

中国含油气盆地 动态分析概论

徐旭辉 高长林 江兴歌 等著

石油工业出版社

中国含油气盆地动态分析概论

徐旭辉 高长林 江兴歌 黄泽光 著
朱建辉 范小林 刘光祥 吉让寿

石油工业出版社

内 容 提 要

本书内容主要包括三个部分：一是中国油气盆地分析的理论思路；二是中国油气盆地的形成演化；三是中国油气盆地数字模拟的理论和适用技术方法。

本书可供从事石油天然气地质生产科研人员和高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国含油气盆地动态分析概论/徐旭辉等著.
北京:石油工业出版社,2009.3
ISBN 978-7-5021-6996-1

- I. 中…
- II. 徐…
- III. 含油气盆地-研究-中国
- IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 012392 号

中国含油气盆地动态分析概论
[Zhongguo Hanyouqi Pendi Dongtai Fenxi Gailun]

出版发行:石油工业出版社
(北京安定门外安华里2区1号 100011)
网 址:www.petropub.com.cn
编辑部:(010)64251610 发行部:(010)64210392
经 销:全国新华书店
排 版:北京乘设伟业科技有限公司
印 刷:石油工业出版社印刷厂

2009年3月第1版 2009年3月第1次印刷
787×1092毫米 开本:1/16 印张:13.25 插页:10
字数:339千字 印数:1—1000册

定价:58.00元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

序

非常高兴无锡盆地研究室同事们的《中国含油气盆地动态分析概论》一书出版,并与读者见面,这样通过交流和沟通,可以去粗取精,去伪存真,最终取得共识。书中所述内容是中国石油化工集团公司上游“十五”地质科研项目的成果,也体现了“按理论建模—实例校验—动态模拟程序来进行盆地系统研究工作(朱夏,1985)”的阶段性成果,就像奥运火炬传承那样一直面向未来,不断探索。

自从盆地分析引入油气勘探,就抛弃了用地理概念来联系众多具有地域性分布的油田,如中东油区、北美油区。从已知油田范围向外扩井没有找油的预测性。尽管有的提法今天还在,如大庆油田、胜利油田,但早已是企业管理单位的意思了。20世纪80年代初朱夏向中国科学院学部的报告强调盆地分析具有双重性,一是指与地质科学新进展紧密联系并从中不断开拓认识自己;另一是要求先于勘探预测未知并经实用而敢于检验自己。因此,当盆地分析面向一个矿产登记的地域时,并不只在于认定这一地域是否为沉降实体,而在于布置勘探之前已率先从盆地整体考察了它的全貌,并从历史发展过程所经历的变化加以考虑后,将登记的地域与盆地各个部位的差异和含油气性进行联系。这样的勘探指导思想,早在建国初期大规模石油普查时就明确“从整体到局部,这不仅是工作程序的问题,而是体现了我们对含油气地域区划原则的理解和运用……目的在于阐明油气集聚分布的内在规律”(朱夏,1965)。因此,盆地分析从来未曾与生、储、盖以至圈闭割裂,而是面对一个未知油气的地域首先要从盆地整体出发,包括“大地构造特征”及其有关问题相联系,就其科学性而言则在于区别事物的特殊性,通过分类和类比的方法进行油气预测。也正因如此,20世纪50年代盆地就按地壳大地构造的稳定性和活动性进行分类,为了类比盆地应标明是克拉通的还是前陆的。

然而,随着对变质基底之上发育的沉积实体进行大量描述后发现,不可能将这样的盆地整体都装进一个统一的大地构造框架中。盆地结构是复杂的,反映出形成机制的多样性和多期性,是大地构造历史演变的结果。如果择一而分,在众说纷纭之下,犹如Nose先生嘲弄那样:“盆地分类的方案比实际盆地数量还多”,类比无所适从,当然不可能推论油气的必然关系。

因此,盆地分析必须考察它动态形成的世代性。盆地是“在地质发展历史一定阶段的一定运动体制下形成发展的统一的沉降大地构造单元”(朱夏,1965),它的地质作用及其对油气的影响决定于运动的性质、历史与受作用的地壳地段的整体或局部反应的相互作用。

当20世纪70年代板块构造理论得到全球性的确认后,按世代解析盆地提供类比的思想更加明确。90年代AAPG出版盆地样板丛书,就首先从阶段性划分入手,比较分析盆地不同时期大地构造环境与阶段沉降成因,然后在不同阶段地质作用分析的基础上联系生、储、盖,并从已知出发建立与盆地结构变化相联系的油气运—聚模式。不过遗憾的是样板分析仍墨守“盆地类比”这一陈规,不同阶段发展的沉降实体都统一归属到某种类比命名的盆地类型,不免令人感觉穿了新鞋走的老路。

但是朱夏在 80 年代借用了术语“原型”就进一步发挥了他 20 年前盆地阶段性发展的观念,指出一个历史阶段地壳沉降的原型“作为一个结构单元是一种构造形式,也是一个沉积实体”,“可以按地球动力学的机制来区分、类比的是这类原型,而不是它们的组合——盆地”(朱夏,1985)。各种原型“在大部分地方彼此叠加,这种叠加不是一般的沉积的‘复合’,而是通过构造格局的重大变化所构成的复杂联系”。进而,朱夏指出这些原型和结构单元应被看作是在一定环境下的作用—响应系统,并以 T(环境)—S(作用)—M(响应)的程式来表达它的内涵与外延诸因素。

然而,运用大洋调查提出的全球性板块构造理论来考查不同原型的机制只满足了大陆边缘这样岩石层组成物质运动过程的分析,它们被概括为威尔逊旋回。随着“板块登陆”,形形色色的陆内盆地却纳入不进威尔逊旋回。大陆内的岩石层有其自身组成物质的运动过程,特别是近来正在积极开展大陆形变流变学的理论研究,已认为是发展板块构造的新航程。

按照板块离散—汇聚旋回,陆缘的过渡壳可以从板块边界运动三大特征分辨为由裂谷转化为离散的陆缘拗陷,与弧后和岛弧相关汇聚俯冲的盆地,以及汇聚碰撞形成的前陆盆地等原型,并且与阶段性机制相关的命名和类比已经广泛流传和引用。如果对这些盆地赋予了时代的概念,按运动旋回的过程可以预料陆缘的原型序列,其相应的构造—热体制也随之有序更迭。然而,在板块离散运动的环境下,在大陆岩石层内同样从裂谷转化为热冷却的拗陷时,由于陆壳组成性质的反应表现为碟形克拉通内拗陷盆地,与陆缘过渡壳上形成的楔形拗陷沉降的方式不同。虽然克拉通内拗陷盆地与陆缘拗陷在构造机制上都与均衡调整的线性载荷相关,并且沉积方式还时有共生沟通,但是没人列为同一类型,说明分类考虑了组成这一因素。

同样,在板块汇聚环境下大陆内的组成反应与陆缘也不同,相呼应发展的原型序列也就不同。朱夏一直反复强调,中国的中、新生代盆地是在汇聚大陆岩石层内形成的盆地。多期汇聚增生形成的中国大陆主要受东、西两侧太平洋—特提斯演化的影响,导致大陆内改变了历史格局,形成变格作用下的盆地原型。这种变格性在汇聚大陆内表现为构造挤榨和排斥转换。挤榨导致碰撞造山带的复苏和古裂谷的反转,也诱发陆内岩石层在构造载荷下半挠曲形成挤榨前渊原型。排斥导致陆内非均匀块体的扭动滑移并以主应力方位变化关系分出走滑盆地和断陷原型。通过深部地球物理信息解释也提出与挤榨和排斥构造互动的热力表现有陆壳热下潜和地幔蠕动上涌,是大陆组成热覆盖的效应,相关的热对流作用如岩浆侵位或火山喷溢等已从地表观察取得佐证。热动力与各原型变格构造机制互动的体制变化,最终当大陆热蠕动向洋突破,均衡调整下的陆内可以形成拗陷,汇聚陆内的原型更迭形成变格序列。

从中国大陆不完全的实例校验表明,板块汇聚大陆内产生的变格原型序列,与陆缘汇聚形成的弧后盆地—前陆盆地序列相区别,并改造了历史的离散陆内的裂谷—克拉通盆地序列及其相应陆缘序列的格局。

由上所述,现提出按以下三个原则分类原型:

- (1) 物质组成(陆内的、陆缘的);
- (2) 生成环境(离散的、汇聚俯冲、碰撞或变格的);
- (3) 动力体制(互动匹配的热机制:热胀、冷缩;构造机制:拉伸、剪切、挤压和重力均衡调整)。

因为原型形成有序,在具体分类时原型的时代性自在其中。这一分类是在朱夏(1983)范例性机制讨论和分类思路的基础上提出的。正如朱夏指出,所有的分类还都是尝试性的,有待通过广泛的实例校验,而作为理论建模更要注意的是“盆地的形成越来越多地决定于深部的作用”。

显然,应用和校验原型首先要关注历史不同阶段大地构造环境的分析,然后依其运动体制解析现今组合的盆地。一个盆地在纵向上是历史不同阶段原型结构的叠加,反映了不同体制更迭的效应;而一个阶段的原型在横向上又可以表现为不同机制并列的结构。因此从系统看,不同原型动态的并列叠加是油气形成分布的条件。通过国内一定实例分析表明,从某种意义上说,原型的并列制约着油气的生成,而原型的叠加控制着油气的分布。比较国外提出的样板盆地,似乎也呈现类似的共性,值得注意。

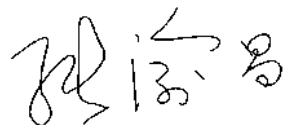
例如,Beydoun(1992)明确伊拉克扎格罗斯前陆盆地是晚始新世以来陆—陆碰撞形成的(原型),深渊充填有丰度极佳的烃源岩,但并不生油。油源来自碰撞前特提斯离散陆缘拗陷以至更早阶段盆地的烃源岩。但这个前陆盆地的机制叠加在早期岩盐上并揉皱促成盆地发育巨型逆冲背斜,其储、盖优势充分聚集了下面丰富的油,总装成为叠加组合的巨型油田。同样,Robbie Gries(1992)将北美距今120—81Ma形成前陆盆地的塞维尔造山,与距今75Ma以来大陆基底解体形成落基山的改造形变划分为两个阶段。后阶段拉拉米形变的占近—新近纪盆地分布受控于前寒武纪大陆裂谷的反转,但在这些孤立盆地的叠加下,前陆盆地及其以下占生代的烃源岩成熟。整个地区的构造和地层圈闭形成都在拉拉米形变期,油气分布在占近—新近纪盆地边缘的起伏构造鼻和翼部,常见复合圈闭,烃源岩紧邻储、盖油气自生组合。全球统计所谓前陆盆地为最高油的类型,实际是统括了陆缘离散—汇聚原型序列组合的响应,前陆盆地在序列中叠加方式不同反响不同,其油气生、储、盖组合是盆地系统统一的效果,在这系统整合下的动态成藏是在具体条件下多因素相互作用的结果。

因此,从不同体制沉降实体的更迭出发探索盆地油气形成与聚集的必然性,一方面需要从同类原型地质作用可比的普遍性及其特殊风格建立油气响应之间的关系,进而还需要联系原型地质作用并列更迭组合在响应上的变化。从当今化学实验出发,油气生成和排运聚集的认识已同温度、压力和容积($P-V-T$)之间建立了密切联系。地下自然条件下的 $P-V-T$ 就是约束油气组合响应的原型地质作用,而原型地质作用的更迭就是温度、压力和容积随时间的变化($P-V-T-t$)。通过 $P-V-T-t$ 这样的物理化学及其确定性的数理条件,可以将地质的形象思维和数理的逻辑思维结合,利用计算机开展盆地模拟,提供多方案多组合可行性预测油气的实验分析。

沿着这一思路,关联盆地T—S—M系统的盆地模拟正在不断探索实践中。从已经进行的模拟效果看,在原型更迭模式约束下进行的地质作用—油气响应关系确定性数学模拟和拟合方法可行。但是作为盆地地质作用约束油气响应诸多内涵和外延因素的单项建模模拟,还需要进一步深化与逼近。诸如,热(T)生烃门限与分散有机质不同显微组分反应的成熟关系,油气从烃源岩通过微孔隙流体压力(P)排烃的机理,以及扭动三维空间(V)沉积质点移动轨迹等等,同时要求加强物理实验的配合。系统的实验地质将吸引多学科的专家联合攻关。

当前人们从多次世界油价的波动中已经熟悉所谓“石油危机”不过是供需关系的表现,并

不是资源匮乏的反应。面对国家经济可持续发展,除了多元化改善能源结构外,加大投入寻找未知油气资源仍是关键。在新形势下,发展从盆地整体到局部及其 TSM 分析技术,正面临极大的机遇和挑战。为此,进一步发挥以企业为主体,产学研联合攻关,创造研发优势环境,在知识创新和技术创新中不断开拓资源,将是我们石油地质工作者持之以恒的追求!

Handwritten signature in black ink, appearing to read '孙良' (Sun Liang).

2008 年 3 月

前 言

近十年来,油气盆地的研究不断向系统化、动态化和定量化方向发展。本书从活动论构造历史观出发,运用 TSM 盆地分析理论观念,结合近十年我国大地构造环境和油气地质研究的新进展,在盆地原型分析基础上,确认油气盆地的复杂结构是地球岩石层构造—热体制演变的产物,表现为地史大地构造环境阶段性发展的结果。一定层次特征体制的盆地沉降结构及其沉积实体,既改造了先存的结构实体,也被后续阶段的沉降体制所更迭。盆地动态演化的结果可以表述为盆地原型并列与叠加的组合,而确认历史阶段原型的性质和分布,分析不同原型并列叠加的效果本质上就是进行盆地动态分析的基本内容,也就是以盆地为系统动态地进行油气形成和聚集规律分析的基本方法。原型的形成是盆地系统天然自组织油气的过程,其系统的边界条件就是原型的构造—热体制,其运作的方式导致原型系统中地质与油气要素相互作用形成油气的原生组合。当原型叠加,系统开放,自组织的要素在新体制作用下转化为油气的叠加组合,从而动态地引发整体盆地系统油气形成和分布规律性地变化。因此通过盆地原型的类比及其并列叠加关系分析,可以从少量已知的信息内涵外延建模,进行油气聚集规律的预测,循序渐进地依勘探进程提供油气勘探决策。由此,从油气形成与分布的系统性出发,分析明确大地构造与油气聚集的动态联系。从地质演化阶段性阐述盆地复杂结构反映的地球动力系统动态关系,建立不同地史阶段构造—热体制变化的盆地原型分类及其世代序列。进而提出按照不同世代盆地原型组合方式,明确原型并列及叠加对油气响应的系统约束关系和建模分析,提出油气勘探发展盆地原型 PVT 约束的数学模拟方法进行油气盆地“系统整合和动态成藏”是油气勘探战略决策极其重要的研究方向。

本书主要取材于中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所承担的中国石化科技项目“含油气盆地动态分析”及其近年来无锡所的有关科研项目的相关研究成果,综合提炼而成,是集体劳动的成果。该书由三部分组成,一是中国油气盆地分析的理论思路;二是中国油气盆地的形成演化;三是中国油气盆地数字模拟的理论和适用技术方法。

本书编写分工:由张渝昌担任全书编写的技术顾问;前言和第 1 章由徐旭辉编写;第 2 章由徐旭辉、高长林编写;第 3 章由高长林、黄泽光编写;第 4 章由朱建辉、吉让寿、黄泽光、高长林和张渝昌编写;第 5 章由范小林编写;第 6 章由江兴歌编写;附图由高长林、黄泽光定稿;英文初稿由高长林编写,叶德燎审定;全书由徐旭辉、高长林负责统编、修编。刘光祥、钱一雄、翟常博、陈拥锋、王宜芳、吕剑虹、樊云鹤、周小进、单翔麟等参加了研究工作。

感谢关德范等教授级高级工程师的指导帮助。书中应用了研究区各省区域地质资料,出版过程中得到中国石化石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所领导刘文汇研究员、郜建军、赵克斌、顾忆等教授级高级工程师和郑冰高级工程师的审核帮助,《石油实验地质》叶德燎主编对英文摘要及插图附表的英文稿作了审定,本书有关图件的清绘由易红承担,笔者再次表示衷心感谢!

文稿付梓之际,作者特别怀念构造地质学家 秦德余 教授级高级工程师,他已于 2004 年 12 月离我们而去,本书中也有他的劳动成果。

目 录

1 油气盆地动态分析概述	(1)
1.1 油气形成和分布的系统性	(2)
1.2 盆地系统边界的动态性	(6)
1.3 盆地系统预测油气的把握性	(15)
1.4 组建系统整合方法的必要性	(27)
2 中国含油气盆地构造特征	(30)
2.1 古中国陆形成阶段	(30)
2.2 中国晚古生代盆地的构造环境	(33)
2.3 新亚洲大陆形成阶段	(34)
2.4 小结	(39)
3 中国古生代含油气盆地的形成环境和原型分布	(40)
3.1 古中国陆的形成和陆缘增生体制原型演化序列	(40)
3.2 古亚洲陆的形成和手风琴体制不同位置的原型特征	(59)
3.3 结论和讨论	(67)
4 中国中、新生代含油气盆地的形成环境和原型分布	(68)
4.1 中国大陆热覆盖效应与盆地	(68)
4.2 中国中、新生代两个古大洋与沉积盆地	(72)
4.3 中国大陆中、新生代第一变格期变格运动与盆地	(82)
4.4 中国大陆中、新生代第二变格期变格运动与盆地	(94)
4.5 中国大陆中、新生代第三变格期变格运动与盆地	(110)
5 中国大陆岩石层深部地质组成及盆地构造—热体制	(123)
5.1 中国大陆岩石层组成	(123)
5.2 陆内岩石层构造—热体制	(130)
5.3 变格盆地分布及其成因机制	(133)
6 含油气盆地原型地质作用与油气响应的模拟方法	(139)
6.1 TSM 盆地确定性动态模拟的理念	(139)
6.2 TSM 盆地模拟模型库	(143)
6.3 TSM 盆地模拟系统平台	(163)
参考文献	(176)
An Introduction to Dynamic Analysis for Chinese Petroleum Basins	(194)
附图1 古中国陆形成阶段中国盆地原型分布图(青白口纪—南华纪)	
附图2 古中国陆形成阶段中国盆地原型分布图(震旦纪—中奥陶世)	
附图3 古中国陆形成阶段中国盆地原型分布图(晚奥陶世—志留纪)	

- 附图 4 古亚洲陆形成阶段中国盆地原型分布图(泥盆纪—早石炭世)
- 附图 5 古亚洲陆形成阶段中国盆地原型分布图(晚石炭世—早二叠世)
- 附图 6 古亚洲陆形成阶段中国盆地原型分布图(晚二叠世—中三叠世)
- 附图 7 新亚洲陆形成阶段中国盆地原型分布图(晚三叠世—中侏罗世)
- 附图 8 新亚洲陆形成阶段中国盆地原型分布图(晚侏罗世—早白垩世)
- 附图 9 新亚洲陆形成阶段中国盆地原型分布图(晚白垩世—古近纪)
- 附图 10 新亚洲陆形成阶段中国盆地原型分布图(新近纪—第四纪)

CONTENTS

1 Ideas for dynamical analysis of petroliferous basins	(1)
1.1 System of petroleum formation and distribution	(2)
1.2 Activity at the boundary of a basin	(6)
1.3 Reliability of the basin system for prediction of petroleum accumulation	(15)
1.4 Necessity for the formation of integrated system method	(27)
2 Tectonic characteristics of the Chinese petroliferous basins	(30)
2.1 Formative stage of Palaeo-China continent	(30)
2.2 Formative stage of Palaeo-Asian continent	(33)
2.3 Formative stage of Neo-Asian continent	(34)
2.4 Brief summary	(39)
3 The formation environment and proto-basin distribution during the Paleozoic in China	(40)
3.1 Formation of the palaeo-China continent and evolution sequence of continental margin accretion	(40)
3.2 Formation of the Ancient Asia Continent and different proto-basin distribution in the accordion-like tectonic system	(59)
3.3 Conclusion and discussion	(67)
4 The formation environment and proto-basin distribution during Meso-Cenozoic in China	(68)
4.1 Continental thermal covering effect and basin evolution	(68)
4.2 Two Palaeo-Oceans and Sedimental Basins During Mesozoic Era in China	(72)
4.3 The first diptyogenese period(T_3-K_1) and basins in China continent during Mesozoic-Cenozoic	(82)
4.4 The second diptyogenese period(K_2-E_{2-3}) and basins in China continent during Mesozoic-Cenozoic	(94)
4.5 The third diptyogenese period(E_3/N to present) and basins in China continent during Mesozoic-Cenozoic	(110)
5 Geological composition in the deep lithosphere and basin thermo-tectonic system in the	

Chinese continent	(123)
5.1 Composition of the Chinese continental lithosphere	(123)
5.2 Relationship between thermo-tectonic system and Diagenese basin in Chinese continental lithosphere	(130)
5.3 Distribution of the Diagenese basins and the genetic mechanism	(133)
6 Simulation method of relationship between geological action and petroleum response in petroliferous proto-basins	(139)
6.1 An idea of TSM determinacy dynamic simulation for basins	(139)
6.2 Model-base system of TSM Basin computer simulation	(143)
6.3 Platform for TSM basin simulation system	(163)
References	(176)
An Introduction to Dynamic Analysis for Chinese Petroleum Basins(Abstract)	(194)

1 油气盆地动态分析概述

当今,应用盆地分析寻找油气正面临着新的挑战,但无论在思想上或方法上都给盆地的动态分析及其多学科系统整合预测资源带来极大的发展机遇。面对 21 世纪经济全球化的市场竞争,制石油经济发展的根本在于掌握资源。为了降低投资风险,提高经济回报,我国盆地油气分析必须进一步面对复杂地质条件“免于找油哲学的贫困(朱夏,1986)”,防止勘探战略的片面和失误,才能合理估算油气资源,为正确预测油气位置服务。

面对中国实际,长期以来我国许多油气盆地勘探工作者对复杂结构的含油气盆地,特别是大型的盆地,进行了广泛的调研,提供了一系列勘探指导思想和分析方法。其中,朱夏先生提出的 T(环境)—S(作用)—M(响应)程式(图 1-1)内涵和外延因素所表述的盆地大地构造与油气聚集的关系,一直指引着油气盆地系统网络的整合研究及其动态成藏的实际运用。通过历史阶段多层次、多结构的原型组合关系开展系统的、动态的、定量的分析,盆地的动态分析已经显示出对于探索复杂的生—储关系及其油气运移形成的各种油气藏尤为重要。它可以从少量已知信息合理推演未知,有助于正确建立勘探模式,指导实践。

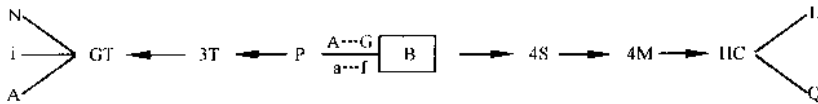


图 1-1 油气盆地 TSM 系统研究程式(朱夏,1983)

程式中 B 表示盆地(Basin),箭头向左和向右各自分别表示盆地与大地构造和油气聚集的关系,其左面所列 P 的分式和上下符号表达为盆地是原型(Prototype)并列叠加的组。一个盆地的原型组合方式决定于不同历史阶段形成一定原型的大地构造环境(T),其构造环境演变的阶段性可以分别归属于古全球构造体制(Ancient global tectonics)、新全球构造体制(New global tectonics)及其过渡阶段(i, Intermediate stage)。影响原型形成的大地构造环境主要有三大因素(3T),即地壳沉降的时期(Time)及其所处的大地构造位置(Tectonic setting)和热体制(Thermal regime),反映了原型形成时期的构造—热体制,是地球动力作用在这一时期岩石层(圈)物质运动的总合。当大地构造环境变化,不同世代的原型构造—热体制则阶段性演变。朱夏从全球构造演变关系提出中国盆地可划分为两大阶段,即由古全球构造体制相关的古生代油气盆地和与新全球构造体制相关的中、新生代油气盆地,盆地阶段性在转化上不必同时,可以出现过渡期,历史地控制和改变着不同世代原型的构造—热体制及其油气形成和富集条件。在 B 右面箭头所列的是盆地地质作用(S)与油气响应(M)之间的关系,其地质作用主要概括为四个方面(4S),包括了盆地沉降(Subsidence)、沉积(Sedimentation)、应力配置(Stress condition)和风格(Style),而油气响应则包括了物质(Material)、成熟(Maturity)、运移(Migration)和保存或调整(Maintenance and Modification)四个方面(4M),它们彼此相互关联相互作用可以构成若干子系统,在构造—热体制约束下形成系统网络。但是随着大地构造环境变化,盆地不同世代原型并列叠加组合方式不同,盆地的地质作用—油气响应(S—M)关系是动态的,因此,需要通过一定构造环境形成的原型自身,比拟其构造—热体制及其约束的 S—M 关系,认识历史阶段油气形成的规律,进而掌握盆地组合的整体,了解原型动态变化的油气分布规律,就会有助于评价预测油气资源量(Q)及其聚集的位置(L)

Fig. 1-1 TSM - system programme for the study of petroliferous basins

在国外,传统的油气盆地分析也面临“何去何从”,正在引发跨学科联合攻关,推动盆地分析从事物的描述现象,进入探求实体研究本质的阶段。这将对盆地的油气资源预测提供坚实的理论基础。全美沉积盆地地球动力学研究组(1997)规划了一个盆地地球动力学研究的实

施纲要(表1-1),提出研究沉积盆地的内容几乎涵盖了整个地球科学和石油地质学。纲要提出盆地多机制的沉降作用应当与全球到局部不同规模壳—幔的变化关系相联系,建立盆地冷热边界成因和应力应变耦合标志,进而通过地热和构造作用同沉积盆地中流体运移和化学物质迁移等综合开发建立新一代的水、化学、热和力学的配置模型,包括各种化学分析新技术、地质结构成像技术以及盆地模拟方法。纲要反映的盆地分析理念,与我国从活动论构造历史观进行盆地TSM系统分析,以及从理论建模—实例检验—盆地模拟计划研究的工作设想,非常接近,可以广泛沟通取得全球性的信息交流,深入发展盆地动态分析。这也就是说,按照传统沉积盆地的观念和笼统的盆地分类和类比不能提供油气资源评价的基础,它需要建立大地构造与油气聚集的动态联系,不断冲破原来找油指导思想中的一些不必要的束缚,从历史的、系统的、动态的思想方法,逾越横亘在已知与未知之间的鸿沟。

表1-1 美国沉积盆地动力学专门小组提出的盆地研究主题(引自任建业节译,1999)

Table1-1 Basin research theme put forward by the group of U. S. sedimentary basin dynamics

板块构造和地幔对流格架中盆地的形成
· 盆地演化过程中烃类的形成和运移;
· 现今和地质历史时期地下水流动和化学运移;
· 与构造环境有关的盆地充填演化和热史;
· 地下孔渗性的时空变化;
· 保存在沉积盆地中的构造、气候和海平面变化的记录

在科学研究中概念是十分重要的,它反映了对事物的认识和交流方式。一个正确概念的形成和运用,将具有重大的经济潜力。为了适宜地说明盆地动态分析的概念,本文以如下方式进行表述。

1.1 油气形成和分布的系统性

1.1.1 作用—响应关系

从系统论出发,一个系统包括边界和要素两个方面。边界是条件,要素是根据。在一定边界条件下要素间相互联系相互作用,形成一个有机整体,展现为系统的功能。如果边界条件变了,要素的作用和系统功能就发生变化,结果旧的系统转化为新的统一整体,构成动态的系统功能。系统有大有小,由边界范畴决定。当一个系统包容了另一个系统,则被包容的系统就构成系统的子系统,由此相关的若干子系统可以构成一个复杂的系统网络,形成各要素间复杂的作用关系,展现系统网络整合的功能。

石油从生成到富集是系统网络各种物质流、能量流的过程。使固态生烃物质转化为流体的生烃子系统具有区域性的边界条件,而油气运移子系统则是物质能量流动对这一区域条件的优势选择,在系统网络中受地质作用的约束,形成各子系统整体与局部的关系。自从找油经验的积累提出“背斜学说”或概括为“圈闭”以来,地质学开始真正进入找油领域,形成了石油地质学。但是,圈闭并非油气聚集系统的充分条件,还与流体输入时“区域地质”因素的优势选择有关。由此,沉积盆地自然地构成了油气形成与分布的一个网络系统,它的沉降边界和充填物整体,包括生、储、盖物质要素,提供了完整的油气成藏功能。一切油气事件都发生在这一系统内,油气形成与分布取决于盆地边界和要素之间地质作用—油气响应的功能关系。从

TSM 程式对油气形成和分布来看,一个结构复杂的盆地是油气成藏的动态系统,其盆地边界与要素之间的关系,就是盆地环境制约内部地质要素同油气要素之间各子系统作用与响应的网络动态整合关系。系统网络的联接是通过盆地地质作用表现的 $P-V-T$ 变化实现的。这与有些学者如 Magoon 等提出“从烃源岩到圈闭的油气系统”概念不同,但是他们大量总结归纳油气研究的新进展,特别是鉴别油气物质自身转化过程的方法,对盆地系统网络的油气响应分析十分有用。从油气发现到油田开发可以从整体到局部划分为普查、勘探和开发等不同阶段,但是从盆地一圈闭全过程的研究,包括烃源岩转化生烃和运移在内不存在阶段性,只有整体与局部,宏观和微观认识程度的关系,在任何普查勘探阶段它们都是一个系统地质作用与油气响应的动态网络关系。在一个勘探较成熟的盆地中,取得成熟的作用—响应系统 $P-V-T$ 的网络关系,深入进行勘探预测,另一方面反馈的 $P-V-T$ 认识规律又能够提供非成熟的盆地勘探动态分析的指导作用。

1.1.2 体积

油气勘探大量的地质观察和实验分析表明油气要素,包括生、储、盖物质存在于盆地的沉降—沉积过程中,盆地结构空间(V)构成了油气物质要素充填的容器。首先,这一沉降空间的沉积实体包括沉降方式、应力配置、沉积速率及其体系域的展布等,决定了油气生、储、盖物质有序的组合规律。例如,大陆边缘拗陷 LST—TSF—HST 沉积层序,烃源岩的层位与海侵体系域(TSF)分布有关,而在大陆断陷发育的陆相烃源岩则与主断层控制的扩展期最大可容水体空间的进积体系域有关。这种油气物质分布的规律性本质上在于沉降空间能否提供有利于有机质保存的条件,它制约着包括有机质保存的类型、丰度和生烃强度的分布。同样,这一空间保存储、盖物质的条件与沉降幅度、速率、物源关系、地表径流大小、沉积运载密度等关联,也相应地有序展布。油气生、储、盖物质规律性的组合还受益地空间应力配置和不同风格的影响,取决于多因素不同地质作用相互之间的复杂关系。因此油气物质自身转化为流体过程的空间必须联系一定体制约束的盆地原型地质作用,了解它们之间作用—响应的系统关系,才能正确认识油气成藏规律。

1.1.3 温度

随着盆地沉降,沉积实体受热(T),与埋藏深度、盆地所处岩石层厚度、岩石组成的热导率等等有关。一般岩石层固化面的温度为 1350°C ,是一个常数,但由于组成的非均质性和地壳内放射性物质衰变放热的影响,以及主要是沉积实体在埋藏成岩的过程中矿物相的变化和孔隙空间水的流动和渗透率的变化等,都会影响到地热流量在盆地中的分布,并且其反应往往保留在成岩上。因此作为沉积组分的有机质特别是新近研究提出干酪根不同组分转化成烃的过程,具有不同的热成熟门限和生烃时期(图 1-2),那就更需要将生烃过程纳入到原型地质作用的动态系统关系中去,才能完整地认识生烃响应史。地热是成岩重要因素,温度不断改变着岩石矿物的组成及岩石孔隙度和渗透率的状况,因此,成岩的温度—空间变化关系决定了烃源岩排出油气和运移的条件。油气物质转化为油气的过程不可能不与盆地原型组合的地质作用变化关联而独立形成。

1.1.4 压力

油气物质在盆地空间沉降中随沉积实体埋藏还受到压力(P)的影响,其分布受益地原型沉降基面的构造活动和沉积实体的应力配置及其规模、程度风格控制。压实作用表达的水体

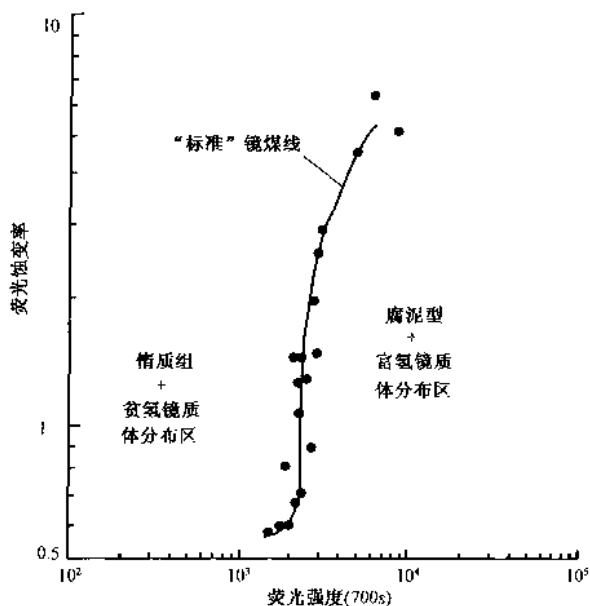


图 1-2 多组分荧光蚀变分析有机质的技术 (FAMM) 图解示意

许多专家提出 R_0 是单一技术参数,不能提供不同组分动态的烃成熟度。FAMM 是运用拉曼探针技术将激光束集中辐照到 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 的样本上,可以从激发的荧光特性,区分不同有机组分的成熟度和含氢量。根据样本点测定的光照时间—荧光强度曲线,可以整理出样本点的显微组分荧光蚀变,提供分析。图示荧光蚀变图解纵轴为荧光蚀变率(最终/最初荧光强度之比)与成熟度有关,横轴为最终荧光强度与氢丰度有关。图解中央垂线是均质镜质体投点连线,取名“标准”镜煤线,各点对应的 R_0 从 $0.4\% \sim 1.2\%$ 。该线分开了其他的有机组分投点,垂线右侧为腐泥型 + 富氢镜质体分布区,左侧为惰质组 + 贫氢镜质体分布区,各组分投点对照的 R_0 各不相同,连线呈弧线与“标准”镜煤线相交(图上未表示)。有关技术正在推广应用,对不同组分动态生烃过程有重要分辨意义

Fig. 1-2 A diagram showing the FAMM method for analysis of organic matters

和沉积载荷压力—深度关系,从构造上看是在一定成岩阶段垂向主应力的反应。岩石保留的构造形迹,诸如褶皱断裂乃至同生构造则是盆地原型三维应力配置的反映。板块构造已经确立水平运动和盆地垂直运动的转换关系,大地构造、盆地构造以至于局部构造、微裂隙的发育是一贯的、系统的作用关系,大包容小,小可窥大,有规律可循。盆地压力或构造力首先是作用在沉积实体或者孔隙空间支撑上,但是作用力大,孔隙空间缩小,影响着孔隙流体压力的大小,由此,盆地实体的外力转化为沉积物基质孔隙空间的流体压力。虽然转化的孔隙流体压力具有均匀分配的特征,但是在静水流体压力下决定孔隙流体势大小分布的高程因素是与原型结构一致的。当盆地原型垂向主应力导致快速沉降,沉积速率大,岩石孔隙缩小大于孔隙流体排出时,形成孔隙流体异常压力。同样当盆地原型以侧向应力为主时,侧向挤压也会产生高压孔隙流体异常,它已认识为油气运移的重要条件(图 1-3)。

一种见解提出,如果在压实的微孔隙源岩空间生烃热膨胀所产生的微缝使润油吸附的烃从分散状态流通而提高饱和度的话,那么,当盆地沉降幅度变化,例如盆地基面隆升或构造反转,降低了源岩压力,能更有效地推动油气浮力克服岩石低孔渗毛细管阻力,而有利于压力释放。因此排烃作用是与应力配置变化有密切关系的,可以从盆地构造分析中合理推论的。目前,虽然排烃过程的研究还处在先验模式状况,但都认为与流体异常压力差有关,运载层中油

气运移的流体压力则更直接与构造活动有关系。最近一些实例分析提出断陷运载层中油气运移能否穿过犁式断层,与断面不同部位的孔隙流体压力和断层圈闭的油柱高度变化有关,特征可分为三段(图 1-4)。实际上犁式断层三段孔隙流体压力受断面应力配置形成的构造岩特征控制,其断面下段具有压性构造性质,构造岩毛细管渗透率低表现为薄膜效应,断面中段和上段各具剪切性和拉张性,岩性渗透率相对高,自由水多,形成水阻封闭乃至向上开启。因此正对断层下段的运载层需要足够的油气饱和度才能通过断面,整条断层油气运移的充注与地质作用密切关联,表现为动态的聚散过程。

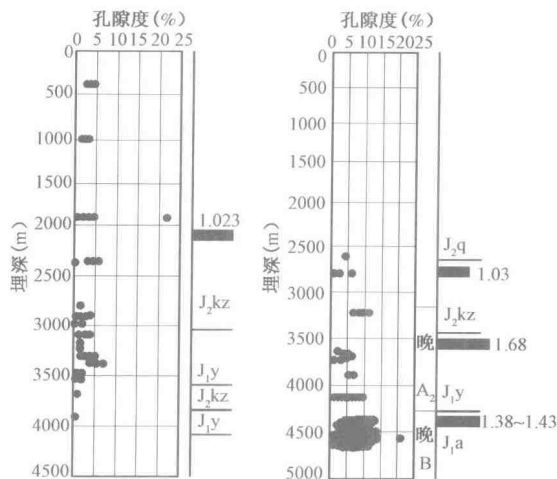


图 1-3 库车坳陷依南地区钻井物性与地层压力系数分布(摘自白应凤祥,2002)

该区钻井非常见 J_1 地层高压,与冲断作用有密切关系。图示冲断层面各在左右两个钻井剖面井深 3576m、2940m 处,重复出现的地层成岩期不同。剖面断面上下,孔隙度明显差别,也说明构造应力的影响。分析认为构造挤压形变过程,生油岩矿物与有机质发生力能—化学能的热能转换,比沉降时温度压力更强,对成熟度产生影响

Fig. 1-3 A diagram showing the physical property and the formation pressure in wells in the Yinan, Kuche depression

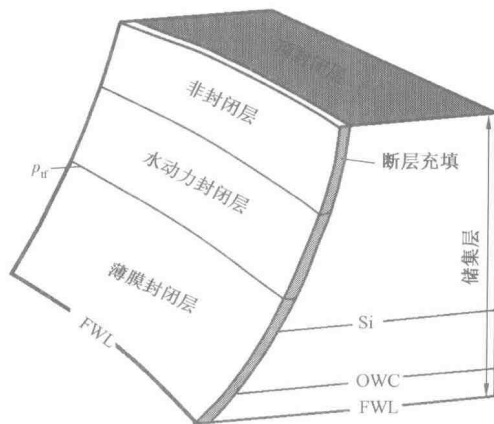


图 1-4 断层充填物封闭机理模式

Fig. 1-4 A model showing closed mechanism of fault fillings