

鄂尔多斯盆地中央古隆起与天然气聚集

汤显明 惠斌耀

(长庆石油勘探局勘探开发研究院, 甘肃庆阳 745101)

鄂尔多斯盆地中央古隆起可以划分为中部凸起剥蚀区、西翼陡坡区、东翼缓坡区、北翼平缓北倾区、南翼陡缓变化区。经历了前加里东期、加里东期、海西期、燕山期等几个发育阶段。古隆起的构造发育与烃源岩热演化配置良好。其东翼靖边-志丹-富县区为I类远景区;北翼定边-天池区次之;西翼陡坡区较差。主要储集层是奥陶系顶部风化淋滤带。

关键词 鄂尔多斯盆地 中央古隆起 构造发展史 天然气远景评价 奥陶系

第一作者简介 汤显明 男 48岁 工程师 石油物探

国内外油气勘探已证实:油气聚集多与古隆起密切相关。古隆起上的不整合侵蚀面,往往是油气富集的场所。目前中国大陆最大的气田——鄂尔多斯盆地中部气田即与中央古隆起的形成与发育有渊源关系。

深入分析研究鄂尔多斯盆地中央古隆起,对加速该区勘探进程和寻找天然气富集带具有重大的意义。本文仅从构造发展史及其与天然气富集的关系方面予以探讨。

一、中央古隆起的形态特征

根据构造发育史、沉积特征及奥陶系顶面构造形态,可将鄂尔多斯盆地古生代构造区划分为七大构造单元:即西缘掩冲带、天环坳陷、中央古隆起、伊陕斜坡、晋西挠褶带、渭北隆起与伊盟隆起(图1)。

中央古隆起展布于靖边-志丹-黄陵-庆阳-吴旗-定边区域,跨越陕西、甘肃两省。它的剖面形态是西陡东缓、南陡北缓。整个隆起面积约为 $6 \times 10^4 \text{ km}^2$,幅度为500 m左右。从地震 T_9 — T_{12} (大致相当于下古生界)反射层厚度看,中央古隆起的平面形态似兔头形,其周缘极不对称(图1)。鄂尔多斯盆地南部地震 T_9 反射层(奥陶系顶面附近)构造图经趋势面分析,也显示出类似的隆起形态。据现有的地震剖面及构造发育史图,初步将中央隆起划分为以下次级构造单元(图2)。

1. 西翼陡坡区

位于大水坑-合道以东,定边-曲子以西。合道附近下古生界厚度为1400 m左右,曲子以东逐渐变为300 m左右。寒武系底面平均坡降为45 m/km,奥陶系顶面平均坡降为15 m/km。

2. 中部凸起剥蚀区

定边-曲子一线以东,靖边-太白一线以西区域,下古生界较薄。庆深1井寒武系与奥陶系

共厚 279 m, 奥陶系只有马家沟组第 1—第 4 段。缺失冶里-亮甲山组和马家沟组五、六段, 说明寒武纪末期、早奥陶世早期和晚期, 该区抬升遭受不同程度的剥蚀, 剥蚀强烈的区域有两个, 即庆阳-环县-吴旗围绕的区域及黄陵-富县区域。

3. 东翼缓坡区

位于太白-安边一线以东, 下古生界平均坡降为 6 m/km, 该区下古生界厚 500—800 m, 东北端靖边以东明显增厚至 1000 m 以上。

4. 北翼平缓北倾区

据靖边-杭锦旗南北向地震剖面分析, 下古生界非常平缓地倾入乌审旗浅凹, 平均坡降为 4 m/km 左右。

5. 南翼陡缓变化区

由耀县-包头地震剖面可以看出, 中央古隆起南翼陡缓变化剧烈, 在接近渭北隆起的区域, 下古生界平均坡降为 30 m/km, 往北变为 10 m/km 左右。

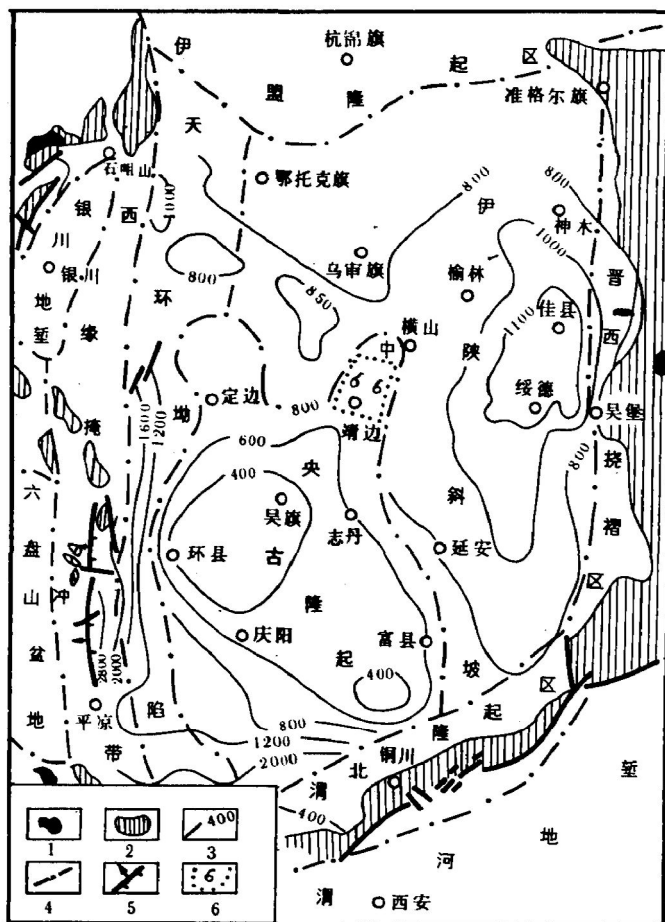


图 1 鄂尔多斯盆地古生代构造区域图

1—岩浆岩露头, 2—古生界露头, 3— T_1 — T_{12} (下古生界) 厚度 (m),

4—一级构造单元界线, 5—断层, 6—中部气田

二、中央古隆起构造发育史

鄂尔多斯地块处在华北地台的

西缘, 是一个具有多个侵蚀区、古生界具有双层结构的克拉通地块。所谓双层结构, 是指上古生界海陆交互相碎屑岩及下古生界海相碳酸盐岩。地块中央古隆起发展经历了以下几个构造阶段。

1. 前加里东构造阶段

中晚元古代鄂尔多斯地块自西而东存在有贺兰坳拉谷、晋陕坳拉谷及豫陕坳拉谷等多臂裂谷。以贺兰坳拉谷最为典型; 在石咀山-平凉一线沉积了厚度大于 2000 m 的长城系和蓟县系。多臂裂谷的形成与发展奠定了鄂尔多斯地区南北向构造的基础, 也构成了吴旗-庆阳南北向中央古隆起的雏形。隆起区沉积长城系厚约 200 m (庆深 1 井为 116 m), 而周围地区厚 400—600 m, 这说明中晚元古代中央古隆起已具雏形。

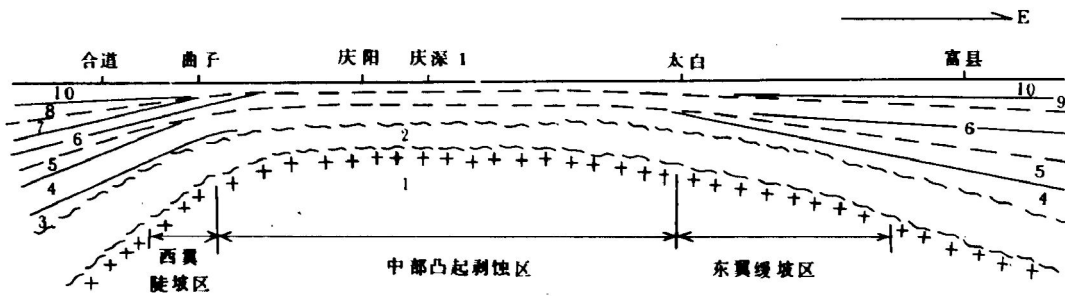


图2 合道-富县剖面示意图

1—下元古界, 2—中、上元古界, 3—下寒武统, 4—中寒武统, 5—上寒武统, 6—下奥陶统马家沟组, 7—中奥陶统平凉组, 8—中石炭统羊虎沟组, 9—中石炭统本溪组, 10—上石炭统太原组

2. 加里东构造阶段

加里东构造阶段鄂尔多斯地块西、南缘濒临贺兰、秦祁海槽, 属被动大陆边缘, 沉积厚逾 4000 m 的下古生界, 在盆地西南缘形成“L”形碳酸盐岩巨厚带。早寒武世, 除西、南缘外, 鄂尔多斯地块为古陆; 中寒武世古陆逐渐缩小乃至广海所覆; 晚寒武世时, 庆阳、华池、吴旗区域与伊盟杭锦旗地区成为遥相对应的古陆, 中央古隆起区成为蚀源区。早奥陶世马家沟期, 海侵范围扩大, 庆阳-吴旗地区成为水下隆起, 沉积了 3000 m 左右的马家沟组; 继而发展为凸起剥蚀区, 现仅有马四段, 其上覆马五、六段均剥蚀殆尽。

马家沟期沉积的马一、三、五段以含石膏的蒸发沉积为特征, 马二、四、六段以陆表海灰岩沉积为特征。其中马五段为良好储层, 是目前勘探证实的含气层段。奥陶纪末的加里东运动使鄂尔多斯地块整体抬升, 缺失了较多地层。从奥陶系残余厚度(图3)看, 庆阳-环县-吴旗及黄陵-富县地区奥陶系厚度为 100 m 左右, 向周围地区增大至 500 m 以上。说明前者为强烈剥蚀的两个凸起区。隆起轴线呈“U”形展布, 东高西低及西南缘呈深凹陷为加里东期末的基本构造格局。

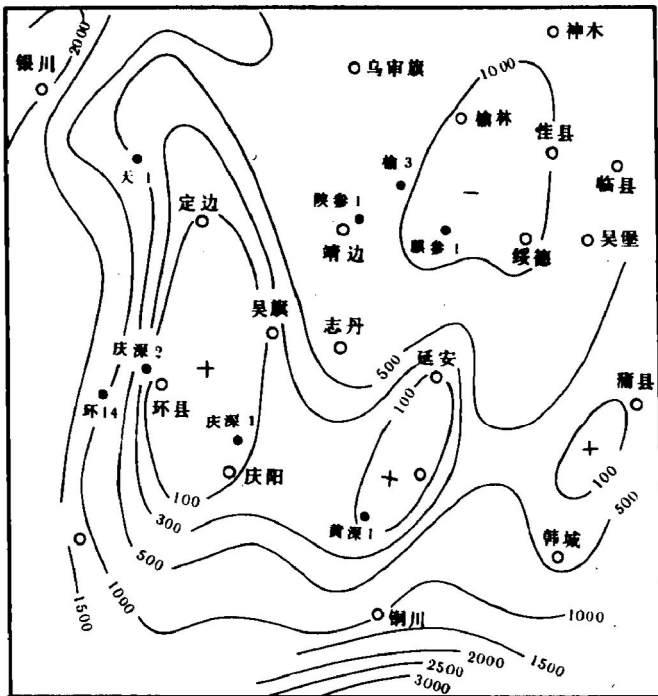


图3 奥陶系残余厚度等值线图

(据陈安宁, 改编)

3. 海西构造阶段

加里东期秦岭海槽向北俯冲, 中亚-蒙古海槽向南俯冲^[1]。在南北向对挤作用下, 鄂尔多斯地块连同

华北克拉通拱曲抬升,因而缺失了上奥陶统至下石炭统。此时中央古隆起与南部的渭北隆起及北部的伊盟隆起形成联为一体的古陆,并分隔了祁连海与华北海。古陆上无中石炭统沉积。这期间西部的贺兰坳拉谷再度拉开沉积了较厚的中石炭统羊虎沟组;古隆起东侧沉积了华北海型中石炭统本溪组铁铝质泥岩。晚石炭世海侵范围扩大,华北海与祁连海汇为一体,形成了广泛的滨海沉积。原中央古隆起成为水下隆起,沉积了40—50 m的太原组煤系。早二叠世,承袭了石炭纪的构造格局,仍为水下隆起,下二叠统比周围地区薄30—60 m。海西期末,秦岭海槽再度向北俯冲消减,中亚-蒙古海槽则因大陆碰撞而消亡^[1]。这样对鄂尔多斯地块又产生了第二次南北对挤,使之在铜川、乌审旗产生了两个浅凹,以南、北沉降代替了东、西沉降。中央古隆起亦由浅埋进入晚二叠世末的深埋。在乌审旗、延安-富县地区形成了两个石炭-二叠纪煤系及暗色泥岩生气中心,其生气强度高达 25×10^8 — 40×10^8 m³/km²。

4. 燕山构造阶段

中生代逐渐形成了独立的鄂尔多斯盆地。晚三叠世延长期,在定边-靖边-吴堡地区,出现了东西向隆起带;富县-铜川为凹陷。三叠纪末,由于印支运动的影响,地史期东高西低的区域构造面貌转变为西高东低,富县-铜川凹陷向北扩展到吴堡-志丹附近,区域隆凹面貌不明显。

燕山运动在盆地西缘产生了大规模的掩冲推覆,形成了西缘掩冲带,从而结束了原坳拉谷地带长期沉降的历史。燕山期山西地块的隆升使鄂尔多斯同华北盆地彻底分离,形成了独立的鄂尔多斯盆地。早白垩世末最后一次燕山运动使鄂尔多斯盆地发生了不平衡升降,盆地东部抬升幅度较大,因而形成了伊陕斜坡。从地震T₀构造图看,中央古隆起最终改造为伊陕斜坡上的鼻状隆起构造带。

加里东运动使中央古隆起整体抬升,奥陶系顶部遭受长期风化淋滤形成了良好的储集体,海西期的深埋为油气的生成和保存奠定了基础,燕山期的改造为油气的区域运移和聚集创造了条件,因而古隆起区成油气条件十分优越。

三、中央古隆起利于天然气富集

1. 紧邻古生界生烃凹陷

鄂尔多斯地区奥陶纪有两个生气中心** (图4)。一个在盆地西南缘,展布于石咀山-环县-镇原以西和镇原-铜川以南、银川-固原以东和陇县-永寿以北地区成L形;以生气强度大于 15×10^8 m³/km²圈定范围计算,面积约为 3×10^4 km²,烃源岩厚300—900 m。另一个展布于志丹-佳县-榆林-横山-靖边所环绕的地区,即所谓陕北盐洼;面积约为 1.4×10^4 km²,烃源岩厚300—500 m。

鄂尔多斯地区晚古生代有5个生烃凹陷,向中央隆起有效供气的主要有乌审旗及富县-志丹两凹陷(图4)。以生气强度大于 30×10^8 m³/km²等值线所圈范围估计,乌审旗及富县-志丹生气凹陷的面积大约为 1×10^4 km²和 3×10^4 km²。

陈安定以陕参1井奥陶系顶部风化壳气藏为例建立联立方程组计算,结果是下古生界油型气占50%—60%,上古生界煤成气占40%—50%。他认为,鄂尔多斯盆地中部气田奥陶系

*, ** 杨俊杰, 裴锡古等. 鄂尔多斯地区天然气富集条件. 1990.

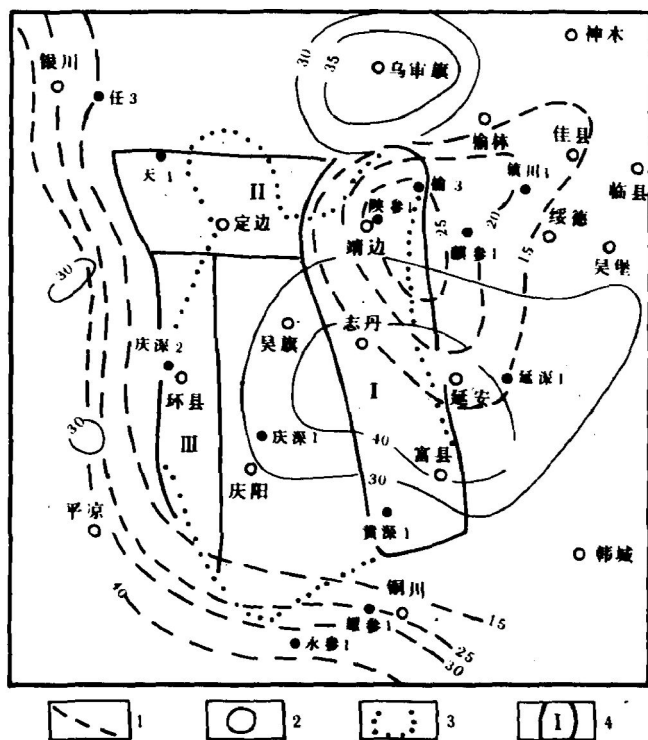


图4 中央古隆起区评价图

1—下古生界生气强度等值线 ($10^4 \text{ m}^3/\text{km}^2$, 下同), 2—上古生界生气强度等值线, 3—中央古隆起范围, 4—评价区块级别

3. 天然气运移的指向区

中央古隆起自元古代开始形成以来,地史中一直处于周围沉降生烃,向本隆起运移聚集,以中石炭统非渗透岩类为遮挡的成藏条件下。奥陶系顶部侵蚀面是天然气运移的重要通道。通过林家湾构造聚气条件分析(图5),表明三叠纪以前林家湾构造就有较大的幅度,后经燕山运动改造幅度增大,烃源岩在早白垩纪进入湿气—干气热演化阶段,即构造形成在前,烃源岩成熟在后。总之,中央古隆起奥陶系顶部风化壳,既可以聚集西、南面奥陶系生气凹陷的天然气,也可以聚集来自北面和东北面的乌审旗和延安—富县这两个石炭二叠系生气中心的天然气,特别是中央古隆起上的鼻状构造带,更是天然气运移的指向带。中部气田的高产井,多集中于横山—城川鼻隆带上。

4. 多种圈闭

元古代末、寒武纪末及奥陶纪末,中央古隆起都曾长期出露,遭受剥蚀风化和大气淡水淋滤,纵向上产生了几个侵蚀面,为烃类运聚提供了有利场所,可形成风化壳古地貌气藏、侵蚀谷岩性遮挡气藏、古残丘披盖气藏、区域岩性遮挡气藏及地层圈闭气藏^[2]。在中央古隆起的西、南侧台地边缘坡度陡变带还可能出现粒屑滩、生物礁等圈闭。

风化壳的气源是以奥陶系为主兼有石炭系的二元混合成因类型^{*}。中央古隆起周围的烃源岩已达高成熟湿气阶段或过熟干气阶段^{**}。

2. 储层良好

钻探表明,奥陶系顶部风化壳,发育了一套风化淋滤带和潜流溶蚀带储集层,这套储层具有多孔隙幕的溶蚀孔隙体系,储集性能良好。如陕参1井在石炭系以下钻遇厚56 m的大气淡水淋滤带,其中针孔、溶孔白云岩厚18.6 m。用全直径岩芯分析结果,孔隙度为4.83%—7.12%,垂直渗透率为 0.45×10^{-3} — $1.35 \times 10^{-3} \mu\text{m}^2$,水平渗透率为 7.56×10^{-4} — $3.11 \times 10^{-2} \mu\text{m}^2$,酸化后获得天然气 $28.34 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$ 。储层中的孔隙既有沉积过程中产生的原生孔隙,即粒间孔及晶间微孔,还有大量在成岩过程中产生的次生孔隙即晶间孔、晶间溶孔、溶洞等储集空间。

* 陈安定. 陕甘宁盆地中部气田奥陶系风化壳天然气来源及运聚机理探讨. 1992.

** 杨俊杰, 裴锡古等. 鄂尔多斯地区天然气富集条件. 1990.

四、远景评价

1. 中央古隆起东翼缓坡靖边-志丹-富县地区为最有利探区 (I)

该区北起无定河近东西一线,南到黄陵-黄龙,西起宁条梁-直罗,东到延安-横山一线,面积约 $1.7 \times 10^4 \text{ km}^2$ (图4)。该区北部的靖边-横山地区已找到了中部气田,目前已完成60余口探井,在 1200 km^2 解剖区储量基本探明, 2000 km^2 评价区井井见气^[3],成为我国陆上最大的气田,展现了大气田在握,大气区在望的可喜前景。如何扩大勘探成果,找到大气区呢?笔者认为最有利区应是该气田向南延伸的中央古隆起东翼缓坡区,即志丹-富县区域。原因如下:

(1) 处于供气中心:从图4可见,该区处于佳县-靖边奥陶系生气中心、延安-富县石炭、二叠系生气中心及乌审旗石炭、二叠系生气中心之间,南距彬县-铜川奥陶系生气中心较近。这些生气中心烃源岩厚度大,热演化至高成熟湿气—过成熟干气阶段,生气强度高,可向该区奥陶系风化壳提供丰富的气源。

(2) 具有良好的储盖组合:纵向上发育有三套储盖组合。一是碳酸盐岩、碎屑岩储盖组合,即元古界顶部石英砂岩、藻白云岩为储层,寒武系底部泥质岩为盖层;二是奥陶系碳酸盐岩内部储盖组合,即马一、马二段为生、储层,马三、马五段石膏白云岩、岩盐为盖层;三是以奥陶系顶部风化壳为储层,以中石炭统铝土岩、泥岩为盖层的组合,是当前最具现实意义的储盖组合,中部气田的天然气藏就形成于此。储层主要是奥陶系马家沟组马五段,气层段分布在马五段一亚段—马五段四亚段。目前共发现10个气层,其中马五段一亚段、马五段四亚段各有一个主力气层。气层主要为岩溶孔隙型白云岩。据成都地质学院张锦泉教授等研究,该区属靖边-志丹-宜川古岩溶斜坡^{*},易形成淋滤溶蚀带与潜流溶蚀带,具有丰富的溶隙、溶孔、溶洞及洞穴,成为天然气聚集的场所。而中央古隆起的顶部,据庆深1井资料,奥陶系顶部马家沟组马四段以上地层被剥蚀掉,只剩下马一段—马四段的76 m地层,形成气层段“秃顶”现象,故古隆起的顶部剥蚀区并非天然气勘探的有利地区。

东斜坡有中石炭统本溪组铝土岩直接盖层,还有上石炭统的碳质泥岩及二叠系的泥质岩作为区域盖层。铝土岩一般厚3—15 m,渗透率一般为 1.45×10^{-8} — $3.1 \times 10^{-10} \mu\text{m}^2$;在含煤

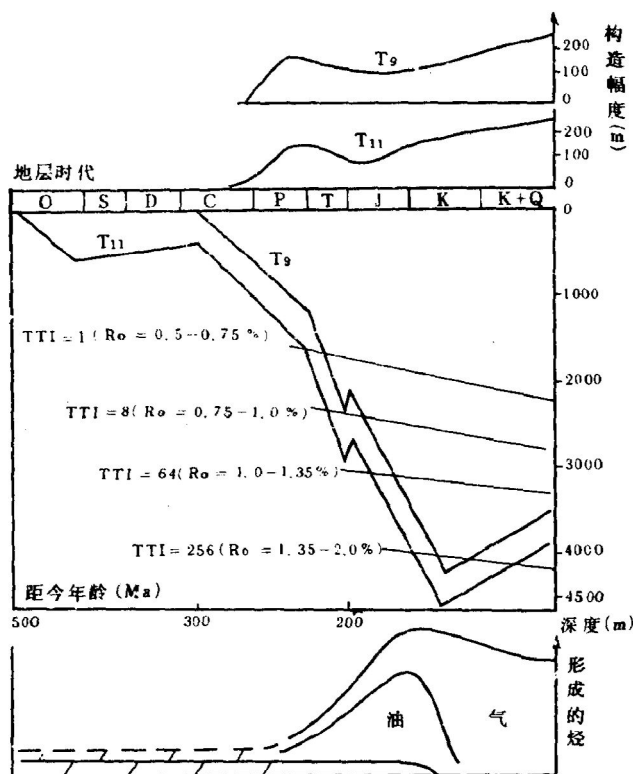


图5 林家湾构造聚气条件分析图

* 张锦泉等. 秦晋地区古生界沉积及生储盖条件研究. 1990.

油的情况下,当渗透率为 $6.5 \times 10^{-9} \mu\text{m}^2$ 时,240分钟13.6MPa才能突破^[4]。可见它是理想的盖层。而中央古隆起顶部凸起剥蚀区无中石炭统沉积,盖层条件不如东部斜坡。

(3)具有多种圈闭:该区北部已发现的中部气田为古地貌披盖气藏^[2]。奥陶纪末的加里东运动,使鄂尔多斯地块整体抬升,经一亿余年的风化、剥蚀、淋滤,形成了孔洞缝十分发育的风化壳及沟壑纵横,残丘、潜台并立的古地貌景观。这些台沟被石炭系泥质岩充填封堵,形成古地貌气藏(图6)。东斜坡其它地段与中部气田有相似的地质条件,容易形成与其相似的圈闭。

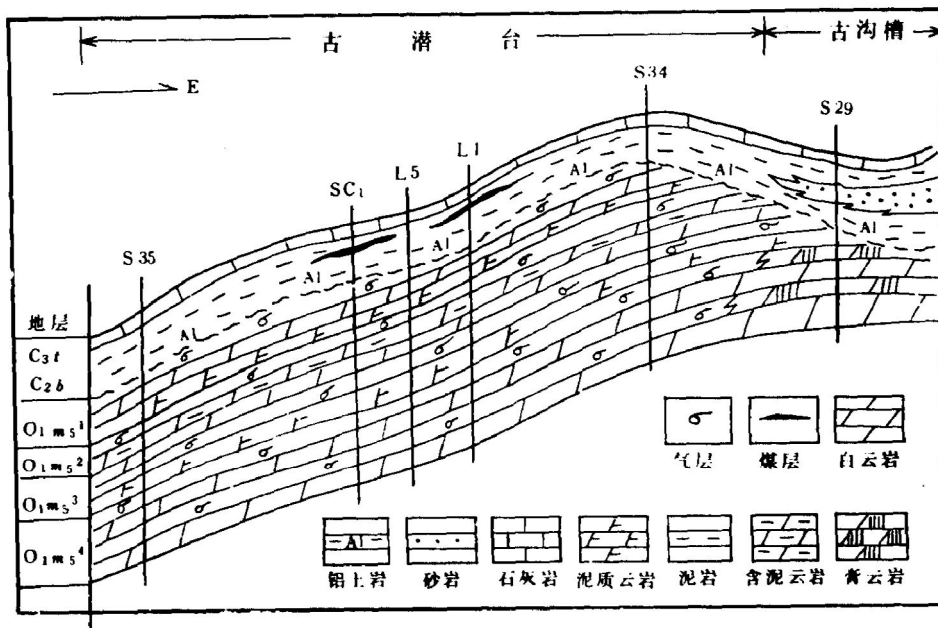


图6 中部气田古地貌气藏剖面示意图

该区虽构造平缓,但小幅度的构造还是存在的。模拟磁带地震资料已解释出五排平缓鼻隆带。高分辨率地震勘探估计还会找到一些小幅度的构造圈闭。

总之,志丹-富县地区应是天然气富集区。目前在中部气田以南的探井已见到好的苗头,应是扩大勘探成果的首选区。

2. 中央古隆起西北端定边-天池地区为有利探区 (I)

该区为中部气田向西延伸的区域,已在天池构造上的天1井获得了工业气流。定边-天池地区长期接受东部榆林-靖边及西部石咀山-韦州两个奥陶系供气中心的天然气,构造形成与源岩热演化配置较好,只是目的层偏深,中奥陶统一般大于4000m,下奥陶统一般为4200—4500m。故列为有利天然气勘探区。

3. 中央古隆起西翼陡坡区是后备天然气勘探区 (II)

该区西邻环县-平凉奥陶系生气中心。中奥陶统、中石炭统在中央古隆起的西斜坡超覆尖灭,可以形成地层岩性圈闭气藏。又因西邻盆地西缘冲带南段,受断裂带逆冲推覆的影响,可能形成一些构造圈闭;但构造形成期(燕山晚期)晚于烃源岩热演化峰值期;目的层偏深,中奥陶统一般4200—4400m,下奥陶统一般都大于4400m。故远景较差。

本文经本研究院科委张葆荣同志审阅,并提出了宝贵意见,在此致谢!

参 考 文 献

- 1 赵重远. 华北克拉通沉积盆地形成与演化及油气赋存. 西安: 西北大学出版社, 1990. 1—98.
- 2 汤显明. 鄂尔多斯盆地天然气圈闭类型初探. 天然气工业. 1992 (4): 15—17.
- 3 杨俊杰. 中国新兴天然气区的曙光——陕甘宁盆地中部气田. 石油知识. 1992, (1): 2.
- 4 杨俊杰. 陕甘宁盆地地下古生界天然气的发现. 天然气工业. 1991, (2): 6.

THE CENTRAL UPLIFT OF ORDOS BASIN AND ITS GAS ACCUMULATION

Tang Xianming Hui Binyao

(Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Changqing Petroleum Exploration Bureau)

Abstract

The central uplift of Ordos Basin is located in Wuqi-Qingyang-Fuxian region and could be divided into steep slope area in the west flank, eroded area in central uplift, gentle slope area in the east flank, gentle slope in the north flank and steep-gentle changing area in the south flank. The uplift underwent Pre-Caledonian, Caledonian, Hercynian, Yenshan and etc. evolution periods. The uplift is close to two gas generation centers of Ordovician, Permo-Carboniferous Systems, which provide rich gas-sources for the east flank slope area, thus the uplift is favourable in seeking for weathered-crust and other subtle traps. The bauxite of Middle Carboniferous Benxi Formation can be direct seal, and Permian argillaceous rocks may act as regional seals. Hence Jingbian-Zhidan-Fuxian area in the east flank of the uplift is most favorable for gas exploration, then Dingbian-Tianchi, the west steep slope is the reserve area.