

库车坳陷古近系库姆格列木组高精度层序 地层分析及其油气勘探意义

刘景彦 林畅松 李喜臣 刘丽军 张 韬

(中国地质大学 北京 100083)

摘 要 库车坳陷古近系库姆格列木组是盆地内重要的含油气层段。本文应用高精度层序地层学的理论和方法,在库车坳陷古近系库姆格列木组地层中划分出 3 个三级层序、14 个四级层序和数十个五级层序(准层序)。四级层序中发育有冲积扇、辫状河、曲流河、辫状河三角洲和滨浅湖等沉积体系,局部地区发育下切水道、干旱盐湖、泻湖-海湾、半深湖、浊流-重力流等沉积。该组下部四级层序 Psk1、Psk5 和中上部四级层序 Psk7、Psk12 等的砂质沉积形成区内的主力储层,主要分布在盆地北-西北缘和东-东南缘,与其上覆的泥岩、膏泥岩形成有利的储盖组合。

关键词 高精度层序地层 沉积体系 储层 库姆格列木组 库车坳陷

High-Resolution Sequence Stratigraphic Study of the Palaeogene Kumugeliemu Formation and Its Significance in Oil-Gas Exploration in the Kuqa Depression

LIU Jingyan LIN Changsong LI Xichen LIU Lijun ZHANG Tao

(China University of Geosciences ,Beijing ,100083)

Abstract The Palaeogene Kumugeliemu Formation, a very important oil-gas bearing bed in Kuqa depression, can be divided into three 3rd order sequences, fourteen 4th order sequences and dozens of 5th order sequences or parasequences. Several kinds of depositional systems have been recognized in the 4th order sequences, such as alluvial fan deposits, fluvial and delta deposits, incised valley filling, evaporite salt lake deposit, lagoon or sea-gull deposit, flooding basin deposit, lacustrine deposit, and gravity or turbidity flow deposit. The distal alluvial fan sandy deposits, fluvial and deltaic sandy deposits and the incised valley filling of 4th order sequences Psk1, Psk5, Psk7 and Psk12 compose the major reservoirs, which are mainly distributed along the northern or northwestern margin as well as the eastern or southeastern margin of the basin. Sealed by the lacustrine mudstone or salt lake gypsum as well as the lagoon and sea-gull mudstone, they serve as favorable oil-gas reservoir beds.

Key words high-resolution sequence stratigraphy depositional systems reservoir Kumugeliemu Formation Kuqa depression

位于塔里木盆地北部的库车坳陷是目前塔里木盆地勘探程度较高、油气探明储量较大的地区,是中国西部开发中“西气东输”工程的主要资源基地。古近系库姆格列木组是盆地内重要的含油气层段,开展高精度层序地层研究对区内的油气勘探具有重要的意义。

1 区域地质背景和盆地充填序列

库车坳陷位于塔里木盆地北缘(图 1),东起库尔勒,西到阿合奇,南至库喀公路,北至南天山山前,

总体呈 NEE 向展布,面积 30 000 km²,是伴随南天山褶皱系发育的中-新生代复合前陆盆地(贾承造, 1997;戴金星等, 1999)。以中晚元古界的变质岩和震旦系一下二叠统的沉积岩层为基底,充填了厚达万余米的中-新生代陆相碎屑岩,包括三叠系、侏罗系、白垩系、第三系和第四系地层,以砂泥岩沉积序列为主。

库车坳陷古-新近纪沉积充填包括古近系库姆格列木组、苏维依组和新近系吉迪克组、康村组和库车组,总厚度 3 000~5 000 m,与下白垩统巴什基奇

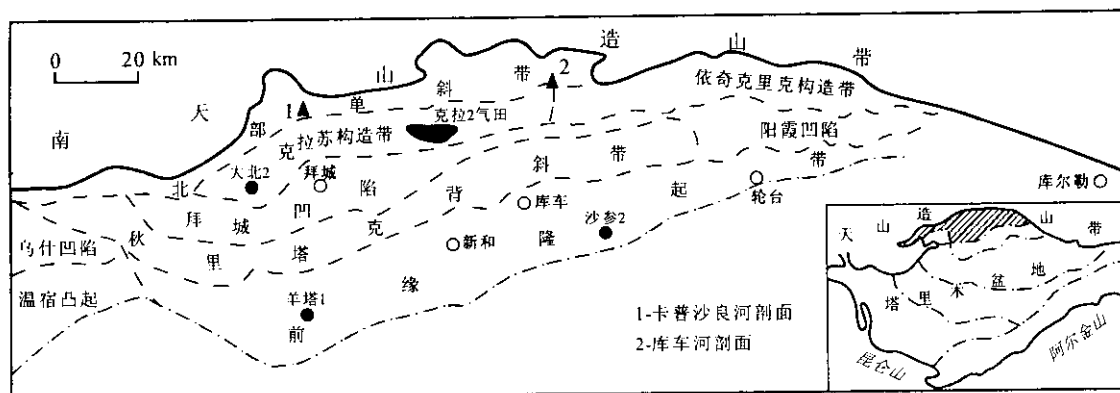


图1 研究区位置图

Fig.1 Location of the research area

克组呈不整合接触。

前人研究表明,库车坳陷古-新近纪发生了多次构造逆冲作用,每一构造逆冲事件都控制着一次从水进到水退的沉积充填(林畅松等,2002;赵文智等,1998),并在地层中留下了可进行区域性追踪对比的冲刷或间断不整合界面。据此,可将古-新近纪沉积充填划分为4个构造层序(二级)。库姆格列木组和苏维依组为构造层序I,吉迪克组和康村组底部为构造层序II,康村组和库车组分别为构造层序III和IV。每一构造层序内依据次一级的不整合及其对应的整合面可划分出一系列三级层序。

2 库姆格列木组高精度层序地层和沉积体系分析

2.1 三级层序及其界面特征

库姆格列木组总体为一套冲积扇、辫状河-干盐湖相的紫红色砂砾岩与同色泥岩、粉砂岩、石膏互层,厚300~500 m。由野外露头可观察的具明显暴露、冲刷、侵蚀、下切等标志的不整合或沉积间断面可划分为3个厚100~300 m的三级层序,层序界面可进行全坳陷的追踪和对比。

在库车河露头剖面上,SS1底界面(古近系底界)位于一套厚10~30 m的块状灰白色夹褐红色底砾岩的底,与下伏白垩纪地层呈角度不整合接触。地震剖面上表现为一组高振幅、连续性好的强反射同相轴(T8),界面上下可观察到反射波组的削截或下切;自然伽玛和电阻率曲线在界面处发生峰值突变,界面之上表现为块状、箱型。SS2底界面一套巨厚的冲积扇、辫状河砂砾岩,与下覆地层呈明显的冲刷切割关系;自然电位曲线呈箱型突变,钻井取心段界面处见泥砾团块,代表快速充填以及到下伏地层的冲刷切割。SS3底界面位于上部一套曲流河道砂坝

沉积的底,与下伏泛滥盆地沉积呈侵蚀不整合接触;SS4为苏维依组与库姆格列木组分界面,库车河露头剖面可见灰白色砂砾岩河道冲刷,河道宽约5~10 m。

2.2 高精度层序地层和沉积体系构成

高精度层序地层单元是指在三级层序基础上进一步划分的体系域和四、五级层序(林畅松,2002)。四级层序是高精度层序地层格架的基本单位,是三级层序内相对明显的次一级沉积基准面变化造成的沉积旋回,与高频的(海)湖平面变化、物源供给和构造沉降的叠加有关。五级层序(准层序)多保存为单一的水进或水退的沉积旋回。因此,研究中把相对易于追踪对比的四、五级的海(湖)平面或沉积基准面旋回的水进界面作为相应的层序界面。

高精度层序划分和对比不仅可以详细描述薄层砂体的空间展布和几何形态,以及区域盖层分布,而且能够精确恢复盆地某一沉积期的古地理特征。通过野外露头对比和测井连井剖面分析,库姆格列木组的3个三级层序内共划分了14个四级层序和数十个五级层序(图2)。由于四、五级层序的级别较小,古生物化石和现代同位素测年技术目前尚无法进行标定,因此四级层序的划分主要依据野外露头可观察的和测井剖面可识别的大规模的湖相(泻湖-海湾相)泥岩作为三级层序内主要的次一级水进面,建立区内等时地层格架。五级层序主要指单一的水进或水退的沉积旋回。

三级层序SS1内划分了4个四级层序。Psk1相当于三级层序的低位域,其顶界与三级层序的初始水进面一致,为冲积扇泥石流沉积。在库车河剖面为一套灰白色夹褐红色冲积扇泥石流砂砾岩,含石膏团块,厚15~20 m,呈板状连续出露。Psk2和Psk3构成了三级层序的水进体系域,Psk2为低位域

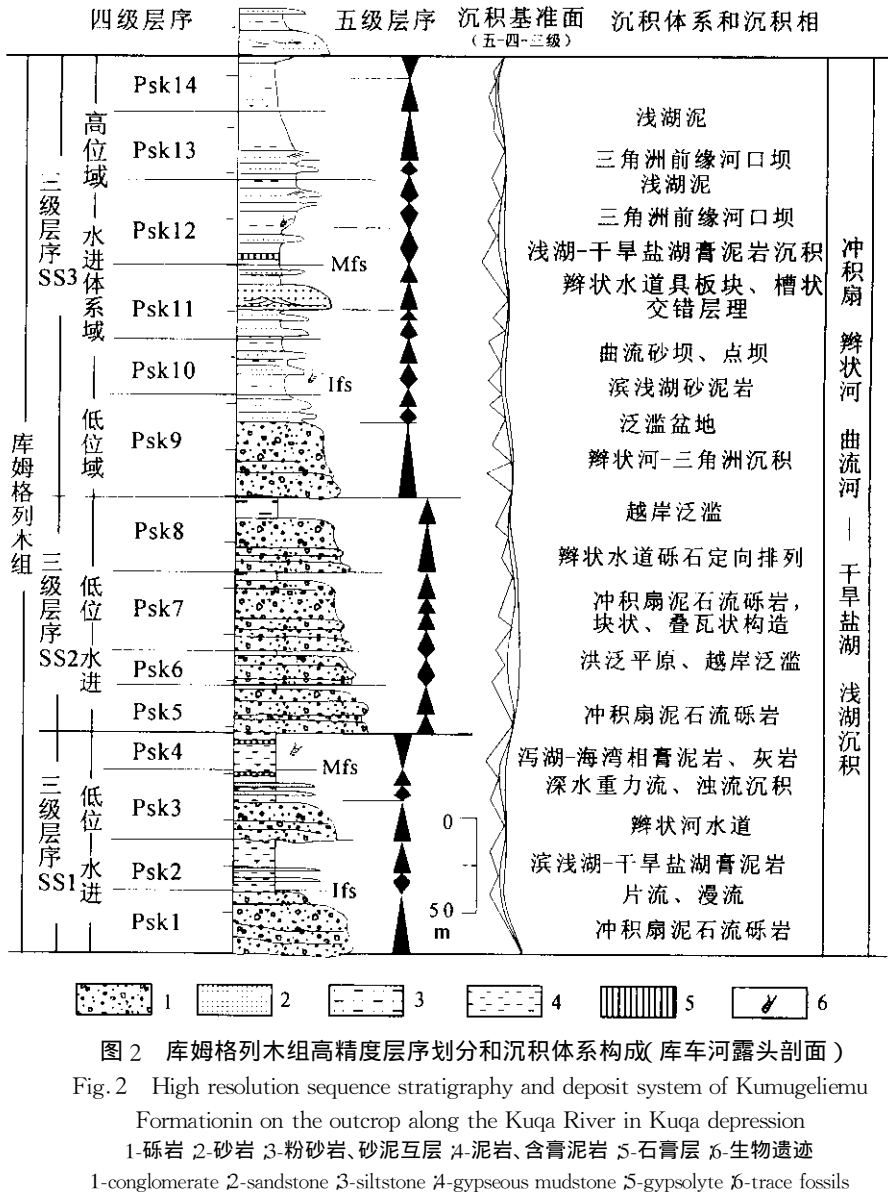


图 2 库姆格列木组高精度层序划分和沉积体系构成(库车河露头剖面)

Fig.2 High resolution sequence stratigraphy and deposit system of Kumugeliemu Formation in the outcrop along the Kuqa River in Kuqa depression

之上覆盖的一套灰白、粉红色相间的浅湖-盐湖相的泥灰岩、膏泥岩,局部见片流、漫流薄层砂沉积;Psk3 为辫状河水道或滨浅湖、盐湖中局部的河流三角洲沉积,由多个向上变细的准层序构成,垂向上以退积、加积方式叠置。Psk4 相当于三级层序最大水进期沉积,卡普沙良剖面可见灰白色薄片状粉细砂岩脉状出露,具底模、槽模、高流态平行层理、变形层理,代表深水环境下快速堆积的浊流、重力流沉积。伴随海侵,泻湖-海湾相的膏泥岩广泛发育,克拉 201 井取心段 3 637 m 处灰白色砂岩中含内碎屑石膏脉、石膏团块,可能是河流或三角洲冲入含膏浅湖,水流冲起石膏后再沉积形成的。库车坳陷西北部包孜东地区见灰岩层和海相腕足类化石,克拉 201 井 3 600 m 左右钻遇大套灰岩,青灰色,质纯。四级层序界面基本上表现为湖相泥岩和干旱盐湖相

的膏泥岩,局部为海湾-泻湖相的灰岩和泥灰岩。

SS2 内也划分了 4 个四级层序,由几套大规模的冲积扇、辫状河粗碎屑沉积组成,卡普沙良剖面厚达 250~300 m。底部砾石灰褐色,呈尖角状,为近源冲积扇快速堆积的结果;上部砾石磨圆程度较好,呈迭瓦状定向排列,过渡为辫状水道-扇三角洲沉积。Psk5、Psk6 的顶界面表现为辫状河洪泛平原的砂泥质沉积,顶部被河床滞留沉积的砂砾岩冲刷。Psk5、Psk6 和 Psk7 总体构成三级层序的低位域沉积,Psk8 代表了三级层序的水进体系域,由越岸泛滥及局部辫状河三角洲组沉积组成。这几个四级层序分别由 4~6 个向上变细的准层序以退积方式叠置而成,层序界面以辫状河洪泛平原的薄层砂和泥质沉积为主。

SS3 内划分了 6 个四级层序,其中 Psk9 和

Psk11 的顶界面分别与三级层序的初始水进面和最大水进面重合。Psk9 由一套辫状河-扇三角洲粗碎屑砾岩组成 构成三级层序的低水位沉积 其顶界面表现为辫状河洪泛平原-滨浅湖砂泥质沉积。Psk10 和 Psk11 为水进体系域 由多个向上变粗再变细的准层序前积或加积叠置组成 在分布范围较广的滨浅湖砂泥岩、干旱盐湖相膏泥岩中局部发育河流沉积。层序界面在盆地中部表现为一套浅湖相泥岩或干旱盐湖相的膏泥岩。Psk12、Psk13 和 Psk14 为高水位期沉积 主要为滨浅湖-河流三角洲。高水位期

湖退变浅 河流三角洲发育 野外露头滨湖砂层上可见大面积的生物遗迹化石和扰动构造 灰色粉砂岩滨浅湖河口边缘坝具平行层理 浅湖、三角洲间湾、三角洲前缘水下水道见小型交错层理、变形层理等。这几个四级层序多由多个向上变粗的准层序进积叠置而成。

3 主要四级层序的沉积古地理

库姆格列木组早期库车坳陷的最大沉降带是 NE 向展布的(图 3-a) 坳陷整体上具有东高西低的

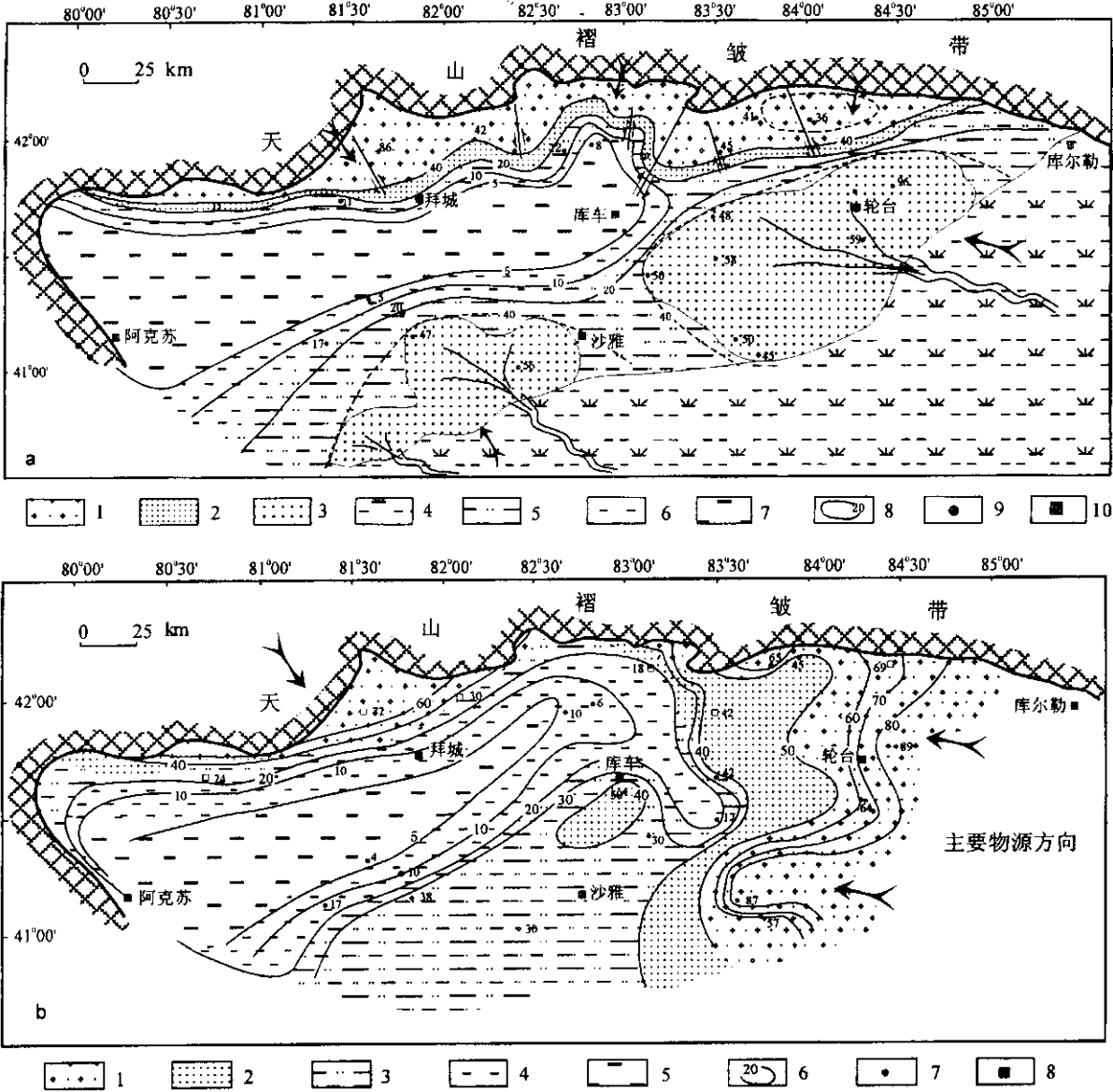


图3 库姆格列木组底部四级层序含砂率和沉积体系配置

Fig.3 Distribution of lithofacies and isopach of sandstone percentage of Psk1 and Psk5 in Kuqa depression

a-Psk1 期 1-冲积扇-辫状河 2-辫状河三角洲 3-下切水道及三角洲 4-冲积平原 5-三角洲前缘-滨浅湖；

6-浅湖-膏盐湖-泻湖 7-泻湖-海湾-半深湖 8-砂岩百分含量 9-井位 10-地名

b-Psk5 期 1-冲积扇 2-辫状河-三角洲 3-三角洲前缘-滨浅湖 4-滨浅湖-干旱盐湖 5-干旱盐湖-泻湖 6-砂岩百分含量 7-井位 8-地名

a-Psk1 1-Alluvial fan-braided river 2-braided river delta 3-incised valley and delta 4-alluvial plain 5-delta frontier-lacustrine；

6-lacustrine-evaporite salt lake-lagoon 7-lagoon-sea gull-deep lake 8-sand containing percent 9-Borehole 10-Location

万方数据 b-Psk5 1-Alluvial fan 2-braided river-delta 3-delta frontier-lacustrine 4-lacustrine-evaporite salt lake；

5-evaporite salt lake-lagoon 6-sand containing percent 7-Borehole ；Location

特征,且东部物源区的构造活动或明显隆升导致大量沉积物由东向西注入盆地,形成明显的纵向碎屑体系。西部是相对的洼陷部位,早期来自西或西南方向的海侵形成泻湖或海湾环境,成为坳陷的沉降和沉积中心。此时盆地北缘开始逆冲造山形成山前斜坡,提供了坳陷充填的部分物源。从沉积体系分布可见,这一时期的粗碎屑体系(冲积扇)主要分布于卡普沙良河至库车河之间的区域,反映了SN向调节断裂的控制作用。另外,塔北一带这一时期也为相对的隆起带,早期的剥蚀形成局部物源,由南部向盆地充填注入。

Psk5发育时期(图3-b)可划分出西北边缘、东北边缘、洼陷西部和东部、东南部等多个沉积相区。盆地北部和西北部边缘带以发育巨厚的冲积扇-辫状河砂砾岩沉积为主,而东部北缘以局部的河流、河流三角洲和滨浅湖沉积为特征。盆地东南部砂体较西北部则薄得多,主要为河流或河流三角洲、不整合面上的下切谷充填等。沉积物源主要来自盆地北-西北缘的造山带和盆地东-东南部的隆起区,且早期以盆地东部物源为主。坳陷西部发育了大套的泻湖、海湾相泥岩、石膏层及膏质泥岩、粉砂岩,而东部局部地区发育滨浅湖相的细碎屑沉积。这一时期的沉积物源明显来自盆地东部隆起区和盆地北部造山带,且以东部物源为主。

4 储盖组合及其分布

库车坳陷是一个具有很大勘探潜力的富煤、油气盆地(吕修祥等,1996;康竹林等,1998)。研究表明,坳陷内的中、上三叠统湖相泥岩和中、下侏罗统湖沼相煤系地层(煤、碳质泥岩和泥岩)有机质含量高,热演化程度和有机质成熟度均达到了生油门限(赵林等,1999;汪飞宇等,1999)。该区古-新近系地层中发育了多套区域性分布的泥岩、膏泥岩,是重要的区域盖层(张朝军等,1998)。其中库姆格列木组底部泻湖-海湾相膏泥岩和上部滨浅湖-干旱盐湖相膏泥岩在全区广泛分布,厚度大,分布较稳定,特别是致密的、非渗透性的石膏、膏泥岩的发育,使这两套盖层具有良好的封堵性,成为全区封闭能力最好、最重要的优质盖层,对库车盆地内白垩系和古近纪库姆格列木组底部的油气藏保存起着重要作用。

如位于盆地北部的EW向测井连井剖面(图4)库姆格列木组共发育了9套储盖组合。Psk1、Psk5和Psk7中的冲积扇/辫状河远端的中-细砂岩、河流和下切水道充填砂与上覆的膏泥岩组成区内最重要的两套储盖组合;Psk8、Psk12和Psk13中的曲流砂坝、泛滥平原、三角洲分流河道和河口坝砂岩等横向展布较远,储层物性好,与上覆滨浅湖泥岩、膏泥岩构成有利储盖组合;Psk3、Psk4中的油

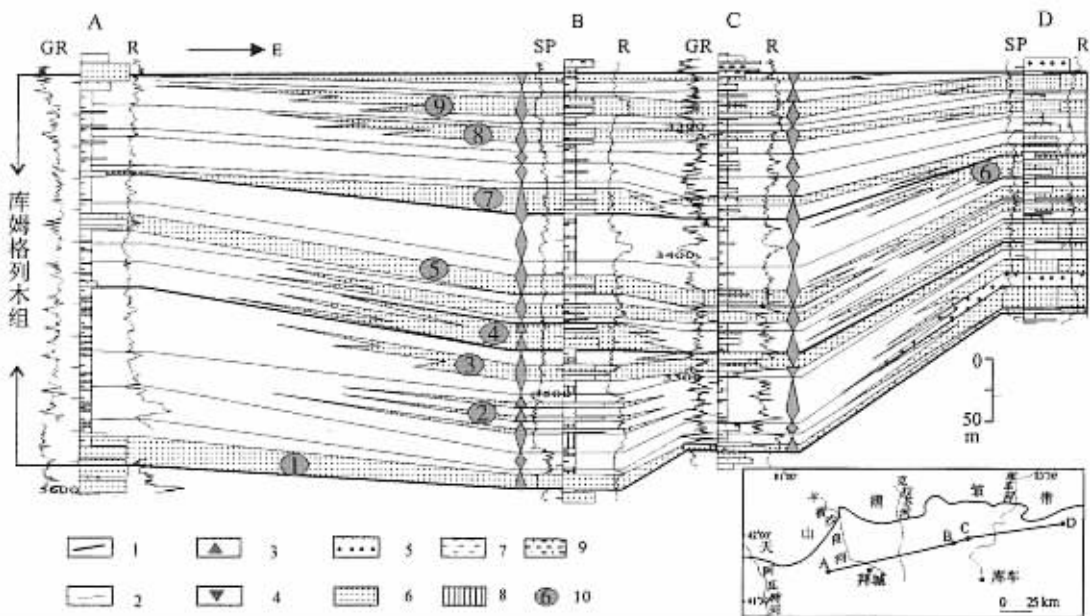


图 4 坳陷北部东西向测井连井剖面高精度层序划分和储盖组合

Fig. 4 High-resolution sequence stratigraphy and the combination of reservoir and sealing beds on the crossing profile along the northern margin of Kuqa depression

1-三级层序界面 2-四级层序界面 3-涨-湖平面上升半旋回 4-海-湖平面下降半旋回 5-砾岩 6-砂岩;
7-泥岩 8-膏盐层 9-泥质粉砂岩 10-有利储集砂体及组合

1-3rd order sequence boundary 2-4th order sequence boundary 3-sea/lake level rise cycle 4-sea/lake level down cycle;
5-conglomerate 6-sandstone 7-mudstone 8-gypsolyte 9-siltstone 10-favorite reservoir sand

流-重力流砂体分布虽较局限,但储层物性好,且分布在泻湖-海湾、半深湖泥岩中,盖层封堵性良好。

综合储层砂体的平面展布和剖面上储盖组合分析,可以发现,冲积扇/扇三角洲远端和辫状河/辫状河三角洲等砂体主要分布在盆地北部、西北部,这些砂体厚度大,储集物性较好,又有巨厚的、封堵性好的膏泥岩覆盖,是该区最有利的储盖组合。河流砂坝、下切水道充填等是区内的又一套重要储层,主要分布在盆地东部、东南部,这套砂体分布比较集中,厚度大,储集物性好,新近系吉迪克组发育巨厚的干旱盐湖相膏泥岩,构成有利储盖组合。分布在盆地外缘滨浅湖一带的曲流砂坝、泛滥平原、三角洲分流河道和河口坝等砂体储集物性最好,是该区重要的含油气层段,具有很大的勘探潜力。而分布在盆地中心半深湖区的浊流、重力流砂体可能构成重要的油气储层。

5 结 论

(1) 古近系库姆格列木组的 3 个三级层序内以次一级的水泛面为界可划分出 14 个四级层序和数十个五级层序。

(2) 四级层序内发育冲积扇/扇三角洲、辫状河、辫状河三角洲、滨浅湖等沉积体系,局部地区发育下切水道、干旱盐湖、半深湖浊流、重力流沉积。沉积物源主要来自盆地北—西北缘的造山带和盆地东部、东南部的隆起区,且早期以盆地东部物源为主。

(3) 库姆格列木组中共发育了 9 套储盖组合。盆地北部、西北部的冲积扇/扇三角洲远端、辫状河/辫状河三角洲和盆地东部、东南部的河流砂坝、下切水道充填等砂体是区内的重要储层;盆地外缘滨浅湖一带的曲流砂坝、泛滥平原、三角洲分流河道和河口道等砂体,以及盆地中心半深湖区的浊流、重力流砂体也应在进一步勘探中得到重视。

参 考 文 献

- 戴金星,夏新宇,洪峰等. 1999. 中国煤成大中型气田形成的主要控制因素. 科学通报, 44(2): 2455~2464.
- 贾承造著. 1997. 中国塔里木盆地构造特征与油气. 北京: 石油工业出版社, 348~357.
- 康竹林, 翟光明. 1998. 塔里木盆地库车坳陷油气勘探前景. 勘探家 (石油与天然气), 3(3): 50~53.
- 林畅松, 刘景彦, 张燕梅等. 2002. 库车坳陷古-新近系构造层序的构成特征及其对前陆构造作用的响应. 中国科学(D 辑), 32(3):

177~183.

- 林畅松, 刘景彦, 刘丽军等. 2002. 高精度层序地层分析: 建立沉积相和储层规模的等时地层格架. 现代地质, 16(3): 276~281.
- 吕修祥, 张一伟, 金之钧. 1996. 塔里木盆地成藏旋回初论. 科学通报, 41(2): 2064~2066.
- 王飞宇, 张水昌, 张宝民等. 1999. 塔里木盆地库车坳陷中生界烃源岩有机质成熟度. 新疆石油地质, 20(3): 221~224.
- 赵文智, 许大丰. 1998. 库车凹陷构造变形层序划分及在油气勘探中的意义. 石油学报, 19(3): 1~5.
- 赵林, 秦胜飞. 1999. 库车坳陷侏罗系烃源岩热演化研究. 地质地球化学, 27(3): 1~4.
- 张朝军, 田在艺. 1998. 塔里木盆地库车凹陷古-新近系盐构造与油气. 石油学报, 19(1): 5~10.

References

- Dai Jinxing, Song Yan, Zhang Houfu. 1997. Main factors controlling the foundation of Medium-giant gas fields in china. Science in China(D) 40(1): 1~10.
- Jia Chengzao et al. 1997. The structure characteristic and oil-gas of Tarim basin of China, Beijing: Petroleum Product Publishing, 348~357 (in Chinese with English abstract).
- Kang Zhulin, Zhai Guangming. 1998. Petroleum prospect in Kuqa depression of Tarim basin. Petroleum Explorationist, 3(3): 50~53 (in Chinese with English abstract).
- Lin Changsong, Liu Jingyan et al. 2002. Depositional architecture of the Tertiary tectonic sequences and their response to foreland tectonism in the Kuqa depression, the Tarim Basin. Science in China(D) 45(3): 250~258 (in Chinese with English abstract).
- Lin Changsong, Liu Jingyan, Liu Lijun. 2002. High resolution sequence stratigraphy analysis: construction of chronostratigraphic sequence framework on facies and reservoir scale. Geoscience, 16(3): 276~281 (in Chinese with English abstract).
- Lu Xiuxiang, Jin Zhijun, Pi Xuejun. 2000. Hydrocarbon accumulation and distribution in Lower Paleozoic carbonates in Tarim basin. Science in China(D) 43(5): 501~506 (in Chinese with English abstract).
- Wang Feiyu, Zhang Shuichang, Zhang Baomin et al. 1999. Organic maturity of Mesozoic source rock in Kuqa depression, Tarim basin. Xinjiang Petroleum Geology, 20(3): 221~224 (in Chinese with English abstract).
- Zhang Chaojun, Tian Zaiyi. 1998. Tertiary salt structures and hydrocarbons in Kuqa depression of Tarim basin. ACTA, 19(1): 5~10 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Lin, Qin Shengfei. 1999. On thermal evolution of Jurassic source rocks in the Kuqa depression, Tarim basin. Geological Chemistry, 27(3): 1~4 (in Chinese with English abstract).
- Zhao Wenzhi, Xu Dafeng. 1998. Division of structural deformed sequence in Kuqa depression and significance for oil-gas exploration. ACTA, 19(3): 1~5 (in Chinese with English abstract).