

丁甘 郑潘 王
明 文 章 华 新
等 编

油气勘探工程新进展 (一)



 石油工业出版社

油气勘探工程新进展(一)

丁贵明 甘克文 郑俊章 潘校华 王玉新 等编



石油工业出版社

内 容 提 要

本书收编了近几年石油地质勘探情报研究的部分成果,共计18篇文章。书中概述了80年代以来石油地质理论的新进展,强调了构造研究在含油气盆地分析中的作用,总结了前陆盆地及陆相断陷盆地的地质特征及含油气性和世界上大型气田的分布规律,并对一些新的成藏类型、成藏要素及其勘探方法进行了分析。

该书可供石油及天然气地质科技人员使用,也可作为领导决策者的参考书,还可供大专院校有关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

油气勘探工程新进展(一)/丁贵明等编.
北京:石油工业出版社,1995.
ISBN7-5021-1553-6

I. 油…

II. 丁…

III. 油气勘探-工程地质-进展

IV. P618.13

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里2区1号楼)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092 毫米 16开 14 $\frac{1}{2}$ 印张 371千字 印1-1000

1995年8月北京第1版 1995年8月北京第1次印刷

定价:20.00元

前 言

当前,我国石油工业正面临着巨大的挑战,原油产量将满足不了高速发展的国民经济的需求,其根本制约因素是后备资源不足。因此,加强油气勘探是我国石油工业发展的首要任务。建国 40 余年来,我国在陆相含油气系统,特别是东部拉张型盆地的勘探取得了重大突破,使得我国成为世界油气资源和生产大国。但是,对于海相含油气系统以及西部挤压型盆地的勘探,尚未取得令人满意的效果。为了贯彻中国石油天然气总公司“稳定东部,发展西部”和“油气并举”的战略方针,油气勘探必须不断引入新理论、新技术、新方法,不断开拓新领域。“他山之石,可以攻玉”,借鉴国外成功的经验和失败的教训,是我们引入和建立勘探新思维的捷径。为此,我们拟编写一套《油气勘探工程新进展》系列丛书,本书是该丛书的第一部,收编了近几年石油地质勘探情报研究的部分成果,共 18 篇文章。这些文章从不同的侧面反映了现代油气勘探理论的最新进展。第 1 篇文章概述了 80 年代以来石油地质理论的新进展,为今后石油地质综合研究指明了方向。第 2 篇文章强调了构造研究在含油气盆地分析中的作用,为加强盆地评价提供了新的思路。第 3~8 篇文章通过对世界上典型的前陆盆地的分析,详细总结了前陆盆地的地质特征及含油气性,对我国西部及中部以前陆盆地为主体的含油气区的勘探具有重要的借鉴意义。第 9 篇文章总结了国内外陆相断陷盆地的石油地质特征和勘探方法,对我国东北裂谷盆地群的勘探具有指导意义。第 10,11 篇文章描述了东南亚地区的石油地质特征及勘探现状,为我国南方及西藏地区的油气勘探提供了对比的基础。第 12~16 篇文章对一些新的成藏类型、成藏要素及其勘探方法进行了总结,拓宽了我们的勘探视野。第 17 篇文章提出了高成熟区增加储量的方法,对我国东部老区的增储上产具有现实意义。第 18 篇文章总结了世界上大型气田的成藏规律,对我国加强天然气勘探具有一定的指导意义。

我们相信,这本文集的出版,对油气勘探不断向新区、新领域延伸将起到积极推动的作用。本书由丁贵明策划,丁贵明、甘克文、郑俊章、潘校华和王玉新主持编辑。书中不当之外敬请指正。

1995 年 4 月 27 日

目 录

1	石油地质理论新进展	王玉新(1)
2	油气盆地研究中的一个基本问题——构造学研究	甘克文(6)
3	前陆盆地的特点及含油气性	潘校华(15)
4	北美地区主要的前陆盆地	潘校华(27)
5	乌拉尔前陆盆地	郑俊章(43)
6	南美洲前陆盆地	白淑艳(52)
7	前陆盆地与大油气田	甘克文(62)
8	前陆盆地若干问题的探讨	甘克文(72)
9	国内外陆相断陷盆地石油地质特征和勘探方法	张宝玺 刘晓阳(77)
10	泰国湾盆地石油地质特征及含油气远景评价	郑洪印 潘和顺 郝磊(90)
11	东南亚油气勘探现状及石油地质特征	饶春涛 黄仙英(102)
12	国外泥岩油气藏的勘探方法与储量计算	张建国 张朝启(124)
13	国外碎屑岩储层预测方法与应用	张刘平等(136)
14	碳酸盐岩裂缝性气藏形成条件、分布规律及勘探方法	张子枢 吴邦辉(163)
15	深部天然气藏的形成条件	张建国、张朝启 陈建华(188)
16	国内外低熟油气特征探讨	张宝玺 张晓刚(201)
17	高成熟勘探区增加储量的新领域及详探技术	张建国(211)
18	世界大气田的分布规律	翁文华 刘友民(217)

石油地质理论新进展

王玉新

(中国石油天然气总公司勘探局, 北京, 100724)

摘 要

80年代以来,石油地质理论的主要进展表现在以下几个方面:①板块构造与油气聚集的关系;②含油气盆地分析与模拟;③层序地层学及定量地层评价;④生油理论的进一步突破;⑤含油气系统概念的提出及其运用。

主题词: 板块构造 盆地分析 层序地层学 生油理论 含油气系统

80年代以来,基础地质研究突破了学科界限,人们更加重视跨学科的综合研究,从而促进了石油地质学的发展。石油地质研究已经超越了传统的“生、储、盖、圈、运、保”六大要素的分析,更加重视与基础地质学科,特别是板块构造学、沉积学和地球化学的密切联系,从盆地形成及演化的整体的、动态的背景上,揭示各成油要素之间的相互联系和油气富集规律。

一、全球古地理再造,揭示了板块构造对烃源岩发育、储集岩展布及油气资源分布的制约关系,为油气资源评价和分析奠定了基础

以板块构造理论为基础的全球古地理再造,恢复了不同地质历史时期各大陆的相对位置,特别是对显生宙全球构造的分析,初步揭示了古生代联合大陆形成及中生代联合大陆解体的细节,增加了人们对盆地原型的认识,从而可以根据全球构造格局来研究世界油气资源的时空分布。

全球油气资源的分布可以划分为北方油气域、特提斯油气域、冈瓦那油气域和太平洋油气域。盆地发育的古纬度、古气候直接控制了烃源岩的发育,因而也明显地控制了油气资源的分布。在地质历史中,赤道—30°古纬度范围内,以及全球性温暖气候变化时期(如侏罗纪)有利于烃源岩的发育。北方油气域的古生代及特提斯油气域在地质演化过程中主要位于赤道附近,因而成为全球油气资源富集的地区。据第14届世界石油大会报道,全球常规油可采资源量为 $3113 \times 10^8 \text{t}$,天然气 $328 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。油气资源有68%分布于特提斯油气域,23%分布于北方油气域,5%分布于太平洋油气域,4%分布于冈瓦那油气域。

二、盆地分析由地质概念模型向定量模拟发展,使石油地质研究发生了质的变化

我国已故石油地质学家朱夏教授曾反复强调,石油地质研究应以盆地为基础单元,从盆地的整体概念出发,系统研究盆地形成、演化的各种地质要素及其相互作用,包括石油地质的各个方面,最终落实到油气资源评价上来。传统的盆地分析往往着重于石油地质的专题研究,油气是盆地的充填特征和盆地形成机制的研究,基本上是对盆地系统各组成要素的单因素分析。80年代以来,盆地分析正在向着朱夏教授所倡导的整体的、动态的、定量的综合研究方向发展。

1. 盆地的地质概念模型研究不断深入

盆地分类代表人们对于沉积盆地的认识程度。近年来,以地球动力学为基础的盆地的三端元分类取得了人们的共识。以盆地构造为核心的盆地地质模型发展很快。根据地壳的力学性质,可以将盆地划分为拉张、挤压、走滑三大系列,并可根据板块构造位置进行进一步划分。

以大陆内裂谷盆地和被动大陆边缘为代表的拉张盆地,由早期的纯剪切模型发展到简单剪切模型、混合剪切模型和岩石圈层圈剥离模型。不同的盆地模型导致盆地的热流分布不同。纯剪切模型和层圈剥离模型的盆地底面与莫霍面呈镜像反映,高热流值位于盆地拉张区的中部,盆地具有明显的热沉降坳陷期。简单剪切模型和混合剪切模型,通过盆地底部的剥离断层将上地壳的脆性破裂与下地壳的塑性流动联系起来,热地幔隆升与上地壳的拉张区之间有一定的空间位移,从而使得高热流值并不一定分布于盆地拉张区的中部。因此,盆地模型将对烃源岩的热演化特征起到重要的控制作用。

以前陆盆地为代表的挤压盆地,将造山带演化与盆地的形成、形变联系起来,揭示了板块俯冲和碰撞对盆地的制约作用。前陆盆地主要发育在临近造山带的克拉通一侧,其形成与岩石圈板块挤压挠曲及构造负载有关。盆地模型由早期的弹性弯曲发展到粘弹性弯曲和热流变模型,不但有效地解释了前陆盆地的沉降、沉积历史,而且对一些克拉通盆地的演化有了进一步的认识。

克拉通盆地具有长期演化历史。近年来的研究表明,显生宙板块活动的两大巨旋回控制了克拉通盆地的形成及演化,板块应力对克拉通盆地沉降历史及沉积充填层序有重要的影响。克拉通盆地的演化序列可能是早期的坳拉槽、中期的热衰减沉降、晚期的前陆挤压挠曲沉降。这种演化序列可能在一个克拉通盆地中反复经历多次。因此,克拉通盆地的成因具有多旋回及复合性。油气资源的分布表明,与造山带相邻的前陆克拉通盆地及叠加有晚期裂谷作用的克拉通内裂谷盆地,具有较为丰富的油气资源。

2. 盆地构造样式的研究日趋完善,为复杂构造圈闭的识别打下了基础

盆地的构造样式可以根据力学性质划分为张性、压性和扭动三大基本系列。压性构造样式可以划分为基底挤压断块、盖层滑脱褶皱冲断构造两种基本类型。张性构造样式可以划分为拉张断块、低角度犁式断层系、平面状(“多米诺”)断层系等基本类型。扭动构造样式可以

划分为花状构造、雁列褶皱等基本类型。由于区域应力场的改变,可以出现不同类型构造样式之间的叠加,从而形成反转构造样式。如拉张盆地的后期挤压可以出现正反转构造—反转逆断层及挤压背斜,造山带及前陆褶皱冲断带的后期拉张可以出现负反转构造—反转正断层及小型的箕状断陷。

近年来,由于平衡剖面技术及其计算机模拟技术的发展,构造样式的研究已经进入了定量化阶段。平衡剖面的基本原理就是物质平衡法则,即假定变形前后的岩石的体积、面积或线长度保持不变。根据这一原理,可以检验构造解释的合理性,制作出正确的构造横剖面。目前,不但建立起来压性构造、张性构造的几何学、运动学的定量模型,而且建立起来压性构造和张性构造之间的对比关系,加深了地壳变形机制的认识,提高了复杂构造解释的精度。

3. 盆地模拟体现了现代石油地质研究的最新成就

盆地模拟是对盆地各种地质要素及其相互作用的动态仿真,不但可以对盆地进行定量描述,而且可以对各种地质模型和地质解释进行验证和“实验”,因此,对盆地的地质解释和矿产预测具有重要的作用。主要进展体现在以下几个方面。

(1) 盆地地史模拟

采用回剥及超压相结合的技术,并考虑盆地古水深、海平面变化、构造升降及剥蚀的校正,恢复盆地的沉积史和构造演化史。近年来,由于层序地层学的发展,深化了地史模拟。有关裂谷盆地及被动大陆边缘盆地的地史模拟已经相对成熟。前陆盆地地史模拟也有很大进展,已经深入到较小地层单位(或准层序)的上超、底超及其与构造沉积作用的关系上。

(2) 热史模拟

广泛采用镜质体反射率、包体测温、粘土矿物变化和裂变径迹法等,重建盆地的古地温及古热流史。

(3) 烃类的生成、运移、聚集史模拟

运用干酪根降解实验的热模拟或化学动力学方程,重建盆地的生烃史;运用压实资料重建烃类的排烃史;利用三相渗流力学方程重建烃类的运聚史。

(4) 综合评价模拟:根据上述模拟结果,运用多种评价方法,最终确定油气藏的位置和资源量。

目前,一维盆地模拟已经得到广泛应用,二维盆地模拟也进入了实用阶段,三维盆地模拟是今后努力的方向。总体来看,盆地模拟尚处于发展阶段,其基础在于地质模型的不断完善和更新。因此,基础地质研究仍是盆地分析模拟的重要环节。

三、层序地层学的建立和发展,推动了地层评价由定性向定量发展

地层评价是石油地质研究的重要基础内容之一。地层评价一方面通过揭示盆地的沉积充填格架为盆地模拟服务,另一方面通过了解地层内部的岩性、岩相变化为油藏描述服务。80年代以来,以层序地层学为核心的地层评价技术,受到广泛的重视和应用。

层序地层学是在地震地层学基础上发展起来的,通过反射地震资料和露头、钻井资料的综合研究,建立盆地的等时地层格架,将沉积体系和沉积相放在统一的等时地层格架中进行研究,对揭示盆地的三维地质结构及生储盖层的横向预测具有重要意义。

盆地充填层序的几何形态和岩性主要受构造沉降、海平面升降、物源供给速率和气候等四大参数的控制。根据这些参数在盆地内的时空演化特征,利用计算机模拟可以再现某一时期的沉积体系或层序的时空展布特征以及最终的地层结构,从而使地层评价由定性发展到定量阶段。如国外学者对碳酸盐岩台地间断加积旋回的一维模拟、被动大陆边缘地层格架及岩性岩相分布的二维模拟、三角洲沉积体系的三维模拟,加深了沉积体系的成因研究。

近年来,根据层序地层学的基本原理,利用高分辨率地震、三维地震及特殊处理资料,可以对储层非均质性、流体分布、压力系统及局部的地层岩性圈闭等进行钻前预测,提高了勘探成功率,同时对优化油田开发方案起到了积极作用。

四、有机地球化学研究及其定量评价技术的应用,推动了生油理论的发展

80年代以来,由于显微镜荧光测定技术、热解分析技术和生物标志化合物分析技术的发展,人们已能够成功地确定生烃母质的类型和有机质成熟度,并进行油源对比和定量评价生油岩的潜力。突出的进展表现在煤成油及低熟—未熟油的认识上面。

煤成油具有明显的姥鲛烷优势、富重碳同位素、与煤具有相似的甾烷组成等地球化学特征。生油的有机质主要是富氢的显微组分,包括基质镜质体、藻类体、角质体、孢子体、木栓质体、树脂体和沥青质体。不同的富氢显微组分具有不同的生油演化特征,在热演化的不同阶段,这些组分对生油的贡献大小不同。因此,煤成油具有多个生油阶段,具有早生烃、早排烃的特征。目前,已在澳大利亚的吉普斯兰盆地和中国的吐哈盆地中发现了丰富的煤成油资源。

低熟—未熟油主要是指埋藏浅于传统的生油门限($R_o < 0.5\%$)的有机质生成的油。传统的干酪根晚期成油说认为,这部分资源仅占总生烃量的很小比例,一般不能形成具有工业价值的油藏。近年来,对低熟—未熟油的认识加深了一步。低熟—未熟油常含有相当数量的热稳定性低的生物标志化合物,族组分多以饱和烃、芳香烃为主。在成油机理上,提出了低等藻类和高等植物的类脂物在低温化学反应阶段形成烃类,并受多种因素的控制。总体看,低熟—未熟油主要是陆相有机质成烃的一大特点。目前,已在加拿大的波费特—马更些盆地、美国的库克湾盆地、中国的渤海湾盆地等陆相盆地中发现了低熟—未熟油资源。

五、含油气系统概念已成为更好地了解烃类时空分布和降低勘探风险的重要手段

近年来,随着含油气盆地整体的、动态的、定量的研究进一步深入,人们把注意力从含油气盆地的分类研究转移到盆地内烃类的聚集规律的研究上来,把油气分布规律与烃源岩展布紧密地联系在一起,提出了含油气系统的概念。含油气系统包括成熟的烃源岩及所形成的所有油气藏,并包含油气藏形成时所必不可少的一切地质要素及作用。这些地质要素包括烃源岩、储集岩、盖层及上覆岩层,地质作用包括圈闭的形成、烃类生成—运移—聚集、油气藏的保存与破坏等。因此,含油气系统的概念实际上体现了整体的、动态的、定量的进行含油气

盆地分析的原则。

目前,含油气系统研究已成为盆地评价和区带、圈闭评价的中间环节,受到国内外学者及研究机构的广泛重视。

参考文献

- 朱夏,1986,朱夏论中国含油气盆地,北京:石油工业出版社
- 赵重远、刘池洋、姚远主编,1993,含油气盆地地质学研究进展,西安:西北大学出版社
- 第十四届世界石油大会译文集,1994,中国石油天然气总公司科技发展局译,北京:石油工业出版社
- Allen, P. A. & Allen, J. R., 1990, Basin analysis and applications. Blackwell Scientific Press.
- Klemme, H. D. and G. F. Ulmishek, 1991, Effective petroleum source rocks of the world: stratigraphic distribution and controlling depositional factors. AAPG, Bull. V. 75, No. 12. P. 1809—1851.
- Wilgus, C. K., *et al* (Editors), 1989, Sea-level changes — an integrated approach. Soc. Econ. Paleontol. Mineral. Spec. Publ., V. 42.

油气盆地研究中的一个基本问题——构造学研究

甘克文

(石油勘探开发科学研究院,北京,100083)

摘 要

70年代以来,对沉积盆地分类学的研究,由于在油气勘探实践中没有取得理想的效果而趋向沉寂,关键是忽视了盆地演化过程的活动论本质,从而违背了板块理论的初衷。

根据统计,世界沉积盆地中有商业油气田的是少数,有大油气田的盆地更是少数中的少数,而且油气聚集分布在地质时代和构造背景上又有极大的不均匀性。由此说明不能只用传统的沉积思路研究盆地,必须考虑盆地的全球构造体制及经受的改造条件,注意盆地群体和个体之间的关系,因构造背景而出现的不同母岩区和伴生火成岩体对盆地的影响,构造力学性质随时间和空间而转移的多变性,以及由于大陆边缘的多样化而导致沉积盆地的跨带性。总之,构造条件是盆地从发生到演化乃至消亡或逆转的根本要素,由此出发研究盆地,或许能为油气勘探带来新的突破。

主题词: 油气盆地 盆地地质学 盆地类型 盆地逆转 构造研究

一、引 言

本世纪70年代以来,随着板块构造学说的兴起,在油气地质领域中出现了以盆地分类为中心的研究热潮,希望根据板块理论的盆地分类能识别和判断油气远景。虽然这些研究中出现了许多创造和取得了许多进展,但并没有达到预期的希望。典型的例子是大西洋型被动大陆边缘盆地,曾被认作是一种很有远景的沉积盆地类型。但在大西洋西侧美国东海岸的盆地带勘探中,从1974年到1984年共钻井52口,只有5口井见无经济价值的油气,此后,再没有油气工作者到这一盆地带投资风险勘探。与此相呼应的是盆地研究工作,也进入了一个相对沉寂时期。

我国的油气勘探虽然一直从沉积盆地入手,但把沉积盆地提高到油气勘探的理论高度则是已故的朱夏教授的贡献。一般地讲,国内有关油气盆地理论的研究起步较晚,但发展较快,目前已经有了—支有相当力量的研究队伍,并且在近期有关的学术交流活动中相当活跃。

笔者曾于1984年提出要使“含油气盆地地质学”成为一个从理论到实践的完整体系,西北大学的赵重远教授认为含油气盆地学在地球科学中是一个相对独立的完整系统。但是,如何能达到实践与理论的和谐,使理论对勘探预测发挥重大效益,仍有相当漫长的研究工作留

待石油地质界的同行们共同去探索。现就盆地研究与油气分布有关的一个基本问题——构造学研究提出一些新见解。

二、盆地研究的回顾和现状

从近代含油气盆地研究的发展和演化过程来看,大致可以分为三方面。

①根据板块构造上的位置、沉降机制和演化过程提出盆地类型划分,并统计分析与油气的关系。这方面的著作甚多,如 Klemme, Dickinson, McCrosan 和 Porters, Stoneiey, Bally, Bally 和 Snelson, Kingston, Perrodon 等。这些研究对认识盆地都有促进作用, Klemme 认为盆地类型与油气的丰度有一定的联系,但 Bally 和 Snelson 认为他们不幻想任何盆地分类对预测油气量有重要意义。本文开始时提到的被动边缘盆地勘探中遇到的复杂性,充分反映出现有分类所存在的问题。

②在上述分类的基础上着重具体含油气盆地或沉积盆地的研究,包括盆地油气勘探效果的统计和地质条件的描述,如 Shannon 和 Naylor(1989)的“油气盆地研究”, Halborty(1986)编的“将来的油气区”等。

③最新的研究趋势是盆地分析,如 Maill(1984)的“沉积盆地分析原理”, Allen(1990)的“盆地分析、原理和应用”, Lerche(1990)的“盆地分析、定量方法”等。与此相配合的是盆地模拟技术,这实际上是盆地分析的计算机处理。

从整体出发,上述三方面的研究具有互相补充的作用,任何一项都还没有达到比较有把握地判别盆地油气前景的地步,尤其是对于一些新的盆地领域。

值得注意的一种国内倾向是近年来有人把盆地模拟当作是一种解决盆地研究的途径。笔者注意到国际上虽然有许多大公司开展这方面的研究,但都没有达到实用阶段。最典型的例子是美国阿拉斯加海上的纳瓦林盆地,根据盆地模拟分析认为有相当大的油气潜力,花了以十亿计的美元投资,在 1984—1985 年钻了多口探井,没有一口井取得成功。我们认为关键在于地质模型的问题尚未很好解决,数学模拟当然不可能超越地质理论的基础。

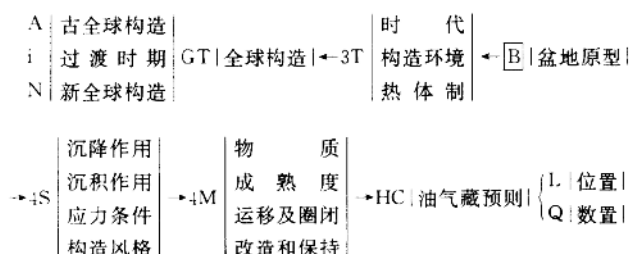
三、盆地研究的基础或核心问题是构造

从上述发展现状看,三个方面的研究都有待改进,但是,盆地研究深化的关键在哪里,大致可以有两种见解。

据常规的思路,由于盆地是从沉积物的充填开始的,所以在研究盆地时从沉降史、沉积史和热演化史出发,分析它们与油气聚集的形成和演化的关系,这是传统的研究方式。

由于盆地在沉积过程中总含有一定的富含有机质的沉积层段,埋藏一定的深度,配置有一定的可作为储层的孔隙性岩石,以及可供油气聚集的圈闭条件;与此同时,据地面和井下取样,还可在一定的岩层中分析出和找出痕量的或少量的烃或油气显示,可以证明盆地中存在油气生成、运移甚至聚集的过程。因此,甚至用最新的盆地模拟技术,都将以充分的数据表明凡是盆地就存在油气远景。

朱夏教授提出的盆地研究公式则是一种新思想。



公式中把盆地的原型归因于时代、构造环境和热体制。其中,时代反映了全球构造的变异。现在已越来越得到人们的公认,全球大陆有过两次联合大陆时期,晚元古代时的 Pangea E 和二叠纪时的 Pangea B,中间是联合大陆从分裂到再次拼合的开合过程,然后进入新全球构造的板块活动时期。公式中的热体制反映盆地的成因机制,是构造活动的一种表征。笔者认为朱夏公式的核心是构造,不过这构造指的是大构造(Tectonic),而不是小构造(structure)。其实,按板块观点,一般把盆地分为大陆内部、聚敛边缘和离散边缘三种体系,本质上也是从构造观点出发。

所以,盆地研究的基本思路或核心问题可以分为两类:一种是传统的或常规的沉积思路;另一种则是构造思路,即把沉积盆地的形成看作是在特定地质时期的构造背景和作用条件下的产物,从活动论和历史观分析盆地。然而,由于人们划分盆地类型往往把一个具体的盆地从沉积开始到结束的全过程归结为单一的盆地类型,就不可避免地掉入固定论的陷阱。

笔者认为按板块理论研究盆地长时期没有取得理想效果的关键,在于忽视了活动论的本质。既然板块是在运动之中,存在陆块离散分解和聚敛拼合的变化,又把每一个具体盆地划成一种类型而使得固定化,显然违背了板块理论的初衷。所以,研究盆地类型不能忽略原始的历史条件和因板块活动而导致的各种变化,对具体盆地进行基本类型或原型的区分与识别,就是沉积盆地构造分析方法的进步。

构造思路认为盆地是一定历史背景和构造背景的产物,油气的分布从生成、运移、聚集到改造,都受一定的历史和构造条件所控制,导致油气分布的严重不均匀性。所以,油气勘探不能只以是否为沉积盆地出发点,而要讲究盆地的时代和构造背景,强调盆地的选择性。

四、统计分析的启示

已有各种盆地分类法所面临的困难,在于无法说明同类型盆地为什么油气丰度的差别如此悬殊。构造思路分析盆地或许能优于传统的沉积思路分析方法,最主要的依据是统计数据,而统计规律最能说明客观特点。

首先是全球沉积盆地与油气分布的关系,无论任何一种统计,都证明产油气的盆地在沉积盆地中占少数,有大油气田的盆地又在产油气盆地中占少数。据笔者最近的整理,全球有沉积盆地 517 个,其中有大油气田的盆地 73 个,有中小油气田的 138 个,仅见油气流的 47 个,至今未见有意义发现的盆地 259 个。十分明显,有油气田的盆地只占全部盆地的 40.8%,有大油气田的盆地则占油气田盆地总量的 34.6%或全部盆地的 14.1%。上述盆地数中,据面积、水深、沉积岩埋深和后期改造等多方面作了扣除,由于已知有油气田的盆地固

定不变,则盆地的范畴限定越少,总数会越多,则油气田盆地的比例越小。

按照我们的盆地基本类型划分统计(见表1),可以明显地看出古生代的盆地中没有被动大陆边缘盆地和褶皱活动带上的盆地,各种盆地基本类型与油气聚集的关系相当明显。有的类型含油气田甚至大油气田的概率很高,有的类型很差,甚至很少发现存在可采的油气聚集。此外,在428个大油气田中,产层为古生界的只有74个,仅占17.3%。

表1 盆地分类和油气聚集关系表

构造区	盆地类型		晚元古至早古生代			晚古生代			中生代			新生代			评价
			总数	大油田	中小油田	总数	大油田	中小油田	总数	大油田	中小油田	总数	大油田	中小油田	
克拉通内部	弯曲	沉陷盆地	44	—	—	44	—	3	56	—	4	35	—	1	差
	沉降	塌陷盆地	2	—	2	9	—	5(1)	10	4	6	—	—	很好	
	热力破裂	衰亡裂谷(断陷)	4	—	3	7	1	5(3)	13	2	8(2)	19	5	13(3)	很好
		流产裂谷	—	—	—	1	—	1	6	—	—	—	—	—	差
		初始裂谷	—	—	—	—	—	—	—	—	—	11	—	1(1)	差
克拉通边缘	边缘	边缘弯曲	28	3	12(1)	27	8	7(2)	36	11	16(2)	10	3	5	很好
		边缘块断	2	—	—	5	2	19(1)	8	2	6	1	—	1	好
		碰撞前渊	—	—	—	1	—	—	4	—	1(1)	9	—	4	中
	中间地块		2	—	2	4	—	3(1)	5	1	4(1)	6	1	3(1)	好
	弧后前陆		—	—	—	—	—	—	2	—	2	9	3	5	很好
	被动边缘	进积三角洲	—	—	—	—	—	—	—	—	—	7	5	2	很好
		断陷边缘	—	—	—	—	—	—	29	2	26(3)	35	4	30(3)	很好
		断离边缘	—	—	—	—	—	—	32	—	8(6)	51	—	9(7)	中
褶皱活动带	剪切拖离	条状拖离	—	—	—	—	—	—	2	—	—	13	1	3(1)	中
		块状拖离	—	—	—	—	—	—	3	—	3	7	6	1	很好
	造山断裂	造山带断裂	—	—	—	—	—	—	15	—	2(1)	37	1	13(5)	中
		复活块断	—	—	—	—	—	—	11	—	6(3)	20	—	10(1)	中
	弧间	大陆火山带	—	—	—	—	—	—	17	—	4(1)	16	—	2(1)	差
		岛弧	—	—	—	—	—	—	2	—	1	57	—	12(8)	差
		边缘海被动	—	—	—	—	—	—	2	—	1	21	—	10(3)	中
复合	边缘弯曲及碰撞前渊		—	—	—	4	1	3	15	6	8	15	4	9	很好

注: 中小油田盆地数包含弧内重要油气显示的盆地数

Ulmishek 和 Klemme (1990) 的研究认为全球已发现的油气可采储量约 2.2Tbbl ×

10⁸bbl(1bbl $\approx$ 0.16m³)油当量。从油源岩的展布而言,有六个主要时间段:志留纪占9%,晚泥盆至早石炭世占8%,晚石炭至早二叠世占8%,晚侏罗世占25%,中白垩世占29%和渐新—中新世占12.5%。虽然上述时间段只占35%,而形成的可采油气占91.5%。从大地构造背景看,特提斯体系占63%,劳亚大陆体系占28%,冈瓦纳大陆和太平洋体系分别占4%和5%。从储层时代而言,晚元古界和古生界油气只占20.5%,中生界为52.3%,新生界为26.9%。所以,他们最后得出结论:“无论从全球大陆和盆地的尺度上讲,油气储量的不均匀分布不是由于我们认识的不完善,而是石油地质的基本事实”。

笔者深信,由于受到可用材料不完整性和某些不确切性的限制,不同统计结果得出的数值会有一定的差别,但是这种油气分布在时代上、大地构造背景上和盆地类型上的严重不均匀性,应是无可否认的事实,它们的大体比例不会差别太大。正是这些数据,使我们不能不更多地从构造因素出发,推敲它们的内涵涵义。

五、用构造思路研究盆地的一些说明

1. 全球构造体制决定沉积体系

朱夏教授提出全球地壳变动存在两个世代两种体系,至今仍颇有争议。他认为晚联合大陆以前以手风琴式活动为特点,然后进入传送带式活动为主的论点,也并不被普遍接受。但是重要的是地质事件的事实。

①晚元古代和古生代末的两期联合大陆是确实存在的,从而证明中间阶段必然是一个开合过程。

②晚元古代末至早古生代的泛地台或陆表海沉积具世界性,古生物证据也表明本质上只有水生生物。

③世界性的地层岩性统计表明,陆相沉积岩体的比例在加里东前不足5%,海西旋回最高也不过20%,进入晚联合大陆形成后的赤底砂岩沉积期曾达到40%,直到晚第三纪进一步增大到40%~50%。这种显生宙以来陆相沉积物比例增减的变化趋势,完全与全球海平面的一级周期性变化相一致。

④现有古生代沉积盆地类型不存在活动带上的盆地和被动边缘盆地,表明经过晚联合大陆的拼合改造,曾经可能存在的这些盆地系列已经改变或瓦解消失。

⑤六个主要油气源岩层序的存在与世界性的二级周期海平面的上升高峰期相适应,换句话说,全球海平面的一二级周期性变化受全球构造变动的控制,而海平面的升降往往对盆地中的沉积特征起决定性的作用,所以归根到底,构造决定沉积。

2. 构造学和沉积学研究盆地的根本差别

传统的沉积学或称地史学方法研究盆地,强调海陆变迁和相带分布及其古地理环境,这些对于了解盆地内的沉积岩体无疑是重要的。但是,自板块构造理论引入沉积学研究以来,人们已经注意到大地构造或板块构造位置对沉积体系的严重影响。如Dickinson和Suczek(1979)研究了砂岩碎屑的中值组分与陆源区的关系,Dickinson和Vallioni(1990)计算了现代海底沙的碎屑中值组分与不同板块构造背景的关系。已有的资料非常清晰地反映出由于

板块构造背景的不同,陆源区构造岩石组构的各异,对砂岩碎屑组分具有十分重要的影响(Schnab,1986)。与此同时,由于板块位置的不同,沉积物所展布的古地理环境组合和相带的宽窄以及它们的变化梯度都会有很大的区别。特别应强调板块背景位置不单要区分活动大陆边缘或被动大陆边缘,被动边缘还要注意到是克拉通物源区还是造山带物源区,活动边缘则要考虑是岛弧、碰撞缝合带还是俯冲缝合带。这实际上就是把构造背景置于主导地位,使得盆地沉积研究发生了质的飞跃。从严格的意义上讲,从地史学或沉积学研究沉积盆地,看到了盆地沉积的现象,从构造学研究盆地是着重于盆地沉积的依据。所以,后一种方式能更好地解释盆地沉积系统的层序和相态,以及由此派生的可能生储油层的质量和配置关系,从而更有利于分析油气的生成和运移聚集的潜力和途径。最重要的差别在于结论,也就是究竟“天生盆地必有油”还是“盆地与油气聚集有极大的选择性”。这里强调本文所指的油气是可供商业性开发的部分,而不是指显示甚至痕量烃,否则两者可以具同一性。

3. 从构造学研究盆地强调群体和个体之间的联系

从构造学研究盆地十分看重盆地的大地构造背景,把盆地沉积的发生和演化看成是一定大地构造条件下的产物,所以沉积盆地除少数大型个体外,往往呈群体带的方式出现。一般盆地越小,组合成群体的个体数增多,虽然有时人们为了它们具有一定的共性而合并看成是一个盆地,典型的例子有美国的大盆地(即 Basin and Range Province) 和我国的华北渤海湾盆地。通常人们往往对这种盆地群体的出现看作是某种大地构造背景条件下因某种成因机制而产生和发育的结果,但同时不能忽视群体中个体之间的差异,这是已经油气勘探实践所证明的。最近 Lanbiase(1991)讨论“大陆裂谷盆地中湖相地层层序的构造控制模式”中指出,在大陆裂谷盆地的地层层序内,湖相沉积具有类似的沉积特征和据类似的位置,这与裂谷的构造演化有关。

由于裂谷系包括了多个次级盆地,它们是依次充填的,因而下游次级盆地应比首先充填的次级盆地沉积较厚的湖相层序。因此,尽管它们有相似之处,但各次级盆地中的湖相层序并不是同时的。这实际上反映了盆地群体在形成过程中,受大陆块体分离或拼合在时间上和空间上的非同一性即姜春发称为构造迁移的影响。此外,前盆地沉积层序的结构也会随着上覆盆地沉积的发生和发展而起一定的作用,影响油气丰度差异。

4. 盆地构造位置决定盆地和油气的保持

法国石油地质家 Perrodon 有一句名言,没有盆地就没有石油,这充分说明了盆地的保持对油气聚集的存在起着非常关键的作用。近来 Bally 把褶皱带和高原玄武岩也归入盆地的类型。其实,前者只是反映沉积盆地邻近活动带边缘变形较强的部分,沉积层序仍属盆地的一部分,如喀尔巴阡和扎格罗斯;后者则是被晚期玄武岩所覆盖,如美国的斯内克河。从本质上讲,并不能说明油气不受盆地的控制。

前面提到古生代的沉积盆地没有活动带上的和被动边缘的盆地类型,并非认为原始沉积时不存在,而是说明在经历后来的陆块拼合和聚敛,这类盆地已经强烈逆转改造而消失了。同样古生代地层中的油气比例远少于中生代,也不是原始生成很少,而是现有统计的源岩只是保存下来的剩余部分。Ulmishek 和 Klemme 认为世界现有油气储量的 80% 以上是阿普第世以来形成的,并且近一半形成于渐新世以后,充分反映了保存条件的严重影响。

据前面表1的统计,有些很好的盆地类型中也有少数至个别该类盆地不产油气,同样可以从盆地的保持或盆地后期的改造影响中找到原因。由于盆地分类无法把这一因素考虑进去,只好在世界含油气盆地主要特征表中(甘克文,1992)把保持条件作为一项重要因素列出。

5. 盆地与母岩区和火成岩体的关系

沉积学研究盆地也讲究沉积母岩区的岩石构成,主要是考虑到与沉积碎屑成分的相关性。这里强调母岩区的构成是用来判别形成盆地的构造背景属克拉通还是活动带,克拉通对应区分新老,活动带则分现代岛弧系统和逆转的大地缝合带体系。由此不但可以估计碎屑沉积成分的组成,更可以估计盆地的成因和沉积体系的类别。这些因素对所在盆地的资源评价意义,有时远比地球化学计算的数值更重要。

同盆地沉积期的和沉积期前、后火成岩体的类型研究是石油地质工作者的弱项,但对于构造学研究的意义来说,火成岩体的性质、类型和展布,代表了地壳热流活动、板块构造性质、盆地改造或逆转的重要信息。例如下扬子地区燕山花岗岩发育,年代测定是122~143Ma,其苏州花岗岩的成岩温度为810℃,包体岩浆压力为2.5kbar(1bar=10⁵P_a)。假设当时地温梯度高达50℃/km,岩体的深度应在15km以上,按静地压力推算,埋深也应超过10km。现在,要在如此巨大的削蚀背景所反映的构造逆转条件下的地区,找变动前所形成的油气聚集,风险性之高可以想象。但据沉积和地球化学研究,确实存在油气显示。这一案例,实际上反映了已经逆转的盆地不应保留盆地的资格。与此同时,还表明盆地分类不能以盆地期后的变动改造特征为依据。

6. 构造力学性质具多变性

在研究盆地动力学的过程中,不可避免地区分为热力学和动力学的性质,以及压、张、扭三种应力场的属性。但从全球构造特点出发,现在已经证明在聚敛板块边界条件下,力学性质因边界条件和时空转移具多变性。在拉张背景下,也因全球构造的开、合变化而极性反转。因此,从盆地的历史性演化考虑,只讲应力场无法区分复杂的构造条件和地壳动力学性质。

7. 大陆边缘的多样性和沉积盆地的跨带性

通常的板块构造理论,把大陆板块区分为活动的聚敛边缘和被动的离散边缘两大类,而且一般理解把大陆块当作克拉通块体。其实,大陆经过多期开合的变动,往往由若干碎块拼合而成,老的活动拼合带不一定完全稳定刚化。所以,被动大陆边缘的构成虽然有的是克拉通分离裂开的结果,还可以是活动带重新分离的产物。例如,大西洋被动大陆边缘的基底构成,北段的格陵兰和挪威之间是加里东褶皱,中段的美国东海岸和西非北部之间是阿巴拉契亚和毛里塔尼亚褶皱,只西非几内亚湾及其以南和南美洲的巴西之间是冈瓦纳克拉通块体。另一方面,活动边缘包含的块体更具多样性,有古老克拉通分离出来的碎块,也可以是关闭后推挤过来的岛弧、海台,还会有老活动带再次破裂分离后出现的碎块,这是造成大陆增生拼合带往往十分复杂的原因,地体理论对板块构造学说的补充着源于此。

基于大陆边缘的多样性,使得沉积盆地具有跨构造单元带的可能。这里指的盆地通常是相当于盆地的群体带,也可以是前陆带。以往人们讨论前陆盆地都把它看作是在克拉通基底