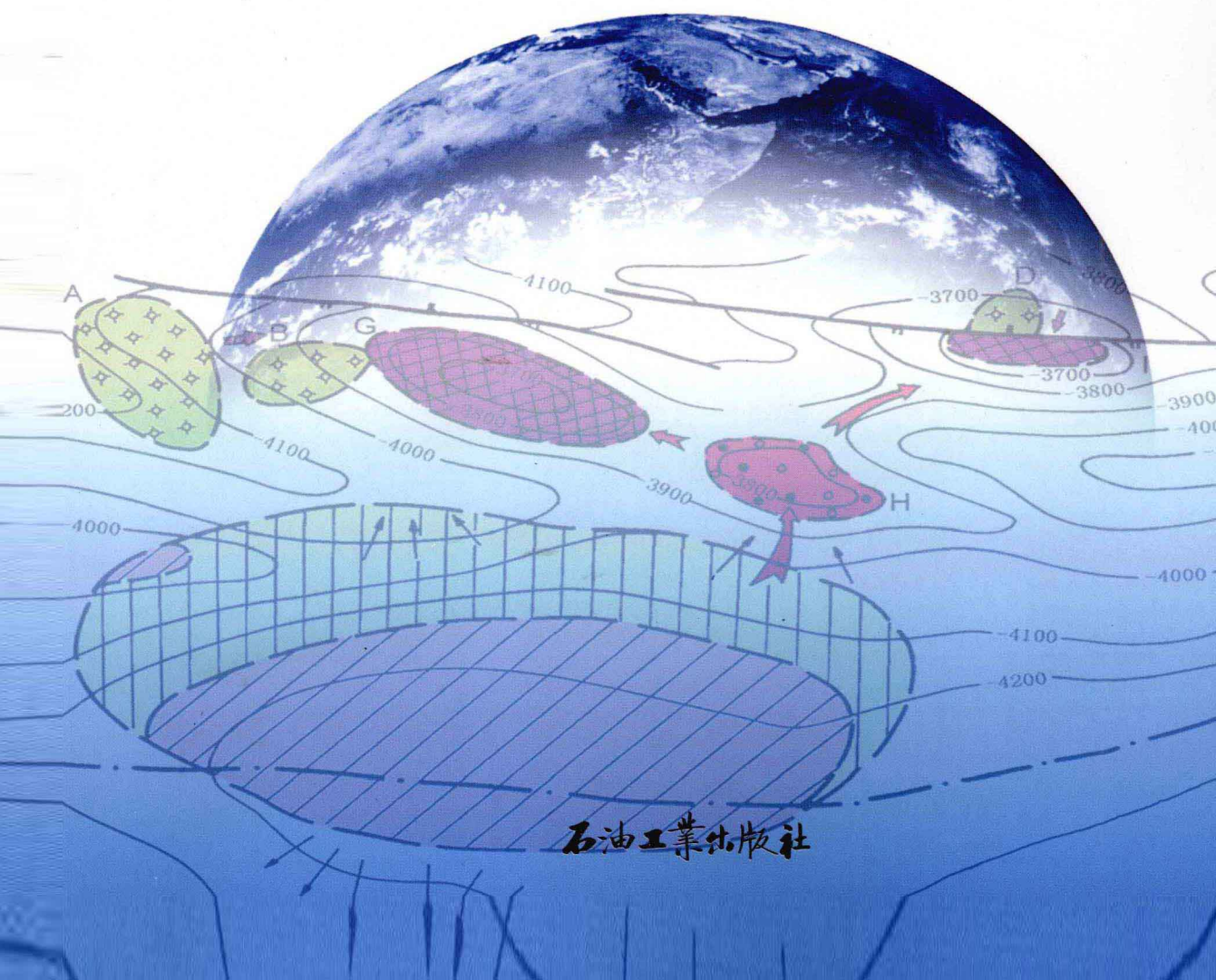


含油气盆地地质学

GEOLOGY OF PETROLIFEROUS BASINS

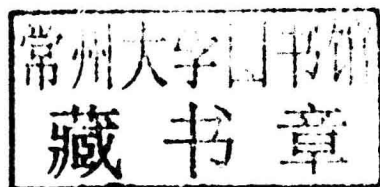
赵重远 靳久强 著



石油工业出版社

含油气盆地地质学

赵重远 靳久强 著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书通过总结油气勘探历史和凝练油气盆地研究成果,提出了含油气盆地地质学的概念,并将之定义为研究沉积盆地在板块构造演化中如何转化为含油气盆地以及油气如何聚集为矿藏的地质学原理并用之进行油气资源预测、评价和勘探的一门新学科。全书共分十章,通过沉积盆地形成和演化动力系统研究、国外沉积盆地类型划分和地质特征分析,以及中国沉积盆地的地质构造特征特别是中国含油气盆地的世代划分和成盆期后构造研究,提出了含油气盆地地质学研究的基本原则和研究系统,并提出了用于油气预测和评价的含油气盆地流体流域系统概念和油气成藏动态预测方法。

本书可供从事油气地质研究和勘探工作的科研人员参考使用,也可作为高等院校相关专业师生的阅读书目。

图书在版编目(CIP)数据

含油气盆地地质学/赵重远,靳久强著.
北京:石油工业出版社,2011.5
ISBN 978-7-5021-8398-1

- I. 含…
- II. ①赵…②靳…
- III. 含油气盆地-地质学
- IV. P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2011)第 091141 号

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)64523543 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:石油工业出版社印刷厂

2011 年 5 月第 1 版 2011 年 5 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:13.25

字数:318 千字

定价:50.00 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

前 言

含油气盆地地质学是以板块构造为基础,以沉积盆地对象,研究在板块构造演化中它们是如何转化为含油气盆地和所生之油气如何聚集为矿藏的地质学原理以及运用这些原理进行油气资源预测、评价和勘探的一门新学科。它和传统石油地质学的区别在于传统石油地质学是直接以油气为对象,研究其成因、性质和其在地质层中生成、运移和聚集为矿藏所必须具备的条件、作用和形成机理的一门学科。含油气盆地地质学的形成可被看作是对传统石油地质学概念的深化和研究方向的向前延伸和发展。所谓深化是指含油气盆地地质学将传统石油地质学的直接以油气为研究对象转换成了以沉积盆地对象,研究油气在统称为盆地作用的地质和地球化学等作用控制下的生成、运移和聚集为矿藏的原理。所谓向前延伸和发展是指含油气盆地地质学除对油气在沉积盆地中的生成、运移和聚集原理的研究外,更重要的是强调如何将其理论运用于油气资源的预测、评价和勘探之中。传统石油地质学之所以没有及时完成这种深化和延伸,其中有一个重要原因就是背斜说找油的出现,使油气勘探途中发现了一条捷径:直接钻探形成油气聚集的唯一场所,以背斜构造为代表的一切形式的圈闭,从而将石油地质学放到了一边,充当起了学院课堂教科书的角色。

无论在什么条件下,包括背斜圈闭在内的一切形式圈闭始终是油气聚集的唯一场所。今日背斜说之所以日益走向绝境,主要是因为并非所有圈闭都有机会捕集到油气。目前,容易发现的含油气圈闭已基本钻探。另外,除有构造形体的圈闭外,还有更多无构造形体的圈闭难以被目前的勘探技术所发现。

含油气盆地概念的确立,从此结束了遍地找油的历史,将视野收缩进了范围有限的沉积盆地之中。由此也创造了以盆地为单位进行油气成藏原理研究和资源评价的条件,并适时进入了以盆地对象的石油地质学研究新时期——含油气盆地地质学时期。这个时期的主要任务是最大限度地利用含油气盆地油气聚集原理,寻找目前尚存留未被发现的任何有条件形成油气的沉积盆地之中的油气。这也是本书写作的主旨。

本书共分十章。

第一章即开宗明义说明含油气盆地地质学是油气勘探新时期以沉积盆地对象进行研究的石油地质学。

第二章陈述含油气盆地形成和演化的动力系统。其中包含两个层次:地球动力系统和盆地动力系统。前者又分为内、外两部分:外动力系统指风霜雨露对地球表面的剥蚀和溶蚀以及对原始地壳洼陷的形成和沉积物的填充。内动力系统则指地球内部运动引发的地壳和岩石圈变形和对沉积盆地形成和演化所起的作用。盆地动力系统虽然可拆分为成盆、成烃和成藏三个子系统,但实际上它却是由盆地沉降作用引发的一种复合行为,或统称盆地作用。其中包含与沉积作用有关的成藏要素的形成、烃源岩随着埋深增温而使其所含有机质向油气转化以及油气通过运移而聚集为矿藏等作用。

第三章以国外沉积盆地类型划分为题介绍了20世纪70—90年代国外部分著名地质学家关于沉积盆地类型划分和研究的状况。在这里之所以强调国外盆地,是因为国外绝大多数盆地的形成和发育都是和洲级规模的大型岩石圈板块运动相连在一起。而中国绝大多数沉积盆

地则与规模大大小于洲级板块的微板块或微陆块运动相关。它们在形成和发育过程中位居洲级板块之间,既受洲级板块运动的影响,具体又受所依托的微型板块的控制。因此,这是同一事物表现的两个方面,了解其内涵也有助于对中国含油气盆地类型划分研究提供参考。

第四章着重讨论中国地质构造的特殊性和多解性特征,以期达到对中国含油气盆地的研究既要以全球构造为背景,又要符合中国的具体实情。

第五章以较大篇幅讨论了中国沉积盆地的世代划分和地质特征。相应于中国及其周围板块运动的发展,中国有三个世代盆地形成。它们先后形成了第一世代海相和海陆交互相盆地,第二世代陆相盆地以及第三世代中国东部大陆边缘的古近—新近纪裂谷盆地、西部复活造山带山前盆地、中国北方以残余海西地台复杂基底为依托的陆相和个别海相盆地。

第六章以中国含油气盆地的类型划分和成盆期后改造为题,接着对各世代盆地的构造类型进行了讨论。后期改造是中国含油气盆地的一大特色,这主要是因为中国含油气盆地的形成多以微小的破碎陆块为依托。在全球构造演化中,古生代它们被夹持于周围巨大的大洋板块之间,中生代以来则夹持于同样巨大的西伯利亚、印度大陆板块和太平洋诸大洋板块之间。它们的多次分离和聚合以及由此导致的盆地形成和演化始终处于周围板块动力系统应力积聚和消散的制约之中。由此造就了含油气盆地形成的多期性和不同期次盆地的多次叠加、多沉积旋回演化和多次成盆期后改造。

第七章讨论世界沉积盆地的世代划分、地质特征和构造类型。就全球而论,古生代以来,形成了两个世代含油气盆地,即:分别与潘吉亚形成相伴随的古生代克拉通盆地和与潘吉亚解体及特提斯构造带形成相伴随的中—新生代多类型盆地。前者主要分布于北美地台、俄罗斯地台、中欧地台和阿拉伯地台之上,其共同特征是地台内部隆坳分异明显,盆地与隆起相间分布,沉积条件和构造、气候环境利于含油气盆地的形成和发育。后者形成于两种构造背景——古特提斯和新特提斯的形成和关闭时期。

第八章含油气盆地流体流域系统及油气成藏原理主要讨论在含油气盆地形成和演化过程中先后有两个孕育和养护油气生成、运移和聚集为矿藏的流体流域系统,即:水流域系统和油气流域系统。前者的形成和发育建造了各成藏要素在内的沉积体系,是为母体系统。烃源岩在母体系统中形成,经由埋藏生成油气,然后又返回母体,以其中的成藏要素格架为载体逆倾向上而形成自己的流域系统。最后在所遇圈闭体中聚集成藏,是为子体系统。母体系统建造的沉积体系为子体系统创建提供了一切必要的成烃、成藏条件和环境。子体系统以母体系统为依托,在其体内完成了成烃成藏转化。二者先后有序地发展,是自然界造就的一个油气成藏过程的天然程序。从而完全有可能根据此程序建立一个与之相适应的含油气盆地油气聚集原理,将之用于油气勘探之中。

第九章油气成藏过程分析和动态预测,分别探讨了原生和次生油气藏的预测问题。本预测和以往传统石油地质学使用方法的的不同之处在于,前者以成藏要素本身和相互匹配关系的优劣为标准;后者则以从原生到次生油气成藏条件的时空变化为基础。遵从含油气盆地油气成藏原理,先编制出主成烃期烃源岩的古构造图,分析可形成的油气流域系统和原生油气藏。然后,如若该盆地发生过严重后期改造,则再编制烃源岩的今构造图,以分析和确定原生油气藏被破坏的程度以及次生油气藏形成的处所。

本书最后一章,第十章作为对全书的总结,提出了含油气盆地地质学研究的三项基本原则和所包含的五个研究系统。三项基本原则即:整体原则、动态原则和综合原则。五个研究系统则为:成盆作用和过程系统、成烃作用和过程系统、成藏作用和过程系统、成藏组合和分布系统

以及成藏期后改造与油气再分布系统。

本书所讨论的内容,特别是一些原理、方法和采用的具体地质事实不一定是恰当和完善的。本书的编写只是一种探索,目的是希望引起更多同行的关注,把目前在具体盆地研究中取得的各方面认识提升为理论,即具有普遍意义的规律,纳入于“含油气盆地地质学”之中,使其作为一门完整的学科建立起来。

本书设定的主要读者对象为即将从事石油地质调查、研究和勘探工作的在读大学生和研究生。希望他们在还未进入实际工作岗位之前,能够对当前石油地质研究和勘探所面临的局势和应对方略有一粗浅了解,加强他们对运用含油气盆地地质学的基本原理进行油气勘探的观念和认识。除此之外,当然更希望得到长年从事含油气盆地地质研究和油气勘探实际工作的专家和学者的支持和厚爱,不吝提出批评和指导意见。

目 录

第一章 含油气盆地地质学——油气勘探新阶段的石油地质学	(1)
第一节 油气勘探历史发展的新阶段	(1)
第二节 盆地研究遇到的新机遇	(4)
第三节 后盆地时期含油气盆地地质学	(5)
第四节 “含油气盆地地质学”概念的形成	(6)
参考文献	(9)
第二章 含油气盆地形成和演化的动力系统	(11)
第一节 地球动力系统	(11)
第二节 盆地动力系统	(15)
第三节 沉积盆地的沉降机制	(19)
参考文献	(22)
第三章 国外沉积盆地类型划分	(23)
第一节 沉积盆地构造类型划分及其意义	(23)
第二节 国外沉积盆地主要划分方案	(23)
第三节 国外沉积盆地类型特征	(32)
参考文献	(33)
第四章 中国地质构造的个性特征和演化历史	(34)
第一节 中国地质构造的特殊性和多解性	(34)
第二节 中国古大陆的形成解体和演化特征	(41)
第三节 中国新大陆——海西地台的形成和演化特征	(44)
第四节 中国海西地台的扩展和后期破坏与改造	(49)
第五节 中国现代地壳的均衡状态	(52)
第六节 中国陆内构造变形和地球动力学特征	(54)
参考文献	(61)
第五章 中国含油气盆地的世代划分和地质特征	(64)
第一节 中国古大陆解体至新大陆形成阶段——第一世代盆地的地质特征	(64)
第二节 中国新大陆形成至西太平洋古陆解体阶段——第二世代盆地的地质特征	(78)
第三节 西太平洋古陆解体阶段——第三世代盆地的地质特征	(114)
参考文献	(130)
第六章 中国含油气盆地的类型划分和成盆期后改造	(134)
第一节 中国含油气盆地的构造类型	(134)
第二节 中国含油气盆地的成盆期后改造	(138)
参考文献	(141)

第七章 世界沉积盆地的世代划分和石油地质特征	(142)
第一节 第一世代古生代克拉通盆地	(142)
第二节 第二世代中—新生代盆地(以特提斯构造带盆地为代表)	(148)
参考文献	(175)
第八章 含油气盆地流体流域系统及其成藏原理	(176)
第一节 含油气盆地水流域系统	(176)
第二节 含油气盆地油气流域系统	(178)
第三节 含油气盆地油气成藏动力系统和成藏原理	(182)
参考文献	(183)
第九章 油气成藏过程分析和动态预测	(185)
第一节 油气藏形成的地质作用	(185)
第二节 油气成藏过程分析	(189)
第三节 油气成藏动态预测	(190)
参考文献	(193)
第十章 含油气盆地地质学研究的整体动态综合分析	(194)
第一节 含油气盆地地质学研究总则	(194)
第二节 含油气盆地地质学的内涵和研究系统	(195)
参考文献	(202)

第一章 含油气盆地地质学

——油气勘探新阶段的石油地质学

石油地质学是人类研究石油(包括天然气和其他衍生物)的形成、演化和富集为矿藏以及勘探和开发原理的总结。反过来说,也是指导油气勘探的理论基础。二者的发展是相辅相成的。美国石油地质学家 Pratt 有一句名言:“石油首先发现于人的脑海中(Oil is First Found in the Mind)”。这也就是说,寻找油气的人,大脑中首先就必须装有石油,即石油地质学。在石油勘探早期,虽然成文的石油地质学还未形成,但成文的石油地质学却已在勘探石油的人们中间流传:跟踪冒出地表的油气苗寻找油气,就有可能获得最大的成功。也许这就是写在人们心中的石油地质学的第一条定律。

第一节 油气勘探历史发展的新阶段

在石油勘探历史中,除早期的跟踪油气苗凿井找油外,有两个里程碑值得我们谨记:一个是背斜说的建立;另一个是含油气盆地概念的形成。

背斜说形成于 19 世纪 40 年代。在此之前,人们曾走过了一段漫长道路:跟踪油气苗直接寻找油气。据历史记载(申力生,1980),1840—1850 年中国在四川自流井建成的气田井位就是沿背斜构造的轴线布置的。那时,在中国还没有背斜构造这个名词,有的只是堪舆家描述山川河流走势的龙脉(山脉)和水脉。背斜构造的那条“褶曲脊”是否就是所谓的龙脉,也未可知。不过,紧接着到 1842 年,加拿大的 Logan 就明确指出了在加斯佩半岛发现的油苗是位于背斜脊之上的。1861 年,加拿大的另一位地质学家 Hunt,则明确提出了背斜学说。1892 年,美国地质学家 White,根据他 1884—1889 年间在华盛顿、宾夕法尼亚和西弗吉尼亚州按背斜钻井发现的许多油气田的经验,进一步总结了石油聚集的背斜构造原理。这就是说,在跟踪油气苗直接找油之后,石油地质学又记下了第二条找油定律——背斜学说。

从此,背斜构造,包括 20 世纪 30 年代被人们发现的比背斜构造含义更广的“圈闭”(Wilson,1934),不仅成了石油和天然气聚集的唯一场所,而且也是寻找油气的唯一途径。由此,引发了世界各地竞相运用背斜说原理勘探石油的热潮。如 20 世纪初,美国在全国开展了各种背斜隆起的地质普查;俄罗斯对高加索、中亚和滨里海等褶曲比较发育地区可能存在油气田的研究;罗马尼亚对喀尔巴阡山前褶皱区构造与含油地层组合关系的研究等。从而发现了以北美为主、世界范围的一大批油气田。值得一再强调的是:这一找油原理一直沿用至今,还无可替代。

沉积盆地与油气的密切关系在 20 世纪中叶开始出现。据 K. K. Landes 1951 年出版的《石油地质学》(Petroleum Geology)前言所说可知,在该书出版的前 35 年,即 1916 年,石油地质学的概念已经形成,或已有成文的书问世。那时石油地质学的具体内容是什么不曾提及,但对其

在“地质学”中的地位或身份却遭到了强烈质疑。Landes 写道：“石油地质学从其是否是地质学的直系后代之争到它发展成为地质学的无比强大和茂盛的后裔，已有 35 年历史了”。他认为：“在这 35 年成长中，石油地质学共取得了三方面成就，即：天然烃类生成和聚集的地质状态、油气的地理分布和寻找油气的方法和技术。”Landes 所著《石油地质学》，大体也就是按这三部分写出的。具体内容分别是：石油地质学家的专业技术，石油的地质组成和现今及未来的石油供给。其中作为石油地质学地质组成和原理的主要内容，即第二部分共有五章，它们是：油气的物理化学性质、油气的成因和演化、油气运移、油气聚集：储集岩和油气聚集：圈闭。另外，在第三部分还分别介绍了美国和美国以外主要产油国的油气田分布。当在第九章讲到美国油气田分布和大地构造对其赋存的控制作用时，提出了油气与沉积盆地的关系。他写道，如果将一张世界油气田分布图叠加到世界地质图、大地构造图和地势图之上时，有些相关关系便立刻变得明朗起来。如油气田都远离地面的高起地区，而集中分布在地壳的低凹地带。有些油气田最为集中的地带则多处于大陆边缘。大部分油气田都沿低地势区成带分布。由此他得出结论，世界大部分油气田都赋存在构造上的沉积盆地 (structural sedimentary basins) 之中。接着，他又写道，这种关系也明显出现在 Weeks 于 1947 和 1948 年先后出版的表示世界各国油气田分布与沉积盆地的关系图之中。Weeks 在后来的著作中认为，“石油的赋存乃受沉积盆地的控制” (1952)，并进一步说：“盆地分类是估测未发现油气资源量的基础” (1958)。

莱复生 (Levorsen) 1956 年也有一本《石油地质学》问世。该书分五部分，即：绪论、油藏 - 1、油藏 - 2、石油地质史和石油地质学的应用。他将有开采价值的油气聚集分为三个层次：具有同一压力系统的单一油气聚集，称为油藏；同一个地质单元，无论是与构造还是与地层有关，同时有几个油藏者，则为油田；同处于一个或互有联系的几个地质环境中的多个油气藏或油气田称为石油省。油藏 - 1 主要阐述形成油气藏的空间地质组成和结构，共分储油层的性质和类型、储油层的孔隙性和渗透性、构造圈闭、地层圈闭和混合圈闭等五章。油藏 - 2 主要阐述油藏的形成作用，包括油藏内的流体、压力和温度，以及油藏力学等三章。第四部分分两章讲了石油的生成以及油气的运移及聚集。最后一部分则分三章讲述石油地质学作为一门学科在地下地质、石油省和储油构造方面的应用。该书的显著特点是突出了油藏，或者说是以圈闭为中心的聚油原理的内容。仅在最后部分讲述石油地质学在含油省中的应用时，才将其作为一个沉积岩分布区而提了出来。因此，只是说明沉积盆地和其他沉积岩分布区一样，因具有较厚的沉积岩分布，才有可能赋存石油。

“含油气盆地”一词，在前苏联最早由哈因 (1951) 提出。他认为含油气盆地是区域性油气形成和聚集区域的基本单位。后来，布罗德和耶列明科 (1953) 在其所著《石油与天然气地质学原理》(第二版) 一书中对其含义进行了较确切的界定，称：“一个封闭或半封闭沉积盆地，不论其范围大小、构造和地质历史发展如何，凡在沉积和剖面中含有油气层的，均可称其为含油气盆地”。在此前后，还有不少学者也注意到了油气和沉积盆地之间的密切关系，如 Chapman (1973) 在其所著《石油地质学》一书中首次将沉积盆地专列一章，并指出，“石油地质学大部分是沉积盆地地质学，因为重要的石油聚集都存在于沉积盆地之中。”Perrodon (1980) 更直截了当地说：“没有盆地便没有石油”。此后，布罗德和耶列明科及其他合作者则作了比较完善和系统的论述，特别是后来相继出版的专著《含油气盆地学说原理》(布罗德, 1964) 和《世界含油气盆地》(布罗德和维索茨基, 1965) 确定了“含油气盆地”是一种学说，并对其类型划分和各类

盆地在世界上的分布作了系统论述。

在中国,沉积盆地或“含油气盆地”这一称谓自近代油气勘探以来已习以为常。这是因为,中国中—新生代盆地多为海西期后在中国北方后海西地台上形成的沉积边界或构造边界比较明显的陆相沉积盆地。即使残留下的以微型地块为依托的古生代海相沉积盆地,也因周边原被海槽所环绕,后经褶皱回返而为早先地块上的沉积加了一个镶边,也就成了一个自然地理盆地。更有喜马拉雅运动使中国原有造山带再发生复活造山,便几乎给所有以微型地块为依托的盆地增强了盆地的外貌形态,如塔里木、准噶尔、鄂尔多斯和四川等盆地,所以中国石油地质工作者从一开始就是在形态清晰的沉积盆地中工作的,并不对这一认识产生异议。甚至还把这种自然地理盆地误认为就是控制其中沉积作用的原形态沉积盆地的。而在国外,多数情况下沉积盆地则被覆盖在广阔的沉积岩分布区之下,那里习惯于用地理区划表示发现石油的地区,或者称石油分布地区为含油气区或含油气省。当发现油气分布与沉积盆地的密切关系之后,他们则习惯通称其为沉积盆地。有时,在特定情况下也使用“petroliferous basin”,“petroleum basin”,“oil and gas basin”或“hydrocarbon basin”等词。不论称谓如何,但凡指含有油气层的沉积盆地时,都不言而喻地包含了沉积盆地与油气之间存在的内在联系。如今,沉积盆地已成为寻找油气的唯一场所。并且与其概念形成的同时,不少学者即开始探索和研究其中油气赋存的状态和聚集为矿藏的原理,以及如何运用这一原理进行石油勘探。这是在新形势下石油地质学研究向纵深方向的发展,同时也是一门新的学科——“含油气盆地地质学”的萌生。因此,本书开始首先阐明这一概念形成的过程和发展的历史背景是十分必要的。

从背斜说到含油气盆地,虽然看起来只有一步之遥,但却足足走了100年或者还更长的时间。

背斜说的形成,开始之时只是一种经验。后来屡试而不爽,才将其提升为油气聚集的一种方式 and 原理。背斜说的形成只是说明石油可以在背斜构造中形成聚集,在未发现和确立其他形式圈闭也可聚集油气之前,甚或认为背斜是油气聚集的唯一场所,或进行油气勘探的唯一目标,但并未能说明它们所聚集的石油是从何而来。而含油气盆地的发现则找到了石油形成的源地:石油从生成经运移到聚集为矿藏的整个过程都是在沉积盆地之中完成的。它不再是无源之水或无本之木。

但从背斜说到含油气盆地,其间也并非没有联系。背斜说找油是以一种可捕捉油气的地质构造为基础。因此,人们在研究这种被称为背斜构造的分布规律时,很自然地便将它和一个地区的构造地质研究联系到了一起。这样,当把一个地区的含油气背斜从构造上连接起来时,往往会发现它们常呈一种构造带或构造区分布,并由此还提出了“油气聚集带”或“油气聚集区”或“油气聚集省”的概念。布罗德和耶列明科发现,在一构造区或带中,并非到处都有油气分布,而且有时一个区或省也不受单一构造区或带的制约,而可跨区越带分布。因此,又从构造区或带中区分出了另外一种地质构造,即叠加和跨越在不同构造带上的沉积盆地。在他们给这样的含油气省所作的界定中有这样一段话,可以看出他们是如何从含油气省概念中跳出而上升到沉积盆地或含油气盆地这个更高境界的:“含油气省是地壳上的这样一个地段,在长久地质时期保持为一个统一沉积盆地,并具有沥青(烃)形成条件和区域油气聚集过程的统一性”。这个界定一下子把过去一个地区发现的分散的含油气背斜纳入了一种独立的地壳构造的范围,并完整地表述了那个范围是发生石油生成、运移和聚集之作用和过程的

场所。

含油气盆地提出的深远意义在于从此结束了漫长和漫无边际地在全世界单纯寻找背斜或圈闭构造勘探油气的历史,将找油范围缩小到了一个有限的盆地之中。更为重要的是确定了沉积盆地是石油生成、运移和聚集为矿藏的源地,为按照石油赋存原理在盆地中找油提供了可能,并从此进入了石油地质学研究和油气勘探的新时期——后盆地阶段。

第二节 盆地研究遇到的新机遇

20世纪后半叶,当石油地质学界正在探讨沉积盆地与油气形成和聚集之间的联系时,遇到了一个新机遇:随着板块构造研究的发展,兴起了以板块构造为背景的关于沉积盆地成因机制和类型划分的探究和讨论(Perrodon, 1972; Dickinson, 1974; 1976; Fischer, 1975; Klemme, 1975, 1980; Bally, 1975; Bally 和 Snelson, 1980; Kingston 等, 1983; Mail, 1984)。

这一研究的特点是以全球构造为基础。在此之前,研究对象多限于分散的盆地个体或与一定构造区带有关联的盆地群体。在此之后则发展到了以板块构造为基础的全球一体化研究。这一研究的成就是:将沉积盆地的形成和演化与板块构造的运动联系起来,从而揭示了沉积盆地在全球范围形成的一般原理和分布规律。在相当大程度上揭示和加深了对沉积盆地成因机制、演化历史和油气赋存条件的认识,实现了在全球构造框架中对沉积盆地类型的划分、各类型盆地之间含油气条件的类比,从而提高和加深了对全球盆地和油气资源分布的认识。

除此之外,盆地研究还碰到了另一些新机遇。首先是以沉积盆地为基础的沉积学研究。20世纪40年代,Pettijohn 提出“沉积盆地分析”概念,旨在将沉积盆地作为一个整体,对其中的沉积物进行统一分析和研究(Keinspehn 和 Paola, 1988; Potter 和 Pettijohn, 1977);50年代末,沉积学由原先对沉积物组构、颗粒形状等岩石学和矿物学方面的外观描述转向了对沉积作用和沉积相等沉积地质学和古地理学的研究(Clifton, 1988; Bouma, 1962);60年代以后,逐步建立了沉积体系,形成了层序地层学(Allen, J. R., 1963; Miall, 1984; Vail, Mitchum 和 Thompson, 1977)。1984年, Miall 出版的《沉积盆地分析原理》一书,除系统描述和总结了盆地的沉积学研究外,还由于板块构造为沉积盆地研究提供的大量资料和信息,增加了沉积作用与板块构造、区域性与全球性地层旋回以及埋藏史等内容,使沉积盆地分析包容了对其沉积物形成起控制作用的构造因素。1990年, Allen, P. A. 和 Allen, J. R. 推出《沉积盆地分析——原理与应用》一书时,即从概念上产生了一个飞跃,一改过去从沉积学和地层学角度观察问题变成了从岩石圈构造作用角度观察问题,并且以其为基础,转向了其在石油地质学中的应用。他们认为:“盆地分析是将沉积盆地作为一种地球动力学实体进行的综合研究”;并说:“沉积盆地,过去和现在几乎是全世界所有工业性烃类矿产赋存的场所”。

与此同时,另外一些学者还开展了对与油气形成密切相关的盆地沉降机制、沉积体埋藏史和热史等的专门定量研究(Angevine, Heller 和 Paola, 1990; Lerche, 1990)。

这些研究都为以盆地对象的油气勘探新思维、新途径的形成和提出以及后继发展奠定了基础和创造了条件。

第三节 后盆地时期含油气盆地地质学

20世纪40年代末到50年代初,当沉积盆地与石油的成因和油气矿藏的形成联系起来后,特别是布罗德和耶列明科“含油气盆地说”的提出和系统论述,雄辩地说明,将沉积盆地视为油气生成、运移和聚集的基本单位,从盆地的成烃、成藏原理上去寻找油气要比之前传统石油地质学孤立地研究、分析和描述各个成藏要素的性质、作用和机理,而最后主要落实到圈闭评价上要科学的多。因而在进入油气勘探新阶段后,将会有一门新学科——含油气盆地地质学问世似已是顺理成章的事。

早在1978年,Tissot和Welte在一部专著《石油的形成和赋存》(Petroleum Formation and Occurrence)中即已提出油气勘探的新途径问题。他们在该书的前言中说:“通过本书我们将说明在石油生成和运移原理的总结和运用中,石油勘探将会获得很大益处。多年来,一口井的钻探,在很大程度上是根据构造的有效性来认定(指背斜或其他圈闭构造),而构造的选择则是根据人的直觉和经验。至于圈闭内是否含有石油,资料却很少。若如本书所说,系统地运用石油生成和运移的综合知识去预测构造,就将会提高钻探构造的成功率”。

稍后,Perrodon(1983)在《油气聚集动力学》(Dynamics of Oil and Gas Accumulations)一书中,在强调油气形成和保存的基本动力学机制研究的重要性时,曾指出油气形成和保存的历史是贯穿盆地自沉降开始的整个演化过程的始终的。这说明了以盆地为对象研究油气聚集动力学的重要意义。为此,在R. G. Levy为该书写的序言中说:“实际上,有一束亮光在射向石油勘探……,使我们勘探的主导思想朝更广的方面发展,如研究沉积盆地,以至烃类形成、运移和聚集成矿的动力学等。”

再后,Demaison(1984)提出了一个生烃盆地(Generative basin),或称烃灶(Hydrocarbon kitchens)的概念,认为生烃盆地就是含有一个或多个生烃洼陷的沉积盆地。同时,Meissner(1984)从油气藏形成的地层层序结构出发,提出了一个称为生烃机(Hydrocarbon Machine)的概念,即:“含有包括烃从源岩中生成,以至运移和聚集过程中所有要素的地层层序,就是一架天然地质生烃机”。他认为:“这一概念性格架可用于预测在某一部分地层剖面中运行的生成、运移和聚集细胞,亦即生烃机。当与区域烃源岩分布图结合时,则可解释已发现工业聚集的分布,以及进一步扩展远景地区”。后来,Demaison和Huizinga(1991)认为,一个盆地的地质格架为形成石油的各种物理—化学作用的运行以及石油富集或散失提供了一个天然场所。他们引用Perrodon的比喻,一个盆地的地质历史好似一个“程序”,在地质历史进程中它相继启动着这些物理化学作用。

从上列不完全却具有代表性的文献中,可以看出一个时代,即从20世纪50年代沉积盆地概念进入石油地质学到70—80年代,逐渐确立了其在石油地质学中的地位,并从沉积盆地整体出发去研究油气生成、运移和聚集为矿藏的原理。特别是Tissot和Welte预感到了单纯根据构造找油的弊端和已经面临和将更趋严重的找油危机,提出了根据石油地质学原理找油的油气勘探新观念。

第四节 “含油气盆地地质学”概念的形成

20世纪40年代“沉积盆地分析”概念的提出、50年代“含油气盆地”概念的形成和60年代“板块构造学说”的兴起,共同孕育和促进了“含油气盆地地质学”的诞生。含油气盆地地质学不同于石油地质学,但又和石油地质学有难于分割的血缘联系。

石油地质学以油气为研究对象。这是因为油气自在地表被发现后,一切问题都是围绕着它发生的。如它是一种什么物质?它有什么用处?它从哪里来,又到何处去?在什么地方或在什么地质条件下才能形成聚集等。当发现运用背斜原理可以找到大量富集于其中的油气后,人们便随即转向了以背斜为中心、研究背斜构造之所以能够圈闭油气的原理以及油气从源地到圈闭经历的路径和促使它在地下运行及在圈闭中保存的条件和作用。这就形成了原始石油地质学油层、储油层、盖层、圈闭、运移和保存等地质要素及其作用的基本内容。

1979年,以西北大学地质系石油地质教研室名义出版的《石油地质学》,在结构和内容上大体仍采取了按油气从生成、经运移到聚集为矿藏这一过程为纲领,阐述和分析了油气及其聚集所形成的条件、经历的地质环境和作用以及彼此间依存和制衡的关系。不同的是在该书专设一章讲述了含油气盆地,指出:含油气盆地是油气生成、运移和聚集的基本地质单位。强调在一个含油气盆地中,油气分布受盆地的控制,而在整个地壳中的油气分布则受地壳构造对含油气盆地形成和演化的控制。

含油气盆地地质学则以沉积盆地为研究对象,研究油气在其母体——沉积盆地中形成和聚集为矿藏的作用、过程和原理,特别是如何运用这一原理去寻找和勘探至今在世界上尚未被发现的那一部分石油。这样,就把油气放在了一个特定环境——沉积盆地,研究其中油气形成和聚集成藏的原理以及如何运用这个原理开辟寻找油气的新途径。

Tissot和Welte(1978)的《石油的形成和赋存——油气勘探的新途径》(Petroleum Formation and Occurrence—A New Approach to Oil and Gas Exploration)一书以及该书的1984年增订版,旨在使有机地球化学和地球科学融为一体,促进地质学家和更多从化学方面实施勘探工作的研究者之间的交流。但实际上该书已不自觉地打破了传统石油地质学的局限,不是像传统石油地质学那样,简单地从油气出发去分析油气在地壳中形成的地质条件和原理,而开宗明义第一篇就是说从地质学的观点去分析烃源岩中,作为生油母质的有机质产生和聚集的条件。这样,他们得出的结论是:① 烃源岩须是有机碳含量在0.5%以上的沉积物;② 这种沉积物须沉积在起码能接受最低有机质含量的水体环境之中;③ 这种水体的能量和沉积速度之间须保持一定的平衡关系,以保证有机质的保存和富集,其要求是沉积物的颗粒要细小如黏土,如此始能具有吸附有机质、减少氧气进入的能力;水体能量要低至不至于冲走细碎的岩石碎屑和密度小而呈悬浮状态存在的有机物质;沉积作用的速度也不得过高,以保持有机物质的必要浓度。因此,只有从适于烃源岩形成的地质环境出发才能正确认识油气形成的地质学原理。这种环境便是处于静水环境的沉积盆地,如大陆架地区的潟湖、港湾以及其他形式的闭塞盆地,以及大陆内部的沉积盆地。

除此而外,有机质向着成烃方向的转化亦须依靠沉积盆地的沉降作用支持。其作用表现为:对富含有机质的沉积物的埋藏和增加温度,以使有机物质在成岩作用下向干酪根方向转

化;然后在退化作用下使干酪根通过热降解作用向油气方向转化;以至需更大的沉降和埋藏深度,使剩余的干酪根在交替作用下生成以甲烷为主的气态烃,以及使早期生成的液态烃通过裂解作用再转化为气态烃。这便是 Tissot 和 Welte 在其书的第二部分所讨论的主要问题。如此看来,石油地质学本应是从沉积盆地开始的。

该书和传统石油地质学的不同之处还有,占用较大篇幅讨论如何运用油气生成和运移原理以开辟找油的新途径。例如,首先从烃源岩的鉴别开始,采取与盆地演化历史相结合的方法,确定有效烃源岩的时空分布和生烃潜力;其次,运用石油生成的地球化学模拟方法使勘探问题步入定量化。例如提供盆地不同地区不同烃源岩生成油气的数量。为此,Welte 还于 1997 年与 Horsfield 和 Baker 合作出版了一部专著《石油与盆地演化》(Petroleum and basin evolution),专门从石油地球化学和盆地模拟角度观察石油和盆地演化的关系。

这种勘探思想不能说过去就没有运用过。不同的是过去在圈闭说思想禁锢下,往往只是从圈闭出发,将其用于圈闭的评价,而不是从该思想出发将其用于寻找油气聚集区和优选可能有油气聚集的圈闭上,更没有将这种思想系统化成为一种理论写于培养新一代油气勘探家的教科书中。

Perrodon(1983)在其所著《油气聚集动力学》(Dynamics of Oil and Gas Accumulations)一书中也表达了与 Tissot 和 Welte 同样的思想。作者在引言中说,该书是对他 1966 年出版的《石油地质学》的补充而不是代替;还说他之所以又写第二本书是因为前一本已不能代表现代的水平。那么,现代水平是什么,他接着说,重要的是把重点放在形成和保存烃类矿床各种机制的基本动力性质方面,像每一种地质现象一样,油气的历史是贯穿自沉降开始的整个沉积盆地演化过程始终的。因此,这本书首先便从油气形成的地质背景——沉积盆地和沉积作用写起。接着,写的是油气生成以至聚集成藏和逸散的各种机制和在各种类型圈闭中形成的油气藏以及它们特有的动力学性质。最后则以分布于世界各地的著名油气区,即油气田的聚集地为例,描述了它们各自的石油地质特征以及一些地区的勘探历史,以说明油气成藏和勘探经历的丰富多彩。他还说,虽因如此丰富多彩而不能用几个一成不变的形式予以概括,然详细研究其中的规律则是指导油气勘探的最好办法。这样,作者在其书末结论中为这本新概念下的石油地质学作了如此界定:石油地质学是把沉积学、地球化学、地层学以及地质动力学等各学科紧密联系在一起的一门综合性地质学科。其实,这本书本身就是从传统石油地质学中脱颖而出的含油气盆地地质学,已不是传统石油地质学了。

20 世纪 70 年代新全球构造学说兴起后,甘克文(1984)^①关于石油分布与沉积盆地关系的研究认为:石油地质学家的研究领域已经超越了传统石油地质学的生、储、盖、圈、运、保六大要素,而是把它们与现代的全球构造学、沉积学和地球化学紧密结合在一起,从盆地形成和演化的本质上去研究油气地质诸要素的相互联系,探索油气富集的内在规律。这样,研究的对象就不再是独立的油气藏或油气田,而是从油气盆地整体出发,分析有利的油气聚集带和上下左右复合的油气田区。因之,他直截了当地提议将这种研究方向称为“含油气盆地地质学”。

朱夏(1986)曾提出了一个将盆地作为一个整体,率先考查其全貌的油气勘探方针,并着力筑构出了一个盆地研究与全球构造及油气聚集关系的大框架。

① 甘克文. 1984. 含油气盆地地质学一门新的石油地质学理论在兴起. 国外石油调研, 总第 34 期

在学院里,这种从石油地质学向含油气盆地地质学的演进,在20世纪50年代已经有所显露。那时,在苏制统一石油地质学专业教学计划中分设了两门不同的课程:《石油地质学》和《油气田地质学》。后者由于涉及世界各地,也理应包括中国在内的典型油气田,故又简称《中外油田》。从前者以传统石油地质学的原理为内容,到后者以中国和世界各地的典型油气田的实例为印证看,二者结合似乎十分完美。实际上这只是一种形式,实行起来很少能在一个什么原则或基础上联系起来。但与此同时,国内外石油地质学界也正在进行着沉积盆地与油气成因关系的研究和讨论。在此背景下,西北大学便将石油专业教学计划中的油气田地质学改成了“世界含油气盆地”,以突出油气与沉积盆地的联系。前已提到,到70年代,以西北大学石油地质教研室名义编写的高等院校试用教材《石油地质学》也专门增加了一章“含油气盆地”,以阐述沉积盆地是油气生成、运移和聚集的基本单位和油气在其中形成和聚集的原理;80年代便将“世界含油气盆地”课程改为“含油气盆地地质学”,并延续至今。但在内容上除逐一描述具体沉积盆地的石油地质状况外,并无作为一个新学科“含油气盆地地质学”的实质内容,即具体沉积盆地形成和演化与其中油气及其聚集之内在联系的研究和讨论。即使本书也还只是在“含油气盆地地质学”名义之下讨论了一些原则性问题。

1992年西北大学含油气盆地研究所成立,并在同年举办了一次盛大的“含油气盆地地质学术讨论会”。邀请全国49个单位130余位专家学者与会,共同讨论了举世关心的沉积盆地形成演化和与其中的油气赋存问题。会后编辑出版了《含油气盆地地质学研究进展》(赵重远,刘池阳,姚远,1993)。该书内容除总论外,包括了我国含油气盆地地质、盆地地球动力学与构造学、盆地沉积学与地层学、盆地热动力学、储集层与油层物理学、油气赋存、成藏和分布规律、盆地模拟和盆地研究方法以及油气勘探技术及其应用等8部分。该书前言指出,含油气盆地是油气生成、运移和聚集的基本单位。只有从盆地的整体出发,动态地研究盆地演化过程中的各种地质作用,综合分析油气成藏和分布的主要控制因素及其最佳配置方式,方可能揭示其最基本的内在联系和规律。但是在我国,与目前正蓬勃发展、并已达较高水准的油气地质单项研究相比,含油气盆地地质的综合研究还较薄弱。这是影响我国油气地质研究获得新突破和提高勘探成功率的一个关键环节。从我国油气勘探和研究的现状看,无论是勘探开发程度较高、资料积累较多的东部和中部,还是勘探工作方兴未艾、油气田开发正向纵深发展的西部和东部海域,虽然不同地区、不同盆地的研究程度和内容不尽一致,但均面临着必须对含油气盆地进行整体、动态、综合研究这一突出的薄弱问题。若不及时改变这种状态,将会使不同程度存在的油气后备储量不足、接替探区不清、科学研究和生产徘徊不前的局面,在较长时间难以改变,甚至日趋严重。

这样,从传统石油地质学脱胎而出的新概念石油地质学已不再是往日的石油地质学,而是后盆地时期油气勘探新阶段的石油地质学——含油气盆地地质学了。从表面上看,含油气盆地地质学研究的视野是从地壳的广度收缩到了有限的沉积盆地,而在内涵上却是将油气的形成、运移和聚集同沉积盆地的形成和演化连为不可分割的一体了。它的内容主旨也已不是以油气为中心,单纯研究它的生成、运移和聚集的机理和作用,而是明确地转向了如何运用它形成矿藏的原理去进行勘探。同时,含油气盆地,作为地壳构造的组成部分,包括其中的油气,亦同样受到全球构造作用的制约。不同类型和不同演化历史盆地的油气丰度受所在盆地之盆地作用的控制,全球油气资源的分布亦将受全球构造运动的控制。这亦将是含油气盆地地质学

研究的最大范围。含油气盆地地质学的形成并不意味石油地质学的使命已经结束,而是在石油地质学基础上的向前发展。石油地质学和含油气盆地地质学都应以沉积盆地为基础,不过前者更重视理论的研究,使油气成因理论、生烃机理和过程、聚集原理和保存条件等方面研究更趋深化和成熟;二者相结合,后者更重视油气勘探的实际应用,使今后在各种类型盆地油气勘探中充分运用油气聚集的原理,而不仅仅是单纯依靠背斜或圈闭学说。虽然今后的油气勘探照样还以背斜或其他各种圈闭的钻探为唯一基础。

参考文献

- 布罗德,И О,耶列明科 Н А. 1958. 石油与天然气地质学原理. 北京:地质出版社
- 申力生. 1980. 中国石油工业发展史(第一卷). 古代的石油与天然气. 北京:石油工业出版社,1~99
- 莱复生 A I 著. 周家珩译. 1959. 石油地质学. 北京:地质出版社,550~579
- 赵重远. 1979. 石油地质学. 北京:地质出版社,217~278
- 朱夏. 1986. 板块构造域中国石油地质. 见:论中国含油气盆地地质构造. 北京:石油工业出版社,71~79
- 朱夏. 1986. 试论全球构造与古生代含油气盆地. 见:论中国含油气盆地地质构造. 北京:石油工业出版社,94~121
- Allen J R, Sorby H C. 1963. The sedimentary structures of sands and sandstones in relation to flow conditions. *Geol. en Mijnb*,42:223~228
- Allen P A and Allen J R. 1990. Basin analysis: principles and applications. Blackwell Scientific Publication Oxford London First Published,451
- Angevine C L, Heller P L, Paola C. 1990. Quantitative sedimentary basin modeling. Education department of the Am. Assoc. Petrol. Geol. Tulsa Okla,134
- Bally A W. 1975. A geodynamic scenario for hydrocarbon occurrences, in Proceedings of the 9th World Petroleum Congress, vol. (geology): Essex, England, Applied Sci. Pub, Ltd. 33~34
- Bally A W, Snelson S. 1980. Realms of subsidence. in A D Miai, ed., Facts and principles of world petroleum occurrence. Canadian Society of Petroleum Geologists Memoir,6:9~94
- Bouma A H. 1962. Sedimentology of some flysh deposits. Elsevier, Amsterdam 168
- Clifton H E. 1988. Francis Pettijohn as a teacher on a golden era. in Kleinspehn K L and C Paola, eds. New Perspectives in basin analysis. New York: Springer-Verlag
- Chapman R E. 1973. Petroleum geology - a concise study. New York: Elsevier
- Demaison G. 1984. The generative basin concept, in G Demaison and R J Murriss, eds. Petroleum geochemistry and basin evaluation: AAPG Memoir 35:1~14
- Demaison G, Murriss R J. 1984. Petroleum geochemistry and basinevaluation. AAPG Memoir 35, Tulsa Okla
- Demaison G, Huizinga B J. 1991. Genetic classification of petroleum systems. AAPG Bull.,75(10):1826~1643
- Dickinson W R. 1974. Tectonics and sedimentation, in Dickinson, W. R., ed. Tectonics and sedimentation, Soc. Econ. Paleontologists and Mineralogists Special Pub,22:1~27.
- Kleinspehn K L, Paola C. 1988. New Perspectives in basin analysis. New York: Springer-Verlag
- Kingston D R, Dishroom P, Williams P A. 1983. Global basin classification system. AAPG Bulletin,67:2175~2193
- Kingston D R, Dishroom C P, Williams P A. 1983. Hdrocarbon play and Global basin classification. AAPG Bulletin,67:2194~2198
- Klemme H D. 1975. Giant oil fields related to their geologic setting: a possible guide to exploration: Bulletin of Canadian Petroleum Geology,23:30~66
- Klemme H D. 1980. Types of petroliferous basins, in J F Masson, eds. Petroleum geology in China: Tuisa, Oklahoma,