

研究生教学用书

教育部研究生工作办公室推荐

成油体系分析与模拟

*Analysis and Modeling of
Petroleum System*

(第二版)

费 琪 主编

高等教育出版社

赠书

研究生教学用书

教育部研究生工作办公室推荐

成油体系分析与模拟

Analysis and Modeling of
Petroleum System

(第二版)

费 琪 主编

高等教育出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

成油体系分析与模拟/费琪主编.—2版.—北京:高等教育出版社,2001.8

研究生教材

ISBN 7-04-009931-4

I. 成... II. 费... III. 石油生成-研究-研究生教育-教材 IV. P618.130.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2001) 第 038482 号

责任编辑 崔凤文 封面设计 李卫青 责任绘图 朱 静
版式设计 史新薇 责任校对 许月萍 责任印制 张泽业

成油体系分析与模拟 (第二版)

费 琪 主编

出版发行 高等教育出版社

社 址 北京市东城区沙滩后街 55 号

邮政编码 100009

电 话 010-64054588

传 真 010-64014048

网 址 <http://www.hep.edu.cn>

<http://www.hep.com.cn>

经 销 新华书店北京发行所

印 刷 化学工业出版社印刷厂

开 本 787×960 1/16

版 次 2001 年 8 月第 2 版

印 张 32.25

印 次 2001 年 8 月第 1 次印刷

字 数 510 000

定 价 43.70 元

本书如有缺页、倒页、脱页等质量问题,请到所购图书销售部门联系调换。

版权所有 侵权必究

内 容 简 介

油气的生、储、盖、运、聚、保是在地质历史中演化的复杂系统,这也是石油地质学家长期研究的对象。成油体系分析就是在上述研究的基础上,从整体、动态、多学科交叉渗透的角度进行定性、定量甚至三维空间上的定位分析。其侧重点是研究圈闭形成过程与油气运、聚过程的时、空配置关系,最终落实到油气的工业聚集规律上。本书系统地总结了成油体系的基本理论和研究方法,为油气勘探提供了新的思路和手段。

全书共分5篇24章。第一篇总论,对成油体系的定义、分类、应用实例及国内外研究现状作了扼要的介绍;第二篇成油体系中的油源分析,包括大地构造环境与沉积建造分析、盆地类型、动力学特征与成油体系、板块构造、有机物类型与油气分布规律以及源岩的发育、演化和评价等;第三篇成油体系的储盖条件分析,包括油气储集岩、高分辨率层序地层学、速度-岩性分析、封盖条件及圈闭类型等;第四篇圈闭形成过程分析及油气生、运、聚过程分析,包括沉积盆地压力场分析、成岩作用与成岩演化、含油气盆地构造应力场分析、古构造演化、断层封闭性、从源岩到圈闭及油气运移的地表地球化学显示等;最后一篇成油体系分析与成藏动力学模拟,包括流体动力场研究、烃源岩生烃增压与微裂缝幕式排烃、流体势分析与成藏动力学模拟以及成油体系研究实例等。

本书是地质、地矿类石油专业等的研究生教材,亦可供石油地质及油气勘探的专业工作者参考。

编 著 者

费 琪	范土芝	梅廉夫	陈开远	马立祥
郝 芳	杨香华	陈红汉	孙家振	张树林
徐思煌	张二华	叶加仁		

前 言

成油体系的概念早在 20 世纪 60 年代就已提出,但在 70 年代初期大多数地质学家虽然已对圈闭和储层的概念较为熟悉,然而对盖层和源岩却还知之甚少。1972 年 AAPG 年会上美国俄克拉何马州图尔萨大学的 Jim Momper 和阿莫科研究实验室 Wallace G. Dow 共同组织了“新概念:石油的成因、运移和捕集”专题研讨会,并在会上分别宣读了《威利斯顿盆地石油类型的特征》以及《油源对比在威利斯顿盆地勘探中的应用》等文章。他们将地球化学资料与完整的地质框架相结合的方法,构成成油体系概念的基础。以后,Perrodon、Masse、Demaision、Meissuer 和 Ulmishek 等进一步发展了这些概念。Magoon 于 1987 年首先提出,鉴定成油体系的几个要素包括:生油岩、运移途径、储集岩、盖层和圈闭,并强调指出,这些要素应具有合适的时、空配置,才有可能形成石油的矿床。1989 年 Magoon 对成油体系给出严格的定义及分类,并介绍了成油体系分析与沉积盆地分析、区带评价和圈闭评价的区别。1994 年 Magoon 和 Dow 正式编写了《成油体系——从源岩到圈闭》的 AAPG 专集。他们研究成油体系的方法主要建立在地球化学与石油地质相结合的基础上,目的是减少风险,提高勘探的成功率。

随着世界范围内成油体系研究的广泛开展,我国相继对此作了一定的研究。由于对 petroleum system 这个术语理解不同,所以出现了不同的译名和不同的解释。比较多的用法是含油气系统或石油系统。海洋石油总公司曾在 1994 年 9 月召开了“石油体系应用学术研讨会”,中国石油总公司也召开了类似的讨论会。显然 petroleum system 这个概念已引起国内外更多的石油地质勘探学家的关注和重视。为了进一步加深研究,更好地应用于勘探实践,笔者以 Magoon 和 Dow 于 1994 年出版的专集为基础,首先简要介绍了 Magoon 等关于成油体系的概念、定义分类及其应用实例,再根据笔者对成油体系的理解以及多年积累的有关油气勘探的理论和实践知识,增加了构造分析、沉积盆地压力仓、地表地球化学显示、流体动力学以及成藏动力学模拟等方面的研究内容,更系统地突出动态过程研究,从而撰写成本书,以期对成油体系的概念、研究方法及

其发展与应用前景,能有较好的了解和认识,并能在更适合我国实际的油气勘探、评价和预测新的油气有利区带、提高勘探效益、降低风险等方面发挥更大的作用。

成油体系分析的含义,不是将早为人们所熟知的石油地质的基本方法简单地归纳或重复,而是将油气的生、储、盖、运、聚、保的研究提高到一个新的高度,从整体、动态、多学科交叉渗透的角度进行定性、定量甚至三维空间上的定位分析。它不仅涉及到一些石油地质的基本理论问题,而且还需在研究方法技术上不断深化。它将石油地质中的4个基本要素与圈闭形成及油气运移两个作用过程紧密地联系在一起,找出其在时空配置上的内在联系。在研究中引进了板块构造环境、古气候、古洋流、构造应力场、高分辨率层序地层学、速度-岩性分析、成岩过程动力学、古构造演化、流体动力学、压力封闭仓、有效圈闭、成藏动力学模拟、三维荧光指纹技术以及地表地球化学显示等新理论、新思路、新技术与新手段。成油体系分析的核心是油气从源岩到圈闭,也就是强调了两个作用过程的分析,最终落实到油气的工业聚集规律。因而对成油体系的研究不仅在理论上具有深远的意义,而且在生产实践方面也具重要的指导作用。

全书分5篇,共24章,第一、二、三、四、六、十一、十二、十六、十八、十九、二十四章由费琪编写,第五章由孙家振编写,第七章由郝芳编写,第八章由马立祥编写,第九章及第八章中层序地层学部分由陈开远编写,第十章由张二华编写,第十三、十五章由梅廉夫编写,第十四章及第二十四章第二节由杨香华编写,第十七章由张树林编写,第二十章由叶家仁编写,第二十一章由陈红汉编写,第二十二章由徐思煌编写,第二十三章及第二十四章第四节由范土芝编写,全书由费琪统稿。

先后参加与本书有关的编写研究工作的还有郭守国、何斌、邓新华、吴时国、焦博、张光学、吴世祥、吴克强、阮天健、祁士华、董勇、程建萍、陈静中、柳建华、杜宁平、云露、陶维祥、杜晓峰、李纯泉等。

经教育部研究生工作办公室委托专家组评审,本书有幸被遴选为研究生教学用书。本书的编写是笔者在“八五”、“九五”国家重点科技攻关项目、国家自然科学基金及多年横向协作科研工作的基础上撰写而成。20多年的生产实践中,我们得到中南石油地质局、江汉油田、胜

利石油管理局、大庆石油管理局、长庆石油管理局、玉门石油管理局、华北油田、河南油田、中原油田、西北石油地质局，辽河石油管理局、渤海海洋石油公司及海洋石油研究中心、南海西部石油公司等各级领导及同行专家的指导和帮助。本校石油系、地球物理系、地球化学系、计算机系、数理系、地质系有关师生给予了大力协助。在此向他们致以衷心的感谢。

本书中的部分图件由张咏梅、文莉莉、徐晓玲等协助绘制，闻立峰、张晓红、陈晓君等在书稿的打印、整理等过程中，付出了辛勤的劳动，在此亦表示感谢。

成油体系分析与模拟是石油地质勘探中的一个极其复杂的系统理论工程，它涵盖了石油地质的各个领域，由于笔者水平所限，谬误在所难免，恳请读者批评指正。

费琪

2001年1月

目 录

第一篇 总 论

第一章 成油体系	1
第一节 成油体系概念的提出与发展	1
第二节 成油体系的定义及其研究方法	3
第三节 国外研究实例	6
第二章 成油体系的分类	13
第一节 以沉积盆地动力学为依据的分类	13
第二节 以生油洼陷热动力学为依据的分类	15
第三节 以沉积盆地中流体动力学为依据的分类	17
第三章 国内研究现状及进展	22
第一节 国内有关的研究与应用	22
第二节 成油体系分析要点	27

第二篇 成油体系中的油源分析

第四章 大地构造环境与沉积建造分析	31
第一节 含油气盆地的大地构造环境	31
第二节 沉积建造分析	33
第三节 古构造环境、沉积建造演化与海相油气前景	34
第五章 盆地类型、动力学特征与成油体系	45
第一节 盆地类型与油气丰度的关系	45
第二节 伸展型成油体系的盆地动力学特征	48
第三节 挤压型成油体系的盆地动力学特征	53
第六章 板块构造、有机物类型与油气分布规律	58
第一节 有机物类型与古气候、古地理环境	58
第二节 板块构造部位与有机物类型	60
第三节 油气分布规律	64
第四节 洋流涌升带与海相生油岩的预测	69
第七章 源岩的发育、演化和评价	76
第一节 源岩的发育	76

第二节	有机质的热演化和油气生成	82
第三节	源岩发育特征对油气组成和性质的控制和影响	87
第四节	源岩的评价	89

第三篇 成油体系中的储盖条件分析

第八章	油气储集岩	96
第一节	碎屑岩储集层的成因类型	96
第二节	碎屑岩层序地层学	111
第三节	碳酸盐岩储集岩	118
第九章	高分辨率层序地层学	126
第一节	层序地层学与高分辨率层序地层学	127
第二节	高分辨率层序地层学的两个基本概念	130
第三节	基准面变化在高分辨率层序地层学中的应用	134
第四节	伽马能谱测井中的准层序与高分辨率层序地层学	141
第五节	地震高分辨率层序地层学	144
第六节	高分辨率层序地层学与成油体系	147
第十章	速度-岩性分析	149
第一节	速度-岩性分析的理论基础及技术方法	149
第二节	速度-岩性分析的数据处理	154
第三节	应用效果	160
第十一章	封盖条件	163
第一节	盖层的微观性质	163
第二节	盖层的宏观性质	166
第三节	区域性封闭层	167
第四节	断层封闭性	170
第十二章	圈闭类型	174
第一节	构造圈闭	174
第二节	地层岩性圈闭	178
第三节	古地貌圈闭	180
第四节	水动力圈闭	181
第五节	复合圈闭	183

第四篇 圈闭形成过程分析及油气生、运、聚过程分析

第十三章	沉积盆地压力仓分析	186
第一节	压力仓及其形成机制	187
第二节	压力仓的模拟	190

第三节	松辽盆地压力仓与层间断裂系统分析	195
第十四章	成岩作用与成岩演化	204
第一节	成岩作用的研究进展	204
第二节	成岩作用的研究思路	210
第三节	沉积物的组成与结构分析	212
第四节	成岩作用的历史过程分析	215
第五节	成岩作用类型、演化序列与储层评价	226
第六节	成岩作用研究与成岩圈闭	230
第十五章	含油气盆地构造应力场分析	234
第一节	盆地的基本应力状态	235
第二节	系统分析的基本思想	237
第三节	地质模型和数学-力学模型	239
第四节	构造运动特征分析	240
第五节	构造应力场分析	249
第六节	构造作用对油气生成、运移、聚集的影响	253
第十六章	古构造演化实例分析	256
第一节	地层剥蚀厚度的估算方法	256
第二节	区域构造分析	262
第三节	构造隆升与剥蚀	269
第四节	古构造演化与油气有利聚集部位	276
第十七章	断层在油气运移和聚集中的作用	287
第一节	圈闭的遮挡条件与溢出类型	287
第二节	断层封闭类型	293
第三节	断层封闭与开启的转化	300
第四节	超压流体释放与复式油气聚集	309
第五节	油气沿断层运移和聚集实例分析	316
第十八章	从源岩到圈闭	326
第一节	沉积盆地中的压力分隔现象	326
第二节	从源岩到圈闭的运移过程分析	334
第三节	油气聚集过程分析	338
第四节	油气运、聚模式	342
第十九章	油气运移的地表地球化学显示	351
第一节	油气运移的直接证据——地表油气苗	351
第二节	微油气苗	353
第三节	成油体系分析在地表化探解释中的应用	359
第四节	从油源到圈闭的地表地球化学显示	363

第五篇 成藏动力学模拟

第二十章 油气成藏动力学中的流体动力场研究	374
第二十一章 天然气系统成藏动力学分析	384
第一节 天然气成因鉴别	384
第二节 天然气系统的成藏动力学分析理论基础	386
第三节 莺琼盆地天然气成藏动力学研究实例	390
第二十二章 烃源岩生烃增压与微裂缝幕式排烃	403
第一节 烃源岩生烃	403
第二节 生烃增压效应	405
第三节 微裂缝幕式排烃	409
第四节 烃源岩生 - 排烃史模拟	416
第五节 研究实例	420
第二十三章 流体势分析与成藏动力学模拟	427
第一节 流体势分析系统的基本框架	427
第二节 流体势的地下分布模式与油气运移、聚集关系	431
第三节 成藏动力学模拟	437
第二十四章 成油体系分析实例	447
第一节 三维荧光“指纹”技术在成油体系油源分析中的 应用	447
第二节 成藏要素的时空配置与成藏模式研究	454
第三节 油气源及富烃凹陷分析	466
第四节 成藏动力学模拟与成油体系分析	476
主要参考文献	483

第一篇 总 论

成油体系分析是在盆地分析的基础上,进一步研究含油气盆地中油气的生、储、盖、运、聚、保的时空配置关系及其演化规律,将它们作为一个统一的整体,而不是孤立地进行单项研究。一个成油体系包括正在生油的生油洼陷,所有与其有关的油气聚集或显示,以及形成油气聚集所必需的地质要素及作用过程。

第一章 成油体系

第一节 成油体系概念的提出与发展

近年来,成油体系的研究在西方文献中又形成一个新的热点。“petroleum system”这个术语,有不同的译名,有的称之为“石油系统”,有的定为“含油气系统”或“成油系统”,也有的译成“石油体系”等。早在1972年AAPG年会中Dow提出了“oil system”的概念,他以油-源相关性为基础,认为每个石油系统中包含一套生油岩和一群储集岩,被蒸发盐岩封闭而与其他石油系统分隔。Perrodon (1980)首先应用了“petroleum system”这个术语,后来又与Masse (1984)以此为标题写了文章。文章中提出:“一个含油区是各种地质事件在空间和时间上组织、配置的最终结果,这样可称作石油系统。”同年Meissner等提出“petroleum machine”,将这种系统描绘为一种“石油机”。Ulmishek (1986)把“油气的生成、聚集和保存过程,基本上是独立的,与外围无关”称作“独立的含油系统”(IPS)。Magoon (1987)将生油岩、运移途径、储集岩、封盖和圈闭称之为成油体系的组成要素,并强调其间的

时空关系。1988年他进一步阐述：“成油体系强调了一个特定生油岩和油气聚集之间的成因关系；盆地研究强调构造凹陷及其中的沉积岩，并不考虑与石油矿产的关系；靶区则强调了在现有技术条件下，是否能发现已存的这些圈闭。”1991年AAPG年会上，Magoon宣读了“成油体系——从源岩到圈闭”的论文，他将沉积盆地、成油体系、勘探靶区及可供钻探的探区，看作石油调查中的不同阶段，每个阶段都强调了勘探。例如，“沉积盆地——主要研究地层层序和构造样式；成油体系——研究生油岩和油气聚集的成因关系；勘探靶区——一系列圈闭中的地质相似性（一般译为成藏组合或区带）；可供钻探的探区——指单个的圈闭”。

随着“成油体系”概念的不断完善，笔者认为将“petroleum system”译成“成油体系”更为确切。“含油气系统”可以作为泛指术语，而“成油体系”则突出了石油成藏过程所需条件的时空配置关系，可能在油气勘探中更具实践意义。“含油气系统”与“成油体系”的差别在于：前者以静态研究为主，而后者则强调了各种基本要素之间的动态联系。一般来说，“含油气系统”研究的内容是在盆地分析阶段应该解决的问题，主要研究对象为沉积盆地中，生油岩、储集岩、盖层、圈闭、保存条件以及可能的运移通道等。盆地模拟的主要成果是油气资源量的计算。正如许多文献中提到的“上第三系含油气系统”、“下第三系含油气系统”、“白垩系含油气系统”、“侏罗系含油气系统”、“上古生界含油气系统”、“下古生界含油气系统”等。这些“含油气系统”研究中，并不需要涉及到各种要素的动态变化过程、其间的联系及工业油气的定位等问题。

“成油体系”研究，强调了一个特定区域内，各种石油地质基本要素与“圈闭形成过程”及“油气运、聚过程”之间的时空配置关系，研究成油体系的分布范围以及工业油气流在三维空间中的定位等。“圈闭形成过程”的研究，不只是一个圈闭几何形态的描述，而是在一个成油体系中，可能出现的各种不同类型圈闭的形成与演化过程，包含有构造应力场的分析，可能的地层、岩性、水动力圈闭，以及断层的开启、封闭活动过程等。“油气运、聚过程”需要涉及许多成藏动力学方面的问题，如流体运动规律及动力学过程、输导系统的分布规律、油气的聚集、逸散变化等。“成油体系”的研究强调了综合、整体、动态和定位。

在我国多期构造运动的影响下，既有海相生油岩，更有陆相生油岩

的油源,形成多层系、多类型的油源,多储盖组合、多种圈闭类型以及多期成藏的特点。一套含油气系统可以分成数个成油体系;在一个研究区,纵向上或横向上可以包含多套成油体系,各成油体系之间也可以在平面上相互交叉或重叠;有时一个成油体系中又可包含多套含油气系统的油气源。

虽然目前在“成油体系”研究中,还存在不少方法、技术或理论方面的问题。但这正是在新世纪“老油田挖潜、新区要突破”的形势下,需要我们以新的思路、方法、技术去研究和探讨。

第二节 成油体系的定义及其研究方法

一、成油体系的定义

Magoon 和 Dow (1994) 在 *Petroleum System—from Source to Trap* 一书中对成油体系的概念、鉴定特征、研究方法及其应用作了系统的总结。将其定义为:“一个自然的体系,其中包含有活跃的生油洼陷、所有与其有关的油气、以及形成油气聚集所必需的地质要素及作用。”“活跃生油岩”指正在生成油气的大团、相互接触的有机物质。这种曾经活跃的生油岩,也许现在已不再活跃或已消耗殆尽。“基本要素”包括生油岩、储集岩、封盖岩及上覆岩层。“作用”就是圈闭的形成和石油的生成—运移—聚集过程。无论什么地方只要有成油体系就必定有上述的4个基本要素和2个作用过程,它们必须在时间和空间上互相匹配,以致使生油岩中的有机物能转换成油气。

二、成油体系的分级与命名

根据生油洼陷生油并聚集的可能性,可将成油体系分成三个级别:已知成油体系、假定成油体系与推测成油体系。已知的成油体系——在活跃的生油岩与油气聚集之间,地球化学匹配很好;假定的成油体系——地球化学信息证实生油岩的存在,但在生油岩与油气聚集之间并没有地球化学匹配;推测的成油体系——生油岩或油气完全是根据地质或地球物理证据来推测的。以上三种级别,在成油体系名称之后分别以(!)、(·)和(?)表示。

成油体系的命名,首先包括生油岩的名称,接着为主要储集岩的名

称,最后以上述符号表示所确定的级别。例如:Deer-Boar (·) 代表一个假定的成油体系,其中泥盆纪 Deer 页岩为生油岩,Boar 砂岩为主要储集岩,它是成油体系中含油气量最大的储集层。

三、成油体系的特征和范围

成油体系具有特定的地理、地层和时间范围。图 1-1 是 Deer-Boar (·) 成油体系的埋藏史,图中表示了某个位置的临界时刻、年代和基本要素。临界时刻是指成油体系中大部分油气生成-运移-聚集的时间。图中所有岩层都是虚构的,所谓的 Deer 页岩为生油岩,Boar 砂岩为储集岩,George 页岩为封闭岩,在 Deer 页岩之上的所有岩层组成了上覆岩层。埋藏史图表中有很厚的上覆岩层,生油岩在二叠纪 260 Ma 时进入生油窗,最大埋深期为 255 Ma,临界时刻为 250 Ma。生油、运移和聚集的时间由 260 Ma 到 240 Ma,这就是成油体系的年代。

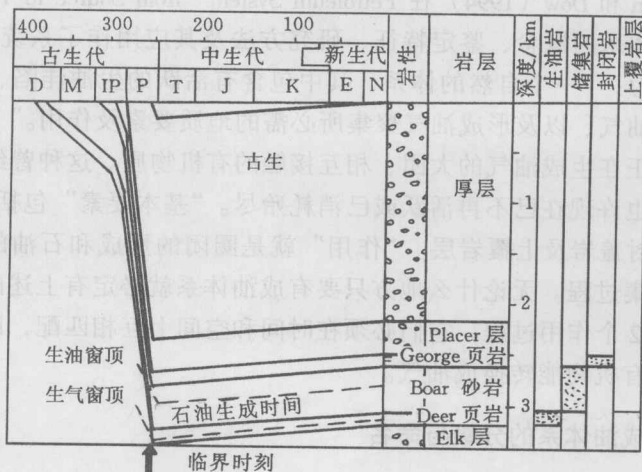


图 1-1 Deer-Boar (·) 成油体系的埋藏史

(据 Magoon and Dow, 1994)

成油体系在临界时刻的地理范围由一条线来圈定(图 1-2)。这条线粗略地圈定了活跃生油洼陷及所有来源于该洼陷的油气显示、油苗和油气聚集。图 1-2 为 Deer-Boar (·) 成油体系在临界时刻古生代末期的平面图,位于生油、气窗之内的为活跃生油岩,其外为未成熟的生油岩。成油体系的地理范围用粗断线表示,其中包括活跃的生油洼陷及所

有有关的已发现的油气显示。图 1-3 为横切图 1-2 的剖面图，图中表示了 Deer-Boar (·) 成油体系的地层范围及临界时刻的生油岩、储集岩、封闭岩及上覆岩层等基本要素。位于生油窗上倾方向的生油岩为未成熟的源岩，活跃生油岩位于生油窗的下倾部位。上述几个基本要素中上覆岩层的功能除了为热成熟生油岩提供必要的条件之外，它也可对下伏运移通道和圈闭的几何形态有相当大的影响。

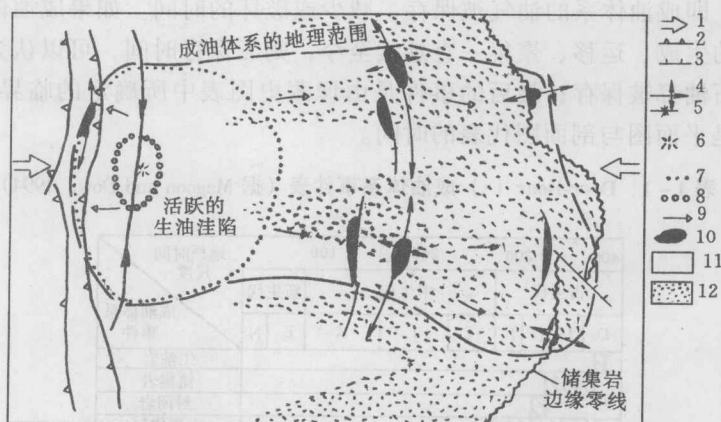


图 1-2 Deer-Boar (·) 成油体系在临界时刻 (250Ma) 的地理范围

(据 Magoon and Dow, 1994)

1. 横剖面线; 2. 逆冲带, 锯齿对着上升盘; 3. 断层, 短齿对着下降盘; 4. 倾伏背斜;
5. 倾伏向斜; 6. 埋藏史图的位置; 7. 生油窗顶; 8. 生气窗顶; 9. 油气运移方向;
10. 油气聚集; 11. 生油岩; 12. 储集岩

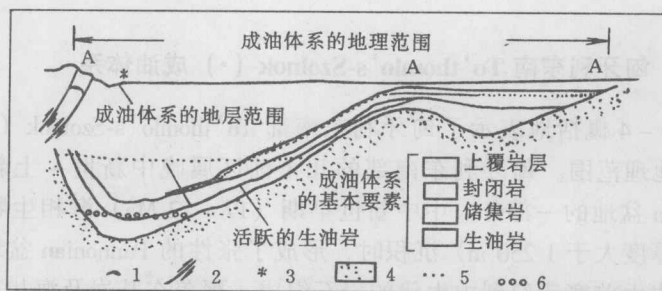


图 1-3 Deer-Boar (·) 成油体系在临界时刻 (250Ma) 的地层范围

(据 Magoon and Dow, 1994)

1. 油气聚集; 2. 褶皱和逆冲带 (箭头表示相对运动方向); 3. 埋藏史图的位置;
4. 基岩; 5. 生油窗顶; 6. 生气窗顶