

文章编号:1001-6112(2000)04-0291-06

编者按:我国著名石油地质学家朱夏先生离开我们已经整整 10 年了。为了表达对他的缅怀之情,特刊登孙肇才教授撰写的纪念文章。

简论鄂尔多斯盆地地质构造 风格及其油气潜力 ——纪念朱夏院士逝世 10 周年^①

孙肇才

(中国石化 无锡实验地质研究所,江苏 无锡 214151)

中图分类号:TE121.1

文献标识码:E

我们说鄂尔多斯是个“老区”,因为这里不仅有中国最早发现的油田(延长),而且中国大陆上的近代(1907)第 1 口机械钻井就打在陕北;外国石油公司首次(1914)参与中国石油调查与勘探也首先始于陕北。然而,我们又可将鄂尔多斯盆地看作是个找油的新地区和新领域,因为鄂尔多斯中部大气田或陕北大气田(中国内陆盆地中最大的气田),包括储量上亿吨级的安塞、定安(新红)、双河等位于三叠系延长组(T_{3y})五大三角洲上的油田,都是 1985 年以来甚至是 1993 年以来才发现的。

这一老一新中间,穿插着不少直到现在还可以借鉴的以勘探思路和方法技术为核心的“故事”。

从勘探思路上来说:

(1)在我们同情甚至也呐喊过“孔孔见油、孔孔不流”以及“三低一无”时^②(60 年代初),我们几乎每天从延安宝塔山(早侏罗世延安砂岩,有较好的物性)下经过,但从未把它看作是重要的储层。就在此

一层位和相当此一层位的延 8 - 延 10 砂层中,经过 60 年代末到 70 年代初期的会战,拿下了以马岑、城壕为代表的不少于 $5 \times 10^8 t$ 的地质储量。

(2)三边(定边、靖边、延边)以南,三延(延长、延安、延川)以西, T_{3y} 的油砂,几乎都是 60 年代地质部第三普查勘探大队(以下简称三普)用小口径岩心钻机打出来的。不仅如此,通过 60 年代的编图,也已知 T_{3y} 的三角洲就在吴旗-志丹-延安以北的北西西一线上。我们为什么在早已认识到该区的油田是“平面上一块一块、剖面上一条一条”和“星罗棋布”的同时^③,不仅没有抓到一个安塞,也未拿到一个双河(志丹)呢?

(3)陕北大气田的区域构造背景——鄂尔多斯古中央隆起,或“一条扁担两个筐”的构造格局,是孙肇才早在 1964 年就提出^④并在 1974 年完成的《陕甘宁盆地石油普查地质成果总结报告》和在随后(1980)发表的论文中坚持的^[2],可又为什么是由 CNPC 规划院首先在靖边打井并获得上古生界碳酸盐岩风化壳的突破呢?

收稿日期:2000-08-22.

作者简介:孙肇才(1932-),男(汉族),山东济南人,教授级高工,主要从事石油地质方面的研究工作。

①余曾躬行于鄂尔多斯(陕甘宁)盆地 20 年(1961 - 1980),伊始缘于 1961 年 5 月随朱夏先生环鄂尔多斯之行。在该区以后的岁月里,每每遇到工作上的困难和蹊跷,从而阅读先生的著述^[1],总是获益良多。1998 年秋,受命陪谢君秋元等再返“故里”问津。事后小结时,感受先生“融已知于未知,化意外为意中”的忠告(朱夏,1986),随成此文。

②“三低一无”,指低压、低产、低渗和无气(指当时的三叠系延长组)。

③见《陕甘宁盆地石油普查地质成果总结报告》第 6 章 277 页。

④孙肇才.对鄂尔多斯盆地形成和中生代沉积拗陷带发展演变等几个问题的讨论.鄂尔多斯石油地质通讯,1964,(1):1 - 6.

这当中有“历史”问题,有体制分工问题,有领导决策问题,也有思路问题。例如:

(1) 看不见延安砂岩,就是因为油气在陆相地层当中的“源控论”或“土生土长”的“生油凹陷”认识的局限。例如,既然是“源控论”,那么志丹以西,因出了侏罗系的生油凹陷(盆地相)到了含煤的沼泽相区,加上 T_{3y} 的油不可能逾越向上进入侏罗系,所以,虽然早在 1964 年三普就在吴旗第 1 口深井吴参井见到了相当延 8 的良好含油砂岩,最后仍然不试而别。事过 6 年之后,就在这口井的旁边(吴 1 井)同层位中,同是三普试出了日产几十方的高产井。

(2) 当时因为没有煤成烃的理论,加上“土生土长”以及“煤、油不能共生”和“难以共存”思路的支配,界定了侏罗系的找油范围在志丹以东、安塞以南和富县以北的 J_{1-2} 湖相或较深湖相范围内。因此,70 年代会战中庆、华、吴的突破,首先是“煤、油不能共生”以及“源控论”思路的突破。今天,假如我们把 T_{3y} 的油田涂成红色、把 J_{1-2y} 的油田涂成蓝色就会发现,几乎全部侏罗系油气田都分布在靖边-志丹-直罗镇以西非“生油凹陷”的含煤沼泽相带内。

从勘探方法上来说:

我们应该吸取历史上那种把“复杂问题简单对待”和“特殊问题一般对待”的工作方法和模式。例如:一般化的白垩系覆盖区的填图;大单斜上,倾角小于半度条件下的所谓大面积构造详查;粗旷的主要以电法为主的地球物理大剖面;企图不试和不压而喷,甚至缺少最低限度试油和压裂设备的试油工艺;长期停留在依靠极少数参数井或大距离评价井基础上的地层、岩相、油层对比研究途径;等等。

这些方法,摆在景观上是山高、沟深、弯弯多的黄土高原(所谓塬、梁、沟、峁地形),摆在地质条件上是缓坡($<30^\circ$)、圈少(指构造圈闭)、圈小(指构造幅度)而沉积和岩性岩相变化大的鄂尔多斯(特别是盆地南半部)。上述工作方法既不能确切解决构造问题,也难以解决沉积问题,当然也就解决不了油田和油田评价问题。

历史的经验和现实的教训告诫我们,按照实际情况决定工作方针是所有地质学家必须牢记的最基本的工作方法。根据多年区域地质与石油地质资料的积累和升华,这个实际就是鄂尔多斯盆地以其自

身的结构和地质特点所铸成的以下 8 项风格。

(1) 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。从历史上看,容易在认识本区的地质结构上发生分歧,这是有一定的“原因”作依据的。如地球物理学家容易从这里引人瞩目的志丹—麒麟沟重磁力异常带出发,一下钻到“基底”里去,并提出去找大庆式的长垣;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”。从基底看去(不同方向的三分天下)如此眼花缭乱,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 70 年代的话来说就是:槽台对立发育时期陕甘宁盆地及其周边的下古生代($Z-O_1$);槽台由对立趋向统一时期的中、晚古生代($O_{2-3}-P$);内陆盆地(前陆)发育时期的中生代($T_{2-3}-K$)。应该突出上述不同结构中的以下几项认识:

此处所说的“Z”是指见于盆地西缘的长城—青白口纪(Pt_{2-3})。它与陕北坳拉槽一起,是垂直于北秦岭的陆内裂陷盆地。但不能把 $C-O_1$ 的沉积仍看作是 aulacogen,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。

O_{2-3} 主要分布在盆地西和西南缘,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(米钵本山群)。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、南缘应有一条由 Watson 示出的近南北向的古缝合线^[3]。此一特点也与今日在塔里木和扬子东缘所见相同。

由作者于 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 $O_{2-3}-D_{1-2}$ 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

1961 年成立第三普查大队并建队延安,设计思想的主攻目标就是“志丹—麒麟沟长垣”。

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。

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。新星石油公司高咨中心论文集,1999。

布,亦不应当作 aulacogen 来认识^[4]。

(2) 作为华北或中朝地台的一个组成部分,鄂尔多斯以中、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(aulacogen),鄂尔多斯大部分地区为没有中、上元古界沉积的一个大陆。早寒武系在盆地本部大部分地区缺失,含有 *Bergeroniellus* (含磷酸盐) 的层位涉及到了盆地西南部,含 *Redlichia Chinese* 的馒头组在韩城、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东北推进。奥陶系的下界在盆地东、西是不一致的。东部边缘有相当特马豆阶(Tremadoc)的冶里组,而在西部边缘的若干剖面上都是含 *Wutinoceras*、*Polydesmia* 化石的相当阿利尼克阶的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。盆地西南部含有 *Leptograptus cf. flacidus* 的上奥陶统;盆地西缘确有含 *Coronocephalus* 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_3l)。我们注意到,属于盆地东、西不同沉积体系的山西组(P_1s)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古中央隆起;一个是位于盆地北部的广义的乌兰格尔蒙起。两个隆起的区别是,乌兰格尔蒙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) 代表西秦岭-东昆仑印支期的羌塘碰撞,鄂尔多斯从晚三叠世以来,改变古生代的结构,以一个典型的弧退性的前陆盆地原型^[5],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:

具有简单型前陆盆地所具有的前陆盆地活动翼(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(allockthos),它与天环向斜之间所存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。

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以下规律是清楚的^[6,7]。

三叠系上统延长组的“沉积中心”(沉降中心)在东经107°以西的贺兰山中段-石沟驿-华亭南北一线上。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,是在桌子山东侧-铁克苏庙-马家滩南北一线上。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^[8],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(川西北、库车、塔西南、准噶尔)。

在华北局的庆南镇原泾川工区内,认识上述这种规律是非常重要的,由于在泾川以西40km的安口窑剖面上,还有不粗不细、有粗有细的前陆陡坡边缘相沉积的存在,也就是说,真正的冲积扇还在安口以西或策底街以西的马峡地区,因此就不能再用水下扇的模式去看待泾川、镇原一带延长组的砂体性质(如含油的长6)。

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,物源来自一种内流体系,在导致沉降中心和沉积中心不一致同时,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全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 3 000m 的边缘相,在 107 川西的华亭 - 石沟驿 - 贺兰山中南段已发现,但以湖相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 1 400m 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地带,大体在定边至延安一线上,地层厚度进一步减薄至不超过 1 000m。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占主导,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,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。

(4) 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、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) 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,湖水或较深湖水范围仅限于盆地东部延安 - 直丹为半径的范围内,面积缩小到不足 $3 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。未对白垩系沉积相作深入研究,从非系统的资料来看,它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,变得极不重要。

(5) 在根据生油拗陷大小和生油岩系厚薄来评价中生代不同时期拗陷的贡献时,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,鄂尔多斯有 3 套含煤地层,分别是上古生界的石炭、二叠系,主要是 $C_3 - P_1$,中生代三叠系延长统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,不能不与煤系地层作的贡献即煤成烃联系起来。作为一风格,鄂尔多斯同时是我国最大的含煤盆地^[9]。

(6) 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地层中,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代、中生代三叠 - 侏罗系中最重要的储油岩系。在

长庆会战中,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的环(县)延(安)古河道^[7]。

(7) 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,而只需考虑温度事件。

德国哥廷根大学赵孟为根据镜质体反射率、伊利石 $K-Ar$ 法年龄和磷灰石裂变径迹资料,恢复了盆地西部天深 1 井(天池)和东部麒参 1 井的地层升降抬升史和地热史。根据上述两井以及庆 36 井的资料,作者发现了该盆地的两次热事件。一次热事件发生于 170 ~ 160Ma 的中侏罗世末期,当时的盆地古地温梯度达到了 5.7°C/km 。当时 (J_2 末),作为主要源岩的三叠系中、下部湖相沉积已进入“油窗”,而石炭系和奥陶系已进入“气窗”阶段,并紧接着发生了盆地当中最主要的油气初次和二次运移事件。然而根据天深 1 井(西)和麒深 1 井(东)的构造恢复,证明 J_2 以前盆地中、西部的西倾并不显著,陕北斜坡东部的下部地层甚至有极微的东倾。在此种格局下,导致成熟的天然气沿 $O_1 m$ 顶部的不整合输导层从东、西两个方向向以古中央隆起为背景的中央气田集中。据磷灰石裂变径迹资料,23Ma 以来,即中新世以来,鄂尔多斯又发生过一次因区域性隆升导致地层蒙受剥蚀的冷却事件。计算结果显示,天深 1 井(西部)剥蚀约 800 ~ 1 000m,而麒参 1 井(东部)剥蚀达到 2 000m,导致 $J - K$ 地层在该井剥蚀殆尽。换句话说,天深 1 井的抬升速度 (56 m/Ma) 小于东部麒参 1 井 (95 m/Ma)。这种差异升降,在导致陕北斜坡区域性西倾的同时,发生了盆地当中自中新世以来的第二次油气主要向东和北东的运移事件。联系到盆地北部乌兰格尔地区白垩纪地层中的“油苗”,联系到塔巴庙地区(包括 CNPC Sh-124 井)和紫金山地区下古和上古的含气产出,联系到渭北印支不整合面之下的“大油苗”,我们相信,鄂尔多斯不仅有个多元多期成藏问题,也有一个主要以乌兰格隆起为背景的晚期成藏问题。

(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(详略)。

通过以上八点的分析,可以对鄂尔多斯盆地与含油气性有关的主要风格作以下概括: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(主要是中新统以来)地堑系环绕,本身缺失第三系的,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)构成的中生代前陆盆地。除了早古生代大陆边缘上的源岩外(以 O_2 - O_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,但控制盆地内部广大地区,特别是前陆斜坡和前陆带上油气富集成藏的主导方式是地层加岩性。

二

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,但是确有因缘的关系的同时,笔者等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,同我们一起加以思考。

1. 已知的含油(气)领域(对照前一节盆地风格的阐述)

(1)与中央古隆起或“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-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凹陷有关的,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“西缘断褶带”上的马家滩、李庄子、摆眼井等油气田,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聚集(包括北部已出气的卜尔江海以北和塔巴庙地区)。

2. 新的含油气领域(仍与前节盆地风格对照)

(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 $J_{1-2}y$ 煤系地层作为源岩在 J_{1-2} 中上部,甚至包括 J_2c (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,包括深盆气型(deep basin gas trap)聚集。

(2)最近有机会看了盆地西缘穿过“断褶带”若干东西向地震剖面。这些剖面在清楚地勾绘出近南北走向的若干条西倾上陡下缓犁式(Listric)掩冲断层(thrust)同时,或这些断层向下变缓并收敛于 T_9 (上古底)面同时,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(autochthon)是一个平缓的“大背斜”。考虑到古生代的“原生油藏”,考虑到早古生代西缘有 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同时,作为一个找油的新领域,建议对鄂尔多斯西缘前陆活动翼下盘的早古生代含油气性予以注意。这方面,可以借鉴克拉玛依掩冲带下盘勘探成果的经验,也可以参考西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等的经验。

(3)对盆地南缘(三普构造图上,将盆地南缘称“渭北隆起”的提法是不妥的)的几排构造重新进行勘探,似乎应该表示同意。我的意思是说,如在试油早期就用上压裂工艺,象四朗庙背斜这样的圈闭是会出油的。然而,我主张用新的思路重新考虑盆地南部的新一轮部署。这些思路包括:

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是存在的,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,还要以上石节(阶)煤矿巷道内沿印支不整合面上的油气大量涌出现象为依据,在渭北褶带内侧或背斜带之间有 J_{1-2} 地层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,我主张渭北既有燕山早期(J_2 以后)的早期聚集,也有燕山晚期或喜山期(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})之上的侏罗纪煤系。在渭北找油,应该将上述两套煤系对“煤成油”和“煤成气”的贡献结合起来。

(4) 在原三普打的两口老井(泾参和镇参井)的基础上,华北局又在镇原和泾川两口新的评价井中,钻遇了延长组的油砂,并已在镇原评价井中试出了油流。在华北局开会期间,我主张将泾川和镇原的工区向西开拓,将目前登记的区块向西推进 20 ~ 25km,即工区扩展到陕甘交界的平凉附近,作这种考虑的原因是:

不要害怕延长组窄相带(水下扇和水上冲积扇)会在界线以内出现,真正的陡坡相带在平凉以西。

镇原、泾川一带由地震发现的单线隆起不都是“沉积背斜”,因为在其以东的沟系中,地面可以见到白垩纪地层中的小起伏。由泾川向西,伴随着进入前陆深凹陷(天环向斜),特别是到了大向斜西侧,一定会有低缓的背斜存在。这样,就可以考虑在泾川以西寻找包括三叠和侏罗两个目的层系在内的由背斜和岩性双重控制的靶区。

(5) 再论乌兰格尔蒙起的找气(油)前景问题

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(乌兰格尔蒙)为代表的 3 块古生代含气区块中,主张将乌兰格尔蒙起作为“眼观三”的对象,理由如下:

从地质上看,乌兰格尔蒙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蒙隆起范围内,古老变质岩的埋藏深度为 0 ~ 2 900m(见三普北部 T₉ 等深图)。在卜尔江海以北,基底南北(或东北 - 西南)落差 > 2 000m,远远超过了盆地南部 T₉ 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,乌兰格尔蒙隆起跨过当今的河套与乌拉山一起,是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的。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(按中日合作队资料及目前三普的解释),隆起本身的裸露地表时间达 700Ma 以上。

上部古生界,特别是石炭系,仅在区内个别低凹部位有不足 100m 的上统粗碎屑含煤建造,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})显著前陆拗陷盆地时,作为前陆隆起,这里只记录有它的边缘相。

在隆起顶上,C₃ - J 期间地层全部付缺,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 C₃ - J₁₋₂ 间的不整合面,可看作是加里东期的一个长期侵蚀面;一个是 K₁ 下面的超覆不整合面。这两个面在隆起顶部合并^[4]。从白垩系油苗分布限于隆起顶部,以及在缺失 C₃ - P₁ 地层地区(如伊深 1 井),石盒子组(P_{1-2x})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,乌兰格尔蒙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、二叠纪地层的分布。在卜尔江海以北(注意地震资料已有证据将该断裂识别为北倾的压扭性断层),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 ~ 51(T₉) km²,闭合幅度从 110 ~ 29(T₉) m 不等,并在两口探井中试出了工业气(油)流。据三普同志对该区 14 口探井资料的复查,含气层在 14 口井中多达 89 层。在上部古生界五个层位(C_{3t}、P_{1s}、P_{1-2x}、P_{2s})中,下石盒子河 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(P_{1s})和上石盒子组。

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,交通条件算是良好;有一定数量的地震和钻井资料基础;目的层一般都在 2 500m 以内;一个非常重要的情况是,当地也是全国最大的天然碱公司(伊化)有意与我们进行合作,并愿意承担部分地质风险。此外,此地北距包头不到 120km。随着国民经济的进一步发展,天然气市场应无问题。

总之,乌兰格尔蒙在本身无可靠油(缺)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、二叠纪煤系地层。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 2 000m 的“潜山”。

因此,再上乌兰格尔蒙,在进一步落实圈闭的基础上,首先着眼于已知的 7 ~ 8 个构造圈闭的勘探,拿

(下转第 306 页)

- 1279 - 1299.
- [5] Wyllie M R J, Gregory A R, Gardner L W. Elastic wave velocities in heterogeneous and porous media[J]. Geophysics, 1956, 21 (1): 41 - 70.
- [6] Kumar N. Thickness of removed sedimentary rocks, paleopore pressure, and paleotemperature, southwestern part of Western Canada basin: discussion [J]. AAPG Bulletin, 1979, 63: 812 - 814.
- [7] Schlumberger. Log interpretation principles/ applications [M]. Schlumberger Educational Services, 1989. 46.
- [8] 刘景彦, 林畅松. 东海西湖凹陷第三系主要不整合面的特征、剥蚀量的分布及其意义[J]. 现代地质, 1999, 13 (4): 432 - 439.

AN IMPROVED METHOD TO CALCULATE DENUDED AMOUNT BY SONIC WELL LOGS

L IU Jing-yan¹, L IN Chang-song¹, YU Yue-yu¹, WU Fa-dong¹, J IAN G Liang², CHEN Zhi-yong²

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2. Geological Research Institute, China Offshore Oil Donghai Corporation, Shanghai 200030, China)

Abstract : An improved method to calculate denuded amount by the exponential model of sonic propagation time vs. depth is suggested in this paper. The method considered the physical range of sonic propagation time in rock matrix and the sonic propagation time in Earth's surface, and can well reflect geologic reality and predict compaction trend in shallow and great depths so as to improve the estimation of denuded amount. The improved method is applied to the Triassic strata of the Xihu Depression, the East China Sea by the authors to fit compaction trend and to calculate the denuded amount of major unconformity planes. The estimated denuded thickness of T_1^0 interface at the end of the Miocene in well Donghai-1 is about 1 750m.

Key words : sonic propagation time; compaction trend; denuded amount calculation

(上接第 296 页)

下 $1\,000 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的探明储量。与此同时,对已有的地震资料(在补作少量高分辨率地震资料的情况下)结合钻井和测井资料,对整个区块作岩性和岩相的层序地层解释,找出可能形成地层圈闭的最有利地区 and 目标(变质岩基底之上有泥质岩类作直接盖层的地区)作为拿储量的第二个目标。

参考文献:

- [1] 朱夏. 我国中生界含油气盆地的大地构造特征及有关问题 [A]. 中国大地构造 [M], 北京: 科学出版社, 1965.
- [2] 地质部第三普查勘探大队. 陕甘宁盆地石油普查地质成果总结报告. 内部资料, 1975.
- [3] Watson M P. Plate tectonic history, basin development and petroleum source rock deposition [J]. Marine Petroleum Geology, 1987, (4).
- [4] 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).
- [5] Moore P S, Hobday D K, Mai H, SUN Z C. Comparison of selected non-marine petroleum-bearing basins in Australia and China [J]. APEA, 26: 1.
- [6] 孙肇才, 谢秋元. 叠合盆地的发生及其含油气性 [J]. 石油实验地质, 1980, (1).
- [7] 孙肇才, 谢秋元, 杨俊杰. 鄂尔多斯盆地——一个不稳定的克拉通内部盆地的典型 [A]. 中国中生代盆地 [M]. 北京: 石油工业出版社, 1990.
- [8] 孙肇才. 碰撞山链与前陆盆地演化——学习朱夏教授盆地研究思想的一点启示 [A]. 中国油气盆地分析——朱夏学术思想研讨文集 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1993.
- [9] 王双明, 吕道生, 张玉平. 鄂尔多斯盆地形成演化和聚煤规律 [A], 第 30 届国际地质大会论文集 [C]. 北京: 地质出版社, 第 18 卷, 第 2 部分.