应用	(128)
第四章 成盆成烃成藏理论的应用	(132)
第一节 成盆成烃成藏理论应用的研究内容和方法	(132)
一、成盆成烃成藏理论应用的研究内容	(132)
二、成盆成烃成藏理论应用的研究方法	(134)
第二节 东营凹陷成盆成烃成藏定量研究	(139)
一、东营凹陷石油地质演化阶段	(139)
二、东营凹陷成烃研究与生油量计算参数选取	(141)
三、主要烃源岩不同演化阶段特征及生油量计算	(148)
四、排油量分析	(155)
第五章 海相生油与陆相生油	(158)
第一节 海相和陆相烃源岩的对比分析	(158)
一、海相和陆相烃源岩对比分析的资料选取	(158)
二、海相烃源岩形成的沉积环境及特征	(159)
三、陆相生油观点的提出	(162)
四、我国陆相生油研究的主要发展阶段	(163)
五、几点结论	(178)
第二节 关于海相生油理论和陆相生油理论问题	(178)
一、内陆咸化湖盆的沉积环境及干酪根特征	(179)
二、海洋中的沉积环境及干酪根特征	(180)
三、海陆过渡带或湖陆过渡带的沉积环境及干酪根特征	(180)
参考文献	(182)

第一章 石油地质理论发展概述

石油地质理论是在石油勘探实践基础上，最早由地质家通过对获取的大量第一手资料，经过系统整理、归纳、总结、提升之后，逐步形成和发展完善的。因此，石油地质理论从诞生之初，就带有并一直延续至今的地质家逻辑思维的基因，以及与地质学科一样具有很强的综合性。这种综合性在空间上体现为多学科的有机融合，在时间上表现为多学科不同发展阶段成果的叠加集成。回顾全球 150 多年石油勘探的历程不难看出，石油地质理论的发展主要经历了以下几个主要阶段。

第一节 石油地质理论初期发展阶段

石油是聚集在地下的一种流动性矿产资源，最早人们认识石油是从地表发现的油苗开始的。但仅靠收集油苗获取的石油数量有限，如何通过地表油苗的分布特点，寻找出地下深处更多的石油，就成为银行家和冒险家经常思考和不断观察分析的问题。同时油苗的形成和分布规律也引起了地质家的思考，他们认为油苗是地下聚集的石油在地质作用下，沿断层或裂缝向地表泄露过程中形成的，地下深处应当存在比油苗更丰富的石油。于是地质家认为可以通过钻井的方法，像采盐卤一样，采取大量石油。1859 年，美国人 E. L. 狄拉克在油苗露头附近钻探了世界上第一口油井，在井深 21.2m 处发现了石油并下泵后获得了 4.1t 的日产量。这口井的成功促使很多人去效仿，短短的半年时间内，相继在该地区钻探了 24 口石油生产井。地质家通过大量石油钻井资料的分析发现，凡是钻到背斜之中的井几乎都能生产石油，钻到向斜或水平岩层的井很少产油。地质家 T. S. 亨特经过近两年的分析研究，于 1861 年正式提出了背斜学说。同年另一位地质家 E. B. 安德鲁斯也提出了同样的观点。背斜学说的主要观点是推断地下深处之所以能聚集石油，是因为地下深处存在一种既能接（容）纳石油，又能防止石油从中逸出的构造，

这种构造就是背斜。但这种背斜不是一般意义的褶皱构造，而是穹隆构造。这种穹隆构造就像一口反扣过来的大锅，一旦有石油运移进来，由于石油比水轻，石油就会在背斜的高部位聚集并保存下来。因此在背斜构造的高部位钻探，往往能钻遇到石油。背斜学说是地质家首次应用地质学科的知识，通过对大量石油钻探井实际资料的分析 and 提升，总结出来的在现今看来还算不上理论的一种推断。但这种推断的学术价值在于其主要观点直接涉及石油地质理论中占重要地位的石油圈闭概念问题，而且明确指出石油勘探的目标就是这些背斜构造。在全球石油勘探的初期，美国地质调查局就按照这个学说的勘探思路，在全美展开地面地质调查寻找背斜构造，不仅有效地提高了石油钻探的成功率，而且极大地推动了石油勘探的进程，使美国的石油产量在1923年就达到了 $1 \times 10^8 \text{t}$ 。

尽管背斜学说是石油勘探初期提出的一种推断，但这种理念一直在指导着其后一百多年的石油勘探，只不过当年靠野外地质填图寻找背斜构造，现今主要靠地震手段来实现。目前各国的石油勘探都是按“地震找圈闭、钻井探油气、地质搞分析”的生产流程进行。迄今为止，全球约80%的油田和90%以上的气田都在背斜圈闭中。实践进一步证明了背斜学说的正确性，因此该学说也是石油地质理论初期发展阶段的主要代表。

随着石油产量的日益增加，各石油公司大批地雇佣地质家参与石油勘探工作。在背斜学说的推动下，许多地质家开始从事石油地质理论研究，陆续提出了背斜储集石油、石油海相有机生成、储集岩层的孔隙度及渗透率、定碳比等有关的石油地质理论。1917年，美国石油地质学家协会（AAPG）成立，与此同时，相关学科和勘探技术也逐步兴起，例如：生物地层学、微体古生物学、岩石学、测井、地震、测试等已在石油勘探中得到广泛应用。到20世纪30年代，现代石油地质学的概念已基本形成。但值得深思的是多年从事石油勘探工作并已获取成功的许多地质家，却坚持认为不存在石油地质学这样的学科。在他们看来，石油勘探工作仅仅是地质家借用各种技术手段（如钻井、测井、测试等技术）去实践地质学理论的过程，是地质家通过实践总结出来的运用于石油勘探的地质学理论，因此地质学是科学范畴，石油勘探属技术领域。凡是受过系统地质学课程训练的地质家，只要略加以石油工程技术的培训，就可以参与和完成各项石油勘探任务，这中间不存在和不

需要石油地质家,有的只是地质家和石油工程技术专家。这种认识不仅阻碍了石油地质理论的全面发展,甚至从石油地质科学上断送了其理论的存在,使其后的一百多年的石油地质理论研究,主要是围绕石油勘探所需的地质学理论以及其他相关学科的研究为主。这种趋势一直延续至今,使石油地质自身理论体系未能全面发展。

第二节 传统石油地质理论的形成与发展

1954年美国地质家 A. I. 莱复生编写了第一本《石油地质学》专著。这本专著在系统总结了全球近 100 年的石油勘探实践及大量实际资料的基础上,从传统地质学的理论思维,详细叙述了石油的有机成因、石油的运移与聚集、石油圈闭类型等石油地质问题。特别是通过对已发现的各类油气藏的全面分析,提出了“生、储、盖、运、聚、圈、保”这 7 个成藏要素,是评价沉积盆地是否具备形成油气藏的基本条件。这些观点不仅有效地指导了沉积盆地的油气勘探,而且也为地质家开展沉积盆地各种石油地质问题的研究提供了研究思路和方法。多年来,各国的石油勘探都是按照这种思维进行评价研究的,是公认的传统石油地质理论的开拓者和创始人。

1973 年和 1983 年,澳大利亚昆士兰大学的 R. E. 查普顿教授相继出版了另一本《石油地质学》的第一版和第二版。该专著的特色是从地质学、地球科学和物理学等三个方面的理论探讨油气生成和运移、聚集的机理,并首次从沉积盆地的演化、构造变形和地层层序的变化等方面,总结了不同类型沉积盆地中油气的时空分布规律。这些观点和认识不仅充实了 A. I. 莱复生的石油地质学,而且对深入开展石油地质理论研究也有重要的指导作用。

1985 年加拿大的 F. K. 诺斯教授,以自己 30 多年的教学经历和在石油公司的生产实践经验,花费三年多时间,撰写了被认为是世界上最全面、最系统的一本《石油地质学》专著。在这本 91 万字的著作中,作者从石油的性质和成因、石油和天然气的聚集、石油和天然气的分布、石油和天然气的勘探开发技术等四大方面,全面总结了前人的主要研究成果,并按照自己的思维方式,系统地做了理论阐述。书中还详细分析了当时的世界石油与天然气勘探开发状况和值得吸取的经验及教训。因此,这本石油地质学不仅是传

统石油地质理论的系统归纳，也是该理论在石油与天然气勘探开发应用实践中的经验总结。

20 世纪 50—80 年代出版的这三本石油地质学专著，基本概括了传统石油地质理论的主要内容，共同特点是以地质学的基础理论及地质家的思维方式，对各种石油地质问题进行描述和成因分析。其主要内容是地质学理论在石油勘探应用中的经验和教训总结，并加入在石油勘探中涉及的其他相关学科的内容，如地球化学、流体力学、热动力学等。因此，传统石油地质理论是地质学及与石油天然气相关学科理论的大拼盘，不是一种能独立评价石油地质特征的理论方法，在石油勘探的过程中，不难发现该理论明显存在以下问题。

①完整的石油地质理论被割裂成若干与石油地质学相关理论的内容所替代，导致这些相关学科的研究内容越分越细，而石油地质自身理论体系得不到全面发展。

传统石油地质理论的核心内容是对油气藏形成条件的分析与评价。把“生、储、盖、运、聚、圈、保”这 7 个成藏要素，作为分析和评价沉积盆地是否具备油气藏形成的基本条件。这些认识不论是从理论上还是勘探实践上证明都是正确的。但在具体运作过程中，这 7 个成藏要素的分析评价涉及多个学科的知识和技术方法，这对于地质家或从事石油勘探的技术专家来讲是一个很大的难题。即便是一个地质基础理论扎实、知识面很宽的石油地质家，也无法全面掌握这 7 个成藏要素所涉及的各种资料并能分析透彻。只能按照这 7 个成藏要素所涉及的研究内容来具体分工，搞生油的主要研究沉积盆地内烃源岩的分布、岩性及地质时代和石油地球化学特征，久而久之，从事生油及烃源岩研究的人员就逐步成为石油地球化学家，专门从事烃源岩石油地球化学方面的研究；搞储层和盖层研究的主要侧重沉积学和层序地层学方面的内容，逐步成为这方面学科的专家；搞运移和聚集的主要从事油、气、水的动力条件，分析沉积盆地势能场特征，探讨油气运移的动力来源、方向和聚集特点，逐步向成藏动力学科发展，力争成为这一新学科研究领域的专家；搞圈闭和保存条件的主要从事构造地质研究，分析沉积盆地的构造发育特征，探讨各类圈闭的成因类型等等。在上述 7 个成藏要素逐个研究的基础上，最终来综合分析沉积盆地是否具备油气藏的形成条件。传统石油地

质理论在应用过程中的这种思维方式和方法，实质上是把一个完整的石油地质理论体系肢解成若干个独立的专业理论内容，使之成为一个由多学科组成的“大拼盘”。这种状况一直延续至今，如果不改变传统石油地质理论的研究思路和分析方法，很难使之深入发展。

②传统石油地质理论的思维方式是沿用地质学静止的描述地质现象和就事论事的成因分析方法，用这种方法很难把动态的油气藏形成过程解释清楚。

油气藏形成所需的7个成藏要素条件是传统石油地质理论的核心内容，是通过石油勘探实践对大量已发现油气藏的剖析总结出来的规律性认识。但这并不意味着沉积盆地内只要具备了这些条件就一定能形成油气藏，关键的是要综合分析这7个成藏要素之间的匹配关系。在7个成藏要素中，烃源岩无疑是最重要的条件，因此必须先确定沉积盆地中的主力烃源岩层的生烃时间和排烃时间，根据生排烃时间，动态分析这一时间段的储集条件以及油气可能的运移方向，沿着这一方向，具体分析圈闭条件和保存条件，最终评价沉积盆地内油气藏形成的有利条件和不利因素，指出油气藏可能分布的地区。油气资源与其他固体矿产资源的最大区别是其具有流动性，这种流动性特点就决定了油气藏形成条件的研究，只能是以烃源岩生排烃为核心，历史的动态的综合分析其他成藏要素与之相匹配的关系。

第三节 含油气系统理论的提出与思维特点

含油气系统是美国石油地球化学家 L. B. 马贡等人于 1987 年正式提出的。其主要特点是将 A. I. 莱复生关于油气藏形成的七大要素，综合概括为“生（烃源岩）、储（储集岩）、盖（盖层）、上覆岩层”四个基本要素。把油气藏形成的这四个基本要素与成藏作用（包括圈闭的形成和石油的生成—运移—聚集）分成两部分内容进行综合分析研究，并将基本要素和成藏作用存在和发生的地方称之为含油气系统所在的位置。因此，含油气系统是由成熟烃源岩及与其相关的油气以及这些油气从聚集到保存需要的所有基本要素和成藏作用共同组成的。这里指的“油气”包括聚集在一起的所有各种成因的油气和沥青，“系统”是指构成存在油气聚集的地质单元的相互关联的所

有基本要素和成藏作用。这些基本要素和成藏作用，必须是按一定的时间和空间顺序存在和发生，才能使烃源岩中的有机质最终转化为油气聚集。为了从时间和空间上描述有效烃源岩与油气聚集之间的关系，含油气系统提出四图（表示含油气系统年代和关键时间的埋藏史图、关键时间的平面图和剖面图、总结含油气系统形成的时间图）和一张表（列举含油气系统中油气聚集参数的表格），用以形象的描述含油气系统的地理、地层学及其随时间变化的特征，进而分析油气是如何从烃源岩进入到圈闭的全过程。

所谓的“关键事件”是指研究人员选择出能够最有效描述一个含油气系统中绝大多数油气发生的生成—运移—聚集的时间。关键时间的平面图和剖面图能够更好地说明含油气系统的地理和地层学分布。从可靠的埋藏史图中可以得出绝大部分石油生成并聚集到最初的圈闭中的关键性时间。

含油气系统研究油气藏的方法是用含油气系统示意图来表示。

也就是把传统石油地质理论中的生、储、盖、运、聚、圈、保 7 大成藏要素，称之为含油气系统事件。其中的烃源岩、储集层、盖层、上覆岩层表示基本要素在地层学方面显示的沉积时间，圈闭形成和油气生成—运移—聚集这两个事件表示了含油气系统中各类作用发生的时间。对圈闭形成的研究是应用地球物理资料和构造地质分析。对油气生成—运移—聚集的研究，也就是对含油气系统形成时间的研究是在对地层学、石油地球化学及埋藏史图研究基础上进行的。保存时间是指发生在油气生成—运移—聚集之后，含油气系统中的油气开始被保存、改变或破坏的时间。当含油气系统中发生的油气生成—运移—聚集过程至今尚未结束时，保存时间不存在。可以认为含油气系统中的绝大多数油气被保存下来。关键时间是研究人员从埋藏史图中确定的关键时间，与平面图和剖面图中表示的时间相同。

含油气系统的概念和描述方法，不仅可以把诸多复杂的实际资料简单归纳成四图一表的形式来表达，从而非常便于石油地质家的理解和应用。更重要的是含油气系统把成烃与成藏过程，作为一个统一的、彼此相互关联的整体来研究油气藏的形成条件，从而实现了静态与动态相结合，描述与分析相结合，时间与空间相结合的研究石油地质问题的新思路。因此，含油气系统概念一经提出，就引起了石油地质家的广泛重视和不断引用。如果仅仅从含油气系统提出的四图一表的应用性分析，石油地质家往往把含油气系统作为

石油地质的一种研究方法。但从石油地质理论思维角度分析,含油气系统最值得称赞的是提出了石油地质理论研究中需要深入思考的一些问题。可贵之处在于并不满足于含油气系统概念的提出,而是通过这一概念所涉及的一些石油地质理论问题,能引起石油地质家进行深入的思考。如含油气系统一文中曾这样描述:“含油气系统的地层学特征,包括所在地理分布区域内的如下基本要素和岩层:最重要时期的烃源岩、储集层、盖层以及上覆岩层。前三种岩石类型的作用是显而易见的,上覆岩层的作用较难理解,它不仅可以作为烃源岩热成熟的必要条件,而且还对其下地层中运移通道和圈闭的几何形态具有一定的影响”。这里提到的上覆岩层虽然也作为成藏的基本要素,但与“生、储、盖”相对应,暂时还说不清楚其作用到底是什么,只能说还较难理解,言外之意是希望石油地质家能深入的研究和思考上覆岩层的问题。又如在涉及盆地动力学时,含油气系统这样写道:“在一个沉积盆地中,对油气的生成、圈闭和保存起重要作用的因素不仅有烃源岩、储集岩和盖层,而且包括沉积体中的所有因素。一个含油气系统的形成是各种物理、化学变化共同作用(成岩作用、构造形变、压实作用)的结果。这些作用对沉积物产生着各种影响,同时又直接控制着油气的生成、聚集和散失。控制上述变化的最重要因素,甚至是引起上述变化的直接因素就是盆地的升降运动。我们将进一步强调升降运动的诱发因素和控制条件,并重视它们同受限制的最简单的几个基本要素:大地构造、热流和重力”。这里提到的:“一个含油气系统的形成是各种物理、化学变化共同作用的结果”,“控制上述变化的最重要因素,甚至是引起上述变化的直接因素就是盆地的升降运动”等几个重要的基本概念。尽管文中很谦虚地讲到还很难理解和将进一步研究,但是不能不佩服提出含油气系统概念的这些石油地球化学家的严谨学风和不断探索的科学态度,他们通过含油气系统概念的论述,从深层次上提出了石油地质理论思维中最值得深入思考的成烃成藏问题的内涵,这也正是含油气系统理论的学术价值之所在。

含油气系统理论首次将成烃成藏过程作为一个整体来研究石油地质问题。如 L. B. 马贡所强调的“含油气系统的研究重点是描述成熟烃源岩与相应的油气聚集之间的成因关系”,也就是从烃源岩到圈闭的全过程。遗憾的是,含油气系统没能进一步将成烃成藏过程与成盆演化特征进行深入研究。

尽管已经意识到含油气系统与盆地的升降运动直接相关，将进一步强调升降运动的诱发因素和控制条件等等，但至今为止始终未看到这方面的研究成果。

第四节 成盆成烃成藏理论思维

按石油有机成因的观点，石油地质家通常把沉积盆地作为油气赋存的基本地质单元，不管盆地的大小、形态特征、成因类型等方面有多么的不同，只要有过油气生成、运移、聚集过程的沉积盆地都称为含油气盆地。因此只要是含油气盆地，就应当具有相同的或相似的石油地质演化过程和发育特征。只要认真分析盆地不同发育阶段的石油地质演化特征，以及成烃成藏过程的内在关联，就可以把成盆成烃成藏作为一个统一的石油地质体来探讨各种石油地质问题。

通过对国内外 98 个中—新生代含油气盆地（或坳陷、凹陷）的石油地质演化史分析（表 1-1），可以看出，尽管这些含油气盆地（或坳陷、凹陷）的成因类型、形态特征、面积大小等方面均不相同，但其发育过程都经历了持续沉降、整体上升、全面萎缩三个明显不同的阶段。

表 1-1 国内外 98 个中—新生代含油气盆地（或坳陷、凹陷）的发育特征

盆地（或坳陷、凹陷）名称	盆地整体发育阶段	盆地持续沉降阶段	盆地整体上升阶段	盆地全面萎缩阶段
1. 松辽盆地	白垩纪—第四纪	泉头组—嫩江组沉积期	嫩江组沉积末期	四方台组沉积期—第四纪
2. 海拉尔盆地	白垩纪—第四纪	铜钵庙组—伊敏组沉积期	伊敏组沉积末期	青元岗组沉积期—第四纪
3. 开鲁坳陷	侏罗纪—第四纪	晚侏罗世	阜新组沉积末期	姚家组沉积期—第四纪
4. 伊兰—伊通盆地	古近纪—第四纪	古近纪	齐家组沉积末期	岔路河组沉积期—第四纪
5. 二连盆地	白垩纪—第四纪	早白垩世	赛汉塔拉组沉积末期	晚白垩世—第四纪
6. 辽河坳陷	古近纪—第四纪	古近纪	东营组沉积末期	馆陶组沉积期—第四纪