

石油地质学发展: 反思和展望

赵重远

(西北大学含油气盆地研究所, 陕西西安 710069)

人们很早就知道石油和天然气是一种具流动性的有机矿产, 其有机性质提示人们它生成在什么地方, 而流动性则向人们说明如何去寻找它们。但总结人类对油气分布规律认识的石油地质学却没有循着油气的这两种特性发展, 而是走向了另一条与人类认识规律相符合的道路。人们对油气的认识先从它现在存在的地方开始, 如早期在油气苗附近钻井找油; 后来发现油气常沿一定构造线分布, 特别是背斜说出现后, 发现油气常存在于背斜之中, 或者存在于某一种构造省中, 如含油气省; 再后来, 人们才从含油气省中识别出了沉积盆地, 认识到作为有机物质的烃类, 只有沉积盆地才是最适合它们生成的地方。这是人类认识的一次大飞跃, 但油气的流动性在其成藏过程中起着何种作用, 从中可以建立何种原理, 并如何利用它以寻找油气, 却一直未找到合适途径。因而, 勘探工作进入盆地只是说明找到了油气生成的地方, 而如何找油, 还须进一步探讨。

关键词 石油地质学 含油气省 沉积盆地 含油气盆地系统 反思 展望

作者简介 赵重远 男 71岁 教授 石油地质学 含油气盆地地质学

石油地质学是人类认识石油, 包括天然气和其它衍生物, 形成、演化和富集为矿藏, 以及勘探和开发的总结。我国, 也是世界上最早有关于油气发现文字记载的国家。据成书于公元前1066~771年的《周易》和成书于公元32~92年的《汉书·地理志》关于天然气和石油的记载看, 至少已分别有三千年和一两千年历史^[1]。两三千年来坎坎坷坷的勘探历史, 曲折曲折的认识过程, 还隐藏着多少值得人们去进一步思考的问题, 一下也难说得清楚。但反思是必要的, 反思过去是为了认识未来!

在认识石油和天然气矿产的过程中, 它的两个基本性质值得我们永记: 一是它是一种有机矿产; 二是它是一种具有流动性的矿产。前者提示我们它生成在什么地方; 后者告诉我们如何去寻找它们。一部石油地质学发展史应该紧紧围着这个核心展开。但是, 人类走进这个核心却经历了十分漫长而曲折的路程。

1 思维进程

1.1 本能认识: 流动、燃烧

人类对油气的第一认识就是流动和燃烧, 如《周易》曾以“泽中有火”记录了天然气在水面上的燃烧; 《汉书·地理志》曾以高奴有洧水可燃记录了石油漂于水面流动并可燃烧的现象。而且, 还将其用于煮盐、膏车和照明^[1]。

1.2 直观分析: 构造控制

人类最早对油气分布的规律性认识, 有据可查者可能属 1840~ 1850 到 1890 年在四川自流井气田沿构造轴线定的井位^[1], 虽然现在还难确知这些井是根据沿构造轴线裂缝分布的气苗定的, 还是那时已识别出了背斜轴, 但很难说是一种偶合。因为中国的堪舆家很早以前就有“水脉”和“龙脉”(山势)的说法。如《华阳国志》早在两千二百多年前就有李冰“能知天文地理……, 又识齐水脉, 穿广都盐井诸陂池”的记载。也许二百多年前已识别出了自流井构造的“龙脉”, 即背斜轴线的走向线^[1]。在此前后, 四川自流井气田的“井口簿”还有“立缝见火, 横缝见水”的记录。说明当时已知天然气是沿垂直裂缝向上运移, 而水则顺水平裂缝流动^[1]。几乎同时或稍后, 即 1847 和 1877 年, 俄国地质学家据油气苗呈线状分布可能与大断裂有关, 提出了“石油线”的认识^[2]。与此同时, 加拿大、美国的一些学者也注意到油气与背斜构造的关系, 并逐步建立起了“背斜说”。

19 世纪 80 年代, 美国地质学家 White 重申了油气聚集的构造原理^[3]。从 1884~ 1889 五年间, 由他定的井位, 在华盛顿和宾夕法尼亚等州发现了许多油气田。19 世纪末, 德、英等国也相继在东印度群岛和墨西哥等地找油。20 世纪开始的 15 年内, 美国地质调查所陆续报道了世界各地的惊喜发现, 遂使石油地质学成了一门不可或缺的科学。

在背斜说兴起和发展过程中, 还识别出了另外一些控油的构造因素或条件。如区域隆起控油等^[4], 可视为是背斜说的一种发展。

到 20 世纪中叶, 由于油气田的大量发现, 人们开始将油气田同更大规模的地质构造单位联系了起来, 提出了“含油气省”或“含油气区”的概念^[5,6], 并对其含义进行了大体相似的限定。如 Устенская 的定义是: “含油气省是指, 在成因上有联系并与一大型区域构造单元相伴随的油气聚集区域。”^[6]这一概念的实际意义就是扩大了人们对油气分布认识的视野, 有可能从全球角度认识其分布规律并进行预测。

从“龙脉”或裂缝, 或石油线到含油气省, 为什么人们从发现油气起, 就将其分布同地质构造联系了起来, 主要是因为油气对构造的依存关系是首先反映到人们头脑中的客观实体。但同时人们也通过思维和联想, 进一步将认识提高到理性上。含油气省等的提出即是如此。

但是, 当人们进一步研究含油气省内的油气聚集时又发现, 在一构造区带中并非到处都有油气分布, 而是仅分布在某一特定地段, 如含油建造分布地段; 然有时油气又可分布到不同构造区带之上, 这就使人想到, 油气并不完全受某一构造区带的单一控制。

1.3 理性思维: 盆地聚集

在不同作者给含油气省的不同限定中, 布罗德和耶列明科曾给出了这样一个定义: “含油气省是地壳的这样一个地段, 该地段在漫长地质时期为一统一的沉积拗陷, 而拗陷的特点是有共同的沥青生成作用和区域性油气聚集作用的条件。”^[7]他们明确指出, 含油气省就是沉积拗陷, 即沉积盆地。从而首先从构造区带中识别出了只有其中的沉积盆地才具有成烃条件和区域性油气聚集过程。后来, 他们就称其含油气省为含油气盆地。含油气盆地的认定, 一方面是通过直接观察; 另一方面则是通过理性思维, 认识到只有沉积盆地才能集聚有机物质, 并使之转化为油气。因此, 布罗德在以后的著作中^[2,8]便力图从盆地的发展历史出发, 从本质上将沉积盆地同成烃成藏过程联系起来。

除此而外, 还有 Хайн^[9], Weeks^[10,11], 莱复生等^[12], 也都先后提出了沉积盆地与油气的成因联系, 如 Weeks 认为, 盆地分类是评价未发现油气资源的基础。朱夏还提出了“把盆地作为

一个整体率先考察它的全貌,进一步按沉积、构造……等方面的特征来把盆地区划为若干具有不同含油远景的部分”的找油方针^[13]。

70年代以来,板块构造学的进展带动了沉积盆地成因机制、沉积类型和油气赋存条件等的研究^[14~17],进而发展了含油气盆地的类比和评价,加深了油气与沉积盆地密切关系的了解。Chapman在其所著《石油地质学》中写到:“石油地质学大部是沉积盆地地质学,因为重要的石油聚集都存在于沉积盆之中。”^[18]Perrodon在其所著“石油地球动力学”一书中更直接了当地说:“没有盆地,就没有石油。”^[19]

应当指出,沉积盆地也是岩石圈的一种构造单元。只有将沉积盆地与岩石圈构造连为一体通盘考虑时,才能揭示沉积盆地形成演化和在地壳中分布的规律,同时也就揭示了油气在地壳中分布的规律。由此而论,人们对油气规律的认识还是从首先反映到人们头脑中的油气与地质构造的依存关系这一客观实体出发的。不论以大地构造为基础建立起的含油气省,还是从含油气省中识别出了含油气盆地,都代表着人类认识发展的一种趋向和历史必然。

2 路径迷离

沉积盆地的认定只是解决了到何处找油的问题。虽然近年提出了许多关于研究盆地及其油气形成和聚集的理论与方法,但因人们认识上的差异还很难形成一致的认识。

2.1 沉积盆地分析不宜取代含油气盆地研究

含油气盆地是一以盆地为对象研究油气赋存的专门学科,和沉积盆地分析有本质的差别。沉积盆地分析一词由Pettijohn于本世纪40年代提出,旨在将沉积盆地作为一个整体,对其中之沉积物进行统一分析和研究^[20,21]。50年代末,沉积地质学由原先对沉积组构、颗粒形状和矿物学等方面的描述转向了对沉积作用、相和古地理学的研究^[22,23]。60年代以来,逐步建立了沉积体系,形成了层序地层学^[24~26]。1984年迈尔推出了《沉积盆地分析原理》一书^[25],由于板块构造为沉积盆地研究提供了大量资料和信息,所以该书除传统内容外,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沉积物形成起控制作用的构造因素。1988年,明尼苏达大学为授予Pettijohn名誉博士学位而举行的学术报告和出版的论文集《盆地分析新透视》^[20],主要内容仍包含在沉积学与地层学之内,但同时也扩展到了构造学领域。

然到1990年,艾伦等推出《沉积盆地分析——原理与应用》一书^[27]时,却使沉积盆地分析从概念上产生了一个飞跃,即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。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。”在其应用方面,他们认为:“沉积盆地,过去和现在,也几乎是全世界所有工业性烃类矿产赋存的场所”,因而专辟一篇,分析其在石油地质方面的应用。同年出版的Angevine等的《定量沉积盆地模拟》^[28]和Allen等持相同观点。

但Lerche的《盆地分析——定量方法》^[29],虽以“盆地分析”为名,却直接以研究油气成藏的重要因素,如沉积体埋藏史、热史和烃的生成、运移和聚集等为目的。Lerche在盆地分析命题下,专事其在石油地质方面的应用,也无可厚非,因为油气就形成于盆地之中。但因“盆地分析”一词已专有所指,这样以来便很易使人产生误解。

由于“沉积盆地分析”在应用方面除油气地质与勘探外,对煤炭以及其它沉积矿产也有重要意义,所以,它应成为一门可供多方面应用的基础学科。

2.2 石油系统不同沉积盆地

石油系统是以烃源岩为基础,在一定时间域和空间域对油气分布及其可信度描述和评价的一种方法^[30~34]。Magoon 和 Dow^[34]十分恰当地将其置于沉积盆地之下和油气藏组合(play)及勘探对象(prospect)之上,并认为它们代表研究的四个不同水平。这个限定已十分明确,用不着再多说什么。

2.3 并非所有圈闭皆能捕油

以背斜说为基础发展而成的圈闭聚油原理,为全球油气勘探所遵从,今后亦将一如既往地发挥其不可替代作用。圈闭虽是油气聚集的唯一场所,却不是所有圈闭都能捕集住油气,也早已被人们所认识。因为一切圈闭中的油气聚集,都是油气成藏作用这一复杂过程的最终结果。那些圈闭能够捕集油气,那些圈闭没有可能捕集油气,主要取决于圈闭在成藏过程中所处的时空位置,而并非仅取决于圈闭本身或其条件的好坏。

2.4 油气藏预测方法有待向内涵转换

现今的油气藏预测方法多是根据已知油气田、油气显示和成藏要素条件及其组合关系进行的,基本是以现今成藏要素的静态分布为基础。有时虽也考虑圈闭形成时间与成烃时间的先后关系,但基本未能从动态角度说明成藏期圈闭所处的具体有利或不利捕烃位置,以及成藏期后已有油气藏的变化,即可能出现的三次运移和再聚集。因此,随着勘探程度的深入,失误显得愈多。这一点在中国尤为重要,因为中国的含油气盆地不仅有和一般盆地相同的一面,即成藏期后盆地一般都还有一个或短或长的差异沉降过程,它势必会改变成藏期的古构造面貌,而且还有另外一面,就是大都经过成烃或成藏期后构造运动的改造,远不是仅靠现今的油气成藏要素静态分析所能解决。因此,油气藏预测有待向动态的历史分析方面,即内涵方面转换。这既是一种方法的转换,同时也是观念和认识的一种转换。

2.5 专题研究须顾及综合因素,综合研究须赋予动态生命

专题研究在当今油气勘探中占很重要地位。但应注意,油气藏的形成是各种地质因素和作用综合作用的结果,不受或不完全受某一或某几种因素控制。如从一极端出发,可以说烃源岩决定一切,也可以说储集岩或圈闭决定一切,但当各种因素都具备时,则是各因素的综合时空配置关系决定一切。因此,专题研究关于油气藏预测的结论或使用专题研究结论时,须综合考虑其它因素。同时综合研究亦须避免将各种成藏因素和作用简单地相加或机械地组合,要赋予它以动态生命,而避免将其变成积木房子。

3 未来何去

根据上述可见,将盆地作为一个整体,对盆地和其中之成烃成藏作用和过程以及对该作用和过程所涉及的一切地质因素和作用动态地进行综合研究,以揭示油气分布的内在地质规律,似已成为大势所趋。

朱夏曾提出了一个将盆地作为整体率先考察其全貌的油气勘探方针^[13],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^[35,36]。

蒂索和威尔特在其所著《石油形成和分布——油气勘探新途径》一书中,提出了一个应用石油生成和运移原理的油气勘探新途径^[37]。

佩罗东认为:“重要的是把重点放在形成和保存烃类矿床的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的始

终。”^[19] Levy 评论说:“实际上有一束亮光在射向石油勘探……,使我们的勘探主导思想朝更广泛的方面发展,如研究沉积盆地以至研究烃类形成、运移和聚集成矿的动力学等。”^[19]

以上研究表明,目前对于石油地质学的发展已有一倾向性认识,即沉积盆地是产生油气的唯一场所;成烃成藏作用是贯穿盆地演化始终的各种有关因素综合作用的结果。许多石油地质工作者都在苦苦探索和寻求一种有效的油气预测和勘探的新途径。

因此,如果将以上论述进一步引伸,不难得出这样一个结论:含油气盆地实际上是一个完整独立的成烃成藏系统,为了规范其研究范围、内容和性质,可称该系统为含油气盆地系统^[38]。

所谓含油气盆地系统,应是指作为生成油气之母体的沉积盆地,是一个天然具备孕育油气能力,并使之聚集为矿藏的完整独立体系。其研究内容可包括成盆动力学和成藏动力学两大子系统。前者是后者研究的基础,也是盆地油气资源宏观预测和评价的基础;后者将直接为油气勘探提供对象。

含油气盆地系统研究的关键是始终要将油气的可流动性放在首位,一切从动态出发是研究工作和所建立的理论、方案和方法的灵魂。

总之,含油气盆地系统的核心是再现油气成烃成藏过程。再现,就是按简单、静止不变的形式,用图像显示某一特定地质时期的地质现象^[18]。这一图像虽是静止的,但当连续再现出几个时期的图像时,运动的历史画面便会出现于你的面前。

现在的石油地质学似乎已发展到了这样一个地步,人们已经进入了它的辉煌殿堂,但从四面射来的耀眼光芒还难以使人一下辨清它的全貌,然其真容一定会展现于人们的定睛之间。到那时人们将进入油气勘探的自由王国,其成功将会比发现背斜说时更加灿烂辉煌!

致谢:诚挚感谢贺自爱教授,作为我的好友,细心审阅了本文原稿,并提出了十分宝贵的意见。

参 考 文 献

- 1 申力生. 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,1980. 1~ 99
- 2 Брод И О. Основы Учения о нефтегазоносных бассейнах. Москва: Издательство "НЕДРА", 1964. 9~ 38
- 3 White C. The Mannington oil field and the history of its development. Bull Geol Soc Am, 1982, 3(4): 193
- 4 Clapp F G. A proposed classification of petroleum and natural gasfields. Econ Geol, 1910, 5: 603~ 629
- 5 Woodruff E. Petroliferous province. Bull Amer Inst Min Met Engrs, 1919, (150): 907~ 912
- 6 Успенская Н Ю. О принципах классификации нефте-газовых провинций. Москва: Тр. МНИ, вып. 5. 1947. 168
- 7 布罗德 И О, 耶列明科 Н А. 石油与天然气地质学原理. 北京地质勘探学院石油教研室译. 北京:地质出版社, 1958. 312~ 349
- 8 Брод И О, Высоцкий В Г. Нефтегазовых бассейны земного шара. Москва: Издательство "НЕДРА", 1965. 16~ 38
- 9 Жайн В Е. Нефтегазовых бассейнов неогена юга СССР и условия их. Изв. АН Азерб ССР, 1951, (6): 14~ 25
- 10 Weeks L G. Factors of sedimentary basin development that control oil occurrence. AAPG Bull, 1952, 36(11): 2 071~ 2 124
- 11 Weeks L G. Habitat of oil and some factors that control it. In: Weeks L G, ed. Habitat of oil. Tulsa Okla: AAPG Symposium, 1958. 1~ 61
- 12 莱复生 A I. 石油地质学. 周家珩译. 北京:地质出版社, 1959. 550~ 576
- 13 朱夏. 我国中、新生界含油气盆地的大地构造特征及有关问题. 见:朱夏. 论中国含油气盆地构造. 北京:石油工业出版社, 1986. 4~ 26
- 14 Fischer A G. Origin and growth of basin. In: Fischer A G, Judson S, eds. Petroleum and global tectonics. Princeton, London: Princeton University Press, 1975. 47~ 79
- 15 Klemme H D. Giant oil fields related to their geologic setting: a possible guide to exploration. Bull Can Petrol Geol, 1975, 23: 30~ 66
- 16 Bott M H P, ed. Sedimentary basins of continental margins and cratons. New York: Elsevier, 1976. 314

- 17 Bally A W, Snelson S. Realms of subsidence. In: Miall A D, ed. Facts and principles of world petroleum occurrence. Can Soc Petrol Geol Memoir, 1980, 6: 9~ 94
- 18 Chapman R E. Petroleum geology— a concise study. New York: Elsevier, 1973. 1~ 22
- 19 佩罗东 A. 石油地质动力学. 冯增模, 邬立言, 王殿凯译. 北京: 石油工业出版社, 1993
- 20 Kleinspehn K L, Paola C, eds. New perspectives in basin analysis. New York: Springer-Verlag, 1988. Preface, 7~ 8
- 21 Potter P E, Pettijohn F J. Palaeocurrents and basin analysis. New York: Springer-Verlag, 1977. 1
- 22 Clifton H E. Francis Pettijohn as a teacher on a golden era. In: Kleinspehn K L, Paola C, eds. New Perspectives in basin analysis. New York: Springer-Verlag, 1988. 19~ 20
- 23 Bouma A H. Sedimentology of some flysh deposits. Amsterdam: Elsevier, 1962. 168
- 24 Allen J R L. H C Sorby and the sedimentary structures of sands and sandstones in relation to flow conditions. Geol en Mijnb, 1963, 42: 223~ 228
- 25 迈尔 A D. 沉积盆地分析原理. 孙枢, 陈昌明, 李继亮等译. 北京: 石油工业出版社, 1991. 273~ 367
- 26 Val P R, Mitchum R M Jr, Thompson S III. Seismic stratigraphy and global changes of sea level. AAPG Mem, 1977, 26: 83~ 98
- 27 艾伦 P A, 艾伦 J R. 盆地分析——原理与应用. 陈全茂, 张学预, 李大成等译. 北京: 石油工业出版社, 1995. 前言, 281~ 385
- 28 Angevine C L, Heller P L, Paola C. Quantitative sedimentary basin modeling. Tulsa, Okla: Education department of the Am Assoc Petrol Geol, 1990
- 29 Lerche I. Basin analysis— quantitative methods. San Diego: Academic Press, 1990
- 30 Dow W G. Application of oil correlation and source rock data to exploration in Williston basin. AAPG Bull, 1974, 58(7): 1 253~ 1 262
- 31 Perrodon A, Masse P. Subsidence, sedimentation and petroleum system. Journal of Petroleum Geology, 1984, 7(1): 5~ 26
- 32 Perrodon A. Petroleum systems: models and applications. Journal of Petroleum Geology, 1992, 15(3): 319~ 326
- 33 Demaison G, Huizinga B J. Genetic classification of petroleum system. AAPG Bull, 1991, 75(10): 1 626~ 1 643
- 34 Magoon L B, Dow W G. The petroleum system. In: Magoon L B, Dow W G, eds. The petroleum system— from source to trap. AAPG Mem, 1994, 60: 3~ 24
- 35 朱夏. 板块构造与中国石油地质. 见: 朱夏. 论中国含油气盆地构造. 北京: 石油工业出版社, 1986. 71~ 79
- 36 朱夏. 试论古全球构造与古生代油气盆地. 见: 朱夏. 论中国含油气盆地构造. 北京: 石油工业出版社, 1986. 94~ 121
- 37 蒂索 B P, 威尔特 D H. 石油形成和分布. 郝石生, 赵铁岭, 陆婉珍等译. 北京: 石油工业出版社, 1982. 296~ 356
- 38 Zhao Zhongyuan, Jin Jiuqiang. Oil and gas basin system— principles and applications. In: Sun zhao'ai, Wang Tanbin, Ye Deliao, eds. Geology of fossil fuels— oil and Gas. Proc 30th Int' l Geol Congr, 1996, 18: 265~ 281

DEVELOPMENTS IN PETROLEUM GEOLOGY: REVIEW AND LOOK AHEAD

Zhao Zhongyuan

(*Institute of Oil and Gas Basin, Northwest University, Xi'an, Shaanxi*)

Abstract

Long ago, people had known that oil and gas are fluid and organic minerals. The organic nature of oil and gas hints us where they might be, and the fluidity tells us how to search for them. The petroleum geology which records the human knowledge on the role of oil and gas distribution, however, had not developed around these two properties but along another way which was in keeping with the process of human cognition. People primarily knew the oil and gas starting from where they are now, for example, the earliest wells for oil or gas always drilled close by oil or gas seepage, and then, people found that oil and gas always distributed along a certain linear structure, or especially occurred in anticline structures as the anticlinal theory of petroleum accumulation was proposed; or within a tectonic province, known as petroliferous province.

Afterwards there was a great leap in the process of human cognition when people differentiated the sedimentary basin from other tectonic unit in the petroliferous province, thus knowing that the basin is the only place suiting the formation of hydrocarbon. But the problems that what role would the fluidity of oil and gas play in pool formation, and what kind of principle would they follow, and how to utilize it for exploration still remain unsolved. Therefore, turning oil and gas exploration to basin merely shows that people have found the place where the oil and gas are being, but how to discover them is still remains discussing.

(上接第 7 页)

- 10 Nar W. Fracture density in the deep subsurface: techniques with application to Point Arguello Oil Field. AAPG Bull, 1991, 75 (8): 1 300~ 1 323
- 11 王仁, 丁中一, 殷有泉. 固体力学基础. 北京: 地质出版社, 1979. 71~ 72
- 12 王仁, 何国琦, 殷有泉等. 华北地区地震迁移规律的数学模拟. 地震学报, 1980, 2(1): 32~ 42

A NEW METHOD FOR QUANTITATIVE PREDICTION OF TECTONIC FRACTURES — TWO - FACTOR METHOD

Ding Zhongyi Qian Xianglin Huo Hong
(*Department of Geology, Beijing University, Beijing*)

Yang Youqing
(*Institute of Geology, State Seismological Bureau, Beijing*)

Abstract

The quantitative prediction technique of tectonic fractures is an urgent subject in the exploration and development of fractured reservoirs. In the present paper, rock fracture method and energy method are used to simulate tectonic fracture development in Qiuling Oilfield of Turpan-Hami Basin. The results from both the rock fracture method and the energy method are complementary each other. Thus, a new method — two factor method is proposed to simulate the development of tectonic fractures by means of fracture value and energy value together. According to this method, a fitting formula predicting the fracture density through calculating fracture value and strain energy is given. A comparison of the predicted fracture densities with the corresponding observed ones of 16 wells was made, the results show that the relative errors of 12 wells are less than 25%. On this basis, the predicted diagrams showing the density distribution of tectonic fractures within the producing formations of the Qiuling Oilfield are presented.