

塔里木盆地 油气藏形成与分布

吕修祥 胡素云 著



石油工业出版社

PETROLEUM INDUSTRY PRESS

登录号	124186
分类号	P618.130.2
种次号	143

塔里木盆地 油气藏形成与分布

吕修祥 胡素云 著



石油0117012



石油工业出版社

内 容 提 要

本书是在“八五”国家重点攻关项目“塔里木盆地盆地模拟与油气资源评价”及“塔里木盆地油气成藏机理及油气资源评价”等的基础上编写完成的。内容涉及塔里木盆地油气勘探现状及油气成藏机理研究现状,油气藏类型、分布、典型油气藏剖析及成藏模式,志留系沥青砂岩的成因,成藏旋回的划分及控油规律,多元复合含油气系统,油气聚集与分布,库车和塔西南中、新生代前陆盆地的石油地质特征及有利区预测,古生代克拉通盆地的油气勘探前景柯坪断隆的构造属性、塔中低凸起西北倾没端的油气勘探前景。

该书可供从事盆地油气成藏、盆地构造等研究的科研、教学和现场人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

塔里木盆地油气藏形成与分布/吕修祥, 胡素云著.
北京: 石油工业出版社, 1998.7
ISBN 7-5021-2350-4

I. 塔 ···
II. ①吕 ··· ②胡 ···
III. ①油气藏-形成-塔里木盆地 ②油气藏-分布-塔里木盆地
IV. P 618. 130. 2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 18255 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)

河北省徐水县激光照排厂排版

石油工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16 开本 9.5 印张 245 千字 印 1 - 1000

1998 年 7 月北京第 1 版 1998 年 7 月北京第 1 次印刷

ISBN 7 - 5021 - 2350 - 4/TE · 1961

定价: 22.00 元

序

我国有三个预测石油资源量在 $100 \times 10^8 \text{t}$ 以上的含油气盆地，即松辽盆地、渤海湾盆地和塔里木盆地。前两者都是以中、新生代陆相烃源岩和储集岩为主，其原油年产量均达到 $6000 \times 10^4 \text{t}$ 。迄今累积产油量松辽盆地为 $15 \times 10^8 \text{t}$ ，渤海湾盆地 $12 \times 10^8 \text{t}$ 。塔里木盆地具有丰富的海相和陆相油源，具有多套储盖组合，经过近几年的钻探，在下古生界、上古生界和中、新生界内都发现了高产油气流；已探明 10 个油气田，发现 30 多个含油气构造，已建成 $440 \times 10^4 \text{t}$ 原油的年产能力；今后，随着勘探工作和地质综合研究工作的进展，将会不断取得更加丰硕的勘探成果。

“八五”期间塔里木盆地油气资源研究被列为国家重点科技攻关项目，“九五”期间塔里木盆地石油天然气勘探项目仍被列为国家重点科技攻关项目。8 年多来，经过中国石油天然气总公司、地质矿产部、中国科学院、国家地震局和有关高等院校上千名科研人员的勤奋工作、刻苦钻研、努力探索，对塔里木地板块构造和盆地内部构造的研究；对多期烃源岩及其演化的研究；对中、上奥陶统优质海相油源岩的标定和划分；对海相古生界和陆相中、新生界多套储盖层的研究；对轮南和塔中奥陶系碳酸盐岩储集层裂缝系统的研究；对库车前陆盆地和塔西南前陆盆地油气系统的划分；对塔里木盆地波动过程新概念的提出及应用；对非构造圈闭地球物理勘探目标区的选择和评价等研究均取得了可喜的成绩，为塔里木盆地的油气勘探提供了坚实的理论基础。由于塔里木盆地石油地质条件的复杂性，在今后乃至相当长的时间内，对塔里木盆地石油地质规律的认识仍需要不断进行探索和深化。

由石油大学（北京）吕修祥副教授和北京石油勘探开发科学研究院胡素云高级工程师编写的《塔里木盆地油气藏形成与分布》一书，是他们多年来参加塔里木盆地科研攻关、探索塔里木盆地油气藏形成与分布规律的一份初步总结。本书内容丰富、观点新颖，如塔里木盆地成藏旋回及多元复合含油气系统的概念等都是作者首次提出，从目前的勘探和认识程度看，这些认识还是经得起检验的。本书的出版，对于从事塔里木盆地油气勘探的相关人员具有一定的参考价值，对于塔里木盆地的进一步勘探将会起到一定的促进作用。

李德生

中国科学院院士

1997 年 12 月 15 日

前 言

塔里木盆地位于新疆维吾尔自治区南部,面积达 $56 \times 10^4 \text{km}^2$ 。盆地周缘为山系环绕,盆地中心是著名的塔克拉玛干沙漠,盆地内最大沉积岩残余厚度 16000 余米。沉积地层由震旦系一下二叠统海相-海陆交互相和上二叠统一第四系陆相沉积两套沉积岩系组成。

两轮油气资源评价的结果已经告诉人们,塔里木盆地具有丰富的油气资源,经过自 1951 年开始 30 多年的努力和自 1989 年开始近 8 年的大规模勘探,塔里木盆地已找到 12 个油气田,累计探明油气储量超过 $5 \times 10^8 \text{t}$,同时还发现近 30 个含油气构造,显示了塔里木盆地良好的油气前景。

但是由于塔里木盆地经历了长期的形成和演化过程,多套源岩的多次生排烃带来了多次的油气运聚,多期隆升剥蚀使先期形成的油气藏受到破坏或调整,从而导致油气的重新分配。所有这些因素使塔里木盆地油气藏的形成过程十分复杂,油气分布的规律也难于掌握。然而,探索油气藏形成与分布的规律,又是进行油气勘探必不可少的环节;正确认识油气藏形成与分布的规律,又是提高勘探成功率的关键。

自 1989 年以来,我们一直在从事塔里木盆地石油地质综合研究。作为年青一代石油地质工作者,有幸参加我国最大含油气盆地的勘探研究工作,既分享了一个个油气田发现的喜悦,又饱偿了勘探失利的辛酸。将这几年来积累起来的认识系统化,奉献给关心着塔里木盆地油气勘探事业的同行,期望能对塔里木盆地的油气勘探决策有所裨益,这就是我们出版该书的初衷。

几年来,我们曾带着困惑请教过不少前辈专家,并从中得到了不少启示。特别是李德生院士、戴金星院士、陈发景教授、张一伟教授、张金泉教授、孙肇才教授、宋建国教授以及贾承造教授等专家的指教使我们获益匪浅。在这几年的研究工作中得到了石油大学(北京)副校长金之钧教授和石油勘探开发科学研究院副院长赵文智教授的热情指导和大力支持,文中部分新观点是在他们的启发下形成的。同时文中引用了董大忠高级工程师、何登发博士、刘洛夫博士、康永尚博士以及邱楠生博士的部分研究成果,在此一并表示衷心的感谢。

本书的编写分工如下:第一章第一节、第二章第一、二节、第六章第二节、第七章由胡素云执笔,其余章节由吕修祥完成,经吕修祥统稿后由胡素云核定。

由于塔里木盆地石油地质条件异常复杂,勘探程度尚低,同时由于我们水平有限,书中定有疏漏和不当之处,欢迎批评指正。

作 者

1997年8月28日

目 录

第一章 绪 论	(1)
第一节 油气藏形成与分布研究现状	(1)
一、油气成藏机理研究现状	(1)
二、油气聚集与分布研究现状	(4)
三、发展趋势	(6)
第二节 塔里木盆地油气勘探现状	(7)
一、油气勘探现状	(8)
二、关于油气聚集的主要地质认识	(9)
三、存在的主要问题	(10)
第二章 油气藏类型及成藏模式	(13)
第一节 油气藏类型及分布特征	(13)
一、油气藏类型	(13)
二、油气藏分布	(17)
第二节 典型油气藏解剖	(20)
一、柯克亚凝析油气田	(20)
二、巴什托普油气藏	(25)
三、塔中1号奥陶系凝析油气藏	(29)
四、英买7油气田	(30)
五、东河塘油田	(32)
六、轮南油气田	(35)
第三节 典型失利井分析	(36)
一、塔中低凸起典型失利井分析	(37)
二、巴楚隆起典型失利井分析	(39)
三、满加尔凹陷及其北坡典型失利井分析	(43)
第四节 油气成藏模式	(44)
一、塔中低凸起油气藏模式	(44)
二、塔北隆起油气藏模式	(46)
第三章 志留系沥青砂岩成因	(48)
第一节 沥青砂岩分布及地球化学特征	(48)
一、沥青砂岩的分布	(48)
二、沥青砂岩地球化学特征	(49)
第二节 沥青砂岩的成因	(51)

一、沥青及稠油的成因	(51)
二、志留系沥青砂岩成因	(55)
第三节 关于有效盖层	(57)
第四章 成藏旋回初论	(59)
第一节 成藏旋回的基本概念	(59)
一、概念的产生	(59)
二、概念的涵义	(61)
第二节 塔里木盆地成藏旋回划分	(61)
一、成藏旋回 I	(61)
二、成藏旋回 II	(62)
三、成藏旋回 III	(62)
第三节 塔里木盆地成藏旋回控油规律	(63)
一、油气成藏的期次性	(63)
二、油气纵向分布的层次性	(63)
三、油气平面分布的分区性	(66)
第五章 多元复合含油气系统	(67)
第一节 关于含油气系统的思考	(67)
第二节 塔里木盆地多元复合油气系统	(68)
一、含油气系统研究现状	(68)
二、多元复合含油气系统的基本概念	(69)
三、满加尔多元复合含油气系统	(70)
第六章 油气运聚与分布	(76)
第一节 塔里木盆地油气运聚	(76)
一、水动力条件与油气运聚	(76)
二、地球化学分析	(83)
第二节 油气分布规律探讨	(84)
一、成藏旋回决定了油气的分层分区性	(87)
二、有效烃源岩控制了油气的分布范围	(88)
三、下-上油气层组油气分布多与不整合面有关	(88)
四、中、上油气层组油气分布多与断层有关	(88)
五、志留系油气聚集受油气来源控制	(90)
六、油气多层系分布	(91)
第七章 中、新生代前陆盆地有利区预测	(93)
第一节 库车前陆盆地	(93)
一、石油地质特征	(93)
二、综合评价	(102)
第二节 塔西南前陆盆地	(106)

一、石油地质特征.....	(107)
二、综合评价.....	(117)
第八章 古生代克拉通盆地有利区预测.....	(122)
第一节 古生代克拉通盆地的油气前景.....	(122)
一、克拉通盆地的油气勘探.....	(123)
二、克拉通盆地石油地质特征.....	(125)
三、塔里木古生代克拉通盆地油气前景.....	(128)
第二节 柯坪断隆油气前景预测.....	(129)
一、柯坪断隆的构造属性.....	(129)
二、对地面油气显示的认识.....	(131)
三、柯坪地区石油地质条件.....	(132)
四、问题讨论.....	(135)
第三节 塔中低凸起西北倾没端.....	(136)
一、油源与油气运移.....	(136)
二、储盖条件.....	(137)
三、油气聚集期.....	(139)
四、保存条件.....	(141)
参考文献.....	(142)

第一章 绪 论

随着勘探程度的不断深入, 油气勘探的难度越来越大, 花费也越来越高。因此, 人们更热切地希望从成因机理的角度去探讨油气藏的形成, 以期更富有成效地认识油气分布的规律。近十几年来油气藏形成与分布规律的研究一直是广大石油地质工作者竞相追逐的热门研究课题。塔里木盆地大规模油气勘探的时间还很短, 油气藏形成演化的研究还很薄弱, 这就为认识塔里木盆地油气聚集与分布带来了一定的困难。

第一节 油气藏形成与分布研究现状

在过去的油气勘探岁月中, 石油地质工作者经过长期的摸索总结出了油气藏形成的七大石油地质条件, 即生、储、盖、圈、运、聚、保, 使早期找油的“龙脉法则”、“线性法则”等原始找油方法为石油地质理论所代替(胡朝元、张一伟等, 1990)。实际上油气藏的构成条件可分为两个部分, 即硬件部分和软件部分。所谓硬件部分就是指形成油气藏的固体部分即烃源岩、储集层、圈闭、盖层以及形成不整合圈闭时所必不可少的顶、底板层等, 相当于油气系统中所说的地质要素(吴元燕、吕修祥, 1995); 软件部分就是指形成油气藏的流体部分, 即油、气、水。对于硬件部分通过露头、钻探或地震等手段都可以实实在在地认识到; 对于软件部分虽然可以认识其最终结果但对于其形成最终结果的过程的认识却相当困难。《石油运移》(England 等, 1991)一书基本反映了国外近年来在油气运移研究方面的最新成果。国内许多石油地质工作者及地球化学工作者同样也在致力于这方面的研究工作。自1987年以来已召开了三次全国油气运移学术研讨会, 取得了多方面的进展。油气藏形成的因素很多, 但油气运移贯穿了油气藏形成与演化的始终同时也是油气成藏研究的薄弱环节。

一、油气成藏机理研究现状

石油和天然气都是流体运移, 这是油气成藏动力学研究的核心问题之一。油气矿藏生、储异地, 油气运移在油气藏形成与破坏的全过程中起着承前启后的重要纽带作用(张厚福, 1993)。在任何一个沉积盆地中, 油气运移问题是研究油气藏形成与分布规律、制订油气勘探部署及编制油田开发方案时不容忽视的重要课题。但由于运移作用贯穿于油气生成、聚集、逸散、破坏等全过程, 涉及面广, 受到自然界的物理、化学、生物、地质等因素的制约, 同时也因无法直接观察、测试, 难以在实验室准确模拟, 因而多年来油气运移一直是石油地质学领域中研究最为薄弱的环节。

本世纪20年代初主要靠地面油气显示和背斜控油理论来指导油气勘探的时期,我国著名地质学家谢家荣在“甘肃玉门油气调查报告”中就注意到了油气运移的控制因素。直到70年代末关于油气运聚过程中一些问题的探讨仍然不多(Hubbert, 1953; Tissot, 1971; Chapman, 1972; Schonalter, 1979)。而从80年代至今在短短的十几年中,在油气运移相态、动力、方式、方向、距离等方面的研究已取得了重大进展,并已由定性描述、推断向定量数值模拟、实验模拟过程方向发展。

80年代初以格拉玛日为代表的外国学者开始潜心从事生油岩排烃方面的研究。同期我国陈荷立、彭大钧及王新洲等相继进行了生油泥岩压实排烃及泥岩夹层排烃研究工作。俄罗斯学者应用油气生成、运移、聚集过程中的物质平衡原理详细探讨了含油气系统内的油气生成量、聚集量及形成油气藏需要的最小排烃量、油气藏的破坏及再分配问题,并建立了相应的数学模型(施比伊曼, 1982)。80年代中后期以蒂索为首的法国石油研究院,通过解剖巴黎盆地建立了古地温与油气生成的数学模型,将这一领域的研究向前推进了一步。

(一) 关于油气运移的相态

Admas (1903) 最早提出石油的初次运移是呈水溶相,其最大优越处是在亲水生油层中呈单相流动的水只存在水分子之间的内摩擦阻力而不存在毛细管阻力。当驱动力存在时水溶液可以沿细小的孔隙喉道运移,从物理学的角度看,它是最理想的运移状态。尽管烃类尤其是液态烃在水中的溶解度很低,但半个多世纪以来,这一观点却得到了许多学者从不同角度的支持(Munn, 1909; Lewis, 1924; Cheney, 1940; Meinschein, 1959; Baker, 1962; McAuliffe, 1966)。直到60年代末,由于晚期生油说的确立,才对水溶相运移的重要性表示怀疑(李明诚, 1993)。

随着干酪根热降解晚期生油理论确立以后,越来越多的人认为连续油相运移是石油初次运移最重要的相态(Dickey, 1975; Leythaesuer, 1983)。对这一观点持怀疑态度者,所担心的是毛细管阻力问题(Cartmill, 1976)及呈连续油相的饱和度问题。另一类观点是60年代Zhuze和Sokolov等人所提倡的气溶相,他们认为世界上许多油田含湿气或凝析气就是气溶相的证据。有的人对气溶相运移产生怀疑,因为他们认为原油中的重组分不能在甲烷中充分溶解;Price (1983)对丹佛盆地斯宾德(Spinde)油气田的原油在甲烷中的溶解度进行系统测定的结果又支持了这一观点。王新洲(1994)的模拟实验结果表明石油的初次运移尚有扩散相。

Welte等(1981)主张油气的初次运移是靠裂隙呈烃相运移。Ungerer等(1990)认为,烃类以水溶相运移为主,将孔隙介质中两相流体的流动用改进的两相达西定律描述所建立的模型发现,排烃效率随成熟度增加而增加。该结论与北海盆地维京地堑的油气生成和运移的实际情况十分吻合。

石油的初次运移相态是多元化的,无论什么相态进入储集层后由于温度、压力及含盐度等各种物理条件的变化,最终都将成为以游离相为主的运移相态而完成二次运移。而天然气的初次运移相态是多元的,二次运移相态也是多元的。

(二) 关于油气运移的动力

关于油气运移的动力已为人们普遍认识到(压实流盆地中浮力驱油,重力流盆地中水动力驱油)。石油大学张厚福教授等(1985)将流体势(油势、气势、水势)引入廊固凹陷地下流体动力作用研究,提高了人们对沉积盆地内油气运移、聚集过程中的势能概念及对该区油气运移、聚集规律的认识。

近年来, 应力驱油也逐步受到人们的重视。诺赫特 (Rouchet, 1981) 将油气的运移分为两个过程, 即通过与油源岩中更粗一些的微孔层的沟通从生油部位向地质构造部位或低压带的侧向运移, 和通过少数部位开口的和重新开口的垂向裂隙由油源岩向储集岩的垂向运移, 他认为油气运移的关键是应力场。80年代末, 前苏联学者强调了构造作用在油气成藏及保存过程中的主控作用, 并进一步指出了现今应力场对油气藏分布的控制作用, 即构造应力相对弱的地区是油气聚集的良好场所。看来油气二次运移的驱动力不仅仅只来自于水动力, 应力驱油也是一个不容忽视的因素, 运移量与应力场之间有着某种函数关系。而气藏与油藏又有很大不同, 天然气成藏过程中分子扩散作用占十分重要的地位。

(三) 关于油气运移的方式

油气二次运移的方式包括垂向运移和侧向运移, 油气的最终聚集往往是垂向和侧向运移综合作用的结果。

普遍的认识是, 油气垂向运移的通道以断层为主, 其次是微裂缝及垂向上其它渗透性变化带; 运移距离一般在2km左右。如德国的西北盆地主要靠大断层和盐体刺穿形成垂向运移的通道; 美国墨西哥湾岸近海陆架区中新统和更老储集层内原生气藏中的油气沿刺穿构造的侧翼和犁式、非犁式正断层向上垂向运移到上新统和第四系, 从而形成次生气藏或渗漏出地表; 尼日尔三角洲下第三系油气垂向运移通道也主要靠断层和泥岩刺穿构造 (Demaison, 1991)。正是鉴于这些事实, 有人提出将油气垂向运移作为油气勘探的一项参数来考虑 (Pratsh, 1991)。塔里木盆地也存在原生气藏中的油气沿断层垂向运移进入上覆圈闭形成次生气藏的实例, 如塔中4号油田 C_1 油气藏、轮南构造带的侏罗系油气藏。

油气侧向运移的通道主要靠不整合面和砂岩疏导层, 运移距离不等。潘钟祥 (1983) 在“不整合面控油意义”一文中就明确强调, 不整合面是油气侧向运移的重要通道。事实上, 塔里木盆地大多数油气藏的分布都与不整合有关 (Liang Digang, 1994)。

(四) 关于油气运移的距离

油气运移距离也有了新认识。明确油气是长距离运移还是短距离运移将直接影响到勘探部署。对于塔里木盆地满加尔凹陷、西南坳陷的油气运移都存在着上述问题。由于多数人认为, 油气长距离运移途中散失量大、所受阻力大, 一般油气是近源分布的。侧向运移距离小于100km, 垂向运移距离一般为2km。统计结果也表明, 世界上主要工业油气田离油源均小于30km。随着油气勘探的不断深入, 所发现的油气田越来越多, 随着例证的增加开始有人强调长距离油气运移的重要性。Dow (1974) 根据威利斯顿盆地中油气田分布的情形, 指出那里的石油从源岩区已经运移了150km。Clayton和Swetland (1980) 推断在丹佛盆地石油的运移距离与此相同。伊利诺斯盆地中石油的运移距离也在100km以上 (Bethke等, 1991)。其它关于石油长距离运移的报道尚有怀俄明州的大角盆地和粉河盆地 (Sheldon, 1967)、加拿大阿尔伯塔盆地 (Demaison, 1977; Moshier和Waples, 1985; Gavven, 1989) 等。我国准噶尔盆地克拉玛依油田的油气运移最大距离达80km; 松辽盆地油气以短距离侧向运移为主, 但也存在着油气较长距离的运移, 如富拉尔基富1井、富7井的稠油, 来自东面的古龙凹陷, 其运移距离在100km以上, 泰来和安广浅井中的油气显示亦分别从古龙凹陷和长岭凹陷长距离运移而来 (李德生, 1983)。

特别是Catalan (1992) 的实验结果表明, 油气侧向运移的速率比垂向运移慢, 但油气侧向运移的效率比垂向运移要高 (对疏导层)。这一结论对塔里木盆地是否行得通应该值得我们深思。

（五）关于流体封存箱

Hunt (1990) 用流体封存箱 (Seal bounded fluid compartment) 把油气生成、移运、聚集看作统一的整体进行研究。在受地质、地热及地球化学条件控制的流体, 封存箱内干酪根的数量和成分及生油层埋藏史决定了油气的生成量; 以气相或油相的油气运移方向则受箱的外形及内部压力控制。沉积盆地内, 浅层属正常静水压力系统; 深层随不同地质时代生油层常可划为若干单独的流体封存箱。箱顶无特定层位, 而是由地下等温面 ($90\sim 100^{\circ}\text{C}$) 封闭其深度, 地温梯度愈小, “封闭”愈深。

封存箱内, 油气生成和孔隙流体热膨胀可导致箱顶破裂, 流体垂向运移进入上覆低压箱的圈闭聚集, 原箱压力下降、封闭至内压上升而达到另一破裂点。这种封闭-破裂的幕式作用 (Episodic processes) 可以间隔几千年。各封存箱的圈闭是否能聚集油气而形成油气藏, 取决于油气生成、运移、聚集和保存的条件, 因此地下流体处于动平衡状态。

（六）关于油气藏的形成期

油气藏形成期的研究, 从我国东部盆地的情况看没有塔里木盆地那样复杂。由于东部都是中、新生代形成的盆地, 油气成藏比较晚。过去对油气藏形成期要么从圈闭形成期的分析作出判断, 要么从油气大规模排烃期来确定。随着油气勘探领域越来越窄、勘探的难度越来越大, 确认油气藏形成期的矛盾也就日益突出。自80年代中后期, 国外已开始应用包裹体及自生矿物同位素年龄测定来确定油气藏的形成期。这些方法对于研究多期成藏的复杂盆地油气藏的形成期不失为一种有效的手段。

（七）圈闭有效性

圈闭的有效性除了在形成时间上与排烃期的配套外, 同时对于构成圈闭的断层和盖层封闭性的研究越来越受到人们的重视 (Watts, 1987; Harding 和 Tuminas, 1988; 陈章明等, 1993)。因为断层的开启与封闭期直接关系到油气的运移与聚集。地质历史时期盖层封闭性直接关系到当时的油气聚集是否能保存下来。

（八）塔里木盆地油气成藏

由于塔里木盆地演化历史长, 同时又具旋回性特点, 油气运聚不仅历时时间长、影响因素多, 且其主次也在不断变化, 使油气运移的研究相当困难。虽然多期次成藏的观点已被认可, 但对于如何确定具体油气藏的形成期仍显得方法及手段不足, 目前更多的还是限于传统上配套史的分析。

总体上看, 目前塔里木盆地在油气藏研究方面主要表现为以下几个特点: ①静态描述; ②宏观控油因素总结; ③基本石油地质条件分析。

二、油气聚集与分布研究现状

在过去的几十年中随着现代石油地质理论的快速发展以及相应的勘探技术 (地震、测井、高精度重磁力、深井钻探及测试等) 的长足进步, 不仅在过去尚未勘探过的盆地中取得了油气勘探的重大突破, 而且在一些比较成熟盆地的深层及一些隐伏区带中也获得了勘探上的成功。油气勘探的巨大成功及所带来的丰厚经济效益, 使人们更为迫切地想弄清盆地内油气的分布规律, 而且资料的不断丰富及研究手段的多样化使人们对油气分布规律的认识程度不断提高。

不同的含油气盆地控制油气分布规律的主要地质因素是不同的。四川盆地碳酸盐岩油气田的分布受储集层裂缝、溶洞发育程度、展布特征的控制。因此采用各种方法、利用各种手段（如通过对煤矿、铁路遂道、井下岩心剖面中缝洞的观察、描述及统计；通过详细记录放空、井漏和钻时变化；从岩屑观察方解石、石英晶体含量和形态研究缝洞的分布；利用测井资料识别裂缝等），开展储集层地质学研究就成了认识四川盆地油气分布规律的关键所在（李德生，1965）。大庆油田的发现在我国石油地质界出现了“凹中隆”是有利油气聚集区的认识，并于60年代初已经系统地总结出了陆相盆地油气田形成的基本条件，构成了“源控论”思想的雏形（胡朝元等，1963）。后来对盆地演化阶段的划分（李德生，1982），构造演化特征对大油气田控制规律的探讨（杨继良等，1982），烃源岩热演化模式的建立（杨万里，1981）等研究工作，使人们对松辽盆地油气分布规律已有了比较清楚的认识。

60年代，在渤海湾盆地济阳坳陷的勘探过程中最初总结出来的“五忽”现象就是对油气分布规律及控制因素认识不清的具体表现。复式油气聚集带理论的提出成功地解决了这类块断盆地油气勘探所面临的诸多困难。这不但使胜利油区油气年产量超过 $3000 \times 10^4 \text{t}$ ，而且也同类型断-坳盆地的油气勘探起了十分重要的指导作用。从这一点我们也可以看出对盆地类型的划分、演化阶段的研究是认识油气分布规律的基础。

总体上看，近十多年来我国的石油地质学家从某一个盆地或从某一类盆地的地质特征出发将我国所有含油气盆地分为几类，从一个侧面或多方面对油气分布规律进行探讨和总结（李德生，1980，1981，1982；胡见义等，1983，1985，1986；胡朝元，1982；张一伟，1983；王尚文等，1983；赵文智，1989；阎敦实，1990；龚再升，1990；王捷，1991，1995）。由中国石油天然气总公司科技局与中国石油学会石油地质专业委员会共同主持出版的《中国油气藏特征》（1989）与《中国油气聚集与分布》（1991）及《中国石油地质学》（1983）是对新中国成立以来油气勘探所取得的认识的全面总结，从各含油气区到全国的油气分布特点都取得了深刻的认识。

在国外对油气分布规律的探讨也同样是与油气勘探实践紧密相连的。与我国石油地质界相比，国外石油地质学家在对油气分布的统计方面做的工作比较多。如大油气田分布的时代、层位及储集层特征、构造背景、盆地类型等方面的统计（Klemme等，1975；Rottle，1985）；对已找到地质储量进行统计进而分析油气分布规律（Price，1975；Brookl，1990）。在本世纪初期西方已有将统计规律直接用于确定勘探目标的实例，美国的洛德博士将当时所有美国已发现的主要油气田的走向进行延伸找到一个交汇点，这个交汇点就成为他确定探井的井位。著名的东得克萨斯油田的发现就是从这个交汇点的钻探开始的。

Shannon和Naylor（1989）在《含油气盆地研究》一书中以一些典型的含油气盆地（区）为研究对象（中东地区、西加拿大盆地、北海油气区、美国的加利福尼亚盆地和落基山地区、尼日尔三角洲、中国油气区等），从油气形成条件、赋存特征及分布规律等方面进行了全面研究。

总体上看，对不同的盆地类型或由不同学者统计出的结果可以看出，控制油气分布的地质因素是多方面的。归纳起来大致包括：烃源岩、储集空间、盖层、古隆起、不整合面、沉积速度、断裂、异常流体压力、沉积相特征及盆地风格等。不同的盆地或油气田、油气分布的主控因素不同。马克西莫夫（1985）认为，对于深埋地层中油气聚集与保存，很重要的一点是要有区域性分布的蒸发岩、泥岩。

但是, 我们应该清楚地认识到, 石油和天然气作为一种流体矿床对从形成、聚集到保存下来的条件要求是十分苛刻的, 其分布的控制因素十分复杂。而一个含油气盆地(区)油气潜力的大小又主要受生油岩有机质丰度、热演化程度及生油岩体积等因素的严格制约。但仅靠对这单一要素的认识是无法说清楚油气的运聚与分布规律, 于是就出现了以“烃源岩”为核心的含油气系统思想。

三、发展趋势

近几年来在有关油气运移的相态、动态分析及数值模拟等方面已取得了可喜进展(庞雄奇, 1993; 李明诚, 1994; Demaison, 1987), 表明油气运移的研究已由定性描述向定量研究方向发展。但对于参数的确定及模拟结果的可靠性尚处于怀疑和争论之中(Burrus, Kuhfuss和Doligez等, 1991)。油气运移研究的另一个动向是人们开始重视模拟实验的研究(Dembicki, 1989; Catalan, 1992; Shelle, 1993)。虽然这些实验所考虑的因素还与实际地质条件相差较大, 但从动态的过程观察到了油气运聚的历史, 同时也取得了一些重要参数。

在圈闭有效性研究方面也是由定性的、传统的描述向定量的计算、模拟方向发展。雪佛龙石油公司新近推出的关于断层封闭性的计算机模拟软件代表了这一方面的发展动向。盖层封闭性的分析也在向多元的、定量的研究方向发展。

塔里木盆地复杂的地质特点使油气运移的研究相当困难。多期次成藏虽已广泛被人们认识到, 但对于如何确定具体油气藏的形成期仍显得方法及手段不足, 仅仅是限于传统的配套史的分析是远远不够的。而通过借助油藏地球化学、储集层有机岩石学及粘土矿物演变史(或成岩矿物的同位素分析)分析手段进行流体历史分析, 能够比较成功地确定油气藏的形成期, 为油气藏演化史分析提供充分的证据。

流体历史分析的目的一是追溯烃类流体从源岩到圈闭的踪迹, 二是提供石油运移成藏的信息, 三是建立烃类流体运聚模式及储集层流体形成史模式, 最终达到全面认识油气藏形成演化过程的目的。流体历史分析的概念和方法已成功地应用于确定油气藏形成和成藏演化史(Eadington等, 1991), 有效地指导了北海油田等地区油气勘探评价。流体历史分析(Fluid History Analysis)的核心是将储集层有机岩石学、成藏矿物同位素地质年代学、油气藏地球化学三个方面实验室研究与埋藏史、热演化史、沉积成岩史三个方面分析结合起来研究烃类流体的运聚史。

(一) 储集层有机岩石学

储集层有机岩石学主要是进行流体包裹体(特别是有机包裹体)和固体烃类(沥青)的有机岩石学和有机地球化学研究。在沉积盆地演化过程中, 尤其是在构造沉降、地下水流动和油气运移时期都要伴随着大量流体包裹体的形成和捕获作用, 并在其中记录着烃类流体和孔隙水的性质、组分、物理化学条件和地球动力学条件。因此在一定地区水平和垂直方向上有规律取样, 对储集岩成岩矿物中流体包裹体进行类型、特征、丰度、组分等对比研究, 可以大致了解盆地深部流体(烃类和水)的动力状况和相对时间, 从而有助于盆地深部流体的运移方向、运移通道体系及水动力状况的模拟研究, 确定烃类运移时间、深度和运移相态、方向和通道。

(二) 成岩矿物的同位素分析

成岩矿物同位素年代学分析提供了成岩矿物的形成时间。利用储集层中自生矿物（主要是伊利石）同位素年代学分析烃类进入储集层的时间是国际上80年代后期逐步发展起来的新技术。它被成功地应用于分析北海油田等地区烃类成藏时间(Lee等, 1988, 1989; Glasmann等, 1989a, 1989b; Hamilton等, 1989, 1992; Hogg等, 1993)。其基本原理在于：当烃类充填到储集层中，自生伊利石仅在富钾的水介质环境下形成，油气进入储集层后伊利石形成过程便会停止(Hogg等, 1993)。当样品存在过剩氩和大气氩污染时通过等时线、年龄谱等方法处理，仍能获得可靠的年龄。因此，可利用砂岩储集层中自生伊利石的同位素年龄来判断油气藏的形成时间，即烃类充填储集层的时间应略晚于自生伊利石的同位素年龄。根据平面上和剖面自生伊利石的同位素的年龄分布可以判断烃类运移的方向。

(三) 油气藏地球化学

80年代中后期在国际上新兴的一门地球化学分支学科，也是地学与石油工程学之间的边缘交叉学科。该学科采用现代化地球化学分析测试技术，结合石油工程资料直接研究油气藏流体（油、气、水）的非均质性形成机理和分布规律及其与油藏中岩石矿物的相互作用。从油藏非均质性推断储集层中烃类流体充注史，判断烃类注入方向。

从油气成藏动力学的角度探讨油气藏的形成过程将会成为研究油气藏形成机理的有效手段。成藏动力学的研究就是要从成因的角度、从动态的过程去探讨油气藏形成演化的整个历史和成藏动力学问题。要达到这一目的就需要解决两个关键问题：其一是油气藏的形成期，其二是油气运移的动力及微观机制。对于前者通过前述的流体历史分析可望得到解决；对于后者必须借助模拟实验才能给予明确的回答。由中国石油天然气总公司投资，目前正在石油大学（北京）兴建的成藏机理模拟实验室，必将开创油气藏定量研究的新局面，同时也将使我们成对成藏过程的认识有一个新的突破。

圈闭是油气能否聚集的关键要素之一，圈闭有效与否直接关系到油气钻探能否获得成功。关于圈闭的有效性，过去的研究主要强调圈闭是否存在，以及圈闭的形成期是否在油气大规模排烃之前或与之同期，对其本身的有效性缺乏更深入的考虑。比如说与断层有关的圈闭，如断块、断鼻及断背斜圈闭，断层何时开启，作为油气运移的通道何时封闭起油气聚集的遮挡作用；油气聚集时盖层的封闭性如何，能否起到封存油气的“有效盖层”的作用。虽然这方面的研究在塔里木盆地目前尚处于空白，但在国内外已有不少学者注意到了影响油气成藏的这一重要因素。如挪威石油协会1996年初以“油气封盖对勘探开发的重要性”为专题召开的国际研讨会会议交流和讨论的主要内容就是断层的封闭性和盖层的封闭性。

该书的研究将集中体现在两个方面：一是强调“过程”；二是强调“成因”。

第二节 塔里木盆地油气勘探现状

自1951年以来经过30多年的努力和近8年的大规模油气勘探，塔里木盆地已取得了举世瞩目的成就，勘探效益均优于全国平均水平，并取得了丰富的地质认识。但从总体上讲，塔里木盆地目前的勘探程度还很低。

一、油气勘探现状

对塔里木盆地进行石油地质调查和勘探工作是在1951年新疆解放之后,无论怎样对这40余年来的勘探工作进行阶段划分,都应该承认。在1989年会战以前,塔里木盆地的几期重要勘探活动都是随着油气田的发现而升温、随着四处碰壁而下马,勘探活动严格地受到了多方面技术条件的限制,致使难以形成大规模的勘探场面。

随着1986年塔里木综合研究联队的成果问世(雍天寿等,1986),以及南疆石油勘探公司的成立,可以说已拉开了塔里木盆地大规模油气勘探的序幕,也可称为大规模油气勘探的准备时期。在这期间有的学者从盆地构造演化特征分析的角度对油气远景进行了探讨(杨克明等,1987);有的学者从地震反射界面探讨找油领域(魏延光等,1988);有的学者从局部构造分析出发或从各时代地层中油气的性质及特点出发探讨有利勘探方向(夏公君,1987,1988)。而自1989年会战以来,塔里木盆地的油气勘探又经历了几个不同的发展时期(认识阶段),即:

- (1) 以奥陶系为主要目的层,以塔北为重点的勘探时期;
- (2) 以塔北东河砂岩和三叠系为主要目的层的勘探时期;
- (3) 以塔中东河砂岩、石炭系及塔北第三系为重点的勘探时期;
- (4) 以塔中、塔北为重点,对全盆地展开的多目的层勘探时期;

(5) 遵循“区域展开、重点解剖”的方针、按照“四个并举”的原则(台盆区与前陆区并举、碳酸盐岩与碎屑岩并举、构造圈闭与非构造圈闭并举、油与气并举),着于有利二级构造带多目的层系展开既抓发现又拿储量的立体勘探时期。

会战以前的30多年断断续续的勘探中有几次重大发现:一是库车坳陷依奇里克侏罗系油田的发现(1958年);二是西南坳陷柯克亚上第三系凝析油气田的发现(1977年);三是塔北隆起雅克拉凝析气田的发现(1984年);四是塔北隆起轮南三叠系油田的发现(1988年)。

在前期大量的、坚实的准备工作基础上,由于地震已能进入沙漠腹地、深井钻探、测试技术已有很大发展,同时也有一些应付高陡构造的钻探技术,因此使盆地全面勘探的展开成为可能。这样就大大地拓宽了油气勘探的领域,从而带来了一系列的勘探成果。

发现12个大、中型油气田及一批工业性含油气构造和工业油气流井点;证实了塔里木盆地具有10套含油气层系。钻探证实,塔里木盆地在纵向上包含多套含油气层系,既有海相碳酸盐岩又有陆相碎屑岩。按新的地层划分方案将东河砂岩划归上泥盆统,则在纵向上除第四系及二叠系尚未被证实为含油气层外,在其余所有层系中均已获得工业性油气流。

全球统计结果表明,对一个新区的勘探成功率一般在5%~10%(Lerche, 1992),也就是说在钻探10~20口井中才能有1口井获得工业油气流。塔里木盆地自会战以来的勘探成功率大大地高于这个统计数字。虽然塔里木盆地目前还没有找到人们所期望的大油气田,但笔者认为这只是时间问题。从世界上一些主要克拉通盆地的油气勘探历程来看,西西伯利亚盆地从开始从事油气勘探到发现大油气田历时近20年,如果以跃参1井的钻探以及在塔北开展重力普查及进行区域地震大剖面采集为标志(吕华等,1992),从1983年开始算起我们进入塔里木古生代克拉通盆地仅10余年,显然还有许多问题有待于我们进一步探索。

二、关于油气聚集的主要地质认识

早在1990年童晓光、梁狄刚等就将塔里木盆地的石油地质特征作了系统的总结,称为“塔里木盆地十大石油地质特征”(童晓光、梁狄刚等,1990)。《塔里木盆地石油地质研究新进展》一书是对会战6年多时间里油气勘探实践的全面总结(童晓光等,1996)。目前对塔里木盆地油气聚集与分布的认识状况如何呢?归纳起来主要有以下几点。

(一) 盆地基地及性质

天然地震转换波剖面证实塔里木基底为大陆地壳。塔里木盆地的主体是陆壳克拉通盆地而不是洋壳弧后盆地(邵学钟等,1996)。它的地壳厚度为38~56km,岩石圈各层的界面同步起伏及莫霍面的隆起、下沉是被动的,属于上地幔不活动或弱活动区,明显具备典型陆壳克拉通的特点。这个古老克拉通盆地的特殊性表现为:早古生代在东北部发育一个坳拉槽(贾承造等,1992);晚古生代发育一个二叠纪中央裂谷盆地,有广泛的基性火山喷发;稳定之中有活动,“冷盆”历史上有“热盆”时期。这就决定了不同地区烃源岩热演化的巨大差异。

(二) 原型盆地油气聚集特点

塔里木盆地是由多个古生代海相克拉通原型盆地与南、北两个中、新生代前陆盆地组成的大型叠合复合盆地。克拉通盆地有利油气聚集区是古隆起及其斜坡部位。由于克拉通的稳定性,塔里木盆地台盆区大型背斜构造不发育,大油气田很可能在近油源古隆起斜坡部位的地层圈闭中。塔里木盆地的三大斜坡,即塔中低凸起北斜坡、巴楚断隆南及东南斜坡、塔北隆起南坡是大型地层圈闭发育的有利部位。前陆盆地有利油气聚集区是喜山期逆冲带及其前缘隆起部位。

塔里木盆地具有“五多”的特点,即多期构造运动、多套油源层、多个生排烃期、多期成藏、多次运移再分配。具体表现是在同一油气藏中普遍出现稠油与轻质油、沥青砂与可动油、凝析油气与正常原油、降解油与未降解油共生的现象。不一定邻近油源区、有构造及储盖条件就能形成油气聚集,必须注意圈闭形成期与油源层主要排烃期相配套。在台盆区晚海西期的构造格局控制了油气分布;在前陆区则是喜山期形成的构造控油。

(三) 含油气系统控制油气分布

塔里木盆地明显表现出多个油气系统控油。最典型的实例是塔北隆起“一分为二”:以轮台断隆顶部为界分成南部满加尔油气系统和北部库车油气系统。塔里木盆地中可划分出多个不同的油气系统。不同的油气系统其勘探目的层、控油条件、油气分布规律和勘探方法都不相同。勘探工作的部署应分层系、分油气系统来进行。

(四) 塔中 I 号断裂控油作用

北西走向、延伸长达300km的塔中 I 号断裂将塔里木盆地分为东西两部,其早古生代沉积发育史、构造演化史都不相同。塔中 I 号断裂是一条加里东期的古老油源断层,沿断层两侧发育的众多构造及非构造圈闭是近期勘探的主要目标。目前所发现的油气藏大体平行于这条大断层,并且呈近等距分布。塔中志留系的沥青砂岩也是分布在这条大断层附近。

塔中 I 号断裂三段论观点认为,东段以基底卷入型为主,是寻找潜山油气藏的有利带;中段以盖层滑脱为主,具有宽缓古生界背斜;西段海西期活动较强,是寻找石炭系油藏的方向。