

我国中西部前陆盆地油气地质特征及勘探战略

宋岩, 赵孟军, 李本亮, 方世虎

(中国石油勘探开发研究院, 北京 100083)

[摘要] 阐述了我国中西部前陆盆地石油地质认识现状和技术发展现状, 梳理了制约我国前陆盆地油气勘探的瓶颈问题, 确定了我国中西部前陆盆地分层次的油气勘探发展战略。

[关键词] 中国; 前陆盆地; 油气资源; 勘探战略

[中图分类号] TE1 [文献标识码] A [文章编号] 1009-1742(2010)05-0039-07

1 我国前陆盆地资源潜力及勘探历程

1.1 油气资源潜力

我国中西部前陆盆地油气资源丰富, 从库车、淮南缘、塔西南、柴西南、准西北缘、柴北缘、川西、酒西、吐哈等 13 个前陆盆地(冲断带)的油气资源量及探明储量统计来看, 潜在石油资源量为 89.17×10^8 t, 潜在天然气资源量为 $101\,464 \times 10^8$ m³。总体来看, 我国中西部前陆盆地油气资源丰度、储量丰度明显高于其他类型盆地(勘探领域), 天然气资源丰度普遍高于 0.3×10^8 m³/km², 库车更是高达近 0.9×10^8 m³/km², 储量丰度多数可达 8×10^8 m³/km² 以上, 明显高于股份公司的平均天然气储量丰度 (1.5×10^8 m³/km²); 石油储量丰度可达 $75 \times 10^4 \sim 200 \times 10^4$ t/km², 高于股份公司的平均储量丰度 (57×10^4 t/km²)。但是, 我国前陆盆地的油、气探明率明显偏低, 不同前陆盆地之间的油气探明率相差较大, 同时由于富油、富气特征不同, 石油和天然气的探明率也存在较大差异: 石油探明率最高的盆地为准噶尔西北缘, 石油探明率达 50.0%, 依次为吐哈(36%)、酒西(27.8%)、柴西南(25.6%)和库车(4.2%); 天然气的探明率从高到低依次为库车(14.1%)、川西(9.9%)、准噶尔南缘(2.2%)及塔西南

(2.1%)。近年来前陆盆地在 4 大领域(岩性、前陆、老区扩展、碳酸盐)中的增储比例逐年提高, 尤其以 1999 年以来天然气储量的快速增长最为显著。

1.2 勘探历程

中西部前陆盆地的油气勘探依据勘探思路、勘探技术等大致可分为早期勘探阶段、初步突破阶段、重大突破阶段和全面勘探阶段: a. 早期勘探阶段: 20 世纪 20 年代至 40 年代, 主要以地面地质调查为主, 发现了独山子油田、老君庙油田。b. 初步突破阶段: 20 世纪 50 年代至 70 年代, 对中西部山前逆冲构造带进行了全面的石油地质调查, 并在准噶尔西北缘、川西、塔西南及酒泉盆地等地取得了突破, 如准西北缘的克拉玛依油田、川西的中坝气田、库车的依奇克里克油田、塔西南的柯克亚凝析油气田等。c. 重大突破阶段: 20 世纪 80 年代至 90 年代。以高陡构造地震资料采集、处理、解释技术过关从而能提供准确的构造形态为特点, 同时摸索出一套适应复杂地形条件、复杂构造条件、复杂地层条件的钻井技术, 以及地震、测井、岩心等资料为基础的储集体预测技术。较为成功的是库车、川西、准噶尔西北缘与南缘、柴北缘和酒西等地区, 川西累计探明天然气储量 $1\,335 \times 10^8$ m³, 准西北缘累计探明石油储量 2×10^8 t 以上, 库车探明大宛齐油藏和克拉 2 特大型气田

[收稿日期] 2010-03-12

[基金项目] 国家重大专项(2008ZX05003); 中国石油天然气股份公司重点项目资助

[作者简介] 宋岩(1957-), 女, 山东淄博市人, 教授级高级工程师, 博士生导师, 主要研究方向为天然气地质和油气成藏;

E-mail: sya@petrochina.com.cn

($2\ 840 \times 10^8\ \text{m}^3$),柴北缘和酒西也分别在南八仙、窟窿山构造获得重要突破。d. 全面油气勘探阶段: 主要自2000年以来的10年时间,工作量的增加带动了前陆盆地油气勘探的突破以及储量的快速增长,由此带来前陆盆地油气勘探发现的新高峰,仅2000—2004年在塔里木、准噶尔、柴达木、四川盆地等前陆盆地累计新增石油三级地质储量 $21\ 037 \times 10^4\ \text{t}$,累计新增天然气三级地质储量 $5\ 969.8 \times 10^8\ \text{m}^3$,共计增加三级油气(含溶解气和凝析油)地质储量 $8.65 \times 10^8\ \text{t}$ 油当量。近年来,前陆盆地油气勘探投入有所减少,但前陆盆地的油气勘探成效依然显著,如库车的大北1、大北3、克深2、克深5气藏、塔西南的阿克莫木气田、准西北缘的乌35井区与风城1井区、淮南的玛河气田等,整体新增天然气三级储量 $5\ 000 \times 10^8\ \text{m}^3$ 以上、石油地质储量 $1.2 \times 10^8\ \text{t}$ 以上。

2 我国前陆盆地石油地质特征

前陆盆地是位于造山带和稳定克拉通之间的长条形沉积盆地,它是形成于聚敛挤压构造背景下的盆地类型,大量分布在中国中西部山前地区的沉积盆地,既具有前陆盆地的共性特征,也具有鲜明的特殊性。a. 时间上与其相邻造山带不同期;b. 空间上远离同期的碰撞缝合带;c. 发育在拼贴的复合大陆内部,板内变形;d. 陆相沉积为主。

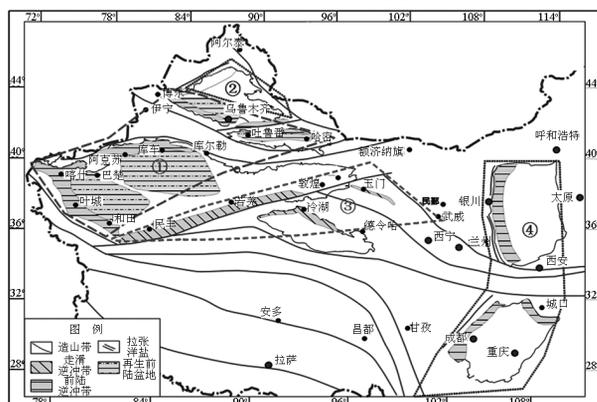
2.1 前陆盆地发育的大地构造背景

海西期以来我国中西部位于欧亚大陆板块南缘,受特提斯洋多期俯冲消减活动控制;海西期是中国大陆小型克拉通聚敛拼合的主要时期,晚石炭世至早二叠世古亚洲洋的消亡与中晚三叠世古特提斯洋东段的关闭,塔里木、华北、扬子、羌塘等小型克拉通的碰撞拼合,形成古海西—印支造山带的隆起,塔里木、川西、鄂尔多斯西缘等周缘前陆盆地(及冲断带)的形成,及塔里木南部弧后前陆盆地的形成;其动力学机制主要为大陆碰撞造山作用(A型俯冲)和大洋俯冲造山作用(B型俯冲)。喜山期是新特提斯洋俯冲消亡,印—藏碰撞与欧亚大陆内部变形时期;由于青藏高原隆升并向东北推挤,古天山、祁连山、昆仑山等造山带重新活动,塔里木、准噶尔等盆地快速沉降,形成环青藏高原外围的巨型盆山体系 and 前陆盆地群;在海西—印支期周缘、弧后前陆盆地基础上形成喜山期再生前陆盆地(及冲断带),发育陆相前陆盆地沉积体系与逆冲—走滑构造带;其

地球动力学机制为板内造山作用(陆内俯冲)。

2.2 前陆盆地类型

我国中西部前陆盆地主要有4种类型:叠加型、改造型、早衰型和新生型(见图1)。



①—叠加型;②—早衰型;③—新生型;④—改造型

图1 中西部四种组合类型前陆盆地分布

Fig. 1 Distribution of four types of foreland basin in the central and western China

叠加型前陆盆地:是指喜山期再生前陆盆地叠加在晚海西—印支期前陆盆地之上,两期前陆盆地都保存较好、结构完整;该类盆地主要发育在天山造山带的两侧和昆仑山造山带的北侧。

改造型前陆盆地:是指晚海西—印支期前陆盆地经历喜山期冲断变形的改造,早期前陆盆地的形态发生了一定的改变,喜山期前陆盆地不发育或发育很弱;该类前陆盆地主要发育在四川盆地西缘、东北缘和鄂尔多斯盆地西缘。

早衰型前陆盆地:是指晚海西—印支期前陆盆地形成之后,其后主要经历伸展型的断陷和区域性拗陷盆地,喜山期冲断变形影响很弱,早期前陆盆地结构特征较明显;该类型主要发育在准噶尔盆地的西部和东部。

新生型前陆盆地:是指前陆盆地主要形成于喜山期,晚海西—印支期的前陆盆地不发育或者从现有的资料还无法论证在印支期是否发育前陆盆地;这类盆地组合主要发育在祁连山造山带的两侧。

2.3 前陆盆地成藏条件

前陆拉张构造背景下沉积有效的烃源岩层系。国外前陆盆地的油气成藏条件都是基于早期被动大陆边缘发育复理石沉积为主的优质烃源岩层系,中西部前陆盆地晚古生代区域性的拉张构造形成裂谷、小洋盆地和被动陆缘沉积,三叠系和侏罗系煤系地层是中西部前陆盆地最重要的烃源岩。这套烃源岩厚度大,一般为 $200 \sim 1\ 000\ \text{m}$;有机质丰度高,有

机碳均值主要分布在 1.5% ~ 3.5% 区间内;有机质类型主要为 III 型、其次为 II 型;目前的热演化程度普遍较高,主要处于高成熟—过成熟阶段。

中西部前陆盆地发育下部“近源自生”和上部“远源它生”两大成藏体系(见图 2)。中西部两期前陆盆地的构造演化及前陆层序与非前陆层序的交叉叠置,形成了中西部前陆盆地的两大成藏组合。以中生界煤系地层为界,之下发育晚二叠—三叠系早期前陆期和侏罗系拗陷期两套主要烃源岩,形成了生储盖匹配较好的下部近源自生成藏体系;之上为拗陷湖盆萎缩期沉积和再生前陆磨拉石沉积,砂体发育、储盖配合好,但源岩缺乏,喜山期再生前陆冲断活动使下部烃源岩晚期生烃,并由于烃源断裂发育而与上部有利储层形成很好的匹配关系,构成了上部远源它生成藏组合。上部远源它生成藏组合比下部近源自生成藏组合更具高效性,如青西、迪那 2、霍尔果斯和依拉克等一批大中型油气田都分布在上部成藏组合中,占有 70% 以上的三级油气地质储量。

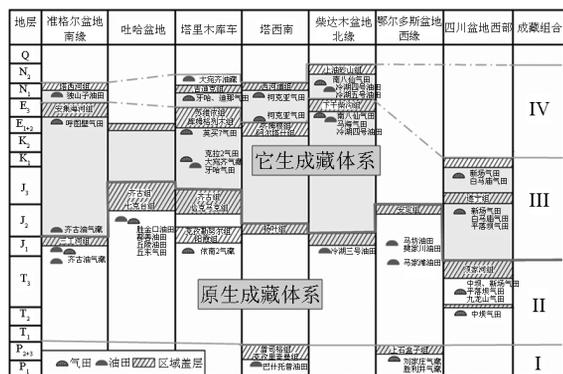


图 2 中西部主要前陆盆地生储盖组合及成藏体系划分
Fig. 2 Schematic map showing the source - reservoir - caprock plays and accumulation systems in foreland basins, central and western China

中西部地区其余的前陆冲断带普遍具有晚期成藏特征。中国中西部前陆盆地中上三叠统一侏罗统煤系烃源岩上覆巨厚的喜山期前陆盆地,快速堆积使烃源岩深埋增温,快速进入生排烃高峰或高温裂解气阶段。构造挤压下天然气沿地层或断层上倾方向运聚到构造圈闭,与紧邻的生烃凹陷构成有效的空间配置。库车、塔西南、淮南、吐哈、柴北缘等其余前陆盆地的煤系烃源岩生排烃高峰期都在喜山期才发生,生排烃晚,并与主要变形期匹配。

挤压逆冲构造形成的大型构造圈闭利于天然气成藏。介于盆地结合部位的前陆冲断带由于受强烈的新构造作用,构造变形大,山前发育大量成排成带的构造圈闭。目前在前陆冲断带中发现的气藏都是在大型的构造圈闭中,油气藏规模大,油气富集在喜山期强烈的挤压构造运动形成的挤压背斜及与大型逆冲断裂伴生的各种褶皱构造中,如断层传播褶皱、断层转折褶皱、滑脱褶皱、双重逆冲、突发构造等。煤系烃源岩中 III 型干酪根这一生气母质和烃源岩在中新世以来的热演化程度高决定了中国前陆冲断带富气的特征。中国前陆冲断带构造圈闭发育、油气勘探潜力巨大,是寻找高效大气田的主要场所。

2.4 油气聚集

我国中西部发育的叠加型、改造型、早衰型和新生型前陆盆地的地质特征决定了前陆盆地烃源岩、储盖组合等成藏条件的差异性,四类前陆盆地的油气成藏特征、油气聚集模式也存在差异(见图 3)。

叠加型前陆盆地:发育早期前陆期古生界烃源岩和拗陷期中生界湖沼相两套烃源岩;具有在上、下部储盖组合的多套储集体中经历多个油气充注期的“多聚”特征;大型油气田主要分布在冲断带上部储盖组合的断层相关褶皱圈闭中。该模式以库车、淮南缘前陆盆地最为典型。

改造型前陆盆地:发育前陆期烃源岩和下伏古生界被动大陆边缘海相烃源岩;具有燕山晚期下部储盖组合原生气藏形成、喜山晚期上部储盖组合次生气藏形成的“早期聚集、后期调整”的特征;拗陷带下部组合中原生气藏是大中型油气田的勘探方向。该模式以川西和鄂尔多斯西缘前陆盆地最为典型。

早衰型前陆盆地:发育前陆期古生界烃源岩;具有燕山期下部组合原生气藏“形成早、保存好”的特征;油气在下部组合中的早期冲断带构造圈闭及上覆地层岩性圈闭中富集。该模式以准噶尔西北缘前陆盆地最为典型。

新生型前陆盆地:发育中生界湖沼相烃源岩;油气分布于上部古近系和新近系储盖组合中;油气成藏表现为喜山期一次聚集成藏的特征。该模式以柴北缘冲断带和酒西前陆盆地最为典型,油气富集于冲断带下盘和凹中潜伏构造等构造活动相对稳定区中。

2.5 油气分布规律

我国中西部前陆盆地一般可以划分为冲断带、

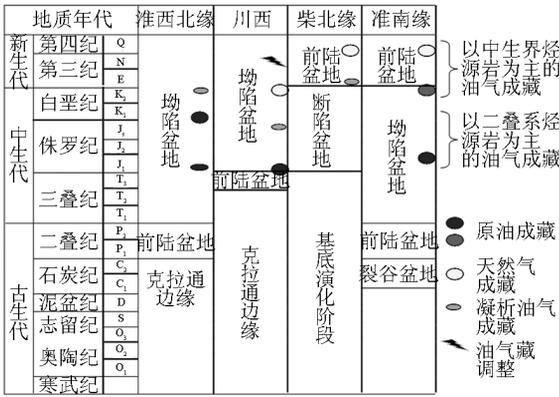


图3 中西部4种组合类型前陆盆地成藏期次示意图

Fig.3 Schematic map showing the accumulation periods in four types of foreland basins, central and western China

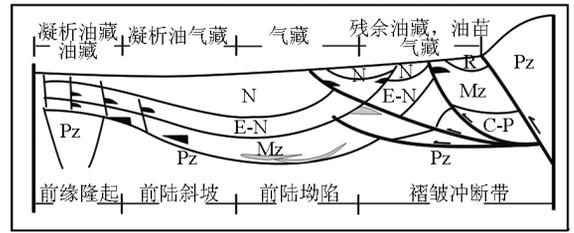


图4 中西部前陆盆地不同构造带油气分布示意图

Fig.4 Schematic map showing oil and gas distribution of different tectonic belts in the foreland basins, central and western China

坳陷带和斜坡-隆起带等构造单元。由于前陆盆地不同构造带在烃源岩发育程度、圈闭类型及形成时间、有利储层埋深、保存条件等方面存在的明显差异,从而控制了前陆盆地的油气分布(见图4)。

油气藏类型:前陆盆地褶皱冲断带以发育构造油气藏为特征,空间上成排成带分布;前渊坳陷和前陆斜坡以发育岩性、背斜岩性油气藏为特征;前缘隆起以发育地层、岩性和复合油气藏为特征。

油气相态:前陆冲断带发育油藏或残余油藏为主;前陆坳陷以高过成熟的天然气为主,前缘斜坡以发育凝析油气藏为特征,前缘隆起以发育油藏或凝析油藏为特征。

油气成因:冲断带和隆起带是多成因油气聚集区;坳陷带和斜坡带成因类型较单一。

成藏组合:冲断带发育多套成藏组合;坳陷带主要发育上部组合;斜坡带和前缘隆起带下部成藏组合发育。

成藏过程:冲断带和前缘隆起带具有多期成藏晚期调整特征;前陆坳陷和斜坡带具有晚期成藏特征。

3 我国前陆盆地油气关键勘探技术

前陆盆地是构造复杂地区,勘探难度大,一般勘探技术不能适应这一领域的要求,因此,新技术的应用和开发是加快前陆盆地油气勘探的重要手段。经过长期技术攻关和勘探实践,已经形成了比较成熟的勘探技术系列。

3.1 前陆冲断带复杂波场地震勘探技术

前陆盆地尤其是前陆冲断带复杂地表、复杂构

造地震采集技术经过近几年的持续攻关,初步形成了3项特色技术(卫片精细选线、选点技术;大组合接收;山地激发技术)和一项关键技术(宽线、高覆盖技术),并在库车山前、准噶尔南缘、川西北、柴西南、酒泉盆地、吐哈盆地等地区的应用中见到了明显效果,地震资料信噪比得到改善,资料品质、成像精度显著提高。

近几年,前陆盆地复杂波场地震处理技术重点发展了以静校正技术、叠前联合去噪技术、地质模式约束下的速度建模技术和基于起伏地表的偏移成像技术,初步形成了3项创新技术(地形匹配静校正、分时分频去噪、静校正与叠前成像一体化技术)和3项特色技术(叠前联合去噪、高陡构造综合建模、速度建模及变速成图技术),大大改善了前陆复杂构造区域的资料品质,提高了成像精度。地表匹配静校正、叠前去噪技术,改善了复杂构造成像精度,在酒泉盆地窟窿山、准噶尔南缘、柴西南缘等山地、冲断带下盘的构造成像应用中效果显著。静校正和基于真地表的叠前成像一体化技术在塔里木库车大北三维资料处理中得到了很好地应用,使大北构造的落实程度明显提高,为油气大发现提供了技术支撑。

3.2 前陆冲断带复杂构造解释及建模技术

构造地质建模技术主要以断层相关褶皱理论为基础,从野外地质调查、地震剖面分析到平衡剖面建立的技术系列,可以用这一技术进行地震解释,提高圈闭的落实程度。构造地质建模关键技术方法主要包括以下4个步骤:建立地表地质剖面;地震地质层位标定、速度建模与时深转换;构造几何学建模与运动学分析;模型检验与完善。精细构造解释与构造地质建模技术在库车、准噶尔南缘、准噶尔西北缘、川西等前陆盆地的应用均取得了较大的进展,特别是库车前陆冲断带盐构造分析及构造建模取得了重要进展,直接指导了勘探目标落实与评价。以准噶

尔南缘复杂构造解释及建模为例,首先根据地质图分析和选取构造横剖面、野外实测构造地质剖面,建立地表地质剖面;选择地震剖面进行2D/3D地震资料的地震地质层位标定,结合地质剖面建立,根据速度模型转化为深度剖面;通过地表地质向地震剖面投影、轴面分析断层与褶皱几何关系、根据生长地层,结合磁性年代学确定变形时期和构造模型方案等方法来进行构造几何学建模与运动学分析;最后进行模型的检验与完善。通过构造建模对霍尔果斯等构造面貌有了新的认识,指导了勘探。

3.3 前陆盆地钻井技术系列

前陆盆地地质情况非常复杂,大部分探井为深井-超深井,既有高压地层、高陡构造地层、复合盐岩层、也有可钻性差的地层、低压漏失层等,使前陆盆地的钻探具有一定的难度,不仅限制钻井速度,也容易发生故障,亟需解决深井-超深井的井斜、机械钻速低、油气层保护效果差、地层漏失、钻井周期长、钻井成本高等问题,近年来逐步发展、完善的全过程欠平衡钻井、气体钻井技术,在一定程度上解决了上述难题,引进消化的垂直钻井防斜打快技术也有效地控制了井斜,大幅度缩短了钻探周期。

针对四川前陆盆地低压、复杂岩性、水敏性储层在钻井过程中储层易受污染等问题,实施全过程欠平衡钻井,实现了前陆盆地欠平衡钻井配套的重大突破,形成了不压井起下钻全过程欠平衡钻井、氮气和天然气欠平衡钻井等配套技术,其推广应用在勘探中取得重大效益,如川西邛西3井实施全过程欠平衡钻井及时发现了3个含气层段,取得了川西邛西构造油气勘探的重大突破。

高研磨性地层也是前陆冲断带钻井的障碍,如酒泉盆地窟窿山、库车山前砾石层、四川须家河、松辽深层等,地层可钻性差,钻头选型困难,钻井速度低。针对这一问题,通过引进 Smith, Reed, Hughes 等公司的钻头进行试验,尝试空气钻井、旋冲钻井等方式,初步形成了包括空气、雾化、泡沫、充气等气体钻井配套技术,建立了一整套气体钻井适用理论和可行性评价方法。例如,在四川盆地七北101井采用泡沫、纯空气和纯氮气进行钻井提速试验,相对于邻井七里北1井同井段钻井周期节约196d,成功解决了钻遇地层出水、浅层气、漏失、垮塌、流体转换等技术难题。

针对库车前陆冲断带钻井过程中井斜难以控制、井身质量差、钻速低等问题,在引进国外公司垂

直钻井系统的基础上,通过探索下部钻具组合、配套钻头选型与使用、井斜测量方法及井身质量控制标准等,逐步形成了配套的前陆盆地高陡构造地层防斜打快新技术,已经在库车前陆冲断带近20余口井成功应用,实现了主动防斜,提高了钻速。例如,克拉4井在260~1505.87m井段应用垂直钻井系统,比邻井钻速提高近6倍,最大井斜仅0.85°;酒西盆地Q2-44井在志留系推覆体使用垂直钻井技术,平均钻速可达常规钻井的近4倍,与邻井Q2-37井相同井段平均钻速相比提高近3.80倍,防斜打快效果显著。

3.4 前陆盆地测井评价配套技术系列

前陆盆地的快速沉积堆积作用使得储集层孔渗性普遍较差,对低孔低渗储层的测井评价尤为重要,以川西前陆盆地的低孔低渗砂岩储层最为典型。针对前陆盆地储层复杂、常规评价技术难于应用的情况,创新性地应用微电阻率成像、元素俘获和高分辨率密度等测井新技术,提高了双孔介质有效储层和薄层的识别能力。应用阵列感应测井、岩芯核磁共振等测井新技术,克服了常规感应测井径向探测深度浅、难以求准饱和度的技术限制,提高了饱和度的计算精度。应用偶极横波结合岩性测井新技术,提取纵横波速度比和泊松比,从定性到定量识别复杂流体性质。采用MDT测井组合式地层测试器评价新技术,直接获取准确的地层压力和泥浆液柱的压力及PVT资料,快速准确判别油气层及产能预测。该技术在库车、川西等重点探区广泛应用,提高了测井解释成功率,为青西、迪那2、霍尔果斯、依拉克等大油气田地地质储量计算,提供了可靠的储层参数。

前陆盆地一般都是高温、高压地层,测井井下仪器的参数指标面临考验,同时,复杂地应力条件造成井壁垮塌严重,给正常井下施工带来极大困难。以库车前陆盆地为例,勘探目的层决定现有钻井大多是超深井,井眼直径较小,高温、高压环境要求大量高性能的小直径仪器入井。通过复杂井筒、复杂地质条件下测井采集施工工艺优化技术、仪器串结构优化等多种特殊技术,使前陆盆地复杂超深井测井采集技术得到突破,大大提高了测井采集的成功率。

4 我国前陆盆地油气勘探的瓶颈问题

我国中西部前陆盆地的攻关取得了很大的进展,但是,我国中西部前陆盆地具有多期叠加和“小板块、大冲断带”特征,造就了我国中西部前陆盆地

的复杂性,总体来说中西部前陆冲断带勘探和研究比较薄弱。因此,认清我国中西部前陆盆地存在的勘探技术、地质认识问题十分必要。

4.1 勘探问题

前陆盆地勘探一般都要经历一个曲折复杂的过程。以勘探最为成功的库车前陆盆地为例,1997年之前一直没有大的突破,1998年前后发现了克拉2,大北1和依南2等气田,3年后发现迪那1,2气田,之后的6年多一直没有大的发现,直到2008年发现克深2、克深5等大气田,由此可见前陆盆地(冲断带)勘探的复杂性。中西部前陆盆地油气勘探主要存在如下的问题:a.盆地地质特征的认识和油气勘探大发现的周期长。b.前陆冲断带“点”勘探突破不易、“带”勘探拓展更难。点的突破不易在很大程度上余油气藏构造形态确定难度大有关,如霍尔果斯是2005年在准噶尔南缘的一个大发现,但至今尚未准确落实霍尔果斯油气藏的模式与规模;“带”勘探拓展难则在很大程度上取决于对构造带分段、分阶的复杂性的认识上,如1998年克拉2发现后的十余年时间,大北—克拉苏构造带的整体富气的认识才初见端倪。

4.2 地质问题

中国前陆盆地发育于古造山带的拼合部位,具有陆相沉积体系为主、多期构造演化、新构造运动改造强烈的特点,不同于国外典型前陆盆地,不能照搬国外前陆盆地的模式;其次,受青藏高原隆升作用的影响程度的差异,形成与早期前陆盆地叠合程度不一的“叠加型、新生型、改造型和早生型”等4种前陆盆地组合类型以及不同的冲断带类型,从而带来了如下的地质认识难题:a.多期冲断带叠加造成冲断带的结构复杂、变形复杂,构造解析和圈闭识别难度大;b.山前沉积相多变造成的储层分布预测难度大,以及晚期前陆发育对冲断带储层控制作用的认识不深入;c.冲断带断裂体系复杂、成藏和聚集复杂,造成油气成藏主控因素和富集规律难以掌握。

4.3 技术问题

处于盆山结合部的前陆盆地,由于地表起伏剧烈、表层结构复杂,地下断裂发育、构造变形强烈、地层倾角陡的两大特点,带来了油气勘探的一系列技术难题。a.由于前陆冲断带地表条件复杂造成的施工难度大、激发接收条件差造成的原始资料信噪比低、表层结构复杂造成的静校正问题突出和地震波场复杂造成的叠加偏移成像难等4方面主要原因,

提高地震成像难度大;b.前陆冲断带挤压变形强烈,构造高陡复杂,速度横向变化大,造成前陆冲断带复杂构造圈闭识别难度大;c.由于山前高陡构造防斜打快问题、窄泥浆密度窗口井段安全钻进问题、严重漏失性地层堵漏问题和高研磨性地层提高钻速问题,造成前陆冲断带钻井速度慢、钻井周期长、成本高和钻井安全问题,严重制约了油气勘探进程。

5 我国前陆盆地油气勘探战略

5.1 油气勘探方向

我国发育前陆盆地从各前陆盆地资源量对比看,前5位分别为库车、塔西南、准西北缘、淮南、鄂尔多斯西缘;通过包括圈闭条件、保存条件、储层条件、烃源条件、配套条件等地质综合评价,前5位分别是库车、准西北缘、酒西、淮南、塔西南;从把握系数和资源吸引力综合评价看,库车和准西北缘为低风险高吸引力(即大资源潜力),分别是我国前陆盆地天然气和石油勘探的重点前陆盆地。中风险但具有一定吸引力,即地质条件较好,且具有一定资源潜力的有塔西南和淮南。地质条件较好,风险较低但资源量较小的前陆盆地是酒西。总体来看,塔西南和淮南是我国今后前陆盆地勘探的重点,其他前陆盆地(冲断带)风险和资源吸引力较低。

不同类型的前陆盆地其成藏地质条件和油气聚集方式有较大差异,这决定了其勘探方向的不同。以淮南、库车为例的叠加型前陆盆地,主要以冲断带中各构造带的断层相关褶皱或盐构造相关的(断)背斜圈闭油气藏勘探为主;以川西为例的改造型前陆盆地,坳陷-斜坡带以深层须家河组裂缝型储集体为主的构造—岩性油气藏,同时要探索冲断带被动陆缘层系的油气勘探;以准西北缘为例的早衰型前陆盆地,冲断带深层冲积扇体和火山岩储集体是主要勘探方向;以酒泉为例的新生型前陆盆地,勘探方向为冲断带下盘、冲断带前缘的背斜构造圈闭及构造—岩性圈闭,白垩系裂缝型储集体是主攻目标。

5.2 油气勘探战略

对已形成大油气区的前陆盆地做好精细勘探工作。这类前陆盆地为准西北缘前陆盆地,总体看,其油气探明率高(可达50%),油气资源量较大(剩余石油资源量可达 11.4×10^8 t),目前油气成藏特征和富集规律的认识较深。对这类前陆盆地主要是做好精细勘探,尤其是岩性油气藏的勘探工作。

对于资源丰富、油气地质条件认识相对较清楚、

已有大油气田发现的前陆盆地(冲断带),应加快勘探的步伐。这类前陆盆地有库车、川西、酒西和柴西南前陆盆地(冲断带),这4个盆地中酒西和柴西南前陆冲断带的勘探程度较高,石油探明率分别可达27.8%和25.6%,而川西和库车前陆盆地勘探程度较低,这两个前陆盆地主要以天然气为勘探对象,天然气探明率分别为9.9%和14.1%,应加快这两个前陆盆地的勘探、加大勘探投入,重点在地震成像技术的攻关、优选规模较大的有利圈闭加快钻探。

对于资源较丰富、勘探难度较大、地质认识尚不清楚、有望发现大型油气田的前陆盆地应作为战略突破区进行勘探和研究,这类前陆盆地包括淮南缘

和塔西南。目前这两个前陆盆地的油气探明率都低于5%,且资源量较大,地质条件有利,虽有一些油气发现,但未形成整体突破。对这类前陆盆地应加大地震部署,做好勘探前期准备工作,争取大突破。

加强油气资源潜力和地质条件尚不清楚前陆盆地勘探的前期准备工作,这类前陆盆地包括鄂尔多斯西缘和米仓山—大巴山前陆冲断带等。目前这两个前陆盆地研究和勘探程度还很低,有一些小的油气田发现,但对盆地演化、石油地质条件研究较薄弱。对这类前陆盆地应做好加强前期地质综合研究和地震准备工作。

Oil and gas geological characteristics and exploration strategy in foreland basins, central and western China

Song Yan, Zhao Mengjun, Li Benliang, Fang Shihu

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, PetroChina, Beijing 100083, China)

[**Abstract**] For the present situation of petroleum geology, technical development, and the relative bottleneck problems of oil and gas exploration in foreland basins, it is proposed that the strategy of oil and gas exploration and development in foreland basins should be implemented according to different exploration levels in the foreland basins, central and western China.

[**Key words**] China; foreland basins; oil and gas resources; exploration strategy