

**YITONG DIQIAN
HANYOUQI
XITONG
YU YOUQI
CHENGCAO**

■ 王永春 著



伊通地堑 含油气系统与油气成藏

石油工业出版社

伊通地堑含油气系统与油气成藏

王永春 著

石油工业出版社

内 容 提 要

伊通地堑属于断陷盆地,但与渤海湾断陷盆地又有很大差别。本书在前人研究工作的基础上,利用最新的地质和地球化学资料,根据含油气系统思想,系统总结了伊通地堑的油气成藏机制和分布规律,整体认识伊通地堑,为断陷盆地含油气系统的对比研究和认识提供了有益的材料。书中详细介绍了伊通地堑的形成机制、断裂系统和构造样式;含油气系统特征及其形成条件;油气藏形成机制和主控因素。

本书可作为高等院校师生和其他石油地质科技工作者的教学和学习参考书。

图书在版编目(CIP)数据

伊通地堑含油气系统与油气成藏/王永春著.

北京:石油工业出版社,2001.11

ISBN 7-5021-3609-6

I. 伊…

II. 王…

III. 地堑-油气藏-形成-伊通满族自治县

IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 083865 号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京乘设伟业科技排版中心排版

北京密云华都印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 14 印张 1 插页 350 千字 印 1—1000

2001 年 11 月北京第 1 版 2001 年 11 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-3609-6/TE·2657

定价:30.00 元



作者简介

王永春，1960年生，吉林省农安县人，博士，教授级高工，现任吉林油田分公司总经理兼党委书记，兼任中国地球物理学会吉林省分会理事，吉林省石油学会副理事长。长期从事油气地质与勘探的科研、管理工作，主持和承担了国家级、省部级和局级科研项目20多项，获中国石油天然气集团公司科技进步二等奖2项，三等奖12项。对吉林探区的石油地质特征与油气控制因素等有深刻的认识，提出了“岩性油藏的主控圈闭形成要素法”和“小幅度构造群的概念与成因模式”等，在这些理论和模式指导下，发现了大情字井亿吨级岩性油藏控制的油田、亿吨级的英台—四方坨子小幅度构造群控制的大型油田，储量超过5000万吨的套堡稠油油藏等。

前 言

目前,世界范围内的油气勘探难度越来越大,勘探对象越来越复杂,因此,探索油气勘探的新理论、新思路、新方法,提高油气勘探成功率,解决油气资源与世界经济发展态势相矛盾的现状已成为石油地质工作的当务之急。含油气系统在一定程度上为大家提供了可供选择的石油地质综合研究思路和工作方法。含油气系统概念提出后,以其严密的逻辑性、方法的科学性和实用性为广大石油地质工作者所接受,并引起高度重视,成为提高油气勘探有用的研究手段。但这一研究领域还有待进一步完善和发展,特别是随着含油气盆地勘探程度的提高,含油气系统的研究工作应进一步细化,以便更好地指导油气勘探工作。油气成藏是含油气系统研究的核心问题之一,只有把握油气成藏期才能确定关键时刻,才能认识油气藏的形成条件与分布规律,成藏模式则是对油气藏形成规律和赋存条件的高度概括,有助于更有效的指导勘探。

含油气系统研究具有明显的层次性。这种层次性是与其盆地的地质结构和勘探程度相对应的,目前大家都认同含油气系统是油气勘探中介于沉积盆地与油气区带之间的评价单元,实际上,由于在盆地勘探的不同阶段对含油气系统中各地质要素及地质过程认识程度不同,含油气系统的研究级别及精度也大不相同。对勘探程度低的地区,主要的任务是在盆地或坳(凹)陷范围内确定含油气系统的存在及基本特征。在勘探程度较高的含油气区,含油气系统的研究应该立足于生烃凹陷,从单一的烃源层追溯它的生排烃史、运聚史及其动力学过程,进行精细的含油气系统分析,进一步细化含油气系统,才能真正起到指导勘探的作用。

我国东部断陷盆地发育,断陷盆地的强烈分割性及差异性,使得含油气系统发育极不平衡,由于构造活动的差异性,各断陷及其不同地区油气成藏的不均一性更为明显,如何认识断陷盆地油气成藏机制是摆在我们面前的重要课题。含油气系统强调了油气源与油气藏的成因联系,并强调了油气成藏要素与动态成藏过程的时空配置,因此,从含油气系统的角度来看油气成藏问题,更能认识形成油气藏的各项条件之间的有机匹配关系,更能体现油气成藏的本质。

伊通地堑位于吉林省东部,为第三系断陷盆地,属于佳伊地堑的南段,呈北北东狭长分布,面积近 2200km²。东面是广阔的那丹哈达岭,西面隔大黑山与松辽盆地相邻,构造上位于郯庐断裂的北端。该断陷从 1984 年开始地震勘探以来,已进行了大量的二维和三维地震勘探和钻探,已在基岩风化壳、双阳组油层、永吉组油层、万昌组油层中见到油气或工业油气流,预示着伊通地堑拥有一定的油气潜力和远景。但由于伊通地堑特殊的大地构造背景,复杂的沉积构造演化条件,使得油气形成和分布十分复杂,特别是岔路河断陷更为复杂,勘探仍未突破。如何利用含油气系统的新思路研究伊通地堑的油气成藏和分布规律,是目前需要考虑的问题。为此,笔者在前人研究工作的基础上,开展了伊通地堑油气成藏机制和含油气系统的研究工作,以期对该盆地有一个比较系统的认识。本书主要体现以下几方面的研究成果:

(1)研究分析了伊通地堑的大地构造背景、盆地的成因和形成的动力学机制,对伊通地堑不同断陷构造层进行了划分与对比。分析了伊通地堑的构造演化,以及不同阶段盆地的性质,研究分析了边界断层和断裂系统、构造样式、构造类型及成因,并对不同断陷的类型和样式进行对比分析,确定其展布特征,并分析与油气的关系。

(2)从有机质丰度、类型和成熟度对伊通地堑烃源岩地球化学特征进行了详细研究,并对石油、天然气性质及其地球化学特征进行了分析。进行了油源对比,认识了天然气和稠油的成因、成熟度、油源和运移方向,为含油气系统分析奠定了基础。

(3)分析了各断陷输导体系及其油气运移条件和运移特征。

(4)在典型油气藏解剖的基础上,对油气成藏机制进行了研究,对油气藏的成藏期次、成藏动态地质过程和成藏机理有了比较系统的认识。

(5)进行了含油气系统的划分,详细描述了伊通地堑含油气系统的静态地质要素,分析了含油气系统形成条件、动态地质过程及其演化特征。

(6)分析了伊通地堑油气成藏的主控因素,建立了油气成藏模式。

(7)在含油气系统划分的基础上,划分了运聚单元,分析了有利区的成藏条件和勘探潜力。

本书是根据上述研究成果编写的,全书共分6章,内容涉及含油气系统研究的各个方面。由于伊通地堑地质条件的复杂性,许多问题仍需要进一步研究,需要不断的探索。本书旨在利用含油气系统思想,系统总结伊通地堑的油气成藏机制和分布规律,整体认识伊通地堑,为断陷盆地含油气系统的对比研究和认识提供有益的材料,丰富我国含油气系统研究成果。由于笔者水平有限,加之时间仓促,书中不妥之处,恳请读者批评指正。

目 录

绪论	(1)
一、含油气系统概念的由来和研究现状	(1)
二、含油气系统概念的内涵	(2)
三、油气成藏研究现状	(5)
四、指导思想与思路	(9)
第一章 区域地质特征及盆地动力学背景	(10)
第一节 区域地质构造特征	(10)
一、区域构造位置	(10)
二、基底性质及深部背景	(12)
三、构造单元的划分	(14)
四、盆地新生代火山活动及其构造信息	(16)
第二节 盖层构造层序的划分与对比	(18)
一、地层划分	(18)
二、地层特征	(20)
三、各断陷地层对比	(20)
四、沉积特征	(21)
第三节 盆地的动力学成因及其演化	(23)
一、盆地成因与动力学背景	(23)
二、盆地演化阶段	(26)
第二章 断裂系统与构造样式	(31)
第一节 边界断裂的性质与展布	(31)
一、西北缘边界断裂特征	(31)
二、东南缘边界断裂特征	(33)
三、边界断裂的展布	(33)
第二节 盖层断裂系统的形成期次及展布规律	(36)
一、断层的性质及展布	(36)
二、断层的形成期次及对油气藏的控制作用	(40)
第三节 构造变形特征及构造样式	(46)
一、重点复杂局部构造的解剖	(46)
二、构造样式的类型	(50)
三、构造样式的展布及油气分布规律	(50)
第三章 含油气系统形成的地质要素	(56)
第一节 烃源岩特征和油气源对比	(56)

一、烃源岩地质与有机地球化学特征	(56)
二、油气地球化学特征	(65)
三、油气源对比	(70)
第二节 储盖层与生储盖特征	(83)
一、沉积体系和沉积特征	(83)
二、储层特征	(86)
三、盖层与生储盖组合	(92)
第三节 输导体系、圈闭和油气运移特征	(92)
一、输导体系	(92)
二、圈闭条件及其特征	(95)
三、油气运移条件和运移特征	(97)
第四章 含油气系统的形成与演化	(100)
第一节 含油气系统划分	(100)
一、含油气系统的概念	(100)
二、伊通地堇含油气系统划分	(101)
三、含油气系统特征	(103)
第二节 含油气系统形成的动态地质过程	(117)
一、含油气系统地层埋藏史	(117)
二、烃源岩热演化史和生排烃作用	(119)
三、圈闭形成与演化作用	(129)
第三节 含油气系统形成条件和演化	(130)
一、含油气系统形成的基本条件	(130)
二、含油气系统油气富集带分布	(134)
三、含油气系统油气藏分布特点	(135)
四、含油气系统的演化	(136)
第四节 含油气系统与运聚单元	(139)
一、运聚单元划分	(139)
二、运聚单元成藏条件分析	(141)
第五章 油气藏形成机制与成藏模式	(143)
第一节 油气藏类型	(143)
一、岩性油藏和复合型油气藏	(143)
二、断块油气藏	(144)
三、构造—岩性油气藏	(145)
四、潜山油气藏	(145)
五、地层超覆油气藏	(145)
六、断层—岩性油气藏	(146)
七、断鼻构造油气藏	(146)
八、砂岩上倾尖灭油气藏	(148)

第二节 典型油气藏成藏机理·····	(148)
一、莫里青油田岩性油藏和复合型油藏成藏机制·····	(149)
二、长春油田断块、构造岩性油气藏和潜山油气藏成藏机制·····	(150)
三、万昌构造—岩性油气藏和砂岩上倾尖灭油气藏成藏机制·····	(155)
第三节 油气藏形成机制·····	(159)
一、岩性油藏和复合型油气藏形成条件·····	(159)
二、构造型油气藏形成的条件和机制·····	(161)
第四节 油气成藏模式·····	(162)
一、断块油气藏成藏模式·····	(162)
二、阶梯式断层—岩性油气藏成藏模式·····	(163)
三、构造高部位的构造—岩性和古潜山型油气藏成藏模式·····	(164)
四、凹陷内岩性油藏成藏模式·····	(164)
五、斜坡背景上的地层油气藏成藏模式·····	(165)
六、近凹断鼻构造和断背斜油气藏成藏模式·····	(166)
七、西北缘边界断层下的断层—岩性油气藏成藏模式·····	(166)
第六章 油气藏形成的主控因素·····	(168)
第一节 温压系统与油气成藏关系·····	(168)
一、地温—地层压力系统及其模式·····	(168)
二、伊通地堑地温—地层压力系统特征·····	(169)
三、伊通地堑温压系统平面分布特征·····	(172)
四、地温—地层压力系统对油气藏形成的控制作用·····	(173)
第二节 沉积微相与油气聚集·····	(174)
一、沉积相类型与特征·····	(174)
二、沉积微相展布特征·····	(183)
三、沉积微相与油气富集·····	(192)
第三节 油气成藏的其他控制因素·····	(195)
一、断层封闭性与断层控油机制·····	(195)
二、火山活动对油气形成和聚集的影响·····	(197)
第四节 含油气系统有利区分析与评价·····	(198)
一、莫里青—鹿乡断陷 E_2s 、 E_2sh 含油气系统·····	(198)
二、岔路河断陷 E_2s 、 E_2sh 含油气系统及 E_2s 、 E_2sh 、 E_2y — E_3w 复合油气系统·····	(207)
参考文献·····	(211)

绪 论

目前,含油气系统(Petroleum System)是石油地质研究中的一个新热点,它是介于含油气盆地(或含油气区)与油气聚集带(或成藏组合)之间的油气地质新概念,综合了油气藏形成的一系列要素和作用,因此,它为油气藏形成研究提供了新思路和新观点。含油气系统自 20 世纪 70 年代提出以后之所以受到广泛关注和应用,首先,是因为用系统论的观点将油气藏形成的各要素和作用有机地结合起来,而不是孤立地研究。含油气系统研究把它们作为一个整体综合分析油气藏的形成过程,体现了系统论的思想在石油地质中的应用。第二,把盆地和构造演化历史与油气藏形成历史结合起来,使油气藏形成条件的生、储、盖、运、圈、保等从静态研究转到动态分析油气藏的形成过程。含油气系统研究就是在分析盆地演化历史的基础上,动态地研究烃源岩的演化史、圈闭的形成期以及油气运聚过程。第三,运用石油地质学综合分析方法和逻辑思维方式,使油气勘探的重心从地质学向油气等流体转移,建立了“地质、石油、时间”为主的思维模式(李贤庆等,1999),寻找新的圈闭或油气藏。因此,含油气系统概念的提出,无疑大大推动了石油地质学的发展,丰富了石油地质学的理论体系,对油气勘探有重要的指导意义。

一、含油气系统概念的由来和研究现状

含油气系统的雏形石油系统(Oil System)的概念于 1972 年首先由美国石油地质家 Dow 在丹佛召开的 AAPG 年会上提出,历经诸多学者补充、修改而完善。Perdon 于 1980 年首次提出含油气系统这一术语,他认为,控制油气藏分布的地质因素(尤其是烃源岩、储层和盖层组合)通常局限于一定的地理范围,这个地理范围通过一组油气藏,即一个含油气系统的形成来反映。含油气系统就是同类或具有相同功能的自然要素按一定结构的组合。1984 年 Demaison 提出了生烃盆地(Generative Basin)的概念,将下伏有成熟烃源岩的区域称作“生烃凹陷”或“烃厨”,含有一个或多个生烃凹陷的盆地定义为“生烃盆地”。生烃凹陷可以通过有关成熟作用和有机相的地球化学资料与来自地震和深井的构造地层信息综合绘出。Meissner 等提出了烃类机器(Hydrocarbon machine)的概念,其定义为,含有油气生成、运移和聚集过程中所有要素的层序构成了可以称为天然地质烃类机器的东西。这种概念格架的应用将有助于预测油气生成、运移、聚集单元,即烃类机器。这种烃类机器在一定地层范围内起作用。当与烃源岩区域分布图共同使用时,可解释已发现油气藏的分布并进一步圈定远景区。1986 年 Ulmishek 提出独立含油气系统(Independent Petroliferous System)的概念,这一术语被用于描述“油气资源评价的地层情况”。他指出,独立含油气系统,“……可以理解为一岩体,该岩体被阻止包括油气在内的流体作侧向和垂向运移,由区域性隔挡与周围岩石分开。从地层上看,一个独立的含油气系统基本上是均一的。它包括烃源岩、储集岩、圈闭和区域性盖层,因此它是这些因素对比分析和油气成因研究的合适单元。对于了解程度较差的油气资源评价来说,把独立含油气系统作为一个评价单元比盆地或成藏组合具有一定的优越性。独立含油气系统的概念也可以用于资源评价的统计方法中,并且可能提高这些结果的可靠性。”Magoon(1987)首次应用“要素”(Element)这一术语来指烃源岩、运移路径、储集岩、盖层和圈闭,并明示这些要素“必须

在时空上定位,以致于油气矿床可能出现”。

目前应用的含油气系统概念是由 Magoon 和 Dow 根据前人的工作综合提炼而得(Magoon 和 Dow, 1994),他们将含油气系统定义为包含一个有效烃源岩体和所有有关油气的天然系统,包括油气藏存在所必需的一切地质要素和作用。这里的“油气”(Petroleum)包括:①在常规储层或天然气水合物、致密储层、裂缝性页岩和煤层中发现的热成因或生物成因的天然气;②自然界中发现的凝析油、原油和沥青。“系统”(System)描述了互相关联的要素和作用,这些要素和作用构成了形成油气藏的功能单元。“基本要素”包括油气源岩、储集岩、盖层和上覆岩层,“作用”为圈闭的形成以及油气的生成—运移—聚集。这些基本要素和作用必须在时空上匹配,以致于烃源岩中所含的有机质可以转化成油气藏。

我国引入含油气系统的概念始于 80 年代末期。实际上,早在 1963 年胡朝元等在总结松辽盆地陆相大油气田形成和分布规律的内部报告中就提出过成油系统这一思想,即“必须将油气藏形成的静止条件(生、储、盖)和发展过程(生、运、聚)综合分析比较符合实际”。朱夏等曾强调“各种地质要素之间有着紧密的联系,必须在油气系统整体中予以考虑”。这些都显示了我国学者对含油气系统研究的早期思想,只是在国际上未引起关注和应用。

90 年代初,含油气系统研究成为石油地质领域的热门话题。我国学者于 1992 年全文翻译并公开出版了 Magoon 主编的《含油气系统——研究现状与方法》一书,随后,国内不少刊物陆续登载了有关含油气系统的文章。海洋石油总公司曾于 1994 年 9 月和 1996 年 6 月组织召开了石油体系应用学术研讨会。“八五”、“九五”攻关期间也设立了与之有关的研究专题或将含油气系统列为重要研究内容。1996 年 11 月,在贵州省安顺市召开了“中国含油气系统及其在油气勘探中的应用”学术研讨会,就含油气系统定义、研究内容、研究方法、应用范围等方面展开了热烈的讨论,强调在研究和实践中去理解和发展含油气系统。近几年,含油气系统理论正在被广泛地应用于实践中,各油田、各研究单位和油气勘探公司在这方面已作了大量的研究工作,发表文献数量急剧增加,显示出国内对这一领域的重视。此外,我国学者还公开出版了有关含油气系统的著作和论文集,如《中国含油气系统的应用与进展》、《成油体系分析与模拟》,以及 1998 年由张刚等主译出版了 Magoon 主编的《含油气系统——从源岩到圈闭》一书。由此可见,在含油气系统研究和应用方面已取得了较大的进展,含油气系统思想已在我国石油地质领域引起了足够的关注。

二、含油气系统概念的内涵

1. 含油气系统是一种综合研究方法

尽管含油气系统概念的提出,大大推动了石油地质学的发展,但含油气系统概念的提出并没有改变原有石油地质学基本理论,也没有提出新的理论体系。含油气系统所涉及的内容都是以往石油地质研究所讨论的,这可能就是国内有人认为含油气系统没有什么价值,只不过是“新瓶装旧酒”的原因。当然这种认识是片面的,他们并没有真正认识到含油气系统的价值所在。含油气系统的价值在于它为我们进行油气调查和勘探研究提供了一个新思路和新方法。国外学者基本上把含油气系统作为一项新方法或工具,而非新理论,因此,还是把含油气系统作为一种研究方法更合理。

2. 含油气系统是一个天然的油气地质系统单元

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,是一个天然的油气地质系统。地质系统是由控制油气生成、运移、聚集和保存等所有地质因素在时间和空间上有机组合而形成的完整体系,油气地质系统包括油气域、含油气区、含油气盆地和含油气系统。油气域是具有相同地球动力学或大地构造背景油气区的组合,油气域受大地构造控制。全球有4大油气域,即特提斯油气域、北方油气域、南方冈瓦纳油气域和太平洋油气域;含油气区由一个或几个具有相同地质特征和类似地质发展史的含油气盆地组成;含油气盆地是石油地质研究和油气勘探的重要对象,一个含油气盆地通常具有一个或多个含油气系统。含油气系统是油气地质系统中的最基本单元,它代表了一个独立烃源岩的油气生成、运移和聚集过程。

3. 含油气系统理论与源控论

我国的石油地质学家在长期的找油实践中建立了中国的陆相石油地质理论,对陆相盆地中控制油气藏形成和分布的地质因素进行了不懈的探索。我国学者在50年代末60年代初,针对中国东部含油气盆地的地质特点(陆相地层、断块构造、分割性强)总结出了生油区基本控制油气分布的规律,提出油气运移距离短,油源区控制油气田分布的理论(简称源控论),三十多年的勘探实践证明了这个理论的正确性。

源控论强调“油气田环绕生油中心分布,并受生油区的严格控制”,并指出只要有一个生油中心,就应在其边部或周围注意各种类型的圈闭,以期以较高的成功率发现油气田。也有人认为“油气田环绕生油凹陷都自成一个独立的沉积单元和生油中心,一个生油中心就是一个油气富集中心,即油气生成、运移、聚集完全受油气生成中心控制,油气藏分布围绕生油中心呈环带状分布”。因此,“源控论”与含油气系统有类似思想基础。

4. 含油气系统理论与油气聚集带

从目前世界上诸多盆地中所发现的油气田来看,成群成带分布是其共同特点。40年代中期乌斯宾斯卡娅在研究俄罗斯地台及北美地台上油气田分布特点的基础上,划分了几类油气聚集带。50年代初期巴基洛夫正式提出油气聚集带的概念,并将其定义为地质构造相似且位置相邻的一些油气田的总和,这些油气田属于互相有成因联系的局部构造群或一些岩性地层圈闭。

80年代中后期,我国学者在系统总结了断陷盆地油气聚集和分布规律的基础上又提出了复式油气聚集带的概念。这一概念指出,在含油气断陷盆地中,由于断块活动强烈、断层十分发育、岩性岩相变化大、地层超覆和沉积间断多,在二级构造带的背景上有利于多种类型圈闭的形成,不仅发育背斜和断块圈闭,还在不同层系中广泛发育多种类型的地层岩性圈闭。这些储油圈闭具有一定的地质成因联系,有相同的油气运移和聚集过程,形成了以一种油气藏类型为主,以其他类型为辅的多种类型油气藏群,且具有成群成带分布的特点,它们在平面上构成了不同层系、不同类型油气藏叠置连片的含油气带。复式油气聚集带的形成受二级构造带的控制,尽管多种因素对复式油气聚集带的形成起控制作用,但其中某一种因素在油气聚集过程中起主导作用。

含油气系统与油气聚集带之间存在着较大的差异。首先,二者分析问题的着眼点和研究内容不同,含油气系统着眼于烃源岩及演化,其主要研究内容是含油气系统诸石油地质条件的有机组合;而油气聚集带着眼于圈闭和油气藏类型及它们之间的时一空组合,着眼于圈闭发育史分析,其主要研究内容是区带油气聚集与油气藏的形成与分布。其次,含油气系统是介于含油气盆地与油气聚集带之间的一个油气地质单元。在一个含油气盆地或含油气区内,可有若干个含油气系统重叠分布;在平面上,不同时代、不同类型的含油气系统则可展现在一个或若

十个油气聚集带中。

5. 含油气系统与有机地球化学

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,把握油气从烃源岩到圈闭的每个环节都依赖于油气地球化学研究提供的信息,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。以往的有机地球化学研究常常着眼于烃源岩以及油气的孤立研究,而忽略含油气盆地生烃、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。

烃源岩是含油气系统形成的物质基础,烃源岩是含油气系统中4个成藏要素的核心,一个含油气系统至少必须包含一套有效的烃源岩。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。含油气盆地中的不同部位烃源岩的成熟度可以有较大的差别,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。此外,烃源岩的演化过程决定了系统的时间跨度。

6. 关于复合含油气系统

复合含油气系统指的是在含油气盆地中含油气系统的复合叠加。含油气盆地或坳陷、凹陷中发育多套烃源岩,并在随后的演化过程中出现多期生烃、多期运聚、成藏与调整改造的变化,从而导致多个含油气系统的交叉与窜通叠置,使含油气系统的油气来源变得复杂。其内涵至少包括了以下几个方面:

①组成复合含油气系统的生烃灶至少有一个,而烃源岩层系至少是两套以上,且在平面上存在重叠和交叉;

②两套以上的生烃层系或两个以上生烃灶中的油气藏形成往往表现出多期次,并共享部分石油地质条件,如同一套盖层、同一个油气聚集区带与油气有同一的运移输导体系;

③每一个生烃或每一套生烃层系都有各自独立的油气运聚过程发生,但相互间又有部分流体的交换,如油气通过不整合面或断裂带运移,在两个烃灶中间的隆起部位混合聚集,使得两个或两个以上的系统既有独立性,又有联系;

④复合含油气系统的形成往往有多个关键时刻,包括各生烃层系与各烃灶大规模生烃和排烃的时间,也包括已经形成的油气藏被破坏或被调整到新圈闭中再聚集的时间。

同一复合含油气系统含有多套有效烃源岩体,每一套有效烃源岩体都形成一个含油气系统,但同一复合含油气系统内的不同含油气系统不是相互独立的,它们往往具有相同的储层和盖层,形成的油气藏多为多源混合的结果。显然,对于复合含油气系统,多源、多灶、多期成藏为其主要特点,出现多关键时刻的作用,因此,尤其应加强成藏期的研究。

7. 含油气系统与运聚单元

所谓油气运聚单元,就是含油气系统或复合含油气系统内部由有效烃源岩最大生排烃期油气运移分割槽所围限的具有相似油气运移聚集特征的独立的和完整的三维石油地质单元。油气运聚单元以油气聚集带(包含二级构造带、岩性带、地层尖灭带、超覆带等)为核心,并包含为该油气聚集带提供油气源的有效烃源岩体。运聚单元边界的划分是在含油气系统研究的基础上实现的。首先作出有效烃源岩大量生排烃期有效烃源岩层系顶面的流体势图,研究油气输导体系的分布;然后在流体势图上根据高势面的分布划出油气运移分割槽;最后以分割槽为边界并考虑油气输导体系的分布确定出油气运聚单元的边界。

运聚单元的划分是含油气系统的进一步细化,目的就是使含油气系统的评价和勘探目标

的选择更具体。

三、油气成藏研究现状

含油气系统要素分析的核心是烃源岩,事件研究的核心是关键时刻。“关键时刻”是指研究人员选择出能够最有效地描述一个含油气系统中极大多数油气生成、运移、聚集的时间。简言之,关键时刻就是含油气系统油气主要成藏期的代表点,只有把握油气成藏期才能确定关键时刻。因此,油气成藏的研究是含油气系统分析的重要问题。

世界范围内油气的发现和利用具有 3000 多年的历史,但人们真正从科学角度认识油气还是近一个多世纪的事情。从远古到 19 世纪 40 年代以前,人们对于油气的发现纯属偶然现象,缺乏正确的科学理论为指导,在对石油和天然气的认识上,也带有神秘的宗教色彩。即使在 19 世纪 40 年代前后,找油气仍具有很大的盲目性,很少用或根本没用地质学知识。随着人们对石油和天然气需求和寻找范围的日益扩大,随着科学技术的不断发展,人们在寻找油气的实践活动中,逐渐认识到石油和天然气一般都储存在背斜构造里。1859 年,宾夕法尼亚州一背斜上钻出了石油之后,人们进一步认识到了背斜能够聚集油气。1885 年,美国人 I. C. White 根据地质知识提出了“背斜学说”。这一认识的出现是油气勘探史上的重大转折,是从假想到科学的转折。它对油气的调查与勘探起到了巨大的指导作用,直到今天,仍然在起着重要作用。在这一理论的指导下,一百多年来,全世界发现了无数大大小小的油气田。

从油气成藏的各个方面来看,其研究的最终目的都是要弄清一个沉积盆地或一个构造带的油气藏形成模式,然后,依据油气藏形成模式进行油气藏分布规律的研究,进而搞清含油气系统油气藏的分布规律。油气成藏模式的研究内容广泛,涉及油气藏的类型与基本地质特征、油气生成、运移距离、方向及通道、构造活动期、圈闭形成时期、油气运移聚集过程与期次、油气藏保存条件等等。有关油气藏形成模式的研究,已经开展了大量的工作。在此过程中,油气成藏期一直为人们所关注,它是油气成藏模式研究中非常重要的内容。在一个盆地,尤其是大型叠合盆地中,油气成藏往往不是一次完成的,而是多次、多期成藏的结果,成藏模式多种多样。

1. 依据构造分析确定油气藏形成时间

油气藏的形成是油气在圈闭中聚集的结果,只有先形成了圈闭,油气才能在圈闭中聚集成油气藏。因此,构造运动形成圈闭的时间只能是油气藏形成的最早时间。因为圈闭的形成并不意味着立刻就有油气在其中聚集,所以,该法确定的油气藏形成时间只是最早时间,油气藏只能形成于这一时间之后。然而,这种方法对于早期构造运动产生的圈闭和圈闭容积继承性增大且充满度高的油气藏形成期研究往往是有效的;但对那些早期圈闭容积就大于现今油气藏规模的圈闭而言,就显得无济于事。况且这种方法是以待圈闭等待油源为前提的,将圈闭形成和油气聚集割裂,建立在压实和成岩破裂排烃的续流模式基础上,对于那些依靠活动断裂沟通烃源岩和圈闭,以垂向运移为主的油气藏的形成期巧合程度较高;而对于靠侧向油气运移和聚集成藏的圈闭则找不到合适的参照系。

很多学者十分强调构造分析的重要性,认为形成的主要时期或含油气系统的关键时刻应定位于断褶构造活动期(燕烈灿等,2000),因为相对于含油气系统形成演化漫长的地质历史,发生在烃源岩具备生排烃潜力之后的断褶构造活动期是短暂的,并且可以通过简单的构造分析予以确认。每一期次断褶构造运动又包括延时不一、规模不等、强度有别的阶段构造运动,而每一阶段构造运动又可进一步细分为多个周期性的构造应力积累、释放、再积累、再释放……的间歇活动幕。断褶构造的间歇活动幕则是可以通过新构造运动丰富的研究成果“将今

论古”的,这就为客观地把握含油气系统关键时刻提供了依据。含油气系统中只有那些发生在烃源岩有潜力提供油气阶段的断褶构造活动期,才最可能促成有效的油气运聚成藏。断褶构造运动以不同级别、周期性活动的地震为主要的应力释放方式,提供了地层流体运移的主要动力;发生在烃源岩供烃阶段的断褶构造运动是含油气系统内油气形成规模运移、聚集的主要因素。

对于断陷盆地,后期的构造活动性质和规模对原生气藏的改变和破坏,以及次生气藏的形成是十分重要的,这在确定油气成藏期和复合含油气系统的形成时应该考虑的。

2. 依据烃源岩主要生排烃期确定油气藏形成时间

油气藏的形成是油气生成、运移、聚集的结果。只有油气生成并排出了,油气藏才可能形成。因此,烃源岩中油气生成和排出的主要时期可作为油气藏形成的最早时间。而烃源岩的主要生排油期的确定要涉及到多方面的资料,包括盆地或地区的沉积史、埋藏史、古地温史、烃源岩热演化史、烃源岩孔隙度随深度的演化、烃源岩厚度与分布、生气气定量模型等。通过盆地模拟计算出烃源岩的主要生气时期和排油时期,从而大致确定油气藏形成时间。由于生排油气后并不一定立刻就会形成油气藏,因为油气排出后,还得经过一定距离甚至是较长距离的运移、调整,最终才能形成油气藏。所以,该法确定的油气藏形成时间也只能代表其最早形成时间。与圈闭形成时间法相比,该法确定的时间总体应更接近油气藏的形成时间。

3. 依据油气藏饱和压力确定油气藏形成时间

该方法的基本依据是:原油自烃源岩中生成排出后就饱和和天然气。饱和天然气的石油与饱和轻质油的凝析气沿运移通道运移,当遇到合适的圈闭时便聚集起来形成油气藏。此时,原油和凝析气的溶解作用在当时温压条件下处于饱和状态。所以其饱和压力反映了形成时的温、压条件。如果在油气藏形成之后,沉积、构造等作用相对比较稳定,那么,油气藏的饱和压力就基本不会发生太大变化。这样就可根据油气藏的饱和压力推算出油气藏的埋藏深度,并判定出相应深度的地质时代,结合地层埋藏史就可确定油气藏的形成时期。但一般情况下,油气藏形成后不可能不受到各种因素的影响,如构造运动升降、气体的散失、油气的多期运移、聚集等都可能改变油气藏的饱和压力,致使由饱和压力确定的油气藏形成时间失真。该方法已得到了广泛应用,但在应用时应应对油气藏的地质演化过程进行充分的研究,以确保油气藏在形成后其气油比没有太明显的变化,否则该方法确定的成藏期会严重偏离地质事实。

4. 依据露点压力确定凝析气藏成藏期

根据上露点压力计算凝析气藏的形成时间,其基本原理在于凝析气藏形成时,其地层压力高于现今气藏温度所对应的上露点压力,当地层压力低于对应的上露点压力时,气相中液态烃将发生反凝析作用,反凝析出来的液态烃可形成油环或底油。此后若地层压力升高,反凝析出来的液态烃一般不可能再发生大量的逆蒸发而回归为气态烃。因此,根据现今气藏的上露点压力可以计算出成藏时期的埋深,与地层埋藏史结合确定凝析气藏成藏期。李绍基等(1994)认为,由此得到的成藏时埋深为最小埋深,所确定的成藏期为最早成藏时间。但赵靖舟等(2000)认为,由上露点压力所确定的成藏期应代表凝析气藏形成后最近一次调整的时间或其现今 pVT 相态特征最终定型的时间。这主要是由于凝析气藏形成后多经历了多期构造作用的结果。

5. 依据储层矿物同位素特征确定油气藏形成时间

储层成岩作用过程中会形成多种自生矿物,其中存在多种放射性同位素。自生矿物形成以后,放射性同位素组成会不断发生变化,形成自然的衰变体系。利用自生成岩矿物的同位素

衰变特征可确定成岩矿物的形成时间。

目前利用储层中同位素年代学分析确定矿物形成时间的矿物主要是伊利石,该方法是国际上 80 年代后期逐步发展起来的新技术,并成功地应用于分析北海等地区烃类成藏时间。方法的主要原理与矿床学中利用与成矿同时又适合年龄测定的岩石或矿物的同位素地质年代学分析确定成矿年龄相似。其主要的理论依据是石油侵入影响储层的成岩演化,控制自生矿物的形成和演化,即认为石油饱和度一旦达到一定值时,伊利石的成岩作用就会停止(Thomas, 1986)。许多人都成功地应用油气包裹体和自生矿物同位素(K/Ar)研究油气运聚史。周兴熙等(1995)用次生伊利石测年技术对塔里木盆地的几个油气田成藏历史进行过研究。王飞宇(1999, 2000)利用储层自生伊利石 K—Ar 同位素定年技术对塔里木盆地、准噶尔盆地及大港油田部分油气藏的成藏史进行了研究。这种方法在吐哈盆地得到良好应用(黄志龙, 1998),也在四川盆地平落坝气田、八角场气田、库车坳陷克拉 2 气田、依南 2 气田的成藏史分析中采用了这种技术和方法,但效果不一(黄志龙、高岗, 2000)。

储层中自生伊利石仅形成于流动的富钾水介质环境中,油气进入储层后伊利石形成过程便会终止。所以,可利用砂岩储层中自生伊利石的同位素年龄来判断油气藏的形成时间,即烃类充填储层的时间应略晚于自生伊利石的形成年龄。根据平面和剖面上自生伊利石的同位素年龄的分布可以判断成藏速度和烃类运移的方向。但该方法也有其不足之处,目前能分离出来的小于 $0.1\mu\text{m}$ 粒径的自生伊利石的同位素年龄并不一定能代表成岩粘土矿物形成作用终止前的最晚时间。在亲水性的粘土矿物颗粒和油之间有活性更高的水膜存在,使得以颗粒包膜形式存在的粘土矿物还不至于继续堆积生长的成岩环境,因此,用自生伊利石 K—Ar 同位素年龄来判断成藏期有时偏差较大,必须引起足够的重视。

6. 储层有机岩石学法

该方法包括流体包裹体和固态沥青的研究。

(1) 流体包裹体分析法

在沉积盆地演化过程中,尤其是构造沉降、地下水活动和运移时期,都伴随着流体包裹体的形成和捕获作用,并在其中记录了烃类流体和孔隙水的性质、组分、物化条件和地球力学条件。因此,在研究区水平和垂直方向上规律取样,对储集岩成岩矿物中流体包裹体进行颜色、大小、分布、类型、丰度、均一温度、压力和组合等的研究,就可大致了解盆地深部流体的运移时间、方向、通道体系及水动力状况(Karlsen, 1993; Nedkvitne, 1993; Roger K. Mclimans, 1987)。

详细描述包裹体特征是十分重要的。包裹体的物理性质包括丰度、颜色、大小、气液比、盐度、状态、均一温度和类型等。将这些特征与盆地模拟相结合可研究沉积盆地的流体运移、聚集时期。Eadington(1991)将对岩石矿物包裹体特征的直接观测与数值模拟技术相结合,应用于沉积中流体运移的研究,首次提出了地层的流体历史分析技术。单一有机包裹体的物理特征分析(卢焕章, 1990)是在冷热台—荧光显微镜—显微光度计系统中进行的,可分析流体包裹体期次、相态、组成和均一化温度及固体沥青反射率,以冷冻—回温法区分均相和非均相捕获流体包裹体,流体包裹体均一化温度主要测自与烃类包裹体共生的均相捕获的盐水包裹体。施继锡(1987)认为,由液相组成的包裹体出现在烃源岩成熟度较低的地区,而由气态烃或固态沥青组成的包裹体则出现于演化程度较高的地区。研究表明,有机包裹体的颜色与有机质的组成有关,也与有机质的演化程度相关,演化程度越高,颜色越深。储层含油流体包裹体丰度作为古含油饱和度标志,识别古油层、确定油水界面的变迁史;从包裹体均一化温度、相态、成

分可认识化石流体性质,特别是识别古代热流体的存在和活动时间(George 等,1997)。利用储层流体包裹体均一化温度,结合埋藏史和热演化史特征,确定油气运移时间和成藏期次是目前应用广泛的方法。朱扬明(1999)认为利用包裹体的产状、颜色,可查明原油运移的时间、温度、通道,揭示成藏演化史。

(2) 储层固体沥青分析技术

储层固体沥青可视为一类特殊的“成岩矿物”,它是油藏中石油蚀变的产物,记录了油藏被改造、破坏的信息。固体沥青反射率反映了烃类流体转变为固体沥青后所经历的热历史,从储层固体沥青反射率、沥青反射率化学反应动力学,结合储层埋藏史和热演化史定量分析,可确定油藏破坏时间。对固体烃类有机岩石学和有机地球化学的分析可提供油气藏被改造、破坏的信息。王廷栋等(2000)根据固体沥青的形成条件,认为固体沥青主要有三种成因:①沥青质沉淀。气侵作用形成。由于地质历史中油、气的生成和运移呈多期性,沥青质固体沥青的产出和聚集也可出现多期性。在井下岩心的溶洞中常见到第一期形成的沥青在溶洞的边缘,后被方解石晶簇覆盖,紧接着是第二期的固体沥青覆盖在方解石晶簇上,结构呈类微晶质,可以看出有多期的沥青聚集。②焦沥青。高温、高压下油裂解成气后的残留物,常伴随超压。由于温度、压力条件的不同,形成不同压力条件下的沥青。高压条件下的固体沥青组成类微晶质或类结晶质沥青结构的颗粒发生变形,呈椭圆状至长条状,而正常压力下形成的沥青颗粒未发生变形呈圆形粒状。③降解沥青。油藏原油受到严重生物降解作用、水洗作用,形成富含杂原子的重质沥青,多形成于埋藏较浅的储层中。Stasuik(1997)曾发现沉淀沥青质的反射率比普通的油裂解而成的焦沥青低数倍。

储层固体沥青分析技术在叠合盆地油气成藏的研究中是十分有用的,特别是研究古油藏的演化效果明显。

7. 油藏地球化学方法

该方法是根据油气藏地球化学描述认识油藏非均质性,从油藏非均质性推断储层烃类流体充注史,判断烃类注入方向和时间。分析油水界面的位置及其变迁史,阐明油气藏的演化史。油藏内部存在的石油组成的变化,一般认为是由于生物降解和水洗等地球化学作用或重力分异作用所致。近年来,国外许多学者认为,除上述因素外,油藏中石油组成的非均质性可能是烃源岩有机相和成熟度不同而造成的(Lagthaeuser 等,1989;Hwong 等,1994)。由于储层中不同原油之间的混合过程缓慢,其组成的不同性可被保存下来,通过油藏剖面上原油宏观和分子组成非均质性的系统研究,可确定原油运移途径和成藏机制,并以此判断原油区及烃源岩有机质的类型和成熟度。

朱扬明、张敏等(1996)利用热解和热蒸发气相色谱分析技术,研究塔里木盆地轮南油田三叠系油藏剖面上储层的含油性和原油组成变化,发现低孔渗层段油砂的含油性低,原油的成熟度低,正烷烃呈前峰分布;高孔渗层段含油性高,原油成熟度高,正烷烃呈后峰分布;孔渗中等的油砂中含油性和原油组成性质介于上述两者之间。油藏中不同孔渗层段的这种原油组成非均质性反映了油藏的聚油史。England(1987)、王铁冠等(1997)利用油藏地球化学研究油气的充注史取得了重要进展。油藏地球化学是根据油气藏流体的组成特征及变化规律、流体岩石相互作用产生的自生矿物的成分及变化特征等,综合研究一个地区的构造发展史、油气运移的通道、方向和聚集成藏的时间。

8. 综合分析方法

尽管上述各种方法各有其优点,但都有一定局限性。每一种方法都主要从某一侧面入手