

文章编号: 1006-6616 (2010) 03-0237-09

鄂尔多斯盆地油气发现历史回顾 与经验教训 (二)

——从盆地风格看盆地油气勘探前景

孙肇才

(中国石油化工股份有限公司石油勘探开发研究院无锡石油地质研究所, 江苏 无锡 214151)

摘 要: 鄂尔多斯(陕甘宁)盆地是中国近代找油最早的地区之一。因长期不认识前陆盆地结构特点, 加之主要勘探目标层三叠系延长组超低孔渗, 因而油气勘探工作长期处于“孔孔见油, 孔孔不流”的苦恼中。近二十年来, 伴随着压裂技术及三角洲认识的开辟, 前陆找油气相继在中国西部几个大盆地中都取得了进展。不过中国对前陆盆地的研究尚处于中早期阶段, 应从前陆共性进一步加强研究, 中国西部前陆油气勘探进一步繁荣是理所当然的趋势。

关键词: 盆地风格; 三叠系延长组; 油气勘探; 鄂尔多斯盆地

中图分类号: TE132.1

文献标识码: A

从历史上看, 在认识鄂尔多斯盆地地质结构上容易发生分歧, 这是有一定“原因”的。如: 地球物理学家容易从盆地引人注目的志丹—麒麟沟重磁力异常带出发, 一下钻到“基底”里去, 并提出寻找大庆式的长垣^①; 而地质人员, 如果仅仅从中生界的盖层去处理问题, 那么在盆地除边缘以外的广大地区就只能看到一个“简单的、呆板的和平缓的西倾大单斜”。历史的经验告诉我们, 按照实际情况决定一个地区的工作方针, 是所有地质家必须牢记的最基本的工作方法。根据笔者对鄂尔多斯盆地资料的反复理解, 这个“实际”, 就是鄂尔多斯盆地以其本身的结构和历史演化所铸成的以下 8 项风格。继“从鄂尔多斯漫长找油气历史看李四光 1968 年底谈话的历史意义”一文^[1]后, 本文再从盆地风格看鄂尔多斯盆地的油气勘探前景。

1 鄂尔多斯盆地风格

1.1 盆地盖层具有三层结构

对一个盆地地质结构的整体认识, 并由此对它进行正确的地质结构分区, 是涉及对它进行正确选区部署的大事。在鄂尔多斯盆地, 从基底看去(不同方向的三分天下)如此眼花

收稿日期: 2010-08-47

作者简介: 孙肇才(1932-), 男, 教授级高级工程师, 长期从事石油地质调查及勘探领域的研究工作。

①1961 年第三普查大队建队于延安, 主攻目标就是“志丹—麒麟沟长垣”。

撩乱,而中生代盖层又如此呆板简单,这就是鄂尔多斯最重要的风格之一。这一风格告诉我们,应该认识到这个盆地盖层中所具有的三层结构。这三层结构用 20 世纪 70 年代的话^②来说就是:槽台对立发育时期陕甘宁盆地及其周边的下古生代(指 $Z-O_1$ 被动大陆边缘);槽台由对立趋向统一时期的中、晚古生代($O_{2-3}-P$)从复理石前陆($O_{2-3}-S$)到碰撞前陆(D),再到西缘的拗拉槽(aulacogen);前陆盆地发育时期的中生代($T_{2-3}-K$)。

此处所说的“Z”是指见于盆地西缘的长城—青白口纪(Pt_{2-3})。它与陕北拗拉槽一起,是垂直于北秦岭的陆内裂陷盆地。但不能把 $E-O_1$ 的沉积仍看作是拗拉槽,后者在盆地西南缘是一个典型的与塔里木、扬子时代相同的被动大陆边缘(见图 1)。

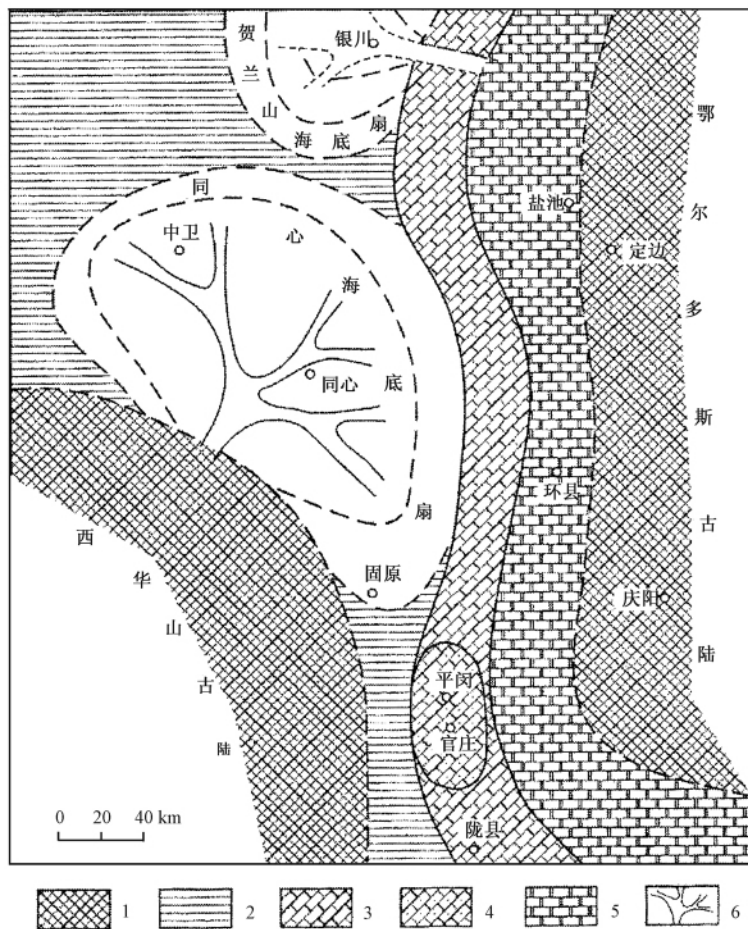


图 1 鄂尔多斯地区西缘中奥陶世岩相古地理图

Fig. 1 A map showing lithofacies-palaeogeography of Middle Ordovician in the western margin of Ordos Basin

1—古陆; 2—扇边缘和盆地边缘; 3—碳酸盐岩斜坡; 4—等深岩丘; 5—碳酸盐岩台地; 6—海底扇和水道

O_{2-3} 主要分布在盆地西缘和西南缘,它包括两个清楚的相带,一个是以砂页岩互层富含笔石的平凉页岩相,一个是位于前一相带之西的巨厚的轻微变质的复理石相(米钵山本群),是一套海底扇—等深岩的残留海(remnant)深水沉积,亦称为深水内泻、内潮汐沉

^② 见 1974 年 12 月完成的“陕甘宁盆地石油普查地质成果总结报告”第二章的命题。

积。后者与泥盆系红层一起，构成一个从复理石前陆（ O_{2-3} —S）到磨拉石前陆（ D_{1-2} ）的周缘前陆盆地原型，标志着在盆地西缘、南缘应有一条由 Watson 示出的近南北向的古缝合线。此一特点也与今日在塔里木和扬子东缘所见相同^③（见图2）。

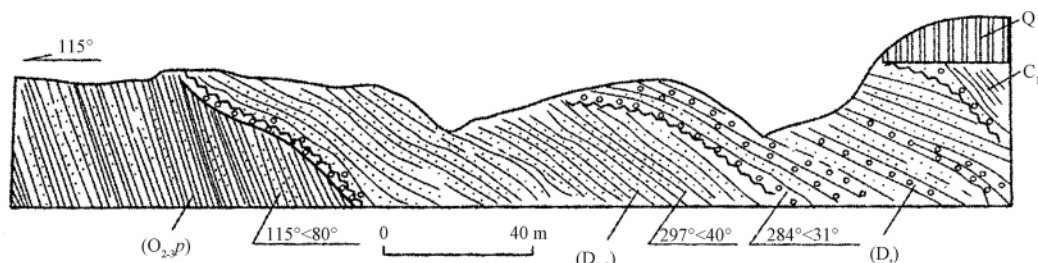


图2 宁夏金积山牛首山匣子沟剖面图

Fig. 2 The Xiazigou geological section in Niushoushan Jinjishan, Ningxia Province

笔者于1964年提出的中央古隆起，已为后来的地震和钻井（庆深1、中参1、鄂2）所证实，它应该是前述 O_{2-3} — D_{1-2} 加里东期同造山复理石前陆—碰撞前陆盆地的前隆部位。这个隆起控制了 D_3 — P_1s 所具有的“一条扁担两个筐”的盆地格局。其中，盆地西北缘发育的石炭系，已证实以北西走向越过贺兰山在巴彦浩特盆地中继续有分布，不当当作拗拉槽来认识^[1]。

1.2 C_1 — P_1s 期间鄂尔多斯盆地是“一条扁担两个筐”的格局

作为华北或中朝地台的一个组成部分，鄂尔多斯盆地以中、上元古界（大震旦）为第一盖层，除陕北和陇东两个与秦岭相通的拗拉槽外，盆内大部分地区为没有中、上元古界沉积的一个大陆。下寒武统在盆地本部大部分地区缺失，含有三叶虫类伯格朗氏虫属（*Bergeroniellus*）的含磷酸盐的层位涉及到了盆地西南部，含三叶虫类叶德利基虫属（*Redlichia Chinese*）的馒头组（ E_1 ）在韩城、河津已有发现，详细的周缘生物地层工作证明寒武纪的海侵方向是自西南向北推进。奥陶系的下界在盆地东部和西部是不一致的，东部边缘有相当特马豆克阶（Tremadoc, O_1 ）的冶里组，而西部边缘的若干剖面上都是含头足类五顶角石属（*Wutinoceras*）、头足类多泡角石属（*Polydesmia*）化石的相当阿利尼克阶的早奥陶世地层与寒武系崆山组相接。平凉群（ O_{2p} ）不是马家沟组（ O_{1m} ）的相变，马家沟组的下部相当于三道坎组（ O_{1s} ），上部没有越过含 *Amplexograptus Confertus* 的克里摩里组。盆地西南部有含 *Leptograptus cf. flacidus* 的上奥陶统；盆地西缘却有含 *Coronocephalus* 化石的志留系，有岩相变化巨大并作为磨拉石相存在的中、下泥盆雪山组（ D_{1-2x} ）以及著名的上泥盆红层老君山组（ D_{2l} ）。我们注意到属于盆地东、西不同沉积体系的山西组（ P_{2s} ）之前的晚古生代地层都有向“现在的盆地”中央逐层超覆的现象，从而得出 C_1 — P_1s 期间的鄂尔多斯是“一条扁担两个筐”的格局。换句话说，在鄂尔多斯盆地存在两个古隆起：一个是现在已被钻井证实的中央隆起，一个是位于盆地北部的广义的乌兰格尔隆起。两个隆起的区别是，乌兰格尔隆起作为一个继承性的隆起不仅控制了古生界，还控制了中、新生界^④。

③ 孙肇才。对塔河油田油气圈闭性质、时期、范围等几个问题的讨论和建议。见：新星公司高咨中心论文集。

④ 孙肇才，等。陕甘宁盆地石油普查地质成果总结报告，1974。

1.3 晚三叠世以来以弧退(后)性的前陆盆地原型支配整个中生代期间的盆地演化

代表西秦岭—东昆仑印支期的羌塘碰撞,鄂尔多斯盆地从晚三叠世以来,改变古生代的结构,以一个典型的弧退(后)性的前陆盆地原型^[1],支配了整个中生代期间的盆地演化。它具有前陆盆地所具有的以下通性。

①具有简单型前陆盆地所具有的外来系统前陆盆地活动翼(由西缘推覆体构成的马家滩断褶带)、前渊或称深拗陷(天环向斜)、稳定前陆斜坡(陕北大单斜)和前隆(北部隆起或伊盟隆起)组成的4种结构。注意,“西缘断褶带”作为一个由推覆构造形成的非原地系统(allochthonous),它与天环向斜之间所存在的后者对前者的陆内俯冲(或A-subduction)在地震剖面上是清楚的、典型的(见图3)。

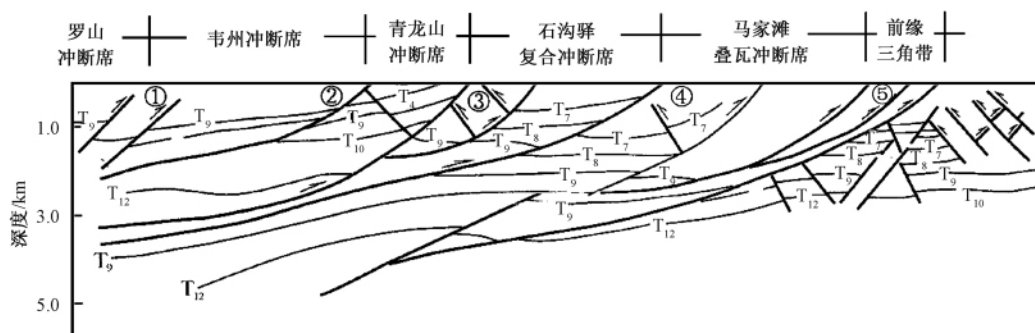


图3 鄂尔多斯盆地西部冲断构造带横剖面^[1]

Fig. 3 A cross section of thrusting tectonic belt in western Ordos Basin

②具有典型的不同时期的、有规律的前渊迁移(foredeep migration)现象。1964年,笔者在《鄂尔多斯盆地形成和中生代沉积拗陷发展演变》一文中,曾详细论述了该盆地三叠、侏罗和白垩纪沉积拗陷(沉降中心)的迁移规律。具体讲,假如引用国际上流行的“沉积中心”概念,将一个时间地层单元最大厚度轴(不论粗细)一律当作沉积中心去考察,那么,在鄂尔多斯中生代前陆前渊或沉积中心演化上的下述规律是清楚的^[1]。

上三叠统延长组的“沉积中心”(沉降中心)在东经107°以西的贺兰山中段—石沟驿—华亭南北一线。三个点上同期地层厚度超过3000m,而在盆地本部同期地层厚度在1400m以内,盆地北部不足500m。

侏罗系的“沉积中心”(沉降中心)向东转移,在桌子山东侧—铁克苏庙—马家滩南北一线。三个点的厚度分别达到1750m、3500m和1000m。在广大盆地内部,侏罗系厚500m上下。

白垩系的沉积中心、沉降中心一致,但进一步向东迁移,这就是今天的天环向斜。

实际上,由于前陆盆地的发生,代表碰撞山链因岩石圈加厚,在重力负载下,导致前陆发生挠曲的所谓耦合效应;加上前陆活动翼(掩冲带)是与碰撞山链演化有关的由递进推覆形成的迁移体系^[1],因而在几乎所有的多旋回的前陆盆地中,都有一个因递进推覆而应运产生的前渊迁移现象(像川西北、库车、塔西南及准噶尔)。

③鄂尔多斯中生代前陆沉积体系,在空间上是一个西厚东薄、南厚北薄,总体向北北东方向减薄的楔形体。如果将一个变形的前陆沉积体系予以平衡恢复,由于前陆盆地特别是它的深拗陷一侧,因邻近造山带,物源来自内流体系,在导致沉降中心和沉积中心不一致、或沉积体系自前渊向斜坡方向超覆尖灭的同时,前陆沉积在空间上几乎都有一个从窄相带到宽

相带的厚度上的空间楔形形态。以 T_3y 的沉积为例,厚度超过 3000m 的边缘相,在 107° 川西的华亭—石沟驿—贺兰山中南段已发现,但以湖泊至深湖相占有显著地位的沉积中心(也是本区最重要的生油拗陷)则位于庆阳—铜川—一线上,但地层厚度减至 1400m 上下。有定边、吴旗、志丹、安塞、延安五大三角洲发育的河湖交汇位置,大体在定边至延安一线上,地层厚度进一步减薄至不超过 1000m。再向东北,伴随着 T_3y 下部地层在 38° 以北尖灭和岩相上以河流沉积主导,至作为前陆隆起的伊克昭盟地区,仅有小于 200m 的 T_3y 上部地层得到保存。这种厚度上的楔形(见图 4、图 5),会使我们立刻联想到川西北的须家河,联想到塔里木的南北缘,因为它们都是前陆盆地。

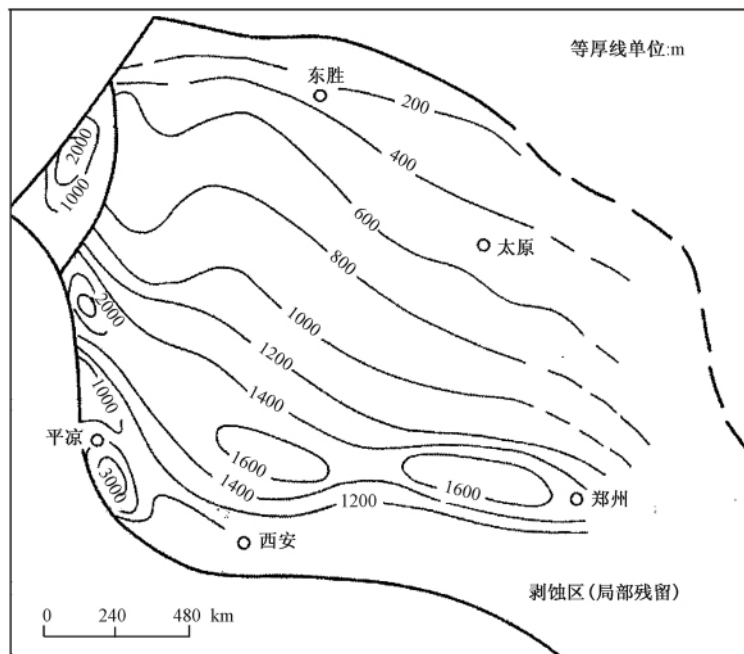


图 4 鄂尔多斯盆地上三叠统等厚图

Fig. 4 Thickness contour of the Upper Triassic in Ordos Basin

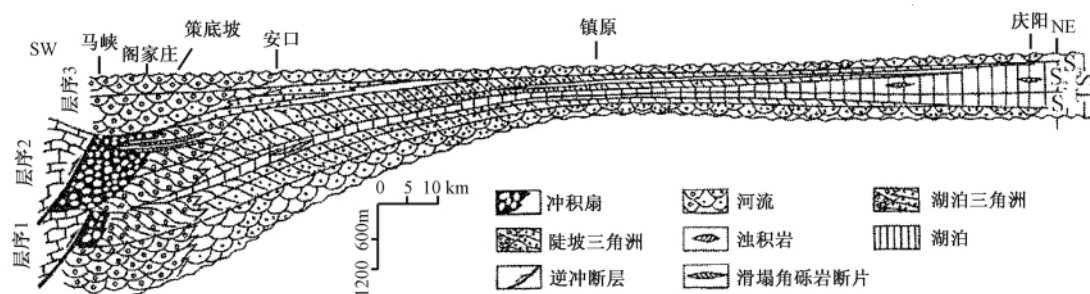


图 5 鄂尔多斯西南缘晚三叠世盆地原型剖面

Fig. 5 Profile of prototype of the Late Triassic basin in the southwest margin of Ordos

1.4 中生代前陆时期的烃源岩相带分布由大到小,静水湖相沉积范围逐渐缩小直至消失

与生油拗陷直接相关的中生代前陆时期的烃源岩相带分布,有一个由大到小和静水湖相沉积范围逐渐缩小到消失的规律。延长组二段(T_3y_2)沉积期是这个盆地中生代前陆时期最广阔的一次水进加大时期,湖水乃至较深湖泊的范围淹没了现代长城以南的整个盆地南半

部, 面积达到 $10 \times 10^4 \text{ km}^2$; 到了延安组的水进加大时期, 湖水或深湖水范围仅限于盆地东部延安—志丹为半径的范围内, 面积缩小到不足 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。白垩系的湖相沉积无论在空间上和时间上, 又比侏罗系进一步缩小。

1.5 煤成烃对盆地中生界油气成藏组合作出贡献

在根据生油坳陷大小和生油岩系厚薄来评价中生代不同时期坳陷的贡献时, 不应忘记煤系地层或煤成烃对盆地中生界油气成藏组合作出的贡献。换句话说, 鄂尔多斯盆地有三套含煤层, 分别是上古生界的石炭—二叠系 (主要是 C_3-P_1), 中生代三叠系延长组上部的所谓瓦窑堡煤系, 以及中、下侏罗统的延安组。油气在该盆地分布上的所谓“南油北气”、“上油下气”以及侏罗系油气主要分布在靖边—志丹—直罗一线以西的现象, 不能不与煤系地层所作的贡献, 即煤成烃联系起来。鄂尔多斯同时是中国最大的含煤盆地^[6]。

1.6 河流相是本区上部古生界、中生界三叠系—侏罗系中最重要的储集层

与以往“湖泊作用”统治中亚大陆中生代的概念不同, 或与传统的大湖思想不同, 经过岩相古地理的详细研究, 在上古生界和中生界中, 应把河流相的地位提到本区重要风格上来认识。它不仅是前陆沉积体系中的重要成员, 而且是本区上部古生界、中生界三叠系—侏罗系中最重要的储集层。在长庆石油会战中, 以“让开大路占领两厢”思想所取得的巨大突破, 其原因之一, 就是认识了那条在延长组风化面上从西向东流经盆地中东部的环(县)延(安)古河道。

1.7 温度对有机质成熟和演化起重要作用

以往, 大家都习惯于从有机质埋藏受热、导致油气逐渐加热的模式来考察油气的形成和演化。然而, 近年来的研究证明, 有机质的成熟和演化可以忽略作为补偿的时间因素, 而需考虑温度事件。

1.8 鄂尔多斯第三纪 (主要是中新世) 以来的隆升及鄂尔多斯高原和环鄂尔多斯地堑系 (汾渭、河套、银川) 的形成 (略)

2 从盆地风格看油气勘探前景

如果将目前已知的含油(气)领域与盆地的结构或风格予以对照, 在得出一个并非简单, 但是确有因果关系的同时, 笔者希望大家对下面所提到的新领域, 抱着“融未知于已知, 化意外为意中”的态度, 加以思考。

2.1 已知的含油(气)领域

①与中央隆起或“一条扁担两个筐”有关联的鄂尔多斯中央(或陕北)不整合削截型大气田(O_1)。

②主要分布于靖边—志丹—直罗镇以西, 在延长组(印支)侵蚀面之上, 与侏罗系延安组古河道即环延古河道有关的, 或与“让开大路, 占领两厢”有关的地层型油气藏。

③与延长组五大三角洲有关的, 或与延长组南部生油坳陷有关的, 位于前陆盆地稳定斜坡上的, 与地层岩性有关的非背斜型的巨大聚集。其油(气)藏特点仍然是呈“平面上一块一块”和“剖面上一条一条”的星罗棋布。

④在前陆盆地活动翼上, 与基底拆离到薄皮滑脱褶皱背斜有关的背斜型油气聚集。它包括盆地“西缘褶皱带”上的马家滩、李庄子、摆宴井等油气田, 位于盆地南缘的已知含油的四朗庙等背斜也应划入此一类型。

⑤与盆地北部长期继承性隆起,以及晚古生代以煤系地层为特色生气(油)凹陷有关的地层岩性,以及混合圈闭型的气(油)田,这主要是指位于前陆盆地斜坡近末端背景的天然气的聚集(包括北部已出气的卜尔江海以北的塔巴庙地区)。

2.2 新的含油气领域

①伴随着侏罗系自东向西的加深,除了应继续注意河道两侧高地近旁与“两厢”有关的地层圈闭型油藏外,还应注意由 $J_{1-2}Y$ 煤系作为源岩在 J_{1-2} 中上部,甚至包括 J_2z (直罗组)砂体内的聚集,更要注意“天环向斜”(前陆深凹陷)内部特别接近活动翼一侧仍有平缓背斜发育地区的油气,包括深盆地型圈闭(deepbasin gas trap)内的聚集。

②盆地西缘穿过“断褶带”的若干东西向地震剖面在清楚地勾绘出近南北走向若干条西倾上陡下缓犁式(Listric)掩冲断层(thrust)的同时,或这些断层向下变缓并收敛于 T_9 面的同时,我们注意到在表层褶皱以下的或 T_9 以下的早古生代的原地系统(autochthone)是一个平缓的“大背斜”。考虑到古生代的“原生油藏”,考虑到上古生界西侧有 O_2p (平凉群)及 C_1-C_3t 深拗陷的存在,考虑到20年前在天池构造(天环向斜中)井下见奥陶系油层的事实,作为一个找油的新领域,建议对鄂尔多斯盆地西缘前陆活动翼下盘的上古生界含油气性应予以注意。这方面,可以借鉴克拉玛依掩冲带下盘勘探成果的经验,也可以参考加拿大盆地在相似位置上勘探Turner Valley以及近年来外国石油公司勘探东委内瑞拉掩冲带的经验。

2.3 对盆地南缘“渭北隆起”的新认识

对这里几排构造重新进行勘探,应该表示支持。笔者的意思是说,如在试油早期就用上压裂工艺,像四朗庙背斜这样的圈闭是会出油的。然而,笔者更主张用新的思路重新考虑盆地南部的部署。

盆地南缘是前陆活动翼的一部分,但因为近东西走向的渭北,与近东西向自西向东的前陆挤出,不像盆地西缘那样面对挤入方向,因而背斜相对平缓完整。虽然如此,由于印支不整合在此地的存在,几排构造间“递进推覆”或南老北新是存在的。

因此,除考虑背斜外,还应以20世纪70年代渭北上石节(阶)煤矿巷道内沿印支不整合面的油气大量涌出现象为依据,在渭北褶皱内侧或背斜带之间有 J_{1-2} 保存的地方寻找由不整合削截圈闭(truncation)形成的不整合聚集。由于白垩纪地层已参与了渭北最北一排的褶皱,笔者主张渭北既有燕山早期(J_2 以后)的早期聚集,也有燕山晚期或喜马拉雅期(K_1 以后)的聚集。

渭北“黑腰带”上有两套煤系,一套是太原组(C_3t)煤系,一套是下侏罗统富县组(J_{1f})之上的侏罗纪煤层。在渭北找油(气),应该将上述两套煤系“煤成油”和“煤成气”的可能贡献结合起来。

2.4 再论乌兰格尔隆起的找气(油)前景

按“吃一、抓二、眼观三”的战略,在鄂尔多斯北部以塔巴庙、紫金山卜尔江海以北(乌兰格尔)为代表的3块古生代含气区块中,主张将乌兰格尔隆起作为“眼观三”的对象,理由如下:

①从地质上看,乌兰格尔在历史上是长期的隆起区。前震旦纪变质岩在隆起的顶部已有出露。沿着基底总体向西南下降的斜坡,在纬度 39.4° 以北本文理解的乌兰格尔隆起范围内,古老变质岩的埋藏深度为 $0 \sim 2900m$ 。在卜尔江海以北,基底南北(或东北—西南)落差大于 $2900m$,远远超过了盆地南部 T_9 自东向西 $22m/km$ 的梯度。也就是说,这里存在着

明显的为油气运移所必需的势能差别。隆起的西南是高势区, 隆起顶部是盆地中最低的低势区。

早古生代地层在此全部缺失。在“槽台”对立发展时期的早古生代, 乌兰格尔隆起跨过当今的河套, 与乌拉山一起作为分割内蒙兴安陆缘海与华北陆表海的一块“古陆”而存在。在这块古陆的南缘和西南边缘, 是一个为台地边缘相控制的通向北祁连海盆的平缓斜坡, 如果不考虑隆起上局部地堑中的中上元古界, 隆起本身的裸露地表时间达 700Ma 以上。

上部古生界, 特别是古石炭系, 仅在区内个别低凹部位有不足 100m 的上统粗碎屑建造, 相对南部和西部, 上升背景依然明显。

在盆地南部形成延长组 (T_3y) 显著前陆盆地时, 作为前陆隆起, 这里只记录有它的边缘相。

在隆起顶上, C_3 —J 地层全部缺失, 志丹群 (K_1z) 上部地层直接超覆不整合在变质岩之上。

这样, 在隆起范围内, 就有两个不整合面值得强调。一个是基底与 C_3 — J_{1-2} 底部的不整合面, 可看作是加里东期的一个长期侵蚀面; 一个是 K_1 下面的超覆不整合面。这两个面在隆起顶部合并^[1]。从白垩系油苗分布限于隆起顶部, 以及在缺失 C_3 — P_1 地层地区 (如伊深 1 井), 石盒子组 ($P_{1-2}sh$) 底砂岩也含油气来看, 基底顶部这个不整合面是个油气运移的重要通道。

此外, 乌兰格尔是一个内部有分割的断块, 隆起内部次一级高低断块控制着石炭系、二叠系的分布。在卜尔江海以北 (注意地震资料已有证据将该断裂认作是北倾的压扭性断层), 地震已发现了包括石股壕 (伊深 1 井)、拉布仍 (伊深 17 井) 在内的 7 个圈闭, 圈闭面积为 $10 \sim 50\text{km}^2$ (T_9), 闭合幅度从 $110 \sim 29\text{m}$ 不等 (T_9), 并在两口探井中试出了工业气 (油) 流。据对该区 14 口探井资料的复查, 含气层在 14 口井中多达 89 层。在上部古生界层位 (C_3t 、 P_1s 、 $P_{1-2}sh$ 、 P_2s) 中, 下石盒子组河流相砂岩是最主要的含气 (油) 层位, 它占含气层位的 43.8%, 其次是山西组和上石盒子组。

②从经济技术条件上考虑, 除西部库布其沙漠以外, 由于本区基本上是一块准平原化的半漠半沙的高原, 交通条件良好; 有一定数量的地震和钻井资料基础; 目的层一般都在 2500m 以内。此外, 此地北距包头不到 120km, 随着国民经济进一步发展, 天然气市场应无问题。

总之, 乌兰格尔在本身无可靠 (缺) 油源岩的情况下, 该区的油气只能来自盆地南部或西南部的石炭—二叠纪煤系和中上奥陶统。油气沿着基底不整合面, 一部分进入以石盒子组为代表的构造加地层岩性圈闭, 大部分 (笔者长期的意见) 可能进入了那个长达 700Ma 裸露的高差超过 2000m 的“潜山”。

3 结论

地质历史上受两个古隆起影响和支配的当今的鄂尔多斯盆地, 是一个被外围新生代地堑系环绕, 本身缺失第三系, 结构由活动翼 (西缘推覆席)、深凹陷 (天环向斜)、前陆斜坡 (陕北斜坡) 和前陆隆起 (伊克昭盟) 构成的中生代陆内前陆盆地系统。除了早古生代大陆边缘上的源岩外 (以 O_{2-3} 为主), 以陆相为主的三套油 (气) 源岩 (C — P 、 T_3y 、 $J_{1-2}y$)、三套煤系 (C — P 、 T_3y 、 J_{1-2}) 构成了它丰富的油气资源基础和相应的三套成藏组合和一套

可能含油气的潜山(基岩)组合。这里有构造油气藏,但控制盆地内部的广大地区,特别是前陆斜坡和前隆带上油气富集成藏的主导方式是地层(不整合)加岩性。因此,在本区找油气,树立一个“油气并不偏爱背斜”的观念至关重要。

参 考 文 献

- [1] 孙肇才. 鄂尔多斯盆地油气发现历史回顾与经验教训(一)——从鄂尔多斯漫长找油气史看李四光1968年底谈话的历史意义 [J]. 地质力学学报, 2010, 16 (3): 223~236.
SUN Zhao-cai. Review of the history, experiences and lessons from petroleum discovery in Ordos Basin (I): Implications of the talk by Li Siguang in 1968 [J]. Journal of Geomechanics, 2010, 16 (3): 223~236.
- [2] 孙肇才. 鄂尔多斯盆地北部地质构造格局及前中生界油气远景 [J]. 石油学报, 1980, 1 (3): 7~17.
SUN Zhao-cai. The tectonic framework and petroleum prospectivity of Pre-Mesozoic in the northern part of the Ordos Basin [J]. Acta Petrolei Sinica, 1980, 1 (3): 7~17.
- [3] 孙肇才. 鄂尔多斯盆地形成和中生代沉积拗陷带的发展演变 [A]. 见: 孙肇才. 孙肇才石油地质论文选 [C]. 北京: 地质出版社, 2003.
SUN Zhao-cai. Formation of Ordos Basin and development and evolution of Mesozoic depositional depression zone [A]. In: SUN Zhao-cai. Collected papers on petroleum geology from SUN Zhao-cai [C]. Beijing: Geological Publishing House, 2003.
- [4] 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地构造演化与油气分布规律 [M]. 北京: 石油工业出版社, 2002.
YANG Jun-jie. Structure evolution and petroleum distributions in Ordos Basin [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2002.
- [5] 孙肇才. 渭河地区第四系底界问题的探讨 [A]. 见: 孙肇才. 孙肇才石油地质论文选 [C]. 北京: 地质出版社, 2003.
SUN Zhao-cai. Discussion on the Quaternary basement in Weihe area [M]. In: SUN Zhao-cai. Collected papers on petroleum geology from SUN Zhao-cai [C]. Beijing: Geological Publishing House, 2003.
- [6] 邱中健, 康竹林, 何文渊, 等. 从近期油气发现的新领域看中国未来油气勘探发展前景 [A]. 见: 21世纪中国油气勘探国际研讨会论文集 [C]. 北京: 中国石油学会, 2002.
QIU Zhong-jian, KANG Zhu-lin, HE Wen-yuan, et al. The recent new discoveries of oil and gas fields and the future potential of petroleum exploration in China [A]. In: Symposium of international seminar of Chinese petroleum exploration in 21st century [C]. Beijing: China Petroleum Society, 2002.

REVIEW OF THE HISTORY, EXPERIENCES AND LESSONS FROM PETROLEUM DISCOVERY IN ORDOS BASIN (II): FROM BASIN STYLES TO THE PROSPECTS OF PETROLEUM EXPLORATION IN ORDOS BASIN

SUN Zhao-cai

(Wuxi Research Institute of Petroleum Geology, SINOPEC, Wuxi 214151, China)

Abstract: Ordos Basin is one of the earliest areas to find petroleum in China. For a long time, few of petroleum has been discovered in the basin because of both its structural characteristics and ultra low porosity and permeability in Triassic Yanchang Formation. As a result, the explorationists were lost in a dilemma with “oil shows in every hole, but no oil flow in all holes”. In recent 20 years, along with the concept of oil exploration in foreland basins, remarkable breakthrough has been made in the several basins in western China. The study for foreland basins in western China is still at an early stage. We should further researched on the generalities of foreland basins in the future.

Key words: basin style; Triassic Yanchang Formation; oil and gas exploration; Ordos Basin