



人类社会对油气的需求推动了油气地质学理论的发展，新理论的产生又带来油气资源的大发现。从源岩到圈闭的常规油气地质理论（White, 1885; Levorsen, 1956; Magoon and Dow, 1994）^①带来了 20 世纪 60~70 年代油气勘探大发现，尤其在后期隐蔽圈闭油气资源勘探中成效显著，但新增储量仍难以满足人类快速发展对油气资源不断增长的需求。为此，《科学》（*Science*）杂志也将寻找接替油气的新能源列为人类在 21 世纪面临的 125 个最大挑战之一。近 40 年来的页岩油气革命的突破性成功，不仅打破了经典油气地质理论的束缚，更助力美国实现能源独立，为非常规油气资源开发开辟了全新领域。

面对油气短缺困境，勘探界亟须解答三大世界性难题：为何曾被视为“勘探禁区”的区域不断发现油气资源？常规油气与非常规油气存在怎样的成因关联？地球表面还有多少潜在油气资源？为缓解油气资源压力、保障国家能源安全，21 世纪以来中国政府先后设立油气领域国家重大专项、国家重点基础研究发展计划（973 计划）项目、国家自然科学基金重大项目等，旨在突破行业困局、推动全球油气资源

^① White I C. 1885. The geology of natural gas. *Science*, 5(125): 521, 522.

Levorsen A I. 1956. Geology of petroleum. *Journal of Geology*, 64(1): 99.

Magoon L B, Dow W G. 1994. The petroleum system: From source to trap. AAPG Memoir.

发展。中国石油天然气集团公司、中国石油大学等单位的科学家和工程师承接任务期间,形成以下清晰的研究思路。第一,选定研究对象:以中国塔里木盆地、准噶尔盆地、四川盆地、鄂尔多斯盆地、渤海湾盆地、松辽盆地 6 个代表性盆地,美国阿纳达科盆地、阿巴拉契亚盆地、威利斯顿盆地、墨西哥湾西北盆地、墨西哥湾西南部盆地、美国中西部盆地、二叠盆地 7 个主要含油气盆地,以及全球 1186 个盆地中已发现的 5 万余个油气藏为重点研究对象。第二,明确研究方法:通过地质剖析、统计模拟、物理模拟、盆地模拟等多手段,揭示常规与非常规油气藏的差异性、关联性,阐明二者的联合共生机制与有序分布规律。第三,构建全油气系统理论。历经 20 余年持续攻关,逐步形成系统性理论:2014 年,贾承造等在《非常规油气地质学重要理论问题》中首次提出“全含油气系统”概念模型(贾承造等,2014)^①。2017 年,贾承造等在“Breakthrough and significance of unconventional oil and gas to classical petroleum geology theory”一文中明确提出了“全油气系统”初始概念模型,认为未来的油气地质研究需涵盖长距离运移的常规油气、短距离运移的致密油气及微距离运移的源内页岩油气(Jia, 2017)^②;2021 年,贾承造、庞雄奇、宋岩联合在《论非常规油气成藏机理:油气自封闭作用与分子间作用力》一文中,重点剖析了非常规与常规油气成藏的核心差异,提出了非常规油气自封闭成藏新认识(贾承造等,2021)^③。2023 年,贾承造、庞雄奇、宋岩联合在“Whole petroleum system and ordered distribution pattern of conventional and unconventional oil and gas reservoirs”论文中全面系统地提出了全油气系统科学概念,建立了常规与非常规油气藏有序分布模式(Jia et al., 2023)^④;2024 年,贾承造、庞雄奇、宋岩联合在“Basic principles of the whole petroleum system”论文中揭示了全油气系统成藏动力机制,进一步完善了全油气系统等概念的内涵与表述(Jia et al., 2024)^⑤。全油气系统理论围绕“油气成藏全要素、形成演化全过程、资源分布全系列、预测评价全方位”展开,核心

① 贾承造,郑民,张永峰. 2014. 非常规油气地质学重要理论问题. 石油学报, 35(1): 1-10。

② Jia C Z. 2017. Breakthrough and significance of unconventional oil and gas to classical petroleum geology theory. *Petroleum Exploration and Development*, 44(1): 1-11。

③ 贾承造,庞雄奇,宋岩. 2021. 论非常规油气成藏机理: 油气自封闭作用与分子间作用力. 石油勘探与开发, 48(3): 437-452。

④ Jia C Z, Pang X Q, Song Y. 2023. Whole petroleum system and ordered distribution pattern of conventional and unconventional oil and gas reservoirs. *Petroleum Science*, 20(1): 1-19。

⑤ Jia C Z, Pang X Q, Song Y. 2024. Basic principles of the whole petroleum system. *Petroleum Exploration and Development*, 51(4): 780-794。

内涵聚焦三方面：一是突破经典理论束缚，提出全油气系统科学概念并明确其结构特征，打破“从源岩到圈闭”的传统认知，实现常规与非常规油气地质理论的统一；二是揭示常规和非常规油气藏联合共生机制，建立有序分布模式，从动力学原理预测自然界存在 3 类 15 种 49 样油气藏，为各类油气资源勘探提供科学依据；三是识别出碎屑岩层系、碳酸盐岩层系、含煤层系、近地表层系 4 类常见全油气系统，详细阐明了它们的富油气规律差异，搭建理论与实践的桥梁，明确潜在油气资源高效勘探的发展方向与领域。围绕全油气系统理论，国际知名出版商 Springer 与科学出版社（Science Press）联合出版首部基于全油气系统理论的油气资源预测与评价英文专著；已发表 3 篇全国百篇优秀论文，10 篇 ESI 高被引论文，18 篇 F5000 高被引论文。理论已被推广至国内外 9 个盆地 15 个探区，指导新疆准噶尔盆地发现 3 个万亿立方米级资源新领域，且均经钻探证实。全油气系统理论入选“全国油气勘探开发十大标志性成果”；中国石油学会、中国地质学会等先后举办全油气系统学术研讨会并出版论文专辑，科技部更将其列入国家“十五五”重大专项攻关指南。

学术界与产业界对全油气系统理论的高度关注，源于两方面共识：一方面，该理论的学术思想与技术成果有望突破经典油气地质理论束缚，开拓油气勘探新领域；另一方面，各方也意识到全油气系统理论仍需进一步修正与完善。这份关切既是鼓励也是期许，推动我们汇集前期论文核心观点与最新研究成果，组织出版《全油气系统理论》专著——书中将详细阐述理论的起源、事实依据、核心内涵及在潜在油气资源预测中的应用价值。需强调的是，全油气系统理论目前仍是框架性体系，我们期待更多学者参与进来，共同填充、完善、发展这一理论，助力我国油气地质研究实现从“跟踪国外”到“引领全球”的历史性跨越。



中国科学院院士

2026 年 1 月



前言

随着社会对油气需求量增大，油气地质理论得到快速发展。Magoon 和 Dow (1994)^① 提出了“含油气系统”理论，阐述了油气在浮力主导下自源岩运移至圈闭聚集成常规油气藏的动力机制与分布规律，推动了 20 世纪 60~70 年代构造类油气资源的大发现，以及后续隐蔽类油气资源的勘探突破。然而，该理论难以有效指导非浮力主导下形成的非常规油气资源勘探。另外，美国页岩油气资源开发的成功经验为源内页岩油气及近源致密油气资源的勘探开发提供了重要借鉴，却同样难以适用于常规油气资源开发。本书旨在揭示并系统阐述一套或多套相互关联的源岩层系在其形成演化过程中，受多种动力作用控制所形成的常规与非常规油气资源的成藏机制与分布规律，其中包括源岩所生油气在浮力主导下长距离运移形成常规油气藏、在非浮力主导下短距离运移形成致密油气藏、源内微距离运移形成页岩油气藏或煤层油气藏，以及多种动力复合作用下形成各类复合油气藏。全油气系统理论是中国石油勘探开发研究院和中国石油大学等单位的科学家历经多年持续攻关所取得的重大理论创新。本书的研究工作得到了油气领域国家重大专项、国家重点基础科学研究计划（973）项目、中国石油重大应用基础理论研究项目等系列课题的长期支持，尤其是中国石油“十四五”重大科

^① Magoon L B, Dow W G. 1994. The petroleum system: From source to trap. AAPG Memoir。

技项目“全油气系统理论与非常规油气成藏机理”(编号:2021DJ0101)的资助,主要研究人员有:贾承造、庞雄奇、宋岩、姜福杰、姜林、赵文、庞宏、胡涛、陈君青、陈迪等以及一大批硕士生和博士生。

全油气系统理论的核心内涵可概括为三个要点。一是创建了全油气系统科学概念并确定了其结构特征,突破了从源岩到圈闭的含油气系统概念束缚,实现了常规和非常规油气地质理论的统一;二是发现了油气自封闭成藏规律,从动力机制上揭示了多种油气藏联合共生机制并建立了常规和非常规油气藏有序分布模式,预测自然界可形成3类15种49样油气藏,为探寻不同类别油气资源提供了科学依据;三是发现了碎屑岩层系、碳酸盐岩层系、含煤层系以及近地表层系四类常见的全油气系统,揭示了它们富油气规律的差异性,为高效勘探开发相关资源指明了方向和领域。本书围绕上述三个核心内涵展开,共分为七章:第一章为绪论,系统梳理油气地质理论发展历程与突破性进展,分析非常规油气勘探对传统理论的挑战,阐述全油气系统理论的提出背景及其重大意义。第二章为全油气系统概念与研究思路,阐释全油气系统基本概念,明确其研究内容、研究思路与方法。第三章为全油气系统的结构特征,主要涉及全油气系统成藏的三个动力边界、三个动力场、三种原始烃量、三种储集岩体、三种油气藏类型,以及全油气系统分布的边界范围及其划分依据等。第四章为全油气系统内油气藏有序分布模式,主要涉及全油气系统油气藏有序分布基本概念、基本模式,以及三个特殊模式:包括准噶尔盆地风城组碎屑岩层系内页岩油气与致密油气彼此分离的特殊模式、鄂尔多斯盆地长7段油气藏类型上下双向有序分布的特殊模式、松辽盆地白垩系碎屑岩层系油气藏侧向有序分布的特殊模式以及可能存在的其他形式的特殊模式。第五章为全油气系统成藏动力机制,主要涉及全油气系统成藏动力类型与定量表征、非常规油气自封闭成藏与差异性表征、烃源岩排烃动力及其成藏机制与贡献量评价、多动力连续成藏机制与基本模式、动力场成藏机制与模式、成藏动力学成因分类。第六章为全油气系统的基本类型与富油气规律,主要涉及全油气系统分类、碎屑岩层系(自源)全油气系统富油气规律、碳酸盐岩层系(自源)全油气系统富油气规律、含煤层系(自源)全油气系统富油气规律、近地表特殊层系(多源复合)全油气系统富油气规律、复杂叠合盆地(多源复合)全油气系统富油气规律。第七章为全油气系统理论的实际应用,内容主要涉及研发新一代盆地模拟系统、预测常规和非常规油气藏形成分布、联合定量评价三类三级油气资源量、预测评价常规和非常规油气藏最大埋深、定量评价天然气水合物资

源潜力。

本书由贾承造院士、庞雄奇教授和宋岩教授整体构思拟定提纲，并组织青年教师和研究生集体撰写。其中，胡耀、张思佳、林浩等重点负责第一章和第五章；赵振丞、谢龙豪、林昊等重点负责第二章；李才俊、陈雨萱、张婷、沈彬等重点负责第三章和第七章；徐帜、崔新璇、张子英等重点负责第四章和第六章。最终书稿由贾承造院士审查、修正和定稿。中国石油大学（北京）油气成藏研究团队的诸多研究生在文稿校对、图表制作等方面提供了大力帮助和支持。此外，在相关论文发表或相关报告撰写过程中，作者得到诸多同仁的鼓励和建议，在此一并致谢。我们期待本书的出版能够继续得到学界同仁的关注、批评与指正。相信在大家的共同努力下，全油气系统理论将不断深化与发展，引领全球油气地质研究迈入一个全新的发展阶段。

作 者

2025 年 12 月





目

录

序

前言

第一章 绪论	001
第一节 油气地质理论发展历程与突破性进展	002
一、浮力成藏理论及其进展	002
二、圈闭成藏理论及其进展	002
三、源控油气成藏理论及其进展	003
四、油气系统理论及其进展	004
第二节 非常规油气的发现对常规地质理论的突破	012
一、对油气成藏动力的突破	012
二、对油气聚集条件的突破	013
三、对油气储集条件的突破	013
四、对油气保存条件的突破	014
第三节 油气地质理论发展面临的重大挑战	014
一、常规油气成藏理论不能有效阐述非常规油气成藏特征	014
二、常规油气勘探方法不能有效指导非常规油气资源勘探	015
三、常规油气预测技术不能有效预测非常规油气资源分布	016
第四节 全油气系统理论的提出及其重大意义	018
一、全油气系统理论的提出	018
二、全油气系统理论核心内涵及重大意义	021
三、全油气系统理论未来发展前景展望	023
参考文献	025

第二章 全油气系统概念与研究思路	029
第一节 全油气系统基本概念	030
一、提出全油气系统概念的原因	030
二、全油气系统概念多种表述方法	032
三、全油气系统概念的基本内涵	033
第二节 全油气系统研究内容	035
一、常规和非常规油气藏之间的差异性	035
二、常规和非常规油气藏之间的关联性	043
三、常规和非常规油气藏联合共生机制	049
四、常规和非常规油气藏联合分布规律	051
五、常规和非常规油气藏联合预测方法	051
第三节 全油气系统研究思路	052
一、全油气系统地质要素研究	053
二、全油气系统要素动态演化过程和关联作用研究	058
三、全油气系统油气、油气藏、油气资源分布规律研究	061
参考文献	063
第三章 全油气系统的结构特征	073
第一节 全油气系统成藏的三个动力边界	074
一、浮力成藏下限	074
二、油气成藏底限	085
三、源岩供烃底限	100
第二节 全油气系统成藏的三个动力场	109
一、自由动力场及其控藏规律	110
二、局限动力场及其控藏规律	111
三、束缚动力场及其控藏规律	112
第三节 全油气系统成藏的三种原始烃量	113
一、原始烃量的评价原理	114
二、三种原始烃量的评价方法	117
第四节 全油气系统成藏的三种储集岩体	120
一、常规储集岩体与判识标准	120

二、致密储集岩体与判识标准	122
三、页岩储集岩体与判识标准	124
第五节 全油气系统赋存的三种油气藏	126
一、常规油气藏及其基本特征	127
二、致密油气藏及其基本特征	128
三、页岩油气藏及其基本特征	129
第六节 全油气系统分布的边界范围	131
一、平面分布范围及其判别	131
二、纵向分布范围及其判别	132
三、史期分布范围及其判别	133
参考文献	134
第四章 全油气系统内油气藏有序分布模式	139
第一节 油气藏有序分布的基本概念	140
一、产生有序分布概念的缘由	140
二、不同学者对有序分布特征的表述	143
三、有序分布的基本概念与内涵	146
第二节 油气藏有序分布的基本模式	149
一、有序分布基本模式表述	149
二、有序分布基本模式内涵	154
三、有序分布模式的研究意义	162
第三节 油气藏有序分布的特殊模式	165
一、特殊模式的概念内涵	165
二、准噶尔盆地风城组页岩油气与致密油气彼此分离的 特殊模式	167
三、鄂尔多斯盆地长 7 段油气藏类型上下双向有序分布的 特殊模式	169
四、松辽盆地白垩系油气藏类型侧向有序分布的特殊模式	169
五、可能存在的其他形式的特殊模式	170
参考文献	172

第五章 全油气系统成藏动力机制	177
第一节 油气成藏的动力类型与定量表征	178
一、油气成藏的动力类型及其定量判别	178
二、油气成藏动力贡献量的定量表征方法	179
三、渤海湾盆地应用研究实例与可靠性检验	180
第二节 非常规油气自封闭成藏的动力类型与差异性表征	190
一、非常规油气自封闭成藏机制与分子间作用力	191
二、非常规油气自封闭成藏的动力类型与成藏模式	195
三、非常规油气成藏过程中几种自封闭作用的定量表征	205
第三节 烃源岩排烃动力的成藏机制与贡献量评价	223
一、烃源岩生排烃的动力类型	223
二、烃源岩生排烃动力定量表征	225
三、烃源岩生排烃动力成藏贡献量评价	229
第四节 多动力连续成藏机制与演化模式	234
一、动态连续成藏模式	234
二、叠复连续油气藏形成的动力学机制	236
三、叠复连续油气藏成因机制与主控因素	243
第五节 油气动力场成藏机制与模式	251
一、油气动力场的基本概念	251
二、油气动力场成藏差异性比较	251
三、不同动力场联合成藏基本模式	252
四、不同动力场常规和非常规油气藏联合分布预测	255
第六节 油气藏动力学成因分类方案	260
一、统一成因分类必要性	260
二、统一成因分类方法原理	261
参考文献	267
第六章 全油气系统的基本类型与富油气规律	273
第一节 全油气系统分类	274
一、全油气系统分类的必要性	274
二、全油气系统分类的基本原则	274

三、全油气系统分类的初步方案	275
第二节 碎屑岩层系（自源）全油气系统	278
一、碎屑岩层系全油气系统基本特征	278
二、碎屑岩层系全油气系统富集油气规律	279
三、碎屑岩层系全油气系统资源深化发展方向	281
第三节 碳酸盐岩层系（自源）全油气系统	283
一、碳酸盐岩层系全油气系统基本特征	283
二、碳酸盐岩层系全油气系统富集油气规律	284
三、碳酸盐岩层系全油气系统油气资源深化发展方向	287
第四节 含煤层系（自源）全油气系统	289
一、含煤层系全油气系统基本特征	289
二、含煤层系全油气系统富集油气规律	291
三、含煤层系全油气系统油气资源深化发展方向和领域	293
第五节 近地表特殊层系（多源复合）全油气系统	295
一、近地表特殊层系全油气系统基本特征	295
二、近地表特殊层系全油气系统油气富集规律	297
三、近地表特殊层系全油气系统油气资源深化发展方向 和领域	298
第六节 复杂叠合盆地（多源复合）全油气系统	299
一、复杂叠合盆地全油气系统基本概念	299
二、复杂叠合盆地全油气系统成藏机制与过程特征	300
三、复杂叠合盆地全油气系统成藏类型与分布特征	306
参考文献	312
第七章 全油气系统理论的实际应用	317
第一节 研发新一代盆地模拟系统	318
一、盆地模拟评价油气资源所面临的挑战以及应对策略	318
二、全油气系统理论评价油气资源的方法原理与模式	324
三、全油气系统理论用于盆地模拟和资源评价的关键技术	329
四、基于全油气系统理论研发盆地模拟系统的技术思路	333
五、基于全油气系统理论研发盆地模拟系统的构想与意义	334

第二节 预测常规和非常规油气藏形成分布	336
一、盆地模拟在评价油气资源中面临的挑战	337
二、全油气系统理论用于盆地模拟研究的技术流程	340
三、全油气系统理论评价油气资源的盆地模拟关键技术	341
第三节 预测评价常规和非常规油气藏最大埋深	355
一、基于全油气系统理论预测油气藏最大埋深的方法	355
二、基于全油气系统理论预测油气藏最大埋深的技术流程	356
三、基于全油气系统理论预测油气藏最大埋深的结果	357
四、基于全油气系统理论预测油气藏最大埋深的地质意义	360
第四节 联合定量评价三类三级油气资源量	365
一、全油气系统三类三级资源评价方法与流程	365
二、全油气系统三类三级资源评价结果	372
第五节 定量评价天然气水合物资源潜力	378
一、基于全油气系统理论评价天然气水合物资源潜力的 方法原理	379
二、基于全油气系统理论的全球天然气水合物资源量 评价结果	386
三、基于全油气系统理论预测评价天然气水合物资源 潜力的意义	392
参考文献	393



第一章

绪论



第一节 油气地质理论发展历程与突破性进展

一、浮力成藏理论及其进展

基于地下油气的运移、富集和成藏受浮力作用控制的认识，美国学者 White（1885）系统提出了浮力成藏理论；加拿大地质调查局局长 Logan（1846）发现油苗沿背斜分布的现象，最早把背斜概念引入到石油勘探中；加拿大地质调查局 Hunt（1863）初步提出背斜理论并明确提出背斜是油气聚集的主要场所，他指出：由于石油比水轻，聚集在背斜的顶部，可以期望沿着背斜或褶皱线钻井发现石油，并认识到烃源岩、背斜构造、裂缝性储层和储层上下的不渗透地层是石油聚集形成的基本条件，该理论基础是油气在饱含水的地层中向上倾方向运移并受浮力作用的控制。1882 年，美国宾夕法尼亚州地质调查局的 White 首次按背斜理论布井成功，并于 1885 年在 *Science* 杂志上发表“The geology of natural gas”一文。浮力成藏理论在指导常规油气勘探开发过程中发挥着重要作用（Schowiter, 1979; Dembicki and Anderson, 1989），但随着石油勘探的发展，越来越多的地质现象已无法用该理论合理解释，因此人们又开始从其他方面寻找对油气资源形成和分布规律的认识。

二、圈闭成藏理论及其进展

油气藏在地下的形成与富集受圈闭构造的控制。Orton（1889）首次将“圈闭”这一术语应用于油气聚集：油气可能聚集在褶皱或拱的顶部，这些褶皱或拱是沿着其通向高地的路径发现的，但他并未给出圈闭的具体定义。McCollough（1934）提出“圈闭学说”，详细描述了美国加利福尼亚各大含油气盆地的基本构造特征并讨论了圈闭构造对油气聚集的影响，指出优质的厚层烃源岩、巨厚的砂岩储层和具有遮挡作用的圈闭条件是加利福尼亚地区油气资源富集的重要因素，成为圈闭成藏理论形成的重要标志。他首先提出用“圈闭”这一名词来表示各种性质的油贮并正式提出了圈闭控藏理论，将凡是能够阻止油气在储层中继续运移并在其中聚集起来的空间场所都称为圈闭，圈闭需具备 3 个重要条件：①适合于储存油气的储层；②阻止油气逸散的盖层；③从各个方向上阻止油气继续运移并造成油气聚集的遮挡物。此后，诸多学者相继提出圈闭分类方案：Wilson（1934）

将油气藏分为闭合油气藏和开放油气藏两大类，其分类涵盖了构造、岩性地层及复合油气藏；Levorsen（1956）在其所著的 *Geology of Petroleum* 中建立了较为完善的圈闭分类体系，将圈闭划分为构造、地层和复合圈闭，并进一步将地层圈闭划分为原生地层圈闭（岩性圈闭）和次生地层圈闭（不整合圈闭）两类。随后 Levorsen（1967）给圈闭下了一个简明的定义，即“阻止石油和天然气进一步运移的地方”。Dott 和 Reynolds（1969）对圈闭一词的概念和词源的后续演变进行了详细的描述。圈闭控藏理论指出了储层、盖层和遮挡条件的相互配合是油气藏形成的必要条件，背斜是最简单的特例（图 1-1），油气在圈闭中成藏是常规油气聚集成藏的理论核心。

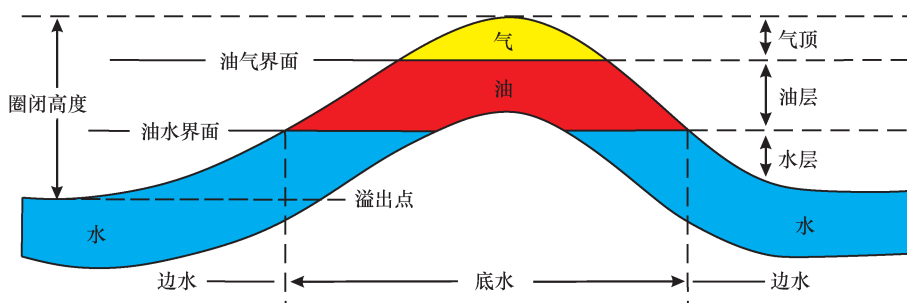


图 1-1 背斜圈闭剖面示意图（Richard, 1984）

三、源控油气成藏理论及其进展

20 世纪 70 年代，石油地质学家逐渐认识到，油气藏在地下的形成分布受富含有机质烃源岩层的控制，从而提出了源控油气分布理论（源控论），这一理论最早于 1962 年由胡朝元提出（胡朝元，1962）。胡朝元等对松辽盆地生、储、盖、圈、运、聚、保等石油地质基本条件进行了全面研究，总结出全盆地生油区基本控制着油气田的形成分布范围，认为油气运移距离较短，油气自烃源岩生成后就近聚集在生油区或邻近地带。由于保密原因，这些成果直到 20 世纪 80 年代初才得以发表（胡朝元，1982）。“源控论”的基本观点是有效生油气区控制油气田的分布范围，油气短距离运移是源控论的核心，是油气田在各地构造、沉积、地化、水文等地质基础背景下，受诸多形成条件制约的综合结果。“源控论”是基于陆相沉积的岩性岩相频繁演变与有限的展布范围提出的，油气藏往往发育在“生油拗陷”的中心及其周边，成藏模式多为自源型，即石油形成后往往是就

近成藏，大规模的长距离运移非常少。“源控论”的地质思想为油气藏或含油气区的形成需要的六大成藏要素在时间和空间上的有机匹配，缺一不可。其中，烃源岩作为油气成藏要素的首要条件，没有陆相和海相之分，没有地域之别，其品质好坏和分布直接制约着大中型油气田的形成和展布。事实上，国外也有部分学者提出过与“源控论”相似的油气分布观点，Tissot（1971）在研究巴黎盆地中侏罗统生油层问题时，发现所有油田及出油点均位于有利生油区内，生油率小于 500g/t 的区域没有油气井分布；Evamy 等（1978）指出尼日尔三角洲油区被许多同生区域断层所分割，每个分割区都是一个相对独立的地质发展和油气运聚单元，内部生成的油气很难运移到另一个单元中；Demaision 和 Murris（1984）对世界上 12 个典型成油盆地的油气分布规律进行了分析，得出了与“源控论”相似的结论；Magoon 和 Dow（1994）将影响油气藏形成的诸多因素加以综合，包括一系列油气系统事件，认为这些事件并不是孤立存在的，而是相互联系、相互匹配的，受这些因素的共同影响，油气赋存在地下某一特定的深度和部位。“源控论”也被称为“有机地球化学找油论”，它们在指导油气勘探实践中发挥了越来越重要的作用。

四、油气系统理论及其进展

（一）油气系统理论的初步形成

关于油气系统的研究，以刊物记载为标志，最早提出这一概念的是美国石油地质学家 Dow 提出的“石油系统”（oil system），1972 年在美国丹佛举行的 AAPG 会议上首次提出，1974 年在刊物上得以发表（Dow，1972，1974）。在对美国 Williston 盆地油—油对比、油—源对比和区域性盖层分布特征分析的基础上，将其石油分布划分为三套主要的烃源岩和储层的组合系统，称之为石油系统。法国石油地质学家 Perrodon 首次提出了油气系统（petroleum system）这一名词（Perrodon，1983；Perrodon and Masse，1984），认为油气系统是一系列相关成藏地质事件在三维空间和时间上有机配置的结果，在该系统中地层沉降、流体运动、岩性组合与几何要素等在相关油气藏形成中必不可少。

此后，诸多学者便开始对油气系统理论展开更广泛和深入的研究，使得油气系统理论得到不断完善和发展，提出了产油盆地、石油生成器、独立油气系

统等概念 (Demaision and Murris, 1984; Meissner et al., 1984; Ulmishek, 1986; Magoon, 1987)。Magoon 首次使用“Element”来描述对油气聚集的控制因素, 包括烃源岩、运移通道、储层、盖层和圈闭 (图 1-2), 并强调它们必须与时间和空间结合起来才能形成油气藏 (Magoon, 1987)。

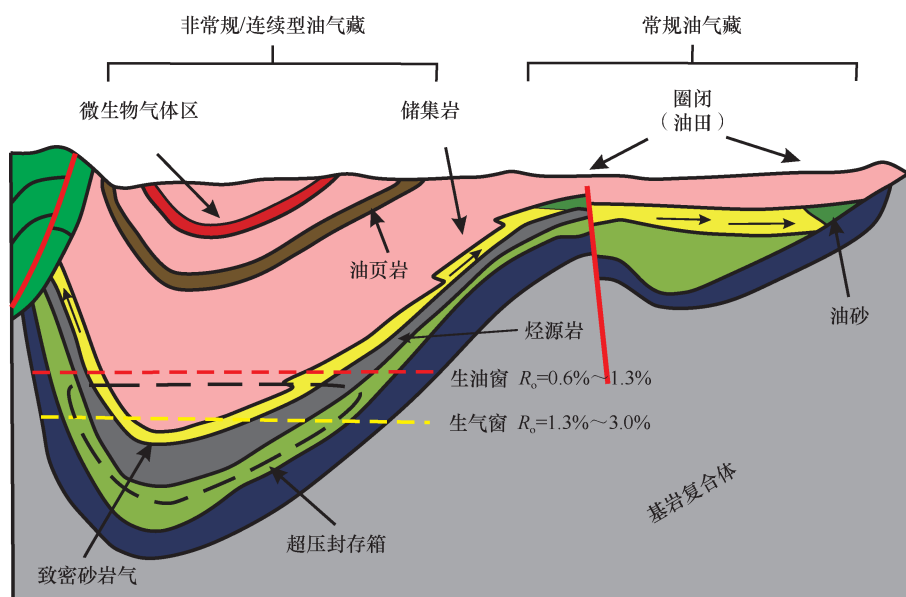


图 1-2 油气系统各要素剖面图 (Magoon, 1987)

现今公认的油气系统概念是 Magoon 和 Dow (1994) 联合提出的。他们在前人研究的基础上, 主编了 *The Petroleum System: from Source to Trap* 一书, 对油气系统的概念、识别、特征、分类、研究方法及应用进行了系统总结, 将油气系统定义为沉积盆地中的一个天然系统, 包括一个有效烃源岩体和与此烃源岩体有关的所有已形成的油气以及油气聚集存在所必需的所有地质要素和成藏作用。Magoon 等提出了油气系统的研究内容主要包括关键时间、展布范围、基本要素、持续时间和保存时间等。关键时间为油气系统中大部分油气生成、运移、聚集到圈闭中的时间; 展布范围为一个活跃的生油洼陷及来源于该洼陷的所有油气显示、油气苗和油气聚集所界定的范围; 基本要素包括烃源岩、储层、盖层和上覆岩层; 持续时间是指出一个油气系统形成所需要的时间, 为上覆岩层形成的时间与烃源岩沉积的时间之差; 保存时间是指系统内油气从开始保存到改造或破坏的时间, 开始于油气生成、运移、聚集作用之后, 若油气生成、运移、聚集一直持续到现今, 则无保存时间。Magoon 等提出的研究方法是在油源对比的基础上

采用“四图一表”来表征烃源岩与储层的关系，即油气系统关键时间埋藏史图、区域展布图、剖面特征图、油气系统事件图和与烃源岩相关的油气藏分布统计表（图 1-3）。埋藏史图可以反映油气系统的关键时间、基本要素、持续时间和保存时间，根据埋藏史曲线计算出时温指数（TTI 值），可以显示出大部分油气的生成时间，通常稍晚于烃源岩最大埋深处对应的时间。区域展布图可以显示出油气系统在平面上的展布范围，从剖面特征图可以直观地看出油气系统的基本要素以及各要素的分布关系，由事件图可得出油气系统的持续时间和保存时间。油气系统理论概括了浮力成藏、圈闭控藏、有机生烃、源控油气分布等多方面的研究成果，全面系统地阐述了油气藏形成和分布规律，奠定了现代油气地质学理论基础。

（二）油气系统理论的不断完善

油气系统理论阐述了油气从烃源岩到圈闭成藏的全过程，包括油气生成、运移、聚集过程中所涉及的全部地质要素和地质作用，将各个单一的要素有机联系起来，强调油气藏形成的时间和空间概念，有助于从三维空间和时间演化上认识和评价油气藏，为油气勘探提供了重要的理论指导。油气系统概念自提出后就备受国内外学者的关注，在其实际应用中遇到诸多挑战并在深入研究中逐渐得到了发展与完善。

1. 考虑潜在油气资源的总油气系统理论

油气系统的概念只包含了已发现的油气，而忽略了未发现的潜在油气藏和油气资源，进行油气调查的目的是要确定勘探目标和发现潜在油气资源，因此油气系统的概念和理论需要完善。美国地质调查局 1995 年进行油气资源评估时提出了成藏组合（play）的概念（USGS, 1995），定义为一组共享某些相似的地质、地理和时间属性（如烃源岩、运移模式、成藏期、圈闭发育机制以及油气藏类型等）的已知或未知的油气藏。如果采用油气系统表示已发现的油气，那么就可以用成藏组合表示未发现的油气。成藏组合的概念不仅包括了已发现的油气资源，还将潜在的未发现的油气资源纳入其中，将原有的油气系统概念扩大。为此，Magoon 提出了互补性成藏组合（complementary plays）和互补性远景圈闭（complementary prospects）的概念（Magoon, 1995），在此基础上于 2000 年提出了总油气系统（total petroleum system）的概念（Magoon and Schmoker, 2000）。

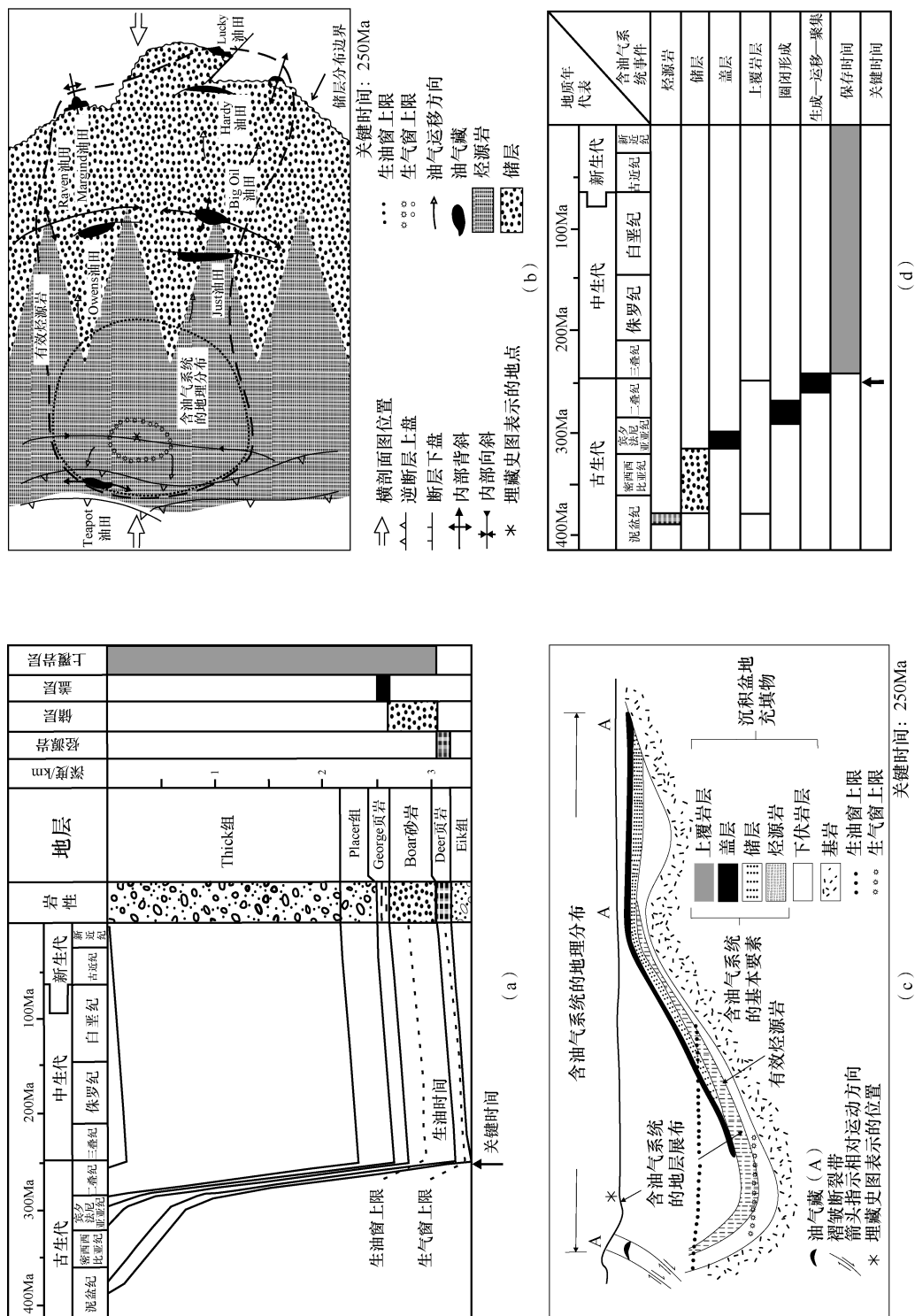


图 1-3 油气系统概念模型与研究内容 (Magoon and Dow, 1994)

(a) 含油气系统关键时间和石油生成时间的埋藏史图; (b) 含油气系统关键时间的地理展布平面图; (c) 含油气系统关键时间地层的地质剖面图; (d) 含油气系统事件图

总油气系统是指一个正在生烃或曾经生烃的烃源岩供烃体周边所有已发现和未发现的相关油气（油气苗、油气显示、油气藏）以及对油气聚集至关重要的所有地质要素（烃源岩、储集岩、围岩和盖层）和相互作用过程（油气生、运、聚以及圈闭的形成）的总和（图 1-4）。

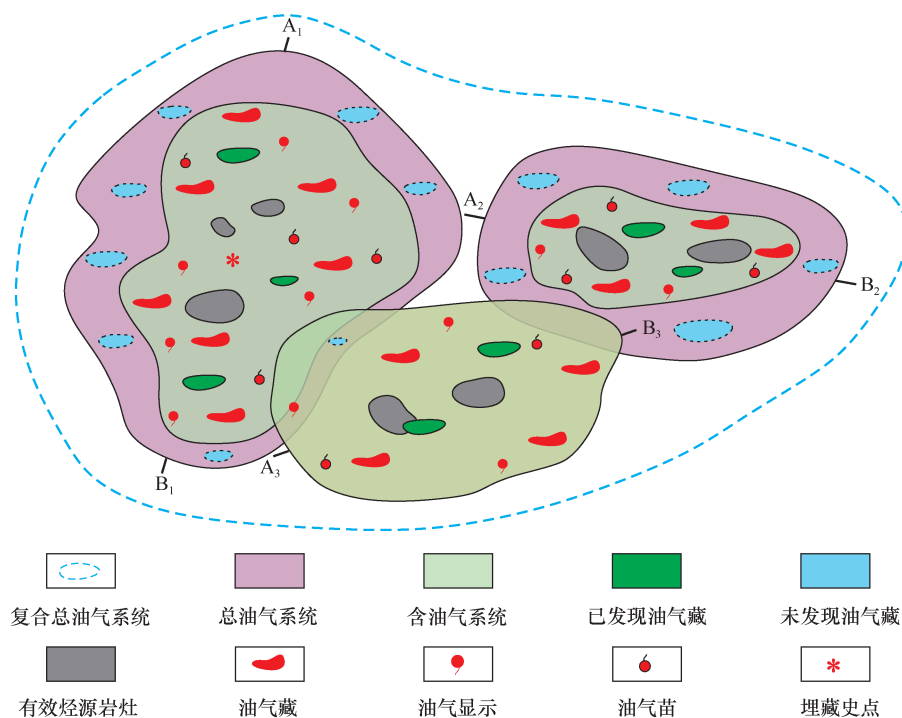


图 1-4 总油气系统概念及其评价单元示意图 (Magoon and Schmoker, 2000)

总油气系统是通过识别、绘制、命名烃类流体系统和总结结果进行表征，总油气系统图至少包括六个方面 (Magoon and Schmoker, 2000): ①一个或多个豆荚状活跃的烃源岩体，为成熟或过成熟富含有机质的岩石，是总油气系统的油气来源；②最小地理范围，该区域包括已发现的油气藏、油气苗和油气显示，等同于油气系统的范围；③最大地理范围，是总油气系统的边界，该边界以外不存在油气资源；④最大地理范围与最小地理范围之间的区域，该区域缺乏油气藏、油气苗和油气显示，但即使不具有商业性，也可能存在一些油气；⑤总油气系统横剖面的位置；⑥埋藏史图中描述的位置。总油气系统的概念拓展了经典油气系统理论的内涵，为全油气系统概念的提出奠定了基础。

随着油气勘探的不断进行，有学者提出了评价单元的概念，是指总油气系统中一定体积的岩层单元，包括已发现和未发现的油气田。这些油气田具有相似

的地质特征、勘探策略和风险隐患，在资源评估标准方面构成单一的油气田特征群体，基于相似的地质要素和油气聚集类型，代表要被评价的一个成藏组合或一组成藏组合（Schmoker and Klett, 1999; Magoon and Schmoker, 2000; Pollastro, 2007）。总油气系统和评价单元这两个概念沿着两条平行的轨迹发展，总油气系统经过石油系统、含油气系统逐渐演变而来，强调了油气储量的分布规律；评价单元经过远影圈闭（prospect）和组合逐渐演变而来，目的是发现油气圈闭和评价油气资源。

2. 考虑多源成藏的复合油气系统理论

Magoon 和 Dow 提出的“油气系统理论”阐述了沉积盆地中一套烃源岩生成和排出油气后，在浮力主导下经过输导层运移进入圈闭中聚集，形成一系列油气藏的过程，但它只适用于一套烃源岩和一期油气成藏。中国复杂的叠合盆地具有“多来源、多储层、多动力运聚、多期成藏”等复杂地质特征，用经典的油气系统理论研究其油气运聚成藏过程存在一定的局限性。为了弥补这一缺陷，赵文智和何登发（2000）提出了复合油气系统（composite petroleum system）的概念，用以阐述叠合盆地中多套烃源岩层系在一个或数个负向地质单元中集中发育，并在随后的继承性发展中，出现多期生烃、运聚成藏与调整改造，从而导致多个油气系统的叠置、交叉与窜通，形成相对独立的流体运动单元（图 1-5）。复合油气系统的内涵包括以下几个方面：①至少有一个生烃灶且烃源岩层系至少是两套，并且在平面上相互重叠或大部分交叉；②油气藏的形成是多期次的，且共享某些成藏条件，如区域性盖层、油气聚集区带或运移输导体系等；③每一个生烃层系

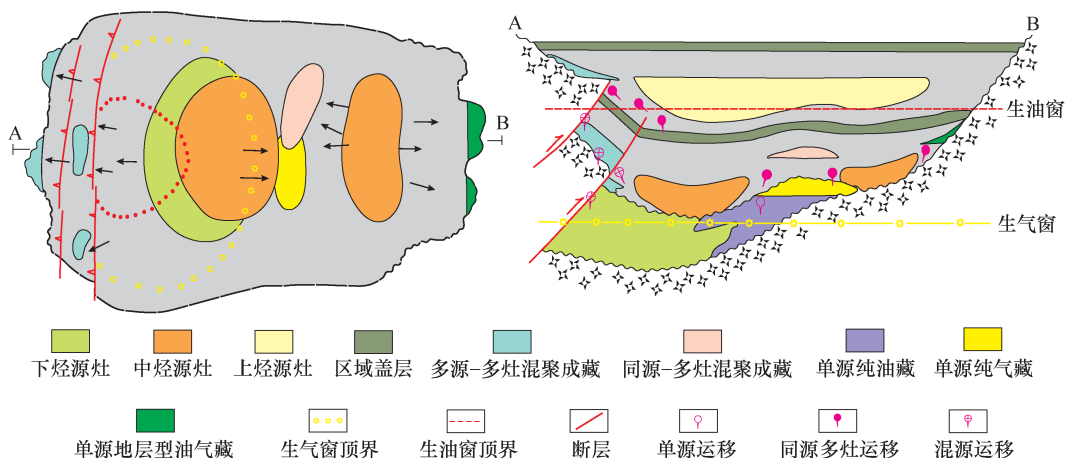


图 1-5 复合油气系统现今时刻分布示意图（赵文智等，2001a）

既有属于自己独立的油气运移聚集,相互间又存在部分流体交换的发生,使得两个或两个以上的系统既有独立性又有联系,如两个生烃层系生成的油气分别通过不整合面和断裂带运移,混合聚集于两个生烃灶的中间隆起部位、斜坡部位或生烃灶侧缘的断裂带内;④复合油气系统具有多个关键时间,包括各烃源岩层系和生烃灶大规模生排烃时间和成藏时间以及已形成的油气藏被破坏或被调整到新圈闭再聚集的时间;⑤复合油气系统的边界为各相对独立油气系统叠置、交叉与窜通所涉及范围的最大外边界。

复合油气系统强调油气藏多源和多期背景下油气系统相互叠置、交叉和窜通的发育特点,是在单个油气系统成藏过程研究的基础上研究多个单一油气系统复合的特点,研究方法是“顺藤摸瓜”,即从多套烃源岩层系出发,跟随油气运移路径,寻找一切油气可能的聚集位置。研究内容可以概括为“六定”:①确定烃源岩的分布位置;②确定烃源岩生排烃时期;③确定油气成藏期次;④确定油气大规模运移方向;⑤确定油气运聚单元边界;⑥确定油气资源潜力与有利勘探目标(赵文智和何登发,2000;赵文智等,2001b)。在此基础上将中国叠合盆地复合油气系统划分为继承型、延变型和改造型三类,准噶尔盆地玛湖凹陷石炭系和二叠系、鄂尔多斯盆地上古生界和下古生界、松辽盆地中生界均为典型的继承型复合油气系统,塔里木盆地西南坳陷和川东地区古生界和中生界为典型的延变型复合油气系统,改造型复合油气系统常见于华北地区(何登发等,2000;赵文智等,2001a,2002;赵文智和何登发,2002)。2005年,进一步将复合油气系统定义为在叠合含油气盆地某一个或数个负向单元内由多期继承或跨越重大构造期形成的多套烃源岩集中发育和演化过程中形成的油气系统,它们出现了多期生烃、多期运聚成藏与多期调整改造,导致多个油气系统叠置、交叉、窜通与油气混聚,甚至在油气系统形成过程中出现了已聚集油气藏被大规模破坏和散失等情况(赵文智等,2005)。

2004年,美国地质勘探局(USGS)在对Kohat-Potwar地质领域进行油气资源评估时,对该区油气成藏条件进行分析并发现存在多个独立的总油气系统且很难将它们完全区分开来,于是提出了复合总油气系统(composite total petroleum system)的概念,将同一研究区内数个独立的总油气系统组成的烃类系统称为复合总油气系统。该系统内存在多套叠置的烃源岩、储层和广泛的断层系统,导致了不同烃源层系生成的烃类发生混合(Wandrey et al., 2004)。该概念的提出简化了油气系统评价工作,将数个总油气系统视为一个总体系统进行评价,为复杂条