

中亚地区与中国西部盆地类比及其油气勘探潜力

雷振宇¹⁾ 杜社宽²⁾ 张朝军¹⁾ P61 A

(1)中国石油勘探研究院,北京,100083;2)中国科学院长沙大地构造研究所,湖南长沙,410013)

摘要 中国西部盆地和中亚某些含油气盆地在地质背景和石油地质条件等方面有一定的相似性,从盆地结构上看,中亚地区的盆地与中国西部盆地大多为具有不同构造属性的构造阶段,相互叠置的叠合盆地;从烃源岩发育特征来看,中下侏罗统的含煤岩系使中国西部与中亚地区烃源层有较好的可比性。勘探实践证明,无论在中亚还是在中国西部该含煤岩系是最重要的烃源层之一,但中国西部绝大多数盆地广泛发育古生界烃源岩,这无疑大大增强了中国西部盆地的生烃潜力。从储集岩特征来看,中亚地区含油气盆地以发育中—新生界储层为主,而中国西部大部分盆地不仅广泛分布中—新生界储层,具有发育古生界储集层的优势;从资源类型来看,中亚地区以天然气占有绝对优势,而中国西部除天然气外,石油资源也有良好的勘探前景。总的来看,中国西部的油气勘探潜力要优于中亚地区的大多数盆地。

关键词 中亚 中国西部 叠合盆地 盆地结构 勘探前景

A Comparison of the Basins in Western China with Those in Central Asia and the Oil-Gas Exploration Potential of Western China

LEI Zhenyu¹⁾ DU Shekuan²⁾ ZHANG Chaojun¹⁾

(1)Research Institute of Petroleum Exploration and Development, Beijing, 100083; 2)Institute of Geotectonic CAS, Changsha, Hunan, 410013)

Abstract There exist some similarities between the basins in western China and those in Central Asia in geological structures and oil-gas conditions, but their differences remain obvious. In basin structure, both are composite basins, with different structures formed in different evolutionary stages. In source rock, there exists Jurassic source rock in all of the basins, but Palaeozoic source rock is only present in basins of western China. In reservoir, there is mainly Mesozoic-Cenozoic reservoirs in basins of Central Asia, but basins of western China have not only Mesozoic-Cenozoic reservoirs but also Palaeozoic reservoirs. In type of resource, the Central Asia basins possess mainly natural gas, whereas the western China basins have both oil and gas. It is therefore concluded that the basins in western China have better oil-gas conditions and petroleum prospects as well as greater exploration value than those in Central Asia.

Key words western China Central Asia composite basins basin structure exploration value

中亚地区位于欧亚大陆的中南部,南邻阿尔卑斯-地中海褶皱带,北-北东方向为哈萨克斯坦板块,西北部是乌拉尔褶皱带,西边与东欧板块相连,东南侧由海西褶皱带相隔与中国塔里木板块相连。该区广泛分布含油气盆地,如卡拉库姆、塔吉克、费尔干纳、楚河-萨雷苏和伊犁等盆地,并已获得可观的油气储量,其中以卡拉库姆盆地最佳,目前已发现油气田141个(80%为气或凝析气田),1988年以前已发现大气田(探明储量 $1\ 000 \times 10^{12} \text{ m}^3$)14个。由于这

些盆地在地质背景和石油地质条件等方面,特别是中-新生代油气成藏条件与中国西部含油气盆地有一定的相似性,因此与其类比有利于正确认识中国西部盆地的油气聚集规律和油气远景评价。

1 地质背景

1.1 盆地基底

中亚及中国西部盆地基底结构和形成时期颇为复杂多样,从结构组成上讲可大体分为3种类型:①

本文由中国博士后基金(第12批)和中国石油天然气集团公司博士后基金资助。

改回日期:2002-5-20;责任编辑:宫月萱。

第一作者:雷振宇,男,博士,高级工程师,目前主要从事石油地质研究工作。

以前寒武系变质岩为基底,如中亚的阿莱盆地、伊塞克-库里盆地、阿克塞盆地以及中国西部的塔里木盆地等;②具有双层结构特征,盆地基底一般下部由前寒武系变质岩组成,而上部为上古生界或下古生界褶皱岩系,如中国西部的准噶尔盆地、吐哈盆地等,李春昱等(1992)认为卡拉库姆盆地的基底是海西褶皱带和经古生代后期改造的前寒武系变质岩;③盆地基底是上古生界或下古生界褶皱岩系,此类盆地在中亚地区分布十分广泛,如费尔干纳盆地、楚河-萨雷苏盆地、克孜尔库姆盆地和曼格什拉克盆地等。从形成时代上看,盆地基底的形成最早可追溯到前寒武纪,如阿莱盆地、伊塞克-库里盆地、阿克塞盆地以及塔里木盆地等;其次有早古生代的楚河-萨雷苏盆地、晚古生代的克孜尔库姆盆地、曼格什拉克盆地、费尔干纳盆地、准噶尔盆地和吐哈盆地等。

1.2 盆地形成时代

中亚及中国西部盆地的形成时代差异较大,依次有寒武纪、奥陶纪、泥盆纪、石炭-二叠纪和三叠纪开始发育的盆地,在分布上有一定的规律性,寒武纪、奥陶纪开始发育的盆地多分布于塔里木板块及其边缘褶皱带中,如塔西南(塔里木)盆地、阿克塞盆地和阿莱盆地。泥盆纪开始发育的盆地仅为哈萨克斯坦板块南缘(土兰地台东北部)的楚河-萨雷苏盆地。石炭-二叠纪开始发育的盆地分布于中亚中部的卡拉库姆微陆块(土兰地台南部)和中国西部的准

噶尔微陆块上,前者如卡拉库姆盆地和塔吉克盆地,后者有准噶尔盆地,属南天山体系的费尔干纳盆地(位于中天山和南天山之间)和阿富汗塔吉克盆地,属中天山体系的有塔拉斯盆地、东楚河盆地、伊塞克-库里盆地等中亚及中国西部盆地的分布特征表明,盆地的发育程度明显受到大地构造背景的控制,盆地基底固结越早、规模越大,其上的盆地发育就越完善、盆地面积也越大,如塔里木盆地、准噶尔盆地、卡拉库姆盆地和楚河-萨雷苏盆地等;盆地基底固结晚、稳定性差,上覆盆地发育时期短、规模小,如天山褶皱带中的若干中-新生代盆地。阿克塞盆地和阿莱盆地虽以前寒武系为基底,但其规模均较小,与上述规则不符,可以理解为是早期从古老地块中分离出来,后期被卷入褶皱带中的相对完整的盆地。

1.3 盆地构造类型

从盆地的构造特征上看,中亚地区的盆地与中国西部盆地具有类似的特征,即:大多为不同构造阶段表现为不同构造属性、相互叠置的叠合盆地(胡见义等,1996),曾发育过克拉通(边缘)拗陷(如塔里木盆地早古生代)、被动大陆边缘(如卡拉库姆盆地侏罗-白垩纪、阿克塞盆地志留纪-早石炭世)、前陆盆地(卡拉库姆盆地、塔吉克盆地、库车盆地新生代和准噶尔盆地西北缘)和陆内断陷(如克孜尔库姆盆地三叠纪-中侏罗世、中国西部侏罗纪陆相盆地)或拗陷盆地(如克孜尔库姆盆地晚侏罗世-第三纪、费尔干

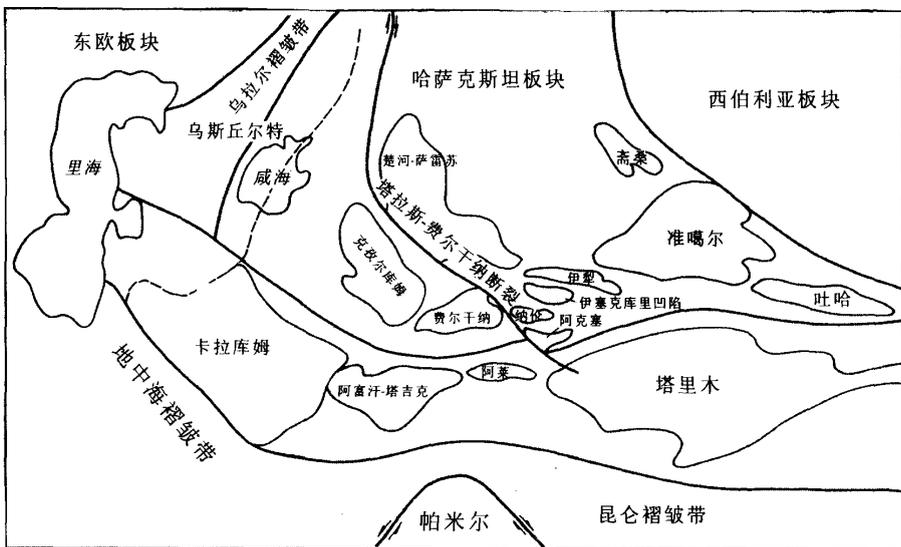


图1 中亚和中国西部主要沉积盆地分布示意图

Fig.1 Distribution of the basins in the western China and the Central Asia

纳盆地侏罗纪一早第三纪)等多种构造类型。对某个盆地而言,由于在不同的时期表现为不同的构造类型,不能简单地将其归为某一种类型。有些盆地由于受后期强烈改造,其构造类型目前尚存较大的争议。按盆地的主要发育(定型)时期划分,该区的盆地构造类型大多可分为前陆盆地和克拉通断陷或拗陷盆地(包括陆内断陷或拗陷盆地)。中国西部盆地的大多数盆地在新世代均表现出前陆盆地的特征(贾承造等,2000),如准噶尔盆地西北缘和南缘盆地、吐哈盆地、库车盆地、塔西南盆地、柴达木北缘盆地和祁连山前诸多中生代陆相盆地。中亚地区的卡拉库姆盆地、费尔干纳盆地和塔吉克盆地等也属此类盆地(安作相等,1993)。对中亚地区的盆地大多可归为发育于古生代褶皱带的山间断陷或拗陷盆地和继承在古克拉通地台型沉积之上的中新生代山间断陷或拗陷盆地,前者有曼格什拉克盆地、费尔干纳盆地、伊犁盆地、塔拉斯盆地、东楚河盆地和克孜库姆盆地等;后者有伊塞克-库里盆地、阿莱盆地、阿克塞盆地和楚河-萨雷苏盆地等。综上所述,中亚地区的盆地与中国西部盆地的构造特征既有相似之处,也存在一定的差异,主要表现在以下几个方面:

(1)中国西部主要沉积盆地大多发育前寒武系变质结晶基底(?),如准噶尔盆地、吐哈盆地、塔里木盆地和柴达木盆地(西部),与中亚地区的盆地相比,其相对稳定,有利于油气的保存。

(2)中国西部主要沉积盆地大多保存有非褶皱造山化的古生界或上古生界稳定性或次稳定性(古克拉通、被动大陆边缘)沉积,这些沉积中不乏含有利生储盖层,有利于有机质的形成和油气的聚集,因此与中亚诸盆地相比,中国西部一些盆地的古生界油气勘探具有一定优势。

(3)中国西部主要沉积盆地大多在新世代均发育为陆内前陆盆地,并接受了巨厚的沉积,不仅提供了油气生成和储集的物质基础,也有利于下覆中生界及以前的有机质的成熟和油气的保存。中亚地区的盆地除卡拉库姆盆地、塔吉克盆地(晚第三纪沉积速率是中生代的10~20倍)等少数盆地有类似特征外,大多数人盆地在新生代处于改造状态。

2 石油地质条件

2.1 烃源岩和储集岩的宏观分布规律

无论是中亚地区还是中国西部中生界都是最为

重要的油(气)源于层和油气产层(图2,表1;安作相等,1993;翟光明,1993;新疆油田编写组,1995)。就沉积层序的发育完全程度而言,规模较大的盆地发育较好,如中国的塔里木盆地、准噶尔盆地、吐哈盆地和中亚的卡拉库姆盆地、曼格什拉克盆地等。而分布于天山褶皱带中的小盆地则发育较差,特别是伊塞克-库里、阿克塞等盆地仅发育部分侏罗系层序,显然,中国西部盆地中生界层序较中亚地区的大部分山间盆地发育相对较好。

中生代是中亚地区广泛遭受海侵的时期,中国西部局部地区也受到了一定的影响。规模较大的海侵有两次,第一次发生在中侏罗世一晚侏罗世早期,海侵范围比较局限,仅涉及到中亚东部和南部地区,包括卡拉库姆盆地、曼格什拉克盆地及塔吉克盆地;第二次发生于晚白垩世一早第三纪,海侵规模较大,海侵范围涉及中亚地区西部、南部和中国西部的塔西南地区,主要有卡拉库姆盆地、曼格什拉克盆地、塔吉克盆地、阿莱盆地、费尔干纳盆地和塔西南盆地。这两次海侵形成的沉积层序构成了中亚卡拉库姆盆地、曼格什拉克盆地、塔吉克盆地和费尔干纳盆地等含油气盆地重要的烃源层和油气产层。总的来看,中国西部中-新生代盆地与中亚地区盆地的差异主要为前者中-新生代沉积几乎均为陆相沉积,而后者中生代沉积海相沉积占主导地位。

研究表明,中国西部与中亚地区有较好的可比性的烃源层无疑是中下侏罗统的含煤岩系。该套烃源岩的广泛存在,说明早中侏罗世中国西部与中亚地区沉积盆地处于相近的古纬度位置,并具有相似的古地理和古气候条件。尽管如此,它们也表现出一定的差异性,如中亚地区西部和南部盆地内含煤建造常夹有海相地层,这无疑增加了其油气生成和储集潜力,而其他地区,包括中国西部的盆地几乎见不到海相夹层。勘探实践证明,无论在中亚还是在中国西部该套含煤岩系是中-新生界最为重要的烃源层。

2.2 烃源岩和储集岩的发育程度和品质

从烃源岩发育程度上看(图2;表1),虽然中国西部绝大多数盆地均缺乏中、上侏罗系和上白垩统-第三系海相烃源层(安作相等,1993),据资料^①,中亚地区大约75%的烃是由下、中侏罗统煤系烃源岩提供的,而上侏罗统和白垩系烃源岩分别只占10%和15%,且两地区的陆相烃源岩的有机质丰度和类

① 内部交流资料。

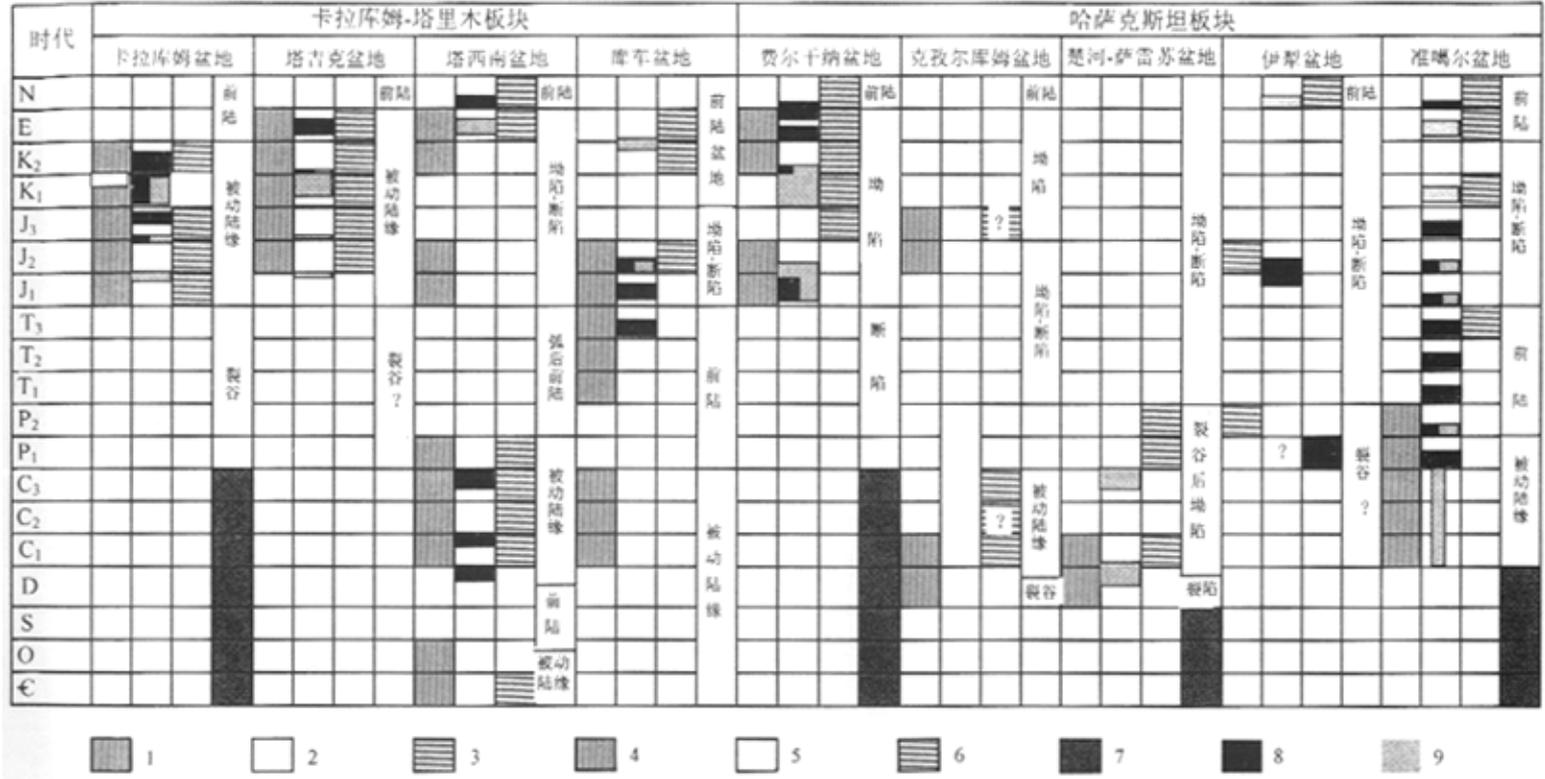


图2 中亚和中国西部主要含油气盆地油气地质特征对比图

Fig.2 Comparison of the geological characteristics in Central Asia with the western China

1-陆相烃源层;2-陆相储层;3-陆相盖层;4-海相烃源层;5-海相储层;6-海相盖层;7-基底;8-油田或油气田;9-气田

1-continental;2-continental;3-continental cap;4-marine hydrocarbon;5-marine reservoir;6-marine cap;7-basement;8-oil field or gas field;9-gas field

表 1 中国中西部盆地与中亚地区盆地石油地质特征对比表
Table 1 Comparison of the geological characteristics in Central Asia with the western China

| 盆地 | 烃源岩 | 储层及产层 | 区域盖层 | 资源类型 |
|--------|--|--|---|--|
| 库车 | Є-O ₁ (碳酸岩盐、泥岩): TOC > 1%~0.18%; O ₂₋₃ (泥灰岩): TOC 0.5%~5.5%; C: TOC 0.78%~7.79%(含煤泥岩), 0.62%(碳酸岩盐平均); T(泥岩): TOC 1.34% II-III型; J(泥岩): TOC 0.53%~5.3% | O ₁ (灰岩、白云岩)、T(砂岩)、J(碎屑岩), φ=8.97~26.2, k=0.71~3075; K(碎屑岩): φ=7.77~22, k=1.47~546; E(碎屑岩): φ=11~20, k=10~3047 | E: 膏泥岩、盐岩层; N: 泥岩、膏泥岩、石膏层 | O: 气、凝析气、油; C: 凝析气、油; T: 油、凝析气; J: 油、油气, K-E: 气、油; N: 油气、凝析气 |
| 塔西南 | Є-O: TOC 0.2%~0.27%(碳酸岩盐), 0.5%~2.14%(泥岩、泥灰岩), I-II型; C-P: TOC 0.04%~1.54%(碳酸岩盐), 0.01%~2.21%(泥岩), I-III型; J(泥岩): TOC 0.26%~7.1%, I-III | S-D(碎屑岩): φ=0.1~7.3, k<1; Є-O(碳酸岩盐), φ=0.1~12, k=0.01~16.7; K ₁ -J(碎屑岩): φ=5.7~150, k=0.81~352; K ₂ -E(碳酸岩盐): φ=1.3~7.6, k<0.1; N(碎屑岩): φ=10~16, k=4.5~150 | J ₁₋₂ : 含煤泥质岩; K: 泥岩、膏盐岩; E: 膏盐岩和泥岩 | O ₁ : 气; C: 气、油; E ₂ : 气; N ₁ : 凝析气 |
| 准噶尔 | P ₁ (泥岩): TOC 1.3%, I-III型; P ₂ (泥岩): TOC 4.85%~10.02%, I-II型; T ₁ (泥岩): TOC 0.9%; J ₁ (泥岩): TOC 1.99%~0.77%, II-III型; E ₁₋₂ (泥岩): TOC 1.31%, II-III型 | 均为砂岩 P ₂ : φ=8.6~24.5, k=0.28~62.7; T ₂ : φ=16~28, k=16~1258; J: φ=16~34, k=9.4~7000 | P ₂ 、T(白碱滩组)、J _{1s} (三工河组); K、R: 泥岩 | P: 油; T: 油、油气; J: 油、油气、气; N: 油 |
| 卡拉库姆 | J ₁₋₂ (含煤泥岩): TOC 2%~3%, III型; J ₃ (泥灰岩、碳酸岩盐): TOC 0.26%~8.29%, I型; K ₁ (泥岩、碳酸岩盐): TOC 0.44%~1.15%, I-III型; K ₂ (泥岩、碳酸岩盐): TOC 1.15%~2.8%, I-III型; E ₁₋₂ (泥岩、碳酸岩盐): TOC 1%~2.8%, I型; N(泥岩): TOC 0.4%~1.2%, I型 | J ₁₋₂ (砂岩、粉砂岩)、J ₃ (碳酸岩盐、生物礁)、K ₁ (碎屑岩、碳酸岩盐)、K ₂ (碳酸岩盐、碎屑岩)、E(碳酸岩盐、砂岩) | J ₃ : 石膏和盐岩; K ₁ : 泥页岩; E: 泥页岩 | J ₁₋₂ : 气(少量油); J ₃ : 气; K ₁ : 气、油; K ₂ : 油气; E: 气 |
| 塔吉克 | J ₂₋₃ (泥岩、泥灰岩): TOC 0.5%~0.3%, I型; K(泥岩、泥灰岩): TOC 0.1%~3%, I-III型; E ₂ (泥岩、碳酸岩盐): TOC 1%~2%, I型 | J ₃ (碳酸盐岩): φ=3~8, k=1~5; K ₁ (砂岩): φ=2~20, k=0.1~200; K ₂ (砂岩、碳酸盐岩): φ=10~33, k=5~73 | J ₁₋₂ : 含煤泥岩; J ₃ : 石膏和盐岩; K: 泥岩、膏盐岩; E: 膏盐岩和泥岩 | J ₁₋₂ : 气; J ₃ : 气; K ₁ : 气; K ₂ : 气; E ₁ : 气 |
| 费尔干纳 | J ₁₋₂ (含煤泥岩): TOC 0.27%~2%, III型; K ₂ (泥岩、泥灰岩): TOC 0.26%~0.3%, I-III型; E ₁₋₂ (泥岩、碳酸岩盐): TOC 0.85%~1%, I型 | J(砂岩): φ=22~16, k=100~300; K(砂岩、灰岩): φ=46~1537; E(砂岩、灰岩): φ=4~22.6, k=20~450; N(砂岩、砾岩) | K: 泥岩、膏盐岩; E: 膏盐岩和泥岩 | J: 气; K: 气; E: 油; N: 油气 |
| 楚河-萨雷苏 | D ₃ -C ₁ (泥岩、泥灰岩): I型 | | | D ₃ : 气; C ₁ -C ₂ : 气; C ₂ -P ₁ : 气 |

注: TOC-残余有机碳含量; φ-孔隙度, 单位为%; k-渗透率, 单位为×10³ m; I、II、III-干酪根类型。

型也十分相近, 有机质丰度一般在 0.2%~3% 之间, 因此中-新生界中国西部烃源岩发育与中亚地区并无本质的区别。然而, 中国西部绝大多数盆地广泛发育古生界烃源岩, 如塔西南盆地和库车盆地的寒武-奥陶系、石炭-二叠系烃源岩和准噶尔盆地、吐哈盆地的二叠-三叠系烃源岩, 有机质丰度一般在

0.2%~2.21% 之间, 这无疑大大增强了中国西部盆地的生烃潜力。

从储层的产出层位上看(图 2; 表 1), 卡拉库姆盆地和塔吉克盆地最多, 共有 5 层, 分别为: J₁₋₂、J₃、K₁、K₂、E。费尔干纳盆地等共有 4 层, 其时代分别为: 费尔干纳盆地(J、K、E、N)、楚河-萨雷苏盆地

(D₃、C_{1~2}、C₂、P₁)和塔西南盆地(O₁、C、E₂、N₁)。从储集岩类型上看,几乎中亚地区所有的含油气盆地中-新生界均发育碳酸盐岩和碎屑岩储层,油气储量较好的盆地往往以后者为主,但卡拉库姆盆地上侏罗统中发育储集物性极好的生物礁灰岩,并具有良好的储集条件。中国西部盆地除塔西南盆地中-新生界有碳酸盐岩储层外,大部分盆地主要为碎屑岩储层,这无疑与中亚地区中-新生代广泛的海侵有着密切的关系。但中国西部大多数盆地具有发育古生界储集层的优势,如塔西南盆地和库车盆地分别发育寒武系、奥陶系、石炭系和上二叠统碳酸盐岩或碎屑岩储层。从储集岩物性上看似乎中亚地区盆地要略好于中国西部盆地。

3 塔里木盆地与卡拉库姆盆地的对比

国内外一些学者认为,中亚的卡拉库姆盆地与中国西部的塔里木盆地所处的构造位置、盆地形状及盆地面积等方面均非常相似,故有较强的可比性,但二者也存在明显的差异,主要表现在以下几个方面:

(1)卡拉库姆盆地是海西期的褶皱基底,而塔里木盆地是由前寒武系变质岩组成的结晶基底,显然,后者比前者稳定程度大的多。

(2)塔里木盆地广泛分布古生界海相沉积,主要有寒武-奥陶系深海相-半深海相灰岩、泥灰岩及泥页岩和台地相碳酸盐岩等;志留系滨海浅海相砂岩、页岩夹薄层灰岩;泥盆系、石炭系一下二叠统海相碎屑岩和碳酸盐岩等。其中寒武系、奥陶系灰岩有机碳含量平均值分别为0.36%和0.14%;泥页岩有机碳含量平均值分别为1.48%和0.32%。石炭系泥岩、灰岩有机碳含量平均值分别为0.739%和0.328%,均有一定的生烃能力。但卡拉库姆盆地相应的地层已为变质岩系,丧失生烃的能力。

(3)卡拉库姆盆地中-新生代沉积盖层是以海相沉积为主,包括了中-下侏罗统海陆交互相碎屑岩和含煤页岩、上侏罗统海相灰岩和泻湖相蒸发岩、白垩系一下第三系海相碳酸盐岩、泥页岩及碎屑岩。其中中-下侏罗统煤系是一套较好的气源岩,上侏罗统碳酸盐岩,特别是泥灰岩具有较强的生烃能力,有机碳含量大多在0.43%~4.78%之间。而塔里木盆地大部分地区缺乏此套海相沉积,仅在塔西南地区有所分布,且有机质丰度偏低,一般小于0.47%。塔里木盆地除塔西南地区外均为陆相沉积,其中上三叠统一侏罗系为含煤碎屑岩,是该盆地内最为重

要的源岩。总的来看,塔里木盆地的中生界烃源岩以陆相为主,而卡拉库姆盆地则由海相烃源岩和陆相烃源岩两部分组成。

4 结论

综上所述,尽管中亚地区和中国西部盆地之间在构造和沉积背景方面有着密切的联系,且在中生代以来的构造演化方面有一定的相似性,但其差异也是明显的,比如盆地的基底结构、沉积演化、沉积相及烃源岩的发育程度等方面均有所不同。这些差异直接影响了二者间的油气形成条件,就中生界而言,中亚地区的盆地与中国西部盆地油气潜力十分相近。但二者间的古生界油气勘探潜力具有明显差异,中亚地区的盆地,除楚河-萨雷苏盆地古生界具有油气田形成条件外,大部分盆地无勘探的价值,相反,中国西部大部分盆地的古生界,特别是上古生界具有良好的油气形成条件。另外,从目前的勘探状况来看,中亚地区油气资源以天然气占绝对优势,而中国西部除天然气外,石油资源也有良好的勘探前景,因此,二者在含油气潜力和勘探模式上有一定差异,中国西部的油气勘探潜力要优于中亚地区的大多数盆地。

参考文献

- 李春昱. 1992. 亚洲古板块划分及有关问题. 地质学报, 57(1): 1~8.
胡见义, 赵文智, 钱凯等. 1996. 中国西北地区石油天然气地质基本特征. 石油学报, 17(3): 1~11.
贾承造, 何登发, 雷振宇等. 2000. 前陆冲断带油气勘探. 北京: 石油工业出版社.
安作相, 胡征钦编译. 1992. 中亚含油气地区. 北京: 石油工业出版社.
翟光明. 1996. 中国石油地质志(第一卷). 北京: 石油工业出版社.
新疆油田编写组. 1995. 中国石油地质志(第十五卷). 北京: 石油工业出版社.

References

- An Zouxing, Hu Zhenqin (translator). 1993. Oil and gas area of mid-Aisa. Beijing, Petroleum Industry Press (in Chinese).
Hu Jianyi, Zhao Wenzhi, Qian Kai et al. 1996. Basic character of oil and gas geology in northwest China. Acta Petrolei Sinica, (3): 1~11 (in Chinese with English abstract).
Jia Chenzaoy, He Denfa, Lei Zhenyu et al. 2000. Oil and gas exploration of fold and thrust belts in foreland. Beijing, Petroleum Industry Press (in Chinese with English abstract).
Li Chūnyu. 1992. Division and correlative problem of Asia pale-plate. Acta Geological Sinica, (1): 1~8 (in Chinese).
Xinjiang Oil Field. 1995. Petroleum geology of China (15). Beijing: Petroleum Industry Press (in Chinese with English abstract).
Zhai Guangming. 1996. Petroleum geology of China (1). Beijing: Petroleum Industry Press (in Chinese with English abstract).