

# 中国含油气系统基本特征 与评价方法

赵文智 等著

科学出版社

北京

## 内 容 简 介

本书是中国含油气系统研究的最新成果。全书分上、下两篇共七章,系统论述了含油气系统的基本内涵、分类方案及其基本特征,全面总结了我国叠合盆地石油地质基本特点以及复合与复杂含油气系统基本特征。在复合含油气系统的定义与描述、研究思路、评价方法以及模拟的实现途径等方面提出了一系列独到的见解;提出了油气运聚单元和多关键时刻的概念;建立了复合含油气系统评价的方法体系,并以四川、准噶尔与塔里木盆地复合与复杂含油气系统为例,进行了实例解剖。本书资料数据翔实、内容丰富,具有很强的科学性、创新性、资料性和实用性。

本书可供油气地质及勘探开发的科技人员,石油地质工作者,高校有关专业师生,油气勘探决策与管理人员及投资者参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国含油气系统基本特征与评价方法/赵文智等著. —北京:科学出版社, 2003

ISBN 7-03-012168-6

I. 中… II. 赵… III. ①含油气盆地-含油气性-研究-中国 ②含油气盆地-评价-研究-中国 IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 085814 号

责任编辑:胡晓春 刘卓澄/责任校对:柏连海  
责任印制:钱玉芬/封面设计:周 娟

**科学出版社** 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

\*

2003 年 10 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2003 年 10 月第一次印刷 印张:27 1/4 插页:1

印数:1—1 000 字数:622 000

定价:75.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

# 序 一

当代石油地质学的发展具有以下几个特点：①由定性描述向定量化方向发展，利用二维或三维的地质模型，通过计算机技术进行数值模拟和定量评价；②由静态描述向动态演化过程研究方向发展。除传统的地质分析外，模拟实验和流动模型成为认识油气成藏过程的重要手段；③由宏观分析向微观研究方向发展，注重油气生、排、运、聚机理性问题的研究；④含油气系统的研究方法在石油地质界被广泛应用，强调油气从源岩到形成有效圈闭的全过程；⑤由基础资料、数值模拟、实验室模拟、油区综合评价，发展到以弄清油气运聚过程为目的，包括钻井资料和地球物理资料相结合的实验区研究。

自从 W. G. Dow 提出石油系统概念，首次将油气从生烃灶生成，经运移到圈闭中聚集的过程与涉及的空间范围纳入系统论的范畴来讨论，这些理论与方法对认识和预测简单含油气系统中的油气资源潜力与分布还是十分行之有效。20 世纪 80 年代含油气系统概念与方法引入国内。中国叠合沉积盆地往往具有多源、多灶、多期生烃和成藏的特点，不同于单旋回沉积盆地，有些盆地中油气成藏全过程中发生大规模的油气散失。因此，要用已有的概念和方法来客观预测其中油气资源潜力与分布，就有相当大的局限性和误差。

中国石油勘探开发研究院赵文智等人合作的新书《中国含油气系统基本特征与评价方法》，基于中国叠合盆地油气生成、运移与成藏的特殊性和复杂性，提出叠合盆地中复杂油气系统的概念，赋予新的内涵，并建立相应的评价思路和方法。全书分上、下两篇：上篇为含油气系统的概念、内涵与评价方法；下篇为复合与复杂含油气系统的划分与评价实例分析。以准噶尔、四川和塔里木三盆地为例，为具有多源、多灶、多期生烃和成藏的叠合沉积盆地，建立了新的评价思路和方法。本书具有以下创新点：

(1) 将中国叠合盆地分为继承型、延变型与改造型三大类，探讨提出了相应的勘探思路与勘探技术选择和使用要点。

(2) 总结提出了叠合盆地六点石油地质基本特征，即：①深层有一类经济资源，主要取决于三种地质背景（即早成藏、晚埋藏、次生作用）下深层储层发育情况；②多期叠加所产生的二级构造带含油性有较大变化，需要拆分过程，分别看各目标的含油性；③盆地演化出现的退火背景与晚期快速沉降相耦合，使油气出现超晚期成藏；④多期构造变动使深源油气分布复杂化；⑤叠合盆地油气成藏与分布特征依层系而变，储量新发现和增长有多个高峰期，延续历史长；⑥多源、多阶生烃、成藏与调整，油气相态平面分布复杂。

(3) 针对中国叠合盆地油气成藏与分布特征,将含油气系统划分为简单、复合与复杂三大类,并分类阐述其内涵。

(4) 为客观评价油气空间分配的资源总量、丰度及勘探目标含油气把握性的差异,作者提出“油气运聚单元”的概念,并将其界定在含油气系统与油气聚集区带之间,认为它是油气聚集发生的分配地质单元。

(5) 针对复合与复杂含油气系统多期成藏与已聚集油气藏发生调整或破坏的现象,提出多关键时刻的概念。

(6) 探讨了含油气系统划分的垂向与侧向边界。

总之,本书针对中国叠合盆地中油气生成、运移和成藏与改造的复杂性,提出的复合含油气系统概念、分类、基本特征与评价方法,在理论认识和方法上均有创新,在四川、准噶尔与塔里木盆地复合与复杂含油气系统评价的实际应用中也取得了很好效果。本书不论从对含油气系统的概念、内涵的理解,还是从含油气系统的评价方法和实际应用上,对相关领域的读者都具有较高的参考价值。

中国科学院院士



2003年5月23日

## 序 二

含油气系统的划分与评价已经成为有效预测和发现油气资源的重要方法工具。含油气系统研究的核心,是循着油气从生油凹陷到圈闭中聚集的过程,站在关键时间界面(包括大量生烃时间、大量排烃时间、油气藏发生大规模调整甚至破坏的时间等),建立油气成藏主控因素与地质作用过程的组合关系,实现科学预测油气资源潜力与分布的目的,为在勘探战略选区与钻探目标选择上,最大限度地减少风险、提高勘探成功率提供理论依据。

赵文智教授组织完成的《中国含油气系统基本特征与评价方法》这部著作,密切地将国内外含油气系统概念及评价方法和中国叠合盆地含油气系统的复杂性结合起来进行研究,在建立适合中国含油气系统划分与评价的方法上做了许多有价值的探讨。尤为可贵的是,作者从中国叠合盆地演化发展特点、叠合含油气盆地石油地质基本特征分析、归纳和总结入手,就中国含油气系统类型、特征与划分评价方法,提出了许多新概念和新观点,其中复合含油气系统、复杂含油气系统与油气运聚单元、复合含油气系统评价程序与方法及含油气系统计算机模拟的实现途径与软件设计等研究成果,将对深化我国含油气系统研究和评价起到推动作用。

含油气系统研究和评价注重油气藏存在和油气生成、运移和聚集过程研究的结合,它体现了石油地质综合研究的核心,它是一种重要的分析研究方法。含油气系统研究和评价在我国开展还不够,其优越性还有待进一步展示。今后的发展需要研究者在深刻理解含油气系统内涵的前提下,加强应用研究,尤其是有效反映油气成藏过程的工业性成图表述方面的研究。要通过越来越多的用含油气系统客观预测油气藏分布及有效指导勘探突破发现的实例,让勘探家逐步提高对含油气系统评价方法的应用意识。

为了推进含油气系统研究与评价方法在中国的应用和发展,中国石油地质专业委员会下设了“含油气系统与油气藏学组”。作为热衷于该领域研究的倡导者,我希望能有更多的研究者投入到含油气系统与油气成藏的研究中来,并通过你们创造性的工作,使中国油气勘探能发现更多的新油气藏,同时丰富石油地质和成藏理论。

中国工程院院士

2003年5月30日

# 前 言

含油气系统的划分与评价已经成为有效预测和发现油气资源的重要工具,是当今世界上各大油公司油气勘探选区评价的重要依据。含油气系统研究的核心是循着油气从生烃灶到圈闭的过程,在大量生烃和排烃的时间界面上,或已经聚集的油气藏发生大规模调整、改造甚至破坏的时间段,通过在三维空间范围分析建立油气成藏主控因素与地质作用过程的组合关系,达到有效预测油气资源潜力与分布的目的,从而能在勘探选区与勘探目标选择上,最大限度地减少风险,提高成功率。

自从 W. G. Dow 第一次提出石油系统概念,首次将油气从生烃灶生成,经运移到圈闭中聚集的过程与涉及的空间范围纳入系统论的范畴来讨论以来,有众多国外学者加入含油气系统概念与内涵的外延、丰富与发展的行列,但核心还是围绕着油气从生烃灶到圈闭的一次过程,提出概念并建立相应的评价方法。含油气系统的概念与方法引入国内以后,对认识和预测具有一期成藏简单含油气系统中的油气资源潜力与分布还是十分行之有效的。然而对于具有多源、多灶、多期生烃和成藏的叠合沉积盆地,有些在油气成藏全过程中,还存在大规模的油气散失,要用已有的概念和方法客观预测其中油气资源潜力与分布,就有相当大的局限性和误差。因此需要基于中国叠合盆地油气生成、运移与成藏的特殊性,提出新的概念,赋予新的内涵,并建立相应的评价思路和方法。

本书是我们在“九五”期间对中国典型含油气系统作了仔细研究和解剖分析的基础上,并仔细阅读国内外大量文献,从与国外原始概念和方法对比的角度,对中国叠合盆地内发育的众多类型的含油气系统的基本特征,作了理性归纳与升华,提出能客观反映和预测叠合盆地中油气资源潜力与分布的新概念和新方法,以及为达到此目的而应该选择使用的技术组合。

本书主要有四方面的目的:一是揭示含油气系统研究评价的深刻内涵,指出含油气系统原始概念的局限性;二是分析总结中国含油气系统的基本类型、特征与其形成演化的复杂性,以提示同行在引用国外概念与方法时所应注意的问题;三是提出中国叠合盆地含油气系统研究和评价的思路和方法,以建立对叠合盆地油气资源潜力与分布行之有效的预测方法;四是以我们多年重点关注研究的含油气系统为例,介绍复合与复杂含油气系统划分与评价的流程及成果,展示有关含油气系统评价新思路和新方法在预测油气藏形成分布方面的实用性以及与以往石油地质综合研究相比的区别和优越性。本书分为上、下两篇:上篇为含油气系统的概念、内涵与评价方法,集中阐述本书对含油气系统内涵的理解,并突出介绍本书提出的新概念、方法体系与配套技术系列;下篇为实例介绍,是展示本书概念、思路与方法体系的实用性与可操作性的窗口。

本书的总体思路与结构、基本观点与核心学术思想由赵文智教授提出,前言、第一章、第二章、第三章由赵文智执笔编写,第四章由张庆春根据赵文智的思想组织完成,第五章由王社教、赵文智编写,第六章由汪泽成、赵文智编写,第七章由王红军、赵文智编写。全书完稿后由赵文智统一修改完善。汪泽成、瞿辉协助赵文智完成了部分章节的修改和全

书稿的校对与编辑。

本书是在中国石油天然气集团公司“九五”科技攻关项目“中国含油气系统与油气分布规律研究”(970211)成果的基础上,进一步归纳升华而成。项目在开始阶段得到胡见义院士的悉心指导,并在多方面吸收了他很有价值的学术思想和观点。中国石油天然气集团公司科技部资助了研究项目的完成,是该项成果能与读者见面的基础。我们愿借本书公开出版之际,向胡见义院士和中国石油天然气集团公司科技部表示衷心的感谢。

由于作者学术水平有限,书中难免有不完善之处,希望能得到读者的批评指正。含油气系统的研究与评价在我国,尤其是针对叠合盆地中含油气系统的划分与评价,目前还处在发展的初期阶段。本书出版的初衷是想为深化我国含油气系统的划分与评价,从而客观预测油气资源潜力与分布,起到抛砖引玉的作用,并加快我国含油气系统有效评价方法体系的建立,推动我国相关含油气盆地油气勘探的深入发展。我们期待着能以本书的出版为起点,今后会有更多成熟和有效的观点和方法进入对中国叠合盆地油气资源分布的成功预测之中,并完善形成有中国特点的含油气系统评价方法体系。

# 目 录

序一  
序二  
前言

## 上篇 含油气系统的概念、内涵与评价方法

第一章 含油气系统的研究现状、内涵与发展趋势	( 3 )
第一节 含油气系统概念的沿革与内涵	( 4 )
一、含油气系统概念的沿革	( 4 )
二、含油气系统的基本内涵	( 14 )
第二节 含油气系统研究中存在的问题	( 16 )
第三节 含油气系统的定位与作用	( 18 )
一、含油气系统的定位	( 19 )
二、含油气系统的作用	( 22 )
三、含油气系统研究的层次性	( 23 )
第四节 含油气系统的边界	( 25 )
一、含油气系统的垂向边界	( 26 )
二、含油气系统的侧向边界	( 31 )
第五节 含油气系统的发展趋势	( 43 )
第二章 中国含油气盆地形成与含油气系统的基本特征	( 47 )
第一节 中国含油气盆地的发育背景与演化特点	( 47 )
一、中国大陆板块的基本构造格局	( 48 )
二、中国大陆板块的演化历史	( 50 )
第二节 中国叠合沉积盆地的基本特征	( 69 )
一、叠合沉积盆地的概念与基本类型	( 70 )
二、叠合沉积盆地的石油地质条件	( 79 )
三、叠合含油气盆地的石油地质特征	( 92 )
第三节 中国含油气系统的基本类型与特征	( 104 )
一、简单含油气系统的含义与特征	( 105 )
二、复合含油气系统的含义与特征	( 107 )
三、复杂含油气系统的含义与特征	( 111 )
第三章 复合含油气系统与评价方法	( 115 )
第一节 中国含油气系统的复杂性	( 116 )
一、复合含油气系统烃类流体的交换途径	( 116 )
二、复合与复杂含油气系统的油气运移特点	( 118 )

三、复合与复杂含油气系统的油气成藏特点 .....	( 120 )
第二节 复合含油气系统的概念、内涵与评价 .....	( 125 )
一、复合含油气系统的概念与内涵 .....	( 125 )
二、复合含油气系统的划分与命名 .....	( 125 )
三、复合含油气系统的评价 .....	( 129 )
第三节 复合含油气系统的评价研究方法 .....	( 167 )
一、复合含油气系统的研究思路 .....	( 167 )
二、复合含油气系统的描述方法 .....	( 169 )
三、复合含油气系统的研究技术 .....	( 171 )
第四章 复合含油气系统模拟 .....	( 177 )
第一节 含油气系统模拟技术的发展现状 .....	( 177 )
一、模拟技术的发展简史 .....	( 177 )
二、目前流行的含油气系统模拟软件及其存在的问题 .....	( 178 )
三、含油气系统模拟与盆地模拟的异同点 .....	( 180 )
四、含油气系统模拟技术的发展趋势 .....	( 182 )
第二节 含油气系统模拟的思路和实现途径 .....	( 183 )
一、含油气系统模拟的作用 .....	( 184 )
二、复合含油气系统模拟的研究思路 .....	( 185 )
三、复合含油气系统动态模拟的可能性与实现途径 .....	( 192 )
四、含油气系统模拟软件构成与主要功能 .....	( 201 )
五、含油气系统模拟的一般程序 .....	( 205 )
第三节 塔里木盆地满加尔下古生界含油气系统模拟尝试 .....	( 206 )
一、静态地质要素特征 .....	( 207 )
二、动态地质作用过程模拟 .....	( 209 )
三、关键时刻的含油气系统特征 .....	( 210 )
四、油气勘探有利区带综合评价 .....	( 213 )

## 下篇 复合与复杂含油气系统的划分与评价实例分析

第五章 准噶尔盆地复合含油气系统研究 .....	( 217 )
第一节 准噶尔盆地复合含油气系统形成的地质条件 .....	( 217 )
一、盆地形成演化 .....	( 218 )
二、主要生烃灶分布特征 .....	( 221 )
三、主要储盖组合特征 .....	( 225 )
四、地温场演化 .....	( 231 )
五、石油地质基本特征 .....	( 237 )
第二节 准噶尔盆地复合含油气系统的划分 .....	( 238 )
一、复合含油气系统的研究思路 .....	( 238 )
二、复合含油气系统的研究步骤 .....	( 240 )

三、复合含油气系统的划分 .....	( 258 )
第三节 准噶尔盆地复合含油气系统的评价 .....	( 266 )
一、玛湖复合含油气系统 .....	( 266 )
二、南缘中段复合含油气系统 .....	( 271 )
三、车拐复合含油气系统 .....	( 273 )
四、陆东-大井复合含油气系统 .....	( 274 )
五、马桥-阜康复合含油气系统 .....	( 275 )
六、南缘西段复合含油气系统 .....	( 277 )
七、勘探领域选择及评价 .....	( 277 )
第六章 四川盆地复合含油气系统研究 .....	( 280 )
第一节 四川盆地复合含油气系统形成的地质条件 .....	( 280 )
一、盆地形成演化 .....	( 281 )
二、主要生烃灶分布特征 .....	( 292 )
三、油气分布的主要控制因素 .....	( 297 )
第二节 四川盆地复合含油气系统的划分 .....	( 305 )
一、研究思路 .....	( 305 )
二、研究步骤 .....	( 305 )
三、下古生界含气系统演化 .....	( 326 )
四、系统划分 .....	( 330 )
第三节 四川盆地复合含气系统的评价 .....	( 331 )
一、复合含气系统的评价 .....	( 331 )
二、川东复合含气系统 .....	( 331 )
三、川西复合含气系统 .....	( 340 )
四、川北复合含油气系统 .....	( 347 )
第七章 塔里木盆地古生界复杂含油气系统研究 .....	( 350 )
第一节 塔里木盆地古生界复杂含油气系统形成的地质条件 .....	( 350 )
一、盆地形成演化 .....	( 350 )
二、古生代原型盆地构造-沉积特征 .....	( 351 )
三、古生界油气成藏的复杂性 .....	( 357 )
第二节 塔里木盆地古生界复杂含油气系统的划分 .....	( 369 )
一、研究思路 .....	( 369 )
二、研究步骤 .....	( 373 )
第三节 塔里木盆地古生界复杂含油气系统的评价 .....	( 398 )
一、加里东—早海西期油气系统 .....	( 400 )
二、晚海西期油气系统 .....	( 401 )
三、喜马拉雅期油气系统 .....	( 402 )
四、有利目标区评价 .....	( 403 )
参考文献 .....	( 405 )
英文摘要 .....	( 415 )

# Contents

Preface I	
Preface II	
Foreword	

## Part I Basic Concept, Connotation and Evaluation Methodologies of Petroleum System

Chapter 1 Overview of Petroleum System .....	( 3 )
Section 1 Development and connotation of Petroleum System Concept .....	( 4 )
1. Development of Petroleum System Concept .....	( 4 )
2. Basic Connotation of Petroleum System .....	( 14 )
Section 2 General Situation and Problems in Petroleum System Study .....	( 16 )
Section 3 Function of Petroleum System Evaluation .....	( 18 )
1. Position of Petroleum System in Petroleum Geology Study .....	( 19 )
2. Function of Petroleum System Evaluation .....	( 22 )
3. Gradation of Petroleum System Study and Evaluation .....	( 23 )
Section 4 Boundary of Petroleum System .....	( 25 )
1. Vertical Boundary .....	( 26 )
2. Lateral Boundary .....	( 31 )
Section 5 Development Trend of Petroleum System Study and Evaluation ...	( 43 )
Chapter 2 Evaluation of Chinese Petroliferous Basins and Their Basic Features of Petroleum System .....	( 47 )
Section 1 Geotectonic Settings and Evolutional Feature of Petroliferous Basins in Onshore Region of China .....	( 47 )
1. Tectonic Framework of Continental Plates of China .....	( 48 )
2. Evolution of Continental Plates of China .....	( 50 )
Section 2 General Characteristics of Superimposed Petroliferous Basins in China .....	( 69 )
1. Concept and Types of Superimposed Petroliferous Basins .....	( 70 )
2. Petroleum Geological Conditions of Superimposed Petroliferous Basins .....	( 79 )
3. Petroleum Geological Features of Superimposed Petroliferous Basins .....	( 92 )
Section 3 Types and Characteristics of Petroleum Systems in Superimposed	

Petroliferous Basins .....	( 104 )
1. Meaning and Characteristics of Simple Petroleum System .....	( 105 )
2. Meaning and Characteristics of Composite Petroleum System .....	( 107 )
3. Meaning and Characteristics of Complicated Petroleum System .....	( 111 )
Chapter 3 Composite Petroleum System and Its Evaluation Methodology .....	( 115 )
Section 1 Complexity of Petroleum Systems in China .....	( 116 )
1. Ways of Hydrocarbon Exchange within Composite Petroleum Systems .....	( 116 )
2. Characteristics of Hydrocarbon Migration in Composite and Complicated Petroleum Systems .....	( 118 )
3. Characteristics of Gas Pool Forming in Composite and Complicated Petroleum Systems .....	( 120 )
Section 2 Concept, Connotation and Evaluation of Composite Petroleum Systems .....	( 125 )
1. Concept, Connotation and Evaluation .....	( 125 )
2. Classification and Nomenclature of Composite Petroleum System .....	( 125 )
3. Evaluation of Composite Petroleum System .....	( 129 )
Section 3 Evaluation Methodologies of Composite Petroleum Systems .....	( 167 )
1. Research Philosophy of Composite Petroleum System .....	( 167 )
2. Description Methodologies of Composite Petroleum System .....	( 169 )
3. Research Techniques of Composite Petroleum System .....	( 171 )
Chapter 4 Simulation of Petroleum System .....	( 177 )
Section 1 Overview of Simulation of Petroleum System .....	( 177 )
1. Brief Introduction of Development Petroleum System Simulation Technology .....	( 177 )
2. Situation of Simulation Software of Petroleum System .....	( 178 )
3. Differences Between Basin Modeling and Petroleum System Simulation .....	( 180 )
4. Development Trend of Petroleum System Simulation .....	( 182 )
Section 2 Philosophy of Petroleum System Simulation and Feasible Way .....	( 183 )
1. Function of Petroleum System Simulation .....	( 184 )
2. Philosophy of Petroleum System Simulation .....	( 185 )
3. Probability and Tracks of Dynamic Petroleum System Simulation .....	( 192 )
4. Composition and Function of Petroleum System Simulation Software .....	( 201 )
5. Procedure of Petroleum System Simulation .....	( 205 )
Section 3 Case Study of Manjiaer Petroleum System of Tarim Basin in China .....	( 206 )
1. Static Geological Essential Elements .....	( 207 )

2. Dynamic Simulation of Petroleum System .....	( 209 )
3. Distribution of Petroleum System at Different Critical Moments .....	( 210 )
4. Integrated Assessment of Favorable Plays .....	( 213 )

## Part II Cases Studies of Composite and Complicated Petroleum System in China

Chapter 5 Study on Composite Petroleum System of Junggar Basin in NW China .....	( 217 )
Section 1 Formation Condition of Junggar Composite Petroleum System .....	( 217 )
1. Basin Evolution .....	( 218 )
2. Distribution of Source Kitchen .....	( 221 )
3. Assemblage of Main Reservoirs and Seals .....	( 225 )
4. Evolution of Geothermal Fields .....	( 231 )
5. Characteristics of Petroleum Geology .....	( 237 )
Section 2 Compartmentalization of Composite Petroleum System in Junggar Basin .....	( 238 )
1. Philosophy on Compartmentalization .....	( 238 )
2. Processes of Compartmentalization .....	( 240 )
3. Schemes of Compartmentalization .....	( 258 )
Section 3 Evaluation of Junggar Composite Petroleum System .....	( 266 )
1. Manas Lake Composite Petroleum System .....	( 266 )
2. Middle Part of the Southern Edge Composite Petroleum System .....	( 271 )
3. Cheguai Composite Petroleum System .....	( 273 )
4. Ludong-Dajing Composite Petroleum System .....	( 274 )
5. Maqiao-Fukang Composite Petroleum System .....	( 275 )
6. West Part of the Southern Edge Composite Petroleum System .....	( 277 )
7. Selection and Evaluation of Favorable Area of Exploration .....	( 277 )
Chapter 6 Study on Composite Petroleum System of Sichuan Basin in Central China .....	( 280 )
Section 1 Formation Condition of Sichuan Composite Petroleum System .....	( 280 )
1. Basin Evolution .....	( 281 )
2. Distribution of Source Kitchen .....	( 292 )
3. Control on Distribution of Petroleum in Sichuan Basin .....	( 297 )
Section 2 Division of Composite Petroleum System .....	( 305 )
1. Research Philosophy of Composite Petroleum System .....	( 305 )
2. Processes of Compartmentalization .....	( 305 )
3. Process of Petroleum System Formation .....	( 326 )
4. Schemes of Compartmentalization .....	( 330 )
Section 3 Evaluation of Composite Petroleum System .....	( 331 )

1. Overview of Petroleum System Evaluation .....	( 331 )
2. Eastern Sichuan Composite Petroleum System .....	( 331 )
3. Western Sichuan Composite Petroleum System .....	( 340 )
4. Northern Sichuan Composite Petroleum System .....	( 347 )
Chapter 7 Study on Complicated Petroleum System of Paleozoic in Central Tarim Basin of N W China .....	( 350 )
Section 1 Formation Condition of Paleozoic Complicated Petroleum System .....	( 350 )
1. Basin Evolution .....	( 350 )
2. Characteristics of Tectonics and Sedimentation of Prototype Basins in Paleozoic Stages .....	( 351 )
3. Complexity of Paleozoic Oil and Gas Reservoirs in Tarim Basin .....	( 357 )
Section 2 Division of Complicated Petroleum System .....	( 369 )
1. Research Philosophy of Complicated Petroleum System in Tarim Basin .....	( 369 )
2. Research Process of Complicated Petroleum System in Tarim Basin .....	( 373 )
Section 3 Evaluation of Paleozoic Complicated Petroleum System in Tarim Basin .....	( 398 )
1. Caledonian-Early Hercynian Petroleum System .....	( 400 )
2. Late Hercynian Petroleum System .....	( 401 )
3. Himalaya Petroleum System .....	( 402 )
4. Evaluation of Favorable Area of Exploration .....	( 403 )
References .....	( 405 )
Abstract .....	( 415 )

# 上 篇

## 含油气系统的概念、内涵 与评价方法

# 第一章 含油气系统的研究现状、 内涵与发展趋势

油气作为一种天然流体矿产，生成、运移并聚集于地下不规则的三维地质单元内。这一过程发生在漫长的地质历史中，并不为我们所目睹。对地下油气藏现今所在位置的确定，石油地质学家和勘探家不得不借助诸如地质、地球物理勘探工具和手段及实验室研究，获取间接的信息和资料，然后通过资料和信息处理、分析、综合和归纳，努力找出那些最可能存在油气聚集的位置和目标。很显然，这一分析和认识过程越接近于地下的客观实际，那么选择的钻探目标发现油气田的概率就越大。自从1859年美国E. L. Drake在阿巴拉契亚山区成功钻出世界上第一口油井，认识到地下蕴藏着可为人类所利用的流体矿产，一百多年来，石油地质学家与勘探家一直都在努力寻找一种科学预测地下油气藏形成与分布的理论、方法与技术工具。这一百年间，不断有勘探新技术和新方法应用于实践，使这一认识过程大大加快。实际上，如果能够将控制油气藏形成与分布的诸项地质要素与作用过程放在统一的系统中，就它们在三维空间与时间域的相互关系进行有机地分析研究，对于有效发现油气资源肯定会是事半功倍的事情。应该说，含油气系统概念的提出与其内涵所体现的功能，就是为了实现石油地质学家与勘探家多年来的愿望，通过一种有效研究途径，达到客观、准确预测地下油气资源潜力和分布的目的。

自从1972年W. G. Dow首次提出“石油系统”(oil system)的概念至1994年L. B. Magoon和W. G. Dow将“含油气系统”(petroleum system)的概念进一步完善和发展至今，含油气系统的研究与评价已经成为有效预测和发现油气资源的重要工具，是当今世界上各大油公司油气勘探选区与目标选择和评价的重要依据。含油气系统研究的核心是循着油气从生烃灶到圈闭的过程，在大量生烃和运移的时间界面上，或已经聚集油气发生大规模调整、甚至破坏的时间段，通过在空间上分析建立油气成藏主控因素与地质作用过程的组合关系，并通过对油气主要运聚单元的确定，达到有效地指出历史上形成的、现今仍保存的油气藏的分布位置，从而能在勘探选区与钻探目标选择上，最大限度地减少风险，提高成功率。按照L. B. Magoon和W. G. Dow的定义，含油气系统是指一个与有效生烃灶(active source kitchen)相联系的，由其中的油气生成、运移和聚集过程所涉及天然流体系统，发生于三维地质单元内部。包括由生烃灶所生成的、并经运移聚集形成的所有油气藏与形成这些油气藏所必不可少的一切地质要素和作用过程。对含油气系统形成与空间展布面貌的表述，被L. B. Magoon和W. G. Dow浓缩为“四图一表”[即反映大量生烃关键时刻的埋藏史曲线图；反映大规模成藏期的含油气系统平面展布图；含油气系统时间-地层剖面图；反映要素在时间空间范围吻合关系的含油气系统事件图与含油气系统范围内发现和可能存在的油气聚集(田)一览表]。实际上，上述概念与表述手段和模式，只适合单(多)源灶一期生烃和成藏的简单含油气系统

(simple petroleum system), 即油气从生烃灶生成并排出以后, 在位能梯度作用下, 经过输导运移至圈闭中聚集形成油气藏的一次过程。中国叠合含油气盆地中发育的含油气系统, 往往发育多个生烃灶, 每个生烃灶内又沉积了多套烃源岩层系。有时在早、晚不同阶段形成的烃源岩层系之间, 还曾发生过较大规模的构造运动。这就使得叠合盆地中的生烃与成藏过程存在一些特殊性: ①每一个生烃灶中往往存在多期大量生烃和排烃的过程, 单从生烃和成藏来说, 一个烃灶范围内有多个关键时刻。②先期形成的油气藏有可能在地质历史的某个阶段, 受到构造运动的影响而发生大规模的调整, 甚至破坏。因而使得我们基于对生烃灶的确定与主生烃期、主运移期与方向的分析, 所圈定的有利目标区, 很多已经都不存在了, 或者现今即使存在也已经“人去楼空”了。因此, 对叠合盆地的含油气系统来说, 不仅有大量生烃和成藏的关键时刻, 还有与油气大规模调整与破坏相关的关键时刻。③来自不同生烃层系的油气往往在某些运聚单元内发生窜通和混聚现象。因此基于生烃灶、运移过程与圈闭之间的关系, 所做出的含油气系统内部油气资源总量与空间分布的评价, 往往因油气在相邻层系中窜通量不好掌握, 而出现较大的误差。凡此种种, 恐怕都是 L.B. Magoon 和 W.G. Dow 在对含油气系统定义并提出相应的研究模式时, 所未能充分考虑到和全面包容的。完成本研究的目的, 主要有四点, 一是揭示含油气系统研究与评价的深刻内涵, 指出含油气系统原始概念的局限性; 二是分析总结中国含油气系统的基本类型、特征与其复杂性, 以提示同行在引用国外概念与方法时, 所应注意的问题; 三是提出有效研究与评价中国含油气系统的思路与方法, 以建立对中国含油气系统中油气资源分布有效预测的方法; 四是以我们以往所重点研究的含油气系统为例, 展示本书提出的思路和方法, 在评价含油气系统方面的实用性及其与以往石油地质综合研究的区别和优越性。

## 第一节 含油气系统概念的沿革与内涵

### 一、含油气系统概念的沿革

如果不是以在公开发表的刊物上有无记载为鉴别标准的话, 含油气系统的原始概念以及从系统论的观点把油气生成、运移和聚集过程看做一个整体来研究和评价的第一人, 应该是我们中国学者。早在 20 世纪 60 年代中期前后, 我国学者胡朝元<sup>①</sup> 就使用了“成油系统”的概念, 用于表述松辽盆地油气生成、运移、聚集和保存的全过程及这一过程所涉及的空间范围。指出“成油系统是由各时期统一的油气运移、聚集过程联系在一起的生源、储集层、盖层、圈闭等成油要素所组成的整体”、“每一个成油系统都有自己的特征和相对独立性, 并形成一个或几个不同类型的油气聚集带”、“成油系统将静态的生储盖条件、动态的生油、运移、聚集和保存过程统一起来, 是认识油气藏形成和分布的核心”。并基于这种认识总结, 将松辽盆地划分为六个成油系统。应该说我国学者 20 世纪 60 年代中期提出的“成油系统”的概念, 包含了现今含油气系统的基本内

<sup>①</sup> 胡朝元, 1977, 松辽盆地若干石油地质理论问题的探讨 (1963 年成果总结)。见松辽盆地石油地质研究报告汇编, 1~26。

涵，已经突出强调了“生油区是油气分布的核心，并控制油气分布的大致范围”。这一基本思想在随后 70~80 年代对渤海湾盆地油气勘探实践的总结中进一步完善和发展，并形成“源控论”，其核心思想是认为，陆相沉积盆地的主力生油凹陷控制了油气藏的形成和分布。即油气田的形成和分布往往环绕生油凹陷，构成独立的油气生成、运移和聚集单元。一个生油中心就是一个油气富集中心（图 1-1）。

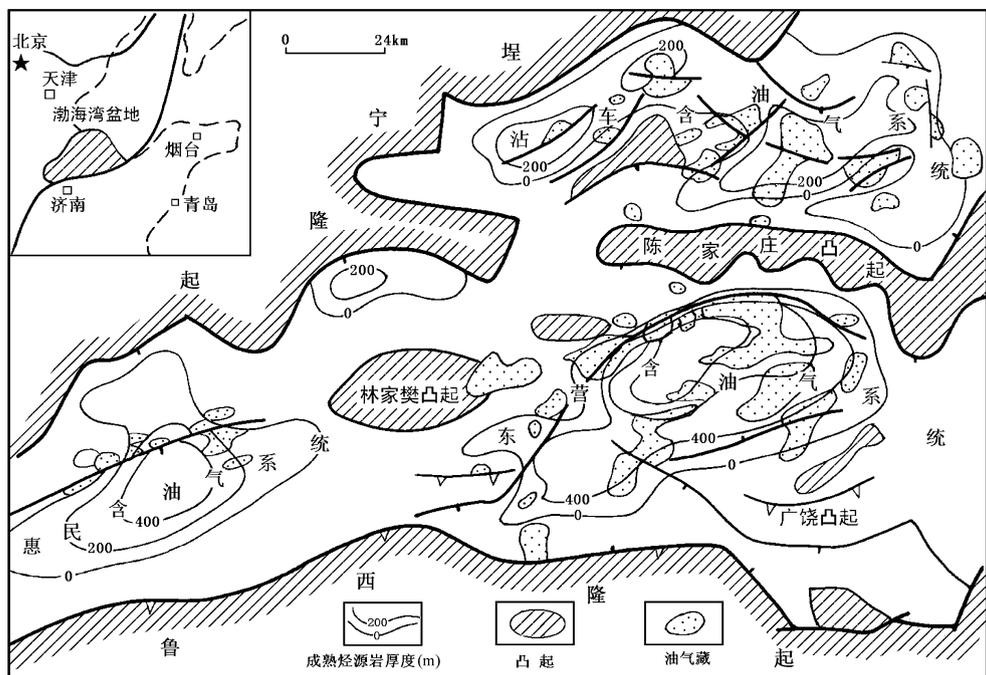


图 1-1 东营凹陷生烃中心与油气田分布关系图

在对一个新探区的基本石油地质条件与一个已知含油气区的油气分布特征进行分析研究时，我国学者很早就提出了“生储盖组合”及其空间配置关系的概念，这实际上等同于国外含油气系统划分与评价中，有关成藏地质要素的研究。而这种将石油地质条件组合起来，研究预测油气藏空间分布的思想，比西方人提出的同类概念至少要早 5~10 年。基于成油气地质条件的组合关系，中国学者很早就提出，紧邻生油凹陷的圈闭，由于有最好的要素组合关系，是油气藏形成最有利的部位；与烃源岩间互的储集体，诸如浊积砂体、水下扇砂体以及入湖三角洲前缘砂体等，在捕集油气方面，有“近水楼台”之优势，也是油气富集的有力目标。根据不同类型陆相含油气盆地生油岩与储盖组合的空间配置关系，我国学者划分出“自生自储”、“新生古储”与“下生上储”等配置类型，相应形成含油气盆地中多套含油气层系结构。

在区带 (play) 划分与评价层次，我国学者提出了“二级构造带”与“复式油气聚集”理论，这些理论观点包含了区带概念的全部思想，而且提出的时间与国外同行大体同步或略超前。

在油气成藏研究方面，我国石油地质学家很早就强调将成藏地质要素与作用过程在

三度空间的组合关系，作为石油地质研究的重点，并强调综合分析。尤其强调盆地的“五史”研究，即盆地构造发育史、沉积史、烃源岩热演化史、圈闭形成史与油气藏形成史，突出确定油气大量生成与排烃期、油气大规模运移期、圈闭大规模形成期以及油气运移方向与圈闭空间分布的配置关系。实际上，这是一种以过程恢复为主导的研究思想，强调了要在决定油气藏形成的时间段与空间范围，分析油气“宿住”的空间分布。这一思想和国外学者倡导的“关键时刻”（critical moment）与在关键时刻分析各成藏地质要素与作用过程的组合关系的看法几乎毫无二致。

应该说，中国陆相含油气盆地往往发育多断（拗）陷，多套生、储油层系，每一个凹陷如果埋藏深度适中，烃灶规模较大，有可供经济性聚集的油气生成和排出，一般都构成一个独立的油气生成、运移和聚集体系。如果不是“文革”近 20 年的干扰，含油气系统的概念不仅最早会由中国学者提出，而且在世界学术文库中，也应该是中国学者保持最早的记录。

含油气系统相关概念见诸于公开出版的文献，是在 1972 年由 W.G. Dow 在丹佛召开的 AAPG 年会上提出，两年后在 AAPG 杂志上发表，主要是为预测美国威利斯顿盆地（Williston Basin）三种主要类型的石油分布。W.G. Dow 基于油-油和油-源对比关系与区域性蒸发岩盖层的阻隔，划分出三套主要的生油岩与储集体的组合系统，作为威利斯顿盆地未来勘探发现的重点。W.G. Dow 最初的概念是石油系统（oil system），强调了石油聚集依生烃灶不同，而有“族群”性。实际上，基于生烃灶的圈定及其与已经聚集油气藏之间的关系，更能有效地预测油气的分布。W.G. Dow 的石油系统也强调了商业性石油聚集对烃源岩质量与热成熟度的要求。强调对系统内可供油气垂向与侧向运移的通道与阻止油气运移的封闭条件的成图描述，指出在油气运移主要方向上的区带，发现油气的机会最大。

自从 W.G. Dow 的“石油系统”概念提出以后，随着地球化学分析手段的进步以及对盆地结构和盆地动力学认识的提高，这个概念逐渐为石油地质学家和油气勘探家所接受。

A. Perrodon (1983, 1992) 首先使用了“含油气系统”（petroleum system）这个术语。从用词的选择上，已经把 W.G. Dow 限定讨论的石油系统，扩展为油气系统。因为“petroleum”一词在英文原意上，是泛指包含油和气的各种烃类物质。A. Perrodon 的原始定义认为，生油层、储集层和盖层在地下往往以组合方式出现，具有一定的空间范围，控制“同族”油气藏的形成和分布，最好以含油气系统的概念来描述。1984 年 A. Perrodon 在和 P. Masse 共同发表的文章中指出，一个油气区是各种成藏地质事件在三度空间和时间域有机配置的最终结果，构成了含油气系统。在该系统中，构造旋回发展、流体运动状态、岩性组合与几何要素等对于“同族”油气藏形成起着同等重要的作用。

如果说 W.G. Dow 是为了更好地预测威利斯顿盆地三类石油的分布而提出了“石油系统”的概念，那么 A. Perrodon “含油气系统”的概念在继承 W.G. Dow 的思想的基础上，将石油系统扩展为含油气系统，并突出强调了以下三方面的含义：①强调一个含油气系统内部诸多成藏地质事件的空间组合与时间匹配在一组油气藏形成中的作用；②强调含油气系统具有地理和空间范围，由系统的要素和作用过程有机配置所形成的油

气田群构成油气区 (petroleum province); ③强调含油气系统所赖以存在的盆地地动力学演化及其中发生的沉积作用过程, 对系统的油气资源潜力和油气聚集丰度有重要影响。

F.F. Meissner 等 1984 年提出了生油机器 (hydrocarbon machine) 的概念。他将油气生成—运移—聚集构成的系统比作一部“生油的机器”, 认为油气从生烃灶生成后, 经过运移到聚集的过程构成一个有机的整体。很明显, 他的概念与 W.G. Dow 和 A. Perrodon 提出的“石油系统”和“含油气系统”概念的内涵是相似的, 并且第一次将烃源岩、储集层、盖层和圈闭作为油气成藏的基本要素 (essential elements) 来表述; 强调生烃灶作为“生油机器”的核心, 在系统形成中居于主导地位, 以及生烃灶、油气运移输导层与圈闭在三度空间有机联系对油气聚集发生的重要性, 实际上是强调生烃、运移与聚集成藏的过程 (processes) 在含油气系统形成中的重要作用。

G. Demaison 1984 年提出了“生油盆地” (generative basin) 及“生烃灶” (source kitchen) 的概念, 指出生油盆地是指包含一个或数个含有成熟烃源岩的生烃凹陷的盆地。这些生烃凹陷称为“生烃灶”, 包含成熟度、有机相与有机质丰度的含义, 可由深钻井和地震资料来确定。G. Demaison 还强调了生烃灶的质量、规模与生供烃有效性在油气聚集区带 (play) 形成中的重要地位, 指出邻近生烃凹陷中心的构造带往往最易接受油气聚集, 有最大的油气藏。

G. Ulmishek 在 1986 年使用了术语“独立含油气系统” (independent petroliferous system, 简称 IPS), 用于油气资源评价地层单元选择与划分的依据, 认为在一个“独立含油气系统”内, 烃源岩、储层、盖层与圈闭条件控制了一个地区油气聚集的丰度, 油气的生成、聚集和保存过程基本上是独立的, 与周围不发生流体交换, 并在侧向和垂向上被区域性的遮挡条件所围限, 具有一定的空间连续范围, 构成油气资源预测评价的基本单元。

G. Ulmishek 的定义强调了成藏地质要素质量在油气聚集与资源丰度方面的重要性; 强调了油气生成、运移和聚集与保持过程作为一个系统, 内部流体交换、运动与聚集的独立性; 强调了含油气系统空间边界的封闭性。尤为可贵的是, G. Ulmishek 把含油气系统划分与油气资源预测评价单元联系起来, 第一次比较明确无误地阐述了含油气系统研究与划分的目的和意义。

L.B. Magoon 1987 年使用了“要素” (elements) 一词, 用于表述烃源岩、油气运移路径、储集岩、盖层和圈闭, 并强调上述要素应在一定的时、空范围内分布, 并有机联系在一起, 决定油气藏的形成和分布。他指出, 含油气系统可由油—源对比来确定, 而且基于系统的确定性可以将含油气系统进行分级评价; 建议以主力烃源岩和主要的储集层, 结合系统的确定性对含油气系统进行综合命名。

1994 年美国石油地质家协会 (AAPG) 出版了 L.B. Magoon 和 W.G. Dow 主编的《含油气系统——从源岩到圈闭》一书 (AAPG Memoir 60), 可以说该书是自 1974 年 W.G. Dow 首次在公开发表的刊物上论述“石油系统”概念以来, 对含油气系统的定义、内涵、基本特征与评价方法等, 论述最系统的一部文集。

在上述文集中, L.B. Magoon 将含油气系统定义为由有效生烃灶及其形成的油气藏构成的天然流体系统, 包括生烃灶与其形成的所有油气藏以及形成这些油气藏所必不可少的一切地质要素与作用过程。“油气”是指由热成熟和生化作用形成的一切油气聚集,

包括常规油气藏和天然气水合物、致密气藏、页岩和煤层裂缝气藏，也包括凝析油和沥青等；“系统”则是指导致油气聚集发生的要素与作用过程在三度空间的有机联系；“基本要素”包括有效烃源岩、储集岩、盖层与上覆层；“作用过程”则是指油气生成—运移—聚集过程和圈闭的形成过程。

L.B. Magoon 把含油气系统作为介于盆地 (basin) 与区带 (play) 之间的一个评价单元，并阐述了盆地、含油气系统、区带与圈闭四级评价研究的侧重点。他指出，“盆地研究”主要强调构造作用与盆地沉降和相关沉积充填的关系，而对其中有无油气藏的形成则关注较弱；“含油气系统”则更强调生烃灶与相关油气聚集关系的建立，突出从生烃灶确定，经过程研究，对油气藏空间分布位置的预测作用；“区带”和“圈闭”则更注重应用现有技术对其勘探现实性与经济性的评价。

L.B. Magoon 就含油气系统的形成、展布范围与评价，首次在文集中提出了“关键时刻” (critical moment)、 “空间范围” (geographic extent) 与“四图一表” (four charts and one table) 的概念和评价要求，使含油气系统的评价研究更加程序化和有序化，侧重点更突出。L.B. Magoon 还强调了“上覆层” (overburden rock) 在含油气系统形成中的作用。“关键时刻”是指生烃灶大量生烃与油气在主要圈闭中发生大规模聚集的时间，在该时间界面上就成藏地质要素与作用过程所做的图件，可以客观地反映油气生成、运移和聚集的关系，一般可在埋藏史曲线上，通过对生烃门限和“液态窗”的确定来标示 (图 1-2)。含油气系统的“空间范围”是指在油气大量生烃和成藏的时间，由生烃灶及其中所生成油气发生运移和聚集过程所涉及的最大空间范围 (图 1-3)。

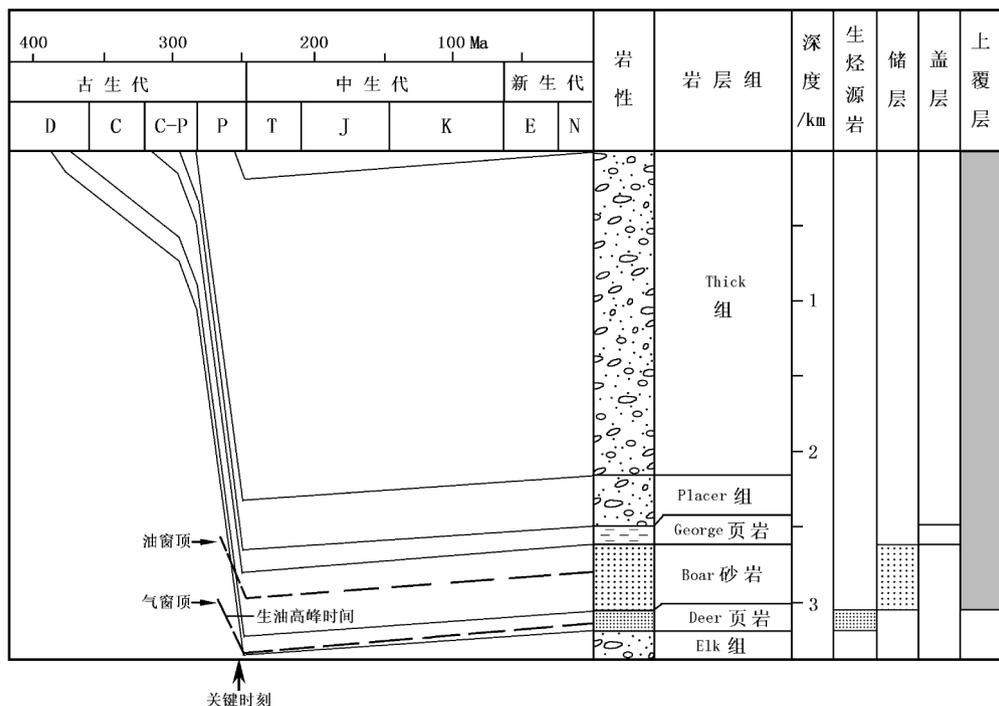


图 1-2 用于反映“关键时刻” (250 Ma) 的埋藏史曲线图

图中展示了一个假设的 Deer-Boar (已知) 含油气系统的生烃门限 (240~260 Ma)

关键时刻：250Ma

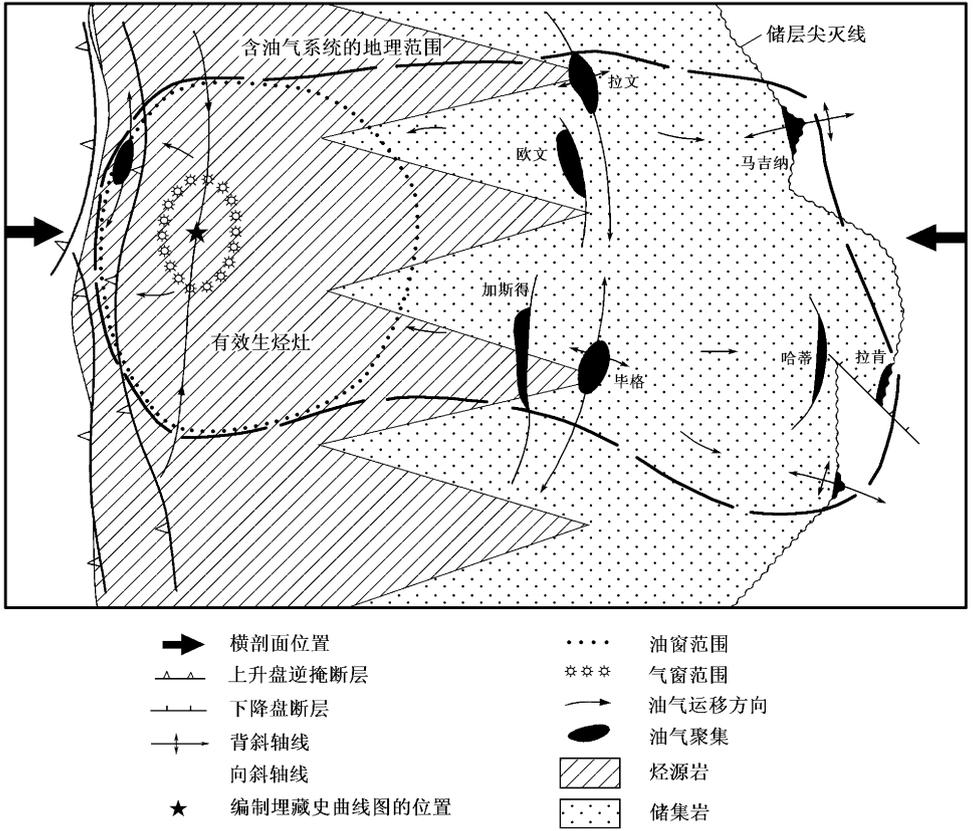


图 1-3 一个假想含油气系统在关键时刻的平面分布图

有效生烃灶范围是基于“液态窗”分布圈定的

(据 Magoon and Dow, 1994)

L.B. Magoon 谈到了含油气系统应该存在空间边界，但并未具体讨论边界的内涵是什么。从地层学的角度讲，含油气系统的空间范围还包括一些基本的地质要素，如生烃源岩层系、储集层、盖层与上覆层以及它们在关键时刻的空间组合关系。“上覆层”是指烃源岩之上的所有沉积层系的总和，实际上是盆地继承发育或保持程度的结果，对烃源岩热熟化和有效排烃和成藏是至关重要的因素。

为了对含油气系统的空间分布进行描述，L.B. Magoon 和 W.G. Dow 提出了“四图一表”。“四图”是指反映“关键时刻”的埋藏史曲线图（见图 1-2）、关键时刻含油气系统平面分布图（见图 1-3）、关键时刻含油气系统空间展布剖面图（图 1-4）与油气成藏要素与作用过程关系图（图 1-5）。上述四图突出了在关键时刻成图的思想，强调了地质要素与作用过程有机联系的研究以及含油气系统空间范围的表述。“一表”即是指已经发现的由一个已知生烃灶所形成的“同族”油气藏及规模统计表（表 1-1），它代表了含油气系统存在的现实性及勘探发现历程。

从 1974 年 W.G. Dow 在公开刊物上论述“石油系统”到 1994 年 L.B. Magoon 和 W.G. Dow 出版含油气系统文集，可以看出，含油气系统的概念、内涵及研究目的与

关键时刻：250 Ma

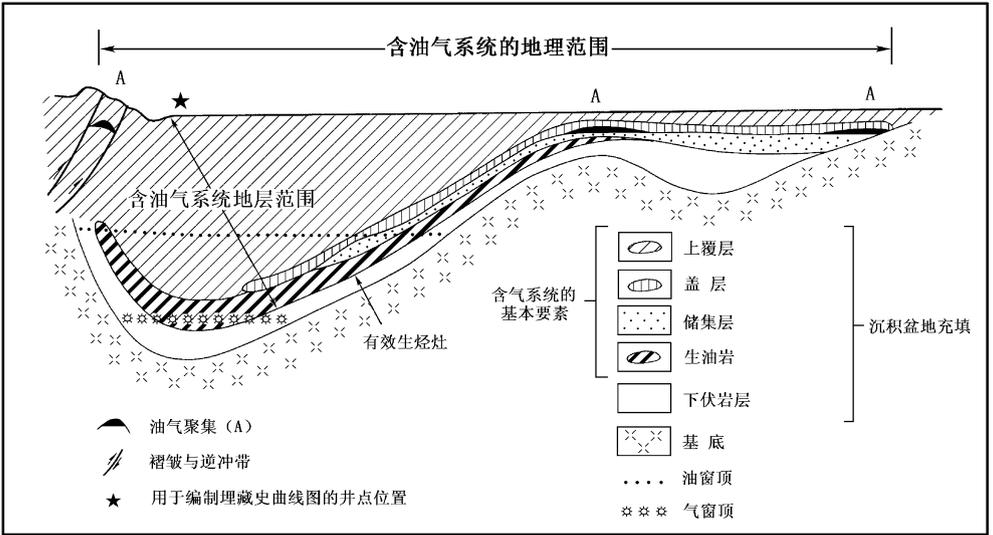


图 1-4 反映含油气系统空间范围的理想剖面图

(据 Magoon and Dow, 1994)

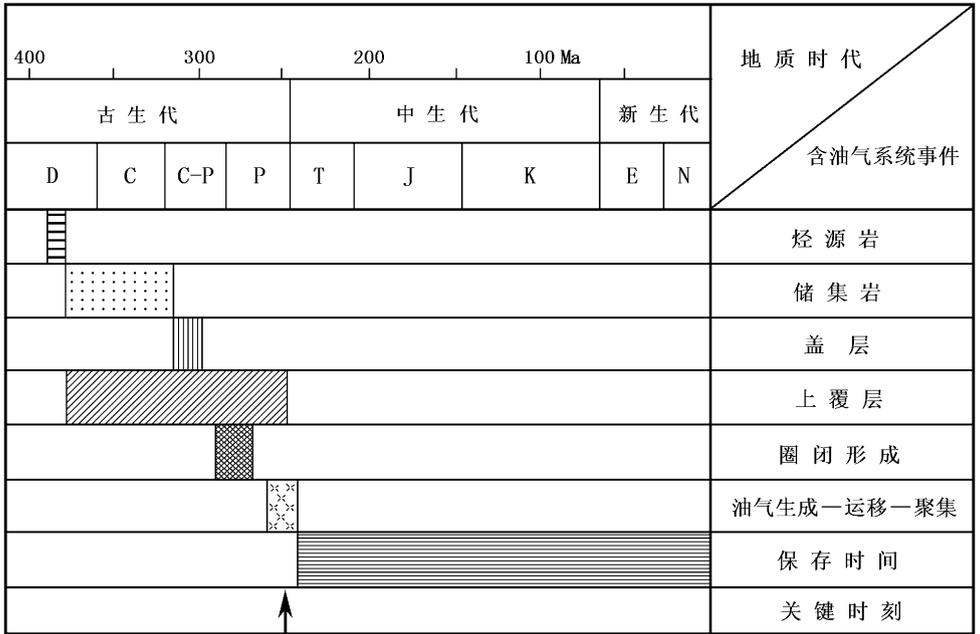


图 1-5 含油气系统成藏事件图

(据 Magoon and Dow, 1994)

表 1-1 由有效烃灶生成的油气田和油气聚集一览表

(据 Magoon and Dow, 1994)

油田名称	发现日期	储集岩	原油性质 (°API)	累计原油生产 /百万桶	剩余储量 /百万桶
Big Oil	1954 年	Boar Ss*	32	310	90
Raven	1956 年	Boar Ss	31	120	12
Owens	1959 年	Boar Ss	33	110	19
Just	1966 年	Boar Ss	34	160	36
Hardy	1989 年	Boar Ss	29	85	89
Lucky	1990 年	Boar Ss	15	5	70
Marginal	1990 年	Boar Ss	18	12	65
Teapot	1992 年	Boar Ss	21	9	34

\* Ss=砂岩。

方法都在完善、进步和发展之中。纵观这一概念的沿革,可以清晰地看到含油气系统的内涵至少包含了以下几个方面:①强调生烃灶质量与生烃有效性的重要地位,这是含油气系统形成的基础;②强调以生烃灶为核心,划分含油气系统。即一套有效的生烃层系就可以形成一个含油气系统;③强调含油气系统的独立性,即系统内部油气的生成、运移与聚集过程自成一体,与外界不存在流体的交换;④强调系统的空间范围,即在垂向上涉及一定的地层剖面、平面上具有一定的展布范围,亦即强调含油气系统形成并存在于三维地质单元内;⑤强调在决定油气藏形成的关键时刻,研究建立各成藏地质要素与作用过程的空间吻合关系和分布。关键时刻的确定主要以烃源岩大量生烃和油气成藏要素与过程存在空间吻合关系两方面来综合确定;⑥强调含油气系统划分的目的是油气资源评价的基本单元,并有效预测油气藏的空间分布。

表 1-2 含油气系统与陆相成油气理论对比表

内 容 对比方面	对象 含油气系统	陆相成油气理论
基本概念	含油气系统是一个天然流体系统。包括有效生烃灶及其形成的所有油气藏以及形成油气藏所必不可少的一切地质要素与作用过程	成油系统是由统一的油气生成、运移、聚集过程联系在一起的热源岩、储集层、盖层、圈闭等成藏要素所组成的整体。在陆相含油气盆地中,垂向上往往具有多个含油气结构层系。各层系中油气生成、运移和聚集过程既有成因联系,又各具特点,有不同的油气分布规律,构成多层系生储油与多含油气层系的特征
基本地质要素	有效烃源岩、储集层、盖层与上覆层	成熟烃源岩、储集岩、盖层与有效生储盖组合
地质作用过程	圈闭形成过程与油气生成、运移和聚集过程	“四史研究”——构造演化史、沉积发育史、烃源岩热演化史与圈闭形成史
油气藏形成	关键时刻	油气成藏要素与作用空间配置关系
基本思路	从源岩到圈闭	源控论——生油凹陷控制油气分布

上述表明，国外含油气系统的内涵与思想在很多方面都与我国学者多年来一直倡导的石油地质综合研究的核心思想是一致的或相似的。不同的是国外学者把卷入油气生成、运移和成藏这一复杂过程的各项地质要素与作用过程纳入“系统论”来表述。我国学者则将系统论和归纳、演绎的思路隐含在了系统配套的基础与综合研究之中。表1-2列出了含油气系统及相关内容研究方面的对应性与内涵的相关性，不难看出二者提法有一定差异性，而本质则是相通的。

含油气系统的概念一经在公开刊物上发表，立刻引起了中国同行的关注。1992年L.B. Magoon出版了《含油气系统研究现状和方法》(The Petroleum System-Status of Research and Methods)，该书刚一出版就被中国学者译成中文并公开出版。应该说在可以检索到的文献中，这是最早把含油气系统概念引入国内的文献。实际上很多中国学者在含油气系统的思路和概念提出之后不久，就注意到这一方法在客观预测油气资源潜力和分布方面的优越之处，并开始把这一思想和方法自觉地运用到相关领域的研究中。从“八五”开始，国家科技攻关项目已经开始资助含油气系统研究。1994年9月中国海洋石油总公司召开了“石油体系应用学术研讨会”，这是中国学者关注这一概念及其作用的第一次正式的专题讨论会。随后中国石油天然气总(集团)公司在“九五”开始立项研究中国含油气系统的基本特征与有效预测油气资源潜力和分布的方法。一批老、中、青专家群体开始投入精力，探讨这一概念的内涵、作用及其在引入国内解决中国含油气盆地，尤其是叠合含油气盆地中油气资源潜力与分布预测方面的局限性，着手开发建立有效预测中国叠合含油气盆地油气潜力与分布的方法。并在中国石油学会石油地质专业委员会内下设了“含油气系统与油气藏学组”，希望借此能聚集一批贤人志士，把含油气系统在中国的应用和发展推向深入。1996年11月在贵州安顺组织召开了第一次“中国含油气系统及其在油气勘探中的应用”学术讨论会。会议涉及含油气系统概念、分类、内涵与定位、研究内容与评价方法，也展示了这一概念引入国内的短短几年间，在我国应用研究的实例和水平，会后出版了《中国含油气系统的应用与进展》文集。这次会议对将含油气系统用于预测我国陆相和叠合盆地海相—海陆过渡相层系的油气藏形成和分布研究，起到了很好的导引和推动作用。自此以后，在国内各类相关刊物上，有关含油气系统应用研究与方法探讨的文章明显增多。1997年10月中国地质大学费琪教授等出版了《成油体系分析与模拟》一书，实际上是以1994年L.B. Magoon和W.G. Dow出版的含油气系统文集为基础，结合作者对成油体系的理解和多年研究积累的资料、成果和知识，增加了构造分析、盆地压力封存箱与盆地模拟等内容，强调了动态过程研究在成油体系划分与评价中的重要性。指出“成油体系分析的含义超出了早为人们所熟知的石油地质基本方法的简单归纳和集成，是将油气的生、储、盖、运、聚、保研究提高到一个新高度，从整体、动态、多学科交叉渗透的角度，对油气分布进行定性、定量甚至三维空间上的定位分析的新方法”。

赵文智、何登发等在“九五”期间有幸受中国石油天然气集团公司科技局委托组织攻关项目“中国含油气系统与油气分布规律研究”(项目编号970211)，比较多地关注了中国叠合盆地含油气系统的复杂性以及国外已有含油气系统的概念和研究方法，在应用到我国叠合含油气盆地油气藏形成、分布预测方面的局限性。探讨建立适合我国含油气系统特征的概念、术语与研究思路，提出有效预测叠合含油气盆地中油气资源潜力与

分布的评价方法。应该说,“九五”期间的研究成果对含油气系统概念的扩展、内涵的丰富、评价思路和方法的创新以及将这一概念和评价工具用于我国叠合含油气盆地的油气资源潜力与分布的预测、有效降低勘探风险的实现途径上,都取得了有价值的进展。

针对中国大陆多旋回构造发展,使多类型、多阶段沉积层序叠加发育,形成叠合含油气盆地的特征,赵文智等(1999, 2000, 2001a, b)提出了复合与复杂含油气系统的概念,专指在叠合含油气盆地中,由多个生烃灶、多套生烃层系在一个或数个负向地质单元内集中发育,并在随后的继承发展中,出现多期生烃、运聚成藏与调整改造的变化,从而导致多个含油气系统叠置、交叉、窜通与油气的混聚,甚至在含油气系统形成过程中还出现过已聚集油气藏的大规模散失等情况,从而使基于对简单或独立含油气系统的划分,很难客观预测各系统中的油气资源潜力与分布。这一概念的提出是对 L. B. Magoon 和 W. G. Dow 提出的简单含油气系统概念的补充、完善、深化和发展。

本书所称的复合含油气系统(composite petroleum system)是指在叠合盆地的某一或数个负向单元内,多套烃源岩集中发育,并在演化发展的全过程中出现多期生烃、运聚成藏与调整改造的变化,导致多个含油气系统叠置、交叉与窜通,使含油气系统的划分与评价更为复杂。其内涵至少包括以下几个方面:①组成复合含油气系统的生烃灶至少有一个,而其中的烃源岩层系至少是两套以上,且在平面上重叠或大部分交叉;②两套以上的烃源岩层系或两个以上的生烃灶中的油气生成和大规模运移和聚集允许一期出现,但多数往往是多期次的,并共享部分石油地质要素,如同一套区域性盖层,同一个运移输导网络,统一的上覆层以及同一个油气聚集区带等;③每一个生烃层系都允许有自己独立的油气聚集,但相互叠置或交叉重叠的烃源岩所形成的油气间又有一部分发生了窜通,如油气通过不整合面或断裂带发生运移,在两个生烃灶之间的隆起部位、斜坡部位或生烃灶侧缘的断裂背斜带上发生混合聚集,使两个或两个以上的含油气系统既有独立性,又很难独立分开;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生烃灶大规模生烃和排烃与成藏的时间,也包括已经形成的油气藏大规模被破坏或被调整到新圈闭中再聚集的时间;⑤复合含油气系统的边界应该在各相对独立系统边界确定的基础上,根据各系统叠置、交叉与油气窜通涉及的空间范围,取其最大外边界。系统内油气资源总量的预测应考虑各生烃灶的所有贡献,各区带和目标含油气把握性与油气潜力丰度的预测,则应在各系统运聚单元划分与各生烃灶油气运移流向和总量空间分配以及油气在某些区带上窜通数量预测分析的基础上,分级评价并客观划分其优劣。

本书将围绕这些成果的核心要点展开阐述和讨论,为节省篇幅,本节不作过细展开。

上述表明,含油气系统评价是有效预测油气资源潜力和客观分析确定油气藏空间分布的方法工具。蕴含了石油地质理论、富于创见性的人与勘探技术的结合,强调站在油气成藏、调整和破坏等关键时刻,对油气生成、运移与聚集全过程重建和恢复;含油气系统是一个评价单元,介于盆地评价与区带研究之间,是油气勘探战略选区的依据。自从1972年 W. G. Dow 提出“石油系统”至今,这一概念的作用始终都没有变,都是为了客观评价油气资源总量和分布,但研究的方法、内涵与对评价对象的包容性以及随着各种勘探新技术的介入,评价结论的客观性,则在不断进步和完善中。目前含油气系统

的划分与评价正在计算机技术的支持和帮助下，将过程研究的精度和速度提高，无疑会提高评价结论的准确性，使勘探家对地下油气藏现今分布位置的预测逐渐从基于有限信息的定性猜想，走向基于过程重建和成藏要素与过程在三度空间吻合关系的建立，对其把握性、丰度与价值进行更科学的预测。

## 二、含油气系统的基本内涵

自十几年前含油气系统的概念引入到国内，我国石油地质学家对这一新颖的思想给予了特别的关注。从一开始就认识到，用含油气系统的思想开展找油气工作，是将以往以静态石油地质分析转入动态分析油气成藏过程，从而有效发现油气资源的重大发展，在今后找油气勘探中的作用是深远的。短短几年间，含油气系统在中国的普及和使用，发展是相当快的。首先是对含油气系统概念的理解，认识到含油气系统是由与一套或数套有效烃源岩相联系的、由烃类运移和聚集过程所涉及的三维地质单元构成。包含有效生烃灶所形成的所有油气藏，也包括形成这些油气藏所必不可少的地质条件与过程。既然是三维地质单元，就可以通过恰当选择成图界面和内容，把这一系统有效地重现在勘探家面前，从而使寻找有利目标的勘探更加有的放矢。第二是对照含油气系统的原始概念，分析中国含油气系统的特征，感到已有的认识不能完全涵盖中国的情况，尤其是中国陆上所发育的大型叠合含油气盆地中发育的含油气系统，由于多套烃源岩在同一个凹陷中集中发育，加之早、晚不同阶段沉积的烃源岩或生储盖组合之间，还曾发生过重大的变革构造运动，使早、晚两期油气的生成、运移与聚集过程与特征等都有很大变化。突出的表现是，以烃源岩相联系的各含油气系统之间存在烃类的窜通。部分系统在其生成和保持的历史过程中还难免有烃类的损失。存在着多源混合、多关键时刻与复杂的油气成藏过程，这就使得对这类系统的划分与评价更为复杂。因而结合中国盆地的特征，对含油气系统的概念作了扩展，提出了复合含油气系统的概念，作为对 L.B. Magoon 等人原始概念的补充和完善。同时，基于叠合含油气盆地发育多生烃灶、每个生烃灶又往往有多套烃源岩层系、含油气系统的形成不仅有多个单源灶半独立的生烃和成藏发生，而且有多源、多灶与多阶段的生烃和成藏过程以及来自不同生烃层系油气的窜通、混聚、调整甚至破坏。因而叠合盆地中发育的复合与复杂含油气系统的形成，往往有多个关键时刻。多源灶油气各自独立成藏的部分与相互窜通、向某些共享的区带和目标提供油气的结果，就导致了油气资源在时空分布上的不均衡性。显然，对于存在多期生烃、运移、成藏和调整变化的含油气系统来说，很难用“从源岩到圈闭”的一次分析过程，就可以将油气藏现今分布位置准确地预测出来，必须采取“顺藤摸瓜”的思路，从生烃灶的第一次大量生烃和成藏开始，然后站在随后由多层系、多阶段生烃成藏与调整改造作用所产生的多个关键时刻决定的时间界面上，采取由早到晚、后退式分析，确定每一期来自生烃灶的油气都去了什么地方，在哪些地方有大规模的聚集，在哪些圈闭中又有持续不断的聚集过程。同时还要分析在系统形成的全过程中，如果早期聚集在后期运动中遭受破坏和调整，则要标出已经破坏的目标、油气散失量或已经聚集的油气藏发生调整以后，调整的油气都去了哪里。一言以蔽之，“顺藤摸瓜”的思路就是站在历次油气生烃、成藏与调整改造的关键时刻决定的时间界面上，通过仔细选择成图内容，把

历史上形成的并一直可保持至今的所有油气藏的位置，都能客观地预测出来。第三是认识到含油气系统研究与评价的目的，是客观评价油气资源潜力并有效指出油气聚集的现今分布。研究的结果是客观评价勘探目标含油气性的优劣，并提出具体的部署意见。这就要求基于含油气系统研究提出的一系列过程研究与系统划分、分级评价与目标预测的图件，不论是从成图内容的选择与表达方式，还是生成图件的工业化要求，都需要仔细甄选，详略搭配。否则，含油气系统研究的优越性就很难体现出来。

如前述，含油气系统的研究首先应从生烃灶的确定开始，这是含油气系统建立的基础。生烃灶的确定包括有效烃源岩的层段分布、空间范围、质量与潜力，也包括生烃历史。从中要确定出大量生、排烃关键时刻以及空间上生、排烃的范围。在主要生、排烃期确定之后，接下来就要确定已经排出的油气主要去了哪些地方。因此需要对主要烃源岩顶面古构造面貌与相关的古流体历史进行研究，以判明油气的去向，并划分运聚单元。在此基础上，在油气运聚最主要的单元内，研究输导油气的网络，判明已经运移的油气，主体沿哪些优势通道发生了运移，同时根据生、排烃期的确定，研究运聚单元内与优势运移通道相联系的各圈闭可供油气“宿住”空间的规模与变化，包括储层微观孔隙体积与圈闭容积的规模与变化。进而可以确定含油气系统的边界，并对目标含油气性与丰度进行评价（图 1-6）。从上述可以看出，含油气系统研究的核心是过程恢复，重点是“六定”：①定源。要求做到对层位、分布、质量与历史准确定位。②定期。关键时刻要准确定期，既要为生烃灶大量生烃和排烃的时间段准确标定，也要研究确定已经聚集油气再运移和受破坏的时间。否则对系统内油气潜力与分布的认识就难免存在误差，对一些目标含油气性的评价也会存在生烃不确定性。③定向。运移要准确定向，要求对不同时期发生运移的油气，不论是来自生烃灶的，还是来自自己聚集油气藏的，都能够准确判定出这些油气都去了什么地方，主要去了哪些地方。④定界。油气运聚单元要准确定界，就是对油气大规模运移期，在仔细研究决定油气流向与汇聚和发散流动状态的位能变化、流体历史与优势运移通道分布的基础上，确定各运聚单元的空间展布形态与范围，并根据汇聚流线、生烃灶为各运聚单元输送油气的条件（如生、储油层组合类型、垂向与侧向运移方式、输导层展布等）、优势运移通道网络发育程度等，对各运聚单元中油气聚集丰度给出定性的判断。⑤定量。油气资源评价要准确定量，即基于含油气系统划分与运聚单元确定，对油气资源潜力的预测，应该能够比传统的资源评价方法更客观。主要体现在两个方面，一是含油气系统的确定强调系统内所生成与聚集油气的独立性，边界是油气运移和聚集所能波及的最大范围，因此由这些条件决定的参数，对资料总量的估算会更客观；二是在运聚单元确定与划分的基础上，通过对已发现油气储量和未发现油气资源潜力的估计，可以建立生烃量、运移量与聚集量之间的关系，能更准确地确定油气资源量预测的关键参数，可以使计算结果更客观。⑥定级。最后，对勘探目标的评价要准确定级，即通过成藏要素与作用过程在三度空间组合关系的研究，以及对这种组合关系在地质历史中变化的追踪分析，应该能够更准确地对已经发现的目标（prospects）和尚未精确控制目标（leads）的含油气把握性，做出客观的评价，这是含油气系统研究与评价的目的之所在。

总之，对含油气系统研究内涵的深刻理解，是做好含油气系统研究的基础，也是创造性地使含油气系统研究深化和发展的源泉，更是含油气系统研究在指导油气勘探实践

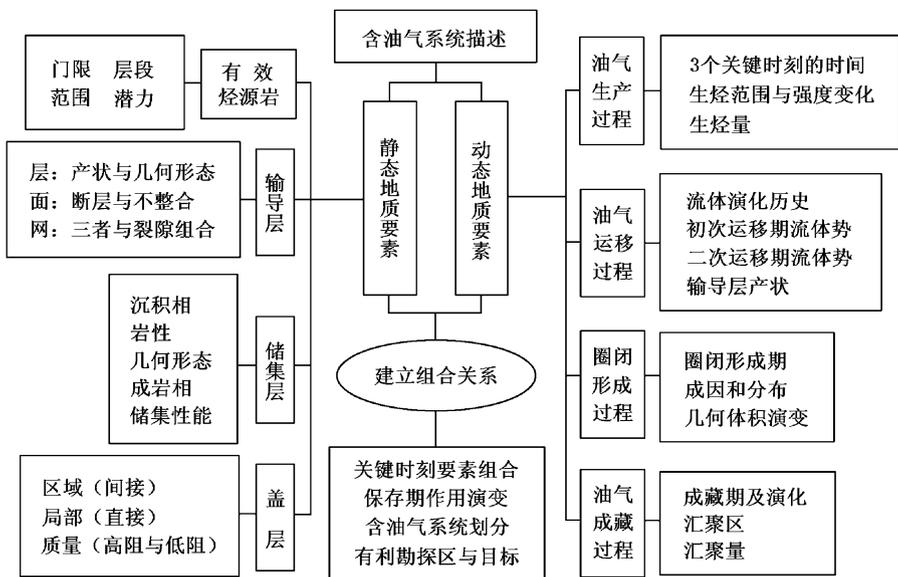


图 1-6 含油气系统的基本内涵

中能真正见到实效并显现出较以往石油地质综合研究更大优越性的前提。短短几年的研究实践表明，扎实细致的基础研究工作、强烈地指导勘探的意识，再加上在重建油气成藏全过程的实现途径与成图内容方面创造性的方法和技术，是将含油气系统研究与应用向前推进的有效途径，也代表了含油气系统研究的未来。

## 第二节 含油气系统研究中存在的问题

含油气系统 (petroleum system) 作为客观分析预测油气藏形成与分布、并有效指导油气勘探实践的一种思路和方法<sup>①</sup>，在减少风险、降低成本、提高勘探效益方面表现出越来越重要的作用。自 1972 年 W.G. Dow 提出“石油系统 (oil system)”的概念至 1994 年 L.B. Magoon 和 W.G. Dow 将“含油气系统 (petroleum system)”概念进一步完善至今，含油气系统分析与评价已成为世界上各大油公司油气勘探评价的重要内容之一。各国学者纷纷从不同的角度对含油气系统进行了颇有创意的探讨。我国通过“九五”攻关研究，在含油气系统研究方面得到进一步的发展，针对我国陆相含油气盆地多旋回发育与叠置复合发展的特点，研究人员提出了复合含油气系统的概念 (赵文智等，1999，2000，2001，2002a，b)，并就复合含油气系统研究与评价的思路和方法，提出了很有建设性的观点。通过先后两届含油气系统学术研讨会，使含油气系统研究不论从对其内涵的理解、研究的意义和作用及普及使用的范围来说，还是从使用术语、方法与定位来讲，都有了进一步的发展。含油气系统作为油气勘探的思路与方法，是介于盆地与区带 (成藏组合) 之间的含油气地质单元，研究的核心是通过过程追踪，建立油气成

<sup>①</sup> 胡见义等，1997，中国叠加复合盆地综合研究及其在油气勘探中的应用。

藏主控因素与地质作用过程在时间和空间中的组合关系，并通过运聚单元的划分与评价，能有效地指出历史上形成的和现今仍保存的油气藏的分布位置，从而能最大限度地减少勘探风险。

应该承认，由于对含油气系统的内涵、应用价值与有效研究和表述的方法及内容等，在认知程度和理解上还有很大差异，致使含油气系统评价的意义和地位尚未能充分反映和体现出来。如不及时加以提醒，含油气系统研究在我国很有可能在没有充分展示其在油气勘探中的重要作用之前就“胎死腹中”。从目前国内发表的论文与研讨会展示的研究成果看，含油气系统研究还存在以下几方面的问题：①含油气系统概念的使用还很不统一，有称含油气系统，有称成油气体系、成油系统、成油气系统，也有称油气系统。还有些在系统之下套入亚系统、子系统等等。②对研究内涵的理解还有很大差异。有些认为含油气系统研究是客观评价油气资源与有效预测油气分布的重要工具；有些则认为含油气系统研究就是石油地质综合研究，相关的研究内容都可以归入含油气系统研究；也有观点认为含油气系统研究是以过程恢复为主导的石油地质综合研究，研究的内容和侧重点都有选择性和目的性。③含油气系统的应用还存在仅限于概念与低层次套用的现象，或停留在“四图一表”的建立上，对反映油气运移、聚集与调整变化过程以及各成藏要素与过程在时、空间组合关系的研究，还没有选准有效的方法与有效的成图表达方式。④对含油气系统的评价往往在点上的深入与面上的有效预测工作还没有有机地结合在一起，如点上关键时刻的确定如何有效地推测到面上，达到对油气有效成藏分布的示踪和预测以及输导网络与运移通道的研究等，都还没有找到有效的方法与表达方式。⑤含油气系统动态模拟已经起步，并取得了一些进展，但如何做到有针对性地反映成藏要素与作用过程的组合关系，以便于更直观、动态地再现油气运移的态势与油气聚集的分布乃至变化过程，特别是针对中国复合和复杂含油气系统，不仅在模型建立、而且在数学方法与展示环节上，都还有很长一段路要走。

由此可见，如何将含油气系统研究现已取得的成果和认识，通过计算机模拟达到对油气从源岩到圈闭的复杂过程进行重现，把地下复杂的成藏事件通过在关键时刻选择恰当的内容予以成图表述，是实现含油气系统研究出现“两个重要过渡”和“两个质性飞跃”的关键。所谓“两个重要过渡”即指将含油气系统由“面向目标的描述”研究过渡到“面向过程”的重建研究；由研究“思路”过渡到实用有效的技术；所谓“两个质性飞跃”即是指实现含油气系统由“静态研究”向“动态研究”的质性飞跃，以及由手工式的与跳跃的定性分析向计算机自动化的和对过程连续动画的定量研究的飞跃。为了把含油气系统研究引向深入，有必要对其使用术语、研究流程、内涵与技术以及应用价值作系统讨论，以使人们对含油气系统评价意义、内涵、方法与产品都能有一个正确的理解和把握，从而使含油气系统研究能向纵深发展，对有效和快节奏地发现我国尚未探明的油气资源真正做出贡献。

表 1-3 列出了有关含油气系统使用术语以及本书推荐和建议使用的术语。为了便于大家的理解，表中对每一部分的含义都作了提纲挈领式的描述，其中有两方面内容值得在此加以阐述和讨论。一是油气运聚单元，这是一个在含油气系统内部存在的、决定油气聚集发生与规模的地质单元。在含油气系统原始的定义中并未涉及。然而我们注意到，在一个由生烃灶和油气运移聚集过程所圈定的含油气系统内，油气运移量与聚集量