

石油与天然气 地质文集

第8集

——“九五”油气研究进展之一

中国新星石油公司规划研究院

编

王庭斌

主编



地质出版社

石油与天然气地质文集

——“九五”油气研究进展之一

第 8 集

中国新星石油公司规划研究院 编

王庭斌 主编

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本文集合论文 15 篇,以“九五”国家科技攻关项目“中国大中型气田勘探开发研究”的部分地质研究成果为主。文集以“天然气调查研究系列及其研究思路”为首篇,重点选择了中国新星石油公司地质学家对近期天然气勘查部分热点地区的地质研究成果。它们多属于上述“九五”国家科技攻关项目与中国新星石油公司天然气勘查相结合的科研成果,这便于读者进一步了解中国新星石油公司的地质学家们在“九五”国家科技攻关项目中的最新研究成果,也是渴望了解中国新星石油公司对我国部分地区天然气地质特征认识的重要参考文献。

图书在版编目(CIP)数据

石油与天然气地质文集 第8集:“九五”油气研究进展之一/王庭斌主编;中国新星石油公司规划研究院编. -北京:地质出版社,1999.7
ISBN 7-116-02812-9

I. 石… II. ①… ②中… III. 石油天然气地质-文集 IV. P618.13-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (1999) 第 21738 号

地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:黄 兰 江晓庆 白 铁

责任校对:李 玫

*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本:787×1092 1/16 印张:12.5 插页:1 页 字数:304000

1999 年 7 月北京第一版·1999 年 7 月北京第一次印刷

印数:1—700 册 定价:28.00 元

ISBN 7-116-02812-9
P·2018

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

目 录

天然气调查研究系列及其研究思路	王庭斌 (1)
孝泉-新场侏罗系气藏形成机理及勘查工作部署建议	邓康龄 (40)
川西致密碎屑岩圈闭有效性分析	安凤山 岳东明 唐立章 王 信 (52)
试论川西坳陷致密砂岩的水溶脱气圈闭——以孝泉-新场-合兴场气田为例	
.....	黎邦荣 叶 军 (64)
川西坳陷致密碎屑岩远源气藏成藏主控因素分析	李书兵 魏力民 陈伟明 (82)
须二气藏有效储集体判别方法研究	鄢永玲 (91)
艾协克地区奥陶系风化壳储层横向预测	李红梅 (101)
艾桑地区测井曲线响应特征及解释研究	张庆红 (109)
鄂尔多斯盆地北部上古生界—中生界地震层序地层格架特征	
.....	郭齐军 樊太亮 吴贤顺 李 群 (119)
非构造成藏基本条件研究	吴金才 柯友清 刘兰兰 杨长青 卿崇文 (128)
松辽盆地南部地区低压低渗气层保护技术的应用研究	李兆勤 刘兴福 (136)
松辽盆地十屋断陷典型气田沉积相、沉积微相特征及其与油气的关系	赵秀梅 (147)
松辽盆地南部十屋断陷区八屋气田主要储层特征分析	张凤文 (158)
贵州西部六盘水地区天然气勘探前景分析	王 旭 王国司 赵黔荣 (172)
四川盆地侏罗系陆相层序地层格架及有利相带展布特征	柳梅青 何 鲤 (183)

CONTENTS

Natural Gas Investigation Series: Train of Thought	<i>Wang Tingbin</i> (39)
Mechanism of the Formation of Xiaoquan-Xinchang Jurassic Gas Reservoirs	<i>Deng Kangling</i> (51)
Effectiveness of Traps in Tight Clastic Rocks in Western Sichuan Basin	<i>An Fengshan, Yue Dongming, Tang Lizhang and Wang Xin</i> (63)
Trapping Mechanism of Gas Degassing from Water-Soluble Gas in Tight Sands in Western Sichuan Depression: Take Xiaoquan, Xinchang and Hexingchang Gas Fields for Examples	<i>Li Bangrong and Ye Jun</i> (81)
Analysis of Principal Factors Controlling the Formation of Far-Sourced Gas Reservoirs in Tight Clastic Rocks in Western Sichuan Depression	<i>Li Shubin, Wei Limin and Chen Weiming</i> (90)
Method Study of Discriminating Effective Reservoir Bodies in the 2nd Member of Xujiahe Formation	<i>Yan Yongling</i> (100)
Lateral Anticipation of Reservoirs Encountered in Ordovician Weathered Crust in Aixieke Area, Tarim Basin	<i>Li Hongmei</i> (108)
Log Response Characteristics and Their Interpretation in Aisang Area	<i>Zhang Qinghong</i> (118)
Sequence Stratigraphic Framework of Upper Paleozoic-Mesozoic in Northern Ordos Basin	<i>Guo Qijun, Fan Tailiang and Wu Xianshun</i> (127)
Essential Conditions of Formation of Non-Structural Reservoirs	<i>Wu Jincai, Ke Youqing, Yang Changqing, Liu Lanlan and Qing Chongwen</i> (135)
Research on Techniques Preventing Low-Pressured and Low-Permeability Gas Reservoirs Being Damaged in Southern Songliao Basin	<i>Li Zhaoqin Liu X. gfu</i> (146)
Sedimentary Facies and Microfacies Characteristics and Their Relation to Oil and Gas in Typical Gas Fields in Shiwu Fault Depression, Songliao Basin	<i>Zhao Xiumei</i> (157)
Major Reservoir Characteristics of Bawu Gas Field in Shiwu Fault Depression, Southern Songliao Basin	<i>Zhang Fengwen</i> (171)
Natural Gas Exploration Potential in Liupanshui Area, Western Guizhou	<i>Wang Xu, Wang Guosi and Zhao Qianrong</i> (182)
Jurassic Non-Marine Sequence Stratigraphic Framework and Distributional Characteristics of Favorable Facies Belts in Sichuan Basin	<i>Liu Meiqing and He Li</i> (196)

天然气调查研究系列及其研究思路

王庭斌

(中国新星石油公司规划研究院, 北京, 100083)

摘要 本文重点讨论了天然气调查研究系列——盆地-含气系统-天然气成藏组合-天然气勘探目标的定义、关系及其研究思路。这是对盆地天然气研究由浅入深、从宏观到微观、从预测到勘探验证发现气藏的完整过程和工作序列。每个调查层次中都要将地质要素作为研究的基础,有关的地质作用是动态地开展成藏动力学研究的核心。不同勘探阶段研究的侧重点不同。在勘探早期,以盆地及含气系统研究为主;在勘探中期,以天然气成藏组合及勘探目标研究为主;在勘探后期(高成熟勘探期),研究重点就是勘探目标。我国多数盆地和主要的含气领域多已进入勘探中期阶段。当前,我国天然气的研究工作应从以盆地、含气系统为重点转移至以天然气成藏组合及各类勘探目标天然气成藏条件及风险分析研究为主。

一、油气调查研究系列发展概述

随着油气勘探难度的加大、成本的提高及石油危机的冲击,70年代以来,西方的石油地质学家加强了对盆地(地区)油气资源评价与预测的研究,努力实现油气资源预测的量化,力争减少勘探风险与勘探投资,提出了“petroleum system”和“play”的术语,在西方石油地质学家中形成了新的研究热点,广泛地出现在西方石油地质的文献中。

由于高新技术的发展,特别是地球化学和地震技术的发展,以及计算机在石油地质领域的广泛应用,使得与油气评价及油气资源预测有关的多学科、多专业间的有机联系与交叉的综合研究得到了比较充分的发展,对油气形成与分布的预测精度日益提高,石油地质研究工作从静态研究向动态研究深入,油气资源的预测从定性的评价预测向量化发展。经过近20年的研究,西方石油学家逐渐地将basin(盆地)→petroleum system(含油气系统)→play(成藏组合)→prospect(勘探目标)作为对含油气盆地(含油气区)油气资源前景调查与研究的工作系列(层次),与之相应地建立了不同层次的分析方法与技术。

L. B. Magoon 等在1994年出版的《含油气系统——从源岩到圈闭》一书明确地提出了盆地-含油气系统-成藏组合-勘探目标系列,并对其研究任务做了如下说明:对沉积盆地、含油气系统、成藏组合和勘探目标的研究可以看成是不同的油气调查层次;沉积盆地的研究是描述沉积岩的地层层序和构造样式;含油气系统研究是描述一特定的生油气源岩体和产生的油气之间的成因关系;成藏组合研究是描述一组目前存在的圈闭;勘探目标研究是描述单个的圈闭。成藏组合和勘探目标的研究,要确定它们是否有经济价值,用现有技术和方法是否可以开采(图1、表1)。因此,无论什么时候讨论成藏组合或勘探目标都

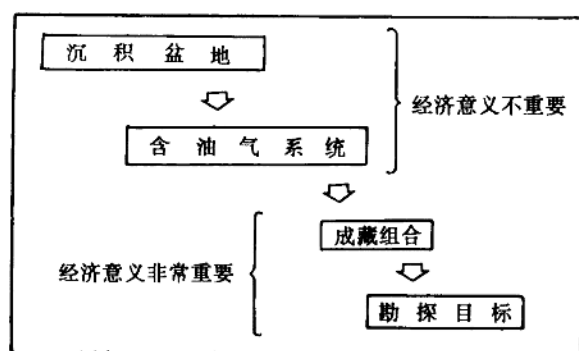


图 1 油气调查的 4 个层次

表 1 4 个油气调查层次的因素比较

因素	沉积盆地	含油气系统	成藏组合	勘探目标
研究对象	沉积岩	油气	多个圈闭	单个圈闭
经济意义	无	无	重要	重要
地质时间	沉积时间	关键时刻	现在	现在
存在性	绝对	绝对	有条件	有条件
成本	很低	低	高	很高
分析和模拟对象	盆地	系统	成藏组合	勘探目标

暗示或期望有经济上可采的油气。相反，沉积盆地和含油气系统的存在并不考虑经济因素。在该书中 L. B. Magoon 除了明确地提出了将盆地-含油气系统-成藏组合-勘探目标作为油气调查的研究系列，并对其任务有一个极为简略的说明以外，整本专著以含油气系统的论述为主。L. B. Magoon 特别详细地论述了含油气系统的定义、研究范围与研究方法，明确地提出了用一张表和四张图对含油气系统进行最佳描述。

本文所提出的盆地 (basin) → 含气系统 (gas-bearing system) → 天然气成藏组合 (gas play) → 天然气勘探目标 (gas prospect) 虽然在字面上与 L. B. Magoon 的研究系列相似，但在研究思路却有显著差异。这些差异主要表现在以下六个方面。

(1) 我们所建立的是研究盆地天然气地质特征、资源前景、勘探方向的一个由浅入深、由面及点的研究系列。图 2 表明了它们不仅在地质认识上存在有机联系，而且其研究方法也是可相互利用的。

(2) 由于天然气与石油在成因及成藏条件上的差异，在研究思路及含义的理解上有显著不同。

(3) 据中国已知大中型气田气源资料分析，混源现象比较普遍；也就是说，在许多盆地中，我们不能以一套源岩为主体来精确地划分含气系统，甚至在个别情况下，截然地划分其含气系统都难以做到。

(4) 中国的多数含气盆地具有多旋回的构造发展历史，对含气系统、以及对天然气成

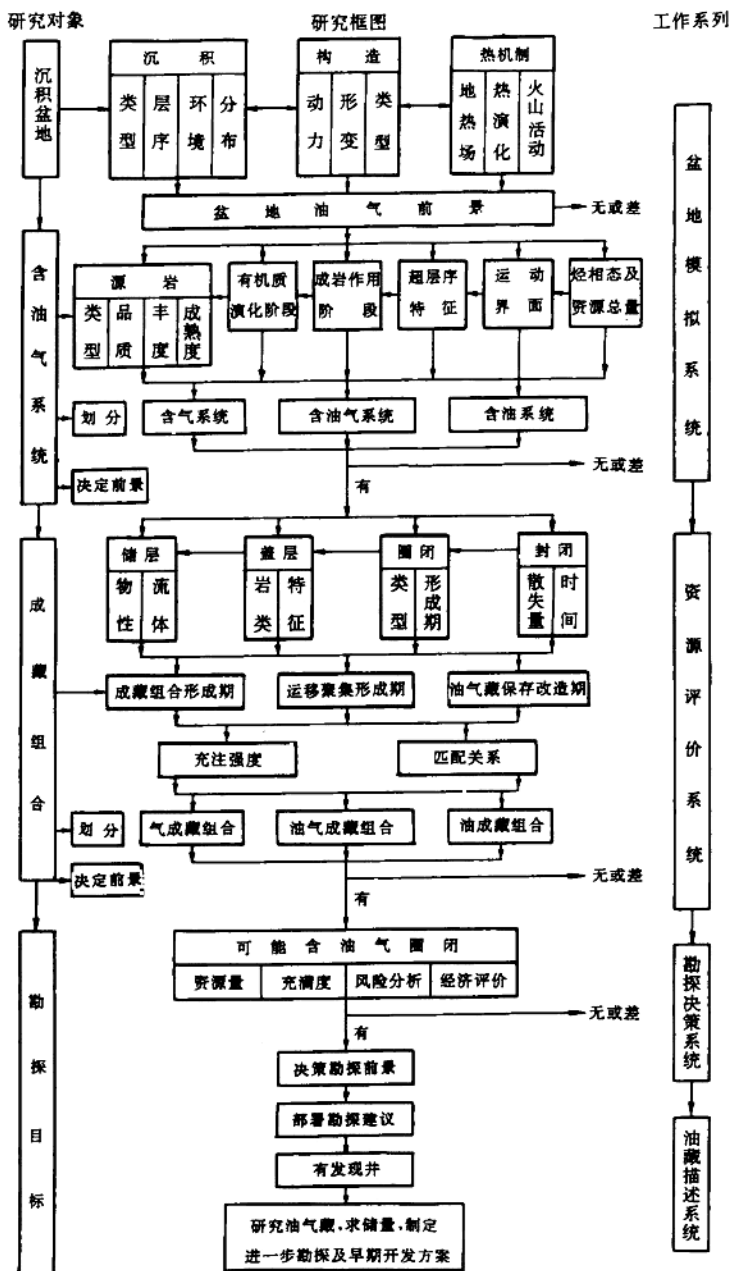


图2 盆地-含气系统-天然气成藏组合-天然气勘探目标研究系列

藏组合、成藏历程的研究强调成藏持续时间内成藏的全过程。

(5) 重视天然气成藏后保存持续时间演化历史的研究。

(6) 重视天然气成藏组合及天然气勘探目标的研究,明确地提出了在勘探早期以沉积盆地及含气系统研究为主,在勘探中期以天然气成藏组合及勘探目标研究为主;在勘探的高成熟阶段,研究重点就是勘探目标。

二、盆地研究在天然气调查与研究系列中的任务与研究思路

近 40 年来,随着板块构造理论的发展,地质学家们认识到,研究盆地是我们研究全球地质发展与演化历史的最重要的任务之一。但各地质学家对“盆地”这一术语赋予了不同的含义,从不同角度去研究盆地。例如,古生物学家认为,盆地是古代生物生活的水体,因此水体就是盆地;构造地质学家把构造作用(如拉张作用、挤压作用)形成的拗陷空间称为盆地;沉积学家则认为有沉积岩的地区就是盆地。

由于天然气主要是由各类沉积岩中的有机物质经过热演化形成的,因此,天然气地质学家研究盆地是要研究与天然气的生成、排运、储聚成藏、保存一系列过程有关的地质条件、营力与作用,也就是说,要从天然气生成、成藏的观点研究沉积物的演化及构造发展历史。

“没有盆地,就没有石油”这句法国地质学家 Perrodin (1983) 的名言已被我国油气地质学家接受和应用。它表明了影响天然气形成的诸因素中,盆地是最基本的因素。这是因为沉积物是堆积在盆地中的,沉积物中的有机质丰度是天然气形成的物质基础。

我们研究盆地,首先要探讨一个沉积盆地应具有哪些地质条件才可以发展为含气盆地。这是因为,在众多的沉积盆地中只有部分沉积盆地具备烃类形成与富集的条件,而另一部分盆地,由于不具备这些条件,演化的结果就成为非含气盆地;有的盆地曾经成为过含气盆地,但由于后期的改造作用,天然气遭受了严重的破坏,未能保存下来,从含气盆地转化为非含气盆地。总之,我们研究盆地就是要研究盆地中的含气条件及其演化历程。

如何通过盆地分析来确定其天然气的成藏条件呢?我们知道,天然气的形成有三大因素:物质因素、热演化机制及盆地的动力机制。

物质因素:包括沉积条件(即沉积物)及所含有机物质的类型、丰度,以及时空分布,这是天然气生成的物质基础。

热演化机制:沉积岩中的有机质必须依赖热力的作用才能演化成为天然气。因此,盆地的热机制是控制有机质演化速率及天然气生成的最关键的因素。盆地的地热场、地温梯度的高低对盆地中有机质的演化速度、油气相态的空间分布起关键性作用。地温梯度较小的盆地(如塔里木、四川、鄂尔多斯盆地)较地温梯度较大的盆地(如松辽、渤海湾、东海、莺-琼盆地)的沉积岩中有机质的演化速度慢得多,达到同一演化程度的受热时间较长,所对应的埋深明显加大(图 3)。

盆地的地温梯度不仅对有机质演化的速度有直接影响,也控制了沉积物成岩作用的进程(图 4),对流体势能的变化和油气的成藏过程也有不可忽视的影响。

盆地的动力机制:A.佩罗东在《石油地质动力学》专著中对盆地的动力机制做了富有

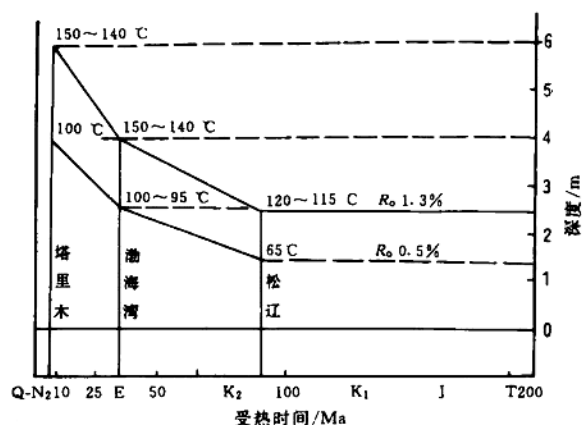


图3 松辽、渤海湾、塔里木三个盆地门限对比

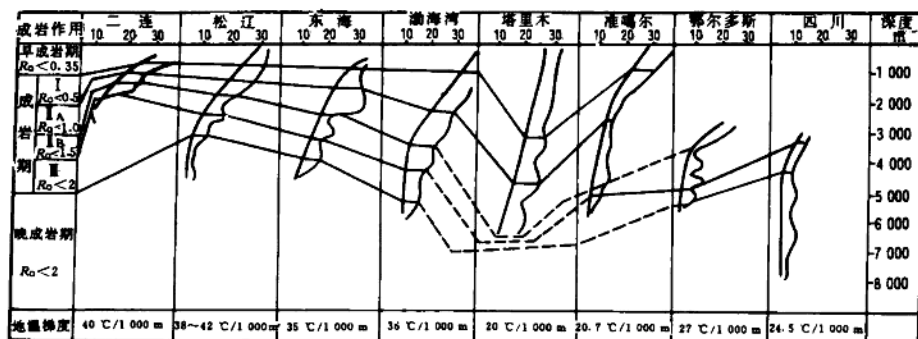


图4 中国主要盆地孔隙度演变趋势
(盆地名下的数字示孔隙度/%)

哲理的叙述。他说：“研究地质时期沉积物的移动和变形恰恰是地质动力学的研究目标”。整个地壳不断地经受力的作用和制约，总想获得永久的、不妨说是实现不了的平衡。物质处于不停的移动和变形之中，这种运动表现在不同的规模上，从岩石圈的板块运动到溶液、分子、离子的移动等。油气像其它矿物一样，呈分散状态，少有大规模聚集。特别是大油田的聚集，就是由各种地质因素相互作用、相互制约的一个长期而复杂的演变的结果，也可以说是沉积物和盆地的地质动力学作用的结果。

稍微仔细地研究我国所有的天然气田（藏）的形成过程就会发现，它们都是天然气聚集与散失动态历程的综合结果。在这一动态历程中，聚集与散失之间的平衡是暂时的，而不平衡则是主要的。控制天然气成藏过程中由不平衡→平衡→不平衡这一动态历程的关键因素是什么呢？是盆地的天然气成藏动力机制。它贯穿于天然气成藏过程的始终。

例如，盆地的沉积特征首先受沉积作用的控制，而沉积作用通常又受制于构造运动的发动机制，构造运动机制又与两大地质动力——拉张与挤压背景有关。在拉张作用体制下，

常伴有热流上升,与裂谷作用对应;而在挤压作用体制下,则热流作用较弱,处于静态不平衡之中,一般与造山系相关。天然气的运移受盆地的结构所控制,如地层、不整合、断层和裂缝的倾角和延伸性等。它们受控于盆地的变形作用、隆升与沉降所引起的地层压力和流体势能的变化等因素的影响。也就是说,盆地的各种动力作用制约着天然气的运聚与保存。因此,一个盆地天然气的成藏机制与盆地地质动力所导致的地质事件紧密相连。

我们用盆地、热机制、成烃（简称盆、热、烃）理论作为我们研究含气盆地的理论基础。在这里，盆地就是代表盆地的动力学机制，代表盆地沉积、构造的演化历史对天然气成藏的意义；热机制是指盆地地热场的演化历史对天然气生成的作用；烃是指沉积岩中的有机质在上述两种作用下（热机制与动力作用）演化成为天然气并聚集成各种类型的天然气田（藏）（表2）。

表 2 盆、热、烃演化示意表

热机制	→ 有机质演化 ←				构造动力机制			
低温环境 ＜60℃	未成熟阶段	生化作用	第一生气阶段	生物气藏	高孔渗	低压	各类圈团形成及演化	低保存
	R ⁰ 0.5%							中保存
中温环境 150℃	成熟阶段	热降解作用	油窗	油气藏	高一中孔渗	常压		＜3km 高
	R ⁰ 1.3%							＜6km
高温环境 400℃	高过成熟阶段	热裂解作用	第二生气阶段	气藏	中—超低孔渗	高一超高压	中保存	＜15km
超高温环境 ＞600℃	R ⁰ ＞4%	烃气分解消失阶段			裂缝	超高压		低保存

在正常情况下,这三种因素密切相关,同步进行。因为随着盆地的持续沉降,地温必然会相应地增高,沉积岩内有机质成熟演化的条件就会逐步增高,天然气的成藏条件逐步具备。从另一个角度讲,由于盆地动力机制决定了沉降的速率,决定了盆地热体制及地温场的冷热,从而决定了有机质的演化速率,也必然对有机质的成熟速度及烃类相态的分布深度起决定性的作用。

三、含气系统的内涵及研究思路

1. 含油气系统的发展历程

自 Dow 于 1972 年在丹佛召开的 AAPG 年会上提出含油系统 (oil system) 和 1980 年 Perrodon 首次使用含油气系统 (petroleum system) 至今 20 几年来, 这一领域的研究工作在西方国家得到了广泛的重视, 提出了一系列与之相似的名称, 例如 petroleum machine (石油机) (Meissner, 1984)、independent petroliferous system (独立含油气系统) (Ulmishek, 1986)。1987 年以后, L. B. Magoon 等多次发表文章论述了 “petroleum system” (含油气系统) 的发展历程、定义及其研究方法, 在西方国家已逐步得到认同, 并作为盆地油气资源前景调查序列中的一个重要环节。

在中国,自1992年由原地质矿产部石油地质研究所将L. B. Magoon主编的《石油成

矿系统——研究和方法的现状》一书译成中文以来, petroleum system (含油气系统) 在中国石油地质学家中得到了广泛的应用。1996年11月, 由中国石油学会石油专业委员会与云南省石油学会在贵州省安顺市联合召开了“中国含油气系统及其在油气勘探中的应用”的学术研讨会。会后, 精选出版了《中国含油气系统的应用与进展》论文集, 表明了含油气系统的研究在中国也得到了越来越多的石油地质学家的重视, 并取得了丰硕的成果。但是, 对含油气系统的内涵与作用的理解并不一致, 其研究思路也多沿袭 L. B. Magoon 的思路, 并不完全适用于中国地质情况, 对含气系统的研究工作更少。为此, 有必要结合中国天然气的地质情况对含气系统的含义及其研究思路加以讨论。

L. B. Magoon 和 W. G. Dow 于 1994 年在《含油气系统——从源岩到圈闭》一书中明确定义: 含油气系统为包含一有效源岩体和所有有关的油气的系统, 它包括油气藏存在所必须具备的一切基本要素和作用。这些基本要素为源岩、储集岩、盖层和上覆岩层作用, 包括圈闭形成和油气的生成、运移、聚集。所有要素都必须在时空上定位, 致使形成油气藏所需要的过程可以出现。

这一定义表明, 含油气系统的含义不仅包括了静态的地质条件, 也包含了它们演化的动态历程, 并且只有这些要素处于适当的时空时才有可能形成具工业价值的油气田。L. B. Magoon 认为, 这一概念既适用油, 也适用于天然气。但是, 由于天然气与石油既有共性, 也有较大的差异, 甚至可以说两者的差异大于共性, 它们之间的成藏机理并不相同。天然气地质学已逐步地形成了独立的学科, 与石油分开。因此, L. B. Magoon 对含油气系统的定义及研究思路, 运用于含气系统 (gas-bearing system) 还有许多方面需要补充与修正。

2. 天然气与石油在成藏地质条件上的差异

1) 天然气与石油在成因上有两个主要差别

(1) 源岩及有机质类型的差异——气是多源的, 油是少源的。气是多源的是指天然气的源岩及有机质类型多。据现有认识, 气源岩有海、湖相泥质岩类、碳酸盐岩类及各种沉积环境的煤系地层; 有机质可分为腐泥型与腐殖型两大类。由于它们的原始母质不同, 化学结构和生烃性能上都有很大的差异; 腐泥型有机质既可以生油又可以生气, 在中演化阶段热解作用中以生成石油为主, 但也伴生天然气; 而在高演化阶段则以生气为主, 石油也进一步裂解为天然气。所以腐泥型有机质, 既可以生油又可以生气, 含有这类有机质的源岩是海相泥质岩、碳酸盐岩及部分湖相泥质岩。所生烃类的相态 (油、气) 主要取决于有机质所处的演化阶段。腐殖型有机质主要分布在滨海、湖沼相煤系地层中, 在生烃过程中一般只生成低分子的气态烃, 以生气为主, 生油潜力相对较差。

综上所述, 在中国广泛分布的海相碳酸盐岩系、湖相泥质岩系及各类沼泽含煤岩系都可以成为良好的气源岩 (图 5)。由于中国海相碳酸盐岩系多处于高演化阶段, 已超过了生油窗, 含煤岩系一般也不利于生油, 因此, 气源多, 油源少。

(2) 天然气具有多阶段成因特点, 石油生成阶段比较单一。天然气成因的多阶段性是指生气作用多和生气阶段多。首先, 有机质在生物化学作用和热解作用中都可以生成天然气, 因此有机质在不同演化阶段都可以生成天然气。其次, 在有机质的演化过程中有两个主要生气阶段 (生气高峰): 在未熟阶段是第一主要生气阶段, 即生物气的生气期; 在高熟—过熟阶段是第二个主要生气阶段, 这是高熟、过熟气的主生气期。而石油主要形成于有

地 层 系 统			天 然 气 成 因 类 型				
界	系	统	油型气	煤成气	生物气	无机气	混合气
新 生 界	第四系	全新统			△		
		更新统			△		
	第三系	上新统		×			
		中新统	○	×		+	
		渐新统	○	×	△	+	▽
		始新统	○	×		+	▽
		古新统				+	
中 生 界	白垩系	上统			△	+	□
		下统	○	×		+	▽ □
	侏罗系	上统		×			▽
		中统	○	×			▽
		下统	○	×			▽
	三叠系	上统	○	×			▽
		中统	●				
古 生 界	二叠系	上统	●				
		下统	●	×		+	
	石炭系	上统		×			
		下统	●			+	
	泥盆系					+	
	志留系		●				
	奥陶系	上统					
		中统					
		下统	●	×			▽
	寒武系		●				
太元 古宇	震旦系		●				
	前震旦系		●				

图 5 中国气藏气成因类型

注：1. 油型气按源岩类型分为碳酸盐岩气（●）、湖相泥岩气（○）；2. 混合气以油型气与煤成气混合为主（△），以各类有机成因气与无机成因气的混合为辅（□）

机质的中演化阶段（成熟阶段）（图 6），并且在这一阶段也可以形成一部分天然气，即石油的伴生气。

以上多源多阶段成气的理论被热模拟试验所证实。张义纲（1991 年）曾将不同岩性、不同类型有机质的主要生气阶段和生气高峰示意性地以图的形式表达出来（图 6）。李执（1989）和程克明（1989）所作的灰岩热模拟结果，也表明了有两个生气高峰期（图 7）^①。

国内外天然气勘探成果也证实了上述实验成果。以柴达木盆地三湖地区第四系气田为代表的生物气田是第一主要生气期的产物。四川盆地广泛分布在中三叠统以下碳酸盐岩的天然气都是以腐泥型有机质为气源岩在第二个主要生气阶段所生成的高熟—过熟的热裂解

① 近十年来在中国已发现未成熟油，但其机理尚待研究。

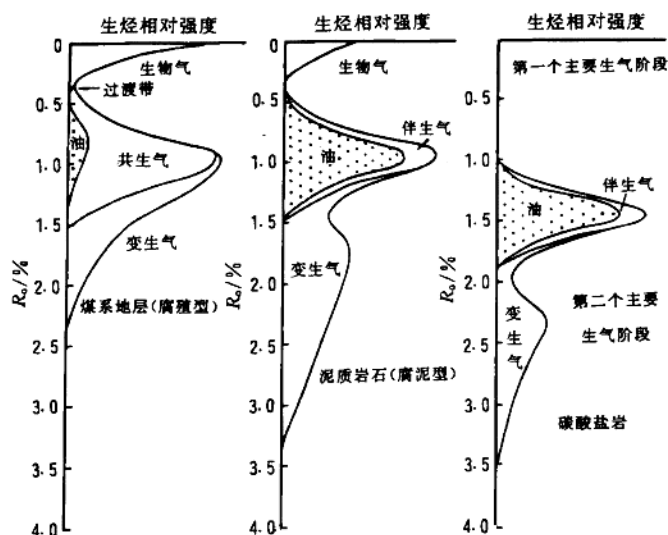


图6 不同岩性、不同类型有机质的主要生气阶段和生气高峰

气。目前，中国最大的鄂尔多斯盆地长庆气田，以及东海盆地平湖气田、莺-琼盆地的崖13-1气田等许多气田都属于煤成气田，气源为不同时代的煤系地层，表明煤成气是中国天然气的重要领域之一。

2) 天然气相态比石油复杂，产出形式比石油多

与相态基本单一的石油不同，天然气至少有油溶相、水溶相和游离相三种相态。

油溶相天然气广泛分布于油田之中。众所周知，石油中的天然气有很高的溶解度，天然气可以与石油伴生，形成伴生气藏。但这并不是天然气的主要聚集形式，因为在天然气储量中，伴生气仅占25%左右。天然气主要以游离气形成多种常规和非常规气藏（如深盆地、致密砂岩气、页岩气），还可以吸附在煤颗粒表面，形成煤层气，还有资源十分丰富的水合物气、水溶气等。而石油产出类型少，形式单一，主要储存在各类孔、洞、缝中。天然气产出的许多形式并不受制于重力分异理论及达西渗流定律，其运聚机理比石油复杂得多。

3) 天然气分子量比石油小得多，天然气分子结构简单，运移方式比石油多，也易于运移

众所周知，天然气的平均分子量小于20，而石油的平均分子量大于75，可达275；就分子直径而言，甲烷等天然气化合物分子近似有效直径为 $2.0(\text{He}) \sim 4.8(\text{正烷烃} \times 10^{-10} \text{ m})$ ，石油的各种化合物分子近似有效直径从 $10 \sim 30(\text{杂环结构})$ 到 $50 \times 10^{-10} \sim 100 \times 10^{-10}(\text{沥青质}) \text{ m}$ ；天然气粘度与石油相比，低3~4个数量级，天然气的粘度为 $n \times 10^{-2} \sim 10^{-3} \text{ cp}$ ，而石油的粘度为 $n \sim n \times 10 \text{ cp}$ ；天然气的密度也远低于石油，易被压缩，极易膨胀；天然气的扩散能力远大于石油，在水中的溶解度也远大于石油。由于天然气与石油有上述物理性质上的重大差异，使天然气在运移方式、能力、速度和规模上都比石油大得多。

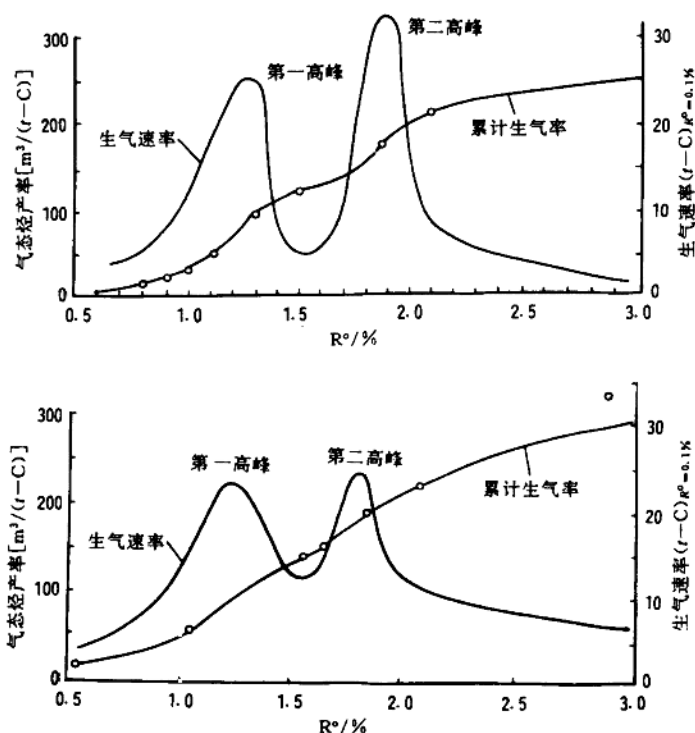


图 7

a—江苏下三叠统青龙组灰岩 (BC 型有机相, II_B 型干酪根) 热模拟生气率 (据李执资料绘);
b—塔里木盆地巴 4 井石炭系灰岩 (B 型有机相, II_A 型干酪根) 热模拟生气率 (据程克明资料绘)

张义纲 (1990) 总结出天然气主要有五种运移方式: 水中扩散、水溶排液、游离气相、气液混相涌流及水溶对流 (图 8)。刘德汉等认为, 天然气在不同成熟阶段及不同的母质类型中的主要运移方式均不同。而石油的运移方式与天然气相比简单得多, 以油水和气、油水混相涌流为主 (图 9)。

天然气与石油的运移方式虽有共性, 但差别较大。我国石油地质工作者总结出一条找矿规律: 在生油凹陷内部或邻近生油凹陷的隆起区是石油最有利的富集区, 即石油多数以近源聚集为主的源控论。这一认识虽也适用于天然气勘探, 但是由于天然气易于运移, 因此远源找气也具有很好的前景。例如川西新场气田蓬莱镇气藏与下伏须家河组气源垂距达 3~4km; 在松辽盆地东南隆起区, 由断陷层系下白垩统气源岩生成的天然气通过断层、裂隙运移至上覆拗陷层系上白垩统泉头组聚集成藏等的普遍现象, 表明了天然气垂向远源成藏的特点。在松辽盆地西斜坡区的气田则是侧向上远源气藏的代表; 在渤海湾盆地和松辽盆地中央拗陷区, 以近源聚集油田伴生气为主。上述实例表明了天然气比石油具有更为广泛的运移与成藏条件。

4) 天然气比石油易于散失与破坏, 比石油难以保存

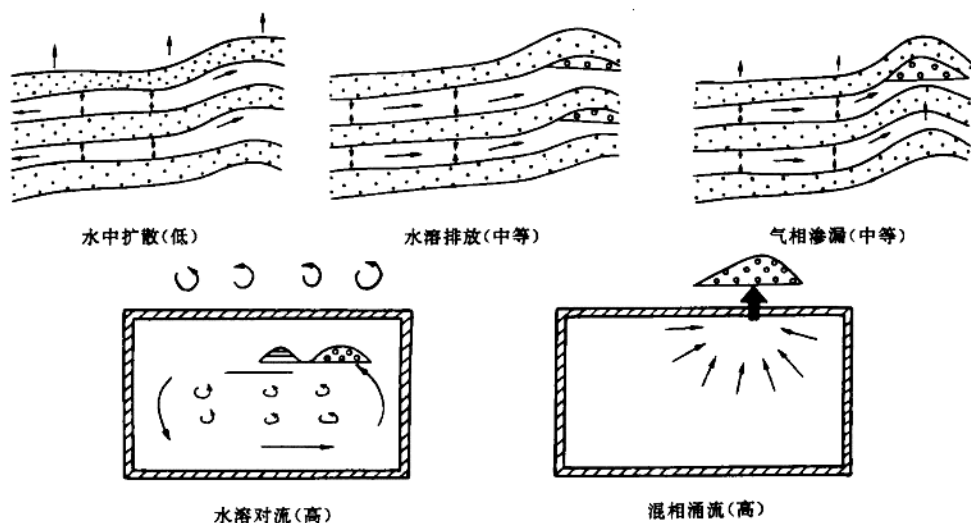


图8 天然气运移方式示意图(张义纲)

演化阶段	R_o %	源岩类型	运移相态		源岩类型	运移相态	
		腐泥型	石油	油型气	腐泥型	石油	煤型气
未成熟	0.5	—生气曲线		水溶相 气混相	—生气曲线		水溶相 水溶对流
成熟	1.0	—生油曲线	油溶相 油相	油气溶液	—生油曲线	水溶相 气溶相	气液混相 游离气相
高成熟	1.5		气溶相	混相 游离水溶相 游离气相			扩散相 水溶对流
过成熟	2.0			扩散相			
	2.5						

图9 不同类型有机质形成的石油与天然气运移相态示意图

许多岩石(泥页岩、膏盐岩、致密的碳酸盐岩、碎屑岩)只要没有断层、裂隙就可以封盖住石油。但是,天然气的分子量小,是流动性、扩散性最强的矿产,可以讲,没有一种岩类可以绝对地阻止天然气的散失。正因如此,我们常说,天然气可以在石油不能储存的致密地层中聚集形成气藏,也可以在油藏不易被破坏的地质条件下散失殆尽。

基于天然气与石油有以上明显的差异,世界上许多产气大国的地质学家已逐渐地将天然气作为一种独立的矿种,研究它的分布规律和成藏条件。我们在运用 L. B. Magoon 等地质学家所提出的油气调查序列时就必须突出天然气与石油不同的地质特点,特别是结合中国天然气的地质特点开展研究工作。

3. 含气系统的研究首先要强调对有效气源岩的综合评价原则

1) 有效源岩的评价

通常认为,处于还原环境,有一定厚度的暗色泥质岩、碳酸盐岩类都可以被认为是烃源岩;但并不是具有上述条件的岩石都可以成为有效烃源岩,只有当沉积岩中有机质的丰度达到可以为烃类的运移、聚集提供足够烃量时,沉积岩方称之为有效源岩(active source rock)。我们评价源岩的前提,就看它是否是有效源岩。有效源岩是有时间概念的,这一时间概念的长短,取决于源岩中有机质的热演化条件。例如:某些有效源岩曾经在某一地质历史时期内,为天然气运聚提供了丰富的气源,由于生气高峰已过而成为无效或已耗尽的源岩;另一些有效源岩,由于还处于生烃时期内,还可以为天然气运聚提供足够的烃量。显然,这类烃源岩的有效性明显地优于前者。

因此,我们对于有效气源岩的评价应从以下三个方面进行:生烃量、生烃速率及生烃持续时间。

生烃量的评价,以生烃强度及纵向生烃丰度为依据。

生气强度:这是以往评价气源丰度的常用指标,并在以往气源评价的研究中发挥了重要作用。郇建军等(1994)曾统计我国大中型气田主力气源岩的生气强度多数高于 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 。但不足之处是,它主要反映的是平面上气源丰富程度的变化,不能反映气源在纵向上丰富程度的变化。例如:两套气源岩有相同的生气强度,其中一套源岩厚度较大,有机质丰度偏低,另一套源岩厚度较小,有机质丰度较高,也就是说这两套气源岩在纵向上有机质的集中程度相差较大。很显然,在天然气成藏过程中,后者优于前者。在其它地质条件等同的情况下,后者天然气的充注能力明显地高于前者,易于形成较大的天然气藏。

郇建军等于1994年提出了纵向生气密度的概念,我将其改为纵向生气丰度,进一步阐述气源岩生气能力在纵向上的变化。

纵向生气丰度=生气强度/气源岩层总厚度 $[10^8 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{km}^2)]$

其中,气源岩层总厚度包括在该套有效气源岩中的非源岩的厚度。用有效气源岩总厚度作为分母,以便进一步阐明生气强度在纵向上的变化。统计表明(表3),我国中型气田主力源岩的纵向生气丰度为 $2 \times 10^8 \sim 7.7 \times 10^8 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{km}^2)$,而大型气田主力源岩的纵向生气丰度为 $6.2 \times 10^8 \sim 29.3 \times 10^8 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{km}^2)$,这表明纵向生气丰度对气田规模有明显的控制作用。

将生气强度和纵向生气丰度相结合,就能全面地反映气源的丰富程度,也能较好地反映天然气生成后的成藏条件(图10)。鄂尔多斯盆地长庆气田主力源岩太原组(C_3t)生气强度为 $26.4 \times 10^8 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{km}^2)$,并不很高;但由于气源岩在纵向上分布很集中,纵向生气丰度高达 $29.3 \times 10^8 \text{ m}^3/(\text{m} \cdot \text{km}^2)$,与我国各地区有效气源岩相比较也是很高的。因此,它可以为长庆大型气田的形成提供充足的气源。如果仅用生气强度的数据,就较难以解释中部气田这样大型气田的气源问题,也难以从气源丰富程度的角度来解释为什么某些地区有较高的生气强度,但却未能形成较大的气田(藏)。